



ANÁLISIS MORFOMÉTRICO PEDICULAR DE LAS VÉRTEBRAS LUMBARES EN ÁREA DE SALUD URBANA

Análisis de las variables que influyen en sus
cambios morfológicos.

Trabajo fin de grado.
Grado en Medicina. Universidad de Valladolid.

Alumno: Carlos Jezieniecki Fernández
Tutor: David Noriega González

Resumen:

El uso de tornillos transpediculares se ha convertido en uno de los sistemas de artrodesis más comúnmente usados para lograr una correcta fusión espinal. Siendo el pedículo el responsable del 80% de la rigidez del montaje y del 60% de la tracción en la interfaz tornillo-pedículo. La malposición del tornillo es una complicación común, que puede causar problemas vasculares, neurológicos o viscerales. Existiendo una gran variabilidad individual en la morfología pedicular lumbar. El objetivo de este trabajo es relacionar diferentes variables con los cambios morfológicos pediculares, para que esa variable pueda servir de predictor para una planificación quirúrgica más completa. Para ello hemos realizado un estudio de cohortes histórico incluyendo un total de 100 pacientes (1000 pedículos (L1-L5)), realizando 12 mediciones por pedículo anterior, medio y posterior, tanto intracortical como extracortical, en sus diámetros transversal y longitudinal, y clasificando cada pedículo en cuatro categorías diferentes: A (donde el diámetro anterior es mayor que el medio y ambos mayores que el posterior), B (donde el diámetro posterior es mayor que el medio y ambos mayores que el anterior), C (diámetro más estrecho el medio), D (cualquier otro). Encontrando que la morfología predominante es el tipo C (DTE 93,2%, DTI 92,5%, DLE 83%, y DLI 84,9%) no existiendo diferencias con respecto al sexo. Existiendo diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tamaños pediculares izquierdos y derechos en: 10 de las 12 mediciones realizadas en L1, 9/12 en L2, 6/12 en L3 y L4 y 5/12 en L5. También existe una correlación positiva ($p < 0,001$) entre el tamaño de todos los diámetros medidos con la talla, el peso y el IMC, siendo la máxima correlación a nivel medio externo de los diámetros longitudinal (índice de correlación de Pearson de 0,297, 0,322, y 0,111 respectivamente) y transversal (0,236, 0,226 y 0,102). Además de un aumento ($p < 0,005$) en los diámetros pediculares en relación positiva con el grado de actividad física en su profesión. Llegando a las conclusiones de que la morfología predominante es aquella que mantiene la zona central del pedículo más estrecha que la anterior y la posterior (tipo diábolo). Existen en las vértebras lumbares superiores diferencias entre los diámetros de los pedículos izquierdos y derechos, disminuyendo esas diferencias a medida que descienden a lumbares inferiores. Existe una correlación positiva entre el peso, la altura del paciente, y

el grado de actividad laboral con el tamaño de sus pedículos, siendo mayores cuanto mayor sean estas variables.

Introducción:

En el mundo industrializado, uno de los problemas de salud más frecuentes que encontramos es el dolor de espalda. No todos los pacientes con dolor de espalda precisan de un tratamiento quirúrgico, siendo la hernia discal, estenosis de canal y espondilolistesis degenerativa con estenosis de canal los tres diagnósticos más comunes de dolor de espalda que requieren cirugía(1). En EEUU anualmente se realizan más de 250.000 intervenciones quirúrgicas en la columna lumbosacra (2). La artrodesis es uno de los procedimientos más comúnmente empleados para el tratamiento de los problemas a nivel de la columna, ya sea deformidad, trauma, enfermedad discal degenerativa y/o espondilolistesis. Siendo la patología degenerativa la indicación más común. En un estudio realizado por Sean et al en EEUU se comprobó que entre los años 1998 y 2008 había aumentado el número de procedimientos de fusión vertebral en un 137% (de 174.223 a 413.171), dato que es significativo si lo comparamos con otro tipo de procedimientos quirúrgicos, por ejemplo, en el caso de la laminectomía esta sólo habría aumentado un 11,3%(3).

La artrodesis vertebral consiste en la unión de dos o más vertebras con el objetivo de inmovilizar, para así evitar el dolor, la inestabilidad o corregir una deformidad. Para conseguir la estabilización en una artrodesis vertebral es recomendable colocar un sistema quirúrgico de fijación que nos provee de estabilización dinámica, junto con un material osteogénico que será la responsable de la obtención de la artrodesis y por tanto de la estabilidad secundaria. El sistema de instrumentación de raquis se puede colocar aplicando principios distintos según sea la lesión a tratar, y el material empleado, así podemos encontrar sistemas de instrumentación pedicular, cajas intersomáticas, injertos intersomáticos y placas de fijación anterior, con el objetivo de conseguir alguno de estos efectos, según el tipo y lugar de la lesión, compresión, neutralización, sostén y tirante(4). EL objetivo de este estudio está enfocado a los sistemas de instrumentación pedicular, y a que son superiores mecánicamente al resto de sistemas utilizados por vía posterior. Siendo el pedículo el responsable del 80% de la rigidez del montaje y del 60% de la tracción

en la interfaz tornillo-pedículo (5). Dicha resistencia puede verse aumentada mediante el aumento de longitud del tornillo un 20% en fuerzas de flexión(6), y mediante el diámetro hasta un 138% en fuerzas de tracción, aunque siendo mayor el riesgo de lesión de los grandes vasos situados delante del cuerpo vertebral. El conocimiento de la anatomía vertebral por parte del cirujano se antoja de máxima importancia para evitar riesgos y complicaciones.

En este estudio nos hemos enfocado en conocer la morfometría pedicular lumbar, debido a su relación con el tamaño del tornillo en el sistema de fijación transpedicular. Es conveniente recordar las relaciones anatómicas existentes entre el pedículo y las estructuras neurales adyacentes, ya que la extrusión de uno de los tornillos podría provocar lesiones neurológicas importantes(7), la información sobre las estructuras neurales adyacentes al pedículo puede ayudar a minimizar estas complicaciones neurológicas. Siendo conveniente recordar que la distancia entre el pedículo y el saco dural es mayor a nivel craneal que en los lados medial y caudal del pedículo, por tanto la colocación de un tornillo cercano a estas dos últimas paredes debe ser evitado(8).

El pedículo vertebral lumbar no muestra simetría en cuanto a su constitución(9). En primer lugar encontramos que la cortical medial es más ancha que la lateral(10). Encontrando también asimetría entre la cortical superior e inferior(11) siendo ligeramente mayor la superior. Existen además estudios que demuestran las diferencias entre los pedículos de vértebras a distintos niveles, en el caso de las vértebras lumbares encontramos que la altura del pedículo disminuye en sentido caudal desde L1 a L5 y en cambio su anchura aumenta, siendo este el factor limitante a la hora de seleccionar un tornillo, ya que este es más pequeño en comparación con la altura. Además existen factores que influyen en la morfología vertebral, como el sexo, la altura corporal y el peso, encontrando que varones más altos y pesados presentan pedículos lumbares más grandes(12), encontrándose los mismos datos a nivel de los pedículos de las vértebras torácicas inferiores(13).

Existen múltiples estudios(14–19) que han medido las diferentes estructuras vertebrales y aunque los resultados en general aportan conclusiones similares, las diferencias étnicas hacen que algunos de esos resultados nos sean extrapolables a otras poblaciones, así un estudio realizado por Zhuang et al llega

a la conclusión de que la altura corporal es uno de los principales factores que contribuyen a la variación del tamaño pedicular entre las diferentes etnias y sexos, poniendo como ejemplo a la población China, donde se hace complicado usar tornillos transpediculares de un diámetro de 4,5 mm en la región torácica, especialmente en población inferior a 160 cm(20). De la misma manera que las diferencias entre etnias pueden ser notables, los estudios de morfometría vertebral en animales deben ser analizados con extremo cuidado, ya que el cuerpo vertebral es significativamente más amplio y profundo en el plano anteroposterior que el de los animales que se emplean de manera habitual (cerdos, perros, ovejas y cabras), sin embargo la medida del ángulo pedicular es significativamente más grande en los animales que en los humanos(21). Este hecho debe ser tenido en cuenta siempre que se estudia la morfometría en animales como parte de protocolos de instrumentación pedicular.

Una vez vista la importancia del conocimiento de la anatomía vertebral para minimizar riesgos de lesión iatrogénica durante la cirugía lumbar, merece la pena conocer que para disminuir aún más los riesgos existen otros métodos de trabajo que ayuda al cirujano en su labor diaria, así por ejemplo el uso de puntos de referencia en la técnica quirúrgica a mano alzada, usada por muchos cirujanos, suele ser segura y fiable(22), pero precisa de un gran conocimiento de la morfología pedicular, los pedículos lumbares superiores se encuentran en una posición más sagital que los pedículos lumbares inferiores, los cuales se encuentran en una posición más oblicua, es importante conocer este dato, junto con los puntos de referencia de entrada al pedículo, para evitar una posible colocación del tornillo medial al eje pedicular, cercano a las estructuras nerviosas(23). Existen varios métodos de ayuda técnica al cirujano para colocar los tornillos transpediculares en el lugar adecuado, se incluyen dentro de estos la fluoroscopia intraoperatoria y/o radiografías, así como otras técnicas guiadas por imagen. Estos distintos métodos de ayuda tienen ventajas e inconvenientes, teniendo que tener en cuenta distintos factores que influyen para su elección por parte del cirujano, como el tiempo de inserción del tornillo, la exposición a la radiación, tanto por parte del cirujano como del paciente, la curva de aprendizaje, etc...(24). El uso de tomografía computerizada con navegación (O-ARM) ha demostrado un menor tiempo de instrumentación aunque con un mayor tiempo

de preparación que la fluoroscopia convencional, encontrando el número de errores en la colocación de tornillos similar entre ambas técnicas según algún estudio(25,26). Lo cual puede sugerir que el entrenamiento del cirujano y su conocimiento sobre la morfología pedicular adquiere una gran importancia de cara a evitar posibles lesiones intraoperatorias.

De la misma manera que se entiende la importancia de la morfología pedicular normal en el individuo sano, existen cambios morfológicos que aparecen en determinadas patologías y que su conocimiento por parte del cirujano es obligado, así, encontramos que las vértebras en la escoliosis idiopática es sustancialmente diferente que una vértebra normal, con una asimetría vertebral importante, con una anchura pedicular disminuida en la concavidad, lo cual obliga a extremar las precauciones en la instrumentación pedicular de esta zona(27,28), y cuyo conocimiento previo es necesario para planificar técnicas más seguras que minimicen los riesgos para el paciente(29–31). Otros estudios sobre la anatomía ósea en diferentes patologías como el Síndrome de Marfan(32), demuestran disminución de la lámina cortical en estos pacientes. En otros encontramos como en la estenosis del foramen intervertebral, que su altura depende directamente de la reducción del espacio discal, pero su longitud sagital depende directamente de la longitud del pedículo, y a su vez del diámetro sagital del canal medular, lo cual sugiere que una estenosis del canal medular implicaría una estenosis del foramen intervertebral(33).

De la misma manera que estos estudios encuentran variables capaces de relacionar la morfología vertebral con patologías concretas, en nuestro estudio intentaremos relacionar diferentes variables encontradas en la historia clínica de los pacientes con la morfología pedicular, para poder así realizar en el futuro una planificación preoperatoria lo más completa posible, ya que cuanto mayor sea la cantidad de datos que dispongamos de nuestros pacientes, mejor será la planificación preoperatoria y menor número de complicaciones podremos encontrar.

Material y métodos:

Estudio de cohortes histórico donde hemos seleccionado cien sujetos a los que se le ha realizado una TC en los últimos tres años, con los cuales se ha contactado telefónicamente para realizar una encuesta sobre su peso, altura y actividad profesional. Sobre las imágenes hemos realizado una serie de mediciones, para realizar las mediciones hemos tomado en cuenta los siguientes criterios:

Criterios de medición pedicular:

- **Longitud máxima vertebral:** Medir desde el centro del muro anterior, una perpendicular a este que llegue hasta la apófisis espinosa de esa misma vértebra, si es necesario el inicio de esta perpendicular será caudal al centro del muro posterior hasta llegar a la apófisis espinosa.
- **Longitud pedicular:** Trazar una línea tangente al muro posterior y partiendo de esta línea medir la distancia hasta la cortical de la lámina siguiendo el eje pedicular
- **Longitud máxima efectiva:** Desde la cortical de la lámina trazar una línea que siga el eje pedicular y llegue a la pared anterior de la vértebra
- **Ángulo pedicular:** Trazar en primer lugar una línea que pase por el centro de la vértebra pasando por la apófisis espinosa y el centro del cuerpo vertebral, hallar el ángulo de esa línea con una línea que pase por el centro de cada uno de los ejes de los pedículos

Para medir los diámetros pediculares teníamos dos opciones: 1) Elegir únicamente TAC con varios cortes coronales (por lo menos tres) donde se vea claro el pedículo a nivel anterior, medio y posterior, pero esta opción nos limitaba mucho la selección de sujetos, ya que son pocos los que tienen esta opción. O 2) Con los cortes axial y sagital, hacer la medición, para lo cual debemos utilizar la herramienta 3D, que te permite colocarte en un punto más anterior o posterior, o más medial o lateral, para conseguir situarte así en el centro exacto del pedículo y así medir en ese lugar. Esta segunda opción es mejor, aunque algo

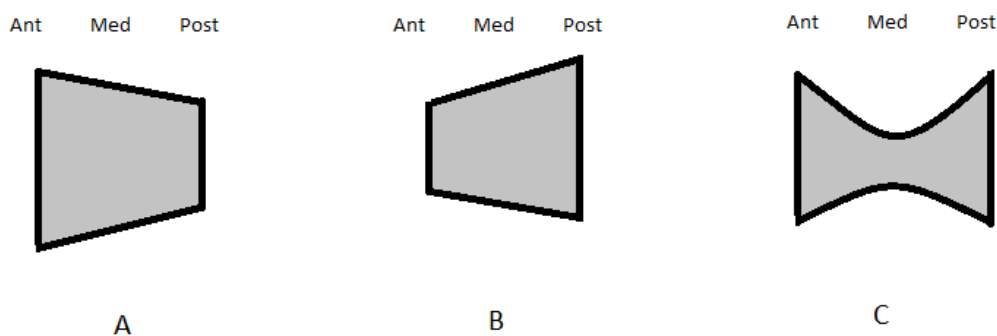
más lenta, ya que permite medir el diámetro longitudinal de una manera más fiable independientemente de lo verticalizada que se pueda encontrar la vértebra (y su pedículo), además esta segunda opción permite ser más sistemático en la medición, ya que hemos medido el diámetro medio en el punto central del pedículo, y el anterior y posterior que sea paralelo a este a una distancia determinada de 4 mm por delante y por detrás. Esta segunda opción permite ser menos dependiente del lugar del corte de la imagen.

- **Diámetro transversal posterior externo (DTPE):** Distancia transversal posterior incluyendo las corticales pediculares a la altura del inicio de la lámina a una distancia de 4 mm del diámetro central.
- **Diámetro transversal posterior interno (DTPI):** Distancia transversal posterior sin incluir las corticales pediculares a la altura del inicio de la lámina o a una distancia de 4 mm del diámetro central.
- **Diámetro transversal medio externo (DTME):** Distancia transversal posterior incluyendo las corticales pediculares a la altura del centro del pedículo.
- **Diámetro transversal medio interno (DTMI):** Igual sin incluir las corticales pediculares
- **Diámetro transversal anterior externo (DTAE):** Distancia transversal anterior incluyendo las corticales pediculares a la altura del muro posterior, a una distancia de 4 mm del diámetro central.
- **Diámetro transversal anterior interno (DTAI):** Igual sin incluir las corticales pediculares
- **Diámetro longitudinal posterior externo (DLPE):** Ídem a DTPE en su diámetro longitudinal
- **Diámetro longitudinal posterior interno (DLPI):** Ídem a DTPI en su diámetro longitudinal
- **Diámetro longitudinal medio externo (DLME):** Ídem a DTME en su diámetro longitudinal

- **Diámetro longitudinal medio interno (DLMI):** Ídem a DTMI en su diámetro longitudinal
- **Diámetro longitudinal anterior externo (DLAE):** Ídem a DTAE en su diámetro longitudinal
- **Diámetro longitudinal anterior interno (DLAI):** Ídem a DTAI en su diámetro longitudinal.

Según las mediciones realizadas hemos clasificado morfológicamente los pedículos en cinco grupos, donde encontramos:

1. Grupo A: Donde el diámetro anterior es mayor que el medio y ambos mayores que el posterior.
2. Grupo B: Donde el diámetro posterior es mayor que el medio y ambos mayores que el anterior
3. Grupo C: Donde el tanto el diámetro anterior como el posterior son mayores que el diámetro medio, siendo este el más estrecho.
4. Grupo D: Cualquier otra morfología diferente a las anteriores.
5. Un quinto grupo donde incluimos aquellos pedículos que presentan varios de sus diámetros iguales



En cuanto a los datos obtenidos de los pacientes, hemos obtenido de su historia clínica la causa principal que ocasionó la obtención de imágenes clínicas, agrupando las patologías en tres grandes grupos:

1. Patología degenerativa.
2. Patología por deformidad.

3. Patología traumática.

En cuanto al nivel de actividad diaria realizado, hemos realizado una entrevista telefónica, y preguntado por su profesión, ya sea actual, o la realizada con anterioridad, agrupando las actividades profesionales según su nivel de esfuerzo en:

1. Grupo 1: Bajo esfuerzo físico, aquí incluimos profesiones como administrativo, estudiante, pintor, empleado de banca, etc.
2. Grupo 2: moderado esfuerzo físico, aquí incluimos profesiones como ama de casa, ayuda a domicilio, enfermera, cocinera, etc.
3. Grupo 3: moderado/alto esfuerzo físico, en este grupo encontramos, operario de maquinaria, mecánicos, ayuda de discapacitados, etc.
4. Grupo 4: alto esfuerzo físico, en este grupo encontramos profesionales como agricultores o albañiles.

En esta misma entrevista telefónica hemos interrogado por peso y talla actuales.

Material TC:

Los estudios de imagen se han realizado en los últimos tres años en el Hospital Clínico Universitario de Valladolid, utilizando los escáneres presentes en el mismo, los cuales son los siguientes:

- General Electric modelo Lightspeed VCT de 64 detectores
- Toshiba modelo Aquilion de 32 detectores
- Siemens modelo Somatom scope de 16 detectores

Estadística:

Las variables cuantitativas se presentan con la media y la desviación típica y las cualitativas según su distribución de frecuencias.

Mediante el test Chi-cuadrado de Pearson, se ha analizado la asociación de las variables cualitativas. En el caso de que el número de celdas con valores

esperados menores de 5 sea mayor de un 20%, se utilizará el test exacto de Fisher o el test Razón de verosimilitud para variables con más de dos categorías.

La comparación de los valores medios se ha realizado mediante la prueba T de Student para muestras relacionadas.

Se ha calculado el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación de la altura, el peso y el IMC con las diferentes medias antropométricas.

Los datos serán analizados con el programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 20.0 para Windows. Aquellos valores de $p < 0,05$ serán considerados estadísticamente significativos.

Resultados

Las medidas tomadas por vértebras revelan que en el caso de las vértebras lumbares altas los diámetros más grandes son los pertenecientes a las medidas longitudinales, disminuyendo el valor de esta a medida que descendemos a vértebras lumbares bajas, ocurriendo lo contrario cuando hablamos de diámetros transversales, siendo estos mayores a niveles bajos y disminuyen a medida que ascendemos a niveles superiores (tabla1, figura1)

| | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Diámetro transversal posterior externo DCHO | 9,858800 | 10,236100 | 12,281100 | 14,399000 | 18,693100 |
| Diámetro transversal posterior externo IZQDO | 10,366400 | 10,632300 | 12,719200 | 14,944600 | 19,060200 |
| Diámetro longitudinal posterior externo DCHO | 16,781800 | 16,323300 | 15,559600 | 14,192100 | 12,616300 |
| Diámetro longitudinal posterior externo IZQDO | 16,320400 | 15,734400 | 15,350700 | 13,779200 | 12,206900 |
| Diámetro transversal medio externo DCHO | 6,905800 | 7,442500 | 9,145400 | 11,089300 | 14,885300 |
| Diámetro transversal medio externo IZQDO | 7,629800 | 7,887700 | 9,581330 | 11,694700 | 15,448100 |
| Diámetro longitudinal medio externo DCHO | 15,145300 | 14,042300 | 13,300000 | 12,412400 | 11,737700 |
| Diámetro longitudinal medio externo IZQDO | 14,785900 | 13,730600 | 13,390400 | 12,293100 | 11,662300 |
| Diámetro transversal anterior externo DCHO | 9,151800 | 9,527500 | 11,222900 | 12,891400 | 16,610100 |
| Diámetro transversal anterior externo IZQDO | 9,726400 | 10,100400 | 11,821000 | 13,946100 | 17,473900 |
| Diámetro longitudinal anterior externo DCHO | 17,330000 | 16,167200 | 15,558400 | 13,958800 | 12,526300 |
| Diámetro longitudinal anterior externo IZQDO | 16,972000 | 15,705600 | 15,322600 | 13,692100 | 12,288700 |
| Diámetro transversal posterior interno DCHO | 6,885500 | 7,235100 | 9,260600 | 11,022200 | 14,554600 |
| Diámetro transversal posterior interno IZQDO | 7,476400 | 7,530320 | 9,564000 | 11,507900 | 15,031000 |
| Diámetro longitudinal posterior interno DCHO | 12,923300 | 12,055400 | 11,508800 | 10,220700 | 9,196000 |
| Diámetro longitudinal posterior interno IZQDO | 12,268600 | 11,544300 | 11,406600 | 9,893600 | 8,898300 |
| Diámetro transversal medio interno DCHO | 4,569400 | 4,905700 | 6,615100 | 8,256800 | 11,763500 |
| Diámetro transversal medio interno IZQDO | 4,987600 | 5,292900 | 6,907600 | 8,761300 | 11,867400 |
| Diámetro longitudinal medio interno DCHO | 10,835600 | 9,372600 | 9,253300 | 8,546200 | 8,369900 |
| Diámetro longitudinal medio interno IZQDO | 10,588000 | 9,233000 | 9,067200 | 8,389000 | 8,323200 |
| Diámetro transversal anterior interno DCHO | 6,465600 | 6,818000 | 8,504300 | 10,175500 | 13,426600 |
| Diámetro transversal anterior interno IZQDO | 7,113400 | 7,339700 | 9,078400 | 11,096100 | 14,101700 |
| Diámetro longitudinal anterior interno DCHO | 13,374400 | 12,028500 | 11,815900 | 10,496600 | 9,256800 |
| Diámetro longitudinal anterior interno IZQDO | 13,053000 | 11,826300 | 11,468000 | 10,048900 | 9,151100 |

Tabla1: Diámetros medios por lado y altura vertebral.

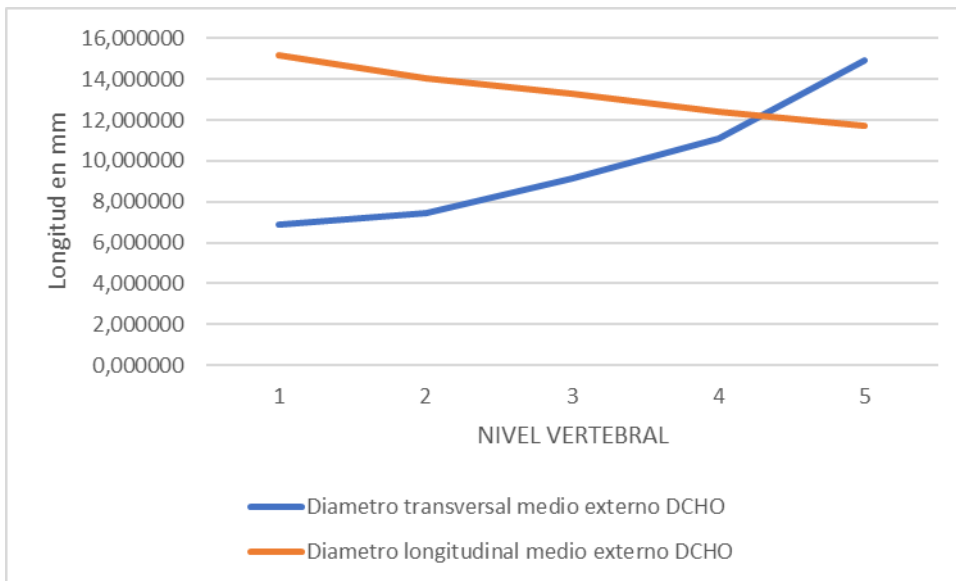


Figura 1: Relación inversa entre diámetros longitudinal y transversal en relación a la altura vertebral.

Si comparamos las medidas tomadas en los lados derechos e izquierdos encontramos como existen diferencias ($p < 0,005$) entre los lados en diez de las doce mediciones tomadas por pedículo a nivel de L1 (en 7 de ellas $p < 0,01$), disminuyendo estas diferencias según descendemos hacia caudal, siendo estas de nueve de las doce mediciones en L2 (5 de ellas $p < 0,01$), seis de las doce en L3 y L4 (3 de ellas $p < 0,01$), y únicamente encontramos diferencias ($p < 0,05$) en cinco de las doce mediciones a nivel de L5 (2 de entre todas $p < 0,01$)

Con respecto a la morfología pedicular, en todos los diámetros medidos, la morfología predominante es el tipo C, donde el nivel medio del pedículo es más estrecho que el anterior y el posterior (tabla2, figura 2).

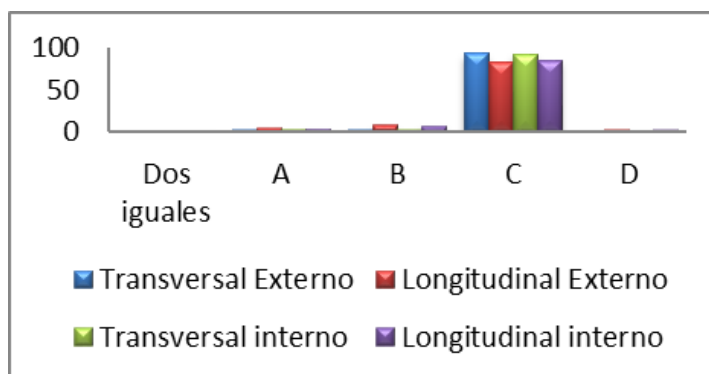


Figura 2: Frecuencia de morfología pedicular

| Morfología_Transversal_Externo | | | | | |
|---------------------------------|-------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válidos | Dos iguales | 1 | ,1 | ,1 | ,1 |
| | A | 30 | 3,0 | 3,0 | 3,1 |
| | B | 29 | 2,9 | 2,9 | 6,0 |
| | C | 932 | 93,2 | 93,2 | 99,2 |
| | D | 8 | ,8 | ,8 | 100,0 |
| | Total | 1000 | 100,0 | 100,0 | |
| Morfología_longitudinal_Externo | | | | | |
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válidos | Dos iguales | 8 | ,8 | ,8 | ,8 |
| | A | 48 | 4,8 | 4,8 | 5,6 |
| | B | 85 | 8,5 | 8,5 | 14,1 |
| | C | 830 | 83,0 | 83,0 | 97,1 |
| | D | 29 | 2,9 | 2,9 | 100,0 |
| | Total | 1000 | 100,0 | 100,0 | |
| Morfología_Transversal_interno | | | | | |
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válidos | Dos iguales | 3 | ,3 | ,3 | ,3 |
| | A | 32 | 3,2 | 3,2 | 3,5 |
| | B | 31 | 3,1 | 3,1 | 6,6 |
| | C | 925 | 92,5 | 92,5 | 99,1 |
| | D | 9 | ,9 | ,9 | 100,0 |
| | Total | 1000 | 100,0 | 100,0 | |
| Morfología_longitudinal_interno | | | | | |
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válidos | Dos iguales | 12 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| | A | 41 | 4,1 | 4,1 | 5,3 |
| | B | 72 | 7,2 | 7,2 | 12,5 |
| | C | 849 | 84,9 | 84,9 | 97,4 |
| | D | 26 | 2,6 | 2,6 | 100,0 |
| | Total | 1000 | 100,0 | 100,0 | |

Tabla2: Frecuencia y porcentaje de cada tipo morfológico según los puntos de medición.

Relación con IMC, talla y peso

La relación entre las medidas antropométricas y los diámetros pediculares revela que existe una correlación positiva entre las tres medidas y los diámetros pediculares analizados, siendo la correlación más característica la encontrada entre los diámetros medios externos tanto en el corte transversal como en el longitudinal siendo los índices de correlación de Pearson para estas medidas de 0,297; 0,322; y 0,111 en la relación entre el DLME con el peso, la altura y el IMC respectivamente, y de 0,236; 0,226 y 0,102 para el DTME. Siendo mayor en

todos los casos la correlación existente entre la anchura pedicular con respecto a la altura y el peso, que si lo comparamos con el IMC (tabla 3).

| Correlaciones | | Peso | Altura | IMC |
|---|------------------------|--------|--------|--------|
| Diametro transversal posterior externo | Correlación de Pearson | ,197** | ,225** | ,057 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,113 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro longitudinal posterior externo | Correlación de Pearson | ,246** | ,283** | ,083* |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,021 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro transversal medio externo | Correlación de Pearson | ,236** | ,226** | ,102** |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,005 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro longitudinal medio externo | Correlación de Pearson | ,297** | ,322** | ,111** |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,002 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro transversal anterior externo | Correlación de Pearson | ,215** | ,234** | ,071* |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,048 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro longitudinal anterior externo | Correlación de Pearson | ,234** | ,238** | ,107** |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,003 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro transversal posterior interno | Correlación de Pearson | ,167** | ,212** | ,034 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,348 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro longitudinal posterior interno | Correlación de Pearson | ,179** | ,245** | ,032 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,372 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro transversal medio interno | Correlación de Pearson | ,207** | ,208** | ,083* |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,021 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro longitudinal medio interno | Correlación de Pearson | ,202** | ,248** | ,055 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,129 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro transversal anterior interno | Correlación de Pearson | ,227** | ,242** | ,086* |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,017 |
| | N | 770 | 770 | 770 |
| Diametro longitudinal anterior interno | Correlación de Pearson | ,179** | ,212** | ,060 |
| | Sig. (bilateral) | ,000 | ,000 | ,096 |
| | N | 770 | 770 | 770 |

Tabla3: Índice de correlación de Pearson. **correlación significativa al 0,001; * correlación significativa al 0,005

Relación con la patología.

La patología lumbar presentada por los pacientes según la agrupación de traumática, degenerativa y por deformidad ha revelado que la patología traumática es la que con mayor frecuencia se ha presentado en este estudio, con el 50,6 % de los casos (tabla4)

| Patología | | | | | |
|-----------|--------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válidos | DEFORMIDAD | 149 | 14,9 | 15,1 | 15,1 |
| | DEGENERATIVA | 340 | 34,0 | 34,3 | 49,4 |
| | TRAUMATICA | 501 | 50,1 | 50,6 | 100,0 |
| | Total | 990 | 99,0 | 100,0 | |
| Perdidos | | 10 | 1,0 | | |
| Total | | 1000 | 100,0 | | |

Tabla 4: Frecuencia y porcentaje de los diferentes grupos patológicos

En cuanto a su relación con la morfología pedicular en cualquiera de los casos la morfología pedicular predominante es el tipo C (tabla 5), existiendo datos ($p < 0,001$) que determinan que, en la patología por deformidad, existen un mayor número de pedículos con morfología B en sus diámetros transversales (figura 3), que, en los otros dos grupos, siendo este el 6,7% del total dentro de su patología en el DTME, y el 8,1% en el DTMI.

| | | | Morfología_Transversal_Externo | | | | | Total |
|-----------|--------------|-----------------------|--------------------------------|------|------|-------|------|--------|
| | | | Dos iguales | A | B | C | D | |
| Patología | DEFORMIDAD | Recuento | 0 | 3 | 10 | 131 | 5 | 149 |
| | | % dentro de Patología | 0,0% | 2,0% | 6,7% | 87,9% | 3,4% | 100,0% |
| | DEGENERATIVA | Recuento | 1 | 19 | 5 | 312 | 3 | 340 |
| | | % dentro de Patología | ,3% | 5,6% | 1,5% | 91,8% | ,9% | 100,0% |
| | TRAUMATICA | Recuento | 0 | 8 | 14 | 479 | 0 | 501 |
| | | % dentro de Patología | 0,0% | 1,6% | 2,8% | 95,6% | 0,0% | 100,0% |
| Total | | Recuento | 1 | 30 | 29 | 922 | 8 | 990 |
| | | % dentro de Patología | ,1% | 3,0% | 2,9% | 93,1% | ,8% | 100,0% |

| | | | Morfología_longitudinal_Externo | | | | | Total |
|-----------|--------------|-----------------------|---------------------------------|------|-------|-------|------|--------|
| | | | Dos iguales | A | B | C | D | |
| Patología | DEFORMIDAD | Recuento | 0 | 7 | 15 | 121 | 6 | 149 |
| | | % dentro de Patología | 0,0% | 4,7% | 10,1% | 81,2% | 4,0% | 100,0% |
| | DEGENERATIVA | Recuento | 3 | 10 | 34 | 287 | 6 | 340 |
| | | % dentro de Patología | ,9% | 2,9% | 10,0% | 84,4% | 1,8% | 100,0% |
| | TRAUMATICA | Recuento | 5 | 31 | 36 | 412 | 17 | 501 |
| | | % dentro de Patología | 1,0% | 6,2% | 7,2% | 82,2% | 3,4% | 100,0% |
| Total | | Recuento | 8 | 48 | 85 | 820 | 29 | 990 |
| | | % dentro de Patología | ,8% | 4,8% | 8,6% | 82,8% | 2,9% | 100,0% |

| | | | Morfología_Transversal_interno | | | | | Total |
|-----------|--------------|-----------------------|--------------------------------|------|------|-------|------|--------|
| | | | Dos iguales | A | B | C | D | |
| Patología | DEFORMIDAD | Recuento | 1 | 2 | 12 | 130 | 4 | 149 |
| | | % dentro de Patología | ,7% | 1,3% | 8,1% | 87,2% | 2,7% | 100,0% |
| | DEGENERATIVA | Recuento | 2 | 22 | 3 | 312 | 1 | 340 |
| | | % dentro de Patología | ,6% | 6,5% | ,9% | 91,8% | ,3% | 100,0% |
| | TRAUMATICA | Recuento | 0 | 8 | 16 | 473 | 4 | 501 |
| | | % dentro de Patología | 0,0% | 1,6% | 3,2% | 94,4% | ,8% | 100,0% |
| Total | | Recuento | 3 | 32 | 31 | 915 | 9 | 990 |
| | | % dentro de Patología | ,3% | 3,2% | 3,1% | 92,4% | ,9% | 100,0% |

| | | | Morfología longitudinal interno | | | | | Total |
|-----------|--------------|-----------------------|---------------------------------|------|-------|-------|------|--------|
| | | | Dos iguales | A | B | C | D | |
| Patología | DEFORMIDAD | Recuento | 5 | 4 | 15 | 120 | 5 | 149 |
| | | % dentro de Patología | 3,4% | 2,7% | 10,1% | 80,5% | 3,4% | 100,0% |
| | DEGENERATIVA | Recuento | 4 | 12 | 29 | 286 | 9 | 340 |
| | | % dentro de Patología | 1,2% | 3,5% | 8,5% | 84,1% | 2,6% | 100,0% |
| | TRAUMÁTICA | Recuento | 3 | 25 | 28 | 433 | 12 | 501 |
| | | % dentro de Patología | ,6% | 5,0% | 5,6% | 86,4% | 2,4% | 100,0% |
| Total | | Recuento | 12 | 41 | 72 | 839 | 26 | 990 |
| | | % dentro de Patología | 1,2% | 4,1% | 7,3% | 84,7% | 2,6% | 100,0% |

Tabla 5: Frecuencia y porcentaje de los diferentes tipos morfológicos dentro de cada grupo patológico.

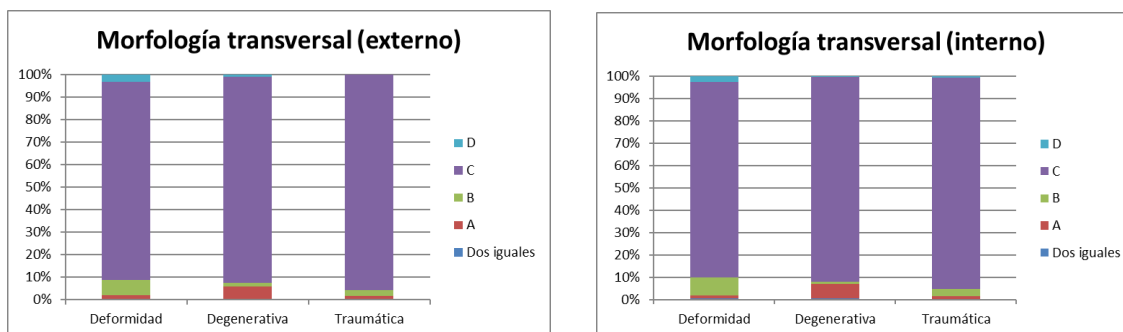


Figura 3: Porcentaje de los diferentes tipos morfológicos en cortes transversales.

Relación con la profesión

Como durante todo el estudio, la morfología predominante es la tipa C en cualquiera de los cortes transversales o longitudinales medidos (tabla 6) manteniéndose constante en cualquier nivel profesional, excepto un aumento en el porcentaje de morfología tipo B y D, en las profesiones de alto esfuerzo, para los cortes transversales ($p < 0,001$) (figura 4).

| | | | Morfología Transversal Externo | | | | | Total | |
|-----------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|------|------|--------|-------|--------|--------|
| | | | Dos iguales | A | B | C | D | | |
| Profesión | Bajo Esfuerzo | Recuento | 0 | 0 | 0 | 130 | 0 | 130 | |
| | | % dentro de Profesión | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 100,0% | |
| | Esfuerzo Medio | Recuento | 0 | 3 | 11 | 295 | 1 | 310 | |
| | | % dentro de Profesión | 0,0% | 1,0% | 3,5% | 95,2% | ,3% | 100,0% | |
| | Esfuerzo Medio-Alto | Recuento | 1 | 0 | 2 | 177 | 0 | 180 | |
| | | % dentro de Profesión | ,6% | 0,0% | 1,1% | 98,3% | 0,0% | 100,0% | |
| | Esfuerzo Alto | Recuento | 0 | 1 | 12 | 131 | 6 | 150 | |
| | | % dentro de Profesión | 0,0% | ,7% | 8,0% | 87,3% | 4,0% | 100,0% | |
| | Total | | Recuento | 1 | 4 | 25 | 733 | 7 | 770 |
| | | | % dentro de Profesión | ,1% | ,5% | 3,2% | 95,2% | ,9% | 100,0% |

| | | | Morfología longitudinal Externo | | | | | Total | |
|-----------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | | | Dos iguales | A | B | C | D | | |
| Profesión | Bajo Esfuerzo | Recuento | 2 | 3 | 8 | 111 | 6 | 130 | |
| | | % dentro de Profesión | 1,5% | 2,3% | 6,2% | 85,4% | 4,6% | 100,0% | |
| | Esfuerzo Medio | Recuento | 3 | 18 | 24 | 259 | 6 | 310 | |
| | | % dentro de Profesión | 1,0% | 5,8% | 7,7% | 83,5% | 1,9% | 100,0% | |
| | Esfuerzo Medio-Alto | Recuento | 0 | 8 | 11 | 158 | 3 | 180 | |
| | | % dentro de Profesión | 0,0% | 4,4% | 6,1% | 87,8% | 1,7% | 100,0% | |
| | Esfuerzo Alto | Recuento | 1 | 7 | 22 | 114 | 6 | 150 | |
| | | % dentro de Profesión | ,7% | 4,7% | 14,7% | 76,0% | 4,0% | 100,0% | |
| | Total | | Recuento | 6 | 36 | 65 | 642 | 21 | 770 |
| | | | % dentro de Profesión | ,8% | 4,7% | 8,4% | 83,4% | 2,7% | 100,0% |

| | | | Morfología Transversal interno | | | | | Total |
|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|------|-------|--------|--------|--------|
| | | | Dos iguales | A | B | C | D | |
| Profesión | Bajo Esfuerzo | Recuento | 0 | 0 | 0 | 130 | 0 | 130 |
| | | % dentro de Profesión | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 100,0% |
| | Esfuerzo Medio | Recuento | 0 | 2 | 12 | 294 | 2 | 310 |
| | | % dentro de Profesión | 0,0% | ,6% | 3,9% | 94,8% | ,6% | 100,0% |
| | Esfuerzo Medio-Alto | Recuento | 1 | 0 | 1 | 177 | 1 | 180 |
| | | % dentro de Profesión | ,6% | 0,0% | ,6% | 98,3% | ,6% | 100,0% |
| | Esfuerzo Alto | Recuento | 2 | 2 | 16 | 125 | 5 | 150 |
| | | % dentro de Profesión | 1,3% | 1,3% | 10,7% | 83,3% | 3,3% | 100,0% |
| Total | Recuento | 3 | 4 | 29 | 726 | 8 | 770 | |
| | % dentro de Profesión | ,4% | ,5% | 3,8% | 94,3% | 1,0% | 100,0% | |

| | | | Morfología longitudinal interno | | | | | Total |
|-----------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|------|-------|-------|--------|--------|
| | | | Dos iguales | A | B | C | D | |
| Profesión | Bajo Esfuerzo | Recuento | 0 | 3 | 3 | 117 | 7 | 130 |
| | | % dentro de Profesión | 0,0% | 2,3% | 2,3% | 90,0% | 5,4% | 100,0% |
| | Esfuerzo Medio | Recuento | 1 | 17 | 26 | 260 | 6 | 310 |
| | | % dentro de Profesión | ,3% | 5,5% | 8,4% | 83,9% | 1,9% | 100,0% |
| | Esfuerzo Medio-Alto | Recuento | 2 | 5 | 10 | 161 | 2 | 180 |
| | | % dentro de Profesión | 1,1% | 2,8% | 5,6% | 89,4% | 1,1% | 100,0% |
| | Esfuerzo Alto | Recuento | 5 | 6 | 17 | 115 | 7 | 150 |
| | | % dentro de Profesión | 3,3% | 4,0% | 11,3% | 76,7% | 4,7% | 100,0% |
| Total | Recuento | 8 | 31 | 56 | 653 | 22 | 770 | |
| | % dentro de Profesión | 1,0% | 4,0% | 7,3% | 84,8% | 2,9% | 100,0% | |

Tabla 6: Frecuencia y porcentaje de los diferentes grupos morfológicos según el grado de actividad.

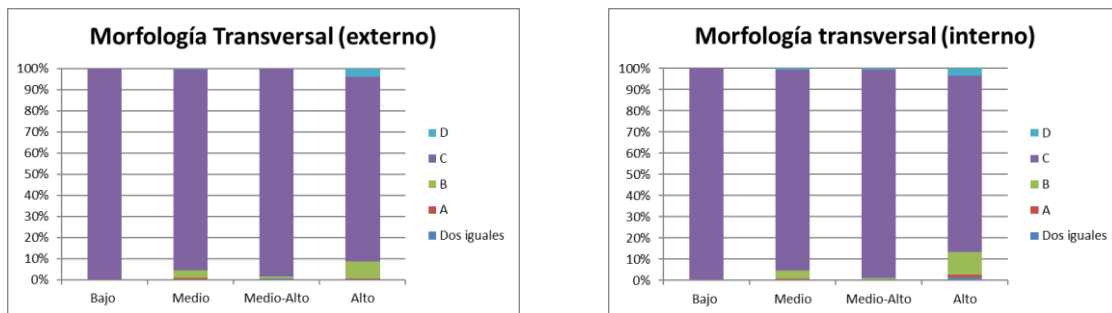
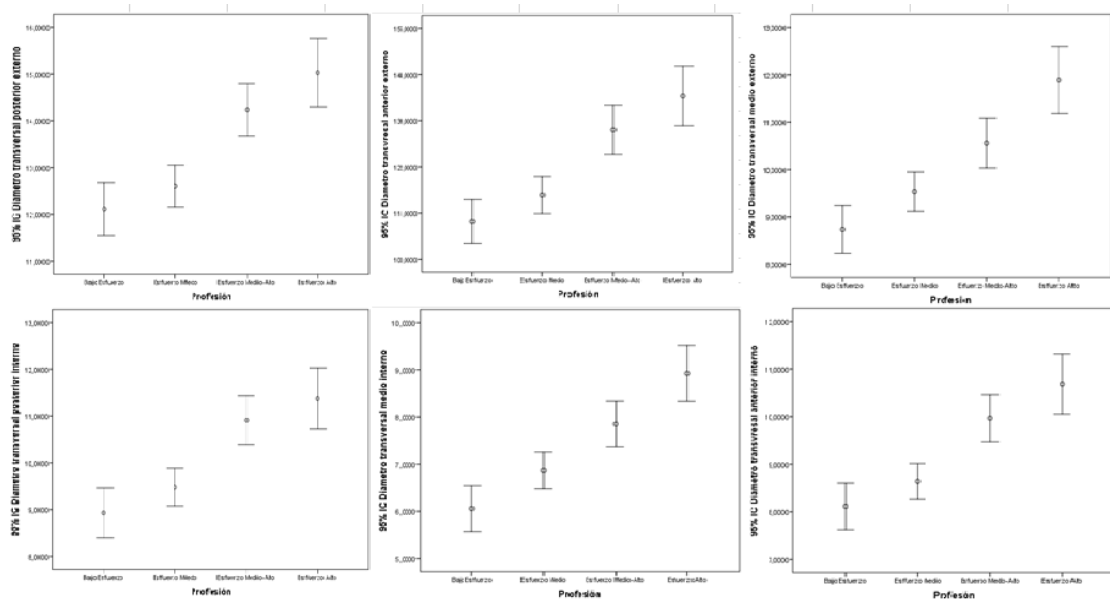


Figura 4: Porcentaje de los diferentes grupos morfológicos en relación a los diámetros transversos

En lo que se refiere a el tamaño pedicular, todos los diámetros medidos van en aumento cuanto mayor sea el grado de actividad laboral del individuo ($p < 0,005$) (tabla 7) (figura5).



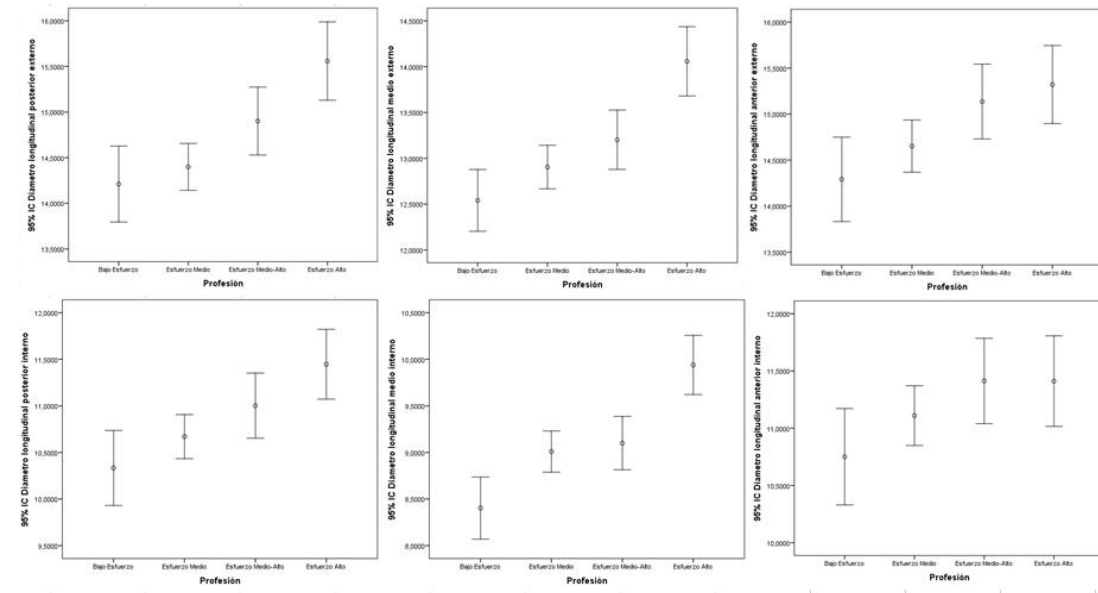


Figura 5: Variación del tamaño pedicular medio en relación al grado de actividad.

Discusión:

El estudio preoperatorio de la morfología y tamaño de los pedículos lumbares mediante imagen ayuda a planificar el sistema de instrumentación usado durante la cirugía, no existiendo diferencias significativas entre las mediciones en imágenes y las existentes realmente en el sujeto(34). Los resultados de nuestro estudio, medido sobre imágenes, demuestran que los diámetros pediculares longitudinales son más anchos que los transversales a nivel de L1, invirtiéndose esta relación de manera paulatina hasta llegar a L5, donde los diámetros transversales son más anchos que los longitudinales. Siendo en el global, los diámetros longitudinales más anchos los pertenecientes a L1 y los transversales más anchos los pertenecientes a L5, este hecho ya aparece en otros estudios previos como el de Yu et al(12) sobre población americana, y en lo referido a población española, Olmos et al (35) mantienen resultados similares, con la salvedad que en su estudio únicamente se miden los diámetros transversales medios desde L3 a L5.

Existen diferencias además entre los diámetros pediculares medidos entre los lados derechos e izquierdos a nivel lumbar alto, disminuyendo estas diferencias hasta hacerse no significativas a nivel de L5, en el mismo estudio referido anteriormente de Yu et al(12) también se encuentran diferencias entre el

diámetro longitudinal medio entre los lados izquierdos y derechos en los niveles L1 y L2, aunque no menciona si esas diferencias disminuyen de manera progresiva hacia caudal, hecho que si se refleja en el presente estudio.

La morfología predominante es aquella en la que el diámetro medio es más estrecho que los diámetros anterior y posterior pedicular, sirviendo este como referencia práctica a la hora de decidir el tamaño del tornillo, aunque no existen estudios actuales al respecto, en todos los estudios sobre morfología pedicular, se estudian los diámetros medios ya sean longitudinales o transversales, debido a ser los puntos más estrechos del pedículo(12,19,20,23,35,36).

En cuanto a la relación existente entre el peso la talla y el índice de masa corporal, son pocos los estudios(12,13) que se han dedicado a estudiar este aspecto, aunque en ellos se obtienen similares resultados a los obtenidos en este estudio, donde observamos que la relación entre estas variables y los diámetros pediculares es positiva, encontrando que cuanto mayor es el peso y la talla del individuo, mayores son sus diámetros pediculares, siendo este hecho importante de cara a plantear una planificación preoperatoria adecuada.

La relación entre la morfología pedicular y la patología principal del paciente no es un tema recurrente en la literatura actual, existiendo estudios sobre morfología pedicular en patología concreta, así Liljenqvist et al (27) demuestra en su análisis morfométrico de las vértebras torácicas y lumbares en escoliosis idiopática, que existen diferencias sustanciales entre los pedículos de estas vértebras y vértebras normales, apareciendo pedículos más estrechos en la concavidad a nivel de la región apical, ocurriendo lo mismo en estudios de Parent et al (28) sobre la misma patología. En nuestro estudio englobamos todas las patologías dentro de tres grandes bloques, y los diámetros medidos sobre un plano, en cuatro categorías tridimensionales que simplifican el estudio preoperatorio, encontrando, que como norma general, la morfología tipo diábolo aparece de forma predominante en todo tipo de patologías, pero con la salvedad, que en aquellas patologías deformante, la morfología donde el diámetro posterior es mayor que el medio, y este a su vez mayor que el anterior, adquiriendo una forma de cuña con base posterior, alcanza hasta un 8,1% en nuestra serie.

En cuanto a la relación existente entre la profesión (o grado de actividad) realizado por el individuo a lo largo de su vida, no hemos encontrado referencias al respecto, siendo este el primer estudio que analiza los cambios morfológicos en este sentido, encontrando que, existe un aumento progresivo en el diámetro pedicular, desde aquellos sujetos con poca actividad física, hasta los sujetos con una actividad física mayor, observando que los diámetros pediculares son significativamente más anchos en aquellos sujetos que durante su vida han realizado tareas que requerían un esfuerzo físico alto. Encontrando en estos individuos de manera significativa un aumento de la morfología tipo cuña con base posterior en hasta el 10% de la serie. Y de la misma manera que en todo el estudio, el pedículo tipo diábolo es el predominante en todos los grupos estudiados.

Conclusión:

La morfología pedicular predominante es aquella donde la zona media del pedículo es la más estrecha, teniéndose que tener esta en cuenta a la hora de decidir el tamaño del tornillo en la instrumentación pedicular. Existiendo diferencias en el tamaño de los pedículos lumbares altos, siendo estas menores según descendemos a niveles inferiores. Del mismo modo existen diferencias interindividuales, siendo las variables que se deben tener en cuenta a la hora de realizar una planificación preoperatoria, y por tanto importantes en la realización de una entrevista clínica al paciente, la talla y el peso del paciente, así como la profesión o grado de actividad física realizado durante su vida, ya que cuanto mayor sean estas variables (talla, peso, y grado de actividad) más anchos serán los pedículos del individuo.

Bibliografía:

1. Cherkin D, Deyo R, Loeser J. An international comparison of back surgery rates. *SPINE*. 1994;19:1201–6.
2. Cumminns J, Lurie JD, Tosteson TD, Hanscom B, Abdu WA, Birkmeyer NJO, et al. Descriptive epidemiology and prior healthcare utilization of patients in the spine patients outcomes research trial,s (SPORT) Three observational cohorts. *SPINE*. 2006;31(7):806–14.
3. Rajae SS, Bae HW, Kanim LEA, Delamarter RB. Spinal fusion in the United States. *SPINE*. 2012;37(1):67–76.
4. Guerardo Parra E. Osteogénesis terapéutica en cirugía del raquis. Bases científicas de la artrodesis vertebral. I: Fundamentos biomecánicos. *Rev Ortop Traumatol*. 2005;49(supl. 1):29–45.
5. Lehman RA, Kuklo T., O'Brien MF. Biomechanics of thoracic pedicle screw fixation. Part 1. Screw biomechanics. *Sem Spine Surg*. 2002;(14):8–15.
6. Mc Kinley TO, Mc Lain R., Yerby S., Sarigal-Klejin N, Smith TS. The effect of pedicle morphometry on pedicle screw loading in a syntetic model. *SPINE*. 1997;22:246–52.
7. Weinstein J., Rydevik B., Rausching W. Anatomic and technical considerations of pedicle screw fixation. *Clin Orthop*. (284):34–46.
8. Ebraheim NA, Xu R, Darwich M, Yeasting RA. Anatomic relations between the lumbar pedicle and the adjacent neural structures. *SPINE*. 1997;22(20):2338–41.
9. Maillot C, Wolfram-Gabel R. Pedicles of lumbar vertebrae. *Surg Radiol Anat*. 1993;(15):295–300.
10. Inceoglu S, Burghardt AJ, Akbay A, Majumdar S, Mc Lain R. Trabecular architecture of lumbar vertebral pedicle. *SPINE*. 2005;30(13):1485–90.
11. Kothe R, O'Holan J, Liu W, Panjabi M. Internal architecture of the lumbar pedicle. An anatomic study. *SPINE*. 1996;(21):264–70.
12. Yu CC, Yuh RT, Bajwa NS, Toy JO, Ahn UM, Ahn NU. Pedicle morphometry of lumbar vertebrae. Male, taller and heavier specimens have bigger pedicles. *SPINE*. 2015;40(21):1639–46.
13. Yu CC, Yuh RT, Bajwa NS, Toy JO, Ahn UM, Ahn NU. Lower thoracic pedicle morphometry. Male, taller and heavier specimens have bigger pedicles. *SPINE*. 2015;40(6):E323–31.
14. 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):E378–84.

15. Mitra S, Datir S, Jadhav S. Morphometric study of the lumbar pedicle in the Indian population as related to pedicular screw fixation. *SPINE*. 2002;(27):453–9.
16. Berry J, Moran J, Berg W. A morphometric study of human lumbar and selected thoracic vertebrae. *SPINE*. 1987;(12):362–7.
17. Hou S, Hu R, Shi Y. Pedicle morphology of the lower thoracic and lumbar spine in a Chinese population. *SPINE*. 1994;19:1850–5.
18. Kim N, Lee H, Chung I. Morphometric study of the pedicles of thoracic and lumbar vertebrae in Koreans. *SPINE*. 1994;19:1390–4.
19. Chadha M, Balain B, Maini L. Pedicle morphology of the lower thoracic, lumbar, and S1 vertebrae: an Indian perspective. *SPINE*. 2003;(28):744–9.
20. Zhuang Z, Chen Y, Han H, Cai S, Wang X, Qi W, et al. Thoracic pedicle morphometry in different body height population. A three-dimensional study using reformatted computed tomography. *SPINE*. 2011;36(24):E1547–E1154.
21. McLain RF, Yerby S., Moseley TA. Comparative morphometry of L4 vertebrae. *SPINE*. 2002;27(8):E200-206.
22. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Cho YS, Riew D. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: Is it safe? *SPINE*. 2004;29(3):333–42.
23. Robertson P, Novotny J, Grobler L, Agbay J. Reliability of axial landmarks for pedicle screw placement in the lower lumbar spine. *SPINE*. 1998;23(1):60–6.
24. Mirza SK, Wiggins GC, Kuntz IV C, York J, Bellabarba C, Konodi MA, et al. Accuracy of thoracic vertebral body screw placement using standard fluoroscopy, fluoroscopic image guidance and computed tomography image guidance. *SPINE*. 2003;28(4):402–13.
25. Tabaraee E, Gibson AG, Karahalios DG, Potts EA, Mobasser J-P, Burch S. Intraoperative cone beam-computed tomography with navigation (O-ARM) versus conventional fluoroscopy (C-ARM). A cadaveric study comparing accuracy, efficiency, and safety for spinal instrumentation. *SPINE*. 2013;38(22):1953–8.
26. Noriega DC, Hernandez-Ramajo R, Rodriguez-Monsalve Milano F, Sanchez Lite I, Ardura F, Toribio B, et al. Risk-benefit analysis of navigation techniques for vertebral transpedicular instrumentation: a prospective study. *Spine J*. 2016 agosto;16.
27. Liljenqvist UR, Link TM, Halm HFH. Morphometric analysis of thoracic and lumbar vertebrae in idiopathic scoliosis. *SPINE*. 2000;25(10):1247–53.
28. Parent S, Labelle H, Skalli W, de Guise J. Thoracic pedicle morphometry in vertebrae from scoliosis spines. *SPINE*. 2004;29(3):239–48.

29. Di Silvestre M, Parisini P, Lolli F, Bakaloudis G. Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment. *SPINE*. 32(15):1655–61.
30. Modi HN, Suh SW, Fernandez H, Yang JH, Song H-R. Accuracy and safety of pedicle screw placement in neuromuscular scoliosis with free-hand technique. *Eur Spine J*. 2008;17:1686–96.
31. Lee CS, Park S-A, Hwang CJ, Kim D-J, Lee W-J, Kim Y-T, et al. A novel method of screw placement for extremely small thoracic pedicles in scoliosis. *SPINE*. 2011;36(16):E1112–6.
32. Sponseller PD, Ahn NU, Ahn UM, Nallamshetty L, Rose PS, Kuszyk BS, et al. Osseous anatomy of the lumbosacral spine in marfan syndrome. *SPINE*. 2000;25(21):2797–802.
33. Cinotti G, De Santis P, Nofroni I, Postacchini F. Stenosis of lumbar intervertebral foramen. Anatomic study on predisposing factors. *SPINE*. 2002;27(3):223–9.
34. Hart RA, Hansen BL, Shea M, Anderson GJ. Pedicle screw placement in the thoracic spine. A comparison of image-guided and manual techniques in cadavers. *SPINE*. 2005;30(12):E326–31.
35. Alfonso Olmos M, Villas Tomé C, Beguiristain Gúrpide JL, Zubieta Zárraga JL. Morfometría vertebral en la población española. *Rev Ortop Traumatol*. 2002;(2):158–64.
36. Robertson P, Stewart NR. The radiologic anatomy of the lumbar and lumbosacral pedicles. *SPINE*. 25(6):709–15.