



11245
ej 39

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES
FACULTAD DE MEDICINA

TRABECULACION EN LA COLUMNA LUMBAR

TESIS DE POSTGRADO
QUE PARA OBTENER LA
ESPECIALIDAD EN
ORTOPEDIA Y TRAUMATOLOGIA
P R E S E N T A :
DR. RENATO HIDALGO RODRIGUEZ



H. O. T. M. S.

MEXICO

1987

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

INTRODUCCION

Durante mi vida profesional, siempre he considerado que el mejor entendimiento de los estados patológicos, - se encuentra en el conocimiento pleno de la anatomía y fisiología normal.

En el curso de la Especialidad, éste principio no ha sido menos válido, siéndome necesaria la consulta de libros básicos de Física, para la mejor comprensión de la - - Traumatología y Ortopedia.

En la práctica hospitalaria, principalmente en - consulta externa, conocí la repercusión psicológica y social que representa la patología de columna vertebral, por lo - que efectué revisiones bibliográficas sobre procedimientos operatorios que dieran mejor pronóstico al paciente, tomando en cuenta los principios biomecánicos de dichos procedimientos, surgiendo la siguiente interrogante ¿Cómo, o a través de qué vías se transmite la carga en la vértebras lumbares?. Con ésto y el estímulo del Dr. Marcos I. Gallaga Bejarano, integramos un equipo de investigación, e ideando un - protocolo y un método original de estudio, nos dimos a la - tarea de la elaboración del trabajo que aquí presentamos; - tomando como base el principio mencionado por la Dra. Zámamo, Premio Nacional de Ciencias 1986, durante una de sus - conferencias "La investigación pura es la base del conocimiento aplicado..."

C O N T E N I D O

	Pag.
JUSTIFICACION	1
ANTECEDENTES CIENTIFICOS	3
HIPOTESIS	7
MATERIAL Y METODOS	8
DISCUSION Y COMENTARIO	23
CONCLUSIONES	31
BIBLIOGRAFIA	34

JUSTIFICACION

En el presente estudio pretendemos identificar - la distribución ósea trabecular de las vértebras lumbares, ya que consideramos que para poder determinar la transmi--- sión de la carga en una vértebra lumbar, es necesario cono- cer el sentido y dirección que sigue.

Siendo posible que en base a lo anterior, se - - identifique en un futuro, las líneas de acción de fuerzas - en cada vértebra y lograr cuantificar la magnitud de las - mismas. Que desde un punto de vista práctico, representa- rá un tipo de valoración en la cirugía de columna. Por - ejemplo, conociendo la trabeculación normal de la columna y la magnitud de las líneas de acción, podremos determinar el cambio en la transmisión de carga a través de un implante o artrodesis ó la respuesta mecánica y cambios orgánicos post_u quirúrgicos.

Para lograr lo anterior, es de importancia consi- derar la estructura básica por donde se transmite la carga con su correspondiente interpretación mecánica.

Ahora bien, la determinación trabecular es posi- ble estudiarla en piezas anatómicas de cadáver, puesto que la estructura ósea sufre mínimos o nulos cambios postmortem.

Con el auxilio de la ingeniería mecánica se pueden hacer consideraciones técnicas sobre una estructura que transmite y distribuye carga, representada en este estudio por el segmento lumbar de la columna vertebral.

ANTECEDENTES CIENTIFICOS

Amstutz y Sissons en 1969, efectúan una revisión de la literatura que versa sobre el tema, haciendo énfasis sobre la comunicación de Schmorl y Junghans (1959) como pioneros en la investigación de la estructura ósea vertebral, quienes describen la esponjosa como placas óseas que se conjugan unas con otras y que presentan perforaciones de varias formas y que el número y distribución de placas varía en diferentes partes de la columna encontrándose en función al stress al que se someten. En la misma revisión se menciona a Eder , que en 1960 hace estudios sobre la densidad de las placas óseas y la distancia entre ellas en piezas de cadáver reportando como resultado un incremento en la separación y una leve disminución en la densidad de las placas, conforme aumenta la edad; Calwell en 1962, en un estudio radiográfico de rebanadas óseas del cuerpo vertebral, y Arnold en 1964, determinando el contenido seco de la esponjosa vertebral, demostraron una disminución en la cantidad de hueso, conforme aumenta la edad; Dunnill, Anderson y Whitehead en 1967, estudiando secciones histológicas incluyendo cortical y esponjosa del cuerpo de la segunda vértebra lumbar de cadáver, demostraron una disminución porcentual del volumen, conforme aumenta la edad; Atkinson en 1967, con estudios radiográficos de la segunda vértebra lumbar de cadáver, observa una disminución progresiva de la estructura ósea, a partir de los cincuenta años de edad.

Amstutz y Sissons en 1969, efectuaron estudios en cortes histológicos de la esponjosa del cuerpo de la tercera vértebra lumbar, con objeto de determinar la orientación de las placas óseas. Sus resultados fueron similares a los reportados por Schmorl y Junghans en 1959, observando que las placas se orientan preferentemente en sentido vertical con un incremento en la densidad de las superficies superior e inferior de la vértebra (1)

Kapandji en 1977 (13), ilustra sobre la orientación de las trabéculas en las vértebras, esquematizadas en dos sistemas; uno vertical que une la plataforma superior con la inferior y otro oblicuo que vá tanto de la plataforma superior como inferior hacia el pedículo de donde se distribuye a la superficie articular superior, articular inferior y apófisis espinosa. Este autor es el único que encontramos en la literatura que establece la orientación trabecular en las vértebras, no especificando si corresponde a la vértebra cervical, torácica o lumbar.

Yang y King en 1984 (26), efectuaron estudios en unidades de movimiento del segmento lumbar de la columna vertebral con objeto de determinar la carga transmitida a las apófisis articulares superiores, concluyendo que la carga de la articular superior se transmite directamente a la

pars interarticularis y de allí a la lámina, dando una - - orientación definida de las líneas de transmisión de carga.

Otros autores (7, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 18, 20), en un intento de determinar las líneas de acción de fuerzas en la columna lumbar, han elaborado modelos matemáticos de estudio que integran el disco, vértebras y sistema músculo-ligamentario. Gracovetsky (10, 11, 12) admite que algunos de los razonamientos del análisis matemático son empíricos o probables, por tanto, se deduce que sus resultados no son objetivos ni valorables para el uso clínico ni entendimiento común.

Consideramos de importancia como antecedente los estudios de Bombelli (4), que en base al hombre de Fisher y con auxilio de estudios radiográficos, define la trabeculación ósea de la cadera y le da representación vectorial sentando bases biomecánicas y de tratamiento de la coxartrosis. Este autor nos ilustra sobre la importancia que representa el conocimiento de la trabeculación ósea.

En base a que no se encontró en la literatura, la trabeculación de la columna lumbar, que de acuerdo con el - enunciado de Julius Wolff (23) y de Schmorl y Junghans (1), la distribución ilustrada por Kapandji (13), no puede considerarse como uniforme para todas las vértebras; y el antece

dente de los estudios de Bombelli (4), que ilustra sobre la importancia de la distribución trabecular, se plantea la siguiente hipótesis:

H I P O T E S I S

La carga transmitida en la columna lumbar condiciona la orientación trabecular de sus vértebras.

OBJETIVOS

1.- Precisar la dirección y sentido de los fascículos trabeculares en la columna lumbar.

2.- Ilustrar sobre la representación mecánica que guarda la distribución trabecular.

3.- Destacar la importancia que pudiera representar la distribución trabecular en la cirugía de columna lumbar.

MATERIAL Y METODOS

Este es un Estudio Piloto Prospectivo, Longitudinal, Experimental y Descriptivo en el que se manejaron cuatro columnas lumbares humanas, cuyos cadáveres se encontraron en una talla promedio de 1.70 mts., compleción mesomórfica, desconociéndose la edad en el momento del fallecimiento, siendo adultos todos y para el estudio se encontraron los especímenes fijados en formol, con el sistema ligamentario íntegro y restos musculares. Estas piezas fueron facilitadas por el Departamento de Morfología Humana de la Escuela Superior de Medicina del I.P.N.

El manejo de las piezas anatómicas fué el siguiente: A todas las piezas se les tomaron estudios radiográficos simples en proyecciones anteroposterior, lateral y oblicuas, con foco en L3, que sirvieron como referencia para el estudio. Después se efectuó retiro de partes blandas por métodos convencionales, lográndose desarticular las vértebras.

Cada vértebra de dos columnas, se incluyó en cubos de cera y se efectuaron cortes en sentido sagital, de 3 mm. de espesor, con segueta fina de calador de metales. A los cortes obtenidos se les fijó en hojas de papel delgado, se les tomó estudios radiográficos y éstos se viraron al positivo.

La imagen radiográfico de cada corte se graficó por transiluminación en acetatos y después por sobreposición se integró la vista lateral de cada una de las vértebras.

A las vértebras de las dos columnas restantes, se les tomó estudios radiográficos simples en proyección axial, cefalocaudal, con foco en el centro geométrico del cuerpo. Después, con material plástico se procedió a la reconstrucción de las columnas, para tomarse estudios radiográficos en proyecciones anteroposterior, lateral y oblicuas, con foco en L3, y someterla a exploración, con tomografía hipocicloidal y tomografía axial computada.

Por situaciones técnicas, sólo fué posible la toma de L3, L4 y L5 en tomografía hipocicloidal y L4 y L5 en tomografía axial computada.

Para la tomografía hipocicloidal, se colocó la pieza en posición lateral, encontrándose la pars interarticularis a 3 cm. del chasis, de donde se efectuaron cortes de 1 mm. de espesor, siendo de 3.1 a 3.8 mm.. Para la tomografía axial computada, encontrándose la pieza en posición lateral, se tomaron cortes de 3 mm. de espesor y después reconstrucción de L4 y L5.

RESULTADOS

En la reconstrucción por sobreposición de las imágenes radiográficas de los cortes sagitales de las vértebras, se apreció en forma general, que existía una densidad trabecular creciente, conforme se descendía en el nivel, en contrándose la siguiente trayectoria trabecular:

Primera vértebra lumbar.- En el cuerpo se apreciaban dos tipos de fascículos; los verticales que van de la plataforma superior a la inferior y fascículos oblicuos que se dirigen del tercio posterior de la plataforma superior hacia atrás y abajo para aplicarse a nivel de la pars inter articularis y en su trayecto apoya fibras, tanto en la mitad anterior del borde superior del pedículo, como en la mi tad posterior del borde inferior del pedículo. Un segundo fascículo oblicuo, inicia en el tercio posterior de la plata forma inferior y se proyecta hacia atrás y arriba a la unión de la apófisis articular superior con la pars interar ticularis y en su trayecto apoya fibras, en la mitad ante rior del borde inferior del pedículo.

En el pedículo se observa cruce de los fascículos oblicuos y condensación en sus bordes superior e inferior, en donde se aplican parte de los fascículos oblicuos.

En la apófisis articular superior se aprecian fasículos que van de arriba a abajo y de atrás a adelante, para aplicarse en la mitad posterior del borde superior del pedículo y en la pars interarticularis.

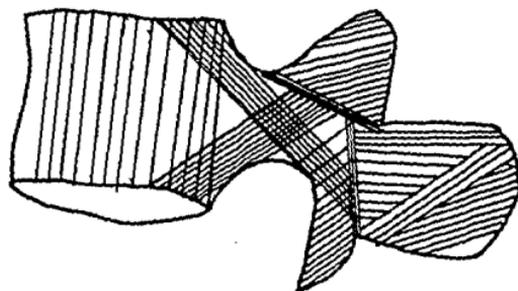
En la proyección correspondiente a la pars interarticularis, se encuentra confluencia de fasículos de la articular superior y oblicuos inferiores del cuerpo, así como fasículos que corresponden a la lámina.

En la proyección lateral, se observan fasículos en la lámina en dirección de arriba a abajo y de atrás a adelante, uniendo la superficie anterior y posterior de la lámina, y continuándose en la misma forma en la apófisis articular inferior.

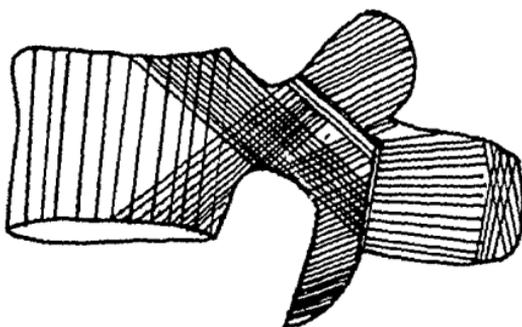
En una vértebra se apreciaron fasículos longitudinales que siguen el eje mayor de la apófisis espinosa. En la otra vértebra, se encontró además de los fasículos mencionados, otros que se dirigen de abajo a arriba y atrás hacia adelante (Fig. 1).

Segunda vértebra lumbar.- Esencialmente, la distribución trabecular fué similar a L1, habiéndose observado que el fasículo oblicuo, que va de la plataforma superior al borde inferior del pedículo, inicia en la mitad posterior

de la plataforma, siendo mayor su densidad. De la mitad posterior de la plataforma inferior, unia un fascículo - - oblicuo, que se aplica en la parte más anterior del borde inferior del pedículo y se continúa hacia la pars interarticularis. Otra diferencia en relación a L1, fué la observación de fascículos longitudinales en apófisis espinosa y que se aplican en fascículos paralelos al borde libre de la misma apófisis (Fig. 1).



RECONSTRUCCION DE L1 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA DE CADAVER.



RECONSTRUCCION DE L2 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA VERTEBRAL DE CADAVER.

FIGURA No. 1

Tercera vértebra lumbar.- La distribución de los fascículos oblicuos es ostensiblemente diferente a los dos anteriores. Del tercio posterior de la plataforma superior, inicia un fascículo oblicuo que desde un principio se divide en dos tipos de fibras; unas que se apoyan directamente a la parte más anterior del borde superior del pedículo y otras fibras que se apoyan directamente en la mitad anterior del borde inferior del pedículo. De la mitad posterior de la plataforma inferior, parten fibras oblicuas que se apoyan en la parte más anterior del borde inferior del pedículo y parte del muro posterior. A nivel del pedículo se encuentran fascículos verticales que unen el borde superior con el inferior. El resto de la trabeculación se encontró similar a la descrita antes (Fig. 2).

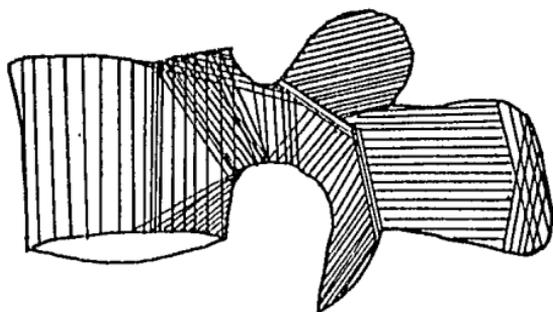
Cuarta vértebra lumbar.- Se aprecia una mayor densidad en la trabeculación, encontrándose que en el tercio posterior de la plataforma superior, inicia un fascículo oblicuo que inmediatamente se descompone en dos, uno que se aplica directamente en el borde inferior del pedículo y otro más denso que va hacia la pars interarticularis, apoyándose parte de sus fibras en el borde superior del pedículo y otras en el inferior. El fascículo que parte de la plataforma inferior se encuentra denso y con apoyo sobre la parte más anterior del borde inferior del pedículo y se prolongan hacia el borde superior y pars interarticularis.

En la apófisis articular superior se observan fascículos que van de atrás a adelante y de arriba hacia abajo, dejando ver además fascículos verticales que van hacia la pars interarticularis. En la apófisis espinosa se aprecia una clara condensación a nivel de su unión con las láminas de donde parten fascículos oblicuos hacia atrás y arriba - - (Fig. 2).

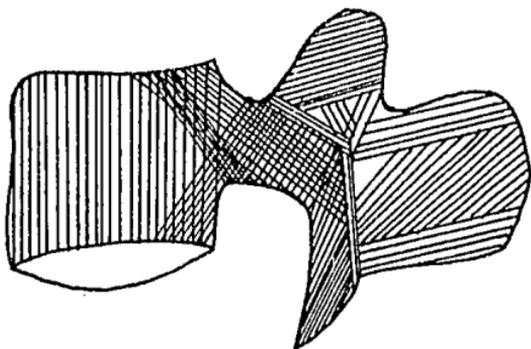
Quinta vértebra lumbar.- En el cuerpo vertebral - se apreciaron tres tipos de fascículos. Los verticales que van de la plataforma superior a la inferior. En la mitad anterior, fascículos verticales que se angulan hacia adelante en su parte media. Por último, fascículos oblicuos que en forma radiada se dirigen a la plataforma superior, muro anterior y plataforma inferior hacia el borde inferior del pedículo. A este mismo sitio se observa la confluencia de fascículos procedentes del borde superior del mismo pedículo y de la pars interarticularis. Se encuentran fascículos -- oblicuos que parten del punto medio de la plataforma inferior y que en forma arqueada llegan al punto medio del borde superior del pedículo, continuándose después hacia atrás con el borde superior de la lámina y superficie posterior - de la misma. En conjunto, los fascículos radiado y el arce forme, dan la impresión de constituir un abanico.

En las apófisis articulares se aprecia entrecruza

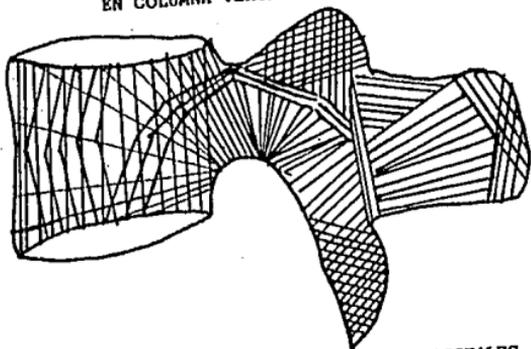
miento de fascículos, tanto oblicuos como verticales. En la apófisis espinosa se encuentra una condensación en su parte más anterior e inferior, de donde se irradian fascículos hacia arriba y atrás, para terminar en fascículos paralelos al extremo libre de la apófisis (Fig. 2).



RECONSTRUCCION DE L3 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA VERTEBRAL DE CADAVER.

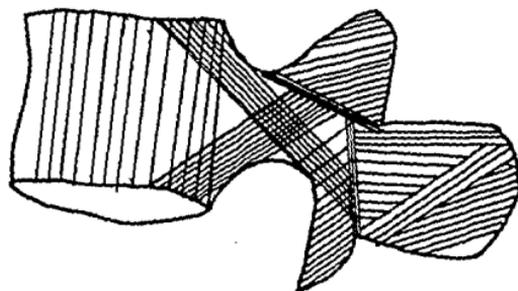


RECONSTRUCCION DE L4 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA VERTEBRAL DE CADAVER.

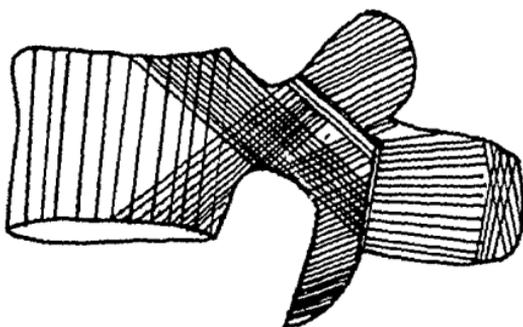


RECONSTRUCCION DE L5 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA VERTEBRAL DE CADAVER.

FIGURA No. 2

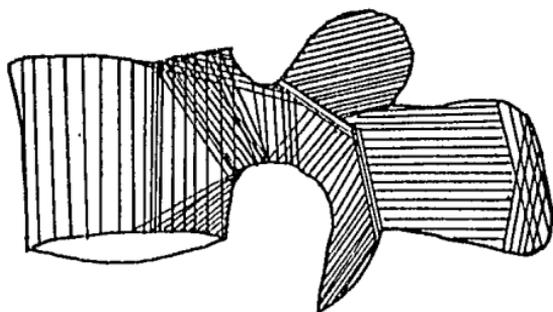


RECONSTRUCCION DE L1 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA DE CADAVER.

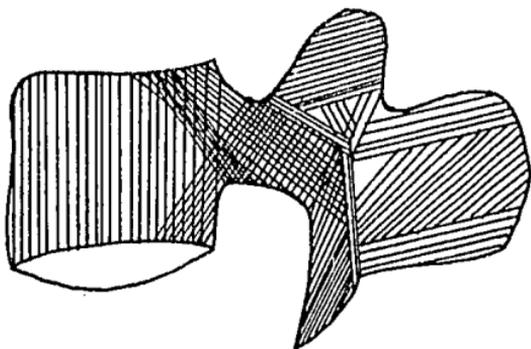


RECONSTRUCCION DE L2 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA VERTEBRAL DE CADAVER.

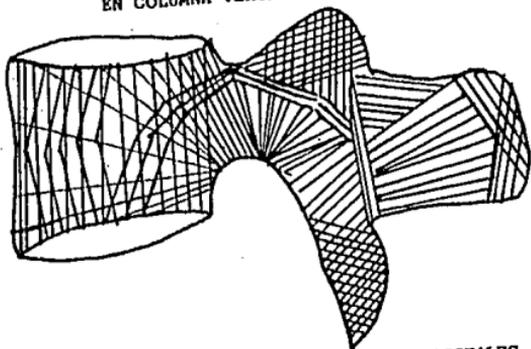
FIGURA No. 1



RECONSTRUCCION DE L3 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA VERTEBRAL DE CADAVER.



RECONSTRUCCION DE L4 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA VERTEBRAL DE CADAVER.

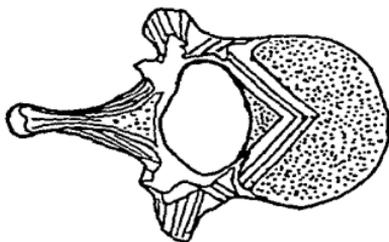


RECONSTRUCCION DE L5 DE CORTES SAGITALES
EN COLUMNA VERTEBRAL DE CADAVER.

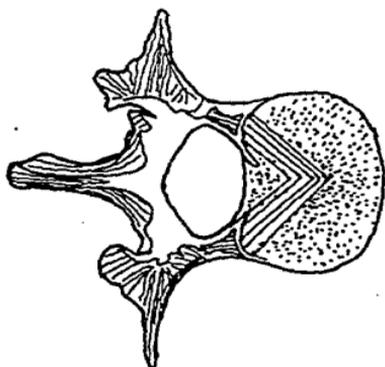
FIGURA No. 2

Por otro lado, en la proyecciones axiales se observó en forma constante la siguiente distribución: fascículos que parten del centro en plano sagital y divergen hacia los pedículos, distribuyéndose de este sitio hacia las apófisis transversas y hacia la pars interarticularis. Existiendo fibras que en forma radiada van de la superficie anterior de la articular superior y se apoyan en el pedículo. Los fascículos que componen las láminas se encuentran orientados en el sentido de las mismas y se continúan con las trabéculas de la apófisis espinosa (Figs. 3 y 4).

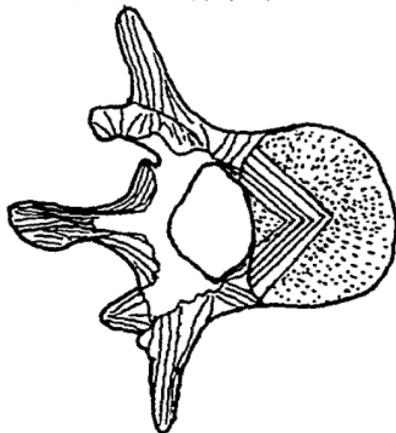
PRIMERA VERTEBRA LUMBAR



SEGUNDA VERTEBRA LUMBAR



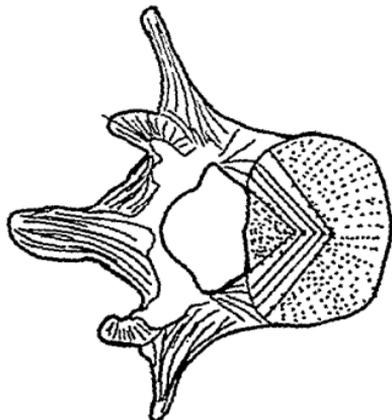
TERCERA VERTEBRA LUMBAR



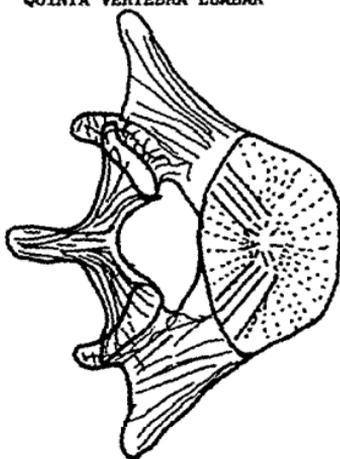
PROYECCIONES AXIALES DE VERTEBRAS DE COLUMNA LUMBAR DE CADAVER.

FIGURA No. 3

CUARTA VERTEBRA LUMBAR



QUINTA VERTEBRA LUMBAR



PROYECCIONES AXIALES DE VERTEBRAS DE COLUMNA LUMBAR DE CADAVER.

La toma efectuada en la tomografía hipocicloidial, se encuentra en términos generales, que estando en vista lateral, paulatinamente se observa oblicuidad en L3, L4 y L5, siendo mejor la observación en L4, en el corte efectuado a 3.8 cms. del chasis. Específicamente se encontró en este estudio, que de la apófisis articular superior parten tres tipos de trabéculas; unas que se apoyan directamente al pedículo, otras que descienden de la superficie articular hacia la pars interarticularis, donde se curvan para llegar a la superficie articular de la articular inferior y un tercer fascículo, más notorio, que parte de la articular y llega a la pars interarticularis, se curva para apoyarse en la lámina y llegar a la espinosa por donde continúa y termina (Fig. 5).

En esta misma proyección se observa que a la articular inferior llegan fibras de la articular superior, además de fibras que van sobre la lámina y se continúan para terminar en la espinosa.

El estudio realizado en la tomografía axial computada, se efectuó con foco en L5, observándose la verticalidad de las trabéculas a nivel del cuerpo y un aumento paulatino de densidad a nivel de los bordes del pedículo, no pudiéndose detectar la trayectoria de fascículos en la pars interarticularis, dada la sobreposición de imágenes que no pudo ser evitada.

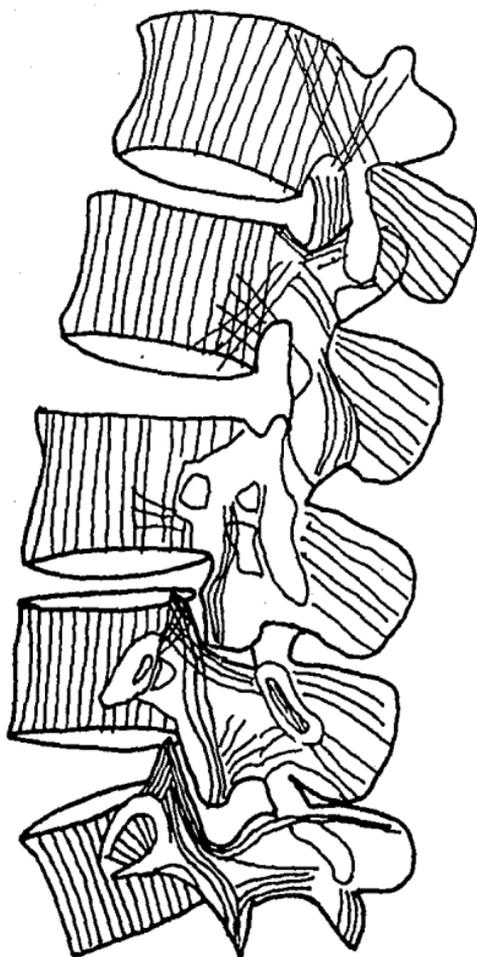


IMAGEN RADIOGRAFICA DE TOMOGRAFIA HIPOCICLOIDAL
DE COLUMNA VERTEBRAL DE CADAVER CON FOCO EN L4.

(CORTE A 3.8 Cms. DEL CHASIS)

FIGURA No. 5

DISCUSION Y COMENTARIOS

De los estudios radiográficos simples, tomados como referencia a las columnas lumbares de cadáver, encontrándose aún provistos de partes blandas, en ninguna se logró - la nitidez de fascículos trabeculares. Cuando se les retiraron las partes blandas; y a dos de ellas se les reconstruyó, se encontró mejor nitidez de la trayectoria de trabéculas, principalmente en la proyección anteroposterior y oblicuas.

Para la definición de la trabeculación en el cuerpo, fueron básicas la proyección lateral y axiales de las vértebras. Para la determinación de los fascículos, en las apófisis articulares y pars interarticularis, así como láminas y espinosa, fué de utilidad la proyección simple oblicua y la tomografía hipocicloidal. Para las apófisis transversas y espinosa, la mejor definición se encontró en las tomas radiográficas axiales.

En ninguno de los estudios efectuados a las columnas de cadáver, se encontró discrepancia en la distribución trabecular, habiéndose obtenido la mayor información de los cortes realizados a las vértebras. En ellos logramos distinguir dos sistemas óseos trabeculares a nivel del cuerpo. Uno vertical que aparece en todos los cortes efectuados y -

otro oblicuo superior e inferior, que son observables en -- las vértebras L1 a L4.

De acuerdo con Farfán(7), el sitio de localiza--- ción del núcleo pulposo, tanto en la superficie superior co mo inferior de la vértebra, es excéntrico, tendiendo a ser más posterior en el plano conoral y céntrico en el plano sa gital, siendo éste sitio el lugar donde claramente encontra mos el punto de partida de los fascículos oblicuos, tanto su perior como inferior, para terminar en la superficie medial del pedículo, visto en proyección axial; y en su trayecto - se observa una condensación tanto en su borde superior como inferior, observado en la vista lateral.

La quinta vértebra lumbar mostró características diferentes a las anteriores, ya que los fascículos oblicuos se apoyan directamente hacia el borde inferior del pedículo y con mayor tendencia a la superficie medial del mismo, mos trando en conjunto una imagen característica en abanico.

La tomografía hipocicloidal fué de suma importan- cia en al apreciación de los fascículos en la articular supe rior, pars interarticularis, articular inferior, lámina y - apófisis espinosa. Aquí encontramos cuatro fascículos; uno de apófisis articular superior al pedículo, otro en forma - helicoidal que une ambas articulares, uno más de la articu-

lar superior a la lámina y espinosa y el último de la articular inferior a la lámina y espinosa. Esta disposición también se encontró en las proyecciones oblicuas simples.

Por último, la dirección trabecular en apófisis transversa y espinosa, es siguiendo el eje mayor de la estructura en todas las vértebras.

La tomografía axial computada no mostró utilidad en la observación de fascículos; habiéndose detectado áreas de mayor densidad ósea, que se encontraron mediante estudios simples.

Nuestros resultados son afines a los mencionados por Kapandji (13) y Amstutz (1) en la trayectoria vertical de los fascículos del cuerpo. Kapandji (13) no ilustra sobre el punto de inicio de los fascículos oblicuos, ni la interrelación de éstos con la apófisis transversa, además, no considera alguna relación entre las articulares superior e inferior, ni de éstas con la lámina y espinosa. Nosotros encontramos una interrelación de los sistemas trabeculares de la vértebra, los cuales se mencionaron antes.

Para poder efectuar una interpretación mecánica de la distribución trabecular de la vértebra, debemos hacer algunas consideraciones sobre la carga en la columna vertebral;

1.- Nachenson (25) considera al núcleo pulposo como un transductor de carga.

2.- White y Panjabi (25) consideran que la tensión en el disco intervertebral se lleva a cabo en el anillo fibroso y que la compresión se efectúa en el núcleo pulposo. En forma general se debe considerar al disco como un amortiguador hidráulico y distribuidor de carga.

3.- De la carga que entra en la vértebra, Nachenson (25) reporta que un 18% llega a las articulares superiores, aunque se reportan variaciones de 3 a 25% (26), White y Panjabi (25) consideran que puede variar de 0 a 33%, encontrándose en función de la posición.

4.- De la carga que entra al cuerpo vertebral en condiciones fisiológicas, se transmite a través de la esponjosa el 55% y en la cortical el 45% (25). Habiéndose reportado un módulo de Young en la esponjosa de $0.7 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ y para la cortical $13.8 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ (14).

5.- La carga de las facetas articulares superiores, es transmitida directamente a la pars interarticularis y lámina (5).

Dunlop (5) refiere que la fuerza resultante que actúa en el segmento de movimiento, pueda descomponerse en dos componentes; uno actuando perpendicular al plano del disco, produciendo compresión y la otra actuando en el plano del disco, produciendo cizallamiento (13). De acuerdo a nuestros hallazgos, el componente perpendicular compresivo, se transmite básicamente en el sitio de aplicación del núcleo pulposo y de allí sigue dos vías básicamente, una a través de los fascículos trabeculares dispuestos verticalmente y otra que diverge en los fascículos oblicuos y que se aplica en el borde inferior del pedículo, de donde nuevamente se orienta hacia la plataforma inferior y apófisis articular inferior. El componente cizallante que actúa a nivel del disco, se traduce como compresivo en la apófisis articular superior de la vértebra inferior. Este componente compresivo se transmite en condiciones fisiológicas en los fascículos, que van de la apófisis articular superior al pedículo.

Los fascículos que van de la articular superior a la inferior y de la misma articular superior a la lámina llegando a la espinosa, actúan en sollicitaciones más allá de las fisiológicas. Así mismo, al igual que las mencionadas, los fascículos que van de la pars interarticularis a la plataforma inferior, actúan en condiciones especiales de Stress.

La conexión que se encuentra en el sistema músculo ligamentario con las apófisis transversas y espinosa, - así como la relación de la trabeculación de estas apófisis con el resto de la vértebra, sugiere que en conjunto, forman un sistema osteomúsculoligamentario similar al sistema calcáneo-aquileo-plantar (24), que actuaría como unidad funcional. Esto en términos de ingeniería mecánica se podría interpretar como un mecanismo que da máxima potencia con mínimo de energía, similar a un sistema de poleas (16, 3). - Otra posibilidad es que la unidad osteo-músculo-ligamentaria, sea un medio de distribución de carga, con objeto de - eliminar de un stress excesivo a la estructura vertebral.

La hipertrofia denota un aumento de tamaño de las células y, por lo mismo, aumento del volumen del órgano (28) Con esto consideramos que cuando la estructura ósea se encuentra sometida a sollicitaciones más allá de las fisiológicas, stress compresivo, cizallante o tensional, se produce un aumento de volumen compensatorio a la función a la que - se está sometiendo (4, 7, 21). Por ésto, en caso de existir un aumento en las sollicitaciones de los fascículos trabeculares o una disminución de los mismos, extirpación quirúrgica, que se someten a cargas fisiológicas, dará como resultado una respuesta mecánica con aumento de la densidad ósea, en el primer caso, u una respuesta orgánica con reposición y readaptación de los fascículos lesionados en el segundo caso.

Dunlop (5) refiere que al aumentar la carga en las apófisis articulares, se produce una hipertrofia de las mismas. En observación directa de una columna vertebral humana que fué eliminada del estudio, se encontró acuñamiento anterolateral derecho del cuerpo de L4, de aproximadamente 20%. Encontrándose los siguientes cambios: crecimiento óseo similar a "columnas" del lado del acuñamiento, aumento de volumen en el lado del aumento de volumen en el sitio de acuñamiento de las plataformas superior e inferior, con formación de osteofitos, hipertrofia de la faceta articular superior del lado opuesto del acuñamiento, aposición ósea a nivel de la pars interarticularis y lámina opuesta al lado del acuñamiento; y la apófisis espinosa se encontró desviada al lado opuesto del acuñamiento. Con ésto, presumimos que los cambios producidos, secundarios a una lesión localizada en la vértebra, corresponden tanto a una respuesta orgánica, reposición del daño y mecánica, con un aumento de volumen como medio de adaptación para la redistribución de carga. Desde un punto de vista práctico, consideramos que al lesionar fascículos que cumplen una función dentro de una vértebra, se producen cambios de adaptación, tanto del sitio lesionado como de otras estructuras, que suplen la función de estructuras dañadas. Sin embargo, ésto no lo podemos considerar como concluyente, hasta no demostrar experimentalmente la magnitud de la carga transmitida a cada fascículo trabecular.

Resumiendo, en este Estudio se logra cumplir la - hipótesis y se corrobora la aplicabilidad del enunciado de Julius Wolff a la columna vertebral. Se logró determinar la dirección, el inicio y sentido de los fascículos trabeculares en las vértebras lumbares y se efectúa un análisis, - desde el punto de vista mecánico, de la disposición trabecular. Por último, se infiere sobre la repercusión orgánica y mecánica de la lesión vertebral.

CONCLUSIONES

- 1.- Las técnicas radiográficas empleadas, fueron básicas - para la definición trabecular de las vértebras lumbares.
- 2.- En las vértebras L1 a L4, se observó una similitud en la distribución trabecular, con características individuales en cada una de ellas.
- 3.- Los fascículos oblicuos, tanto superior como inferior - de L1 a L4, inician en el sitio de aplicación del núcleo pulposo y de ahí divergen a los pedículos y pars interarticularis.
- 4.- Existe trabeculación en la articular superior, que se dirige hacia el pedículo, hacia la articular inferior y a la lámina.
- 5.- En la articular inferior, se encuentra la aplicación - de la trabeculación procedente de la articular superior y trabeculación que vá hacia la lámina.
- 6.- La trabeculación de las láminas se continúa con la apófisis espinosa, donde termina.

- 7.- La quinta vértebra lumbar tiene características especiales de su trabeculación en la vista lateral, dando la imagen de abanico, que confluye al punto medio del borde inferior del pedículo.

- 8.- Siguiendo la orientación trabecular, se encuentran fascículos que por sí mismos actúan en condiciones fisiológicas, verticales y oblicuos del cuerpo y fascículos de la articular superior que se aplican al pedículo y a la lámina. Existiendo fascículos que actúan en solicitaciones más allá de las fisiológicas, fascículos - - oblicuos del cuerpo, fascículos que unen ambas articulares y trabéculas que van de las articulares a la lámina y espinosa.

- 9.- La orientación trabecular y la relación con el sistema musculoligamentario, sugiere la integración de una unidad funcional osteomusculoligamentaria, similar a un sistema de poleas, que permite distribución de carga y elimina a las vértebras de un stress excesivo.

- 10.- Dado que desconocemos la carga transmitida en cada fascículo trabecular, no es posible determinar la respuesta orgánica y la adaptación mecánica secundaria a la lesión parcial o total de las vértebras.

11.- Sugerimos ampliar la investigación sobre la distribu--
ción de la carga, a través de cada vértebra, individual
mente, con fines de pronóstico prequirúrgico.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Amstutz H., Sissons H.- Structure of the Vertebral Spongiosa. J Bone Joint Surg 1969;51 B:540-550
- 2.- Anderson Ch., Chaffin D., Herrin G., Mathews L.- A Biomechanical Model of the Lumbosacral Joint During Lifting Activities. J Biomechanics 1985;18:571-583
- 3.- Beer F., Jonston W.- Mecánica para Ingenieros: Estática. 2a. Ed. México: Libros McGraw-Hill de México, 1979:1-85
- 4.- Bombelli R.- Artrosis de la Cadera. 1a. Ed. Barcelona: Salvat Editores, S.A.1985:1-65
- 5.- Dunlop R., Adams M., Hutton W.- Disc Space Narrowing and The Lumbar Facet Joints. J Bone Joint Surg 1984;66B:706-710
- 6.- Evans J.- Biomechanics of Lumbar Fusion. Clinical Orthopaedics and Related Research 1985;193:38-46
- 7.- Farfan H.- Mechanical Disorders of the Low Back. 1a. Ed. Philadelphia: Lea & Febiger 1973:1-170

- 8.- Farfan H.- The Use of Mechanical Etiology to determined the Efficacy of Active Intervention in Single Joint Lumbar Intervertebral Joint Problems. Spine 1985;10:350-3588
- 9.- Frymoyer J., Selby D.- Segmental Instability. Spine 1985;10:280-286
- 10.- Gracovetsky S., Farfan H., Lamy C.- A mathematical Model of the Lumbar Spine Using an Optimized System to Control Muscles and Ligaments. Orthopedic Clinic of North America 1977;8:135-153
- 11.- Gracovetsky S., Farfan H., Lamy C.- The Mechanism of the Lumbar Spine. Spine 1981;6:249-261
- 12.- Gracovetsky S., Farfan H., Heuller C.- The Abdominal Mechanism. Spine 1985;10:317-324
- 13.- Kapandji I.- Cuadernos de fisiología articular. 2a. Ed. Barcelona: Toray-Masson, S.A. 1977
- 14.- Koreska J., Robertson D., Mills R., Gibson D., Albisser A.- Biomecánica de la Columna Lumbar y su Importancia Clínica. Orthopedic Clinics of North America 1977;8:160-172

- 15.- Lee C., Langrana M.- Lumbosacral Spinal Fusion. Spine 1984;9:574-581
- 16.- Mosqueira S.- Física General. 3a. Ed. México: Editorial Patria, S.A. 1969:56-106
- 17.- Panjabi M.- Determinación Experimental de la Conducta del Segmento de Movimiento Espinal. Orthopedic Clinics of North America 1977;8:173-185
- 18.- Panjabi M., Krag M., White A., Southwick W.- Efectos - de la Precarga Sobre Curvas de Desplazamiento por Carga de la Columna Lumbar. Orthopedic Clinics of North - America 1977;8:186-198
- 19.- Pope M., Panjabi M.- Biomechanical Definitions of - Spinal Instability. Spine 1985;10:255-256
- 20.- Pope M., Wilder D., Mattern R., Frymoyer J.- Medidas - Experimentales del Movimiento Vertebral en condiciones de Carga. Orthopedic Clinics of Nort America 1977;8: 160-172
- 21.- Robbins S.- Patología Estructural y Funcional. 1a. Ed. México: Editorial Interamericana, S.A. de C.V. 1975; - 1377-1406

- 22.- Shirazi S., Shrivastava S., Ahmed A.- Stress Analysis
of the Lumbar Disc-Body Unit in Compression. Spine -
1984;9:120-134
- 23.- Testut L., Jacob O.- Tratado de Anatomía Topográfica.
8a. Ed. Barcelona: Salvat Editores, S.A. 1982:920-922
- 24.- Viladot P.- Diez Lecciones Sobre Patología del Pié. 1a.
Ed. Barcelona: Ediciones Toray, S.A. 1979;13-20
- 25.- White A., Panjabi M.- Clinical Biomechanics of the -
Spine. 1a. Ed. Philadelphia: J.B. Lippincott Company -
1978:1-261
- 26.- Yang K., King A.- Mechanism of Facet Load Transmission
as a Hypothesis for Low Back Pain. Spine 1984;9:557-563