



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS MÉDICAS, ODONTOLÓGICAS Y DE LA SALUD
INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACION
“LUIS GUILLERMO IBARRA IBARRA”

*“FRECUENCIA DE LA DEGENERACIÓN DEL SEGMENTO ADYACENTE EN CIRUGÍA DE
COLUMNA LUMBAR CON SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN TRANSPEDICULAR Y BARRAS
DE PEEK”*

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS MÉDICAS

PRESENTA:
LUIS JAVIER LOPEZ ULLOA

Director de tesis:
Dr. Alejandro Antonio Reyes Sánchez
Instituto Nacional de Rehabilitación

Ciudad de México, Febrero 2019



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.

Índice general

1. INTRODUCCION	3
2.- MARCO TEÓRICO.....	3
3.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	5
4. -ANTECEDENTES	5
5.- JUSTIFICACIÓN.....	7
6.- HIPÓTESIS	7
7.- OBJETIVO GENERAL.....	8
8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
9.- MATERIAL Y MÉTODOS	9
9.1.- Tipo de estudio:	9
Cuasiexperimental.	9
11. RESULTADOS	15
12. DISCUSIÓN	21
13.LIMITACIONES	
Las limitaciones para el estudio actual, fue un tamaño de muestra muy pequeño para ambos grupo, cuyos integrantes no fueron aleatorizado, así como un seguimiento corto, limitándose a dos puntos precisos de evaluación posoperatoria, 12 y 24 meses.	24
14. CONCLUSION	24
15. BIBLIOGRAFIA	25

1. INTRODUCCION

La degeneración de la columna lumbar es el resultado del envejecimiento natural, ambiental y/o predisposición genética del ser humano.(1) (2)

Cuando estos cambios degenerativos se relacionan a un grupo de patologías que alteran la movilidad e inestabilidad de la columna lumbar se conocen como espondilosis lumbar, entre ellas se incluyen a la espondilolistesis degenerativa y el conducto lumbar estrecho.

(3) El tratamiento quirúrgico estándar de dichas enfermedades en aquellos paciente que no mejoran con el tratamiento conservador, es la descompresión y fusión. (4) Sin embargo, al paso del tiempo se ha observado que en los segmentos adyacentes al nivel operado se produce un proceso patológico que recibe el nombre de degeneración del segmento adyacente (DSA). (5)

2.- MARCO TEÓRICO

La espondilolistesis degenerativa se define como el deslizamiento hacia adelante de una vértebra con respecto a la vértebra subyacente, sin solución de continuidad del arco posterior.(6) El nivel más frecuentemente afectado es la lumbar 4 y lumbar 5 (L4-L5) en el 73% de los pacientes. La prevalencia estimada es de 2-8%, predominantemente en mujeres.(7) Una clasificación simple y fácilmente aplicable de la espondilolistesis es el sistema de clasificación según Meyerding, en la cual se incluyen cuatro calificaciones de acuerdo al porcentaje de desplazamiento (Grados:I-IV). Sin embargo, se ha convertido en convención internacional que las vértebras completamente deslizadas (espondiloptosis) se definen como Grado V.(8)

El conducto lumbar estrecho es una condición degenerativa de los discos intervertebrales, del ligamento amarillo y las articulaciones facetarias que condicionan estrechamiento de los espacios alrededor de las estructuras neurovasculares de la columna vertebral: conducto espinal, receso espinal y foramen intervertebral.(8-10)

El síntoma predominante de la espondilosis lumbar es el dolor de espalda axial, o radicular, acompañado de alteraciones de la sensibilidad o de la fuerza. El diagnóstico de ambas enfermedades se realiza con la correlación clínica y los estudios de imagen como radiografías y estudio de imagen de resonancia magnética.

La descompresión sola o combinada con la artrodesis, ha sido ampliamente aceptada como tratamiento quirúrgico para las enfermedades degenerativas de la columna lumbar, tal como la Espondilolistesis degenerativa y el conducto lumbar estrecho(11, 12).

La técnica quirúrgica convencional con aplicación de cajas intervertebrales y estabilización mediante tornillos transpediculares (13-15) y barras rígidas de titanio (Ti), denominada fusión circunferencial o fusión rígida, ha promovido el incremento de la tasa de fusión espinal en las últimas décadas al restaurar la lordosis lumbar, proporcionar una tasa de unión más alta, con un número significativamente menor de reoperaciones, y demostrando una tendencia hacia un mejor resultado funcional al mejorar el índice de dolor lumbar y radicular (16). Este metal y sus aleaciones proporciona excelente resistencia a la corrosión, y baja densidad (aproximadamente 4700 kg / m³) 24. Sin embargo, una desventaja potencial del Ti es la falta de coincidencia en el módulo elástico (110GPa) comparada con la del hueso (10-30 GPa)(17), potencialmente conduciendo a un mayor estrés alrededor del implante y, junto con la inflamación local, causando degeneración ósea (18). Otra desventaja, no relacionada con la integración ósea, es la dificultad para confirmar el estado de fusión debido a su alta radiodensidad.

Lo anterior ha perpetuado la preocupación en cuanto a:

- Resultados clínicos.
- Complicaciones.
- Aumento de la rigidez del nivel instrumentado.
- Pseudoartrosis.
- Fracaso del implante.
- y la degeneración de los segmentos por arriba y por debajo de la instrumentación (segmentos adyacentes). (19)

La degeneración que se desarrolla en los segmentos móviles por arriba o por abajo del segmento fusionado, es conocida como degeneración del segmento adyacente (DSA), y que al presentar datos clínicos de lumbalgia y/o radiculopatía recibe el nombre de enfermedad del segmento adyacente (19).

3.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El tratamiento quirúrgico aceptado de la espondilolistesis degenerativa y el conducto lumbar estrecho, es la descompresión sola o combinada con artrodesis rígida, con barras y tornillos de Titanio (11, 12). Sin embargo, existen estudios que sugieren una mayor y precoz degeneración discal en los segmentos móviles por arriba o por abajo del segmento instrumentado(19), como resultado de un mayor estrés biomecánico posterior a la fusión lumbar(20), reportándose una incidencia desde 5.2 al 100%(21).

En la actualidad existen nuevos tratamientos quirúrgicos para la patología lumbar. La introducción de materiales hechos de poliéter-éter-cetona (PEEK), ofrece una alternativa en la patología degenerativa de la columna lumbar(22) al imitar la carga fisiológica en los niveles adyacentes y así poder disminuir la tasa de incidencia de enfermedad del segmento adyacentes.(23) Sin embargo, los estudios son limitados para poder afirmar una disminución en la frecuencias de DSA. Será que **¿La frecuencia de la degeneración del segmento adyacente será menor posterior a dos años de tratamiento del conducto lumbar estrecho con sistema de estabilización transpedicular y barras de PEEK comparado con el sistema rígido de Titanio?**

4. –ANTECEDENTES

La degeneración del segmento adyacente (DSA) se define como el proceso patológico del segmento espinal vecino a la instrumentación, identificado por cambios radiológicos anormales. Demográficamente existe una predominancia por el sexo femenino, con una relación 1:5. (7). La incidencia de DSA se ha reportado del 5.2 al 100% dependiendo de la serie consultada (21). Radcliff, K. E., y col, reportan una tasa de incidencia posoperatoria de hasta 3% por año(24).

Los factores de riesgo asociados con esta degeneración son: la falta de restauración del balance sagital, la fusión de 2 o más niveles, la fusión circunferencial y la obesidad. (25-32)

Aunque la fisiopatología de esta degeneración es incierta, se ha sugerido que se presenta como resultado de un mayor estrés biomecánico, el cual se encuentra aumentado después de la artrodesis lumbar(33-35), tal como lo demostró Shono y col. (20), en un estudio in vitro. En este experimento, se observó en los modelos vertebrales que la aplicación de la instrumentación segmentaria cambia el patrón de movimiento de los segmentos intactos residuales, y estos cambios en el patrón de movimiento aumentan

a medida que el nivel de artrodesis es más extenso, así como al aumentar la rigidez de la instrumentación. Este incremento del movimiento se combina con una elevada presión intradiscal, que se correlaciona nuevamente con el número de niveles artrodesados(36).

Con el objetivo de reducir la tasa de incidencia de la enfermedad del segmento adyacente así como de proporcionar factor protector a la columna vertebral de la sobrecarga mecánica que se impone con la fijación rígida, se han desarrollado una gran diversidad de dispositivos para preservar el movimiento(37-40). Sin embargo, la evidencia para apoyar el uso de cada uno de estos procedimientos quirúrgicos en la cirugía de la columna lumbar es limitada.(41)

La introducción de PEEK en la preparación de nuevos implantes (aprobados por la FDA en el año 2007), ofrece una alternativa más, en la patología degenerativa de la columna lumbar(22). PEEK, es un polímero conocido como poliéter-éter-cetona, que tiene las características de termoestabilidad y biocompatibilidad consintiendo en:

- a. Modular la elasticidad intermedia entre el hueso cortical y esponjoso.
- b. Reducir la carga de tensión interface hueso-tornillos.
- c. Gran resistencia respecto a su peso: Titanio (114 GPa) vs PEEK rígida (3,2 GPa).
- d. Promover la tasa de fusión del hueso intervertebral según la ley de Wolff.
- e. Tasa de cero corrosión, absorción de agua extremadamente baja.
- f. Propiedad de radio transparencia, lo cual reduce los artefactos, durante los estudios radiológicos(42, 43).

Los sistemas semirrígidos de poliéter-éter-cetona (PEEK) utilizados en cirugía de columna (el cual consiste en 2 barras de PEEK que remplazan las barras de titanio, fijadas a la columna a través de tornillos transpediculares), son diseñados con el fin de:

- a. Mejorar y compartir la carga axial.
- b. Promover la tasa de fusión.
- c. Reducir el estrés de la interfaz de los implantes, y por lo tanto, mantener el equilibrio segmentario. (23)

Estas propiedades, permiten que el sistema transpedicular con barras PEEK sean un material ideal para imitar la carga fisiológica en los niveles adyacentes, disminuyendo teóricamente la incidencia de enfermedad del segmento adyacente.(23) Chan Li y cols. realizaron una revisión sistemática sobre el rendimiento clínico y biomecánico de las barras de PEEK, en la cual incluyeron 23 estudio clínicos y de biomecánica. Ellos encontraron que la aparición de la enfermedad del segmento adyacente fue baja, con una distribución superior de carga compartida, una mayor amplitud de movimiento del segmento adyacente y una menor tensión en las interfaces barra-tornillo / tornillo-hueso en comparación con las barras de titanio. Sin embargo la calidad de los estudios clínicos fue baja con resultados confusos para confirmar mejores resultados con las barras PEEK que con las barras de titanio. (44)

5.- JUSTIFICACIÓN

La fusión lumbar conlleva a un riesgo significativo para el desarrollo de la DSA, con tasas de incidencia variables que van desde 5 hasta el 100%, con un 3% anual, dependiendo de los niveles de fijación, tiempo de evolución postoperatoria, fijación o no y el sistema de fijación utilizada; lo que involucra aumento a las tasas de morbilidad, con casos de re intervención quirúrgica posteriores y que habitualmente, cursan con resultados poco satisfactorios.

Los sistemas de estabilización semirrígida en modelos biomecánicos disminuyen el estrés físico tanto en el segmento adyacente como en el nivel instrumentado, pudiendo inferir en la disminución de la tasa de incidencia de la degeneración del segmento adyacente, condicionando un menor número de reintervenciones y mejores resultados clínicos en los pacientes operados de degeneración de la columna lumbar. Sin embargo los resultados no son concluyentes, por lo que se considera importante evaluar el impacto de este sistema de estabilización lumbar sobre la DSA en población mexicana y determinar así una opción más de tratamiento, con un efecto protector de la DSA.

6.- HIPÓTESIS

La frecuencia de la DSA en pacientes operados con estabilización transpedicular y barras PEEK es menor comparado al sistema de instrumentación rígida de titanio, a dos años de seguimiento.

7.- OBJETIVO GENERAL

Comparar si la frecuencia de la DSA en pacientes operados con un sistema de estabilización transpedicular y barras de PEEK en el tratamiento de espondilolistesis degenerativa con conducto lumbar estrecho versus el sistema de instrumentación rígida de titanio, a dos años de seguimiento.

8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar las imágenes radiográficas de columna lumbar en proyección lateral, neutra y dinámicas, pre y posoperatorias (a los 12 y 24 meses) en pacientes operados con un sistema de estabilización transpedicular y barras de PEEK en el tratamiento de espondilolistesis degenerativa con conducto lumbar estrecho versus el sistema de instrumentación rígida de titanio

A.

- a. Medir altura interdiscal anterior y posterior en el segmento superior e inferior al nivel operado.
- b. Medir el desplazamiento vertebral en el segmento superior e inferior al nivel operado.
- c. Angulo segmentario vertebral en el segmento superior e inferior al nivel operado.

B. Comparar los estudios de imagen resonancia magnética de columna lumbar pre y posoperatoria (a los 24 meses) en cortes axiales y sagitales:

- a. Medir grado de degeneración discal en el segmento superior e inferior al nivel operado (en relación a la clasificación de Pfirrmann).

9.- MATERIAL Y MÉTODOS

9.1.- Tipo de estudio:

Cuasiexperimental.

9.2.- Descripción del universo de trabajo:

Pacientes diagnosticados con Espondilolistesis degenerativa grado I de Meyerding con Conducto Lumbar Estrecho L4-L5; operados de abordaje lumbar posterior, descompresión, reducción y artrodesis con sistema transpedicular y barras PEEK o Titanio en el Instituto Nacional de Rehabilitación “Luis Guillermo Ibarra Ibarra” de Enero 2015 a Diciembre 2016.

9.3.- Criterios de inclusión:

- Edad menor a 65 años.
- Ambos sexos.
- Espondilolistesis degenerativa Grado I de Meyerding y Conducto Lumbar Estrecho. solo en el segmento vertebral L4-L5.
- Estudios de imagen con radiografías (Lateral en proyección neutral y dinámicas) e Imagen de resonancia magnética pre y postquirúrgicos de columna lumbar.
- Consentimiento informado.
- Índice de masa corporal (IMC) menor de 30.
- Pacientes sin cirugías previas en columna lumbar.
- Tabaquismo negado.

9.4.- Criterios de eliminación:

- Fracturas patológicas o traumáticas durante el seguimiento
- Pacientes que no deseen continuar con el seguimiento.

9.5.-Criterios de exclusión :

- Operados de artrodesis anterior o artroplastía de columna lumbar.
- Portadores de enfermedades sistémicas que afecten la evolución de la cirugía lumbar (cáncer, enfermedades metabólicas, osteoporosis).
- Portadores de enfermedades locales que afecten la evolución de la cirugía lumbar (gonartrosis, coxoartrosis, alteraciones biomecánicas de miembros inferiores).
- ASA IV.
- Embarazadas.
- Con degeneración discal en los segmentos adyacentes previa al procedimiento igual o mayor al grado 5 de Pfirrmann

9.6.- Tamaño de muestra:

Si la proporción de la incidencia esperada es de 3.0% anual con un nivel de confianza del 95% y un error de muestreo de 0.10 el tamaño mínimo de la muestra por año es de:

$$N = 4 Z\alpha^2 P (1-P) / W^2 = 4 (1.96)^2 0.03 (1-0.03) / (0.10)^2 = 45 \text{ pacientes por año} \times 2 \text{ años de período de intervenciones efectuadas (Enero 2015 a diciembre de 2016)} = 95 \text{ pacientes en total.}$$
 Pero como el estudio es de práctica clínica habitual se incluirán todos los pacientes que cumplan los criterios de inclusión y post-hoc se estimará la potencia estadística observada para interpretar los resultados y el nivel de probabilidad de errores beta.

9.7.- Descripción de las variables de estudio, unidades de medida y escalas de medición

a) Dependientes:

- **Desenlace primario:** Frecuencia de la Degeneración del segmento adyacente, evaluada a través de imagenología.

Los cambios de DSA se definen como: (45)

1. Disminución de más de 2mm del promedio de la altura discal anterior y posterior de radiografías laterales tomada entre dos periodos.
2. Desplazamiento igual o mayor de 4mm del promedio de la altura discal anterior y posterior de radiografías laterales tomada entre dos periodos.

3. Inestabilidad angular mayor a 10° en las radiografías dinámicas.

- 4. Deshidratación o colapso del espacio discal (Pfirmann modificado grado VI-VIII)

• **Desenlaces secundarios:**

- La disminución de la altura interdiscal anterior, media y posterior en el segmento superior e inferior al nivel operado.
- El aumento de desplazamiento o listesis vertebral en el segmento superior e inferior al nivel operado.
- El aumento en el grado de degeracion discal en el segmento superior e inferior al nivel operado (en relación a la clasificación de Pfirmann).
- Aumento en el grado de degeracion discal en el segmento superior e inferior al nivel operado (en relación a la clasificación de Pfirmann).

b) Independientes:

- Técnica quirúrgica de estabilización transpedicular y barras de PEEK
- Técnica quirúrgica de estabilización transpedicular y barras de Titanio

c) Covariables a controlar en el análisis:

- Sexo
- Edad
- Diagnóstico (Espondilolistesis y/o CLE)

Variable de estudio	Escala de Medición	Resultado palpable	Unidad de medición
Sexo	Nominal dictomica	Femenino (1) Masculino (2)	Frecuencia
Edad	Discreta	16,17,18..78	años
Altura discal	Continua	0,0.1,0.2...1	mm

Desplazamiento o listesis vertebral	Continua	0,0.1,0.2...1	mm
Ángulo segmentario	Continua	0,0.1,0.2...1..5.1	Grados(°)
Degeneración discal adyacente	Nominal Dicotómica	SI, NO	Frecuencia

9.8.- Análisis estadístico propuesto:

Como el desenlace primario será degeneración discal adyacente (SI o NO en escala nominal dicotómica y secundariamente el grado de degeneración en escala ordinal) las asociaciones con las variables categóricas se realizarán con chi cuadrada o, en su caso con el test exacto de Fisher o el test de verosimilitud de chi cuadrada: asociación sexo*degeneración discal; sexo*grado de degeneración discal. Las comparaciones de promedios de edad, altura discal y porcentaje de desplazamiento o listesis entre los casos según desenlace de degeneración discal adyacente (SI o NO y grados de degeneración intra-grupo de casos positivos al desenlace primario) se realizarán con el modelo general lineal del análisis de varianza para mediciones repetidas (0, 12 y 24 meses) con el estadístico T de Hotelling. El error alfa se fijará a 0.05 y se procesarán los datos con el paquete SPSS ver 17.0 con licencia de uso para el INR LGII.

9.10.- Selección de las fuentes, métodos, técnicas y procedimientos de recolección de la información.

Las fuentes de información serán mixtas: expedientes y los propios pacientes; la recolección de datos será por personal entrenado para realizar las observaciones, mediciones e interpretación de imágenes. La información recolectada será registrada en hojas de registro elaboradas ex profeso y de estas se registrarán en una base de datos de Excel para ser importada desde el paquete estadístico SPSS.

9.11- Definición de las unidades de observación:

Expediente clínico. Conforme a la NOM-168-SSA1-1998 se define el expediente clínico como el: Conjunto de documentos escritos, gráficos e imagenológicos, en los cuales el personal de salud, deberá hacer los registros, anotaciones y certificaciones correspondientes a su intervención, con arreglo a las disposiciones sanitarias. Para nuestro estudio los expedientes deberán corresponder al Servicio de Cirugía de Columna del INR LGII dentro del período especificado para su estudio.

Imágenes radiológicas. Son definidas como las imágenes de Rx y la IMR tanto en película como en formato digital correspondientes a los pacientes que se incluirán en el estudio y que reúnan los requisitos de pertinencia (especificaciones y niveles correspondientes) y calidad de resolución.

Pacientes. Sujetos con diagnóstico de espondilolistesis degenerativa grado I de Meyerding y/o conducto lumbar estrecho, que hayan sido previamente presentados y revisados en la sesión de Cirugía de columna de Enero 2015 a Diciembre 2016.

9.12.- Prueba piloto: No aplica.

10. DESCRIPCIÓN DEL O DE LOS PROCEDIMIENTOS

1. Selección de pacientes

Los pacientes que integraron ambos grupos fueron asignados en el periodo preoperatorio a través de un consenso de expertos (tres médicos ortopedistas y un neurocirujano, todos con experiencia mayor a 5 años en cirugía de columna), realizada a través de una sesión médica y en la cual se discutió cada caso mostrando fotografías clínicas, estudios de imagen y escalas de discapacidad por dolor lumbar. Una vez que se decidió la intervención, para este estudio se eligió los pacientes que cumplían los criterios de inclusión.

2. Se dió continuidad al seguimiento posoperatorio a todos los pacientes a los 12 y 24 meses a través de la consulta externa.

a) Se valoró los estudios radiográfico en proyección lateral (neutra y dinámicas) en el segmento superior e inferior al nivel operado, midiendo a través del programa de computo "Dicom":

-Altura interdiscal anterior (en relación al borde anterior del cuerpo vertebral de la vertebra inferior) y posterior (en relación al borde posterior del cuerpo vertebral de la vertebra inferior), solo en placas lateral y dinámicas.

-Listesis vertebral, a través de la Clasificación de Meyerding, solo en placas laterales: El cuerpo vertebral inferior se divide en 4 partes, se determina la posición del borde posterior del cuerpo de la vértebra superior con respecto a la inferior, si el deslizamiento hacia delante del cuerpo vertebral superior alcanza la cuarta parte del inferior, se considera una espondilolistesis de grado 1; el deslizamiento hasta la segunda cuarta parte se clasifica como grado 2, y así progresivamente hasta llegar a una situación en que la vértebra se desprende por delante del cuerpo del sacro, lo que constituye un grado 5, también denominado ptosis.

Y se comparará las mediciones con los estudios preoperatorios.

b) Angulo segmentario de L3-L4 y L5-S1, tomando la línea A, como aquella que pasa por la plataforma inferior de la vertebra supra adyacente y la línea B, como aquella que pasa en la plataforma inferior de la vertebra infra adyacente, se medirá el angulo entre A-B a través de método de COOB.

b) Se realizó estudios de control de resonancia magnética de columna lumbar en fase T2 sagital y axial a los 24 meses:

- Se midió por el Dr. Álvaro Zuluaga Gómez, neuroradiólogo de la institución, el grado de degeneración discal en el segmento superior e inferior al nivel operado en relación a la clasificación de Pfirrmann modificada.

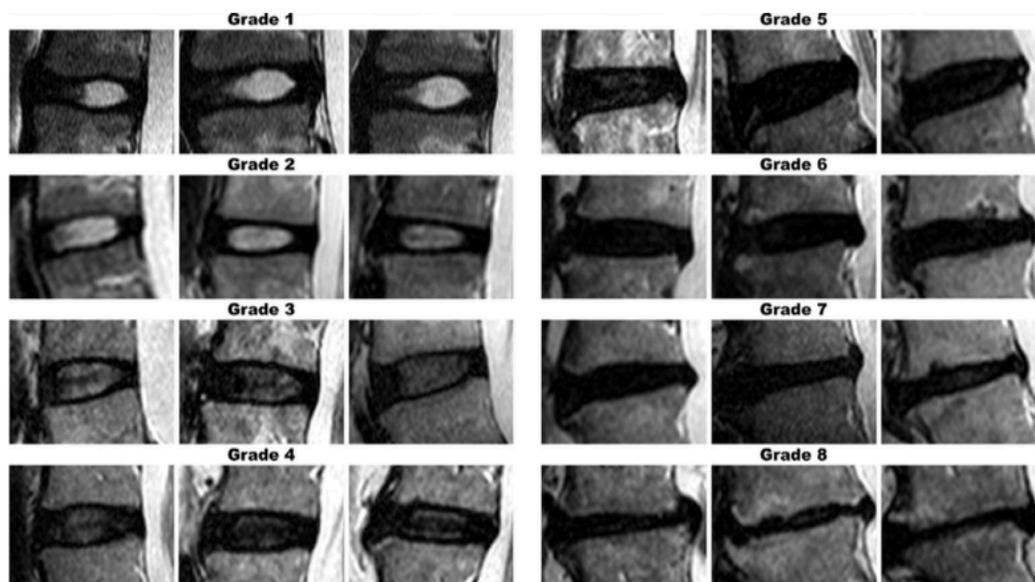


Figure 1. Image reference panel shows increasing severity of disc degeneration. The pertinent features of each grade are described in Table 1. Three images reflect the inherent variability across each grade.

c) Se vaciaron los datos obtenidos en las evaluaciones previas en una hoja del programa de SPSS:

e) Posteriormente se procederá a realizar el análisis estadísticos en SPSS. Los cambios progresivos observados por imagen radiográfica o imagen de resonancia magnética se asociará a degeneración del segmento adyacente, la calificación obtenida de las escalas se asociará a Enfermedad del segmento adyacente.

11. RESULTADOS

Se incluyeron 36 pacientes 23 del sexo masculino y 13 del femenino con una edad promedio de 57.3 +/- 7.6 años [rango 39-70]. Fueron tratados con Titanio 14 y con Peek 22. Ver **tabla 1**.

Tabla 1. **Características** de los pacientes seleccionados

Características	PEEK n (%)	Titanio n (%)	Valor p
Pacientes	22	14	
Edad (años)*	59.2 +/- 7.8	56.2 +/- 7.	0.25

Sexo				
Femenino	7 (31.8)	6 (42.9)	0.37	
Masculino	15 (68.2)	8 (57.1)		
Diagnóstico				
EI-deg	22	14		
DSA	18 (81.8)	8 (57.1)	0.11**	
<p>*Los valores están presentados en medias y desviación estándar **Se utilizó chi cuadrada EI-Deg, espondilolistesis degenerativa DSA, Degeneración del segmento adyacente</p>				

Tabla 2. Frecuencia de DSA según medio diagnóstico, segmento y tiempo de seguimiento.

Medio DX	Segmento	12 meses		24 meses	
		Frecuencia	(%)	Frecuencia	(%)
RX	Superior	2/27	7.4	12/27	44.4
	Inferior	3/22	13.6	10/22	45.4
IRM	Superior	4/14	28.6	5/18	27.8
	Inferior	5/13	38.5	6/18	33.3
TOTAL	Superior	7/34	20.6	15/28	53.6
	Inferior	11/33	33.3	13/22	59.1
		26/36 (72.2%)			

DX, diagnóstico
Rx, Radiografías
IRM, Imagen de resonancia magnética

La distribución de pacientes por sexo entre los tratamientos fueron: en PEEK 68.2% masculinos y 31.8% mujeres, en Titano 57.1% hombres y 42.9% mujeres ($p = 0.37$).

Tabla 3. Comparación de mediciones imagenológicas entre los tratamientos

Mediciones de imagen	Tratamiento		p
	Peek	Titanio	
SEGMENTO SUPERIOR RX			
Altura 1	10.8 +/- 1.4	11.6 +/- 1.9	0.25
Altura 2	4.6 +/- 4.1	2.1 +/- 2.8	0.10
Altura3	3.9 +/- 3.8	4.1 +/- 3.6	0.86

<i>p</i>	0.0001	0.0001	
<i>Listesis 1</i>	1.75 +/- 0.9	1.27 +/- 0.8	0.28
<i>Listesis 2</i>	1.53 +/- 0.9	1.78 +/- 1.3	0.77
<i>Listesis 3</i>	1.61 +/- 1.3	1.45 +/- 0.8	0.73
<i>p</i>	0.92	0.52	
<i>Ángulo seg.1</i>	-4.21 +/- 4.5	-4.46 +/- 3.8	0.86
<i>Ángulo seg.2</i>	-1.83 +/- 5.0	0.18 +/- 0.8	0.14
<i>Ángulo seg.3</i>	-1.12 +/- 4.2	-0.70 +/- 2.9	0.75
<i>p</i>	0.007	0.005	
<i>SEGMENTO INFERIOR RX</i>			
<i>Altura 1</i>	4.3 +/- 2.5	2.0 +/- 2.1	0.03
<i>Altura 2</i>	4.6 +/- 2.7	2.9 +/- 3.1	0.15
<i>Altura3</i>	4.6 +/- 2.7	5.1 +/- 3.6	0.76
<i>p</i>	0.70	0.04	
<i>Listesis 1</i>	1.07 +/- 0.9	1.10 +/- 0.7	0.95
<i>Listesis 2</i>	2.05 +/- 1.3	1.86 +/- 1.4	0.75
<i>Listesis 3</i>	1.38 +/- 2.3	1.20 +/- 0.6	0.81
<i>p</i>	0.005	0.49	
<i>Ángulo seg.1</i>	-3.73 +/- 4.7	-5.03 +/- 5.5	0.45
<i>Ángulo seg.2</i>	-3.40 +/- 7.1	-2.58 +/- 5.6	0.71
<i>Ángulo seg.3</i>	-1.15 +/- 4.7	-1.86 +/- 4.5	0.64
<i>p</i>	0.07	0.11	
<i>SEGMENTO SUPERIOR RM</i>			
<i>T1</i>			
<i>SI</i>	4 (36.4%)	0 (0.0%)	0.46
<i>NO</i>	7 (63.6%)	2 (100.0%)	
<i>T2</i>			
<i>SI</i>	5 (29.4%)	0 (0.0%)	0.72
<i>NO</i>	12 (70.6%)	1 (100.0%)	
<i>SEGMENTO INFERIOR RM</i>			
<i>T1</i>			
<i>SI</i>	4 (40.0%)	0 (0.0%)	0.42
<i>NO</i>	6 (60.0%)	2 (100.0%)	
<i>T2</i>			
<i>SI</i>	6 (35.3%)	0 (0.0%)	0.66
<i>NO</i>	11 (64.7%)	1 (100.0%)	

Por otra parte, en relación a la tasa de incidencia de DAS los hombres frente a las mujeres tendrían un riesgo relativo 1.6 [IC95% 0.4-6.4] de DAS ($p = 0.50$) y la edad promedio sería de 57.7 +/- 6.8 para los positivos a DAS versus 56.4 +/- 10.0 para los negativos ($p = 0.67$).

Tabla 4. Relación bivariada de factores con DAS

Factores	DAS		p
	SI	NO	
Sexo			
<i>Masculino</i>	15 (68.2%)	8 (57.1%)	0.50
<i>Femenino</i>	7 (31.8%)	6 (42.9%)	
Edad	57.7 +/- 6.8	56.4 +/- 10.0	0.67

En el análisis multivariado los resultados de las mediciones altura, listesis y ángulo segmentarios serían como se muestran en las siguientes gráficas para cada segmento (superior e inferior):

Gráfico1. Comparación de la altura discal entre tratamientos con y sin DSA superior

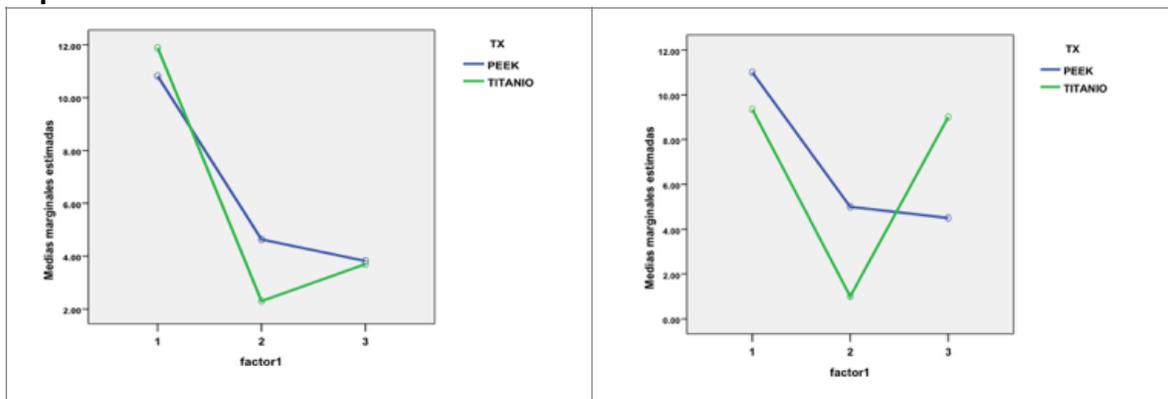


Gráfico2. Comparación de la listesis entre tratamientos con y sin DSA superior

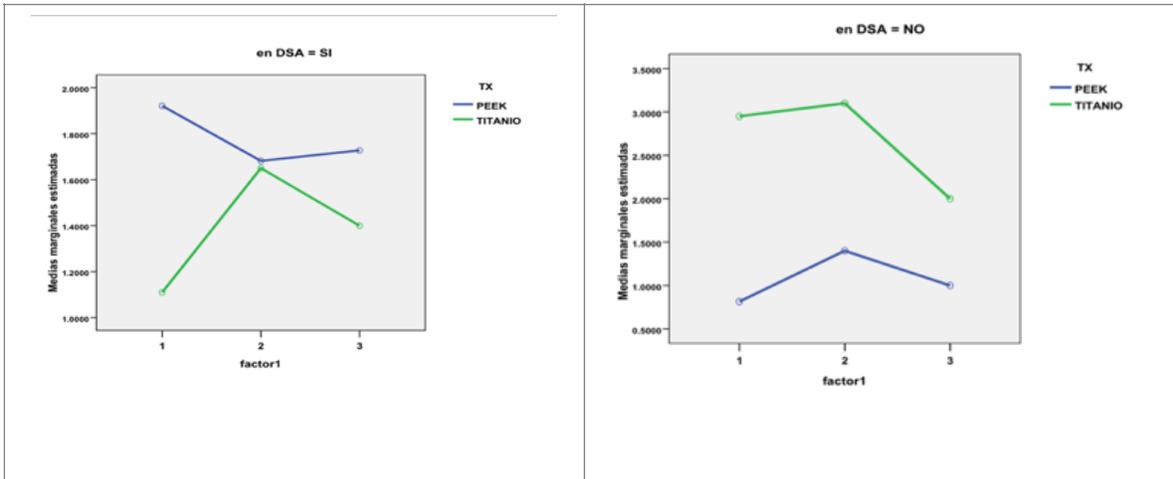


Gráfico3. Comparación del ángulo segmentario entre tratamientos con y sin DSA superior

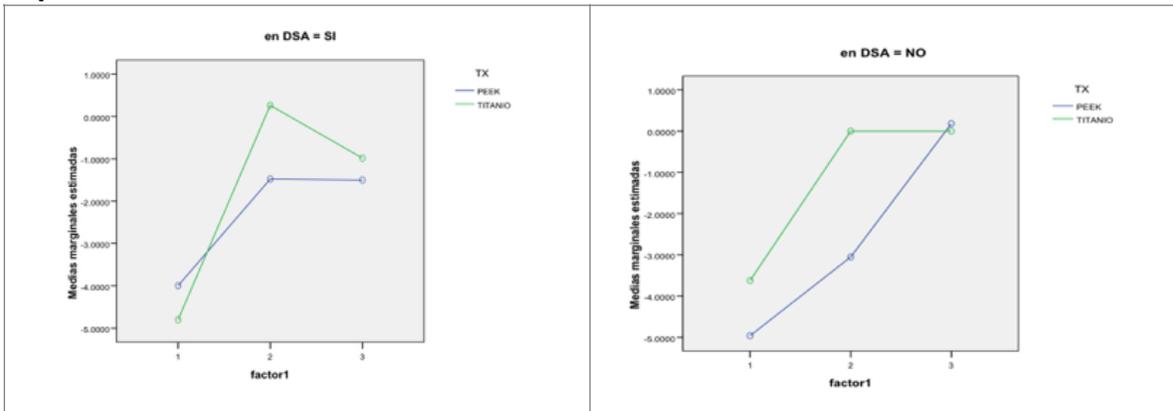


Gráfico4. Comparación de la altura entre tratamientos con y sin DSA inferior

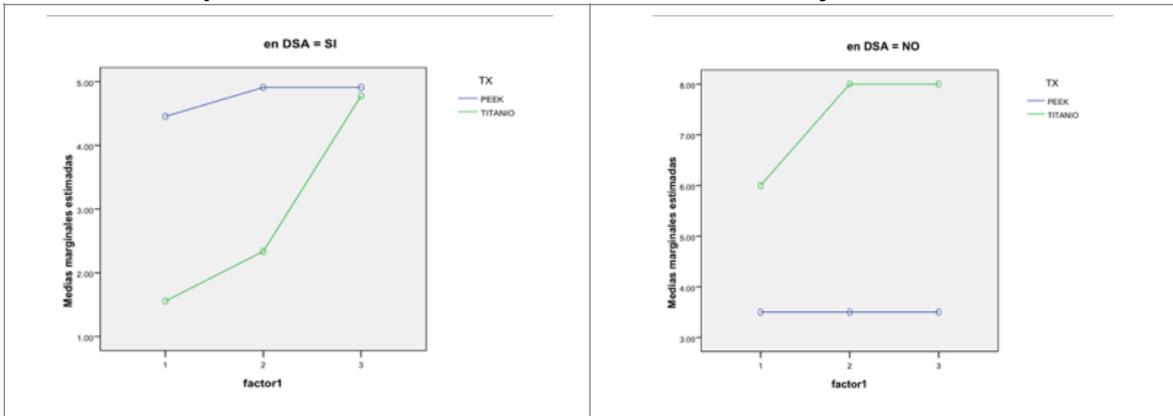


Gráfico5. Comparación de la listesis entre tratamientos con y sin DSA inferior

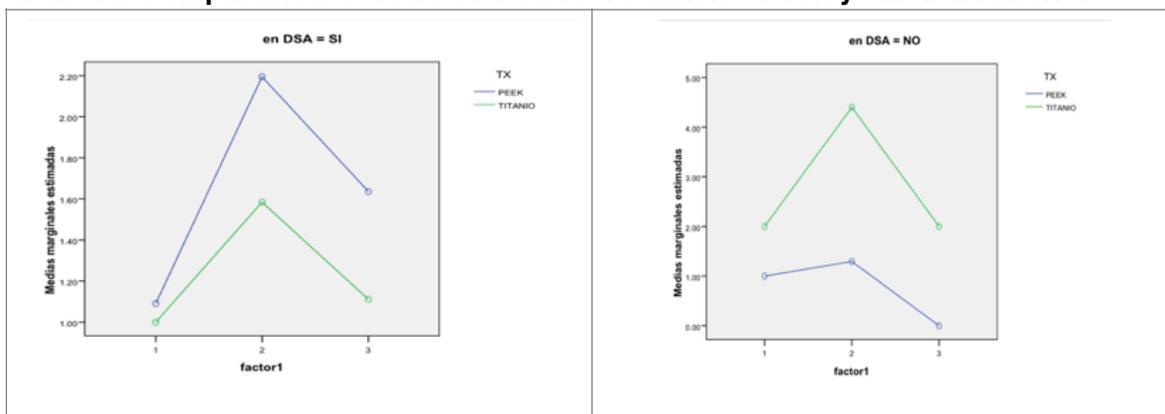


Gráfico6. Comparación del ángulo segmentario entre tratamientos con y sin DSA inferior

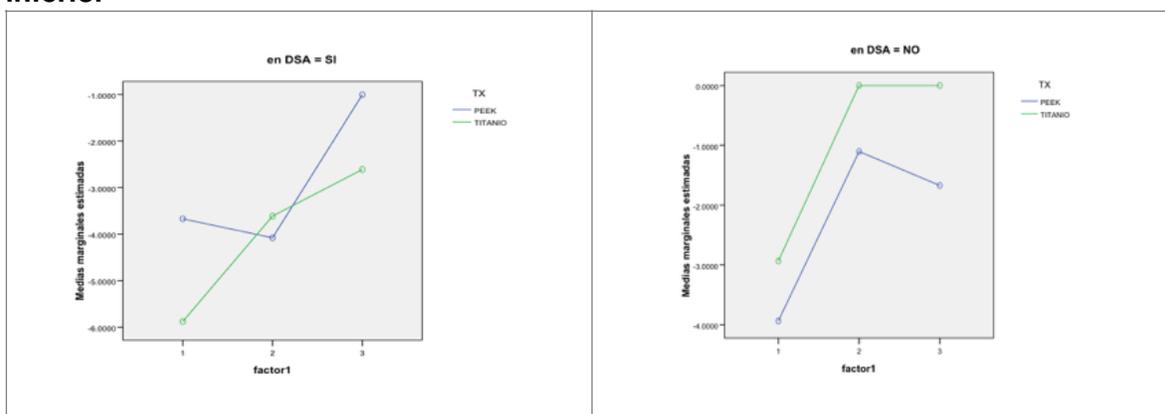


Tabla 5. Porcentajes de cambios de DSA superior e inferior por RX según tratamiento.

Cambio DSA 12-24 meses	SEG. SUPERIOR			SEG. INFERIOR		
	Peek	Titanio	Total	Peek	Titanio	Total
+/+	1 (6.7)	1 (8.3)	2 (7.4)	1 (8.3)	1 (10.0)	2 (9.1)
+/-	0	0	0	1 (8.3)	0	1 (4.5)
-/+	5 (33.3)	5 (41.7)	10 (37.0)	2 (16.7)	6 (60.0)	8 (36.4)
-/-	9 (60.0)	6 (50.0)	15 (55.6)	8 (66.7)	3 (30.05)	11 (50.0)

p	0.87	0.13
----------	------	-------------

Tabla 6. Escalas funcionales de dolor entre tratamientos (Oswestry)

	PEEK %	Titanio %	valor p
OSW			
PREPARATORIA	57.2	39.0	0.62
POSOPERATORIA	27.4	14.2	0.47

12. DISCUSIÓN

La frecuencia de DSA global considerando Radiografías (RX) y Resonancia magnética (RM) simultáneamente en nuestro estudio fue de 26/36 (72.2%); véase (tabla 1 y 2). Y por segmento independiente, la frecuencia de DSA en el segmento superior fue de 20.6% a los doce meses y de 53.5% a los 24 meses; en tanto que para el segmento inferior las frecuencias respectivas fueron 33.3% y 59.1%. En relación a la frecuencia global de DSA por grupo de tratamiento fue de 81.8% con Peek versus 57.1% con titanio (p = 0.11. Véanse (tabla 1) Mostrando una mayor frecuencia comparado con nueve estudios con 554 pacientes en donde se informó que después de la fusión lumbar la frecuencia de DSA fue de 37.5%. (46)

Al comparar las diferentes mediciones imagenológicas (tabla 3), la altura del segmento superior disminuyó significativamente dentro de ambos tratamientos siendo de -81.8% con titanio versus -57.4% con Peek de la primera a la segunda medición, por ello la altura² en Peek fue de 4.6mm versus 2.1mm en titanio (p = 0.10); la listesis no se modificó significativamente con el tiempo en ninguno de los dos tratamientos mientras que el ángulo segmentario disminuyó de -4.21 a -1.83 y a -1.12 en Peek (p = 0.007) contra -4.46 a +0.18 y -0.70 en titanio (p = 0.005), sin embargo en ninguna de las mediciones de este segmento se diferenciaron significativamente entre los tratamientos.

Respecto al segmento inferior en la medición basal los casos con Peek tenían una altura significativamente mayor a los casos con titanio ($p = 0.03$) y mientras que la altura se modificó en el tiempo con Peek ($p = 0.70$) con titanio en cambio la altura del segmento inferior ascendió de 2.0 a 2.9 y finalizó en 5.1 ($p = 0.04$). Respecto a la listesis, este aumento significativamente con Peek ($p = 0.005$) pero no con titanio ($p = 0.49$), lo cual pudo deberse a la mayor degeneración inicial de la altura del grupo Peek respecto a los pacientes operados con titanio. El ángulo segmentario del segmento inferior aumentó con ambos tratamientos Peek ($p = 0.07$) versus titanio ($p = 0.11$). En relación a las resonancias no se observaron diferencias en los segmentos superior e inferior ni en T1 ni en T2.

Al evaluar el porcentaje de cambio en el segmento superior, la altura se redujo de manera significativa pero sin diferir entre los tratamientos cuando el cambio de DSA fue de positivos a positivos en el lapso de 12 a 24 meses y negativos a los 12 meses que se tornaron positivos a las 24 meses; en el caso de los negativos que permanecieron negativos hubo una diferencia significativa en las medias de la altura a los 12 meses ($p = \mathbf{0.04}$) aunque a los 24 meses ambos tratamientos terminaron iguales con -63% para Peek versus -64% para Titanio en la reducción de la altura basal (tabla 5). Sin embargo los pacientes operados con Peek la altura disminuyó de 11.8 basal a 9.0 a los 12 meses (casos Positivos/Positivos) es decir, disminuyó 23.7%; pero en los casos Negativos/positivos el cambio fue mayor, pues representó el 91.3% del valor basal (de 11.6 a 1.0mm); y, por último, en los Negativos/Negativos la disminución fue del 41.7%, así a los 12 meses la altura promedio era de 9.0, 1.0 y 6.0mm ($p = \mathbf{0.06}$) para los respectivos estratos de cambio de DSA; ahora bien, en el grupo de los tratados con Titanio en los positivos/positivos la disminución de la altura basal a 12 meses fue de 25.2% muy similar al 23.7% obtenido con Peek, en los casos Negativos/Positivos la disminución fue de 92.0% casi igual al 91.3% con Peek mientras que en los casos Negativos/Negativos la altura se redujo en 79.6% versus el 41.7% con Peek; así, en los tratados con Titanio a los 12 meses la altura entre los estratos de DSA era de 8.0, 1.0 y 2.2mm ($p = \mathbf{0.06}$); sin embargo, de los 12 a los 24 meses la altura en los positivos/positivos tratados con Peek sólo disminuyó -11.0% versus 0.0% en los tratados con Titanio aunque en términos absolutos la media final fue de 8.0mm para ambos; en los Negativos/positivos los incrementos de la altura fueron de +200% para Peek versus +208% y, por último, en los

negativos/negativos mientras con Peek disminuyó -33.3% de los 12 a los 24 meses con Titanio se incrementó +72.0%. Aunque pareciera haber una diferencia entre ambos tratamientos en los primeros 12 meses de tratamiento en la medición imagenológica en la Altura, no hubo diferencias significativas, midiéndose altura iguales a los 24 meses, de 3.8mm para ambos.

En la medición imagenológica de la listesis, nótese que dentro de los casos positivos/positivos el cambio en la listesis del basal a los 12 meses fue de +160% para Titanio versus +92.8% para Peek, pero la parte más importante es el cambio de los 12 a los 24 meses ya que en los positivos/positivos tratados con Peek la listesis se redujo en -62.9% mientras que con Titanio aumentó +17.0%. En el estrato de Negativos/positivos obsérvese que a los 12 meses la listesis con Peek se reduce -23.8% respecto al valor basal mientras que con Titanio aumenta 72.7% y a los 24 meses los efectos se invierten ya que con Peek la listesis se incrementa +68.7% con respecto al valor observado a los 12 meses mientras que con Titanio se reduce -47.3% ($p = 0.08$) y es evidente que a los 24 meses la listesis con Peek es significativamente mayor que con Titanio ($p = 0.02$). Por último en el estrato negativos/negativos no se observan diferencias significativas aunque de los 12 a los 24 meses con Peek disminuye la listesis -26.6% y, al contrario, aumenta +12.5% con Titanio ($p = 0.20$).

Respecto al ángulo segmentario en el estrato de los positivos/positivos los tratados con Peek incrementaron el ángulo de -0.49 basal a -13.9 a los 12 meses mientras que los tratados con Titanio la redujeron de -4.26 a -1.4 de tal manera que a los 12 meses la diferencia entre los tratamientos fue significativa ($p = 0.02$) aunque a los 24 meses ambos tratamientos terminaron con un ángulo igual a 0.0 grados.

Globalmente, el cambio en la degeneración del segmento Inferior adyacente según RX fue de un incremento de 31.8% de casos de los 12 a los 24 meses ya que a los 12 meses la tasa era de 13.6% y a los 24 meses ascendió a 45.4% ($p = 0.03$).

Para el segmento Inferior la tasa de cambio global fue de 7.4% a los 12 meses a 44.4% a los 24 meses; es decir un incremento de 37.0% ($p = 0.002$).

Comparando el cambio de degeneración entre tratamientos de los 12 a los 24 meses en general no hubo una diferencia significativa en las proporciones de cambios entre los tratamientos ($p = 0.87$), véase tabla 8; empero, nota que en el segmento inferior, con

Titanio hubo una mayor proporción de casos que pasaron de negativos a positivos (60.0%) versus únicamente 16.7% de los tratados con Peek en consecuencia la razón de probabilidad de observar cambios de negativos a positivos en el lapso de 12 a 24 meses de seguimiento es 3.5 mayor (60.0/16.7) con Titanio comparado con Peek. Tabla 5

Pese a no existir hasta este momento estudios similares en los que se comparen los resultados imagenológicos entre ambos tratamientos, las observaciones obtenidos en este estudio fueron compatibles con la suposición común de que la artrodesis lumbar puede acelerar la DSA.

En cuanto a las escalas de funcionalidad, Oswestry (OSW) disminuyó significativamente con el tiempo dentro de cada tratamiento con un efecto mayor para Titanio, de 39.0% preoperatoria a 14.2% a los 24 meses equivalente (con un porcentaje de cambio igual a -62.0%); los paciente operados con PEEK disminuyeron de 57.2% preoperatorio a 27.4% a los 24 meses (con un porcentaje de cambio igual a -52%) Tabla 6. Sin embargo, debido a las diferencias en el tamaño de las muestras no hubo diferencias entre los tratamientos a los 12 meses y a los 24 meses, lo cual coincide con el 24.88% reportado por Ramirez-Villaescusa y col. (47) . En la escala de Roland Morris (RMs) la interpretación es exactamente igual que para OSW y eso se debe a que RMs y OSW están fuertemente correlacionadas.

13.LIMITACIONES

Las limitaciones para el estudio actual, fue un tamaño de muestra muy pequeño para ambos grupo, cuyos integrantes no fueron aleatorizado, así como un seguimiento corto, limitándose a dos puntos precisos de evaluación posoperatoria, 12 y 24 meses.

14. CONCLUSION

Los resultados clínicos y radiológicos de nuestro estudio muestran que la frecuencia de degeneración del segmento adyacente en el tratamiento con barras de PEEK no fue superior al del tratamiento gold estándar o con barras de titanio.

Sin embargo estos resultados deben aceptarse con precaución por las limitaciones del estudio.

15. BIBLIOGRAFIA

1. ea. AAB. In: M. W, editor. Handbook of Spine Surgery. New York, NY Thieme Medical Publishers; 2012. p. 455 p.
2. Ali A. Baaj ea. Handbook of Spine Surgery. Wachinger M, editor. New York, NY Thieme Medical Publishers, Inc; 2012. 455 p.
3. Gibson JN, Grant IC, Waddell G. The Cochrane review of surgery for lumbar disc prolapse and degenerative lumbar spondylosis. Spine. 1999;24(17): 1820-32.
4. Eismont FJ, Norton RP, Hirsch BP. Surgical management of lumbar degenerative spondylolisthesis. J Am Acad Orthop Surg. 2014;22(4):203-13.
5. Nakashima H, Kawakami N, Tsuji T, Ohara T, Suzuki Y, Saito T, et al. Adjacent Segment Disease After Posterior Lumbar Interbody Fusion: Based on Cases With a Minimum of 10 Years of Follow-up. Spine. 2015;40(14):E831-41.
6. Wiltse LL, Winter RB. Terminology and measurement of spondylolisthesis. The Journal of bone and joint surgery American volume. 1983;65(6):768-72.
7. Jacobsen S, Sonne-Holm S, Rosing H, Monrad H, Gebuhr P. Degenerative lumbar spondylolisthesis: an epidemiological perspective: the Copenhagen Osteoarthritis Study. Spine. 2007;32(1):120-5.
8. Norbert Boos MA. Spinal Disorders: Fundamentals of Diagnosis and Treatment. Germany2008. 1166 p.
9. Lurie J, Tomkins-Lane C. Management of lumbar spinal stenosis. Bmj. 2016;352:h6234.
10. Luis M Rosales DM, Víctor Miramontes M, Armando Alpízar A, Alejandro Antonio Reyes-Sánchez. Conducto lumbar estrecho. ACTA MÉDICA GRUPO ÁNGELES. 2006;4:101-10.
11. Booth KC, Bridwell KH, Eisenberg BA, Baldus CR, Lenke LG. Minimum 5-year results of degenerative spondylolisthesis treated with decompression and instrumented posterior fusion. Spine. 1999;24(16):1721-7.
12. Andersen T, Videbaek TS, Hansen ES, Bunger C, Christensen FB. The positive effect of posterolateral lumbar spinal fusion is preserved at long-term follow-up: a RCT with 11-13 year follow-up. European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society. 2008;17(2): 272-80.
13. Bono CM, Lee CK. Critical analysis of trends in fusion for degenerative disc disease over the past 20 years: influence of technique on fusion rate and clinical outcome. Spine. 2004;29(4):455-63; discussion Z5.
14. Kotani Y, Cunningham BW, Cappuccino A, Kaneda K, McAfee PC. The role of spinal instrumentation in augmenting lumbar posterolateral fusion. Spine. 1996;21(3):278-87.

15. Polly DW, Jr., Santos ER, Mehbod AA. Surgical treatment for the painful motion segment: matching technology with the indications: posterior lumbar fusion. *Spine*. 2005;30(16 Suppl):S44-51.
16. Christensen FB, Hansen ES, Eiskjaer SP, Hoy K, Helmig P, Neumann P, et al. Circumferential lumbar spinal fusion with Brantigan cage versus posterolateral fusion with titanium Cotrel-Dubousset instrumentation: a prospective, randomized clinical study of 146 patients. *Spine*. 2002;27(23):2674-83.
17. Kurtz SM, Devine JN. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials*. 2007;28(32):4845-69.
18. Rosa AL, Beloti MM. Effect of cpTi surface roughness on human bone marrow cell attachment, proliferation, and differentiation. *Brazilian dental journal*. 2003;14(1):16-21.
19. Rosales Olivares LsMCVJ, Antonio. MMnVcPAAAR-SnA. Development of adjacent segment disease in circumferential fusion: four years follow-up. *Coluna/columna* 2006;5:7-14.
20. Shono Y, Kaneda K, Abumi K, McAfee PC, Cunningham BW. Stability of posterior spinal instrumentation and its effects on adjacent motion segments in the lumbosacral spine. *Spine*. 1998;23(14):1550-8.
21. Park P, Garton HJ, Gala VC, Hoff JT, McGillicuddy JE. Adjacent segment disease after lumbar or lumbosacral fusion: review of the literature. *Spine*. 2004;29(17):1938-44.
22. Wang N, Xie H, Xi C, Zhang H, Yan J. A study to compare the efficacy of polyether ether ketone rod device with titanium devices in posterior spinal fusion in a canine model. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2017;12(1):40.
23. Pelletier MH, Cordaro N, Punjabi VM, Waites M, Lau A, Walsh WR. PEEK Versus Ti Interbody Fusion Devices: Resultant Fusion, Bone Apposition, Initial and 26-Week Biomechanics. *Clinical spine surgery*. 2016;29(4):E208-14.
24. Radcliff KE, Kepler CK, Jakoi A, Sidhu GS, Rihn J, Vaccaro AR, et al. Adjacent segment disease in the lumbar spine following different treatment interventions. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2013;13(10):1339-49.
25. Lai PL, Chen LH, Niu CC, Chen WJ. Effect of postoperative lumbar sagittal alignment on the development of adjacent instability. *Journal of spinal disorders & techniques*. 2004;17(5):353-7.
26. Kumar MN, Baklanov A, Chopin D. Correlation between sagittal plane changes and adjacent segment degeneration following lumbar spine fusion. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2001;10(4):314-9.
27. Park JY, Cho YE, Kuh SU, Cho JH, Chin DK, Jin BH, et al. New prognostic factors for adjacent-segment degeneration after one-stage 360 degrees fixation for spondylolytic spondylolisthesis: special reference to the usefulness of pelvic incidence angle. *J Neurosurg Spine*. 2007;7(2):139-44.
28. Cho KS, Kang SG, Yoo DS, Huh PW, Kim DS, Lee SB. Risk factors and surgical treatment for symptomatic adjacent segment degeneration after lumbar spine fusion. *J Korean Neurosurg Soc*. 2009;46(5):425-30.

29. Chow DH, Luk KD, Evans JH, Leong JC. Effects of short anterior lumbar interbody fusion on biomechanics of neighboring unfused segments. *Spine*. 1996;21(5):549-55.
30. Lee JC, Choi SW. Adjacent Segment Pathology after Lumbar Spinal Fusion. *Asian Spine J*. 2015;9(5):807-17.
31. Lee JC, Kim Y, Soh JW, Shin BJ. Risk factors of adjacent segment disease requiring surgery after lumbar spinal fusion: comparison of posterior lumbar interbody fusion and posterolateral fusion. *Spine*. 2014;39(5):E339-45.
32. Aiki H, Ohwada O, Kobayashi H, Hayakawa M, Kawaguchi S, Takebayashi T, et al. Adjacent segment stenosis after lumbar fusion requiring second operation. *J Orthop Sci*. 2005;10(5):490-5.
33. Schlegel JD, Smith JA, Schleusener RL. Lumbar motion segment pathology adjacent to thoracolumbar, lumbar, and lumbosacral fusions. *Spine*. 1996;21(8):970-81.
34. Lee CK, Langrana NA. Lumbosacral spinal fusion. A biomechanical study. *Spine*. 1984;9(6):574-81.
35. Bastian L, Lange U, Knop C, Tusch G, Blauth M. Evaluation of the mobility of adjacent segments after posterior thoracolumbar fixation: a biomechanical study. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2001;10(4):295-300.
36. Hilibrand AS, Robbins M. Adjacent segment degeneration and adjacent segment disease: the consequences of spinal fusion? *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2004;4(6 Suppl):190S-4S.
37. Khoueir P, Kim KA, Wang MY. Classification of posterior dynamic stabilization devices. *Neurosurgical focus*. 2007;22(1):E3.
38. Schmoelz W, Huber JF, Nydegger T, Dipl I, Claes L, Wilke HJ. Dynamic stabilization of the lumbar spine and its effects on adjacent segments: an in vitro experiment. *Journal of spinal disorders & techniques*. 2003;16(4):418-23.
39. Harrop JS, Youssef JA, Maltenfort M, Vorwald P, Jabbour P, Bono CM, et al. Lumbar adjacent segment degeneration and disease after arthrodesis and total disc arthroplasty. *Spine*. 2008;33(15):1701-7.
40. Wang JC AP, Hermsmeyer JT, Norvell DC. Do lumbar motion preserving devices reduce: the risk of adjacent segment pathology compared with fusion surgery? . *Spine*. 2012;37:133-43.
41. Chou D, Lau D, Skelly A, Ecker E. Dynamic stabilization versus fusion for treatment of degenerative spine conditions. *Evidence-based spine-care journal*. 2011;2(3):33-42.
42. Asher MA, Carson WL, Hardacker JW, Lark RG, Lai SM. The effect of arthrodesis, implant stiffness, and time on the canine lumbar spine. *Journal of spinal disorders & techniques*. 2007;20(8):549-59.
43. Ponnappan RK, Serhan H, Zarda B, Patel R, Albert T, Vaccaro AR. Biomechanical evaluation and comparison of polyetheretherketone rod system to traditional titanium rod fixation. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*. 2009;9(3):263-7.

44. Li C, Liu L, Shi JY, Yan KZ, Shen WZ, Yang ZR. Clinical and biomechanical researches of polyetheretherketone (PEEK) rods for semi-rigid lumbar fusion: a systematic review. *Neurosurg Rev.* 2018;41(2):375-89.
45. Matsuoka Y, Endo K, Suzuki H, Sawaji Y, Nishimura H, Takamatsu T, et al. Postoperative Radiographic Early-Onset Adjacent Segment Degeneration after Single-Level L4-L5 Posterior Lumbar Interbody Fusion in Patients without Preoperative Severe Sagittal Spinal Imbalance. *Asian Spine J.* 2018;12(4):743-8.
46. Chao Zhang, Sigurd H, Maryse F, Michael H. Adjacent Segment Degeneration Versus Disease After Lumbar Spine Fusion for Degenerative Pathology A Systematic Review With Meta-Analysis of the Literature. *Clin Spine Surg* 2016;29:21–29

47. Jose Ramirez, Jesús L, Antonio M, David R, Francisco G. Risk factors related to adjacent segment degeneration: retrospective observational cohort study and survivorship analysis of adjacent unfused segments. *Br J Neurosurg.* 2018 Oct 13:1-8