

# Estudio preliminar de casos y controles de la morfología axial L4-L5 en la hernia de disco

## *Preliminary case-control study of axial L4-L5 morphology in disc herniation*

José Aso Escario  
PhD, Servicio de Neurocirugía, Hospital MAZ, Zaragoza, España

José Vicente Martínez Quiñones, PhD, Servicio de Neurocirugía, Hospital MAZ, Zaragoza, España

Alberto Aso Vizán, MD, Servicio de Traumatología y Cirugía Ortopédica, Hospital Miguel Servet, Zaragoza, España

Laura González García, PhD, Servicio de Neurocirugía, Hospital Carlos Haya, España

Fabián Consolini, MD, Servicio de Neurocirugía, Hospital MAZ, Zaragoza, España

Ricardo Arregui Calvo, PhD, Servicio de Neurocirugía, Hospital MAZ, Zaragoza, España

Acceda a este artículo en  
siicsalud

Código Respuesta Rápida  
(Quick Response Code, QR)



[www.siicsalud.com/dato/arsiic.php/138114](http://www.siicsalud.com/dato/arsiic.php/138114)

Recepción: 25/1/2014 - Aprobación: 3/3/2014  
Primera edición, [www.siicsalud.com](http://www.siicsalud.com): 30/4/2014

Enviar correspondencia a: José Aso Escario,  
Hospital MAZ, Avenida de la Academia General  
Militar 74, 5015, Zaragoza, España  
[jaso@maz.es](mailto:jaso@maz.es)

➤ Especialidades médicas relacionadas,  
producción bibliográfica y referencias  
profesionales de los autores.

### Abstract

One of the questions about disc herniation is the role of genetic and developmental factors in its origin. Provided that shape is a genomic expression, the study of spinal morphology could clarify the importance of these factors. Modern procedures of shape analysis can be helpful in investigating their respective role. In the present work, geometric morphometrics techniques are used to analyze the axial shape of L4-L5 segment in a sample of patients (87 controls vs. 69 herniated cases). Observed shape changes consisted of a shrinking-widening coronal variability, arising from the midst of the canal. Some shape differences between herniated and non-herniated samples were found, involving zygoapophyseal orientation, laminae shape, and canal morphology. The results supported a genetic origin of observed shape changes. Significant changes were identified between males and females. Nevertheless, the main factor in discriminating herniated and non-herniated cases was disc size, which covaried strongly with body weight. Our findings contribute to a better knowledge of morphological variability of L4-L5 segment, and to understand the role of spinal shape in disc herniation as an expression of genetics, along with other acquired variables. Geometric Morphometry offers a new and promising way to study spine morphology and should be more widely used.

**Key words:** Procrustes superimposition, geometric morphometrics, disc herniation, shape analysis, principal component analysis

### Resumen

Una de las cuestiones discutidas es el papel de los factores genéticos y adquiridos en la etiología de la hernia de disco. Como expresión genómica, el estudio de la morfología podría clarificar dicho papel. Las recientes técnicas de morfometría geométrica (análisis Procrustes generalizado y estudio de componentes principales, entre otras) permiten analizar la forma desde un enfoque no euclidiano, brindando una nueva vía de investigación que puede ser aplicada en el raquis. En el presente trabajo empleamos técnicas de morfometría geométrica para analizar la forma axial L4-L5 en pacientes con hernia de disco ( $n = 69$ ) y controles sanos ( $n = 87$ ). Se observó una variabilidad de forma a modo de expansión-contracción coronal, a partir del centro del canal medular. Se hallaron diferencias morfológicas entre los controles y las hernias: potenciales factores de riesgo que afectaron principalmente a las láminas y la orientación interapofisaria, condicionando cambios en la morfología del canal. Los resultados apoyan un origen genético de la variabilidad morfológica, con un importante dimorfismo sexual. No obstante, el cambio más relevante para la discriminación la presencia y la ausencia de hernia fue el tamaño del disco, que varió significativamente con el peso. Nuestros hallazgos contribuyen a mejorar el conocimiento morfológico espinal, y a entender el papel de la forma en la hernia de disco, como expresión de la genética, frente a otros factores etiológicos adquiridos. Las técnicas de morfometría geométrica ofrecen una prometedora vía para la investigación de la columna, recomendándose un mayor uso dada la escasez de publicaciones al respecto.

**Palabras clave:** superposición Procrustes, morfometría geométrica, hernia de disco, análisis de forma, análisis de componentes principales

### Introducción

Rohlf definió la forma como la información geométrica que permanece en un objeto cuando se han extraído o normalizado la magnificación, la traslación y la rotación.<sup>1</sup> Hasta hace poco, en Biología, para estudiar morfológicamente un espécimen sólo podían medirse distancias, ángulos e índices, y compararlos con valores de referencia. La morfometría geométrica ofrece una nueva manera de estudiar la morfología prescindiendo de las medidas euclidianas.<sup>2</sup> Este método se basa en describir la forma como un número finito de puntos a lo largo del límite de un objeto. Estos puntos (*landmarks*) caracterizan el espécimen, y su conjunto se denomina configuración.

El problema de la comparación de formas ha sido resuelto recientemente por técnicas como el análisis Pro-

crustes generalizado (APG).<sup>3</sup> Mediante éste, las configuraciones son superpuestas y comparadas después de extraer magnificación, rotación y traslación. El método es similar al ajuste por cuadrados mínimos de la regresión estadística. Como resultado, obtenemos una imagen promedio (consenso) que representa la media de las formas analizadas. Esta imagen tiene un centroide, y sus coordenadas se denominan coordenadas Procrustes. El tamaño del centroide (la raíz cuadrada de los residuos de cada caso respecto de las coordenadas del consenso) informa acerca del tamaño de los especímenes. La variación de los residuos de las coordenadas de cada forma respecto del consenso puede analizarse mediante estadística multivariada. Ello permite conocer en qué modo cada forma se aparta del consenso, y estudiar las

relaciones entre dichas modificaciones y otros parámetros biológicos o clínicos (sexo, edad, peso, hernia de disco, etcétera). Así, la forma se incorpora como una variable más al estudio de los parámetros clínicos.

Aquí aplicaremos estas técnicas para encontrar el consenso del segmento L4-L5 axial e investigar si las variaciones de la morfología respecto de éste pueden discriminar entre pacientes con hernia de disco y sin hernia de disco. Estudiaremos también el papel que otros parámetros (sexo, peso y edad) desempeñan en la morfología del segmento espinal.

Las técnicas de morfometría geométrica apenas han sido usadas en raquis, ya que son recientes y complejas. Con nuestro estudio pretendemos darlas a conocer y enfatizar su utilidad para estudiar la columna, tanto normal como patológica.

### Material y métodos

Estudiamos retrospectivamente una serie de imágenes de resonancia magnética nuclear (RMN) consecutivas realizadas en nuestro hospital durante los últimos tres años. Se seleccionaron en total 156 casos. La indicación fue lumbalgia o ciática. Se excluyeron alteraciones diferentes de la hernia de disco (fracturas, infecciones, neoplasias, etcétera), así como las anomalías transicionales.

Elegimos los cortes axiales L4-L5, estándares en la RMN, porque presentan escasa variabilidad adquirida. De particular interés resultó el corte que pasa por la porción más caudal del disco L4-L5, ya que incluye las partes segmentarias más relevantes (disco, articulaciones interapofisarias, láminas y apófisis espinosa). No estudiamos L5-S1 por estar más influido por las variables locales (anomalías transicionales, listesis etc.). Consideramos que el modelo axial resultaba apropiado y simple para evaluar el uso de la morfometría geométrica en el raquis. Futuros trabajos abordarán la variabilidad sagital y tridimensional.

La secuencia empleada fue T2, ya que se consideró que permitía una buena visualización de las referencias, tanto discales como óseas y articulares.

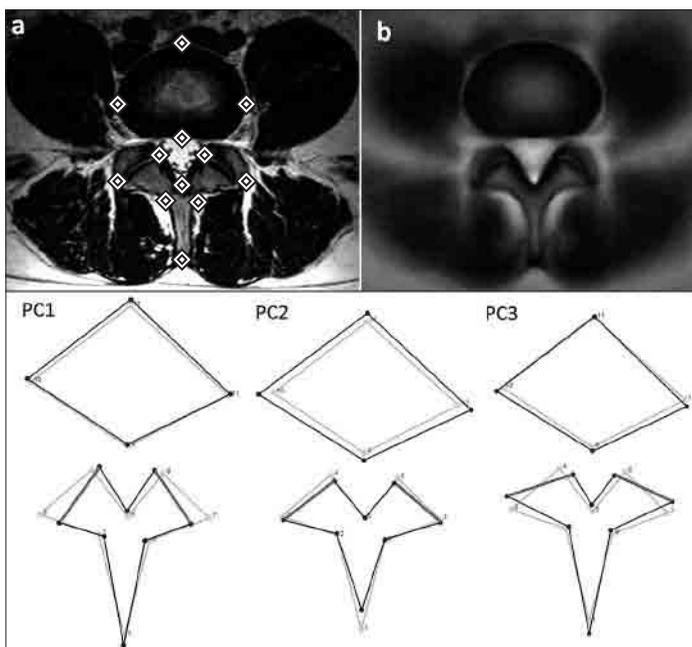
Los casos fueron divididos en dos grupos. El primero incluyó los pacientes sin evidencia de daño discal en L4-L5. El segundo, agrupó a aquellos con hernia en L4-L5. Para este diagnóstico nos apoyamos en el informe radiológico, cada caso fue revisado por dos especialistas en Ortopedia y Neurocirugía. La revisión por dos especialistas tuvo por objetivo lograr una mayor precisión en el emplazamiento de los puntos (*landmarks*). Los casos discordantes se consensaron mediante la revisión detallada de cada caso. No fue nuestro objetivo analizar los errores interobservador ni intraobservador en estos casos, ya que han sido estudiados ampliamente. Al no tratarse de mediciones sino de emplazamientos de *landmarks*, dichos errores resultaron mucho menos relevantes que en las magnitudes euclidianas. No obstante, el error interobservador medio, calculado con dimensiones euclidianas para cada *landmark*, fue menor del 3%.

Los cortes fueron anonimizados usando el software de la RMN y almacenados en formato gráfico .jpg. Posteriormente, se digitalizaron *landmarks* en las imágenes empleando TpsDig2.<sup>4</sup> Los *landmarks* elegidos constan en

**Tabla 1.** Puntos (*landmarks*) empleados en el estudio.

Landmark	Descripción
1	Punto más saliente de la apófisis espinosa (en el punto de inflexión de la aponeurosis)
2	Punto de inflexión de la curvatura de la lámina derecha
3	Límite lateral de la interlínea interfacetaria derecha
4	Límite medial de la interlínea interfacetaria derecha
5	Punto medio posterior del conducto medular
6	Límite medial de la interlínea interfacetaria izquierda
7	Límite lateral de la interlínea interfacetaria izquierda
8	Punto de inflexión de la curvatura de la lámina izquierda
9	Punto medio anterior del conducto medular (punto medio posterior del disco)
10	Punto más saliente lateral derecho del disco
11	Punto más saliente anterior del disco
12	Punto más saliente lateral izquierdo del disco

Descripción de los *landmarks* tomados en la digitalización de las imágenes en el corte axial. Nótese que algunos de ellos corresponden a los tipos denominados anatómicos (por ejemplo, los límites de las interlíneas interfacetarias) y otros a los denominados *landmarks* matemáticos (puntos de máxima inflexión laminar, por ejemplo).



**Figura 1.** Arriba: *Landmarks* usados en la digitalización (a). Imagen de consenso de todos los casos (b), representando la media de la morfología de toda la serie. Abajo: Componentes principales. El trazo débil muestra el consenso y el trazo fuerte la deformación que representa cada componente. Se ha reforzado la orientación de la interlínea interapofisaria.

la Tabla 1. Se tuvo especial cuidado en el emplazamiento del *landmark* medio del soma posterior para excluir material herniado, colocándolo en la proyección del contorno discal no extruido. Con ello intentamos investigar la forma general del disco, sin incluir la porción herniada.

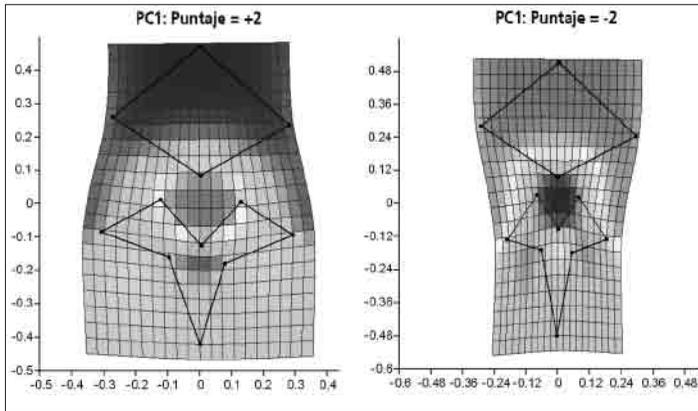
Las imágenes fueron escaladas mediante TpsDig2,<sup>4</sup> introduciendo el factor de escala en el fichero digitalizado. Los *landmarks* seleccionados se encuentran en la Figura 1(a). En la Figura 1(b) se muestra el consenso, representando la forma media de todos los casos. Además de las coordenadas de los *landmarks*, en cada fichero se incluyó la edad, el sexo y el peso.

Los ficheros resultantes fueron analizados con los programas MorphoJ<sup>5</sup> y PAST<sup>6</sup> para morfogeometría, empleando Gstat<sup>7</sup> para estadística convencional. Mediante estas aplicaciones se realizó una transformación Procrustes, y un análisis de componentes principales (ACP). Se usó también un análisis de función discriminante (AFD) para las variables con más de dos categorías, y de variable canónica, para las dicotómicas. La prueba de Komolgorof-Smirnoff se usó para comprobar la distribución normal en las muestras. Se realizaron comparaciones de las

**Tabla 2.** Análisis de componentes principales (ambos grupos).

Componente	Eigenvalues	Varianza (%)	Acumulado (%)
1	0.00268408	37.671	37.671
2	0.00091542	12.848	50.519
3	0.00062558	8.780	59.299
4	0.00049815	6.992	66.291
5	0.00036249	5.088	71.378
6	0.00030592	4.294	75.672

Análisis de los componentes principales (toda la muestra poblacional). Se detallan los valores de los vectores propios o eigenvalores y su contribución a la variabilidad de forma, bien en forma aislada o bien acumulada. Nótese que entre los tres primeros explican alrededor del 60% de la varianza.



**Figura 2.** Variaciones de forma extremas (positiva y negativa) en el primer componente principal (CP1). Representa los cambios de forma principales en forma de rejilla (*thin plate spline*), con lo que puede interpretarse visualmente su significado.

variables de forma con los parámetros no morfológicos mediante regresión múltiple.

**Resultados**

**Variaciones generales de forma**

Se investigó en primer lugar la variabilidad general de la muestra completa. Los resultados de los componentes principales (CP) figuran en la Tabla 2. Pueden verse como vectores que representan las modificaciones de forma que exhiben los casos respecto del consenso. Cada com-

ponente explica un porcentaje de la variación de forma (varianza), según su importancia en la deformación de cada caso respecto del consenso. Así, los CP sirven para identificar las principales variaciones de forma en la muestra completa.<sup>8</sup>

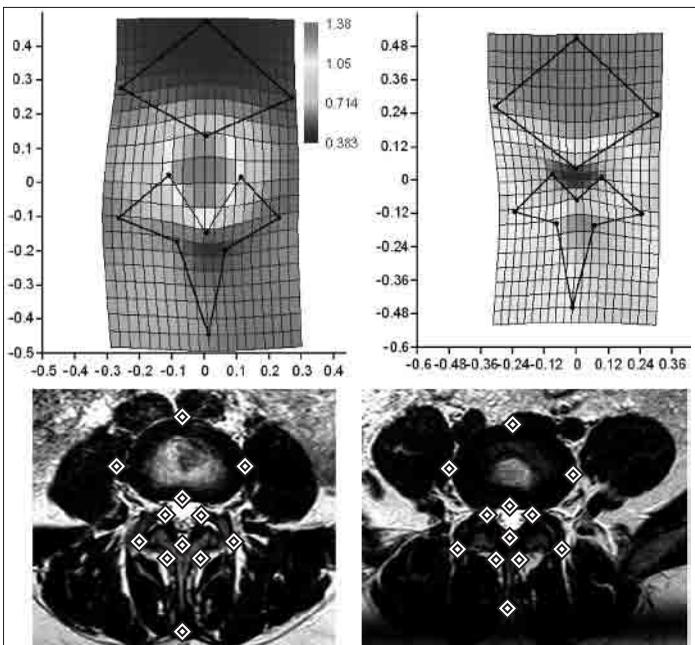
Los tres primeros CP explican alrededor del 60% de la varianza, y los cinco primeros, más del 71%. El significado de los tres primeros consta en la Figura 1. La Figura 2 muestra el primer componente (CP1) como energía de doblado (*thin plate spline*). Este procedimiento permite apreciar los cambios de forma como fuerzas que actúan sobre una malla que se deforma según el sentido (positivo o negativo) y la magnitud de cada CP.

Así, el primer componente (CP1), representa una ampliación-estrechamiento en sentido coronal del arco posterior, un acortamiento-ampliación de las dimensiones coronales del canal, y una orientación oblicua de la interlínea interapofisaria (INI) en ambos lados, ampliando o reduciendo su ángulo con la línea media. Los valores positivos del CP1 orientan coronalmente la INI, mientras que los negativos lo hacen sagitalmente (Figuras 1 y 2).

En el CP2, los valores positivos significan un acortamiento sagital del arco posterior y una expansión discal. Los negativos, una ampliación sagital del arco posterior y reducción de las dimensiones discales. Los valores negativos agudizan el ángulo entre ambas INI (orientación sagital), mientras que los positivos originan un ángulo más obtuso (orientación coronal).

El CP3 se comporta de manera opuesta al CP1, sus valores positivos representan una coronalización de las facetas.

Así, puede decirse que los cambios de forma afectan principalmente la orientación de las carillas interapofisarias y el canal medular, como resultado de una deformación general del segmento en forma de expansión-contracción cuyo origen es el centro del canal.



**Figura 3.** Análisis de variable canónica que muestra los principales cambios de forma observados entre hombres (derecha) y mujeres (izquierda). Los cortes axiales (abajo) son ejemplos de mujer (izquierda) y hombre (derecha).

**Tabla 3.** Análisis de función discriminante (sexo).

Diferencia de medias			
Distancia Procrustes	0.02440001		
Distancia de Mahalanobis	1.5362		
T-cuadrado:	71.3312		
p (paramétrico):	< 0.0001		
Valores de p para test de permutación (1 000 permutaciones):			
Distancia Procrustes	0.0330		
T-cuadrado:	< 0.0001		
Tabla de clasificación			
Mediante la función discriminante			
Verdadero	Clasificado en:		
Grupo	Hombre	Mujer	Total
Hombre	89	26	115
Mujer	9	32	41
Mediante validación cruzada:			
Verdadero	Clasificado en:		
Grupo	Hombre	Mujer	Total
Hombre	79	36	115
Mujer	15	26	41

Análisis de función discriminante (sexo). Las variaciones de forma axial caracterizaron bien el sexo, de tal manera que al emplear la función discriminante clasificó acertadamente por su forma un elevado número de casos. Aunque este tipo de ecuaciones tienen más interés forense que clínico, revela la aportación de las técnicas de morfometría geométrica para caracterizar la morfología vertebral y su variabilidad.

**Sexo**

La forma está genéticamente determinada. Cabría esperar, pues, modificaciones dependientes del sexo. Para comprobarlo empleamos un análisis multivariado (MANOVA). Los resultados fueron significativos ( $p < 0.001$ ), y probaron el dimorfismo sexual. Estas diferencias fueron analizadas mediante función discriminante (FDA). Las variaciones se hallan representadas en la Tabla 3 y la Figura 3. Los valores positivos caracterizaron a las mujeres, mientras que los negativos, a los hombres.

**Comparación entre presencia y ausencia de hernia**

Se encontraron diferencias en los tamaños del centroide entre ambos grupos (ANOVA: media no herniados = 9.593; media herniados = 9.853; diferencia de medias = -0.260;  $p = 0.003$ ). Además, se encontró una diferencia significativa de las medias en el tamaño del centroide entre ambas muestras para la configuración discal aislada (no herniados = 4.6558; herniados = 5.0071; dif. = -0.3513;  $p < 0.00001$ ). Ello indica una mayor expansión de los diámetros globales del disco intervertebral.

Mediante MANOVA/CVA (multiple analysis of variance and canonical variate analysis) se encontró una deformación que discriminó entre el grupo con hernia y el grupo sin hernia ( $p < 0.0001$ ) (Figura 4).

Las variaciones de forma en el grupo sin hernia (Figura 4b) tendieron a mostrar un acortamiento de las dimensiones sagitales del disco y expansión de las láminas y facetas. El resultado fue una ampliación del canal y una ligera sagitalización de las carillas articulares interapofisarias. Los casos con hernias de disco mostraron un canal anteroposterior más reducido y una orientación más coronal de las facetas.

Un detalle sorprendente fue que los casos de hernia mostraron un desplazamiento anterior del punto máximo de inflexión anterior de la curva de la lámina. Este detalle podría suponer un componente o marcador genéticamente derivado en esta población.

La ecuación discriminante predijo apropiadamente el 82.7% de los casos sin hernia, el 85.50% de las hernias y el 90% del total.

La forma aislada del disco no mostró cambios que permitieran discriminar entre ambos grupos (con hernia y sin hernia).

**Peso**

Encontramos diferencias entre las subpoblaciones con hernia y sin hernia (ANOVA: 73.36 kg y 80.82 kg, respectivamente;  $p = 0.0224$ ). Se halló una correlación positiva entre el tamaño del centroide de la configuración discal y el peso ( $r$  de Pearson = 0.5761;  $p = 0.0001$ ), pero no se encontraron relaciones entre las variaciones de forma del arco posterior y el peso.

Los resultados tampoco mostraron covariación entre el componente principal de forma que discriminó entre los grupos con hernia y sin hernia, y el peso. La regresión entre el componente de variable canónica y el peso sólo predijo el 3.854% de la suma de cuadrados (test de permutación:  $p = 0.0146$ ).

**Edad**

Se encontró una diferencia significativa entre las medias de ambas muestras (hernia vs. sin hernia) (45.8 vs. 40.26 años) (ANOVA:  $p < 0.0001$ ). No obstante, las variaciones de forma no se correlacionaron con la edad. No se identificó, tampoco, asociación entre la edad y la variación de la morfología discal ni del arco posterior aisladamente.

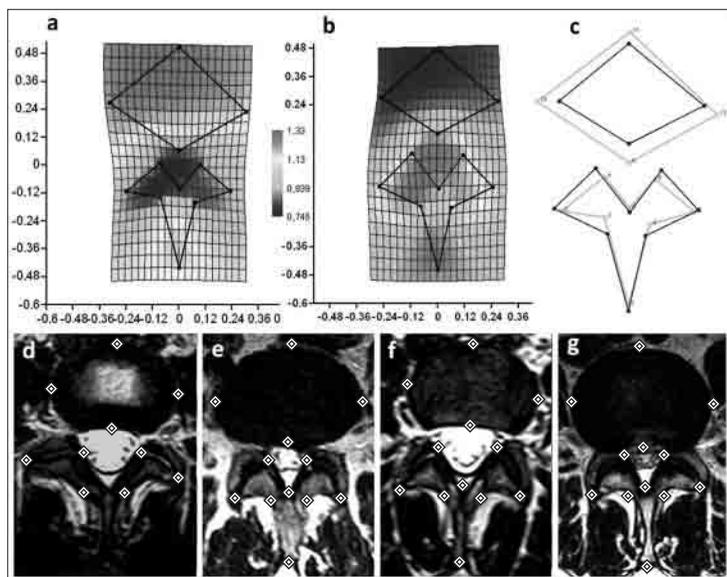
**Discusión**  
**Abordaje euclidiano frente a morfogeométrico**

La morfología del raquis ha atraído el interés clínico debido a sus relaciones con la estenosis de canal. Así, todos los trabajos han empleado morfometría euclidiana, proporcionando dimensiones críticas para el diagnóstico de estenosis.<sup>9-11</sup> Otros han estudiado la forma vertebral para ayudar en la orientación de los tornillos pediculares,<sup>12</sup> empleando magnitudes euclidianas.

En lugar de esta aproximación, nosotros empleamos morfometría geométrica. No proporcionamos puntos de corte para la estenosis. Tratamos de conocer la variación de la forma del segmento. Bajo este enfoque, la averiguación del consenso y el estudio de cómo cada caso se aparta de él son los objetivos principales.

Así, consideremos dos casos con puntuaciones opuestas en el CP1, alejadas de la forma promedio. Una de ellas representará la máxima deformación en sentido positivo, y la otra, en sentido negativo. En un lado tendríamos la forma coronalmente más estrecha y en el otro la más amplia. El primer caso tendría también la orientación de las INI más sagital, mientras que el segundo tendría la más coronal. Entre estas formas extremas, se hallarían las demás configuraciones, según la magnitud del componente y su sentido positivo o negativo.

Este enfoque nos permite situar cada caso en un punto de un *continuum* que va desde un extremo del componente al otro. Se trata de una forma nueva de pensar, progresando a una recreación de la morfología vertebral diferente de la euclidiana, lo que puede ser útil a la hora de estudiar un caso, con diversas finalidades: diseño y colocación de implantes, estudio de dimorfismo sexual, modelos para elementos finitos, etcétera.



**Figura 4.** Variación principal de forma entre la muestra con hernia (línea exterior en "c") y sin hernia (línea interior) (análisis de variable canónica). Las imágenes inferiores muestran casos clasificados sin hernia por la variable canónica (d y f) y con hernia (e y g). Pueden apreciarse los cambios de forma en orientación de interapofisarias y láminas.

## Factores genéticos

Se ha dicho que la incongruencia en las articulaciones interapofisarias (AIA) puede originar cambios discales degenerativos, lo que sugiere que los ángulos intervertebrales anormales pueden condicionar inestabilidad y degeneración.<sup>13</sup> También se afirma que la asimetría facetaria es un signo de hernia discal en niños y adolescentes, lo que subrayaría la existencia de un factor genético predisponente.<sup>14</sup> Recientemente se ha comunicado que los pacientes con hernia de disco tienen asimetría y sagitalización de las facetas, y que esas alteraciones son más evidentes en las personas de talla baja.<sup>15</sup> Otros indican que la porción más cefálica de las carillas está orientada más sagitalmente, mientras que la caudal lo está más coronalmente en pacientes con espondilolistesis degenerativa.<sup>16</sup>

Estos y otros trabajos<sup>17</sup> son útiles por apoyar una base genética, principalmente en la estenosis del canal y en la espondilolistesis degenerativa, pero no demuestran que la orientación facetaria esté relacionada con la hernia de disco.

Nuestros resultados no apoyan que la sagitalización se asocie con mayor incidencia de hernia de disco. Al contrario, en la muestra herniada el principal hallazgo morfológico fue la expansión discal y el desplazamiento anterior del punto de máxima inflexión en la curva laminar posterior, junto con una ligera coronalización de las INI. En sentido parecido se pronuncian otros investigadores, para quienes habría mayor riesgo de cambios degenerativos en las facetas orientadas más coronalmente, debido a las mayores fuerzas de tracción dentro de la articulación.<sup>18</sup> Nuestros hallazgos sugieren que los cambios de forma en las carillas interapofisarias observados en la hernia de disco parecen más genéticamente determinados que adquiridos.

Además de las modificaciones de las AIA, la variación principal de forma observada en la muestra semejó una expansión-estrechamiento desde el centro del canal medular. Es un hallazgo interesante si consideramos que el desarrollo vertebral depende de influencias de estructuras axiales, como la notocorda y el tubo neural.<sup>19</sup>

Algunos trabajos señalan la influencia genética para explicar las diferencias de morfología en la estenosis.<sup>20</sup> Clínicamente, los pacientes con estenosis congénita presentan menor edad, menos cambios degenerativos y múltiples niveles afectados. Radiológicamente, estos pacientes tienen una longitud pedicular más corta y una menor área axial del canal.<sup>21</sup> Otros trabajos sugieren que la morfología espinal tiene una correlación familiar evidente,<sup>22</sup> y que el rango de movilidad de la columna lumbar tiene una sustancial influencia genética.<sup>23</sup>

Nuestros resultados están en la línea de estos hallazgos, revelan una deformación central simétrica que sugiere un origen genético. Es conocido que la parte ventral del esclerotomo contribuye a la formación del cuerpo y disco vertebrales. Adicionalmente, la apófisis espinosa deriva de las células del esclerotomo entre la epidermis dorsal y el tubo neural. Aunque su origen permanece todavía por clarificar,<sup>24</sup> se ha postulado que se desarrolla a partir de la parte dorsal del tubo neural,<sup>25,26</sup> Sin embargo, los factores que definen las propiedades dorsales de un esclerotomo permanecen desconocidos.<sup>27</sup> En el inicio de la formación vertebral, las células del esclerotomo lateral migran dorsalmente para formar los pedículos y las láminas.<sup>28</sup> Tanto la formación como la diferenciación de los somitas dependen de señales procedentes de la notocorda.<sup>29</sup> Esta

estructura está centrada en la parte medial de la porción posterior del futuro cuerpo vertebral.

En consecuencia, una teoría de expansión-contracción genéticamente determinada resulta atractiva para explicar las deformaciones encontradas. Así, un componente CP1 negativo produciría configuraciones tendientes a la estenosis, lo que contribuye a explicar la morfología de las estenosis congénitas. Así, los canales CP1 negativos constituirían un modelo en el que los factores congénitos serían el principal determinante, independientemente de los cambios degenerativos que pudieran añadirse.

Un apoyo adicional para la base genética de la variabilidad de forma procede del dimorfismo sexual. En las mujeres, el componente morfológico de discriminación es muy parecido al CP2. Tienen a tener una morfología más estilizada sagitalmente con un canal que semeja un triángulo isósceles. Los hombres muestran un ensanchamiento sagital del disco y una configuración más estrecha de toda la vértebra, tendiendo el canal a ser un triángulo equilátero. En la literatura hay información mixta sobre si existen diferencias entre ambos sexos en lo relativo a la forma lumbar.<sup>30</sup>

Respecto de la diferencia entre la presencia de hernia y la ausencia de hernia, el principal hallazgo, además del tamaño del disco, apunta a una configuración más estrecha del canal en la población con hernia, producida por una laminas más cortas sagitalmente, más excavadas y un emplazamiento más anterior y coronal de las INI. Estos factores parecen también genéticamente determinados.

Todas estas variaciones de forma pueden ayudar también en la planificación de las instrumentaciones pediculares, ya que permiten estudiar qué configuración se aproxima el caso, así como en identificaciones forenses, dado el dimorfismo sexual encontrado.

## Factores adquiridos

En cortes sagitales se han comunicado modificaciones de forma vinculadas con la edad.<sup>31</sup> Algunos trabajos encontraron que la orientación coronal de las facetas se correlaciona negativamente con la edad.<sup>32</sup> Nuestros resultados indican que los cambios de forma axial que discriminan entre la población herniada y no herniada se correlacionan muy débilmente con la edad.

Respecto del peso, covaría con el tamaño del disco pero no con los cambios de forma axial que discriminan entre pacientes con hernia y los controles sanos. Así, la influencia del peso como factor de riesgo en la hernia de disco resulta de un cambio de tamaño (expansión global), no de una modificación de la forma axial. Probablemente, esta expansión deriva de un aplanamiento global, lo que sugiere que la hernia de disco se produce en un contexto de colapso vertical-expansión axial de todo el disco, subrayando el papel del peso en este fenómeno.

Una de las insuficiencias del presente estudio es que se basa en cortes axiales. No obstante, la visión sagital está más influida por la postura,<sup>33</sup> lo que puede constituir una ventaja.

## Futuro

Recientemente, se han desarrollado sistemas de reconocimiento de formas para automatizar el diagnóstico por imágenes de las patologías discales.<sup>34</sup> Estos trabajos se centran en la forma y la textura del disco. Nuestros resultados sugieren que es posible discriminar entre discos herniados y no herniados con precisión por morfometría geométrica, lo que puede orientar el desarrollo del diagnóstico automatizado.

También se ha comunicado la utilidad de la morfometría geométrica en el análisis de implantes espinales,<sup>35</sup> lo que abre una vía nueva a la investigación que nosotros hemos explorado en estudios de espaciadores interespinosos.<sup>36</sup>

### Limitaciones del estudio

Una de las limitaciones del estudio es que no hemos incluido la talla como variable a considerar en el presente trabajo. Es sabido que el sobrepeso depende de ésta, además del peso. Creemos que, al tratarse de cortes axiales, la influencia de la talla resulta escasamente relevante. En estudios sobre morfología sagital de columna, la talla tendría mayor importancia, aunque podría quedar reflejada por el tamaño del centroide. En un estudio preliminar que estamos realizando en cortes sagitales de columna lumbar, hemos observado que la talla se correlaciona fuertemente con el tamaño del centroide. Este hallazgo tiene un enorme interés para los cálculos antropométricos y muy en particular con finalidad forense. En el presente trabajo hemos preferido no incluir este parámetro en aras de no incrementar la ya de por sí compleja metodología de análisis y por su escasa relevancia al tratarse de cortes axiales.

Otra de las limitaciones tiene que ver con la elección de un corte axial solamente para realizar los cálculos. Sin embargo, nada impide que futuros trabajos se puedan extender al análisis a multicortes o reconstrucciones tridimensionales. Nuestro estudio pretende ofrecer, principalmente, una visión preliminar de las prometedoras aplicaciones de la morfogeometría en el estudio del raquis y,

por ello, hemos preferido adoptar un modelo simple para explorar la metodología y sus posibilidades.

Por último, las indicaciones de la RNM fueron siempre por lumbalgia, por lo que, a pesar de la cuidadosa revisión efectuada, para garantizar la indeminidad discal L4-L5, no podemos considerar los casos sin hernia de disco como controles completamente sanos. Son necesarias investigaciones más detalladas sobre este aspecto.

### Conclusiones

Se identifican variaciones de forma axial en el segmento L4-L5 que afectan en particular la orientación de las articulaciones interapofisarias, láminas, y canal medular.

El disco intervertebral, excluyendo la porción herniada, no mostró cambios de forma pero sí de tamaño axial en la población herniada, relacionados con el peso corporal.

La principal diferencia entre los pacientes con hernia y sin hernia fue la expansión discal circunferencial, y, en menor grado, los cambios en la orientación interapofisaria y la excavación laminar. Ello apoya la existencia de una lesión discal global en la hernia y subraya la importancia del peso. La forma del arco posterior no covarió con la edad ni con el peso, lo que apoya un origen genético de los cambios.

Los cambios de forma axial L4-L5 parecen estar genéticamente determinados y pueden intervenir, si bien modestamente, en el riesgo de padecer hernia discal. En apoyo de ello, se halla el dimorfismo sexual observado.

Se propone un mayor uso de las técnicas de morfogeometría para investigar el raquis.

Copyright © Sociedad Iberoamericana de Información Científica (SIIC), 2014  
www.siic.salud.com

Los autores no manifiestan conflictos de interés.

#### Lista de abreviaturas y siglas

APG, análisis Procrustes generalizado; RMN, resonancia magnética nuclear; ACP, análisis de componentes principales; AFD, análisis de función discriminante; CP, componentes principales; CP1, primer componente; INI, interlínea interapofisaria; MANOVA, análisis multivariado; FDA, función discriminante; MANOVA/CVA, *multiple analysis of variance and canonical variate analysis*; AIA, articulaciones interapofisarias.

#### Cómo citar este artículo

Aso Escario J, Martínez Quiñones JV, Aso Vizán A, González García L, Consolini F, Arregui Calvo R. Estudio preliminar de casos y controles de la morfología axial L4-L5 en la hernia de disco. *Salud i Ciencia* 20(5):491-7, May 2014.

#### How to cite this article

Aso Escario J, Martínez Quiñones JV, Aso Vizán A, González García L, Consolini F, Arregui Calvo R. Preliminary case-control study of axial L4- L5 morphology in disc herniation. *Salud i Ciencia* 20(5):491-7, May 2014.

### Autoevaluación del artículo

Se afirma que, para la correcta interpretación de la morfometría de las lesiones de las hernias discales lumbares, pueden requerirse modelos de morfometría geométrica no convencional.

¿En qué se basan las técnicas de morfometría geométrica aplicadas en el análisis de las imágenes de la columna vertebral?

A, Estudio de elementos no euclidianos; B, Análisis de distancias; C, Análisis de ángulos; D, Estudio de relaciones entre distancias; E, Estudio de índices entre medidas.

Verifique su respuesta en [www.siic.salud.com/dato/evaluaciones.php/138114](http://www.siic.salud.com/dato/evaluaciones.php/138114)

### Bibliografía

- Rohlf JF. Rotational fit (Procrustes) methods. In: Rohlf FJ, Bookstein FL, editors. *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop*. University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor, MI, pp. 227-236, 1990.
- Kendall DG. The statistics of shape. In: Bartlett, V. *Interpreting multivariate data*. John Wiley & Sons, Nueva York, pp. 75-80, 1981.
- Fayad JB, Cabanis EA. Three-dimensional Procrustes analysis of modern human craniofacial form. The

Anatomical Record 290:268-276, 2007.

- Rohlf FJ. *Tpsdig2*. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/soft-dataaq.html>. Accedido el 26 de agosto de 2013.
- Klingenberg C. Morpho: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11:353-357, 2011.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaentologia Electronica* 4(1): 9 pp., 2001. Disponible en: [folk.uio.no/ohammer/past/](http://folk.uio.no/ohammer/past/). Ac-

cedido el 26 de agosto de 2013.

- E-Biometría. Con. G-Stat 2.01; Programa de análisis estadístico. <http://www.e-biometria.com/>. Accedido el 26 de agosto de 2013.
- Webster M, Sheets HD. A practical introduction to landmark-based geometric morphometrics. *The Paleontological Society Papers* 16:163-188, 2010.
- Cheng XG, Sun Y, Boonen S, Nicholson PH, Brys P, Dequeker J, Felsenberg D. Measurements of vertebral shape by radiographic morphometry: sex differences and relationships with vertebral level and

- lumbar lordosis. *Skeletal Radiol* 27(7):380-4, 1998.
10. Goh S, Price RI, Song S, Davis S, Singer KP. Magnetic resonance-based vertebral morphometry of the thoracic spine: age, gender and level-specific influences. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 15(6):417-25, 2000.
  11. Fazzalari NL, Manthey B, Parkinson IH. Intervertebral disc disorganisation and its relationship to age adjusted vertebral body morphometry and vertebral bone architecture. *The Anatomical Record* 262(3):331-339, 2001.
  12. Alfonso M, Palacio P, Bastarrika G, Villas C. Does the shape of the L5 vertebral body depend on the height of CT slices in the pedicle? Evaluation of the shape of the L5 vertebral body with a multicut CT scan. *Spine (Phila Pa 1976)* 33(1):E1-5, 2008.
  13. Rapala K, Chaberek S, Trusczyńska A, Lukawski S, Walczak P. Assessment of spinal canal shape and intervertebral joint angles in lumbar spine. *Ortop Traumatol Rehabil* 11(3):222-32, 2009.
  14. Ishihara H, Matsui H, Osada R, Ohshima H, Tsuji H. Facet joint asymmetry as a radiologic feature of lumbar intervertebral disc herniation in children and adolescents. *Spine (Phila Pa 1976)* 22(17):2001-4, 1997.
  15. Karacan I, Aydın T, Sahin Z, Cidem M, Koyuncu H, Aktas I, Uludag M. Facet angles in lumbar disc herniation: their relation to anthropometric features. *Spine (Phila Pa 1976)* 29(10):1132-6, 2004.
  16. Toyone T, Ozawa T, Kamikawa K, Watanabe A, Matsuki K, Yamashita T, Wada Y. Facet joint orientation difference between cephalad and caudad portions: a possible cause of degenerative spondylosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 34(21):2259-62, 2009.
  17. Miyazaki M, Morishita Y, Takita C, Yoshiwa T, Wang JC, Tsumura H. Analysis of the relationship between facet joint angle orientation and lumbar spine canal diameter with respect to the kinematics of the lumbar spinal unit. *J Spinal Disord Tech* 23(4):242-8, 2010.
  18. Grogan J, Nowicki BH, Schmidt TA, Haughton VM. Lumbar facet joint tropism does not accelerate degeneration of the facet joints. *Am J Neuroradiol* 18:1325-1329, 1997.
  19. Monsoro-Burq AE, Bontoux M, Teillet MA, Le Douarin NM. Heterogeneity in the development of the vertebra. *Proc Natl Acad Sci USA* 91:10435-10439, 1994.
  20. Abbas J, Hamoud K, May H, Hay O, Medlej B, Masharawi Y, Peled N, Hershkovitz I. *Eur Spine J* 19(11):1865-73, 2010.
  21. Singh K, Samartzis D, Vaccaro AR, Nassr A, Andersson GB, Yoon ST, Phillips FM, Goldberg EJ, An HS. Congenital lumbar spinal stenosis: a prospective, control-matched, cohort radiographic analysis. *Spine J* 5(6):615-22, 2005.
  22. Dryden IL, Oxborough N, Dickson R. Familial relationships of normal spine shape. *Statist Med* 27:1993-2003, 2007.
  23. Battié MC, Levalahti E, Videman T, Burton K, Kaprio J. Heritability of lumbar flexibility and the role of disc degeneration and body weight. *J Appl Physiol* 104:379-385, 2008.
  24. Aoyama H, Asamoto K. The developmental fate of the rostral/caudal half of a somite for vertebra and rib formation: experimental confirmation of the resegmentation theory using chick-quail chimeras. *Mechanisms of Development* 99:71-82, 2000.
  25. Takahashi Y, Monsoro-Burq AH, Bontoux M, Le Douarin NM. A role for Quox-8 in the establishment of the dorsoventral pattern during vertebrate development. *Proc Natl Acad Sci USA* 89:10237-10241, 1992.
  26. Watanabe Y, Duprez D, Monsoro-Burq AH, Vincent C, Le Douarin NM. Two domains in vertebral development: antagonistic regulation by SHH and BMP4 proteins. *Development* 125:2631-2639, 1998.
  27. Aruga J, Mizugishi K, Koseki H, Imai K, Balling R, Noda T, Mikoshiba T. Zic1 regulates the patterning of vertebral arches in cooperation with Gli3. *Mechanisms of Development* 89(1-2):141-150, 1999.
  28. Christ B, Wilting J. From somites to vertebral column. *Annals of Anatomy* 174(1):23-32, 1992.
  29. Capellini TD, Zewdu R, Di Giacomo G, Ascitti S, Kugler JE, Di Gregorio A, Selleri L. Pbx1/Pbx2 govern axial skeletal development by controlling Polycomb and Hox in mesoderm and Pax1/Pax9 in sclerotome. *Developmental Biology* 321(2):500-514, 2008.
  30. Grados F, Fardellone P, Benammar M, Muller C, Roux C, Sebert JL. Influence of age and sex on vertebral shape indices assessed by radiographic morphometry. *Osteoporos Int* 10:450-455, 1999.
  31. Kolta S, Kerkeni S, Travert C, Skalli W, Eastell R, Glüer CC, Roux C. Variations in vertebral body dimensions in women measured by 3D-XA: a longitudinal in vivo study. *Bone* 50(3):777-83, 2012.
  32. Wang J, Yang X. Age-related changes in the orientation of lumbar facet joints. *Spine (Phila Pa 1976)* 34(17):E596-8, 2009.
  33. Meakin JR, Gregory JS, Aspden RMN, Smith FW, Gilbert FJ. The intrinsic shape of the human lumbar spine in the supine, standing and sitting postures: characterization using an active shape model. *J Anat* 215:206-211, 2009.
  34. Ghosh S, Alomari RS, Chaudhary V, Dhillon G. Composite features for automatic diagnosis of intervertebral disc herniation from lumbar MRI. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 5068-71, 2011.
  35. Maier D, Kamer L, Noser H, Stankovic Z, Guth A, Bäurle P, Südkamp NP, Köstler W. Morphometric analysis of anatomical implant forms for minimally invasive acetabular fracture osteosynthesis. *Comput Aided Surg* 17(5):240-8, 2012.
  36. Aso Vizán A; Peña Jiménez D, Sanagustín Silano M, Camacho Chacón J, Aso Escario J, Martínez Quiñones, et al. Variabilidad de emplazamiento de espaciadores interspinosos. Comunicación presentada en el 49º Congreso de la Sociedad Española de Traumatología y Cirugía Ortopédica. Málaga (España). 05/10/2012.

### Curriculum Vitae abreviado del autor

**José Aso Escario.** Doctor en Medicina y Cirugía. Especialista en Neurocirugía. Jefe Clínico de Neurocirugía del Hospital MAZ, Zaragoza, España. Especialista en Medicina Legal y Forense, Ex-Director del Instituto Anatómico Forense de Zaragoza. Médico Forense por oposición. Profesor Universidad San Jorge, Zaragoza, España. Miembro de la Real Academia de Medicina de Zaragoza, Zaragoza, España.