

# Lomber Pediküler Vida Uygulamasında Radyolojik Olarak Anatominin Detaylı İncelenmesi

## *Detailed Radiological Examination of the Anatomy for Lumbar Transpedicular Screw Fixation*

Tufan CANSEVER<sup>1</sup>, Erdinç CİVELEK<sup>1</sup>, Halime ÇEVİK<sup>2</sup>, Akın SABANCI<sup>3</sup>, Serdar KABATAŞ<sup>1</sup>, Cem YILMAZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Başkent Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Nöroşirürji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Başkent Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup>KKTC Askeri Hastanesi, Nöroşirürji Bölümü, Lefkoşe, Kuzey Kıbrıs TC

*Sunulduğu Kongre: 22-26 Nisan 2011 tarihleri arasında Antalya'da yapılan 25. Türk Nöroşirürji Derneği Ulusal Kongresi'nde poster olarak sunulmuştur.*

**Yazışma Adresi:** Tufan CANSEVER / E-posta: drtufan@gmail.com

### ÖZ

**AMAÇ:** Bu çalışmanın amacı, L1 ile L5 seviyeleri arasındaki vertebraların pedikül iç ve dış çaplarının, vertebra korpus ve pedikül uzunluklarının, pedikül açılarının morfometrik ölçümlerinin incelenmesidir.

**YÖNTEM ve GEREÇLER:** Toplam 100 hastanın L1-L5 arası 1000 pedikül üç boyutlu bilgisayarlı tomografi ile incelendi. Pedikül iç ve dış kemik korteksinin çapları ölçüldü. Pedikül çapının en kalın olduğu bölgede, faset ekleminden lateralinden başlayarak pedikülün tam ortasından geçen ve vertebra korpusunun ön yüzündeki kemik kortekse kadar ilerletilen düzlemin orta hatta açısı (vida açısı), düzlemin uzunluğu (vida uzunluğu), korpus pedikül bileşkesine kadar olan uzunluğu (pedikül uzunluğu) ölçüldü.

**BULGULAR:** L1 seviyesinden L5 seviyesine inildikçe pedikül iç ve dış çaplarının arttığı saptandı. Dış çapların L5 seviyesi haricinde sol tarafta daha geniş olduğu, iç çapların ise tüm seviyelerde sol tarafta daha geniş olduğu gözlemlendi. Transvers pedikül açısının üst seviyelere ilerlendikçe dikleştiği saptandı. En uzun vida uzunluğunun L2 seviyesinde, en uzun pedikül uzunluğunun L1 seviyesinde olduğu, pedikül/vida uzunluk oranının L5 seviyesinden L1 seviyesine çıkıldıkça arttığı saptandı.

**SONUÇ:** Alt seviyelere inildikçe, pedikül kalınlıkları artmasına rağmen kullanılması gereken vida uzunlukları azalmaktadır. Yapılan morfometrik ölçümler ışığında, daha çok yük taşıması gereken alt lomber vertebraların korpus ve pediküllerinin üst seviyelere oranla, daha kısa fakat daha geniş olduğu saptanmıştır.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Açı, Bilgisayarlı tomografi, Çap, Lomber pedikül, Vertebra

### ABSTRACT

**AIM:** The purpose of this study was to investigate the morphometric measurements including the inner and outer diameters of the pedicle, the vertebral corpus and the pedicle length, and pedicle angles from the levels of L1 to L5 vertebrae.

**MATERIAL and METHODS:** A total of 1000 pedicles from 100 patients were examined by three-dimensional computed tomography. Inner and outer diameters were measured between the inner and outer layers of the bone cortex of the pedicle. Screw length was measured from the beginning of the lateral border of the facet joint through the midline of the thickest part of the pedicle extending to the anterior cortex of the vertebral body. The angle of the previously mentioned plane to the midline of the vertebrae (screw angle), the length from facet joint to the junction of the corpus and the pedicle (pedicle length) were measured.

**RESULTS:** Inner/outer diameters and transverse pedicle angle showed an increase and pedicle/screw length ratio showed a decrease from L1 to L5. The longest length of the screw was at the L2 and the longest pedicle length was at the L1 level.

**CONCLUSION:** Morphometric measurements showed that the lower lumbar vertebrae that carried more weight were shorter but wider.

**KEYWORDS:** Angle, Computerized tomography, Diameter, Lumbar, Pedicle, Vertebra

### GİRİŞ

Yararlılığı konusunda halen kesin bir uzlaşma olmamasına ve uzun dönem sonuçları kesin olarak bilinmemesine rağmen her geçen gün lomber posterior transpediküler vidalama (TPV) yöntemi ile stabilizasyon giderek daha yaygın şekilde kullanılmakta, nöroşirürji pratiğinde önemli bir yer tutmaktadır(3,10,23).

TPV ile stabilizasyon başarısını etkileyen pek çok faktör gösterilmiştir. Ameliyat sonrası anemi (Htc< %30), sigara kullanımı, kemik mineral dansitesi düşüklüğü gibi (22,26) hastaya bağlı faktörlerin yanı sıra, penetrasyon derinliği, vidanın çapı ve diğer tasarım özellikleri gibi teknik faktörler de enstrümantasyonun başarısında rol oynamaktadır (18,20,25). İdeal pedikül vidası, pedikül medullasına birebir oturmalıdır (6,7,16).

Ameliyat sırasında pedikül vida seçimi sıklıkla cerrahın daha önceki tecrübeleri doğrultusunda yapılmakta, hangi kalınlık ve uzunlukta vida kullanılacağı ve vida giriş açısı kesin kriterlerle belirlenmemektedir. Anatomik olarak nörolojik yapılar yakın komşuluk, vidalama sırasında cerrahı daha çekingen, verimli stabilizasyon için yeterli vida uzunluğu ve kalınlığının gerekliliği ise daha agresif davranmaya yönlendirmektedir. Cerrah bu ikilem arasında kalmaktadır.

Pedikül morfolojisi hakkında detaylı bilgi, güvenli TPV uygulamasında önemli rol oynamaktadır. Her popülasyonda pediküllerin morfometrik özellikleri farklılık göstermektedir. Literatürde farklı popülasyonlarla ilgili yapılmış pedikül morfometri çalışmaları mevcuttur. (1,2,5,8,13,15,19). Buna rağmen, Türk nüfusunda bugüne kadar yapılmış az sayıda çalışmada, pedikül morfolojisi hakkında pedikül iç ve dış çapları ölçülmüş, ancak diğer gerekli ölçümler verilmemiştir. (12,14).

Pedikül iç çapı vida kalınlığının seçiminde ana belirleyicidir. Cerrahlar en yüksek taşıma gücünü elde etmek amacıyla her seviye için mümkün olan en kalın vidayı takmak eğilimindedirler (9,17).

Pedikül genişliği önemli bir veri olmasına rağmen, TPV'da pedikülün orta hatla yaptığı açı ve korpus uzunlukları da önemli rol oynar (17,19,21). Belirteç olarak kullanılan pedikülün transverse çıkıntısının ortasında olması durumu literatürde daha önce yapılan az sayıda çalışmada irdelenmiş ve genel olarak bilinenin aksine pedikülün tam da transvers prosesin hizasında olmadığı gösterilmiştir (9).

Bu çalışmanın amacı, L1 ile L5 seviyeleri arasındaki vertebraların pedikül iç ve dış çaplarının, vertebra korpus ve pedikül uzunluklarının, pedikül açılarının morfometrik ölçümlerinin incelenmesidir.

### GEREÇ ve YÖNTEM

Toplam 100 hastanın L1-L5 arası 1000 pedikülü ince kesit (0,5mm) üç boyutlu bilgisayarlı tomografi (BT) (Siemens Somatom 8slice-scanner, Germany) ile incelendi. Hastaların yaş

ortalaması  $54,2 \pm 23,7$  yılıdır. Hastaların 50 tanesi kadın, 50 tanesi erkekti. Spinal deformite, tümör, kırık, enfeksiyon, konjenital anomali veya lomber bölgeden ameliyat olmuş hastalar çalışmaya alınmadı. İlk olarak 2 mm kalınlığındaki aksiyal görüntüler elde edildi. Kemik pencerede rekonstrüksiyonun ardından, pedikül kalınlığının en fazla olduğu üç görüntünün ölçümü yapıldı ve bu görüntüler arasından pedikülün en kalın olduğu ölçüm seçildi. Ardından bu kesitteki pedikül iç ve dış çapları mevcut görüntü üzerinde [Leonardo Workstation for Siemens CT (Siemens<sup>AG</sup> Munich Germany)] dijital olarak ölçüldü. Tüm ölçümler milimetrik olarak belirtildi. Pedikül iç çap olarak kemik korteksin sınır bölgesi alındı.

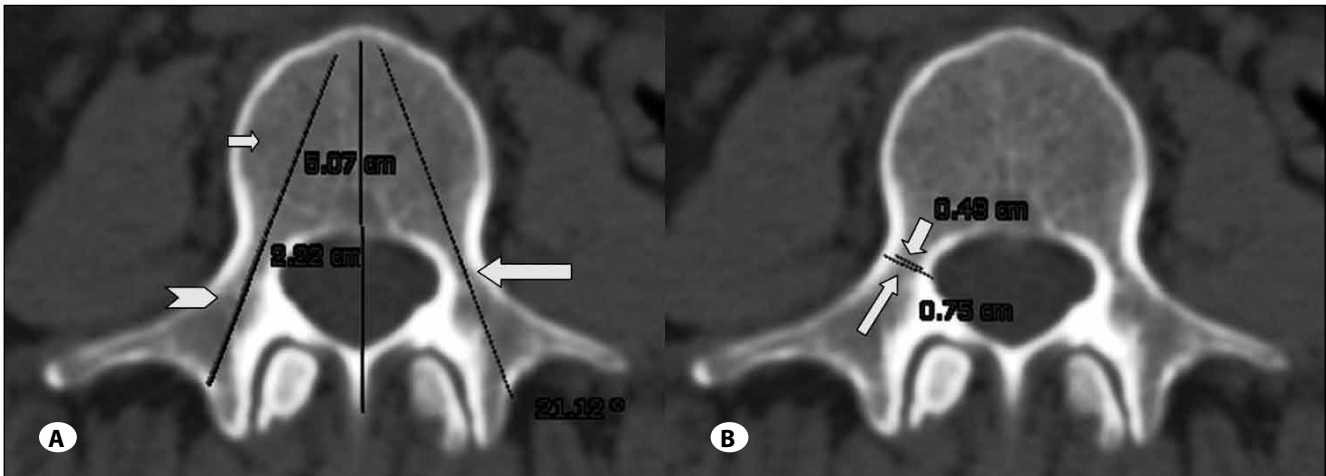
Orta hat olarak spinöz çıkıntısının ortasından başlayan ve spinal kanalın tam ortasından geçen düzlem belirlendi. Ardından pedikül çapının en kalın olduğu bölgeden faset ekleminin lateralinden başlayan ve pedikülün tam ortasından geçen düzlemin orta hatta olan açısı ölçüldü (transvers pedikül açısı). Ölçümler sırasında pedikülün lateralinden başlayan ve tam ortasından geçen düzlem vertebra korpusunun ön yüzündeki kemik kortekse kadar ilerletilerek seçilmesi gereken vida uzunluğu ölçüldü. Bu nedenle buradaki toplam oblik uzunluk vida uzunluğu olarak isimlendirildi. Ardından bu düzlem üzerinde korpus pedikül bileşkesine kadar olan pedikül uzunluğu ölçüldü. Vida uzunluğundan pedikül uzunluğu çıkartılarak korpus uzunluğu hesaplandı. Bu ölçümler iki radyolog tarafından yapılarak ortalamaları alındı. Her seviyenin ölçümleri belirtildi (Şekil 1A,B).

İstatistiksel analiz "SPSS version 17 (SPSS, Inc.) for Windows". Standart betimsel hesaplamalara ek olarak (ortalama  $\pm$  standart sapma) sağ ve sol farkının değerlendirilmesinde "Wilcoxon signed rank test" kullanıldı. Cinsiyetin ölçümlere etkisinin araştırılmasında "Lineer regression" analizi kullanıldı.  $P < 0.05$  değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

### SONUÇLAR

#### Pedikül İç ve Dış Çapları:

En geniş pedikül çapları L5 seviyesinde tespit edildi. Ortalama



**Şekil 1: A)** Vida uzunluğunun (kısa ok), pedikül uzunluğunun (köşeli ok) ve pedikül açısının ölçüm tekniği (uzun ok); **B)** Pedikül iç (kısa ok) ve dış çapının (uzun ok) ölçüm tekniği.

L5 pedikül dış çapı  $14,60 \pm 2,26$  mm (Sağ L5:  $14,69 \pm 2,20$  mm, sol L5:  $14,50 \pm 2,31$  mm) olarak saptandı. Bu değer her üst seviyede giderek küçüldü. L1 seviyesinde ortalama pedikül dış çapı  $6,78 \pm 1,67$  mm (sağ L1:  $6,67 \pm 1,62$  mm, sol L1:  $6,89 \pm 1,75$  mm) olarak bulundu. Ortalama L5 pedikül iç çapı  $11,51 \pm 2,08$  mm (R L5:  $11,46 \pm 2,02$  mm, sol L5:  $11,55 \pm 2,19$  mm) olarak saptandı. Dış çap değerlerinde olduğu gibi, bu değer her üst seviyede giderek küçüldü. L1 seviyesinde ortalama pedikül iç çapı  $4,60 \pm 1,47$  mm (R L1:  $4,47 \pm 1,41$  mm, sol L1:  $4,72 \pm 1,54$  mm) olarak ölçüldü. İç çapın dış pedikül çapına oranı üst lomber seviyelere gittikçe küçülme eğiliminde olup 0.67 ile 0.80 arasında seyretti (Tablo I, II) (Şekil 2).

Sağ veya sol taraf karşılaştırılmasında, istatistiksel olarak anlamlı olmasa da dış çapların L5 seviyesi haricinde sol tarafta daha geniş olduğu, iç çapların ise tüm seviyelerde sol tarafta daha geniş olduğu gözlemlendi (Tablo I, II).

#### Pedikül Açıkları:

En geniş açı ortalaması  $17,31 \pm 4,58^\circ$  derece ile L5 vertebra pedikülünde saptandı (Sağ L5:  $16,74^\circ \pm 4,21^\circ$ , Sol L5:  $17,88^\circ \pm 4,89^\circ$ ). Üst seviyelere doğru pedikülün orta hatla yaptığı açının azaldığı, diğer bir deyişle transvers pedikül açısının giderek dikleştiği ölçüldü. L1 seviyesinde ortalama pedikül açısı  $11,91^\circ \pm 2,34^\circ$  olarak bulundu (Sağ L1:  $11,56^\circ \pm 2,34^\circ$ , Sol L1:  $12,26^\circ \pm 2,69^\circ$ ) (Tablo III) (Şekil 3).

Sağ veya sol taraf karşılaştırılmasında, istatistiksel olarak anlamlı olmasa da sağ pedikül açılarının sola göre daha dik olduğu tespit edildi (Tablo I, II) (Tablo III) (Şekil 3).

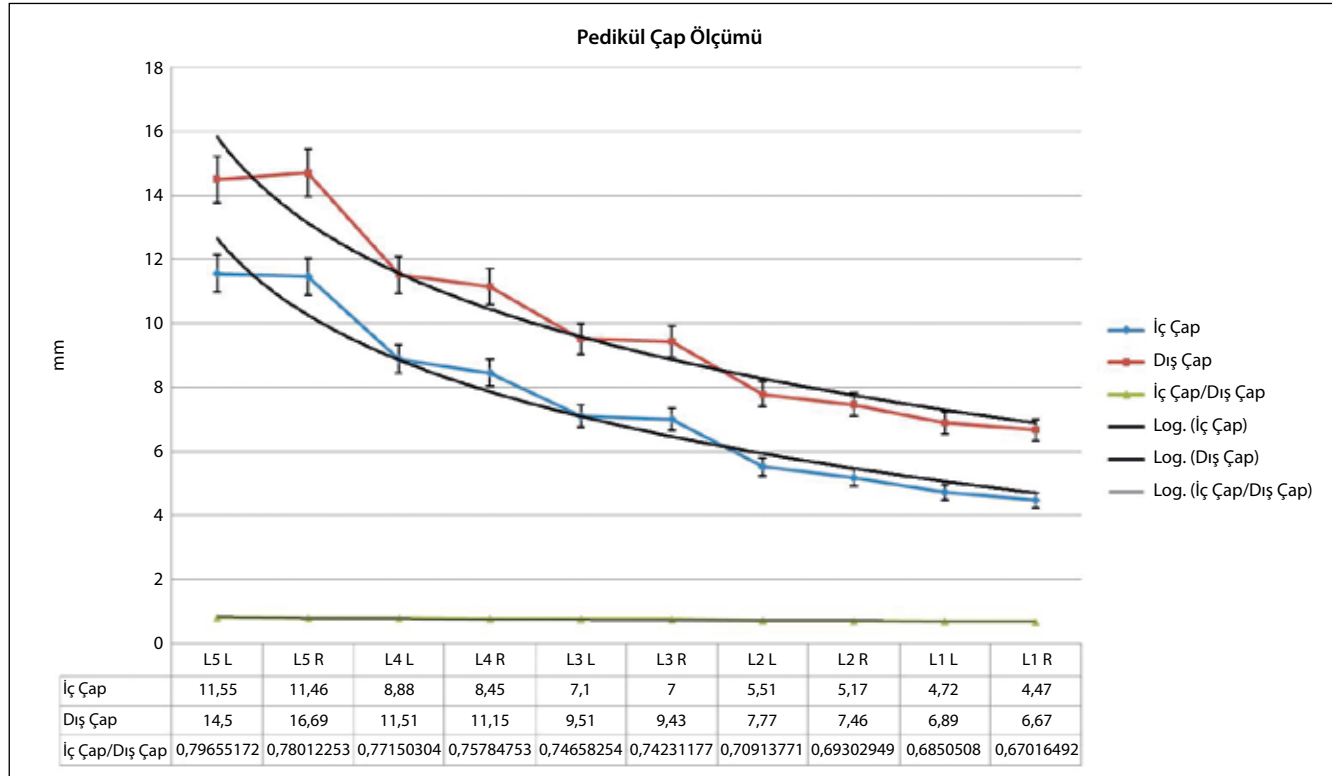
#### Pedikül ve Vida Uzunlukları:

En kısa pedikül ve vida uzunluğu L5 seviyesinde ölçüldü. L5'de ortalama vida uzunluğu  $5,02 \pm 0,69$ cm (sağ L5:  $4,95 \pm 0,59$ cm, Sol L5:  $5,09 \pm 0,79$ cm) olarak tespit edildi. Aynı seviyede ortalama pedikül uzunluğu ise  $1,86 \pm 0,39$ cm (R L5:  $1,84 \pm 0,39$ cm, Sol L5:  $1,87 \pm 0,39$ cm) olarak bulundu. Vida ve pedikül uzunlukları birbiriyle uyumlu şekilde L2 seviyesinden alt seviyelere indikçe ve L1 seviyesinde küçüldü. L2'de vida uzunluğu ortalama  $5,62 \pm 0,48$ cm (R L1:  $5,62 \pm 0,46$ cm, Sol L1:  $5,63 \pm 0,47$ cm) olarak tespit edildi. Aynı seviyede ortalama pedikül uzunluğu ise  $2,68 \pm 0,36$  cm (R L1:  $2,66 \pm 0,35$ cm, Sol L1:  $2,70 \pm 0,36$ cm) olarak bulundu.

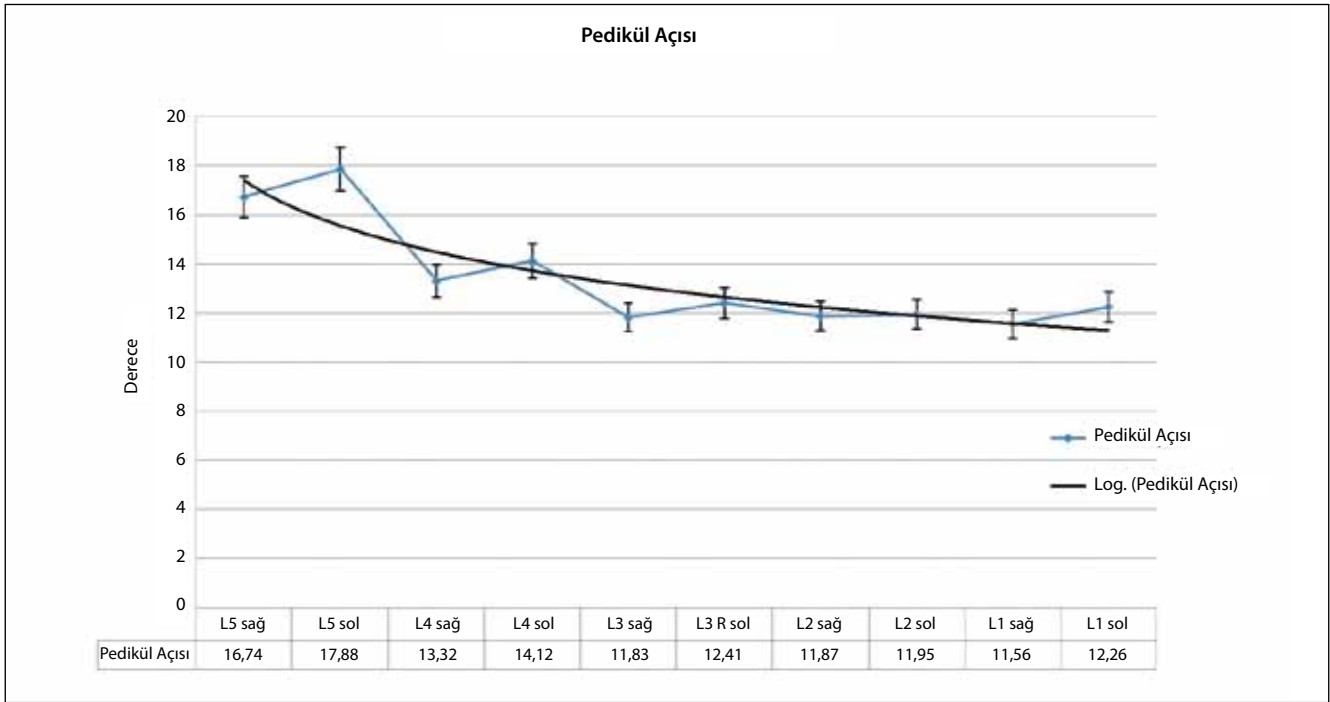
**Tablo I:** Pedikül İç Çap Ölçümleri

Pedikül iç çapı (mm)	Min.- Maks.	Ortalama $\pm$ SS	p
L1 R	1,8-7	$4,47 \pm 1,41$	0,06
L1 L	1,8-7,9	$4,72 \pm 1,54$	
L2 R	2,5-8,7	$5,17 \pm 1,42$	0,08
L2 L	2,3-9,2	$5,51 \pm 1,67$	
L3 R	3,4-10,7	$7,00 \pm 1,68$	0,35
L3 L	3,8-10,8	$7,10 \pm 1,70$	
L4 R	4,9-12,6	$8,45 \pm 1,82$	0,06
L4 L	4,9-12,5	$8,88 \pm 1,88$	
L5 R	7,3-15,6	$11,46 \pm 2,02$	0,54
L5 L	7,3-15,7	$11,55 \pm 2,19$	

R: Sağ, L: Sol.



**Şekil 2:** L1-L5 seviyesindeki vertebralardan pediküllerinin iç ve dış çapları ve bunların birbirine oranı.



**Şekil 3:** L1-L5 seviyesindeki vertebralarda pediküllerinin lateralinden korpuse uzanan düzlemin orta hatta olan açısı.

**Tablo II:** Pedikül Dış Çap Ölçümleri

Pedikül dış çapları	Min.-Maks.	Ortalama±SS	p
L1 R	3,70-9,30	6,67±1,62	0,09
L1 L	3,60-10,70	6,89±1,75	
L2 R	4,30-11,30	7,46±1,56	0,06
L2 L	3,60-12,10	7,77±1,84	
L3 R	5,40-13,90	9,43±1,82	0,56
L3 L	5,70-13,60	9,51±1,80	
L4 R	7,50-15,90	11,15±2,01	0,07
L4 L	7,50-15,10	11,51±2,01	
L5 R	9,80-18,90	14,69±2,20	0,73
L5 L	9,40-18,90	14,50±2,31	

R: Sağ, L: Sol.

2,71±0,37cm) olarak bulundu. Pedikül/vida uzunluk oranının üst seviyelere doğru gidildikçe arttığı görüldü. (Tablo IV) (Şekil 4).

Sağ ve sol pedikül ve vida uzunlukları arasında küçük farklar olmasına rağmen, istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı. En uzun vida uzunluğunun L2 seviyesinde, en uzun pedikül uzunluğunun L1 seviyesinde olduğu, pedikül/vida uzunluk oranının L5 seviyesinden L1 seviyesine çıktıkça arttığı saptandı.

### TARTIŞMA

Pedikül vidası ile lomber stabilizasyon günümüzde travmatik instabilite, tümör, deformite ve dejeneratif hastalıkların cerrahi tedavisinde popüler bir yöntem haline gelmiştir.

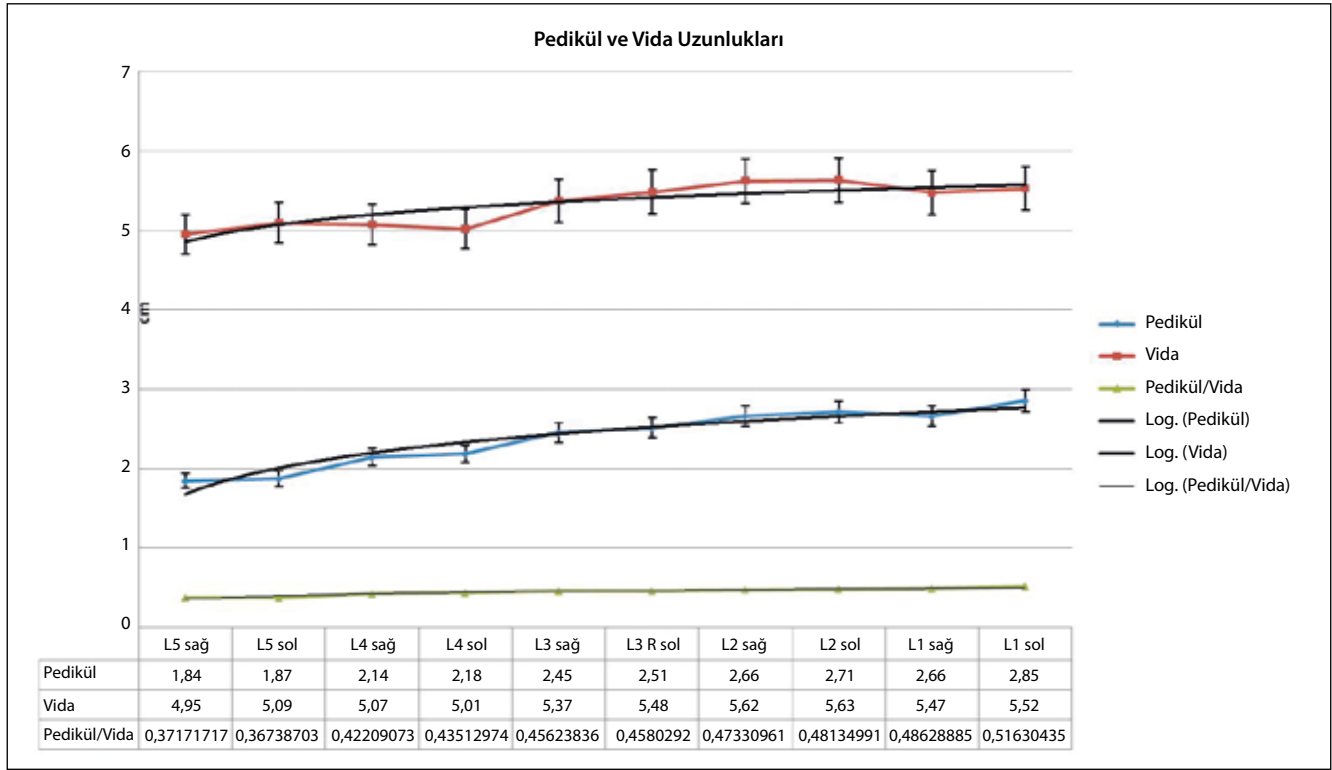
**Tablo III:** Pediküllerin Korpuse Yaptığı Açı Değerleri

Pedikül Açısı	Min.-Maks.	Ortalama±SS	p
L1 R	6,04-15,56	11,56±2,34	0,07
L1 L	7,72-17,20	12,26±2,69	
L2 R	7,13-17,67	11,87±2,99	0,47
L2 L	7,16-16,42	11,95±2,70	
L3 R	6,95-21,07	11,83±2,98	0,13
L3 L	7,68-18,97	12,41±3,10	
L4 R	7,48-22,18	13,32±3,33	0,06
L4 L	6,67-23,04	14,12±3,06	
L5 R	10,10-27,35	16,74±4,21	0,07
L5 L	9,80-33,28	17,88±4,89	

Uzun dönem sonuçları henüz kesin olarak bilinmemesine karşın pek çok nöroşirürji kliniğinde en sık uygulanan cerrahi işlemler arasındadır (24).

TPV uygulamaları sırasında floroskopi sıklıkla kullanılmasına rağmen, pedikül ve korpus morfolojisinin bilinmesi ameliyat sırasında cerraha belirgin avantaj sağlar. Bu anlamda pedikül iç ve dış çapı, pedikül açısı, pedikül ve korpus uzunluklarının bilinmesi önemlidir.

Kaptanoğlu ve ark. 2009 yılında yaptığı çalışmada, 20 hastaya ait 178 pedikülün iç ve dış çapları ölçülmüştür (12). Mevcut çalışmada ise 100 Türk hastaya ait 1000 pedikül üzerinde bu parametrelere ek olarak pedikül açıları, pedikül ve kullanılması gereken vida uzunlukları da ölçülmüştür.



**Şekil 4:** L1-L5 seviyesindeki vertebralarn pediküllerinin ve pedikül-korpus uzunluğu ve bunların birbirine oranının ölçümü.

**Tablo IV:** Pedikül ve Uygun Vida Uzunlukları

Pedikül/vida uzunluğu	Min.-Maks.	Ortalama±SS	p
L5 R vida	3,96-6,50	4,95±0,59	0,07
L5 L vida	3,92-8,00	5,09±0,79	
L4 R vida	4,12-6,80	5,07±0,50	0,33
L4 L vida	4,46-6,68	5,01±0,81	
L3 R vida	4,65-7,60	5,37±0,53	0,06
L3 L vida	4,67-7,68	5,48±0,51	
L2 R vida	4,80-7,13	5,62±0,46	0,71
L2 L vida	4,71-7,16	5,63±0,47	
L1 R vida	4,20-7,04	5,47±0,64	0,07
L1 L vida	4,36-7,24	5,52±0,57	
L5 R pedikül	1,05-2,76	1,84±0,39	0,86
L5 L pedikül	1,09-2,74	1,87±0,39	
L4 R pedikül	1,46-2,92	2,14±0,31	0,16
L4 L pedikül	1,47-3,08	2,18±0,32	
L3 R pedikül	1,74-3,25	2,45±0,37	0,24
L3 L pedikül	1,85-3,13	2,51±0,35	
L2 R pedikül	1,95-3,18	2,66±0,35	0,40
L2 L pedikül	2,03-3,35	2,71±0,37	
L1 R pedikül	2,04-3,48	2,66±0,36	0,25
L1 L pedikül	2,06-5,78	2,85±0,64	

Pedikül çapları genişlikleri daha önce yapılmış çalışmalara benzer bir eğilim göstermiştir. L1'den L5'e doğru gidildikçe pedikül iç ve dış çapları genişlemiştir (2,11,12). Islam ve ark.

yaptığı çalışmada pedikül iç çapı 5.5 ile 8.1 mm arasında bulunmuştur(11). Kaptanoğlu'nun çalışmasında yine bu değerlerle uyumlu sonuçlar elde edilmiş, pedikül iç çapı ölçümleri 5.5 ile 11.4 mm arasında bulunmuştur (12). Bizim çalışmamızda da pedikül iç çapı 4.60 ile 11.51 mm arasında bulunmuştur.

Çalışmamızda saggital pedikül açıları olmaksızın, transverse pedikül açılarını ölçmemizin sebebi; TPV ameliyatları sırasında, floroskopi ile anteroposterior (AP) görüntülerden çok lateral görüntülerin alınması ve bu bağlamda korpus ve pediküllerin saggital düzlemde gerçek zamanlı görüntülenebilmesidir. AP görüntülerde pedikül üst ve alt uçlarının superpoze olması nedeniyle, pedikül açısı net olarak belirlenememektedir.

Mitra ve ark. Hint populasyonunda yaptıkları kadavra çalışmasında kadvralarda elde edilen omurların saggital açılarını ölçülmüş ve L1-L4 seviyeleri arasındaki pediküllerin kraniale, L5 seviyesinde ise kaudale yönelmiş olduğu gösterilmiştir (19). Çalışmamızda ölçülen transverse pedikül açıları açısından bakıldığında da Acharya ve ark. Hint populasyonunda yaptığı çalışmayla uyumlu olarak lomber bölgede en büyük mediyal açılanma L5 seviyesinde saptandı (2). L1 seviyesine doğru gidildikçe pedikül aksının orta hat ile yaptığı açının dikleştiği tespit edildi.

Uygun vida uzunluğunun belirlenmesiyle, korpusun anterior korteksinin perforasyon riski azaltılarak, major damar yaralanmaları önlenir. Çalışmamızda vida uzunlukları Zindrick ve ark. çalışmasıyla uyumlu şekilde L1 seviyesinden L2'ye



doğru hafifçe artmış daha sonra ise her alt seviyede giderek azalmıştır (27). Bu durum Hint populasyonunda yapılan çalışmalarda daha farklıdır. L3 seviyesindeki vida uzunluğu ortalama L4 vida uzunluğundan kısadır (2,4). Bu sonuç her toplumda pedikül anatomileri arasında farklılıklar olabileceği düşüncesini desteklemektedir (2).

Genel kanı, lomber bölgede alt seviyelerde daha kalın ve daha uzun vida seçilmesi gerektiği yönünde olsa da; alt seviyelere inildikçe, pedikül kalınlıkları artmasına rağmen kullanılması gereken vida uzunlukları azalmaktadır. Yapılan morfometrik ölçümler ışığında, daha çok yük taşınması gereken alt lomber vertebraların korpus ve pediküllerinin üst seviyelere oranla, daha kısa fakat daha geniş olduğu saptanmıştır. Yani TPV ameliyatında üst lomber seviyelerde daha ince ve daha uzun, alt lomber seviyelerde ise daha kalın ve daha kısa pedikül vidaları tercih edilmelidir.

#### KAYNAKLAR

1. Abuzayed B, Tutunculer B, Kucukyuruk B, Tuzgen S: Anatomic basis of anterior and posterior instrumentation of the spine: Morphometric study. *Surg Radiol Anat* 32(1):75–85, 2010
2. Acharya S, Dorje T, Srivastava A: Lower dorsal and lumbar pedicle morphometry in Indian population: A study of four hundred fifty vertebrae. *Spine (Phila Pa 1976)* 35(10):378-384, 2010
3. Ashman RB, Galpin RD, Corin JD, Johnston CE: Biomechanical analysis of pedicle screw instrumentation systems in a corpectomy model. *Spine (Phila Pa 1976)* 14(12):1398–1405, 1989
4. Chadha M, Balain B, Maini L, Dhaon BK: Pedicle morphology of the lower thoracic, lumbar, and S1 vertebrae: An Indian perspective. *Spine* 28: 744–749, 2003
5. Chen IH, Hou CH, Huang CI, Lee LS: Measurement of Chinese lumbar pedicles: With special reference to transpedicular screw fixation. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei)* 53(6):351-356, 1994
6. Cook SD, Salkeld SL, Stanley T, Faciane A, Miller SD: Biomechanical study of pedicle screw fixation in severely osteoporotic bone. *Spine J* 4: 402–408, 2004
7. Daftari TK, Horton WC, Hutton WC: Correlations between screw hole preparation, torque of insertion, and pullout strength for spinal screws. *J Spinal Disord* 7:139–145, 1994
8. Datir SP, Mitra SR: Morphometric study of the thoracic vertebral pedicle in an Indian population. *Spine* 29(11):1174-1181, 2004
9. Ebraheim NA, Rollins JR Jr, Xu R, Yeasting RA: Projection of the lumbar pedicle and its morphometric analysis. *Spine* 21: 1296–1300, 1996
10. France JC, Yaszemski MJ, Laueran WC, Cain JE, Glover JM, Lawson KJ, Coe JD, Topper SM: A randomized prospective study of posterolateral lumbar fusion. Outcomes with and without pedicle screw instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)* 24(6):553–560, 1999
11. Islam C, Güzel MB, Sakul BU: Clinical importance of the minimal cancellous diameter of lower thoracic and lumbar vertebral pedicles. *Clin Anat* 9: 151-154, 1996
12. Kaptanoglu E, Cemil B, Gurcay AG, Tun K, Cevirgen B: Morphometric characteristics of the inner and outer diameter of lumbar pedicles on computed tomography. *Neurol Neurochir Pol* 43(6):533–537, 2009
13. Kim NH, Lee HM, Chung IH, Kim HJ, Kim SJ: Morphometric study of the pedicles of thoracic and lumbar vertebrae in Koreans. *Spine (Phila Pa 1976)* 19(12):1390-1394, 1994
14. Kotil K, Şengöz A: Lomber omurganın pedikül vida enstrümantasyonunda pedikül duvarının kalınlığının önemi: Radyolojik Anatomi Çalışması. *Türk Omurga Cerrahisi Dergisi* 21(2): 129–136, 2010
15. Kretzer RM, Chaput C, Sciubba DM, Garonzik IM, Jallo GI, McAfee PC, Cunningham BW, Tortolani PJ: A computed tomography-based morphometric study of thoracic pedicle anatomy in a random United States trauma population. *J Neurosurg Spine* 14(2):235-243, 2011
16. 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: 2429–2434, 1996
17. Li B, Jiang B, Fu Z, Zhang D, Wang T: Accurate determination of isthmus of lumbar pedicle: A morphometric study using reformatted computed tomographic images. *Spine* 29: 2438–2444, 2004
18. McLain RF, Fry MF, Moseley TA, Sharkey NA: Lumbar pedicle screw salvage: Pullout testing of three different pedicle screw designs. *J Spinal Disord* 8: 62–68, 1995
19. Mitra SR, Datir SP, Jadhav SO: Morphometric study of the lumbar pedicle in the Indian population as related to pedicular screw fixation. *Spine (Phila Pa 1976)* 27(5):453-459, 2002
20. Moran JM, Berg WS, Berry JL, Geiger JM, Steffee AD: Transpedicular screw fixation. *J Orthop Res* 7: 107–114, 1989
21. Olsewski JM, Simmons EH, Kallen FC, Mendel FC, Severin CM, Berens DL: Morphometry of the lumbar spine: Anatomical perspectives related to transpedicular fixation. *J Bone Joint Surg (Am)* 72: 541–549, 1990
22. Samuelson WO, Simmons EH: Factors affecting success in adult spinal fusion. *Proceedings of the International Society for the Study of the Lumbar Spine, 1989:83*
23. Schizas C, Michel J, Kosmopoulos V, Theumann N: Computer tomography assessment of pedicle screw insertion in percutaneous posterior transpedicular stabilization. *Eur Spine J* 16(5):613–617, 2007
24. Schwarzenbach O, Berlemann U, Jost B, Visarius H, Arm E, Langlotz F, Nolte LP, Ozdoba C: Accuracy of computer-assisted pedicle screw placement. An in vivo computed tomography analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 22: 452–458, 1997
25. 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* 15:195–201, 1990
26. Snider RK, Krumwiede NK, Snider LJ, Jurist JM, Lew RA, Katz JN: Factors affecting lumbar spinal fusion. *J Spinal Disord* 12(2):107–114, 1999
27. Zindrick MR, Wiltse LL, Widell EH, Thomas JC, Holland WR, Field BT, Spencer CW: A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine. *Clin Orthop Relat Res* 203: 99–112, 1986