



Nuevas Técnicas de Imagen para el Estudio Postquirúrgico de la Escoliosis Idiopática del Adolescente

Alumna: Carolina Mora Sánchez
Tutor: David Noriega González
Cotutor: Israel Sánchez Lite

Trabajo Fin de Grado.

Facultad de Medicina. Universidad de Valladolid.

Curso 2017-2018.

Índice.

1. Resumen.....	Página 2
2. Introducción.....	Página 3
3. Hipótesis y objetivos.....	Página 7
4. Material y métodos.....	Página 7
4.1. Adquisición de la imagen.....	Página 8
4.2. Análisis de la malposición.....	Página 9
4.3. Análisis de la calidad de imagen.....	Página 10
4.4. Estudio estadístico.....	Página 11
5. Resultados.....	Página 12
6. Discusión.....	Página 14
7. Conclusión.....	Página 17
8. Agradecimientos.....	Página 18
9. Bibliografía.....	Página 19
Anexo I.....	Página 22
Anexo II: Póster.....	Página 27

1. Resumen.

La escoliosis idiopática del adolescente es una patología frecuente en la población (1-3%). Su tratamiento consiste en la artrodesis del raquis con barras y tornillos. Una de las complicaciones de este tipo de cirugía es la malposición de los tornillos. De esta pueden derivar lesiones viscerales, fracturas pediculares y complicaciones nerviosas. Para el estudio de la localización de los tornillos y posibles complicaciones es necesaria una técnica de imagen. La referencia actual es la Tomografía Computarizada (TC). Su principal inconveniente es la radiación emitida, sobre todo en población joven.

El objetivo del estudio es analizar la utilidad de las nuevas secuencias disponibles en la Resonancia Magnética (RM) como técnicas de imagen de elección para la valoración de la malposición de los tornillos de la escoliosis idiopática del adolescente. La mayor desventaja de la RM es el borrón o artefacto metálico producido por los tornillos, que reduce la calidad global de la imagen limitando su uso. Actualmente, existen nuevas secuencias como la Multi-Acquisition Variable Resonance Image Combination (MAVRIC), la Slice Encoding for Metal Artifact Correction (SEMAC), y el híbrido de ambas denominado MAVRIC SL. Estas secuencias tienen como característica común la reducción de este artefacto metálico y permiten la valoración de una forma más fidedigna de las estructuras adyacentes al tornillo.

Se ha realizado un estudio descriptivo de la malposición de los tornillos en este tipo de población y a continuación un análisis estadístico comparativo entre las distintas secuencias de RM: T2 FSE, STIR, STIR MAVRIC SL y DP MAVRIC SL.

Se ha estudiado un total de 8 pacientes con 148 tornillos. La tasa de malposición ha sido del 18,91%. En el análisis cualitativo mediante asignación de valores, la secuencia DP MAVRIC SL ha sido superior a todas las demás, y también ha sido estadísticamente significativa para reducción del borrón en comparación con las otras.

La secuencia DP MAVRIC SL se puede considerar como técnica de imagen para la valoración de la malposición de los tornillos en la artrodesis de columna. Estudios comparativos con muestras más grandes deben ser realizados.

2. Introducción

La escoliosis es una patología de la estática del raquis en la que existe una inclinación lateral de las vértebras y una rotación vertebral sobre el eje longitudinal. La escoliosis idiopática del adolescente es la más común en la práctica clínica. Su prevalencia oscila entre el 1% y el 3% en la población general, y entre el 0.2% y el 0.5% de la población requiere tratamiento quirúrgico debido a la progresión de la curvatura o a la reducción de la calidad de vida(1). Aunque la etiología de esta entidad no se conoce, recientes estudios en población asiática la han relacionado con algunos genes, como el polimorfismo BsmI rs1544410 o el polimorfismo ApaI rs7975232 de los receptores de vitamina D(2).

Existen varios procedimientos quirúrgicos para reducir la deformidad, siendo la artrodesis con tornillos pediculares el más empleado. La artrodesis es la unión de una articulación que busca la inmovilización de la misma para estabilizarla. En el caso de la columna vertebral, la artrodesis eliminará aquellas articulaciones entre las vértebras fijadas. El objetivo es lograr su estabilización. Para ello, se utilizan sistemas de instrumentación posterior, que aplican los principios de neutralización y sostén. Acompañando a esta técnica, la osteogénesis es fundamental, ya que evita la sobrecarga del implante. Los sistemas de fijación transpedicular son los más empleados por vía posterior, pues han mostrado ser superiores a cualquier otro método utilizado por vía posterior, como los ganchos o cables sublaminares(3).

La práctica de la artrodesis con tornillos está viéndose incrementada en los últimos años; *Sean S. Rajae et al.*(4) en sus estudios, describen un aumento anual del número de artrodesis espinales del 137% en los Estados Unidos(4). Entre las ventajas de esta técnica se encuentran la mejoría en la fijación vertebral y capacidad de reducción, disminución de complicaciones postoperatorias, el corto tiempo de estancia hospitalaria y la mejoría de la clínica(5).

La cirugía con estos sistemas de atornillamiento pedicular no está exenta de complicaciones, oscilando entre el 7.5-14.3%(6). Entre ellas, se encuentran las infecciones, estenosis de los segmentos vertebrales adyacentes a la fijación, déficit neurológico transitorio o permanente, fallo del sistema de fijación, dehiscencia de las suturas, complicaciones pulmonares, persistencia o agravamiento del dolor, fractura del pedículo e invasión del canal medular(7). Se ha intentado relacionar varias variables con el incremento de complicaciones, llegando a dilucidar que el sexo masculino, el incremento de edad, la anemia, la hipertensión, el hipotiroidismo, abordajes anteriores y abordajes combinados pueden incrementarlas(8).

Los motivos de reintervención varían a lo largo del tiempo: de forma aguda, los problemas relacionados con el implante y las infecciones son las causas más frecuentes, mientras que la infección tardía es la causa más común después de dos años(6).

La malposición de tornillos representa una importante proporción de estas complicaciones, oscilando entre el 6 y el 30% de las cirugías de deformidad del raquis toracolubar(9). La mayor preocupación de esta complicación es la lesión de estructuras adyacentes(10), entre ellas se describen la lesión neurológica, de la Aorta, de la vena ázigos y del esófago(11). Varios factores pueden influir en esta malposición: en su estudio, *Di Silvestre et al.*(10) Describen una mayor prevalencia en aquellos tornillos torácicos localizados en la concavidad, y *Hicks JM et al.*(12) en aquellas escoliosis con un mayor grado de deformidad.

La lesión iatrogénica de la aorta se ha descrito en varios estudios, siendo la responsable la malposición de los tornillos durante la cirugía de corrección. *Hua Jiang et al.*(1) observan en su estudio que la posición de la aorta cambian en función de la colocación del paciente. Así, en decúbito prono, comparando con decúbito supino, la aorta migra en una dirección anteriomedial en relación a las vértebras T5-T10. Esto aumenta el riesgo de lesión de la misma, puesto que los estudios preoperatorios con CT se realizan en decúbito supino(13).

Existen varios métodos de ayuda para la colocación de los tornillos de forma intraoperatoria, como son la técnica de inserción pedicular y palpación intraoperatoria a mano alzada, el control radioscópico intraoperatorio, la

robótica, la navegación intraoperatoria, el control neurofisiológico con potenciales evocados somatosensoriales (PESS) y motores (PEM) y monitorización de tornillos (t-EMG). Ésta última técnica ofrece unas medidas objetivas de la posición del tornillo pedicular. Mediante la aplicación de un estímulo a través del tornillo, los resultados son grabados evocando una respuesta electromiográfica. La impedancia se reduce cuando el pedículo se rompe, facilitando la llegada del estímulo al tejido nervioso. Esto se traduce en un umbral de estimulación inferior, con correlaciones de intensidades < 10mA: perforación de la cortical en el 90% de los casos(9)(14).

Estudios han evaluado la seguridad de la técnica a mano alzada, la fluoroscopia convencional y la tomografía computerizada con navegación (Cone-Beam radiation). Los autores concluyen con que existe una curva de aprendizaje en cuanto al empleo de las dos primeras técnicas. La fluoroscopia convencional es capaz de igualar a las técnicas de Cone-Beam radiation solo en manos expertas, sin embargo, es mucho más nociva para el cirujano ya que este recibe más radiación. Mediante la Cone-Beam radiation esta radiación es mínima, a pesar de que el paciente recibe mucha más dosis que con la técnica convencional(15–21).

Para el control postoperatorio de estos pacientes es necesaria una técnica de imagen que permita visualizar la prótesis de forma correcta. Por un lado, la radiografía simple en proyección antero-posterior y lateral de columna vertebral ha sido muy extendida debido a la rapidez, relación coste-efectividad, y baja radiación emitida. A pesar de ello no es una técnica muy exacta, puesto que, no se pueden obtener imágenes axiales ni realizar reconstrucciones en 3D. Esto impide visualizar la malposición de los tornillos, que más comúnmente se produce en sentido medial o lateral. La tomografía computerizada (TC) ha sido la técnica más extendida para detectar este tipo de complicación en pacientes sintomáticos. Su principal desventaja es que utiliza radiaciones ionizantes y los pacientes que padecen escoliosis idiopática del adolescente requieren numerosos controles de imagen a lo largo de su vida, por ser una patología crónica.

La Resonancia Magnética (RM) es una técnica de imagen que utiliza un elevado campo magnético y ondas de radiofrecuencia para obtener imágenes de gran calidad y detalle. No emplea radiaciones ionizantes. Uno de sus mayores inconvenientes es el artefacto que produce el metal, limitando su uso en pacientes con prótesis metálicas. Estos artefactos incluyen distorsión, pérdida de señal, alteración en la supresión grasa, distorsión geométrica, y distorsión transeccional(22). Las secuencias clásicas que han intentado paliar este defecto como la fast-spin-echo (FSE) han sido sustituidas por la Multi-Acquisition Variable Resonance Image Combination (MAVRIC)(23,24).

MAVRIC es una secuencia de RM diseñada para disminuir el artefacto producido por metales. MAVRIC funciona excitando una serie de anchos de banda espectrales limitados, utiliza la fase 3D spin-echo para resolver la distorsión, explotando el limitado rango de frecuencias excitadas para evitar la distorsión inter-planos(25). Esta secuencia tiene una serie de limitaciones. La falta de selectividad de un adecuado volumen en prótesis de gran tamaño, como el hombro o la cadera, hace que su uso en estas no sea óptimo(26).

Puesto que la extensión del artefacto a producir es directamente proporcional a la fuerza del campo, MAVRIC se ha utilizado con intensidades de campo magnético de 1.5 Teslas (T) pero puede presentar ciertas limitaciones en máquinas de 3T. Para paliar esta desventaja se ha combinado la secuencia MAVRIC con Slice Encoding for Metal Artifact Correction (SEMAC). La calidad de la imagen obtenida mediante SEMAC no depende de la inducción magnética. El híbrido ha sido denominado MAVRIC SL, y ha demostrado que es capaz de reducir el artefacto o borrón producido por metal incluso en campos de 3T(26).

Varios estudios documentados hasta la fecha realizados con MAVRIC y MAVRIC SL han sido estadísticamente significativos para la reducción del artefacto metálico en prótesis de cadera, hombro y rodilla, y para el material de artrodesis en raquis(22,27–30).

3. Hipótesis y objetivos.

La hipótesis de este estudio es que la secuencia MAVRIC SL se puede utilizar como técnica de imagen en la valoración de la malposición de los tornillos en la escoliosis idiopática del adolescente, mejorando la calidad de la imagen y disminuyendo los artefactos producidos por el material metálico.

El objetivo principal es realizar un análisis cualitativo y cuantitativo comparativo de las imágenes obtenidas con distintas secuencias de RM para validar la secuencia MAVRIC SL en estudio de malposición de tornillos.

El segundo objetivo es realizar un estudio descriptivo de la malposición de los tornillos en la escoliosis idiopática del adolescente que ha requerido una intervención en el servicio de Traumatología y Cirugía Ortopédica del Hospital Clínico Universitario de Valladolid.

4. Material y métodos.

La muestra de pacientes se ha seleccionado de aquellos intervenidos quirúrgicamente por deformidad de raquis entre enero de 2010 y enero de 2017. En total se ha obtenido 25 pacientes intervenidos de este tipo de patología y una vez revisados los historiales, 8 pacientes han cumplido los requisitos del estudio, siendo estos portadores de escoliosis idiopáticas sin otro origen de su deformidad. La intervención quirúrgica consistió en un abordaje posterior del raquis, liberación de la columna vertebral y posterior corrección mediante tornillos pediculares y barras de conexión. Se utilizaron un total de 148 tornillos. Los criterios de inclusión han sido los siguientes:

- Escoliosis idiopática del adolescente.
- Cirugía de reducción mediante artrodesis con tornillos.
- Navegación intraoperatoria mediante Cone-Beam radiation.
- Control neurofisiológico mediante potenciales neurosensoriales evocados durante la operación.
- Edad entre 10 y 25 años al momento de la intervención.
- Haber aceptado libremente la participación en el estudio, formalizándolo mediante lectura y firma del consentimiento informado.

Los criterios de exclusión han sido los siguientes:

- Negativa a firmar el consentimiento informado.
- Pacientes con reintervención para retirada del material.
- Enfermedades del neurodesarrollo, neurológicas o neuromusculares.
- Tatuajes recientes: realizados en un periodo de hasta 3 meses antes de la cita para realizársele la RM.
- Obesidad mórbida.
- Claustrofobia.
- Marcapasos cardíaco o desfibrilación automático implantable.
- Implante coclear.
- Clips vasculares metálicos.
- Portadores de prótesis vascular o stent vascular.
- Portadoras de DIU.
- Prótesis ortopédicas.
- Pacientes con fragmentos de metales en el cuerpo (como proyectiles de arma de fuego).
- Alergia a metales.

A continuación se les ha citado para realizar la RM a través del servicio de Secretaría del departamento de Radiología del HCUV, a lo largo de marzo y abril de 2018.

4.1. ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN.

El equipo de RM utilizado es Signa Explorer de 1,5T, General Electric Systems, Adquisición de imágenes con antena de 12 canales, cortes axiales y sagitales de toda la columna vertebral en las siguientes secuencias: STIR MAVRIC SL, DP MAVRIC SL, STIR y T2 FSE. Estas dos últimas sólo en el 50% de los pacientes (**Imagen 1, anexo I**).

Los parámetros de la adquisición se describen a continuación. Secuencia T2 FSE: Tiempo de Relajación (TR)/ Tiempo de Excitación (TE): 4400-2800ms/ 120ms, Tiempo de adquisición (Tadq): 3.00-3.25min, número de excitación (NEX): 4, grosor de corte (ST): 3.5-4mm, número de cortes (NS): 20, ancho de banda (BW): 41.67kHz. Secuencia STIR: TR/ TE: 530-450ms/ 120ms, Tadq:

4.05-3.25min, NEX: 3-4, ST: 3.5-4mm, NS: 20-13, BW: 35.71-31.25kHz. Secuencias STIR MAVRIC SL y DP MAVRIC SL: TR/ TE: 4550-4000ms/ 6-8ms, Tdq: 4.5-6.25min, ST: 3-6mm, NS: 24-34.

Las imágenes se han reconstruido mediante un prototipo ya incorporado en los escáneres con capacidad para MAVRIC SL, que depuración de superposiciones y la combinación de la suma de los cuadrados de los diferentes espectros de frecuencia.

El análisis y postprocesado de imagen se ha realizado en estación de trabajo Advantage Workstation Server 3.2 y AW VolumeShare 7 (AW4.7), 2015 General Electric Company.

4.2. ANÁLISIS DE LA MALPOSIÓN.

Paralelamente al análisis de la calidad de imagen, se han identificado los tornillos malposicionados y se ha medido esta malposición en las secuencias DP MAVRIC SL, STIR MAVRIC SL, STIR y T2 FSE. Se ha considerado que existe malposición cuando el tornillo pedicular perfora la cortical vertebral y sobresale más de 1mm a través de esta. Esta malposición puede ser medial, lateral, superior o inferior, en función del plano óseo al que se dirige. Se han utilizado cortes sagitales y axiales para su estudio.

La malposición ha sido cuantificada mediante medición desde el punto del tornillo más alejado de la cortical, hasta el punto más cercano de esta misma, en milímetros (mm). Esta medida ha sido denominada brecha cortical. Las superficies medidas se han comparado entre las secuencias MAVRIC SL y no MAVRIC SL, y entre las secuencias DP MAVRIC SL y STIR MAVRIC SL. Se han considerado superiores aquellas que han presentado una menor brecha cortical, puesto que se corresponde con una menor superficie de artefacto.

Las mediciones han sido relacionadas con distintos aspectos: presencia del tornillo en la concavidad o convexidad de la curvatura, tipo de malposición en relación con los planos del espacio (medial, lateral, superior e inferior), lado (izquierdo o derecho) y nivel vertebral en el que se encuentran.

El número de tornillos malposicionados se ha relacionado con datos epidemiológicos del paciente a través de una tabla de variables: tipo de curva según la clasificación de Lenke, sexo, edad, fusión, número de tornillos por paciente, complicaciones postquirúrgicas, necesidad de reintervención y motivo, e infección de la herida quirúrgica. Todos estos datos han sido obtenidos de las Historias Clínicas (HC) de los pacientes.

4.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE IMAGEN.

La calidad de la imagen se ha analizado de dos formas: cualitativa y cuantitativamente. Ambos análisis han sido realizados por un radiólogo experto en el sistema músculo-esquelético en estación de trabajo Advantage Workstation Server 3.2 y AW VolumeShare 7 (AW4.7).

Durante la evaluación radiológica (*imagen 2, anexo I*), la alumna ha realizado y entendido el proceso de análisis así como la realización de la adquisición y postprocesados de las imágenes. Para el análisis cualitativo, se han cruzado las secuencias MAVRIC SL con las secuencias no MAVRIC SL, y se ha estudiado la calidad de la imagen mediante cinco parámetros: borrosidad, visualización del hueso, visualización de partes blandas, y calidad general de la imagen. A la comparativa pareada entre imágenes se le han asignado valores entre -2 y 2, ordenados en función de qué secuencia era superior. Los valores han tomado los siguientes significados (**Tabla 1**):

valor	interpretación
-2	MAVRIC SL muy superior a la secuencia no MAVRIC SL
-1	MAVRIC SL superior a la secuencia no MAVRIC SL
0	Indiferente
1	Secuencia no MAVRIC SL superior a MAVRIC SL
2	Secuencia no MAVRIC SL muy superior a MAVRIC SL

Tabla 1. Interpretaciones de la calidad de imagen en función de la asignación de valores. Comparativa entre las secuencias MAVRIC SL y no MAVRIC SL.

También se ha realizado la misma tabla comparativa, enfrentando esta vez las secuencias DP MAVRIC SL y STIR MAVRIC SL, a la que se le han asignado los siguientes valores (**Tabla 2**):

valor	interpretación
-2	STIR MAVRIC SL muy superior a DP MAVRIC SL
-1	STIR MAVRIC SL superior a DP MAVRIC SL
0	Indiferente
1	DP MAVRIC SL superior a STIR MAVRIC SL
2	DP MAVRIC SL muy superior a STIR MAVRIC

Tabla 2. Interpretaciones de la calidad de imagen en función de la asignación de valores. Comparativa entre las secuencias MAVRIC SL.

El análisis cuantitativo de la calidad de imagen ha consistido en la medición de superficies del borrón o artefacto producido por el metal del tornillo (mm^2).

Han sido escogidos los tornillos más representativos de cada secuencia, esto es, aquellos que se visualizaban por completo y con buena calidad de imagen en ambas secuencias de manera comparable. Se han enfrentado por pares las secuencias DP MAVRIC SL, STIR MAVRIC SL, STIR y T2 FSE en planos axiales y sagitales.

4.4. ESTUDIO ESTADÍSTICO.

Se trata de un estudio de cohortes retrospectivo. Se ha empleado el test Chi-cuadrado de Pearson para analizar la asociación de las variables cualitativas. En el caso de que el número de celdas con valores esperados menores de 5 haya sido mayor de un 20%, se ha utilizado el test exacto de Fisher o el test de Razón de verosimilitud para variables con más de dos categorías.

Las comparaciones de los valores cuantitativos se han realizado mediante la prueba U de Mann Whitney para grupos independientes y la prueba de Wilcoxon o de Friedman en el caso de los dependientes. La relación entre las variables cuantitativas se ha analizado con el coeficiente de correlación de Spearman.

Los datos han sido analizados con el programa estadístico IBM SPSS Statistics versión 24.0 para Windows. Aquellos valores de $p < 0,05$ han sido considerados estadísticamente significativos.

5. Resultados.

Se han estudiado 8 pacientes con un total de 148 tornillos. El 25% de los pacientes ha presentado una curva torácica y el 75% una curva tóraco-lumbar. Solo uno de los pacientes es varón. Se han presentado complicaciones postquirúrgicas en 3 casos (37,5%): un caso con cefalea por hipotensión licuoral y meningismo producido por lesión dural, otro por sarpullido no filiado y crisis de disnea. El tercer caso precisó cirugía para completar la corrección debido a pérdida de potenciales durante el primer tiempo quirúrgico; en la reintervención sufrió una infección superficial de la herida quirúrgica. No se han identificado fracturas pediculares.

Las fusiones realizadas han sido las siguientes: T1-L1, T10-L4, T3-L1, T4-L1, T4-L2, T4-L3, T4-L4, T5-L3. El número total de tornillos ha sido de 65 derechos, de los cuales 17 (26,15%) están malposicionados y 83 izquierdos, de los cuales 11 (13,25%) lo están. Así la malposición se ha presentado en 28 tornillos (18,91%) de los 148 insertados. 12 de ellos (42,9%) se encuentran en la concavidad, 12 (42,9%) en la convexidad y 4 (14,29%) en las vértebras límites del cambio de curvatura. No se han encontrado malposiciones superiores ni inferiores. Del total de los tornillos colocados, un 7,4% ha presentado malposición lateral y un 11,5% medial.

La medida de la brecha cortical (**imágenes 3-5, anexo I**) ha dependido de la secuencia de imagen utilizada. Con la secuencia DP MAVRIC SL se ha obtenido una media (mm) de 4,92(DS \pm 1,87); STIR MAVRIC SL: 6,45(DS \pm 2,14); STIR: 6,9(DS \pm 1,9) y T2 FSE: 7,6(DS \pm 1,6). Las medidas más pequeñas se han registrado con la secuencia DP MAVRIC SL, esto significa que el artefacto metálico registrado por esta es menor que en el resto.

La distancia a la Aorta ha sido estudiada de la misma forma (**imagen 8, anexo I**). Con la secuencia DP MAVRIC SL se ha obtenido una media (mm) de 5,71(DS \pm 3,34); STIR MAVRIC SL: 5,67(DS \pm 2,93); STIR: 4(DS 1,1) y T2 FSE: 3,17(DS \pm 0,47). La mayor distancia a la Aorta registrada se ha dado con la secuencia DP MAVRIC SL, esto significa que el artefacto generado por el metal es menor que en el resto de secuencias.

Se ha realizado el test de Wilcoxon para dos muestras relacionadas en comparaciones pareadas de secuencias, en ambas medidas (brecha cortical y distancia a la Aorta), no siendo significativo para ninguna de las dos.

El análisis cualitativo de la calidad de imagen se ha realizado a través comparación por pares de los cuales se ha obtenido una media para cada uno de los parámetros: borrosidad, visibilidad del hueso, visibilidad de partes blandas y calidad global de la imagen (**tabla 3**), (**imágenes 6-11, anexo I**):

	borrosidad	Vis. hueso	Vis. Partes blandas	Calidad global imagen
STIR MV vs. DP MV	1,5	1,375	1,250	1,500
STIR MV vs. STIR	-0,500	-0,500	0,000	0,000
DP MV vs. STIR	-1,500	-1,500	-1,250	-1,500
STIR MV vs. T2 FSE	-0,250	1,000	0,500	1,000
DP MV vs. T2FSE	-1,500	-0,750	-0,250	0,250

Tabla 3. Análisis cualitativo de la calidad de imagen. Asignación de valores en función de la comparativa entre secuencias. Los números más negativos indican superioridad de la secuencia primera. Los números más positivos indican superioridad de la secuencia segunda. El 0 es el valor neutro, igualdad de la calidad de imagen de ambas secuencias.

La secuencia DP MAVRIC SL ha obtenido mejores resultados en cualquiera de las comparativas. Las secuencias MAVRIC SL han obtenido mejores resultados que las no MAVRIC SL, excepto en la comparativa STIR MAVRIC SL vs. T2 FSE, en la que esta última es superior.

En el estudio cuantitativo de imagen se ha medido el borrón en mm² (**imágenes 12-15, anexo I**). Se ha realizado un estudio de correlación entre DP MAVRIC SL y STIR MAVRIC SL en el que la superficie medida por la primera siempre ha sido menor que la segunda, y por tanto también el borrón (**gráfico 1, anexo I**).

Para cuantificarlo ha sido empleado el test de Wilcoxon de dos colas para las secuencias pareadas. El resultado ha sido estadísticamente significativo para DP MAVRIC SL vs. STIR ($p=0,024$), DP MAVRIC SL vs. STIR MAVRIC SL ($p=0,002$) y DP MAVRIC SL vs. T2 FSE ($P=0,003$). El borrón producido por DP MAVRIC SL ha sido menor, como ha sido reflejado en las medias de las

medidas obtenidas (mm²): 400(DS ±67) con DP MAVRIC SL, 484(DS ±0130) con STIR MAVRIC SL, 581(DS ±156) con T2 FSE y 611(DS ±130) con STIR.

6. Discusión.

Este estudio sobre la malposición de tornillos pediculares en la escoliosis idiopática del adolescente ha utilizado un método de evaluación no utilizado previamente. Dicho estudio ha constado de dos partes. Por un lado se ha realizado un análisis descriptivo de las variables asociadas a esta complicación, por otro lado un análisis estadístico comparativo de las secuencias de RM. El estudio estadístico tiene la finalidad de hacer una evaluación inicial sobre la viabilidad de las secuencias MAVRIC SL en la malposición de tornillos pediculares en el raquis.

En su estudio, *Di Silvestre et al.*(10) Cuentan con una muestra de 115 pacientes con un total de 1035 tornillos analizados. En contraposición, la muestra de este estudio ha sido de 8 pacientes con un total de 148 tornillos. El pequeño tamaño de la muestra no ha permitido la aparición de una gran variedad de medidas. El diagnóstico se ha limitado a la escoliosis idiopática del adolescente, mientras que en el citado(10) figuran otros como escoliosis congénita, escoliosis idiopática del adulto y escoliosis asociada a otros síndromes.

La tasa de reintervención ha sido del 12,5% (1 caso) y debido a pérdida de las respuestas motoras durante el control neurofisiológico intraoperatorio mediante potenciales evocados, que no permitieron completar la operación. El material de artrodesis se colocó en un segundo tiempo. En ningún caso ha precisado de reintervención quirúrgica por malposición clínica de tornillos. Ninguna reintervención ha sido debida a las complicaciones postoperatorias. Uno de los pacientes ha presentado sarpullido no filiado con crisis de disnea en el postoperatorio inmediato, y no guarda relación con los tornillos. Por otro lado la infección superficial de la herida quirúrgica y la cefalea por lesión dural, aunque sí se relacionan directamente con los tornillos no requirieron reintervención para su resolución. Sin embargo, *Di silvestre el al.*(10) describen una tasa de reintervención del 4,3% por derrame pleural, proximidad a la Aorta y la lateralización progresiva de un tornillo en otro caso.

Di Silvestre et al.(10) obtienen tasas de malposición del 1,7% mientras que este estudio ha descrito tasas del 18,91%. Las cifras de este estudio concuerdan con lo descrito en otras investigaciones, y se admite que la malposición puede darse entre el 6-30% de los tornillos colocados(9). Sin embargo, este estudio está alejado de los resultados del comparado(10). Esto puede ser debido a la confluencia de los siguientes factores: el tamaño muestral, la técnica de identificación de los tornillos malposicionados y la técnica de imagen. La limitación del tamaño muestral ha sido comentada anteriormente. Por otro lado, la técnica de identificación del tornillo malposicionado en el estudio(10) se realizó en dos pasos. En un primer paso, se incluyeron para su análisis aquellos tornillos que presentaban una angulación diferente en las radiografías de tórax postoperatorias. A continuación se realizaron TC a los pacientes para una segunda selección y posterior análisis. Esta táctica en dos pasos deposita una gran confianza en la radiografía simple, aunque como se ha descrito posee limitaciones. La radiografía simple no permite la obtención de imágenes axiales, que es el plano del espacio en el que con mayor frecuencia se dan las desviaciones de los tornillos (medial/lateral) con respecto al pedículo vertebral. Tampoco permite la correcta visibilidad de partes blandas, y la calidad de imagen global es inferior al TC o a la RM. Por tanto, al estar basado inicialmente en radiología simple, existe un sesgo de infravaloración de malposición. Para evitar este tipo de problemas, distintas técnicas de imagen deberían ser comparadas en los mismos pacientes.

La técnica de imagen utilizada para las mediciones por *Di Silvestre et al.*(10) ha sido la TC, mientras que en este estudio ha sido la RM. A pesar de la reducción del artefacto metálico con las nuevas secuencias MAVRIC SL, este sigue estando presente, lo que provoca una mayor distancia de brecha cortical y una mayor superficie que es indistinguible del tornillo original. De esto se deduce que existan más cantidad de tornillos aparentemente malposicionados y una mayor medida de la brecha cortical. En el estudio comparativo(10) los rangos fueron de 1- 3,5mm. En el estudio que se ha llevado a cabo, la media está alejada del rango mencionado, pero va decreciendo en tanto que la secuencia de imagen demuestra ser mejor, partiendo de valores de 7,6(DS \pm 1,6) en T2 FSE hasta valores de 4,92mm (\pm 1,87DS) en DP MAVRIC SL.

La malposición ha sido medial en el 66,71% de los casos, frente al 16,6%(10), lateral en el 39,29%, frente al 66,6%(10), y no se ha descrito ninguna malposición superior, frente al 11,1%(10) ni inferior, frente al 5,56%(10). Ninguna de estas malposiciones ha sido sintomática en este estudio. Sí en el estudio citado(10), en la que 1 de los 13 pacientes con malposición sufrió un derrame pleural.

La tasa de lesión dural es similar en ambos estudios, 12,5% en este caso frente a 12,1% en el estudio de *Di Silvestre et al.*(10). Además, ellos describen infección superficial de la herida en 2 casos, 1 caso en este estudio. Ninguno requirió otro tratamiento diferente a antibiótico y drenaje.

La lesión vascular más grave relacionada con la malposición de los tornillos es la perforación de la Aorta. *Di Silvestre et al.*(10) Consideran una distancia de seguridad aquel tornillo que se encuentra más de 5mm desde su superficie más cercana al vaso. En su estudio, todos los tornillos izquierdos lateralizados respetan esta distancia, al igual que en el que se ha realizado. De nuevo se observa como esta distancia va incrementándose a medida que la secuencia de imagen gana calidad y por lo tanto reduce el artefacto metálico, partiendo de valores de 3,17(DS \pm 0,47) en la secuencia T2 FSE para alcanzar cifras de 5,71(DS \pm 3,34) en la PD MAVRIC SL. De esto se deduce que las nuevas secuencias se acercan a las medidas de una forma más fidedigna, y permite evaluar la seguridad con respecto a este elemento vascular.

Los resultados de los análisis de la calidad de imagen se asemejan a los realizados en otro tipo de intervenciones quirúrgicas. En cuanto al análisis cuantitativo, DP MAVRIC SL ha demostrado reducción significativa del borrón producido en superficie(26,25) Esto permite ver más estructuras contiguas y analizar mejor las distancias a ellas, como en el caso de la Aorta mencionado anteriormente.

En sus estudios, *Susa et al.*(25) Y *Gutiérrez et al.*(26) Realizan un examen de asignación de valores que toma el mismo significado que en este estudio. Por otro lado *Kretzschmar et al.*(28) Realizan un estudio semejante aunque con otros valores, del que se derivan las mismas conclusiones que los anteriores: la visualización del hueso, de partes blandas y la calidad global de la imagen es

significativamente mejor con las secuencias MAVRIC SL que con las secuencias no MAVRIC SL. Estos resultados están invertidos en cuanto a borrosidad, donde las secuencias no MAVRIC SL demuestran superioridad. Esto difiere de los resultados obtenidos, donde MAVRIC SL sigue siendo superior en cuanto a borrosidad. La causa podría estar en relación con el aumento del tamaño de las prótesis. En prótesis de mayor tamaño la secuencia MAVRIC SL no presenta selectividad de volúmenes, y esto también puede ser una limitación para los estudios comparados. En estos(25,26,28) se utilizan prótesis y fijaciones de cadera y rodilla, cuyo volumen es superior al de los sistemas de artrodesis del raquis.

En cuanto a la muestra seleccionada, no se ha llevado a cabo ningún estudio en población infanto-juvenil, así como tampoco se ha realizado ningún estudio exclusivo de material de artrodesis del raquis. Esto impide la comparativa con ninguna literatura. Sí se ha descrito en prótesis de cadera exclusivamente, y cadera, hombro, raquis y rodilla en conjunto(22,25,26,28–30). Estos estudios(28,26,25,22) reparan en la falta de homogeneidad en la supresión grasa que realiza la secuencia MAVRIC. En este aspecto, reconocen la secuencia STIR como superior. No se ha podido comparar el estudio realizado con estos debido a la falta de tejido graso alrededor de los metales estudiados.

7. Conclusión.

La secuencia MAVRIC SL abre un campo a estudio importante en el ámbito de la artrodesis de columna. La prevalencia de la escoliosis idiopática del adolescente es alta (1-3%)(10) y la malposición de los tornillos es una de las complicaciones más frecuentes(9). Para su estudio es fundamental utilizar técnicas de imagen, cuyo representante actual es la TC, pero cuyo problema de radiación es preocupante, y más en este tipo de población. La secuencia MAVRIC SL es una nueva herramienta en el campo de la columna vertebral que presenta oportunidades de trabajo y evaluación sin efectos adversos, si bien requiere de validación mediante estudios comparativos que permitan entender la variación en los datos numéricos en comparación con otras técnicas de imagen.

8. Agradecimientos.

A mis tutores David e Israel, por su trabajo y apoyo, siempre atentos y didactas. A las Técnicas de Imagen para el Diagnóstico, María Antonia Paniagua Martínez y Erica López García, que han colaborado en la elaboración de este proyecto desinteresadamente. A la Universidad de Valladolid, por brindarme la oportunidad de dar mis primeros pasos en investigación científica.

9. Bibliografía

1. Jiang H, Qiu X, Wang W, Zhu Z, Qian B, Guo J, et al. The position of the aorta changes with altered body position in single right thoracic adolescent idiopathic scoliosis: a magnetic resonance imaging study. *Spine*. 2012 Aug 1;37(17):E1054–1061.
2. Yin X, Wang H, Guo J, Zhang L, Zhang Y, Li L, et al. Association of vitamin D receptor Bsm1 rs1544410 and Apal rs7975232 polymorphisms with susceptibility to adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2018 Jan;97(2):e9627.
3. Hart RA, Hansen BL, Shea M, Hsu F, Anderson GJ. Pedicle screw placement in the thoracic spine: a comparison of image-guided and manual techniques in cadavers. *Spine*. 2005 Jun 15;30(12):E326–331.
4. Rajaei SS, Bae HW, Kanim LEA, Delamarter RB. Spinal fusion in the United States: analysis of trends from 1998 to 2008. *Spine*. 2012 Jan 1;37(1):67–76.
5. R M-Á, Elizondo-Omaña RE, F V-C, León AM-P de, G E-R, M D-B, et al. Fijación vertebral por vía transpedicular. Importancia de los estudios anatómicos y de imagen. *Acta Ortopédica Mex*. 2012;26(6):402–11.
6. Ahmed SI, Bastrom TP, Yaszay B, Newton PO, Harms Study Group. 5-Year Reoperation Risk and Causes for Revision After Idiopathic Scoliosis Surgery. *Spine*. 2017 Jul 1;42(13):999–1005.
7. Bartley CE, Yaszay B, Bastrom TP, Shah SA, Lonner BS, Asghar J, et al. Perioperative and Delayed Major Complications Following Surgical Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2017 Jul 19;99(14):1206–12.
8. De la Garza Ramos R, Goodwin CR, Abu-Bonsrah N, Jain A, Miller EK, Huang N, et al. Patient and operative factors associated with complications following adolescent idiopathic scoliosis surgery: an analysis of 36,335 patients from the Nationwide Inpatient Sample. *J Neurosurg Pediatr*. 2016 Dec;25(6):730–6.
9. González VG, Burgos Flores J, Del Olmo T, Barrios Pitarque C, Hevia Sierra E, Rodrigálvarez LMA, et al. Misplacement of lumbar pedicular screws that produce postoperative mechanical radiculalgia with normal intraoperative neurophysiological stimulation: the value of neurophysiological stimulation at the pedicular mid-track. *Coluna/Columna*. 2013 Dec;12(4):322–5.
10. Di Silvestre M, Parisini P, Lolli F, Bakaloudis G. Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment. *Spine*. 2007 Jul 1;32(15):1655–61.
11. Chan CYW, Kwan MK. Safety of Pedicle Screws in Adolescent Idiopathic Scoliosis Surgery. *Asian Spine J*. 2017 Dec;11(6):998–1007.

12. Hicks JM, Singla A, Shen FH, Arlet V. Complications of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: a systematic review. *Spine*. 2010 May 15;35(11):E465–470.
13. Qiu X-S, Jiang H, Qian B-P, Wang W-J, Zhu F, Zhu Z-Z, et al. Influence of prone positioning on potential risk of aorta injury from pedicle screw misplacement in adolescent idiopathic scoliosis patients. *J Spinal Disord Tech*. 2014 Jul;27(5):E162–167.
14. Thirumala PD, Cheng HL, Loke YK, Kojo Hamilton D, Balzer J, Crammond DJ. Diagnostic accuracy of somatosensory evoked potential monitoring during scoliosis fusion. *J Clin Neurosci Off J Neurosurg Soc Australas*. 2016 Aug;30:8–14.
15. Modi HN, Suh SW, Fernandez H, Yang JH, Song H-R. Accuracy and safety of pedicle screw placement in neuromuscular scoliosis with free-hand technique. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. 2008 Dec;17(12):1686–96.
16. Mirza SK, Wiggins GC, Kuntz C, York JE, Bellabarba C, Knonodi MA, et al. Accuracy of thoracic vertebral body screw placement using standard fluoroscopy, fluoroscopic image guidance, and computed tomographic image guidance: a cadaver study. *Spine*. 2003 Feb 15;28(4):402–13.
17. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Cho YS, Riew KD. Free hand pedicle screw placement in the thoracic spine: is it safe? *Spine*. 2004 Feb 1;29(3):333–342; discussion 342.
18. Tabaraee E, Gibson AG, Karahalios DG, Potts EA, Mobasser J-P, Burch S. Intraoperative cone beam-computed tomography with navigation (O-ARM) versus conventional fluoroscopy (C-ARM): a cadaveric study comparing accuracy, efficiency, and safety for spinal instrumentation. *Spine*. 2013 Oct 15;38(22):1953–8.
19. Lee CS, Park S-A, Hwang CJ, Kim D-J, Lee W-J, Kim Y-T, et al. A novel method of screw placement for extremely small thoracic pedicles in scoliosis. *Spine*. 2011 Jul 15;36(16):E1112–1116.
20. Noriega DC, Hernández-Ramajo R, Rodríguez-Monsalve Milano F, Sanchez-Lite I, Toribio B, Ardura F, et al. Risk-benefit analysis of navigation techniques for vertebral transpedicular instrumentation: a prospective study. *Spine J Off J North Am Spine Soc*. 2017;17(1):70–5.
21. Verma SK, Singh PK, Agrawal D, Sinha S, Gupta D, Satyarthee GD, et al. O-arm with navigation versus C-arm: a review of screw placement over 3 years at a major trauma center. *Br J Neurosurg*. 2016 Dec;30(6):658–61.
22. Talbot BS, Weinberg EP. MR Imaging with Metal-suppression Sequences for Evaluation of Total Joint Arthroplasty. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc*. 2016 Feb;36(1):209–25.

23. Koff MF, Shah P, Koch KM, Potter HG. Quantifying image distortion of orthopedic materials in magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging JMRI*. 2013 Sep;38(3):610–8.
24. Burger IA, Wurnig MC, Becker AS, Kenkel D, Delso G, Veit-Haibach P, et al. Hybrid PET/MR imaging: an algorithm to reduce metal artifacts from dental implants in Dixon-based attenuation map generation using a multiacquisition variable-resonance image combination sequence. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med*. 2015 Jan;56(1):93–7.
25. Susa M, Oguro S, Kikuta K, Nishimoto K, Horiuchi K, Jinzaki M, et al. Novel MR imaging method--MAVRIC--for metal artifact suppression after joint replacement in musculoskeletal tumor patients. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015 Dec 4;16:377.
26. Gutierrez LB, Do BH, Gold GE, Hargreaves BA, Koch KM, Worters PW, et al. MR imaging near metallic implants using MAVRIC SL: initial clinical experience at 3T. *Acad Radiol*. 2015 Mar;22(3):370–9.
27. Dillenseger JP, Molière S, Choquet P, Goetz C, Ehlinger M, Bierry G. An illustrative review to understand and manage metal-induced artifacts in musculoskeletal MRI: a primer and updates. *Skeletal Radiol*. 2016 May;45(5):677–88.
28. Kretzschmar M, Nardo L, Han MM, Heilmeier U, Sam C, Joseph GB, et al. Metal artefact suppression at 3 T MRI: comparison of MAVRIC-SL with conventional fast spin echo sequences in patients with Hip joint arthroplasty. *Eur Radiol*. 2015 Aug;25(8):2403–11.
29. Kaushik SS, Marszalkowski C, Koch KM. External calibration of the spectral coverage for three-dimensional multispectral MRI. *Magn Reson Med*. 2016;76(5):1494–503.
30. Ariyanayagam T, Malcolm PN, Toms AP. Advances in Metal Artifact Reduction Techniques for Periprosthetic Soft Tissue Imaging. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2015 Sep;19(4):328–34.

Anexo I.



*Imagen 1 (superior): Obtención de las imágenes de RM por la técnico en imagen para el diagnóstico.
Imagen 2 (inferior): Análisis de la calidad de imagen por el radiólogo especialista en músculo-esquelético.*

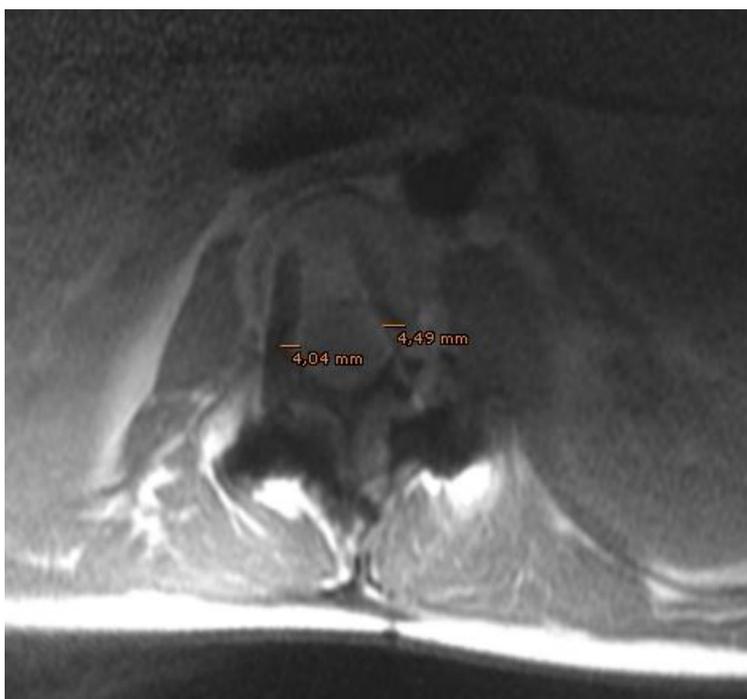


Imagen 3. Medida de la brecha cortical de los tornillos malposicionados a través de imagen obtenida mediante RM. Secuencia DP MAVRIC SL, nivel L2..

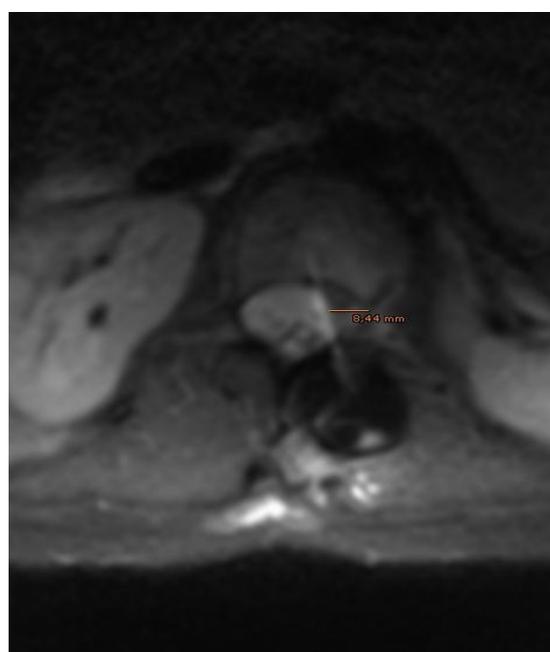
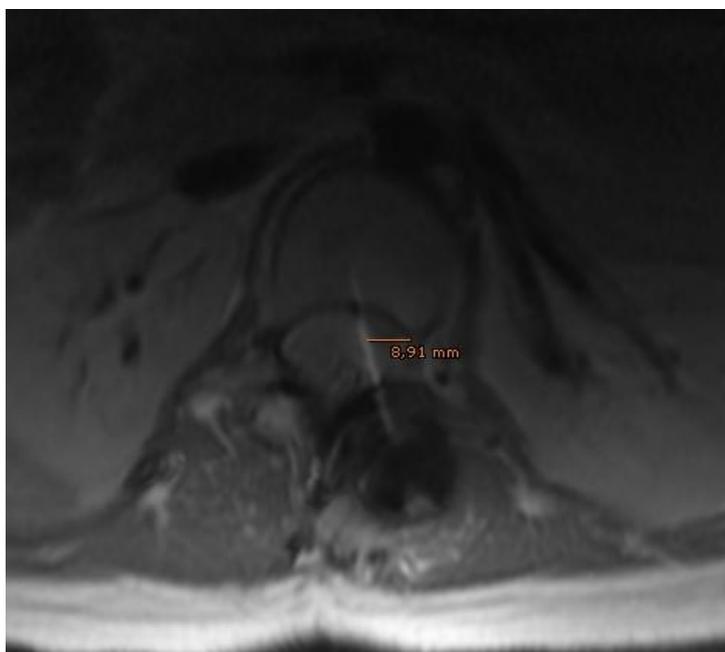


Imagen 4 (izquierda), 5 (derecha). Análisis de la brecha cortical de los tornillos malposicionados a través de imágenes de cortes axiales de raquis obtenidos mediante RM. Imagen 4: secuencia DP MAVRIC SL, nivel L1. Imagen 5: secuencia STIR MAVRIC SL, nivel L1.

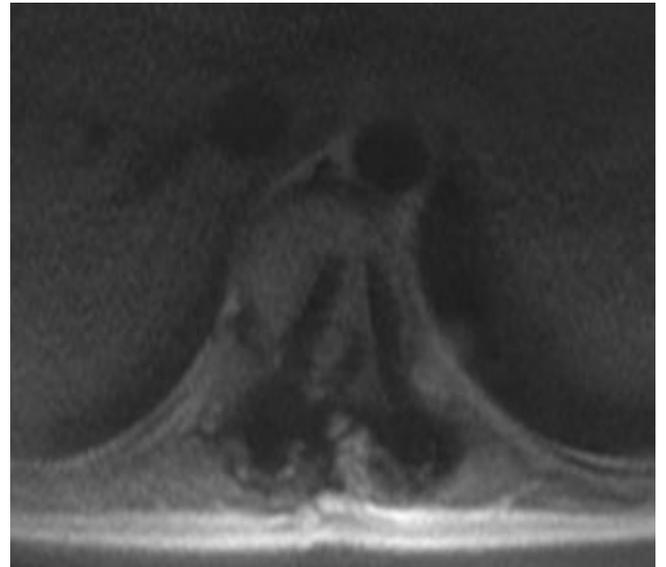
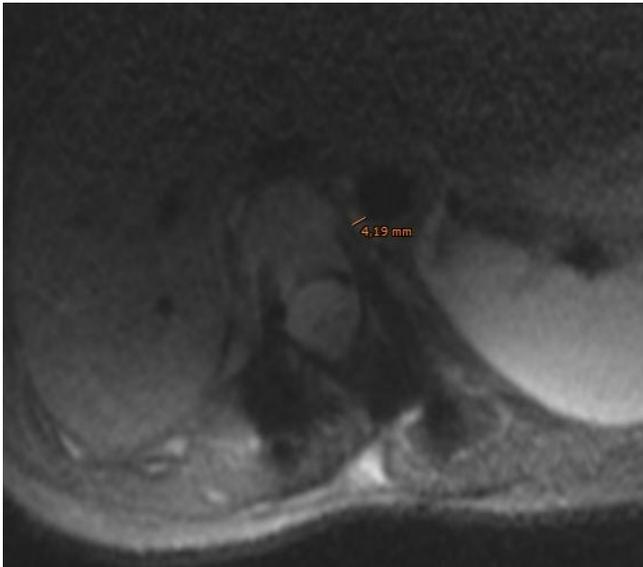
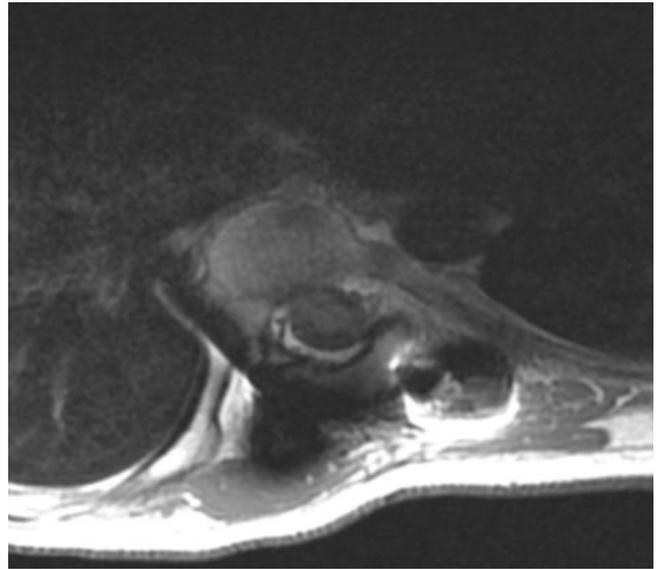
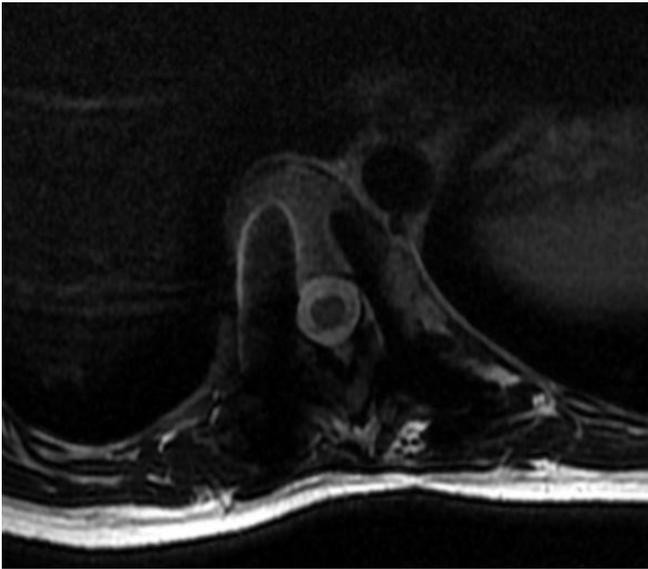


Imagen 6 (superior izquierda), 7 (superior derecha), 8 (inferior izquierda) y 9 (inferior derecha) de cortes axiales de raquis obtenidas mediante RM. Imagen 6: secuencia T2 FSE, nivel T10. Imagen 7: secuencia STIR, nivel L1. Imagen 8: secuencia STIR MAVRIC SL, nivel T12. Medición de la distancia a la Aorta de un tornillo izquierdo que irrumpe la cortical vertebral. Imagen 9: secuencia DP MAVRIC SL, nivel L4.



Imágenes 10 (izquierda) y 11 (derecha). Cortes sagitales de raquis obtenidos mediante RM. Imagen 10: secuencia STIR, tornillos izquierdos. Imagen 11: secuencia DP MAVRIC SL, tornillos izquierdos.

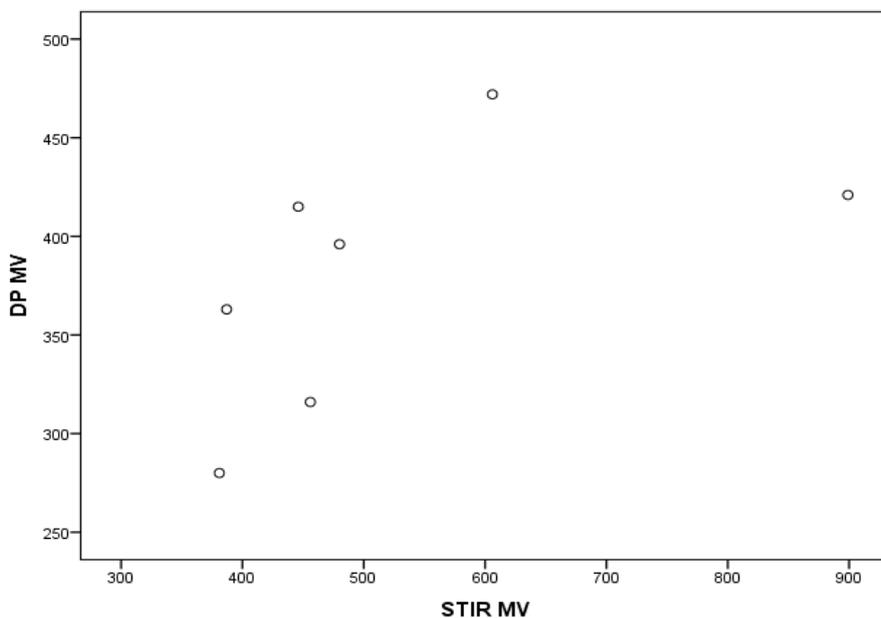


Gráfico 1. Correlación entre las secuencias DP MAVRIC SL (eje vertical) y STIR MAVRIC SL (eje horizontal) de los valores del borrón o artefacto metálico (mm^2). Nótese que todos los valores de STIR MAVRIC SL se correlacionan siempre con valores menores de DP MAVRIC SL.

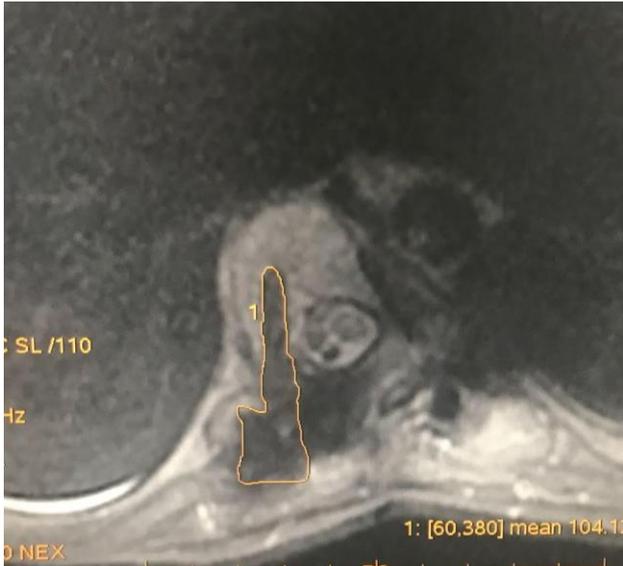


Imagen 12 (izquierda) y 13 (derecha). Medida del borrón o artefacto metálico originado por los tornillos pediculares (mm^2). Imágenes de cortes axiales de raquis obtenidos mediante RM. Ambas imágenes corresponden al mismo tornillo. La imagen 12 utilizada la secuencia STIR MAVRIC SL, y el artefacto medido es de 387mm^2 . La imagen 13 utiliza la secuencia DP MAVRIC SL, y el artefacto medido es de 363mm^2 .

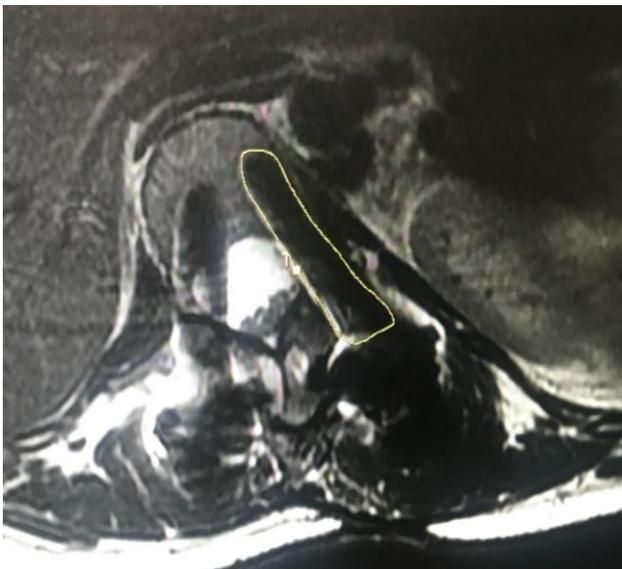


Imagen 14 (izquierda) y 15 (derecha). Medida del borrón o artefacto metálico originado por los tornillos pediculares (mm^2). Imagen 14: corte axial de raquis obtenido mediante RM, secuencia T2 FSE. El artefacto medido es de 380mm^2 . Imagen 15: corte sagital de raquis obtenido mediante RM, secuencia STIR MAVRIC SL. El artefacto medido es de 572mm^2 .