



11232

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
SECRETARIA DE SALUD  
HOSPITAL JUAREZ DE MÉXICO  
DIVISION DE ESPECIALIDADES NEUROLÓGICAS

**EVALUACION BIOMECANICA DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACION POSTERIOR EN COLUMNA CERVICAL EN MODELOS CON LESION DE LAS 3 COLUMNAS. Comparación de fijación con tornillos pediculares, tornillos en masas laterales y ganchos laminares.**

TESIS

Que para obtener el Diploma de:

**ESPECIALISTA EN NEUROCIRUGIA**

Presenta

**Dr. Adolfo Espinoza Larios**

Asesores:

Dr. Héctor Ulises Aguilar Baturoni  
Dr. Luis Delgado Reyes  
Dr. Rafael Mendizabal Guerra



México D.F.

Marzo 2004



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 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.



*[Handwritten signature]*

SECRETARIA DE SALUD  
HOSPITAL JUAREZ DE MEXICO  
DIVISION DE ENSEÑANZA

*[Handwritten signature]*

DR. HECTOR ULISES AGUILAR BATURONI.

*[Handwritten signature]*

DR. LUIS DELGADO REYES.

*[Handwritten signature]*

DR. RAFAEL MENDIZABAL GUERRA.

*[Handwritten signature]*

SUBDIVISION DE ESPECIALIZACION  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
FACULTAD DE MEDICINA  
U.N.A.M.

## DEDICATORIA

*A mi Madre C. Yolanda Larios Romero quien se preocupo por mi educación en todo momento.*

*A mi Abuela Eufemia Romero de Larios quien velo por mis cuidados y me inculco una moral sólida.*

*A mis dos hermanas Maria del Rosario y Martha Yolanda quienes me han apoyado en una forma incondicional.*

*A mi Padre Adolfo Espinoza González quien me ha orientado con sus consejos.*

*A mis maestros quienes con paciencia guiaron mis pasos en mi vida académica.*

*A los Doctores...           Rafael Mendizabal Guerra  
  Luis Delgado Reyes  
  Rubén Acosta Garcés  
  Carlos Castillo Rangel*

*...Siempre buenos amigos y maestros.*

*Muy en especial al Maestro Dr. José Maria Sánchez Cabrera, un Caballero en todos los aspectos y a quien quise, respete, y ahora extraño mucho.*

*A la persona que ha llenado mi alma de felicidad y con quien he compartido los últimos 13 años de mi vida Mónica del Carmen Molina de Espinoza. Quien incansablemente ha seguido mis pasos y me ha apoyado en todo momento.*

*A mis hijas Mónica Paola, Andrea Elizabeth y Ana Karen Espinoza Molina. Quienes, aunque sin comprender que pasaba, nunca cesaron en apoyare y brindarme el amor de sus pequeños pero fuertes corazones.*

*A todas las personas que laboran en el Hospital Juárez de México que se molestaron en brindarme un gesto de simpatía y de amistad.*

*A todos ellos:*

## MUCHAS GRACIAS

## INDICE

INTRODUCCION.....	1
MATERIAL Y METODO.....	2
RESULTADOS.....	10
GRAFICAS.....	19
DISCUSIÓN.....	22
CONCLUSIONES.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	26

## Introducción

Varios métodos están disponibles para la fijación de la columna cervical en el manejo de la inestabilidad de la columna. Estas técnicas incluyen placa anterior, utilización de cable, placas en las masas laterales, ganchos laminares y lo más reciente, fijación con tornillos transpediculares conectados entre los niveles con placas y barras. La fijación cervical con tornillos transpediculares se ha utilizado con buenos resultados en países europeos. Es una técnica prometedora que proporciona la mayor estabilidad de todos los sistemas de fijación posterior.<sup>12, 13</sup>

Aunque estos sistemas tienen un grado de dificultad mayor, técnicamente, estudios biomecánicos que evalúan las fuerzas de extracción han mostrado que el tornillo transpedicular es superior al tornillo de la masa lateral<sup>12</sup>. Adicionalmente, en una columna de borrego, el tornillo transpedicular demostró ser tan estable como la fijación con placa anterior y cable posterior para el tratamiento de inestabilidad de las tres columnas con múltiples niveles<sup>13</sup>. Sin embargo, la aplicación de esta información al humano es aun limitada. La columna del borrego tiene cuerpos vertebrales más grandes, con facetas articulares más orientadas verticalmente, con pedículos y láminas más grandes que la columna humana. Previamente fue comparada la fijación de la columna cervical con tornillos en masas laterales contra tornillos transpediculares en especímenes con lesión de las tres columnas usando sistemas de fijación sin seguro. En este estudio, no se logró mejorar la rigidez con fijaciones pediculares en una fijación de 2 niveles<sup>5</sup>. Este resultado fue inesperado y puede atribuirse al uso de sistemas sin seguros.

Una opción para la fijación cervical posterior, con menor dificultad técnica, incluso para la colocación de tornillos en las masas laterales, es la fijación de la lámina con ganchos. Existe poca información de la estabilidad que ofrecen los ganchos laminares. Es necesaria la comparación directa de estos ganchos con tornillos de fijación, para un mejor entendimiento de la estabilidad ofrecida por este sistema.

A través de las pruebas in Vitro en columnas cervicales humanas, éste estudio comparó la estabilidad relativa de un modelo con lesión de las tres columnas en dos niveles (C5-C6, C6-C7).

La hipótesis de ésta investigación fue la siguiente:

A) La comparación de 3 diferentes técnicas de fijación

1. En relación con la fijación posterior (Tornillos en masas laterales, pediculares y ganchos laminares), el orden de decremento de estabilidad equivale a un grado de dificultad técnica y riesgo quirúrgico (Tornillo pedicular > Tornillo en masa lateral > Gancho laminar).
2. La adición de una placa anterior disminuiría la diferencia observada con la fijación posterior por sí sola.
3. Cualquiera de las tres técnicas posteriores utilizadas superará la fijación de la columna con una placa anterior.

## Material y Métodos.

### *Preparación fijación de especímenes Cadavéricos*

Se utilizaron un total de 21 especímenes, frescos, sin ninguna preparación, de acuerdo al diseño del protocolo (Tabla 1). Cuatro especímenes fallaron durante las pruebas. Ninguno de los especímenes tenía malformaciones óseas que indicaran lesiones de los ligamentos y/o discos. Se contó con un total de 15 especímenes de hombres y 6 especímenes de mujeres con una edad (Edad  $\bar{X}$ =52.3 años; Rango =31-66 años). Todos los especímenes fueron obtenidos en frescos y congelados, y posteriormente descongelados en baño María, inmersos en solución fisiológica al 0.9% para mantener sus características normales. El baño María fue mantenido a 30°C. Todos los músculos fueron disecados cuidadosamente para no dañar ligamentos, discos o cápsulas articulares. Después de completar la preparación del espécimen, se colocaron tres tornillos metálicos, para madera, en los extremos, a nivel de las superficies articulares expuestas de C4 y T1. Figura 1. Las cabezas de los tornillos fueron colocadas en forma inversa dentro de unas bases metálicas, cilíndricas donde se agregó Polimetilmetacrilato (PMMA) creándose las bases en los extremos para sujetar el espécimen firmemente. El extremo caudal fue sujetado a la base del aparato de pruebas. El extremo rostral fue dejado libre, colocándose una polea con la cual sea aplicaron cargas.

Se realizó medición de densidad ósea (DO) a todos los especímenes a nivel del cuerpo vertebral de C5. La densidad ósea y la edad fueron consideradas para separar los especímenes en 3 grupos análogos de 7 especímenes: Grupo 1: DO  $\bar{X}$ = 1.13 g/cm<sup>2</sup>; edad  $\bar{X}$  = 56 años; Grupo 2: DO  $\bar{X}$ = 1.09 gr./cm<sup>2</sup>, edad  $\bar{X}$ = 51 años; Grupo 3: DO  $\bar{X}$ = 1.01 gr./cm<sup>2</sup>, edad  $\bar{X}$ = 52 años.



**Figura 1.** Se observa el espécimen previamente disecado C4-T1, con integridad de ligamentos, discos, y facetas articulares. Al espécimen se le colocaron tornillos en ambos extremos (C4 y T1), que posteriormente fueron inmersos en polimetilmetacrilato, los cuales sirvieron de punto de fijación para las pruebas. Los tornillos, de uso regular para madera, se colocaron en las masas laterales y cuerpo vertebral en la porción rostral y en las laminas y cuerpo vertebral en la porción caudal.

**Tabla 1.** Información general de los Especímenes.

Grupo	Espécimen ID	Edad (Años)	Sexo	Longitud placa Anterior (mm)	Densidad ósea ( $\text{g/cm}^2$ )
<b>Grupo 1 (TML, TML, TP)</b>	AC1	58	F	47.5	0.7281
	AC2	31	M	47.5	1.1220
	AC3	61	F	47.5	0.6943
	AC7	65	F	42.5	1.3010
	AC9	66	M	45.0	1.0480
	ACb11	70	F	45.0	0.7796
	ACe14	64	F	42.5	1.2040
	ACf15	43	M	47.5	0.8248
	ACk20	62	M	47.5	0.9503
	ACn23	51	M	42.5	1.3350
	ACp25	55	M	45.0	0.9365
<b>Grupo 2 (TML, TML, Gancho)</b>	ACc12	49	F	42.5	1.0050
	ACd13	63	M	45.0	1.4000
	ACg16	42	M	47.5	0.8971
	ACH17	64	M	42.5	1.5130
	ACi18	50	F	42.5	1.1000
	ACm22	40	M	45.0	0.9316
	ACo24	47	F	47.5	0.8113
<b>Grupo 3 (TP, TP, TP)</b>	AC4	39	M	47.5	0.8834
	AC5	66	M	42.5	0.8761
	AC6	49	F	45.0	1.0450
	AC8	66	M	50.0	0.6132
	ACa10	53	M	42.5	1.2020
	ACj19	33	M	47.5	1.2360
	ACl21	58	M	45.0	1.2420

Los especímenes en color gris fallaron durante la prueba de flexibilidad utilizando solo la placa anterior como fijación.

TML= Tornillo en masa lateral.

TP= Tornillo Pedicular.

AC= Letras de identificación de los especímenes para éste estudio.

Los especímenes fueron probados en 5 diferentes condiciones (Tabla 2). Durante las pruebas, los especímenes fueron envueltos con gasas húmedas con solución fisiológica para evitar deshidratación de los tejidos. Cada espécimen requirió de 3-4 días para completar las pruebas en las diferentes condiciones. Los especímenes fueron congelados nuevamente al final de cada día de prueba para mantener sus propiedades mecánicas.

---



---

Tabla 2. Todos los especímenes se probaron en las siguientes condiciones:

---

- |  |   |   |
|--|---|---|
| 1. Prueba de Flexibilidad en condiciones normales (Intacto)  |   |   |
| 2. Desestabilización (Lesión de 3 columnas en C5-C6 y C6-C7) y prueba de flexibilidad.                                 |   |   |
| <b><i>Grupo 1</i></b>  | <b><i>Grupo 2</i></b>   | <b><i>Grupo 3</i></b>   |
| 3. Prueba de flexibilidad con tornillos en masas laterales en C5 y C6; y Tornillo pedicular C7.                        | 3. Prueba de flexibilidad con tornillos en masas laterales en C5 y C6; y ganchos en C7. | 3. Prueba de flexibilidad con tornillos pediculares en C5, C6 y C7. |
| 4. Prueba de flexibilidad con Discoidectomía e injerto óseo en C5-C6 y C6-C7, y placa anterior más fijación posterior. |   |   |
| 5. Prueba de flexibilidad solo con placa anterior  |   |   |
- 

Un total de 21 especímenes fueron utilizados para el estudio. Éstos fueron divididos en tres grupos con características similares en relación a edad y densidad ósea. Cada uno de los especímenes fue preparado y sometido a cada una de las fases, mostradas en la parte superior, de acuerdo al grupo en el que se encontrara

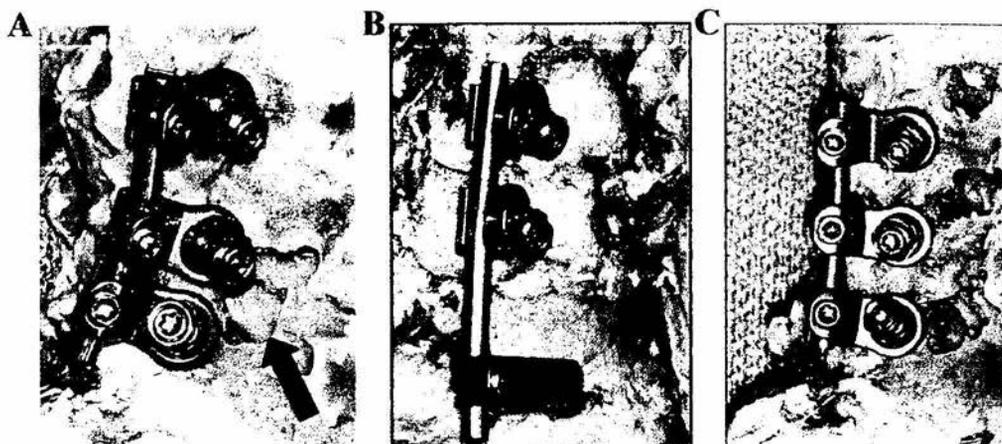
### ***Procedimientos Quirúrgicos.***

#### ***Desestabilización***

Los especímenes fueron desestabilizados con una lesión simulada de las tres columnas después de haberse realizado las pruebas de flexibilidad normal. La desestabilización consistió en la incisión del ligamento longitudinal anterior, ligamento supraespinoso y ligamento interespinoso, cápsulas facetarias, ligamento amarillo y el ligamento longitudinal posterior, así como una transección total del anillo fibroso y pulposo en C5-C6 y C6-C7. Solamente el tejido fibroso alrededor del proceso uncinado fue dejado intacto. Esta desestabilización causó que C6 quedara como una vértebra flotante la cual es descrita como una lesión de flexión/tracción grado 4.<sup>4</sup>

#### ***Fijación Posterior.***

La fijación posterior con sistema rígido se realizó a los 7 especímenes de cada grupo, en tres diferentes modalidades: Grupo 1 recibió tornillos en las masas laterales de C5 y C6, y tornillos pediculares en C7 (Figura 2A). Grupo 2 recibió tornillos en las masas laterales de C5 y C6, y ganchos en las láminas de C7 (Figura 2B). Grupo 3 recibió tornillos pediculares en todos los niveles de C5 a C7 (Figura 2C).

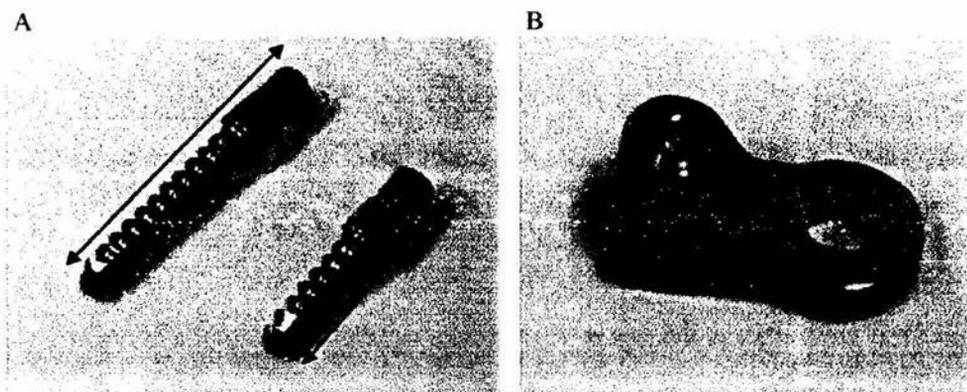


**Figura 2.** Fotografías de los tres métodos de fijación posterior empleados para este estudio. (A) Grupo 1: Tornillo en masa lateral en C5 y C6, tornillo pedicular en C7. La flecha indica el sitio de la foraminotomía “ventana” en C7 para determinar la trayectoria del tornillo pedicular. (B) Grupo 2: Tornillo en masa lateral en C5 y C6, y ganchos en C7. (C) Grupo 3: Tornillos pediculares en todos los niveles. Nótese la presencia de foraminotomías, “ventanas”, en cada nivel.

### ***Inserción de Tornillos en las Masas Laterales. (Grupo 1 y 2)***

Los tornillos fueron de 18 milímetros de longitud y 3.5 milímetros de diámetro. Estos fueron colocados en las masas laterales de acuerdo a la técnica descrita por Magerl. Se realizaron agujeros con brocas de 2 mm de diámetro, previamente, con la inserción de ésta a 20 milímetros de profundidad. Posteriormente se hizo la rosca en el tramo inicial del agujero. Una vez planeada la trayectoria del tornillo, este se colocó, sin ofrecer una fuerza adicional más que la misma del tornillo al ser girado con el desarmador.

El tornillo cuenta con un espacio, en la cabeza del mismo, para alojar una pinza de conexión pequeña (Figuras 3A). Esta pinza posee un anillo móvil en un extremo y la propia pinza en el otro extremo, con un tornillo muy pequeño en la parte superior de la pinza de conexión (Figura 3B). La movilidad del anillo confiere a la pinza la capacidad de adaptarse para recibir a la barra y ser ajustada de acuerdo a las necesidades. Además, la cabeza del tornillo cuenta con una rosca externa, en donde recibe a una tuerca. Esta tuerca al ser ajustada en contra del anillo de la pinza, convierte al sistema móvil, en un complejo de “Tornillo-Pinza-Barra” muy sólido e inmóvil.



**Figura 3A** se puede apreciar los tornillos transpediculares (izquierda) y para las masas laterales (derecha) de 22 mm y 18 mm respectivamente, y con un diámetro de 3.5 mm ambos. La cabeza de los tornillos (llave) cuentan con una superficie lisa donde se conecta con el anillo de la pinza sujetadora (Figura 6B) y una superficie con rosca donde se aloja la tuerca que ajustara el sistema. **Figura 3B.** La pinza sujetadora cuenta con un anillo por donde pasa la cabeza del tornillo (lado derecho) y la pinza propiamente con un tornillo en la parte superior (flecha), que sirve para ajustar la barra, que interconecta varios niveles.

#### *Colocación de Tornillos Transpediculares. (Grupos 1y3)*

Los tornillos transpediculares fueron de 26 milímetros de largo por 3.5 milímetros de diámetro. Estos fueron colocados de acuerdo con algunas consideraciones anatómicas. Se realizó una foraminotomía<sup>1</sup> bilateral de un tamaño adecuado que nos permitiera introducir un disector. Las paredes superior, inferior y medial del pedículo fueron determinadas con el disector. Esto permitió tener una idea de la trayectoria del pedículo desde la masa lateral al cuerpo vertebral y del punto de inserción del tornillo. Los agujeros fueron hechos con una broca de 2 mm de diámetro, extendiéndose hasta 20 milímetros en profundidad. Después de la inserción, el espécimen fue inspeccionado detalladamente para determinar si alguna de las paredes del pedículo había sido penetrada.

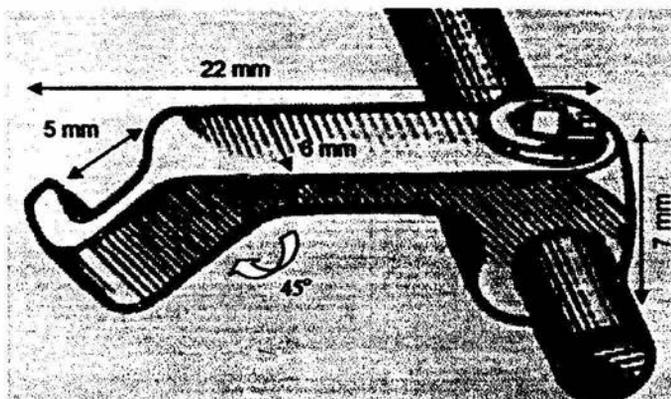
### *Colocación de Ganchos.*

Los ganchos fueron colocados en las láminas de C7 en el grupo 2. El exceso de tejido en la lámina fue removido, especialmente en la parte caudal y medial de la lámina. Esta resección proporcionó la superficie adecuada para el alojamiento del gancho. Las características del gancho se observan en la Figura 4.

### *Colocación de las Barras.*

Se colocaron barras de 3.5mm de diámetro. La longitud fue determinada de acuerdo a las dimensiones de cada espécimen. En cada extremo, se dejaron al menos 4mm de la barra como margen, más allá de los tornillos rostrales y caudales para evitar el arrancamiento de la barra en el punto de sujeción con las pinza de conexión. En promedio el Grupo 1 requirió barras de 37 mm de longitud; Grupo 2, barras de 50 mm; y Grupo 3, barras de 42 mm. Antes de colocar las barras, éstas fueron dobladas de acuerdo a la lordosis que cada espécimen presentó, para evitar distorsión de su anatomía.

Una vez que las barras fueron colocadas en los conectores de cada tornillo (o gancho), se ejerció una compresión moderada entre los tornillos de diferentes niveles, esto con la finalidad de lograr una compactación adecuada de las facetas articulares. Manteniendo esta compresión, los tornillos localizados en la parte superior de la pinza de conexión fueron ajustados asegurando las barras a los conectores. Después, las tuercas en la cabeza de cada tornillo fueron ajustadas al tornillo y logrando una rigidez de todo el sistema.



**Figura 4.** Los ganchos fueron de 22 mm de largo, 6 mm de ancho. El extremo con el gancho (lado izquierdo) tiene una concavidad de 5 mm de amplitud en su porción más externa, y 4 mm de en su porción más interna. Este extremo cuenta con un ángulo de 45° que sirve para adaptarse a la lámina de la vértebra. El otro extremo (lado derecho) de 7 mm de altura cuenta con un canal cilíndrico y transversal. Este cilindro aloja a la barra que fue sujeta con un pequeño tornillo en la parte superior y que se comunica con el canal.

### **Fijación con Placa Anterior**

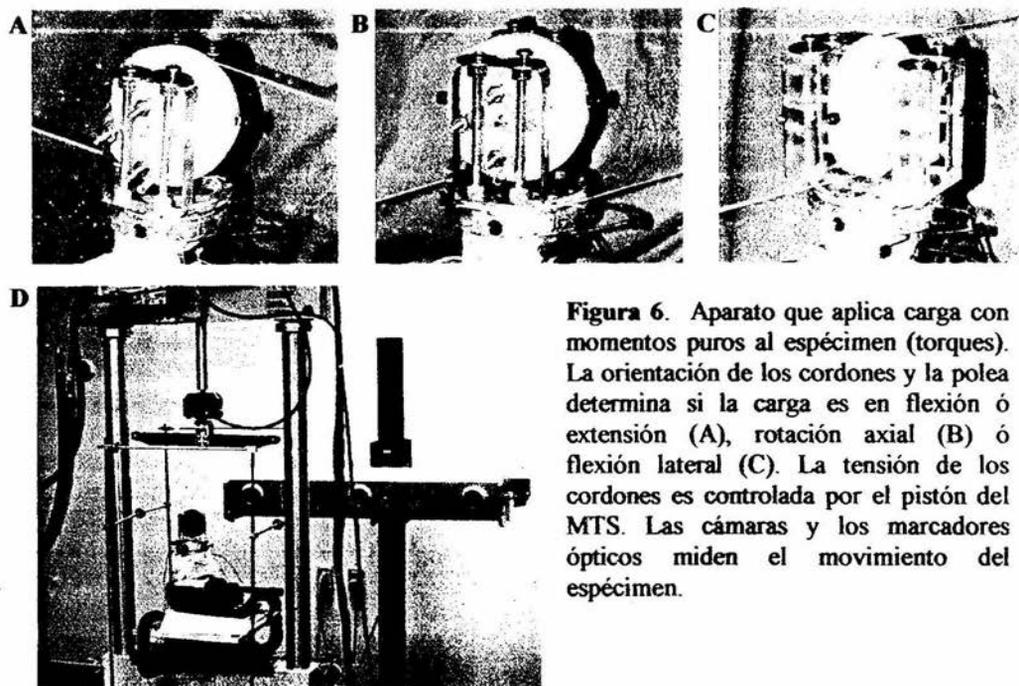
La discoidectomía con aplicación de injerto óseo y fijación con placa fue realizada de acuerdo al procedimiento publicado por Smith-Robinson<sup>14</sup> en C5-C6 y C6-C7. Los discos fueron extraídos dejando libres los platillos del cuerpo vertebral. Los platillos fueron rebajados en los bordes anteriores para permitir el acceso del injerto óseo. Los injertos óseos en forma de cuña fueron colocados en ambos espacios intervertebrales e impactados. Posterior a esto se colocó la placa anterior que varió en longitud de 42.5 mm a 50 mm (Tabla 1). Se utilizaron tornillos para hueso esponjoso de 14mm de longitud y 3.5mm de diámetro de uso unicortical. (Figura 5)



**Figura 5** Una placa anterior (Atlantis™, Medtronic Sofamor Danek) fue colocada de C5 a C7 después de haber realizado la discoidectomía de C5-C6 y C6-C7 con la colocación de injerto óseo. los injertos son mostrados por las flechas.

### ***Estudios Biomecánicos***

Los especímenes fueron probados en una forma no destructiva inicialmente. Se utilizó un método estándar para las pruebas de flexibilidad.<sup>15</sup> Las pruebas se realizaron de acuerdo al orden descrito en la tabla 2. La base que sujetó a la vértebra caudal se fijó a una prensa en la base del aparato de pruebas mientras las fuerza eran aplicadas a la base rostral. Las cargas fueron momentos puros aplicados a cada espécimen a través de un sistema de cables y poleas en conjunto con un sistema de prueba serbo hidráulico.<sup>6</sup>



**Figura 6.** Aparato que aplica carga con momentos puros al espécimen (torques). La orientación de los cordones y la polea determina si la carga es en flexión ó extensión (A), rotación axial (B) ó flexión lateral (C). La tensión de los cordones es controlada por el pistón del MTS. Las cámaras y los marcadores ópticos miden el movimiento del espécimen.

Las cargas fueron aplicadas en los ejes anatómicos correspondientes para inducir 6 tipos diferentes de movimiento en el orden siguiente: flexión, extensión, rotación derecha, rotación izquierda, flexión lateral derecha y flexión lateral izquierda (Figura 6). Se aplicó una carga de 1.5 Newton-metro (Nm) durante 60 segundos en tres ocasiones simulando la vez del estiramiento de cualquier articulación antes del ejercicio (calentamiento). Después de estos tres estiramientos, el espécimen fue dejado 60 segundos en reposo sin carga alguna. Durante el registro de datos, se aplicaron cargas de 0.25 Nm con incremento máximo de 1.5 Nm. Cada carga fue dejada 45 segundos. Los registros fueron hechos 2 veces por segundo (2Hz).

Se determinó el grado de movimiento en respuesta a las cargas con un sistema de cámaras (Optotrak 3020) que mide el desplazamiento tridimensional de marcadores emisores de rayos infrarrojos (Figura 4). Tres marcadores fueron insertados rigidamente a cada vértebra. Con esto, se logró medir el desplazamiento de cada vértebra en relación a la vértebra adyacente. Se utilizó un programa de computadora para convertir las coordenadas en ángulos de desplazamiento, relacionados a cada eje anatómico. Para esto, se utilizó un método que ejemplifica a la vértebra como cilindros apilados.<sup>9</sup>

## Resultados

### *Precisión en Colocación de tornillos pediculares.*

Se colocaron un total de 56 tornillos transpediculares. La precisión de la colocación fue evaluada en los diferentes niveles. La Colocación fue de mayor grado de dificultad técnicamente especialmente a nivel de C5 en donde el calibre pequeño del pedículo fue una limitante considerable. Un total de 28 tornillos pediculares fueron colocados en C7. Se alcanzó casi el 90% de precisión en la colocación (Tabla 3), sin embargo se obtuvo un 10% de penetración crítica. Este es un porcentaje alto y representa un alto riesgo para lesión neurológica o vascular dada las estructuras adyacentes al sitio de inserción. En los otros niveles (C5 y C6) un total de 14 tornillos por nivel fueron colocados. C5 y C6 obtuvieron mayor incidencia de penetración crítica con 21.4% y 14.2% respectivamente. Ésto es esperado teniendo en cuenta la disminución del calibre en los pedículos de niveles superiores. Éste resultado es la representación numérica de una técnica quirúrgica que requiere mayor entrenamiento y habilidad. Cabe mencionar que la mayoría de las penetraciones críticas fueron obtenidas en los primeros 10 especímenes fijados.

Tabla 3 Precisión en la Colocación del tornillo pedicular.

Nivel	Dentro	Penetración No-Crítica	Penetración Crítica	Total
(Grupo 1)				
C7	12(85.8%)	2(14.2%)	-	14
(Grupo 3)				
C5	10(71.4%)	1(7.1%)	3(21.4%)	14
C6	10(71.4%)	2(14.2%)	2(14.2%)	14
C7	13(92.9%)	-	1(7.1%)	14
Total	45(80.3%)	5(8.9%)	6(10.7%)	56 (100%)

En el Grupo 1 el 85.8% de los tornillos presentó una colocación adecuada. Ellos fueron solo a nivel de C7. El Grupo 3 presentó una penetración crítica elevada a nivel de C5 con 21.4%, C6 con 14.2% y C7 con 7.1%.

Una inserción adecuada del tornillo pedicular se consideró cuando no se lesionó ninguna de sus paredes, manteniéndose dentro del pedículo en todo momento. Una penetración No-Crítica fue considerada cuando hubo lesión de una de las paredes, pero el tornillo mantuvo la misma dirección del pedículo. No se encontró contacto o daño a otras estructuras. Penetración crítica fue considerada cuando el tornillo causó lesión de alguna pared del pedículo, presentando una trayectoria diferente a la del pedículo. En este caso, se encontró contacto con otras estructuras. La Tabla 3 muestra los resultados de la inserción de tornillos. La Figura 7 ilustra las diferentes posiciones del tornillo en los pedículos, mencionadas anteriormente.

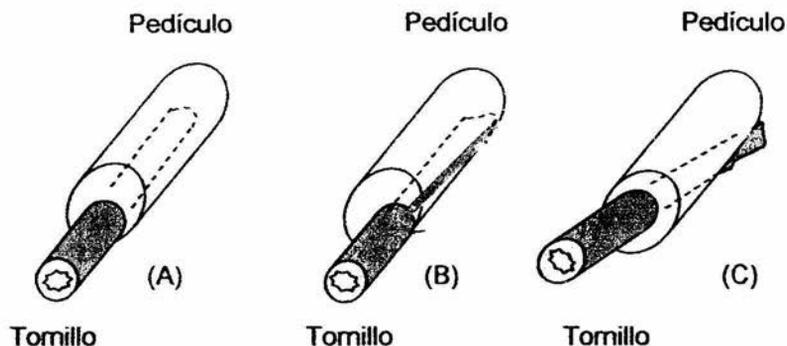


Figura 7 (A) Buena colocación del tornillo, respetando todas sus paredes. B) Lesión No-Crítica, el tornillo sigue manteniendo la trayectoria del pedículo, sin tener contacto con otras estructuras en forma directa. C) Lesión Crítica, el tornillo perdió la trayectoria del pedículo y se encuentra dirigido peligrosamente a estructuras adyacentes.

### Resultados de pruebas Biomecánicas

La información obtenida después de todas las pruebas realizadas, muestran datos interesantes en los Rangos de Movimiento (RM).

## Segmento C5-C7

### Normal.

Durante las pruebas realizadas a los especímenes en condiciones normales se observaron resultados similares en los tres grupos. Solamente el Grupo 1 mostró un mayor rango de movimiento en las fases de flexión y extensión, comparado con los grupos 2 y 3, pero siendo ésta diferencia menor de dos grados. **Grupo 1:** flexión RM:  $\bar{X}$ =12.8, SD 2.6; Extensión  $\bar{X}$ =11.7, SD 2.1; **Grupo 2:** flexión  $\bar{X}$ =11.1, SD 3.7; Extensión  $\bar{X}$  =10.1, SD 3.5; **Grupo 3:** flexión  $\bar{X}$  =11.4, SD 1.5; Extensión  $\bar{X}$ =10.5, SD 1.44)

### Desestabilizado

Después de la desestabilización se observó un incremento del RM, como era de esperarse, siendo proporcional en todas las fases, pero de mayor magnitud en las fases de flexión y extensión.

## Fijación Posterior

Con la fijación posterior, todos los grupos mostraron un decremento importante del RM del segmento C5-C7 después de la fijación, comparado con las condiciones normales.

- Grupo 1** Flexión: RM cayó de  $\bar{X}$ =12.8 (normal) a  $\bar{X}$ =1.5 grados (fijación posterior); Extensión de  $\bar{X}$ =11.7 (normal) a  $\bar{X}$ =2.7 (fijación posterior); Durante FL: el RM fue  $\bar{X}$ =9.1, SD=2.4 (normal) cayendo a RM  $\bar{X}$ =0.3, SD=0.1 (fijación posterior); Durante la RA: RM  $\bar{X}$ =7.1, SD=2.5 (normal) cayendo a RM  $\bar{X}$ =0.7, SD=0.07 (fijación posterior).
- Grupo 2** Flexión: RM cayó de  $\bar{X}$ =11.1 (normal) a  $\bar{X}$ =1.3 grados (fijación posterior); Extensión de  $\bar{X}$ =10.1 (normal) a  $\bar{X}$ =2.4 (fijación posterior); Durante FL normal el RM fue  $\bar{X}$ =9.2, SD=3.8 cayendo a RM  $\bar{X}$ =0.9, SD=0.6 (fijación posterior); En el mismo grupo durante la RA normal el RM fue de  $\bar{X}$ =7.6, SD=2.5 (normal) cayendo a RM  $\bar{X}$  = 1.1, SD=0.6 (fijación posterior).
- Grupo 3** Flexión: RM cayó de  $\bar{X}$ =11.4 (normal) a  $\bar{X}$ =2.01 grados (fijación posterior); Extensión: RM de  $\bar{X}$ =10.5 (normal) a  $\bar{X}$ =3.29 (fijación posterior); FL: RM de  $\bar{X}$ =8.75, SD=3.61 (normal) cayendo a RM  $\bar{X}$ =0.56, SD=0.68 (fijación posterior); RA: RM de  $\bar{X}$ =8.11, SD=2.85 (normal) a RM  $\bar{X}$ =0.90, SD=0.26 (fijación posterior).

Es evidente que en relación a la fase de desestabilización, todos los especímenes mejoraron en forma muy significativa en todos los grupos al aplicarse la fijación posterior, como se puede observar en las Tablas 4, 5 y 6 y Grafica 1, 2 y 3.

El mismo segmento C5-C7 mostró un decremento del RM de menor magnitud para las pruebas de Flexión lateral (FL.) y Rotación axial (RA).

### ***Fijación combinada (Posterior + Anterior)***

Las pruebas con fijación tanto anterior como posterior en los especímenes mostraron un segmento C5-C7 muy sólido en todos los grupos.

- Grupo 1** RM  $\bar{X}$ =0.18 y SD=0.07 durante la flexión, RM  $\bar{X}$ =0.22 y SD=0.09 durante extensión, RM  $\bar{X}$ =0.17 y SD=0.07 durante FL y un RM  $\bar{X}$ =0.27 y SD=0.07 durante la RA.
- Grupo 2** RM  $\bar{X}$ = 0.23, SD=0.14 durante la flexión; RM  $\bar{X}$ =0.23, SD=0.14 durante la extensión, RM  $\bar{X}$ =0.25, SD=0.15 durante la FL y RM  $\bar{X}$ =0.28, SD=0.08 durante la RA.
- Grupo 3** RM  $\bar{X}$ =0.33, SD=0.41 durante la flexión; RM  $\bar{X}$ =0.43, SD=0.60 durante la extensión; RM  $\bar{X}$ =0.27, SD=0.23 durante la FL y RM  $\bar{X}$ =0.47, SD=0.21 durante la rotación axial.

La fijación de 360 grados de la columna cervical confiere a la misma una estabilidad muy significativa comparada con un estado normal del espécimen, pero comparado con un estado de inestabilidad de las tres columnas por lesión de ligamentos, el cambio es aun más notorio. Éste tipo de fijación supera consistentemente a una fijación anterior por sí sola. La Tabla 6 y Grafica 3 muestran éstos resultados.

### ***Fijación Anterior***

Los resultados de las pruebas con la fijación de la columna cervical por vía anterior mostraron una menor eficacia para estabilizar, comparada con la fijación posterior y/o la combinada. Sin embargo, aun la fijación anterior demostró tener mayor grado de rigidez comparado con las condiciones normales. Con los siguientes resultados:

- Grupo 1:** RM  $\bar{X}$ =3.3, SD=1.5 en flexión; RM  $\bar{X}$ =3.0, SD=1.3 en extensión; RM  $\bar{X}$ =2.2, SD=0.9 en FL y RM  $\bar{X}$ =2.1, SD=0.8 en rotación.
- Grupo 2:** RM  $\bar{X}$ =3.6, SD=1.5 en flexión; RM  $\bar{X}$ =2.9, SD=1.3 en extensión; RM  $\bar{X}$ =2.2, SD=0.9 en FL y RM  $\bar{X}$ =2.1, SD=1.2 en rotación.
- Grupo3:** RM  $\bar{X}$ =3.75, SD=2.32 en flexión; RM  $\bar{X}$ =3.08, SD=2.23 en extensión, RM  $\bar{X}$ =3.68, SD=3.05 y RM  $\bar{X}$ =3.19, SD=2.46 en rotación.

La desviación estándar, en la fase de fijación anterior, mostró valores más variables y mayores. Esto es importante analizarlo, ya que esto significa que el resultado obtenido en la práctica quirúrgica con instrumentaciones anteriores, también podría ser variable, independientemente de las fijaciones empleadas.

**Tabla 4.** Principal rango de movimiento en grados  $\pm$  SD en C5-C6 en cada condición estudiada.

Condición	Grupo	Flexión	Extensión	Flexión Lateral	Rotación Axial
Normal	Grupo 1	7.13 $\pm$ 2.06	6.86 $\pm$ 1.88	4.51 $\pm$ 1.56	4.27 $\pm$ 1.85
	Grupo 2	5.53 $\pm$ 1.51	5.18 $\pm$ 1.50	4.76 $\pm$ 1.79	4.40 $\pm$ 1.56
	Grupo 3	6.13 $\pm$ 0.63	5.69 $\pm$ 1.03	4.70 $\pm$ 1.95	4.85 $\pm$ 1.62
Desestabilizado	Grupo 1	11.05 $\pm$ 1.95	10.79 $\pm$ 2.28	5.76 $\pm$ 1.89	5.99 $\pm$ 2.89
	Grupo 2	9.55 $\pm$ 2.61	9.39 $\pm$ 2.20	5.90 $\pm$ 1.83	5.80 $\pm$ 2.02
	Grupo 3	10.37 $\pm$ 2.57	9.80 $\pm$ 2.41	6.06 $\pm$ 2.22	6.80 $\pm$ 2.67
Posterior	Grupo 1	0.86 $\pm$ 0.54	1.46 $\pm$ 0.59	0.18 $\pm$ 0.08	0.33 $\pm$ 0.09
	Grupo 2	0.32 $\pm$ 0.17	1.30 $\pm$ 0.60	0.23 $\pm$ 0.10	0.41 $\pm$ 0.21
	Grupo 3	1.25 $\pm$ 0.76	1.66 $\pm$ 0.69	0.38 $\pm$ 0.63	0.45 $\pm$ 0.15
Combinado	Grupo 1	0.04 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.04	0.09 $\pm$ 0.04	0.13 $\pm$ 0.06
	Grupo 2	0.07 $\pm$ 0.04	0.07 $\pm$ 0.05	0.08 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.07
	Grupo 3	0.20 $\pm$ 0.36	0.25 $\pm$ 0.47	0.15 $\pm$ 0.19	0.23 $\pm$ 0.08
Anterior	Grupo 1	1.22 $\pm$ 0.85	1.01 $\pm$ 0.63	0.77 $\pm$ 0.49	0.83 $\pm$ 0.39
	Grupo 2	1.57 $\pm$ 0.69	1.12 $\pm$ 0.32	0.88 $\pm$ 0.36	0.80 $\pm$ 0.16
	Grupo 3	1.27 $\pm$ 0.59	1.26 $\pm$ 0.81	1.67 $\pm$ 1.28	1.27 $\pm$ 0.69

**Tabla 5.** Principal Rango de movimiento  $\pm$  SD en C6-C7 en cada condición estudiada.

Condición	Grupo	Flexión	Extensión	Flexión Lateral	Rotación Axial
Normal	Grupo 1	5.69 $\pm$ 1.44	4.86 $\pm$ 1.21	4.62 $\pm$ 1.43	2.81 $\pm$ 0.85
	Grupo 2	5.58 $\pm$ 2.48	4.93 $\pm$ 2.25	4.40 $\pm$ 2.06	3.17 $\pm$ 1.17
	Grupo 3	5.27 $\pm$ 1.33	4.84 $\pm$ 1.25	4.05 $\pm$ 1.73	3.26 $\pm$ 1.31
Desestabilizado	Grupo 1	8.31 $\pm$ 1.32	8.11 $\pm$ 1.78	6.34 $\pm$ 2.30	4.64 $\pm$ 1.88
	Grupo 2	9.35 $\pm$ 4.10	8.57 $\pm$ 3.02	5.50 $\pm$ 2.36	4.68 $\pm$ 1.91
	Grupo 3	9.00 $\pm$ 2.76	8.31 $\pm$ 2.32	5.45 $\pm$ 2.35	5.02 $\pm$ 2.25
Posterior	Grupo 1	0.64 $\pm$ 0.23	1.23 $\pm$ 0.61	0.15 $\pm$ 0.07	0.33 $\pm$ 0.11
	Grupo 2	0.98 $\pm$ 0.50	1.12 $\pm$ 0.65	0.62 $\pm$ 0.57	0.69 $\pm$ 0.35
	Grupo 3	0.75 $\pm$ 0.34	1.62 $\pm$ 0.39	0.16 $\pm$ 0.09	0.45 $\pm$ 0.14
Combinado	Grupo 1	0.14 $\pm$ 0.04	0.17 $\pm$ 0.06	0.09 $\pm$ 0.04	0.14 $\pm$ 0.04
	Grupo 2	0.15 $\pm$ 0.09	0.16 $\pm$ 0.13	0.17 $\pm$ 0.14	0.14 $\pm$ 0.04
	Grupo 3	0.13 $\pm$ 0.06	0.18 $\pm$ 0.15	0.12 $\pm$ 0.08	0.24 $\pm$ 0.13
Anterior	Grupo 1	2.07 $\pm$ 0.66	1.94 $\pm$ 0.98	1.41 $\pm$ 0.47	1.24 $\pm$ 0.58
	Grupo 2	2.07 $\pm$ 0.98	1.75 $\pm$ 1.09	1.30 $\pm$ 0.97	1.26 $\pm$ 1.13
	Grupo 3	2.48 $\pm$ 1.87	1.81 $\pm$ 1.48	2.01 $\pm$ 1.83	1.92 $\pm$ 1.82

**Tabla 6.** Principal rango de movimiento SD sumariado a través de C5-C7 en cada condición estudiada.

Condición	Grupo	Flexión	Extensión	Flexión Lateral	Rotación Axial
Normal	Grupo 1	12.83 ± 2.58	11.72 ± 2.09	9.13 ± 2.41	7.08 ± 2.55
	Grupo 2	11.11 ± 3.74	10.11 ± 3.48	9.16 ± 3.77	7.57 ± 2.60
	Grupo 3	11.40 ± 1.50	10.52 ± 1.44	8.75 ± 3.61	8.11 ± 2.85
Desestabilizado	Grupo 1	19.35 ± 2.97	18.90 ± 3.61	12.10 ± 3.57	10.63 ± 4.40
	Grupo 2	18.90 ± 6.14	17.96 ± 4.30	11.40 ± 3.98	10.48 ± 3.75
	Grupo 3	19.37 ± 4.64	18.11 ± 4.20	11.51 ± 4.42	11.82 ± 4.81
Posterior	Grupo 1	1.50 ± 0.64	2.69 ± 1.03	0.33 ± 0.14	0.67 ± 0.18
	Grupo 2	1.29 ± 0.54	2.42 ± 0.97	0.86 ± 0.65	1.10 ± 0.56
	Grupo 3	2.01 ± 0.88	3.29 ± 0.88	0.54 ± 0.68	0.90 ± 0.26
Combinado	Grupo 1	0.18 ± 0.07	0.22 ± 0.09	0.17 ± 0.07	0.27 ± 0.07
	Grupo 2	0.23 ± 0.10	0.23 ± 0.14	0.25 ± 0.15	0.28 ± 0.08
	Grupo 3	0.33 ± 0.41	0.43 ± 0.60	0.27 ± 0.23	0.47 ± 0.21
Anterior	Grupo 1	3.29 ± 1.47	2.95 ± 1.33	2.17 ± 0.86	2.07 ± 0.77
	Grupo 2	3.65 ± 1.47	2.87 ± 1.30	2.17 ± 0.91	2.06 ± 1.21
	Grupo 3	3.75 ± 2.32	3.08 ± 2.23	3.68 ± 3.05	3.19 ± 2.46

### Nivel C5-C6 v C6-C7

Al analizar los resultados por nivel independiente resaltan los datos obtenidos en las diferentes condiciones en que se probaron los especímenes:

#### *Fijación Posterior*

A nivel de **C5-C6**, en la fase de **flexión**, el Grupo 2 (ganchos en C7) mostró mejores resultados en comparación a los otros dos grupos. Grupo 2: RM  $\bar{X}=0.3$ , SD=0.2; Mientras que el Grupo 1 y Grupo 3 tuvieron RM  $\bar{X}=0.9$ , SD=0.5 y RM  $\bar{X}=1.3$ , SD=0.8, respectivamente. El Grupo 2 también mostró ser tan efectivo como el Grupo 1 en la fase de extensión y superó al Grupo 3, aunque ésta diferencia no fue significativa estadísticamente. En las fases de Flexión Lateral (FL) y Rotación Axial (RA) los tres grupos mostraron tener una estabilización similar. Grafica 1C. Tabla 4.

A nivel de **C6-C7**, el Grupo 1 y 2 se mostraron muy similares en la fase de extensión, sin embargo el Grupo 1 superó al Grupo 2 durante la Flexión, FL y RA. Cabe mencionar que estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

### *Fijación Combinada*

En el nivel **C5-C6**, los Grupos 1 y 2 superaron al Grupo 3. La diferencia entre estos grupos es menor de 0.5° grados. Es decir, no es muy significativo sin embargo se esperaba tener un mejor resultado en el grupo 3, ya que los pedículos son de las estructuras más fuertes de la vértebra. Nosotros atribuimos éste resultado, a que los tornillos pediculares en C5 pueden debilitar el pedículo. El pedículo, en este nivel, posee un calibre menor en relación a niveles más inferiores. Así, el tornillo puede erosionar la cortical de las diferentes paredes, y debilitar la misma en un mayor porcentaje del trayecto en el pedículo.

Por otro lado, a nivel de **C6-C7**, todos los grupos mostraron resultados y efectividad similares. Se comprobó que la fijación de 360° grados en un espécimen, ofrece la mejor estabilidad, aunque éste presente una lesión que involucre las tres columnas.

Aunque todos los grupos tuvieron buenos resultados, el Grupo 3 mostró una variabilidad mayor. Esto se observa al contar con una SD más amplia.

### *Fijación Anterior*

Al probar el espécimen después de retirar la fijación posterior y dejar solo la fijación anterior, se observó que el RM es mayor en todo momento, comparado con la fijación posterior y/o fijación combinada. Además, como ya se mencionó anteriormente, las SD observadas indican mucha variabilidad en el resultado aunque los especímenes se sometían a las mismas condiciones técnicas.

### **Comparación entre Grupos: C5-C6, C6-C7 y C5-C7.**

Para comparar los grupos entre sí, se utilizó el sistema ANOVA, para grupos desiguales. Los resultados significativos se encuentran resaltados en las Tablas 7, 8 y 9. Estos resultados, aunque poseen un valor  $p < 0.5$ , no son del todo significativos ya que el valor del ángulo es menor de 1 en todos los casos, es decir, ningún grupo sobresalió en forma significativa estadísticamente.

**Tabla 7.** Comparación del RM de C5-C6 entre los grupos durante diferentes condiciones.

Condición	Comparación	Flexión		Extensión		Flexión Lateral		Rotación Axial	
		$\Delta$ Angulo	p-value	$\Delta$ Angulo	p-value	$\Delta$ Angulo	p-value	$\Delta$ Angulo	p-value
Normal	1 vs. 2	1.60	(0.17)	1.68	(0.13)	-0.25	(0.96)	-0.13	(0.80)
	1 vs. 3	1.01	(0.17)	1.18	(0.13)	-0.19	(0.96)	-0.58	(0.80)
	2 vs. 3	-0.59	(0.17)	-0.51	(0.13)	0.06	(0.96)	-0.45	(0.80)
Desestabilizado	1 vs. 2	1.50	(0.52)	1.41	(0.51)	-0.14	(0.96)	0.19	(0.74)
	1 vs. 3	0.67	(0.52)	0.99	(0.51)	-0.29	(0.96)	-0.81	(0.74)
	2 vs. 3	-0.82	(0.52)	-0.41	(0.51)	-0.16	(0.96)	-1.00	(0.74)
Posterior	1 vs. 2	0.54	(0.18)	0.16	(0.56)	-0.06	(0.49)*	-0.08	(0.39)
	1 vs. 3	-0.40	(0.38)	-0.20	(0.56)	-0.21	(0.49)*	-0.12	(0.39)
	2 vs. 3	<b>-0.94</b>	<b>(0.01)</b>	-0.37	(0.56)	-0.15	(0.49)*	-0.04	(0.39)
Combinado	1 vs. 2	-0.03	(0.24)*	-0.02	(0.61)*	0.01	(0.83)*	-0.01	(0.93)
	1 vs. 3	-0.16	(0.24)*	-0.20	(0.61)*	-0.06	(0.83)*	<b>-0.11</b>	<b>(0.03)</b>
	2 vs. 3	-0.13	(0.24)*	-0.18	(0.61)*	-0.07	(0.83)*	-0.09	(0.06)
Anterior	1 vs. 2	-0.35	(0.63)	-0.10	(0.76)	-0.11	(0.30)*	0.03	(0.14)
	1 vs. 3	-0.05	(0.63)	-0.25	(0.76)	-0.91	(0.30)*	-0.44	(0.14)
	2 vs. 3	0.30	(0.63)	-0.15	(0.76)	-0.80	(0.30)*	-0.47	(0.14)

Para la comparación entre 1 vs. 2,  $\Delta$  Angulo = 1 - 2. \* Indica Kruskal-Wallis un sentido ANOVA en rangos en lugar de un sentido ANOVA (información no distribuida normalmente o variantes desiguales). La estadística significativa está resaltada ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 8.** Comparación del rango de movimiento en C6-C7 entre los grupos, durante diferentes condiciones.

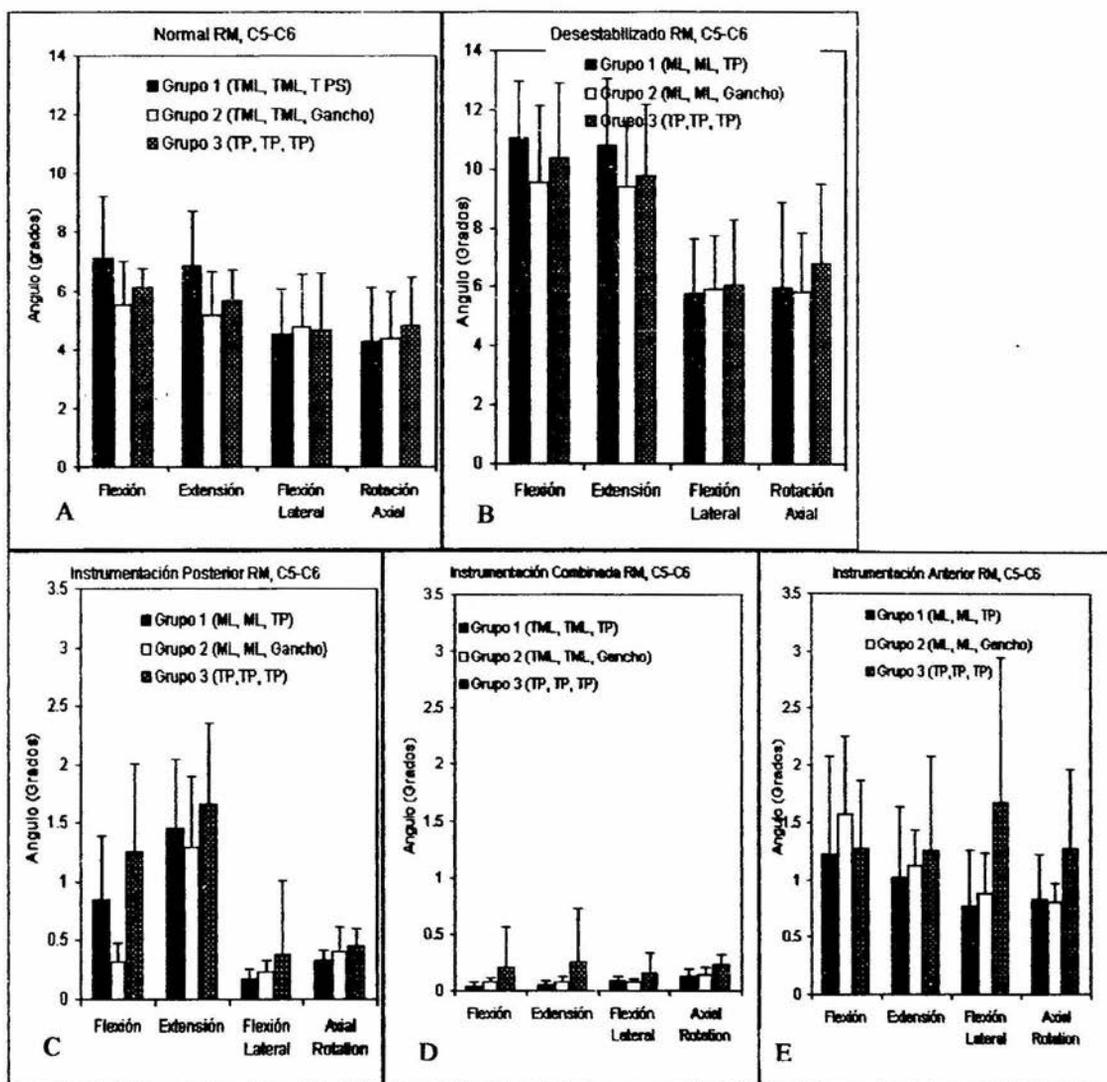
Condición	Comparación	Flexión		Extensión		Flexión Lateral		Rotación Axial	
		$\Delta$ Angulo	p-value	$\Delta$ Angulo	p-value	$\Delta$ Angulo	p-value	$\Delta$ Angulo	p-value
Normal	1 vs. 2	0.12	(0.91)	-0.07	(0.99)	0.22	(0.83)	-0.36	(0.74)
	1 vs. 3	0.42	(0.91)	0.02	(0.99)	0.57	(0.83)	-0.45	(0.74)
	2 vs. 3	0.30	(0.91)	0.09	(0.99)	0.35	(0.83)	-0.09	(0.74)
Desestabilizado	1 vs. 2	-1.04	(0.80)	-0.46	(0.94)	0.84	(0.73)	-0.03	(0.93)
	1 vs. 3	-0.69	(0.80)	-0.20	(0.94)	0.89	(0.73)	-0.38	(0.93)
	2 vs. 3	0.35	(0.80)	0.26	(0.94)	0.05	(0.73)	-0.34	(0.93)
Posterior	1 vs. 2	-0.34	(0.26)	0.11	(0.25)	-0.47	(0.06)*	<b>-0.36</b>	<b>(0.02)</b>
	1 vs. 3	-0.11	(0.26)	-0.39	(0.25)	-0.01	(0.06)*	-0.11	(0.63)
	2 vs. 3	0.22	(0.26)	-0.50	(0.25)	0.46	(0.06)*	0.24	(0.14)
Combinado	1 vs. 2	-0.01	(0.84)	0.01	(0.98)	-0.08	(0.32)	0.00	(0.07)
	1 vs. 3	0.01	(0.84)	-0.01	(0.98)	-0.03	(0.32)	-0.10	(0.07)
	2 vs. 3	0.02	(0.84)	-0.01	(0.98)	0.05	(0.32)	-0.10	(0.07)
Anterior	1 vs. 2	-0.01	(0.79)	0.19	(0.96)	0.11	(0.52)	-0.02	(0.54)
	1 vs. 3	-0.41	(0.79)	0.13	(0.96)	-0.60	(0.52)	-0.68	(0.54)
	2 vs. 3	<b>-0.40</b>	<b>(0.79)</b>	-0.07	(0.96)	-0.71	(0.52)	<b>-0.66</b>	<b>(0.54)</b>

Para comparar 1 vs. 2,  $\Delta$  Angulo = 1 - 2. \* Indica Kruskal-Wallis un sentido ANOVA on ranks en lugar de un sentido ANOVA (información no distribuida normalmente o variantes desiguales). Diferencias que se encuentran resaltadas con sombreado son estadísticamente significantes ( $p < 0.05$ ).

Tabla 9. Comparación del rango de movimiento de C5-C7 entre los grupos, durante diferentes condiciones.

Condición	Comparación	Flexión		Extensión		Flexión Lateral		Rotación Axial	
		$\Delta$ Angulo	p-value						
Normal	1 vs. 2	1.72	(0.48)	1.61	(0.47)	-0.03	(0.97)	-0.48	(0.78)
	1 vs. 3	1.42	(0.48)	1.20	(0.47)	0.38	(0.97)	-1.03	(0.78)
	2 vs. 3	-0.29	(0.48)	-0.42	(0.47)	0.41	(0.97)	-0.54	(0.78)
Desestabilizado	1 vs. 2	0.46	(0.98)	0.94	(0.90)	0.71	(0.94)	0.15	(0.82)
	1 vs. 3	-0.02	(0.98)	0.80	(0.90)	0.60	(0.94)	-1.19	(0.82)
	2 vs. 3	-0.48	(0.98)	-0.15	(0.90)	-0.11	(0.94)	-1.34	(0.82)
Posterior	1 vs. 2	0.20	(0.17)	0.27	(0.25)	-0.53	(0.18)*	-0.43	(0.12)
	1 vs. 3	-0.51	(0.17)	-0.59	(0.25)	-0.21	(0.18)*	-0.23	(0.12)
	2 vs. 3	-0.71	(0.17)	-0.86	(0.25)	0.31	(0.18)*	0.20	(0.12)
Combinado	1 vs. 2	-0.05	(0.76)*	-0.01	(0.96)*	-0.07	(0.54)	-0.01	(0.98)
	1 vs. 3	-0.15	(0.76)*	-0.20	(0.96)*	-0.10	(0.54)	<b>-0.20</b>	<b>(0.03)</b>
	2 vs. 3	-0.11	(0.76)*	-0.19	(0.96)*	-0.02	(0.54)	<b>-0.19</b>	<b>(0.04)</b>
Anterior	1 vs. 2	-0.36	(0.88)	0.09	(0.97)	0.00	(0.85)*	0.01	(0.77)*
	1 vs. 3	-0.46	(0.88)	-0.12	(0.97)	-1.51	(0.85)*	-1.12	(0.77)*
	2 vs. 3	-0.10	(0.88)	-0.21	(0.97)	-1.51	(0.85)*	-1.13	(0.77)*

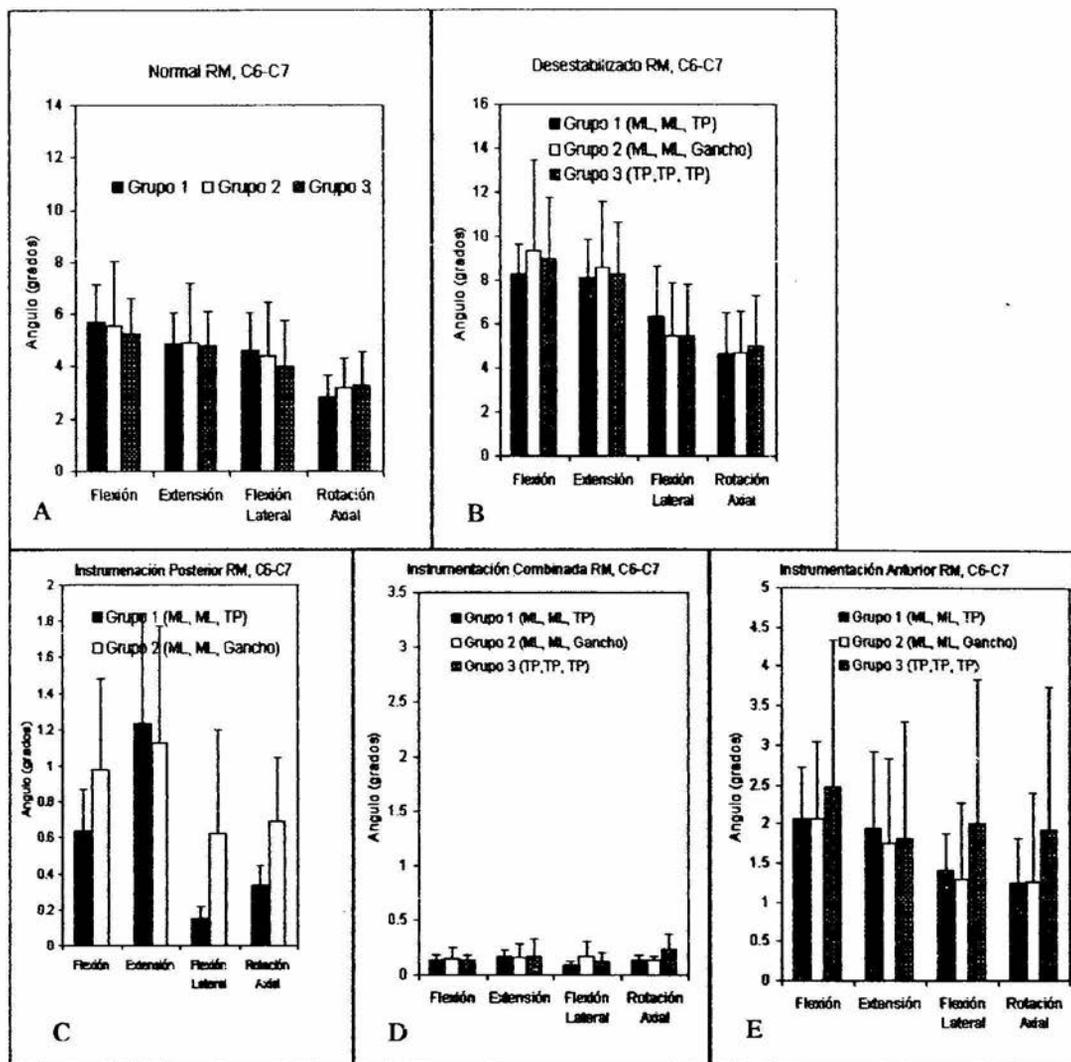
Para comparar 1 vs. 2,  $\Delta$  Angulo = 1 - 2. \* Indica Kruskal-Wallis un sentido ANOVA on ranks en lugar de un sentido ANOVA (información no distribuida normalmente o variantes desiguales). Diferencias que se encuentran resaltadas con sombreado son estadísticamente significantes ( $p < 0.05$ ).



**Gráfica 1** Muestra los resultados de las pruebas en las diferentes condiciones para el nivel C5-C6. El ángulo esta representado en grados. A) Pruebas de flexibilidad en especímenes normales; B) Pruebas de flexibilidad en especímenes desestabilizados; C) Pruebas de flexibilidad en especímenes con diferentes tipos de fijaciones posteriores; D) Pruebas de flexibilidad en especímenes con fijación combinada (sistema posterior mas placa anterior con injertos óseos en C5-C6 y C6-C7); y E) Pruebas de flexibilidad con el sistema de fijación anterior con injertos. Entre menor ángulo presenta la gráfica, mayor estabilidad se presentó en los especímenes.

ML = Masa Lateral.

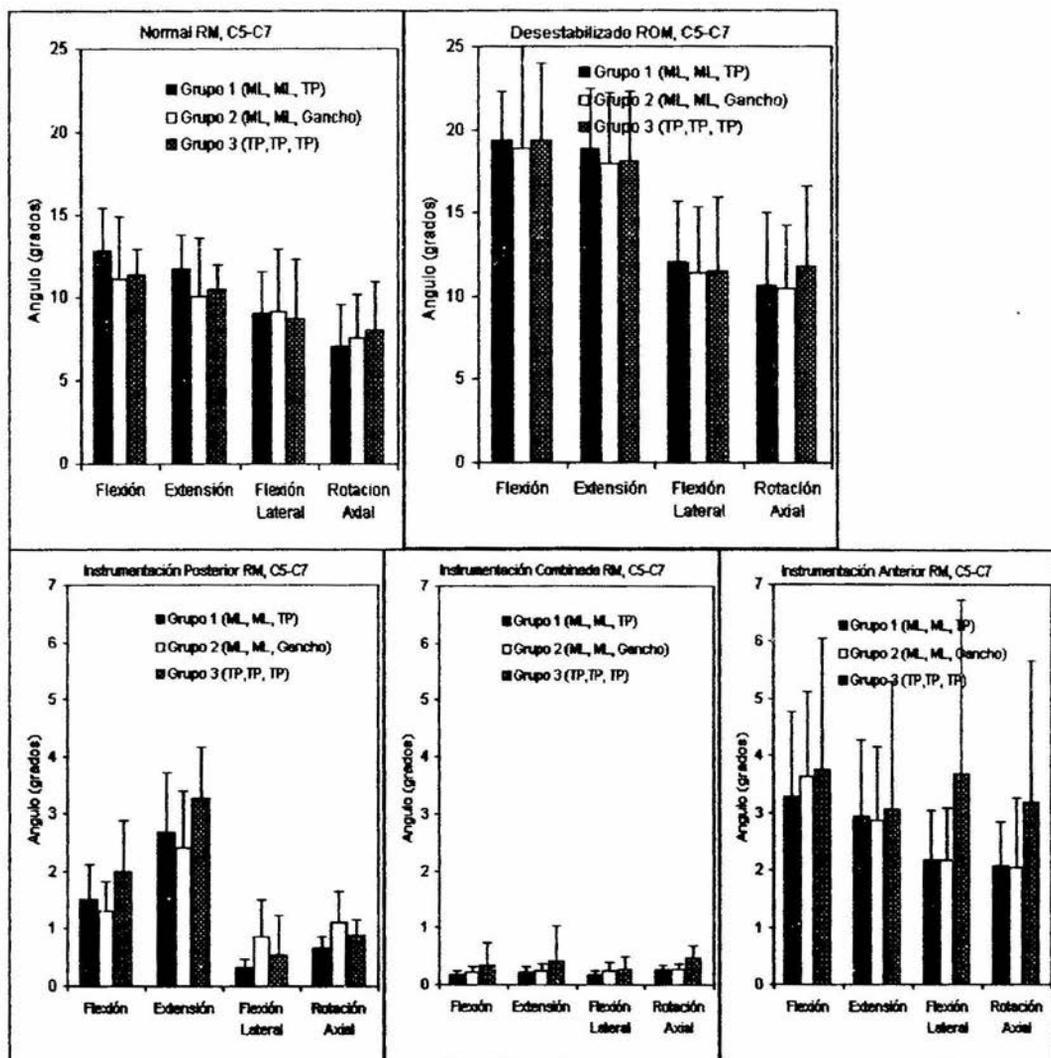
TP = Tornillo Pedicular.



**Gráfica 2** Muestra los resultados de las pruebas en las diferentes condiciones para el nivel C6-C7. El ángulo está representado en grados. A) Pruebas de flexibilidad en especímenes normales; B) Pruebas de flexibilidad en especímenes desestabilizados; C) Pruebas de flexibilidad en especímenes con diferentes tipos de fijaciones posteriores; D) Pruebas de flexibilidad en especímenes con fijación combinada (sistema posterior mas placa anterior con injertos óseos en C5-C6 y C6-C7); y E) Pruebas de flexibilidad con el sistema de fijación anterior con injertos. Entre menor ángulo presenta la gráfica, mayor estabilidad se presenta en los especímenes.

ML = Masa Lateral.

TP = Tornillo Pedicular.



**Gráfica 3** Muestra los resultados de las pruebas en las diferentes condiciones para el segmento C5-C7. El ángulo está representado en grados. A) Pruebas de flexibilidad en especímenes normales; B) Pruebas de flexibilidad en especímenes desestabilizados; C) Pruebas de flexibilidad en especímenes con diferentes tipos de fijaciones posteriores; D) Pruebas de flexibilidad en especímenes con fijación combinada (sistema posterior más placa anterior con injertos óseos en C5-C6 y C6-C7); y E) Pruebas de flexibilidad con el sistema de fijación anterior con injertos. Entre menor ángulo presenta la gráfica, mayor estabilidad se presenta en los especímenes.

ML = Masa Lateral.

TP = Tornillo Pedicular.

## Discusión:

### *Aspectos Generales*

Es importante mencionar que, a largo plazo, cualquier sistema de fijación puede fallar, especialmente cuando éste no cuenta con injertos óseos, o materiales que se incorporen al hueso, y estimulen su osificación<sup>14</sup>. El porque un sistema sin injertos, que en un inicio aportó buena estabilidad, puede fallar, tiene una explicación sencilla; esto es debido a que el segmento fijado, pierde sus propiedades mecánicas de movimiento, los músculos ya no ejercen completamente su acción en las inserciones óseas, con lo que el estímulo de osificación disminuye y se favorece la osteoporosis. Así, un sistema de fijación que en un inicio fue colocado en un hueso fuerte, con el tiempo el sistema se encuentra rodeado de hueso con menor calidad, y puede ocasionar fractura o simplemente la falla del sistema.

A corto plazo, la finalidad de una fijación es la de proporcionar la estabilidad necesaria a la columna mientras se produce una fusión de los diferentes niveles fijados. Durante este tiempo la fijación debe mostrar el mayor grado de rigidez, o bien, un rango de movimiento mínimo, para que se desarrolle una sincondrosis. En este momento es cuando los estudios biomecánicos son de enorme importancia, para valorar que tanta estabilidad proporciona un tipo de fijación, y nos da una idea como se comportará ésta en los meses próximos<sup>15</sup>.

Los estudios biomecánicos en columnas, tratan de semejar las condiciones normales a las que se somete una columna realizados *in vivo*, sin embargo a pesar de realizarse las pruebas en las condiciones mas fisiológicas posibles, aun se esta lejos de que las condiciones *in vitro* igualen las condiciones *in vivo*. Por ejemplo, *in vivo* los movimientos de la columna son realizados en conjunto con diferentes grados de rotación o flexión lateral, mientras que en el laboratorio, al probar un espécimen se somete a pruebas de flexión y extensión puras, es decir, se intenta reducir al máximo cualquier mezcla de movimiento lateral o axial<sup>6</sup>. Esto último es necesario al realizar investigación para reducir el numero de variables del estudio biomecánico. Aquí es donde se observan diferencias, ya que las pruebas de laboratorio no muestran lo que pasaría en una situación real. Es lo más cercano y objetivo conque se pueden evaluar los sistemas de fijación en la actualidad.

### *Fijación de dos niveles con lesión de las 3 columnas.*

En la lesión de las tres columnas, a nivel cervical, el grado de inestabilidad es severo. Si esta lesión involucra dos niveles, se establece la condición denominada anteriormente "vértebra flotante". Para este tipo de lesión la fijación es todo un reto. Al establecer una fijación posterior se puede lograr un grado de estabilidad importante, como ya se observó en este estudio. Sin embargo, es importante siempre el utilizar la aplicación de injertos óseos que fortalezcan estas fijaciones. En este aspecto la fijación anterior ofrece una buena alternativa combinada con una posterior. Así, la fijación de 360° grados es recomendada en este tipo de lesiones<sup>5</sup>. La

interrogativa al inicio de este estudio era, si un método de fijación de un alto grado de dificultad ofrecería una mejor estabilidad de la columna, y si al disminuir el grado de dificultad de la técnica quirúrgica, sería equivalente al grado de estabilidad obtenida en la columna.

Como se mencionó en un inicio, el sistema transpedicular es un sistema que ofrece buenos resultados en cuanto a fijación<sup>2,13</sup>. Esto se ha visto principalmente a nivel de C7, en donde el pedículo cuenta con un calibre mayor. Sin embargo, el calibre del pedículo se hace menor en niveles superiores, con el consecuente incremento del grado de dificultad técnico<sup>12</sup>. Los riesgos principalmente son lesión a la arteria vertebral lateralmente, lesión de la duramadre ó medula espinal medialmente, y lesión a raíces nerviosas en las porciones superior e inferior al pedículo<sup>10</sup>. Como se observó en los resultados de este estudio, la lesión crítica alcanzó un 14.2% en el nivel C6, pero un 21.4% en el nivel C5. Nosotros estamos seguros que éste porcentaje puede ser disminuido conforme se desarrolla una mayor destreza por el cirujano, pero aun el riesgo de lesión es considerable. Con estos resultados, la colocación de tornillos rostral al nivel C7, solo se recomienda cuando se tiene un entrenamiento y habilidad por parte del cirujano, pero aun así, la morbilidad puede ser mayor, comparado con otras técnicas quirúrgicas en el mismo nivel<sup>12</sup>. Cabe mencionar que la correcta evaluación de las condiciones de los pedículos, se logra únicamente con tomografía. Con ésta se puede medirse el calibre y cercanía de la arteria vertebral u otras estructuras de interés.

Por otro lado, la colocación de tornillos en las masas laterales, con una trayectoria medio-lateral, postero-anterior é infero-superior, ofrece también buenos resultados, con una dificultad técnica menor<sup>12</sup>. En ésta técnica también existen riesgos, como son: la lesión de raíces nerviosas principalmente<sup>10</sup> y de la arteria vertebral en menor grado. Ésta última cuando se selecciona un tornillo de mayor longitud al requerido, ó en malformaciones propias de la vértebra, en pacientes que no fueron evaluados tomográficamente previo a la cirugía.

Los ganchos laminares tienen un grado de dificultad, técnicamente, mucho menor a los ya mencionados. Sin embargo, ellos requieren de la aplicación de tornillos en otros niveles como punto de apoyo para el sistema de fijación. Otro aspecto por considerar es que los tornillos colocados en las masas laterales se deben de colocar 1 mm más lateral con respecto a la técnica original. El propósito de lo anterior es para que la barra pueda estar alineada con los ganchos y evitar doblar ésta más de lo necesario.

### *Estudios Biomecánicos*

Biomecánicamente hablando, nosotros encontramos que el sistema pedicular no mostró mayor ventaja, al compararse con el sistema de ganchos y tornillos en las masas laterales. El grupo 3 (tornillo pedicular en todos los niveles) mostró, durante las pruebas de flexibilidad, resultados similares a los mostrados por los sistemas con tornillos en las masas laterales y tornillo pedicular en C7 ó gancho.

Al compararse los grupos entre sí, resalta la comparación del grupo 2 vs. 3, con fijación posterior, durante la flexión del nivel C5-C6 (Tabla 7). Aquí se observa como el grupo 2 alcanza una estabilización considerablemente mayor al grupo 3, cuando fueron evaluados con la fijación posterior únicamente (Ángulo  $-0.94$ ,  $p=0.01$ ). La diferencia entre estos dos grupos es de  $0.93^\circ$  grados, lo que para fines clínicos no es considerable aunque así lo sea estadísticamente. Durante estas pruebas, el grupo 3 mostró una variabilidad en los resultados, como es notorio en la Gráfica 1C, en donde se observa una desviación estándar mayor que los otros grupos en las diferentes pruebas de flexibilidad.

Durante la condición combinada, el grupo 1 superó a los otros dos grupos básicamente en todas las pruebas, específicamente en el nivel C5-C6. Aquí mismo, destaca que el grupo 3 fue superado en todas las pruebas y también mostró una SD variable (Tabla 7, Gráfica 1D). Hablando específicamente de la RA el grupo 1 Vs. grupo 3, mostró una diferencia de ángulo de  $-0.11$  con  $p=0.03$ , estadísticamente significativo, pero sin relevancia clínica, ya que los dos grupos mostraron un buen grado de estabilidad.

El nivel C6-C7 mostró resultados de flexibilidad y SD similares entre los grupos. (Tabla 8, Gráfica 2)

En la comparación entre los diferentes grupos solo destaca la fijación posterior, entre los grupos 1 y 2 durante la RA, con una diferencia de ángulo de  $-0.36^\circ$  grados y  $p=0.02$ . Sin embargo, clínicamente esta diferencia no es relevante ya que es menor a un grado de rotación, lo cual no representa un problema en el resultado de una cirugía.

Es evidente que el grupo 3 presentó mayor diferencia en el nivel C5-C6 que en el C6-C7, al compararse con los otros dos grupos. Es posible que en el primero de éstos, los pedículos pudieran haber sido dañados con los mismos tornillos. Lo cual es factible por las dimensiones menores de los pedículos de C5 en relación a niveles inferiores. Este punto es importante porque ejemplifica como la estabilidad del nivel se puede ver afectada, usando el mismo tipo de tornillo en diferentes niveles, en donde la relación tornillo-pedículo no es adecuada. No existe reporte de estudios en donde se muestre una relación tornillo-pedículo ideal. Realizar un estudio como éste sería interesante para establecer parámetros más específicos de selección de tornillos de acuerdo al diámetro del pedículo evaluado por tomografía.

En el segmento C5-C7, los 3 grupos mostraron comportamientos similares durante todas las pruebas. Al compararse los grupos entre sí, se observaron diferencias estadísticamente significativas en la condición combinada, esta diferencia fue durante la RA entre los grupos 1 vs. 3 y 2 vs. 3 (Tabla 9, Gráfica 3). Estas diferencias, al igual que en lo mencionado previamente, no son relevantes clínicamente por tener un rango de movimiento mínimo.

Al agregar una fijación anterior a cada uno de los grupos, ellos mostraron también un mayor grado de estabilidad, pero de características similares en los tres grupos. La combinación de fijación posterior mas una placa anterior con injertos óseos convirtió a una columna inestable en una columna rígida con gran estabilidad, y de un rango de movimiento menor de  $1^\circ$  grado en todos los grupos. Esta combinación brinda el mejor resultado<sup>5</sup> y sería lo ideal para asegurar la estabilidad, sin embargo el costo beneficio es una limitante en este caso. Ambos sistemas tienen

un alto costo y tendría que ser evaluada su colocación simultánea y no abusar de esta combinación indiscriminadamente.

Como se mencionó inicialmente, se han realizado estudios de fijación de columnas cervicales de 360° en el borrego, pero en este estudio la fijación posterior se realizó con cable. Así, la fijación posterior con cable y la anterior con placa, demostró ser tan eficaz como la fijación con tornillos pediculares más placa anterior<sup>13</sup>. Realizar un estudio similar en columnas cervicales humanas sería importante, ya que un resultado similar al de este estudio favorecería a aquellos pacientes que no pueden pagar por un sistema de fijación de alto costo, como lo es la fijación con tornillos de cualquier tipo. Especialmente en países en vías de desarrollo como el nuestro.

## Conclusiones:

Con los resultados obtenidos, se puede concluir que:

- A) El riesgo técnico-quirúrgico para aplicar ó colocar un tornillo pedicular en los niveles C5 ó C6, no es equivalente al grado de fijación o estabilidad que obtenemos, comparado con un riesgo menor al colocar un tornillo en la masa lateral en estos mismos niveles, con un resultado similar en la estabilidad de la columna.
- B) El mismo riesgo técnico-quirúrgico de un tornillo pedicular, pero esta vez colocado a un nivel C7, y el grado de estabilidad obtenido, no es equivalente. Si tomamos en cuenta que la aplicación de un gancho laminar, a nivel de C7, obtuvo resultados similares al tornillo pedicular en el mismo sitio; por lo que se facilita tomar la decisión de colocar un sistema de menor riesgo, con la misma eficacia.
- C) La fijación de 360° grados, es decir, con placa anterior más cualquier tipo de sistema posterior empleado en este estudio, ofrece una estabilidad similar.
- D) Cualquier tipo de sistema de fijación posterior, empleados en este estudio, superará la estabilidad mostrada por un sistema de fijación anterior.
- E) La fijación anterior por sí sola, ofrece resultados más variables.

Al analizar los resultados obtenidos con los diferentes grupos, el grupo 3 no mostró los resultados esperados. Como se mencionó previamente, se cree que esto sea por lesiones en los pedículos, que no hayan sido detectadas a simple vista. Aunque se tienen controles radiográficos de los especímenes en cada condición, estos son en Antero-posterior y Lateral, en donde no se puede apreciar el trayecto del tornillo en posición latero-medial. Esta valoración requiere de tomografía computarizada, la cual no se realizó por cuestiones de presupuesto.

En términos generales, en la aplicación clínica, uno como cirujano tiene que valorar cuidadosamente la columna cervical por fijar, analizar la habilidad quirúrgica que se tiene, y la experiencia que se posee aplicando un sistema de fijación. Así como, tener en mente las ventajas

y desventajas de cada uno de ellos, para decidir que tipo de instrumentación se le ofrecerá al paciente pensando con cual pueda obtener mayor beneficio y menor riesgo quirúrgico.

### **Bibliografía**

1. Abumi K, Itoh H, Taneichi H, Kaneda K. Transpedicular screw fixation for traumatic lesion of the middle and lower cervical spine: Description of the techniques and preliminary report. **J Spinal Disord** 1994;7:19-28
2. Abumi K, Kaneda K. Pedicle screw fixation for nontraumatic lesion of the cervical spine. **Spine** 22: 1853-63, 1997.
3. Adams MS, Crawford NR, Chamberlain RH, Sonntag VKH, Dickman CA: Biomechanical comparison of anterior cervical plating and combined anterior/lateral mass plating. **The Spine Journal** 1(3):166-170, 2001.
4. Allen BL Jr., Ferguson RL, Lehmann TR, O'Brien RP: A mechanistic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. **Spine** 7(1):1-27, 1982.
5. Bartolomei JC, Das K, Crawford NR, Chamberlain RH, Park SC, Lynch JJ, Dickman CA, Sonntag VKH: Cervical pedicle screws/plates or lateral mass screws/plates combined with anterior plating: A biomechanical *in vitro* study. American Association of Neurological Surgeons, 71<sup>st</sup> Annual Meeting, Chicago, Illinois, April 6-11, 2002.
6. Crawford NR, Brantley AGU, Dickman CA, Koeneman EJ: An apparatus for applying pure nonconstraining moments to spine segments *in vitro*. **Spine** 20(19):2097-2100, 1995.
7. Crawford NR, Dickman CA: Construction of local vertebral coordinate systems using a digitizing probe: Technical note. **Spine** 22(5):559-563, 1997.
8. Crawford NR, Peles JD, Dickman CA: The spinal lax zone and neutral zone: Measurement techniques and parameter comparisons. **Journal of Spinal Disorders** 11(5):416-429, 1998.
9. Crawford NR, Yamaguchi GT, Dickman CA: A new technique for determining 3-D joint angles: The tilt/twist method. **Clinical Biomechanics** 14(3):153-165, 1999.
10. Ebraheim NA, Xu R, Stanescu S, Yeasting RA: Anatomic relationship of the cervical nerves to the lateral masses. **Am J Orthop** 28: 39-42, 1999.
11. Errico T, Uhl R, Cooper P, et al: Pullout strength comparison of two methods of orienting screw insertion in the lateral masses of the bovine cervical spine. **J Spine Disord** 5: 459-463, 1992.
12. Jones EL, Heller JG, Silcox DH, Hutton WC: Cervical pedicle screws *versus* lateral mass screws: Anatomic feasibility and biomechanical comparison. **Spine** 22(9):977-982, 1997.

13. Kotani Y, Cunningham BW, Abumi K, McAfee PC: Biomechanical analysis of cervical stabilization systems: An assessment of transpedicular screw fixation in the cervical spine. **Spine** 19(22):2529-2539, 1994.
14. Smith G, Robinson R: The treatment of certain cervical spine disorders by anterior removal of the intervertebral disc and interbody fusion. **J Bone Joint Surg (Am)**: 607-23,1958.
15. Panjabi MM: Biomechanical evaluation of the spinal fixation devices: 1. A conceptual framework. **Spine** 13: 1129-34, 1988