



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE MEDICINA**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**  
**HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO DE SONORA**  
**DR ERNESTO RAMOS BOURS**

**T E S I S**

**MODIFICACIÓN DE LA LORDOSIS LUMBAR POR DISPOSITIVO INTERESPINOSO  
(DIAM) EN MODELO CADAVERÍCO: ESTUDIO BIOMECÁNICO.**

**PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD DE ORTOPEDIA**

**PRESENTA:**  
**Hugo Santacruz Muro**

**TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. DAVID LOMELÍ ZAMORA**  
Hospital General del Estado de Sonora  
**COMITÉ TUTOR: DR. REGINALDO CADENA VEGA**  
Hospital General del Estado de Sonora  
**M. en C. NOHELIA GUADALUPE PACHECO HOYOS**  
Universidad de Sonora  
Hospital General del Estado de Sonora

**Hermosillo Sonora; julio 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## FIRMAS DE AUTORIZACIÓN DEL COMITÉ DIRECTIVO DE TESIS

Los presentes hemos revisado el trabajo del médico residente de cuarto año Hugo Santacruz Muro y lo encuentran adecuado para continuar con su proceso de titulación para obtener su grado de médico especialista en Ortopedia.



**David Lomeli Zamora**  
Director de tesis  
Hospital General del Estado de Sonora



**Reginaldo Cadena Vega**  
Miembro del comité tutorial  
Hospital General del Estado



**Nohelia G. Pacheco Hoyos**  
Miembro del comité tutorial  
Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora  
Hospital General del Estado de Sonora

Hospital General del Estado  
"Dr. Ernesto Ramos Bours"  
División de Enseñanza e Investigación  
No. de oficio: SSS/HGE/EM/291/17  
Hermosillo, Sonora a 26 de julio de 2017

2017 "Centenario de la constitución,  
Pacto Social Supremo de los Mexicanos"

### LIBERACIÓN DE TESIS

La División de Enseñanza e Investigación del Hospital General del Estado de Sonora hace constar que realizó la revisión del trabajo de tesis del médico residente: **HUGO SANTACRUZ MUÑOZ**, cuyo título es: **"MODIFICACIÓN DE LA LURDUSIS LUMBAR POR DISPOSITIVO INTERESPINOSO (DIAM) EN MODELO CADAVERÍCO: ESTUDIO BIOMECÁNICO."** Con base en los lineamientos metodológicos establecidos por el Hospital General del Estado "Dr. Ernesto Ramos Bours," se considera que la tesis reúne los requisitos necesarios para un trabajo de investigación científica y cumple con los requerimientos solicitados por la Universidad Nacional Autónoma de México. Por lo tanto, la División de Enseñanza e Investigación acepta el trabajo de tesis para ser sustentado en el examen de grado de especialidad médica; reconociendo que el contenido e información presentados en dicho documento son responsabilidad del autor de la tesis.

ATENTAMENTE



DR. JUAN PABLO CONTRERAS FÉLIX  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ENSEÑANZA E  
INVESTIGACIÓN  
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO



M en C. NOHELIA G. PACHECO  
COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y MÉTODOS DE ANÁLISIS  
DIVISIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN



C.c.p. Archivo  
NGPH



Hospital General  
del Estado  
Dr. Ernesto Ramos Bours

Unidos logramos más

Bvd. Luis Encinas Johnson S/N Colonia Centro  
Hermosillo, Sonora. Tels. (662) 2592501, 2592505  
[www.saludsonora.gob.mx](http://www.saludsonora.gob.mx)

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Secretaría de Salud del Estado de Sonora.

A mi sede de trabajo, El Hospital General del Estado “Dr. Ernesto Ramos Bours”.

A los miembros de comité de tesis.

## **AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL**

A mis maestros y todas las personas que contribuyeron en mi formación como Ortopedista.

A mi madre.

A dios.

## **DEDICATORIA**

A mi madre.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>11</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
<b>HIPÓTESIS CIENTÍFICA</b> .....	<b>14</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
1.1. Biomecánica.....	15
1.2. La columna vertebral .....	15
1.3. Curvaturas de la columna vertebral .....	19
1.4. Balance sagital .....	21
1.5. Síndrome de canal lumbar estrecho .....	24
1.6. Dispositivos interespinosos.....	26
1.7. Estado del arte.....	28
<b>MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	<b>30</b>
2.1 Diseño del estudio.....	30
2.2 Población y periodo de estudio .....	30
2.3 Criterios de muestreo y elección del tamaño de muestra.....	30
2.4 Criterios de selección.....	31
2.5 Descripción de las variables según la metodología .....	31
2.6 Descripción metodológica del estudio .....	32
2.7 Análisis de datos .....	33
2.8 Recursos empleados.....	33
2.9 Aspectos éticos de la investigación.....	35
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>37</b>
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>40</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>42</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>43</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>44</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>47</b>

## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 1. Mediciones radiográficas de ángulos

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Cuerpo vertebral desarmado. Tomado de Kapandji 2007

Figura 2. Corte sagital columna. Tomado de Kapandji 2007

Figura 3. Movimiento de columna. Tomado de Kapandji, 2007

Figura 4. Curvaturas de la columna. Tomada de Moore, 2010

Figura 5. Ángulos intervertebrales. Tomado de Campbell, 2013

Figura 6. Incidencia pélvica. Tomada de Ames, 2012

Figura 7. Angulación pélvica. Tomada de Ames, 2012

Figura 8. Inclinación del sacro. Tomada de Ames, 2012

Figura 9. Angulo lumbosacro. Tomado de Muñoz, 2011

Figura 10. Espaciador interespinoso (DIAM). Tomado de Christie, 2005

Figura 11. Dispositivo utilizado para realizar las pruebas.

Figura 12. Recursos materiales

## **RESUMEN**

La columna vertebral es el eje del cuerpo y no debe ser vista como una columna, sino que son segmentos de un todo. El cual, si se modifica algún segmento cambia toda en conjunto. Uno de los tratamientos disponibles para el canal lumbar estrecho es el uso de dispositivo interespinoso. Con el objetivo de evaluar la modificación de la lordosis lumbar y la angulación intervertebral se realizaron pruebas biomecánicas en modelos cadavéricos con mediciones radiográficas. Se tomaron radiografías laterales de los modelos previo a la colocación de dispositivo, con dispositivo DIAM en el segmento L4 y posterior al retiro de este en posición neutra y en flexión. Se encontró que existe una disminución de la lordosis lumbar de un 22.5% y de la angulación intervertebral de L4 de 45.1%, se observa que el resto de los segmentos también contribuyen al cambio de la lordosis lumbar, pero en menor medida que el disco de L4.

**Palabras clave:** DIAM, ortopedia, columna lumbar, biomecánica

## **ABSTRACT**

The spine is the axis of the body and should not be seen as a column, the spine are segments of a whole. If you modify some segment changes altogether. One of the treatments available for the lumbar spinal stenosis is the use of interspinous device. In order to evaluate the modification of lumbar lordosis and intervertebral angulation, biomechanical tests were performed on cadaveric models with radiographic measurements. Lateral radiographs of the models were taken prior to device placement, with interspinous device (DIAM) in the L4 segment and after the removal of the device in neutral position and in flexion of the spine. It was found that there is a decrease of lumbar lordosis 22.5% and in the intervertebral angle of L4 45.1%, it is observed that the rest of the segments also contribute to the change of the lumbar lordosis, but in a smaller percentage.

**Key words:** DIAM, orthopedics, lumbar spine, biomechanics

## INTRODUCCIÓN

El uso de estabilizadores dinámicos interespinosos para el tratamiento del síndrome de canal lumbar estrecho es comercializado como un sistema que altera favorablemente el movimiento y la distribución de cargas en la unidad funcional de la columna lumbar. Esto, sin la necesidad de realizar fusión vertebral, en otras palabras, es un sistema que restringe el movimiento en la dirección que se produce el dolor pero permite el rango completo de movilidad (Sean, 2005).

Existen diversos tipos de implantes interespinosos que pueden ser utilizados, sus diseños varían desde estabilizadores estáticos hasta estabilizadores dinámicos, los cuales pueden estar compuestos de diferentes materiales. El objetivo principal de estos dispositivos es distraer las apófisis espinosas por arriba de su umbral haciendo un cambio en los puntos de carga de la unidad funcional. Todo esto con el objetivo de limitar extensión, aumentando el diámetro del canal medular y del foramen intervertebral (Bono et. al., 2007).

El dispositivo interespinoso DIAM (Device for intervertebral assisted motion) cambia la anatomía intervertebral de la unidad funcional y de la totalidad de la columna. Por lo tanto, es necesario conocer el efecto de éste en la lordosis y la angulación intervertebral. En la literatura se encuentra información limitada sobre las complicaciones que se encuentran al colocar estos dispositivos. Una de ellas que no se estudia es el cambio en la lordosis lumbar y cada uno de los segmentos provocado por el espaciador interespinoso. Por tal motivo se presenta este estudio con modelos cadavéricos en posición neutra y flexión en diferentes situaciones. Lo anterior con el propósito de evaluar el cambio en la lordosis lumbar y la angulación intervertebral y su relación con la espalda plana y el balance sagital.

En la presente investigación se evaluaron los cambios angulares que suceden en la unidad funcional donde se colocó el dispositivo interespinoso y también los cambios que suceden en los segmentos supra adyacentes. Esto se llevó a cabo en modelos cadavéricos de columna lumbar a los cuales se les coloca el DIAM observando y registrando los cambios angulares en los segmentos descritos obtenidos de las radiografías. Las mediciones obtenidas se analizaron en base a evaluaciones no paramétricas. Con base a los promedios obtenidos se contrastaron llegando a la conclusión de los cambios observados en el experimento que demuestran una rectificación de la lordosis lumbar.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El síndrome de canal lumbar estrecho es un padecimiento frecuente que se presenta en pacientes con enfermedades de columna. Lo anterior como consecuencia de procesos degenerativos debidos a la edad y factores genéticos. Uno de los tratamientos quirúrgicos que se ofrece es la estabilización dinámica con dispositivo interespinoso (DIAM) (Benzel et, al., 2017).

El dispositivo DIAM cambia la anatomía intervertebral de la unidad funcional y de la columna en su totalidad. Es necesario conocer cómo afecta la lordosis y las relaciones anatómicas intervertebrales para evitar secuelas del uso de dicho dispositivo y sus alteraciones en el balance sagital. Con base en lo anterior planteado se crean las siguientes preguntas hipotéticas de investigación:

¿Existen cambios en la lordosis lumbar al colocar dispositivo interespinoso DIAM?

¿Existen cambios en la angulación intervertebral de las unidades funcionales al colocar dispositivo interespinoso DIAM?

## **JUSTIFICACIÓN**

Los dispositivos interespinoso son una opción de tratamiento en síndrome canal lumbar estrecho. Esto debido a que se puede disminuir carga facetaria, aumentar el diámetro foraminal, y dar estabilidad a la extensión de la columna. En la literatura no está descrito el cambio biomecánico de la columna lumbar con el uso del DIAM en modelos cadavéricos humanos.

Este estudio tiene como objetivo principal definir el cambio de la angulación intervertebral y la lordosis lumbar, posterior a la colocación de dispositivo interespinoso. Lo anterior es indispensable para entender mejor la biomecánica de la columna lumbar, la importancia de la angulación y su relación con la espalda plana y balance sagital. Todo esto para brindar un tratamiento adecuado de acuerdo al costo-beneficio para nuestros pacientes.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Describir la modificación de la lordosis lumbar por dispositivo interespinoso (DIAM) en modelo cadavérico: Estudio biomecánico.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

1. Describir la modificación de la lordosis lumbar antes y después de la colocación de dispositivo interespinoso.
2. Describir la modificación del ángulo intervertebral L4 antes y después de la colocación de dispositivo interespinoso.

## **HIPÓTESIS CIENTÍFICA**

Si se colocan modelos cadavéricos de columna lumbar el dispositivo interespinoso en la unidad funcional L4-L5 se esperan las siguientes predicciones:

Predicción 1: Se espera encontrar una disminución en el ángulo de la lordosis lumbar L1-L5.

Predicción 2: Se espera encontrar una disminución del ángulo intervertebral de la unidad funcional (L4-L5) donde se coloca dispositivo interespinoso.

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1. Biomecánica**

La biomecánica es una rama de la ingeniería mecánica que aplica el conocimiento y las Leyes de la mecánica a la biología. Nos ayuda a entender el funcionamiento motor de los organismos, a caracterizar el comportamiento estructural de órganos y de los tejidos vivos, a predecir cambios debidos a alteraciones y a proponer métodos de intervención artificial. (Doblaré y García-Aznar, 2000). La biomecánica es una disciplina que se rige según los lineamientos planteados por la física clásica y responde a las leyes básicas de la mecánica propuestas por Isaac Newton. La biomecánica ha tenido múltiples aplicaciones en la medicina como por ejemplo el estudio del efecto biomecánico en los dispositivos interlaminares Guizzardi, 2015 y los cambios biomecánicos en la columna lumbar posterior a la colocación de estabilizadores dinámicos Bellini, 2007. En nuestro nosocomio lo estudio biomecánicos forman parte de una línea de investigación que ha impulsado el servicio de Traumatología y Ortopedia desde hace cinco años. Entre las aportaciones científicas generadas dentro de HGES se encuentran los trabajos de Ocampo (2014), Quintanar (2014), Vázquez (2014), Fierro (2015), García (2016) y Campos (2016).

### **1.2. La columna vertebral**

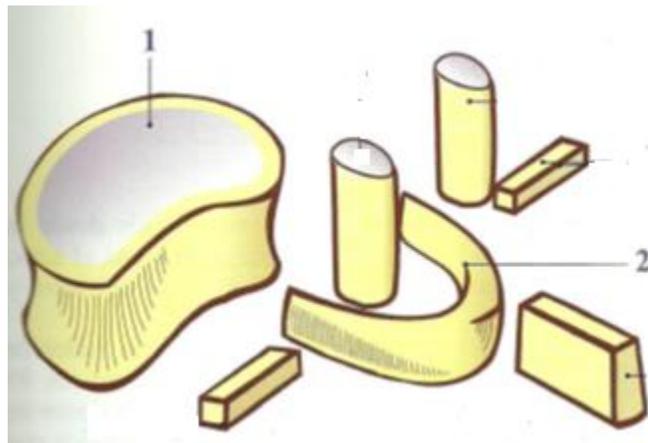
La columna vertebral se conforma por las vértebras, discos intervertebrales, ligamentos y músculos. Todos estos forman parte en conjuntos para dar estabilidad y movilidad a la columna, y mantener su posición erecta. Las vértebras son estructuras en forma de anillos las cuales proveen protección a la medula espinal, meninges y vasos sanguíneos. Su naturaleza

segmentaria le da su flexibilidad, a su vez que da soporte al torso y en conjunto con las costillas previene la compresión del corazón, pulmones y los grandes vasos (Corbett, 2006).

La función de la columna vertebral es sostener la parte superior del torso en varias posiciones. Las actividades de la vida cotidiana demandan movimientos variables del tronco, tales como flexión, torsión y sostener cargas. Estos movimientos deben ser realizados en equilibrio, son movimientos complejos que se dan como resultado de interacciones complicadas del esqueleto y de los tejidos blandos, en armonía con la contracción muscular activa (Radin, 1981).

Durante el transcurso de la evolución de la especie humana a partir de los prehomínidos (próximo a la línea de la especie humana, del que solo hay restos fósiles), el paso de la cuadrupedia a la bipedestación en la especie humana indujo al enderezamiento de la columna y después la inversión de la curvatura lumbar (Kapandji, 2007).

Al descomponer una vértebra (Figura 1) por sus partes se pueden encontrar dos partes principales:



**Figura 1. Cuerpo vertebral desarmado donde: 1 representa el cuerpo vertebral y 2 representa el arco posterior. Tomado de Kapandji 2007.**

- a) El cuerpo vertebral 1 (figura 1) por delante, es la parte más gruesa de la vértebra de forma cilíndrica menos alta que ancha.
- b) El arco posterior 2 (figura 1) por detrás, en forma de herradura se fija a las apófisis articulares, por un lado se localizan los pedículos y delante de las apófisis articulares, las láminas se situarán por detrás del macizo de las apófisis articulares. Por detrás en la línea media, se fija la apófisis espinosa, a los lados del arco posterior se encuentran las apófisis transversas.

Los cuerpos vertebrales están unidos entre sí por el disco intervertebral; mientras que las apófisis articulares lo están por articulaciones del tipo de las artrodias. En cada nivel existe un agujero vertebral delimitado por el cuerpo vertebral y por el arco posterior (Kapanji, 2007).

Las vértebras lumbares se hallan en la parte inferior del dorso, entre el tórax y el sacro.

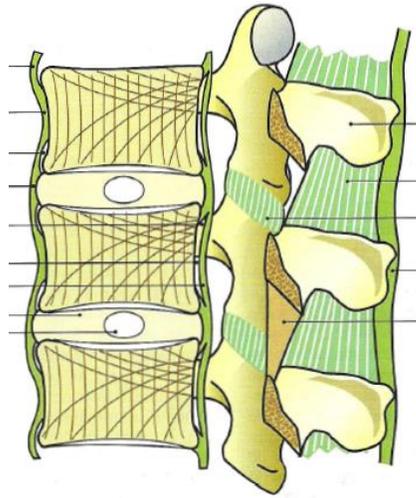
Los rasgos característicos de las vértebras lumbares:

- I. Cuerpo, muy grande renifore en la vista superior
- II. Agujero vertebral, triangular es mayor que en vertebras torácicas y menor que en vértebras cervicales
- III. Apófisis transversas, largas y delgadas
- IV. Apófisis articulares, caras superiores dirigidas posteromedialmente; caras inferiores dirigidas anterolateralmente; apófisis mamilar en la cara posterior de cada apófisis articular superior (Moore, 2010).

En el corte sagital de columna (Figura 2) se pueden distinguir dos sistemas ligamentosos:

- I. Ligamentos longitudinal anterior y posterior

- II. Ligamentos segmentarios entre los arcos posteriores, ligamento amarillo, capsula, ligamento anterointerno, ligamentos interespinoso, ligamento supraespinoso



**Figura 2. Corte sagital columna. Tomado de Kapandji 2007**

Para el estudio de la columna Denis (1983) describió un sistema de clasificación que propone el concepto de tres columnas.

- I. La columna anterior incluye el ligamento vertebral anterior, la porción anterior del disco y la parte anterior del cuerpo vertebral.
- II. La columna media comprende el ligamento longitudinal posterior, la porción posterior del disco y la parte posterior del cuerpo vertebral.
- III. La columna posterior comprende la porción la Proción posterior del arco óseo formado por los pedículos, las carillas articulares, las láminas y el complejo ligamentario posterior.

Este modelo de tres columnas es útil para la comprensión del mecanismo de lesión y de la inestabilidad que produce el daño en alguna columna (Bucholz, 2006).

Durante el movimiento de flexión el cuerpo vertebral (Figura 3) suprayacente se inclina y se desliza ligeramente hacia delante. El disco toma forma de cuña de base posterior y el núcleo pulposo se desplaza hacia atrás, lo cual provoca un aumento de la presión en fibras posteriores de anillo fibroso, las apófisis articulares tienden a separarse, por lo cual se tensan ligamentos capsulares, ligamento amarillo, ligamento interespinoso, ligamento interespinoso, ligamento supraespinoso y ligamento longitudinal posterior (Kapanji, 2007).

En el movimiento en extensión el cuerpo vertebral suprayacente se inclina hacia atrás y retrocede (Figura 3), el disco se hace más delgado en la parte posterior y se ensancha en la parte anterior, el núcleo pulposo se desplaza hacia delante, lo que tensa las fibras anteriores del anillo fibroso. Se tensan ligamento longitudinal anterior, ligamento longitudinal posterior se distiende, apófisis articulares inferiores se encajan en apófisis articular superior (Kapandji, 2007).

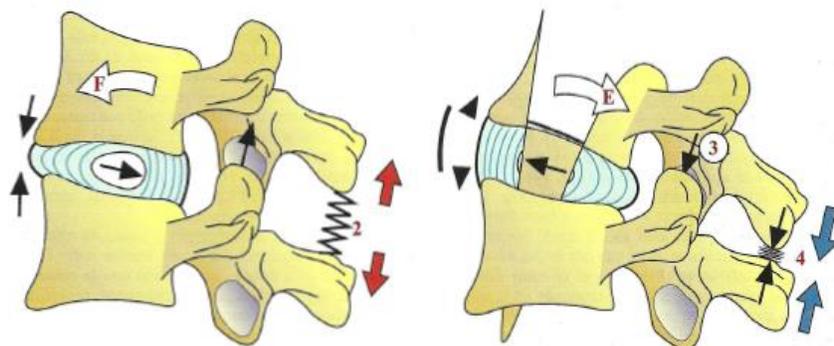
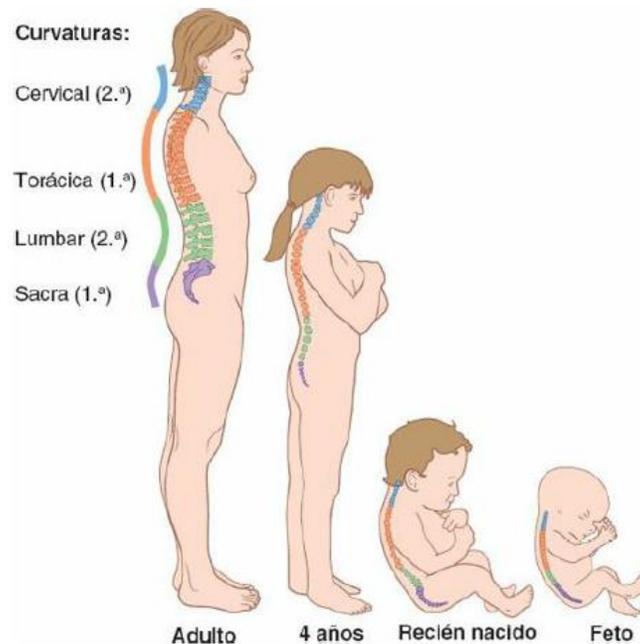


Figura 3. Movimiento de columna. Tomado de Kapandji, 2007

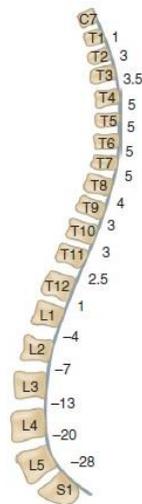
### 1.3. Curvaturas de la columna vertebral

La columna vertebral del adulto presenta cuatro curvaturas, cervical, torácica, lumbar y sacra (Figura 4). La cifosis torácica y sacra, con cóncavas anteriormente, mientras que la lordosis cervical y lumbar con cóncavas posteriormente. Las curvaturas primarias son la cifosis

torácica y sacra que se desarrollan en el periodo fetal, las curvas secundarias son la lordosis cervical y lumbar, comienzan a aparecer al final del período fetal, pero no se hace obvias hasta la época lactante. La lordosis lumbar se hace aparente cuando el lactante comienza a adoptar la postura erguida, mantenerse en pie y caminar, generalmente más acentuada en la mujer. Las curvaturas de la columna (Figura 5) le aportan flexibilidad adicional a la proporcionada por los discos intervertebrales, al aplicar carga sobre esta se comprimen los discos intervertebrales y las curvaturas tienen a incrementarse (Moore, 2010).



**Figura 4. Curvaturas de la columna. Tomada de Moore, 2010**



**Figura 5. Ángulos intervertebrales. Tomado de Campbell, 2013**

#### **1.4. Balance sagital**

Se define como las curvaturas de la columna vertebral para tratar de mantener una postura erecta, un individuo debe combinar en forma óptima la alineación de la columna vertebral, la estructura de la pelvis, que es una línea de plomada que va desde el centro del cuerpo de C7 y que cae a  $\pm 2$  cm de la parte anterior del promontorio del sacro, así como la alineación de las extremidades pélvicas con el menor consumo de energía sin causar molestias o dolor al estirar los músculos, ligamentos y tendones que deben cambiar para lograr esta postura.

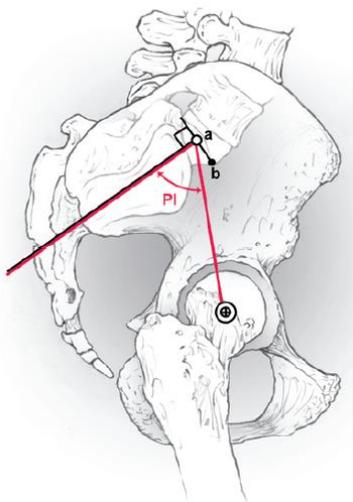
Para comprender la posición erecta y la función de la columna vertebral es necesario analizar los parámetros pélvicos y los de la columna vertebral y correlacionar estos parámetros de forma global con las relaciones de la columna, pelvis y extremidades pélvicas.

Las curvaturas normales de la columna, las cuales se aprecian en la vista sagital, conforman dos curvas lordóticas, una en la columna cervical y otra en la columna lumbar y

en medio de ellas, la curvatura torácica en xifosis que compensa las dos curvaturas, las cuales permiten una distribución simétrica de las fuerzas y movimientos de la columna vertebral.

La etiología del desequilibrio vertebral es originado por deformidades, degenerativos, traumáticos, inflamatorios. Este desequilibrio conduce cambios adaptativos que se producen en pelvis y extremidades inferiores, cambiando la angulación de la pelvis y forzando las rodillas y las caderas a flexionarse, para compensar estos cambios en la columna vertebral.

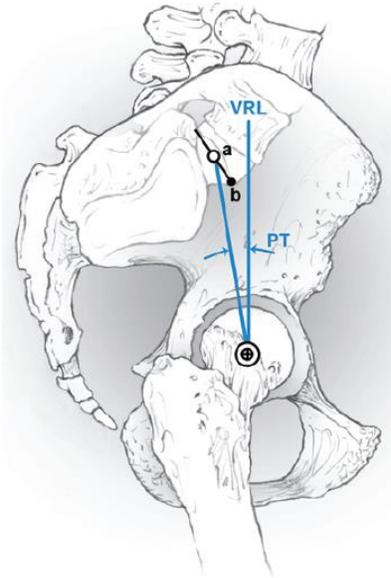
Incidencia pélvica (Figura 6), es un ángulo que se obtiene trazando una línea perpendicular al centro de la plataforma del sacro y una línea que va del centro de la plataforma del sacro al centro de la cabeza femoral. Mide en promedio  $52^\circ$  con un rango de  $34-84^\circ$  (Tejeda, 2015).



**Figura 6. Incidencia pélvica. Tomada de Ames, 2012**

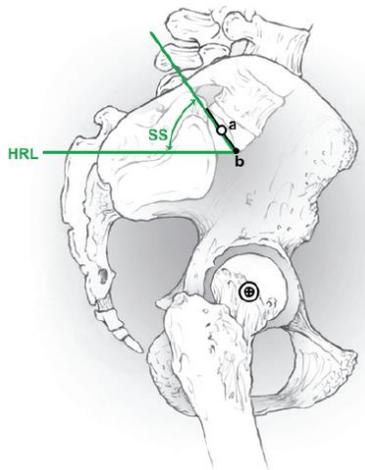
Angulación pélvica (Figura 7). Es el ángulo entre la línea vertical que inicia en el centro de la cabeza femoral y una línea que inicia en el centro de la cabeza femoral y se dirige

al centro de la plataforma de S1. Mide en promedio  $12^\circ$  con un rango de  $5-30^\circ$ , este ángulo cambia en forma compensatoria (Tejeda, 2015).



**Figura 7. Angulación pélvica. Tomada de Ames, 2012**

Inclinación del sacro (Figura 8). Se define como el ángulo que se forma entre la plataforma inferior de S1 y una línea horizontal que llega a la porción más baja de la plataforma del sacro. Mide en promedio  $40^\circ$  Rango de  $20-65^\circ$ , varía con la postura (Tejeda, 2015).



**Figura 8. Inclínación del sacro. Tomada de Ames, 2012**

Angulo lumbosacro (Figura 9). Es aquel que está formado por la intersección del eje longitudinal de la quinta vértebra lumbar con el eje longitudinal de la primera vértebra sacra. Su valor promedio es de 140 grados (Tejeda, 2015).



**Figura 9. Angulo lumbosacro. Tomado de Muñoz, 2011**

### **1.5. Síndrome de canal lumbar estrecho**

El síndrome de canal lumbar estrecho es causado por factores mecánicos o por alteraciones biomecánicas en el disco intervertebral que llevan a disminución y colapso del espacio, hipertrofia facetaria, abultamiento de tejidos blandos y formación de osteofitos los cuales disminuyen el diámetro en el conducto espinal, de los canales laterales y/o de los forámenes, este estrechamiento puede ser generalizado o localizado.

La estenosis primaria puede ser congénita, cuando resulta de malformaciones vertebrales o con el desarrollo de las mismas en el periodo postnatal en el desarrollo de la columna lumbar Las formas tardías incluyen acondroplasia y estenosis constitucional.

La estenosis secundaria, es el desarrollo del canal lumbar estrecho por condiciones adquiridas como espondilosis, espondilolistesis. La estenosis degenerativa se presenta entre la 5ta y 6ta décadas, esta es la más común y es adquirida con la degeneración espondilar a través de una secuencia de degeneración progresiva con cambios en los discos, cuerpos y facetas y ligamentos de la espina. La estenosis ocurre más comúnmente en los discos de L3 y L4.

Los síntomas de dolor lumbar frecuentemente implican cargas anormales más que alteraciones a la movilidad, bajo condiciones fisiológicas el disco distribuye las cargas en las plataformas vertebrales. Después de la degeneración de disco intervertebral, las cargas se distribuyen inadecuadamente, con áreas de sobrecargas sobretodo en ciertas posiciones, lo cual llevara a desgaste de segmento adyacente y sobrecarga facetaria lo cual provoca dolor.

Los pacientes con síndrome de canal lumbar estrecho pueden presentar varios síntomas como son lumbalgia por años, paresia o parestesias de extremidades inferiores, alteraciones de los reflejos y/o marcha, disfunción intestinal y vesical, cambios sensoriales, dolor radicular y claudicación neurogénica es el síntoma cardinal de la enfermedad.

Para el diagnóstico definitivo se requiere historia clínica, mielografía y/o resonancia magnética dinámica.

El diagnóstico diferencial se incluyen hernia de disco y espondilolistesis, neoplasias y alteraciones abdominales o pélvicas (Rosales, 2006).

El tratamiento se basa en el tratamiento conservador con AINES, terapia física e inyecciones epidurales con esteroides, si el tratamiento conservador falla y continua con dolor alteraciones neurológicas o aumenta es necesario proponer tratamiento quirúrgico, el

cual comúnmente se basa en descompresión con laminectomía. Estudios recientes demuestran que el tratamiento quirúrgico es superior al tratamiento conservador para controlar el dolor y mejorar la función en pacientes con canal lumbar estrecho (Issack, 2012).

En el canal lumbar estrecho involucra inestabilidad de segmento, enfermedad del disco intervertebral, alteraciones facetarias y ligamentarias, el estándar de oro del tratamiento de dicha patología es la descompresión y la fusión de segmentos inestables. (Schulte, 2008)

La estabilización dinámica cambia la trasmisión de las cargas para lograr posiciones más tolerables, y limita los movimientos para evitar posiciones dolorosas, en otras palabras, estos dispositivos son capaces de controlar el movimiento del segmento vertebral para distribuir las cargas entre el disco y el espaciador interespinoso. El dispositivo DIAM es un espaciador interespinoso de silicón, cubierto de polietileno, asegurado con dos ligaduras al dispositivo (Bellini, 2007).

La mala alineación de la columna en el plano sagital se encuentra establecido como causa de dolor y discapacidad, los médicos que se encargan del manejo de pacientes con patología de columna deben tener en cuenta el balance sagital para obtener buenos resultados.

La pelvis actúa como una unidad entre la columna y la extremidades inferiores, la posición de la pelvis juega un papel importante para mantener la sedestación y bipedestación (Ames, 2012).

## **1.6. Dispositivos interespinosos**

El tratamiento mediante estos dispositivos logra una estabilización dinámica que ha sido definida como un sistema que favorece el movimiento y la transmisión de las cargas en los segmentos de la columna vertebral, sin la necesidad de realizar artrodesis.

El concepto de los espaciadores interespinosos con el objetivo de inducir flexión de la columna lumbar fue desarrollado en 1950, este fue un cilindro de acero el cual se retiraba ya que paciente presentaba sintomatología.

Espaciadores interespinosos estáticos (X-STOP, ExtendSure, Wallis) dinámicos (DIAM, IntraSpine, Coflex, CoRoent, In-Space, Superior FLEXUS).

El dispositivo DIAM (Figura 10) es un espaciador de silicón en forma de “H” el cual se encentra recubierto de una capa de polyester el cual se asegura con dos ligaduras, sobre las apófisis espinosas superior e inferior (Christie, et al., 2005).



**Figura 10. Espaciador interespinoso (DIAM). Tomado de Christie, 2005**

El dispositivo del DIAM está indicado en pacientes que presentan estenosis foraminal, el objetivo de espaciador es limitar la extensión del segmento lumbar estenótico, aumentando el diámetro del canal medular y del foramen intervertebral (Benzel et al., 2017).

Esta modificación mecánica permitirá el cambio de los puntos de carga, preservando la movilidad (Christie, et al., 2005).

### **1.7. Estado del arte**

En un estudio prospectivo a dos años realizado por Stromqvist, (2013) con espaciador interespinoso X-Stop, donde 13 de 50 pacientes fueron reoperados y se retira el implante y se realiza calibrage (Stromqvist, et al., 2013). Por otro lado, Zongmiao (2012) evaluó ocho pacientes los cuales se les colocó el espaciador interespinoso X-Stop los cuales se evaluaron mediante tomografía axial computarizada, resonancia magnética y fluoroscopia, donde se midió la distancia menor entre las apófisis espinosas del segmento operado y segmentos adyacentes donde se encontró en el nivel operado un aumento de 1.5 mm en bipedestación, aumento de 1.3 en extensión, aumentos de 1.1 mm en flexión, sin afectar los segmentos adyacentes (Zongmiao, et al., 2012).

Se realizaron pruebas biomecánicas con modelos cadavéricos donde se colocan dispositivos en facetas para realizar medición de presión máxima, presión promedio, área de contacto y fuerza en el nivel implantado en extensión antes y después de colocar implante X-Stop, se encontró una disminución de 55% en el pico de presión, la presión promedio reducida en un 39%, el área de contacto facetario disminuyó en un 46% y la fuerza promedio disminuyó en un 67% (Wiseman, et al., 2005).

Se investigó la influencia de solo descompresión o usar estabilización dinámica con espaciador interespinoso Wallis, donde se valora los rangos de movimiento de los segmentos lumbares en modelos cadavéricos, se encontró en flexión-extensión  $6.6^{\circ} \pm 1.7^{\circ}$ , posterior a la descompresión se encontró un aumento a la flexión-extensión 26%, posterior a la colocación de espaciador interespinoso se encontró disminución de 66% de la movilidad del segmento a la flexión-extensión (Schulte, et al., 2008).

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **2.1 Diseño del estudio**

Estudio experimental. Un estudio experimental son una serie de investigaciones efectuadas en forma controlada por el investigador, este controla los factores que contribuyen a la variabilidad, sesgos, tratamiento, evaluación del desenlace y el análisis de los datos (Moreno, 2013)

Es un estudio biomecánico porque es un tipo de estudio experimental donde los sujetos son pacientes vivos o modelos cadavéricos donde se evalúa uno o más tratamiento para el control de un padecimiento.

Se realizó un estudio experimental con un dispositivo interespinoso (DIAM) para determinar lo cambios en la angulación intervertebral y de la lordosis lumbar en tres modelos cadavéricos, observando y registrando los cambios radiográficos.

El alcance del proyecto será determinar los cambios que se suceden al aplicar un dispositivo interespinoso desde el punto de vista biomecánico.

### **2.2 Población y periodo de estudio**

El protocolo se realizó con modelos cadavéricos humanos de columna lumbar. Se trabajó con tres modelos cadavéricos con los criterios de inclusión establecidos para esta investigación. El periodo para la realización del protocolo de investigación comprendió de febrero a junio del 2017 en el Hospital General del Estado de Sonora (HGES).

### **2.3 Criterios de muestreo y elección del tamaño de muestra**

Para la realización del estudio experimental se consideraron tres modelos cadavéricos humanos de columna lumbar de tres pacientes que fallecieron y se encontraron dentro de los

criterios de inclusión. El estudio se realizó en las instalaciones del Hospital General del estado de Sonora.

## **2.4 Criterios de selección**

### *Criterios de inclusión de modelos cadavéricos*

- Columna lumbar sin patología tumoral.
- Columna lumbar sin datos de infección.
- Columna lumbar sin datos de fractura.

### *Criterios de exclusión de modelos cadavéricos*

- Columna vertebral con alteraciones anatómicas y quirúrgicas.

### *Criterios de eliminación de modelos cadavéricos*

- Fractura accidental de espécimen al colocar dispositivo.
- Fractura accidental de espécimen al momento de extracción.
- Columna con datos de lesión de ligamentos.

## **2.5 Descripción de las variables según la metodología**

Para el presente estudio se trabajó con cuatro variables las cuales se definen a continuación:

Variables independientes:

*Edad:* edad al momento que se realiza la extracción de modelo cadavérico. Variable sociodemográfica.

*Género:* Posee características los individuos de una especie dividiéndolos en masculino y femenino. Variable sociodemográfica.

Variables dependientes:

*Lordosis lumbar:* Es la curvatura en el plano sagital del segmento lumbar, se mide en grados colocando una línea en la plataforma superior de L1 y una línea en la plataforma inferior de L5.

*Angulación intervertebral:* Es el espacio que se encuentra entre cada cuerpo vertebral en el plano sagital, se mide en grados colocando una línea de la plataforma inferior y otra línea en la plataforma superior del espacio intervertebral, donde se encuentran angulaciones discos L1, L2, L3 y L4.

## **2.6 Descripción metodológica del estudio**

1. Se preparó el modelo cadavérico en HGES, posterior a la aprobación del protocolo de investigación, se procede a recabar los especímenes bajo las reglas de la ley general de salud y con los criterios de inclusión mencionados.
2. Se retiraron tejidos blandos de cada espécimen conservando la capsula articular y el complejo ligamentario.
3. Se colocó en dispositivo donde se fija sacro en base de madera por medio de clavos Steinmann para evitar movimientos a nivel de sacro y se colocó Schanz roscado a nivel de cuerpo vertebral de T12 (Figura 11).
4. Se tomaron radiografías laterales del segmento lumbar en posición neutra y se aplicó fuerza de 5 Kg en flexión por medio de un dinamómetro y se toman radiografías laterales.
5. Posteriormente se colocó dispositivo interespinoso (DIAM) y se realizan las mismas pruebas en posición neutra y en flexión, se tomaron radiografías laterales.
6. Posteriormente se retiró dispositivo interespinoso (DIAM) y se toman nuevamente radiografías laterales en posición neutra y flexión ya con daño ligamentario.

7. Se realizan mediciones radiográficas de la lordosis lumbar y la angulación intervertebral.



**Figura 11. Dispositivo utilizado para realizar las pruebas.**

## **2.7 Análisis de datos**

Todas las mediciones radiográficas de la lordosis lumbar (se mide en grados colocando una línea en la plataforma superior de L1 y una línea en la plataforma inferior de L5) y la angulación intervertebral (se mide en grados colocando una línea de la plataforma inferior y otra línea en la plataforma superior del espacio intervertebral) se realizaron con el programa Weasis v2.5.0. Posteriormente se depositaron en una hoja de cálculo de Excel. Después se procesó la información y se obtienen porcentajes del cambio de la lordosis lumbar y angulación intervertebral, antes y después de colocar DIAM, posterior a esto se contrastan estas mediciones entre los modelos cadavéricos y se analizan las categorías.

## **2.8 Recursos empleados**

### **Recursos humanos:**

- *Médico residente de cuarto año de Traumatología y Ortopedia.*

- *Médicos adscritos del Hospital General del Estado de Sonora.*

**Recursos físicos (Figura 12):**

- *Tres modelos cadavéricos de columna lumbar.*
- *Dispositivo interespinoso DIAM.*
- *Aparato de Rayos X.*
- *Laptop.*
- *Dispositivo biomecánico para unidad funcional.*
- *Goniómetro.*
- *Guantes no estériles.*
- *Lentes de protección.*
- *Bisturí.*
- *Pinza de disección.*
- *Dinamómetro.*

*Recursos financieros:*

El material para el manejo de la información, así como la información necesaria fueron proporcionados por el personal de la institución de atención médica. Los costos económicos fueron solventados por el médico residente investigador.



**Figura 12. Recursos materiales**

## **2.9 Aspectos éticos de la investigación**

La investigación médica con cadáveres debe ser siempre manejada conforme a lo establecido por la legislación mexicana. Por lo tanto, el presente protocolo ha sido elaborado siguiendo la normatividad indicada en la fracción I del artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y demás relativos de la Ley General de Salud.

- En la Ley General de Salud en el Título décimo cuarto, Capítulo V incluye la normatividad para el estudio en investigación relacionados con la Donación, Trasplantes y Pérdida de la Vida en los artículos 346, 347 y 350. Las especificaciones legales para cada artículo se presentan a continuación:
  - ARTÍCULO 346.- Los cadáveres no pueden ser objeto de propiedad y siempre serán tratados con respeto, dignidad y consideración.
  - ARTÍCULO 347.- Para los efectos de este Título, los cadáveres se clasifican de la siguiente manera:

- De personas conocidas, y
- De personas desconocidas.

Los cadáveres no reclamados dentro de las setenta y dos horas posteriores a la pérdida de la vida y aquellos de los que se ignore su identidad serán considerados como de personas desconocidas.

- ARTÍCULO 350 bis 4.- Las instituciones educativas que obtengan cadáveres de personas desconocidas serán depositarias de ellos durante diez días, con objeto de dar oportunidad al cónyuge, concubinario, concubina o familiares para reclamarlos. En este lapso los cadáveres permanecerán en las instituciones y únicamente recibirán el tratamiento para su conservación y el manejo sanitario que señalen las disposiciones respectivas. Una vez concluido el plazo correspondiente sin reclamación, las instituciones educativas podrán utilizar el cadáver.
- Artículo 350 bis 5.- Los cadáveres de personas desconocidas, los no reclamados y los que se hayan destinado para docencia e investigación, serán inhumados o incinerados.

Esta investigación cuenta con la aprobación del Comité de Ética en Investigación del Hospital General del Estado de Sonora, el Departamento Jurídico del estado de Sonora, el Comité de Investigación del Hospital General del Estado de Sonora y la División de Enseñanza e Investigación del Hospital General del Estado de Sonora (se anexan oficios en anexos y al inicio del presente manuscrito).

## RESULTADOS

Se estudiaron tres modelos cadavéricos de columna lumbar los cuales fueron de pacientes de género masculino, con un intervalo de edad de 60 y 70 años. Se utilizaron tres configuraciones previamente explicados (Cuadro 1).

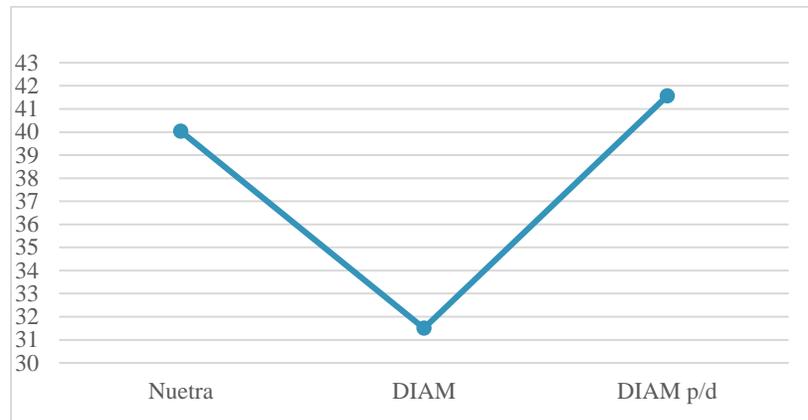
Las medidas realizadas a modelo cadavéricos con las diferentes configuraciones se presentan a continuación de manera desarrollada:

**Cuadro 1. Mediciones radiografías de ángulos**

	Lordosis	L1	L2	L3	L4
<b>Modelo cadavérico 1</b>					
<b>Neutro</b>	46.5	10.8	11	10.9	13.8
<b>Flexión</b>	16.7	3.3	3.6	3.9	5.9
<b>Neutro DIAM</b>	36.5	9.3	9.5	9.6	8.1
<b>Flexión DIAM</b>	20.8	4.5	5	5.5	5.8
<b>Neutro p/d</b>	46.6	10.4	11.5	11.7	13
<b>Flexión. p/d</b>	17.4	3.8	4.2	4.2	5.2
<b>Modelo cadavérico 2</b>					
<b>Neutro</b>	37.6	8.7	8.7	9	11.2
<b>Flexión</b>	17.9	3.5	3.6	4.8	5.7
<b>Neutro DIAM</b>	29.4	7.3	7.6	8.3	6.2
<b>Flexión DIAM</b>	17.6	3.5	3.6	4.8	5.7
<b>Neutro p/d</b>	37	8.4	8.4	9.1	11
<b>Flexión p/d</b>	19.3	3.7	4.2	5	6.4
<b>Modelo cadavérico 3</b>					
<b>Neutro</b>	38	9	9.2	9.5	10.3
<b>Flexión</b>	18	3.3	4	5.1	5.6
<b>Neutro DIAM</b>	28.8	7.4	7.5	7.8	6.1
<b>Flexión DIAM</b>	18.1	3.8	4.2	4.9	5.2
<b>Neutro p/d</b>	41.1	7.5	8.5	9.3	9.2
<b>Flexión p/d</b>	15	2.2	2.2	5.1	5.5

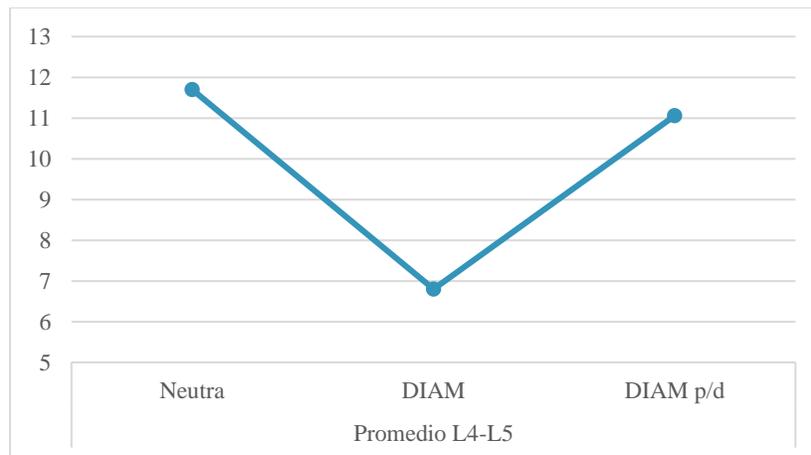
El promedio en posición neutra de la lordosis lumbar fue de 40.7°, al colocar el DIAM se aprecia una disminución de la lordosis hasta 31.5° correspondiendo a un cambio

del 22.5% en promedio. Al retirar el dispositivo interespinoso vuelve a lordosis inicial (Grafica 1).



**Grafica 1. Promedio lordosis lumbar**

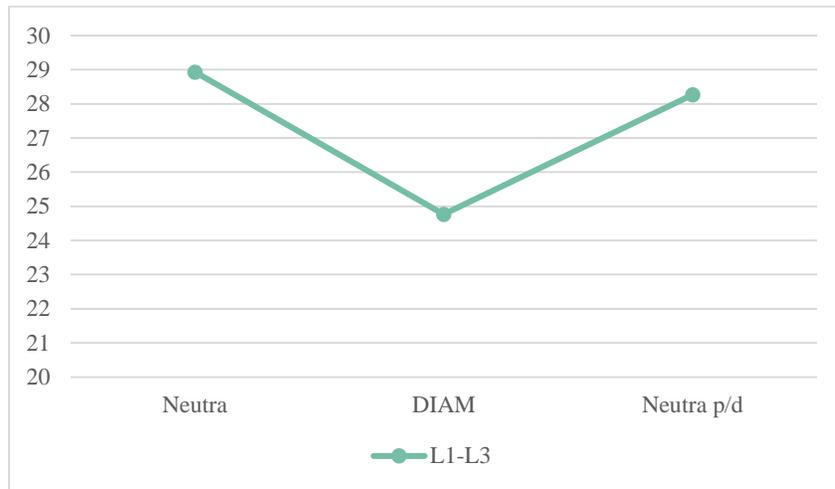
El promedio angulación intervertebral L4 de 11.7° sin dispositivo interespinoso, posterior al a colocación de DIAM el promedio de la angulación intervertebral L4 es de 6.8°, correspondiendo a un cambio del 45.1% en el ángulo intervertebral de L4 (Grafica 2).



**Grafica 2. Promedio angulación intervertebral L4**

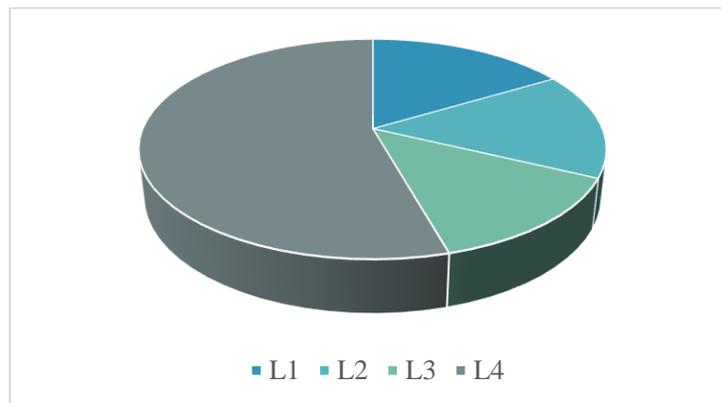
El promedio angulación intervertebral L1-L3 es de 28.9° sin dispositivo interespinoso, posterior al a colocación de DIAM el promedio de la angulación intervertebral

L1-L3 es de 24.7°, correspondiendo a un cambio del 14.4.1% en el ángulo intervertebral de L1-L3 posterior a la colocación de DIAM (Grafica 3).



**Grafica 3. Promedio de angulación intervertebral L1-L3**

El promedio de cambio de la lordosis lumbar de 22.5% corresponde a 9.1° este cambio se encuentra formado por cuatro ángulos intervertebrales los cuales en promedio conforman L1 16.4%, L2 15.6%, L3 13.5%, L4 54.3% siendo mayor en este último segmento (Grafica 4).



**Grafica 4. Cambio por segmento de la lordosis lumbar**

## DISCUSIÓN

En el presente trabajo se pudo apreciar que la lordosis se modifica en 9.1 grados (21%) lo que corresponde a 4.9° (54.3%) de L4 y 4.1° (45.8%) de L1-L3, esto significa que la modificación de una unidad funcional altera las unidades funcionales adyacentes como lo menciona Christie, et al., (2005) y Benzel, et al., (2017) la columna vertebral no debe ser vista como una columna, sino que son segmentos de un todo (Christie, et al., 2005 y Benzel, et al., 2017).

Al tener una disminución de la lordosis lumbar se provoca una flexión lo que provocara aplanamiento de la lordosis, lo que podría causar una espalda plana en base a que hay mecanismos que tratan de mantener el balance sagital como lo son el aumento de la cifosis torácica, la flexión de caderas y rodillas (Bae, et al., 2017). Al tener un aumento o una disminución de la lordosis lumbar contribuye al dolor lumbar, debido a esto ha tomado interés la medición de esta curvatura la lordosis se considera dentro de parámetros normales para hombre 43° mujeres 47° (Cramer, 2014) en el presente experimento se cambió artificialmente la lordosis normal por medio del DIAM rectificando la lordosis lumbar.

En este trabajo experimental con modelos cadavéricos se observa que al retirar DIAM se recupera la lordosis lumbar previa a la colocación de esto se explica debido a que solo no se ve afectado el complejo ligamentario, facetas y disco intervertebral de la unidad funcional. Richards (2005) mostró que el área del canal medular aumento en un 18%, el área foraminal en 25% y el ancho del foramen en un 41% con el espaciador interespinoso, Lee (2004) encontró un aumento del canal medular de 22% y del área foraminal de 37%.

Al tomar en consideración el modelo tricolunar de Denis, se observa que existe en la columna posterior disminución de la carga de esta lo que conlleva a un aumento del foramen intervertebral como se menciona anteriormente y una subluxación de facetas, se observa que al hacer flexión de la columna el eje de carga cambia y se quita carga a la columna posterior produciendo sobre carga en la columna anterior principalmente.

Al efectuar las pruebas biomecánicas se confirma con los resultados obtenidos se encuentra que al colocar el espaciador interespinoso existe una disminución de la lordosis lumbar lo que provoca un cambio principalmente en el ángulo intervertebral L4 de un 45.1% y un cambio en la lordosis lumbar de un 22.5%, debido a esto se encuentra un efecto no deseable a nivel de la lordosis lumbar provocando artrosis facetaria, esfuerzos de cizallamiento en disco, lo que nos lleva un cambio en el balance sagital, el cual no se menciona en la literatura este cambio provocado al colocar DIAM en la columna lumbar, activación de mecanismos compensatorios y mayor gasto energético, lo cual a la larga es perjudicial.

Se esperaba que el segmento inmediatamente adyacente se modificara más que los segmentos más retirados lo cual no sucedió así lo cual fue de L1 de 16.4%, L2 de 15.6% y L3 13.5%. Se considera prudente realizar estudios a largo plazo para determinar si al provocar un cambio de la columna lumbar habrá un cambio en el disco intervertebral, en el ligamento longitudinal anterior y posterior, en las facetas y sobre todo si esto ocasiona dolor en el paciente.

## **CONCLUSIONES**

Concluimos con este estudio que el DIAM disminuye la lordosis lumbar en su totalidad a expensas segmento vertebral L4 donde se coloca dicho dispositivo provocando espalda plana.

Por los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que al colocar dispositivo interespinoso se modifica no solo el segmento en el cual se coloca el DIAM sino en los segmentos adyacentes.

En el modelo cadavérico se observa que posterior al retirar el DIAM se revierte el cambio en la lordosis lumbar y la angulación intervertebral.

La alteración en una unidad funcional por el uso del DIAM no es fisiológica para la columna.

Ya que la columna se encuentra sometida a diferentes rangos de movilidad, este trabajo sirve de pauta para realizar estudios posteriores, evaluando dispositivos interespinosos.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda continuar con la línea de investigación de DIAM debido a que se han presentado múltiples complicaciones como dolor residual, infecciones, fracturas, sobre todo en los pacientes tratados con espaciadores interespinosos.

Se recomienda seguir realizando investigaciones sobre biomecánica de la columna lumbar sobre los cambios que habrá en el ligamento longitudinal posterior, disco intervertebral y artrosis facetaría.

## LITERATURA CITADA

- Ames, C.P., Smith J.S., Scheer J.K., Bess S., Bederman S.S., Deviren V., Lafage V., Schwab F., Shaffrey C.I. 2012. Impact of spinopelvic alignment on decision making in deformity surgery in adults: A review. *Journal of Neurosurgery Spine*, 16: 547-564.
- Bae, J., Theologis, A. A., Jang, J. S., Lee, S.H., Deviren, V. 2017. Impact of Fatigue on Maintenance of Upright Posture. *Spine*. 42(10):733-739.
- Bellini, C. M., Galbusera, F., Raimondi, M. T., Mineo, G. V., Brayda-Bruno, M. 2007. Biomechanics of the lumbar spine after dynamic stabilization. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, 20(6): 423-429.
- Benzel, E.C. y Steinmetz M.P. 2017. *Benzel's Spine Surgery: Techniques, Complication avoidance, and management*. Editorial Elsevier, Philadelphia. 42 pp.
- Bono, C. M., Vaccaro, A. R. 2007. Interspinous process devices in the lumbar spine. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*. 20(3):255-261.
- Bucholz, R. W., Heckman, J. D. 2006. *Rockwood & Green Fracturas en el adulto*. Editorial MARBAN, Madrid, España. 1411 pp.
- Canale, S. T. y Beaty, J. H. 2013. *Campbell's operative orthopaedics*. Editorial Elsevier, Philadelphia USA. 2019 pp.
- Christie, S.D., Song, J. K., Fessler, R. G. 2005. Dynamic interspinous process technology. *Spine*, 30(165): S73-S78.
- Corbett, S. 2006. *Introduction to spine surgery*. Editorial Thieme, New York, USA. 1 pp.

- Cramer, G. D., Darby, S.A. 2014. Clinical anatomy of the spine, Spinal cord, and ANS. Editorial Mosby, Missouri, USA. 247 pp.
- Doblaré, M. y García, J. M. 2000. Simulación del comportamiento óseo. Zaragoza, España: Real Academia de Ingeniería.
- Guizzardi, G., Persohn, S., Campana, S., Aylott, C., Petrini, P., Skalli, W. 2015. Biomechanical effect of an interlaminar device on rangas of motios, intradiscal pressure, and center of rotation. The Open Access Journal of Science and Technology. 3:1-13.
- Issack, P. S., Cunningham, M. E., Pumberger, M., Hughes, A. P., Cammisa, F. P. 2012. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 20(8): 527-535.
- Kapandji, A. I. 2007. Fisiología articular. Editorial Medica Panamericana, Madrid España. 84-140 pp.
- Kim, D.H., Tantorski, M., Shaw, J., Martha, J., Li, L., Shanti, N., Rencus, T., Parazin, S., Kwon, B. Occult spinous process fractures associated with interspinous process spacers. Spine, 36(16):1080-1085.
- Lee, J., Hida, K., Toshitaka, S. 2004. An interspinous process distractor (X STOP) for lumbar spinal stenosis in elderly patients. Journal Spinal Disorders Tech. 17:72-77.
- Moore, K. L., Dailey, A. F., Agur, A. M . R. 2010. Anatomía con Orientación Clínica. Editorial Medica Panamericana, Madrid España. 450-451 470-471 pp.
- Moreno, A. L. 2013. Epidemiología Clínica. Editorial Mcgraw-Hill Interamericana, México D.F.

- Muñoz, J. 2011. Atlas de mediciones radiográficas en ortopedia y traumatología. Editorial Mc Graw Hill, México D.F. 39 pp.
- Radin, E.L., Simon, S. R., Rose, R. M. Paul, I. L. 1979. Biomecanica practica para el cirujano ortopedista. Editorial LIMUSA, México D.F.
- Richards, J.C., Majumdar S., Lindsey D.P. 2005. The treatment mechanism of an interspinous process implant for lumbar neurogenic intermittent claudication. Spine. 744–749.
- Rosales, L. M., Manzur, D., Miramontes, V., Alpizar, A., Reyes, A. A. 2006. Conducto lumbar estecho. Acta Médica Grupo Ángeles, 4(2):101-110.
- Stromqvist, B.H., Berg, S., Gerdhem, P., Johnsson, R., Moller, A., Sahlstrand, T., Soliman, A., Tullberg, T. 2013. X-stop versus decompressive surgery for lumbar neurogenic intermittent claudication: randomized controlled trial with 2-year follow-up. Spine. 38(17): 1436–1442.
- Tejeda, M. 2015. Balance sagital en columna vertebral. Su significado e importancia. Orthotips, 11(3): 115-120.
- Wiseman, C. M., Lindsey, D. P., Fredrick, A. D., Yerby, S. A. 2005. The effect of an interspinous process implant on facet loading during extension, Spine. 30(8): 903-907.
- Zongmiao, W., Wang, S., Kozánek, M., Passias, P.G., Mansfield, F. L., Wood, K.B., Li, G. 2012. Biomechanical evaluation of the X-stop device for surgical treatment of lumbar spinal stenosis. Journal of Spina Disorders & Techniques. 25(7):374-378.

## ANEXOS



Hospital General  
del Estado  
Hermosillo, Sonora

COMITE DE  
INVESTIGACIÓN

SSS-HGE-DEI-CI-2017.18

Hermosillo, Sonora a 31 de enero de 2017

Asunto: Dictamen de Protocolo

**Hugo Santacruz Muro**  
Médico Residente de Traumatología y Ortopedia.-

Por medio de la presente en relación a su protocolo de investigación con registro 2017.18, titulado: "Modificación de la Lordosis lumbar por dispositivo interlamina (Interaspine) estudio biomecánico". Se le comunica que el Comité de Investigación llegó al siguiente Dictamen: Aprobado.

Así mismo deberá atender las observaciones que se describen en la Hoja de Evaluación anexa. Sin otro particular por el momento quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración, reciba saludos cordiales.

Atentamente

**Lic. Patricia Camou Guerrero**  
Secretaria del Comité de Investigación y  
Coordinadora de Comisiones de Enseñanza

C. c. p. Archivo del Comité de Investigación

HGE-CI

Bld. Luis Encinas Johnson 9007 Colonia San Benito  
Tel. (662) 255 2534 C.F. 83190, Hermosillo, Sonora  
[investigacion.hge@gmail.com](mailto:investigacion.hge@gmail.com)



Hermosillo, Sonora, 12 de Julio de 2017  
"2017: Centenario de la Constitución, Pacto Social Supremo de los Mexicanos"

**COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN  
HOSPITAL GENERAL DEL ESTADO  
PRESENTE.**

Mediante a la presente le hago de su conocimiento en referencia a la APROBACIÓN de solicitud de trabajo de tesis titulado "Medición de corriente eléctrica y polaridad en fracturas cerradas de tibia bajo el efecto magnético" y "Modificación de la lordosis lumbar por dispositivo interespinoso (DIAM) en modelo cadavérico", solicitud realizada por los médicos Residentes de cuarto año de Ortopedia los CC. DR. Juan Pablo Flores Pinzón y Hugo Sartacruz Muro, mediante la cual se les requiere se obtenga un documento de aprobación por parte del Ministerio Público para poder hacer uso del modelo cadavérico al respecto le informo lo siguiente:

Que conforme a los establecido en la Ley General de Salud Capítulo V Artículo 350 bis 2 350 bis 3 y 350 bis 4 que a la letra dicen :

**Artículo 350 bis 2.-** Para la práctica de necropsias en cadáveres de seres humanos se requiere consentimiento del cónyuge, concubinario, concubina, ascendientes, descendientes o de los hermanos, salvo que exista orden por escrito del disponente, o en el caso de la probable comisión de un delito, la orden de la autoridad judicial o el Ministerio Público.  
*Artículo adicionado DOF 26-05-2000*

**Artículo 350 Bis 3.-** Para la utilización de cadáveres o parte de ellos de personas concidas, con fines de docencia e investigación, se requiere el consentimiento del disponente

*Tratándose de cadáveres de personas desconocidas, las instituciones educativas podrán obtenerlos del Ministerio Público o de establecimientos de prestación de servicios de atención médica o de asistencia social. Para tales efectos, las instituciones educativas deberán dar aviso a la autoridad sanitaria competente, en los términos de esta Ley y demás disposiciones aplicables.  
Artículo adicionado DOF 26-05-2000. Reformado DOF 14-07-2008*

**Artículo 350 bis 4 -** Las instituciones educativas que obtengan cadáveres de personas desconocidas serán depositarias de ellos durante diez días, con objeto de dar oportunidad al cónyuge, concubinario, concubina o familiares para reclamarlos. En este lapso los cadáveres permanecerán en las instituciones y únicamente recibirán el tratamiento para su conservación y el manejo sanitario que señalen las disposiciones respectivas.

Una vez concluido el plazo correspondiente sin reclamación, las instituciones educativas podrán utilizar el cadáver.

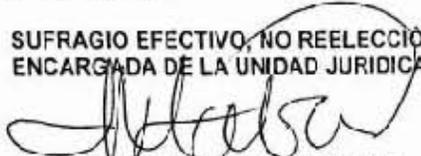
Por lo que esta Unidad Jurídica no encuentra inconveniente alguno en llevar a cabo dicho procedimiento siempre y cuando se cumplan con todos y cada uno de los requisitos establecidos en el presente Ley.

Comite Sonorense  
12 de Julio de 2017  
Secretaría de Salud Pública.  
Roch Izquierdo

Sin otro particular por el momento, me despido de Usted enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE

SUFRAGIO EFECTIVO, NO REELECCION  
ENCARGADA DE LA UNIDAD JURIDICA



LIC. IXTABAY CHAVARRIA HIGUERA

D.C.P. Archivo.

ICHH/



HOSPITAL GENERAL  
DEL ESTADO  
HERMOSILLO, SONORA



*Recibido 12/02/16*  
*[Handwritten signature]*



Hospital General  
del Estado  
Dr. Ernesto Ramos Bours

**Unidos logramos más**  
Blvd. Luis Encinas Johnson S/N Colonia Centro  
Tels. (662) 2592501, 2592505  
Hermosillo, Sonora / [www.saludsonora.gob.mx](http://www.saludsonora.gob.mx)



Comité de Ética en Investigación Hospital General del Estado de Sonora "Dr. Ernesto Ramos Bours"

Hermosillo, Sonora a 21 de Julio de 2017

Presidente: Dr. Fernando Herrera Fernández

Dr. Hugo Santacruz Muro Residente de Ortopedia Presente.

Secretario: Dr. Joaquín Sánchez González

Primer Vocal: Dr. Moisés Acuña Kaldman

Segundo Vocal: Enf. Catalina García Valenzuela

Tercer Vocal: Dra. Rosa Elena Sosa Camas

Cuarto Vocal: Dr. Jorge Isaac Cardoza Amador

Quinto Vocal: Dr. Mauricio Beltrán Rascón

Miembro de la Comunidad: Ing. Beatriz Catalina Peralta Beltrán

Por este medio le informo que en la Sesión de este Comité del día 20 de Julio del 2017 se analizó su protocolo, considerando que es un Estudio de Investigación sin riesgo para ningún paciente, con fines académicos y de pertinencia científica, el Comité decide la APROBACION de su solicitud de Trabajo de Tesis titulado "Modificación de la lordosis lumbar por dispositivo interespinoso (DIAM) en modelo cadavérico: Estudio Biomecánico". Habiendo presentado el documento de aprobación por parte del Departamento Jurídico de este Hospital para hacer uso del modelo cadavérico requerido de acuerdo a la Legislación vigente.

Este Comité conservara copia de dicho documento así como solicita avances semestrales y la finalización del Estudio.

Atentamente

Dr. Fernando Herrera Fernández Presidente del Comité de Ética en Investigación

Sede: Hospital General del Estado de Sonora Blvd. Luis Encinas SN (662)259 2500 y (662)217 9155 Hermosillo, Sonora, México bioet.casonora@hotmail.com