



Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas
Hospital Central del Estado de Chihuahua



Tesis de Posgrado
Para Obtener el Título de la Especialidad en Traumatología y Ortopedia

Análisis biomecánico de múltiples placas segmentarias para las fusiones cervicales anteriores largas

Presenta:
Dr. Fernando Rios Mendoza

Asesores de Tesis:
Dra. Maria Elena Martinez Tapia
Dr. Jose Alfredo Ramirez Peinado

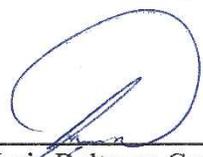
Chihuahua, Chihuahua. Junio de 2023



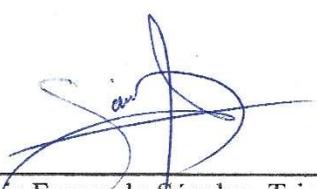
Dr. Said Alejandro de la Cruz Rey
Secretario de Investigación y Posgrado de la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas
de la Universidad Autónoma de Chihuahua



Dra. Megny Gonzalez Ramirez
Jefa de Enseñanza del Hospital Central del Estado



Dr. Luis Baltazar Garcia Rodriguez
Titular de Especialidad de Traumatología y Ortopedia del Hospital Central del Estado de
Chihuahua



Dr. Luis Fernando Sánchez Trimmer
Jefe de Servicio de Traumatología y Ortopedia del Hospital Central del Estado de
Chihuahua



Dr. Jose Alfredo Ramirez Peinado
Director de Tesis



Dra. María Elena Martínez Tapia
Asesor de Tesis

Índice

1. Introducción.....	4
1.1. Marco teórico.....	5
1.2. Antecedentes.....	7
2. Planteamiento del problema.....	7
3. Justificación.....	8
4. Hipótesis.....	9
5. Objetivos.....	9
5.1. Objetivo General.....	9
5.2. Objetivos Específicos.....	9
6. Materiales y métodos.....	10
6.1. Diseño de estudio.....	10
6.2. Población de estudio.....	10
6.3. Límites de estudio.....	10
6.4. Tamaño de muestra.....	10
6.5. Criterios de selección.....	11
6.6. Operacionalización de las variables.....	11
6.6.1. Variable independiente.....	11
6.6.2. Variable dependiente.....	12
6.7. Técnicas y procedimientos.....	12
6.7.1. Reclutamiento y selección.....	12
6.7.2. Descripción de técnicas y procedimientos empleados.....	14
7. Análisis estadístico.....	18
8. Consideraciones éticas.....	19
9. Recursos.....	19
9.1. Recursos humanos.....	19
9.2. Recursos materiales.....	20
9.3. Recursos financieros.....	20
10. Resultados.....	20
11. Conclusiones.....	23
12. Bibliografía.....	23

1. Introducción

La Discoidectomía con Fusión Cervical Anterior (DFCA) multinivel es uno de los procedimientos utilizados con mayor frecuencia para patología cervical¹⁻³. Sin embargo, históricamente se ha documentado altas tasas de pseudoartrosis, falla mecánica^{1,2,5,8,10,11} y disfagia⁴. La arquitectura tradicional de estas fijaciones se conforma por una única placa larga con cajas intersomáticas o injerto óseo estructurado¹⁻³, mientras que recientemente, se han explorado las opciones de utilizar múltiples placas segmentarias individuales o implantes placa-caja “todo-en-uno” como sistema de fijación^{1-3,6-9}. Las fusiones cervicales largas (3 o más niveles) instrumentadas con una única placa larga tienden a fallar con mayor frecuencia en el nivel más caudal, llevando al paciente a una cifosis cervical y no-uniión, entre una amplia gama de resultados no deseados^{2,5,8-11}. Estas complicaciones están influenciadas en su mayor parte por las cargas compartidas y la transferencia de estrés de los niveles cefálicos al nivel más caudal a través de estas placas largas^{5,7-9}. Se ha hipotetizado que el uso de implantes segmentarios individuales como método de fijación para fusiones cervicales anteriores largas puede reducir esta transferencia de cargas y estrés al nivel más caudal de la reconstrucción o fijación, así reduciendo el riesgo y las tasas de falla posterior a discoidectomías con fusiones cervicales anteriores largas. Al día de hoy, ningún estudio se ha realizado para documentar o cuantificar el beneficio biomecánico de múltiples placas segmentarias individuales sobre el uso tradicional de una única placa cervical larga para las fusiones cervicales de 3 o más niveles.

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Discoidectomía con fusión cervical anterior

La discoidectomía con fusión cervical anterior (DFCA) es uno de los procedimientos realizados con mayor frecuencia en cirugía de columna. Consiste en realizar, mediante un abordaje anterior a la columna cervical, una discoidectomía total con el fin de exponer el hueso cortical de la placa terminal cefálica de la vertebra caudal a fusionar, y de la placa terminal caudal de la vertebra cefálica a fusionar, para posteriormente instrumentar, o instalar los implantes, que van a realizar la fijación de ambas vertebra a fusionar. Esta fusión o artrodesis se consigue mediante la combinación del uso de injerto alógeno o autógeno, y la fijación o inmovilización otorgada por los implantes, proporcionando así los factores biológicos y mecánicos necesarios para la formación de hueso nuevo que, con el tiempo y la adecuada proporción y calidad de estos factores biológicos y mecánicos, generará un puente óseo entre ambas vertebra para convertirse después en una sola unidad ósea o bloque de hueso.

La DFCA multinivel es un procedimiento que involucra más de un nivel o disco intervertebral, considerándose una DFCA larga más de 3 niveles⁸. Estas DFCA multinivel son utilizadas como tratamiento para múltiples padecimientos de la columna cervical como lo son las patologías degenerativas, traumáticas, tumorales y deformidades, entre otras¹⁻³. A pesar de ser uno de los procedimientos más utilizados para patología cervical, históricamente se ha documentado altas tasas de complicaciones, principalmente la disfagia⁴, la no-uni3n o pseudoartrosis, fracturas, cifosis transicional y falla mecánica de la fijaci3n^{1,2,5,8,10,11}, siendo esta última la de mayor frecuencia. Estas complicaciones est3n influenciadas en su mayor

parte por el estrés o fuerzas compartidas y la transferencia de estas cargas o fuerzas de los niveles cefálicos al nivel más caudal a través de estas placas largas^{5,7-9}.

1.1.2. Implantes

La falla mecánica está relacionada, en la mayoría de las veces, con los implantes utilizados para la fijación. La arquitectura tradicional de estas fijaciones cervicales anteriores multinivel se ha conformado tradicionalmente por una única placa larga con injerto óseo estructurado o en cajas intersomáticas¹⁻³, mientras que recientemente, se han explorado las opciones de utilizar múltiples placas segmentarias individuales o implantes placa-caja “todo-en-uno” como sistema de fijación^{1-3,6-9} en busca de identificar qué arquitectura o configuración de implantes provee mayor estabilidad y rigidez a la fijación.

1.1.3. Conceptos básicos del módulo de rigidez

1.1.3.1. Esfuerzo

El esfuerzo es una fuerza que actúa sobre el área unitaria en la que se aplica, existiendo esfuerzos de tensión, flexión, compresión y cortante.

1.1.3.2. Rigidez

La rigidez en la ingeniería se define como la capacidad de resistencia de un cuerpo a deformarse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie.

1.1.3.3. Torque

En la mecánica, se denomina momento de una fuerza o torque a una magnitud vectorial obtenida como producto del vector de posición del punto de aplicación de la fuerza

multiplicado por el vector de fuerza. También se le conoce como momento dinámico, o simplemente momento.

1.2. Antecedentes

Existen múltiples trabajos^{1-3,6-9} que han estudiado placas segmentarias individuales o implantes placa-caja “todo-en-uno” como sistema de fijación en discoidectomía con fusiones cervicales anteriores y sus resultados funcionales a corto plazo, tales como tiempo total de cirugía, disfagia y días de estancia intrahospitalaria. Scholz y colegas realizaron un estudio biomecánico donde compararon la estabilidad de los implantes “todo-en-uno” contra aquellos suplementados con una placa cervical anterior en discoidectomías con fusión cervical anterior de un solo nivel. Ellos demostraron una mayor movilidad en implantes “todo-en-uno” en comparación de las discoidectomías con fusión cervical anterior estándar suplementada con una placa cervical anterior, pero no hubo una diferencia estadísticamente significativa en la estabilidad global traducida directamente a la rigidez de la arquitectura de la fijación.

2. Planteamiento del problema

La discoidectomía con fusión cervical anterior es uno de los procedimientos utilizados con mayor frecuencia para el tratamiento de la Enfermedad Degenerativa de Disco cervical. Sin embargo, a pesar de su frecuencia, las fusiones cervicales anteriores largas (i.e. de más de 3 o más niveles) están asociadas a mayores tasas de complicaciones. Estas complicaciones pueden afectar de manera negativa en los resultados clínicos o pueden llegar a requerir una cirugía de revisión que resulta en el uso excesivo de recursos. Además,

presentan riesgos inherentes de las potenciales complicaciones asociadas a los respectivos abordajes cervicales anteriores extensos para la adecuada colocación de placas largas.

Las posibles soluciones a estos problemas se han enfocado a abordajes más limitados, menos invasivos y más eficientes, así como el uso de implantes que no puenteen todos los segmentos fusionados, aplicándose individualmente en cada disco o nivel intersomático de la columna cervical. Así, biomecánicamente no existe la transmisión ni las cargas compartidas del segmento más proximal a el más distal. Esta fijación individualizada de cada nivel se ha logrado al utilizar múltiples placas segmentarias individuales o implantes con fijación integrada “todo-en-uno”. Por este motivo se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué método de fijación entre una “única placa larga “ o “múltiples placas segmentarias” presenta mayor retención de rigidez en la interfase hueso-implante en las discoidectomías con fusiones cervicales anteriores largas?

3. Justificación

Este estudio compara las propiedades biomecánicas de múltiples placas segmentarias contra una única placa larga, en particular con respecto al nivel más caudal el cual es la zona más propensa a la falla en fusiones cervicales anteriores largas (≥ 3 niveles), ya que el aumento del estrés en el segmento caudal puede tener un impacto negativo en complicaciones a largo plazo tales como enfermedad del segmento adyacente, cifosis transicional, mala alineación cervical, falla en la fijación y resultados clínicos no deseados.

4. Hipótesis

El uso de múltiples placas segmentarias individuales tiene una mayor capacidad para retener rigidez que una única placa larga en fusiones cervicales anteriores largas.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Demostrar que múltiples placas segmentarias presenta mayor retención de rigidez en la interfase hueso-implante en las discoidectomías con fusiones cervicales anteriores largas comparada con una única placa larga

5.2. Objetivos Específicos

1. Comparar la rigidez inicial y la rigidez final posterior a un protocolo de fatiga en las discoidectomías con fusiones cervicales anteriores largas en modelos artificiales de columna cervical, utilizando múltiples placas segmentarias como método de fijación.

2. Comparar la rigidez inicial y la rigidez final posterior a un protocolo de fatiga en las discoidectomías con fusiones cervicales anteriores largas en modelos artificiales de columna cervical, utilizando una única placa larga como método de fijación.

3. Comparar la rigidez inicial y la rigidez final posterior a un protocolo de fatiga en las discoidectomías con fusiones cervicales anteriores largas en especímenes de columna cervical cadavérica, utilizando múltiples placas segmentarias como método de fijación.

4. Comparar la rigidez inicial y la rigidez final posterior a un protocolo de fatiga en las discoidectomías con fusiones cervicales anteriores largas en especímenes de columna cervical cadavérica, utilizando una única placa larga como método de fijación.

6. Materiales y métodos

6.1. Diseño del estudio

El presente es un estudio de investigación básica de tipo biomecánico practicado en cadáveres el cual comparó la capacidad para retener rigidez de múltiples placas segmentarias individuales contra la tradicional placa única larga en discoidectomías con fusiones cervicales anteriores largas. Con el objetivo de realizar un análisis de poder para calcular el tamaño de la muestra cadavérica, y con el fin de estudiar ambos métodos de fijación en un ambiente más controlado, se realizó un estudio piloto en modelos artificiales de columnas cervicales.

6.2. Población de estudio

El estudio se realizó en Scripps Clinic en el centro Shiley Center for Orthopaedic Research and Education (SCORE) en San Diego, California donde se utilizaron 8 modelos artificiales de columnas cervicales (Sawbones) y 12 especímenes de columnas cervicales de cadáver humano congelado en fresco para estabilizar de C4 a C7 con una única placa larga o con múltiples placas segmentarias individuales.

6.3. Límites de estudio

Marzo del 2020 a mayo del 2021.

6.4. Tamaño de muestra

De acuerdo con el tamaño de muestra calculado en base al poder estadístico, considerando que se trata de un protocolo de investigación básica, se consideró un tamaño

de muestra de 12 especímenes de columna cervical de cadáver humano congelado en fresco. Para estandarizar el procedimiento y con el fin de controlar la variabilidad en la calidad del hueso y tejido conectivo cadavérico que pudieran actuar como confundidor en los resultados, se utilizaron 8 modelos artificiales de columnas cervicales, previo al manejo de especímenes cadavéricos.

6.5. Criterios de selección

Se incluyeron los especímenes cadavéricos disponibles de los cuales se realizó una revisión del historial médico de cada donador con el fin de excluir a los donadores con antecedente de trauma, malignidad o antecedentes de enfermedades metabólicas que pudieran comprometer las propiedades mecánicas de la columna cervical.

6.6. Operacionalización de las variables

6.6.1. Variable independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN	INDICADOR	TIPO DE VARIABLE
Método de Fijación	Tipo de implante utilizado para la instrumentación cervical anterior	1. Única placa larga 2. Múltiples placas segmentarias	Variable cualitativa nominal

6.6.2. Variable dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN	INDICADOR	TIPO DE VARIABLE
Rigidez absoluta inicial	Medida que determina el torque necesario para que exista deformación en la interfase hueso-implante previo al protocolo de fatiga	Newton-Metro (NM)	Cuantitativa continua
Rigidez absoluta final	Medida que determina el torque necesario para que exista deformación en la interfase hueso-implante posterior al protocolo de fatiga	Newton-Metro (NM)	Cuantitativa continua
Retención de la rigidez	Rigidez remanente entre la interfase del hueso o modelo artificial y el implante, posterior al protocolo de fatiga, comparada con la rigidez absoluta inicial	%	Cuantitativa continua

6.7. Técnicas y procedimientos

6.7.1. Reclutamiento y selección

Posterior a la revisión del expediente médico de cada donador, se solicitaron radiografías simples anteroposteriores y laterales y los especímenes que presentaron cualquier defecto físico visible o radiográfico (osteofitos, pérdida de altura de espacio intersomático o artrosis facetaria y uncovertebral) fueron excluidos y reemplazados. Se

obtuvo una tomografía simple de cada espécimen con el objetivo de valorar la densidad ósea midiendo las unidades Hounsfield mediante una medición de atenuación de una región-de-interés (i.e. *región-of-interest* o ROI) en el hueso trabecular de la vertebra C7 en tres cortes axiales y posteriormente se obtuvo el promedio de estos valores (Tabla 1).

Tabla 1. Unidades Hounsfield medidas en C7 en especímenes cadavéricos

Especímen	Única placa larga	Múltiples placas segmentarias
1	na*	na*
2	326	233
3	280	291
4	249	213
5	312	293
6	376	296
Promedio ± DE	309 ± 43	265 ± 35

na = no aplica
*TAC no disponible debido a restricciones por COVID

Los tres valores de las unidades Hounsfield se midieron en un corte axial cefálico a la placa terminal caudal, en el centro del cuerpo vertebral, y caudal a la placa terminal cefálica. La ROI se trazó lo más amplia posible dentro del cuerpo vertebral sin incluir hueso cortical, como las paredes laterales del cuerpo vertebral, las placas terminales o sobre áreas de atenuación heterogénea con el fin de evitar distorsión de las mediciones de atenuación.

Los especímenes se sometieron a una aleatorización por bloque permutado en 2 grupos, y se verificó la equivalencia de ambos grupos comparando los promedios de las unidades Hounsfield.

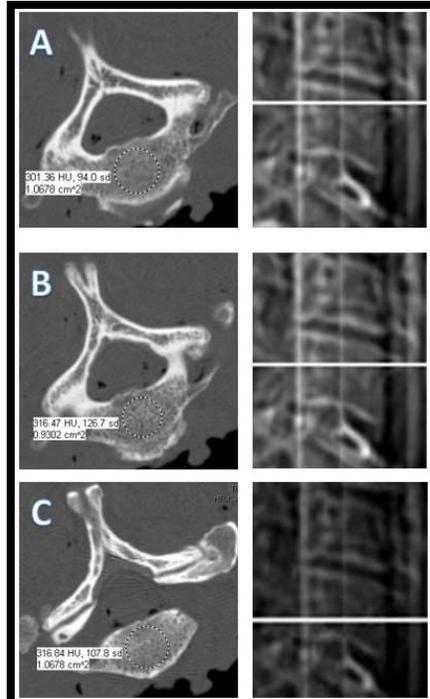


Figura 1. Técnica utilizada para obtener los valores medidos de las unidades Hounsfield en los cortes axiales (A) caudal a la placa terminal cefálica, (B) mitad del cuerpo vertebral, (C) cefálico a la placa terminal caudal.

6.7.2. Descripción de técnicas y procedimientos empleados

El resultado principal a analizar fue el porcentaje de reducción de la rigidez. Este se define como la rigidez remanente entre el hueso o modelo artificial y la instrumentación, posterior al protocolo de fatiga y comparada con la rigidez absoluta inicial. Todos los especímenes fueron montados en un brazo robótico multiaxial utilizando los siguientes protocolos de fatiga:

Modelos tipo Sawbone

Uno de los dos tipos de fijación cervical anterior, única placa larga o múltiples placas segmentarias individuales, fueron instalados en modelos (n=8) de espuma (Sawbone) de columna cervical. Los modelos fueron modificados de tal forma que sólo se conservó C4 a C7 y posteriormente se cementaron con adhesivo epóxico 3M tipo Scotch-Weld (sistema epoxi flexible de dos partes que se cura a temperatura ambiente, Figura 2).

Figura 2.



Modelos artificiales de columna cervical (A. única placa larga, B. múltiples placas segmentarias) preparados, instrumentados y cementados previos al protocolo de fatiga.

El polo de C4 del modelo de espuma cementado fue fijado a la cabeza del brazo del robot multiaxial Universal Robotics UR6 (Figura 3) y posteriormente se utilizó un digitalizador MicroScribe para determinar las coordenadas del centro del cuerpo vertebral de C7.

Este punto se utilizó como el centro de rotación para las pruebas. El protocolo de fatiga utilizado es como se describe a continuación:

- 1500 ciclos de flexión sagital, flexión lateral y rotación axial para un rango total de 3° de rotación por movimiento
- 250 ciclos de rotación axial para un rango total de 5° de rotación

- 250 ciclos de rotación axial para un rango total de 7° de rotación
- 250 ciclos de rotación axial para un rango total de 10° de rotación
- 1250 ciclos de rotación axial para un rango total de 12° de rotación

Los especímenes fueron inspeccionados de forma visual y fotografiados antes y después del protocolo de fatiga. Posteriormente se documentaron los momentos y la fuerza total a través de la arquitectura de la fijación durante la duración del protocolo de fatiga utilizando el sensor de fuerza y torque FT300 de Universal Robotics.

Figura 3.

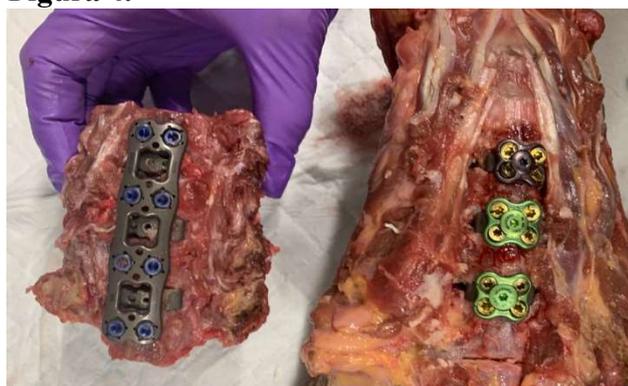


Modelo artificial de columna cervical preparado, instrumentado, cementado y montado en el robot multiaxial Universal Robotics UR6 durante el protocolo de fatiga.

Especimen cadavérico:

Los especímenes cadavéricos de columna cervical fueron seleccionados de tal forma que los donadores no tuvieran antecedentes de lesiones en columna cervical, tumoraciones o alguna otra condición que pudiera afectar la calidad o densidad del hueso. Una vez seleccionados los donadores, se disecaron los especímenes de tal forma que sólo se conservó la anatomía ósea de C4 a C7 manteniendo la integridad del complejo ligamentario posterior, así como el ligamento longitudinal posterior y las cápsulas articulares (Figura 4).

Figura 4.



Especímenes de columnas cervicales de cadáver humano congelado en fresco instrumentadas con una única placa larga (izquierda) o múltiples placas segmentarias individuales (derecha).

Esta disección se llevó a cabo por un Fellow de cirugía de columna. Una vez que se obtuvo el espécimen cadavérico se dejó descongelando a temperatura ambiente por 12 horas para posteriormente identificar las apófisis espinosas de C2 y C7 y después reseca el resto del espécimen. Al contar con la columna cervical aislada se procedió a disecar y reseca con bisturí y gúvea toda la musculatura paravertebral posterior y cervical anterior, preservando el complejo discoligamentario. Posteriormente fueron instrumentados de manera aleatoria

con una única placa larga (n=6) o con múltiples placas segmentarias individuales (n=6). Se colocaron dos tornillos en la región anterior de la placa terminal caudal de C7 y otros dos tornillos en la región anterior de la placa terminal cefálica de C4 para posteriormente cementar ambas vertebrae utilizando cemento óseo de polimetilmetacrilato.

Una vez fraguado el cemento, se montó el espécimen ya instrumentado al simulador articular robótico AMTI-VIVO Joint Simulator donde se utilizó el digitalizador MicroScribe para determinar las coordenadas del centro del cuerpo vertebral de C7. Este punto fue utilizado como el centro de rotación durante el estudio. El simulador articular robótico se programó para que los especímenes pudieran experimentar las siguientes fuerzas: $\pm 3\text{NM}$ en el plano axial, $\pm 3\text{NM}$ en flexión sagital y $\pm 2\text{NM}$ en flexión coronal. Los especímenes fueron sometidos posteriormente a un protocolo de fatiga aplicando 1,500 ciclos de flexión sagital, flexión lateral y rotación axial.

7. Análisis estadístico

Los datos fueron recolectados en formato de Excel. Los resultados fueron analizados en cada protocolo de fatiga utilizando análisis de varianza (ANOVA) de un sentido para determinar si la retención de rigidez fue diferente entre múltiples placas segmentarias individuales y la única placa cervical en cada uno de los tres movimientos. Los porcentajes de reducción en rigidez de cada espécimen fueron normalizados por el promedio de las unidades Hounsfield de C7 y se realizó una prueba-de-T de muestras emparejadas para detectar diferencias estadísticamente significativas en la pérdida de la rigidez entre la medición basal y posterior de cada protocolo de fatiga. Los valores P menores a 0.05 se consideraron estadísticamente significativos.

8. Consideraciones éticas

El presente protocolo de investigación fue autorizado por el Comité de Ética en Investigación y la Mesa Directiva Institucional de Scripps Clinic Medical Group (SCMG). Este protocolo de investigación fue fundado en parte por el premio SCMG Research Award. Entiendo que el propósito de dicho premio es para promover actividades de investigación entre los miembros de SCMG. El patrocinio otorgado a las propuestas aprobadas es solamente para estos propósitos. El patrocinio no se solicitó ni fue aprobado para el propósito de asistir en la investigación, desarrollo, o para promover la comercialización de algún producto, implante, tecnología o fármaco. Declaro que el investigador principal, coinvestigadores o algún miembro de la familia del investigador principal o de los coinvestigadores, no tenemos interés financiero en el resultado del presente protocolo de investigación. El patrocinio no está dirigido para apoyar la investigación o el desarrollo de actividades de compañías o entidades relacionadas a una potencial comercialización de algún producto, implante, tecnología o fármaco para cualquier aplicación médica.

Hago constar que ningun familiar o yo tenemos algún interés financiero, actual o en un futuro anticipado, en los resultados expuestos en este protocolo de investigación. Esto incluye algún interés financiero en una potencial autorización, comercialización o marketing de algún producto, implante, tecnología o fármaco para cualquier aplicación médica.

9. Recursos

9.1. Recursos Humanos: Austin Williams, BS. Ingeniería eléctrica; Erik Dorthe, MS. Ingeniería biomédica; Darryl D'Lima, MD, PhD. Bioestadística.

9.2 Recursos Materiales

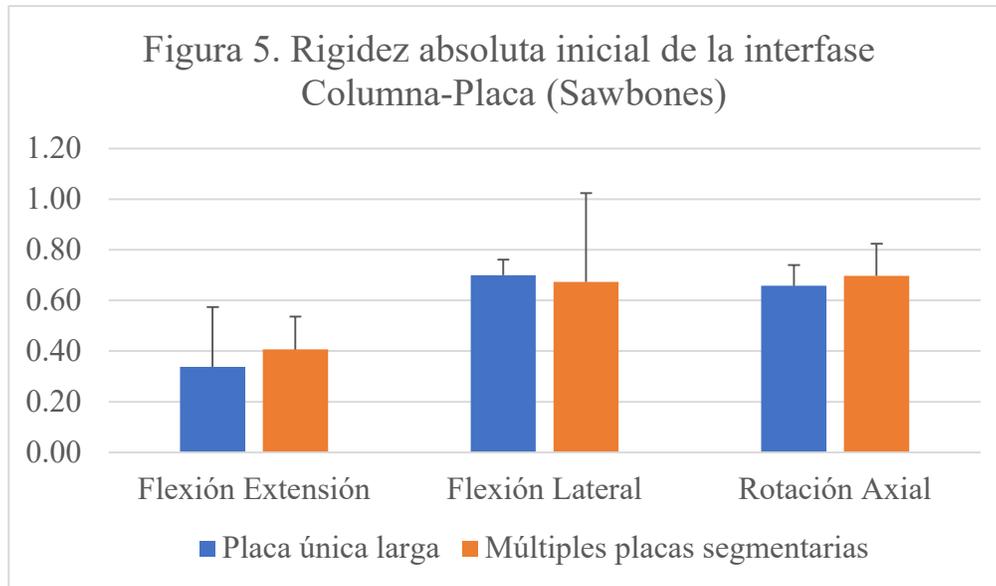
Material	Costo
30 placas segmentarias individuales con sus 4 tornillos multidireccionales y un perno de bloqueo	\$1,080 USD x 30 = \$32,400 USD
10 placas cervicales de 3 niveles con sus 8 tornillos autobloqueantes	\$1,350 USD x 10 = \$13,500 USD
9 cajas intersomáticas	\$800 USD x 9 = \$ 7,200 USD
10 modelos artificiales de espuma de columna cervical (Sawbone)	\$83 USD x 10 = \$830 USD
12 especímenes cadavéricos de columna cervicotorácica	\$5,000 USD x 12 = \$60,000 USD

9.3. Recursos financieros

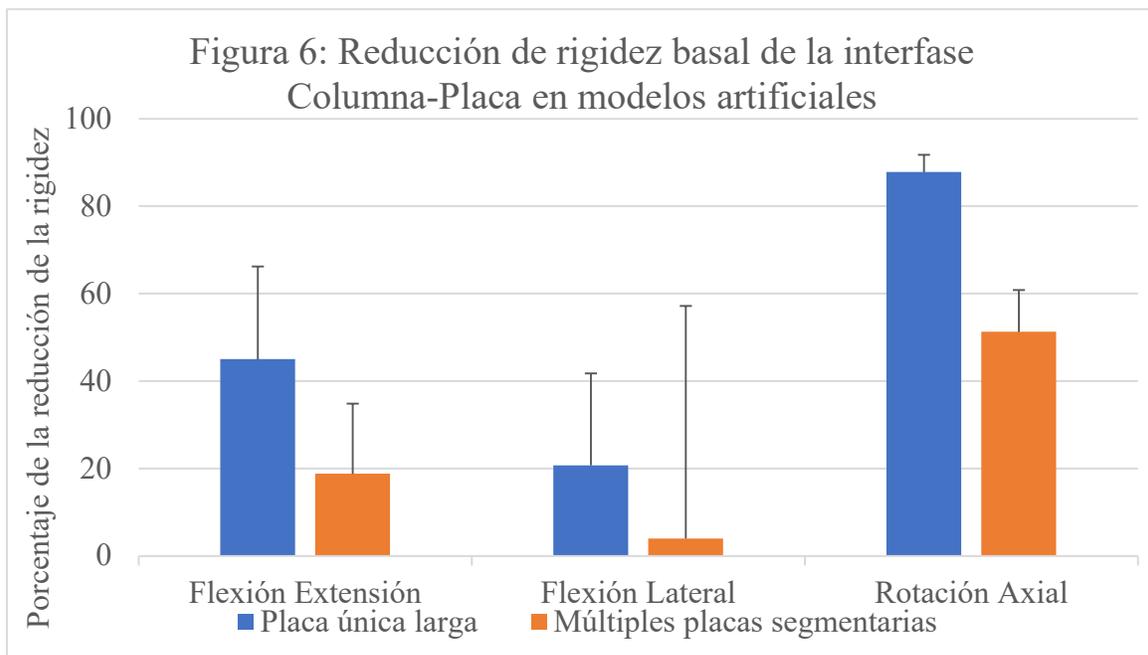
El presente protocolo de investigación fue fundado en parte por el premio SCMG Research Award y por San Diego Spine Foundation y los implantes fueron donados por SeaSpine.

10. Resultados

El promedio de la rigidez absoluta inicial en los modelos artificiales de columna cervical no fue significativamente diferente entre ambos grupos ($p=0.86$, Figura 5).



La retención de la rigidez en la rotación axial fue significativamente mayor ($p=0.0001$, Tabla 2) en el grupo de las múltiples placas segmentarias individuales evidenciando un $51\% \pm 10\%$ de reducción de la rigidez absoluta inicial contrastada con la rigidez documentada al final del protocolo de fatiga, comparado con una reducción del $88\% \pm 4\%$ en el grupo de la única placa larga (Figura 6).



La media de los promedios de las mediciones de unidades Hounsfield de C7 en el grupo de la única placa larga fue de 309 ± 43 y de 265 ± 35 en el grupo de las múltiples placas segmentarias individuales. Estos valores no fueron significativamente diferentes entre ambos grupos ($p=0.16$). Posterior al término de los protocolos de fatiga, se normalizó cada porcentaje de la reducción de rigidez en cada uno de los tres movimientos, con el promedio de las mediciones de unidades Hounsfield de C7 de su respectivo espécimen, sin demostrar diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos y tipo de fijación (Tabla 3).

Tabla 2. Reducción de la rigidez basal de la interfase Columna-Placa en modelos artificiales

Movimiento	Única placa larga	Múltiples placas segmentarias	Valor <i>p</i>
Flexión-Extensión (% \pm DE)	45 ± 21	19 ± 16	0.2
Flexión Lateral (% \pm DE)	21 ± 21	4 ± 53	0.4
Rotación Axial (% \pm DE)	88 ± 4	51 ± 10	0.001

Tabla 3. Reducción de la rigidez basal de la interfase Columna-Placa en columnas cervicales cadavéricas normalizadas por unidades Hounsfield

Movimiento	Única placa larga	Múltiples placas segmentarias	Valor <i>p</i>
Flexión Extensión	0.02 ± 0.03	0.11 ± 0.07	0.08
Flexión Lateral	-0.001 ± 0.04	0.04 ± 0.07	0.34
Rotación Axial	0.04 ± 0.03	0.09 ± 0.05	0.09

Tabla 4. Reducción de la rigidez basal de la interfase Columna-Placa en columnas cervicales cadavéricas

Movimiento	Única placa larga	Múltiples placas segmentarias
Flexión Extensión	14 ± 19	25 ± 15
Flexión Lateral	5 ± 14	10 ± 16
Rotación Axial	17 ± 16	22 ± 10

11. Conclusiones

El uso de múltiples placas segmentarias individuales como método de fijación para discoidectomías con fusiones cervicales anteriores largas demostró retener con mayor efectividad la rigidez en el segmento caudal de la instrumentación que una única placa larga en los modelos artificiales de espuma de columna cervical. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos del brazo cadavérico. Estos resultados apoyan la necesidad de estudios clínicos que comparen ambas técnicas de fijación ya que los resultados encontrados en el presente estudio sugieren una superioridad en la fijación con múltiples placas segmentarias individuales en un ambiente más controlado como es en el estudio biomecánico de modelos artificiales. Y de comprobarse en estudios clínicos, esto puede llevar a un cambio en la práctica y guías internacionales para el manejo de patología cervical al disminuir las complicaciones relacionadas con una fusión cervical anterior larga, su abordaje y las consideraciones biomecánicas, además de potencialmente disminuir la necesidad de una cirugía de revisión y múltiples abordajes quirúrgicos adicionales posteriores a cada cirugía.

12. Bibliografía

1. Ji, Gyu Yeul, et al. "Stand-Alone Cervical Cages Versus Anterior Cervical Plates in 2-Level Cervical Anterior Interbody Fusion Patients." *Journal of Spinal Disorders and Techniques*, vol. 28, no. 7, 2015
2. Overley, Samuel C., et al. "A Matched Cohort Analysis Comparing Stand-Alone Cages and Anterior Cervical Plates Used for Anterior Cervical Discectomy and Fusion." *Global Spine Journal*, vol. 7, no. 5, 2017, pp. 394–399.

3. Panchal, Ripul R., et al. "A Clinical Comparison of Anterior Cervical Plates Versus Stand-Alone Intervertebral Fusion Devices for Single-Level Anterior Cervical Discectomy and Fusion Procedures." *World Neurosurgery*, vol. 99, 2017, pp. 630–637.
4. Rihn, Jeffrey A., et al. "What Is the Incidence and Severity of Dysphagia After Anterior Cervical Surgery?" *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, vol. 469, no. 3, 2010, pp. 658–665.
5. Sasso, Rick C., et al. "Early Reconstruction Failures After Multilevel Cervical Corpectomy." *Spine*, vol. 28, no. 2, 2003, pp. 140–142.
6. Scholz, Matti, et al. "A New Stand-Alone Cervical Anterior Interbody Fusion Device." *Spine*, vol. 34, no. 2, 2009, pp. 156–160.
7. Shimamoto, Norimichi, et al. "Biomechanical Evaluation of Stand-Alone Interbody Fusion Cages in the Cervical Spine." *Spine*, vol. 26, no. 19, 2001
8. Tong, Min-Ji, et al. "Zero-Profile Spacer Versus Cage-Plate Construct in Anterior Cervical Discectomy and Fusion for Multilevel Cervical Spondylotic Myelopathy: Systematic Review and Meta-Analysis." *World Neurosurgery*, vol. 104, 2017, pp. 545–553.
9. Yang, Lili, et al. "Stand-Alone Anchored Spacer Versus Anterior Plate for Multilevel Anterior Cervical Discectomy and Fusion." *Orthopedics*, vol. 35, no. 10, 2012
10. Song KJ, et al. "Prognosis of Hardware-Related Problems in Anterior Cervical Discectomy and Fusion With Cage and Plate Constructs". *World Neurosurgery*. 2019
11. Laratta J, et al. "Outcomes and Revision Rates Following Multilevel Anterior Cervical Discectomy and Fusion". *J Spine Surg*. 2018;4(3):496-500