



Análisis morfométrico de vértebras porcinas para establecer su correlación biomecánica con vértebras humanas en estudios experimentales

Ricardo Gustavo Rodríguez C.*
Ariel Fuerte H.*
Guillermo Urriolagoitia S.**
Emmanuel Alejandro
Merchán C.*
Alejandro González R.***

* Instituto Politécnico Nacional. Sección de Estudios de Postgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), Unidad Profesional Azcapotzalco.

** Instituto Politécnico Nacional. Sección de Estudios de Postgrado e Investigación (SEPI), Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), Unidad Profesional Adolfo López Mateos «Zacatenco».

*** Hospital Regional 1° de Octubre del ISSSTE, Área de Ortopedia.

Correspondencia:

Ricardo Gustavo Rodríguez Cañizo
Av. de las Granjas Núm. 682, Col. Sta. Catarina Azcapotzalco, 02550, México, D.F. México.
Tel. (55) 57296000 ext. 64501. ricname@gmail.com

Artículo recibido: 14/enero/2010

Artículo aceptado: 10/abril/2010

RESUMEN

En la actualidad el uso experimental de modelos animales en las áreas de la medicina y la biomecánica, ha permitido el desarrollo de nuevos fármacos, novedosos procedimientos quirúrgicos, hasta prótesis más eficientes y duraderas. Sin embargo, la información disponible en la literatura no es suficiente para establecer qué modelo animal es el más adecuado a utilizar según el tipo de la investigación que se quiera realizar. Por tal motivo, este trabajo consiste en el análisis morfométrico de vértebras porcinas de la zona lumbar (L3-L4) obtenidas de cerdos machos jóvenes, con el objetivo de establecer su correlación con el caso humano. Para tal fin, se analizaron diez vértebras L3 y diez L4 totalmente limpias de tejidos blandos. Los resultados obtenidos mostraron que los cuerpos vertebrales humanos son más anchos y cortos, comparados con los porcinos que son más esbeltos y altos. En general, las dimensiones de las vértebras analizadas aumentan de tamaño en dirección craneocaudal. Sin embargo, la columna lumbar porcina puede ser utilizada como un modelo animal alternativo para la investigación de la biomecánica de columna lumbar humana siempre que estas diferencias sean tomadas en cuenta.

Palabras clave: Anatomía comparativa, modelos animales alternativos, biomecánica de la columna vertebral, vértebras lumbares, morfometría.

ABSTRACT

Nowadays, the experimental use of animal models in medicine and biomechanics has allowed the development of new drugs, novel surgical procedures, more efficient and resistant prosthetic devices, etc. However, the reported results found in literature prove to be insufficient and inconclusive to establish which animal model is more adequate to be used as reference for specific research purposes. Therefore, this work focuses in the morphologic analysis of porcine vertebrae of the lumbar section (L3-L4) obtained from young male specimens. The aim of this study is to validate these as an alternate model for experimental research on the biomechanics of the human spine. To this end, ten L3 and ten L4 soft tissue clean porcine vertebral specimens were analyzed. The obtained results showed that in comparison, morphologically, the human vertebrae are shorter and wider than the porcine sample. In general, the porcine vertebrae dimensions increase in the direction from the skull to the lumbar section. However, despite the morphological differences, the anatomical similitude of the spine between both

species makes the porcine specimen a viable candidate to be used in biomechanical research of the human lumbar vertebrae as long as such morphological differences are taken into account.

Key words: Comparative anatomy, alternative models, biomechanics of the lumbar section, lumbar vertebrae, morphometry.

INTRODUCCIÓN

La anatomía comparativa describe las estructuras de los animales y forma la base para su clasificación. De esta manera ha sido posible demostrar la relación genética de varios grupos de animales y dilucidar el significado de muchos fenómenos estructurales que aún no han sido caracterizados completamente^{1,2}. Si se toma en cuenta lo anterior, se aprecia que el término anatomía comparativa se refiere sólo al caso de los animales, sin embargo, en este trabajo se amplía esta definición, centrándose en la comparación humano-animal, analizando las similitudes existentes entre vértebras lumbares de cerdo y humanas.

Estudios han demostrado que la columna vertebral en cuadrúpedos soporta solicitaciones de carga principalmente a lo largo de su eje longitudinal, justo como lo hace la columna vertebral humana; incluso la densidad de sus vértebras es más grande que la de los humanos, lo cual sugiere que los cuadrúpedos tienen que soportar esfuerzos de compresión más altos que los humanos³. Esto pone de manifiesto las similitudes que existen como sistema biomecánico de la columna entre ambas especies.

La columna porcina es frecuentemente utilizada como un modelo alternativo en experimentación, tanto en pruebas *in vivo* como *in vitro*, evaluando condiciones como la fusión espinal y técnicas de instrumentación dirigidas a su implementación en el ser humano⁴⁻¹². Factores tales como la naturaleza del experimento, similitudes anatómicas y funcionales con los modelos humanos, composición ósea, costo y disponibilidad, influyen en la elección del espécimen experimental correcto¹³⁻¹⁵. Las muchas similitudes que existen entre fisiología y anatomía macroscópica y microscópica del cerdo y el humano han hecho que este animal se utilice ampliamente en la investigación médica, biomédica y biomecánica, superando el uso de otros animales como los bovinos, ovinos, monos e incluso perros. En tal sentido, las creencias actuales resumen que el cerdo es el animal más idóneo de todos los domésticos¹. Lo cierto es que, todos los modelos seleccionados para la investigación de la columna

vertebral involucran un compromiso, y la naturaleza de sus diferencias debe ser reconocida y tomada en cuenta, tanto en el diseño experimental, como en la interpretación de los resultados obtenidos¹⁶.

En la investigación realizada por Kumar (2000) menciona que: «hasta la fecha, la literatura ha apoyado el uso de columnas vertebrales alternas como las de los terneros y ovejas como un modelo experimental adecuado para la columna vertebral, debido a la dificultad en la adquisición de columnas vertebrales de cadáveres humanos, lo cual es bien apreciado»¹⁶. Esta frase pone de manifiesto que los bovinos y ovinos han servido como modelo experimental en algunas investigaciones, sin embargo, con la llegada de la encefalopatía espongiiforme bovina (EEB) y su posible transmisión a humanos en forma de la nueva variante de Creutzfeld-Jakob (ECJ), hay un pequeño riesgo de transmisión a los seres humanos a través de la inoculación directa, cuando se trabaja con columnas vertebrales de estas especies. Esto deriva en que su uso en la investigación biomecánica se vea reducido, dando paso a otros modelos animales como lo es el cerdo.

En México, debido a las regulaciones vigentes para la utilización de especímenes cadavéricos humanos, y el riesgo latente que existe de transmisión de enfermedades como la hepatitis y VIH (SIDA) en su manipulación, hace que el uso de especímenes porcinos se vuelva una opción viable para la investigación de fenómenos concernientes al área de la biomecánica de la columna lumbar. Su fácil obtención, bajo costo, bajo riesgo de transmisión de enfermedades y su gran similitud anatómica de la columna lumbar con la del ser humano, representan algunas ventajas respecto a las otras opciones de modelos animales experimentales disponibles en la actualidad. Sin embargo, a pesar de que su uso es común, la información disponible en la literatura referente a las similitudes dimensionales (morfometría) que existen con las del ser humano, en esta área de investigación, es escasa.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es establecer las similitudes morfométricas que existen entre vértebras porcinas y humanas, y así establecer sus correlaciones, las cuales podrán ser tomadas

en cuenta en las futuras investigaciones dentro del área de la biomecánica de la columna lumbar humana.

MATERIAL Y MÉTODOS

El análisis morfométrico se realizó en la zona lumbar (L3-L4) de cerdos machos jóvenes de la raza Duroc-Jersey, con un promedio de 6 meses de edad, un peso aproximado de 120 kg, y con no más de 48 h *post mortem*. Se midieron diez vértebras lumbares L3 y diez L4. Además, para establecer las correlaciones con el caso humano se analizaron dos vértebras lumbares humanas (L3 y L4) completamente secas, provenientes de un cadáver masculino de 35 años de edad, proporcionadas por el Hospital 1° de Octubre del ISSSTE perteneciente al sector de Salud Pública de nuestro país.

La columna lumbar porcina completa se obtuvo en un rastro de la ciudad de México, poniendo especial atención a que el animal sacrificado cumpliera con las características antes mencionadas. Posteriormente, en las instalaciones del Hospital 1° de Octubre, y con ayuda del personal médico, se procedió a seccionar la columna a sólo la región lumbar L2-L5.

La limpieza del espécimen se realizó con la ayuda del instrumental quirúrgico necesario. Principalmente, se utilizó un bisturí con hoja No. 15 para el retiro de los tejidos blandos (músculos, tendones, ligamentos, disco intervertebral) e instrumental quirúrgico adecuado. En la figura 1 se muestra una fotografía del instrumental empleado y del espécimen limpio.

Una vez limpia la sección de columna L2-L5, se procedió a hervirla en agua dentro de una

olla de presión durante 20 minutos. Transcurrido este tiempo se retira del agua y se deja enfriar para terminar de retirar los tejidos blandos, con la finalidad de obtener una estructura ósea limpia (Figura 2). Las vértebras lumbares L3 y L4 se aislaron realizando cortes al nivel de las placas terminales adyacentes empleando una sierra para hueso.

El dimensionamiento de las vértebras se efectuó con un Vernier marca Stainless Hardened® con una legibilidad de 0.05 mm. Todas las mediciones fueron repetidas en tres ocasiones. Los cálculos estadísticos como lo son la Media y el Error Estándar de la Media, se realizaron en el programa computacional Microsoft Excel®.

Los parámetros, las abreviaturas, y las regiones vertebrales que fueron dimensionadas, se indican en la Figura 3 y se pueden observar en el Cuadro 1.

EVALUACIÓN Y RESULTADOS

Los resultados del análisis morfométrico de las vértebras lumbares porcinas L3 y L4 están resumidos en el Cuadro 2.

Como se puede observar, de los datos presentados en el Cuadro 2 se tienen las siguientes tendencias:

En la región anterior (cuerpo vertebral)

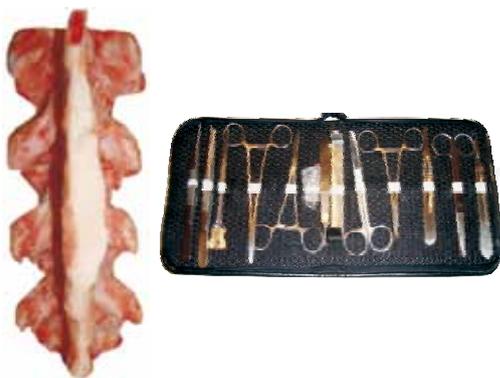


Figura 1. Especimen lumbar porcino limpio (L2-L3-L4-L5) e instrumental quirúrgico empleado para la limpieza de los tejidos blandos.



Figura 2. Especimen limpio de tejidos blandos.

- El espesor de la placa terminal tanto superior como inferior aumentan de tamaño en dirección cráneo-caudal de L3 a L4.
- La profundidad de la placa terminal superior aumenta de tamaño en dirección cráneo-caudal de L3 a L4, sin embargo, la placa terminal inferior decrece en la misma dirección de L3 a L4.
- La altura del cuerpo vertebral tanto ventral como dorsal crecen en dirección cráneo-caudal de L3 a L4.

En la región posterior (pedículos, canal espinal y apófisis espinosa)

- La altura y espesor del pedículo crecen en dirección cráneo-caudal de L3 a L4, sin embargo, la diferencia en los valores de crecimiento es muy cerrada.
- La altura y espesor del canal espinal crecen en dirección cráneo-caudal de L3 a L4, sin embargo, la diferencia de L3 a L4 es muy cerrada.

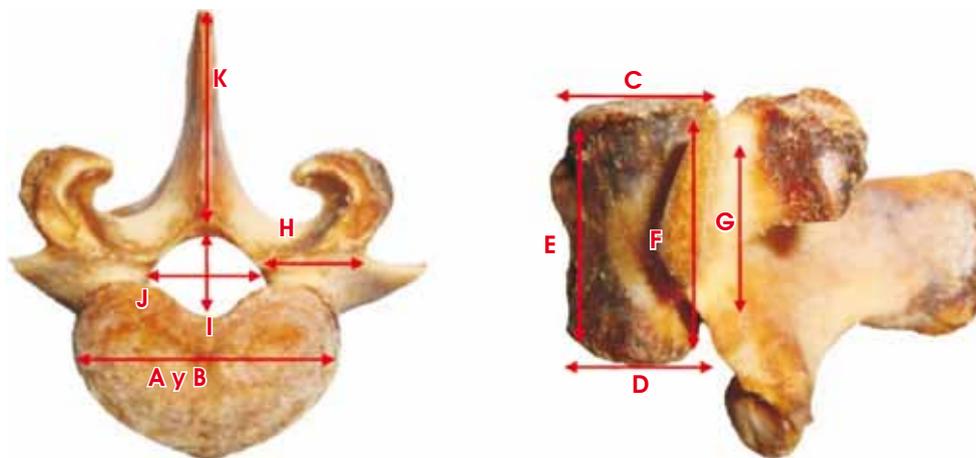


Figura 3. Parámetros anatómicos medidos del espécimen porcino.

Cuadro 1. Parámetros medidos y abreviaciones usadas para las vértebras porcinas L3-L4.

Región vertebral	Dimensión	Abreviatura	Símbolo	
Cuerpo vertebral	Espesor placa terminal superior	CVEs	A	Región anterior
	Espesor placa terminal inferior	CVEi	B	
	Profundidad placa terminal superior	CVPs	C	
	Profundidad placa terminal inferior	CVPI	D	
	Altura cuerpo ventral	CVAv	E	
	Altura cuerpo dorsal	CVAAd	F	
Pedículo	Altura	Pa	G	Región posterior
	Espesor	Pe	H	
Canal espinal	Altura	CEa	I	
	Espesor	CEe	J	
Apófisis espinosa	Longitud	AEI	K	

Cuadro 2. Resultados de las dimensiones para la región anterior y posterior. Media (Error estándar de la media).

Nivel vertebral	Región anterior (cuerpo vertebral) *Dimensiones en mm						Región posterior (pedículos, canal espinal y apófisis espinosa)				
L3	CVAv 34.8 (0.126)	CVAAd 36.5 (0.181)	CVEs 36.7 (0.163)	CVPs 20.9 (0.135)	CVEi 38.0 (0.141)	CVPI 19.6 (0.127)	Pa 22.8 (0.128)	Pe 11.4 (0.094)	CEe 15.8 (0.131)	CEa 13.1 (0.118)	AEI 38.0 (0.153)
L4	35.6 (0.141)	38 (0.194)	37.4 (0.169)	21.0 (0.146)	42.2 (0.160)	19.2 (0.179)	23.3 (0.124)	11.8 (0.135)	17.4 (0.139)	13.5 (0.141)	38.4 (0.187)

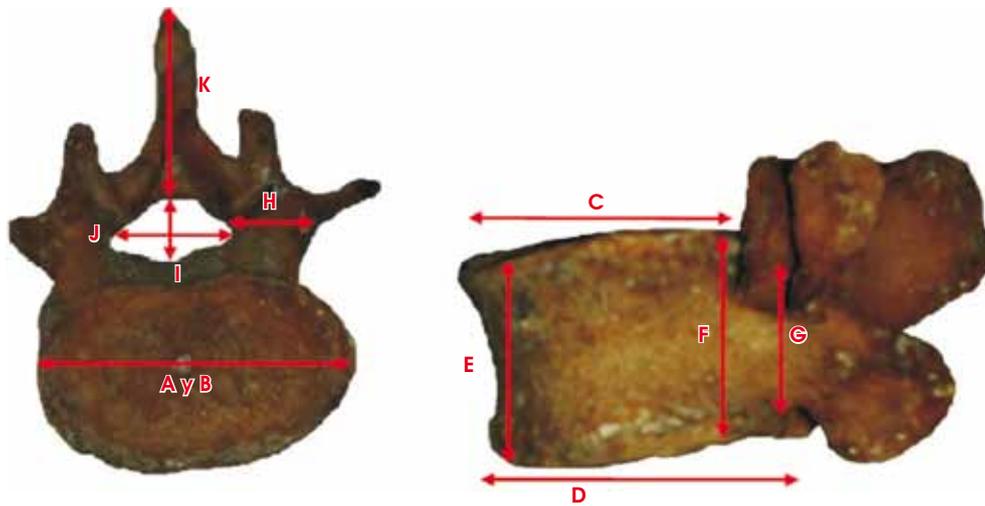


Figura 4. Parámetros anatómicos de las vértebras lumbares humanas.

Cuadro 3. Resultados de las dimensiones para el cuerpo vertebral humano y porcino en mm. Media (Error estándar de la media).

Especimen	Nivel vertebral	Región anterior (cuerpo vertebral) *Dimensiones en mm					
		CVAv	CVA d	CVEs	CVPs	CVEi	CVPi
Porcino	L3	34.8 (0.126)	36.5 (0.181)	36.7 (0.163)	20.9 (0.135)	38.0 (0.141)	19.6 (0.127)
	L4	35.6 (0.141)	38.0 (0.194)	37.4 (0.169)	21.0 (0.146)	42.2 (0.160)	19.2 (0.179)
Humano	L3	23.8 (1.10)		44.1 (0.88)	35.2 (1.10)	48.0 (1.24)	34.8 (1.24)
	L4	24.1 (1.10)		46.6 (1.20)	35.5 (0.88)	49.5 (1.38)	33.9 (0.85)

Cuadro 4. Resultados de las dimensiones para los pedículos, el canal espinal y las apófisis humano y porcino en mm. Media (Error estándar de la media).

Especimen	Nivel vertebral	Región posterior (pedículos, canal espinal y apófisis espinosa) *Dimensiones en mm				
		Pa	Pe	CEe	CEa	AEI
Porcino	L3	22.8 (0.128)	11.4 (0.094)	15.8 (0.131)	13.1 (0.118)	38.0 (0.153)
	L4	23.3 (0.124)	11.8 (0.135)	17.4 (0.139)	13.5 (0.141)	38.4 (0.187)
Humano	L3	14.2 (0.64)	10.2 (0.67)	24.3 (0.64)	17.5 (0.53)	71.7 (1.77)
	L4	15.7 (0.57)	13.4 (0.18)	25.4 (0.49)	18.6 (0.71)	70.1 (1.17)

- La longitud de la apófisis espinosa crece en dirección cráneo-caudal de L3 a L4.

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Dath R. et al.¹⁶, sin embargo, hay que mencionar que en el presente estudio, se muestra que el tamaño en general de la columna lumbar porcina en su espesor incrementa de L1 a L4 y a partir de aquí decrece en dirección cráneo-caudal, mientras que su altura se mantiene claramente constante de L1 a L5, pero en L6 decrece también.

Correlación con las vértebras humanas

Como el objetivo principal de este trabajo es establecer las correlaciones entre vértebras porcinas y humanas, se efectuó un análisis morfométrico a dos vértebras lumbares L3 y L4 de un cadáver humano proporcionadas por el Hospital Regional 1º de Octubre. Para poder establecer las similitudes, se utiliza la misma nomenclatura que para el caso porcino (Figura 4).

Los resultados comparativos entre especímenes porcinos y humanos se encuentran resumidos en los Cuadros 3 y 4.

De los Cuadros 3 y 4 se pueden establecer las siguientes tendencias:

- Los cuerpos vertebrales humanos son más anchos y cortos, comparados con los porcinos que son más esbeltos y más altos.
- Tanto el canal espinal como las apófisis espinosas son más grandes en humanos que en porcinos, sin embargo, los pedículos porcinos son más grandes que los humanos.
- Otra observación, es que todas las dimensiones de las vértebras analizadas, en general aumentan de tamaño en dirección cráneo-caudal, lo cual concuerda con otros estudios al respecto¹⁶. Por lo tanto, cuando se realicen estudios en modelos porcinos, con el fin de extrapolar los resultados al caso humano, se tienen que tomar en consideración estas diferencias.

CONCLUSIONES

La relación entre las dimensiones, la geometría, la estructura ósea, y las propiedades mecánicas, está íntimamente relacionada, de esto se puede deducir, que para correlacionar los datos biomecánicos entre diferentes especies, es necesario analizar mediante múltiples estudios de diversa índole sus diferencias y analogías, y así tener una mejor comprensión de su funcionamiento, con la finalidad de extrapolar los resultados obtenidos al caso humano.

De acuerdo a los resultados presentados en este trabajo, se pone de manifiesto que existen diferencias en la morfometría de vértebras porcinas, especialmente en los cuerpos vertebrales y pedículos en donde la instrumentación es comúnmente probada. Sin embargo, la columna lumbar porcina puede ser utilizada como un modelo animal alternativo para la investigación de la biomecánica de columna lumbar humana siempre que estas diferencias sean tomadas en cuenta.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por el Hospital Regional 1º de Octubre del ISSSTE y al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Sisson S, Grossman JD. Anatomía de Animales Domésticos. Quinta Edición, Salvat Editores S.A., Tomo I, Barcelona, 1985.
2. Hildebrand M. Anatomía y Embriología de los Vertebrados. Limusa, México, 1982.
3. Smith TH. The use of a quadruped as an *in vivo* model for the study of the spine – biomechanical considerations. *Eur Spine J* 2002; 11(2): 137-144.
4. Tsai K-H, Lin R-M, Chang G-L. Rate-related fatigue injury of vertebral disc under axial cyclic loading in a porcine body-disc-body unit. *Clinical Biomechanics* 1998; 13(1): S32-S39.
5. Lin RM, Tsai KH, Chang GL. Distribution and regional strength of trabecular bone in the porcine lumbar spine. *Clinical Biomechanics* 1997; 12(5): 331-336.
6. Lundin O, Extröm L, Hellström M, Holm S, Swärd L. Exposure of the porcine spine to mechanical compression: differences in injury pattern between adolescents and adults. *Eur Spine J* 2000; (9): 466-471.
7. Causa F, Manto L, Borzacchiello A, De Santis R, Netti PA, Ambrosio L, Nicolais L. Spatial and structural dependence of mechanical properties of porcine intervertebral disc. *J of Materials and Science: Materials in Medicine* 2002; (13): 1277-1280.
8. Jeremy CMT, Kuan MSH, Justin ELK, Swee HT. Relationship between CT intensity, micro-architecture and mechanical properties of porcine vertebral cancellous bone. *Clinical Biomechanics* 2006; (21): 235-244.
9. Bozkus H, Crawford NR, Chamberlain RH, Valenzuela TD, Espinoza A, Yüksel Z, Dickman CA. Comparative anatomy of the porcine and human thoracic spines with reference to thoracoscopic surgical techniques. *Surgical Endoscopy* 2005; 19(12): 1652- 1665.
10. Cunningham BW, Lewis SJ, Long J, Dmitriev AE, Linville DA, Bridwell KH. Biomechanical evaluation of lumbosacral reconstruction techniques for spondylolisthesis: An *in vitro* porcine model. *Spine* 2002; 27(21): 2321-2327.
11. Gunning JL, Callaghan JP, McGill SM. Spinal posture and prior loading history modulate compressive strength and type of failure in the spine: a biomechanical study using a porcine cervical spine model. *Clinical Biomechanics* 2001; (16): 471-480.
12. Liebschner MAK. Biomechanical considerations of models used in tissue engineering of bone. *Biomaterials* 2004; (25): 1697-1714.
13. Khan SN, Lane JM. Spinal fusion surgery: animal models for tissue-engineered bone constructs. *Biomaterials* 2004; (25): 1475-1485.
14. McLain RF, Yerby SA, Mosely TA. Comparative morphometry of L4 vertebrae: comparison of large animal models for the human lumbar spine. *J Spine* 2002; 27(8): E200-E2006.
15. Dath R, Ebinesan AD, Porter KM, Miles AW. Anatomical measurements of porcine lumbar vertebrae. *J Clinical Biomechanics* 2007; 1-7.
16. Kumar N, Kukerti M, Ishaque M, Mulholland R. Anatomy of deer spine and its comparison to the human spine. *The Anatomical Record* 2000; 260(2): 189-203.