

Artículo de revisión

Fijación vertebral por vía transpedicular. Importancia de los estudios anatómicos y de imagen

Morales-Ávalos R,* Elizondo-Omaña RE,* Vélchez-Cavazos F,** Martínez-Ponce de León AR,****
Elizondo-Riojas G,**** Delgado-Brito M,* Cortés-González P,**** Guzmán-Avilán RI,*
Pinales-Razo R,**** de la Garza-Castro O,* Guzmán-López S*

Hospital Universitario «Dr. José Eleuterio González», Universidad Autónoma de Nuevo León

RESUMEN. El número de pacientes que padecen patología de la columna vertebral se ha incrementado exponencialmente en los últimos años y con ello, se incrementará el número de casos que requerirán tratamiento quirúrgico. En la actualidad la cirugía de fusión vertebral por vía transpedicular representa la técnica de fijación más comúnmente utilizada para el tratamiento de desordenes vertebrales de cualquier índole. Las características morfométricas de las vértebras, en especial del pedículo, determinan el tamaño de los implantes pediculares tanto en anchura como en longitud, así como la forma, dirección y angulación ideal del tornillo al momento de su introducción. Es importante el conocimiento de estas características para evitar lesiones de estructuras importantes adyacentes, así como para disminuir la incidencia de complicaciones postoperatorias. En las últimas décadas se han efectuado numerosos estudios en distintas poblaciones sobre las características morfométricas del pedículo vertebral para determinar sus dimensiones reales mediante medición directa y métodos de imagen. Estos estudios

ABSTRACT. The number of patients with spine conditions has grown exponentially in recent years leading to an increase in the number of cases requiring surgical treatment. Currently vertebral fusion surgery with a transpedicular approach represents the most commonly used technique to treat any type of vertebral disorder. The morphometric characteristics of vertebrae, particularly the pedicle, determine the size of pedicular implants, including width and length, as well as the shape and direction of the screw and its ideal angulation at the time of introduction. Knowing these characteristics is important to prevent injuring important adjacent structures and to decrease the postoperative complication rate. In recent decades numerous studies on the morphometric characteristics of the vertebral pedicle have been conducted in different populations to determine its real dimensions by means of direct measurement and imaging methods. These studies have concluded that there are significant differences in these measurements among the different ethnic groups, races, genders, ages and the vertebral regions studied. This paper

Nivel de evidencia: III (Act Ortop Mex, 2012)

* Departamento de Anatomía Humana, Facultad de Medicina.

** Servicio de Traumatología y Ortopedia.

*** Servicio de Neurocirugía y Terapia Endovascular Neurológica.

**** Centro Universitario de Imagen Diagnóstica.

Dirección para correspondencia:

Dr. Rodolfo Morales Ávalos

Departamento de Anatomía Humana,

Facultad de Medicina y Hospital Universitario «Dr. José Eleuterio González», Universidad Autónoma de Nuevo León.

Av. Madero s/n, Col. Mitras Centro, C. P. 64460, Monterrey, Nuevo León, México.

Tel: (52) (81)83294171 Cel: (044)811-654-3223

E-mail: rod_omana@yahoo.com

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/actaortopedica>

han llegado a la conclusión de que existen diferencias significativas en estas mediciones entre las diferentes etnias, razas, géneros, edades y regiones vertebrales estudiadas. En el presente artículo se analizan los diferentes estudios morfométricos del pedículo y demás elementos vertebrales estudiados en México y el resto del mundo, justificando la importancia de su conocimiento y aplicación quirúrgica para el correcto desarrollo de la cirugía de fusión vertebral por vía transpedicular.

Palabras clave: columna, fijación, anatomía, radiología, vértebra, México.

analyzes the different morphometric studies of the pedicle and all the other vertebral elements studied in Mexico and the rest of the world and explain the importance of their knowledge and surgical application for the correct development of vertebral fusion surgery with a transpedicular approach.

Key words: spine, fixation, anatomy, radiology, vertebra, Mexico.

Introducción

El número de pacientes con enfermedades degenerativas de la columna vertebral se ha incrementado de forma importante en los últimos años, debido a las modificaciones del estilo de vida y patrones de comportamiento, así como al aumento en la expectativa de vida.¹ Se estima que entre 70-90% de la población en general sufre de dolor de espalda y que aproximadamente 4% requerirá tratamiento quirúrgico.¹ Se calcula que en Estados Unidos 44 millones de personas padecen enfermedades degenerativas de la columna vertebral, siendo la osteoporosis la principal causa; se espera que estas cifras aumenten 30% en los próximos 20 años, así como el número de pacientes con patología vertebral que requerirán tratamiento quirúrgico.² De la misma manera, la cantidad de recursos económicos destinados a la prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de los pacientes con estas patologías se ha incrementado en los últimos años.³

Una de las opciones disponibles para el tratamiento quirúrgico de la patología vertebral es la instrumentación de la columna por vía transpedicular. En la actualidad, la cirugía de fusión vertebral por vía transpedicular representa la técnica de fijación más comúnmente utilizada para el tratamiento quirúrgico de las enfermedades vertebrales de índole degenerativo, vascular, infeccioso, metastásico, congénito y traumático.^{4,5}

El procedimiento consiste en la introducción de tornillos transpediculares a través de un punto ubicado en la unión de la apófisis transversa con la apófisis articular superior, el cual atraviesa en su trayectoria al pedículo hasta alcanzar el cuerpo vertebral, proporcionando estabilidad y fijación interna al segmento vertebral afectado (*Figura 1*).⁶

Entre las ventajas de este procedimiento se encuentran la estabilización de los segmentos vertebrales afectados, la reducción de complicaciones postoperatorias y el corto tiempo de estancia hospitalaria, así como un buen grado de mejoría clínica.⁷ Entre las complicaciones postoperatorias agudas y crónicas más frecuentes se encuentran las infecciones, estenosis de los segmentos vertebrales adyacentes a la fijación, déficit neurológico transitorio o permanente,

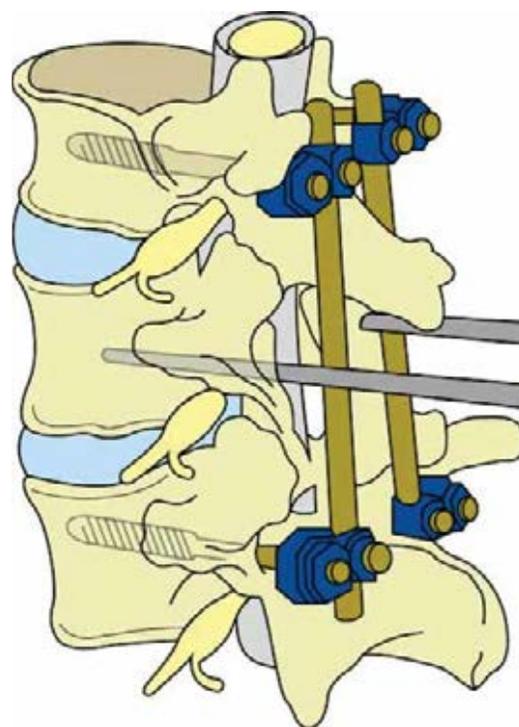


Figura 1. Esquema representativo de la técnica de instrumentación vertebral por vía transpedicular aplicado a la región lumbar.

malposición de los tornillos, falla del sistema de fijación, persistencia o agravamiento del dolor, fractura del pedículo e invasión del canal medular con ruptura de la duramadre y fuga de líquido cefalorraquídeo.^{8,9}

Las características morfométricas de las vértebras y en especial del pedículo, determinan el tamaño de los implantes pediculares tanto en anchura como en longitud, así como la forma, dirección y angulación ideal del tornillo al momento de su introducción.¹⁰ Es importante para el cirujano, el conocimiento de estas características para evitar lesiones de la corteza pedicular, meninges, raíces nerviosas, facetas articulares, vísceras o estructuras vasculares adyacentes debidas a la colocación u orientación incorrecta de los tor-

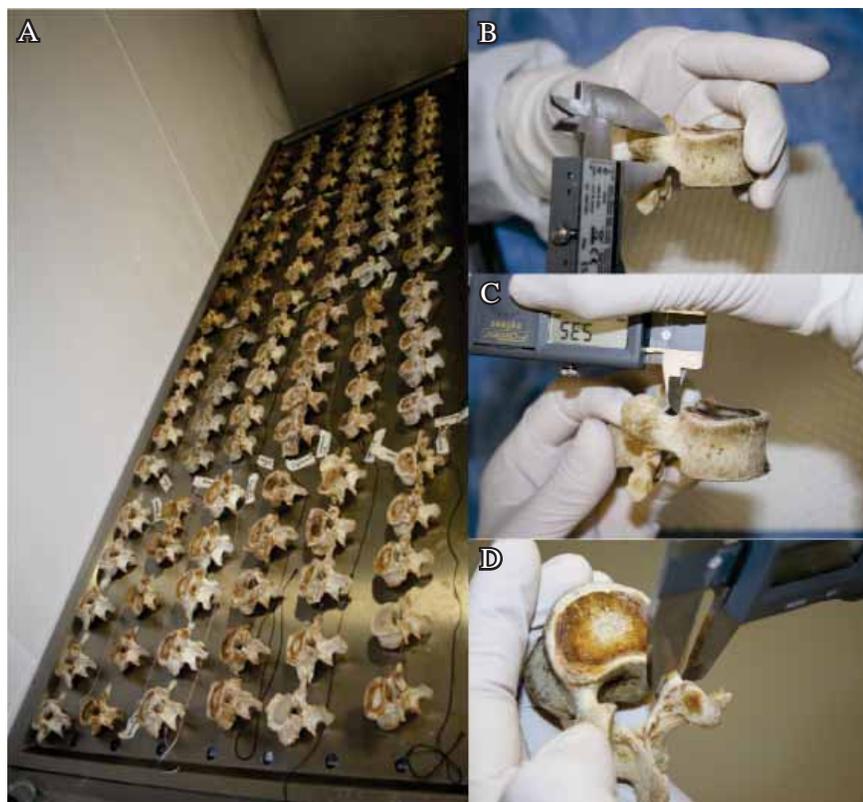


Figura 2. A: Colección de vértebras lumbares del Departamento de Anatomía Humana de la Facultad de Medicina de la UANL. B: Medición del ancho pedicular cortical. C: Medición de la altura pedicular cortical. D: Medición de la longitud del pedículo.

nillos.^{11,12} La cirugía de fusión vertebral por vía transpedicular es difícil y presenta ciertos riesgos para el paciente a causa de la compleja morfología de la columna vertebral y la proximidad a estructuras neurovasculares de relevancia clínica.¹³

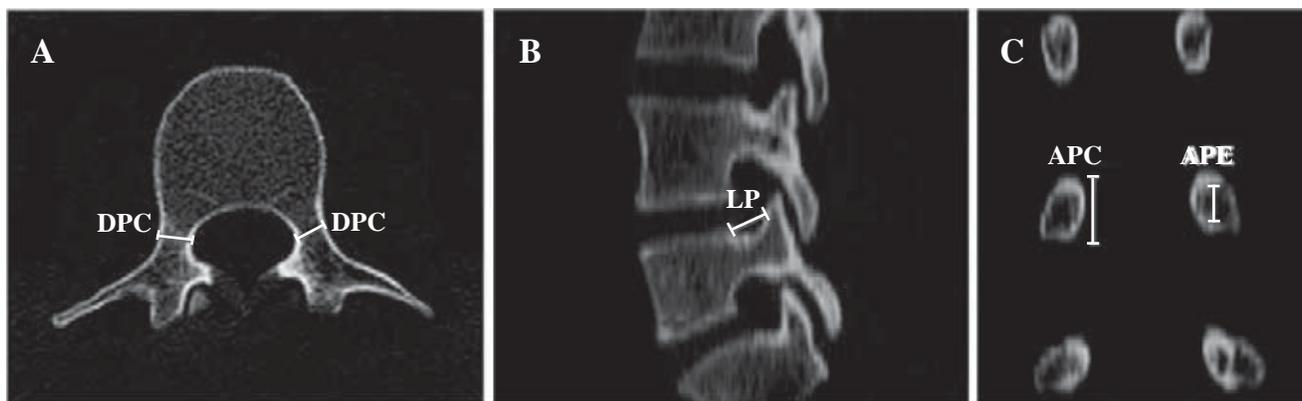
Desde un punto de vista morfológico, el pedículo vertebral no tiene forma cilíndrica como convencionalmente se menciona, sino que los diámetros vertical y horizontal le confieren una forma ovalada cuyas dimensiones tienden a aumentar a expensas de su núcleo de hueso esponjoso en dirección cráneo-caudal, lo cual está posiblemente relacionado con las cargas fisiológicas a las que es expuesta la vértebra conforme desciende el nivel.¹⁴ El pedículo está compuesto por paredes corticales de espesor variable y una gran cantidad de hueso esponjoso en su interior, lo que le permite actuar como un túnel con su núcleo central débil, por donde se realiza la colocación del implante pedicular. Estas características permiten que el pedículo represente una vía de acceso directa hacia el cuerpo vertebral.¹⁵

Para el estudio de las características morfométricas del pedículo vertebral en cualquier región, se consideran los siguientes parámetros: altura y ancho del pedículo (las cuales se miden en el «istmo pedicular», el cual es definido como el punto más angosto del pedículo), así como el largo del pedículo (Figura 2). La altura pedicular es a su vez subdividida en: altura pedicular cortical o externa (distancia entre el borde superior de la cortical superior y el borde inferior de la cortical inferior) y altura pedicular endostal o interna (distancia que existe entre el borde inferior de la

cortical superior y el borde superior de la cortical inferior). De la misma forma, en el estudio del ancho pedicular se consideran dos subdivisiones: el ancho pedicular cortical o externo (distancia que existe entre los bordes laterales de ambas corticales y que corresponde aproximadamente a 30% del diámetro pedicular total) y el ancho pedicular endostal o interno (distancia que existe entre los bordes mediales de ambas corticales y que corresponde a 70% del diámetro pedicular total), siendo este último el elemento clave para la selección del implante pedicular ideal, ya que el tornillo debe penetrar el hueso esponjoso sin invadir las paredes de hueso cortical; la longitud del pedículo se define como la distancia entre la unión de la apófisis transversa con la apófisis articular superior y la superficie posterior del cuerpo vertebral.¹⁶

En las últimas décadas se han efectuado numerosos estudios de la morfología, anatomía topográfica y características morfométricas en distintas poblaciones, en todo el mundo, para determinar las dimensiones reales del pedículo vertebral mediante medición directa en cadáver, medición en vértebras secas, tomografía computarizada, radiografías, fluoroscopia y reconstrucción tridimensional. Estos estudios demuestran que existen diferencias significativas en las mismas entre las diferentes etnias, razas, géneros, edades y regiones vertebrales estudiadas.¹⁷

Nuestro grupo de investigación ha efectuado estudios sobre las características morfométricas del pedículo vertebral en población mexicana mediante medición directa (Figura 3) y tomografía computarizada, a fin de correla-



APC: ancho pedicular cortical; APE: ancho pedicular endostal; APC: altura pedicular cortical; APE: altura pedicular endostal; LP: longitud del pedículo.

Figura 3. Corte transversal (A), reconstrucción sagital (B) y reconstrucción coronal (C) en una tomografía computarizada (TC) a nivel de L3, donde pueden observarse las morfometrías más comunes realizadas al pedículo vertebral.

cionar sus dimensiones reales y que éstas sean de ayuda para el mejor desarrollo de la cirugía de fusión vertebral en México.^{18,19}

Región cervical

La fijación transpedicular de la columna cervical fue descrita por primera vez en 1967 por Leconte, quien colocó tornillos en los pedículos de C2 para el tratamiento de un caso de espondilolistesis del axis.²⁰ Este método no se utilizó de forma rutinaria en las vértebras cervicales inferiores hasta 1995, cuando Abumi y Jeanneret emplearon la técnica para el abordaje de fracturas y luxaciones a estos niveles.²⁰

Los resultados clínicos y biomecánicos demuestran que la fijación de la columna cervical por vía transpedicular presenta una mayor estabilización comparada con el resto de los sistemas de fusión existentes (alambres, tornillos a las masas laterales, placas, barras y ganchos).²¹ Existen pocos reportes que comparan esta técnica con procedimientos similares efectuados en otras regiones de la columna vertebral, debido al mayor riesgo potencial de producir lesiones neurovasculares.²² Sin embargo, se considera la técnica de primera elección para pacientes con pobre calidad de hueso, múltiples lesiones vertebrales o inestabilidad vertebral multisegmentaria.²²

Atlas y Axis (C1 y C2). Las primeras dos vértebras cervicales, atlas (C1) y axis (C2) difieren del resto porque poseen características anatómicas peculiares, las cuales hacen que su abordaje quirúrgico represente un reto para el cirujano.²³ Existen estudios que evalúan las características morfométricas de estas vértebras en diferentes poblaciones, pero no existen, hasta el momento, estudios en población mexicana. Las masas laterales del atlas representan un componente anatómico muy importante para realizar la cirugía de fusión.²⁴ Un estudio realizado en población turca obtuvo un valor promedio de 12.32 mm para el ancho de las masas laterales de C1 y 9.50 mm para el diámetro cortical externo del pedículo de C2.²⁵ Las relaciones de estas dos vértebras con los agujeros transversos y la arteria vertebral, así como

sus dimensiones reales para cada población, no han sido totalmente determinadas, siendo pocos los estudios que describen las características morfométricas de los componentes de C1 y C2.^{26,27}

Las indicaciones más frecuentes para la cirugía de fusión en los niveles C1-C2 son: fractura de la apófisis odontoides, procesos patológicos de la unión craneovertebral, anomalías congénitas y la destrucción de elementos óseos por neoplasias. Entre sus complicaciones se encuentran las lesiones de la arteria vertebral, médula espinal, raíces medulares y nervios craneales.²⁷

Región cervical media e inferior (C3-C7). Los segmentos vertebrales cervicales medios e inferiores presentan las características morfológicas típicas del pedículo, como paredes corticales delgadas y diámetro horizontal ligeramente menor que su altura, pero con un diámetro endostal inferior al de los segmentos torácicos y lumbares.²⁸ Lo anterior condiciona una menor expansión del pedículo al introducir el tornillo y, por lo tanto, una mayor frecuencia de fracturas del mismo, comparado con las demás regiones vertebrales, por lo que la elección de un implante pedicular que se adapte con la mayor precisión a las características morfométricas del pedículo cervical resulta de especial importancia en esta región.^{29,30}

Se piensa que la edad y el género representan variables a considerar debido a que se ha demostrado que influyen sobre las características morfológicas del pedículo. Yusof y colaboradores (2007) observaron que los pacientes mayores de 60 años tienen una mayor cantidad de hueso esponjoso dentro del pedículo, lo cual se relaciona a procesos degenerativos que sufre la columna vertebral con la edad.³⁰ Abuzaied y su grupo (2009) afirman que existen diferencias significativas en las características morfométricas del pedículo vertebral cervical entre hombres y mujeres.³¹

Se han realizado estudios que analizan las características morfométricas del pedículo vertebral cervical en distintas poblaciones, incluyendo la mexicana (Tabla 1).^{19,30,32-38}

Es necesario realizar una tomografía computarizada preoperatoria con reconstrucciones multiplanares para determinar las dimensiones del pedículo vertebral

Tabla 1. Morfometrías del pedículo vertebral cervical en distintas poblaciones. Rangos de valores promedio de las vértebras C3-C7.

País/Estudio/Año	Método	N	DPC rango	DPE rango	APC rango	LP rango
México (Bazaldúa et al., 2011) ¹⁹	Directo	150	4.47 - 5.14	----	8.13 - 10.27	3.80 - 5.27
Malasia (Yusof et al., 2007) ³⁰	TC	400	4.00 - 4.90	1.94 - 2.80	----	----
Estados Unidos (Ludwig et al., 2000) ³²	Directo	400	5.38 - 6.51	----	7.15 - 7.72	14.41 - 16.28
China (Tan et al., 2004) ³³	TC	490	4.40 - 5.70	----	----	----
Austria (Reinhold et al., 2007) ³⁴	TC	50	5.60 - 7.90	2.20 - 3.90	6.70 - 7.50	----
Turquía (Kayalioglu et al., 2007) ³⁵	Directo	192	4.16 - 5.28	----	5.93 - 6.29	5.51 - 6.15
Norteamérica (Rao et al., 2008) ³⁶	TC	490	5.80 - 7.60	----	6.60 - 7.00	5.30 - 6.00
China (Ruofu et al., 2008) ³⁷	TC	300	5.30 - 6.70	1.60 - 3.20	6.40 - 7.20	15.60 - 16.80
México (Vargas et al., 2011) ³⁸	TC	204	4.27 - 6.27	----	5.58 - 6.33	----

Todo está expresado en milímetros. TC: tomografía computarizada; DPC: diámetro pedicular cortical; DPE: diámetro pedicular endostal; APC: altura pedicular cortical; LP: largo del pedículo.

Tabla 2. Indicaciones y complicaciones más frecuentes de la instrumentación por vía transpedicular de la región torácica.

Indicaciones	Complicaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Padecimientos degenerativos de la región torácica • Deformidades de la columna torácica, como la escoliosis severa • Tratamiento del trauma • Espondilolistesis • Reconstrucción vertebral • Obtención de biopsias del cuerpo vertebral 	<ul style="list-style-type: none"> — Infección — Fracturas de pedículo — Neumotórax — Derrame pleural — Lesión de la vena ácigos o aorta torácica — Ruptura de la duramadre — Afección de una raíz espinal — Déficit neurológico

cervical, esto con el fin de lograr una adecuada selección del implante pedicular, una mejor tasa de fijación vertebral y una menor incidencia de complicaciones postoperatorias.

Región torácica. El uso de tornillos transpediculares en la región torácica es relativamente nuevo; en los últimos años su uso ha ganado popularidad en los países industrializados.^{39,40} Sin embargo, debido al pequeño tamaño y variabilidad de los pedículos entre las vértebras torácicas existe un mayor porcentaje de fractura cortical en rangos porcentuales entre 15.9 y 54.7 % en distintos estudios.⁴¹⁻⁴⁵

Las indicaciones, así como las complicaciones asociadas, de la instrumentación de la columna vertebral torácica por vía transpedicular resultan ser muchas y muy variadas (Tabla 2).⁴⁵⁻⁴⁷

Los estudios realizados en diversas poblaciones muestran resultados muy similares. El diámetro cortical del pedículo vertebral torácico en general varía entre 4.5 y 6.5 mm, siendo el menor a nivel de T4-T5.⁴⁸⁻⁵¹ Los valores disminuyen progresivamente de T1 a T5 y vuelven a aumentar progresivamente de T6 a T12.⁵²

Con base en los estudios morfométricos realizados en distintas poblaciones se sugiere el uso de tornillos de 3.5 a 4.0 mm para los niveles torácicos superiores y medios, también tornillos de 4.5 a 5 mm para los niveles torácicos inferiores o que el diámetro del tornillo no supere en más de ochenta por ciento el diámetro pedicular cortical.^{53,54}

Dvorak y asociados (1993) introdujeron un abordaje extrapedicular (parapedicular) como una nueva técnica de fijación para la columna vertebral torácica, en la que no se utiliza el pedículo, sino un complejo virtual de estructuras que consisten en el pedículo y la cabeza de la costilla (Figura 4); esta técnica proporciona la posibilidad de un implante más ancho y largo, así como un mayor grado de angulación respecto a la línea media, por estas razones debe de ser considerada como una opción más para el abordaje quirúrgico de la columna vertebral torácica;⁵⁵ aun así, esta técnica resulta nueva para los cirujanos ortopedistas y neurocirujanos. En el futuro será necesaria una mayor cantidad de estudios morfométricos por técnicas de imagen para establecer las dimensiones reales de la «unidad pedículo-costilla», así como una mayor cantidad de estudios clínicos que compa-

ren el grado de mejoría clínica de los pacientes a mediano y largo plazo, en comparación con el abordaje pedicular estándar.⁵⁶⁻⁵⁸

Cabe destacar que en México no existen, hasta la fecha, estudios morfométricos que analicen el pedículo vertebral torácico, así como la región extrapedicular; las referencias para las decisiones clínicas por parte de los cirujanos de columna se basan, entre otras cosas, en estadísticas de otras poblaciones.

Región lumbar. La fusión vertebral por vía transpedicular representa la técnica de fijación más comúnmente utilizada en la región lumbar; en las últimas dos décadas ha desplazado a la mayoría de las otras técnicas de fusión existentes.⁴

Zindrick y su grupo (1987) registraron el mayor número de mediciones del pedículo lumbar con un total de 2,905

pedículos medidos por tomografía computarizada. Este estudio representa la base de los estudios morfométricos subsecuentes.⁵⁹ Sjostrom y colaboradores (1993) establecieron, según los datos obtenidos en su estudio del pedículo lumbar, que los tornillos con un diámetro mayor de 65% del diámetro pedicular cortical deforman el pedículo en 85% de las ocasiones.⁶⁰

El pedículo vertebral lumbar presenta características que lo hacen único respecto al de las demás regiones que conforman la columna vertebral, ya que no muestra simetría en cuanto a su constitución.^{61,62} Las paredes corticales laterales y mediales presentan diferencias en cuanto a su espesor, siendo éste mayor en la cortical medial que en la lateral; la pared cortical lateral fluctúa entre 0.4 a 0.6 mm y la pared medial entre 0.9 a 1.7 mm, remarcando la asimetría existente en la morfología del pedículo.⁶³ Las cortica-

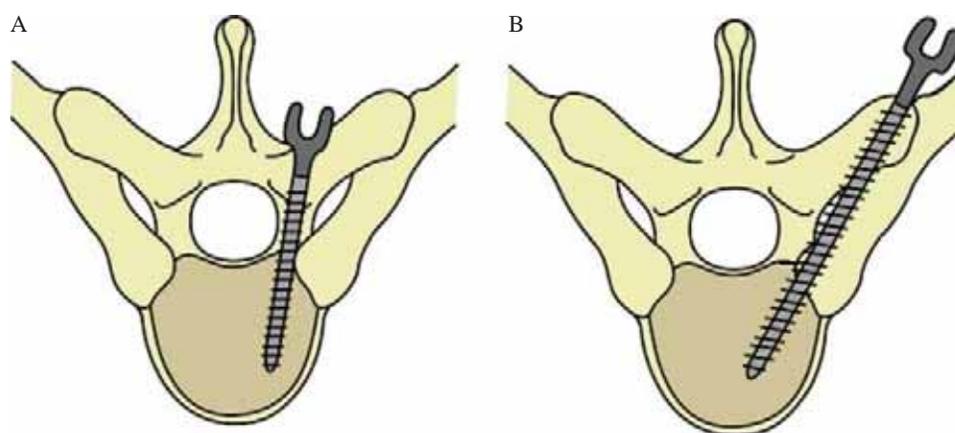


Figura 4. Diferencias en el trayecto de los implantes pediculares y extrapediculares utilizados en la región torácica. **A:** abordaje transpedicular. **B:** abordaje extrapedicular.

Tabla 3. Morfometrías del ancho pedicular cortical de las vértebras L1 a L5 en distintas poblaciones.

Población/Estudio/Año	Método	L1	L2	L3	L4	L5
Chinos (Lien et al., 2007) ⁶	Directo	6.4 ± 1.6	7.4 ± 1.7	9.3 ± 1.9	11.6 ± 2.1	17.5 ± 2.6
Espanoles (Olmos et al., 2002) ¹⁰	TC	---	---	8.7 ± 2.2	11.5 ± 2.1	16.3 ± 2.5
Mexicanos (Urrutia-Vega et al., 2009) ¹⁸	TC	7.8 ± 1.3	8.2 ± 1.4	9.5 ± 1.0	10.7 ± 0.6	14.3 ± 1.8
Japoneses (Nojiri et al., 2005) ⁶⁵	Directo	7.4 ± 2.0	7.8 ± 1.7	9.1 ± 1.7	10.1 ± 1.7	11.1 ± 1.7
Coreanos (Kang et al., 2011) ⁶⁶	TC	8.1 ± 1.7	8.5 ± 1.5	10.0 ± 1.7	11.5 ± 2.0	16.5 ± 2.4
Árabes (Amonoo-Kuofi, 1995) ⁶⁷	Directo	8.7	9.0	10.5	11.1	12.5
Hindúes (Singel et al., 2004) ⁶⁸	Directo	8.2 ± 6.7	8.5 ± 6.5	10.4 ± 7.0	13.5 ± 7.0	18.2 ± 9.7
Norteamericanos (Olsewski et al., 1990) ⁶⁹	Directo	7.7 ± 1.9	7.9 ± 1.9	9.6 ± 2.4	12.5 ± 2.3	18.4 ± 3.6
Israelitas (Wolf et al., 2001) ⁷⁰	TC	5.6 ± 1.3	7.7 ± 1.5	8.9 ± 1.9	11.4 ± 1.8	13.7 ± 2.2
Egipcios (Maaly et al., 2010) ⁷¹	TC	6.8 ± 1.9	8.8 ± 1.4	10.1 ± 1.6	12.9 ± 1.8	18.9 ± 2.1
Hindúes (Acharya et al., 2010) ⁷²	TC	7.2 ± 0.9	7.6 ± 0.8	8.9 ± 1.0	11.1 ± 1.0	13.9 ± 1.1

Todo está expresado en milímetros. TC: tomografía computarizada.

Tabla 4. Pedículo vertebral de S1. Valores promedio obtenidos en distintas poblaciones.

Población/Estudio/Año	Longitud del pedículo de S1 (mm)	Altura anterior del pedículo de S1 (mm)	Altura posterior del pedículo de S1 (mm)
Turcos (Arman et al., 2009) ⁵	24.65 ± 3.84	---	---
Espanoles (Olmos et al., 2002) ¹⁰	21.30 ± 2.65	---	---
Turcos (Esenkaya, 2002) ⁸²	24.00 ± 2.60	---	---
Hindúes (Okutan et al., 2003) ⁸⁵	---	---	---
Norteamericanos (Esses et al., 1991) ⁸⁶	---	26.10	30.20
Europeos (Ebraheim et al., 1997) ⁸⁷	---	22.70	23.07

les superior e inferior también presentan asimetría, siendo mayor la primera con valores que oscilan entre 1.00 y 1.75 mm comparados con los de la cortical inferior cuyos valores oscilan entre 0.9 y 1.25 mm.⁶⁴ Misenhimer y asociados (1989) señalaron que la pared cortical lateral del pedículo lumbar es más propensa a sufrir deformidades o fractura, al ser menor su espesor en comparación con la pared cortical medial.¹⁵ Christodoulou y su grupo (2005) observaron que existe una gran variación en las vértebras L1, L2 y L5 entre las diferentes razas y etnias, pero en L3 y L4 sólo existe una mínima variación.¹

Se han realizado estudios que analizan las características morfométricas del pedículo vertebral lumbar en distintas poblaciones, incluyendo la mexicana; en estos estudios puede observarse que las dimensiones del ancho pedicular cortical muestran un crecimiento céfalo-caudal de L1 a L5 para todas las poblaciones estudiadas (Tabla 3).^{6,10,18,65-72}

Amonoo-Kuofi (1995) determinó para todos los niveles lumbares, que el pedículo es más grande en hombres que en mujeres para todos los grupos de edad y además concluyó que existe una diferencia significativa en los diferentes diámetros del pedículo lumbar en cuanto al grupo de edad, afirmando que el pedículo no muestra un simple crecimiento lineal conforme avanza la edad, sino que sus dimensiones y composición (proporción entre hueso cortical y esponjoso) varían en las distintas etapas del desarrollo humano, hecho especialmente marcado en la población pediátrica.⁶⁷

Urrutia-Vega y colaboradores (2009) realizaron un estudio de las características morfométricas del pedículo lumbar en población mexicana, encontrando un diámetro horizontal cortical promedio mínimo en L1 (7.81 mm) y uno máximo en L5 (14.36 mm), por lo que la introducción de tornillos de 5.5 a 7.5 mm parecería ser segura para la población mexicana según el nivel vertebral a intervenir.¹⁸

La colocación de tornillos en la región lumbar implica ciertos riesgos, debido a su extrema proximidad con estructuras importantes. Existen sólo 14 mm de distancia entre el borde inferior del pedículo y las raíces espinales.^{73,74} En la región lumbar, la distancia promedio entre la raíz anterior del nervio espinal y la pared lateral del pedículo es de 4.8 mm en L1 y de 3.1 mm en L5, existiendo diferencias mínimas entre todos los estudios consultados.⁷⁵⁻⁷⁷ Estudios retrospectivos muestran que las

fracturas del pedículo en la región lumbar durante la colocación de tornillos transpediculares ocurren en 29% de los pacientes.^{78,79}

Se ha comprobado que el pedículo vertebral lumbar disminuye en longitud gradual y progresivamente de L1 a L5, esto condiciona que las vértebras lumbares superiores tengan un diámetro cortical menor y una longitud pedicular mayor; en el caso contrario, las vértebras lumbares inferiores poseen un menor diámetro cortical y una mayor longitud pedicular.⁸⁰

Región sacra. La cirugía de fusión vertebral por vía transpedicular en la región sacra resulta común, ya que la instrumentación de la columna lumbar frecuentemente utiliza a la primera vértebra sacra como nivel de anclaje, así como para el tratamiento quirúrgico de padecimientos primarios del sacro.⁸¹

Las indicaciones para el procedimiento son esencialmente las mismas que para las demás regiones que conforman la columna vertebral.⁸² El punto de entrada de los tornillos sacros corresponde a la superficie inferolateral de la faceta articular superior de la primera vértebra sacra (S1) y éstos pueden ser insertados en las alas del sacro (abordaje anterolateral) o en el promontorio sacro (abordaje anteromedial); siendo este último el más utilizado en la actualidad por la mayoría de los cirujanos de columna.⁵

La mayoría de los estudios se centran en S1 dejando fuera las demás vértebras del sacro.^{83,84} El pedículo de S1 ha sido estudiado en distintas poblaciones (Tabla 4).^{5,10,82,85-87} Nuestro grupo de investigación actualmente realiza un estudio que analiza las características morfométricas del sacro en población mexicana y su aplicabilidad a la cirugía de fusión vertebral.

Importancia de los estudios anatómicos y de imagen

El estudio de las características morfométricas del pedículo vertebral, así como de los demás elementos vertebrales, es de suma importancia para el correcto desarrollo de la cirugía de fusión vertebral por vía transpedicular. Los estudios anatómicos y de imagen tienen un rol fundamental para este propósito, al aportar información que es de ayuda para la adecuada selección y colocación del implante pedicular.

La realización de una tomografía computarizada preoperatoria para determinar las dimensiones del pedículo vertebral de los niveles vertebrales a intervenir, así como la determinación del punto de entrada ideal al pedículo, permitirá al cirujano establecer un abordaje individualizado para cada paciente y, de esta manera, disminuir las tasas de complicaciones postoperatorias.

En la actualidad, los estudios morfométricos del pedículo vertebral han tomado una nueva vertiente al realizarse mediante tomografía computarizada multicorte reformada, la cual corrige la inclinación y posición oblicua del pedículo permitiéndonos de esta manera determinar con precisión sus dimensiones, realizar múltiples reconstrucciones en los planos sagital y coronal, así como diferenciar con exactitud el hueso cortical del esponjoso.

En México es necesaria la realización de una mayor cantidad de estudios anatómicos y de imagen que analicen estas características morfométricas, con el fin de determinar las dimensiones reales del pedículo vertebral y establecer variaciones en el mismo en cuanto a edad y género, ya que éstos son de utilidad para el mejoramiento de la cirugía de fusión vertebral por vía transpedicular en nuestro país.

Agradecimientos

A todo el personal que conforma el Departamento de Anatomía Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León por su constante apoyo, soporte y confianza.

Al licenciado en Diseño Gráfico Jaime Alberto Cisneros Ríos por su ayuda en la realización y edición del material gráfico presentado en este estudio.

Bibliografía

- Christodolou AG, Apostolou T, Ploumis A, Terzidis I, Hantzokos I, Pourmaras J: Pedicle dimensions of the thoracic and lumbar vertebrae in the Greek population. *Clin Anat* 2005; 18: 404-8.
- Santoni BA, Hynes RA, McGilvray KC, et al: Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws. *Spine* 2008; 10: 200-8.
- Jiménez-Ávila JM, Calderón-Granados A, Bitar-Alatorre WE: Costo directo de las lesiones en la columna. *Cir Cir* 2012; 80(5): 435-41.
- Prakash L, Latha VP, Rajanigandha V, Mangala MP, Anu VR, Gajendra S: Morphometry of vertebral pedicles: a comprehensive anatomical study in the lumbar region. *Int J Morphol* 2007; 25(2): 393-406.
- Arman C, Naderi S, Kiray A, Aksu FT, Yilmaz HS, Tetik S: The human sacrum and safe approaches for screw placement. *J Clin Neurosci* 2009; 16: 1046-9.
- Lien SB, Liou NH, Wu SS: Analysis of anatomic morphometry of the pedicles and the safe zone for through-pedicle procedures in the thoracic and lumbar spine. *Eur Spine J* 2007; 16: 1215-22.
- Gómez de la Riva A, Isla A, Pérez-López C, Ortega R, Fernández-Miranda JC, Heredero J: Causas de reintervención quirúrgica en pacientes con fijación lumbar intervenidos por estenosis de canal. *Neurocirugía* 2006; 17: 232-9.
- Li G, Guohua L, Passias P, et al: Complications associated with thoracic pedicle screws in spinal deformity. *Eur Spine J* 2010; 19: 1576-84.
- Faraj AA, Webb JK: Early complications of spinal pedicle screw. *Eur Spine J* 1997; 6: 324-6.
- Olmos A, Villas C, Beguristan JL, Zubieta JL: Morfometría vertebral en población española. *Rev Ortop Traumatol* 2002; 2: 158-64.
- Okutan O, Kaptanoglu E, Solaroglu I, Beskonakli E, Tekdemir I: Determination of the length of anteromedial screw trajectory by measuring interforaminal distance in the first sacral vertebrae. *Spine* 2004; 29: 1608-11.
- Femenias-Roselló JM, Estella-Ripoll GJ, Rubi-Jaime M, Llabrés-Comamala M: Injury to the gonadal, renal and duodenal veins during pedicle screw extraction surgery. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* 2009; 53(5): 340-3.
- Liljengvist UR, Link TM, Halm HF: Morphometric analysis of thoracic and lumbar vertebrae in idiopathic scoliosis. *Spine* 2000; 25(10): 1247-53.
- Pal GP, Routal RV: Transmission of weight through lower thoracic and lumbar region of vertebral column in man. *J Anat* 1987; 152: 93-105.
- Misenhimer G, Peek R, Wiltse L, Rothman S, Widell E: Anatomic analysis of pedicle cortical and cancellous diameter as related to screw size. *Spine* 1989; 14: 367-72.
- Karabekir HS, Gocmen-Mas N, Edizer M, Ertekin T, Yazici C, Atamturk D: Lumbar vertebra morphometry and stereological assessment of intervertebral space volumetry: a methodological study. *Ann Anat* 2011; 193(3): 231-6.
- Chazono M, Tanaka T, Kumagai Y, Sai T, Marumo K: Ethnic differences in pedicle and bony spinal canal dimensions calculated from computed tomography of the cervical spine: a review of the English-language literature. *Eur Spine J* 2012; 21: 1451-8.
- Urrutia-Vega E, Elizondo-Omaña RE, De la Garza-Castro O, Guzmán-López S: Morphometry of the pedicle and vertebral body in a Mexican population by CT and fluoroscopy. *Int J Morphol* 2009; 27(4): 1299-303.
- Bazaldúa CJJ, González LA, Gómez SA, et al: Morphometric study of cervical vertebrae C3-C7 in a population from Northeastern Mexico. *Int J Morphol* 2011; 29(2): 325-30.
- Xu R, Nabil A, Ebraheim NA, Skie M: Pedicle screw fixation in the cervical spine. *Am J Orthop* 2008; 37(8): 403-8.
- Cruz-Conde R, Castel Oñate A, Sánchez-Benítez FJ, Ríos-García B: Anterior approach for traumatic lesions of the lower cervical spine: long-term results. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* 2010; 54(1): 3-12.
- Liu YJ, Tian W, Liu B, et al: Comparison of the clinical accuracy of cervical (C2-C7) pedicle screw insertion assisted by fluoroscopy, computed tomography-based navigation, and intraoperative three-dimensional C-arm navigation. *Chinese Med J* 2010; 123(21): 2295-8.
- Ma XY, Yin QS, Wu ZH, Xia H, Liu JF, Zhong SZ: Anatomic considerations for the pedicle screw placement in the first cervical vertebra. *Spine* 2005; 30(13): 1519-23.
- Simsek S, Yigitkanli K, Seckin H, et al: Ideal screw entry point and projection angles for posterior lateral mass fixation of the atlas: an anatomical study. *Eur Spine J* 2009; 18: 1321-5.
- Goksin S, Hakan-Hadi K: Morphometric anatomy of the atlas and axis vertebrae. *Turkish Neurosurgery* 2006; 16(2): 69-76.
- Neo M, Fujibayashi S, Miyata M, Takemoto M, Nakamura T: Vertebral artery injury during cervical spine surgery. A survey of more than 5600 operations. *Spine* 2008; 33(7): 779-85.
- Naderi S, Arman C, Guevencer M, et al: Morphometric analysis of the C2 body and odontoid process. *Turkish Neurosurgery* 2006; 16(1): 14-8.
- Panjabi MM, Shin EK, Chen NC, Wang JL: Internal morphology of human cervical pedicles. *Spine* 2000; 25(10): 1197-205.
- Sieradzki JP, Karaikovic EE, Lautenschlager EP, Lazarus ML: Preoperative imaging of cervical pedicles: comparison of accuracy of oblique radiographs versus axial CT scans. *Eur Spine J* 2008; 17: 1230-6.
- Yusuf MI, Ming LK, Abdullah MS: Computed tomographic measurement of cervical pedicles for transpedicular fixation in a Malay population. *J Orthop Surg* 2007; 15(2): 187-90.
- Abuzayed B, Tutunculer B, Kucukyuruk B, Tuzgen S: Anatomic basis of anterior and posterior instrumentation of the spine: morphometric study. *Surg Radio Anat* 2010; 32(1): 75-85.

32. Ludwig SC, Kramer DL, Balderston RA, Vaccaro AR, Foley KF, Albert TJ: Placement of pedicle screws in the human cadaveric cervical spine. *Spine* 2000; 13: 1655-67.
33. Tan SH, Teo EC, Chua HQ: Quantitative three-dimensional anatomy of cervical, thoracic and lumbar vertebrae of Chinese Singaporeans. *Eur Spine J* 2004; 13: 137-46.
34. Reinhold M, Magerl F, Rieger M, Blauth M: Cervical pedicle screw placement: feasibility and accuracy of two new insertion techniques based on morphometric data. *Eur Spine J* 2007; 16: 47-56.
35. Kayalioglu G, Erturk M, Varol T, Cezayirli E: Morphometry of the cervical vertebral pedicles as a guide for transpedicular screw fixation. *Neurol Med Chir* 2007; 47: 102-8.
36. Rao RD, Marawar SV, Stemper BD, Yoganandan N, Shender BS: Computerized tomographic morphometric analysis of subaxial cervical spine pedicles in young asymptomatic volunteers. *J Bone Joint Surg Am* 2008; 90: 1914-21.
37. Ruofu Z, Suilin Y, Xiaoyun H, et al: CT evaluation of cervical pedicle in a Chinese population for surgical application of transpedicular screw placement. *Surg Radiol Anat* 2008; 30: 389-96.
38. Vargas-Mena R, Dufoo-Olvera M, García-López OF, López-Palacios JJ, Aburto-Trejo JA, Carranco-Toledo GA: Análisis morfométrico de los pedículos cervicales en una población mexicana. *Act Ortop Mex* 2011; 25(6): 366-71.
39. Fujimoto T, Sei A, Taniwaki T, Okada T, Yakushiji T, Mizuta H: Pedicle screw diameter selection for safe insertion in the thoracic spine. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2012; 22: 351-6.
40. Wang VY, Chin CT, Lu DC, Smith JS, Chou D: Free-hand thoracic pedicle screws placed by neurosurgery residents: a CT analysis. *Eur Spine J* 2010; 19: 821-7.
41. Yong SC, Young JK, Hyeong-Joong Y, Young-Joon K: Pedicle morphometry for thoracic screw fixation in ethnic Koreans: radiological assessment using computed tomographic myelography. *J Korean Neurosurg Soc* 2009; 46: 317-21.
42. Panjabi MM, O'Holleran JD, Crisco JJ, Kothe R: Complexity of the thoracic spine pedicle anatomy. *Eur Spine J* 1997; 6: 19-24.
43. Beck M, Rotter R, Gradl G, et al: Reliability and consequences of intraoperative 3D imaging to control positions of thoracic pedicle screws. *Arch Orthop Trauma Surg* 2012; 14(2): 169-73.
44. Lu S, Zhang YJ, Wang Z, et al: Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in scoliosis with patient-specific drill template. *Med Biol Eng Comput* 2012; 50: 751-8.
45. Chan CYW, Kwam MK, Saw LB: Thoracic pedicle screw insertion in Asian cadaveric specimen: does radiological pedicle profile affect outcome. *Surg Radiol Anat* 2011; 33: 19-25.
46. Di-Silvestre M, Parisini P, Lolli F, Bakaloudis G: Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment. *Spine* 2007; 32(15): 1655-61.
47. Elliott MJ, Slakey JB: Thoracic pedicle screw placement. Analysis using anatomical landmarks without image guidance. *J Pediatr Orthop* 2007; 27(5): 582-6.
48. Changkun Z, Qishan H, Yuezheng H, Xiangyang W, Wei C: Computed tomographic morphometry of thoracic pedicles: safety pedicle parameter measurement of the Chinese immature thoracic spine. *Int Orthop* 2009; 33: 1663-8.
49. Jun-Hak K, Gyeong-Mi C, In-Bok C, Sung-Ki A, Joon-Ho S, Hyun-Chul C: Pedicular and extrapedicular morphometric analysis in the Korean population: computed tomographic assessment relevance to pedicle and extrapedicle screw fixation in the thoracic spine. *J Korean Neurosurg Soc* 2009; 46: 181-8.
50. Zhuang Z, Chen Y, Han H, et al: Thoracic pedicle morphometry in different body height population. A three-dimensional study using reformatted computed tomography. *Spine* 2011; 36(24): 1547-54.
51. Cui G, Watanabe K, Hosogane N: Morphologic evaluation of the thoracic vertebrae for safe free-hand pedicle screw placement in adolescent idiopathic scoliosis: a CT-based anatomical study. *Surg Radiol Anat* 2012; 34: 209-16.
52. Datir SP, Mitra SR: Morphometric study of the thoracic vertebral pedicle in an Indian population. *Spine* 2004; 29: 1174-81.
53. Vaccaro AR, Rizzolo SJ, Balderston RA, et al: Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part 2: An anatomical and radiographic assessment. *J Bone Joint Surg* 1995; 77(8): 1200-6.
54. Chen Y, Zeng J, Guan J: Reformatted computed tomographic evaluation of the thoracic pedicle in a Chinese population for the surgical application of transpedicular screw placement. *Surg Radiol Anat* 2010; 32: 463-8.
55. Dvorak M, MacDonald S, Gurr KR, Bailey SI, Haddad RG: An anatomical, radiographic and biomechanical assessment of extrapedicular screw fixation in the thoracic spine. *Spine* 1993; 18: 1689-94.
56. Husted DS, Yue JJ, Fairchild TA, Haims AH: An extrapedicular approach to the placement of screws in the thoracic spine: an anatomical and radiographic assessment. *Spine* 2003; 28: 2324-30.
57. Husted DS, Haims AH, Fairchild TA, Kershaw TS, Yue JJ: Morphometric comparison of the pedicle rib unit to pedicles in the thoracic spine. *Spine* 2004; 29(2): 139-46.
58. Vougioukas VI, Weber J, Scheufler KM: Clinical and radiological results after parapedicular screw fixation of the thoracic spine. *Neurosurg Spine* 2005; 3: 283-7.
59. Zindrick MR, Wiltse LL, Doornik A, et al: Analysis of the morphometric characteristics of the thoracic and lumbar pedicles. *Spine* 1987; 12:160-6.
60. Sjotrom L, Jacobson O, Karstrom G, Pech P, Rauschnig W: CT analysis of pedicle and screws tracts after implant removal in thoracolumbar fractures. *J Spinal Disord* 1993; 6: 225-31.
61. Maillot C, Wolfram-Gabel R: Pedicles of lumbar vertebrae. *Surg Radiol Anat* 1993; 15: 295-300.
62. Delfino HL, Benites-Vendrame JR: Morphometric study of lumbar vertebrae's pedicle. *Acta Ortop Bras* 2007; 15(4): 183-6.
63. Inceoglu S, Burghardt A, Akbay A, Majumdar S, McLain RF: Trabecular architecture of lumbar vertebral pedicle. *Spine* 2005; 30(13): 1485-90.
64. Kothe R, O'Holeran JD, Liu W, Panjabi MM: Internal architecture of the lumbar pedicle. An anatomic study. *Spine* 1996; 21: 264-70.
65. Nojiri K, Matsumoto M, Chiba K, Toyama Y: Morphometric analysis of the thoracic and lumbar spine in Japanese on the use of pedicle screws. *Surg Radiol Anat* 2005; 27: 123-8.
66. Kang KS, Song KS, Lee JS, Yang JJ, Song IS: Comparison of radiographic and computed tomographic measurement of pedicle and vertebral body dimensions in Koreans: the ratio of pedicle transverse diameter to vertebral body transverse diameter. *Eur Spine J* 2011; 20: 414-21.
67. Amonoo-Kuofi: Age-related variations in the horizontal and vertical diameters of the pedicles of the lumbar spine. *J Anat* 1995; 186: 321-8.
68. Singel TC, Patel MM, Gohil DV: A study of width and height of lumbar pedicles in Saurashtra region. *J Anat Soc India* 2004; 53(1): 4-9.
69. Olsewski JM, Simmons EH, Kallen FC, Mendel FC, Severin CM, Berens AD: Morphometry of the lumbar spine: anatomical perspectives related to transpedicular fixation. *J Bone Joint Surg* 1990; 72(4): 541-9.
70. Wolf A, Shoham M, Michael S, Moshe R: Morphometric study of the human lumbar spine for operation-workspace specifications. *Spine* 2001; 22: 2472-7.
71. Maaly MA, Saad A, Houlel MME: Morphological measurements of lumbar pedicles in Egyptian population using computerized tomography and cadaver direct caliber measurements. *EJRN* 2010; 41: 475-81.
72. Acharya S, Dorje T, Srivastava A: Lower dorsal and lumbar pedicle morphometry in Indian population. A study of four hundred fifty vertebrae. *Spine* 2010; 35(10): 378-84.
73. Gu Y, Xu R, Ebraheim NA, Rezcallah AT, Yeasting RA: The quantitative study of the lateral region to the lumbar pedicle. *Surg Neurol* 1999; 52: 35-6.
74. Esses SI, Sachs BL, Dreyzin V: Complications associated with the technique of pedicle screw fixation. *Spine* 1993; 18: 2231-39.
75. Sato K, Kikuchi S: An anatomic study of foraminal nerve root lesions in the lumbar spine. *Spine* 1993; 18: 2246-51.
76. Ebraheim NA, Rollins JR, Xu R, Yeasting RA: Projection of the lumbar pedicle and its morphometric analysis. *Spine* 1996; 21: 1296-1300.

77. Ebraheim NA, Xu R, Ahmad M, Yeasting RA: Projection of the thoracic pedicle and its morphometric analysis. *Spine* 1997; 22: 233-8.
78. Castro WH, Halm H, Jerosch J, Malms J, Steinbeck J, Blasius S: Accuracy of pedicle screw placement in lumbar vertebrae. *Spine* 1996; 21: 1320-4.
79. Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D: Spine pedicle fixation: reliability and ability of roentgenogram-based assessment and surgical factors on successful screw placement. *Spine* 1988; 13: 1012-8.
80. Chawla K, Sharma M, Abhaya A, Kochhar S: Morphometry of the lumbar pedicle in North West India. *Eur J Anat* 2011; 15(3): 155-61.
81. Xu R, Ebraheim NA, Gove NK: Surgical anatomy of the sacrum. *Am J Orthop* 2008; 37(10): 177-81.
82. Esenkaya I: A morphologic evaluation of the sacroiliac joint and plate fixation on a pelvis model using a S1 pedicular screw, transiliosacral screws, and a compression rod for sacroiliac joint injuries. *Act Orthop Traumatol Turc* 2002; 36: 432-41.
83. Ebraheim NA, Lu J, Yang H, Heck BE, Yeasting RA: Anatomical considerations of the second sacral vertebrae and dorsal screw placement. *Surg Radiol Anat* 1997; 19: 353-7.
84. Basaloglu H, Turgut M, Taser FA, Ceylan T, Basaloglu HK, Ceylan AA: Morphometry of the sacrum for clinical use. *Surg Radiol Anat* 2005; 27: 467-71.
85. Okutan O, Kaptanoglu E, Solaroglu I, Beskonakli E, Tekdemir I: Pedicle morphology of the first sacral vertebrae. *Neuroanatomy* 2003; 2: 16-9.
86. Ebraheim NA, Xu R, Biyani A, Nadaud MC: Morphologic considerations of the first sacral pedicle for iliosacral screw placement. *Spine* 1997; 22: 841-6.
87. Esses SI, Botsford DJ, Huler RJ: Surgical anatomy of the sacrum: a guide for rational screw fixation. *Spine* 1991; 16: 286-8.