

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA Y EMBRIOLOGÍA HUMANA I



**TESIS DOCTORAL**

**Anatomía clínica de los pedículos vertebrales en la región cervical en la población mexicana**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Arnulfo Gómez Sánchez**

Directores

María José Blázquez Layunta

Fermín Viejo Tirado

Inmaculada Santos Álvarez

**Madrid, 2014**

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE MEDICINA**  
**DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA Y EMBRIOLOGÍA HUMANA I**



# **Anatomía Clínica de los Pedículos Vertebrales en la Región Cervical en la Población Mexicana**

**TESIS DOCTORAL**

**Arnulfo Gómez Sánchez**

**DIRECTORES:** Dra. María José Blázquez Layunta  
Dr. Fermín Viejo Tirado  
Dra. Inmaculada Santos Álvarez

**Madrid, 2014**



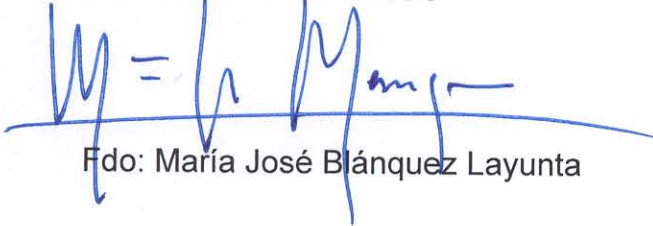
D<sup>a</sup> MARÍA JOSÉ BLÁNQUEZ LAYUNTA, Profesora Titular del Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, D. FERMÍN VIEJO TIRADO, Profesor Titular del Departamento de Anatomía y Embriología Humana I de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid y D<sup>a</sup> INMACULADA SANTOS ÁLVAREZ, Profesora Titular Interina del Departamento de Anatomía y Anatomía Patológica Comparadas de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid,

INFORMAN:

Que el trabajo titulado "**Anatomía Clínica de los Pedículos Vertebrales en la Región Cervical en la Población Mexicana**", presentado por D. Arnulfo Gómez Sánchez, reúne las condiciones necesarias para ser presentado como Tesis Doctoral, y consideramos que su autor está capacitado para obtener el grado de Doctor, siempre y cuando así lo considere el Tribunal designado por la Universidad Complutense de Madrid para juzgar la memoria.

Firmado en Madrid a doce de febrero de dos mil catorce.

Los directores de la tesis



Fdo: María José Blánquez Layunta



Fdo: Fermín Viejo Tirado



Fdo: Inmaculada Santos Álvarez

## **AGRADECIMIENTOS**

*Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que me han ayudado en la realización de este trabajo y muy especialmente a las siguientes:*

*a los Doctores **Fermín Viejo Tirado, María José Blánquez Layunta e Inmaculada Santos Álvarez**, directores de mi tesis doctoral, quienes aportaron sus acertadas observaciones y sugerencias en la realización de esta tesis.*

*a los Doctores en Medicina **Santos Guzmán López**, Director de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León y del Hospital Universitario, y al Profesor **Rodrigo Elizondo**, doctor por la Universidad Complutense de Madrid y Profesor del Departamento de Anatomía de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León, quienes me han brindado siempre su valioso apoyo.*

*a **mi familia**, con mi amor y gratitud por haber sido el motor y soporte en esta etapa de trabajo y haberles dedicado menos atención mientras desarrollaba este trabajo.*

*a mis **compañeros del Departamento de Anatomía y de otros Departamentos de la UANL**, por su ayuda y colaboración.*

**DEDICATORIA:**

*a mi esposa, **Asvhy**,  
estímulo que ha impulsado mi vida, compañera de mil batallas;*

*a mis hijas, **Diana Laura y Nadia Alejandra**,  
que son lo más grande que Dios me ha dado en esta hermosa vida.*

## ÍNDICE

<b>ABREVIATURAS</b>	8
<b>INTRODUCCIÓN</b>	9
JUSTIFICACIÓN	10
RECUERDO ANATÓMICO DE LA REGIÓN CERVICAL	12
<i>Vértebras Cervicales</i>	13
Características Generales	13
Primera Vértebra Cervical o Atlas	14
Segunda Vértebra Cervical o Axis	15
<i>Articulaciones Vertebrales</i>	17
Articulaciones Cigapofisarias	18
Discos Intervertebrales	18
<i>Ligamentos de la Columna Vertebral</i>	20
Ligamento Vertebral Común Anterior	20
Ligamento Vertebral Común Posterior	21
Ligamentos Amarillos	22
Ligamentos Interespinosos	22
Ligamento Supraespinoso	23
<i>Músculos de la Columna Cervical</i>	23
ANATOMÍA FUNCIONAL DE LA COLUMNA CERVICAL	24
PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES DE LA COLUMNA VERTEBRAL	27
PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES DE LA COLUMNA CERVICAL	28
<i>Lesiones de la Médula Espinal</i>	30
<i>Distensiones</i>	31
<i>Artrosis o Artritis del Cuello u Osteoartritis</i>	31
<i>Cervicoartralgia</i>	32
<i>Síndrome de Latigazo Cervical</i>	32
EPIDEMIOLOGÍA DE LA LESIÓN CERVICAL	33
CIRUGÍA DE LA COLUMNA CERVICAL Y ANTROPOMETRÍA DE LAS VÉRTEBRAS CERVICALES	34
TÉCNICAS QUIRÚRGICAS	41

---

<i>Técnica de Abumi</i>	42
<i>Técnica de Jaenaret</i>	43
<i>Técnica de Yukawa</i>	43
<i>Técnica de Nolte</i>	43
COMPLICACIONES DE LAS TÉCNICAS QUIRÚRGICAS	43
<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b>	48
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	50
<b>MATERIAL</b>	51
MATERIAL DEL ESTUDIO EN EL CADÁVER	51
<i>Diseño</i>	51
<i>Población de Estudio</i>	51
<i>Características de la Población de Estudio</i>	51
<i>Material de Laboratorio</i>	52
MATERIAL DEL ESTUDIO POR TÉCNICAS DE IMAGEN	53
<i>Diseño</i>	53
<i>Población de Estudio</i>	53
<i>Características de la Población de Estudio</i>	53
<i>Material de Laboratorio</i>	54
<b>MÉTODOS</b>	54
MÉTODO DE ESTUDIO EN EL CADÁVER	54
MÉTODO DE ESTUDIO POR TÉCNICAS DE IMAGEN	56
DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA AMBOS TIPOS DE ESTUDIO	57
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	58
<b>RESULTADOS</b>	61
ESTUDIOS REALIZADOS EN CADÁVER	62
ESTUDIOS REALIZADOS CON TÉCNICAS DE IMAGEN	75
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEDICIONES EN EL CADÁVER Y SOBRE TAC	101
<b>DISCUSIÓN</b>	103

<b>CONCLUSIONES</b>	115
<b>RESUMEN</b>	117
<b>SUMMARY</b>	125
<b>REFERENCIAS</b>	133

**ABREVIATURAS**

A Espinosa:	Apófisis espinosa.
Altura D:	Altura del pedículo derecho.
Altura I:	Altura del pedículo izquierdo.
Anchura D:	Anchura del pedículo derecho.
Anchura I:	Anchura del pedículo izquierdo.
AP:	Antero-posterior.
APE:	Apófisis espinosa.
Art Sup:	Apófisis articulares superiores.
Art Inf:	Apófisis articulares inferiores.
C2-C7:	Vértebras cervicales 2 a 7.
CPS:	<i>Cervical pedicular screws.</i>
Diam:	Diámetro.
DT:	Desviación típica.
ET:	Error típico.
FDA:	<i>U.S. Food and Drugs Administration Regulations.</i>
LCR:	Líquido cefalorraquídeo.
TAC:	Tomografía axial computarizada.

# INTRODUCCIÓN

## JUSTIFICACIÓN

Los pedículos son dos columnas óseas que se extienden desde la parte postero-superior y lateral del cuerpo vertebral hasta la base de los procesos transversos y articulares. Comunica el arco posterior con el cuerpo vertebral y limita lateralmente al conducto raquídeo.<sup>22,105</sup>

La morfometría pedicular se ha estudiado desde varios puntos de vista en función de cómo se han llevado a cabo las mediciones, ya sea de forma directa con instrumentos físicos en el cadáver, o mediante técnicas de imagen sobre sujetos vivos, y comparando los resultados entre ambas.

Sin lugar a dudas los avances en la medicina se dan a pasos agigantados y una de las áreas de especial interés son las técnicas neuroquirúrgicas, donde cada vez se hace más necesario el conocimiento morfológico y antropométrico preciso de las estructuras sobre las que se realiza la instrumentación quirúrgica. Esta necesidad se hace evidente en México, y en particular en la ciudad de Monterrey, donde este tipo de intervenciones es muy frecuente. Un estudio reciente mostró que el 72% de las muertes, tras un accidente de tráfico, son debidas al trauma raquimedular cervical debido a accidentes automovilísticos. De esta forma, las aportaciones que se brindan bajo esta temática resultan de gran provecho.

Durante la utilización del tornillo transpedicular cervical se ha descrito, la posibilidad de graves lesiones iatrogénicas, debidas al inadecuado tamaño de los tornillos en relación con los pedículos vertebrales. En algunos casos, este tipo de lesiones han tenido la confirmación anatómica del menor tamaño relativo del pedículo vertebral.

Desde mi especialidad de neurocirugía, con ejercicio en Monterrey, Nuevo León, México, surgió el interés por este tema, en particular por intentar confirmar o desmentir que algunas de las graves lesiones iatrogénicas que vemos en los

quirófanos mexicanos tras la cirugía transpedicular cervical pudieran deberse a no emplear el tornillo adecuado y, por tanto, pudieran ser evitables.

Después de una minuciosa búsqueda bibliográfica, no hemos podido encontrar ningún tamaño de muestra suficiente en la población mexicana que brinde las aportaciones morfológicas y morfométricas necesarias para la colocación del tornillo transpedicular cervical; además, el número de informes sobre las propiedades biomecánicas de estos tornillos es escaso, lo que despierta el interés por evaluar los posibles beneficios de su aplicación. Por todo ello, el propósito de este estudio es describir las características y dimensiones de los pedículos de la columna vertebral cervical en poblaciones mexicanas.



**Figura 1.** Características generales de la columna vertebral.<sup>102</sup>

## RECUERDO ANATÓMICO DE LA REGIÓN CERVICAL

Dada la importancia de la anatomía para este estudio y puesto que somos profesores de esta disciplina, haremos a continuación un resumen de las características más importantes de la columna cervical, haciendo hincapié en la descripción de algunas de las estructuras más relacionadas con nuestro estudio (Figs. 1-3).



**Figura 2.** Columna vertebral ósea y cintura pélvica. Visiones posterior (a) y anterior (b). Departamento de Anatomía y Embriología Humana I. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.



**Figura 3.** Columna vertebral ósea y cintura pélvica. A la izquierda, visión lateral (Departamento de Anatomía y Embriología Humana I. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid). A la derecha, escultura en cera policromada de finales del siglo XVIII, que muestra una visión posterior de la columna vertebral abierta y de la médula espinal. Museo de Anatomía “Javier Puerta”. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid).

### ***Vértebras Cervicales***

#### **Características Generales**

La región cervical de la columna vertebral consta de 7 vértebras (C1 – C7) con una serie de características distintivas, que se hacen patentes sobre todo en su

unión con el cráneo, donde se aprecian dos vértebras altamente especializadas, el atlas y el axis.

Las principales características de las vértebras cervicales son las siguientes (Figs 4-6):

- El cuerpo, alargado transversalmente, más grueso por delante que por detrás, presenta en su cara superior dos eminencias laterales, las apófisis semilunares o unciformes.
- Los pedículos nacen de la parte posterior de las caras laterales del cuerpo vertebral, su borde superior es tan profundamente escotado como el inferior.
- Las láminas, cuadriláteras, son más anchas que altas.
- Las apófisis espinosas presentan un vértice bituberoso y una cara o borde inferior excavado por un canal antero-posterior.
- Las apófisis transversas se implantan por medio de dos raíces que circunscriben con el pedículo el agujero transverso; su cara superior está excavada en canal y su vértice es bifurcado.
- Las apófisis articulares terminan en carillas articulares planas cortadas a bisel, las carillas superiores miran hacia arriba y hacia atrás, las carillas inferiores hacia abajo y hacia delante.
- El agujero vertebral es triangular y su lado anterior o base es mayor que los otros dos.<sup>22</sup>

### ***Primera Vértebra Cervical o Atlas***

El atlas es un anillo óseo más ancho transversal que sagitalmente. Contiene dos masas laterales ovaladas, de eje mayor oblicuo hacia delante y hacia dentro, con una carilla articular superior orientada hacia arriba y hacia dentro, cóncava en los dos sentidos y articulada con los cóndilos del occipital. La carilla articular

inferior que se dirige hacia abajo y hacia dentro, es convexa de delante atrás y se articula con la carilla superior del axis.<sup>109</sup>

El arco anterior del atlas tiene por cara posterior una carilla cartilaginosa ovalada que se articula con la apófisis odontoides del axis. El arco posterior en principio plano de arriba abajo, se ensancha por detrás en la línea media, en la que no existe apófisis espinosa, sino una simple cresta vertebral. Las apófisis transversas presentan un orificio para dar paso a la arteria vertebral, que excava una profunda corredera por detrás de las masas laterales.<sup>22</sup>



**Figura 4.** Anatomía de las vértebras cervicales. Visión superior. Departamento de Anatomía y Embriología Humana I. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.

### ***Segunda Vértebra Cervical o Axis***

El axis presenta un cuerpo vertebral cuya cara superior recibe en su centro la apófisis odontoides, también denominada diente del axis, y que sirve de pivote a la articulación atlodoaxoidea. Esta cara superior también da soporte a dos carillas

articulares, que sobresalen lateralmente por fuera del cuerpo vertebral y están orientadas hacia arriba y hacia fuera; son convexas de delante atrás y planas transversalmente. El arco posterior está constituido por dos estrechas láminas, oblicuas hacia atrás y hacia dentro. La apófisis espinosa comporta dos tubérculos, como el resto de las espinas cervicales. Por debajo del pedículo se fijan las apófisis articulares inferiores con unas carillas cartilaginosas orientadas hacia abajo y hacia delante, que se articulan con las carillas superiores de la tercera cervical. Las apófisis transversas presentan un orificio vertical por el que asciende la arteria vertebral.<sup>80,84</sup>



**Figura 5.** Anatomía de las vértebras cervicales. Visión inferior. Departamento de Anatomía y Embriología Humana I. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.



**Figura 6.** Anatomía de las vértebras cervicales. Visión posterior. Departamento de Anatomía y Embriología Humana I. Facultad de Medicina. Universidad Complutense de Madrid.

### ***Articulaciones vertebrales***

Los elementos de la columna vertebral se articulan entre sí de dos formas diferentes, a través de los cuerpos vertebrales y a través de sus arcos (apófisis articulares).

Las articulaciones a través de los cuerpos vertebrales tiene lugar mediante la interposición de los discos intervertebrales y aunque considerada una articulación poco móvil o semimóvil, no existe acuerdo en cuanto a su tipo articular (anfiartrosis, sincondrosis, sínfisis).

Las articulaciones a través de las apófisis articulares o cigapofisarias dependen mucho de la orientación de las mismas, siendo consideradas articulaciones planas o artrodias (algunos las consideran trocoides a nivel lumbar).<sup>112,124</sup>

### **Articulaciones cigapofisarias**

Las articulaciones cigapofisarias son artrodias (a nivel lumbar hay quien las describe como trocoides), rodeadas de una cápsula articular. La orientación de las carillas articulares de estas articulaciones determina la dirección en que se pueden realizar los movimientos de la columna vertebral, cuya amplitud viene determinada por los ligamentos y por el tono muscular.

A nivel cervical, las superficies articulares están dispuestas en un plano horizontal, lo que en un principio permite la movilidad en los tres planos del espacio, aunque en realidad los procesos costotransversos limitan los movimientos de lateralidad y los de rotación son muy escasos o nulos, excepto a nivel de atlas y axis.<sup>6,118</sup>

### ***Discos intervertebrales***

La articulación entre dos cuerpos vertebrales adyacentes es una anfiartrosis. Está constituida por las dos mesetas de las vértebras adyacentes unidas entre sí por el disco intervertebral (Fig. 7). La estructura de este disco es muy característica y consta de dos partes.<sup>117</sup>

Una parte central, el núcleo pulposo, sustancia gelatinosa que deriva embriológicamente de la cuerda dorsal del embrión. Se trata de una gelatina transparente, compuesta por un 88% de agua y por tanto muy hidrófila, y está químicamente formada por una sustancia fundamentalmente a base de mucopolisacáridos.<sup>20</sup> Se ha identificado en ella condroitin sulfato mezclado con

proteínas, cierto tipo de ácido hialurónico y keratan sulfato. Desde el punto de vista histológico, el núcleo contiene fibras colágenas y células de aspecto condrocitario, células conjuntivas y escasas aglomeraciones de células cartilaginosas. No hay vasos ni nervios en el interior del núcleo; sin embargo, el núcleo está tabicado por tractos fibrosos que parten desde la periferia.<sup>7,102</sup>

Una parte periférica, o anillo fibroso, que está conformado por una sucesión de capas fibrosas concéntricas, de oblicuidad cruzada. Estas fibras son verticales en la periferia y cuanto más se aproximan al centro, más oblicuas son. En el centro, en contacto con el núcleo, las fibras son casi horizontales y describen un largo trayecto helicoidal de una meseta a otra. De este modo el núcleo se halla encerrado en un compartimento inestable entre las mesetas vertebrales, por arriba y por abajo, y el anillo fibroso. Este anillo constituye un verdadero tejido de fibras que en el individuo joven impide cualquier herniación de la sustancia del núcleo,<sup>94</sup> que está comprimido en su pequeño compartimiento, de tal modo que cuando se secciona el disco horizontalmente, se puede apreciar cómo brota la sustancia gelatinosa del núcleo por encima del plano de la sección.<sup>62</sup>

La placa terminal vertebral (*vertebral end plate*) es una delgada lámina (0,75-1 mm) de cartílago hialino situada en las caras vertebrales de las vértebras adyacentes, donde se insertan las fibras colágenas procedentes del anillo fibroso. Esta especial disposición hace que la placa terminal esté firmemente adherida al disco y de forma mucho más débil a la vértebra, por lo que debe ser considerada a todos los efectos como parte del disco intervertebral, en el que juega un importante papel en el reparto de fuerzas. Estructuralmente es similar al anillo fibroso, con un menor contenido de agua (55%) y un mayor contenido de proteoglicanos (8%) y de fibras colágenas (25%), mayoritariamente de tipo II.<sup>37,74</sup>

La altura de los discos intervertebrales varía según los niveles: 3 mm para el nivel cervical, 5 mm en el nivel dorsal y 9 mm en la región lumbar, que tiene que

soportar la carga más pesada. La elasticidad del disco es suficiente para determinar una corrección de las curvaturas del raquis en determinados cambios posturales.

Mucho más importante que la altura absoluta del disco es la noción de la proporción del mismo en relación con la altura del cuerpo vertebral. Esta proporción da una perfecta idea de la movilidad del segmento raquídeo, de tal modo que cuanto más grande sea, más importante será su movilidad.<sup>7</sup> La relación es mayor en la región cervical (2/5) que en otros segmentos de la columna, confirmando la mayor movilidad de la columna cervical.<sup>96</sup>



**Figura 7.** Anatomía de los discos intervertebrales.<sup>74</sup>

### ***Ligamentos de la Columna Vertebral***

#### **Ligamento Vertebral Común Anterior**

El ligamento vertebral común anterior desciende en la cara anterior de la columna vertebral desde la apófisis basilar del occipital hasta la cara anterior de la segunda vértebra sacra. La forma y dimensiones del ligamento tienen

características diferentes en los diversos niveles de la columna vertebral. Entre el occipital y el atlas, el ligamento es una cinta estrecha y delgada, unida hacia atrás al ligamento occipitoatloideo anterior, que se extiende entre la apófisis basilar y el tubérculo anterior del atlas. Entre el atlas y la tercera vértebra dorsal, el ligamento se ensancha gradualmente de arriba hacia abajo ocupando el intervalo comprendido entre los músculos largos del cuello. Más abajo, el ligamento se extiende en las caras laterales de los cuerpos vertebrales hasta la vecindad de las articulaciones costovertebrales.<sup>105</sup>

En este ligamento podemos distinguir tres porciones o cintillas, una media y dos laterales. La porción media es más gruesa que las otras dos, de las cuales está separada por intersticios vasculares.<sup>7</sup> El ligamento vertebral común anterior se adhiere a los discos intervertebrales y a las vértebras, sobre todo a las partes salientes de los cuerpos vertebrales, próximos a los discos. Está compuesto por fibras largas, superficiales, que se extienden sobre tres o cuatro vértebras, y por fibras cortas profundas que unen dos vértebras continuas.

### **Ligamento Vertebral Común Posterior**

El ligamento vertebral común posterior está situado sobre la cara posterior de los cuerpos vertebrales y del disco intervertebral. Se inserta hacia arriba en el canal basilar del occipital, hacia delante y por encima del ligamento occipitoaxoideo, y termina por debajo en la primera vértebra coccígea.<sup>105</sup>

El ligamento está unido por su cara anterior a los discos intervertebrales y a la parte contigua de los cuerpos vertebrales. Las venas radicales y los plexos venosos anteriores del raquis lo separan de la porción media del cuerpo vertebral.

En la extremidad superior de la columna, el ligamento vertebral común posterior se adhiere por su cara anterior al ligamento occipitoaxoideo posterior y, por su cara posterior, a la duramadre. El ligamento vertebral común posterior, al

igual que el anterior, está constituido por fibras largas que son superficiales o posteriores, y por fibras cortas que son profundas o anteriores.

### **Ligamentos Amarillos**

Los ligamentos amarillos ocupan el espacio interlaminar y están unidos entre sí en la línea media. Su forma es rectangular y su anchura y espesor disminuyen progresivamente, desde la extremidad superior a la extremidad inferior de la columna vertebral.

Estos ligamentos presentan dos bordes, dos caras y dos extremidades. El borde superior, cóncavo hacia arriba, se inserta en la cara anterior de la lámina superior, en una impresión rugosa, alargada transversalmente. Esta impresión de inserción está situada en la parte media de la lámina vertebral en la región cervical. La cara anterior está separada de la duramadre por tejido adiposo y estructuras venosas.<sup>80</sup> La cara posterior corresponde hacia arriba a las láminas y al espacio entre ellas y los músculos espinales. La extremidad interna se une en la línea media con el ligamento amarillo del lado opuesto; el ángulo de unión de los ligamentos es saliente hacia atrás y se confunde con el borde anterior del ligamento interespinoso. La extremidad externa se extiende hasta las articulaciones de las apófisis articulares y refuerza la parte interna de la cápsula de estas articulaciones.<sup>6</sup>

### **Ligamentos Interespinosos**

Los ligamentos interespinosos son membranas fibrosas que ocupan el espacio comprendido entre dos apófisis espinosas vecinas. Se insertan por sus bordes superior e inferior en las apófisis espinosas correspondientes.

Sus caras laterales se relacionan con los músculos espinales. Su extremidad anterior se continúa con el ángulo de unión de los ligamentos amarillos. Su extremidad posterior se confunde con el ligamento supraespinoso.<sup>7</sup>

### **Ligamento Supraespinoso**

El ligamento supraespinoso es un cordón fibroso que se extiende en toda la longitud de la columna vertebral, por detrás de las apófisis espinosas y de los ligamentos interespinosos. Se adhiere al vértice de las apófisis espinosas y se une, en el espacio comprendido entre las mismas, con el borde posterior de los ligamentos interespinosos.

En el cuello, el ligamento supraespinoso se denomina ligamento cervical posterior. Forma por detrás de las vértebras un tabique intermuscular medio que se extiende hasta la aponeurosis superficial.<sup>22</sup>

### ***Músculos de la Columna Cervical***

Los músculos autóctonos dorsales del tronco, también denominados músculos de los canales vertebrales o erectores de la columna, constituyen una gran masa muscular difícil de diferenciar que mantiene el tronco y le impide caer hacia delante.

Estos músculos se disponen en varias capas, pudiendo distinguirse músculos cortos, que unen dos vértebras vecinas, y músculos largos cuando unen varias vértebras. En conjunto forman un tracto medial alrededor de las apófisis espinosas y un tracto lateral alrededor de las apófisis transversas.<sup>62</sup>

Su disposición particular y la existencia de especializaciones a algunos niveles han complicado tradicionalmente la nomenclatura y el entendimiento de la función de estos músculos. Independientemente de la nomenclatura utilizada, su

longitud o su posible especialización, todos estos músculos pueden asimilarse con alguno de los tres grupos siguientes:

- Músculos interespinosos: unen apófisis espinosas y su contracción produce la extensión de la columna vertebral.
- Músculos intertransversos: unen apófisis transversas y su contracción produce la inclinación lateral de la columna hacia el lado del músculo que se contrae.
- Músculos transversoespinosos: unen la apófisis transversa de una vértebra con la apófisis espinosa de la vértebra suprayacente. Cuando se contraen producen la rotación del tronco hacia el lado contrario del músculo que se contrae<sup>35,74,105,112</sup>

A pesar de que es precisamente en la región cervical donde se puede apreciar una mayor especialización de la musculatura, debido a su mayor movilidad y a su continuidad articular con la cabeza, el estudio pormenorizado de sus músculos excedería con mucho la intención de este trabajo, por lo que nos referiremos a alguno de ellos cuando sea necesario. Baste decir a modo de resumen, que esta especialización muscular dota a nuestra columna cervical de una movilidad amplia, a la vez que la permite soportar el peso de nuestra cabeza y ser el eje de su movilidad (Fig. 8).

### **ANATOMÍA FUNCIONAL DE LA COLUMNA CERVICAL**

Se pueden apreciar en el raquis cervical varios niveles: a) Un nivel o segmento superior cervicocefalico o suboccipital, básico en el sostén y en los movimientos de la cabeza, y que está compuesto por el atlas y el axis, vértebras desprovistas de discos intervertebrales y que son el pivote cefálico. b) Un segmento medio formado por las vértebras de C3 a C5. Y c) Un segmento inferior

cervicodorsal constituido por las dos últimas cervicales C6 y C7 que no se inscriben en un círculo.<sup>17,80</sup>

Tanto en reposo, como en el curso de los movimientos, las vértebras cervicales constituyen un trípode para las vértebras suprayacentes, que así dispuestas pueden desplazarse y asegurar la estabilidad de la cabeza. La parte fundamental del trípode está formada por la columna anterior de los cuerpos vertebrales, reforzada por las dos columnitas de apófisis articulares.<sup>52,123</sup>



**Figura 8.** Musculatura de la región posterior del cuello.<sup>102</sup>

Cabe destacar, que los cuerpos vertebrales están inclinados hacia delante y las interlíneas articulares hacia atrás; el conjunto compone un sistema de

distribución de las presiones verticales y un sistema de engranaje cualquiera que sea la posición de la cabeza y el cuello. En la flexión, el movimiento es detenido por la compresión del disco hacia delante y la extensión de los ligamentos amarillos e interespinosos hacia atrás. En la extensión el movimiento está limitado por la tensión del ligamento vertebral común anterior y por el contacto de las apófisis espinosas.<sup>22,77,80,110</sup>

Las superficies de deslizamiento de las apófisis articulares superiores están en su mayoría orientadas de tal forma que C3 y C4 se inscriben en un círculo, cuyo centro está situado por detrás del conducto vertebral a este nivel, mientras que el centro del círculo está por delante del conducto vertebral a nivel de C6 y C7. Las superficies de C5, intermedias, son planas y no se inscriben en un círculo.

Las caras articulares de una misma vértebra están aparejadas y los movimientos de rotación e inclinación se efectúan en sentido inverso para cada una de ellas. La inclinación lateral y la rotación asociada se acompañan necesariamente de la elevación de un lado y descenso del otro.<sup>123</sup>

Para las vértebras C3 y C4, la inclinación y la rotación son iguales, para C6 y C7, la rotación es casi pura y se efectúa alrededor del eje vertical intermedio. En el curso de los movimientos de flexión, extensión, inclinación lateral o rotación, el cuerpo de la vértebra superior se desplaza ligeramente en la corredera cóncava formada lateralmente por las articulaciones uncovertebrales; de esta forma, con la cara superior del cuerpo vertebral constituye un tipo de articulación en silla de montar.<sup>77,80</sup>

El movimiento de flexión-extensión alcanza 100° entre C2 y C7; si la cabeza se moviliza sobre las dos primeras cervicales, la amplitud del movimiento llega a 150°. La inclinación lateral es de 45° a cada lado y el movimiento asociado de

rotación-inclinación, o torsión de la cabeza, aumenta 80º-90º a cada lado. En resumen, la columna cervical es el segmento más móvil del raquis.<sup>7,123</sup>

### **PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES DE LA COLUMNA VERTEBRAL**

Los tipos de lesiones más comunes que pueden presentarse en la columna son las fracturas por compresión de una vértebra,<sup>89</sup> la subluxación (luxación parcial o completa de una vértebra que se sale de su alineación normal en la columna), y el sobre-estiramiento o desgarro de ligamentos y músculos.<sup>25</sup>

Cualquiera de las anteriores lesiones puede provocar corte irreversible de la médula, pellizcamiento y elongación. Sin embargo, en muchos pacientes el daño solo se limita a inestabilidad de la columna sin afectar la médula.<sup>17</sup>

La presencia de una buena respuesta motora y sensorial es indicativa de que la médula espinal se encuentra intacta, aunque no puede descartarse la presencia de una lesión vertebral, o de daño en los músculos y ligamentos que dan soporte a la columna vertebral.<sup>19</sup> Un porcentaje significativo de pacientes con columna ósea inestable no tienen déficit neurológico, por lo cual no se debe olvidar que la ausencia de déficit neurológico no descarta la presencia de inestabilidad de columna.<sup>9</sup>

En cualquier traumatismo, se debe tener en cuenta el mecanismo de producción de las lesiones y el hecho de que pueden estar presentes sin necesidad de verlas. Hay que presumir la existencia de una lesión en la columna cuando concurren alguno de los siguientes factores:<sup>16</sup>

- Cualquier impacto violento sobre la cabeza, cuello, tronco o pelvis nos hará sospechar la presencia de un movimiento súbito y violento sobre la columna.

- Accidentes que involucren aceleración, desaceleración o flexión lateral de forma súbita.
- Caídas desde alturas significativas, independientemente de si el paciente cayó de pie o de cabeza, dado que de una u otra forma se producen cargas axiales y compresiones.
- Cualquier caída en la cual una parte del cuerpo haya sido detenida mientras caía.
- Cualquier víctima de vuelcos en accidentes de tráfico, sobre todo si no portaban el cinturón de seguridad, personas expulsadas de vehículos en movimiento, o víctimas de una explosión.
- Cualquier víctima de accidentes de natación o saltos en aguas poco profundas.
- Lesiones craneoencefálicas con alteración en el estado de consciencia.
- Presencia de daño significativo en el casco de seguridad utilizado por el paciente en el momento del accidente.
- Descargas eléctricas de alto voltaje.
- Fracturas de piernas o caderas por impacto o desaceleración.
- Lesiones significativas localizadas en la columna vertebral.<sup>78,79</sup>

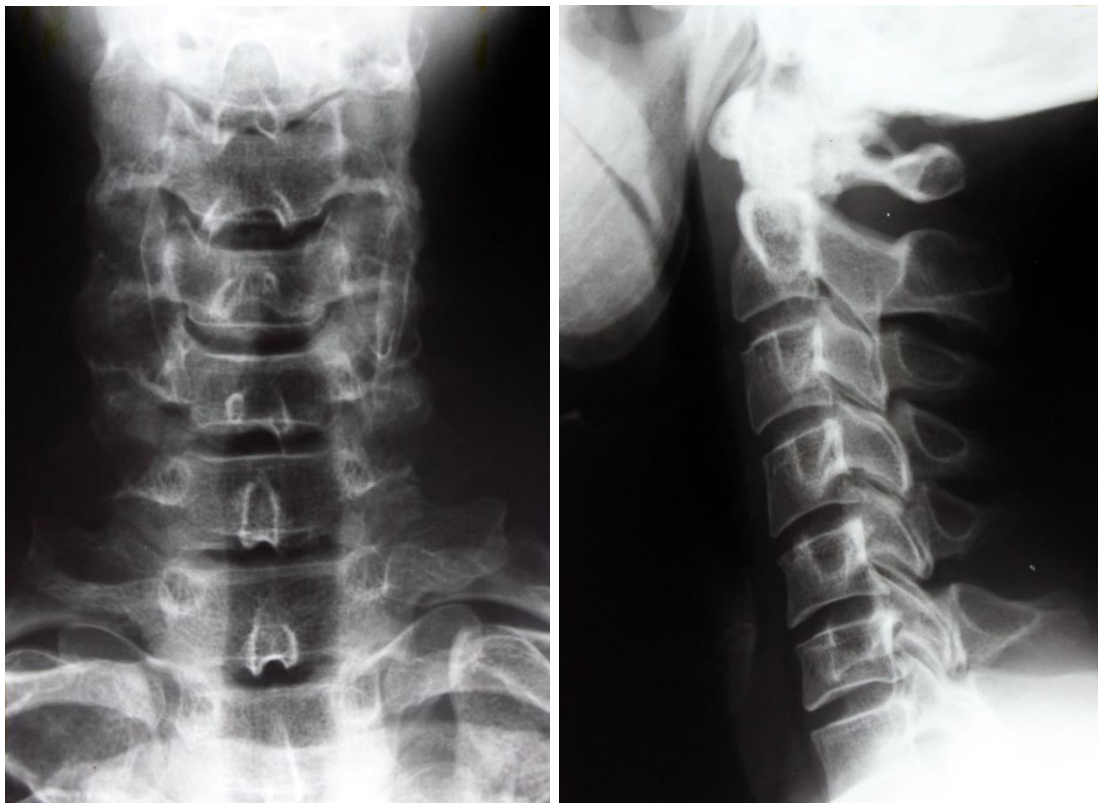
### **PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES DE LA COLUMNA CERVICAL**

Las lesiones de la médula espinal son muy graves porque pueden causar parálisis por debajo del lugar de aparición.<sup>12</sup> Muchas lesiones cervicales no suelen ser más que pequeños esguinces; sin embargo, en las catalogadas como graves, el mecanismo más frecuente de producción es la sobrecarga axial a velocidades de impacto relativamente bajas (Figs. 9 y 10). Una sobrecarga axial puede provocar fractura espinal o luxación, con resultado de tetraplejía.<sup>92</sup>

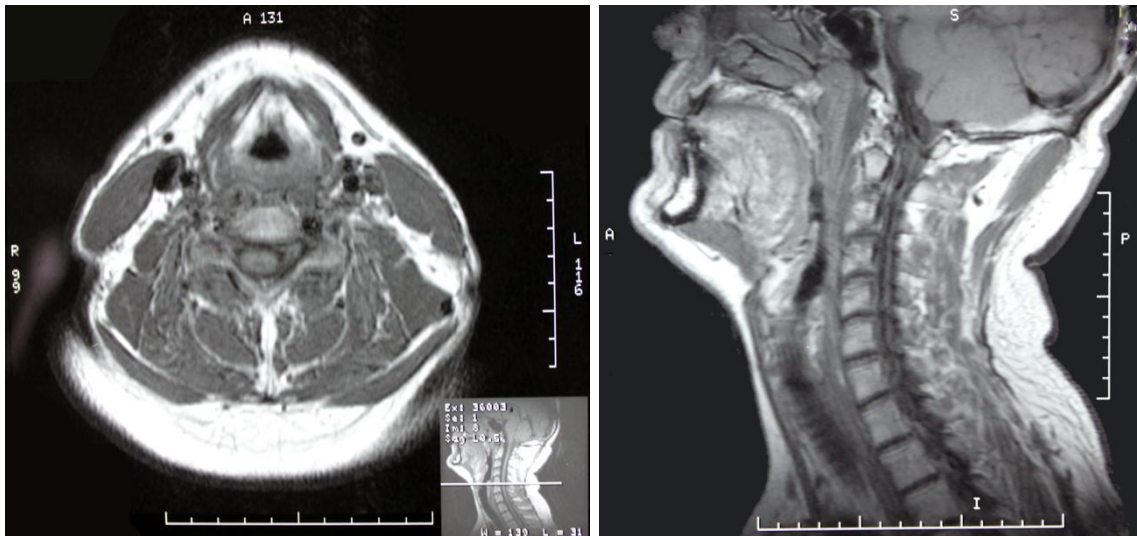
Las causas más frecuentes de lesiones cervicales son:

- Heridas penetrantes.
- Traumatismo directo en cara, cuello, cabeza o espalda (caer al suelo sobre la cabeza).
- Accidente al zambullirse en el agua.
- Torcedura extrema del tronco.
- Espasmos musculares.

A continuación analizaremos, de forma más pormenorizada, las principales lesiones a nivel de la columna cervical.



**Figura 9.** Radiografía lateral y antero-posterior de la columna cervical.



**Figura 10.** Resonancia magnética nuclear de la región lumbar cervical. De izquierda a derecha, secciones axial y sagital, respectivamente.

### ***Lesiones de la Médula Espinal***

Una lesión grave de la médula espinal con frecuencia causa pérdida de la sensibilidad y de control voluntario sobre los músculos,<sup>5</sup> además, provoca pérdida del funcionamiento de los reflejos por debajo del punto en que el daño interrumpe las funciones corporales, como la respiración, el control de las evacuaciones y el control vesical.<sup>125</sup>

En el caso de lesión espinal, la atención médica oportuna puede ayudar a minimizar el daño posterior a la médula espinal. La lesión medular espinal puede ser completa o incompleta.<sup>10</sup> En una lesión completa, el daño neuronal obstruye toda señal que vaya desde el cerebro hacia las partes del cuerpo por debajo del nivel de la lesión. En una lesión incompleta, solamente se obstruyen algunas de dichas señales.<sup>34,55</sup> El 8% de este tipo de lesiones se producen durante la realización de actividades deportivas, sobre todo en la equitación y en las carreras automovilísticas.

La sintomatología incluye dolor o presión intensos en cuello o espalda y hormigueo o pérdida de la sensación en manos, pies o dedos. Así mismo, puede

aparecer pérdida parcial o completa del control de cualquier parte del cuerpo y dificultades respiratorias. Si el paciente está inconsciente y no se mueve, debe realizarse una exploración inicial. En los pacientes con déficit neurológicos locales o dolor brusco intenso de cuello hay que sospechar una lesión espinal, hasta que lo descarte una evaluación neurológica.<sup>90</sup>

El procedimiento adecuado consiste en: valorar rápidamente la vía aérea, respiración y circulación del paciente, estabilizarle el cuello y llevarlo a un servicio de urgencias. Al retirar al deportista del campo de juego, o del lugar donde haya ocurrido la lesión, hay que tomar las debidas precauciones para su traslado y hacer una inmovilización correcta; si el traumatizado lleva casco, no se le debe quitar hasta que llegue al sitio de urgencias.<sup>38,39</sup>

### ***Distensiones***

Provocadas por un movimiento forzado del cuello o por un golpe en la cabeza. Pueden afectar únicamente a los tejidos blandos o existir fractura. En el último caso, suele haber también lesión de columna, aunque puede ocurrir que el daño sólo sea en los ligamentos.<sup>24,40</sup>

El tratamiento incluirá reposo, calor, diatermia de onda corta, antiinflamatorios y collarín. Si el dolor no desaparece en un día o dos, conviene realizar un examen radiográfico antes de reanudar la práctica deportiva. Las fracturas exigen tratamiento muy especializado, con collarín o algún otro tipo de soporte.<sup>55</sup>

### ***Artrosis o Artritis del Cuello u Osteoartritis***

Por lo general se siente dolor al doblar el cuello hacia delante, al girarlo, o al moverlo hacia los lados. Es posible que exista crujido, pero también puede darse en cuellos sin artritis.<sup>18</sup>

Para el tratamiento, además de analgésicos, son útiles los ejercicios para relajar el cuello (músculos y ligamentos), así como la diatermia y la fisioterapia; a veces ayuda un collarín. Además, se recomienda no realizar deportes de contacto (rugby, lucha, boxeo, etc.) que pueden provocar lesiones. Suele evolucionar bien de por sí, incluso sólo con reposo; aunque el dolor se vaya la artritis persiste.<sup>70</sup>

### ***Cervicoartralgia***

La cervicoartralgia, o dolor en las articulaciones del cuello, se provoca por una mala alineación de las articulaciones del cuello o por una tortícolis.<sup>45</sup> Suele producirse al girar el cuello bruscamente o después de un golpe de cabeza en forma de latigazo. Es posible despertarse en posición no adecuada y sufrir dolor todo el día. El dolor puede irradiarse a hombros, brazos, cabeza y manos, y puede acompañarse de parestesias. También puede producir debilidad en los brazos.<sup>92</sup>

Para el tratamiento, conviene mantener el cuello caliente con bufanda o similar. Suele pasarse por sí solo a los pocos días, o mediante analgésicos, tracción, calor y diatermia. Las manipulaciones dan a veces resultados muy buenos. Los relajantes musculares también pueden ser útiles. Aunque la recuperación es a corto plazo, el entumecimiento del cuello puede prolongarse.<sup>72</sup>

### ***Síndrome de Latigazo Cervical***

El síndrome del latigazo cervical, o desnucamiento se presenta cuando los tejidos blandos del cuello se lesionan debido a una sacudida repentina o un "movimiento súbito" de la cabeza. Este tipo de movimiento tensiona los músculos y los ligamentos del cuello más allá de su rango normal de movimiento.<sup>36</sup>

Con frecuencia, la persona siente dolor y rigidez en el cuello durante las primeras semanas después de presentarse la lesión. Posteriormente puede haber mejoría, pero es posible que el dolor y la rigidez retornen varios días más tarde.

La molestia que se experimenta puede comprometer a los grupos musculares circundantes de la cabeza, el pecho, los hombros y los brazos. El traumatismo cervicocefálico se puede clasificar según la topografía de la lesión en:<sup>95</sup>

- Síndrome cervical: se acompaña de cefaleas, dolor en la nuca, limitación en los movimientos y contracturas musculares, en casos extremos puede llegar a tortícolis.
- Síndrome cérvico-braquial: a los síntomas antes mencionados se agregan trastornos en la sensibilidad, pérdida de fuerza, parestesias en hombro y brazo que se extienden hasta la mano. Este síndrome se puede presentar en forma unilateral o bilateral.<sup>13</sup>
- Síndrome cérvico-medular: se producen lesiones de la médula espinal que, de acuerdo con su gravedad, pueden ser conmoción con tetraparesia pasajera o, en el caso de sección definitiva, tetraplejía.
- Síndrome cérvico-encefálico: de forma complementaria a los síntomas del síndrome cervical, se agregan fuertes cefaleas, tinnitus o zumbidos de oídos, sensibilidad a los ruidos fuertes, mareos, sensación de inseguridad, visión turbia, fotopsias, trastornos del equilibrio, dificultades en la concentración y el pensamiento, náuseas, vómitos, etc.<sup>106</sup>

### **EPIDEMIOLOGÍA DE LA LESIÓN CERVICAL**

La información epidemiológica sobre las lesiones cervicales en general no es extensa. Stover y Fine,<sup>115</sup> en 1987, estimaron una prevalencia total de lesiones de columna vertebral en USA cercana a 906 por millón, con una tasa anual de incidencia de alrededor de 30 nuevas lesiones de columna por millón de personas, riesgo que concuerda con el proporcionado por la *Think First Foundation* (2004).<sup>95</sup>

El esguince cervical (también llamado latigazo cervical) es la patología más frecuente de esta región anatómica; existen datos que sugieren que el 20% de los

accidentados de tráfico presentan síntomas cervicales.<sup>82</sup> La incidencia de síntomas por esguinces cervicales es de 3,8/1.000 habitantes, aumentando a 14,5/1.000 en mujeres trabajadoras. Si se analizan los datos derivados de Suiza, Noruega, Australia, Nueva Zelanda y USA, se puede establecer una incidencia de problemas graves derivados de un esguince cervical por accidente de tráfico del 1/1.000.<sup>66</sup>

En relación con la prevalencia de síntomas crónicos, siguiendo a los mismos autores, ésta es del 1% con dolor moderado, y del 0,4% con dolor severo. La cronicidad de los síntomas también ha sido extensamente estudiada. Así, al año del accidente el 62% de los pacientes sigue presentando síntomas, el 20% tiene síntomas por los que reclama legalmente, y el 8% presenta síntomas severos. Finalmente, destacar que entre el 14-42% de los pacientes con esguince cervical desarrollarán dolor crónico y, aproximadamente, el 10% tendrá síntomas persistentes y dolor severo indefinidamente.<sup>35</sup>

### **CIRUGÍA DE LA COLUMNA CERVICAL Y ANTROPOMETRÍA DE LAS VÉRTEBRAS CERVICALES**

Los procedimientos quirúrgicos en la región cervical han tomado gran importancia para las cirugías de fijación transpedicular, radicando ahí la trascendencia de la antropometría de las vértebras cervicales, como respuesta a la necesidad de un mayor conocimiento de las estructuras sobre las que se actúa durante la instrumentación quirúrgica, en particular la relación entre el pedículo vertebral y el tornillo que debe alojar.<sup>50</sup>

Ya en 1976, Saillant,<sup>106</sup> basándose en el estudio anatómico detallado de las medidas y orientación de los pedículos, estableció la utilización de placas atornilladas en los pedículos vertebrales para conseguir una osteosíntesis más fiable en los niveles torácico y lumbar de la columna vertebral.<sup>106</sup>

La fijación con tornillo transpedicular es un procedimiento quirúrgico complicado que se utiliza actualmente para columna vertebral inestable.<sup>83</sup> Este

procedimiento fue introducido para tratar la citada columna inestable después de lesiones traumáticas en la columna cervical media y baja, pero además es particularmente importante para descompresión posterior simultánea y reconstrucción del raquis cervical.<sup>54,130</sup>

Las indicaciones del procedimiento son todas aquellas que cursen con columna cervical inestable, tales como: neoplasias, condiciones degenerativas como artritis reumatoide, espondilitis anquilosante, infecciones, laminectomías extensas y osteotomías. Dicha técnica proporciona gran estabilidad a la columna cervical.<sup>114</sup> El tipo de abordaje, anterior o posterior, sigue siendo controvertido.<sup>18,27,41,43,44,56,81,88,104,110</sup> En la aproximación anterior de la columna cervical inferior se encuentra la porción media del nervio laríngeo recurrente y la rama externa del nervio laríngeo superior, evitar dañarlos en este tipo de abordaje debe ser prioritario.<sup>68</sup>

Sin lugar a dudas este procedimiento implica graves riesgos, pero uno de los más temidos es la fractura pedicular con afectación del canal medular, o también con el compromiso de la arteria vertebral.<sup>114,130</sup>

Las complicaciones intraoperatorias y postquirúrgicas de la fijación transpedicular incluyen la fractura del pedículo durante la inserción del tornillo, con afectación iatrogénica del canal y escape de líquido cefalorraquídeo, infección y neuropraxia. La incidencia de la afectación del canal medular es del 30.3% al 87.5% en estudios anatómicos. El punto exacto de inserción del tornillo se recomienda en la línea media de la masa articular, 3mm por debajo de la faceta articular superior a 45° de la línea media y en el plano transversal. Existe una gran variabilidad en las dimensiones del pedículo cervical, de tal manera que los procedimientos preoperatorios deben incluir radiografías oblicuas bilaterales, TAC, RMN, fluoroscopia intraoperatoria y estereotaxia asistida por computadora; de

este modo, se evaluará la forma y el tamaño pedicular para decidir las dimensiones correctas del tornillo a introducir.<sup>33</sup>

Kayalioglu *et al.*<sup>54</sup> (2007), en un trabajo realizado en la columna cervical baja (C3-C7) por medición directa mediante un goniómetro, encontraron que en C3 y C4 existen dimensiones menores en la anchura y altura del pedículo, mientras que la anchura se incrementa en C5 y C6. Además, describen las variaciones individuales y las diferencias en ambos pedículos (derecho e izquierdo) de una vértebra. Concluyen que el riesgo de fractura pedicular aumenta en los niveles más altos (C3-C4).<sup>54</sup>

En su estudio de 1997, Jones *et al.*<sup>50</sup> evaluaron 56 vértebras desarticuladas específicamente desde C2 a C7. El análisis por TAC determinó la morfología y la densidad ósea pedicular; asimismo se sometieron a carga tornillos transpediculares de 3.5 y 2.7 mm, evidenciando que la afectación de la pared pedicular está en relación con la densidad ósea.<sup>50</sup>

Muchas técnicas de instrumentación se han utilizado para lograr la fusión ósea, el tratamiento de la inestabilidad, o la corrección de la deformidad espinal en la columna cervical; sin duda, el éxito logrado con la aplicación de tornillos en la reconstrucción de la masa lateral sigue siendo sobresaliente. Sin embargo, la fijación en la masa lateral puede ser insuficiente en casos de mala calidad ósea o grandes defectos en la parte posterior vertebral. Un tornillo mal aplicado o la avulsión del mismo se han documentado como un fracaso, esto ocurre particularmente en la parte baja de la columna cervical, donde la disminución de tamaño de las masas laterales lo puede propiciar.<sup>134</sup>

Otra técnica que ha demostrado dar buenos resultados en la estabilización de la columna cervical es la fijación de tornillos translaminares en C2,<sup>28,76,91</sup> aunque parece no resistir la flexión lateral en los casos en que los ligamentos

atlantoaxiales se encuentran alterados.<sup>28</sup> Además, se ha descrito una duración inferior del tornillo en las fusiones subaxiales, no así en las fusiones cervicales axiales, donde se muestra igual de efectivo que la fijación pedicular de C2.<sup>51,91</sup> También se ha sugerido la utilización de esta técnica cuando la colocación del tornillo pedicular está contraindicada, como en los casos en que los pedículos de C2 son demasiado pequeños.<sup>76</sup>

Respecto a la fijación cervical con tornillos pediculares, Abumi *et al.*<sup>4</sup> (2000), después de insertar 712 tornillos en el pedículo cervical, mostraron solo un caso de lesión de la arteria vertebral, una fractura traumática del pedículo y dos casos de radiculopatía inducida por el tornillo, uno de ellos requirió la sustracción del tornillo. No se observaron secuelas permanentes.<sup>4</sup>

Yoshimoto *et al.*<sup>131</sup> (2005) refieren la inserción de 134 tornillos sin complicaciones neurovasculares o pérdida de la continuidad. Estos resultados sugieren que el uso de tornillos en el pedículo cervical podría llevar un mayor margen de seguridad que la prevista inicialmente.<sup>69</sup> No obstante, se han comparado con estudios de fijación de masas laterales, demostrando que dicha técnica tiene una mayor incidencia de lesiones de la raíz nerviosa, tornillo flojo y pérdida de continuidad. A pesar de una excelente historia clínica, los estudios anatómicos han mostrado grandes tasas de perforación (7% a 15%), como resultado del pequeño tamaño de los pedículos. Los investigadores han advertido la necesidad de ser precavidos en su uso debido a la posibilidad de una lesión iatrogénica.<sup>11</sup>

Johnston *et al.*<sup>49</sup> (2006) analizan las propiedades biomecánicas de los tornillos transpediculares, investigando si la fuerza residual de recuperación del tornillo, después de aplicar cargas cíclicas uniplanares, es superior a la que presentan los tornillos colocados en la masa lateral. Para ello, utilizando vértebras humanas (C3-C7) desarticuladas y congeladas en fresco, determinan el desplazamiento del tornillo

tras los ciclos de cargas, la densidad ósea y, finalmente, la fuerza de tracción y torsión máxima del tornillo al sacarlo. En sus resultados encuentran que ambos tipos de tornillos presentan una estabilidad inicial similar; sin embargo, el rendimiento de los tornillos pediculares fue consistente y duradero en comparación con los tornillos de masa lateral, que se aflojaban con mayor rapidez y en modo variable. Además, la fuerza de tracción en la retirada del tornillo fue superior, con significación estadística, en los tornillos pediculares mostrando, así mismo, correlación con la fuerza de torsión y la densidad ósea.<sup>49</sup>

En definitiva, en el estudio de Johnston *et al.*<sup>49</sup> (2006), los autores demuestran un beneficio biomecánico que podría justificar el uso de tornillos en el pedículo cervical en ciertas situaciones clínicas. Además, la observación clínica de una mayor incidencia de tornillo flojo y pérdida en estudios con tornillos en masa lateral, en comparación con los que utilizan el pedículo cervical, sugiere que la cantidad de resistencia que siente un cirujano en el momento de la colocación del tornillo puede ser un buen indicio intraoperatorio de su rendimiento clínico.<sup>49</sup>

Estos resultados y los de estudios anteriores indican ventajas significativas, desde el punto de vista biomecánico, motivo que justifica la utilización de los tornillos pediculares cervicales en determinadas aplicaciones clínicas, especialmente si la clínica de riesgo sigue siendo baja.<sup>111</sup>

En el estudio de Johnston *et al.*,<sup>49</sup> (2006) el nivel específico de densidad mineral ósea se ve influenciado por la fatiga que ocasiona la fuerza de carga. No obstante, las limitaciones de este estudio se relacionan con el pequeño número de especímenes utilizados y la posibilidad de que las variaciones en la calidad de los huesos pueden sesgar los resultados biomecánicos. La importancia clínica de estos hallazgos en los tornillos pediculares cervicales aún no se ha evaluado, ni clínica ni radiológicamente.<sup>78</sup> En los pacientes de alto riesgo con osteopenia severa, las

exploraciones por densitometría ósea pueden ser un complemento útil para evaluar la necesidad de apoyo postoperatorio.

Otra consideración a tener en cuenta es la relativa alta tasa de tornillos fuera de lugar. A pesar de la baja incidencia de secuelas clínicas relacionadas con esta condición, el potencial de lesión de la arteria vertebral o la raíz nerviosa es todavía importante y los esfuerzos futuros deben tener como objetivo la maximización de la precisión de los métodos de inserción del tornillo.<sup>108</sup>

Ludwig *et al.*<sup>69</sup> (1999), al hacer sus mediciones mediante disección directa, encontraron que de C4 a C7 el promedio angular para inserción del tornillo transpedicular era de 45°, en concreto: 39° entre C4 y C5; 29° en C6 y 33° en C7). Además el promedio del diámetro transversal fue de 5.18 mm y la longitud pedicular de 9.1mm.

El inicio de los estudios de Xu *et al.*<sup>127</sup> (1999) tuvieron como punto de partida la escasez de datos cuantitativos que relacionaran el pedículo cervical con las estructuras neurales adyacentes. Utilizaron 20 cadáveres y, mediante disección directa, retiraron toda la parte posterior de elementos óseos, incluyendo las apófisis espinosas, las láminas y las masas laterales, con el fin de dejar expuesto el istmo de los pedículos, el saco dural y las raíces nerviosas de C3-C7. Seguidamente determinaron la distancia entre el pedículo y las raíces nerviosas superior e inferior, así como entre el pedículo y la duramadre. En sus resultados, no observaron distancia entre el pedículo y la raíz nerviosa superior, ni entre el pedículo y el saco dural, pero sí entre el pedículo y las raíces inferiores (1.4-1.6 mm). Y sugirieron que la incidencia de lesiones neurológicas puede ser mayor cuando el tornillo penetra la corteza medial o superior del pedículo que cuando se introduce en la corteza inferior.<sup>127</sup>

De otra parte, tanto el estudio de Xu *et al.*<sup>127</sup> (1999), como otros, han detectado diferencias morfométricas significativas entre ambos sexos.<sup>63,93,97,100,103,126-128</sup> Sin embargo, pese a lo que cabría esperar debido a las diferencias físicas entre las poblaciones europea/americana y asiática, aún existe controversia; en este sentido, la investigación de Chazono *et al.*<sup>21</sup> (2012) no revela disparidad étnica significativa en las dimensiones del pedículo,<sup>21</sup> pero sí lo hace el trabajo de Liu *et al.*<sup>63</sup> (2010), donde encuentran diferencias significativas en la longitud y ángulo transversal del pedículo entre las poblaciones europea/americana y asiática.<sup>63</sup>

Ebraheim *et al.*<sup>30</sup> (1998a) evaluaron anatómicamente el cuerpo vertebral en 76 vértebras cervicales desarticuladas, incluyendo mediciones antero-posteriores en la línea media sagital y parasagital. Encontrando una profundidad media de 14 mm en las secciones sagital, parasagital y medio cuerpo vertebral. Con los años, ha habido mucho debate y discusión en relación con la ubicación del pedículo frente a la parte interarticular.<sup>30-32</sup>

Karaikovic *et al.*<sup>53</sup> (1997) analizaron las vértebras cervicales C2 a C7 de 53 columnas vertebrales de origen euro-americano, identificadas por edad, sexo y altura, mediante pinza digital, goniómetro y TAC. Sus resultados evidenciaron que el eje longitudinal del pedículo era similar de C3 a C7, la anchura externa del pedículo era menor que la altura, siendo igual o inferior a 4 mm en el 75.5% de las vértebras C3 estudiadas; también observaron que algunos pedículos no tenían canal medular, es decir, eran hueso cortical sólido.

La fijación transpedicular se utiliza cada vez más para estabilizar la columna cervical subaxial. El desarrollo de esta exigente técnica se basa en estudios morfométricos de la anatomía del pedículo. Varias técnicas quirúrgicas han sido desarrolladas y evaluadas con respecto a su viabilidad y precisión, poniendo de

manifiesto la necesidad de establecer con exactitud los puntos de entrada del tornillo y su trayectoria.

En este sentido, Zheng *et al.*<sup>133</sup> (2010) diseñaron un estudio para definir una línea directriz que indique el punto óptimo de entrada y la trayectoria de los tornillos pediculares cervicales de colocación subaxial. Estos autores realizaron un estudio morfométrico y experimental en seis cadáveres humanos conservados. Midió los ejes y dimensiones de los pedículos C3-C7 (60 pedículos) utilizando tomografía computarizada multicorte (TC); además, la fluoroscopia fue muy útil en la preparación del agujero transversal e inserción del tornillo. En sus resultados observaron una precisión en los tornillos pediculares del 83.3% y no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la angulación transversal del pedículo y la trayectoria actual del tornillo conseguida mediante la línea directriz.<sup>133</sup>

En definitiva, debido a la variabilidad del pedículo cervical, es fundamental conocer su anatomía para la correcta colocación de tornillos transpediculares en la columna cervical. Para ello, se precisa la evaluación preoperatoria por TAC con reconstrucciones multiplanares.<sup>93,126,128</sup>

Los estudios cadavéricos siguen siendo obligados para el desarrollo seguro de una técnica altamente eficiente, pero que sigue siendo un procedimiento delicado, como es la estabilización transpedicular de la columna cervical subaxial. Una profunda comprensión de la anatomía pedicular es obligada para evitar daños en la arteria vertebral, la médula espinal o las raíces nerviosas.<sup>99</sup>

## **TÉCNICAS QUIRÚRGICAS**

La fijación cervical con tornillos pediculares es una técnica quirúrgica descrita inicialmente para el manejo de lesiones traumáticas; sin embargo, en la actualidad se utiliza también en tumores de columna y lesiones degenerativas.

Cuando existe una lesión inestable de elementos posteriores, tradicionalmente se ha indicado el uso de sistemas de placas o barras y tornillos de masas laterales, inicialmente propuesto por Roy-Camille, o el uso de sistemas de ganchos propuesto por Magerl.<sup>3</sup>

Desde la primera descripción de fijación pedicular cervical hecha por Abumi en 1994, surgió la alternativa de fijación transpedicular de la columna subaxial, sin limitarse a C2 y C7. Es el método instrumentado que proporciona mayor estabilidad en C7.<sup>46</sup>

Con el fin de poder valorar el tipo de instrumentación, la mayor o menor agresividad de la técnica, su relación con el tamaño de los tornillos y el rendimiento quirúrgico de los mismos, describiremos a continuación las técnicas de cirugía transpedicular cervical más utilizadas en la actualidad, así como sus principales complicaciones.

### ***Técnica de Abumi***

El punto de penetración, para los pedículos de C3 a C7, es ligeramente lateral al centro de la masa articular y cercano al borde inferior de la apófisis articular inferior de la vértebra craneal adyacente.<sup>3</sup> El ángulo de inserción de los tornillos pediculares está entre 25 y 45 grados hacia la línea media sobre el plano axial y, en el plano sagital, paralelo al borde superior del pedículo de C5 a C7 y ligeramente en dirección cefálica de C3 a C4. La tomografía axial prequirúrgica se debe evaluar para definir el ángulo más adecuado para cada nivel. Se realiza un fresado del hueso esponjoso de la masa lateral hasta apreciar con claridad el introito (cortical y esponjosa) del pedículo. Los estudios biomecánicos no han demostrado diferencias significativas en la resistencia a la extracción con esta técnica.<sup>3</sup>

### ***Técnica de Jaenaret***

El punto de entrada en la masa lateral está aproximadamente 3 mm debajo de la faceta articular de la vértebra superior y 2 mm lateral a la línea media vertical de la masa lateral. El tornillo se dirige en sentido postero-anterior y latero-medial en un ángulo de 30 a 45 grados.<sup>48</sup>

### ***Técnica de Yukawa***

Utilizando fluoroscopia se obtiene una visión de toda la columna cervical y de la orientación lateral de los pedículos.<sup>132</sup> Después se determina, por proyecciones oblicuas en angulación progresiva, la orientación y el ángulo preciso en el que por fluoroscopia se aprecie la cortical del pedículo en forma circular y más homogénea, quedando el eje radiológico alineado con el eje anatómico del pedículo, generalmente de 30 a 55 grados. En la inserción utilizan una inclinación máxima en el plano axial de 35 grados para evitar una excesiva retracción de los tejidos. El punto de entrada en la masa lateral corresponde al centro del círculo de la cortical del pedículo. Se disecciona la esponjosa del pedículo utilizando clavos guía, cuya orientación se verifica por fluoroscopia en diversas orientaciones.<sup>48,132</sup>

### ***Técnica de Nolte***

Es la única técnica aprobada por la FDA. Consiste en la superposición de imágenes virtuales en tiempo real de la proyección del tornillo, sobre imágenes axiales prequirúrgicas de tomografía computarizada o resonancia magnética.<sup>86</sup>

## **COMPLICACIONES DE LAS TÉCNICAS QUIRÚRGICAS**

Varios estudios han demostrado que este tipo de fijación transpedicular proporciona mayor estabilidad con respecto a otras técnicas; sin embargo, el riesgo de lesionar el cordón espinal, las raíces nerviosas o la arteria vertebral ha

limitado su uso, al igual que lo han limitado la gran variabilidad en las dimensiones y localización de los pedículos,<sup>107</sup> así como otro tipo de complicaciones.<sup>67,71</sup>

La laminectomía puede reducir el riesgo de mala posición por la visualización directa del canal espinal.<sup>58,59</sup> Kotil *et al.*,<sup>60</sup> 2011, en un estudio sobre la colocación de 210 tornillos transpediculares con ayuda de fluoroscopia biplanar, observan un riesgo de perforación del pedículo del 8%, pero no detectan lesión neurovascular.<sup>60</sup>

La inserción en la parte superior del pedículo es más segura que en la parte inferior en C6 y C7, pues se evita la perforación accidental de la arteria vertebral.<sup>46,47</sup> La angio-TAC es una herramienta valiosa que puede ayudar a determinar las relaciones entre los pedículos cervicales y la arteria vertebral.<sup>120</sup>

Oga *et al.*<sup>87</sup> (1996) realizaron un análisis utilizando radiografías, tomografía computarizada, resonancia magnética y hallazgos angiográficos para detectar cualquier tortuosidad de la arteria vertebral en pacientes con mielopatía cervical. Su intención era demostrar los factores de riesgo de lesión de la arteria vertebral durante la descompresión anterior. Sus resultados sugieren que esta arteria se vuelve tortuosa y desarrolla bucles en ciertas patologías, aumentando el riesgo de lesión durante la cirugía.<sup>87</sup>

El tornillo de fijación transpedicular es ventajoso para ciertas patologías de la columna cervical. Los datos biomecánicos por vía anterior muestran capacidades superiores de estabilización transpedicular para los pacientes con mala calidad ósea, graves lesiones espinales o inestabilidad en múltiples niveles.<sup>8</sup> Sin embargo, la justificación desde el punto de vista biomecánico tiene que ser ponderada contra el riesgo potencial de daño a las estructuras neurovasculares debido a perforación del tornillo.

Si bien los estudios clínicos reportan un riesgo relativamente bajo de complicaciones significativas, las características anatómicas de estos estudios no revelan el mismo éxito.<sup>61</sup> Se ha evaluado la viabilidad y la precisión de nuevos tornillos transpediculares subaxiales y las técnicas de colocación basadas en estudios morfométricos pre y postoperatorios, destacando la importancia de las mediciones morfométricas por TAC con reconstrucciones multiplanares para determinar las dimensiones y ejes subaxiales del pedículo,<sup>15,29,98,101</sup> así como las variaciones interindividuales del pedículo.

El porcentaje de perforación no debe ser subestimado<sup>58,121</sup> y se sugiere que los cirujanos con menos experiencia realicen este tipo de intervenciones con la ayuda de cirujanos expertos, con probadas habilidades quirúrgicas, para reducir el riesgo de lesiones neurovasculares y evitar complicaciones letales.<sup>130,133</sup>

En este sentido, Stemper *et al.*,<sup>113</sup> en 2008, intentan establecer la longitud segura de los tornillos siguiendo dos técnicas de fijación, la de Roy-Camille y la de Magerl. Sus resultados muestran variaciones significativas en cada nivel subaxial con ambas técnicas, por lo que sugieren realizar TAC preoperatorio sagital oblicuo para estimar la longitud adecuada del tornillo en cada nivel vertebral.<sup>113</sup> Así mismo, se han observado diferencias significativas en los puntos de inserción y orientación del tornillo pedicular entre los distintos niveles cervicales subaxiales<sup>97</sup> y, también, en las medidas pediculares entre hombres y mujeres.<sup>93,97,100,126,128</sup> Lo que vuelve a sugerir mitigar el riesgo de inserción del tornillo en la columna mediante la apreciación tridimensional de la anatomía del pedículo<sup>97</sup> y TAC preoperatorio.<sup>93,126,128</sup>

Zheng *et al.*<sup>134</sup> (2000), tras analizar la columna cervical baja mediante mediciones por TAC, concluyen que el diámetro pedicular mínimo se encuentra en C3 e incrementa caudalmente hasta C7, señalando además que la orientación del pedículo varía en tres dimensiones.<sup>134</sup>

Hasta el momento, la cirugía asistida por ordenador (CAS), con sistemas de orientación por imágenes, parece tener la menor tasa de afectación pedicular. Sin embargo, incluso cuando se utilizan CAS, algunos tornillos todavía causan perforación de la pared; Kotil K *et al.*<sup>60</sup> (2011) refieren un riesgo de perforación del 8%, sin lesión neurovascular, al realizar la fijación transpedicular cervical con ayuda de un fluoroscopio biplanar. Más recientemente, la utilización de sistemas de navegación tridimensional (Iso-C 3D) parece mejorar la precisión en la colocación del tornillo, además de disminuir el tiempo requerido con la fluoroscopia.<sup>64,119,129</sup>

La tendencia a la perforación de la pared lateral del pedículo es superior a la perforación de la pared medial.<sup>50</sup> Una de las razones puede ser el hecho de que la pared lateral del pedículo es más delgada y, por tanto, menos resistente. Otra razón pueden ser ángulos de inserción demasiado pronunciados. En cualquier caso, hay que reconocer el hecho de que en un entorno clínico las diferencias en las dimensiones del pedículo tienen que ser cuidadosamente analizadas y dirigidas.<sup>42,75,93</sup> Los pedículos con segmentos y diámetros interiores pequeños, o sin canal medular, deben quedar excluidos del procedimiento.<sup>42,75</sup>

Otro tipo de complicaciones referidas después de la cirugía de columna cervical anterior es la incidencia de disfagia que, aunque en la mayoría de los pacientes desaparece hacia el sexto mes, persiste en un moderado número de pacientes después de seis meses de la operación, fundamentalmente en mujeres.<sup>15</sup> Así mismo, se han descrito casos de perforación esofágica tanto durante la operación, como en el postoperatorio, o incluso semanas o meses después,<sup>85</sup> siendo una causa frecuente la migración del tornillo con posterioridad a la cirugía.<sup>57</sup>

En definitiva, los estudios biomecánicos revelan un efecto estabilizador superior y corrección de deformidades cervicales, cuando se utiliza la fijación por tornillo pedicular en la columna cervical.<sup>1</sup> Las complicaciones asociadas con la

fijación cervical de tornillos pediculares pueden minimizarse con los pertinentes estudios de imagen preoperatorios de los pedículos y con un control estricto de la inserción del tornillo.<sup>1,3,4,116</sup> Confirmando la utilidad y precisión de este tipo de procedimientos para la reconstrucción de la columna cervical en varios tipos de lesiones.<sup>1,3,4</sup> Los estudios en cadáveres siguen siendo obligatorios para desarrollar técnicas más seguras y procedimientos técnicamente menos exigentes.<sup>99</sup>

## **HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

## **HIPÓTESIS**

La colocación de tornillos transpediculares, en las vértebras cervicales C3 a C6, puede no ser una técnica adecuada para estabilizar la columna en los pacientes mexicanos, dado que en esta población el diámetro en anchura de los pedículos es menor que el diámetro de los tornillos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la morfología de los pedículos en las vértebras cervicales C3-C7.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Primero.** Medir la longitud, anchura y altura de los pedículos de las vértebras cervicales mediante antropometría directa, en la población mexicana.
- Segundo.** Determinar la longitud, anchura y altura de los pedículos de las vértebras cervicales mediante técnicas de imagen sobre TAC, en la población mexicana.
- Tercero.** Analizar si existen diferencias en las medidas del pedículo vertebral cervical realizadas por ambos métodos.
- Cuarto.** Establecer las medidas permisibles para la colocación de tornillos en cada nivel vertebral cervical (C3-C7) en la población mexicana.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

## **MATERIAL**

### **MATERIAL DE ESTUDIO EN EL CADÁVER**

#### ***Diseño***

Se realizó un estudio de tipo observacional, transversal y comparativo.

#### ***Población de Estudio***

Universo: se incluyeron un total de 30 cadáveres de la población mexicana, proporcionados por el Anfiteatro del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” de Monterrey, Nuevo León, México.

Determinación del tamaño de la muestra: el muestreo fue por conveniencia, basado en la disponibilidad de cadáveres para el estudio.

#### ***Características de la población de estudio***

##### **A) Criterios de inclusión:**

- Cadáveres donados por el Anfiteatro del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”; los cuales cumplieron las normativas ético legales para la donación, uso y manejo de cuerpos de manera post mortem.
- Ausencia de patologías en columna cervical, tanto congénitas como adquiridas.

##### **B) Criterios de exclusión:**

- Presencia de procedimientos quirúrgicos realizados en la región cervical.
- Identificación de enfermedades osteodegenerativas.

##### **C) Criterios de eliminación:**

- Factores externos, o propios de la técnica, que impidan llevar a cabo alguno de los métodos de imagen ó la medición directa en el cadáver.

**Material de Laboratorio**

- Bisturí
- Tijera, punta fina A=110
- Pinza, punta roma A=145
- Escalpelo hoja 35mm A=150
- Escalpelo hoja 45mm A=160
- Tijera de disección A=140
- Pinza de disección A=120
- Aguja de disección A=140
- Lanceta A=140
- Calibrador Vernier (Fig. 11).
- Regla



**Figura 11.** Calibrador Vernier utilizado para la medición vertebral.

## MATERIAL DE ESTUDIO POR TÉCNICAS DE IMAGEN

### ***Diseño***

Se realizó un estudio de tipo observacional, descriptivo, transversal y no comparativo.

### ***Población de estudio***

Universo: Pacientes de la Consulta Externa de Neurocirugía del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” de Monterrey, Nuevo León, México, desde Enero hasta Julio de 2012. Se incluyeron un total de 30 Pacientes.

Determinación del tamaño de la muestra: el muestreo fue por conveniencia, basado en la disponibilidad de pacientes para el estudio.

### ***Características de la Población de Estudio***

#### **A) Criterios de inclusión:**

- Pacientes de la Consulta Externa de Neurocirugía del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”.
- Pacientes atendidos en el período de tiempo de Enero a Julio de 2012.
- Pacientes con cervicoartralgia o eventos traumáticos en columna cervical.

#### **B) Criterios de exclusión:**

- Pacientes con procesos infecciosos.
- Pacientes con procedimientos quirúrgicos previos.

#### **C) Criterios de eliminación:**

- Pacientes cuyo estudio no pudo ser concluido por fallos en el sistema.

### **Material de Laboratorio**

Para la realización de este estudio se utilizó el Tomógrafo Axial General Electric VCT Light Speed, Modelo 2009, de 64 cortes con rotación (Fig. 12).



**Figura 12.** Tomógrafo Axial General Electric VCT Light Speed.

## **MÉTODOS**

### **MÉTODO DE ESTUDIO EN EL CADÁVER**

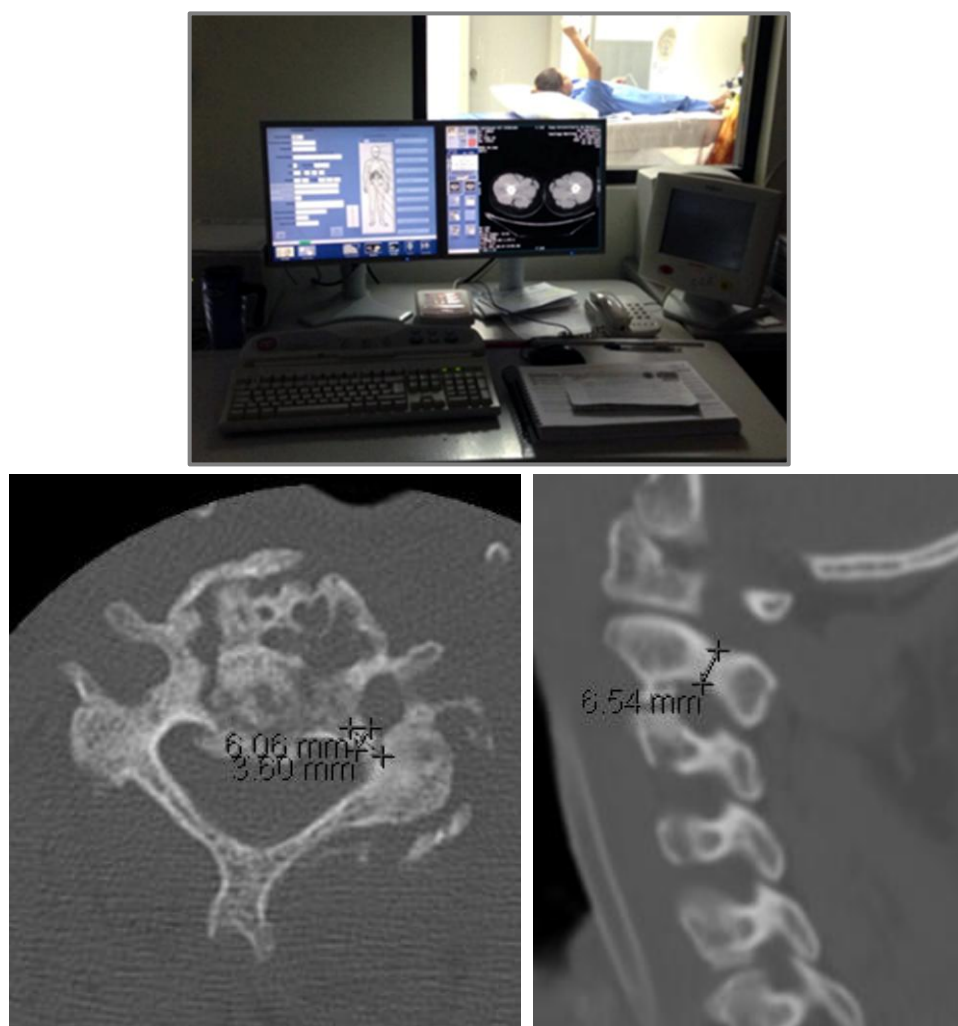
Se analizaron las vértebras cervicales desde C3 hasta C7 de un total de 30 cadáveres, donados al Departamento de Anatomía Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Monterrey, México). Se realizó antropometría directa con el calibrador Vernier (Figs. 11 y 13), determinando las variables definidas más abajo.



**Figura 13.** Técnica de medición vertebral mediante el uso de un calibrador Vernier.

## MÉTODO DE ESTUDIO POR TÉCNICAS DE IMAGEN

Se efectuó el análisis tomográfico de 30 pacientes de la Consulta Externa de Neurocirugía del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”, desde Enero hasta Julio del 2012. En cada paciente, y para cada vértebra cervical desde C2 hasta C7, se realizaron dos proyecciones, axial y sagital, valorando las secciones axiales y parasagitales con el fin de determinar la anchura, altura y longitud del pedículo vertebral (Fig. 14). Los resultados fueron capturados en una base diseñada para tal efecto en el programa IBM Statistic SPSS, versión 21, para su posterior análisis.



**Figura 14.** Técnica de medición sobre los TACs. A la izquierda, sección transversal (o axial) mostrando las medidas longitud y anchura del pedículo. A la derecha, sección parasagital, se indica la altura del pedículo.

## DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA AMBOS TIPOS DE ESTUDIO

En el presente estudio se han definido las siguientes variables (Figs. 15-17).<sup>14</sup>

- **Pedículo vertebral** (se considera el punto medio del pedículo) (Fig. 16):
  - **Anchura pedicular:** distancia entre los bordes medial y lateral del pedículo, medido desde ambas cortezas exteriores (Fig. 17).
  - **Longitud pedicular:** distancia entre el límite anterior de la faceta articular superior y el límite posterior del cuerpo vertebral (Fig. 17).
  - **Altura del pedículo:** distancia entre los bordes superior e inferior (Fig. 17).
- **Cuerpo vertebral** (Fig. 16):
  - **Diámetro antero-posterior del cuerpo vertebral:** distancia en la línea media del cuerpo vertebral desde la cara anterior a la cara posterior (Fig. 17).
  - **Altura del cuerpo vertebral:** distancia entre los bordes superior e inferior del cuerpo vertebral en la línea media que corre a través de la cara anterior (Fig. 17).
- **Apófisis espinosa** (Fig. 16):
  - **Longitud:** Tomada en el borde superior, en la línea media, distancia entre el punto de unión de las dos láminas y el vértice (Fig. 17).
- **Lámina** (Fig. 16):
  - **Altura:** distancia entre los bordes superior e inferior.
  - **Anchura o longitud transversa:** distancia entre el proceso espinoso y el borde lateral del proceso articular superior (Fig. 17).
- **Apófisis articulares superiores (e inferiores)** (Fig. 16):
  - **Altura:** medida desde el borde inferior (o superior) al vértice superior (o inferior) del proceso.
  - **Anchura:** longitud del diámetro transversal del proceso (Fig. 17).

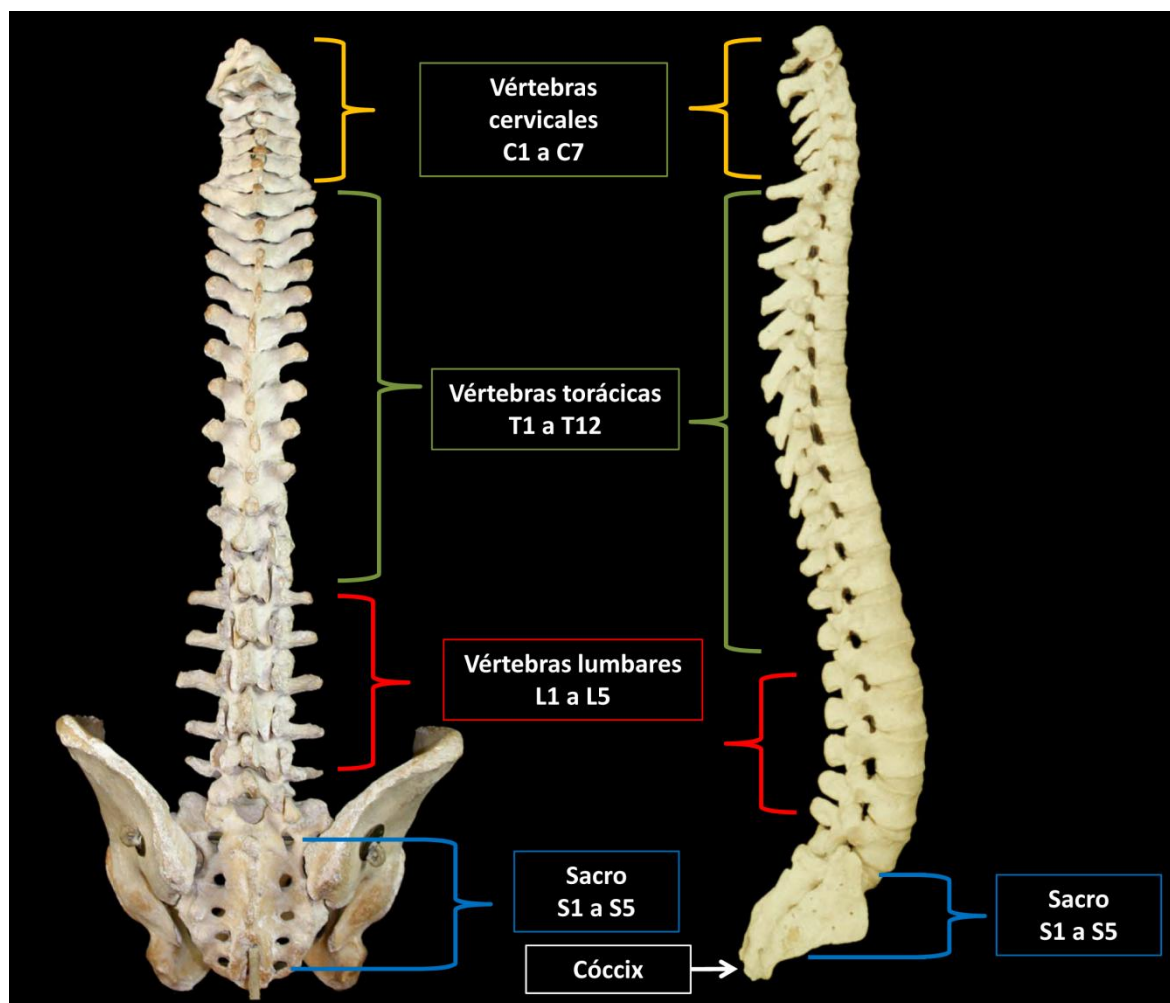
En el estudio por técnicas de imagen (TACs) se han determinado los siguientes parámetros sobre el pedículo vertebral:

- **Pedículo vertebral (TACs):**

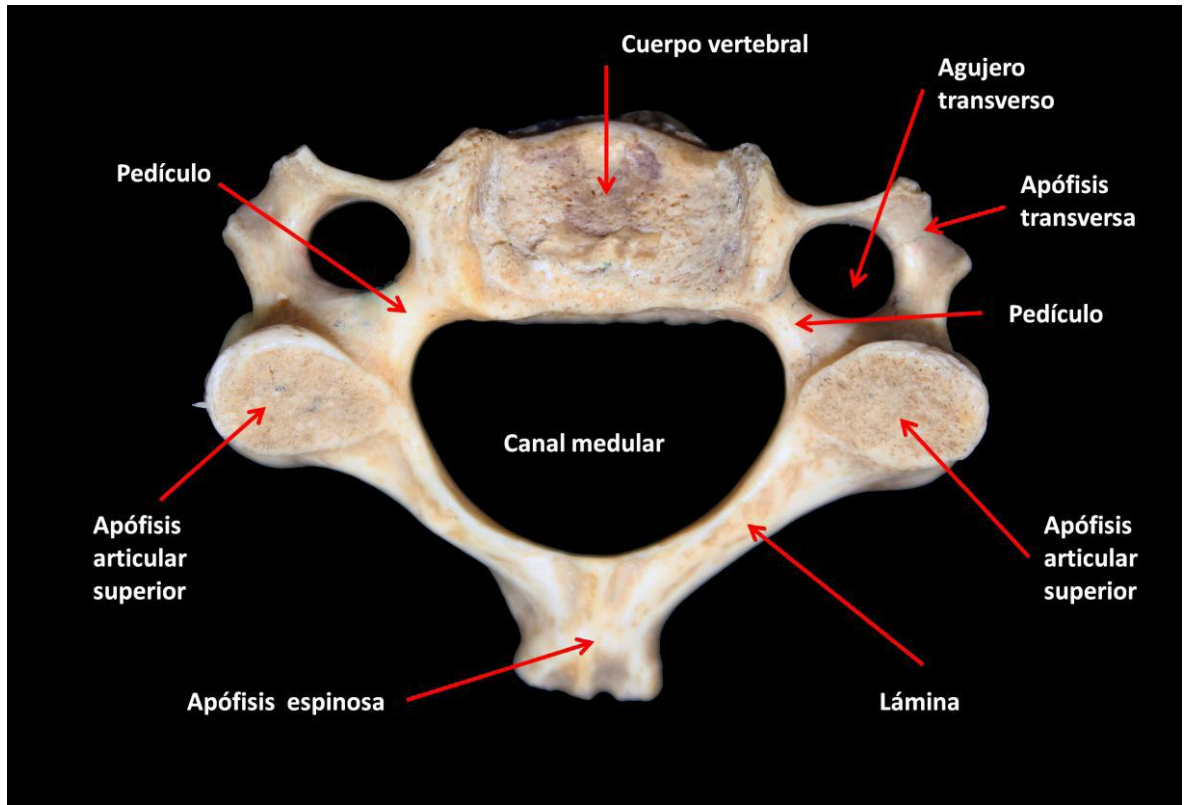
- **Diámetro antero-posterior:** medido sobre las secciones transversales (o axiales), corresponde a la **longitud pedicular** determinada en el cadáver.
- **Diámetro axial:** medido sobre las secciones transversales (o axiales), corresponde a la **anchura pedicular** determinada en el cadáver (Fig. 14).
- **Altura del pedículo:** medida sobre las secciones parasagitales, corresponde a la **altura pedicular** determinada en el cadáver (Fig. 14).

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

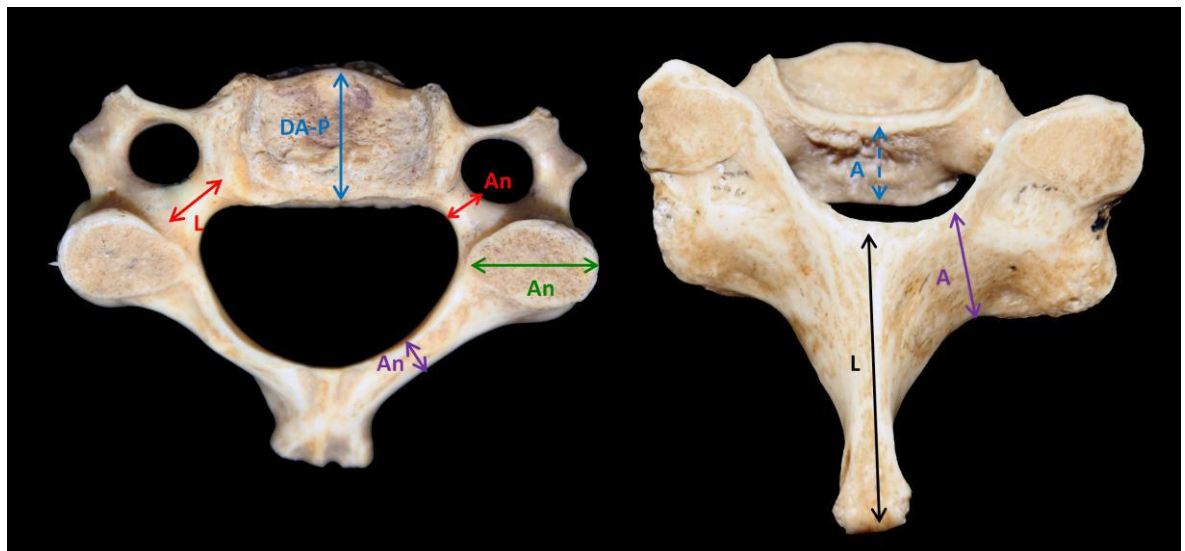
Los resultados obtenidos fueron recabados en una base de datos desarrollada en programa SPSS 21 para su posterior análisis en el mismo software. Se obtuvieron, de todas las variables evaluadas, los estadísticos descriptivos tradicionales: medidas de tendencia central (media, mediana y moda), medidas de dispersión (varianza, desviación estándar y coeficiente de variación) y medidas de posición (cuartiles, quintiles y deciles) en el caso de variables cuantitativas; en las variables de tipo cualitativo, se determinó la frecuencia. La comparación de variables se realizó con pruebas de hipótesis mediante el test de la *t* de Student, con un intervalo de confianza del 95%.



**Figura 15.** Regiones de la columna vertebral en vistas posterior y lateral. La imagen de la izquierda ha sido realizada de una pieza del Departamento de Anatomía y Embriología Humana I, Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid. La imagen de la derecha ha sido tomada de Rohen *et al.*<sup>102</sup>



**Figura 16.** Detalles anatómicos de una vértebra cervical, en visión superior, sobre los que se han definido las variables del presente estudio.



**Figura 17.** Vista superior de una vértebra lumbar. Representación de las variables analizadas: **Cuerpo vertebral** ( $\leftrightarrow$ ): DA-P= diámetro antero-posterior, A: altura. **Pedículo** ( $\leftrightarrow$ ): L= longitud, An= anchura. **Lámina** ( $\leftrightarrow$ ): A= altura, An= anchura; **Apófisis articular superior** ( $\leftrightarrow$ ): An= anchura. **Apófisis espinosa** ( $\leftrightarrow$ ): L= longitud.

## **RESULTADOS**

## ESTUDIOS REALIZADOS EN CADÁVER

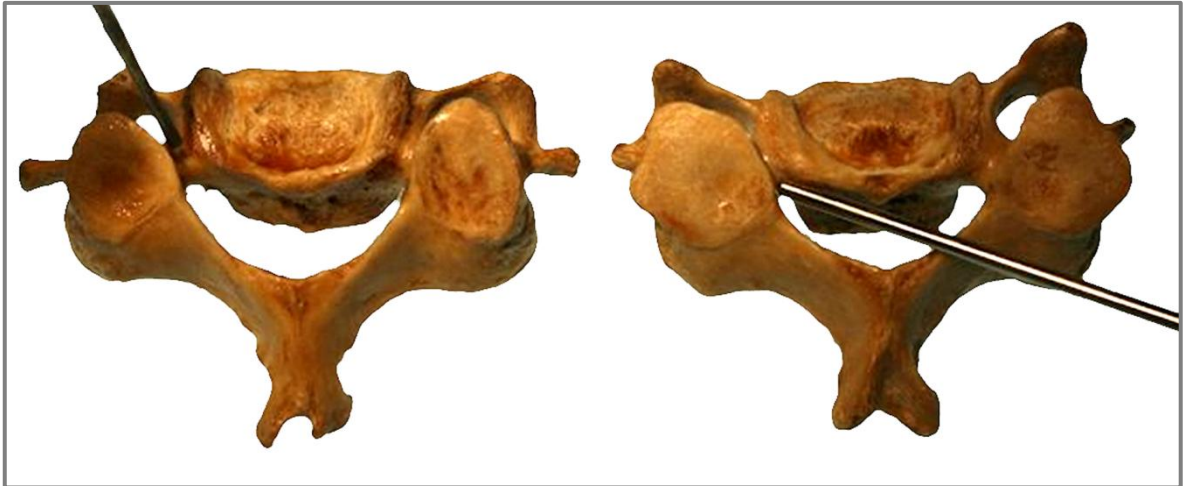
Se evaluaron las vértebras cervicales en un total de 30 cadáveres, los cuales fueron donados por el Anfiteatro del Hospital Universitario “Dr. José E. González Mendoza”. A las vértebras cervicales C3-C7 (Figs. 18-22) se les realizaron por triplicado las mediciones que se indican en el apartado de Material y Métodos (Fig. 17).



**Figura 18.** Visión posterosuperior de las dos primeras vértebras cervicales, atlas y axis. Se señala el pedículo vertebral.



**Figura 19.** Visión posterosuperior de una vértebra cervical. Se señala el pedículo vertebral.



**Figura 20.** Visión posterosuperior de dos vértebras cervicales. Se señala el pedículo vertebral.



**Figura 21.** Visión lateral del conjunto de las vértebras cervicales. Se señala el pedículo vertebral.



**Figura 22.** Visión posterior del conjunto de las vértebras cervicales. Se señala el pedículo vertebral.

El análisis descriptivo general del total de vértebras cervicales medidas se representa en la Tabla 1; para todas las variables, mostradas en esta tabla, los errores típicos de asimetría y de curtosis fueron 0.34 y 0.36, respectivamente.

Al segmentar este análisis, según la vértebra cervical evaluada, se pueden apreciar los comportamientos individuales de cada vértebra desde C3 hasta C7 (Tablas 2-6); los errores típicos de asimetría y de curtosis, para todas las variables descritas en estas tablas, fueron 0.69 y 1.33, respectivamente.

**Tabla 1.** Análisis descriptivo de las evaluaciones antropométricas del total de vértebras cervicales estudiadas.

Variables	Medidas de las Vértebras Cervicales C3 – C7						
	Mínimo	Máximo	Media			Asimetría	Curtosis
			Est	ET	DT		
<b>Pedículo</b>							
Longitud I	2.57	6.53	5.13	0.13	0.92	-0.51	0.18
Longitud D	3.48	7.46	5.35	0.12	0.86	-0.29	-0.07
Anchura I	2.95	10.11	4.90	0.11	1.28	1.37	4.48
Anchura D	3.17	9.64	5.25	0.16	1.13	1.05	3.66
Altura I	4.93	9.31	7.36	0.14	0.96	-0.24	-0.13
Altura D	5.37	9.70	7.30	0.14	1.00	0.17	-0.20
<b>Cuerpo</b>							
AP	12.13	18.97	15.34	0.21	1.52	0.06	-0.39
Alto	10.08	15.30	12.17	0.19	1.36	0.60	-0.71
<b>A Espinosa</b>							
Longitud	12.66	35.30	21.39	0.83	5.90	0.87	0.09
<b>Lámina</b>							
Altura	9.38	16.62	12.75	0.25	1.75	0.30	-0.57
Anchura	12.02	17.93	14.97	0.20	1.40	0.03	-0.33
<b>Art Sup</b>							
Altura	7.31	14.27	8.98	0.30	2.10	-0.90	6.77
Anchura	7.11	12.78	9.48	0.27	1.89	-2.62	12.21
<b>Art Inf</b>							
Altura	7.13	13.58	9.43	0.24	1.70	0.64	-0.31
Anchura	5.96	13.57	9.77	0.22	1.56	-0.07	0.12

**Est:** valor estadístico; **ET:** error típico; **DT:** desviación típica; **Longitud I/D:** longitud del pedículo izquierdo/derecho; **Anchura I/D:** anchura del pedículo izquierdo/derecho; **Altura I/D:** altura del pedículo izquierdo/derecho; **AP:** diámetro antero-posterior; **A Espinosa:** apófisis espinosa; **Art Sup:** apófisis articulares superiores; **Art Inf:** apófisis articulares inferiores. n=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

**Tabla 2.** Análisis descriptivo de las mediciones realizadas a la tercera vértebra cervical (C3).

Variables	Medidas de la Vértebra Cervical C3						
	Mínimo	Máximo	Media			Asimetría	Curtosis
			Est	ET	DT		
<b>Pedículo</b>							
Longitud I	4.00	6.47	5.48	0.26	0.83	-0.42	-0.58
Longitud D	3.90	6.60	5.33	0.23	0.73	-0.38	1.19
Anchura I	3.26	10.11	4.99	0.63	2.01	2.12	5.19
Anchura D	3.48	9.64	5.51	0.53	1.67	1.83	4.42
Altura I	5.29	8.85	7.44	0.33	1.05	-0.75	0.57
Altura D	5.37	9.22	7.43	0.39	1.24	-0.16	-0.60
<b>Cuerpo</b>							
AP	12.13	17.31	14.36	0.55	1.75	0.35	-1.20
Alto	11.07	14.92	12.64	0.49	1.56	0.36	-1.83
<b>A Espinosa</b>							
Longitud	12.99	22.03	17.51	0.86	2.71	-0.11	-0.41
<b>Lámina</b>							
Altura	9.38	14.36	11.75	0.56	1.76	0.34	-1.44
Anchura	12.55	15.80	14.40	0.30	0.94	-0.40	0.82
<b>Art Sup</b>							
Altura	6.74	14.27	9.31	0.81	2.56	1.28	0.65
Anchura	6.93	12.78	9.36	0.51	1.60	0.75	1.68
<b>Art Inf</b>							
Altura	7.13	13.58	10.48	0.81	2.56	-0.22	-1.69
Anchura	6.74	12.26	9.89	0.48	1.53	-0.60	1.15

**Est:** valor estadístico; **ET:** error típico; **DT:** desviación típica; **Longitud I/D:** longitud del pedículo izquierdo/derecho; **Anchura I/D:** anchura del pedículo izquierdo/derecho; **Altura I/D:** altura del pedículo izquierdo/derecho; **AP:** diámetro antero-posterior; **A Espinosa:** apófisis espinosa; **Art Sup:** apófisis articulares superiores; **Art Inf:** apófisis articulares inferiores. n=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

**Tabla 3.** Análisis descriptivo de las mediciones realizadas a la cuarta vértebra cervical (C4).

Variables	Medidas de la Vértebra Cervical C4						
	Mínimo	Máximo	Media			Asimetría	Curtosis
			Est	ET	DT		
<b>Pedículo</b>							
Longitud I	4.45	6.44	5.46	0.19	0.61	0.31	-0.23
Longitud D	3.66	7.46	5.48	0.32	1.01	0.31	1.41
Anchura I	2.95	6.01	4.47	0.31	0.97	-0.09	-0.73
Anchura D	3.17	6.22	4.73	0.30	0.94	-0.04	-0.77
Altura I	6.28	9.31	7.50	0.29	0.92	0.82	0.56
Altura D	6.74	8.75	7.62	0.22	0.70	0.37	-1.32
<b>Cuerpo</b>							
AP	13.76	16.89	14.86	0.30	0.96	0.91	0.99
Alto	10.39	13.22	11.78	0.33	1.03	0.20	-1.75
<b>A Espinosa</b>							
Longitud	12.66	22.02	17.92	1.11	3.52	-0.46	-1.37
<b>Lámina</b>							
Altura	10.57	13.43	12.05	0.32	1.01	-0.24	-1.15
Anchura	12.02	16.67	14.79	0.48	1.52	-0.75	-0.62
<b>Art Sup</b>							
Altura	8.07	13.64	9.78	0.54	1.69	1.41	2.03
Anchura	8.34	10.96	9.58	0.25	0.80	0.01	-0.45
<b>Art Inf</b>							
Altura	7.65	12.03	9.52	0.42	1.33	0.47	-0.14
Anchura	7.70	11.38	9.54	0.38	1.19	0.18	-1.07

**Est:** valor estadístico; **ET:** error típico; **DT:** desviación típica; **Longitud I/D:** longitud del pedículo izquierdo/derecho; **Anchura I/D:** anchura del pedículo izquierdo/derecho; **Altura I/D:** altura del pedículo izquierdo/derecho; **AP:** diámetro antero-posterior; **A Espinosa:** apófisis espinosa; **Art Sup:** apófisis articulares superiores; **Art Inf:** apófisis articulares inferiores. n=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

**Tabla 4.** Análisis descriptivo de las mediciones realizadas a la quinta vértebra cervical (C5).

Variables	Medidas de la Vértebra Cervical C5						
	Mínimo	Máximo	Media			Asimetría	Curtosis
			Est	ET	DT		
<b>Pedículo</b>							
Longitud I	3.86	6.53	5.05	0.31	0.98	0.30	-1.57
Longitud D	3.48	6.33	5.19	0.32	1.01	-0.70	-0.89
Anchura I	3.08	6.13	4.84	0.31	0.97	-0.28	-0.48
Anchura D	3.27	6.96	5.18	0.35	1.12	-0.15	-0.31
Altura I	4.93	9.06	7.38	0.39	1.25	-0.70	0.33
Altura D	5.37	9.70	7.23	0.45	1.42	0.56	-0.78
<b>Cuerpo</b>							
AP	13.65	18.97	15.68	0.51	1.62	0.70	0.64
Alto	10.08	11.98	11.09	0.18	0.57	-0.12	-0.24
<b>A Espinosa</b>							
Longitud	15.55	21.81	18.72	0.74	2.35	-0.05	-1.60
<b>Lámina</b>							
Altura	10.50	13.66	12.07	0.34	1.08	-0.15	-1.43
Anchura	13.28	17.35	15.35	0.45	1.42	-0.09	-1.15
<b>Art Sup</b>							
Altura	8.02	10.99	9.05	0.34	1.06	0.91	-0.70
Anchura	6.59	11.86	9.96	0.49	1.56	-0.97	1.34
<b>Art Inf</b>							
Altura	7.47	11.16	8.59	0.36	1.14	1.41	1.89
Anchura	5.96	10.73	8.74	0.51	1.60	-0.40	-0.74

**Est:** valor estadístico; **ET:** error típico; **DT:** desviación típica; **Longitud I/D:** longitud del pedículo izquierdo/derecho; **Anchura I/D:** anchura del pedículo izquierdo/derecho; **Altura I/D:** altura del pedículo izquierdo/derecho; **AP:** diámetro antero-posterior; **A Espinosa:** apófisis espinosa; **Art Sup:** apófisis articulares superiores; **Art Inf:** apófisis articulares inferiores. n=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

**Tabla 5.** Análisis descriptivo de las mediciones realizadas a la sexta vértebra cervical (C6).

Variables	Medidas de la Vértebra Cervical C6						
	Mínimo	Máximo	Media			Asimetría	Curtosis
			Est	ET	DT		
<b>Pedículo</b>							
Longitud I	2.57	6.30	4.77	0.41	1.30	-0.51	-0.68
Longitud D	3.80	6.63	5.48	0.31	0.98	-0.73	-0.91
Anchura I	3.22	6.36	5.16	0.30	0.94	-0.90	0.62
Anchura D	3.94	5.94	5.26	0.21	0.68	-0.77	-0.33
Altura I	6.03	8.34	7.18	0.23	0.72	-0.31	-0.42
Altura D	5.55	7.67	6.94	0.20	0.65	-1.21	1.26
<b>Cuerpo</b>							
AP	13.63	18.34	16.08	0.45	1.41	-0.05	-0.32
Alto	10.25	13.46	11.92	0.30	0.95	0.08	-0.01
<b>A Espinosa</b>							
Longitud	16.08	30.76	23.33	1.38	4.36	0.28	-0.13
<b>Lámina</b>							
Altura	10.86	14.97	12.82	0.44	1.38	10.86	-1.07
Anchura	12.12	17.93	14.96	0.52	1.64	12.12	0.33
<b>Art Sup</b>							
Altura	6.42	11.08	8.85	0.42	1.33	-0.19	0.15
Anchura	6.58	11.87	9.88	0.50	1.60	-0.91	0.50
<b>Art Inf</b>							
Altura	7.42	10.76	8.64	0.37	1.17	0.83	-0.62
Anchura	7.60	12.32	10.21	0.44	1.40	-0.53	-0.05

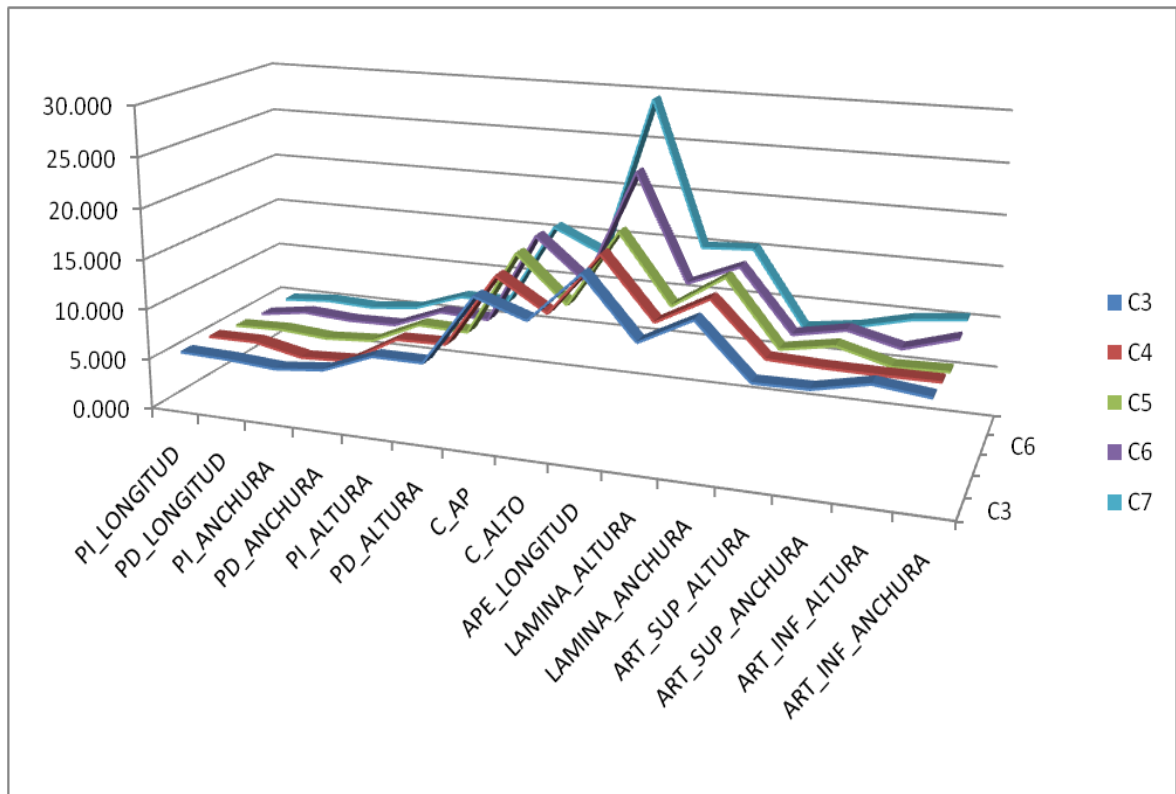
**Est:** valor estadístico; **ET:** error típico; **DT:** desviación típica; **Longitud I/D:** longitud del pedículo izquierdo/derecho; **Anchura I/D:** anchura del pedículo izquierdo/derecho; **Altura I/D:** altura del pedículo izquierdo/derecho; **AP:** diámetro antero-posterior; **A Espinosa:** apófisis espinosa; **Art Sup:** apófisis articulares superiores; **Art Inf:** apófisis articulares inferiores. n=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

**Tabla 6.** Análisis descriptivo de las mediciones realizadas a la séptima vértebra cervical (C7).

Variables	Medidas de la Vértebra Cervical C7						
	Mínimo	Máximo	Media			Asimetría	Curtosis
			Est	ET	DT		
<b>Pedículo</b>							
Longitud I	3.99	5.74	4.87	0.19	0.60	-0.36	-1.19
Longitud D	4.12	6.03	5.26	0.20	0.65	-0.64	-0.91
Anchura I	3.35	7.70	5.05	0.42	1.33	0.51	0.35
Anchura D	3.65	7.54	5.58	0.32	1.02	0.02	1.43
Altura I	6.16	8.53	7.29	0.30	0.96	0.01	-1.75
Altura D	5.89	8.51	7.31	0.27	0.85	-0.11	-0.85
<b>Cuerpo</b>							
AP	13.40	17.11	15.70	0.42	1.34	-0.85	-0.57
Alto	11.18	15.30	13.44	0.41	1.31	-0.70	-0.19
<b>A Espinosa</b>							
Longitud	18.60	35.30	29.48	1.75	5.52	-0.88	-0.03
<b>Lámina</b>							
Altura	12.73	16.62	15.04	0.40	1.27	-0.79	0.09
Anchura	13.35	17.87	15.36	0.45	1.44	0.42	-0.69
<b>Art Sup</b>							
Altura	---	11.60	7.91	1.00	3.09	-2.04	5.54
Anchura	---	10.65	8.64	1.00	3.17	-2.72	7.81
<b>Art Inf</b>							
Altura	7.19	11.82	9.90	0.43	1.36	-0.89	0.72
Anchura	8.37	13.57	10.45	0.55	1.73	0.63	-0.61

**Est:** valor estadístico; **ET:** error típico; **DT:** desviación típica; **Longitud I/D:** longitud del pedículo izquierdo/derecho; **Anchura I/D:** anchura del pedículo izquierdo/derecho; **Altura I/D:** altura del pedículo izquierdo/derecho; **AP:** diámetro antero-posterior; **A Espinosa:** apófisis espinosa; **Art Sup:** apófisis articulares superiores; **Art Inf:** apófisis articulares inferiores. n=30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas en mm.

Al representar gráficamente todos los valores promedio evaluados anteriormente, según vértebra, se obtuvo la figura 23 que indica un comportamiento similar en todas las vértebras.

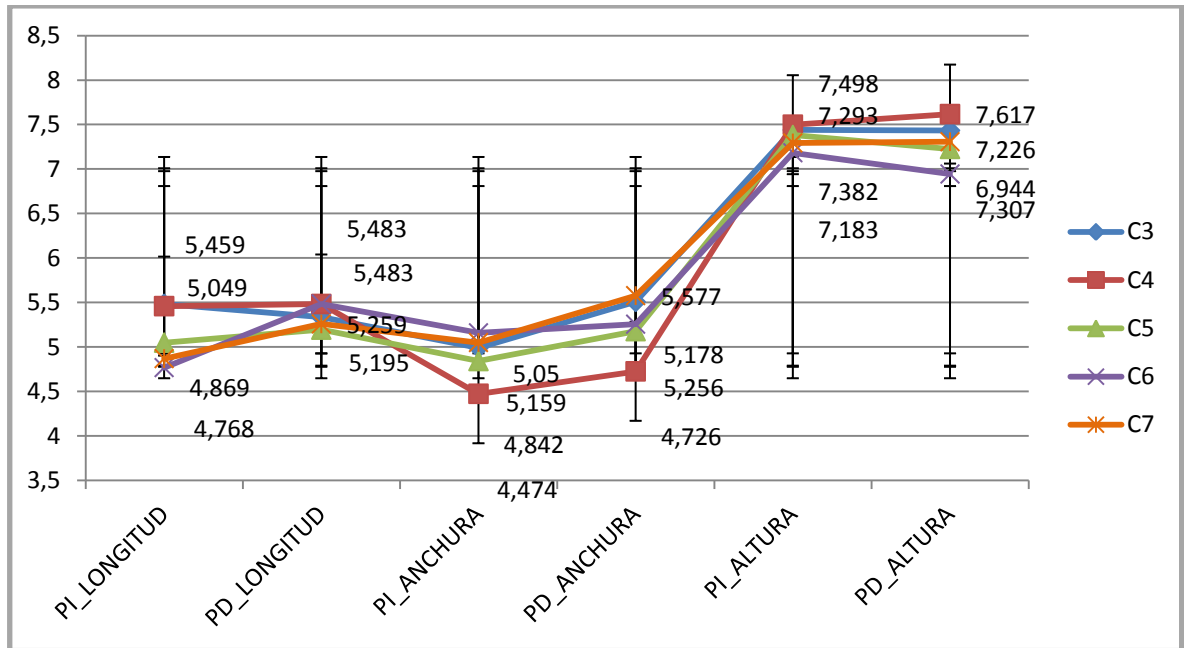


**Figura 23.** Comparación gráfica de los valores promedio de las variables estudiadas, según la vértebra (C3-C7). **PI:** pedículo izquierdo; **PD:** pedículo derecho; **C:** cuerpo; **AP:** diámetro antero-posterior; **APE:** apófisis espinosa; **Art Sup:** apófisis articulares superiores; **Art Inf:** apófisis articulares inferiores. n= 30. Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas aleatorias.

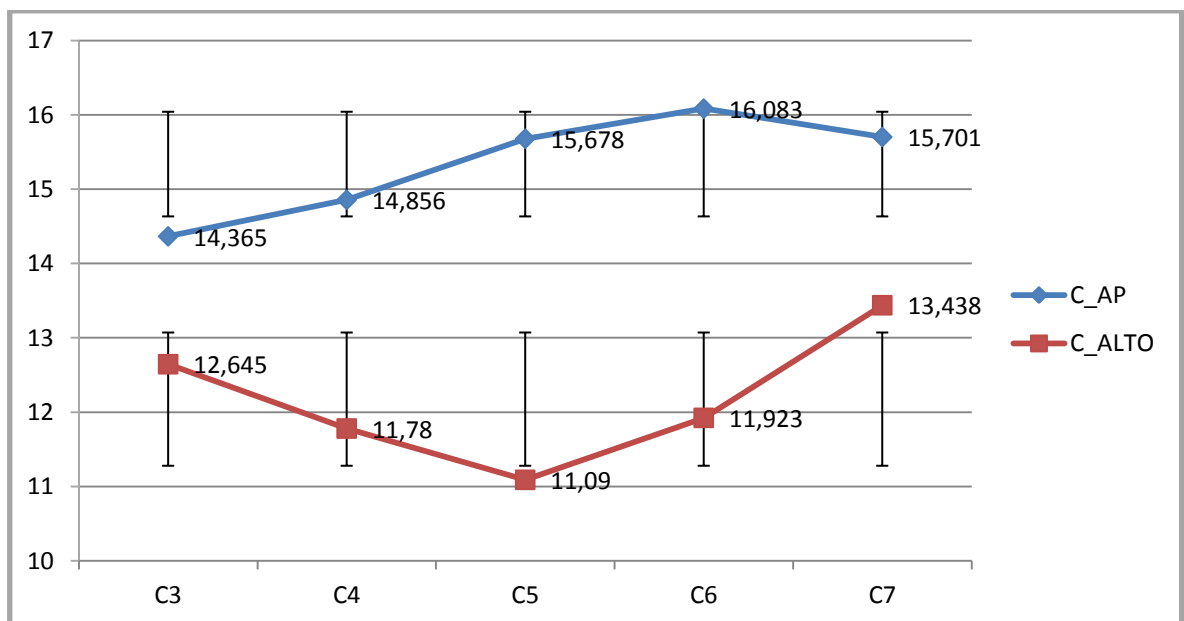
De manera muy general, la longitud del pedículo medida en el cadáver se mantiene similar en todas las vértebras, pero con una leve tendencia a disminuir desde C3 hasta C7. De otra parte, los valores de anchura y altura del pedículo también muestran escasa variación en todas las vértebras cervicales analizadas (Tablas 2-6 y Figs. 23-28).

Con respecto al diámetro AP y altura del cuerpo, y anchura y altura de la lámina, se observa una leve tendencia al aumento desde C3 hasta C7 en las cuatro variables (Tablas 2-6 y Figs. 23-28).

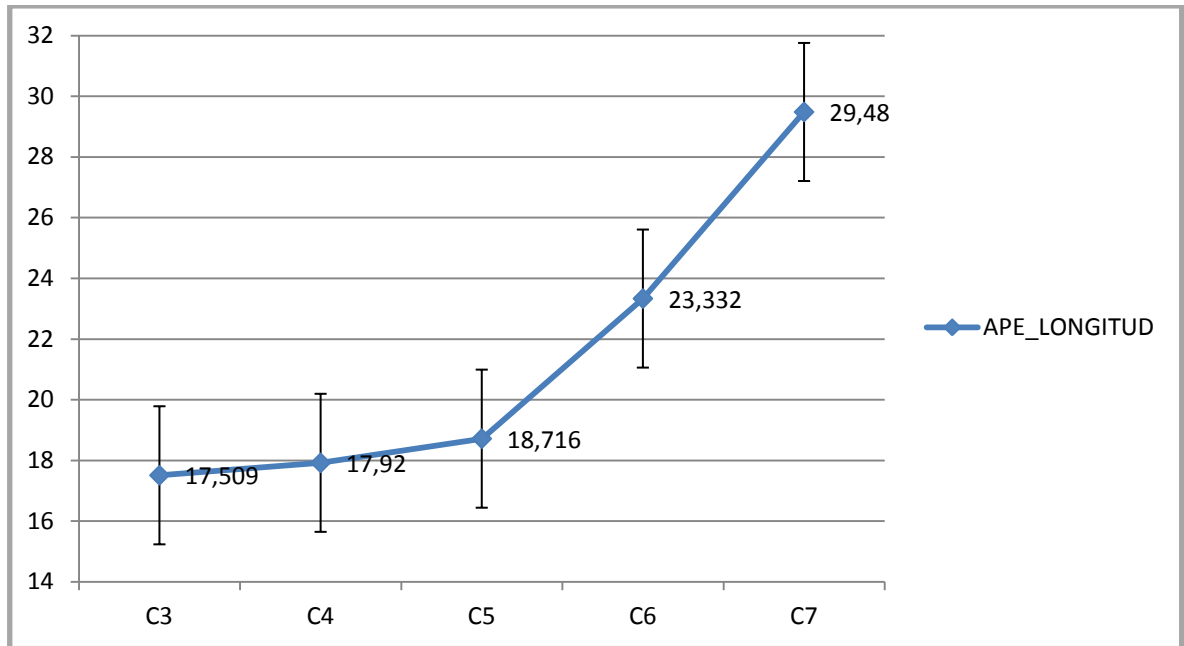
Finalmente, la longitud de la apófisis espinosa incrementa ligeramente de C3 a C5, para aumentar de forma brusca de C5 a C7 (Tablas 2-6 y Figs. 23-28).



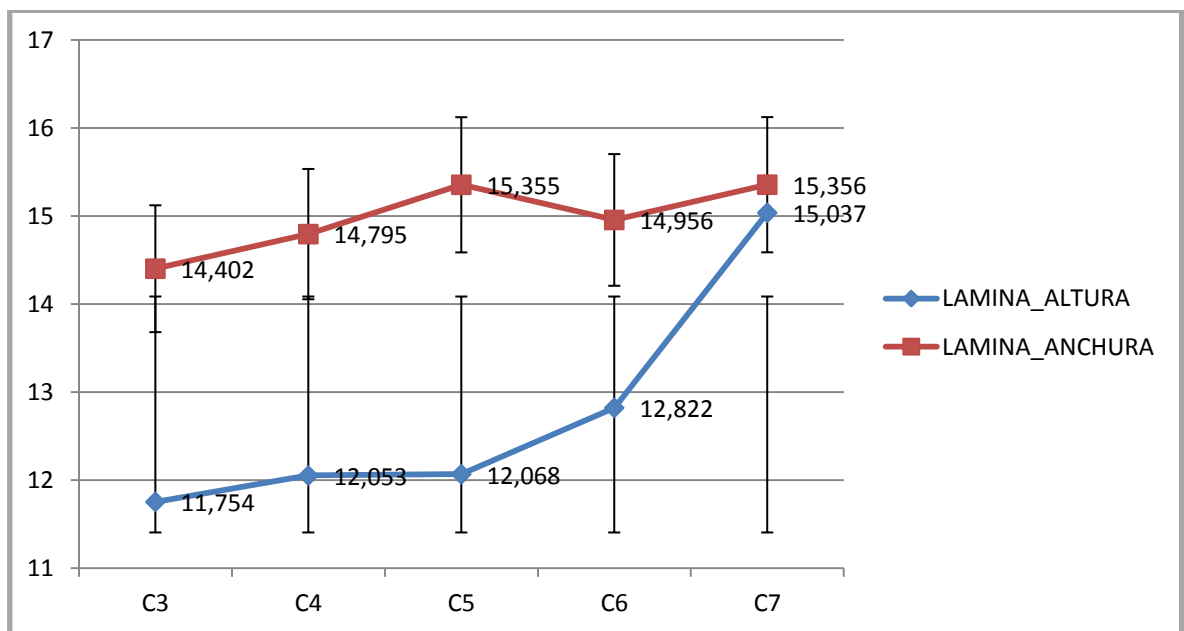
**Figura 24.** Comparación gráfica de las medidas promedio de los pedículos en las distintas vértebras cervicales (C3-C7). **PI:** pedículo izquierdo; **PD:** pedículo derecho. n= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas aleatorias.



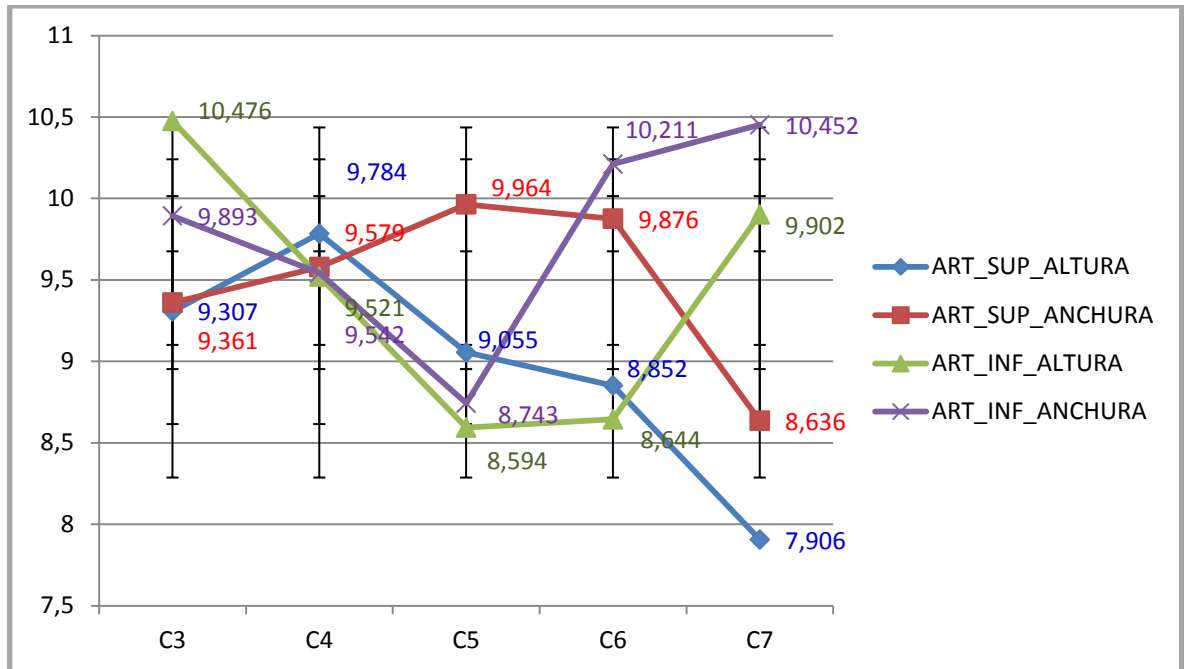
**Figura 25.** Comparación gráfica de las medidas promedio de los cuerpos vertebrales en las distintas vértebras cervicales (C3-C7). **C:** cuerpo; **AP:** diámetro antero-posterior. n= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas aleatorias.



**Figura 26.** Comparación gráfica de las longitudes promedio de las apófisis espinosas de las distintas vértebras cervicales (C3-C7). **APE:** apófisis espinosa. n= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas aleatorias.



**Figura 27.** Comparación gráfica de las medidas promedio de las láminas de las distintas vértebras cervicales (C3-C7). n= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas aleatorias.



**Figura 28.** Comparación gráfica de las medidas promedio de las apófisis articulares de las distintas vértebras cervicales (C3-C7). **Art Sup:** apófisis articulares superiores; **Art Inf:** apófisis articulares inferiores. n= 30; Fuente: Instrumento estandarizado. Medidas aleatorias.

Finalmente, el análisis comparativo de las variables, determinadas por antropometría directa, entre las distintas vértebras cervicales estudiadas, se realizó mediante pruebas de hipótesis para medias (test de la *t* de Studente) a un nivel de confianza del 95%. Los cruces con diferencias estadísticamente significativas se muestran en la Tabla 7.

Brevemente, la altura del cuerpo vertebral es mayor en C7, con respecto a C4, C5 y C6. La longitud de la apófisis espinosa también es mayor en C7, con respecto a todas las demás vértebras cervicales analizadas; así mismo, la longitud de la apófisis espinosa de C6 es mayor que la de C3 y C4 (Tabla 7).

Finalmente, la altura de la lámina mostró diferencias estadísticamente significativas entre C7, con el valor más elevado, y el resto de las vértebras (Tabla 7).

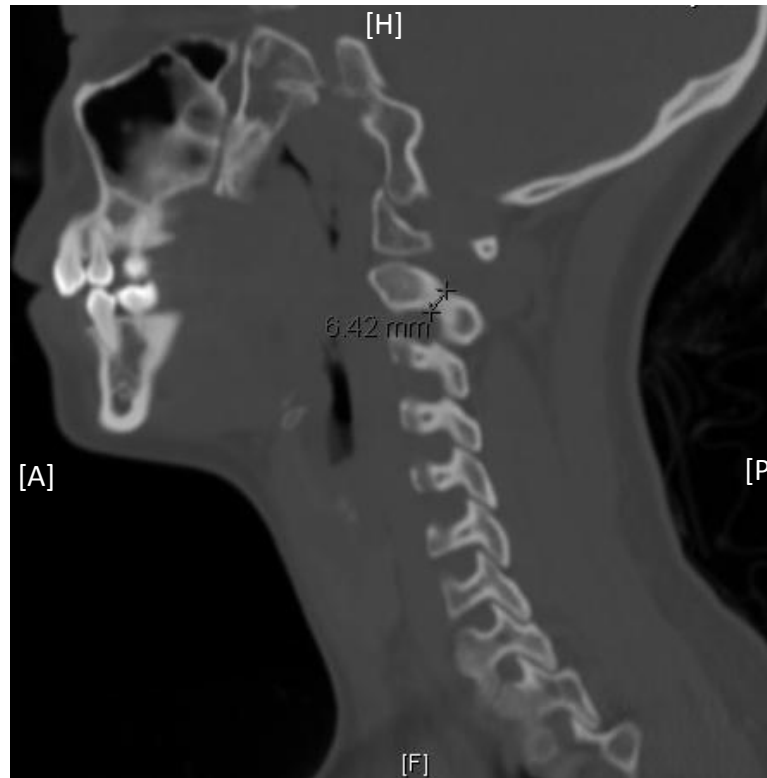
**Tabla 7.** Variables que muestran diferencias estadísticamente significativas entre las distintas vértebras lumbares.

Variable	Vértebra Cervical				
	C7	C6	C5	C4	C3
Cuerpo Alto	13.4 ± 1.3	11.9 ± 0.9*	11.1 ± 0.6 <sup>§</sup>	11.8 ± 1.0 <sup>¥</sup>	12.6 ± 1.6
A Espinosa Longitud	29.5 ± 5.5	23.3 ± 1.4*	18.7 ± 2.3 <sup>§</sup>	17.9 ± 3.5 <sup>&amp;§</sup>	17.5 ± 2.7 <sup>£,§</sup>
Lámina Altura	15.0 ± 1.3	12.8 ± 1.4 <sup>¥</sup>	12.1 ± 1.1 <sup>§</sup>	12.0 ± 1.0 <sup>§</sup>	11.7 ± 1.8 <sup>§</sup>

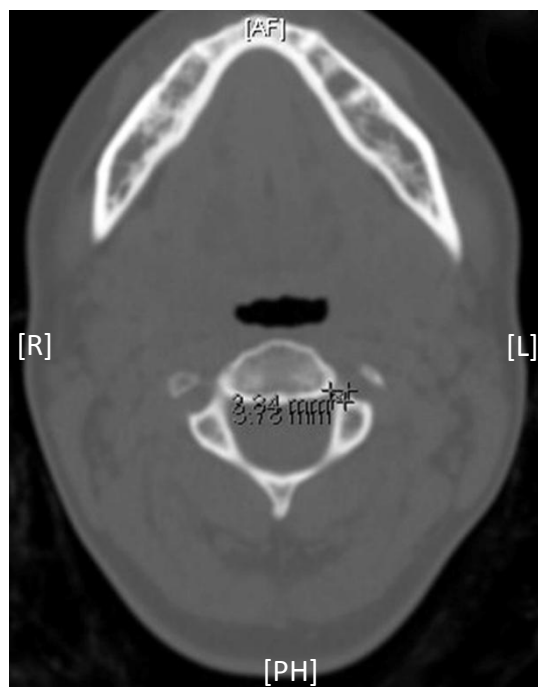
Los valores son media ± desviación típica. A Espinosa: apófisis espinosa. \*:  $p \leq 0.05$  con respecto a C7; ¥:  $p \leq 0.01$  con respecto a C7; §:  $p \leq 0.001$  con respecto a C7; &:  $p \leq 0.01$  con respecto a C6; £:  $p \leq 0.001$  con respecto a C6. Medidas en mm.

## ESTUDIOS REALIZADOS CON TÉCNICAS DE IMAGEN

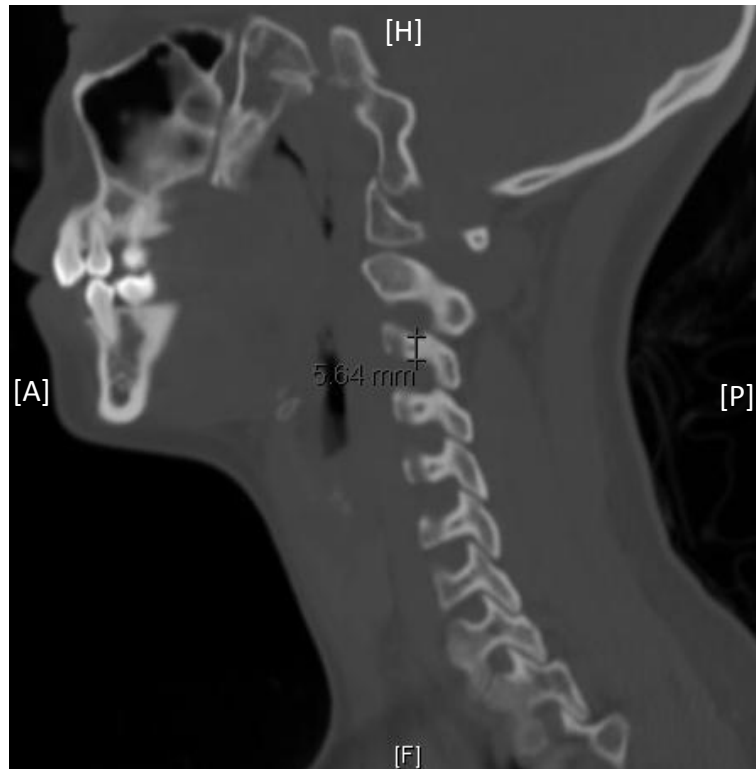
Con el fin de conocer la antropometría de los pedículos cervicales *in vivo* y averiguar si existen diferencias con respecto a los valores determinados en el cadáver, se evaluaron un total de 30 pacientes mediante Tomografía Axial Computarizada. En el pedículo de cada vértebra cervical, desde C2 hasta C7, se midieron la altura, el diámetro anteroposterior y el diámetro axial. Se realizaron dos proyecciones para cada vértebra y cada paciente: una proyección axial, para determinar los diámetros axial (o anchura del pedículo) y anteroposterior (o longitud del pedículo), y otra proyección sagital (en planos parasagitales), para establecer la altura de ambos pedículos en cada vértebra (Figs. 29-64).



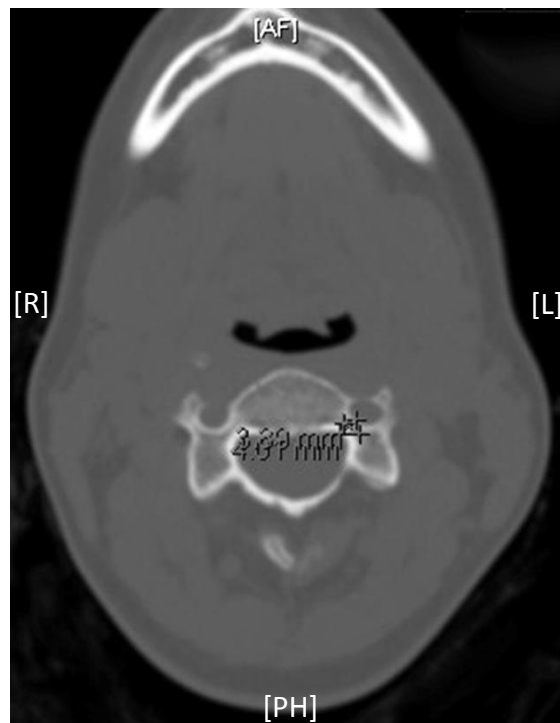
**Figura 29.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C2. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 1.



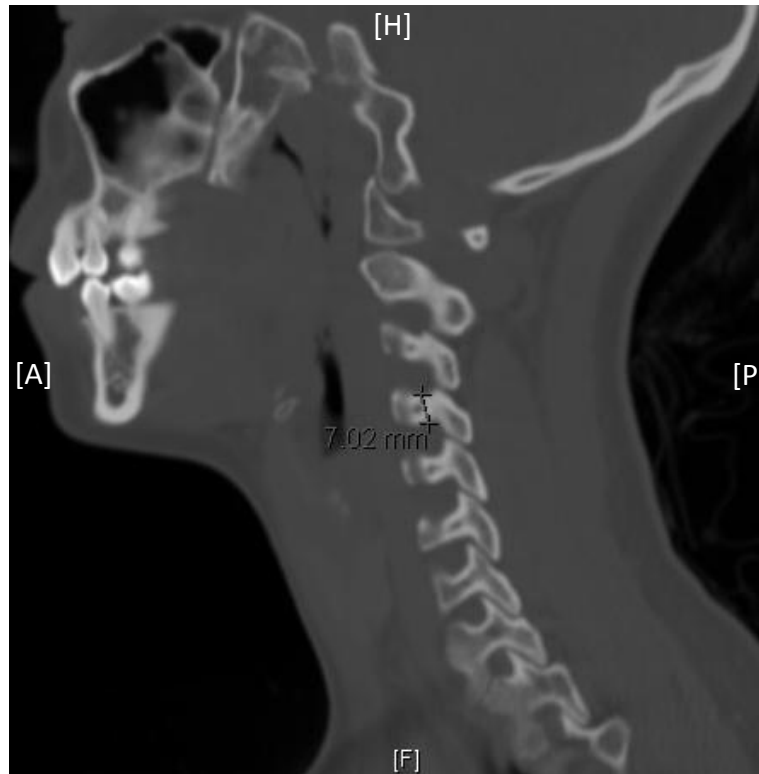
**Figura 30.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C2. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 1.



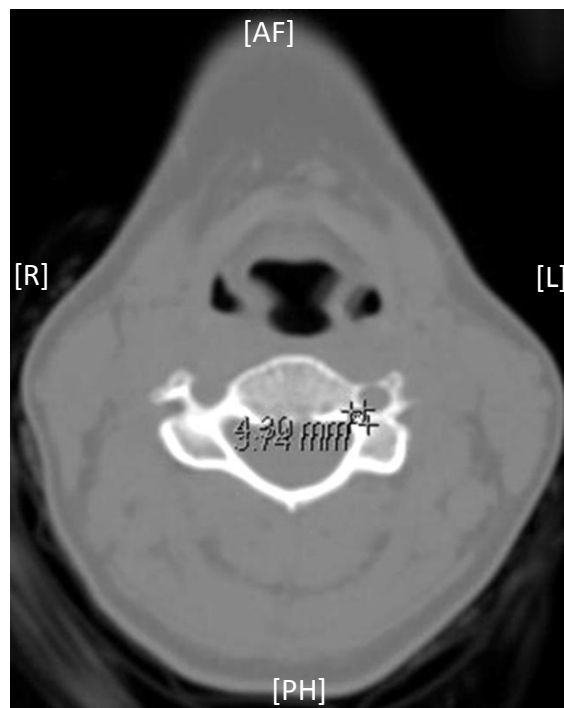
**Figura 31.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C3. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 1.



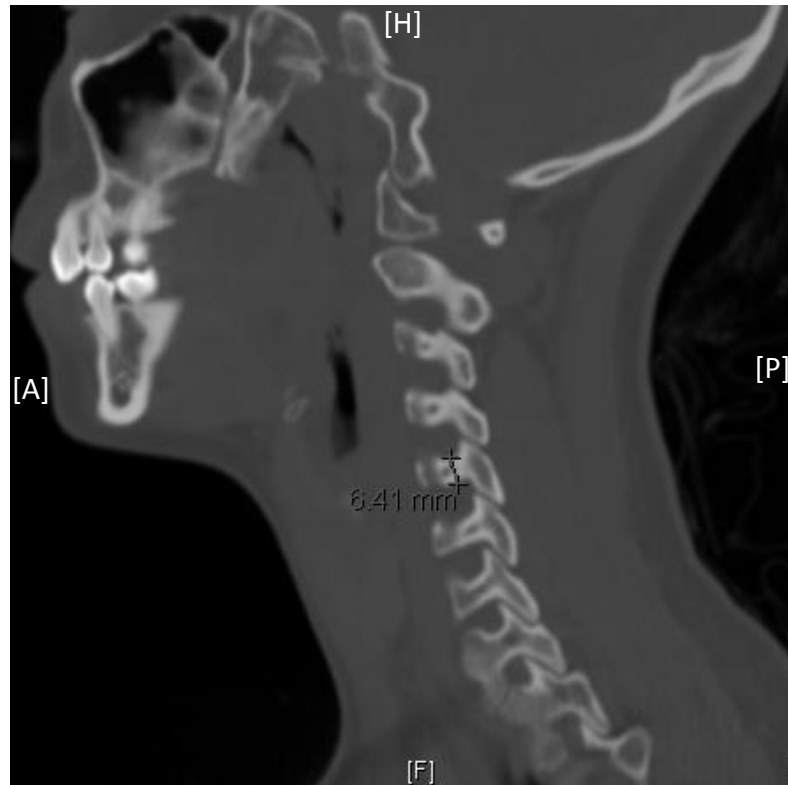
**Figura 32.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C3. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 1.



**Figura 33.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C4. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 1.



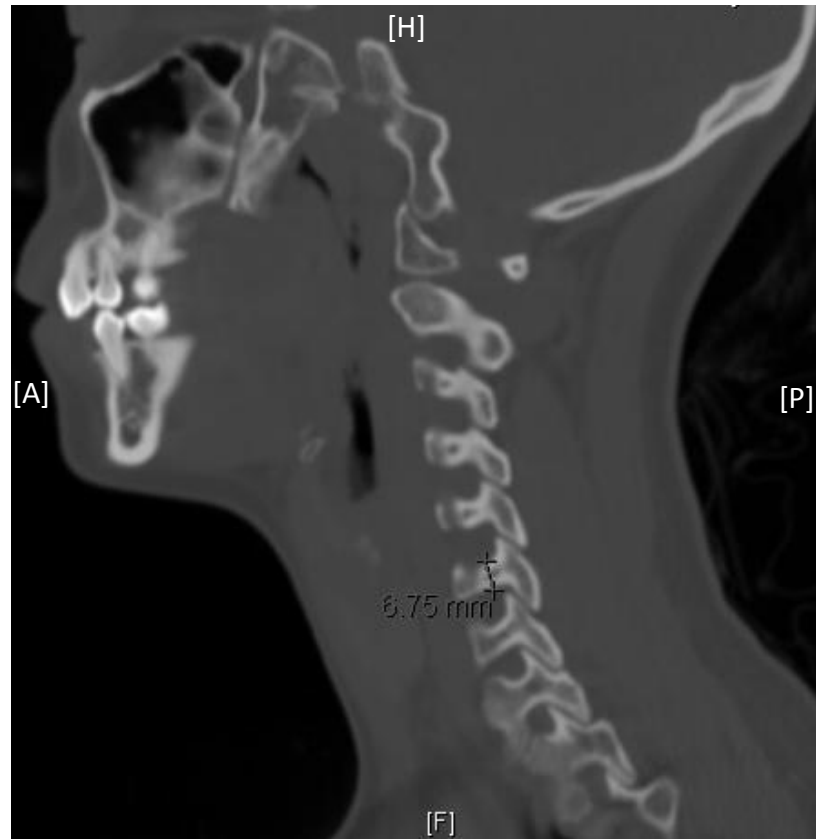
**Figura 34.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C4. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 1.



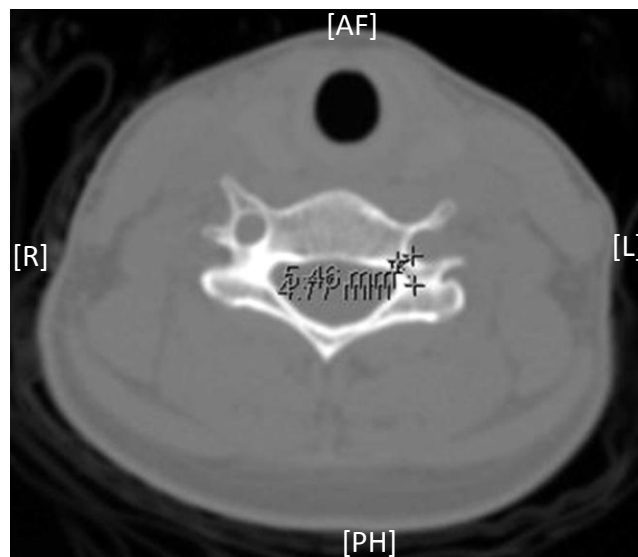
**Figura 35.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C5. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 1.



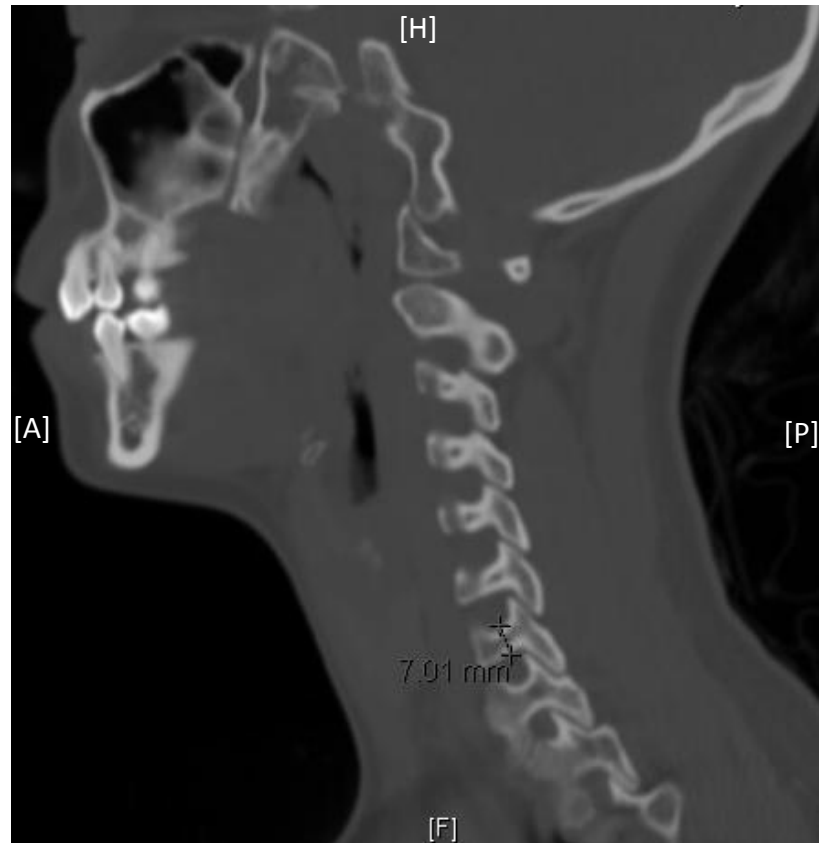
**Figura 36.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C5. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 1.



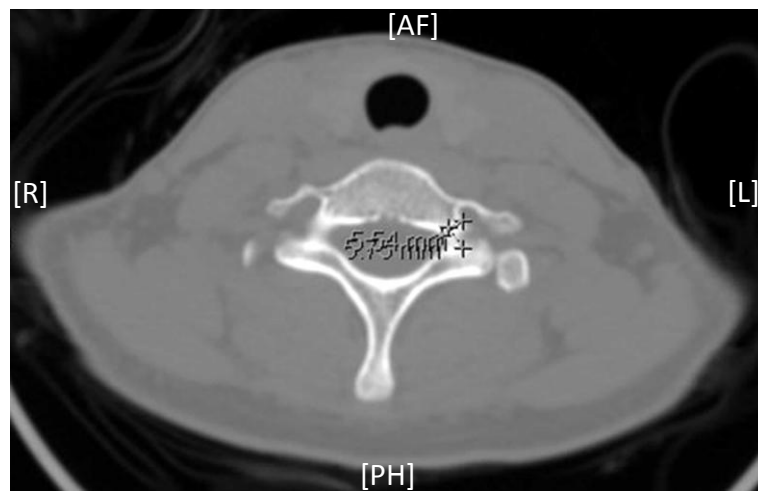
**Figura 37.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C6. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 1.



**Figura 38.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C6. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 1.



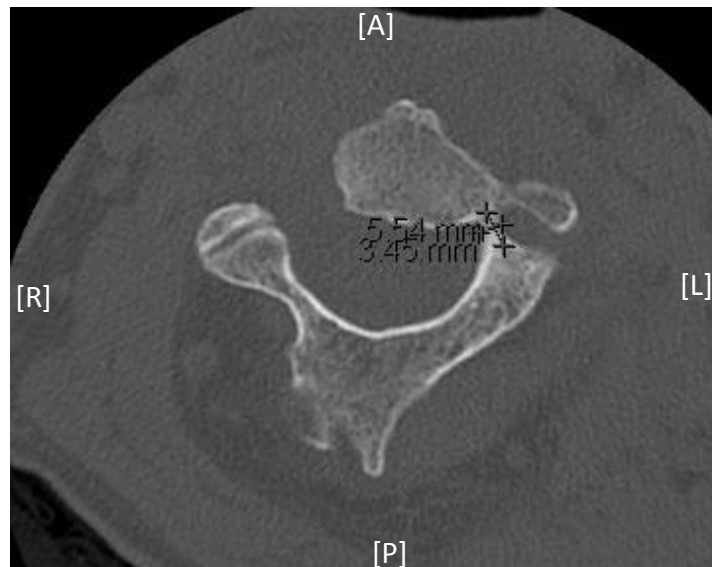
**Figura 39.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C7. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 1.



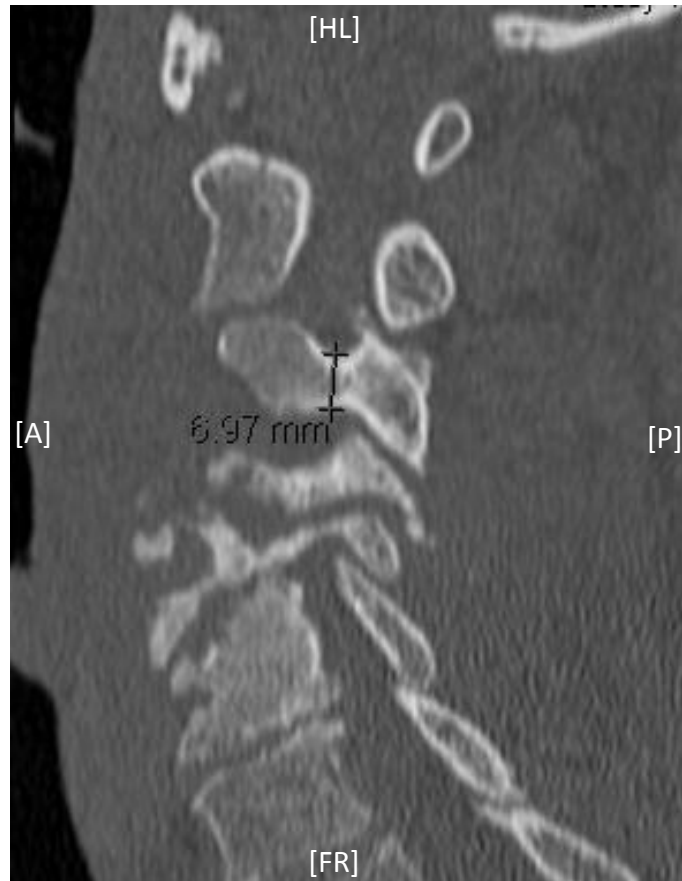
**Figura 40.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C7. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 1.



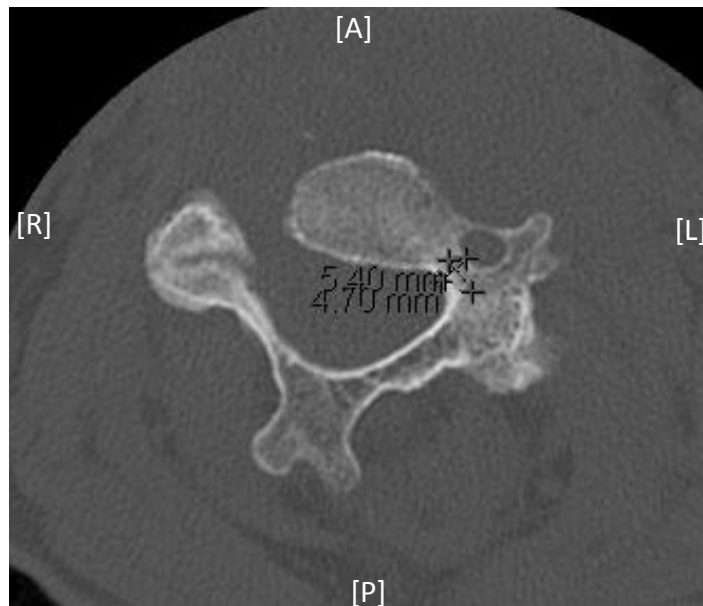
**Figura 41.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C2. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 2.



**Figura 42.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C2. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 2.



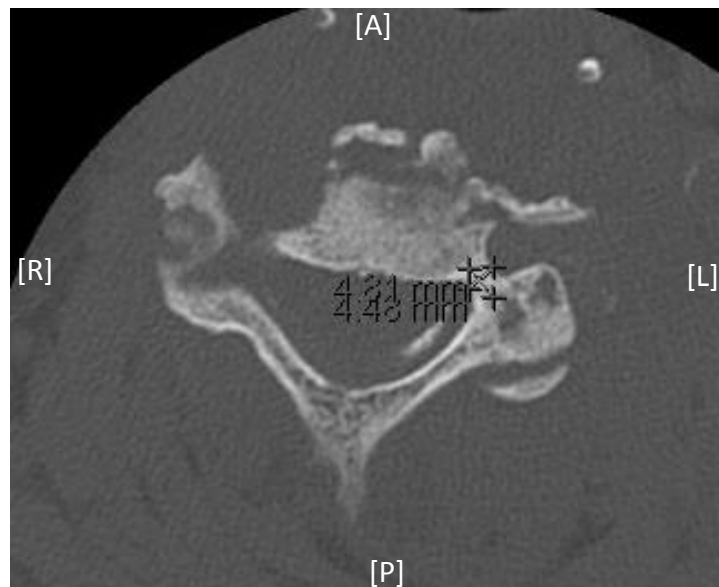
**Figura 43.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C3. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 2.



**Figura 44.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C3. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 2.



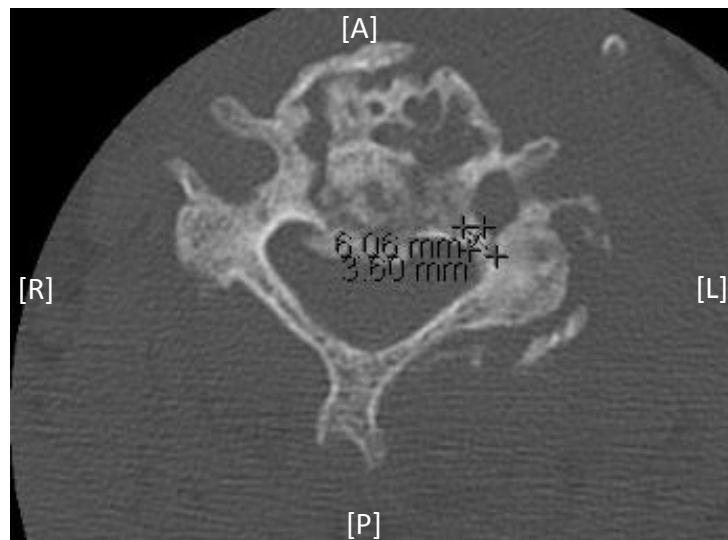
**Figura 45.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C4. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 2.



**Figura 46.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C4. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 2.



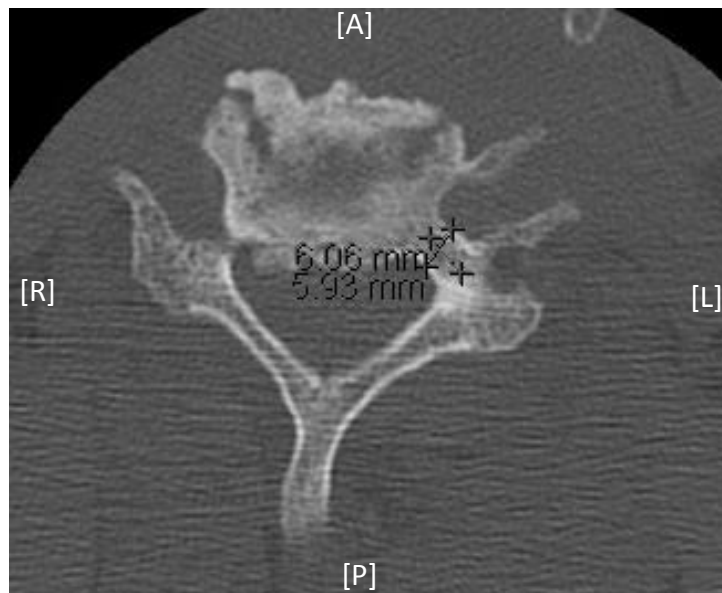
**Figura 47.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C5. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 2.



**Figura 48.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C5. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 2.



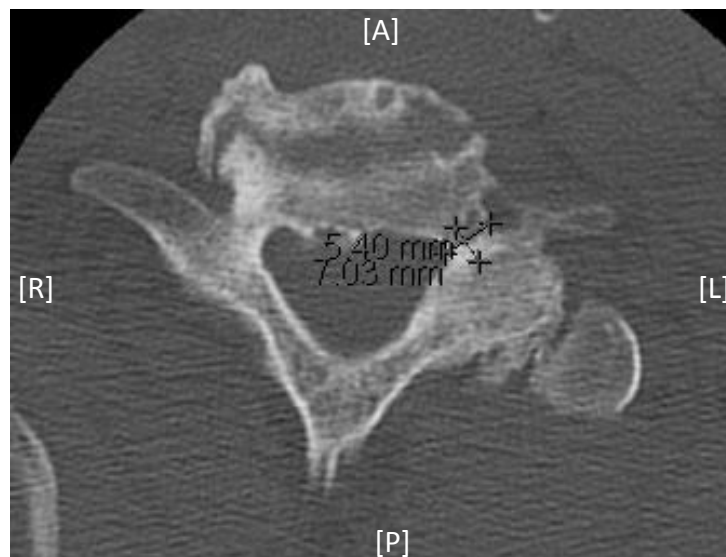
**Figura 49.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C6. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 2.



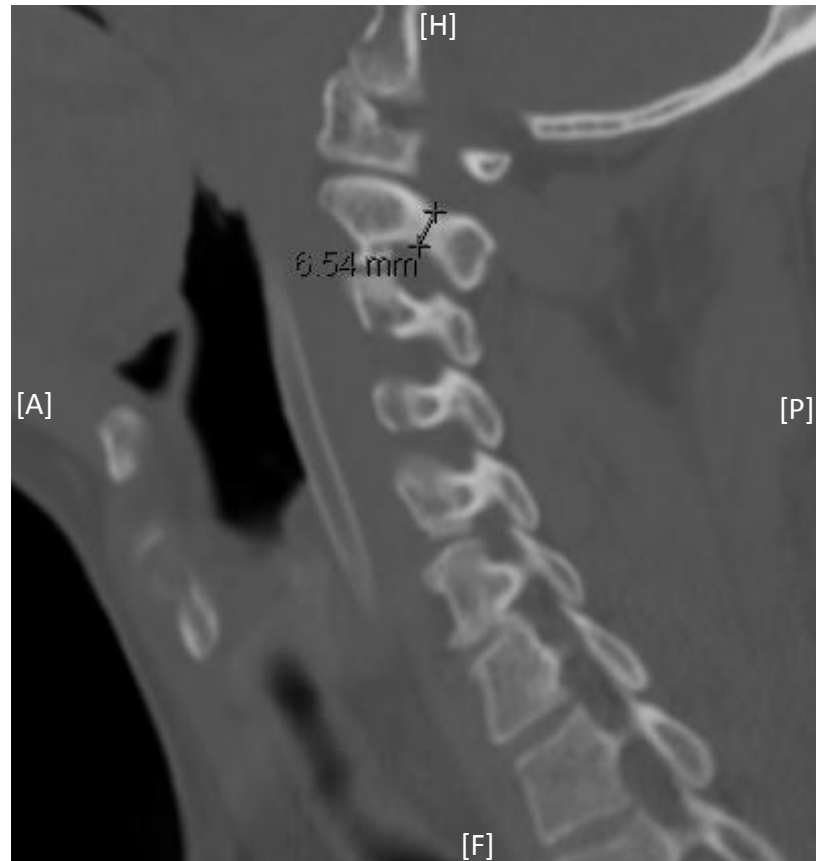
**Figura 50.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C6. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 2.



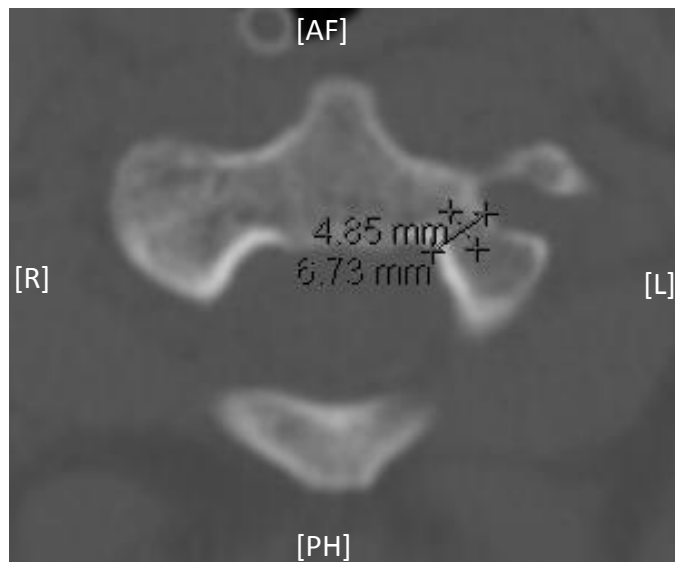
**Figura 51.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C7. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 2.



**Figura 52.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C7. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 2.



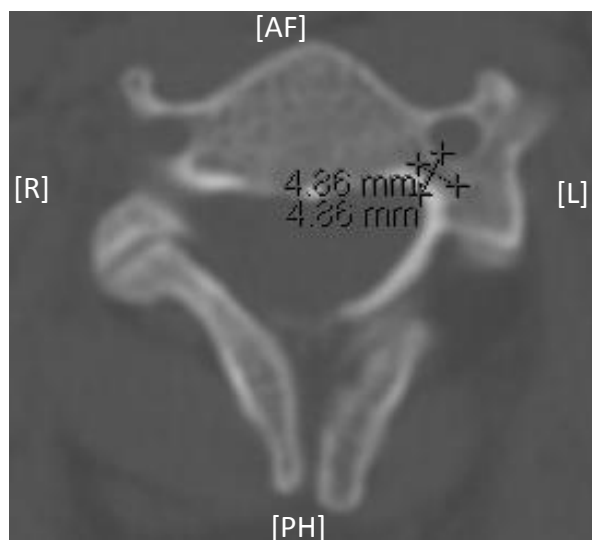
**Figura 53.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C2. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 3.



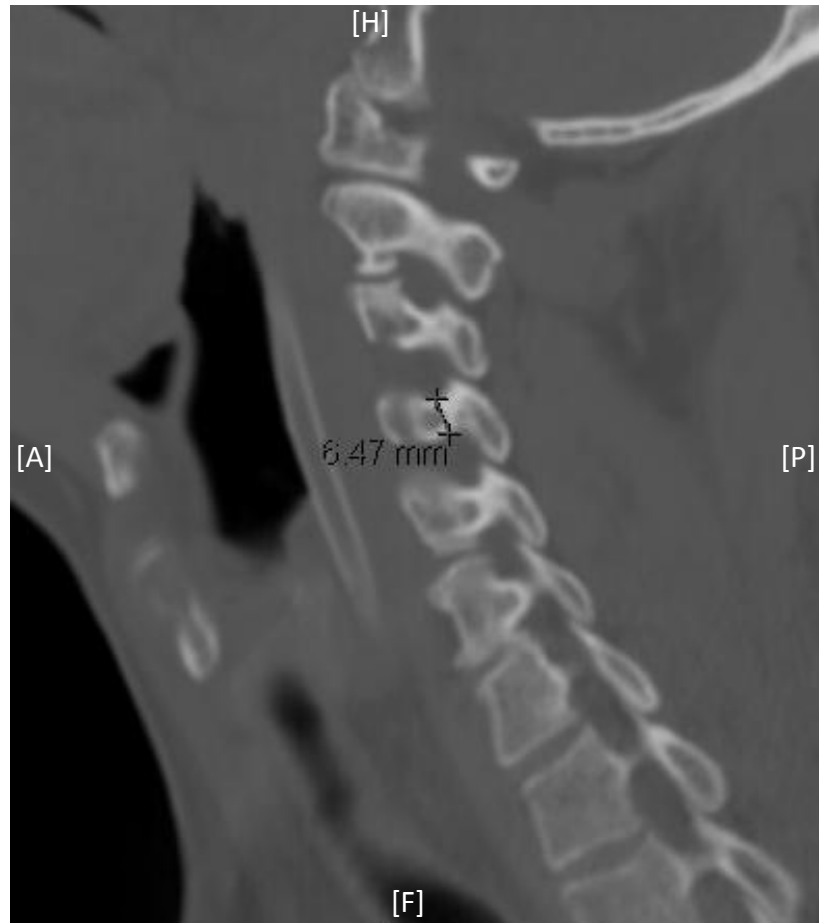
**Figura 54.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C2. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 3.



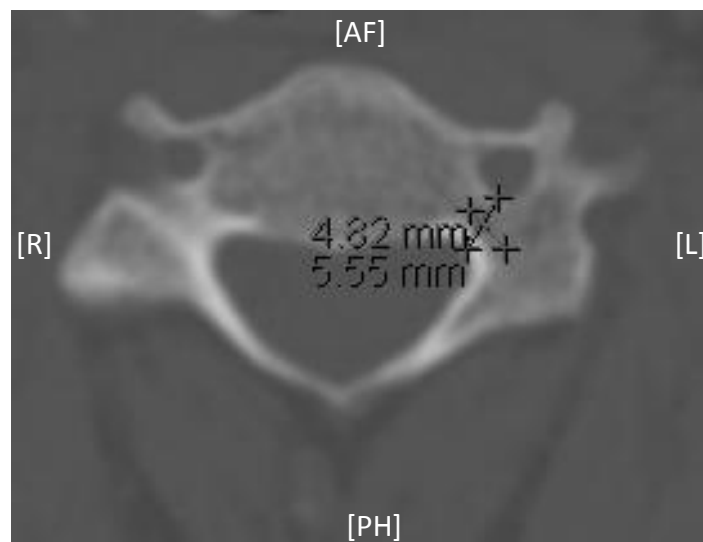
**Figura 55.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C3. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 3.



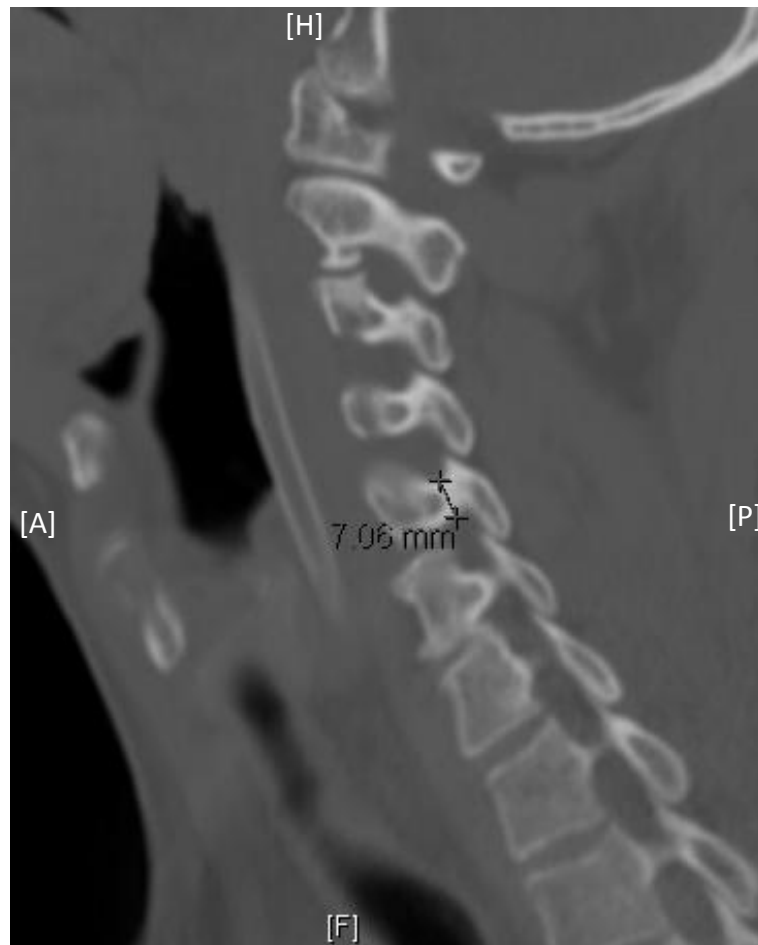
**Figura 56.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C3. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 3.



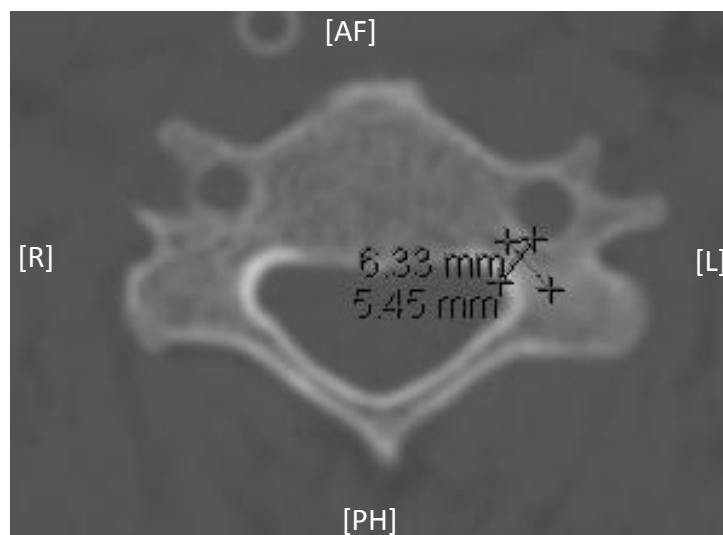
**Figura 57.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C4. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 3.



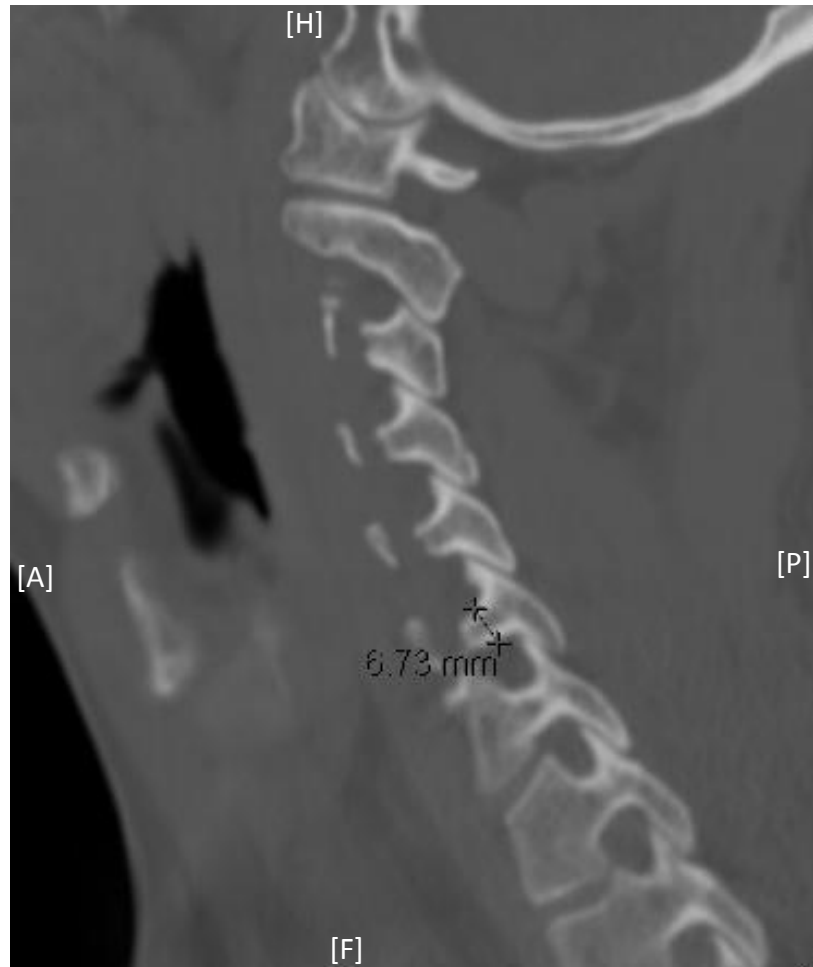
**Figura 58.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C4. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 3.



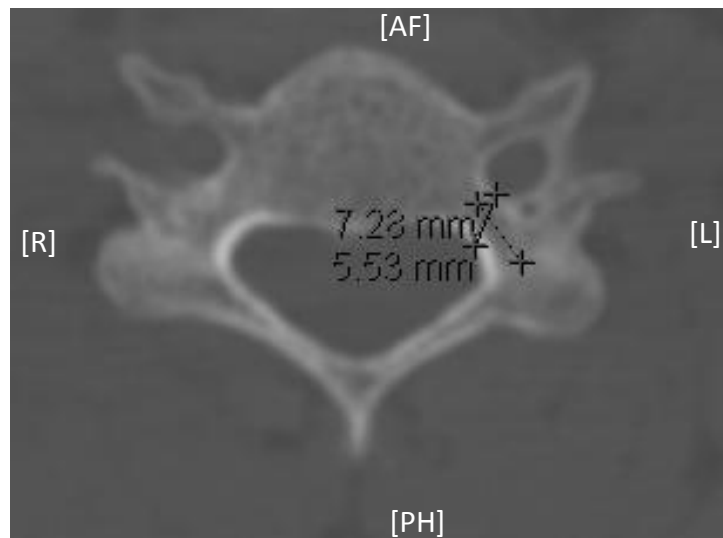
**Figura 59.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C5. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 3.



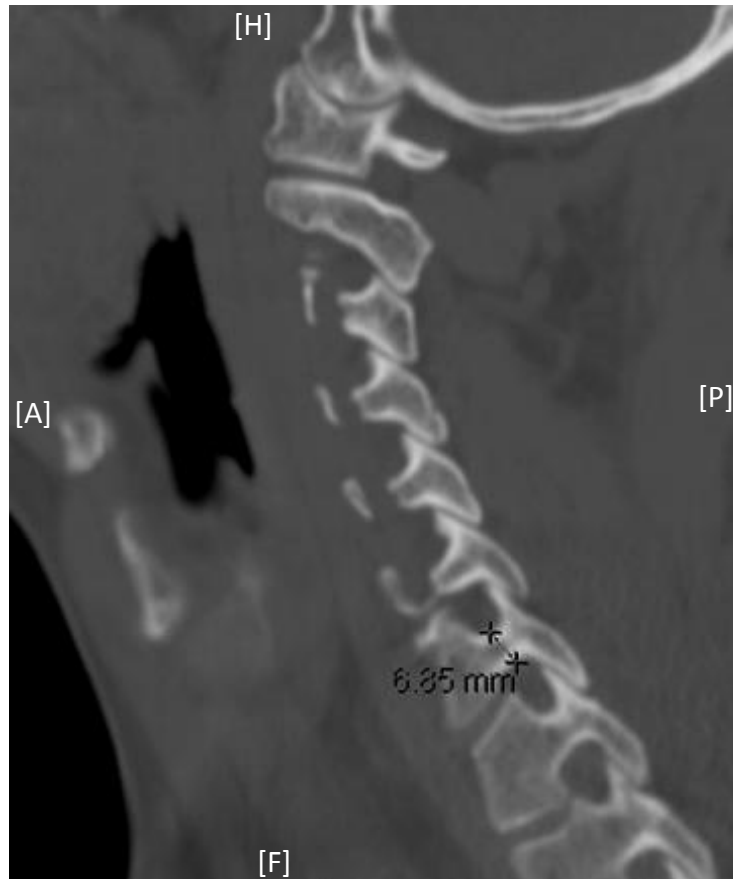
**Figura 60.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C5. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 3.



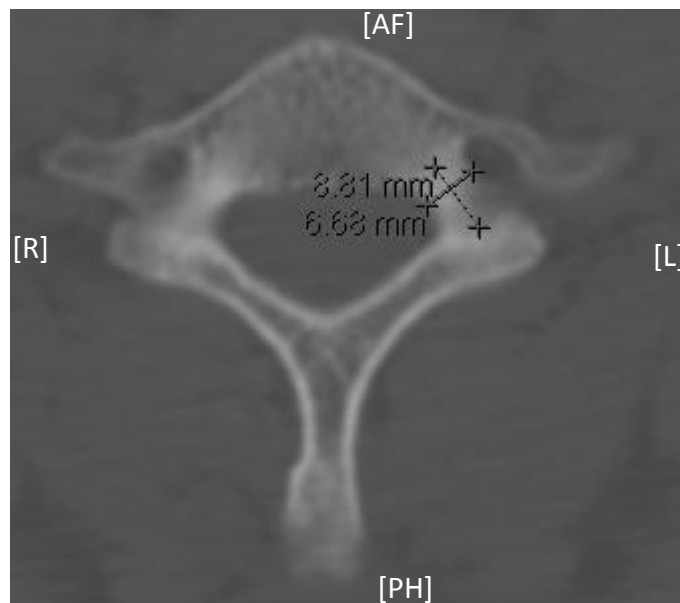
**Figura 61.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C6. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 3.



**Figura 62.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C6. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 3.



**Figura 63.** Análisis tomográfico en sección parasagital de los pedículos de C7. Determinación de la altura del pedículo. Paciente 3.



**Figura 64.** Análisis tomográfico en sección axial de los pedículos de C7. Determinación de los diámetros antero-posterior (o longitud del pedículo) y axial (o anchura del pedículo). Paciente 3.

Las Tablas 8 a 13 reflejan el resumen de la estadística descriptiva realizada sobre TAC. En general, se aprecia un aumento leve y paulatino en el diámetro axial desde C2 hasta C7; este comportamiento se observa también en el diámetro AP, pero comenzando en C3 y hasta C7.

**Tabla 8.** Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra cervical C2 mediante TAC.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de C2		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
Media	7.30	4.98	3.62
Mediana	7.24	4.77	3.44
Moda	5.95	4.22	3.01
Desviación Típica	1.32	1.10	1.31
Asimetría	0.31	0.60	1.49
Curtosis	-0.98	-0.51	3.82
Mínimo	5.16	3.38	1.51
Máximo	9.81	7.21	8.16

AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

**Tabla 9.** Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra cervical C3 mediante TAC.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de C3		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
Media	6.77	4.72	3.77
Mediana	6.58	4.75	3.76
Moda	6.12	3.48	4.15
Desviación Típica	1.25	0.79	0.72
Asimetría	0.28	0.10	-0.07
Curtosis	0.45	-0.38	1.78
Mínimo	4.05	3.39	2.06
Máximo	9.58	6.47	5.69

AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

**Tabla 10.** Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra cervical C4 mediante TAC.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de C4		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
<b>Media</b>	7.32	4.89	3.76
<b>Mediana</b>	7.05	4.86	3.72
<b>Moda</b>	5.98	4.02	3.60
<b>Desviación Típica</b>	1.30	0.57	0.58
<b>Asimetría</b>	2.03	1.16	0.08
<b>Curtosis</b>	6.36	2.66	-0.63
<b>Mínimo</b>	5.77	4.02	2.74
<b>Máximo</b>	12.29	6.68	4.89

AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

**Tabla 11.** Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra cervical C5 mediante TAC.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de C5		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
<b>Media</b>	7.13	5.43	4.10
<b>Mediana</b>	7.04	5.47	4.04
<b>Moda</b>	7.38	4.80	4.02
<b>Desviación Típica</b>	1.10	0.72	0.98
<b>Asimetría</b>	0.29	0.34	-0.25
<b>Curtosis</b>	1.38	-1.02	1.41
<b>Mínimo</b>	4.62	4.49	1.40
<b>Máximo</b>	9.98	6.74	6.30

AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

**Tabla 12.** Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra cervical C6 mediante TAC.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de C6		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
<b>Media</b>	7.02	5.63	4.73
<b>Mediana</b>	6.92	5.57	4.63
<b>Moda</b>	6.47	6.06	4.35
<b>Desviación Típica</b>	1.12	0.76	0.76
<b>Asimetría</b>	-0.46	-0.74	-0.26
<b>Curtosis</b>	-0.03	2.64	-0.30
<b>Mínimo</b>	4.44	3.25	3.11
<b>Máximo</b>	8.93	7.28	6.09

AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

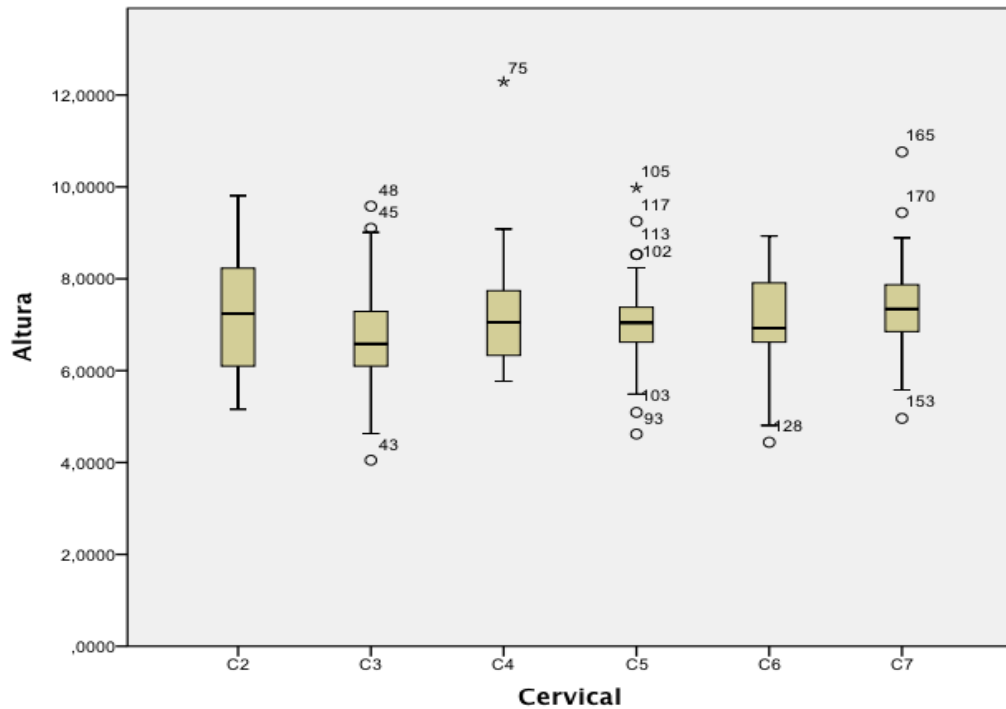
**Tabla 13.** Análisis descriptivo de las variables altura, diámetro antero-posterior y diámetro axial del pedículo para la vértebra cervical C7 mediante TAC.

Parámetro Estadístico	Pedículo Vertebral de C7		
	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
<b>Media</b>	7.46	6.11	5.41
<b>Mediana</b>	7.34	5.91	5.27
<b>Moda</b>	8.89	4.78	4,98
<b>Desviación Típica</b>	1.13	0.94	1.05
<b>Asimetría</b>	0.68	0.82	0.19
<b>Curtosis</b>	1.93	0.74	0.38
<b>Mínimo</b>	4.96	4.78	3.27
<b>Máximo</b>	10.76	8.81	7.92

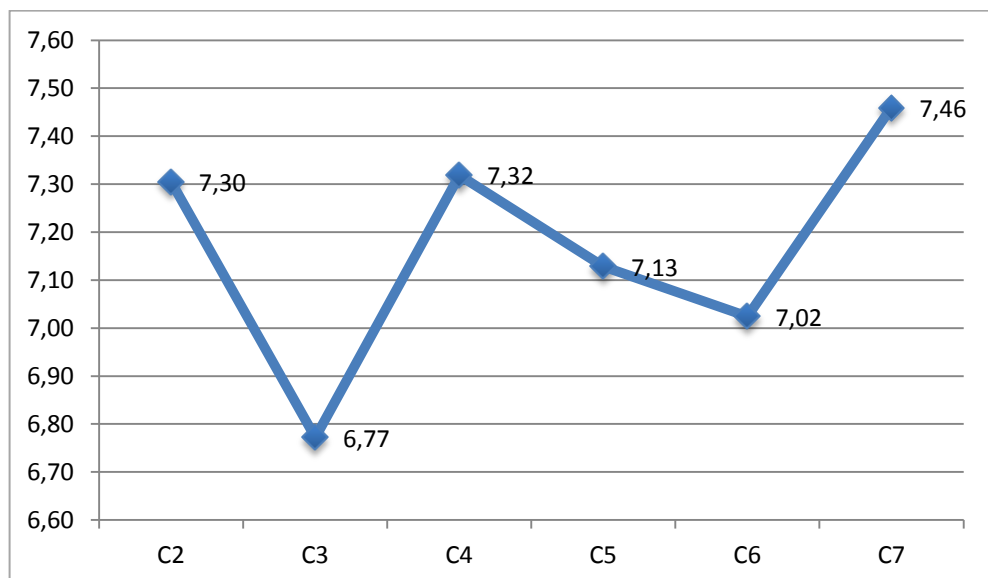
AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.

Al contrastar numéricamente las dimensiones de cada uno de los pedículos cervicales obtenidas por TAC, podemos observar, para cada una de las mediciones

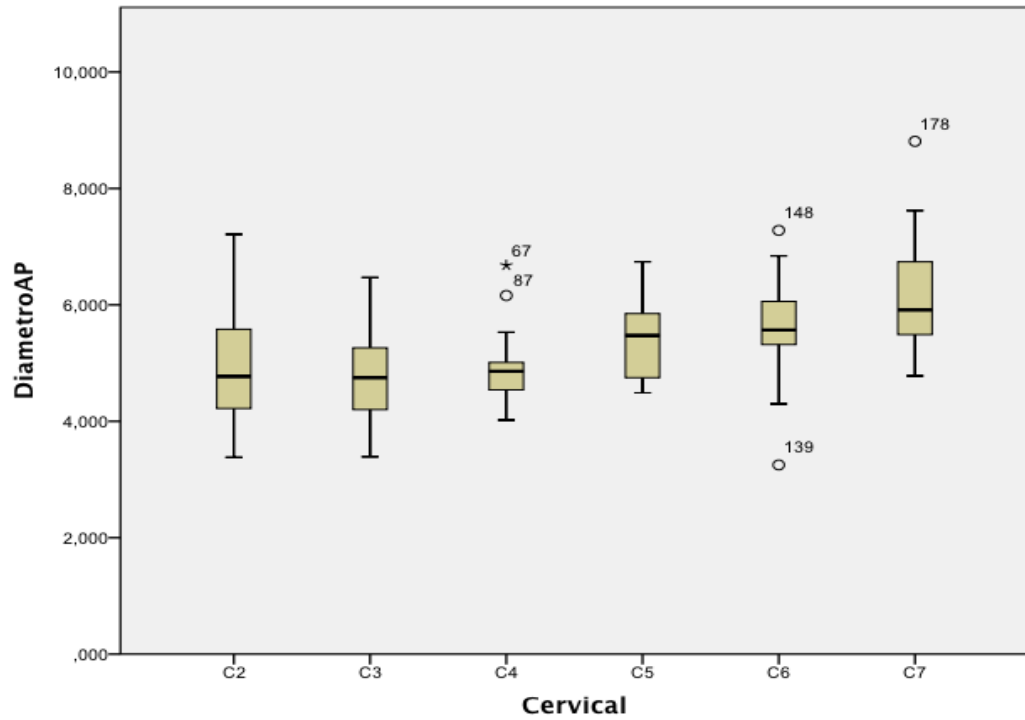
antropométricas efectuadas, el comportamiento en los diagramas de caja y la distribución de las medias en los diagramas de puntos de las Figuras 65 a 70.



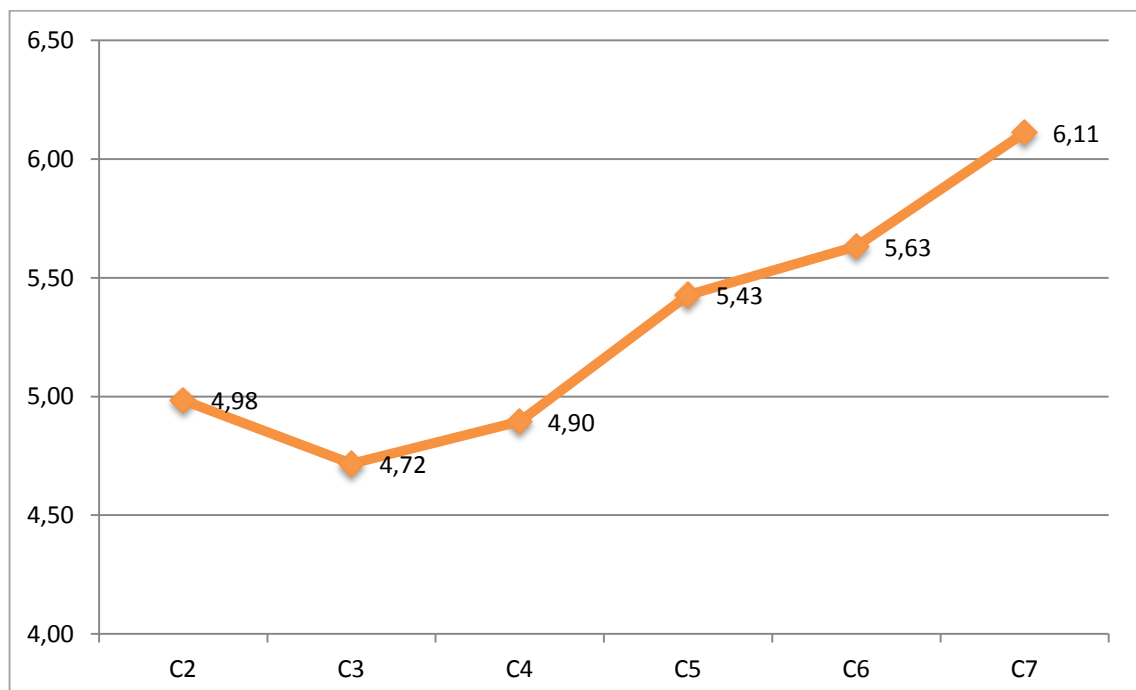
**Figura 65.** Diagrama de cajas para la altura pedicular, según la vértebra cervical (C2-C7). n= 30 pacientes. Fuente: TAC.



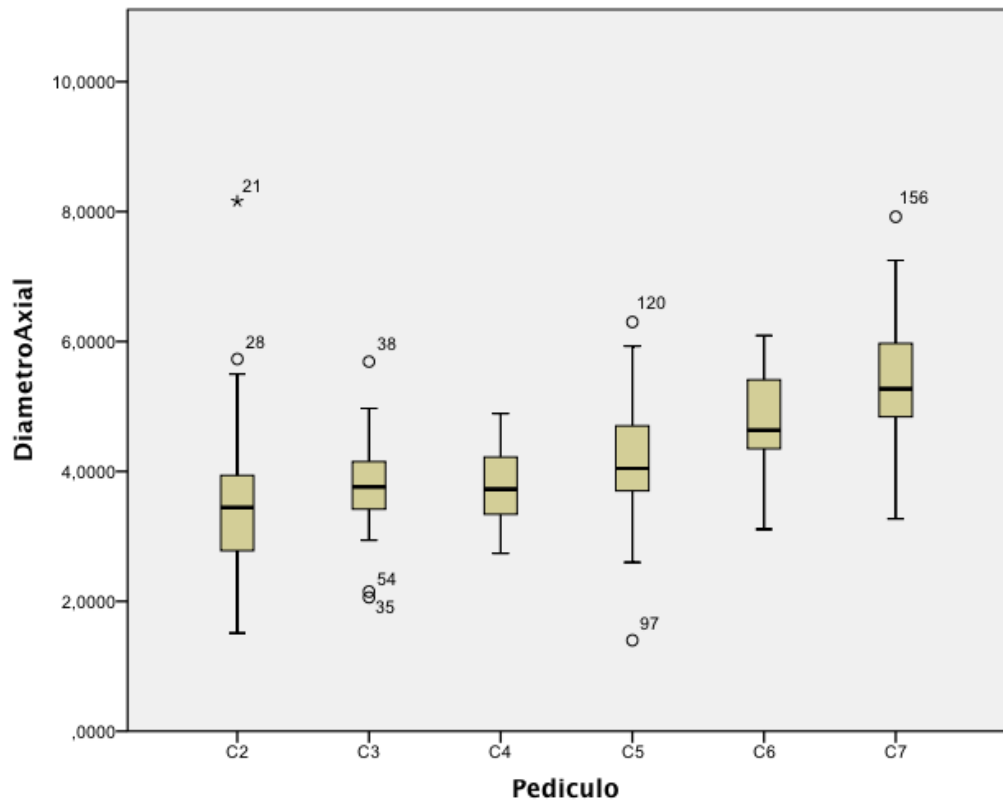
**Figura 66.** Comparación gráfica de los promedios de la altura de cada pedículo, según la vértebra cervical (C2-C7). n= 30 pacientes. Fuente: TAC.



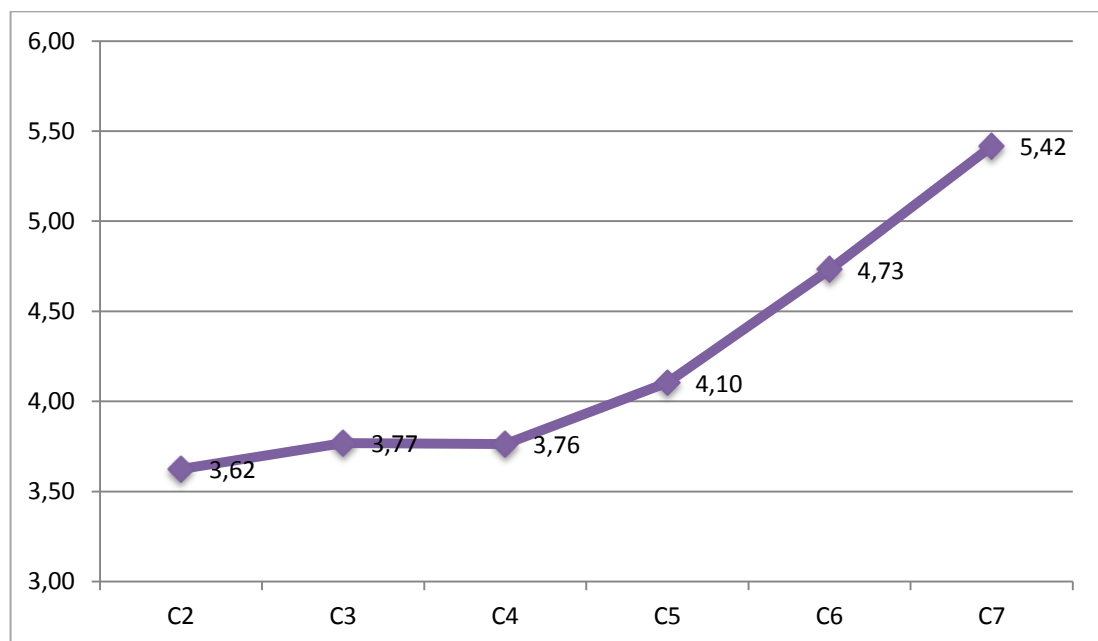
**Figura 67.** Diagrama de cajas para el diámetro pedicular antero-posterior, según la vértebra cervical (C2-C7). n= 30 pacientes. Fuente: TAC.



**Figura 68.** Comparación gráfica de los promedios del diámetro antero-posterior de cada pedículo, según la vértebra cervical (C2-C7). n= 30 pacientes. Fuente: TAC.



**Figura 69.** Diagrama de cajas para el diámetro pedicular axial, según la vértebra cervical (C2-C7). n= 30 pacientes. Fuente: TAC.



**Figura 70.** Comparación gráfica de los promedios del diámetro axial de cada pedículo, según la vértebra cervical (C2-C7). n= 30 pacientes. Fuente: TAC.

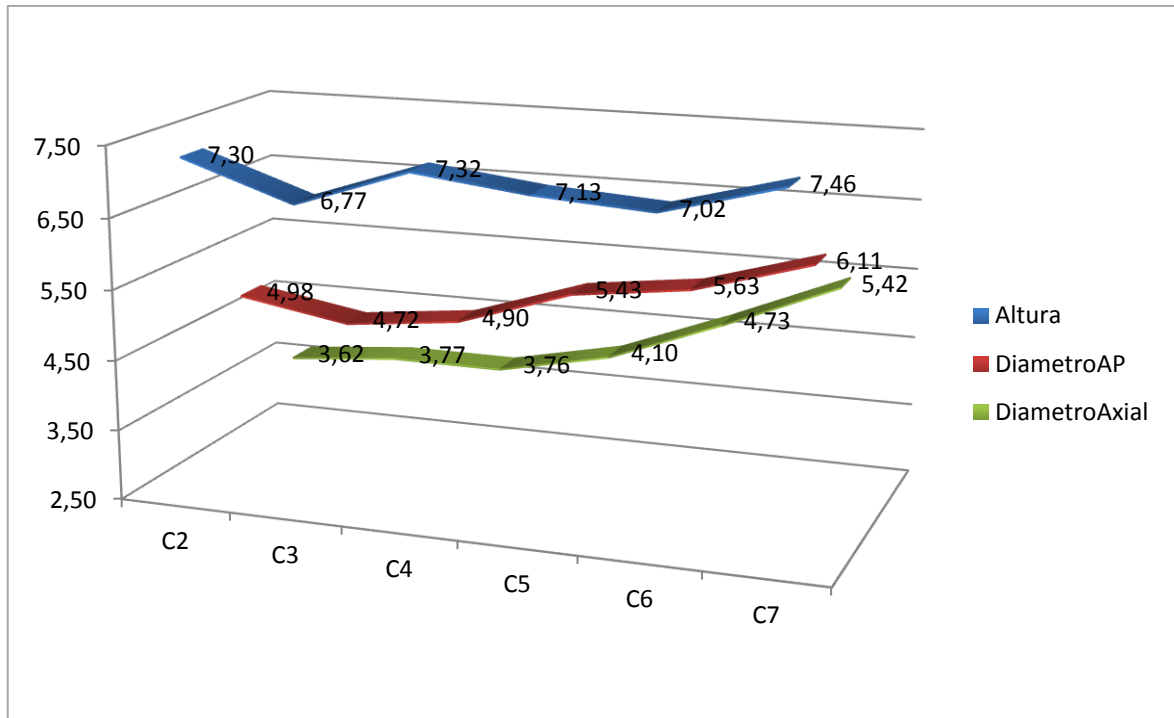
La comparación de las dimensiones del pedículo determinadas por TAC entre las distintas vértebras, mediante el test de la *t* de Student, mostró diferencias estadísticamente significativas en los siguientes cruces (Tabla 14 y Fig. 71):

- El diámetro anteroposterior de C5 es mayor que el de C3; el de C6 es superior a los de C2, C3 y C4; y el de C7 es superior al de C2, C3, C4 Y C5.
- El diámetro axial de C6 es superior al de C2, C3 y C4; y el de C7 es mayor que el de C2, C3, C4 Y C5.
- Las diferencias entre el resto de variables no fueron estadísticamente significativas (Fig. 71).

**Tabla 14.** Análisis comparativo de las variables determinadas por TAC entre las diferentes vértebras cervicales.

Vértebra cervical	Altura	Diámetro AP	Diámetro Axial
<b>C2</b>	7.3 ± 1.3	5.0 ± 1.1 <sup>*,¥</sup>	3.6 ± 1.3 <sup>*,¥</sup>
<b>C3</b>	6.8 ± 1.2	4.7 ± 0.8 <sup>*,¥,§</sup>	3.8 ± 0.7 <sup>*,¥</sup>
<b>C4</b>	7.3 ± 1.3	4.9 ± 0.6 <sup>*,¥</sup>	3.8 ± 0.6 <sup>*,¥</sup>
<b>C5</b>	7.1 ± 1.1	5.4 ± 0.7 <sup>*</sup>	4.1 ± 1.0 <sup>*</sup>
<b>C6</b>	7.0 ± 1.1	5.6 ± 0.8	4.7 ± 0.8
<b>C7</b>	7.5 ± 1.1	6.1 ± 0.9	5.4 ± 1.0

\*:  $p < 0.05$  con respecto a C7; ¥:  $p < 0.05$  con respecto C6; §:  $p < 0.05$  con respecto a C5. AP: anteroposterior. n=30. Medidas en mm.



**Figura 71.** Comparación gráfica de los valores promedio de las variables estudiadas, según la vértebra cervical (C2-C7). n= 30 pacientes. Fuente: TAC.

### ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEDICIONES EN EL CADÁVER Y SOBRE TAC

Finalmente, se contrastaron cada uno de los resultados obtenidos en el TAC contra lo determinado antropométricamente en las autopsias realizadas, mediante el contraste por pruebas de hipótesis para medias (test de la *t* de Student) a un intervalo de confianza del 95%. Este análisis mostró un valor superior en la anchura del pedículo medida sobre el cadáver, con respecto a la determinada sobre TAC (diámetro axial) para las vértebras C2, C3, C4 y C5, con diferencias estadísticamente significativas (Tabla 15).

De otra parte, la longitud del pedículo medida sobre el cadáver también fue mayor en las vértebras C3 y C4, con respecto a la hallada sobre TAC (diámetro AP); sin embargo, la longitud del pedículo de C7 en el cadáver fue menor que la obtenida sobre TAC; estas diferencias fueron igualmente estadísticamente significativas (Tabla 15).

**Tabla 15.** Análisis comparativo entre las mediciones antropométricas realizadas en el cadáver y las determinadas por TAC en las diferentes vértebras cervicales.

Vértebra	Autopsia		TAC		P
	Variable	Media $\pm$ SD	Variable	Media $\pm$ SD	
C2	Longitud	5.1 $\pm$ 0.9	Diam. AP	5.0 $\pm$ 1.1	NS
	Anchura	4.9 $\pm$ 1.3	Diam. Axial	3.6 $\pm$ 1.3	p<0.05
	Altura	7.4 $\pm$ 1.0	Altura	7.3 $\pm$ 1.3	NS
C3	Longitud	5.5 $\pm$ 0.8	Diam. AP	4.7 $\pm$ 0.8	p<0.05
	Anchura	5.0 $\pm$ 2.0	Diam. Axial	3.8 $\pm$ 0.7	p<0.01
	Altura	7.4 $\pm$ 1.0	Altura	6.8 $\pm$ 1.2	NS
C4	Longitud	5.5 $\pm$ 0.6	Diam. AP	4.9 $\pm$ 0.6	p<0.05
	Anchura	4.5 $\pm$ 1.0	Diam. Axial	3.8 $\pm$ 0.6	p<0.01
	Altura	7.5 $\pm$ 0.9	Altura	7.3 $\pm$ 1.3	NS
C5	Longitud	5.0 $\pm$ 1.0	Diam. AP	5.4 $\pm$ 0.7	NS
	Anchura	4.8 $\pm$ 1.0	Diam. Axial	4.1 $\pm$ 1.0	P<0.05
	Altura	7.4 $\pm$ 1.2	Altura	7.1 $\pm$ 1.1	NS
C6	Longitud	4.8 $\pm$ 1.3	Diam. AP	5.6 $\pm$ 0.8	NS
	Anchura	5.2 $\pm$ 0.9	Diam. Axial	4.7 $\pm$ 0.8	NS
	Altura	7.2 $\pm$ 0.7	Altura	7.0 $\pm$ 1.1	NS
C7	Longitud	4.9 $\pm$ 0.6	Diam. AP	6.1 $\pm$ 0.9	p<0.001
	Anchura	5.0 $\pm$ 1.3	Diam. Axial	5.4 $\pm$ 1.0	NS
	Altura	7.3 $\pm$ 1.0	Altura	7.5 $\pm$ 1.1	NS

Diam. AP: diámetro antero-posterior; NS: no significativo. n=30. Medidas en mm.

## **DISCUSIÓN**

La columna cervical se caracteriza por ser muy flexible y permitir mayor movilidad que cualquier otra zona de la columna vertebral; por ello, es frecuente asiento de dolor, ocupando el segundo lugar después de la parte inferior de la espalda. Además se halla poco protegida y puede ser afectada por traumatismos, tensión emocional y otras enfermedades que producen dolor y restringen la movilidad. Con frecuencia, el dolor cervical puede ser una situación pasajera que desaparece con el tiempo, pero en un buen número de ocasiones precisa de un diagnóstico y tratamiento médico.

El dolor cervical puede ser el resultado de diversas anomalías en las partes blandas, músculos, ligamentos, discos y nervios, así como en las vértebras y sus articulaciones. La causa más común de dolor cervical son las lesiones de las partes blandas, debidas a traumatismos o deterioro progresivo. En raros casos, las infecciones o los tumores pueden ser la causa de dolor cervical o dolor irradiado a hombros y brazos.

La postura es importante para la columna cervical. La cabeza y la columna vertebral tienen que estar en equilibrio en la línea de gravedad. Los malos hábitos posturales, la obesidad y la debilidad de la musculatura abdominal, cambian la estática de la columna, aumentando las curvas normales lumbar y dorsal, y tienen que compensarse con la inclinación de la columna cervical hacia delante.

Los trabajos que requieran encorvar la espalda y flexionar el cuello exigen mayor tensión y producen fatiga muscular. Todas estas alteraciones posturales habrán de corregirse si se quiere controlar el dolor cervical. Además la tensión emocional hará que se contraigan los músculos del cuello. Una persona nerviosa y tensa suele tardar más en recuperarse.

También las enfermedades degenerativas pueden causar dolor cervical, tales patologías incluyen artrosis y artritis reumatoide. La artrosis habitualmente se da

en personas mayores como consecuencia del desgaste de las articulaciones entre las vértebras, especialmente las facetas. El tejido que rodea las articulaciones se inflama y los nervios cervicales pueden quedar atrapados. La artritis reumatoide puede ocasionar destrucción de las articulaciones de la columna cervical. Ambas situaciones determinan rigidez y dolor.

La degeneración de los discos cervicales también causa dolor cervical. El disco intervertebral actúa como amortiguador entre las vértebras cervicales. En la degeneración discal cervical, que típicamente ocurre por encima de los 40 años, el núcleo del disco, que es como una gelatina, pierde contenido de agua, se degrada y disminuye el espacio entre las vértebras. Un disco desgastado a veces se rompe y hace prominencia comprimiendo la médula espinal o las raíces nerviosas.

Los traumatismos son frecuentes en esta zona al ser tan flexible y soportar el peso de la cabeza, los accidentes de circulación o buceo, los deportes de contacto y heridas pueden ocasionar lesiones cervicales. El uso regular de cinturones de seguridad puede ayudar a prevenir o minimizar el traumatismo. Una colisión automovilística por detrás puede causar hiperextensión, con movilización del hueso hacia atrás más allá de los límites normales, mientras el cuerpo se mueve hacia delante; en cambio, en un choque frontal, la cabeza sigue moviéndose hacia delante en hiperflexión, mientras el cuerpo se detiene súbitamente.

Los traumatismos graves con fractura o luxación pueden dañar la médula espinal y causar parálisis (tetraplejía).<sup>12,92</sup> Otras causas de dolor cervical son tumores, infecciones o anomalías congénitas de las vértebras.

Por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo de la cirugía de columna cervical es aliviar el dolor, entumecimiento, hormigueo y debilidad, restaurar la función nerviosa y detener o prevenir el movimiento anormal de la columna vertebral.<sup>40</sup>

En la operación el cirujano remueve un disco o un hueso y fusiona las vértebras junto con un injerto de hueso, ya sea delante o detrás de la columna vertebral.<sup>23</sup> El injerto de hueso puede ser de dos tipos: un autoinjerto (hueso tomado de su cuerpo) o un aloinjerto (hueso de un banco de huesos).<sup>42</sup> A veces, las placas de metal, los tornillos o los alambres también se usan para estabilizar la columna vertebral; estas técnicas se denominan de instrumentación. Cuando las vértebras se han estabilizado quirúrgicamente, el movimiento anormal se detiene y se restablece la función de los nervios espinales.<sup>65</sup>

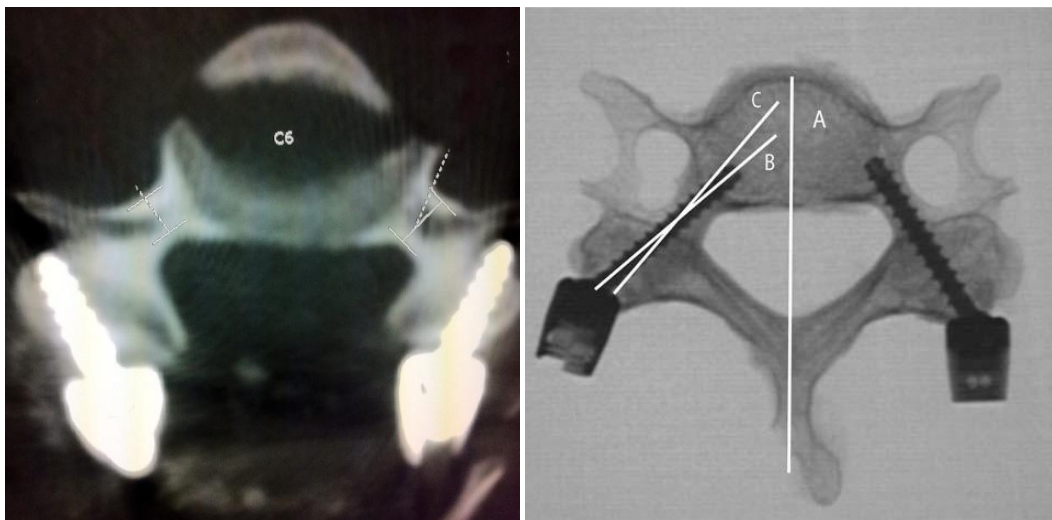
La cirugía de la columna cervical puede ser indicada para solucionar una gran variedad de problemas a este nivel. Generalmente, la cirugía se realiza para trastornos degenerativos, trauma o inestabilidad. Estas condiciones pueden producir presión sobre la médula espinal o los nervios procedentes de la columna vertebral.

La instrumentación pedicular fue primeramente utilizada para fijación lumbosacra por cirujanos como Roy Camille, Steffee y Harrington, y fue aprobada por la FDA en 1976 para tratar casos de espondilolistesis grado 3 y 4. Posteriormente, en 1998, la FDA aprobó su uso como sistemas clase II que podían ser utilizados en función de las características de los pacientes, como por ejemplo edad, sexo, tipo de lesión, condición clínica, evolución del tratamiento quirúrgico y complicaciones.<sup>26</sup>

La columna cervical, debido a su gran movilidad y por tener relación con estructuras críticas vasculares y nerviosas, representa un reto para el cirujano de columna al momento de evaluar y decidir la estrategia quirúrgica para el manejo de la inestabilidad (Fig. 72).<sup>67</sup> Debido a su complejidad anatómica, se plantean ventajas e inconvenientes al comparar los abordajes y técnicas de estabilización disponibles.

Entre las técnicas de instrumentación utilizadas para lograr la fusión ósea, el tratamiento de la inestabilidad o la corrección de la deformidad espinal en la columna cervical, el éxito logrado con la aplicación de tornillos en la masa lateral sigue siendo sobresaliente. Sin embargo, la fijación en la masa lateral puede ser insuficiente en casos de mala calidad ósea o grandes defectos en la parte posterior vertebral, así como en la parte baja de la columna cervical, donde disminuye el tamaño de las masas laterales.<sup>134</sup>

Los tornillos transpediculares han sido usados clínicamente de una manera amplia en los últimos 20 años y han llegado a ser el método estándar para la fijación posterolateral y fusión de la columna cervical, dorsal, lumbar y sacra. En nuestro medio el uso de este tipo de instrumentación es muy limitado debido a la poca disponibilidad de estos sistemas en el mercado local y al costo de los mismos.



**Figura 72.** Ejemplos de instrumentación quirúrgica en la columna cervical. A la izquierda, tornillos implantados en las masas laterales del cuerpo vertebral.<sup>67</sup> A la derecha, ejemplo de implante transpedicular de los tornillos.<sup>133</sup>

En manos de cirujanos espinales entrenados y experimentados, este sistema tiene una elevada tasa de seguridad, efectividad y menor número de complicaciones que cualquiera de los otros sistemas de instrumentación

disponibles en nuestro medio;<sup>1,3,130,13</sup> sin embargo, a nivel cervical se requiere una amplia experiencia por parte del cirujano durante el procedimiento quirúrgico, ya que, como se ha mencionado, los pedículos donde son insertados los tornillos presentan grosores variables entre diferentes razas y poblaciones humanas, circunstancia que hace más compleja la elección del tornillo y la técnica de instrumentación a emplear.<sup>42,75,93,107</sup>

Clásicamente se ha descrito la fijación con tornillos pediculares entre la segunda y la séptima vértebras cervicales, pero la fijación pedicular de la columna subaxial sigue siendo poco difundida. La primera descripción de la estabilización de la columna cervical por vía posterior data de 1891, cuando Hadra reportó la utilización de alambros posteriores para estabilizar casos de infección tuberculosa. Algo más de 100 años después, aparece la primera descripción de fijación pedicular cervical hecha por Abumi en 1994.

La fijación con tornillos pediculares cervicales ha sido considerada de alto riesgo por las estructuras neurovasculares relacionadas, quizás con excepción de C2 y C7. De acuerdo a la literatura, las principales complicaciones van a afectar a masas neurovasculares vecinas,<sup>127</sup> además de existir el riesgo de aflojamiento, pseudoartrosis y pérdida de corrección de la curvatura fisiológica. Sin embargo, es una alternativa útil en la fijación cervicotorácica o en fijaciones cervicales largas.

Existe gran variabilidad en las dimensiones y angulaciones de los pedículos cervicales, en los diversos estudios antropométricos orientados a definir complicaciones y técnicas quirúrgicas. La literatura describe que la variación en las dimensiones del pedículo cervical es muy baja a lo largo de la infancia y adolescencia; por ejemplo, la longitud del pedículo de C3 entre los 0 y los 18 años solo aumenta en 1,8 mm, mientras que para C7 permanece casi sin cambios; lo que aumenta con la edad es la longitud del eje total del túnel que genera un

tornillo pedicular desde la cortical de la faceta hasta su lecho final en el cuerpo vertebral.<sup>122</sup>

Karaikovic *et al.*<sup>53</sup> demostraron que la región más delgada y débil del pedículo es la cortical externa hacia la arteria vertebral y que el diámetro transversal siempre es inferior a la altura, lo cual debe ser tenido en cuenta por el cirujano que realice la disección y palpación del pedículo cervical. Según Abumi y Kaneda,<sup>2</sup> la mano del cirujano de columna y un conocimiento íntimo de la anatomía son las mejores herramientas para una colocación precisa de los tornillos pediculares. Estos y otros estudios establecen que las complicaciones quirúrgicas se relacionan con la inadecuada inserción y mala colocación del tornillo; la tasa de complicaciones se encuentran entre el 1% y el 18% (según la experiencia del cirujano y el segmento de la columna en que se esté trabajando); el daño estructural neural se ubica alrededor del 1% (siendo permanente en el 30% de los casos); la prevalencia de infecciones es de un 1% a un 25% (según las medidas preventivas); la fístula de líquido cefalorraquídeo (LCR) presenta una prevalencia entre el 0.5% y el 5%; y finalmente la tasa de fractura del tornillo, de la barra, o por la salida de un tornillo de su sitio es del 7%.

Nuestro estudio muestra que las vértebras cervicales C3, C4, C5, C6 y C7 muestran en promedio un grosor o anchura pedicular que ronda alrededor de los 5 mm, sin que existan diferencias estadísticamente significativas entre cada una de las vértebras. Si consideramos que las medidas estándar de los tornillos transpediculares cervicales se ubican en 4mm de grosor y de 12mm a 22mm de longitud, queda claro el alto riesgo de que ocurra fractura del pedículo y daño del canal medular.

Con los hallazgos de la presente Tesis Doctoral podemos definir que, si bien entre otras estructuras vertebrales cervicales puede haber diferencias significativas de tamaño, a nivel de los pedículos las dimensiones se mantienen en

el grupo de pacientes mexicanos; por ende, podemos determinar que en lo concerniente a la región cervical los tornillos no parecen ser adecuados; posiblemente se hayan establecido para etnias cuyas estructuras poseen medidas más grandes, como alemanes, franceses y rusos (referidas en la literatura), pero obviamente no para la población de pacientes mexicanos.

El riesgo de daño estructural y funcional medular es enorme, si tomamos en consideración que los tornillos utilizados para colocación transpedicular en vértebras cervicales son de un diámetro fijo, por lo que es importante que, independientemente de la experiencia del neurocirujano, se consideren otras maneras de abordaje en esta sección vertebral, mientras no se adecuen los tornillos trasnpediculares a las medidas antropométricas cervicales mexicanas. Es evidente que se requieren nuevos estudios biomecánicos donde se utilicen tornillos de menor diámetro, si bien es verdad que esto sería en detrimento de la fuerza de fijación,<sup>49,73</sup> ya que parece lógico pensar que a menor diámetro (2mm, 2.5 mm, 3mm) más facilidad de fractura del tornillo. Además se podría producir mayor frecuencia de lesiones neurovasculares, por la propia fractura del tornillo, por la mayor inestabilidad de la columna y por la dificultad de la técnica quirúrgica para la colocación del tornillo.

Esto podría incidir sobre todo en las vértebras C3, C4 y C5, donde la media del diámetro axial o anchura de ambos pedículos, determinada en nuestro estudio mediante TAC, es de 3.6 a 3.8 mm, lo que ocasionaría fractura de la pared medial al colocar un tornillo de 3.5 mm de diámetro. La fractura de la pared medial, y por consiguiente la lesión de la duramadre o de la médula espinal a estos niveles, podría ocasionar una fístula de líquido cefalorraquídeo que sería lo menos malo, en comparación con una lesión medular a este nivel. Podrían aparecer trastornos en los fascículos periféricos de la medula espinal, como son los fascículos

espinocerebelosos y espinotalámicos, así como las astas anteriores y posteriores de la sustancia gris de la medula espinal.

En las medidas realizadas por antropometría directa, en C4 el promedio del ancho del pedículo fue de 4.47 a 4.73 mm, lo que aumenta el riesgo de lesión de la pared cortical externa del pedículo. La pared externa o lateral (en promedio de 0,6 mm a 0,8 mm) es siempre más delgada que la interna (0.8mm a 1 mm). Por ello, es frecuente que al colocar el tornillo de 3.5 a 4 mm se produzca daño en la pared lateral, en la arteria vertebral o en la raíz nerviosa correspondiente, como demuestran los estudios experimentales.<sup>50</sup> Estos estudios dan cuenta de un índice de fracturas de las paredes medial y lateral de hasta un 17%, lo cual es un promedio muy alto tomando en cuenta el tipo de lesión que se produciría en pacientes que no tienen daño medular, vascular o radicular previo.

En C5, mediante antropometría directa, el promedio de anchura del pedículo fue de 4.84 mm a 5.18 mm, por lo que, aunque en menor medida, se mantienen las posibilidades de lesiones tras la introducción del tornillo transpedicular con ruptura de sus corticales interna y externa y con la posibilidad de daño en la arteria vertebral, médula espinal, duramadre o la raíz nerviosa.

En C6 el diámetro axial o anchura de ambos pedículos, determinada por antropometría directa, varía en promedio de 5.16 a 5.26 mm, diámetro algo más cercano al del tornillo, pero evidentemente no exento de riesgos intraoperatorios.

En C7 el promedio en el diámetro de los pedículos, mediante antropometría directa en el cadáver, fue de 5.05 a 5.58 para el axial y de 4.87 a 5.26 para el antero-posterior. En este caso, el agujero transversal no está ocupado por la arteria vertebral y no existe riesgo de lesión de la misma, pero existen venas en su interior que sí se pueden lesionar.

A pesar de todo, hay que tener en cuenta que la instrumentación con tornillos pediculares en la columna cervical conlleva un importante aumento de la estabilidad de la región, en comparación con la fijación con tornillos en las masas laterales (Fig. 72).<sup>49</sup> La fuerza de los tornillos pediculares representa más del doble, que la de los tornillos de las masas laterales, ya que en promedio la longitud del tornillo de la masa lateral es de 12 a 16 mm, a diferencia del tornillo transpedicular que es de 26 a 34 mm. Estamos, por tanto, ante una solución quirúrgica que dota de mayor estabilidad a la columna cervical, pero aumentando el riesgo de lesiones durante su aplicación.

Es por tanto obvio que el tornillo pedicular cervical debe ser aplicado por cirujanos de columna con experiencia probada en talleres con prácticas en cadáver,<sup>99</sup> que deben extremar las precauciones de la instrumentación quirúrgica y ayudarse con la utilización de técnicas de fluroscopia en tres dimensiones o de TAC multiplanar para la medición preoperatoria de la anchura de pedículos y la implantación de técnicas de neuronavegación.<sup>1,4,64,116,119,129</sup>

En todo este proceso, es básico el conocimiento exacto de la anatomía del pedículo vertebral cervical y tener en cuenta ciertos aspectos que consideramos de vital importancia para que el tornillo sea colocado en el sitio exacto y con anchuras de pedículo mayores al diámetro del tornillo a aplicar. Entre estos aspectos, merece la pena destacar:

- Los pedículos deben ser mayores de 5 mm en su anchura y altura.
- El punto de entrada al pedículo se realizará al menos 3 mm por debajo del borde inferior de la faceta articular de la vertebra superior y 2 mm por fuera de la línea media facetaria.
- El ángulo entre la entrada al pedículo y el borde anterior del cuerpo en su línea media debe ser de 40 a 60 grados, en relación a la línea media.

- La longitud del tornillo debe ser de 26 a 34 mm, de acuerdo a mediciones del TAC multiplanar preoperatorio.
- El diámetro del tornillo debe ser de 3.5 mm para las vértebras C3, C4 y C5, y de 4 mm para las vértebras C6 y C7.

Existen casos en que los pedículos son menores de 2 mm y en esta situación se deberá descartar la cirugía de aplicación de tornillo transpedicular cervical y optar por técnicas diferentes, como puede ser la fijación con tornillo de las masas laterales.

Otra técnica, frecuentemente utilizada, es desbloquear las facetas por vía posterior usando dos erinas, sujetar las bases de las apófisis espinosas, siempre y cuando no estén fracturadas, y reducir las facetas imbricadas. Una vez corroborada la alineación exacta de la columna cervical, se cierra por planos en la forma acostumbrada, se gira al paciente 180 grados, y se procede al abordaje por vía anterolateral. Siguiendo el borde interno del músculo esternocleidomastoideo, se localiza la arteria carótida interna y por su borde interno, entre esta arteria y el esófago, se localiza la línea media de los cuerpos vertebrales, así como los músculos largos del cuello. De esta forma podremos efectuar una discoidectomía del sitio afectado y colocar una caja con injerto óseo y una placa con tornillos en las vértebras supra e infrayacente.

Hay casos en que existe agenesia de uno o ambos pedículos y en estos casos la lamina está fusionada a la pared posterior del cuerpo vertebral, por lo que se deberá proceder a la fijación con tornillos a las masas laterales. Primero se deberá reducir la imbricación de las facetas con la técnica antes descrita y, posteriormente, realizar la técnica para la fijación del tornillo en las masas laterales de las vértebras supra e infrayacente, que se describe a continuación: El punto de entrada del tornillo es en el cuadrante inferior interno de la faceta; la dirección debe ser hacia arriba y hacia afuera, en un ángulo de 25 grados afuera y

25 grados hacia arriba, para evitar la arteria vertebral y la raíz emergente. En estos casos, esta técnica da muy buena estabilidad a la columna e impide la luxación de la vertebra dañada.

A veces, la variabilidad del tamaño de los pedículos en una misma vértebra es tal, que hace difícil planificar el tamaño idóneo del tornillo a aplicar. Otros autores también describen variaciones individuales y diferencias en ambos pedículos (derecho e izquierdo) de una vértebra.<sup>54</sup> Esta condición es una indicación para decidirse por otras técnicas quirúrgicas más simples y con menor riesgo de daño de estructuras vitales, como la arteria vertebral, o estructuras nerviosas, como la raíz emergente o duramadre, con la consiguiente fístula del líquido cefalorraquídeo y la lesión medular grave. En estos casos y a pesar del uso de fluroscopia en tres dimensiones transoperatoria, TAC multiplanar preoperatorio (con medición de anchura y altura del pedículo, así como determinación del ángulo de entrada para la dirección del tornillo hacia la línea media del cuerpo vertebral) y sistemas de neuronavegacion transoperatorio, consideramos que esta técnica en pacientes mexicanos es sumamente peligrosa y nos lleva a complicaciones serias.

Como se deduce de las mediciones efectuadas en este estudio y de la comparación de los diámetros del pedículo y del tornillo, la colocación de un tornillo transpedicular en la vertebra C7 (o fijaciones que incluyen la última vértebra cervical y las primeras vértebras torácicas) es mucho más factible y menos peligrosa en la población mexicana, tanto por el hecho de la concordancia de los diámetros, como por el hecho de que a estos niveles la arteria vertebral no discurre por el agujero costotransverso y su lesión es mucho más difícil.

## **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

- Primera.** Las medidas del grosor pedicular se mantienen constantes en el total de las vértebras cervicales estudiadas, C3 a C7, presentando cambios significativos solo a nivel de los cuerpos vertebrales, la longitud de las apófisis espinosas y la altura de las láminas.
- Segunda.** El promedio de grosor o anchura pedicular de las vértebras cervicales C3 a C7 es de 5 mm, y el grosor estándar de los tornillos transpediculares cervicales es de 4mm por lo que existe un alto riesgo de que ocurra fractura del pedículo y daño del canal medular.
- Tercera.** La presencia de grosores fijos en los tornillos transpediculares cervicales representa un problema serio para el neurocirujano mexicano, ya que, independientemente del estado de paciente y la experiencia del cirujano, se corre un riesgo absoluto de fracturar el pedículo, desestabilizar la columna, dañar el canal medular y lesionar fácilmente la arteria vertebral y la raíz nerviosa correspondiente.
- Cuarta.** Los riesgos de daño neurológico a consecuencia de la mala ubicación y sujeción del tornillo a este nivel cervical son altos, por lo que se debe optar por elegir otros métodos de fijación, mientras no se adecuen los tornillos transpediculares cervicales a la medida de los pedículos vertebrales de la población mexicana.
- Quinta.** La realización de estudios antropométricos nacionales en la República Mexicana nos permitirá, no solo conocer a profundidad la anatomía particular de cada etnia, sino también seleccionar mejores técnicas de abordaje quirúrgico y elaborar material quirúrgico especializado y adecuado a cada tipo de población.

## **RESUMEN**

## RESUMEN

**Introducción.** La columna cervical, debido a su gran movilidad y por tener relación con estructuras críticas vasculares y nerviosas, representa un reto para el cirujano de columna. Clásicamente se ha descrito la fijación con tornillos pediculares a C2 y C7 pero la fijación pedicular de la columna subaxial sigue siendo poco difundida. Los tipos de lesiones cervicales más comunes que pueden presentarse en la columna son las fracturas por compresión de una vértebra, la subluxación (luxación parcial o completa de una vértebra que se sale de su alineación normal en la columna), y el sobre-estiramiento o desgarró de ligamentos y músculos; cualquiera de las anteriores lesiones puede provocar corte irreversible de la médula, pellizcamiento y elongación; es por ello que, dichas lesiones, frecuentemente requieren abordaje quirúrgico; motivo por el cual los procedimientos quirúrgicos en la región cervical han tomado gran importancia para las cirugías de fijación transpedicular, radicando ahí la trascendencia de la antropometría de las vértebras cervicales.

La fijación con tornillo transpedicular es un procedimiento quirúrgico complicado que se utiliza actualmente para columna vertebral inestable, la fijación con tornillos pediculares cervicales ha sido considerada por diversos autores como de alto riesgo por las estructuras neurovasculares relacionadas, a excepción de C2 y C7. Diversos estudios avalan la importancia de la antropometría pedicular (primordialmente en lo concerniente al área cervical), por Saillant, basándose en el estudio anatómico detallado de las medidas y orientación de los pedículos, estableció la utilización de placas atornilladas en los pedículos vertebrales para conseguir una osteosíntesis más fiable en los niveles torácico y lumbar de la columna vertebral.

Kayalioglu *et al.* (2007), en un trabajo realizado en la columna cervical baja (C3-C7) por medición directa mediante un goniómetro, encontraron que en C3 y C4 existen dimensiones menores en la anchura y altura del pedículo, mientras que la anchura se incrementa en C5 y C6. Además, describen las variaciones individuales y las diferencias en ambos pedículos (derecho e izquierdo) de una vértebra. Concluyen que el riesgo de fractura pedicular aumenta en los niveles más altos (C3-C4).

En su estudio de 1997, Jones *et al.* evaluaron 56 vértebras desarticuladas específicamente desde C2 a C7. El análisis por TAC determinó la morfología y la densidad ósea pedicular; asimismo se sometieron a carga tornillos transpediculares de 3.5 y 2.7 mm, evidenciando que la afectación de la pared pedicular está en relación con la densidad ósea.

Yoshimoto *et al.* (2005) refieren la inserción de 134 tornillos sin complicaciones neurovasculares o pérdida de la continuidad. Estos resultados sugieren que el uso de tornillos en el pedículo cervical podría llevar un mayor margen de seguridad que la prevista inicialmente. No obstante, se han comparado con estudios de fijación de masas laterales, demostrando que dicha técnica tiene una mayor incidencia de lesiones de la raíz nerviosa, tornillo flojo y pérdida de continuidad.

Ludwig *et al.* (1999), al hacer sus mediciones mediante disección directa, encontraron que de C4 a C7 el promedio angular para inserción del tornillo transpedicular era de 45°, en concreto: 39° entre C4 y C5; 29° en C6 y 33° en C7). Además el promedio del diámetro transversal fue de 5.18 mm y la longitud pedicular de 9.1mm.

El inicio de los estudios de Xu *et al.* (1999) tuvieron como punto de partida la escasez de datos cuantitativos que relacionaran el pedículo cervical con las

estructuras neurales adyacentes, detectado diferencias morfométricas significativas entre ambos sexos. Sin embargo, pese a lo que cabría esperar debido a las diferencias físicas entre las poblaciones europea/americana y asiática, aún existe controversia; en este sentido, la investigación de Chazono *et al.* (2012) no revela disparidad étnica significativa en las dimensiones del pedículo, pero sí lo hace el trabajo de Liu *et al.* (2010), donde encuentran diferencias significativas en la longitud y ángulo transversal del pedículo entre las poblaciones europea/americana y asiática.

Ebraheim *et al.* (1998a) evaluaron anatómicamente el cuerpo vertebral en 76 vértebras cervicales desarticuladas, incluyendo mediciones antero-posteriores en la línea media sagital y parasagital, encontrando una profundidad media de 14 mm en las secciones sagital, parasagital y medio cuerpo vertebral. Con los años, ha habido mucho debate y discusión en relación con la ubicación del pedículo frente a la parte interarticular. Karaikovic *et al.* (1997) analizaron las vértebras cervicales C2 a C7 de 53 columnas vertebrales de origen euro-americano, identificadas por edad, sexo y altura, mediante pinza digital, goniómetro y TAC. Sus resultados evidenciaron que el eje longitudinal del pedículo era similar de C3 a C7, la anchura externa del pedículo era menor que la altura, siendo igual o inferior a 4 mm en el 75.5% de las vértebras C3 estudiadas; también observaron que algunos pedículos no tenían canal medular, es decir, eran hueso cortical sólido.

Zheng *et al.* (2000), realizaron un estudio morfométrico y experimental en seis cadáveres humanos conservados. Midió los ejes y dimensiones de los pedículos C3-C7 (60 pedículos) utilizando tomografía computarizada multicorte (TC); además, la fluoroscopia fue muy útil en la preparación del agujero transversal e inserción del tornillo. En sus resultados observaron una precisión en los tornillos pediculares del 83.3% y no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la angulación transversal del pedículo y la trayectoria actual

del tornillo conseguida mediante la línea directriz. Tras analizar la columna cervical baja mediante mediciones por TAC, concluyen que el diámetro pedicular mínimo se encuentra en C3 e incrementa caudalmente hasta C7, señalando además que la orientación del pedículo varía en tres dimensiones.

Finalmente, Stemper *et al.*, en 2008, intentan establecer la longitud segura de los tornillos siguiendo dos técnicas de fijación, la de Roy-Camille y la de Magerl. Sus resultados muestran variaciones significativas en cada nivel subaxial con ambas técnicas, por lo que sugieren realizar TAC preoperatorio sagital oblicuo para estimar la longitud adecuada del tornillo en cada nivel vertebral. Así mismo, se han observado diferencias significativas en los puntos de inserción y orientación del tornillo pedicular entre los distintos niveles cervicales subaxiales y, también, en las medidas pediculares entre hombres y mujeres. Lo que vuelve a sugerir mitigar el riesgo de inserción del tornillo en la columna mediante la apreciación tridimensional de la anatomía del pedículo y TAC preoperatorio.

Debido a la variabilidad del pedículo cervical, es fundamental conocer su anatomía para la correcta colocación de tornillos transpediculares en la columna cervical, es por ello que los estudios cadavéricos siguen siendo obligados para el desarrollo seguro de una técnica altamente eficiente, pero que sigue siendo un procedimiento delicado, como es la estabilización transpedicular de la columna cervical subaxial. Una profunda comprensión de la anatomía pedicular es fundamental para evitar daños en la arteria vertebral, la médula espinal o las raíces nerviosas.

**Objetivos.** Determinar las características morfométricas de los pedículos vertebrales cervicales en la población mexicana, mediante medición directa de especímenes cadavéricos y tomografía computarizada (TC), determinar si éstas son similares entre sí, y valorar si estas características morfométricas son compatibles con las medidas estándar de los tornillos transpediculares.

**Material y Métodos.** Estudio observacional, transversal y descriptivo en las vértebras cervicales desde C3 hasta C7 de un total de 30 cadáveres, donados al Departamento de Anatomía Humana de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Monterrey, México), sobre los que se realizó antropometría directa con el calibrador Vernier.

Posteriormente se efectuó el análisis tomográfico de 30 pacientes de la Consulta Externa de Neurocirugía del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”, desde Enero hasta Julio del 2012. Se evaluaron las vértebras cervicales, desde C2 hasta C7, en cada paciente; se realizaron dos proyecciones, axial y sagital, valorando las secciones axiales y parasagitales.

En ambos estudios, antropometría directa y tomografía, se determinaron la anchura, altura y longitud del pedículo vertebral; los resultados fueron capturados en una base diseñada para tal efecto en el programa IBM Statistic SPSS, versión 21, para su posterior análisis

**Resultados.** Nuestro estudio postmortem muestra que las vertebrae cervicales C3, C4, C5, C6 y C7 presentan en promedio un grosor pedicular de 4.3 mm, los cuales no evidenciaron diferencia estadísticamente significativa, al contrastar entre cada una de las vértebras, lo que asegura su homogeneidad antropométrica. En la evaluación por TAC observamos que el diámetro anteroposterior de C5 es mayor que el de C3; el de C6 es superior a los de C2, C3 y C4; y el de C7 es superior al de C2, C3, C4 Y C5, el diámetro axial de C6 es superior al de C2, C3 y C4; y el de C7 es mayor que el de C2, C3, C4 Y C5.

La comparación de las mediciones entre ambos estudios, antropometría directa y tomografía, puso de manifiesto un valor superior en la anchura del pedículo medida sobre el cadáver, con respecto a la determinada sobre TAC (diámetro axial) para las vértebras C2, C3, C4 y C5, con diferencias

estadísticamente significativas. La longitud del pedículo medida sobre el cadáver también fue mayor en las vértebras C3 y C4, con respecto a la hallada sobre TAC (diámetro AP); sin embargo, la longitud del pedículo de C7 en el cadáver fue menor que la obtenida sobre TAC; estas diferencias fueron igualmente estadísticamente significativas.

**Discusión.** La columna cervical se caracteriza por ser muy flexible y permitir mayor movilidad que cualquier otra zona de la columna vertebral, es por ello que el dolor cervical puede ser el resultado de diversas anomalías y la cirugía de la columna cervical puede ser indicada para solucionar una gran variedad de problemas a este nivel.

La presencia de grosores fijos en los tornillos transpediculares cervicales, los cuales exceden el grosor encontrado, representa un problema serio para el neurocirujano mexicano, ya que los riesgos de daño neurológico a consecuencia de la mala ubicación y sujeción del tornillo a este nivel cervical son físicamente muy altos. Las medidas estándares de los tornillos transpediculares cervicales se ubican en 4mm de grosor y de 12mm a 22mm de longitud, lo que indica el inminente riesgo que se corre de fracturar el pedículo y desestabilizar la columna, dañar el canal medular y lesionar fácilmente la arteria vertebral y la raíz nerviosa correspondiente.

**Conclusiones.** Los riesgos de daño neurológico a consecuencia de la mala ubicación y sujeción del tornillo a este nivel cervical son altos, esto debido al uso de tornillos con calibres de estándar internacional, los cuales no son acordes a la antropometría Mexicana; por ello se debe optar por elegir otros métodos de fijación, mientras no se adecuen los tornillos transpediculares cervicales a la población mexicana.

**Palabras Clave.** Vértebra cervical, pedículo vertebral, morfometría, México, tornillos transpediculares.

### Referencias Más Relevantes

**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;21:1451-1458.

**Ebraheim NA, Fow J, Xu R, Yeasting RA.** The vertebral body depths of the cervical spine and its relation to anterior plate-screw fixation. *Spine* 1998a;23:2299-2302.

**Jones EL, Heller JG, Silcox DH, Hutton WC.** Cervical pedicle screws versus lateral mass screws. Anatomic feasibility and biomechanical comparison. *Spine* 1997;22:977-982.

**Karaikovic EE; Daubs MD, Madsen RW, Gaines RW Jr.** Morphologic characteristics of human cervical pedicles. *Spine* 1997;22:493-500.

**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;47:102-108.

**Liu J, Napolitano JT, Ebraheim NA.** Systematic review of cervical pedicle dimensions and projections. *Spine* 2010;35:E1373-1380.

**Ludwig SC, Kramer DL, Vaccaro AR, Albert TJ.** Transpedicle screw fixation of the cervical spine. *Clin Orthop Relat Res* 1999;359:77-88.

**Saillant G.** Étude anatomique des pédicules vertébraux. Application chirurgicale. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1976;62:151-160.

**Stemper BD, Marawar SV, Yoganandan N, Shender BS, Rao RD.** Quantitative anatomy of subaxial cervical lateral mass: an analysis of safe screw lengths for Roy-Camille and magerl techniques. *Spine* 2008;33:893-897.

**Xu R, Kang A, Ebraheim NA, Yeasting RA.** Anatomic relation between the cervical pedicles and the adjacent neural structures. *Spine* 1999;24:451-604.

**Yoshimoto H, Sato S, Hyakumachi T, Yanagibashi Y, Masuda T.** Spinal reconstruction using a cervical pedicle screw system. *Clin Orthop Relat Res* 2005;431:111-119.

**Zheng N, Yong-Hing K, Watson LG.** Morphological and biomechanical studies of pedicle screw fixation for the lower cervical spine. *Journal of Systems Integration* 2000;10:55-66.

## **SUMMARY**

## SUMMARY

**Introduction.** The cervical spine, due to its high mobility and be related to vascular and nerve critical structures, represents a challenge to the spine surgeon. Classically has been described the pedicle screw fixation to C2-C7 vertebrae but its use in subaxial vertebral column is still not widespread. The types of common cervical lesions that can occur in the spine are compression fracture of a vertebra, spondylolisthesis (partial or complete dislocation of a vertebra that is out of its normal alignment in the spine), and over-stretching or torn ligaments and muscles, any of the above injuries can cause irreversible spinal cord injury, pinching and stretching, which is why these injuries often require surgical approach and that is why surgical procedures in the cervical region have taken great importance for transpedicular fixation surgeries, hence the importance of anthropometry of the cervical vertebrae.

The transpedicular screw fixation is a complicated surgical procedure that is currently used for unstable spine, the cervical pedicle screw fixation has been considered by several authors as high risk procedure related to the proximal neurovascular structures, except for C2 and C7. Several studies support the importance of the vertebral pedicle anthropometry (primarily with regard to the cervical region), for example Saillant, based on a detailed anatomical study measures and orientation of the pedicles, established the use of plates screwed into vertebral pedicles to get a more reliable fixation in the thoracic and lumbar levels of the vertebral column.

Kayalioglu et al. (2007), in a study conducted in the lower cervical spine (C3-C7) by direct measurement using a goniometer, determined that C3 and C4 have smaller dimensions in the width and height of the pedicle, while the width increases in C5 and C6. Furthermore they describe the individual variations and

differences in both pedicles (right and left) of a vertebra. They conclude that exist an increased risk of pedicle fracture in the higher levels (C3-C4).

In his study (1997), Jones et al. evaluated specifically fifty six disarticulated vertebrae from C2 to C7. CT analysis were done to determine the morphology and pedicle bone density; also underwent to transpedicular screw load of 3.5 and 2.7 mm, showing that the involvement of the pedicle wall is related to the bone density.

Yoshimoto et al. refer the insertion of one hundred and thirty four screws without neurovascular complications and without loss of continuity. These results suggest that the use of cervical pedicle screws could take a greater safety margin than expected initially. However, some studies have compared this technique with lateral mass fixation, showing that this technique has a higher incidence of nerve root injury, loose screws and loss of continuity.

Ludwig et al. (1999), made their measurements by direct dissection and found that from C4 to C7 the average angular insertion of transpedicular screw was 45°, in particular: (39° between C4 and C5, 29° at C6 and 33° at C7). Furthermore the average transverse diameter was 5.18 mm and the pedicle length was 9.1mm.

The study conducted by Xu et al. (1999) had as it is starting point the lack of quantitative data, related to the cervical pedicle adjacent neural structures and morphometric differences detected between genders. However, despite what might be expected due to the physical differences between European, American and Asian populations, controversy still exists in this sense, research conducted by Chazono et al. did not reveal significant ethnic disparity in pedicle dimensions, but it does the work conducted by Liu et al. where significant differences were

determined in the length and pedicle transverse angle between populations European / American and Asiatic populations.

Ebraheim et al (1998a) evaluated anatomically, the vertebral body of seventy six disjuncted cervical vertebrae, including measurements on the anterior-posterior diameter in the midline and parasagittal. Finding an average depth of 14 mm in the sagittal and parasagittal sections. Over the years, there has been much debate and discussion regarding the location of the pedicle front to interarticular.<sup>30-32</sup> Karaikovic et al. (1997) analyzed the cervical vertebrae C2 to C7 vertebral columns of 53 Euro-American origin, identified by age, sex and height, using digital caliper and CT scan. Their results showed that the longitudinal axis of the pedicle was similar to C3 to C7, the external width of the pedicle was smaller than the height being equal to or less than 4 mm in 75.5% of the vertebrae C3 studied, also observed that some pedicles did not had medullary canal that means that the cortical bone were solid.

Zheng et al. (2000) conducted a morphometric and experimental study in six human cadavers preserved. Axes and dimensions were measured of the pedicles C3-C7 (60 pedicles) using computed tomography (CT), in addition, fluoroscopy was very useful in preparation of the transverse hole and screw insertion. In their results, they observed a correct pedicle screw insertion in 83.3% of cases and found no statistically significant differences between the transverse angle of the pedicle and screw the current trajectory achieved by the line directress. After analyzing the lower cervical spine by CT, they conclude that the minimum diameter is in the pedicle and increases caudally to C3 to C7, further noting that the orientation of the pedicle varies three dimensions.

Stemper et al., in 2008, try to set the length of the screws securely using two fixation techniques, the Roy-Camille and Magerl. Their results show significant variations in each level with both techniques subaxial therefore suggest oblique

sagittal preoperative CAT scan to estimate appropriate screw length on each level vertebral. Likewise, no significant differences in the points of insertion and orientation pedicle screw between subaxial cervical levels and also in measurements between men and women. This again suggests that mitigate the risk of screw insertion in the column by three-dimensional appreciation of the anatomy of the pedicle and preoperative CT.

Because cervical pedicle variability, it is essential to know their anatomy for the correct placement of pedicle screws in the cervical spine, which is why cadaveric studies are still required for the safe development of highly efficient technique, but it remains a delicate procedure, as transpedicular stabilization of the subaxial cervical spine. A Deep understanding of pedicle anatomy is required to prevent damage to the vertebral artery, spinal cord or nerve roots.

**Objectives.** Determine the morphometric characteristics of cervical vertebral pedicles in the Mexican population, by direct measurement of cadaveric specimens and computed tomography (CT), and determine whether they are similar.

**Material and Methods.** An observational , cross-sectional and descriptive in the cervical vertebrae from C3 to C7 of a total of 30 bodies were donated to the Department of Human Anatomy, Faculty of Medicine of the Autonomous University of Nuevo Leon (Monterrey, Mexico) , was realized direct anthropometry with a Vernier caliper.

Later tomographic analysis was performed of 30 patients of the Outpatient Neurosurgery , University Hospital "Dr. José Eleuterio González", from January to July of 2012, evaluating each patient (and for each cervical) from C2 to C7, were two projections, axial and sagittal.

In both populations, valuing axial and parasagittal sections in order to determine the width, height and length of the vertebral pedicle, and the results were captured in a database designed for this purpose in the Statistic IBM SPSS program, version 21, for subsequent analysis.

**Results.** Postmortem study shows that the cervical vertebrae C3, C4, C5, C6 and C7 show an average thickness of 4.3 mm pedicle, which showed no significant difference, the contrast between each of the vertebrae, which ensures its anthropometric homogeneity, in the evaluation by TAC observed that the anteroposterior diameter of C5 is larger than C3, that of C6 is greater than those of C2, C3 and C4, and C7 is greater than that of C2, C3, C4 and C5, C6 axial diameter is higher than C2, C3 and C4, and C7 is greater than that of C2, C3, C4 and C5.

In comparing both measurement's techniques it was observed a higher value in the pedicle width measured on the body, with particular regard to the TAC (axial diameter) to the vertebrae C2, C3, C4 and C5, with statistically significant differences, pedicle length measured over the body was also higher in the vertebra C3 and C4 with respect to that found on TAC (AP diameter), however, pedicle length of C7 in the body was lower than that obtained on TAC, these differences were also statistically significant. The presence of fixed thickness in the cervical pedicle screws, which exceed the thickness found, represents a serious problem for the Mexican neurosurgeon, since the risks of neurological damage as a result of poor location and screw fastening at this level are physically cervical very high.

**Discussion.** The cervical spine is characterized by being very flexible and allow greater mobility than any other area of the spine, which is why neck pain can be the result of various abnormalities and cervical spine surgery may be indicated to solve a large variety of problems at this level.

If we consider that the standard measures of cervical transpedicular screws located in 4mm thick and 12mm to 22mm in length, it is clear that the imminent risk of fracturing the pedicle runs and damage the spinal canal.

The presence of a fixed thickness in the cervical transpedicular stop screw (4mm) represents a serious problem for the neurosurgeon, because, regardless of the situation in the state of the patient and the surgeon's experience, there is an absolute risk of fracturing the pedicle and destabilize the spine damage the spinal canal and easily injuring the vertebral artery and nerve root in question.

**Conclusions.** The risks of neurological damage as a result of poor location and screw fastening the cervical level are high, this due to the use of screws with international standard gauges, which are not consistent with Mexican anthropometry, which is why you should opt for choose other methods of fixation, while not adapted cervical transpedicular screws to the Mexican population.

**Keywords.** Cervical spine, vertebral pedicle, morphometry, Mexico, pedicle screws.

#### More Relevant References

**Chazono M, Tanaka T, Kumagae 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;21:1451-1458.

**Ebraheim NA, Fow J, Xu R, Yeasting RA.** The vertebral body depths of the cervical spine and its relation to anterior plate-screw fixation. *Spine* 1998a;23:2299-2302.

**Jones EL, Heller JG, Silcox DH, Hutton WC.** Cervical pedicle screws versus lateral mass screws. Anatomic feasibility and biomechanical comparison. *Spine* 1997;22:977-982.

**Karaikovic EE; Daubs MD, Madsen RW, Gaines RW Jr.** Morphologic characteristics of human cervical pedicles. *Spine* 1997;22:493-500.

**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;47:102-108.

**Liu J, Napolitano JT, Ebraheim NA.** Systematic review of cervical pedicle dimensions and projections. *Spine* 2010;35:E1373-1380.

**Ludwig SC, Kramer DL, Vaccaro AR, Albert TJ.** Transpedicle screw fixation of the cervical spine. *Clin Orthop Relat Res* 1999;359:77-88.

**Saillant G.** Étude anatomique des pédicules vertébraux. Application chirurgicale. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1976;62:151-160.

**Stemper BD, Marawar SV, Yoganandan N, Shender BS, Rao RD.** Quantitative anatomy of subaxial cervical lateral mass: an analysis of safe screw lengths for Roy-Camille and Magerl techniques. *Spine* 2008;33:893-897.

**Xu R, Kang A, Ebraheim NA, Yeasting RA.** Anatomic relation between the cervical pedicles and the adjacent neural structures. *Spine* 1999;24:451-604.

**Yoshimoto H, Sato S, Hyakumachi T, Yanagibashi Y, Masuda T.** Spinal reconstruction using a cervical pedicle screw system. *Clin Orthop Relat Res* 2005;431:111-119.

**Zheng N, Yong-Hing K, Watson LG.** Morphological and biomechanical studies of pedicle screw fixation for the lower cervical spine. *Journal of Systems Integration* 2000;10:55-66.

## **REFERENCIAS**

1. **Abumi K, Ito M, Sudo H.** Reconstruction of the subaxial cervical spine using pedicle screw instrumentation. *Spine* 2012;37:E349-356.
2. **Abumi K, Kaneda K.** Pedicle screw fixation for nontraumatic lesions of the cervical spine. *Spine* 1997;22:1853-1863.
3. **Abumi K, Shono Y, Kotani Y, Kaneda K.** Indirect posterior reduction and fusion of the traumatic herniated disc by using a cervical pedicle screw system. *J Neurosurg* 2000;92:S30-S37.
4. **Abumi K, Shono Y, Ito M, Taneichi H, Kotani Y, Kaneda K.** Complications of pedicle screw fixation in reconstructive surgery of the cervical spine. *Spine* 2000;25:962-969
5. **Aebi M, Zuber K, Marchesi D.** Treatment of cervical spine injuries with anterior plating: Indications, techniques, and results. *Spine* 1991;16S:S38-S45.
6. **Agur AMR, Dalley AF.** Grant. Atlas de Anatomía. 11ª Ed. Editorial Médica Panamericana. 2007.
7. **Aizpurúa Prada J.** Actualizaciones en cirugía ortopédica y traumatología. SECOT 6. Elsevier Masson, 2006. pp 235.
8. **Alvarez Cambras R, Ceballos Mesa A, Murgadas Rodríguez R, Candebat Candebat R, Alemán López R, García Gutiérrez A.** Tratado de Cirugía Ortopédica y Traumatológica. Vol. 2. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1985.pp:188-217.
9. **An HS, Anderson PA, Haughton VM, Iatridis JC, Kang JD, Lotz JC, Natarajan RN, Oegema TR Jr, Roughley P, Setton LA, Urban JP, Videman T, Andersson GB, Weinstein JN.** Introduction: disc degeneration: summary. *Spine* 2004;29:2677-2678.
10. **Aronson N.** Chapter 21. The management of soft cervical disc protrusions using the Smith-Robinson approach. *Clin Neurosurg* 1973;20:253-258.
11. **Arreola Risa C, Garza Cantu Y, Mock CN.** Paramédicos en México: entrenamiento, experiencia y recomendaciones. *Trauma* 2002;5:69-74.
12. **Bailey RW, Badgley CE.** Stabilization of the cervical spine by anterior fusion. *J Bone Joint Surg Am* 1960;42-A:565-594.
13. **Bastos Mora F.** Dolor cervicobraquial: estudio clínico y terapéutica. Barcelona: JIMS, 1948. pp.83-200.
14. **Bazaldúa Cruz JJ, González Larios A, Gómez Sánchez A, Villarreal Silva EE, Velázquez Gauna SE, Sánchez Uresti A, Elizondo-Omaña RE, Guzmán López S.** Estudio morfométrico de las vértebras cervicales C3-C7 en una población del Noreste de México. *Int J Morphol* 2011;29:325-330.
15. **Bazar R Lee MJ, Yoo JU.** Incidence of dysphagia after anterior cervical spine surgery: a prospective study. *Spine* 2002;27:2453-2458.
16. **Bertalanffy H, Eggert HR.** Complications of anterior cervical discectomy without fusion in 450 consecutive patients. *Acta Neurochir* 1989;99:41-50.

17. **Boyling JD, Jull GA.** Grieve: Terapia Manual Contemporánea: Columna Vertebral. (3ª ed.) Masson, 2006 .pp:197-207.
18. **Brodke DS, Zdeblick TA.** Modified Smith-Robinson procedure for anterior cervical discectomy and fusion. *Spine* 1992;17S:S427-S430.
19. **Bryan VE Jr.** Cervical motion segment replacement. *Eur Spine J* 2002;11:S92-97.
20. **Ceballos Mesa A.** Exéresis del disco intervertebral por vía anterior. *Rev Cubana Cir* 1976;15:287-298.
21. **Chazono M, Tanaka T, Kumagae 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;21:1451-1458.
22. **Clascá F, Bover R, Burón JA, Castro A.** Anatomía Seccional. Ed. Masson, Barcelona, 2002.
23. **Cloward RB.** The anterior approach for removal of ruptured cervical disc. *J Neurosurg* 1958;15:602-617.
24. **Collazo Alvarez H, Miranda Rodríguez G, Pacheco de Cárdenas L, González Venegas F.** Hernia discal cervical. *Rev Cubana Ortop Traumatol* 1992;6:115-119.
25. **Connolly ES, Seymour RJ, Adams JE.** Clinical evaluation of anterior cervical fusion for degenerative cervical disc disease. *J Neurosurg* 1965;23:431-437.
26. **Contreras CR, Ortega JE, Miller EI, López F.** Uso de tornillos transpediculares en el tratamiento de la inestabilidad espinal. *Rev Med Hond* 2004;72:198-204.
27. **Dohn DF.** Anterior interbody fusion for treatment of cervical-disk conditions. *JAMA* 1966;197:897-900.
28. **Dorward IG, Wright NM.** Seven years of experience with C2 translaminar screw fixation: clinical series and review of the literature. *Neurosurgery* 2011;68:1491-1499.
29. **Ebraheim NA, Fow J, Xu R, Yeasting RA.** The location of the pedicle and pars interarticularis in the axis. *Spine* 2001;26:E34-37.
30. **Ebraheim NA, Fow J, Xu R, Yeasting RA.** The vertebral body depths of the cervical spine and its relation to anterior plate-screw fixation. *Spine* 1998a;23:2299-2302.
31. **Ebraheim NA, Haman ST, Xu R, Yeasting RA.** The anatomic location of the dorsal ramus of the cervical nerve and its relation to the superior articular process of the lateral mass. *Spine* 1998b;23:1968-1971.
32. **Ebraheim NA, Tremains M, Xu R, Yeasting RA.** Anatomic study of the cervicothoracic spinal nerves and their relation to the pedicles. *Am J Orthop* 2000;29:779-781.
33. **Ebraheim NA, Xu R, Knight T, Yeasting RA.** Morphometric evaluation of lower cervical pedicle and its projection. *Spine* 1997;22:1-6.

34. **Esperson JO, Buhl M, Eriksen EF, Fode K, Klaerke A, Kroyer L, Lindeberg H, Madsen CB, Strange P, Wohlert L.** Treatment of cervical disc disease using Cloward's technique. I. General results, effect of different operative methods and complications in 1106 patients. *Acta Neurochir (Wien)* 1984;70:97-114.
35. **Frymoyer JW.** Lumbar disk disease: epidemiology. *Instr Course Lect* 1992;41:217-223.
36. **Garcia M, Burillo-Putze G, Osuna P, Garcia M.** Síndrome de latigazo cervical y pruebas radiológicas. *Aten Primaria* 2003;32:438-439.
37. **Gilroy AM, MacPherson BR, Ross LM, Schünke M, Schulte E, Schumacher U.** Prometheus. Atlas de Anatomía. Ed. Médica Panamericana. 2008.
38. **Graham JJ.** Complications of cervical spine surgery. A five-year report on a survey of the membership of the Cervical Spine Research Society by the Morbidity and Mortality Committee. *Spine* 1989;14:1046-1050.
39. **Hacker RJ, Cauthen JC, Gilbert TJ, Griffith SL.** A prospective randomized multicenter clinical evaluation of an anterior cervical fusion cage. *Spine* 2000; 25: 2646-2655.
40. **Hanbali F, Gokaslan Z, Cooper P.** Ventral and Ventrolateral subaxial decompression. In: *Spine Surgery: Techniques, Complications, Avoidance and Management.* Elsevier, Philadelphia, 2005. pp.341-350.
41. **Heeneman H.** Vocal cord paralysis following approaches to the anterior cervical spine. *Laryngoscope* 1973;83:17-21.
42. **Herkowitz HN.** The surgical management of cervical spondylotic radiculopathy and myelopathy. *Clin Orthop Relat Res* 1989;239:94-108.
43. **Herkowitz HN.** A comparison of anterior cervical fusion, cervical laminectomy, and cervical laminoplasty for the surgical management of multilevel spondylotic radiculo-pathy. *Spine* 1998;13:774-780.
44. **Herkowitz HN, Kurz LT, Overholt DP.** Surgical management of cervical soft disc herniation: a comparison between the anterior and posterior approach. *Spine* 1990;15:1026-1030.
45. **Holm LW, Carroll LJ, Cassidy JD, Hogg-Johnson S, Côté P, Guzman J, Peloso P, Nordin M, Hurwitz E, van der Velde G, Carragee E, Haldeman S; Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders.** The burden and determinants of neck pain in whiplash-associated disorders after traffic collisions: results of the Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. *Spine* 2008;33:S52-S59.
46. **Hong JT, Tomoyuki T, Udayakumar R, Orías AA, Inoue N, An HS.** Biomechanical comparison of three different types of C7 fixation techniques. *Spine* 2011;36:393-398.
47. **Huang D, Du K, Zeng S, Gao W, Huang L, Su P.** The security analysis of transpedicular screw fixation in the lower cervical spine and a case report. *Spine*

- 2011;36:E1702-1708.
48. **Jeanneret B, Gebhard JS, Magerl F.** Transpedicular screw fixation of articular mass fracture-separation: results of an anatomical study and operative technique. *J Spinal Disord* 1994;7:222-229.
  49. **Johnston TL, Karaikovic EE, Lautenschlager EP, Marcu D.** Cervical pedicle screws vs. lateral mass screws: uniplanar fatigue analysis and residual pullout strengths. *Spine J* 2006;6:667-672.
  50. **Jones EL, Heller JG, Silcox DH, Hutton WC.** Cervical pedicle screws versus lateral mass screws. Anatomic feasibility and biomechanical comparison. *Spine* 1997;22:977-982.
  51. **Kambin P.** Anterior cervical fusion using vertical self-locking T-graft. *Clin Orthop Relat Res* 1980;153:132-137.
  52. **Kapandji AI.** Fisiología Articular, Tronco y Raquis. (5ª ed) Editorial Médica Panamericana, Madrid, 2002. pp:253.
  53. **Karaikovic EE; Daubs MD, Madsen RW, Gaines RW Jr.** Morphologic characteristics of human cervical pedicles. *Spine* 1997;22:493-500.
  54. **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;47:102-108.
  55. **Khoury S, Guerra JM.** Lesiones por aceleración de la columna cervical. Síndrome del latigazo. *Prensa Med Argent* 1970;57:1606-1610.
  56. **Klineberg E.** Cervical spondylotic myelopathy: a review of the evidence. *Orthop Clin North Am* 2010;41:193-202.
  57. **Korovessis P, repantis T, Vitsas V, Vardakastanis K.** Cervical spondylodiscitis associated with oesophageal perforation: a rare complication after anterior cervical fusion. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2012.
  58. **Kotil K, Akçetin MA, Savas Y.** Neurovascular complications of cervical pedicle screw fixation. *J Clin Neurosci* 2012;19:546-551.
  59. **Kotil K, Ozyuvaci E.** Multilevel decompressive laminectomy and transpedicular instrumented fusion for cervical spondylotic radiculopathy and myelopathy: A minimum follow-up of 3 years. *J Craniovertebr Junction Spine* 2011;2:27-31.
  60. **Kotil K, Sengoz A, Savas Y.** Cervical transpedicular fixation aided by biplanar flouroscopy. *J Orthop Surg* 2011;19:326-330.
  61. **Lange M.** Tratado de Cirugía Ortopédica. Barcelona: Labor, 1968.pp:238-240.
  62. **Latarjet M, Ruiz Liard A.** Anatomía Humana. 4ª Ed. Tomos I y II. Ed. Médica Panamericana, México. 2005.
  63. **Liu J, Napolitano JT, Ebraheim NA.** Systematic review of cervical pedicle dimensions and projections. *Spine* 2010;35:E1373-1380.

64. **Liu YJ, Tian W, Liu B, Li Q, Hu L, Li ZY, Yuan Q, Lü YW, Sun YZ.** 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. *Chin Med J* 2010;123:2995-2998.
65. **Löfgren H, Johannsson V, Olsson T, Ryd L, Levander B.** Rigid fusion after cloward operation for cervical disc disease using autograft, allograft, or xenograft: a randomized study with radiostereometric and clinical follow-up assessment. *Spine* 2000;25:1908-1916.
66. **Lord SM, Barnsley L, Wallis BJ, Bogduk N.** Chronic cervical zygapophysial joint pain after whiplash. A placebo-controlled prevalence study. *Spine* 1996;21:1737-1745.
67. **Louis R.** Surgery of the spine. Springer, Berlin, 1982. pp: 128-135.
68. **Lu J, Ebraheim NA, Nadim Y, Huntoon M.** Anterior approach to the cervical spine: surgical anatomy. *Orthopedics* 2000;23:841-845.
69. **Ludwig SC, Kramer DL, Vaccaro AR, Albert TJ.** Transpedicle screw fixation of the cervical spine. *Clin Orthop Relat Res* 1999;359:77-88.
70. **Majithia V, Geraci SA.** Rheumatoid arthritis: diagnosis and management. *Am J Med* 2007;120:936-939.
71. **Martín R, Carda JR, Pinto JI, Sanz F, Montaña F, Paternina B, Trigueros F, Izquierdo JM, Vázquez-Barquero A.** Discectomía cervical y artrodesis intersomática mediante la técnica de Cloward: Análisis retrospectivo de las complicaciones y de los resultados radiológicos en 167 casos. *Neurocirugía* 2002;13:265-284.
72. **Matsumoto M, Fujimura Y, Suzuki N, Toyama Y, Shiga H.** Cervical curvature in acute whiplash injuries: prospective comparative study with asymptomatic subjects. *Injury* 1998;29:775-778.
73. **Mayer M, Zenner J, Bogner R, Hitzl W, Figl M, von Keudell A, Stephan D, Penzkofer R, Augat P, Korn G, Resch H, Koller H.** Comparison of revision strategies for failed C2-posterior cervical pedicle screws: a biomechanical study. *Eur Spine J* 2013;22:46-53.
74. **McMinn RMH.** Gran Atlas de Anatomía Humana. 5ª edición. Ed. Mosby. Barcelona 2009.
75. **McMurray GN.** The evaluation of Kiel bone in spinal fusions. *J Bone Joint Surg Br* 1982;64:101-104.
76. **Meyer D, Meyer F, Kretschmer T, Börm W.** Translaminar screws of the axis--an alternative technique for rigid screw fixation in upper cervical spine instability. *Neurosurg Rev* 2012;35:255-261.
77. **Miralles Marrero RC, Miralles Rull I.** Biomecánica Clínica de los Tejidos y las Articulaciones del Aparato Locomotor. Elsevier-Masson, Barcelona, 2005.
78. **Modic MT, Masaryk TJ, Ross JS, Carter JR.** Imaging of degenerative disk disease. *Radiology* 1988;168:177-186.

79. **Modic MT, Steinberg PM, Ross JS, Masaryk TJ, Carter JR.** Degenerative disk disease: assessment of changes in vertebral body marrow with MR imaging. *Radiology* 1988;166:193-199.
80. **Moore KL, Dalley AF, Agur AMR.** Anatomía con Orientación Clínica. 6ª Ed. Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins. 2010.
81. **Moreland DB, Asch HL, Clabeaux DE, Castiglia GJ, Czajka GA, Lewis PJ, Egnatchik JG, Cappuccino A, Huynh L.** Anterior cervical discectomy and fusion with implantable titanium cage: initial impressions, patient outcomes and comparison to fusion with allograft. *Spine J* 2004;4:184-191
82. **Najjar MF, Kuczmarski RJ.** Anthropometric data and prevalence of overweight for Hispanics: 1982-84. *Vital Health Stat 11.* 1989;239:1-106.
83. **Najjar MF, Rowland M.** Anthropometric reference data and prevalence of overweight, United States, 1976-1980. *Vital Health Stat 11* 1987;(238):1-73.
84. **Netter FH.** Atlas de Anatomía Humana. 4ª Ed. Masson, Barcelona, 2007.
85. **Newhouse KE, Lindsey RW, Clark CR, Lieponis J, Murphy MJ.** Esophageal perforation following anterior cervical spine surgery. *Spine* 1989;14:1051-1053.
86. **Nolte LP, Zamurano LJ, Jiang Z, Wang Q, Langlotz F, Berlemann U.** Image guided insertion of transpedicular screw: a laboratory setup. *Spine* 1995;20:497-500.
87. **Oga M, Yuge I, Terada K, Shimizu A, Sugioka Y.** Tortuosity of vertebral artery in patients with cervical spondylotic myelopathy. Risk factor for the vertebral artery injury during anterior cervical decompression. *Spine* 1996;21:1085-1089.
88. **Onimus M, Destrumelle N, Bangloff S.** Surgical treatment of cervical soft disc herniation: anterior versus posterior approach. *Rev Chir Orthop* 1995;81:296-301.
89. **Orozco-Declos R, Llovet-Tapies J.** Osteosíntesis en las fracturas del raquis cervical: nota técnica. *Rev Ortop Traumatol* 1970;14:285-288.
90. **Pancorbo Sandoval A.E.** Medicina y Ciencias del Deporte y Actividad Física. Ed. Ergon, Madrid, 2008.
91. **Parker SL, McGirt MJ, Garcés-Ambrossi GL, Mehta VA, Sciubba DM, Witham TF, Gokaslan ZL, Wolinsky JP.** Translaminar versus pedicle screw fixation of C2: comparison of surgical morbidity and accuracy of 313 consecutive screws. *Neurosurgery* 2009;64:S343-349.
92. **Pascual-Lozano AM, Salvador-Aliaga A, Láinez-Andrés JM.** La cefalea postraumática. Fisiopatología, aspectos clínicos, diagnósticos y terapéuticos. *Neurología* 2005;20:133-142.
93. **Patwardhan AR, Nemade PS, Bhosale SK, Srivastava SK.** Computed tomography-based morphometric analysis of cervical pedicles in Indian population: a pilot study to assess feasibility of transpedicular screw fixation. *J Postgrad Med* 2012;58:119-122.
94. **Payer M, May D, Reverdin A, Tessitore E.** Implantation of an empty carbon fibre

- composite frame cage after single-level anterior cervical discectomy in the treatment of cervical disc herniation: preliminary results. *J Neurosurg* 2003;98:S143-S148.
95. **Pleguezuelos E, Perez M.E, Guirao L, Palomera E, Moreno E, Samitier B.** Factores relacionados con la evolución clínica del síndrome del latigazo cervical. *Med Clin (Barc)* 2008;131:211-215.
96. **Putz R, Pabst R.** Sobotta. Atlas de Anatomía Humana. 22ª ed. Ed. Médica Panamericana, Buenos Aires, 2006.
97. **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;90:1914-1921.
98. **Rappaport LH, O'Leary PF.** Cervical disc disease. In: Textbook of Spinal Surgery. Bridwell KH, Dewald RL (eds). Philadelphia, Lippincott-Raven, 1997. pp:1371-1396.
99. **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.
100. **Rezcallah AT, Xu R, Ebraheim NA, Jackson T.** Axial computed tomography of the pedicle in the lower cervical spine. *Am J Orthop* 2001;30:59-61.
101. **Robaina-Padrón FJ.** Tratamiento quirúrgico del dolor de espalda. *Actualizaciones en Dolor* 2000;1:42-50.
102. **Rohen JW, Yokochi C, Lütjen-Drecoll E.** Atlas Fotográfico de Anatomía Humana. 6ª ed. Elsevier, 2007.
103. **Romano PS, Campo DR, Rainwater JA.** Elective cervical discectomy in California: postoperative in-hospital complications and their risk factors. *Spine* 1997;22:2677-2692.
104. **Rosenorn J.** Anterior cervical discectomy with and without fusion: a prospective study. *J Neurosurg* 1983;59:252-255.
105. **Rouvière H, Delmas A, Delmas V.** Anatomía Humana: Descriptiva, Topográfica y Funcional. Tomo 1, Cabeza y Cuello, 11ª ed. Elsevier-Masson, 2006.
106. **Saillant G.** Étude anatomique des pédicules vertébraux. Application chirurgicale. *Rev Chir Othop Reparatrice Appar Mot* 1976;62:151-160.
107. **Salcman M.** Complications of cervical spine surgery. *Crit Care Med* 2001;29:2027-2028.
108. **Savolainen S, Usenius JP, Hernesniemi J.** Iliac crest versus artificial bone grafts in 250 cervical fusions. *Acta Neurochir* 1994;129:54-57.
109. **Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K.** Prometheus. Texto y Atlas de Anatomía. 2ª ed. Ed. Médica Panamericana, 2010.
110. **Seng C, Tow BP, Siddiqui MA, Srivastava A, Wang L, Yew AK, Yeo W, Khoo SH, Balakrishnan NM, Bin Abd Razak HR, Chen JL, Guo CM, Tan SB, Yue WM.**

- Surgically treated cervical myelopathy: a functional outcome comparison study between multilevel anterior cervical decompression fusion with instrumentation and posterior laminoplasty. *Spine J* 2013;pii:S1529-9430.
111. **Silber JS, Anderson DG, Daffner SD, Brislin BT, Leland JM, Hilibrand AS, Vaccaro AR, Albert TJ.** Donor site morbidity after anterior iliac crest bone harvest for single-level anterior cervical discectomy and fusion. *Spine* 2003;28:134-139.
  112. **Standring S.** Gray's Anatomy. The anatomical Basis of Clinical Practice. 40th ed. Churchill Livingstone, Elsevier, 2009.
  113. **Stemper BD, Marawar SV, Yoganandan N, Shender BS, Rao RD.** Quantitative anatomy of subaxial cervical lateral mass: an analysis of safe screw lengths for Roy-Camille and magerl techniques. *Spine* 2008;33:893-897.
  114. **Stoudt HW, Damon A, McFarland R, Roberts J.** Weight, height, and selected body dimensions of adults, United States-1960-1962. *Vital Health Stat* 11 1965;11:1-44.
  115. **Stover SL, Fine PR.** The epidemiology and economics of spinal cord injury. *Paraplegia* 1987;25:225-228.
  116. **Su P, Ma R, Li C, Liu S, Huang D.** Pedicle screw fixation of the cervical spine: guidance by computed tomography. *Clin Orthop Relat Res* 2007;462:99-104.
  117. **Tank P, Gest T.** Atlas de Anatomía con Correlación Clínica. Ed. Lippincott Williams & Wilkins. 2009.
  118. **Thiel T.** Atlas Fotográfico de Anatomía Práctica. Springer, Berlín, 2000.
  119. **Tian W, Liu Y, Zheng S, Lv Y.** Accuracy of lower cervical pedicle screw placement with assistance of distinct navigation systems: a human cadaveric study. *Eur Spine J* 2013;22:148-155.
  120. **Tomasino A, Parikh K, Koller H, Zink W, Tsiouris AJ, Steinberger J, Härtl R.** The vertebral artery and the cervical pedicle: morphometric analysis of a critical neighborhood. *J Neurosurg Spine* 2010;13:52-60.
  121. **Ughratdar I, Muquit S, Sivakumar G, White BD.** A simple method to ease insertion and removal of vertebral body distractor pins in anterior cervical surgery. *Br J Neurosurg* 2013;27:141-142.
  122. **Vara CS, Thompson GH.** A cadaveric examination of pediatric cervical pedicle morphology. *Spine* 2006;31:1107-1112.
  123. **Viladot Voegeli A.** Lecciones Básicas de Biomecánica del Aparato Locomotor. Springer, 2001. pp:1327-1473.
  124. **Weir J, Abrahams PH.** Atlas de Anatomía Humana por Técnicas de Imagen. 3ª Edición. Ed. Elsevier, Madrid, 2005.
  125. **Wiltse LL.** Anatomy of the extradural compartments of the lumbar spinal canal. Peridural membrane and circumneural sheath. *Radiol Clin North Am* 2000; 38:1177-1206.

126. **Xu R, Grabow R, Ebraheim NA, Durham SJ, Yeasting RA.** Anatomic considerations of a modified anterior approach to the cervicothoracic junction. *Am J Orthop* 2000;29:37-40.
127. **Xu R, Kang A, Ebraheim NA, Yeasting RA.** Anatomic relation between the cervical pedicles and the adjacent neural structures. *Spine* 1999;24:451-604.
128. **Xu R, Rezcallah AT, Huntoon M, Ebraheim NA.** Computed tomographic evaluation of length of screw paths for anterior cervical plating. *Am J Orthop* 2000;29:622-625.
129. **Yang YL, Zhou DS, He JL.** Comparison of isocentric C-arm 3-dimensional navigation and conventional fluoroscopy for C1 lateral mass and C2 pedicle screw placement for atlantoaxial instability. *J Spinal Disord Tech* 2013;26:127-134.
130. **Yoshimoto H, Sato S, Hyakumachi T, Yanagibashi Y, Kanno T, Masuda T.** Clinical accuracy of cervical pedicle screw insertion using lateral fluoroscopy: a radiographic analysis of the learning curve. *Eur Spine J* 2009;18:1326-1334.
131. **Yoshimoto H, Sato S, Hyakumachi T, Yanagibashi Y, Masuda T.** Spinal reconstruction using a cervical pedicle screw system. *Clin Orthop Relat Res* 2005;431:111-119.
132. **Yukawa Y, Kato F, Yoshihara H, Yanase M, Ito K.** Cervical pedicle screw fixation in 100 cases of unstable cervical injuries: pedicle axis views obtained using fluoroscopy. *J Neurosurg Spine* 2006;5:488-493.
133. **Zheng X, Chaudhari R, Wu C, Mehbod AA, Transfeldt EE.** Subaxial cervical pedicle screw insertion with newly defined entry point and trajectory: accuracy evaluation in cadavers. *Eur Spine J* 2010;19:105-112.
134. **Zheng N, Yong-Hing K, Watson LG.** Morphological and biomechanical studies of pedicle screw fixation for the lower cervical spine. *Journal of Systems Integration* 2000;10:55-66.