

# TEMEL SPİNAL ENSTRÜMAN BİLGİSİ

**Editör**

Cüneyt TEMİZ



© Copyright 2023

*Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığının bandrolü ile satılmaktadır.*

<b>ISBN</b>	<b>Sayfa ve Kapak Tasarımı</b>
978-625-399-208-8	Akademisyen Dizgi Ünitesi
<b>Kitap Adı</b>	<b>Yayıncı Sertifika No</b>
Temel Spinal Enstrüman Bilgisi	47518
<b>Editör</b>	<b>Baskı ve Cilt</b>
Cüneyt TEMİZ	Vadi Matbaacılık
ORCID iD: 0000-0002-9479-1426	<b>Bisac Code</b>
<b>Yayın Koordinatörü</b>	MED056000
Yasin DİLMEN	<b>DOI</b>
	10.37609/akya.2638

#### Kütüphane Kimlik Kartı

Temel Spinal Enstrüman Bilgisi / editör : Cüneyt Temiz.

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2023.

316 s. : resim, tablo, şekil. ; 160x235 mm.

Kaynakça var.

ISBN 9786253992088

1. Tıp-Nöroloji.

## UYARI

*Bu üründe yer alan bilgiler sadece lisanslı tıbbi çalışanlar için kaynak olarak sunulmuştur. Herhangi bir konuda profesyonel tıbbi danışmanlık veya tıbbi tanı amacıyla kullanılmamalıdır. Akademisyen Kitabevi ve alıcı arasında herhangi bir şekilde doktor-hasta, terapist-hasta ve/veya başka bir sağlık sunum hizmeti ilişkisi oluşurmaz. Bu ürün profesyonel tıbbi kararların eşleniği veya yedeği değildir. Akademisyen Kitabevi ve bağlı şirketleri, yazarları, katılımcıları, partnerleri ve sponsorları ürün bilgilerine dayalı olarak yapılan bütün uygulamalardan doğan, insanlarda ve ihazlarda yaralanma ve/veya hasarlardan sorumlu değildir.*

*İlaçların veya başka kimyasalların reçete edildiği durumlarda, tavsiye edilen dozunu, ilacın uygulanacak süresi, yöntemi ve kontraendikasyonlarını belirlemek için, okuyucuya üretici tarafından her ilaca dair sunulan güncel ürün bilgisini kontrol etmesi tavsiye edilmektedir. Dozun ve hasta için en uygun tedavinin belirlenmesi, tedavi eden hekimin hastaya dair bilgi ve tecrübelerine dayanak oluşturması, hekimin kendi sorumluluğundadır.*

*Akademisyen Kitabevi, üçüncü bir taraf tarafından yapılan ürüne dair değişiklikler, tekrar paketlemeler ve özelleştirmelerden sorumlu değildir.*

**GENEL DAĞITIM**  
**Akademisyen Kitabevi A.Ş.**

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

[www.akademisyen.com](http://www.akademisyen.com)

# ÖNSÖZ

---

Hem Türkiye’de ve hem de tüm dünyada spinal enstrümantasyonun giderek artan bir yoğunlukta kullanıldığı bir gerçektir. Özellikle, yaşlanan dünya nüfusu ile birlikte, artık dejeneratif omurga patolojilerinde de giderek artan bir oranda stabilizasyon cerrahisi uygulanmaktadır. Fakat özellikle füzyon amaçlı stabilizasyon konusunda tecrübemiz arttıkça , omurga segmental fonksiyonel ünitesinin hareketini koruma amacımız da giderek belirginleşmektedir. Öte yandan rejeneratif spinal enstrümantasyon denen anlayış ve bu konudaki yenilikçi çalışmalar da önem kazanmaktadır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, yeni implant malzemelerinin geliştirilmesi, yapay zeka ,arttırılmış gerçeklik uygulamaları ve robotik teknoloji artık günlük spinal cerrahi pratiğimize de girmeye başlamıştır. Bu kitapta, bu tür yenilikçi yaklaşımlar ve gelişmeler hakkında önemli bilgiler bulabilirsiniz.

Öte yandan, teknolojik ilerleme ne kadar baş döndürücü olursa olsun, hala enstrümantasyonun başarılı olmasının temel şartı, temel cerrahi prensipler ve kullanılan enstrümanın temel özelliklerinin layığıyla kavranmasından geçmektedir. Bu kitabın temel yazılım amacı budur. Özellikle temel bilgilerimizin, gelişen literatür bilgimizle , daha üst düzeye getirilmesi ,ana amacımızdır.

Bu kitapta pek çok yazar, özverili çalışmaları ile yer almaktadır. Kendilerine bu içten gayretleri için teşekkürü borç biliyorum.

Dizgi ve basımda yardımını esirgemeyen teknik ekibime teşekkür ederim.

Ayrıca üzerimde çok büyük emekleri olan, başta Prof. Dr. Mustafa K. Başkaya olmak üzere, tüm hocalarıma minnet borçluyum. Bu süreçte , bir okul, bir ekol olarak içinde bulunduğumuz, Türk Nöroşirürji Derneği Spinal ve Periferik Sinir Cerrahisi Eğitim Grubunun katkıları da tartışılmaz.

Ama her halde ,temel dayanak noktam, hayat arkadaşım, Prof. Dr. Peyker Temiz’in katkıları olmasaydı, bu kitabın basılması mümkün olmayacaktı. Kendisine içten minnetlerimi sunuyorum.

Tüm spinal topluluğumuza ve özellikle gençlerimize yararlı olması, en büyük dileğimdir!

Saygı ve selamlarımla  
Prof. Dr. Cüneyt Temiz  
02-2023 Manisa

# İÇİNDEKİLER

---

BÖLÜM 1	Türkiye’de Spinal Enstrümantasyonun Tarihi..... 13 <i>Sait NADERİ</i>
BÖLÜM 2	Mekanik ve Biyomekaniğin Temelleri..... 21 <i>Bozkurt Burak ÖZHAN</i>
BÖLÜM 3	Spinal İmplantların Elemanları..... 51 <i>Cumhur KILINÇER</i> <i>Lisa FERRARA</i>
BÖLÜM 4	Metalurji ve Alaşım Bilgisi..... 69 <i>Enver ATİK</i>
BÖLÜM 5	Klasik Üretim Yöntemleri..... 81 <i>Enver ATİK</i>
BÖLÜM 6	Katmanlı İmalat (Kİ) - Additive Manufacturing (AM)..... 93 <i>Cüneyt TEMİZ</i> <i>Peyker TEMİZ</i>
BÖLÜM 7	Cerrahide 3D Printer Destekli İmplant Üretimi ve Kaplama Yöntemleri..... 101 <i>Hasan Emre AYDIN</i> <i>Deniz AKKAYA</i> <i>Ali ARSLANTAŞ</i>
BÖLÜM 8	Biyouyumlu Malzemeler ve Mekanik Özellikleri..... 115 <i>Melis YURDDAŞKAL</i> <i>Hülya DURMUŞ</i>


<b>BÖLÜM 9</b>	<b>Biyomalzemelerin Karakterizasyonu .....</b>	<b>129</b>
	<i>Hüseyin Erdem YALKIN</i>	
<b>BÖLÜM 10</b>	<b>Patoloji ve Enstrüman Biyomekaniği.....</b>	<b>175</b>
	<i>Serdar ÇEVİK</i>	
	<i>Hakan HANIMOĞLU</i>	
	<i>Hakan BOZKUŞ</i>	
<b>BÖLÜM 11</b>	<b>Cerrahi Teknik - Enstrüman İlişkisi .....</b>	<b>187</b>
	<i>Ömer AKÇALI</i>	
<b>BÖLÜM 12</b>	<b>Enstrüman, Füzyon, Psödoartroz .....</b>	<b>197</b>
	<i>Burak TAHMAZOĞLU</i>	
	<i>Taha Şükrü KORKMAZ</i>	
	<i>Murat HANCI</i>	
<b>BÖLÜM 13</b>	<b>Osteoporotik Omurga Cerrahisinde Kullanılan İmplantlar .....</b>	<b>217</b>
	<i>Varol AYDIN</i>	
	<i>Kadir KOTİL</i>	
<b>BÖLÜM 14</b>	<b>Geçiş Bölgelerinde Enstrüman Sorunları, Yük Yoğunlaşması ve Proksimal Bileşke Sorunları.....</b>	<b>227</b>
	<i>Seymur NİFTALİYEV</i>	
	<i>Erkan KAPTANOĞLU</i>	
<b>BÖLÜM 15</b>	<b>Spinal Enstrümantasyonda Yetmezlik .....</b>	<b>237</b>
	<i>Mehdi HEKİMOĞLU</i>	
	<i>Ahmet Tulgar BAŞAK</i>	
	<i>Ali Fahir ÖZER</i>	
<b>BÖLÜM 16</b>	<b>Enstrüman Kurgusunun Komplikasyonlarla İlişkisi .....</b>	<b>255</b>
	<i>Muhammed Taha ESER</i>	
	<i>Süleyman Rüştü ÇAYLI</i>	

<b>BÖLÜM 17</b>	<b>Spinal İmplant Teknolojisi : Gelişmeler .....</b>	<b>265</b>
	<i>Cüneyt TEMİZ</i>	
	<i>Peyker TEMİZ</i>	
	<i>Mehmet EMİNOĞLU</i>	
	<i>Ömer Emre YAĞLI</i>	
<b>BÖLÜM 18</b>	<b>Spinal Araştırma Geliştirme, Sertifikasyon ve İnovasyon Süreçleri .....</b>	<b>277</b>
	<i>Cüneyt TEMİZ</i>	
	<i>Mehmet EMİNOĞLU</i>	
	<i>Ömer Emre YAĞLI</i>	
	<i>Burak TÜLÜ</i>	
<b>BÖLÜM 19</b>	<b>Spinal Cerrahide Yeni Teknolojik Gelişmeler; Teletıp, Robotik Sistemler ve Genişletilmiş Gerçeklik-Karma Gerçeklik .....</b>	<b>295</b>
	<i>Macit TERZİ</i>	
	<i>Emre BAHİR METE</i>	
	<i>Murat ZAIMOĞLU</i>	
	<i>Yusuf Şükrü ÇAĞLAR</i>	
<b>BÖLÜM 20</b>	<b>Spinal Cerrahide Enstrümantasyon ile İlgili Hekim Sorumluluğu.....</b>	<b>309</b>
	<i>H. Serdar IŞIK</i>	

## YAZARLAR

### Arş. Gör. Deniz AKKAYA

Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi,  
Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik  
Bölümü, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları  
Hemşireliği AD.

 0000-0002- 2720-667X


### Prof. Dr. Ömer AKÇALI

Dokuz Eylül Üniversite Hastanesi  
Ortopedi ve Travmatoloji AD.

 0000-0002-2823-2001

### Prof. Dr. Ali ARSLANTAŞ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Tıp  
Fakültesi, Nöroşirürji AD.

 0000-0003-4753-2779

### Prof. Dr. Enver ATİK

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi, Makina  
Mühendisliği Bölümü

 0000-0001-8250-1957

### Doç. Dr. Hasan Emre AYDIN

Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi,  
Tıp Fakültesi, Nöroşirürji AD.

 0000-0002-8932-1542

### Dr. Öğr. Üyesi Varol AYDIN

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi,  
Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi  
AD.

 0000-0001-7447-4549

### Doç. Dr. Ahmet Tulgar BAŞAK

Amerikan Hastanesi Nöroşirürji  
Bölümü

 0000-0002-7282-3079

### Prof. Dr. Hakan BOZKUŞ

Amerikan Tıp Merkezi, Nöroşirürji  
Kliniği

 0000-0002-4593-7433

### Prof. Dr. Süleyman Rüştü ÇAYLI

Medikal Park Hastanesi, Nöroşirürji  
Kliniği

 0000-0002-1763-9404

### Prof. Dr. Yusuf Şükrü ÇAĞLAR

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin  
ve Sinir Cerrahisi AD.

 0000-0003-4989-3965

**Doç. Dr. Serdar ÇEVİK**

Memorial Şişli Hastanesi, Nöroşirürji Kliniği

 0000-0002-2733-4233

**Prof. Dr. Cumhuri KILINÇER**

MD, PhD, FEBNS, DAS., Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nöroşirürji AD.

 0000-0002-8600-9553

**Prof. Dr. Hülya DURMUŞ**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

 0000-0002-7270-562X

**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet EMİNOĞLU**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroşirürji AD.

 0009-0004-5069-4669

**Op. Dr. Muhammed Taha ESER**

Abdurrahman Yurtaslan Onkoloji Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği

 0000-0002-1391-4341

**Prof. Dr. Murat HANCI**

İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi AD.

 0000-0001-9261-6686

**Prof. Dr. Hakan HANIMOĞLU**

Memorial Şişli Hastanesi, Nöroşirürji Kliniği

 0000-0002-8830-9525

**Dr. Mehdi HEKİMOĞLU**

Amerikan Hastanesi, Nöroşirürji Kliniği

 0000-0001-7759-8125

**Prof. Dr. H. Serdar IŞIK**

Ordu Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahisi AD.

 0000-0002-3393-1173

**Prof. Dr. Erkan KAPTANOĞLU**

Nöroşirürji

 0000-0002-9945-8817

**Op. Dr. Taha Şükrü KORKMAZ**

İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi AD.

 0000-0002-5678-257X

**Prof. Dr. Kadir KOTİL**

**Arş. Gör. Dr. Emre BAHİR METE**

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahisi AD.

 0000-0002-8317-0253

**Lisa FERRARA**

PhD, OrthoKinetic Technologies and OrthoKinetic Testing Technologies. Southport, North Carolina, Amerika Birleşik Devletleri

**Prof. Dr. Sait NADERİ**

İstanbul Beyin ve Omurga Merkezi

 0000-0002-6784-4270

**Prof. Dr. Ali Fahir ÖZER**


Koç Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroşirürji AD.

 0000-0002-7282-3079



**Prof. Dr. Bozkurt Burak ÖZHAN**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi, Makine  
Mühendisliği Bölümü, Mekanik AD.

 0000-0003-1261-8636

**Op. Dr. Seymur NİFTALİYEV**

Okan Üniversitesi Hastanesi,  
Nöroşirurji

 0000-0003-4267-505X

**Op. Dr. Burak TAHMAZOĞLU**

İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Tıp  
Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi AD.

 0000-0002-9248-9960

**Prof. Dr. Cüneyt TEMİZ**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp  
Fakültesi Nöroşirurji AD.

 0000-0002-9479-1426

**Prof. Dr. Peyker TEMİZ**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp  
Fakültesi Patoloji AD.

 0000-0001-6308-0157

**Dr. Macit TERZİ**

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin  
ve Sinir Cerrahisi AD.

 0000-0002-2724-1774

**Burak TÜLÜ**

Makina yüksek mühendisi Metrosan /  
Genel Koordinatör

 0009-0006-7910-6124

**Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Erdem  
YALKIN**

Deneyisel Fen Bilimleri Uygulama ve  
Araştırma Merkezi, Manisa Celal Bayar  
Üniversitesi Mekanik Test Laboratuvarı

 0000-0001-5140-525X

**Op. Dr. Ömer Emre YAĞLI**

Grand Medical Hastanesi, Beyin ve  
Sinir Cerrahisi Kliniği

 0000-0002-3737-3113

**Dr. Öğr. Üyesi Melis YURDDAŞKAL**

Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği  
Bölümü

 0000-0002-8774-3848

**Dr. Öğr. Üyesi Murat ZAIMOĞLU**

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin  
ve Sinir Cerrahisi AD.

 0000-0001-5330-1251

# BÖLÜM 1



## Türkiye’de Spinal Enstrümantasyonun Tarihi

Ali Erhan KAYALAR<sup>1</sup>  
Sait NADERİ<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Spinal cerrahi diğer disiplinlere göre görece daha kısa bir geçmişe sahiptir. 19. Yüzyılın sonlarında ve 2. Yüzyılın ilk yıllarında omurga ameliyatları genel cerrahlar tarafından yapılmıştır. 1960'lara kadar diskektomi ve dekompresif girişimlerin yanı sıra, spinal füzyon girişimleri de yapılmıştır. 1960'ların 2. Yarısında ilk servikal enstrümantasyon ve ilk Harrington girişimlerinin yapılması ile ülkemizde spinal enstrümantasyon dönemi başlatılmıştır.

### TORAKOLOMBER ENSTRÜMANTASYON

İlk internal fiksasyon yenidoğan bir bebekte torakolomber dislokasyon nedeni ile pediküller arasında gümüş telle fiksasyon yapan Wilkins tarafından 1887'de yapılmıştır (2). Bu olguyu Hadra'nın 1891'de servikal fraktürde C6-7 spinöz prosesler arasında telleme işlemi izledi (35). 1939'da Venable ve Stuck internal fiksasyon için Vitaium kullanımını önerdiler (57). William Rogers 1942'de yayınladığı makalesinde traksiyon ile redüksiyon uyguladığı olguda spinöz prosesleri telle fikse etmiştir (52).

1952'de Dr. Philip Wilson spinöz proseslerin bir tarafına greft diğer tarafına da plak yerleştirmiştir (52). Bu sistem başarısızlıkla sonuçlandı. Vidanın ilk kullanımı ise 1944'te Don King tarafından faset vidalaması ile olmuştur (43).

### HARRINGTON-LUQUE DÖNEMİ

Harrington yöntemi ilk kez 1958 yılında Dr. Paul Harrington (**Şekil 1**) tarafından yapılmış, bu konudaki ilk makaleyi 1962 yılında yayınlamıştır (37). Ülkemizde ise skoloz olgusunda ilk Harrington operasyonu Prof. Dr. Güngör Sami Çakırgil (**Şekil 2**),

<sup>1</sup> Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi Ümraniye Eğitim ve Araştırma Hastanesi Beyin Cerrahisi Kliniği, draekayalar@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., İstanbul SN Beyin Omurga Merkezi, saitnaderi@yahoo.com

Beyin ve sinir cerrahları da birçok spinal girişimde öncülük etmişlerdir. Beyin cerrahları lomber diskektomi, servikal diskektomi, servikal dar kanal gibi operasyonlarda öncü olmuşlardır.

Beyin cerrahları arasında spinal enstrümantasyona ilgi 1980’lerin sonlarında artmıştır. İlk çalışma 1989’da yayınlanmıştır (50). 1990’ların ortasında spinal Grubun kurulması ile birçok patolojide enstrümantasyon uygulanmaya başlanmıştır (45-47,54).

İlk pediatrik skolyoz girişimi 1996 yılında Dr. Zileli (Dr. Zileli ile 16.08.2016 tarihli özel görüşme) tarafından yapılmıştır. Son yıllarda birçok deformitede enstrümantasyon ve osteotomiler nöroşirürji merkezlerinde yapılmaktadır (1,6,15,19,20,31,32,39,41,48,49,60,61, 62,63,64).

## SERVİKAL ENSTRÜMANTASYON

Roy-Camille 1979’da alt servikal stabilizasyonunda lateral mass vidası kullanmıştır (53). Atlantoaksiyal füzyon amacı ile ise Galli (30) ve Brooks (12) benzer telleme ve füzyon yöntemleri tanımlamışlardır. Böhler 1982’de odontoid vidasını kullanmıştır (11).

Dünyada 1960’lı yıllardan bu yana servikal girişimler daha sık yapılmaya başlanmıştır (8,13,51). Ülkemizde de aynı yıllarda servikal cerrahiye ilgi artmış olup, 1964 yılında Cloward Türkiye’ye davet edilerek bir disk hernisi olgusunda anterior girişim uygulanmıştır (45-47). Benzer bir olgu 1968’de Dr. Gökalp tarafından GATA’da opere edilmiş ve yayınlanmıştır (34).

Bu yıllardan sonra Ankara üniversitesinde servikal instabilitede anterior girişim ve posterior girişim, keza posterior telle fiksasyon yapıldığı bilinmektedir (7,34). İlk servikal anterior enstrümantasyon Dr. Vural Bertan ve Dr. Nejat Tokgözoğlu tarafından 1967 de yapılmıştır (45-47). 1980’li yıllardan bu yana posterior oksipitoservikal ve odontoid vidalama teknikleri ülkemizde başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Akyuva Y, Çakır CÖ, Reşitoğlu G, Çaylı SR: Arnold Chiari malformasyonu ve skolyoz birlikteliği; 4 olgu sunumu [Concomitance of the Arnold Chiari malformation and scoliosis; presentation of 4 cases]. Türk Nöroşirürji Dergisi 23 (Ek Sayı): 133, 2013
2. Albertsone CD, Naderi S, Benzel EC: History of spine surgery. In: Benzel EC (Editor): Spine surgery. Techniques, complication avoidance, and management. Second edition. Elsevier Churchill Livingstone, 2005, Philadelphia, In: pp 1-21
3. Alıcı E, Berk H, Özkara M: Thoracoscopic anterior applications to the spine. Presented in III. International congress on spine surgery in Turkey, Antalya, October 2-6, 1994
4. Alıcı E, Berk H, Özkara M, Yıldız K: Thoracoscopic anterior applications to the spine. Eurospine 96. Zürich, Switzerland, 16-19 October 1996

5. Altav H: Harrington metodu ile Scolios'da korreksiyon ve içten fixation [Correction and internal fixation of Scoliosis using the Harrington method]. 2. Milli Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, İstanbul, 27-30 mayıs 1971: 103-105
6. Ateş Ö, Çaylı SR, Çakır CÖ, Durak MA, Ateş A, Koçak A, Öztürk E: Konjenital torakolomber kifotik deformitelerde posterior kama osteotomi cerrahi tekniğinin sonuçları [Results of the posterior wedge osteotomy surgical technique in congenital thoracolumbar kyphotic deformities]. Türk Nöroşirürji Derneği XXI. Bilimsel Kongresi, Antalya, 20-24 Nisan, 2007
7. Avman N, Karadayı A, Saveren M: Servikal kord travmalarında anterior dekompresyon ve füzyon (Cloward) ameliyatının yeri. AÜTFM XXIII: 1746-1753, 1970
8. Bailey RW, Badgley CE: Stabilization of the cervical spine by anterior fusion. J Bone Joint Surg (Am) 42: 565-594, 1960
9. 8. Bilsel N: Vertebra kırıklarının tedavisinde SSI metodu [The SSI method in the treatment of vertebra fractures]. 11. Milli Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, Ankara, 27-30 Eylül 1989: 81-84
10. Boucher HH: A method of spinal fusion. J Bone Joint Surg 41B: 248- 259, 1959.
11. Böhler J: Anterior stabilization for acute fractures and non-unions of the dens. J Bone and joint surg (am) 64: 18-27, 1982
12. Brooks AL, Jenkins EB: Atlantoaxial arthrodesis by the wedge compression method. J Bone Joint Surg (Am) 60: 279-284, 1978
13. Cloward RB: The anterior approach for removal of ruptured cervical disks. J Neurosurg 15: 602-617, 1958
14. Cotrel Y, Dubousset J: Nouvelle technique d'osteosynthese rachidienne segnetoire par vole posterieure. Rev Chir Orthop 70: 489-494, 1984
15. Çakır CÖ, Çaylı SR: Congenital Scoliosis. Turk Neurosurg 24: 29-37, 2013
16. Çakırgil GS: İdiopatik skolyozun ciddi eğriliklerinde Halofemoral traksiyon ve Harrington enstrumantasyonu, spinal füzyonun etkinliği [The effectiveness of Halo-femoral traction and the Harrington instrumentation, spinal fusion in severe curvatures of idiopathic scoliosis]. 11. Milli Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, Alanya, 28-30 Ekim 1985: 272
17. Çakırgil GS: Vertebral tüberkülozun tedavisinde vertebrektomi ve anterior füzyon uyguladığımız 50 vakanın değerlendirmesi [Evaluation of 50 cases in which we performed vertebrectomy and anterior fusion in treating vertebral tuberculosis]. Acta Orthop Traumatol Turc 20: 231-244, 1986
18. Çakırgil GS, Adıyaman S: İnstabil torakolumbar kırıkların konservatif tedavisi ile Harrington ve Harrington-Luque instrumentasyonun mukayeseli bir klinik çalışması [A comparative clinical study of the conservative treatment of unstable thoracolumbar fractures and the Harrington and Harrington-Luque instrumentation]. 11. Milli Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, Ankara, 27-30 Eylül 1989:299-300
19. Çaylı SR, Çakır CÖ, Öztanır N, Reşitoğlu R, Akyuva Y: İdiopatik adolosan skolyoz: 2 yıllık deneyim [Idiopathic adolescent scoliosis: a 2-year experience]. Türk Nöroşirürji Dergisi 22 (Ek Sayı): 78, 2012
20. Çaylı SR, Çakır CÖ, Öztanır N, Ateş A, Gökçek C, Yardım A: Konjenital deformitelerde olgu yönetimi: 40 olgu deneyimi [Case management in congenital deformities: an experience of 40 cases]. Türk Nöroşirürji Dergisi 22 (Ek Sayı): 56, 2012
21. Çeliker Ö, Tüzüner MM, Benli T, Çıtak M: Skolyoz cerrahisinde Cotrel-Dubousset tekniği [The Cotrel-Dubousset technique in scoliosis surgery]. 11. Milli Türk Ortopedi ve Travmatoloji kongresi, Ankara, 27-30 Eylül 1989: 288-290
22. Çeliker Ö, Tüzüner M, Benli T: The results of Cotrel Dubosset instrumentation in idiopathic scoliosis. J Turk Spinal Surg 1: 14-18, 1990
23. Çetin İ, Dinçer D, Yazar T, Mergen E, Ömeroğlu H: Cotrel Dubousset instrumentation applications. Early results. J Turk Spinal Surg 1: 22-24, 1989

24. Dinçer D: Torakolomber vertebrak kırıklarında fiksator intern [Internal fixator in thoracolumbar vertebral fractures]. XI. Milli Türk Ortopedi ve Travmatoloji kongresi, Ankara, 27-30 Eylül 1989, S: 74-76
25. Domaniç Ü, Hamzaoğlu A, Temoçin BO, Akalin Y, Taşer O: Harrington Çivileri Kullanılarak Tedavi Edilen İdiopatik Skolyozda Ameliyat Öncesi ve Sonrası Dönemlerde Pulmoner Fonksiyonların Karşılaştırılması [Comparison of Pulmonary Functions in Pre- and Post-operative Terms in Idiopathic Scoliosis Treated Using Harrington Screws]. Acta Orth Trauma Turc18: 185-191, 1984 (In Turkish)
26. Domaniç Ü, Esenkaya İ, Başkır O: İdiopatik skolyozun cerrahi tedavisinde Cotrel- Dubousset yöntemi ve erken sonuçlarımız [The Cotrel-Dubousset method in the treatment of idiopathic scoliosis and our preliminary results]. XI. Milli Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, Ankara, 27-30 Eylül 1989: 291-295
27. Domaniç Ü, Esenkaya İ, Kaygusuz MA, Şar C: The role of Cotrel Dubousset instrumentation in the surgical treatment of idiopathic scoliosis. J Turkish Spinal Surg 1: 11-13, 1990
28. Dwyer AF, Newton NC, Sherwood AA: An anterior approach to scoliosis. A preliminary report. Clin Orthop 62: 192- 202, 1969
29. Ege R: Tıp tarihinde vertebranın yeri. Rıdvan Ege (editör): Omurga. S. 1-13, Trafik Hastanesi Yayınları. Ankara, 1990
30. Gallie WE Fractures and Dislocations of Cervical Spine. Amj Surg 46: 495-499, 1939.
31. Gezercan Y, Arslan A, Ökten Aİ, Çıkılı M, Menekşe G, Bilgin E, Uysal İ, Boğa Z: Adolesan skolyoz cerrahisi: 21 Olgu [Adolescent scoliosis surgery: 21 Cases]. Spinal Deformiteler Sempozyumu, Antalya, 29 Ekim-1 Kasım 2015
32. Gezercan Y, Ökten Aİ, Çıkılı M, Menekşe G, Arslan A, Uysal İ, Boğa Z, Açık V, Olmaz B: Spinal deformite cerrahisinde osteotomiler: 30 olguluk klinik çalışma [Osteotomies in spinal deformity surgery: A clinical study of 30 cases]. Türk Nöroşirürji Derneği 30. Bilimsel Kongresi, Antalya, 8-12 Nisan 2016.
33. Good, Christopher R: Evolution in the treatment of spinal deformity and spinal instrumentation. Journal of the spinal research foundation 5: 1-25, 2010
34. Gökalp HZ: Omurga ve omurilik cerrahisinin dünü ve bugünü. Türk Nöroşirürji Bülteni Spinal Cerrahi Grubu Bülteni 11:14-20, 2000
35. Hadra BE. Wiring the spinous processes in Pott's disease. Trans Am Orthop Assoc 4:206-210, 1891
36. Hamzaoğlu A, Tözün R, Kaygusuz MA, Seyhan F: İdiopatik skolyozun cerrahi tedavisinde Drummond ve Harri-Luque yöntemleri [The Drummond and Harri-Luque methods in the surgical treatment of idiopathic scoliosis]. 11. Milli Türk Ortopedi ve Travmatoloji kongresi, Ankara, 27-30 Eylül 1989, S: 310-312.
37. Harrington PR. Treatment of scoliosis. JBJS 44A:591-610, 1962
38. Kabins MB, Weinstein JN: The history of vertebral screw and pedicle screw fixation. Iowa Orthop J 11: 127-136, 1991
39. Kaplan SÇ, Ekşi Ş, Bayri Y, Toktaş ZO, Konya D: Kyphectomy and pedicular screw fixation with posterior-only approach in pediatric patients with myelomeningocele. Pediatric Neurosurg 50:133-144, 2015
40. King D: Internal fixation of the lumbosacral fusion. J Bone Joint Surg (Am) 30: 560-565, 1948
41. Kılınçer C, Şimşek O, Hamamcioğlu MK, Çobanoğlu S: Lomber kifotik deformitenin diskektomi, fasetektomi, ve posterior osteotomi ile düzeltilmesi: olgu sunumu [Correction of lumbar kyphotic deformity through discectomy, facetectomy and posterior osteotomy: case presentation]. Türk Nöroşirürji Derneği 19. Bilimsel Kongresi, Kemer-Antalya, 27-31 Mayıs, 2005
42. Luque ER: Segmental spinal instrumentation for correction of scoliosis. Clin Orthop Relat Res 163: 192-198, 1982
43. King D: Internal fixation of lumbosacral spine. Am J Surg 66: 357, 1944

## TEMEL SPİNAL ENSTRÜMAN BİLGİSİ

44. Mohan AL, Das K: History of surgery for the correction of spinal deformity. *Neurosurg Focus* 15: 1-5, 2003
45. Naderi S, Zileli M: Türkiye'de spinal füzyonun tarihi. *J Turkish Spinal Surgery* 12: 54-59, 2001
46. Naderi S: Dünyada ve Türkiye'de spinal enstrümantasyonun tarihine bakış: İçinde: Sait Naderi (Editör): Spinal enstrümantasyon, TND SPSG yayınları, 2004, İzmir. S: 1-14
47. 69. Naderi S, Zileli M, Özer AF: Omurga cerrahisinin tarihçesi [History of spinal surgery]. İçinde: Zileli M, Özer AF (Ed). *Omurilik ve omurga cerrahisi*. İzmir, Intertıp Yayınevi, 2014: 3-16
48. Ökten Aİ, Gezercan Y, Çıkılı M, Arslan A, Uysal İ, Boğa Z, Bilgin E, Olmaz B, Millet H, Karaörs H: S2 alar iliak kanat vida ile spinopelvik stabilizasyon: Çoklu spinal füzyon ameliyatı sonrası kavşak (junctional) kifoz gelişen 7 olgu [Spinopelvic stabilisation using S2 alar iliac crest screw: 7 cases in which junctional kyphosis developed following multiple spinal fusion procedures]. *Spinal deformiteler sempozyumu*, Antalya, 29 Ekim-1 Kasım 2015
49. Ökten Aİ, Gezercan Y, Arslan A, Menekşe G, Uysal İ, Çıkılı M, Bilgin E: Spinal enstrüman cerrahisi sonrası farklı deformite gelişen hastalarda revizyon cerrahisi: 50 olgu [Revision surgery in patients developing various deformities following spinal instrumentation surgery: 50 cases]. *Spinal deformiteler sempozyumu*, Antalya, 29 Ekim-1 Kasım 2015
50. Paşaoğlu A, Orhon C, Öktem S, Uzunoğlu H, Akdemir H: Torakolomber travmalarda cerrahi yaklaşım [Surgical approach to thoracolumbar traumas]. *Türk Nöroşirurji Dergisi* 1 (Ek 1): 104-106, 1989
51. Robinson RA, Smith GW: Anterolateral cervical disc removal and interbody fusion for cervical disc syndrome. *Bull John Hopkins Hosp* 96: 223, 1955
52. Rogers WA: Treatment of Fracture-dislocation of the cervical spine. *J Bone Joint Surg Am*. 24: 245-48, 1942.
53. Roy- Camille R, Roy-Camille M, Demeulenaere C: Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses. *Presse Med* 78: 1447-1448, 1970
54. Selçuklu A, Paşaoğlu A, Akdemir H, Kurtsoy A, Erdoğan ZO: Spinal kırıklarda Harrington uygulamasının komplikasyonları [Complications of the Harrington application in spinal fractures]. *Türk Nöroşirurji Dergisi* 2: 61-63, 1991
55. Sonntag VKH: History of spinal disorders. In: Menezes AH and Sonntag VKH (ed.s): *Principles of spinal surgery*. McGraw-Hill, New York, 1996, Pp 3-23
56. Tiner M, Yüçetürk G: Kliniğimizde Harrington çubukları ile tedavi edilmiş skolyoz vakalarının sonuçları [Results of the scoliosis cases treated at our clinic using Harrington rods]. 5. Türk Milli Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi. Ankara, 19-21 Mayıs 1977, 383-387
57. Venable CS, Stüçk WG: Theuse of vitallium applliances in compound fractures. *Am J Surg* 51: 752, 1941
58. Wilson PD, Straub LR: American Academy of Orthopaedic Surgeons instructional course lecture. Vol 9 Ann Arbor, 1952
59. Wiltse LL: The history of spinal disorders. In: Frymoyer JW (ed): *The adult spine. Principles and practice*. Lippincott-Raven, Philadelphia, 1997, Pp 3-40
60. Yaman O, Dalbayrak S: İdiopatik skolyoz [Idiopathic scoliosis]. *Türk Nöroşirurji Dergisi* 23 (ek 1): 37-51, 2013
61. Yaman O, Dalbayrak S: Kifoz. Tanı, gruplama ve tedavi yöntemleri [Kyphosis]. *Türk Nöroşirurji Dergisi* 23 (Ek 1): 61- 73, 2013
62. Yılmaz B, Ekşi MŞ, Işık S, Özcan Ekşi EE, Orkun Z, Toktaş A, Konya D: Magnetically controlled growing rod in early-onset scoliosis: A minimum of 2-year follow-up. *Pediatric Neurosurg* DOI: 10.1159/000448048, 2016
63. Yılmaz T, Gökçe A, Naderi S, Yaman O, Dalbayrak S: School screening of adolescent idiopathic scoliosis in 7928 Turkish children. *J Turk Spinal Surg* 27: 135-142, 2016
64. Zileli M: Surgery for kyphosis: Advances and Technical Standards in Neurosurgery, 41: 71-103, 2014

# BÖLÜM 2



## Mekanik ve Biyomekanik'in Temelleri

Bozkurt Burak ÖZHAN<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Kelime kökeni (etimoloji) açısından ele alınacak olursa, "Biyomekanik", "biyo" kökü ile "mekanik" kelimesinin birleşmesinden meydana gelmiştir. Kelimenin tam karşılığı Türk Dil Kurumu (TDK) Türkçe Sözlük'te "*Biyoloji, fizyoloji ve tıp konularını mekanik kanunlar yöntemiyle irdeleme*" olarak verilmiştir (1). Kelimenin Fransızca "*Biomécanique*" kelimesinden geldiği belirtilmiştir. Bu kelime de Antik Yunan medeniyetine dayanan "yaşam (βίος)" ve mekanik (μηχανική) kelimelerinin birleşimidir (2). Burada "biyo" eki eklendiği kelimeye canlı ya da canlıya dair olma anlamını katar. Bu açıdan bakılırsa "Biyomekanik", biyolojik sistemlere mekanik prensiplerinin uygulanması olarak tanımlanabilir. Biyolojik sistemden kasıt, canlı dokulardan (living tissues) meydana gelmiş sistem olmasıdır. İçeriği canlı dokuların mekanik özellikleri olarak verilir (3). Biyomekanik, "Biyomühendislik" alanının bir dalı olarak konumlandırılabilir. Biyomühendislik ise temel bilimler, mühendislik ve teknolojinin tıp alanındaki tasarım ve üretimlerde kullanıldığı, fizyoloji ve biyoloji alanlarındaki problemlerin ortaya konulup (modellenip) çözümlerin geliştirildiği çok disiplinli bir alan olarak tanımlanır (4).

Biyomekanik çalışmaların tarihsel izlerini takip etmek için düşünce ve felsefenin tarihiyle birlikte ilerlemekte fayda vardır. Bu mânâda, biyomekanik çalışmalar, Antik Yunan medeniyetlerine kadar ulaşan tarihsel arka planda belirmektedir. Aristoteles'in (M.Ö.384-M.Ö.322) *Hayvanların Hareketleri Üzerine* (2) adlı eseri ilk biyomekanik çalışma olarak değerlendirilebilir. Antik Çin'de "Savaşan Devletler Dönemi (Warring States Period)" olarak adlandırılan dönemde (M.Ö.475-M.Ö.221) anonim yazarlarca yazıldığı ortaya konulan *Nei Jing* adlı eser de anılmaktadır (3). Archimedes (M.Ö. 282-M.Ö.212) kendi adıyla anılan prensibin sayısız uygulama alanlarının içerisinde spor biyomekaniği olarak adlandırılan ve biyomekanik alanının bir konu-

<sup>1</sup> Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mekanik AD., burak.ozhan@cbu.edu.tr

### KAYNAKLAR

1. Türkçe Sözlük, Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu, Türk Dil Kurumu 2005
2. Innocenti, B., Biomechanics: a fundamental tool with a long history (and even longer future!) Muscles, Ligaments and Tendons Journal 492 2017;7 (4):491-492
3. Fung, Y.C., Biomechanics : mechanical properties of living tissues Springer-Verlag New York, Inc. s1993
4. Nordin, M., Frankel, V.H., ; Dawn Leger Basic biomechanics of the musculoskeletal system, Lippincott Williams & Wilkins 2012
5. Stewart, J., Day, T., Biocalculus: Calculus, Probability, and Statistics for the Life Sciences, Cengage Learning 2016
6. İnan, M. Statik Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası 1999
7. Özkaya, N., Goldsheyder, D., Nordin, M., Leger, D., Fundamentals of Biomechanics Equilibrium, Motion, and Deformation, Springer 2017
8. Rantalainen, T., Klodowski, A., Estimating Lower Limb Skeletal Loading, Theoretical Biomechanics (Ed.Vaclav Klika), Intech 2011
9. Tözeren, A., Human Body Dynamics: Classical Mechanics and Human Movement, Springer-Verlag New York 2000
10. Akter, F., Tissue Engineering Made Easy, Elsevier Academic Press 2016
11. Bangash M.Y.H., Al-Obaid, Y.F., Bangash, T., Bangash, F.N., Trauma - An Engineering Analysis, Springer 2007
12. Korhonen, R., K., Saarakkala, S., Biomechanics and Modeling of Skeletal Soft, Theoretical Biomechanics (Ed.Vaclav Klika), Intech 2011
13. Sancho-Bru J.L., González, A.P., Mora, M.C., León, B.E., Vergara, M., Iserte, J.L., Cervantes, P.J.R., Morales, A., Towards a Realistic and Self-Contained Biomechanical Model of the Hand, Theoretical Biomechanics (Ed.Vaclav Klika) Intech 2011
14. Humphrey, J.D., O'Rourke, S.L., An Introduction to Biomechanics Solids and Fluids, Analysis and Design, Springer 2015
15. Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, McGraw-Hill Education, 2018
16. Waite L., Fine J., Applied Biofluid Mechanics, McGraw-Hill 2007
17. Yang, K.H., Basic Finite Element Method as Applied to Injury Biomechanics, Elsevier 2018
18. Hatipoğlu, M.T., Anatomi ve Fizioloji, Hatiboğlu Yayınevi 2017
19. Hall, S.J., Basic Biomechanics, McGraw-Hill Education 2019
20. Cronin, D.S., Singh, D., Gierczycka, D., Barker, J., Shen, D. Modeling the Neck for Impact Scenarios, Basic Finite Element Method as Applied to Injury Biomechanics, Elsevier 2018
21. O'Reilly, M.A., Whyne, C.M., Comparison of Computed Tomography Based Parametric and Patient-Specific Finite Element Models of the Healthy and Metastatic Spine Using a Mesh-Morphing Algorithm, SPINE Volume 33, Number 17, pp 1876–1881
22. Schmidt, H., Kettler, A., Rohlmann, A., Claes, L., ve Wilke, H.J., The risk of disc prolapses with complex loading in different degrees of disc degeneration – A finite element analysis, Clinical Biomechanics 22 (2007) 988–998



# BÖLÜM 3

## Spinal İmplantlar

### Çeşitleri, Fiziki Yapıları ve Komponentleri



Cumhur KILINÇER<sup>1</sup>

Lisa FERRARA<sup>2</sup>

## GİRİŞ

Değişik omurga bölgelerine uygulandıkları (oksipito-servikal, servikal, torasik, lumbosakral) ve kompleks omurga anatomisine uyum sağlamaları gerektiği için spinal implantlar çok çeşitlidir. Bununla birlikte, fiziki yapıları ve omurgayla olan ilişkileri göz önüne alınırsa spinal implantlar yedi temel gruba ayrılabilir (9):

1. **Anterior fiksasyon cihazları:** Plak-vida, rod-vida sistemleri, vida-tether sistemleri.
2. **Posterior fiksasyon cihazları:** Rod-vida, plak-vida, rod-kanca, rod-tel sistemleri, bunların kombinasyonları, telleme, klemler.
3. **Kafes ve diğer interbody fiksasyon cihazları:** Korpektomi ve diskektomi kafesleri, diğer interbody füzyon cihazları, Akrilik-tel uygulamaları.
4. **Oksipitoservikal fiksasyon cihazları:** Plak-vida, rod-vida, rod-tel sistemleri.
5. **Sakroiliak fiksasyon cihazları:** Rod-vida sistemleri ve sakral protezler.
6. **Yapay intervertebral diskler:** Servikal ve lomber disk protezleri.
7. **Diğer spinal implantlar:** Spinöz süreç yastıkları, faset eklem protezleri ve diğerleri, tek başına vida uygulamaları (dens vidaları, faset eklem vidaları)

Pek çoğu yaygın kullanılan, bazıları ise henüz deneme-geliştirme aşamasında olan ve her geçen gün çeşidi artan tüm bu spinal implantları incelemek bölümümüzün sınırlarını aşar. Bunun yerine elemanter bir yaklaşım uygulayacak ve çoğu spinal implantın bileşenlerini oluşturan rod, plak, vida, kanca ve tel gibi parçaları ayrı ayrı inceleyeceğiz. Bölümün sonunda da bu elemanların birbirleriyle ilişkilerini inceleyen bağlantılara değineceğiz.

<sup>1</sup> Prof. Dr., MD, PhD, FEBNS, DAS, Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nöroşirürji AD., ckilincer@hotmail.com

<sup>2</sup> PhD, OrthoKinetic Technologies and OrthoKinetic Testing Technologies. Southport, North Carolina, Amerika Birleşik Devletleri

## KAYNAKLAR

1. Alexander Lill C, Schlegel U, et al: Comparison of the in vitro holding strengths of conical and cylindrical pedicle screws in a fully inserted setting and backed out 180 degree. *J Spine Disord* 13(3):259-266, 2000
2. Benzel EC: *Biomechanics of Spine Stabilization*. Thieme Medical Publishers, 2001, pp 143-154
3. Brantley AGU, Mayfield JK, et al: The effects of pedicle screw fit. *Spine* 19:1752-1758, 1994
4. Claes L: The mechanical and morphological properties of bone beneath internal fixation plates of differing rigidity. *J Orthop Res* 7:170, 1989
5. Cochran GVB: *Biomechanics of orthopaedic Structures*, in *Primer in Orthopaedic Biomechanics*. Churchill Livingstone, New York, 1982, pp 143-215
6. Daftari TK, Horton WC, Hutton WC: Correlations between screw hole preparation, torque of insertion, and pullout strength for spinal screws. *J Spinal Disord* 7(2):139-145, 1994
7. DeCoster TA, Heetderks DB et al: Optimizing Bone Screw Pullout Force. *J Orthop Trauma* 4(2):169, 1990
8. Hutzschenreuter P, Brummer H: Screw design and stability, in H Uthoff (ed): *Current concepts of Internal Fixation*. Berlin: Springer-Verlag, 1980, pp 244-250
9. Kılınçer C, Ferrara LA: Spinal implantların elemanları, in Naderi S (ed): *Spinal biyomekanik*. İzmir, Türk Nöroşirürji Derneği Spinal Cerrahi Grubu Yayınları, Meta Basım, 2003, s 171-187
10. Kohn D, Rose C: Primary stability of interference screw fixation. Influence of screw diameter and insertion torque. *Am J Sports Med* 22(3):334-338, 1994
11. Kwok AW, Finkelstein JA, Woodside T, Hearn TC, Hu RW: Insertional torque and pull-out strengths of conical and cylindrical pedicle screws in cadaveric bone. *Spine* 21(21):2429-2434, 1996
12. Perren SM: Basic aspects of internal fixation, in M Muller, M Allgower, R Schneider, H Willenegger (eds): *Manual of Internal Fixation*. 3rd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1991, pp 1-112 (1)
13. Perren SM: The biomechanics and biology of internal fixation using plates and nails. *Orthopaedics* 12(1):21, 1989 (2)
14. Schatzker J, Sanderson R, Murnaghan IP: The holding power of orthopaedic screws in vivo. *Clin Orthop* 108:115, 1975
15. Taitsman JP, Saha S: Tensile strength of wire-reinforced bone cement and twisted stainless-steel wire. *J Bone Joint Surg*. 59A:419, 1977
16. Tencer AF, Johnson KD, Kely RF et al: Biomechanics of fractures and fracture fixation, in JD Heckman (ed): *Instructional Course Lectures The American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 1993, pp 19-55
17. Weinstein AM, Spiers WP Jr, Klawitter et al: Orthopaedic implant retrieval and analysis study, in BC Syrett, A Acharya (eds): *Corrosion and Degradation of Implant Materials*. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials Tech. Pub. No. 684, 1979, pp 212-228
18. Zdeblick TA, Kunz DN, Cooke ME, McCabe R: Pedicle screw pullout strength. Correlation with insertional torque. *Spine* 15;18(12):1673-1676, 1993

# BÖLÜM 4

## Metalurji ve Alaşım Bilgisi



Enver ATİK<sup>1</sup>

### MALZEMELER VE SINIFLANDIRILMASI

Malzemeler, atomların farklı düzen ve dizilişlerde bir araya gelmesiyle oluşurlar. Malzemelerin özellikleri atom dizilişlerinin yanı sıra atomlararası bağ kuvvetleriyle de oluşur. Genel olarak malzemeleri **metaller**, **seramik malzemeler** ve **plastik malzemeler** olarak gruplamak mümkündür. Bu sınıflandırmada malzemelerin kimyasal bileşimi, atom yapısı ve atomlar arası bağ yapısı dikkate alınır. Bu üç malzeme grubunun yanı sıra iki veya daha fazla malzemenin iyi özelliklerinden yararlanmak üzere kompozit malzemeler de oluşturulmaktadır.

### METALLER VE ALAŞIMLARI

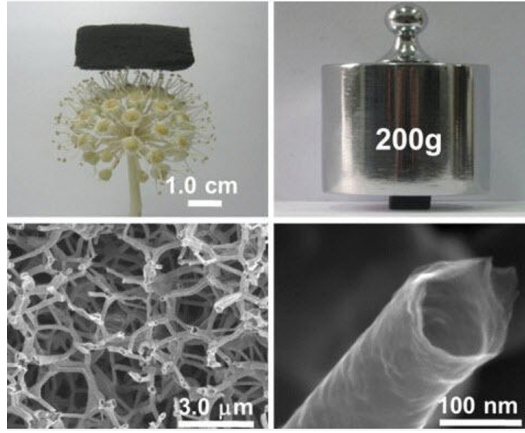
Metallerde etkili olan metalik bağ nedeniyle, **metaller** ısıyı iyi iletmeleri, elektrik iletkenliklerinin yüksek oluşu, plastik şekil verilebilme özellikleriyle bilinirler (Şekil 1). Metal ve metal alaşımlarında atomlar belirli düzenlerde dizilirler (Şekil 2). Bu atom dizilişleri metallerin seramik ve polimer malzemelerden daha yüksek yoğunluğa sahip olmasının da nedenidir. Yine bu atom dizilişleri ve atom bağları nedeniyle metal ve metal alaşımları nispeten diğer malzeme gruplarına göre daha yüksek dayanıma ve kırılmadan daha fazla şekil değiştirme yeteneği olarak tanımlanan sünekliklere sahip olmalarını da sağlar.

İki veya daha fazla elementten oluşan metalik malzemelere **alaşım** denir. Demir, alüminyum, titanyum, bakır, nikel, altın gibi bir veya birden fazla elementin oluşturduğu alaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Alaşımı oluşturacak elementlerin cinsi, oranı, soğuma şekilleri alaşımın iç yapısını, kristallerin cinsini ve şekillerini, böylece alaşımın teknik özelliklerini büyük ölçüde belirler (Şekil 3) (1).

<sup>1</sup> Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, enver.atik@cbu.edu.tr

Yeni malzemelerin insanlar ve hayvanlar üzerindeki zararlı ve toksik etkileri dikkate alınmaktadır. Nano parçacıkların yzey alanı/hacim oranları bzyk olduğu için, daha kolay kimyasal reaksiyona girebilmektedirler. Nanomalzemelerin sağlık üzerindeki etkileriyle ilgili bilimsel araştırmalar devam etmektedir. Bu malzemelerin kk boyutlu olmaları nedeniyle deri, akciğer ve sindirim sistemi yoluyla hızlı bir Şekilde vücut tarafından emilebilecekleri ve yeterli konsantrasyonlarda bulunmaları durumunda, akciğer ya da DNA hasarı gibi sağlık riskleri içerdikleri konusunda endişeler bulunmaktadır (9).



Şekil 17. Nanomalzeme rnekleri.

## KAYNAKLAR

1. Demirci, A. Halim. *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi-Seçilmiş Temel Kavramlar ve Endüstriyel Uygulamalar*. Bursa : Alfa Basım Yayım, 2004.
2. *Kompozit Malzemeler Ve zellikleri*. Kaya, A. İ.,: <https://www.researchgate.net/publication/312332966>
3. Köse, N. Biyomalzemeler ve İmplantlara Biyolojik Yanıt. <http://www.totbid.org.tr/upload/files/Modul1-BiyomalzemeveBiyomekanikBiyolojikYanit.pdf>. *Temel Bilimler ve Araştırma Kitabı*.
4. *Akıllı Malzeme Şekil Hafızalı Alaşımların Termodinamiği*. akmak,  ve Kaya, M. : Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2017, Cilt 6.
5. M., Kaya. *Toz metalürjisi ile üretilen Şekil hatırlamalı alaşımların metalürjik ve mekanik karakteristiklerinin incelenmesi*. Elazığ : Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 2008.
6. *Şekil hafızalı alaşımlarda martensitik faz dönüşümü ve Şekil hafıza mekanizması*. Kaya M., akmak ., Saygılı T., Atlı K.: Selçuk Üniversitesi, Teknik-online dergi, 2016, Cilt 15.
7. Ryhanen, J. *Biocompatibility evaluation of nichel titanium shape memory metal alloy*. Oulu : Oulu university library, PhD. Thesis, 1999.
8. *Şekil Hatırlamalı CoNiAl Alaşımlarının Kristalografik zellikleri*. Eskill, M., Seval, E., Akis, A.. : Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2014, Cilt 30.
9. Callister, W., D., Rethwisch, D., G. *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*. Çeviri Editörü: Prof. Dr. Keenan Genel : Nobel, 2008.

# BÖLÜM 5

## Klasik Üretim Yöntemleri



Enver ATIK<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Ham maddeyi işleyerek şekil vermeye veya herhangi bir maddeyi mamul haline getirmeye “üretim” ve bu iş için uygulanan yöntemlere “üretim yöntemleri” denir. İşleme sonunda elde edilen maddeye de “ürün/mamul” adı verilir.

Sözü geçen bu yöntemler ve kullanılan araçlardan bahseden bilim dalına “teknoloji” denir. Boru, masa, kalem, kumaş gibi çeşitli cisimler mamul maddedir. Ham madde ise bunların yapılmasında veya herhangi bir üretimde kullanılan ilk maddedir. Örneğin, kalem yapımında ağaç, kumaş dokunmasında iplik hammaddedir. Çelik üretiminde demir filizleri hammadde olduğu halde, makine imalinde çelik hammaddedir. Bu örnekte görüldüğü üzere, çelik üretiminde çelik mamul madde iken, makine imalatında hammadde olmaktadır. O halde bir cismin ham veya mamul madde oluşu kesin olmayıp, imalat durumuna bağlıdır.

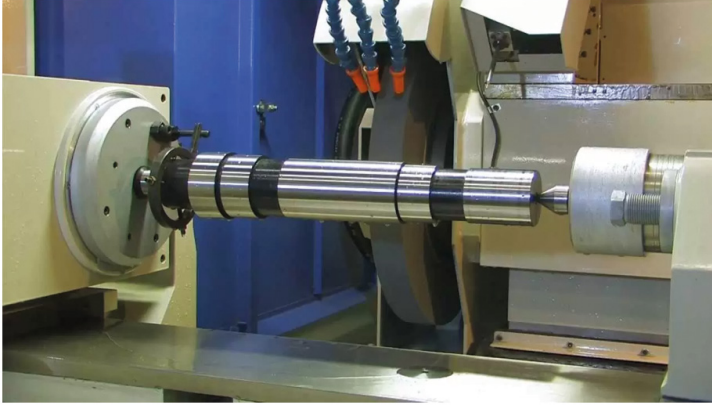
Genel anlamda, özellikle makine sanayisinde hammadde denilince demir, çelik, bakır gibi elde edilmiş fakat henüz işlenmemiş maddeler anlaşılacaktır.

Her ne kadar “üretim” ile “imalat” kelimeleri aynı anlamda kullanılıyor olsa da bir maddeyi (hammaddeyi) doğadan elde etmeye “**üretmek**”, üretilmiş bir maddeyi işleyerek, şekil vererek bir ürün elde etmeye “**imalat (imal etmek)**” ve bu şekil verme işine de “**işlemek**” denmektedir. Örneğin, yuvarlak bir çelikten civata yapılması civata imalatı olup yapılan bu şekil değiştirme de “işlemek”tir. Üretim sırasında cisimlerin şekli veya bileşimi veya her ikisi de değişebilir. Bu bakımdan teknoloji mekanik ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılır. “**Kimyasal teknoloji**”, cisimlerin bileşimlerini değiştiren yöntemleri inceler. Cisimlerin bileşimi değişmeden ısı, vurma, kesme gibi mekanik etkilerle şekil değiştirmelerini de “**mekanik teknoloji**” inceler. Burada mekanik teknoloji üzerinde durulacaktır. Bu teknolojinin konusu da kısaca cisimlere şekil vermektir. Bu şekillendirme başlıca dört yöntemle yapılır:

<sup>1</sup> Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, enver.atik@cbu.edu.tr

### Taşlama

Genellikle yüzey kalitesini sağlamak için yapılan son işlemdir. Taşlama taşı ve iş parçası değişik hareketler yapabilmektedir. Yukarıda açıklanan torna, planya ve freze tezgâhlarında işlenen parçaları taşıyabilen çok değişik taşlama tezgâhları vardır. Burada kesici takım, genel olarak silindirik yapılmış ve dönerek çalışan "**taş**"tır. Taş, ince ve sert tanelerin yapıştırılmasıyla elde edilir. Çok sert yüzeyler, bu işlemlerle taşlanır ve çok düzgün yüzeyler elde edilir (Resim 3).



Resim 3. Silindirik taşlama.

### KAYNAKLAR

1. [Modern İmalatın Prensipleri- 4. Basımdan Çeviri, Mikell P. Groover, Çev. Ed.: M. Yurdakul, Y. T. İç, Nobel Yayınevi]

# BÖLÜM 6

## Katmanlı İmalat (Kİ) - Additive Manufacturing (AM)



Cüneyt TEMİZ<sup>1</sup>  
Peyker TEMİZ<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları ile tasarlanan 3 boyutlu verinin katman katman basılmasını sağlayan teknolojiye Katmanlı İmalat (Additive Manufacturing-AM) denir. ASTM F2792 standardı ile terminolojisi "Additive Manufacturing Technology Standards" olarak belirlenmiştir. Katmanlı imalat ile, 3 boyutlu veriyi çok kısa süre içinde, kalıp ve model ihtiyacı olmaksızın üstün kalitede; metal, seramik, kompozit, hibrit ve plastik (polimer) malzemeler üretilebilmektedir. Üretilen parçaların prototip, model veya son (nihai) ürün olarak kullanılmaktadır (1). Bu teknoloji ile üretilen parçanın yapısal ve mekanik karakterizasyonu geleneksel yöntemler (döküm, plastik şekil verme, talaşlı imalat ve kaynak gibi) ile üretilen parçalardan kısmen farklıdır (2). Katmanlı imalat, tasarım ve imalat aımasında diğer üretim yöntemlerine göre birçok avantaj sağlar. Aynı zamanda üretim sürecinde oluşan maliyetlerin azaltılmasını sağlarken, teknolojinin diğer avantajları ise şu şekildedir;

- Hızlı prototipleme ve optimizasyon yapma imkanı sağlar,
- Analiz yapma, tasarım döngüsü belirleme ve karmaşık parçaları üretme süreçlerini hızlandırır,
- Multifonksiyonel ve karmaşık parça üretilebilir,
- Yüksek oranda enerji tasarrufu sağlar,
- İmalat makinelerinin sayısını ve imalat sürecindeki proseslerin azalmasına yardımcı olur,
- Daha yaratıcı çalışmalar yapmaya imkan verir,
- Üretim maliyetleri ve giderleri azalırken ürünlerdeki fire sayısı düşer,
- Ürünlerin daha kullanışlı ve düşük ağırlıkta olmasını sağlar (3).

Bu avantajların yanında bu teknolojinin destek yapıları için harcanan malzeme ve enerji, tasarım kurallarının bilinmememesi, ısıl gerilim ve deformasyon gibi de-

<sup>1</sup> Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroşirürji AD, temiz2@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Patoloji AD., peykerdemireli@gmail.com

## SONUÇ/YORUM

Biyomedikal alanda ise ilerleyen yıllarda daha da artacak olan pazar payı ile tıp alanında kişiye özel üretimler ile 3B baskı ürünlerinin hem prototip hemde nihai ürün olarak kullanımı olması beklenmektedir. Tercih edilme sebepleri arasında ise kişiye özel ve küçük hacimli üretim ile 3B Baskı teknolojisi büyük bir güce sahiptir. İmplantların tam bir hassasiyetle ve kısa zamanda üretilebilmesi büyük bir avantaj sağlamaktadır (35,36). Her bireyin anatomik olarak farklı olması. canlılar için standart bir ürün kavramının olmamasına sebebiyet vermektedir. Girişim gerektiren tıbbi olay ve vaka da kişiye özel üretim gerektirdiğinden 3B Baskı teknolojisi hem cerrah hemde hasta için istenilen tüm gereklilikleri karşılar ve yaşam kalitesini artırır. Pazara çıkış sürelerini azaltarak, ürün kalitesini artırmak ve maliyeti azaltmak için her ölçekteki firmalar, hızlı ürün geliştirmek için ana araç olarak katmanlı imalata yönelmektedir (37). Bugün birçok kişiye özel protezler ve milyonlarca diş implantı 3B baskı teknolojisi ile üretilmektedir. Bu yöntem ile çok karmaşık geometriler, tıpta genel ve kişiye özel amaçlar için implantlar üretilir (38). Halen, 3B baskı teknolojisinin araştırılmasında bir dizi sağlık uygulamasına odaklanan yoğun bir hedefi bulunmaktadır. Bu hedefler arasında biyo mühendisliği yapılmış kan damarları (39,40) biyomedikal malzemeler, diş ve ortopedik cerrahi için aletler (41,42) bulunmaktadır. Tıpta, 3B baskı ve biyoplastikler cerrahi planlamada, anatomik ve cerrahi modellerin oluşturulmasında, yapay ve protez cihazların, özel ilaç tedavilerinin, biyo ve tıbbi implantların ve hatta insan doku ve organlarının üretilmesinde kullanılmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Giannatsis, J., Dedoussis, V. (2009). Additive Fabrication Technologies Applied To Medicine And Health Care: A Review, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 40, 116-127.
2. Zhang, L.-C., Han, M., Huang, S.-H., 2003. CS File – An Improved Interface Between CAD and Rapid Prototyping Systems. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 21,15–19.
3. Deckard, C., 1989. Method and apparatus for producing parts by selective sintering. US Patent 4,863,538, filed 17 October 1986, published 5 September 1989.
4. King, D., Tansey, T., 2002. Alternative materials for rapid tooling. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 121, 313–317.
5. Partee, B., Hollister, S.J., Das, S., 2006. Selective Laser Sintering Process Optimization for Layered Manufacturing of CAPA® 6501 Polycaprolactone Bone Tissue Engineering Scaffolds. *Journal of Manufacturing Science and Engineering(ASME)*, Vol. 128, 531-540.
6. Lohfeld S., McHugh P., Serban D., Boyle D., O'Donnell G., Peckitt N. Engineering Assisted Surgery™: A route for digital design and manufacturing of customised maxillofacial implants, *Journal of Materials Processing Technology*, 183, 333–338, (2007).
7. Jun Y., Choi K., Design of patient-specific hip implants based on the 3D geometry of the human femur, *Advances in Engineering Software*, 41, 537–547, (2010).
8. Lipson, H. ve Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. Indianapolis, IN: John Wiley & Sons, Inc.



9. E.M. Lawrence, M.G. Sara, M. Edwin, M. Frank, B.W. Ryan B., Next generation orthopaedic implants by additive manufacturing using electron beam melting, *Int. J. Biomater.* 2012, 14 article ID 245727, doi:10.1155/2012/245727.
10. L.B. Bourell, C.L. Leu, W.D. Rosen, Roadmap for additive manufacturing identifying the future of freeform processing, The University of Texas at Austin, Laboratory for Freeform Fabrication, Advanced Manufacturing Center, 2009.
11. Wüst S, Müller R, Sandra H (2011) Controlled positioning of cells in biomaterials-approaches towards 3D tissue printing. *J Funct Biomater* 2: 119-154.
12. Guillotin B, Guillemot F (2011) Cell patterning technologies for organotypic tissue fabrication. *Trends Biotechnol* 29: 183-190.
13. Jakab K, Norotte C, Marga F, Murphy K, Vunjak-Novakovic G, et al. (2010) Tissue engineering by selfassembly and bio-printing of living cells *Biofabrication* 2: 1-14.
14. Izadifar Z, Chen X, Kulyk W (2012) Strategic design and fabrication of engineered scaffolds for articular cartilage repair. *J Funct Biomater* 3: 799-838.
15. Brian Derby. Printing and Prototyping of Tissues and Scaffolds. *Science*, Vol. 338 no. 6109 (2012) pp. 921926.
16. Melchels FPW, Domingos MAN, Klein TJ, Malda J, Bartolo PJ, Huttmacher DW, Additive Manufacturing of Tissues and Organs, *Progress in Polymer Science* (2010).
17. Mironov V., V. Kasyanov, C. Drake, R.R. Markwald. Organ printing: promises and challenges. *Regen Med. Jan;3(1)* (2008) 93-103.
18. Gartner's 2014 Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918>.
19. Murphy, S. V. & Atala, A. (2014) "3d bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*."
20. Zopf DA, Hollister SJ, Nelson ME, Ohye RG, Green GE (2013) Bioresorbable airway splint created with a three-dimensional printer. *N Engl J Med* 368: 2043-2045.
21. Urgan I, Chiu L, Pierce A (2013) Three-dimensional drug printing: a structured review. *J Am Pharm Assoc* (2003) 53: 136-144.
22. 3D printers could create customized drugs on demand. *BBC News*, 18 April 2012.
23. The 'chemputer' that could print out any drug. *Kurzweil Accelerating Intelligence*, 26 July 2012
24. Weisman JA, Nicholson JC, Tappa K, Jammalamadaka U, Wilson CG, et al. (2014) Antibiotic and chemotherapeutic enhanced 3D printer filaments and constructs for biomedical applications. *Int J Nanomedicine* 10:357-370.
25. Nicholson C, Weisman, J, Mills DK, Wilson C (2015) A low cost tabletop method for manufacturing and 3D printing metal, ceramic, and bioactive enhanced filaments. *PLOS One* (in press).
26. Murphy SV, Atala A (2014) 3D bioprinting of tissues and organs. *Nat Biotechnol* 32:773-785.
27. C. M. Light, P. H. Chappell, and P. J. Kyberd, "Establishing a standardized clinical assessment tool of pathologic and prosthetic hand function: Normative data, reliability, and validity," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 83, no. 6, pp. 776–783, Jun. 2002.
28. A. J. Sitek, G. T. Yamaguchi, D. E. Herring, C. J. Willems, D. Boninger, and R. M. Boninger, "Development of an inexpensive upper-extremity prosthesis for use in developing countries," *JPO J. Prosthetics Orthot.*, vol. 16, no. 3, 2004.
29. Hayhurst C (2014) Is this the future of medical technology? *Biomedical Instrumentation & Technology* 48: 14-23.
30. McMenamin PG, Quayle MR, McHenry CR, Adams JW (2014) The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anat Sci Ed* 7: 479-486.
31. Kung TA, Bueno RA, Alkhalefah GK, Langhals NB, Urbanchek MG, et al. (2013) Innovations in prosthetic interfaces for the upper extremity. *Plast Reconstr Surg* 132:1515-1523.

32. Krassenstein D (2014) Man compares his \$42k prosthetic hand to a \$50 3D printed cyborg beast. 3D Printer & 3D Printing News.
33. Ventola CL (2014) Medical applications for 3D printing: current and projected uses. P T 39: 704-711.
34. Banks J (2013) Adding value in additive manufacturing: Researchers in the United Kingdom and Europe look to 3D printing for customization. IEEE Pulse 4:22-26.
35. Selimovic S, Saedinia S, Mehmet S, Dokmeci R, Khademhosseini A (2012) Microfabricated microvasculature networks. Lab Chip 12: 3217-3220.
36. Derby B (2012) Printing and Prototyping of Tissues and Scaffolds. Science 338: 921-925.
37. Bose S, Vahabzadeh S, Bandyopadhyay A (2013) Bone tissue engineering using 3D printing. Materials Today 16: 497-504.
38. Landers R, Mülhaupt R (2000) Desktop manufacturing of complex objects, prototypes and biomedical scaffolds by means of computer-assisted design combined with computer-guided 3D plotting of polymers and reactive oligomers. Macromol Mat Eng 282: 17-21.
39. Ozbolat IT, Yu Y (2013) Bioprinting toward organ fabrication: challenges and future trends. IEEE Trans Biomed Eng 60: 691-699.
40. Hayhurst C (2014) Is this the future of medical technology? Biomedical Instrumentation & Technology 48: 14-23.
41. McMenamin PG, Quayle MR, McHenry CR, Adams JW (2014) The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. Anat Sci Ed 7: 479-486.
42. Kung TA, Bueno RA, Alkhalifah GK, Langhals NB, Urbanchek MG, et al. (2013) Innovations in prosthetic interfaces for the upper extremity. Plast Reconstr Surg 132:1515-1523.

# BÖLÜM 7

## Cerrahide 3D Printer Destekli İmplant Üretimi ve Kaplama Yöntemleri



Hasan Emre AYDIN <sup>1</sup>

Deniz AKKAYA <sup>2</sup>

Ali ARSLANTAŞ <sup>3</sup>

### GİRİŞ

Yaşadığımız dünyada gelişen teknoloji yaşam kalitesini arttırabilecek ve insanların konfor alanını genişletebilecek tüm alanlarda dinamik bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu dinamiklik insanları sürekli gelişmeye, değişime ve yeniliğe sevk etmektedir. İnsanın yenilikçi ve girişimci yapısı yadsınamaz bir gerçektir. Girişimciliğin yol açtığı bu durum sayesinde üç boyutlu yazıcı ve biyoyazıcı baskı teknolojileri hayatımızda önemli bir yer almaya başlamıştır. (1,2)

Üç boyutlu yazdırma işlemi, çeşitli grafik tasarım programları ile bilgisayar ortamında hazırlanan üç boyutlu dosyadan üç boyutlu somut, katı nesnelere elde etme sürecidir. Başka bir deyişle üç boyutlu objeleri somut hale dönüştürebileceğiniz hızlı prototip üretme işlemidir. Nesnelere üreten makineler üç boyutlu yazıcı olarak adlandırılır. Üç boyutlu yazıcı bilgisayar verisini somut, gerçek, elle tutulabilir bir nesneye dönüştüren makinedir. (2)

Üç boyutlu yazdırma eylemini gerçekleştirmek için öncelikle üretilecek implantın üç boyutlu tasarım programlarında modellenip çizilmesi gerekmektedir. Bu modellemeler Blender, 3DS MAX, AutoCAD gibi bilgisayar destekli profesyonel üç boyutlu yazılımları ya da Tinkercad, SketchUp gibi web tabanlı tasarım yazılımları ile gerçekleştirilebilir. (7, 8) Model tasarlanıp çizildikten sonra dışarıya aktarılıp kaydedilerek bilgisayar üzerinde dosya oluşturulur. Modeli oluşturan dosya genellikle OBJ ya da STL uzantılı dosya olarak kaydedilir ve üç boyutlu yazıcı düzenleme ve dilimleme programına gönderilir. Model bu program vasıtasıyla dilimlenerek katmanlara ayrılır ve 3 boyutlu yazıcının anlayacağı dil olan "gcode" dosyası oluşturu-

<sup>1</sup> Doç. Dr., Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Nöroşirürji AD., dremreaydin@gmail.com

<sup>2</sup> Arş. Gör., Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği AD., denizdone.akkaya@ksbu.edu.tr.

<sup>3</sup> Prof. Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Nöroşirürji AD., draliarslantas@gmail.com

## TEMEL SPİNAL ENSTRÜMAN BİLGİSİ

A sabit hedef ark akımı uygulamak için kullanıldı,  $P_{Ar} = 3.5 \times 10^{-2}$  Pa. Negatif bias voltajında kullanılan akım yoğunluğu 0.12~0.16 A aralığındaydı. Biriktirme sırasında palslı güç kaynağı, substratlar üzerine aşağıdaki parametrelerle negatif bir pals biası uyguladı: Pals bias magnitudü  $U_p$  (Yukarı)= 100 V, pals frekansı  $f = 30$  kHz ve görev oranı  $D = \%40$  ile aşağıdaki parametreler sabit tutulmuştur: iki ark güç akımı  $I_{ng1} = I_{ng2} = 0.1$  A,  $P_{Ar} = 3.5 \times 10^{-2}$  Pa, numuneler ve katodarkı hedefleri arasındaki mesafe 400 mm ve toplam biriktirme süresi 60 dakika. Biriktirme sırasında substrat sıcaklığı  $T_s$  yaklaşık 245 °C idi (33).

## KAYNAKLAR

1. Aydın L, Küçük S. Üç boyutlu yazıcı-tarayıcı ile hastaya özel medikal ortez tasarımı ve geliştirilmesi. *Journal of Polytechnic*, 20 (1), 1-8, 2017
2. Vaezi M, Kai C, Meng S. Improving the process of making rapid prototyping models from medical ultrasound images. *Rapid Pro Journal*, 18 (4), 287-298, 2012.
3. Malik H, Darwood R, Shaunak S, Kulatilake P, Abdulrahman A, Mulki O, Baskaradas A. Three-dimensional printing in surgery: A review of current surgical applications. *J Surg Res*, 199(2), 512-522, 2015.
4. 3D Bioprinting Market by Technology (Microextrusion, Inkjet, Laser, Magnetic), Material (Cells, Hydrogels, Extracellular Matrices, Biomaterials), Application (Clinical (Bone, Cartilage, Skin) & Research (Regenerative Medicine))—Global Forecasts to 2021 (Markets and Markets, 2016).
5. C. L. Ventola, Medical applications for 3D printing: Current and projected uses. *P.T.* 39, 704–711 (2014).
6. X. Wang, S. Xu, S. Zhou, W. Xu, M. Leary, P. Choong, M. Qian, M. Brandt, Y. M. Xie, Topological design and additive manufacturing of porous metals for bone scaffolds and orthopaedic implants: A review. *Biomaterials* 83, 127–141 (2016).
7. Olla P. Opening pandora's three-dimensional printed box. *Technology and Society Magazine*, 34 (3), 74-80, 2015.
8. Palousek D, Rosicky J, Koutny D, Stoklásek P, Navrat T. Pilot study of the wrist orthosis design process. *Rapid Pro Journal*, 20 (1), 27-32, 2014
9. Buckley T, Gordon C. The effectiveness of high fidelity simulation on medical surgical registered nurses' ability to recognise and respond to clinical emergencies. *Nurse Educ Today*, 31 (7), 716-721, 2011.
10. Rasae ve ark. Antibacterial properties of biologically formed chitosan nanoparticles using aqueous leaf extract of *Ocimum basilicum* 2016
11. Wang T, Zhou Y, Xie W, Chen L, Zheng H, Fan L. Preparation and anticoagulant activity of N-succinyl chitosan sulfates. *Int J Biol Macromol.* 2012 Dec;51(5):808-14. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2012.07.029. Epub 2012 Aug 3. PMID: 22884435
12. Sasmal2019TranexamicAC, title={Tranexamic acid-loaded chitosan electrospun nanofibers as drug delivery system for hemorrhage control applications}, author={Pranabesh Sasmal and Pallab Datta} journal={Journal of Drug Delivery Science and Technology},year={2019}
13. Characterization of cellulose based sponges for wound dressings September 2014 Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects 480 DOI:10.1016/j.colsurfa.2014.08.022
14. Rys'ava ve ark. 2003 Enzymatic polymerization on the surface of functionalized cellulose fibers S.Y. Kima, A. Zille a, M. Murkovic b, G. Guebitz " c, A. Cavaco-Paulo a

15. Adhesion formation to hemostatic agents and its reduction with a sodium hyaluronate/carboxymethylcellulose adhesion barrier Keith E. Greenawalt, Rubina L. Corazzini, M. Jude Colt, Lena Holmdahl First published: 04 April 2012 <https://doi.org/10.1002/jbm.a.34124>
16. Chakoli 2014 Enhanced, Enhanced oxidized regenerated cellulose with functionalized multiwalled carbon nanotubes for hemostasis applications, Ali Nabipour Chakoli and Jinmei He and Weilu Cheng and Yudong Huang, RSC Advances, 2014, volume 4, pages 52372-52378
17. Xu, D., Cheng, Y., Wu, S. et al. Study on the effect of tunicate cellulose nanocrystals in the preparation of sodium alginate-based enteric capsule. *Cellulose* 29, 2497–2511 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04445-5>
18. Nano Letters 2004, 4, 8, 1501–1506 Publication Date: July 13, 2004 <https://doi.org/10.1021/nl0493592> Copyright © 2004 American Chemical Society
19. Philippe E. Ramos<sup>a</sup> Pedro Silva<sup>a</sup> Marta M. Alario<sup>b</sup> Lorenzo M. Pastrana<sup>c</sup> José A. Teixeira<sup>a</sup> Miguel A. Cerqueira<sup>c</sup> António A. Vicente. Effect of alginate molecular weight and M/G ratio in beads properties foreseeing the protection of probiotics. Volume 77, April 2018, Pages 8-16
20. Surender Reddy K, Abraham A, Berihu A, Biniam TS, et al. (2018) Extraction of Agar and Alginate from Marine Seaweeds in Page 2 of 8 Red Sea Region. *Int J Marine Biol Res* 3(2)
21. Pour MM, Saberi-Riseh R, Mohammadinejad R, Hosseini A. Investigating the formulation of alginate-gelatin encapsulated *Pseudomonas fluorescens* (VUPF5 and T17-4 strains) for controlling *Fusarium solani* on potato. *Int J Biol Macromol*. 2019 Jul 15;133:603-613. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.04.071. Epub 2019 Apr 17. PMID: 31004642.
22. You Need Only a Few Drops of This Hyaluronic Acid Serum to Plump Skin Julie Ricevuto • Jan 13, 2020
23. Aballay A, Hermans MHE. Neodermis Formation in Full Thickness Wounds Using an Esterified Hyaluronic Acid Matrix. *J Burn Care Res*. 2019 Aug 14;40(5):585-589. doi: 10.1093/jbcr/irz057. PMID: 30957154
24. Yavuz Ergün, M. Serhat Başpınar, Şükrü Taktak, Atilla Evcin. Titanium Yüzeyine Sol-Jel Yöntemiyle Hidroksiapatit Kaplanması. *Afyon Kocatepe University JOURNAL OF SCIENCE*
25. José Henrique de Lima Cavalcanti, Patrícia C. Matos, Cresus Vinícius Depes de Gouvêa, Waldimir Carvalho, José Luis Calvo-Guirado, Juan Manuel Aragonese, Letícia Pérez-Díaz, Sergio Alexandre Gehrke. In Vitro Assessment of the Functional Dynamics of Titanium with Surface Coating of Hydroxyapatite Nanoparticles. *Materials* 2019, 12, 840. doi:10.3390/ma12050840
26. Kjellin, P.; Andersson, M. SE-0401524-4, Assignee. Synthetic Nano-Sized Crystalline Calcium Phosphate and Method of Production. U.S. Patent SE527610, 25 April 2006.
27. Meirelles, L.; Arvidsson, A.; Andersson, M.; Kjellin, P.; Albrektsson, T.; Wennerberg, A. Nano hydroxyapatite structures influence early bone formation. *J. Biomed. Mater. Res. A* 2008, 87, 299–307.
28. Meirelles, L.; Currie, F.; Jacobsson, M.; Albrektsson, T.; Wennerberg, A. The effect of chemical and nanotopographical modifications on the early stages of osseointegration. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*. 2008, 23, 641–647.
29. Saeid Sahmani, Saeed Saber-Samandari, Amirsalar Khandan, Mohammad Mohammadi Aghdam. Influence of MgO nanoparticles on the mechanical properties of coated hydroxyapatite nanocomposite scaffolds produced via space holder technique: Fabrication, characterization and simulation. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 95 (2019) 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.03.014>.
30. Siddhartha Das, Sandeep Gurav, Vivek Soni, Arvind Ingle, Bhabani S. Mohanty, Pradip Chaudhari, Kiran Bendale, Kanchan Dholam, Jayesh R. Bellare. Osteogenic Nanofibrous Coated Titanium Implant Results in Enhanced Osseointegration: In Vivo Preliminary Study in a Rabbit Model. *Tissue Eng Regen Med* (2018) 15(2):231–247. <https://doi.org/10.1007/s13770-017-0106-6>.

## TEMEL SPİNAL ENSTRÜMAN BİLGİSİ

---

31. Kasra Zainali, Gorm Danscher, Thomas Jakobsen, Jorgen Baas, Per Møller, Joan E. Bechtold, Kjeld Soballe. Assessment of modified gold surfaced titanium implants on skeletal fixation. Society for Biomaterials. 2012. DOI: 10.1002/jbm.a.34307
32. Shuichi Eto, MD, PhD, Shunsuke Kawano, MD, Ph, Shinsuke Someya, MD, Hiroshi Miyamoto, MD, PhD, Motoki Sonohata, MD, PhD, Masaaki Mawatari, MD, PhD. First Clinical Experience With Thermal-Sprayed SilverOxideeContaining Hydroxyapatite Coating Implant. The Journal of Arthroplasty 31 (2016) 1498-1503. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arth.2015.12.034>
33. Xiaokang Li<sup>1</sup>, Peng Gao<sup>1</sup>, Peng Wan<sup>2</sup>, Yifeng Pei, Lei Shi, Bo Fan, Chao Shen, Xin Xiao, Ke Yang, Zheng Guo. Novel Bio-functional Magnesium Coating on Porous Ti6Al4V Orthopaedic Implants: In vitro and In vivo Study. Nature. 2017. DOI: 10.1038/srep40755

# BÖLÜM 8

## Biyoyumlu Malzemeler ve Mekanik Özellikleri



Melis YURDDAŞKAL<sup>1</sup>

Hülya DURMUŞ<sup>2</sup>

### GİRİŞ

Biyomalzemeler, tıbbi bir amaç için biyolojik sistemlerle etkileşime girecek şekilde tasarlanmış malzemelerdir. Ayrıca günümüzde gelişen implant teknolojisine paralel olarak oldukça fazla araştırılan, üzerinde durulan ve üretilen malzemelerdir. İmplant uygulamalarında kullanılan biyomalzemeler; metaller, seramikler, polimerler ve bu malzemelerin kompozitleri olmak üzere dört ana gruba ayrılırlar. Bu malzemelerin yapısal özellikleri kullanım alanının belirlenmesine yardımcı olur. Örneğin diş ve kemik implantlarında metaller ve alaşımları tercih edilirken, yumuşak doku implantlarında çoğunlukla polimer malzemeler kullanılır (1).

İmplant edilebilir biyomalzemeler, malzemenin mekanik mukavemetinin önemli olduğu sert doku rahatsızlıklarının tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tıp dünyasında sıklıkla karşılaşılan ve kırık olarak adlandırılan kemik kırılması olayı genellikle kemik dokusunun gücünü aşan kuvvetlerden kaynaklanmaktadır. Bu durumlarda tedavi amaçlı kullanılacak biyomalzemenin çeşitli biyomekanik kuvvetlere dayanabilmesi için mükemmel mekanik özellikler, yani elastik modül, akma mukavemeti ve nihai gerilme mukavemeti sergilemesi beklenmektedir. Bu özellikler ortopedik sabitleme cihazlarında, kemik plakalarında, vidalarda, diş implantlarında ve kardiyovasküler stentler gibi yük taşımanın önemli olduğu noktalarda ihtiyacı karşılamaktadır. Vücut içerisine yerleştirilen implant malzemesi, seçilen malzemenin mekanik ve biyolojik özellikleri açısından çeşitli zorluklarla karşılaşır (2,3). Eğer implant kemik ve implant arasındaki mekanik özelliklerin yetersiz veya uyumsuz olmasından dolayı kırılırsa buna biyomekanik uyumsuzluk denir. Bu nedenle biyomalzemelerde mekanik özelliklerin araştırılması oldukça önem arz eden bir konudur.

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, melis.yurddaskal@ege.edu.tr

<sup>2</sup> Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, hulya.durmus@cbu.edu.tr

### KAYNAKLAR

1. Liu, X., J.M. Holzwarth, P.X. Ma. Functionalized Synthetic Biodegradable Polymer Scaffolds for Tissue Engineering. *Macromolecular Bioscience*. 2012, 12(7), 911–919.
2. B.M. Holzapfel, et al., How smart do biomaterials need to be? A translational science and clinical point of view, *Adv. Drug Deliv. Rev.* 65 (4) (2013) 581–603, <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.07.009>.
3. M. Kaur, K. Singh, Review on titanium and titanium based alloys as biomaterials for orthopaedic applications, *Mater. Sci. Eng. C* 102 (2019) 844–862, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.04.064>.
4. Hermawan, H. *Biodegradable Metals: State of the Art*. Biodegradable Metals, Springer, Berlin, Almanya, 2012, 69.
5. Budzynski, P., A.A. Yousef, and J. Sielanko, Surface modification of Ti–6Al–4V alloy by nitrogen ion implantation. *Wear*. 261(11-12): p. 1271-1276 (2006).
6. Viceconti, M., Muccini R, Bernakiewicz M, Baleani M, Cristofolini L., Large-sliding contact elements accurately predict levels of bone-implant micromotion relevant to osseointegration. *Journal of Biomechanics*. 33(12): p. 1611- 1618 (2000).
7. A. Yamamoto, R. Honma, M. Sumita, Cytotoxicity evaluation of 43 metal salts using murine fibroblasts and osteoblastic cells, *J. Biomed. Mater. Res.* 39 (2) (Feb. 1998) 331-340.
8. İbrahim, M. Z., Sarhan, A. A., Yusuf, F., & Hamdi, M. (2017). Biomedical materials and techniques to improve the tribological, mechanical and biomedical properties of orthopedic implants—A review article. *Journal of Alloys and Compounds*, 714, 636-667.
9. González-Carrasco, J.L. *Metals as bone repair materials*. Bone Repair Biomaterials. Ed: Josep A. Planell, Woodhead Publishing, Cambridge, İngiltere, 496.
10. Talha, M., Behera, C.K., Sinha, O.P. A review on nickel-free nitrogen containing austenitic stainless steels for biomedical applications. *Materials Science and Engineering C*. 2013, 33(7), 3563–3575.
11. K.Y. Luo, X. Jing, J. Sheng, G.F. Sun, Z. Yan, J.Z. Lu, Characterization and analyses on micro-hardness, residual stress and microstructure in laser cladding coating of 316L stainless steel subjected to massive LSP treatment, *J. Alloys Compd.* 673 (2016) 158-169.
12. A. Yazdipour, A. Heidarzadeh, Effect of friction stir welding on microstructure and mechanical properties of dissimilar Al 5083-H321 and 316L stainless steel alloy joints, *J. Alloys Compd.* 680 (2016) 595-603.
13. M. Lewandowska-Szumiel, J. Komender, J. Chlopek, *J. Biomed. Mater. Res.* 48: 289 (1999).
14. Arvidson K, Cottler-Fox M, Hammarlund E, Friberg U. Cytotoxic effects of cobalt-chromium alloys on fibroblasts derived from human gingiva. *Scand J Dent Res* 1987; 95: 356-363 (PMID: 3476989)
15. Phillips RW. *Skinner's science of dental materials*. 8th ed. Philadelphia: WB Saunders, 1982.
16. F.K. Chang, J.L. Perez, J.A. Davidson, *J. Biomed. Mater. Res.* 24: 873 (1990).
17. S. H. Lee, H. Chiba, B. Syuto, N. Nomura, and A. Chiba, "Effect of Iron Addition on Co- 29Cr-6Mo Alloys for Biomedical Applications," *Mater. Sci. Forum*, vol. 561–565, pp. 1497–1500, 2007.
18. Black, J., & Hastings, G. (Eds.). (2013). *Handbook of biomaterial properties*. Springer Science & Business Media.
19. Mas Ayu, H., Izman, S., Daud, R., Shah, A., Anwar, M., Krishnamurthy, G. *In vitro* biocompatibility study of hydroxyapatite coated on Co-Cr-Mo with oxide interlayer. *Teknologi, Jurnal*. 2018, 80(1), 35–42.
20. Koronfel, M.A., Goode, A.E., Weker, J.N., Tay, S.E.R., Stitt, C.A., Simoes, T.A. Understanding the reactivity of CoCrMo-implant wear particles. *Npj Materials Degradation*. 2018, 2(1), 1–5.
21. Dittrick, S., Balla, V.K., Davies, N.M., Bose, S., Bandyopadhyay, A. *In vitro* wear rate and Co ion release of compositionally and structurally graded CoCrMo-Ti6Al4V structures. *Materials Science and Engineering C*. 2011, 31(4), 809–814.



22. Ayu, H.M., Izman, S., Daud, R., Krishnamurthy, G., Shah, A., Tomadi, S.H. Surface Modification on CoCrMo Alloy to Improve the Adhesion Strength of Hydroxyapatite Coating. *Procedia Engineering*. 2017, 184, 399–408.
23. Shah, A., Izman, S., Abdul-Kadir, M.R., Mas Ayu, H., Anwar, M., Ma'aram, A. Influence of bias voltage on corrosion resistance of TiN coated on biomedical TiZrNb alloy. in: *Advanced Materials Research*. 2014, 845, 436–440.
24. Niinomi, M. Recent metallic materials for biomedical applications. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2002, 33(3), 477–486.
25. Li, S.J., Yang, R., Li, S., Hao, Y.L., Cui, Y.Y., Niinomi, M. Wear characteristics of Ti-Nb-Ta-Zr and Ti-6Al-4V alloys for biomedical applications. *Wear*. 2004, 257(9–10), 869–876.
26. M. Niinomi, *Mater. Sci. Eng. A* 1998, 243, 231.
27. S. Mitragotri, J. Lahann, *Nat. Mater.* 2009, 8, 15.
28. Saini, M. Implant biomaterials: A comprehensive review. *World Journal of Clinical Cases*. 2015, 3(1), 52.
29. Mouzin, O., Sballe, K., Bechtold, J.E. Loading improves anchorage of hydroxyapatite implants more than titanium implants. *Journal of Biomedical Materials Research*. 2001, 58(1), 61–68.
30. Geetha, M., Singh, A. K., Asokamani, R., & Gogia, A. K. (2009). Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants—a review. *Progress in materials science*, 54(3), 397–425.
31. Zhao, X., Niinomi, M., Nakai, M., Ishimoto, T., Nakano, T. Development of high Zr-containing Ti-based alloys with low Young's modulus for use in removable implants. *Materials Science and Engineering C*. 2011, 31(7), 1436–1444.
32. Nakada, H., Sakae, T., Tanimoto, Y., Teranishi, M., Kato, T., Watanabe, T. Assessment of the quality of newly formed bone around titanium alloy implants by using X-ray photoelectron spectroscopy. *International Journal of Biomaterials*. 2012, 615018.
33. Ribeiro Filho, S.L.M., Lauro, C.H., Bueno, A.H.S., Brandão, L.C. Effects of the Dynamic Tapping Process on the Biocompatibility of Ti-6Al-4V Alloy in Simulated Human Body Environment. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2016, 41(11), 4313–4326.
34. M. Niinomi, "Fatigue characteristics of metallic biomaterials," *Int. J. Fatigue*, vol. 29, no. 6, pp. 992–1000, 2007.
35. Kaur, M., Singh, K. Review on titanium and titanium based alloys as biomaterials for orthopaedic applications. *Materials Science and Engineering C*. 2019, 102, 844–862.
36. Solar, R.J., Pollack, S.R., Korostoff, E. In vitro corrosion testing of titanium surgical implant alloys: An approach to understanding titanium release from implants. *Journal of Biomedical Materials Research*. 1979, 13(2), 217–250.
37. Zaman, H. A., Sharif, S., Idris, M. H., & Kamarudin, A. (2015). *Metallic biomaterials for medical implant applications: a review*. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 735, pp. 19–25). Trans Tech Publications Ltd.
38. S. Jitaru, I. Hodisan, L. Timis, A. Lucian, M. Bud, The use of bioceramics in endodontics- literature review, *Clujul Med.* 89 (2016) 470–473, <https://doi.org/10.15386/cjmed-612>.
39. T. Thamaraiselvi, S. Rajeswari, Biological evaluation of bioceramic materials-A review, *Trends Biomater. Artif. Organs* 18 (3) (2004) 9–17. <https://books.apple.com/mt/book/biological-evaluation-of-bioceramic-materials-a-review/id518296082>.
40. K. ISHIKAWA and S. MATSUYA, Y. MIYAMOTO, K. KAWATE, *Bioceramics* (9); (ISBN: 0-08-044150-5); pp. 169–214.
41. Bohner, M., & Lemaître, J. (2009). Can bioactivity be tested in vitro with SBF solution?. *Biomaterials*, 30(12), 2175–2179.
42. Kokubo, T., & Takadama, H. (2006). How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity?. *Biomaterials*, 27(15), 2907–2915.

## TEMEL SPİNAL ENSTRÜMAN BİLGİSİ

---

43. Kokubo, T. (2005). Design of bioactive bone substitutes based on biomineralization process. *Materials Science and Engineering: C*, 25(2), 97-104.
44. Kokubo, T., & Takadama, H. (2006). How useful is SBF in predicting in vivo bone bioactivity?. *Biomaterials*, 27(15), 2907-2915.
45. Uchida, M., Kim, H. M., Miyaji, F., Kokubo, T., & Nakamura, T. (2002). Apatite formation on zirconium metal treated with aqueous NaOH. *Biomaterials*, 23(1), 313-317.
46. Nakajima, S. (1990). Experimental studies of healing process on reinforcement ceramic implantation in rabbit mandible. *Shika gakuho. Dental science reports*, 90(4), 525-553.
47. Shikinami, Y.; Okuno, M. Bioresorbable devices made of forged composites of hydroxyapatite (HA) particles and poly-L-lactide (PLLA): Part I. Basic characteristics. *Biomaterials* 1999, 20, 859–877.
48. Hench, L.L.; Wilson, J. *An Introduction to Bioceramics*, 2nd ed.; World Scientific: Singapore, 1993. (Google Scholar]
49. M. Shekhawat, D., Singh, A., Banerjee, M. K., Singh, T., & Patnaik, A. (2020). Bioceramic composites for orthopaedic applications: A comprehensive review of mechanical, biological, and microstructural properties. *Ceramics International*.
50. L. Lu, S.J. Peter, M.D. Lyman, H. Lai, S.M. Leite, J.A. Tamada, et al., In vitro and in vivo degradation of porous poly ( DL -lactic- co -glycolic acid ) foams, *Biomaterials*. 21 (2000) 1837–1845.
51. S.H. Oh, S. Gon, E. Seok, S. Ho, J. Ho, Fabrication and characterization of hydrophilic poly ( lactic- co - glycolic acid )/ poly ( vinyl alcohol ) blend cell scaffolds by melt-molding particulate-leaching method, *Biomaterials*. 24 (2003) 4011–4021.
52. A.S. Rowlands, S.A. Lim, D. Martin, J.J. Cooper-White, Polyurethane / poly ( lactic- co -glycolic acid composite scaffolds fabricated by thermally induced phase separation, *Biomaterials*. 28 (2007) 2109–2121.
53. Srichana-Domb2009\_Chapter\_PolymericBiomaterials



Hüseyin Erdem YALKIN<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Geliştirilen biyomalzemelerin biyolojik ortamdaki davranışlarının fiziksel, kimyasal, mekanik ve yüzey özellikleri bakımından ayrıntılı bir biçimde tespit edilmesi gerekmektedir. Biyomalzemelerin seçiminde fiziksel olarak mikro yapısı, fazları, yoğunluğu ve gözenek miktarı, kimyasal olarak bileşim, bağ ve atomik yapıları, mekanik olarak mukavemet, tokluk, sertlik, hasar mekanizmaları, yorulma dayanımları ve yüzey özellikleri kullanım amacına göre değerlendirilmelidir. Biyomalzeme ve doku bir araya geldiğinde toksik etki gösterebilir ve bu durum çevre dokuların ölmesine neden olur. Biyo inert etki göstererek çevre dokulara zarar vermese de biyomalzeme dokuyla etkileşime girmemektedir. Biyoaktif etkide ise doku ile biyomalzeme arasında uygun ara yüzey bağı meydana gelerek tutunmayı sağlar.

Biyomalzeme olarak kullanılan polimerler; biyolojik olarak uyumlu olmaları, yeterli seviyede sahip oldukları mekanik özelliklerinden dolayı önemlidir. Bu polimerler kardiyovasküler hastalıklar, ilaç dağıtım uygulaması ve yumuşak, sert doku uygulamalarında kullanılırlar. Metaller, vücuda uygun özellikler göstermesi nedeniyle genellikle diş ve ortopedik uygulamalarda kullanılan en önemli biyomalzemelerdir. Metalik malzemeler korozyona uğrayarak bozulabilir, vücut ile etkileşime girdiklerinde esas olarak biyolojik reaksiyonu etkileyen bazı istenmeyen yan ürünler açığa çıkabilir. Seramikler ise sert doku onarımı, rejenerasyonu ve büyütülmesinde, yük taşımayan uygulamalarda veya metallere kaplama olarak kullanılır. Örneğin; Hidroksiapatit (HA), biyolojik olarak uyumlu, antibakteriyel ve biyolojik olarak parçalanabilir özelliklerine sahip olduğu için kemikle ilgili tedavilerde kullanılmaktadır.

Halihazırda, daha iyi teşhis araçlarının mevcudiyeti ve cerrahi prosedürler kadar malzemeler hakkındaki bilgilerin artması, implantolojinin önemini arttırmıştır. Biyoimplantlar diş, ortopedi, plastik ve rekonstrüktif cerrahi, oftalmoloji, kardiyovasküler cerrahi, beyin cerrahisi, immünoloji, histopatoloji, deneysel cerrahi ve veteriner

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mekanik Test Laboratuvarı, huseyinerdem.yalkin@cbu.edu.tr

ASTM ve/veya ISO standartlarını kullanmasını önerir. Standartlar genellikle dünya çapındaki birden fazla laboratuvarıda kapsamlı karşılıklı testler yoluyla geliştirilir ve test parametreleri birden fazla ilgili taraf (üretici, devlet, bağımsız araştırma laboratuvarları ve akademik araştırmacılar) tarafından incelenir. Bu standartlar, malzeme özelliklerin tutarlı bir şekilde karakterize edilmesine, ölçülmesine ve ayrıca farklı test kurumlarının sonuçlarının karşılaştırılmasına izin verecek şekilde geliştirilir.(54)

## KAYNAKLAR

1. Bandhyopadhyaya A, Bose S, editors. Characterization of biomaterials. Amsterdam: Elsevier; 2013.
2. Cometa S, Bonifacio MA, Ferreira AM, Gentile P, De Giglio E. Surface Characterization of Electro-Assisted Titanium Implants: A Multi-Technique Approach. *Materials* 2020;13:705. <https://doi.org/10.3390/ma13030705>.
3. Kumar V, Gopinath P, Lakshmanan V-K, Navaneetha Pandiyaraj K. Surface analysis technique for assessing hemocompatibility of biomaterials. *Hemocompatibility of Biomaterials for Clinical Applications*, Elsevier; 2018, p. 119–61. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100497-5.00006-9>.
4. Manivasagam G, Dhinasekaran D, Rajamanickam A. Biomedical Implants: Corrosion and its Prevention - A Review. *Recent Pat Corros Sci* 2010;2:40–54. <https://doi.org/10.2174/1877610801002010040>.
5. Huaiyu Wang, Paul K. Chu. Surface Characterization of Biomaterials. *Characterization of Biomaterials*, Amsterdam: Elsevier; 2013.
6. Ratner BD, Castner DG. Surface Properties and Surface Characterization of Biomaterials. *Biomaterials Science*, Elsevier; 2020, p. 53–75. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816137-1.00006-4>.
7. Barabás R, Rigó M, Babeş-Bolyai University, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Eniszné-Bódogh M, University of Pannonia, Institute of Materials Engineering, Moisa C, et al. Preparation and characterization of hydroxyapatite based nano-composite biomorphic implants. *Studia UBB Chemia* 2018;63:137–54. <https://doi.org/10.24193/subbc-hem.2018.3.11>.
8. Brum RS, Monich PR, Fredel MC, Contri G, Ramoa SDAS, Magini RS, et al. Polymer coatings based on sulfonated-poly-ether-ether-ketone films for implant dentistry applications. *J Mater Sci: Mater Med* 2018;29:132. <https://doi.org/10.1007/s10856-018-6139-0>.
9. Cunnane EM, Barrett HE, Kavanagh EG, Mongrain R, Walsh MT. The influence of composition and location on the toughness of human atherosclerotic femoral plaque tissue. *Acta Biomaterialia* 2016;31:264–75. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2015.11.056>.
10. Cunnane EM, Davis NF, Cunnane CV, Lorentz KL, Ryan AJ, Hess J, et al. Mechanical, compositional and morphological characterisation of the human male urethra for the development of a biomimetic tissue engineered urethral scaffold. *Biomaterials* 2021;269:120651. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2021.120651>.
11. Danilatos GD. Figure of merit for environmental SEM and its implications: FIGURE OF MERIT FOR ENVIRONMENTAL SEM. *Journal of Microscopy* 2011;244:159–69. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.2011.03521.x>.
12. Donald AM. The use of environmental scanning electron microscopy for imaging wet and insulating materials. *Nature Mater* 2003;2:511–6. <https://doi.org/10.1038/nmat898>.
13. Eliaz N. Corrosion of Metallic Biomaterials: A Review. *Materials* 2019;12:407. <https://doi.org/10.3390/ma12030407>.

14. Erakovic S, Veljovic D, Diouf PN, Stevanovic T, Mitric M, Milonjic S, et al. Electrophoretic Deposition of Biocomposite Lignin/Hydroxyapatite Coatings on Titanium. *International Journal of Chemical Reactor Engineering* 2009;7. <https://doi.org/10.2202/1542-6580.2088>.
15. Huang T, Zheng Y, Han Y. Accelerating degradation rate of pure iron by zinc ion implantation. *Regen Biomater* 2016;3:205–15. <https://doi.org/10.1093/rb/rbw020>.
16. Kaviya M, Ramakrishnan P, Mohamed SB, Ramakrishnan R, Gimbin J, Veerabadrhan KM, et al. Synthesis and characterization of nano-hydroxyapatite/graphene oxide composite materials for medical implant coating applications. *Materials Today: Proceedings* 2021;36:204–7. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.932>.
17. Li Y, Yang C, Zhao H, Qu S, Li X, Li Y. New Developments of Ti-Based Alloys for Biomedical Applications. *Materials* 2014;7:1709–800. <https://doi.org/10.3390/ma7031709>.
18. Magill LJ, Tanska A, Keshtgar M, Mosahebi A, Jell G. Mechanical and surface chemical analysis of retrieved breast implants from a single centre. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2019;91:24–31. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.10.042>.
19. Mekhalif Z, Cossement D, Hevesi L, Delhalle J. Electropolymerization of pyrrole on silanized polycrystalline titanium substrates. *Applied Surface Science* 2008;254:4056–62. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2007.12.064>.
20. Palmquist A, Emanuelsson L, Sjövall P. Chemical and structural analysis of the bone-implant interface by TOF-SIMS, SEM, FIB and TEM: Experimental study in animal. *Applied Surface Science* 2012;258:6485–94. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.03.065>.
21. Prasad K, Bazaka O, Chua M, Rochford M, Fedrick L, Spoor J, et al. *Metallic Biomaterials: Current Challenges and Opportunities*. *Materials* 2017;10:884. <https://doi.org/10.3390/ma10080884>.
22. Shah FA, Wang X, Thomsen P, Grandfield K, Palmquist A. High-Resolution Visualization of the Osteocyte Lacuno-Canalicular Network Juxtaposed to the Surface of Nanotextured Titanium Implants in Human. *ACS Biomater Sci Eng* 2015;1:305–13. <https://doi.org/10.1021/ab500127y>.
23. Shah FA, Thomsen P, Palmquist A. Osseointegration and current interpretations of the bone-implant interface. *Acta Biomaterialia* 2019;84:1–15. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.11.018>.
24. Şarkaya K, Akıncioğlu G, Akıncioğlu S. Investigation of tribological properties of HEMA-based cryogels as potential articular cartilage bio. *POLYMER-PLASTICS TECHNOLOGY AND MATERIALS* 2022;61:1174–90. <https://doi.org/10.1080/25740881.2022.2039190>.
25. Teo L-L, Sin S-L, Chan C-Y. ESCA and TOF-SIMS Study on Oxidised and Reduced Polypyrrole-Poly(Vinylsulfonic Acid, Sodium Salt) Films Synthesized on Ti Electrodes. *Journal of Nanomaterials* 2010;2010:1–10. <https://doi.org/10.1155/2010/385617>.
26. Tunchel S, Blay A, Kolerman R, Mijiritsky E, Shibli JA. 3D Printing/Additive Manufacturing Single Titanium Dental Implants: A Prospective Multicenter Study with 3 Years of Follow-Up. *International Journal of Dentistry* 2016;2016:1–9. <https://doi.org/10.1155/2016/8590971>.
27. Vauthier C, Persson B, Lindner P, Cabane B. Protein adsorption and complement activation for di-block copolymer nanoparticles. *Biomaterials* 2011;32:1646–56. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.10.026>.
28. Visalakshan RM, MacGregor MN, Sasidharan S, Ghazaryan A, Mierczynska-Vasilev AM, Morsbach S, et al. Biomaterial Surface Hydrophobicity-Mediated Serum Protein Adsorption and Immune Responses. *ACS Appl Mater Interfaces* 2019;11:27615–23. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b09900>.
29. Wierzechos J, Falcioni T, Kiciak A, Woliński J, Koczorowski R, Chomicki P, et al. Advances in the ultrastructural study of the implant–bone interface by backscattered electron imaging. *Micron* 2008;39:1363–70. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2008.01.022>.

30. Karunakaran G, Cho E-B, Kumar GS, Kolesnikov E, Sudha KG, Mariyappan K, et al. Citric Acid-Mediated Microwave-Hydrothermal Synthesis of Mesoporous F-Doped HAp Nanorods from Bio-Waste for Biocidal Implant Applications. *Nanomaterials* 2022;12:315. <https://doi.org/10.3390/nano12030315>.
31. Khan FA, Akhtar S, Almohazey D, Alomari M, Almoftay SA, Badr I, et al. Targeted delivery of poly (methyl methacrylate) particles in colon cancer cells selectively attenuates cancer cell proliferation. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology* 2019;47:1533–42. <https://doi.org/10.1080/21691401.2019.1577886>.
32. Rodrigues SC, Salgado CL, Sahu A, Garcia MP, Fernandes MH, Monteiro FJ. Preparation and characterization of collagen-nanohydroxyapatite biocomposite scaffolds by cryogelation method for bone tissue engineering applications. *J Biomed Mater Res* 2013;101A:1080–94. <https://doi.org/10.1002/jbma.34394>.
33. Rocton N, Oudadesse H, Lefevre B, Peisker H, Rbii K. Fine analysis of interaction mechanism of bioactive glass surface after soaking in SBF solution: AFM and ICP-OES investigations. *Applied Surface Science* 2020;505:144076. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144076>.
34. Rodríguez-Galván A, Contreras-Torres FF. Scanning Tunneling Microscopy of Biological Structures: An Elusive Goal for Many Years. *Nanomaterials* 2022;12:3013. <https://doi.org/10.3390/nano12173013>.
35. Deng Z, Thontasen N, Malinowski N, Rinke G, Harnau L, Rauschenbach S, et al. A Close Look at Proteins: Submolecular Resolution of Two- and Three-Dimensionally Folded Cytochrome c at Surfaces. *Nano Lett* 2012;12:2452–8. <https://doi.org/10.1021/nl3005385>.
36. Liu W, Li J, Cheng M, Wang Q, Qian Y, Yeung KWK, et al. A surface-engineered polyetheretherketone biomaterial implant with direct and immunoregulatory antibacterial activity against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Biomaterials* 2019;208:8–20. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2019.04.008>.
37. Popescu S, Ungureanu C, Albu AM, Pirvu C. Poly(dopamine) assisted deposition of adherent PPy film on Ti substrate. *Progress in Organic Coatings* 2014;77:1890–900. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.06.023>.
38. Bucciarelli A, Mulloni V, Maniglio D, Pal RK, Yadavalli VK, Motta A, et al. A comparative study of the refractive index of silk protein thin films towards biomaterial based optical devices. *Optical Materials* 2018;78:407–14. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.02.058>.
39. Murthy NS. Techniques for analyzing biomaterial surface structure, morphology and topography. *Surface Modification of Biomaterials*, Elsevier; 2011, p. 232–55. <https://doi.org/10.1533/9780857090768.2.232>.
40. Ładniak A, Jurak M, Wiącek AE. Physicochemical characteristics of chitosan-TiO<sub>2</sub> biomaterial. 2. Wettability and biocompatibility. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2021;630:127546. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127546>.
41. Sharafipour M, Oveisi H, Meshkini A. Meso-macroporous crack-free nanohydroxyapatite coatings templated by C 12 E 10 diblock copolymer on Ti6Al4V implant materials toward human osteoblast-like cells. *J Biomed Mater Res* 2020;108:882–94. <https://doi.org/10.1002/jbma.36866>.
42. Maleki-Ghaleh H, Khalil-Allafi J, Sadeghpour-Motlagh M, Shakeri MS, Masoudfar S, Farrokhi A, et al. Effect of surface modification by nitrogen ion implantation on the electrochemical and cellular behaviors of super-elastic NiTi shape memory alloy. *J Mater Sci: Mater Med* 2014;25:2605–17. <https://doi.org/10.1007/s10856-014-5283-4>.
43. Magill LJ, Ricketts K, Keshtgar M, Mosahebi A, Jell G. Impact of post mastectomy radiotherapy on the silicone breast implant. *Materials Science and Engineering: C* 2019;98:288–92. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.047>.

44. Wang X-N, Tang W, Gordon A, Wang H-Y, Xu L, Li P, et al. Porous TiO<sub>2</sub> Film Immobilized with Gold Nanoparticles for Dual-Polarity SALDI MS Detection and Imaging. *ACS Appl Mater Interfaces* 2020;12:42567–75. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c12949>.
45. Fraulob M, Pang S, Le Cann S, Vayron R, Laurent-Brocq M, Todatry S, et al. Multimodal characterization of the bone-implant interface using Raman spectroscopy and nanoindentation. *Medical Engineering & Physics* 2020;84:60–7. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2020.07.013>.
46. Karunakaran G, Kumar GS, Cho E-B, Sunwoo Y, Kolesnikov E, Kuznetsov D. Microwave-assisted hydrothermal synthesis of mesoporous carbonated hydroxyapatite with tunable nanoscale characteristics for biomedical applications. *Ceramics International* 2019;45:970–7. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.09.273>.
47. Belu AM, Graham DJ, Castner DG. Time-of-flight secondary ion mass spectrometry: techniques and applications for the characterization of biomaterial surfaces. *Biomaterials* 2003;24:3635–53. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(03\)00159-5](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(03)00159-5).
48. Starr NJ, Abdul Hamid K, Wibawa J, Marlow I, Bell M, Pérez-García L, et al. Enhanced vitamin C skin permeation from supramolecular hydrogels, illustrated using in situ ToF-SIMS 3D chemical profiling. *International Journal of Pharmaceutics* 2019;563:21–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.03.028>.
49. Yoon S, Lee TG. Biological tissue sample preparation for time-of-flight secondary ion mass spectrometry (ToF-SIMS) imaging. *Nano Convergence* 2018;5:24. <https://doi.org/10.1186/s40580-018-0157-y>.
50. Eriksson C, Börner K, Nygren H, Ohlson K, Bexell U, Billerdahl N, et al. Studies by imaging TOF-SIMS of bone mineralization on porous titanium implants after 1 week in bone. *Applied Surface Science* 2006;252:6757–60. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2006.02.194>.
51. Song Z, Cheng S, Zeng T, Yang F, Jing S, Fang D. Compressive behavior of C/SiC composite sandwich structure with stitched lattice core. *Composites Part B: Engineering* 2015;69:243–8. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.10.012>.
52. Giordano S, Morosi L, Veglianese P, Licandro SA, Frapolli R, Zucchetti M, et al. 3D Mass Spectrometry Imaging Reveals a Very Heterogeneous Drug Distribution in Tumors. *Sci Rep* 2016;6:37027. <https://doi.org/10.1038/srep37027>.
53. Roeder RK. Mechanical Characterization of Biomaterials. *Characterization of Biomaterials*, Elsevier; 2013, p. 49–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415800-9.00003-6>.
54. Timmie Topoleski LD, Tsao AK, Friis EA, Jones LC. Fundamental principles of mechanical testing. *Mechanical Testing of Orthopaedic Implants*, Elsevier; 2017, p. 33–47. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100286-5.00003-2>.
55. Saini M. Implant biomaterials: A comprehensive review. *WJCC* 2015;3:52. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v3.i1.52>.
56. Chen Q, Thouas GA. Metallic implant biomaterials. *Materials Science and Engineering: R: Reports* 2015;87:1–57. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2014.10.001>.
57. Ćorić D, Majić Renjo M, Ćurković L. Vickers indentation fracture toughness of Y-TZP dental ceramics. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 2017;64:14–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2016.12.016>.
58. Nik Md Noordin Kahar NNF, Jaafar M, Ahmad N, Sulaiman AR, Yahaya BH, Abdul Hamid ZA. Biomechanical evaluation of biomaterial implants in large animal model: A review. *Materials Today: Proceedings* 2022;66:3031–5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.332>.
59. Innocenti B, Larrieu J-C, Lambert P, Pianigiani S. Automatic characterization of soft tissues material properties during mechanical tests n.d.:9.
60. Elias CN, Fernandes DJ, Souza FM de, Monteiro E dos S, Biasi RS de. Mechanical and clinical

- properties of titanium and titanium-based alloys (Ti G2, Ti G4 cold worked nanostructured and Ti G5) for biomedical applications. *Journal of Materials Research and Technology* 2019;8:1060–9. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.07.016>.
61. Rack HJ, Qazi JI. Titanium alloys for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C* 2006;26:1269–77. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2005.08.032>.
  62. Hedayati R, Amin Yavari S, Zadpoor AA. Fatigue crack propagation in additively manufactured porous biomaterials. *Materials Science and Engineering: C* 2017;76:457–63. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.091>.
  63. Van Hooreweder B, Apers Y, Lietaert K, Kruth J-P. Improving the fatigue performance of porous metallic biomaterials produced by Selective Laser Melting. *Acta Biomaterialia* 2017;47:193–202. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2016.10.005>.
  64. Ibrahim MZ, Sarhan AAD, Yusuf F, Hamdi M. Biomedical materials and techniques to improve the tribological, mechanical and biomedical properties of orthopedic implants – A review article. *Journal of Alloys and Compounds* 2017;714:636–67. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.04.231>.
  65. Götz C, Lim GT, Puskas JE, Altstädt V. The effect of carbon black reinforcement on the dynamic fatigue and creep of polyisobutylene-based biomaterials. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 2014;39:355–65. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2014.08.008>.
  66. Arola D. Fatigue testing of biomaterials and their interfaces. *Dental Materials* 2017;33:367–81. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.01.012>.
  67. Żebrowski R, Walczak M, Korga A, Iwan M, Szala M. Effect of Shot Peening on the Mechanical Properties and Cytotoxicity Behaviour of Titanium Implants Produced by 3D Printing Technology. *Journal of Healthcare Engineering* 2019;2019:1–11. <https://doi.org/10.1155/2019/8169538>.
  68. Lee D-G, Lee S, Lee CS. Quasi-static and dynamic deformation behavior of Ti–6Al–4V alloy containing fine  $\alpha$ -Ti<sub>3</sub>Al precipitates. *Materials Science and Engineering: A* 2004;366:25–37. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.08.061>.
  69. Sikora-Jasinska M, Mostaed E, Mostaed A, Beanland R, Mantovani D, Vedani M. Fabrication, mechanical properties and in vitro degradation behavior of newly developed Zn Ag alloys for degradable implant applications. *Materials Science and Engineering: C* 2017;77:1170–81. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.04.023>.
  70. Sharifi R, Almasi D, Sudin IB, Abdul Kadir MR, Jamshidy L, Amiri SM, et al. Enhancement of the Mechanical Properties of Hydroxyapatite/Sulphonated Poly Ether Ether Ketone Treated Layer for Orthopaedic and Dental Implant Application. *International Journal of Biomaterials* 2018;2018:1–9. <https://doi.org/10.1155/2018/9607195>.
  71. Giordani E. Effect of precipitates on the corrosion/fatigue crack initiation of ISO 5832-9 stainless steel biomaterial. *International Journal of Fatigue* 2004;26:1129–36. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2004.03.002>.





Serdar ÇEVİK<sup>1</sup>  
Hakan HANIMOĞLU<sup>2</sup>  
Hakan BOZKUŞ<sup>3</sup>

### GİRİŞ

Omurga, fonksiyonel spinal ünite (FSU) olarak tanımlanan en küçük hareket birimi içerisinde üç kolunu oluşturan anatomik yapıların bütünlüğü ile mekanik olarak stabildir (1,2,3). Omurganın stabil olması sayesinde yük taşıma, sınırlı hareket edebilme ve omurliliği koruma görevleri bulunmaktadır. Omurga hareketini disk ve her iki faset ekleminin oluşturduğu üçlü eklem yapısı sayesinde Kartezyen koordinat sisteminde her bir eksende rotasyon (dönme) ve translasyon (öteleme) şeklinde yapabilmektedir.

Omurgadaki rotasyonun anlık eksenine (RAE) farklı uzaklıktaki moment kolları sayesinde ligaman ve faset kapsülleri hareket limitlerini sağlamaktadır. Yaşamın ikinci dekadından sonra disk dokusunda dejeneratif değişiklikler başlayarak intervertebral disk yüksekliği azalmaya başlamasıyla da FSU'de aksiyal rotasyon artarak özellikle faset eklemlerinden yük geçişi artmaktadır (4). Eş zamanlı olarak anulus ve son plaklarda yük geçişi artarak RAE'de yer değiştirmeler ile son plaklarda Modic değişiklikleri ve komşu segmentte de dejeneratif süreçler başlamaktadır (5). Sonunda FSU'de stress ve strain (birim şekil değiştirme) ilişkisi değişmektedir. Omurganın dejeneratif değişiklikler kaskatında ilk olarak klinik olarak ağrı oluşturan *disfonksiyon* safhasında ;faset eklemlerinde faset osteoartriti ve synovial reaksiyonlar olabilirken disk dokusunda dejenerasyon ve anuler yırtıklar görülebilmektedir. İkinci safhada ise dejenerasyonun artması ile *stabilizasyon bozulması*; spondiloz, spondilolistezis ve omurlilik kanalında daralma gelişebilmektedir. Son safhada ise omurganın tekrar *stabilizasyon* kazanılması haline getirebildiği; osteofit ve hipertrofi formasyonlarının oluşması görülmektedir (6). Bu üç safhanın her bir safhasının ne kadar süreceği

<sup>1</sup> Doç. Dr., Memorial Şişli Hastanesi, Nöroşirurji Kliniği, dr.serdarcevik@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Memorial Şişli Hastanesi, Nöroşirurji Kliniği, drhakanhanimoglu@hotmail.com

<sup>3</sup> Prof. Dr., Amerikan Tıp Merkezi, Nöroşirurji Kliniği, mhakanb@amerikanhastanesi.org

liflerinde olmaktadır. Bu nedenle anuler yırtıklar ve disk hernileri daha çok bu lokalizasyonda görülmektedir.

## LİGAMANLAR

Anterior longitudinal ligaman (ALL), posterior longitudinal ligaman (PLL), ligamentum flavum (LF), kapsuler ligaman (CL), interspinöz ligaman (ISP) ve supraspinöz ligaman (SSL) omurganın hareketine yardımcı olmaktadır. Bu ligamanlar lomber bölgede diğer bölgelerindekinden daha fazla dayanımlıdır. Ligamanlar kendi içerisinde en dayanımlıdan en zayıf olana doğru; ALL>PLL>LF>CL>ISL olarak sıralanmaktadır.

Ligamanların dayanımı test edilirken aksiyal planda çekme yüklemesi uygulanmaktadır. Bu sayede aynı zamanda aynı yükleme şekli tüm ligamanları aktarılmış olmaktadır. Lomber fleksiyona direnci sağlayan ligamanlar ise CL ve ISL'dir. Dolayısıyla bu ligamalar gerilme bandı olarak tanımlanmaktadır.

Hiperfleksiyon sonrasında ilk hasar ISL'da olurken bunun sonrasında CL'lar hasar görür. Kombine hareket olarak lateral bending ile birlikte fleksiyon olduğunda tek taraflı olarak CL hasarı ortaya çıkacaktır. Ligaman hasarının oluşması için en az 60 Nm'lik bir eğilme momenti ve 5-20° arasında bir fleksiyon hareketi gerekmektedir. Belirgin bir hasar ise 120 Nm'lik bir eğilme momentinden sonra ortaya çıkmaktadır (57).

Lomber bölgede RAE'e yakın olan ligamanların kesitsel alanı daha küçük olmaktadır. Diğer taraftan RAE'den uzak olan ligamanların kesitsel alanı daha büyük olmaktadır. Örneğin lomber lordozun apeksi olan L2-L3 mesafesinde ligamanların kesitsel alanına bakıldığında; ALL 54.5 mm<sup>2</sup>, PLL 20.8 mm<sup>2</sup>, LF 109.8 mm<sup>2</sup>, ISL 43.5 mm<sup>2</sup>, SSL 82.1 mm<sup>2</sup>. Özellikle fleksiyon momenti sırasında PLL, ekstansiyon momenti sırasında ise ALL gerilme altında kalmaktadır. CL lifsel yapısı özellikle aksiyal plan oryantasyonundadır. Bunun fonksiyonel anlamı ise aksiyal rotasyon hareketi sırasında bu ligamanın daha fazla şekil değiştirmeye maruz kalmasındandır.

## KAYNAKLAR

1. White AA, Panjabi MM. Clinical biomechanics of the spine. Philadelphia: Lippincott, (1990).
2. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine 1983; 8 (8): 817-831.
3. Brown T, Hansen RJ, Yorra AJ. Some mechanical tests on the lumbosacral spine with particular reference to the intervertebral discs. J Bone Joint Surg Am 1957; 39: 1135-1164.
4. Adams MA, Dolan P. Spine biomechanics. J Biomech 2005; 38 (10): 1972-1983.
5. Modic MT, Steinberg PM, Ross JS, Masaryk TJ, Carter JR. Degenerative disc disease: Assessment of changes in vertebral body marrow with MRI imaging. Radiology 1988; 166 (1 Pt 1): 193-199.

6. Yong-Hing K, Kirkaldy-Willis Wh. The pathophysiology of degenerative disease of the lumbar spine. *Orthop Clin North Am* 1983; 14 (3): 491-504.
7. Pal GP, Routal RV. The role of the vertebral laminae in the stability of the cervical spine. *J Anat* 1996; 188: 485-489.
8. Brooks AL, Jenkins EB. Atlanto-axial arthrodesis by the wedge compression method. *J Bone Joint Surg Am* 1978; 60: 279-284.
9. Naderi S, Crawford NR, Song GS, Sonntag VK, Dickman CA. Biomechanical comparison of C1-C2 posterior fixations. Cable, graft, and screw combinations. *Spine* 1998; 23 (16): 1946-1955.
10. Boerre NR, Dove J. The selection of wires for sublaminar fixation. *Spine* 1993; 18 (4): 497-503.
11. Kang SH, Rhim SC, Roh SW, Jeon SR, Baek HC. Postlaminoplasty cervical range of motion: early results. *J Neurosurg Spine* 2007; 6: 386-390.
12. Puttlitz CM, Deviren V, Smith JA, Kleinstueck FS, Tran QN, Thurlow RW, Eisele P, Lotz JC. Biomechanics of cervical laminoplasty: kinetic studies comparing different surgical techniques, temporal effects and the degree of level involvement. *Eur Spine J* 2004; 13 (3): 213-221.
13. Zdeblick TA, Zou D, Warden KE, McCabe R, Kunz D, Vanderby R. Cervical stability after foraminotomy: A biomechanical in vitro analysis. *J Bone Joint Surg Am* 1992; 74 (1): 22-27.
14. Healy AT, Lubelski D, West JL, Mageswaran P, Colbrunn R, Mroz TE. Biomechanics of open-door laminoplasty with and without preservation of posterior structures. *J Neurosurg Spine* 2016; 24(5): 746-751.
15. Butler JC, Whitecloud TS. Postlaminectomy kyphosis: cause and surgical management. *Orthop Clin North Am* 1992; 23: 505-511.
16. Anderson AL, McIlff TE, Asher MA, Burton DC, Glattes RC. The effect of posterior thoracic spine anatomical structures on motion segment flexion stiffness. *Spine* 2009; 34(5): 441-446.
17. Aizawa T, Sato T, Ozawa H, Morozumi N, Matsumoto F, Sasaki H, Hoshikawa T, Kawahara C, Kokubun S, Itoi E. Sagittal alignment changes after thoracic laminectomy in adults. *J Neurosurg Spine* 2008; 8: 510-516.
18. Detwiler PW, Spetzler CB, Taylor SB, Crawford NR, Porter RW, Sonntag VKH. Biomechanical comparison of facet-sparing laminectomy and Christmas tree laminectomy. *J Neurosurg (spine)* 2003; 99: 214-220.
19. Magerl FP. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin Orthop* 1984; 189: 125-141.
20. Guyer DW, Yuan HA, Werner FW, Frederickson BE, Murphy D. Biomechanical comparison of seven internal fixation devices for lumbosacral junction. *Spine* 1987; 12: 569-573.
21. Vanden Berge L, Mehdian H, Lee AJ, Weatherley CR. Stability of the lumbar spine and method of instrumentation. *Acta Orthop Belg* 1993; 59: 175-180.
22. McAfee PC, Bohlman HH, Wilson WL. Triple wire fixation technique for stabilization of acute fracture, dislocations of the cervical spine: A biomechanical analysis. *Orthopedic Transactions* 1985; 9: 142-150.
23. Richards JC, Majumdar S, Lindsey DP, Beaupre GS, Yerby SA. The treatment mechanism of an interspinous process implant for lumbar neurogenic intermittent claudication. *Spine* 2005; 30 (7): 774-749.
24. Wiseman CM, Lindsey DP, Fredrick AD, Yerby SA. The effect of an interspinous process implant on facet loading during extension. *Spine* 2005; 30 (8): 903-907.
25. Swanson KE, Lindsey DP, Hsu KY, Zucherman JF, Yerby SA. The effects of an interspinous implant on intervertebral disc pressures. *Spine* 2003; 28 (1): 26-32.
26. Garner MD, Wolfe SJ, Kuslich SD. Development and preclinical testing of a new tension-band device for spine. The Loop system. *Eur Spine* 2002; 2: J 11 Suppl; S186-S191.

27. Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Internal fixations of the unstable cervical spine by a posterior osteosynthesis with plates and screws. In: Sherk HH, Dunn EJ, Eismont FJ ve ark.(eds). *The Cervical Spine* (2nd ed.),sy 390-403. Philadelphia: J.B. Lippincott, 1989
28. Errico T, Uhl R, Cooper P, Casar R, McHenry T. Pullout strength comparison of two methods of orienting screw insertion in the lateral masses of the bovine cervical spine. *J Spinal Disord* 1992; 5 (4): 459-463.
29. Barrey C, Mertens P, Rumelhart C, Cotton F, Jund J, Perrin G. Biomechanical evaluation of cervical lateral mass fixation: a comparison of the Roy\_Camille and Magerl screw techniques. *J Neurosurg* 2004; 100 (3 Suppl Spine): 268-276.
30. Jones EL, Heller JG, Silcox DH, Hutton WC. Cervical pedicle screws versus lateral mass screws. Anatomic feasibility and biomechanical comparison. *Spine* 1997; 22 (9): 977-982.
31. Heller JG, Estes BT, Zaouali M, Diop A. Biomechanical study of screws in the lateral masses: variables affecting pull-out resistance. *J Bone Joint Surg Am* 1996; 78 (9): 1315-1321.
32. Dunlop RB, Adams MA, Hutton WC. Disc space narrowing and the lumbar facet joints. . *J Bone Joint Surg Br* 1984; 66: 706-710.
33. Abumi K, Panjabi MM, Kramer KM, Duranceau J, Oxland T, Crisco JJ. Biomechanical evaluation of lumbar spinal stability after graded facetectomies. *Spine* 1990; 15(11): 1142-1147.
34. Lee KK, Teo EC. Effects of laminectomy and facetectomy on the stability of the lumbar motion segment. *Medical Engineering & Physics* 2004; 26: 183-192.
35. Zander T, Rohlmann A, Klöckner C, Bergmann G. Influence of graded facetectomy and laminectomy on spinal biomechanics. *Eur Spine J* 2003; 12: 427-434.
36. Volkman T, Horton WC, Hutton WC. Transfacet screws with lumbar interbody reconstruction: biomechanical study of motion segment stiffnessç *J Spinal Disord* 1996; 9 (5): 425-432.
37. Ferrara LA, Secor JL, Jin BH, Wakefield A, Inceoglu S, Benzel EC. A biomechanical comparison of facet screw fixation and pedicle screw fixation: effects of short-term and long-term repetitive cycling. *Spine* 2003; 28 (12) 1226-1234.
38. Mahar A, Kim C, Oka R, Odell T, Perry A, Mirkovic S, Garfin S. Biomechanical comparison of a novel percutaneous transfacet device and a traditional posterior system for single level fusion. *J Spinal Disord Tech* 2006; 19: 591-594.
39. Klekamp JW, Ugbo JL, Heller JG, Hutton WC. Cervical transfacet versus lateral mass screws: a biomechanical comparison. *J Spinal Disord* 2000; 13 (6): 515-518.
40. Miyajiri F, Mahar A, Oka R, Newton P. Biomechanical differences between transfacet and lateral mass screw-rod constructs for multilevel posterior cervical spine stabilization. *Spine* 2008; 33 (23): E865-E869.
41. Lee YP, Robertson C, Mahar A, Kuper M, Lee DS, Regev GJ, Garfin SR. Biomechanical evaluation transfaset screww fixation for stabilization of multilevel cervical corpectomies. *J Spinal Disord Tech* 2011; 24 (4): 258-263.
42. Leconte P. Fracture et luxation des deux premieres vertbres cervicales. In: Judet R (ed) *Luxation Congenitale de la Hanche. Fractures du Cou-de-pied Rachis cervicaç*. Actualites de Chirurgie Orthopedique dr l'Hospital Raymond-Poincare, vol 3. Masson et Cie, Paris, 1964: 147-166.
43. Abumi K, Ito 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 Disorder* 1994; 7 (1): 19-28.
44. Bozkus H, Ames CP, Chamberlain RH, Nottmeier EW, Sonntag VK, Papadopoulos SM, Crawford NR. Biomechanical analysis of rigid stabilization techniques for three-column injury in the lower cervical spine. *Spine* 2005; 30 (8): 915-922.
45. Hojo Y, Ito M, Suda K, Oda I, Yoshimoto H, Abumi K. A multicenter study on accuracy and complications of freehand placement of cervical pedicle screws under lateral fluoroscopy in different pathological conditions: CT-based evaluation of more than 1000 screws. *Eur Spine J* 2014; 23: 2166-2174.

46. Kim YJ, Lenke LG. Thoracic pedicle screw placement: Free-hand technique. *Neurol India* 2005; 53 (4): 512-519.
47. Fu CF, Liu Y, Zhang SK, Song ZM. Biomechanical study on pullout strength of thoracic extra-pedicular screw fixation. *Chin J Traumatol* 2006; 9 (6): 374-376.
48. Little AS, Brasiense LB, Lazaro BC, Reyes PM, Dickman CA, Crawford NR. Biomechanical comparison of costotransverse process screw fixation and pedicle screw fixation of the upper thoracic spine. *Neurosurgery* 2010; 66 (3 Suppl Operative): 178-182.
49. Hirano Y, Hasegawa K, Takahashi HE, Uchiyama S, Hara T, Washio T, Sugiura T, Yokaichiya M. Structural characteristics of the pedicle and its role in screw stability. *Spine* 1997; 22 (21): 2504-2510.
50. Santoni BG, Hynes RA, McGilvray KC, Rodriguez-Canessa G, Lyons AS, Henson MA, Womack WJ, Puttlitz CM. Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws. *Spine J* 2009; 9: 366-373.
51. Perez-Orribo L, Kalb S, Reyes PM, Chang SW, Crawford NR. Biomechanics of lumbar cortical screw-rod fixation versus pedicle screw-rod fixation with and without interbody support. *Spine* 2013; 38: 635-641.
52. DePasse JM, Valdes M, Palumbo MA, Daniels AH, Ebersson CP. S-1 alar/iliac screw technique for spinopelvic fixation. *J Neurosurg Spine* 2018; 28 (5): 543-547.
53. Moftakhar R, Trost GR. Anterior cervical plates: a historical perspective. *Neurosurg Focus* 2004; 16 (1): 1-5.
54. Galler RM, Dogan S, Fifield MS, Bozkus H, Chamberlain RH, Sonntag VKH, Crawford N. Biomechanical comparison of instrumented and uninstrumented multilevel cervical discectomy versus corpectomy. *Spine* 2007; 32 (11): 1220-1226.
55. Bozkus H, Chamberlain RH, Perez Garza LE, Crawford NR, Dickman CA. Biomechanical comparison of anterolateral plate, şateral plate, and pedicle-rods for enhancing anteroşateral lumbar interbody cage stabilization. *Spine* 2004; 29 (6): 635-641.
56. White A III, Panjabi M. *Clinical Biomechanics of Spine*, 2<sup>nd</sup> ed. Philadelphia, JB Lippincott, 1990.
57. Myklebust JB, Pintar F, Yoganandan N, Cusick JF, Maiman D, Myers TJ, Sances A Jr. Tensile strenght of spinal ligaments. *Spine* 1988; 13: 526-531.

# BÖLÜM 11



## Cerrahi Teknik - Enstruman İlişkisi

Ömer AKÇALI<sup>1</sup>

### GİRİŞ

Omurga cerrahisini diğer cerrahi uygulamalardan farklı kılan özelliklerden birisi ameliyatların bir kısmında metalik malzemeler ve enstrumanların kullanılması gerekliliğidir. Omurga bütünlüğünü bozan destrüktif hastalıklar, bazı travmatik yaralanmalar ve omurga instabilitelerinde omurga enstrumantasyonu bazen kaçınılmaz olur. Bunun yanında deformite cerrahisi hemen her zaman enstrumantasyona ihtiyaç duyar. Omurga enstrumantasyonu, spinal stabilite sağlamanın yanında omurgaya destek görevi de görebilir. Erken başlangıçlı deformitelerde ise rigid enstrumantasyondan çok büyümeye uyumlu spinal enstrumantasyon sistemleri öne plana çıkar. Deformite cerrahisinde kullanılan düzeltme manevraları metal-kemik temas noktalarına farklı oranlarda ve vektörlerde yük binmesine neden olur. Bazen uygulanan düzeltme manevralarının hastaya veya deformiteye uygun olmaması nedeniyle ameliyat sırasında ya da ameliyat sonrası erken dönemde implant yetmezlikleri ve gevşemeler görülebilir.

### OMURGANIN HAREKET SEGMENTİ

Omurga enstrumantasyonu, hareket segmentlerini her zaman için normal biyomekanik stabiliteye getirmelidir. Omurga için biyomekanik stabilite kavramı Panjabi ve White tarafından tanımlanmış olup omurlar arası hareketlerin, fizyolojik yüklenmeler altında nörolojik hasar, ağrı ve fonksiyon kısıtlılığı oluşturmadan normal hareket sınırları arasında olmasıdır(1). Omurganın segmenter biyomekanik ünitesi hareket segmenti olarak isimlendirilir. Bir hareket segmenti, üstteki omurun yarısı ile alttaki omurun üst yarısından oluşur. Hareket segmentinin statik yapıları, önde anulusfibrosus, nukleuspulposus, anterior ve posterior longitudinal ligamentleri içerirken posteriora faset eklemler, ligamentum flavum, supraspinöz ve inters-

<sup>1</sup> Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversite Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji AD., omerakcali@gmail.com

Tüm omurganın tek seferde döndürülerek düzeltilmesi ile ortaya çıkabilen omuz asimetrisi başta olmak üzere denge sorunları başka arayışları beraberinde getirmiştir. Yakın zamanlarda tüm omurganın rotasyonu yerine apikal bölgenin segmenter rotasyonunun klinik ve biyomekanik olarak avantajlı olabileceği vurgulanmıştır (14). Segmenter apikal derotasyon için özel implant sistemleri gerekmektedir. Vidalar ve rodler yerleştirildikten sonra rod derotasyonu yapıp distal vidalar sabitlenir. Apikal bölgeye yaklaştıkça aynı omurdaki karşılıklı iki vida ile omur döndürülerek sabitlenir. Böylece koronal ve aksiyel planda çok daha iyi düzeltme oranları elde edilebilir. Ancak apikal derotasyonun da sagittal planda hipokifoz yaptığı öne sürülmüştür(15).

Dikkat edilirse günümüzde halen deformite düzeltilmesi için tek bir reçete yoktur. Gerekli durumlarda birkaç düzeltme manevrası kombine edilerek kullanılmalıdır. Çengeller günümüzde demode ve yararsız gibi görünse de deformite cerrahisi yapacak herkesin elinin altında bulunması ve kullanımına yatkın olunması gerekir. İmplant ile kemik yüzeyin temas noktaları çok önemlidir. Vidaların pedikül içinden veya dıştan içe doğru yerleştirilmesi, anatomik veya direkt yolla yerleştirilmesi gibi detaylar, düzeltme manevraları sırasında kemik-metal bileşimine gelen yükleri direkt olarak etkiler. Deformitenin çok iyi analiz edilmesi gerekir. Deformite tipine, sertlik derecesine, uzunluğuna, kemik kalitesi ve hasta kaynakla faktörler gibi birçok koşul göz önünde bulundurulmalıdır. İmplant seçimi ve düzeltme manevralarına yukarıda sayılan bu faktörler göz önünde tutularak karar verilmelidir.

## KAYNAKLAR

1. White AA, Panjabi MM. Clinical Biomechanics of the Spine. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott; 1990;1–125.
2. Haer TR, Bergman M, O'Brien M, Felmy WT, Choueka J, Welin D, Chow G, Vassiliou A. The effect of the three columns of the spine on the instantaneous axis of rotation in flexion and extension. Spine (Phila Pa 1976). 1991 Aug;16(8 Suppl):S312-8.
3. Elston J, Saldua N. Lumbosacral instrumentation. in Spine Surgery Basics, Eds. Patel V, Patel A, Harrop JS, Burger E. Berlin: Springer; 2014; 113-146.
4. Slone RM. Spinal fixation. Part 2. Fixation techniques and hardware for the thoracic and lumbosacral spine. Radiographics 1993, 13(3):521–543
5. Kebaish KM. Sacropelvic fixation: techniques and complications. Spine 2010, 35(25):2245–2251.
6. Liljenqvist U, Hackenberg L, Link T, Halm H. Pullout strength of pedicle screws versus pedicle and laminar hooks in the thoracic spine. Acta Orthop Belg 2001, 67(2):157–163.
7. Liljenqvist U, Lepsien U, Hackenberg L, Niemeyer T, Halm H. Comparative analysis of pedicle screw and hook instrumentation in posterior correction and fusion of idiopathic thoracic scoliosis. Eur Spine J 2002, 11(4):336–343.
8. Skinner R, Maybee J, Transfeldt E, Venter R, Chalmers W. Experimental pullout testing and comparison of variables in transpedicular screw fixation. A biomechanical study. Spine 1990, 15(3): 195–201.

9. Rose PS. Pedicle screw instrumentation for adult idiopathic scoliosis: an improvement over hook/hybrid fixation. *Spine* 2009, 34(8):852–857; discussion 858.
10. Harrington PR: Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. *J Bone Joint Surg Am* 1962, 44-A: 591–610.
11. Luque ER: Segmental spinal instrumentation for correction of scoliosis. *Clin Orthop Relat Res* 1982, 163: 192–198.
12. Cotrel Y, Dubousset J, Guillaumat M: New universal instrumentation in spinal surgery. *Clin Orthop Relat Res* 1988, 227: 10–23.
13. Akçali O, Alici E, Koşay C. Apical instrumentation alters the rotational correction in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J.* 2003 Apr;12(2):124-9.
14. Cheng I, Hay D, Iezza A, Lindsey D, Lenke LG. Biomechanical analysis of derotation of the thoracic spine using pedicle screws. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010 May 1;35(10):1039-43.
15. Watanabe K, Nakamura T, Iwanami A, Hosogane N, Tsuji T, Ishii K, Nakamura M, Toyama Y, Chiba K, Matsumoto M. Vertebral derotation in adolescent idiopathic scoliosis causes hypokyphosis of the thoracic spine. *BMC Musculoskelet Disord.* 2012 Jun 12;13:99.





*Burak TAHMAZOĞLU<sup>1</sup>  
Taha Şükrü KORKMAZ<sup>2</sup>  
Murat HANCI<sup>3</sup>*

### GİRİŞ

Günümüz omurga cerrahisinde enstrümansız füzyon düşünülemez, gel gelelim her enstrüman doğası gereği zaman içinde yorulur ve kırılır. Dolayısı ile yükü üzerinden almak gerekir ki bu da füzyon ile sağlanabilir. Kemik yaşayan bir yapı iken enstrüman yıkıma mahkum bir yapıdır ve dolayısı ile uzun vadeli güven vermemelidir. Fakat kısa dönemde onsuz olunamayacak bir yapı taşıdır. Füzyon kütlesi gerçekleşene değin, sistemin bütünlüğü için gereksinim duyduğumuz bu yapının kemik dokusu ile bütünleşmesini (osteointegrasyon) hep arzu etmişizdir, ama ne denli başarabildiğimiz ayrı bir tartışma konusudur. Dediğimiz gibi füzyon amaçtır da ya bunu başaramaz isek .... İşte o zaman başımızı ağrıtan sorun başlar ki bu da psödoartrozdur.

Bu girizgahtan sonra ortaya koymamız gereken husus, omurga cerrahisinde, temel olarak yaptığımız şey, var olan patolojiyi tedavi etmek amacıyla kemik yapıyı kırmak ve istediğimiz biçimde tekrar kaynaştırmaktır. Hal böyle olunca kırık iyileşmesine değinerek söze başlamamız gerekir diye düşünüyorum. Daha sonra da “kırığın iyileşememesi” ve enstrüman ile kemiğin birlikteliğinin irdelenmesi konularına değineceğiz.

Kemik bütünlüğünün ve devamlılığının bozulduğu yumuşak doku travmalarına kırık denir. Kırık biyomekanik bir olay olmasına rağmen kemik rezorpsiyonu ve yeni kemik oluşumu gibi önemli biyolojik olayların tetikleyicisidir. Başrol oyuncularımız, kemikteki yapım ve yıkım süreçleri sürekli olarak da devam etmektedir (1).

<sup>1</sup> Op. Dr., İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi AD, buraktahmazoglu@gmail.com

<sup>2</sup> Op. Dr., İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi AD, t.sukrukorkmaz@gmail.com

<sup>3</sup> Prof. Dr., İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi AD, murath@istanbul.edu.tr

## TEMEL SPİNAL ENSTRÜMAN BİLGİSİ

özellikleri, yumuşak dokuya yön verme ve kemik kaybını engelleme gibi faydalar sağlayabilmektedir.

Erken iyileşme dönemi hariç tutulursa, kemik tamir tedavisi için kullanılan titanyum (ve benzeri alaşımları), bir grup diğer metaller ve yıkılabilir biyomateryallerin, mikro-nano düzeyde organizasyonları düzenli lameller kemik yapısına benzerdir ve karbonlu apatit, tip-1 kollajen ve nonkollajen proteinleri içerir. Güncel bilgi ve mevcut deneysel verilere dayanarak, implante edilmesi sonrası kemik hacminin kararlı duruma geldiği bir zamansal noktada, osteoentegrasyonun sağlandığının düşünülmesi için implant-yüzey ilişkisi iki temel kriteri içermelidir:

1. Ara yüz baskın olarak düzenli dizilimde mineralize kollajen fibrilleri içermeli,
2. Osteositler implant yüzeyiyle fiziksel temas kurabilmeli ve sürdürebilmelidir.

Kaçınılmaz şekilde, bu sürenin türler arasında, kullanılan materyal arasında, yüzey dizayn özellikleri arasında, altta yatan ek sistemik hastalıklara göre değişiklik göstereceği aşikârdır. Temel olarak, morfolojik ve moleküler analizleri korele etmek gerekir. Ancak, hala cevaplanamamış birtakım anahtar sorular mevcut. Örneğin, ara yüz yapısının osseointegre bir implantın nihai fonksiyonu için belirleyici olup olmadığı, ya da ne dereceye kadar belirleyici olduğu bilinmemektedir. Benzer şekilde, diabetes mellitus gibi iyileşmenin sekteye uğradığı sistemik rahatsızlıklarda, radyoterapi sonrası, geometrik dizayn özelliklerine verilen kemik iyileşme cevabının dinamikleri, kollajen fibrillerin ve apatit kristallerinin kemik-implant ara yüzünde düzenlenmesinin daha ileri çalışmalarla araştırılması gerekmektedir. Nihai olarak, aynı geometri, eksternal boyut, yüzey kimyası ve topografisine sahip implantlarla yapılacak, implant kütesinin değişken alındığı, osteosit laküno-kanaliküler yapının dış yüke kıyasla nasıl yapısal ve fonksiyonel adaptasyonlar geçirdiğini anlamaya yönelik çalışmalar planlanmalıdır.

Uzun lafın kısası arzu ettiğimiz yere varmaya daha çok yolumuz var, umudumuz bu konuda çalışan genç kuşakların varlığı.

## KAYNAKLAR

1. Sever C, Tezer M. Kırık iyileşmesi ve füzyon prensipleri. Omurga ve Omurilik Yaralanmaları, Eds: Murat Hancı, Belgin Erhan. İntertıp Kitapevi İzmir 2013 pp397-406
2. Bilsel N. Omurgada Pseudoartroz. Omurga ve Omurilik Yaralanmaları, Eds: Murat Hancı, Belgin Erhan. İntertıp Kitapevi İzmir 2013 pp407-412
3. AkyoL S. Biyomateryallerin İmplantasyonu Ve Doğal İmmün Yanıtlar. Tıpta inovasyon ve renovasyon mozaïği. Berikan yayınevi, Ankara, 2018 pp 25- 48
4. Albrektsson T, Albrektsson B. Osseointegration of bone implants: A review of an alternative mode of fixation, Acta Orthopaedica Scandinavica, (1987) 58:5,567-577
5. Mavrogenis AF, R. Dimitriou R, Parvizi J, Babis G.C. Biology of implant osseointegration J Musculoskelet Neuronal Interact 2009; 9(2):61-71

# BÖLÜM 13

## Osteoporotik Omurga Cerrahisinde Kullanılan İmplantlar<sup>1</sup>



Varol AYDIN<sup>2</sup>

Kadir KOTİL<sup>3</sup>

### GİRİŞ

Osteoporozla bağılı omurga kırıklarının ya da osteoporozun eşlik ettiği diğer omurga hastalıklarının cerrahi tedavisinde sıklıkla füzyon ve stabilizasyon yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Osteoporotik omurgadaki kemik yoğunluğu ve kalitesine bağılı olarak, füzyon ve stabilizasyon yöntemlerinin uygulanması sırasında kullanılan implantların kemik tutunumları azalmakta ve implant yetersizliği gibi komplikasyonların ortaya çıkma riski artmaktadır. Bu nedenle, omurga cerrahisinde kullanılan implantların osteoporotik hastalarda güvenli ve etkin bir şekilde kullanılabilmeleri için farklı yöntemlerle geliştirilmelerine çalışılmıştır. Bu yazıda osteoporotik omurga cerrahisinde kullanılmak üzere geliştirilen implantların kullanım ve etkinlikleri hakkında, literatür eşliğinde bilgiler özetlenmesi amaçlanmıştır.

### OSTEOPOROTİK OMURGA

Yaşlanma ya da metabolik nedenlerle ortaya çıkan osteoporoz, omurgada özellikle trabeküler kemik yapısını etkileyerek mikro hasarlar ile yeni kemik yapım hızının düşük olması nedeniyle kemik yoğunluğu ve kütlelerinde azalmaya neden olmaktadır (8,16,28,39,40). Kemik yoğunluğu ve kütlelerinin azalması da omurgada osteoporotik kırık gelişmesi riskini belirgin derecede arttırmaktadır.

Osteoporozla birlikte trabeküler kemikteki mineral kaybı, mikro kırıklar ve perforasyonlar omur gövdesinin vertikal yüklenmelere karşı dayanma gücünü azaltarak spontan ya da travmatik kırıkların gelişmesine neden olur (8,16,28,39,40). Osteoporozla bağılı omurga kırıkları akut ve semptomatik olabileceği gibi belirgin semptom

<sup>1</sup> Bu yazıyı hazırlamaya başlayan ama tamamlayamayan meslektaşım ve arkadaşım Dr. Kadir Kotil'i saygıyla anıyorum.

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi AD, drvarolaydin@gmail.com

<sup>3</sup> Prof. Dr.

kasyonların daha çok görüldüğünü, daha sık revizyon ve 360° füzyon uygulama zorunluluğu olduğunu bildirmişlerdir (17).

Osteoporotik hastalardaki anterior servikal omurga cerrahisi uygulamalarında intervertebral ve korpektomi kafeslerinin uygun yükseklikte ve endplate temas yüzeyini arttıracak şekilde mümkün olan en büyük genişlikte olması, bıçaklı ya da kilitli kafeslerin kullanılması, anterior plak-vida sistemi ile desteklenmesi, bikortikal vidaların tercih edilmesi, vertebra gövdesi ile vida çevrelerine sement enjeksiyonu ve gerekirse posterior stabilizasyon uygulanması önerilmektedir (8,33,44).

Son zamanlarda hastalarda saptanan BMD düzeyi ile uyumlu olacağı intervertebral kafesler de üretilmekte ve kullanılmaktadır. Kemik dansitesine uygun bu kafeslerin kullanılmasının kafeslerin endplatelere gömülmesi riskini azaltacağı, gözenekli yapılarıyla yeni kemik oluşumu ve füzyon oranını arttıracakları bildirilmiştir (12).

### **KEMİK GREFTLER**

Osteoporozlu hastaların omurga cerrahilerinde füzyonu sağlamak için kemik greftlerin kullanılması önemlidir. Özellikle otojen kortikokanselöz kemik greftleri içerdikleri osteoindüktif ve osteokondüktif hücreler nedeniyle allogreftler ile birlikte kullanıldıklarında osteojenik etkiyi arttırmakta ve yeni kemik oluşumunu kolaylaştırmakta ve mekanik destek sağlamaktadırlar (28). Otojen greftler ve allogreftlerin yanı sıra hidroksi apatit ve kollojen içeren kemik greftleri de yeni kemik oluşumunu sağlamak için kullanılabilirler (28). Demineralize kemik matrisleri ise otojen kemik greftleri ile birlikte kullanılmalıdır (28).

### **KAYNAKLAR**

1. Amendola L, Gasbarrini A, Fosco M et al. Fenestrated pedicle screws for cement-augmented purchase in patients with bone softening: a review of 21 cases. *J Orthopaed Traumatol* 12: 193–199, 2011
2. Cai K, Luo K, Zhu J et al. Effect of pedicle-screw rod fixation on oblique lumbar interbody fusion in patients with osteoporosis: a retrospective cohort study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 16: 429-437, 2021
3. Chandra RV, Maingard J, Asadi H et al. Vertebroplasty and Kyphoplasty for Osteoporotic Vertebral Fractures: What Are the Latest Data? *Am J Neuroradiol* 39: 798-806, 2018
4. Chao KH, Lai YS, Chen WC. Biomechanical analysis of different types of pedicle screw augmentation: A cadaveric and synthetic bone sample study of instrumented vertebral specimens. *Medical Engineering & Physics* 35 1506–1512, 2013
5. Chin DK, Park Y, Yoon YS, et al. Prevalence of osteoporosis in patients requiring spine surgery: Incidence and significance of osteoporosis in spine disease. *Osteoporos Int* 18(9):1219-1224, 2007
6. Cho JH, Hwang CJ, Kim H et al. Effect of osteoporosis on the clinical and radiological outcomes following one-level posterior lumbar interbody fusion. *Journal of Orthopaedic Science* 23: 870-877, 2018
7. Cook SD, Barbera J, Rubi M et al. Lumbosacral fixation using expandable pedicle screws: an alternative in reoperation and osteoporosis. *The Spine Journal* 1: 109-114, 2001

8. Dalgıç A, Çağlar Ş. Osteoporotik Omurgada Fiksasyon Teknikleri. Özer AF, Aslantaş A, Dalbayrak S (ed), Temel Spinal Cerrahi, Cilt 1, İzmir İntertıp Yayınevi, 2016: 491-499
9. Dodwad SNM, Khan SN. Surgical Stabilization of the Spine in the Osteoporotic Patient. *Orthop Clin N Am* 44: 243-249, 2013
10. Escher A, Ender SA, Ulmar B et al. Cementless Fixation of Osteoporotic CFs Using Titanium Mesh Implants (OsseoFix): Preliminary Results. *BioMed Research International Article ID 853897*, Volume 2014
11. Ender SA, Wetterau E, Ender M et al. Percutaneous Stabilization System OsseofixH for Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures - Clinical and Radiological Results after 12 Months. *PLOS ONE*, 8(6): e65119, June 2013
12. Falowsky SM, Koga SF, Northcutt T. Improving the Management of Patients with Osteoporosis Undergoing Spinal Fusion: The Need for a Bone Mineral Density-Matched Interbody Cage. *Orthopedic Research and Reviews* 13: 281-288, 2021
13. Fiani B, Newhouse A, Sarhadi KJ et al. Special Considerations to Improve Clinical Outcomes in Patients with Osteoporosis Undergoing Spine Surgery. *International Journal of Spine Surgery*, 15(2): 386-401, 2021
14. Filippiadis DK, Marcia S, Masala S et al. Percutaneous Vertebroplasty and Kyphoplasty: Current Status, New Developments and Old Controversies. *Cardiovasc Intervent Radiol* 40:1815-1823, 2017
15. Fu J, Yao JM, Wang Z. Surgical treatment of osteoporotic degenerative spinal deformity with expandable pedicle screw fixation: 2-year follow-up clinical study. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 104: 411-415, 2018
16. Gergin S, Tatarlı N. Omurga (Columna Vertebralis) Anatomisi ve Osteoporotik Değişim. Kahraman S, Benli İT (ed), Osteoporotik Omurga, Türk Omurga Derneği Yayınları-9, 2016: 23-32
17. Guzman JZ, Feldman ZM, McAnany S et al. Osteoporosis in Cervical Spine Surgery, *SPINE* 41(8): 662-668, 2016
18. Hoppe S, Keel MJR. Pedicle screw augmentation in osteoporotic spine: indications, limitations and technical aspects. *Eur J Trauma Emerg Surg* 43:3-8, 2017
19. Hu X, Jiang W, Chen Y et al. Revision surgery after cement augmentation for osteoporotic vertebral fracture. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 107: 102796, 2021
20. Jeor JDSt, Jackson TJ, Xiong AE et al. Osteoporosis in spine surgery patients: what is the best way to diagnose osteoporosis in this population? *Neurosurg Focus* 49 (2): E4, 2020
21. Lehman RA Jr, Kang DG, Wagner SC. Management of Osteoporosis in Spine Surgery. *J Am Acad Orthop Surg* 23: 253-263, 2015
22. Li Y, Liu S, He Z et al. Comparison of Long-Term Efficacy of MIS-TLIF Intraoperative Implants in Patients with Osteoporosis. *Computational and Mathematical Methods in Medicine Article ID 2565391*, Volume 2022,
23. Lubansu A, Rynkowsky M, Abeloos L et al. Minimally Invasive Spinal Arthrodesis in Osteoporotic Population Using a Cannulated and Fenestrated Augmented Screw: Technical Description and Clinical Experience. *Minimally Invasive Surgery Article ID 507826*, Volume 2012
24. Manz D, Georgy M, Beall DP et al. Vertebral augmentation with spinal implants: third-generation vertebroplasty. *Neuroradiology* 62: 1607-1615, 2020
25. Mueller M, Hoskinson S, Shepperd J. Hydroxyapatite versus Non-coated Pedicle Screws in Dynamic Posterior Stabilisation. *Orthoedic Proceedins*. Published Online Vol. 94-B, No. Supp\_XXVI, 2018
26. Oh KW, Lee JH, Lee JH. The Correlation Between Cage Subsidence, Bone Mineral Density, and Clinical Results in Posterior Lumbar Interbody Fusion. *Clin Spine Surg* 30: E683-E689, 2017
27. Ohe M, Moridari H, Inami S et al. Pedicle screws with a thin hydroxyapatite coating for improving fixation at the bone-implant interface in the osteoporotic spine: experimental study in a porcine model. *J Neurosurg Spine* 28:679-687, 2018

28. Okutan Ö, Zileli M. Osteoporozda Cerrahi Tedavi. Zileli M, Özer F (ed), Omurluk ve Omurga Cerrahisi, Cilt 2, İzmir İntertip Yayınevi, 2014: 1241-1248
29. Park SB, Chung CK. Strategies of Spinal Fusion on Osteoporotic Spine. *J Korean Neurosurg Soc* 49: 317-322, 2011
30. Paz RDR, Figueri PR. Osteoporosis and spinal surgery: strategies for medical and surgical treatment. *Rev Osteoporos Metab Miner.* 10(1):41-54, 2018
31. Ponnusamy KE, Iyer S, Gupta G et al. Instrumentation of the osteoporotic spine: biomechanical and clinical considerations. *The Spine Journal* 11: 54-63, 2011
32. Rometsch E, Spruit M, Zigler JE. Screw-Related Complications After Instrumentation of the Osteoporotic Spine: A Systematic Literature Review With Meta-Analysis. *Global Spine Journal* Vol. 10(1): 69-88, 2020
33. Rong Y, Luo Y, Liu W. Clinical effects of the bridge-type ROI-C interbody fusion cage system in the treatment of cervical spondylosis with osteoporosis. *Clinical Interventions in Aging* 13: 2543–2551, 2018
34. Seo JH, Ju CI, Kim SW et al. Clinical Efficacy of Bone Cement Augmented Screw Fixation for the Severe Osteoporotic Spine. *Korean J Spine* 9(2):79-84, 2012
35. Shea TM, Laun J, Gonzales-Blohm SA et al. Designs and Techniques That Improve the Pullout Strength of Pedicle Screws in Osteoporotic vertebrae: Current Status. *BioMed Research International* Article ID 748393, Volume 2014
36. Tai CL, Tsai TT, Lai PL et al. A Biomechanical Comparison of Expansive Pedicle Screws for Severe Osteoporosis: The Effects of Screw Design and Cement Augmentation. *PLOS ONE* 10(12): e0146294, 2015
37. Tandon V, Franke J, Kalidindi KKV. Advancements in osteoporotic spine fixation. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma* 11, 778-785, 2020
38. Tandon V, Kalidindi KKV, Pacha S et al. A Prospective Study on the Feasibility, Safety, and Efficacy of a Modified Technique to Augment the Strength of Pedicle Screw in Osteoporotic Spine Fixation. *Asian Spine J* 14(3):357-363, 2020
39. Tome-Bermejo F, Pinera AR, Alvarez-Galovich L. Osteoporosis and the Management of Spinal Degenerative Disease (I). *Arch Bone Jt Surg.* 5(5): 272-282, 2017
40. Tome-Bermejo F, Pinera AR, Alvarez-Galovich L. Osteoporosis and the Management of Spinal Degenerative Disease (II). *Arch Bone Jt Surg.* 5(6): 363-374, 2017
41. Tutton SM, Pflugmacher R, Davidian M et al. KAST Study: The Kiva System As a Vertebral Augmentation Treatment—A Safety and Effectiveness Trial. *Spine* 40: 865–875, 2015
42. Virk S, Yu E. Spinal implant options to optimize fixation in patients with osteopenia/osteoporosis. *Semin Spine Surg* 30: 49-53, 2018
43. Vishnubhotla S, McGarry WB, Mahar AT et al. A titanium expandable pedicle screw improves initial pullout strength as compared with standard pedicle screws. *The Spine Journal* 11: 777–781, 2011
44. Waschke A, Walter J, Duenish P et al. Anterior Cervical Intercorporeal Fusion in Patients With Osteoporotic or Tumorous Fractures Using a Cement Augmented Cervical Plate System. First Results of a Prospective Single-center Study. *J Spinal Disord Tech* 26: E112–E117, 2013
45. Watanabe K, Katsumi K, Ohashi M et al. Surgical outcomes of spinal fusion for osteoporotic vertebral fracture in the thoracolumbar spine: Comprehensive evaluations of 5 typical surgical fusion techniques. *Journal of Orthopaedic Science* 24: 1020e1026, 2019
46. Wu ZX, Cui G, Lei W et al. Application of an expandable pedicle screw in the severe osteoporotic spine: A preliminary study. *Clin Invest Med* 33 (6): E368-E374, 2010
47. Yuan WH, Hsu HC, Lai KL. Vertebroplasty and balloon kyphoplasty versus conservative treatment for osteoporotic vertebral compression fractures. A meta-analysis. *Medicine* 95:31 (e4491), 2016
48. Zhang J, Wang G, Zhang N. A meta-analysis of complications associated with the use of cement-augmented pedicle screws in osteoporosis of spine. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 107: 102791, 2021

# BÖLÜM 14

## Geçiş Bölgelerinde Enstrüman Sorunları, Yük Yoğunlaşması ve Proksimal Bileşke Sorunları



Seymur NİFTALİYEV<sup>1</sup>  
Erkan KAPTANOĞLU<sup>22</sup>

### GİRİŞ

Omurganın geçiş alanlarındaki birleşke sorunları omurga cerrahisinin güncel sorunlarından birisidir. Her yaşta ve stabilizasyon yapılmış çeşitli vaka örneklerinde izlense de sıklıkla uzun segment enstrumantasyon uygulanan erişkin deformite cerrahisi vakalarında – skolyoz ve kifoz vakalarında, ve ileri yaşla sıklığı armaktadır(1, 2). Geçiş bölgelerindeki esntruman sorunlarına proksimal bileşke kifozu (PBK), proksimal bileşke yetmezliği (PBY), distal bileşke kifozu (DBK), bileşke skolyozu, eklenmiş bileşke kifozu (intercalary junctional kyphosis) dahildir(2). Geçiş bölgelerinde enstruman sorunlarının gelişiminde, geçiş bölgelerinin doğal anatomi ve biyomekaniği, gelişmiş patoloji sonucunda oluşmuş omurga dizilim ve parametre bozuklukları ile yanaşı, ameliyat kurgusu ve ameliyatta kullanılan malzemeler de etkendir.

### GEÇİŞ BÖLGELERİNİN DOĞAL ANATOMİ VE BİYOMEKANIĞI

Omurga anatomisinde geçiş bölgeleri hem ağırlık paylaşımı hem de patolojik durumların oluşmu açısından önemlidir. Bileşke alanları rijid ve hareketli omurga bölgeleri arasında yük dağılımını belirler. Bu bölgelerin anatomi ve biyomekaniğini anlamamız, enstrumante edilmiş hastalarda enstrumantasyon yapılan alanın, yapılmamış alana göre daha rijid olduğunu dikkate alırsak, bileşke sorunlarını anlamamıza ve bu sorunları çözmemize yardımcı olacaktır.

### KRANİO-SERVİKAL BİLEŞKE

Kranioservikal bileşke, bazı otörlere göre kafatası ve servikal omurgadan ayrı bir alan olarak değerlendirilmesi gereken, kemikler ve onların oluşturduğu sinovyal

<sup>1</sup> Op. Dr., Okan Üniversitesi Hastanesi, Nöroşirurji, dr.niftaliyev@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Nöroşirurji, erkankaptanoglu@gmail.com

basit, güvenli ve ameliyat süresini önemli ölçüde artırmayan teknik olarak, omurga deformitesinde PBK'nın önlenmesi için önermektedirler[59].

## SONUÇ

Sonuçta omurganın geçiş alanlarındaki bileşke sorunları vaka serileri biriktikçe daha iyi analiz edilmektedir. Geçiş bölgelerindeki anatomik ve biyomekanik özellikler daha iyi anlaşıldıkça, bilim ve teknoloji omurgayı daha iyi taklit eden enstrümanlar geliştirdikçe, geçiş bölgelerindeki sorunları daha da azalacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Kim, H.J., et al., *Proximal junctional kyphosis as a distinct form of adjacent segment pathology after spinal deformity surgery: a systematic review*. Spine, 2012. **37**: p. S144-S164.
2. Arlet, V. and M. Aebi, *Junctional spinal disorders in operated adult spinal deformities: present understanding and future perspectives*. European Spine Journal, 2013. **22**(2): p. 276-295.
3. Offiah, C.E. and E. Day, *The craniocervical junction: embryology, anatomy, biomechanics and imaging in blunt trauma*. Insights into imaging, 2017. **8**(1): p. 29-47.
4. Lopez, A.J., et al., *Anatomy and biomechanics of the craniovertebral junction*. Neurosurgical focus, 2015. **38**(4): p. E2.
5. Dvorak, J., et al., *Biomechanics of the craniocervical region: the alar and transverse ligaments*. Journal of Orthopaedic Research, 1988. **6**(3): p. 452-461.
6. Dvorak, J., et al., *In vivo flexion/extension of the normal cervical spine*. Journal of Orthopaedic Research, 1991. **9**(6): p. 828-834.
7. Godzik, J., et al., *Biomechanical evaluation of cervicothoracic junction fusion constructs*. World neurosurgery, 2019. **124**: p. e139-e146.
8. Yu, C.C., et al., *Pedicle Morphometry of Upper Thoracic Vertebrae: An Anatomic Study of 503 Cadaveric Specimens*. Spine, 2014. **39**(20): p. E1201-E1209.
9. Barrey, C., et al., *Transpedicular screwing of the seventh cervical vertebra: anatomical considerations and surgical technique*. Surgical and Radiologic Anatomy, 2003. **25**(5-6): p. 354-360.
10. Clifton, W., et al., *Techniques and tips for freehand placement of C7 pedicle screws with respect to cervicothoracic constructs: 2-dimensional operative video*. Operative Neurosurgery, 2020. **18**(6): p. E234-E234.
11. Wang, V.Y. and D. Chou, *The cervicothoracic junction*. Neurosurgery Clinics of North America, 2007. **18**(2): p. 365-371.
12. Wood, K.B., et al., *Management of thoracolumbar spine fractures*. The spine journal, 2014. **14**(1): p. 145-164.
13. Fernández-de Thomas, R.J. and O. De Jesus, *Thoracolumbar Spine Fracture*, in *StatPearls*. 2020, StatPearls Publishing Copyright © 2020, StatPearls Publishing LLC.: Treasure Island (FL).
14. El Dafrawy, M.H., et al., *Sacro pelvic Fixation: A Comprehensive Review*. Spine Deform, 2019. **7**(4): p. 509-516.
15. Farfan, H. and W. Kirkaldy-Willis, *The present status of spinal fusion in the treatment of lumbar intervertebral joint disorders*. Clinical Orthopaedics and Related Research, 1981(158): p. 198-214.
16. Panjabi, M.M. and A.A. White III, *Basic biomechanics of the spine*. Neurosurgery, 1980. **7**(1): p. 76-93.



17. Dietrich, M. and P. Kurowski, *The importance of mechanical factors in the etiology of spondylolysis. A model analysis of loads and stresses in human lumbar spine*. Spine, 1985. **10**(6): p. 532-542.
18. COLOMBIN, D., et al., *Estimation of lumbar disc areas by means of anthropometric parameters*. Spine, 1989. **14**(1): p. 51-55.
19. Lau, D., et al., *Proximal junctional kyphosis and failure after spinal deformity surgery: a systematic review of the literature as a background to classification development*. Spine, 2014. **39**(25): p. 2093-2102.
20. O'Leary, P.T., et al., *Risk factors and outcomes for catastrophic failures at the top of long pedicle screw constructs: a matched cohort analysis performed at a single center*. Spine, 2009. **34**(20): p. 2134-2139.
21. Watanabe, K., et al., *Proximal junctional vertebral fracture in adults after spinal deformity surgery using pedicle screw constructs: analysis of morphological features*. Spine, 2010. **35**(2): p. 138-145.
22. Hart, R.A., et al., *Proximal junctional acute collapse cranial to multi-level lumbar fusion: a cost analysis of prophylactic vertebral augmentation*. The Spine Journal, 2008. **8**(6): p. 875-881.
23. Shufflebarger, H., S.-I. Suk, and S. Mardjetko, *Debate: determining the upper instrumented vertebra in the management of adult degenerative scoliosis: stopping at T10 versus L1*. Spine, 2006. **31**(19S): p. S185-S194.
24. Kwon, B.K., et al., *Progressive junctional kyphosis at the caudal end of lumbar instrumented fusion: etiology, predictors, and treatment*. Spine, 2006. **31**(17): p. 1943-1951.
25. Koller, H., et al., *Surgical treatment of Scheuermann's kyphosis using a combined antero-posterior strategy and pedicle screw constructs: efficacy, radiographic and clinical outcomes in 111 cases*. European Spine Journal, 2014. **23**(1): p. 180-191.
26. Maruo, K., et al., *Predictive factors for proximal junctional kyphosis in long fusions to the sacrum in adult spinal deformity*. Spine, 2013. **38**(23): p. E1469-E1476.
27. Hostin, R., et al., *Incidence, mode, and location of acute proximal junctional failures after surgical treatment of adult spinal deformity*. Spine, 2013. **38**(12): p. 1008-1015.
28. Yagi, M., K.B. Akilah, and O. Boachie-Adjei, *Incidence, risk factors and classification of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis*. Spine, 2011. **36**(1): p. E60-E68.
29. Hart, R., et al., *Identification of decision criteria for revision surgery among patients with proximal junctional failure after surgical treatment of spinal deformity*. Spine, 2013. **38**(19): p. E1223-E1227.
30. Kim, H.J., et al., *Combined anterior-posterior surgery is the most important risk factor for developing proximal junctional kyphosis in idiopathic scoliosis*. Clinical Orthopaedics and Related Research®, 2012. **470**(6): p. 1633-1639.
31. Wang, J., et al., *Risk factor analysis of proximal junctional kyphosis after posterior fusion in patients with idiopathic scoliosis*. Injury, 2010. **41**(4): p. 415-420.
32. Yagi, M., A.B. King, and O. Boachie-Adjei, *Incidence, risk factors, and natural course of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis. Minimum 5 years of follow-up*. Spine, 2012. **37**(17): p. 1479-1489.
33. Kim, H.J., et al., *Proximal junctional kyphosis results in inferior SRS pain subscores in adult deformity patients*. Spine, 2013. **38**(11): p. 896-901.
34. Kim, Y.J., et al., *Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity after segmental posterior spinal instrumentation and fusion: minimum five-year follow-up*. Spine, 2008. **33**(20): p. 2179-2184.
35. Kim, Y.J., et al., *Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis after 3 different types of posterior segmental spinal instrumentation and fusions: incidence and risk factor analysis of 410 cases*. Spine, 2007. **32**(24): p. 2731-2738.

36. Lee, G.A., et al., *Proximal kyphosis after posterior spinal fusion in patients with idiopathic scoliosis*. Spine, 1999. **24**(8): p. 795-799.
37. Mendoza-Lattes, S., et al., *Proximal junctional kyphosis in adult reconstructive spine surgery results from incomplete restoration of the lumbar lordosis relative to the magnitude of the thoracic kyphosis*. The Iowa orthopaedic journal, 2011. **31**: p. 199.
38. Ha, Y., et al., *Proximal junctional kyphosis and clinical outcomes in adult spinal deformity surgery with fusion from the thoracic spine to the sacrum: a comparison of proximal and distal upper instrumented vertebrae*. Journal of Neurosurgery: Spine, 2013. **19**(3): p. 360-369.
39. Denis, F., E.C. Sun, and R.B. Winter, *Incidence and risk factors for proximal and distal junctional kyphosis following surgical treatment for Scheuermann kyphosis: minimum five-year follow-up*. Spine, 2009. **34**(20): p. E729-E734.
40. Hyun, S.-J. and S.-C. Rhim, *Clinical outcomes and complications after pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance patients: a long-term follow-up data*. Journal of Korean Neurosurgical Society, 2010. **47**(2): p. 95.
41. O'Shaughnessy, B.A., et al., *Does a long-fusion "T3-sacrum" portend a worse outcome than a short-fusion "T10-sacrum" in primary surgery for adult scoliosis?* Spine, 2012. **37**(10): p. 884-890.
42. Kim, H.J., et al., *Patients with proximal junctional kyphosis requiring revision surgery have higher postoperative lumbar lordosis and larger sagittal balance corrections*. Spine, 2014. **39**(9): p. E576-E580.
43. Schwab, F., et al., *Adult spinal deformity—postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery*. Spine, 2010. **35**(25): p. 2224-2231.
44. Glattes, R.C., et al., *Proximal junctional kyphosis in adult spinal deformity following long instrumented posterior spinal fusion: incidence, outcomes, and risk factor analysis*. Spine, 2005. **30**(14): p. 1643-1649.
45. Kim, Y.J., et al., *Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis following segmental posterior spinal instrumentation and fusion: minimum 5-year follow-up*. Spine, 2005. **30**(18): p. 2045-2050.
46. Bridwell, K.H., et al., *Proximal junctional kyphosis in primary adult deformity surgery: evaluation of 20 degrees as a critical angle*. Neurosurgery, 2013. **72**(6): p. 899-906.
47. Bess, S., et al., *Pain and disability determine treatment modality for older patients with adult scoliosis, while deformity guides treatment for younger patients*. Spine, 2009. **34**(20): p. 2186-2190.
48. Anderson, A.L., et al., *The effect of posterior thoracic spine anatomical structures on motion segment flexion stiffness*. Spine, 2009. **34**(5): p. 441-446.
49. McClendon Jr, J., et al., *Techniques for operative correction of proximal junctional kyphosis of the upper thoracic spine*. Spine, 2012. **37**(4): p. 292-303.
50. Oxland, T., et al., *An anatomic basis for spinal instability: a porcine trauma model*. Journal of Orthopaedic Research, 1991. **9**(3): p. 452-462.
51. Aubin, C.-E., et al., *Instrumentation strategies to reduce the risks of proximal junctional kyphosis in adult scoliosis: a detailed biomechanical analysis*. Spine Deformity, 2015. **3**(3): p. 211-218.
52. Bess, S., et al., *The effect of posterior polyester tethers on the biomechanics of proximal junctional kyphosis: a finite element analysis*. Journal of Neurosurgery: Spine, 2017. **26**(1): p. 125-133.
53. Cahill, P.J., et al., *The use of a transition rod may prevent proximal junctional kyphosis in the thoracic spine after scoliosis surgery: a finite element analysis*. Spine, 2012. **37**(12): p. E687-E695.
54. Cammarata, M., et al., *Biomechanical risk factors for proximal junctional kyphosis: a detailed numerical analysis of surgical instrumentation variables*. Spine, 2014. **39**(8): p. E500-E507.
55. Thawrani, D.P., et al., *Transverse process hooks at upper instrumented vertebra provide more gradual motion transition than pedicle screws*. Spine, 2014. **39**(14): p. E826-E832.

## TEMEL SPİNAL ENSTRÜMAN BİLGİSİ

---

56. Buell, T.J., et al., *Optimal tether configurations and preload tensioning to prevent proximal junctional kyphosis: a finite element analysis*. Journal of Neurosurgery: Spine, 2019. **30**(5): p. 574-584.
57. Kayanja, M.M., et al., *The biomechanics of 1, 2, and 3 levels of vertebral augmentation with polymethylmethacrylate in multilevel spinal segments*. Spine, 2006. **31**(7): p. 769-774.
58. Kebaish, K.M., et al., *Use of vertebroplasty to prevent proximal junctional fractures in adult deformity surgery: a biomechanical cadaveric study*. The Spine Journal, 2013. **13**(12): p. 1897-1903.
59. Safaee, M.M., et al., *Ligament augmentation for prevention of proximal junctional kyphosis and proximal junctional failure in adult spinal deformity*. Journal of Neurosurgery: Spine, 2018. **28**(5): p. 512-519.



## Spinal Enstrümantasyonda Yetmezlik

*Mehdi HEKİMOĞLU<sup>1</sup>  
Ahmet Tulgar BAŞAK<sup>2</sup>  
Ali Fahir ÖZER<sup>3</sup>*

### GİRİŞ

Uygulanımı iyi tariflenmiş spinal enstrümantasyon sistemleri günümüzde bir çok omurga hastalıklarında kullanılmaktadır. Spinal deformite cerrahilerinden dejeneratif disk hastalıklarına, travma olgularında, spondilozis ve spondilolistezis gibi sagittal balansın bozulduğu vakalarda sıklıkla çeşitli spinal enstrümantasyon teknikleri başarı ile uygulanmaktadır. Fakat bazı vakalarda gerek planlama eksiklikleri gerek başarısız cerrahi gerekse yanlış cerrahi stratejiye bağlı olarak çeşitli derecelerde spinal enstrümantasyon yetmezlikleri karşımıza çıkmaktadır. Büyük bir kısmı komplikasyon başlığı altında değerlendirilmektedir.

Bu başlık altında en sık karşımıza, - genellikle ameliyat öncesi yanlış planlanan bir cerrahi sonucu – vida ve rod kırılmaları ile enstrümantasyon gevşemeleri çıkmaktadır. Yanlış stratejiye ait komplikasyonlar özellikle omurganın stabilizasyonunu sağlamak amacıyla yapılan spinal enstrümantasyon girişimlerinde görülmektedir. Her ne kadar spinal enstrümantasyon çeşitleri ve usulüne uygun kullanımı hakkında görüş farklılıkları olsa da, bazen de enstrümantasyonun biyomekanik özelliğinden kaynaklanan yetmezlik durumları ile de karşılaşılmaktadır. Omurganın biyomekanik özelliklerinin bilinmesinin yanında kullanılacak spinal enstrümantasyonun da biyomekanik özelliklerinin bilinmesi bu açıdan önem arz etmektedir. Omurga stabilizasyon ameliyatları öncesi spinal biyomekanik parametrelerin gözden geçirilmesi, analizlerinin yapılması önemli bir stratejidir. Bir hastaya hangi sistemin nasıl bir teknikle uygulanınca maksimum yarar sağlanabileceği hakkında önemli ip uçları verir. Bu nedenle insan omurga biomekaniğinin çok iyi öğrenilmesi, komplikasyonların en düşük seviyeye indirilmesi konusunda önem taşır.

<sup>1</sup> Dr., Amerikan Hastanesi, Nöroşirürji Kliniği, mehdi@amerikanhastanesi.org

<sup>2</sup> Doç. Dr., Amerikan Hastanesi Nöroşirürji Bölümü, ahmetb@amerikanhastanesi.org

<sup>3</sup> Prof. Dr., Koç Üniversitesi Tıp Fakültesi-Nöroşirürji AD., alifahirozer@gmail.com

### CRANKSHAFT FENOMENİ

Büyüme çağındaki hastaların spinal stabilizasyon ameliyatlarında, yalnızca posterior enstrümantasyon uygulandığında anterior bölgede epifizlerin tam olarak kapanmaması sonucu omurga anteriordan büyümeye devam eder ve orantısız biçimde omurga eğilmeye başlar. Bu hastalar, çoğunlukla deformitenin artışı veya enstrümantasyon sisteminin kırılmasıyla müzdarip olurlar. Yetmezliği azaltmak için büyüme döneminde olan hastaların ameliyatları anterior-posterior olarak yapılmalıdır (21,22).

Crankshaft fenomenin oluşumunun tespit edilmesi için, Cobb açısı ve apikal vertebrada rotasyon derecesine bakılmalıdır. Cobb açısında 10° den fazla artış ve apikal vertebrada 5° den fazla rotasyon olursa Crankshaft fenomeninden bahsedilir. Büyüme çağında olan çocuklarda posterior füzyon sonrası Crankshaft fenomenin görülme olasılığı %37-43 civarındadır (19).

### KAYNAKLAR

1. Galbusera F, Volkheimer D, Reitmaier S, Berger-Roscher N, Kienle A, Wilke HJ. Pedicle screw loosening: a clinically relevant complication? *Eur Spine J.* 2015;24(5):1005-16.
2. Brantley AG, Mayfield JK, Koeneman JB, Clark KR. The effects of pedicle screw fit. An in vitro study. *Spine (Phila Pa 1976).* 1994 Aug 1;19(15):1752-8.
3. Riesner HJ, Blattert TR, Krezdorn R, Schädler S, Wilke HJ. Can cavity-based pedicle screw augmentation decrease screw loosening? A biomechanical in vitro study. *Eur Spine J.* 2020 Dec 23.
4. Ohba T, Ebata S, Oba H, Koyama K, Haro H. Risk Factors for Clinically Relevant Loosening of Percutaneous Pedicle Screws. *Spine Surg Relat Res.* 2018 Aug 25;3(1):79-85.
5. Karami KJ, Buckenmeyer LE, Kiapour AM, Kelkar PS, Goel VK, Demetropoulos CK, Soo TM. Biomechanical evaluation of the pedicle screw insertion depth effect on screw stability under cyclic loading and subsequent pullout. *J Spinal Disord Tech.* 2015 Apr;28(3):E133-9
6. Krenn MH, Piotrowski WP, Penzkofer R, Augat P. Influence of thread design on pedicle screw fixation. Laboratory investigation. *J Neurosurg Spine.* 2008 Jul;9(1):90-5.
7. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord.* 1992 Dec;5(4):383-9; discussion 397.
8. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord.* 1992 Dec;5(4):390-6; discussion 397.
9. Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(4):371-9. doi: 10.1016/s1050-6411(03)00044-0.
10. Panjabi MM, White AA 3rd. Basic biomechanics of the spine. *Neurosurgery.* 1980 Jul;7(1):76-93.
11. Iorio JA, Jakoi AM, Singla A. Biomechanics of Degenerative Spinal Disorders. *Asian Spine J.* 2016 Apr;10(2):377-84.
12. Süzer T. Lomber segmental instabilite ve deformite. *Türk Nöroşirürji Dergisi* 2013;23:19-27
13. Virk SS, Niedermeier S, Yu E, Khan SN. Adjacent segment disease. *Orthopedics.* 2014 Aug;37(8):547-55

14. Bozkuş H, Dejeneratif omurganın biyomekaniği ve segmental-multisegmental instabilite. Özer AF(ed). Lomber Dejeneratif Disk Hastalığı ve Dinamik Stabilizasyon. Amerikan Hastanesi Yayınları, 2011, İstanbul p34-48.
15. Christie SD, Song JK, Fessler RG. Dynamic interspinous process technology. Spine (Phila Pa 1976). 2005 Aug 15;30(16 Suppl):S73-8.
16. Aota Y, Kumano K, Hirabayashi S. Postfusion instability at the adjacent segments after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar spinal disorders. J Spinal Disord. 1995 Dec;8(6):464-73. PMID: 8605420.
17. Kaner T, Ozer AF. Dynamic stabilization for challenging lumbar degenerative diseases of the spine: a review of the literature. Adv Orthop. 2013;2013:753470.
18. Ozer AF, Kaner T. Omurgada Sagittal Denge. Türk Nöroşirürji Dergisi 2013, 23(2): 13-18.
19. Çakır CÖ, Çaylı S. Komplikasyonlara Genel Bakış. Türk Nöroşirürji Dergisi 2013, 23(2): 114-120.
20. Roussouly P, Gollogly S, Berthounaud E, Labelle H, Weidenbaum M. Sagittal alignment of the spine and pelvis in the presence of L5-s1 isthmic lysis and low-grade spondylolisthesis. Spine (Phila Pa 1976). 2006 Oct 1;31(21):2484-90.
21. Dubousset J, Herring JA, Shufflebarger H. The crankshaft phenomenon. J Pediatr Orthop. 1989 Sep-Oct;9(5):541-50.
22. Sanders JO, Herring JA, Browne RH. Posterior arthrodesis and instrumentation in the immature (Risser-grade-0) spine in idiopathic scoliosis. J Bone Joint Surg Am. 1995 Jan;77(1):39-45.
23. Arlet V, Aebi M. Junctional spinal disorders in operated adult spinal deformities: present understanding and future perspectives. Eur Spine J. 2013 Mar;22 Suppl 2(Suppl 2):S276-95.
24. Witiw CD, Fessler RG, Nguyen S, Mummaneni P, Anand N, Blaskiewicz D, Uribe J, Wang MY, Kanter AS, Okonkwo D, Park P, Deviren V, Akbarnia BA, Eastlack RK, Shaffrey C, Mundis GM Jr. Re-operation After Long-Segment Fusions for Adult Spinal Deformity: The Impact of Extending the Construct Below the Lumbar Spine. Neurosurgery. 2018 Feb 1;82(2):211-219.
25. Burch S. Surgical complications of spinal deformity surgery. Neurosurg Clin N Am. 2007 Apr;18(2):385-92.



*Muhammed Taha ESER<sup>1</sup>*

*Süleyman Rüştü ÇAYLI<sup>2</sup>*

### GİRİŞ

Enstrümantasyon teknikleri omurgada gelişen dejeneratif sürece bağlı hastalıklarda, primer ve metastatik tümörlerde, omurganın deformite hastalıklarında ve enfeksiyona bağlı gelişen patolojilerde son yıllarda giderek artan oranda kullanılmaktadır. Stabilizasyon ve deformiteyi düzeltmek amaçlı fiksasyon tekniklerinin kullanımı spinal cerrahide önemli bir atılıma yol açmıştır. 1975 yılında Harrington tarafından geliştirilen rodların deformite düzeltme, travma ve dejeneratif hastalıklarda kullanılmaya başlaması ile birlikte önemli bir gelişme sağlanmış ve ilerleyen yıllarda bir çok sayıda modern spinal enstrümantasyon sistemleri geliştirilmiştir (6). Enstrümantasyon sistemlerinin gelişmesine paralel olarak omurga biyomekaniği ile bilgi birikimi artmış, omurga ve enstrüman ilişkisi üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Omurgada sadece posterior kolonda stabilizasyon sağlayan Harrington rodları ile önem kazanan kanca kullanımı zamanla yerini, 3 kolonda birden stabilizasyon sağlayan, biyomekanik kancalara göre daha güçlü stabilizasyon sağlayan pedikül vidalarına bırakmıştır. Gelişen teknolojiye ve omurga biyomekaniği ve hastalıkları konusunda artan bilgi ve deneyime bağlı olarak enstrümantasyon tekniği çeşitliliği de artmaktadır. Ancak bu tekniklerinin giderek artmasının üzerine omurgaya yönelik cerrahi girişimlerin artan sayısı da eklenince, komplikasyon oranı ve çeşitliliğinde artışa yol açmaktadır. Komplikasyon oranını azaltmak için omurga cerrahisinde temel biyomekanik kurallara uymak gerekir.

### KURGU

Omurganın temel görevleri yük taşıma, nöral dokuyu koruma, ayakta dik durmamızı sağlamak ve buna göre hareketliliği sağlamaktır. Bu görevleri stabil bir omur-

<sup>1</sup> Op. Dr., Abdurrahman Yurtaslan Onkoloji Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği  
tahaeser@yandex.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Medikal Park Hastanesi, Nöroşirurji Kliniği, srcayli@gmail.com

Sonuç olarak omurgaya uygulanan stabilizasyon sistemleri sürekli omurga ile etkileşim altındadır. Sistem omurgaya bir güç uyguladığı gibi, omurga da sisteme bir güç uygulamaktadır. Kuşkusuz sistem ne kadar iyi kurgulanırsa kurgulansın, bu etkileşim yüzünden ilerleyen dönemlerde komplikasyonlar gelişebilir. Ancak omurganın biyomekanik kurallarına uyulmadan uygulanan stabilizasyon sistemlerinde komplikasyon gelişme oranının çok yüksek olduğunu unutmamak gerekir.

### KAYNAKLAR

1. 7.Cho JK. Arthrodesis to L5 versus S1 in long instrumentation and fusion for degenerative lumbar scoliosis. *Eur J Spine* 18: 531-537; 2009
2. 3.Cho K, Sun S, Park S, Kim J, Jung J. Selection of proximal fusion level for adult degenerative lumbar scoliosis. *Eur Spine J* 22: 394-401; 2013
3. 4.Duval-Beaupere G, Schmidt C, Cosson P. A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: the conditions required for an economic standing position. *Ann Biomed Eng* 20: 451-462; 1992
4. 6.Kim HJ, Lenke LG, Shaffrey CI, Alstyn EM, Skelly AC. Proximal junctional kyphosis as a distinct form of adjacent segment pathology after spinal deformity surgery: a systematic review. *Spine* 37: 144- 164; 2012
5. 2.Panjabi MM, White AA. Basic biomechanics of the spine. *Neurosurgery* 7: 76-93; 1980
6. 1.Ponder RC, Dickson JH, Harrington PR, Erwin W. Results Harrington instrumentation and fusion in the adult idiopathic scoliosis patient. *J Bone Joint Surg Am* 57: 797 – 802; 1975
7. 5.Schwab F, Patel A, Ungar B, Farcy JP, Lafage V. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? An overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery. *Spine* 35: 2224-2231; 2010





Cüneyt TEMİZ<sup>1</sup>  
Peyker TEMİZ<sup>2</sup>  
Mehmet EMİNOĞLU<sup>3</sup>  
Ömer Emre YAĞLI<sup>4</sup>

### GİRİŞ

Omurga ve omurilik hastalıkları beyin cerrahisi günlük pratiğinde büyük bir yer tutmaktadır. Günümüzde omurga ameliyatlarının büyük bir bölümünde implant ve tıbbi cihaz kullanılmaktadır. Teknolojik ve bilimsel araştırmaların artmasıyla birlikte omurga ameliyatlarında kullanılan implantlar biyomekanik ve biyouyumluluk anlamında gelişmektedir. Aynı zamanda kullanılan bilgisayar sistemleri ve üç boyutlu yazıcı teknolojileri ile hastaya özel implantlar tasarlanmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde hastaya en uygun implant tasarlanabilmekte ve uygulanabilmektedir. (1)

Spinal implantlardan beklenen özellikler hasta bazında değişebilmektedir. Bazı durumlarda kullanılan implantın uygulanan bölgede hareketi tamamen kısıtlaması ve füzyon sağlaması istenirken, bazı durumlarda da fizyolojik harekete izin vererek omurganın özgün yapısına uyum sağlaması beklenmektedir. Bu nedenle hastaya uygun implantın seçilmesi ve uygulanması omurga cerrahisinde oldukça önemlidir. (2,3)

Spinal implantların yapımında kullanılan birçok materyal bulunmaktadır.

### BİLEŞİM VE ALAŞIMLARA GÖRE İMPLANTLAR

#### Polimerler

Polimerler omurga stabilizasyonu ve füzyonunda kullanılan, spinal görüntüleme yöntemleri ile uyumlu olan materyallerdir. Absorbe olabilen ve absorbe olmayan tü-

<sup>1</sup> Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroşirürji AD, temiz2@hotmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Patoloji AD., peykerdemireli@gmail.com

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroşirürji AD., mehmet\_eminoglu@hotmail.com

<sup>4</sup> Op. Dr., Grand Medical Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, dromeremre@gmail.com

### SONUÇ

Sonuç olarak spinal implant teknolojisi hızla gelişim gösteren bir alandır. Geçmişte kullanılan implantlar ve implant üretiminde kullanılan materyaller yetersiz kalmaktadır. Karbon bazlı kompozitlerin kullanımı önümüzdeki dönemde artacaktır. Gelecekte hastaya özgü, 3 boyutlu yazıcılarla üretilen, biyouyumlu ve fizyolojik hareketi tam olarak taklit edebilen implantlar gelişecektir. Çünkü omurga segmentlerinde hareketi sağlayacak, yorulma direnci yüksek materyallere ihtiyaç vardır.

### KAYNAKLAR

1. Aydın V, Temiz C. Spinal Cerrahide Kullanılan İmplant Gereçleri. Dalgıç A, Temiz C, Kotil K (ed) Omurga ve Omurilik Cerrahisinde Tanı El Kitabı, TND Yayınları, 2017
2. Temiz C, Mete M. İmplant Çeşitleri ve Yapıları. Özer AF, Arslantaş A, Dalbayrak S(ed) Temel Spinal Cerrahi Cilt-1, İntertıp 2016
3. Temiz C, Yaman O. İmplantları Fiziksel Özellikleri ve Sorunları. Özer AF, Arslantaş A, Dalbayrak S(ed) Temel Spinal Cerrahi Cilt-1, İntertıp 2016:
4. Güden M. Spinal Enstrümanların Metalürjik Özellikleri. Naderi S (ed) Spinal Enstrümantasyon TNDSPSCG 2004
5. Bozkuş H. Spinal İmplantlar. Hancı M, Erhan B(ed) Omurga ve Omurilik Yaralanmaları, İntertıp 2013
6. Wikipedia Görseller [https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel\\_titanium#/media/File:NiTi\\_structure\\_transformation.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel_titanium#/media/File:NiTi_structure_transformation.jpg)

# BÖLÜM 18

## Spinal Araştırma Geliştirme, Sertifikasyon ve İnovasyon Süreçleri



Cüneyt TEMİZ<sup>1</sup>  
Mehmet EMİNOĞLU<sup>2</sup>  
Ömer Emre YAĞLI<sup>3</sup>  
Burak TÜLÜ<sup>4</sup>

### GİRİŞ

Bilimsel bilgi birikiminin ve teknolojik gelişmeler eşliğinde , günlük hayata etkilerinin giderek arttığı tartışmasız bir gerçektir. Bu durum , aslında insan uygarlığının gelişim ve ilerleme sürecini de yansıtmaktadır. Bu gelişim ve ilerleme, tıbbın tüm alanlarını etkilediği gibi, spinal cerrahi de yakından etkilemektedir. Giderek daha 'minimal invazif' girişimlere doğru eğilimin artışı, yeni dinamik sistemler gibi enstrüman ve cihazların gelişimi, aslında altında yatan en az 10 yıllık spinal araştırma geliştirme (Ar-Ge) süreçlerinin bir sonucudur. Bu süreç hızlanarak sürmektedir ve yeniliğe ve gelişime açık olmak ve öğrenerek, uygulamak artık günlük cerrahi pratiğimizin olmazsa olmaz gereksinimlerinden biri olmuştur (1,2,3,4) Bu noktada, yeniliğe ayak uydurmak,öğrenmek,öğretmek tabii ki çok önemli noktalar fakat, asıl olan o yeniliği oluşturan bilgi ve teknolojiyi üretmektir aslında. Burada ülkemizin ve topluluğumuzun çok fazla yol aldığı ne yazık ki, söylenemez. Ülkemizde ve topluluğumuzda genel eğilim, ar-ge süreçleri sonucunda oluşturulan cerrahi teknik,ve/veya cihaz-implantları yurt dışından almak ve uygulamayı yine buradaki bilgi kaynaklarından öğrenerek yapmak ve ne yazık ki, sonunda tabiri caizse, bir çeşit 'montaj sanayii' oluşturmak ve bunun bilimsel gelişme olduğunu sanmaktan ibarettir. Bilgi, günümüzde temeldir ve bu bilgiyi üretemeyen topluluklar, ne yazık ki, üretenlerin sömürüsü altında yaşamaya mahkum kalmaktadırlar. Bilimsel bilgiyi ve teknolojiyi üretemeyen , sadece tüketen bir toplumun tam bağımsız ve egemen olduğunu iddia etmek , ne yazık ki , günümüzde mümkün değildir (5,6).

<sup>1</sup> Prof. Dr., Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroşirürji AD, temiz2@hotmail.com

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Nöroşirürji AD, mehmet\_eminoglu@hotmail.com

<sup>3</sup> Op. Dr., Grand Medical Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, dromeremre@gmail.com

<sup>4</sup> Makina yüksek mühendisi Metrosan / Genel Koordinatör, tuluburak@gmail.com

uygulamak olduğunu kavramamız gereklidir. Bundan sonra da , teknoparklar gibi organizasyon kuruluşlarında yerimizi almalı ve hem tıbbi multidisipliner ve hem de diğer temel bilimler ve mühendislik bilimleri ile yeni ortak çalışma yöntemleri oluşturmalyız. Bu aşamada, TUBITAK, KOSGEB, üniversitelerin bilimsel araştırma fon kaynakları ve kalkınma ajansları gibi pek çok kuruluştan destek almak mümkündür. Bu konuda öncülük ve rehberlik yapmak anlamında, meslek derneklerimize de önemli görevler düşmektedir.

## KAYNAKLAR

1. World Health Organization. Medical doctors (per 10 000 population). World Health Organization; 2020; 2–3.
2. Martin JT, Gullbrand SE, Fields AJ, et al. Publication trends in spine research from 2007 to 2016: Comparison of the Orthopaedic Research Society Spine Section and the International Society for the Study of the Lumbar Spine. *JOR Spine* 2018; 1:e1006.
3. Haws BE, Khechen B, Movassaghi K, et al. Authorship trends in spine publications from 2000 to 2015. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018; 43:1225–1230.
4. Wei M, Wang W, Zhuang Y. Worldwide research productivity in the field of spine surgery: a 10-year bibliometric analysis. *Eur Spine J* 2016; 25:976–982.
5. Tollefson J. China declared world's largest producer of scientific articles. *Nature* 2018; 553:390.
6. Sing DC, Jain D, Ouyang D. Gender trends in authorship of spine-related academic literature—a 39-year perspective. *Spine J* 2017; 17:1749–1754.
7. Carragee, Eugene J. MD; Deyo, Richard A. MD, MPH; Kovacs, Francisco M. MD, PhD; Peul, Wilco C. MD, PhD; Lurie, Jon D. MD, MS; Urrútia, Gerard MD; Corbin, Terry P. BS; Schoene, Mark L. BS. . Is the Spine Field a Mine Field?

# BÖLÜM 19

## Spinal Cerrahide Yeni Teknolojik Gelişmeler; Teletıp, Robotik Sistemler Ve Genişletilmiş Gerçeklik-Karma Gerçeklik



*Macit TERZİ<sup>1</sup>  
Emre BAHİR METE<sup>2</sup>  
Murat ZAIMOĞLU<sup>3</sup>  
Yusuf Şükrü ÇAĞLAR<sup>4</sup>*

### GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde gerçekleşen teknolojik gelişmeler her alanda olduğu gibi tıp dünyasını da etkilemektedir. Bu durum hasta yönetimi açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Günümüzde bireye özel sağlık uygulamaları yerini almış olup bunun neticesinde hastaların evde ya da hastanede sadece kendilerine yönelik öneriler-girişimler uygulanabilmektedir. Hastalara, gelişen radyolojik görüntülemelerle tanı daha kolay konulmakla beraber ayrıntılı preoperatif görüntülemeleri yapıp daha az oranda yanılma payıyla cerrahi planlar gerçekleştirilebilmektedir. İntraoperatif olarak bu görüntüler navigasyon sistemleri ile entegre edilerek hata payı daha da azalmakta ve çevre yapıları zarar verme olasılığı daha da azalmaktadır. Postoperatif olarak görüntülemeler ile de hastanın operasyon başarısı somut olarak ortaya konulmakta ve postoperatif takibi daha sağlıklı yapılabilmektedir.

### TELETIP

Teletıp; genel olarak tıbbi bilgi ve hizmetlerin sağlanabilmesi için telekomünikasyon teknolojilerinin kullanılması olarak tanımlanabilir (1). Antik Yunanca 'da uzak-tan/uzak anlamına gelen "tele" ile "tıp" kavramının birleşmesiyle "teletıp" kavramı oluşmuştur. Sağlık hizmeti sunan bir hekim ile sağlık hizmeti alan hasta arasındaki mesafenin önemli olduğu koşullarda bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak kurulan bilgi akışını tanımlayan bir kavramdır. Savaş, salgın hastalıklar gibi toplumsal

<sup>1</sup> Dr., Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahisi AD., maciterzi@gmail.com

<sup>2</sup> Arş. Gör. Dr., Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahisi AD., bahirmete@gmail.com

<sup>3</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahisi AD.,  
mzaimogluneurosurgery@gmail.com

<sup>4</sup> Prof. Dr., Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahisi AD., sukrucaclar@yahoo.com

## KAYNAKLAR

1. Zundel KM: Telemedicine: History, applications, and impact on librarianship. *Bull Med Libr Assoc* 84(1):71-79, 1996
2. World Health Organization: Opportunities and developments TELEMEDICINE in Member States Report on the second global survey on eHealth Global Observatory for eHealth series -Volume 2 2010. [https://www.who.int/goe/publications/goe\\_telemedicine\\_2010.pdf](https://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf), 2010.
3. Sağlık Bakanlığı.[https://www.hssgm.gov.tr/content/documents/yonergeler\\_genelgeler/Tele%20Sa%C4%9Flık%20Servisi%20Uygulama%20Usul%20ve%20Esaslar%C4%B1%20Hakk%C4%B1nda%20Y%C3%B6nerge.docx](https://www.hssgm.gov.tr/content/documents/yonergeler_genelgeler/Tele%20Sa%C4%9Flık%20Servisi%20Uygulama%20Usul%20ve%20Esaslar%C4%B1%20Hakk%C4%B1nda%20Y%C3%B6nerge.docx) (Accessed 12 February 2022), 2015
4. Freiburger G, Holcomb M, Piper D: The STARPAHC collection: Part of an archive of the history of telemedicine. *J Telem Telecare* 13(5):221-223, 2007
5. Furtado R: Telemedicine: The next best thing to being there. *Dimens Health Serv* 59(3):10-12, 1982
6. Challacombe B, Dasgupta P: Telemedicine- the future of surgery. *J Surg* 1(1):15-17, 2003
7. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, Butner SE, Smith MK: Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 413(6854):379-380, 2001
8. Gray WOD, Taleb F, Marks C, Buckley T: Benefits and pitfalls of telemedicine in neurosurgery, *J Telem Telecare* 3(2):108- 110, 1997
9. Xu S, Perez M, Yang K, Perrenot C, Felblinger J, Hubert J: Determination of the latency effects on surgical performance and the acceptable latency levels in telesurgery using the dV- Trainer((R)) simulator. *Surg Endosc*. 2014, 28:2569-2576. 10.1007/s00464-014-3504-z
10. Zheng J, Wang Y, Zhang J, Guo W, Yang X, Luo L, Jiao W, Hu X, Yu Z, Wang C, Zhu L, Yang Z, Zhang M, Xie F, Jia Y, Li B, Li Z, Dong Q, Niu H: 5G ultra-remote robot-assisted
11. Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, et al. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng* 1988;35(2):153-60.
12. Khanna O, Beasley R, Franco D, DiMaio S: The path to surgical robotics in neurosurgery. *Oper Neurosurg* 20(6):514-520, 2021
13. Sukovich W, Brink-Danan S, Hardenbrook M. Miniature robotic guidance for pedicle screw placement in posterior spinal fusion: early clinical experience with the SpineAssist. *Int J Med Robot* 2006;2(2): 114-22.
14. Devito DP, Kaplan L, Dietl R, et al. Clinical acceptance and accuracy assessment of spinal implants guided with SpineAssist surgical robot: retrospective study. *Spine*. 2010;35(24):2109-2115.
15. Lee JYK, Bhowmick DA, Eun DD, Welch WC. Minimally invasive, robot-assisted, anterior lumbar interbody fusion: A technical note. *J Neurol Surg Part A Cent Eur Neurosurg*. 2013;74:258- 261. doi:10.1055/s-0032-1330121
16. Perez-Cruet MJ, Welsh RJ, Hussain NS, Begun EM, Lin J, Park P. Use of the da Vinci minimally invasive robotic system for resection of a complicated paraspinal schwannoma with thoracic extension: case report. *Neurosurgery*. 2012. doi:10.1227/NEU.0b013e31826112d8
17. Eroglu, U, Pure Robotic Surgery for Odontoid Tumor: First Case, *World Neurosurgery* (2018), doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.105
18. Lee JY, Lega B, Bhowmick D, Newman JG, O'Malley BW Jr, Weinstein GS, Grady MS, Welch WC. Da Vinci Robot-assisted transoral odontoidectomy for basilar invagination. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec*. 2010;72:91-95.
19. D'Souza M, Gendreau J, Keng A, Kim L, Ho A, Veeravagu A. Robotic- assisted spine surgery: history, efficacy, cost, and future trends. *Robot Surg*. (2019) 6:9-23. doi: 10.2147/RSRR.S190720

20. Hu X, Lieberman IH. What is the learning curve for robotic-assisted pedicle screw placement in spine surgery? *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472:1839–1844. doi:10.1007/s11999-013-3291-1
21. Peuchot B, Tanguy A and Eude M. Augmented reality in spinal surgery. *Stud Health Technol Informat* 1997; 37: 441–444.
22. Salah Z, Preim B, Eloff E, Franke J and Rose G. Improved navigated spine surgery utilizing augmented reality visualization. In: Handels H, Ehrhardt J, Deserno TM, Meinzer HP and Tolxdorff T (eds) *Bildverarbeitung für die Medizin 2011*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, pp. 319–323.
23. Renfrow JJ, Strowd RE, Laxton AW, Tatter SB, Geer CP, Lesser GJ. Surgical Considerations in the Optimal Management of Patients with Malignant Brain Tumors. *Current*
24. Upadhyay UM, Golby AJ. Role of pre- and intraoperative imaging and neuronavigation in neurosurgery. *Expert Review of Medical Devices.* 2008;5(1):65-73.
25. Jean WC, Felbaum DR. The Use of Augmented Reality to Improve Safety of Anterior Petrosectomy: Two-Dimensional Operative Video. *World Neurosurgery.* 2021;146:162.
26. Dadario NB, Quinoa T, Khatri D, Boockvar J, Langer D, D'Amico RS. Examining the benefits of extended reality in neurosurgery: A systematic review. *Journal of Clinical Neuroscience.* 2021;94:41-53.
27. Pelargos PE, Nagasawa DT, Lagman C, et al. Utilizing virtual and augmented reality for educational and clinical enhancements in neurosurgery. *Journal of Clinical Neuroscience.* 2017;35:1-4
28. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/healthcare/publications/ai-robotics-new-health/ai-robotics-new-health.pdf>

## BÖLÜM 20

### Spinal Cerrahide Enstrümantasyon İle İlgili Hekim Sorumluluğu



*H. Serdar IŞIK<sup>1</sup>*

#### GİRİŞ

Özellikle son 20 yılda, gerek ülkemizde gerekse tüm dünyada medikolegal dava sayısında ciddi artış izlenmektedir. Bunun başlıca nedenlerinin, özellikle internetin yaygın kullanımı sayesinde bilgiye kolay ulaşım ve tüm dünya nüfusu yaş ortalamasının giderek artıyor olması ve bunların sonucu olarak hekimlerden ve sağlık sisteminden beklenti artışı olduğu ifade edilebilir. Bu sebepten, hekimler başta olmak üzere tüm sağlık çalışanları, yaptıkları mesleki çalışmaların yanında, hukuki anlamda hak ve sorumluluklarını bilmeli ve buna uygun davranmalıdırlar. Bu bölümün amacı, medikolegal dava riski ile en çok karşı karşıya olan Nöroşirürji uzmanlarının, spinal cerrahide enstrümantasyon kullanımı gibi zor ve komplikasyon oranı yüksek olan bir müdahale öncesi ve sonrasında dikkat edilmesi gereken hukuki kavramlara dikkat çekmektir.

Bilindiği gibi, Anayasamızın 17. maddesi, 'herkes, yaşama, maddî ve manevî varlığını koruma ve geliştirme hakkına sahiptir. Tıbbî zorunluluklar ve kanunda yazılı haller dışında, kişinin vücut bütünlüğüne dokunulamaz; rızası olmadan bilimsel ve tıbbî deneylere tâbi tutulamaz' der. Bu maddeye göre, biz hekimlerin hastalarımızın vücut bütünlüğü üzerinde yaptığımız her türlü davranış ancak 'Tıbbî Müdahale' olarak tanımlanması durumunda yasal olacaktır. O halde, tıbbî müdahalenin ne olduğu ve hukuka uygunluğu kavramlarını da bilmek gerekir. Tıbbî Müdahale, kişilerin ruh ve beden sağlığı ile ilgili tahlil, teşhis, tedavi, profilaksi, poliklinik hizmeti, estetik veya psikiyatrik müdahale, adli muayene ya da nüfus planlaması amacıyla yapılan, kanunun yetkilendirdiği kimselerce, tıp biliminin öngördüğü genel kural ve esaslar uyarınca gerçekleştirilen her türlü faaliyettir. Bu geniş tanım ile birlikte Tıbbî Müdahalenin hukuka uygunluk şartları dört ana başlıkta incelenebilir. Bunlar; Tıbbî müdahalenin kanunun yetkili kıldığı kişilerce yapılması, yapılan müdahalenin endikasyon şartı, usule uygun olarak alınmış bir Aydınlatılmış Onam ve yapılan müdahalenin tıp biliminin verilerine uygun yapılmış olmasıdır (1,2). Tüm bu maddele-

<sup>1</sup> Prof. Dr., Ordu Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahisi AD., serdarisik68@gmail.com



## KAYNAKLAR

1. Işık H.S. Yılmaz A. Lomber Disk Hernisi Cerrahisinde Karşılaşılabilecek Medikolegal Sorunlar. Türk Nöroşir Derg. 2018, 28(2):257-260.
2. Adıgüzel S. Hekimin aydınlatma yükümlülüğü. TAAD. 2014, 5(19): 943-995.
3. Hakeri H. Hekimin Yükümlülükleri. Tıp Hukuku 12. Baskı. Seçkin Yayıncılık, 2017, Ankara, 301-346.
4. Tosun S. Kamu hastanesinde çalışan hekimin hukuki sorumluluğu. Hekimler için hukuk rehberi. Ed. Prof. Dr. Erdal Kalkan. Türk Nöroşirürji Akademisi Yayınları No.1.Sage Yayıncılık, Ankara, 2018, 227-254.
5. Hakeri H. Organizasyon Kusuru. Tıp Hukuku 12. Baskı. Seçkin Yayıncılık, 2017, Ankara, 397-406.
6. Temiz C, Yaman O. İmplantların fiziksel özellikleri ve sorunları. Temel Spinal Cerrahi. Ed. Özer.A.F, Arslantaş A, Dalayrak S. İntertıp Yayınevi 2017. Ankara, 373-384.
7. Temiz C. Spinal implantların fiziksel özellikleri ve sorunları. Spinal enstrümantasyon Teknikleri Ed. Kaptanoğlu E. Acaroğlu E. İntertıp Yayınevi 2014, Ankara, 19-27.
8. Dalbayrak S. Spinal enstrümantasyonun komplikasyonları. Spinal Enstrümantasyon.Ed. Naderi S. Türk Nöroşirürji Derneği Spinal ve Periferik Sinir Cerrahisi Grubu Yayınları No.5. Meta Basım Matbaacılık. İzmir, 449-464.
9. "CE" Uygunluk İşaretinin Ürüne İliştirilmesine ve Kullanılmasına Dair Yönetmelik. <https://www.saglik.gov.tr/TR,10447/ce-uygunluk-isaretinin-urune-ilistirilmesine-ve-kullanilmasina-dair-yonetmelik.html>.
10. Tıbbi Cihaz Yönetmeliği. <https://www.saglik.gov.tr/TR,10485/tibbi-cihaz-yonetmeligi.html>
11. Özcengiz D. Hekimin Yükümlülükleri. Hekimler için hukuk rehberi. Ed. Prof. Dr. Erdal Kalkan. Türk Nöroşirürji Akademisi Yayınları No.1.Sage Yayıncılık, Ankara, 2018, 41-52.
12. Kök N. Malpraktis ve Komplikasyon Ayırımı. Hekimler için hukuk rehberi. Ed. Prof. Dr. Erdal Kalkan. Türk Nöroşirürji Akademisi Yayınları No.1.Sage Yayıncılık, Ankara, 2018, 109-139.