

Utilidad del DTI en la valoración de la mielopatía compresiva: más allá del T2 (y de la fracción de anisotropía).

**Teodoro Martín Noguero¹, Rafael Barousse ², Marta
Gomez Cabrera³, Jose Pablo Martínez Barbero¹,
Mercedes Vallejo Márquez⁴, Eva Heursen ³**



¹SERCOSA, Jaén, España

²Centro Rossi, Buenos
Aires, Argentina

³DADISA, Cadiz, España

⁴Hospital Viamed. Santa
Ángela de la Cruz.,
Sevilla, España

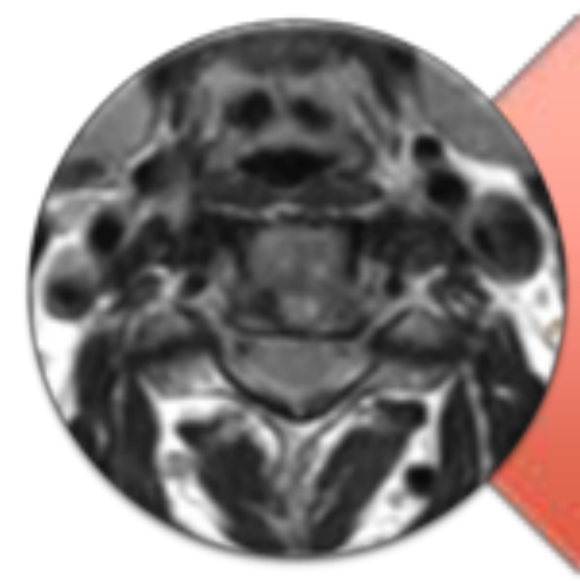
Objetivos docentes

1. Revisar las ***bases físicas y ajustes técnicos*** necesarios para la realización de estudios de tensor de difusión (DTI) en cordón medular.
2. Detallar los ***parámetros*** derivados de los estudios de DTI y su significación biológica.
3. Mostrar a través de ***casos prácticos*** las potenciales utilidades del DTI y sus parámetros derivados para la valoración de patología medular compresiva.

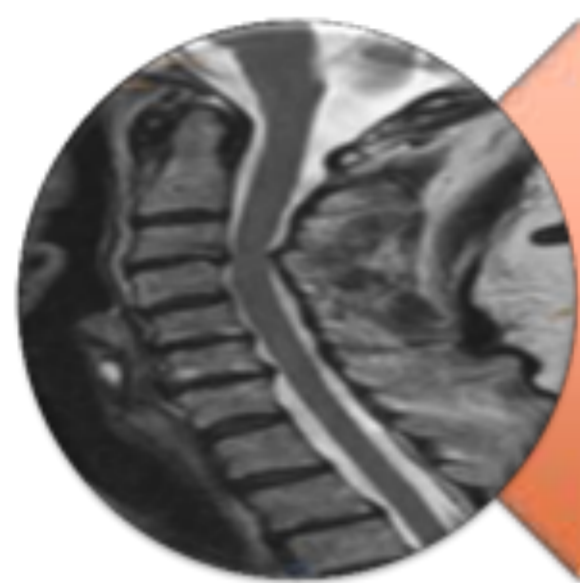
Revisión del tema



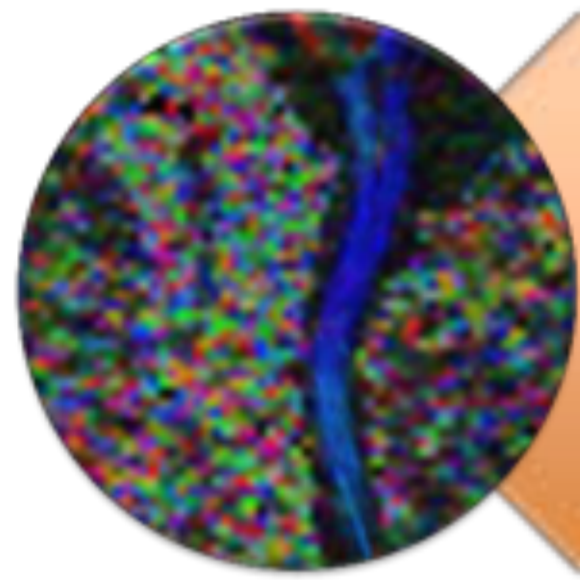
Introducción



¿Cuál es la estructura y cómo se afecta el cordón medular?



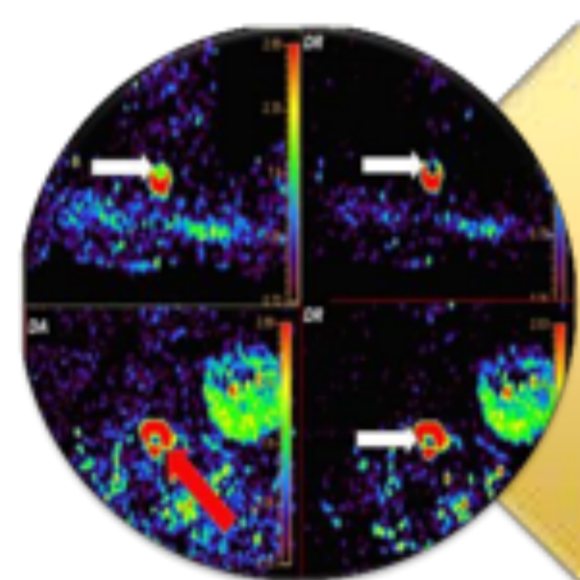
RM convencional



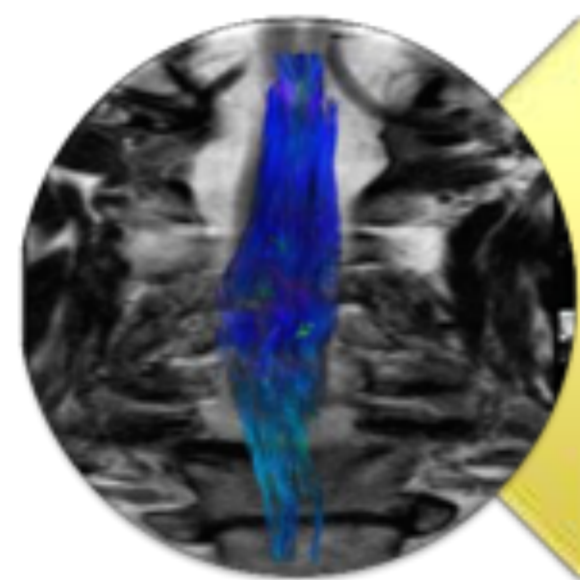
Bases físicas y biológicas del DTI en médula



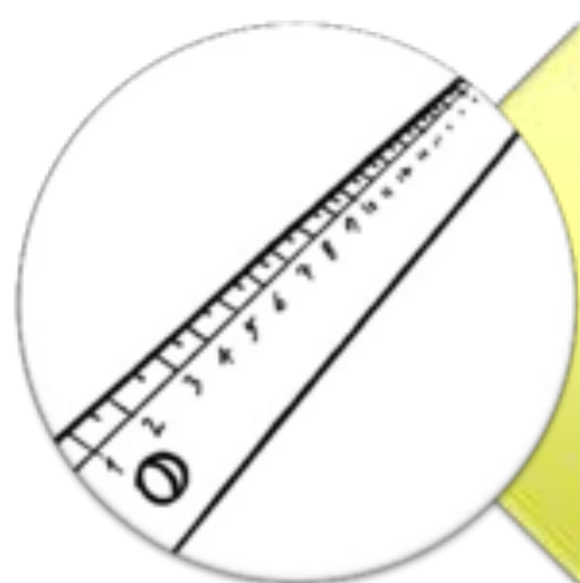
¿Que ajustes técnicos son necesarios?



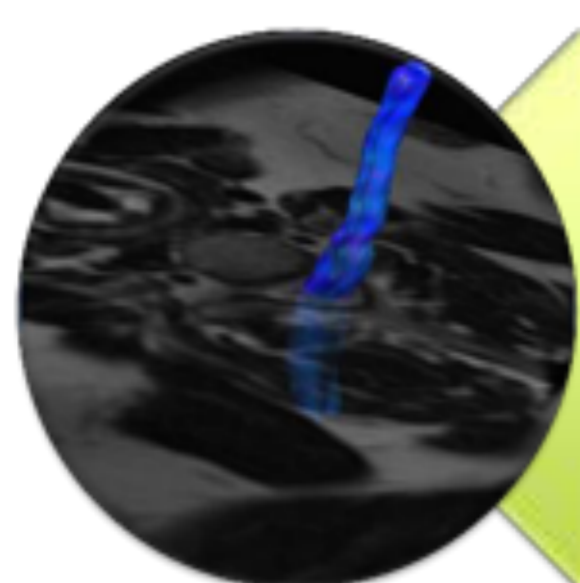
¿Qué parámetros se derivan?



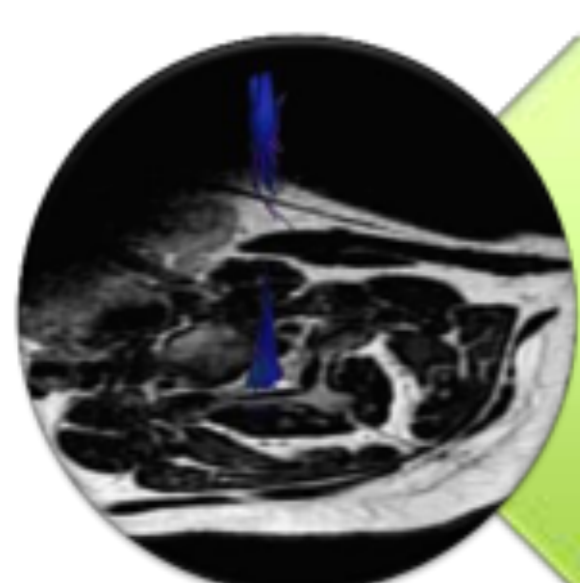
¿Como se hace la tractografía?



¿Cómo medir?



Valor añadido del DTI



Casos prácticos

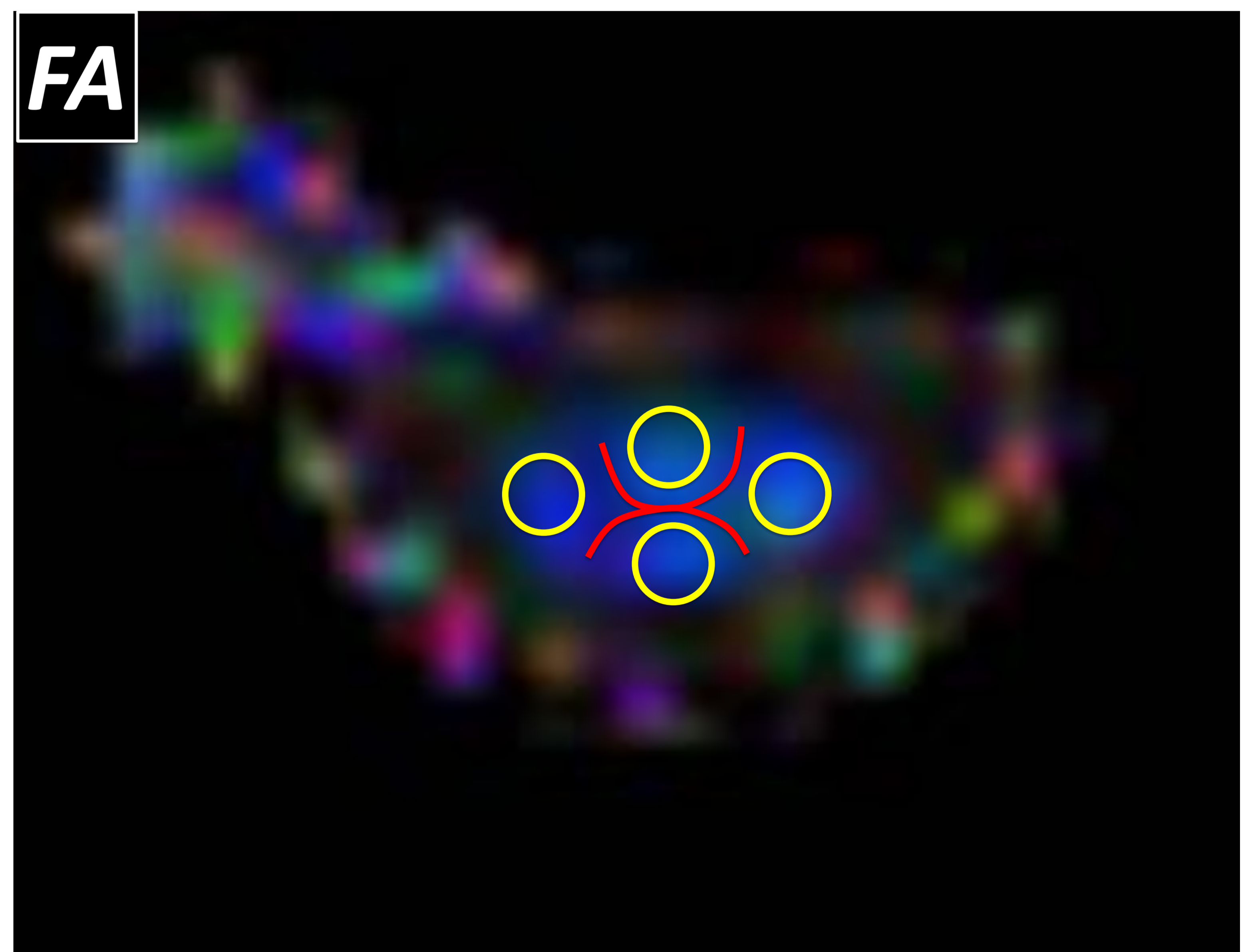
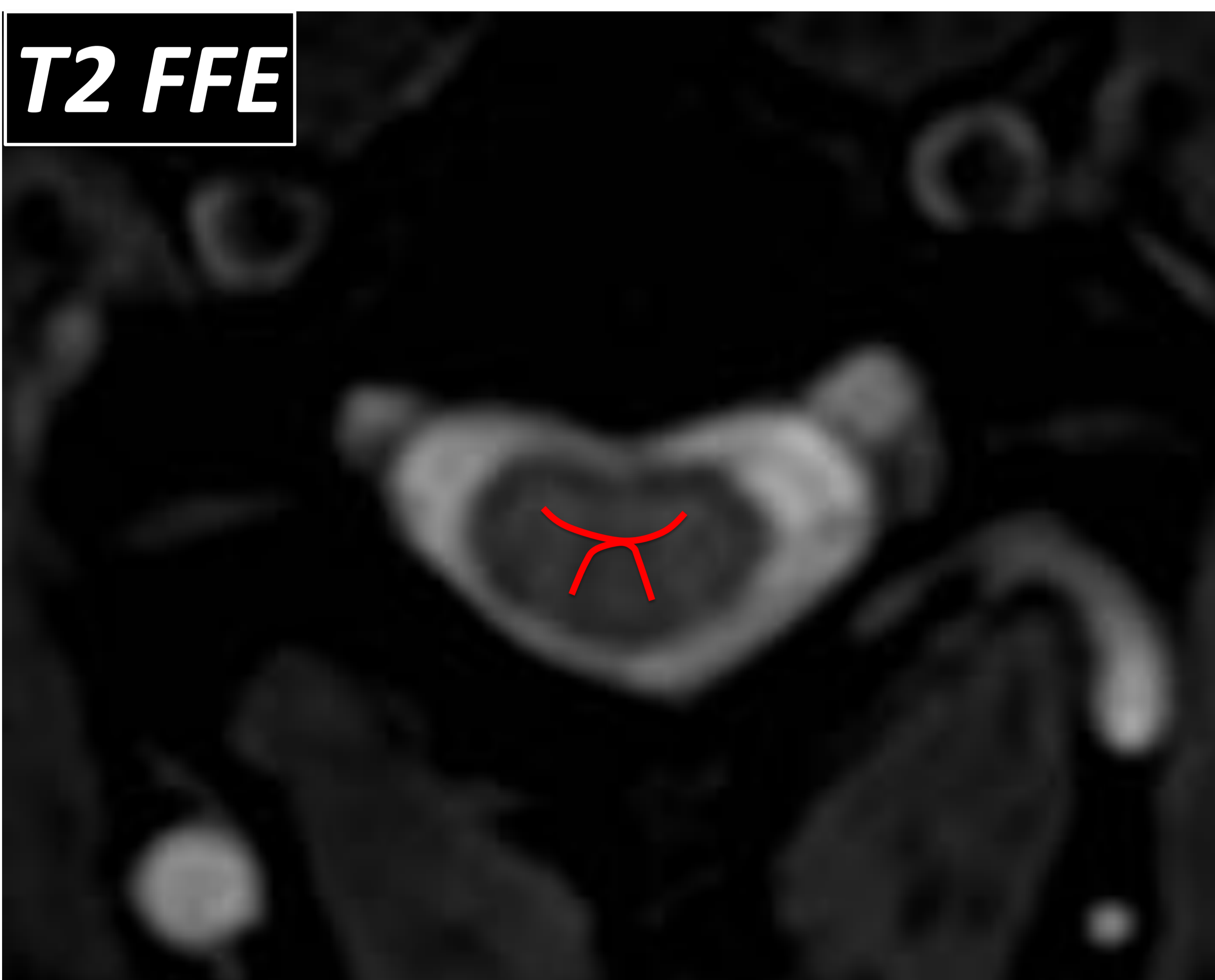
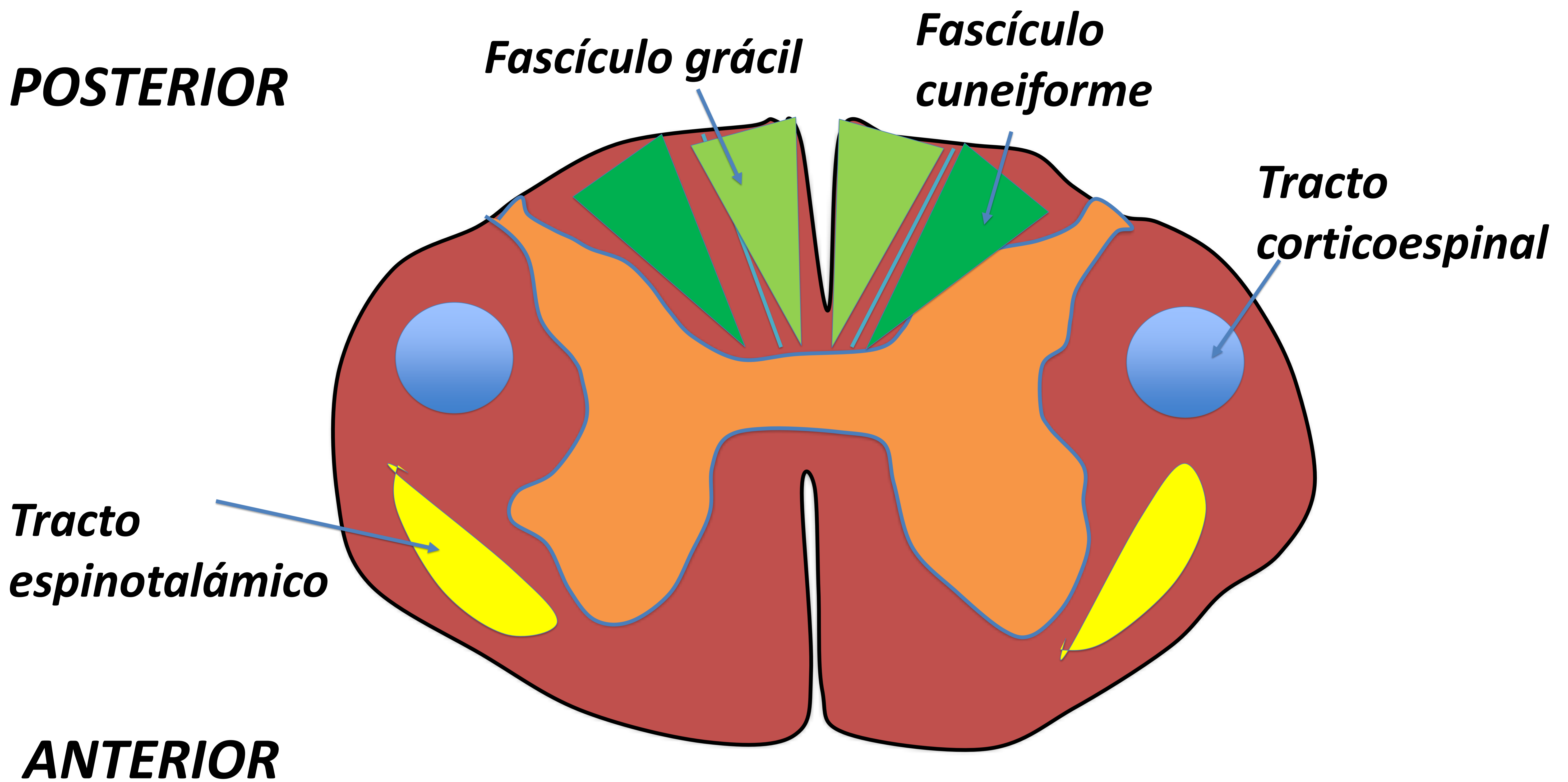
Introducción

- La patología compresiva medular puede ser **secundaria** a diferentes entidades nosológicas:
 - Discopatía degenerativa
 - Trauma espinal
 - Compresión tumoral
 - Iatrogenia
- La casusa **degenerativa** es la más común entre la edad adulta llegando a afectar hasta 2/3 de la población en algún momento de su vida.
- Debido a las características estáticas y dinámicas del canal raquídeo, la mielopatía compresiva de origen degenerativo se localiza con mayor frecuencia en el segmento cervical.
- Las **sintomatología** asociada depende del nivel implicado. Generalmente se manifiesta como déficit sensitivos o motores en miembros superiores y/o inferiores.
- Las opciones **terapéuticas** (médico, rehabilitador o quirúrgico) varían en función de la limitación de las actividades de la vida diaria, la severidad de los síntomas y los hallazgos en pruebas de imagen y electrofisiológicas.

Introducción

- La patología **degenerativa** discal se sitúa como la causa más frecuente de mielopatía compresiva especialmente en el segmento de columna **cervical**[1].
- Las lesiones medulares inducidas por trauma directo o indirecto son la segunda causa de **mielopatía**, con frecuencia asociadas a lesiones óseas o de tejidos blandos adyacentes.
- La patología **tumoral** de columna, primaria o secundaria es un muchas ocasiones responsable de síndrome medular agudo / subagudo.
- La persistencia o aparición de nuevos síntomas tras la **cirugía** de columna en segmento cervical y dorsal han de hacer sospechar la existencia de una posible lesión medular relacionada con el procedimiento.

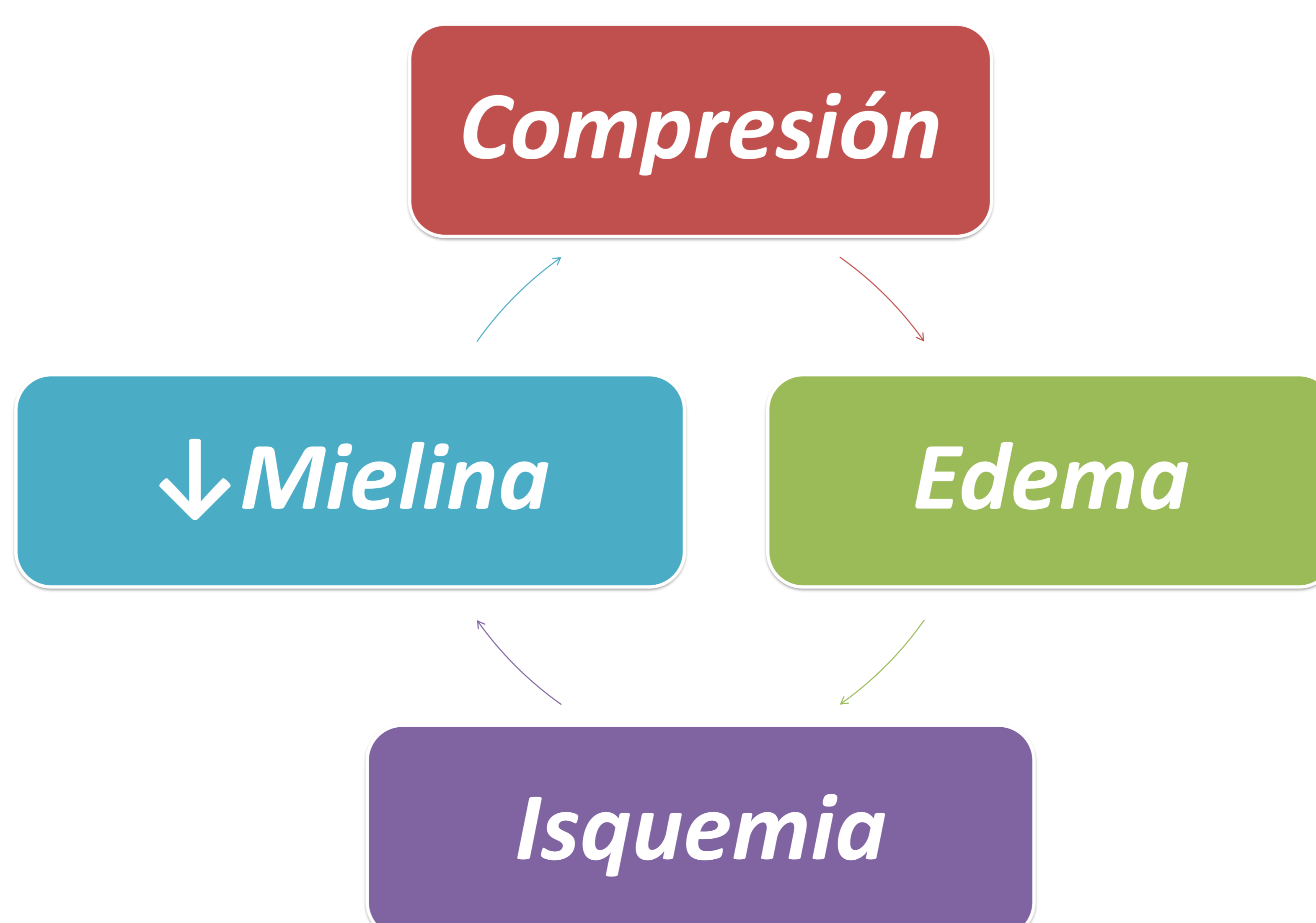
Estructura medular



Tanto en el estudio morfológico como funcional se pueden delimitar la sustancia blanca y la sustancia gris de la médula. La principal ventaja del estudio de DTI es que permite valorar de una manera más fiable los principales haces de sustancia blanca (tanto ascendentes como descendentes) en cordones anteriores y laterales medulares tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo.

¿Cómo se afecta el cordón medular?

- La **etiopatogenia** del daño del cordón medular se basa en 2 mecanismos principales: el trauma repetido y la isquemia [2].
- La **isquemia** es el mecanismo más reconocido siendo provocado cuando los elementos vertebrales o discales degenerados comprimen el aporte arterial y/o venoso del cordón medular.
- Esta isquemia condiciona muerte celular y atrofia del cordón.
- La **atrofia** comienza en los cuernos anteriores y la zona intermedia de sustancia gris normalmente.
- A continuación existe afectación de los funículos posteriores como manifestación de la **desmielinización** de sustancia blanca secundaria al daño isquémico seguida de los tractos corticoespinales.
- La afectación de las porciones mediales de las columnas posteriores suele verse en estadios más **avanzados**.

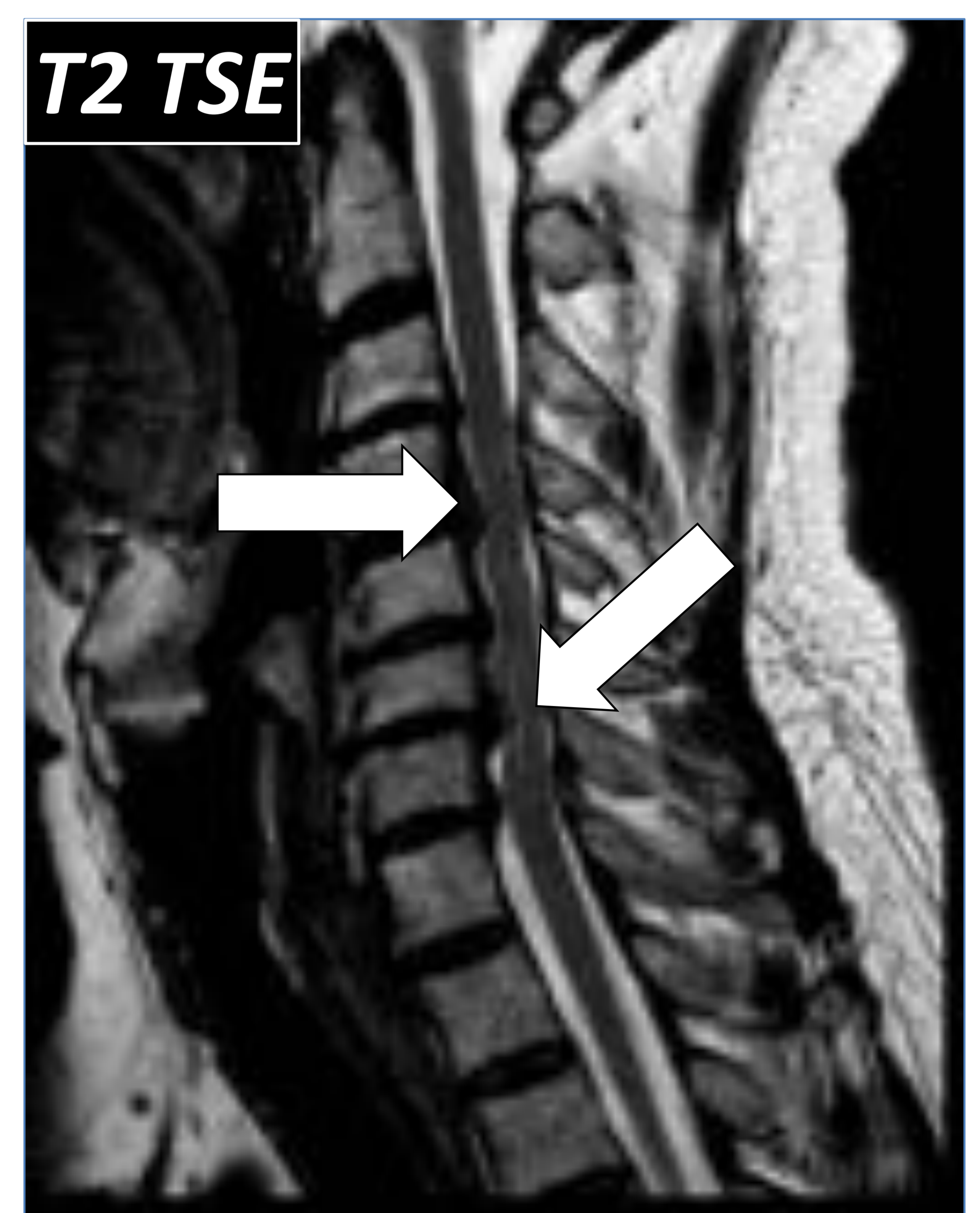


RM convencional

- La técnica de diagnóstico por imagen de elección para la valoración de la mielopatía en general, y de causa compresiva en particular, es la **resonancia magnética (RM)**.
- Esta técnica permite detectar y caracterizar la existencia de alteraciones en la **intensidad de señal** en el espesor del cordón medular como reflejo de los cambios por mielopatía.
- Además, la RM es capaz de valorar otros **hallazgos asociados** tanto en tejidos blandos como en estructuras óseas adyacentes que pueden justificar dicha mielopatía con una alta precisión y fiabilidad diagnóstica.
- La **primera aproximación** diagnóstica para la valoración de la mielopatía compresiva ha de incluir, aparte de la exploración clínica y pruebas de radiología convencional, un estudio de RM.



Paciente de 26 años con Cervicobraquialgia sin anomalías valorables en el cordón medular cervical.



Paciente de 46 años con síntomas en ambos miembros superiores compatibles con mielopatía compresiva que muestra en el estudio morfológico disminución de amplitud de canal cervical con focos de incremento de intensidad de señal en el cordón medular (flechas)

RM convencional

- Sin embargo, la RM morfológica convencional resulta **insuficiente** en algunos casos para la valoración del cordón medular presentando una baja sensibilidad para la detección de mielopatía.
- Dicha **sensibilidad** varía según diversos estudios entre un 15% y un 65% [3].
- No es infrecuente que exista **una falta de correlación** entre los hallazgos morfológicos, la clínica del paciente o incluso los estudios electrofisiológicos.
- En ocasiones no se identifican lesiones en el espesor del cordón medular, o aquellas que se identifican **no justifican** el grado de la sintomatología o el nivel de la misma.
- Por otro lado, la información proporcionada por los estudios morfológicos convencionales en ocasiones resulta insuficiente con vistas a decidir las distintas **opciones terapéuticas**, médicas, rehabilitadoras o quirúrgicas del paciente.
- Por último, los hallazgos que se puedan encontrar en los estudios morfológicos en muchas ocasiones son insuficientes para poder predecir el **pronóstico** del paciente o la respuesta al tratamiento propuesto.



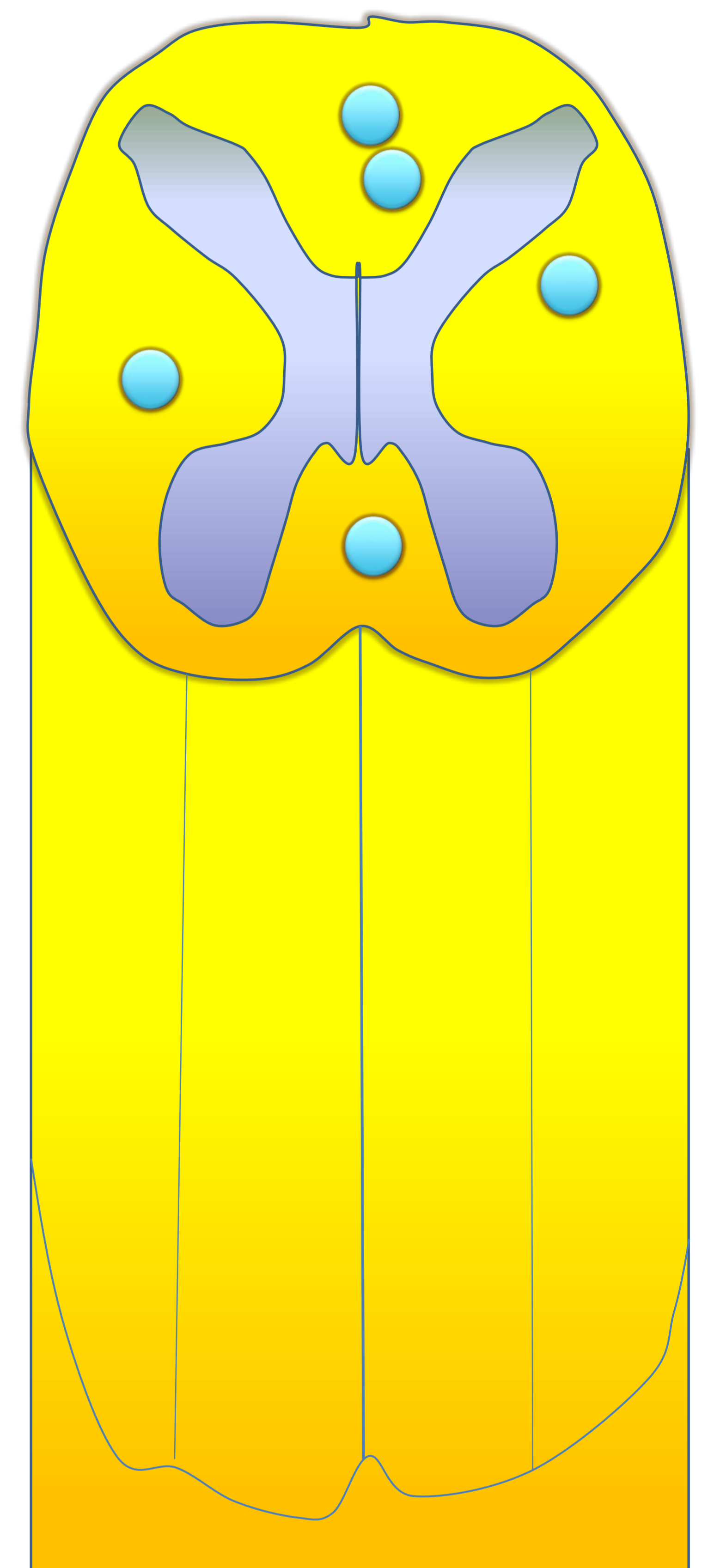
Paciente de 40 años con parestesias en miembros superiores e inferiores que muestra protrusiones discales cervicales que contactan con saco dural anterior y cordón medular (flecha) aunque sin signos de mielopatía asociados.

DTI en médula

- Al igual que en el *sistema nervioso central*, la valoración de la sustancia blanca del cordón medular puede verse mejorada y potenciada a través del uso de secuencias avanzadas como el tensor de difusión (DTI).
- En la última década, numerosos estudios basados en la aplicación de técnicas de DTI están demostrando una *mayor sensibilidad* que las secuencias convencionales en la detección de las lesiones medulares de naturaleza compresiva, incluso en cordón medular aparentemente normal a través de parámetros como la fracción de anisotropía (*FA*) [4].
- Sin embargo existen *otros parámetros* menos estudiados, también derivados de los estudios de DTI como son la difusividad axial y la difusividad radial que están demostrando un mayor nivel de especificidad.
- Esto permite *caracterizar* de manera más adecuada las lesiones y también *monitorizar* de forma más precisa la evolución de las mismas y su respuesta a las distintas opciones terapéuticas.

Bases físicas DTI

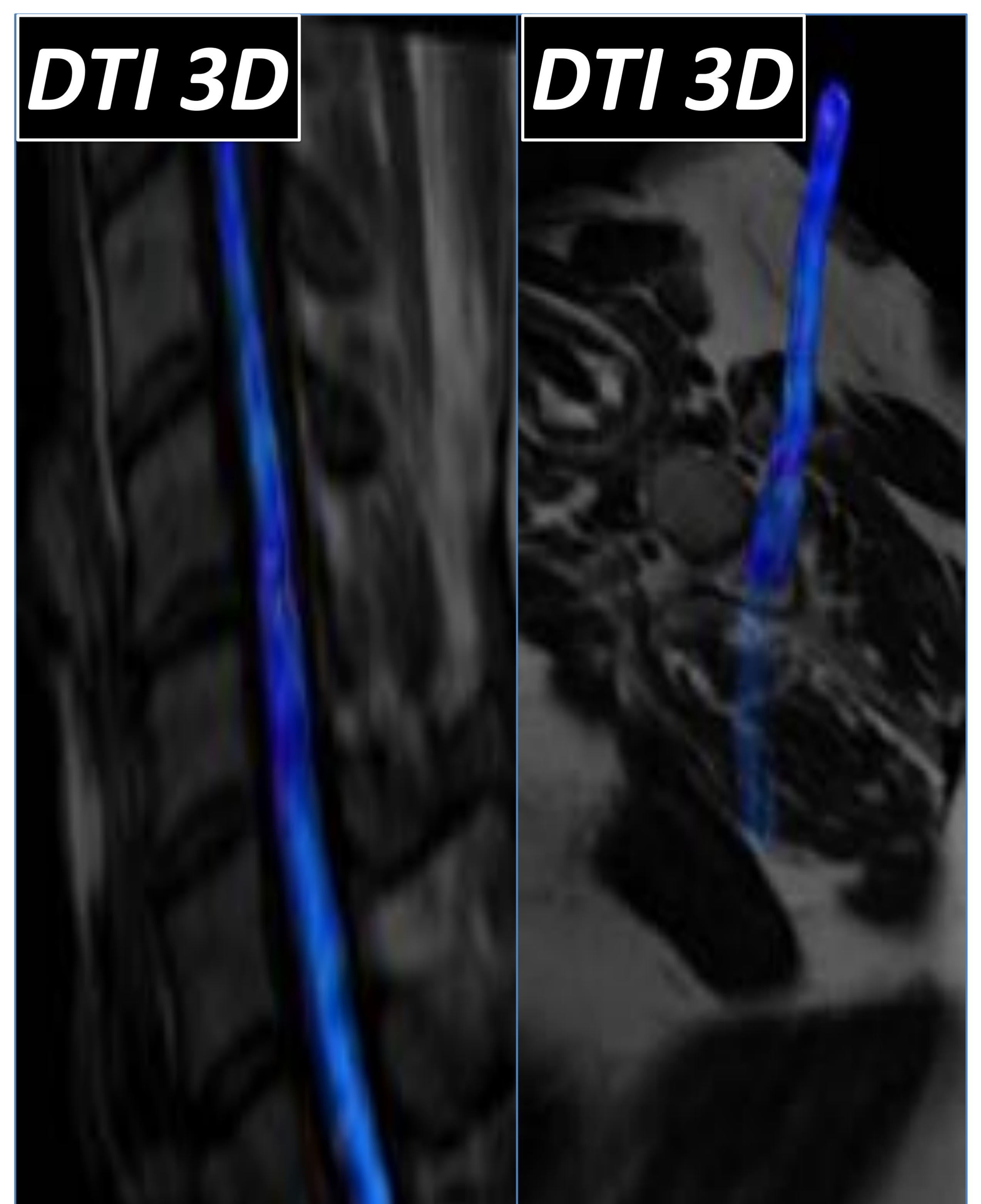
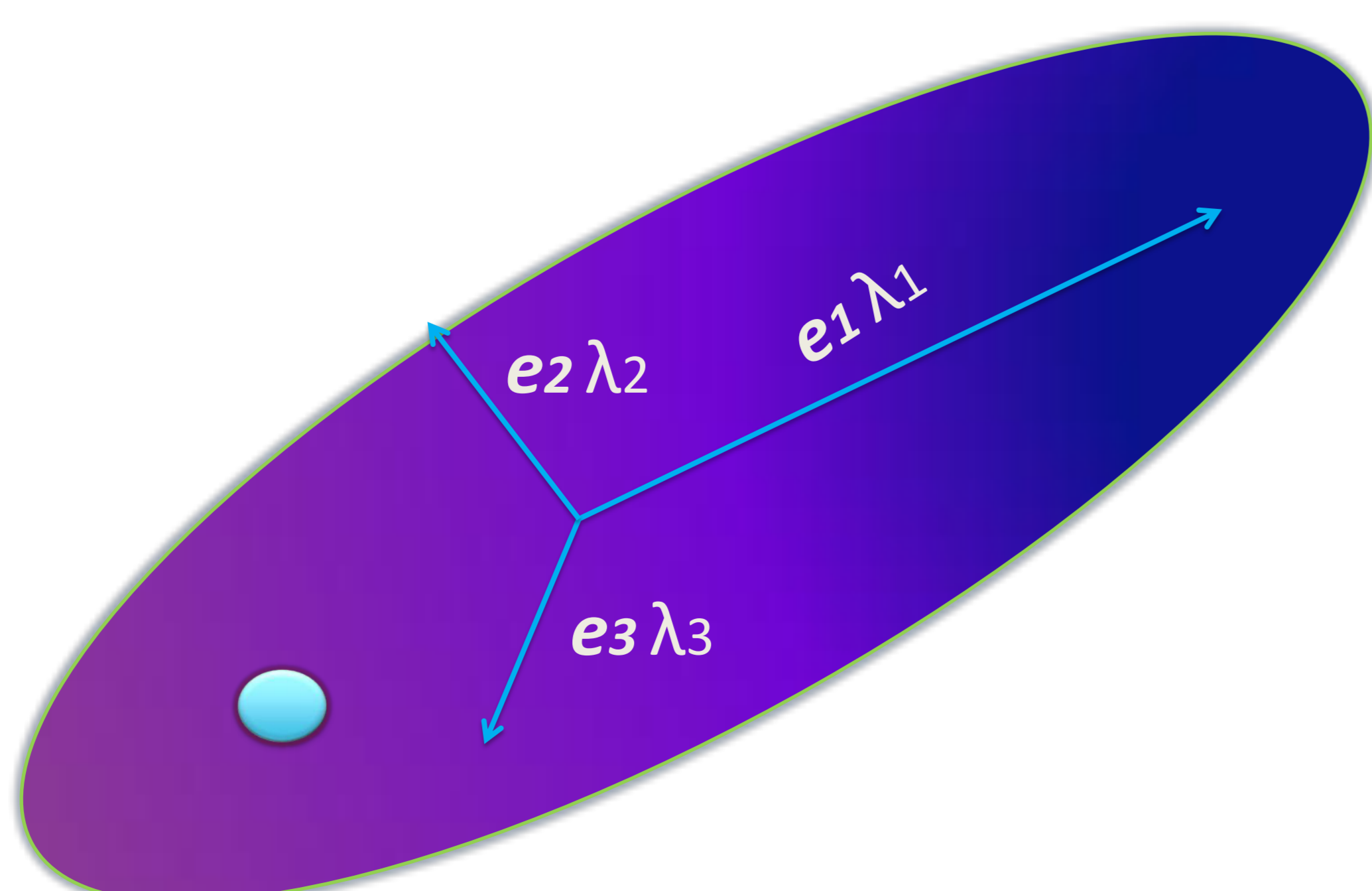
- Las propia estructura del cordón medular, constituida por haces densamente organizados de sustancia blanca (cordones medulares) condiciona una difusión predominantemente **anisotrópica** del agua en su eje mayor (craneo-caudal).
- Este movimiento de las moléculas agua puede ser estudiada mediante técnicas de DTI gracias a su capacidad para identificar dicha dirección dominante del desplazamiento del agua a través de la aplicación de gradientes de difusión en **múltiples direcciones** del espacio.
- La aplicación de múltiples direcciones genera un modelo matemático (**tensor**) que permite diagonalizar la dirección dominante del movimiento del agua a lo largo de la médula.
- De esta forma se obtienen 3 **vectores** principales (eigenvectores) cada uno de los cuales posee un valor (eigenvalues) medidos en mm^2/s : λ_1 , λ_2 y λ_3



D_{xx}	D_{xy}	D_{xz}
D_{yx}	D_{yy}	D_{yz}
D_{zx}	D_{zy}	D_{zz}

→

λ_1	0	0
0	λ_2	0
0	0	λ_3



Ajustes técnicos

- La adquisición de estudios de DTI para la valoración de columna vertebral en general y de cordón medular en particular requiere de una serie de **ajustes técnicos** específicos.
- Estos ajustes principalmente buscan disminuir el reto técnico que supone un área anatómica como la columna en la que existen múltiples potenciales fuentes de **artefactos**.
- La **inhomogeneidad** del campo debido al amplio número de interfases entre agua, grasa y hueso es el principal hándicap para la aplicación del DTI ya que es una secuencia (al igual que la difusión) muy susceptible a dicha inhomogeneidades del campo.
- Los artefactos por **movimiento** son el otro gran reto en esta localización anatómica. La propia pulsatilidad del líquido cefalorraquídeo unido a los artefactos por movimiento cardiaco en región dorsal y deglutorio / respiratorio a nivel cérvico-dorsal suponen un auténtico reto técnico.



Artefacto por movimiento. La representación tractográfica del cordón medular derivada del estudio de DTI queda localizada fuera del cordón medular dorsal según referencia morfológica usada (flecha) debido a falta de correlación entre ambas secuencias por artefacto de movimiento.

Ajustes técnicos

- **Número de direcciones**

- **Base:** Es necesario adquirir la secuencia de DTI con un número mínimo de 6 direcciones.
- **Comentario:** En teoría si se aplican más direcciones se obtiene una mejor relación señal ruido, sin embargo, debido a las características anatómicas de la región a estudiar y a la inhomogeneidad del campo magnético, el hecho de aplicar un mayor número de direcciones (>32) puede provocar que se acentúen los artefactos referidos ya que se acumula el error de lectura [6].
- **Recomendación:** 16 direcciones

- **Valores b**

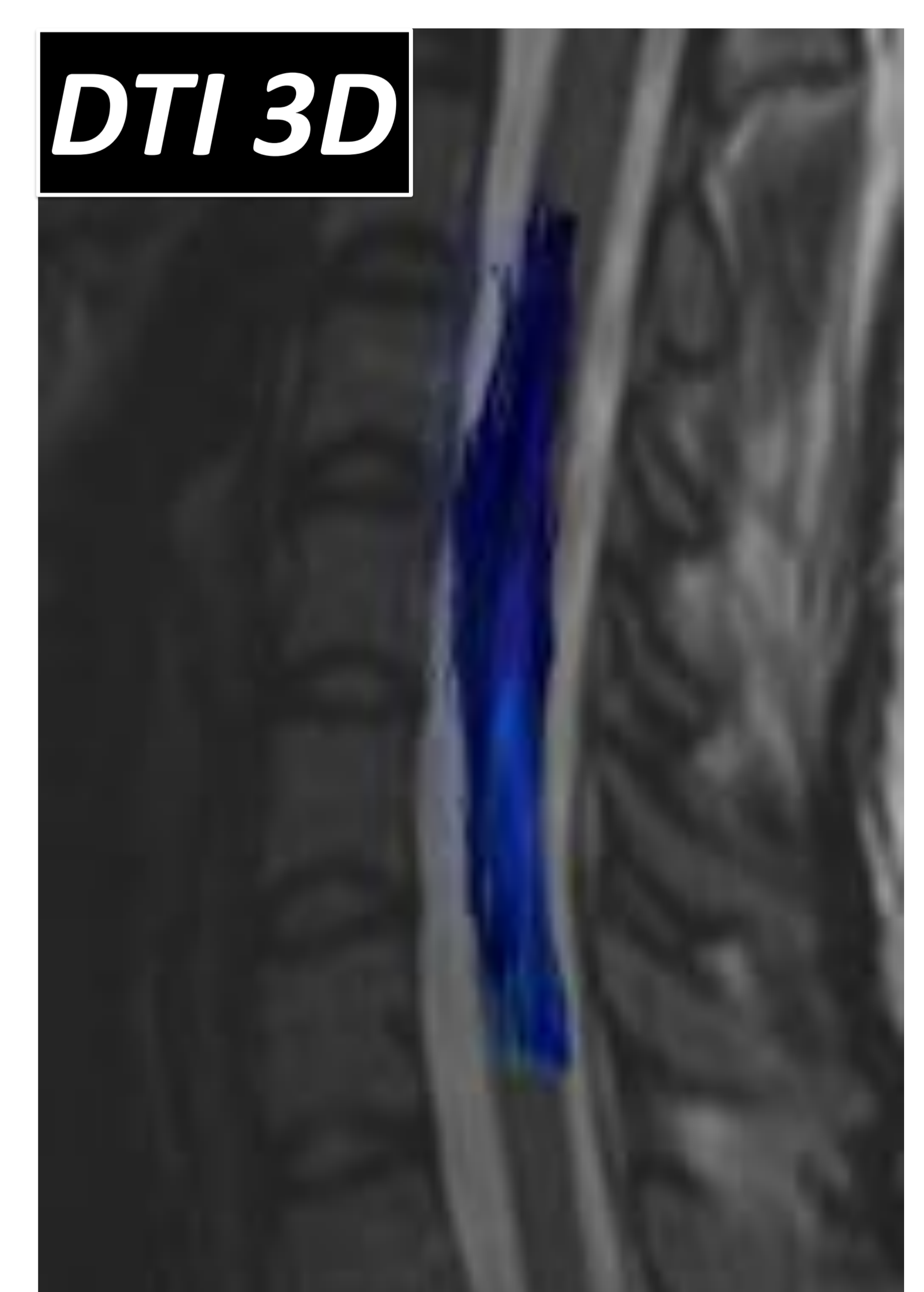
- **Base:** Es necesario adquirir 2 valores b. Un valor b bajo de 0 s/mm² y un valor b alto superior a 500 s/mm²
- **Comentario:** la aplicación de valores b por encima de 1000 puede provocar que se acentúen los artefactos de susceptibilidad magnética así como un descenso de la relación señal ruido.
- **Recomendación:** b 0 s/mm² y b 800 s/mm²

- **FOV**

- **Base:** 180 x 180 mm
- **Comentario:** La planificación del FOV es uno de los factores que más va influir sobre el tiempo total de la secuencia y la resolución de la imagen (junto con la matriz). Estudios con FOV reducido han demostrado una mayor eficacia para la valoración del cordón medular reduciendo artefactos. La valoración de amplios segmentos medulares mediante DTI supone un mayor tiempo de exploración (a tener en cuenta en estos pacientes) [7]
- **Recomendación:** Usar FOV reducidos y centrado en el área de interés (zona de contacto o posible compresión) para la obtención de parámetros a dicho nivel.



DTI de 32 direcciones con FOV de 180 mm



DTI de 16 direcciones con FOV de 100 mm

Ajustes técnicos

- **Diseño de la secuencia**

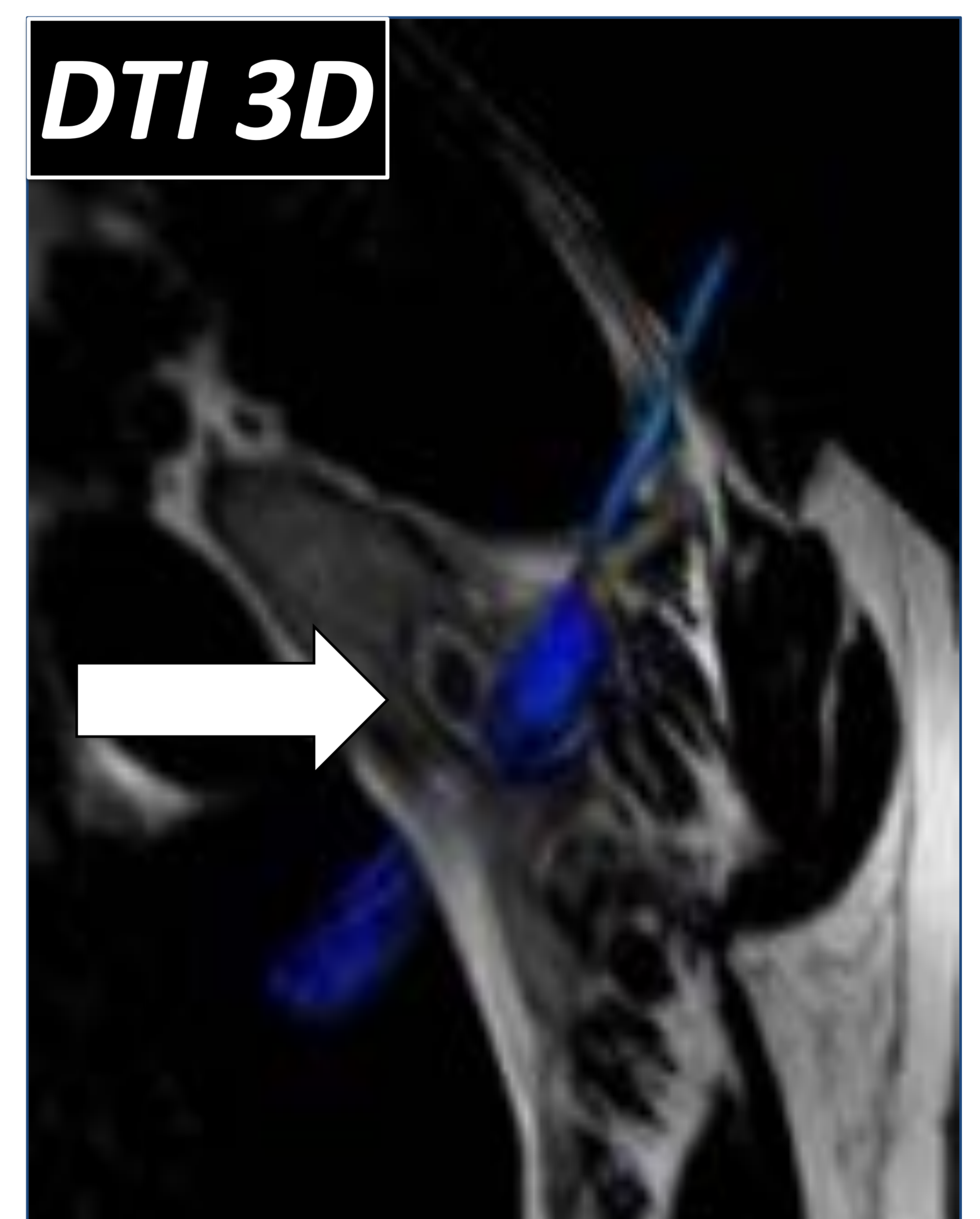
- **Base:** single shot echo-planar (SS-EPI)
- **Comentario:** la secuencia de base del DTI suele ser un SS-EPI que permite disminuir el tiempo de adquisición con adecuada relación señal ruido. Sin embargo es propensa a artefactos por susceptibilidad magnética en cordón medular. El uso de técnicas de imagen paralela (SENSE, GRAPPA) o de aproximaciones tipo multi-shot en lugar de single shot puede ayudar a reducir dichos artefactos.
- **Recomendación:** usar SS-EPI con imagen paralela.

- **Sincronismo**

- **Base:** la secuencia no suele incluir sincronismo
- **Comentario:** el uso de sincronismo cardíaco y/o respiratorio disminuye artefactos por movimiento y pulsatilidad mejorando la relación señal ruido. No obstante, también aumentan el tiempo de estudio.
- **Recomendación:** instruir al paciente para respiración suave y evitar deglución brusca en estudios cervicales.

- **Tipo de imán**

- **Base:** secuencia aplicable en 1.5T y 3T
- **Comentario:** en 3T se logra una mejor SNR pero también es más propensa (al tener una mayor intensidad de campo) a artefactos más pronunciados
- **Recomendación:** usar según disponibilidad, evitar 3T en casos de existencia de material quirúrgico en vecindad.

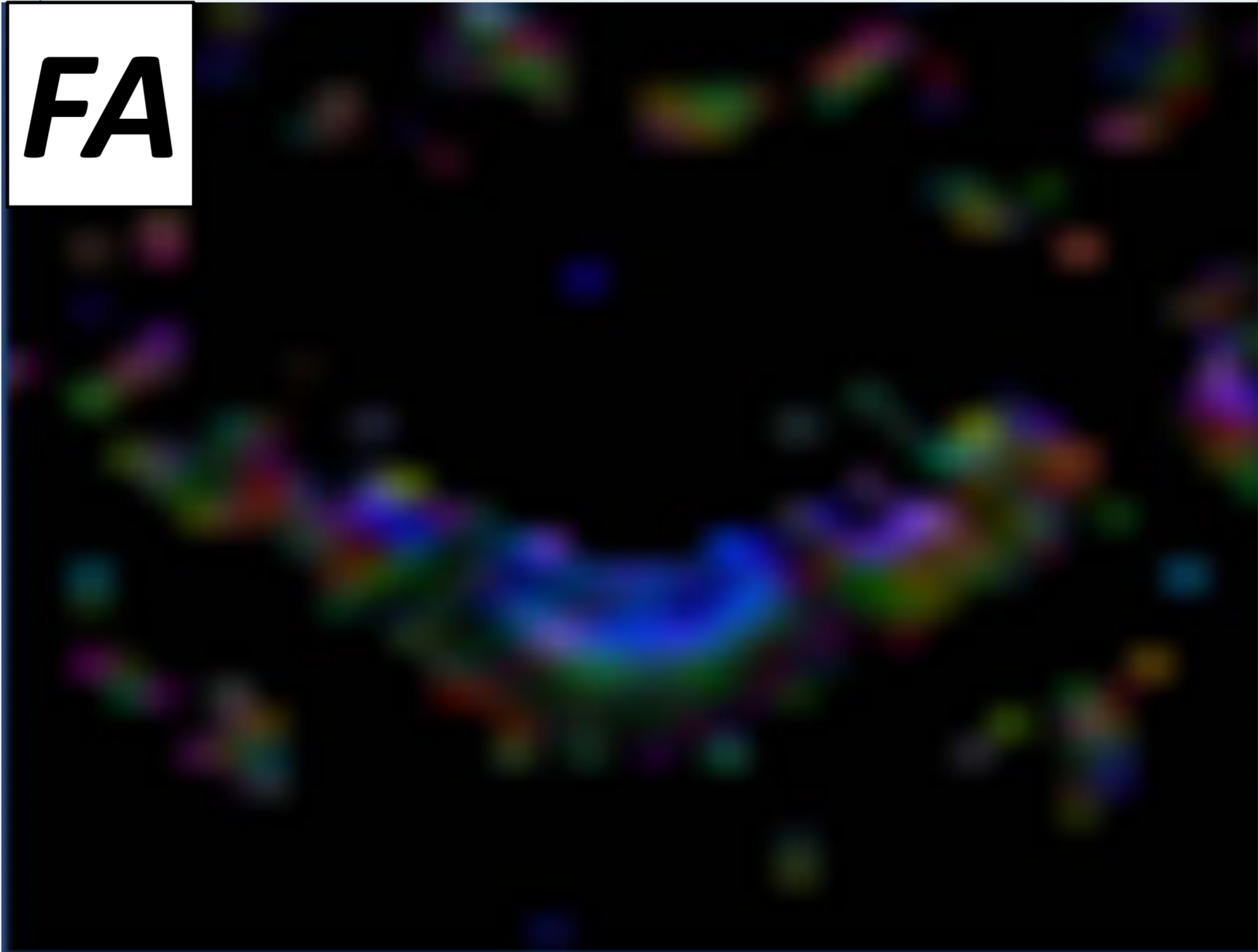
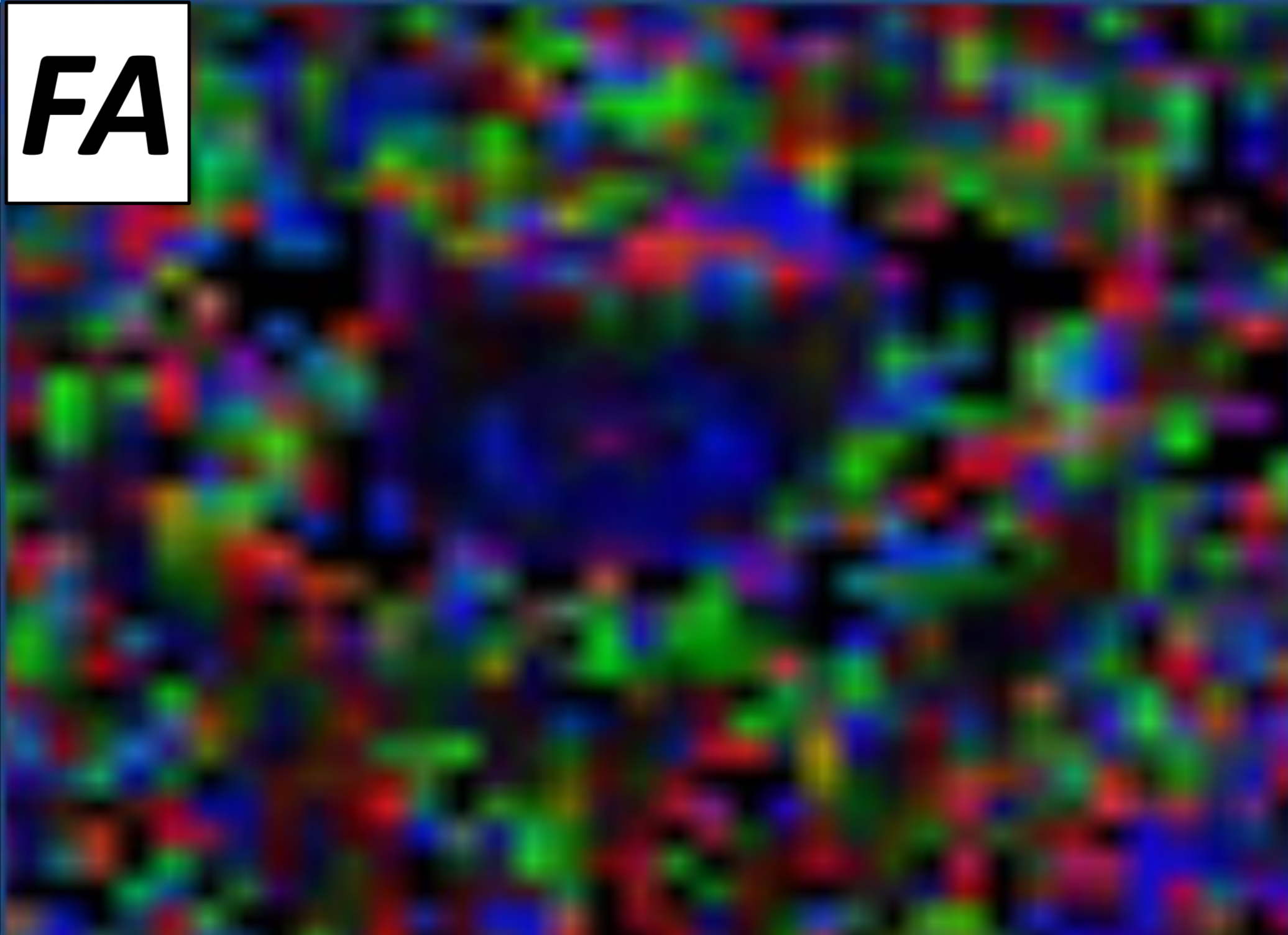


Desplazamiento de la representación del cordón medular con respecto a cordón en estudio morfológico por artefacto de movimiento (flecha).



Corrección de desplazamiento de movimiento con adecuada correlación entre imagen anatómica y DTI.

Ajustes técnicos

DTI	3T	1.5 T
TR/TE	2500/ 76ms	3216 /110 ms
Flip angle	90°	90°
FOV	150 mm	135 mm
Voxel	1.51/1.51/3 mm	1.55/1.52/3 mm
Grosor	3mm	3 mm
Direcciones	16	16
Valores b	0, 600	0, 800
Tiempo	5:15 min	5:50 min
Ejemplo		

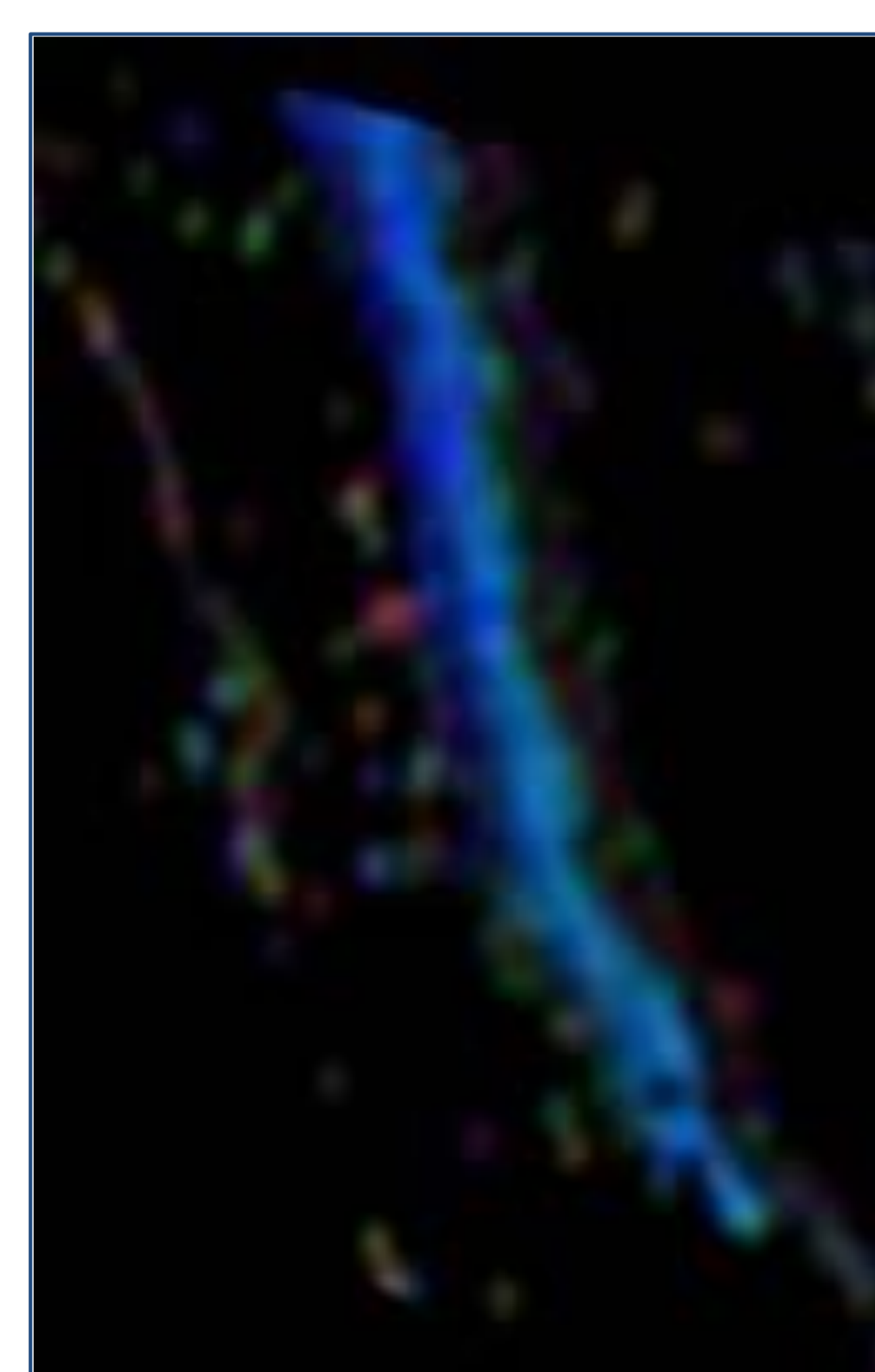
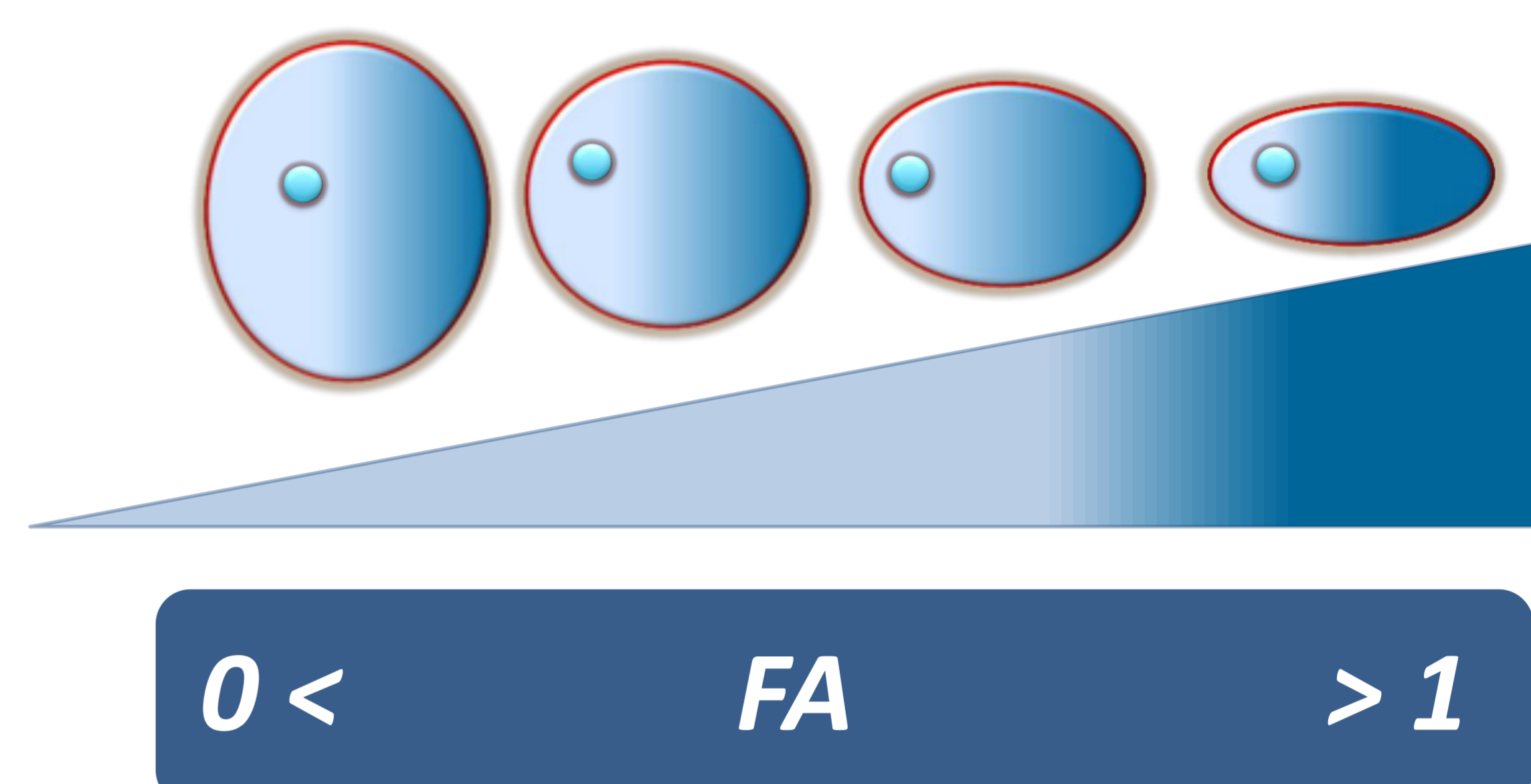
Parámetros derivados

- Del análisis de la intensidad de señal y de los eigenvalues principales obtenidos a través de la adquisición de los estudios de DTI en el cordón medular se obtienen diversos *parámetros*.
- Estos parámetros permiten valorar no sólo desde el punto de vista *cualitativo sino también cuantitativo* las características fisiopatológicas del cordón medular en los casos de mielopatía compresiva.
- Asimismo van a ayudar de manera notable a incrementar la *sensibilidad y la especificidad* de nuestros estudios a la hora de valorar el cordón medular [6].
- Por último, estos parámetros son la base para la adquisición de *reconstrucciones tractográficas 3D* del cordón medular.

Parámetros derivados

- **Facción de anisotropía**

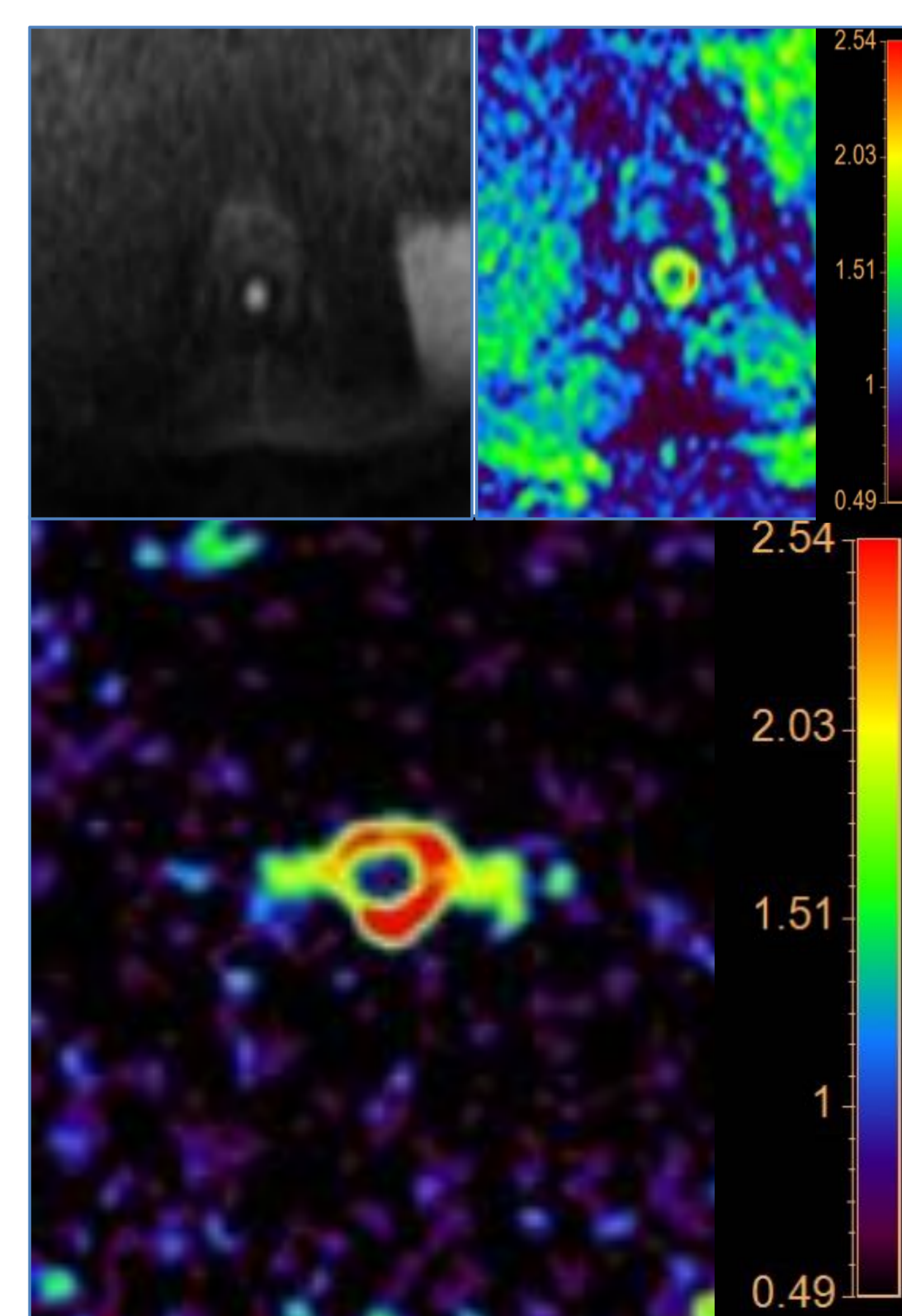
- Es el parámetro más usado
- Se considera un índice de organización tisular
- Varía entre 0 (máxima isotropía) y 1 (máxima anisotropía).
- Los valores normales de FA en el cordón medular oscilan entre 0.6 y 0.7
- Una disminución en los valores de FA refleja daño en la estructura del cordón medular, especialmente a nivel de sustancia blanca.



$$FA = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{\sqrt{(\lambda_1 - \lambda_2)^2 + (\lambda_2 - \lambda_3)^2 + (\lambda_3 - \lambda_1)^2}}{\sqrt{\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2}}}$$

- **Difusividad media**

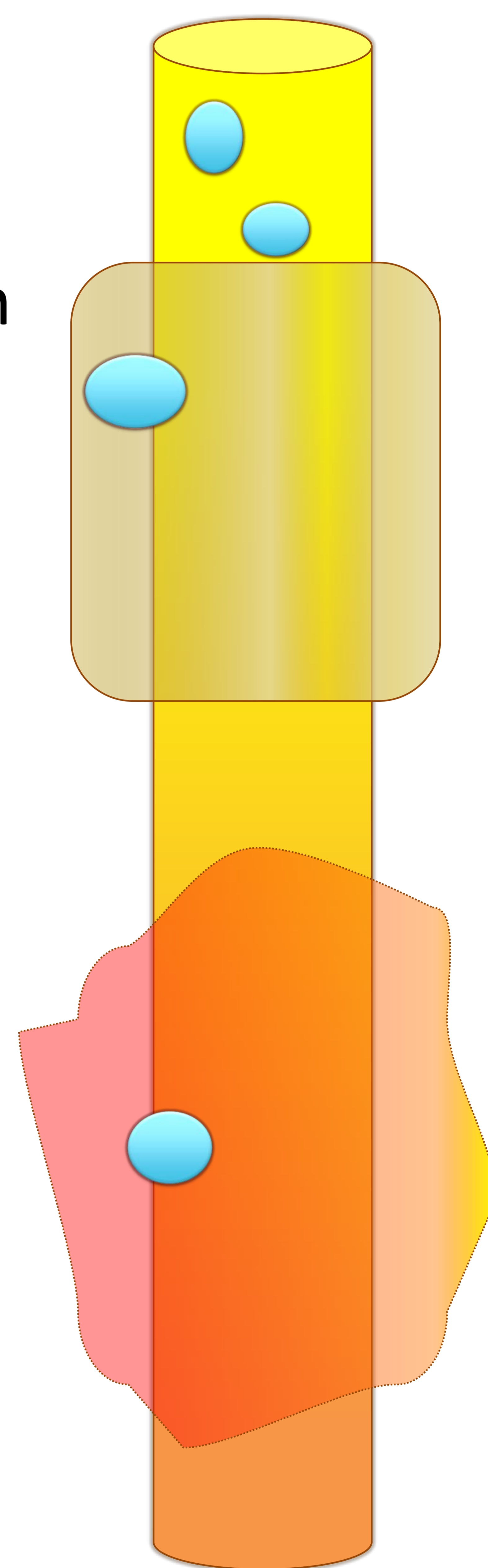
- Es la media aritmética de los 3 eigenvalues principales
- Mide de una manera más precisa que el ADC el movimiento de las moléculas de agua en el espacio extracelular.
- Suele aumentar en los casos de compresión medular debido a la existencia de edema o necrosis.



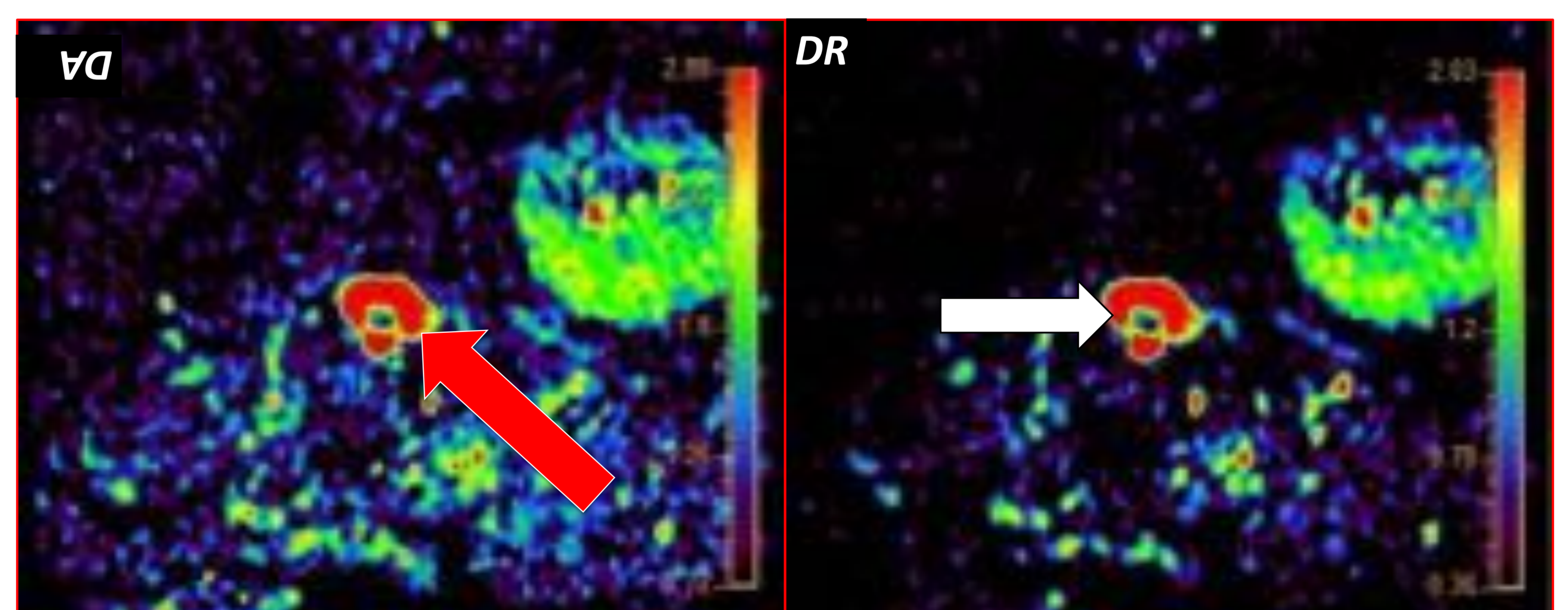
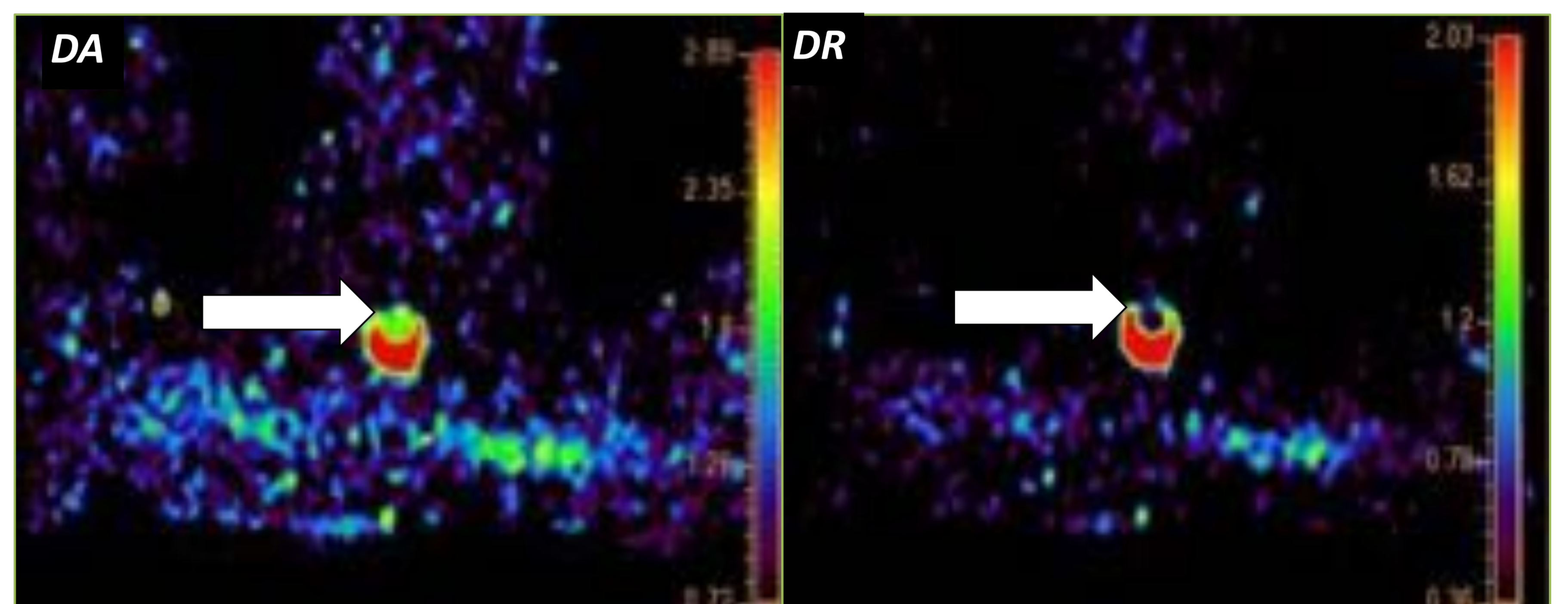
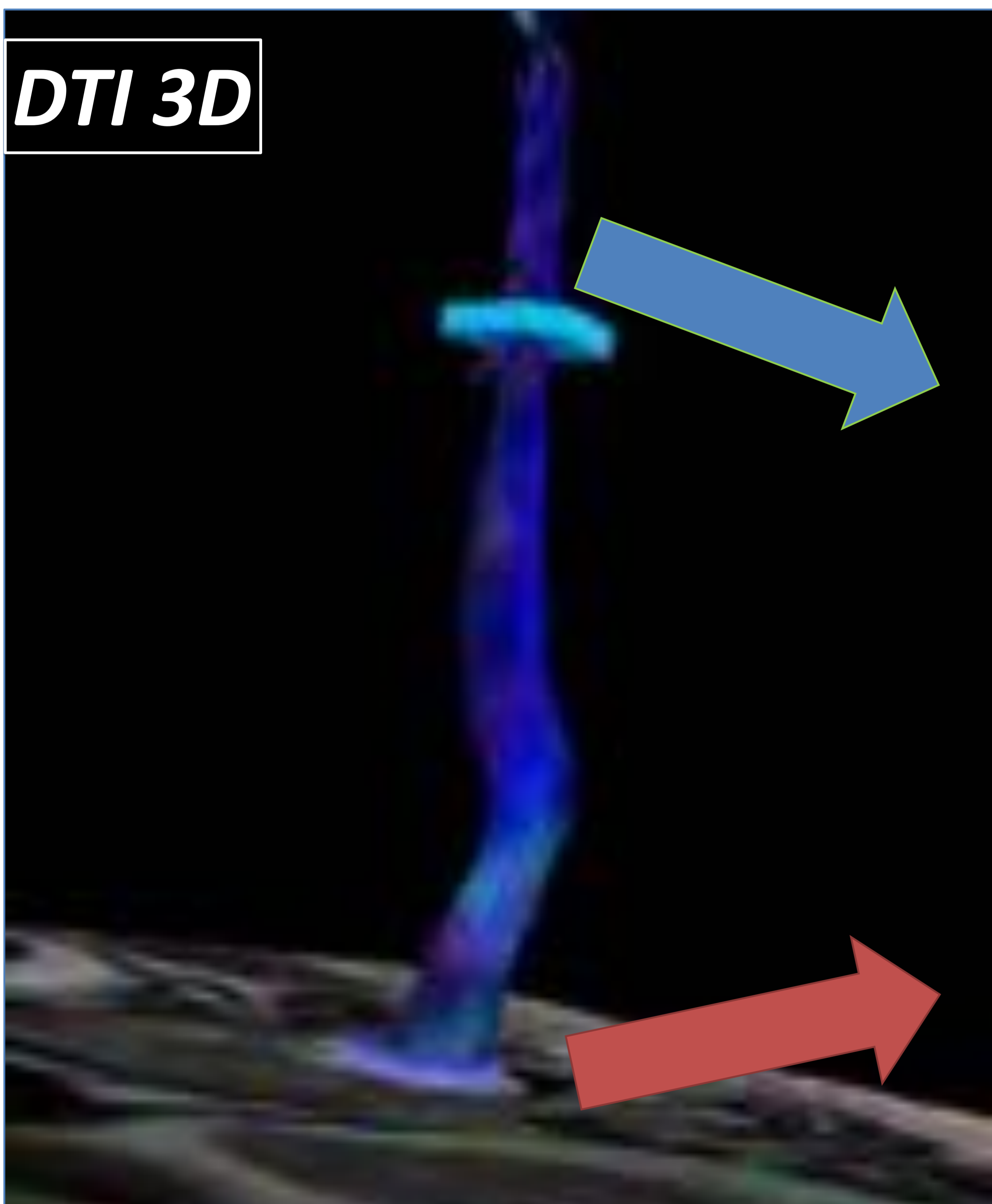
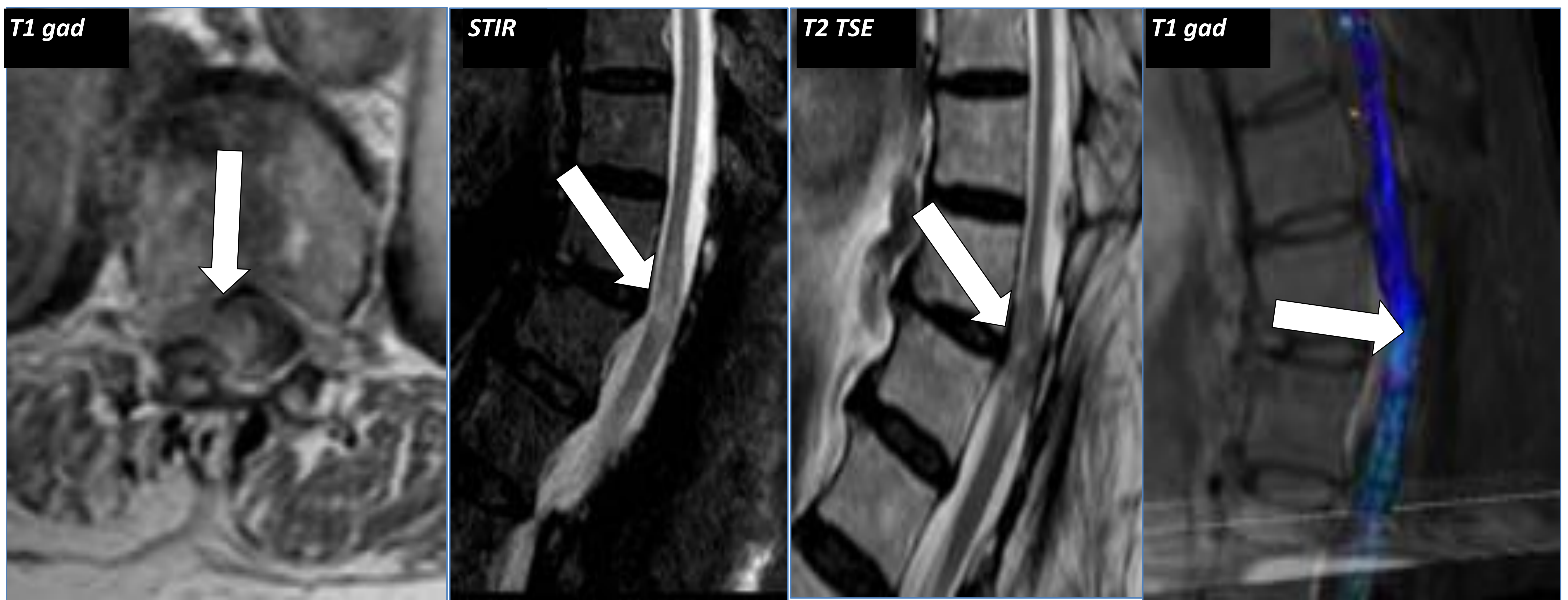
$$MD = \frac{Tr(D)}{3} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3}$$

Parámetros derivados

- **Difusividad axial** $\lambda_1 = \lambda_{||}$
 - Equivale al eigenvalue principal
 - Es una medida de la dirección dominante del agua a lo largo del cordón medular
 - Un descenso en la DA puede estar en relación con compresión o daño neural en un nivel proximal.
 - Permite valorar cambios en relación con degeneración Walleriana.
 - Sus unidades son mm^2/s
- **Difusividad radial** $\lambda_{\perp} = \frac{(\lambda_2 + \lambda_3)}{2}$
 - Es la media aritmética de los 2 eigenvalues menores.
 - Ha sido descrito como el parámetro más específico para la valoración de integridad de la mielina.
 - Un aumento de la DR suele verse relacionado con daño en la mielina.
 - Un descenso de la DR estaría en relación con proceso de remielinización.
 - Sus unidades son mm^2/s
 - En condiciones normales la magnitud de sus valores es inferior a la DA.



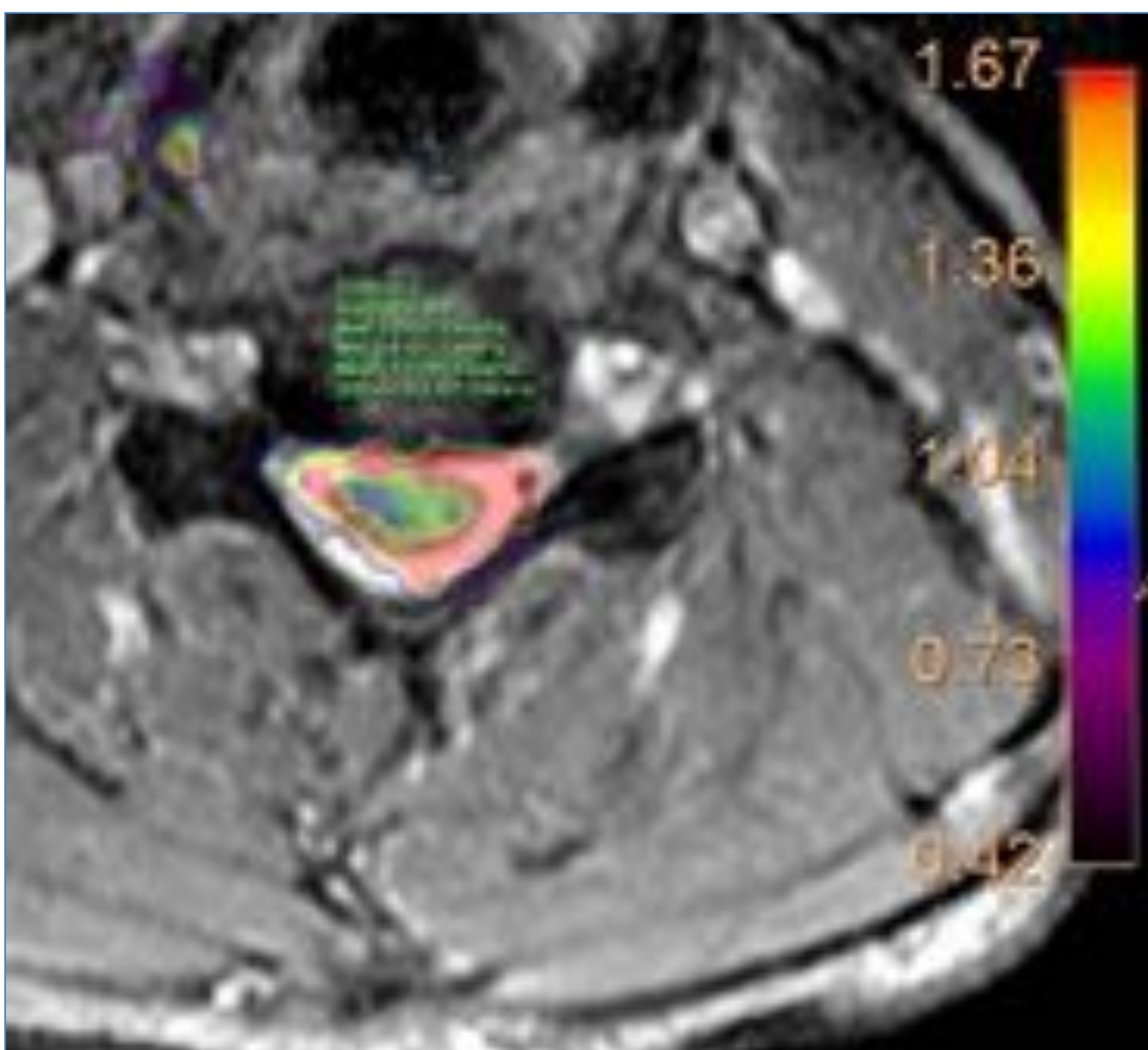
Parámetros derivados



Paciente con meningioma dorsal intervenido y recidivado (flechas blancas en estudio morfológico) que muestra clínica progresiva de paresia de miembros inferiores. En el estudio convencional solo se identifican cambios por mielopatía en el punto de compresión con el meningioma. El estudio de DTI permite valorar alteración de la FA del cordón por debajo del punto de compresión (flecha roja) con disminución de valores de DA (en comparación con valores por encima de la compresión-flecha azul) y con valores de DR normales. Nótese el cambio en la tonalidad (FA) del cordón medular por debajo del punto de compresión. Estos datos sugieren disminución de la anisotropía con descenso de FA así como de flujo axonal por debajo del punto de compresión con integridad de la mielina preservada (estadio previo a la degeneración walleriana). Esta información puede ser de gran utilidad para establecer pronóstico y planificar tratamiento.

¿Cómo medir?

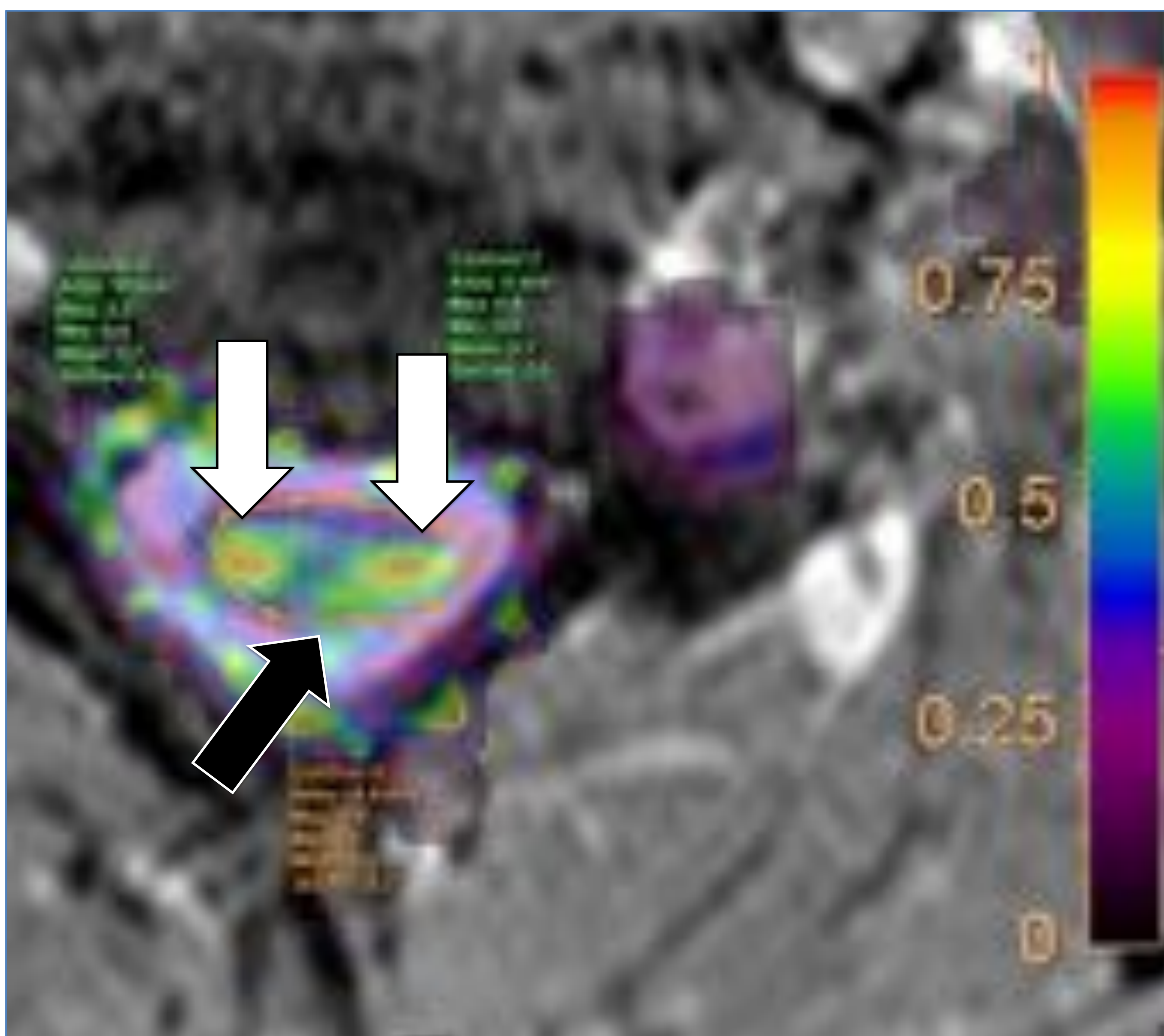
- La estimación de los parámetros derivados del estudio de DTI puede **variar significativamente** en función del método de medida y las estructuras incluidas.
- La forma más recomendable para obtener medidas fiables y reproducibles es usar regiones de interés (**ROIs**) que incluyan todo el perímetro del cordón medular.
- Para ello usaremos el **contorno del cordón medular** en la imagen de valor b más alto del estudio de DTI en el plano axial y la usaremos como referencia del contorno del cordón en los mapas paramétricos.
- De esta forma se evita incurrir en **errores de posicionamiento** debido a la baja resolución espacial que suelen tener dichos mapas.
- Otra opción es superponer los mapas paramétricos obtenidos sobre las secuencias morfológicas para tener una referencia **anatómica** más precisa.



Medida de la difusividad media en el cordón medular cervical usando fusión de mapa paramétrico y T2 FFE para obtener una mejor correlación en el posicionamiento del ROI

¿Cómo medir?

- Otro de los factores que tiene en cuenta los autores que han realizado estudios sobre DTI de médula es la inclusión o no en un mismo ROI de **sustancia blanca y sustancia gris**.
- Como hemos indicado, lo ideal y más reproducible es incluir todo el **perímetro** del cordón medular.
- Sin embargo se ha demostrado que existen **diferencias** en los valores obtenidos si se posiciona el ROI sólo en la sustancia blanca o si incluye sustancia blanca y sustancia gris de la médula.
- De esta forma, si solo se incluyen tractos de **sustancia blanca**, los valores de FA serán mayores y los de ADC menores que si se incluye todo el cordón.
- Sin embargo, en la práctica clínica diaria, no siempre se logra poder diferenciar entre sustancia blanca y sustancia gris en la sección axial del cordón medular.



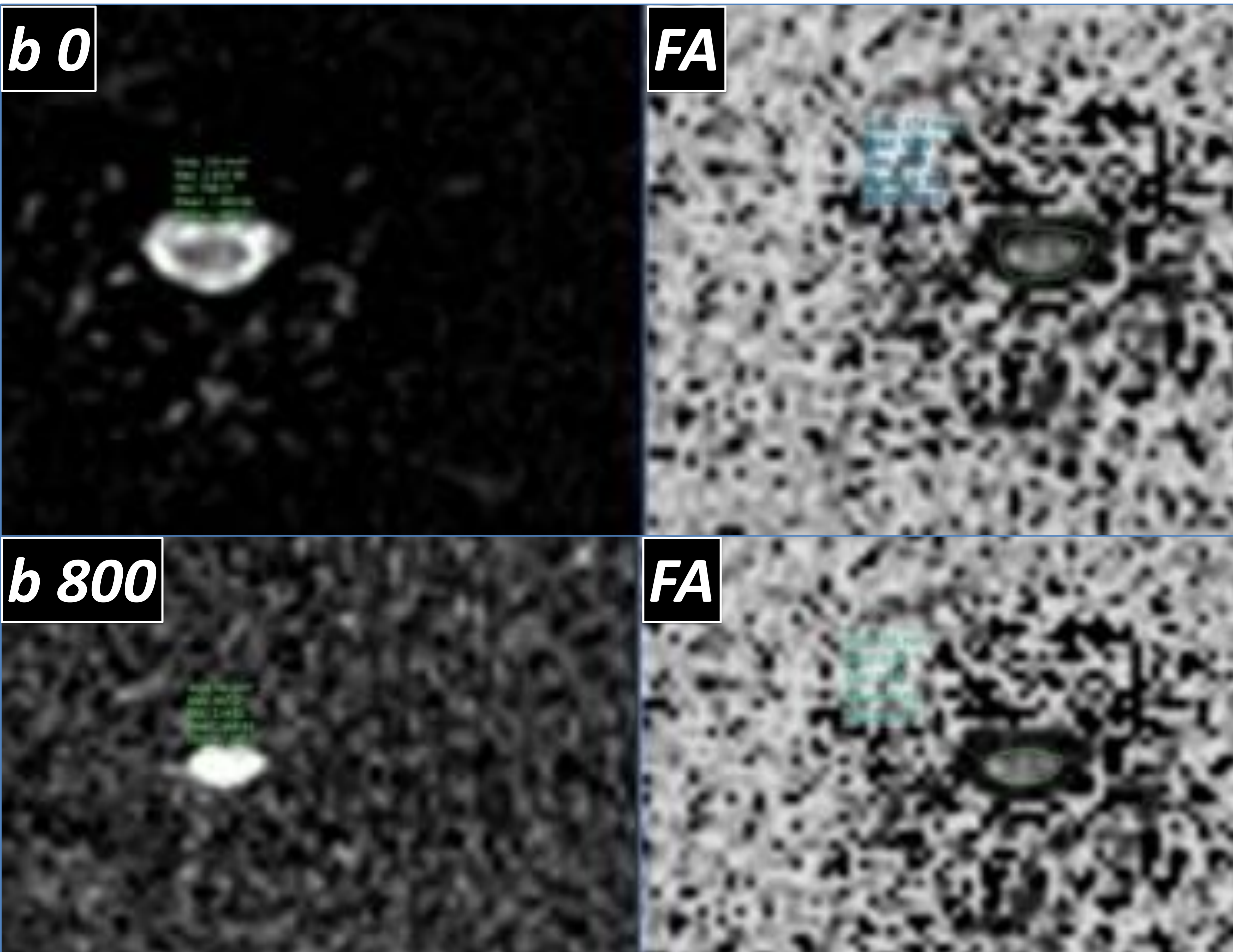
Medida de la FA usando fusión de mapa de FA con T2 FFE.

Flechas blancas: ROIs en cordones laterales medulares, sustancia blanca, con valores de FA:0.7 (leyenda verde)

Flecha negra: ROI que incluye toda la sección del cordón medular (sustancia blanca y sustancia gris) con valores FA:0.5 (leyenda naranja)

¿Cómo medir?

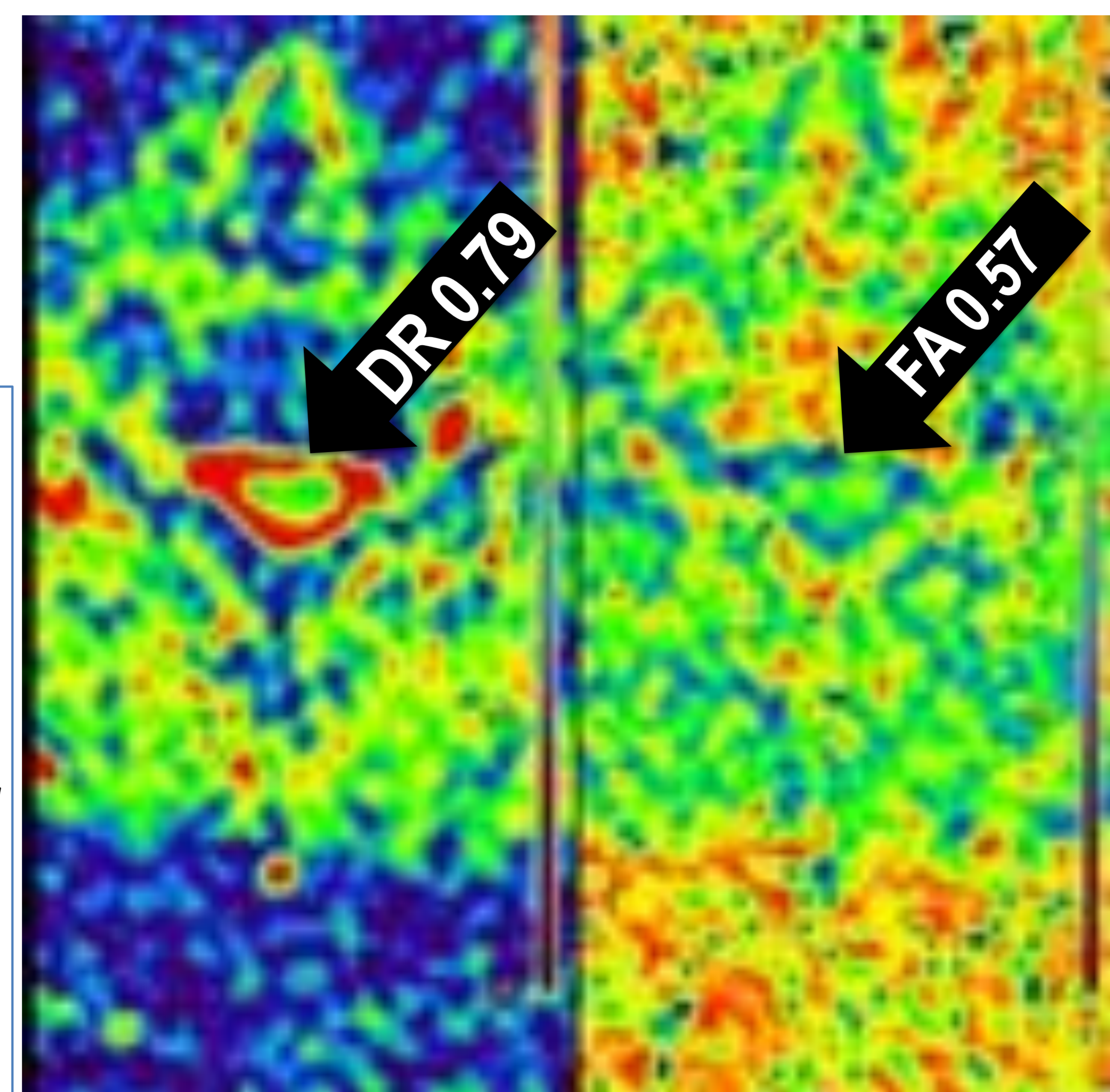
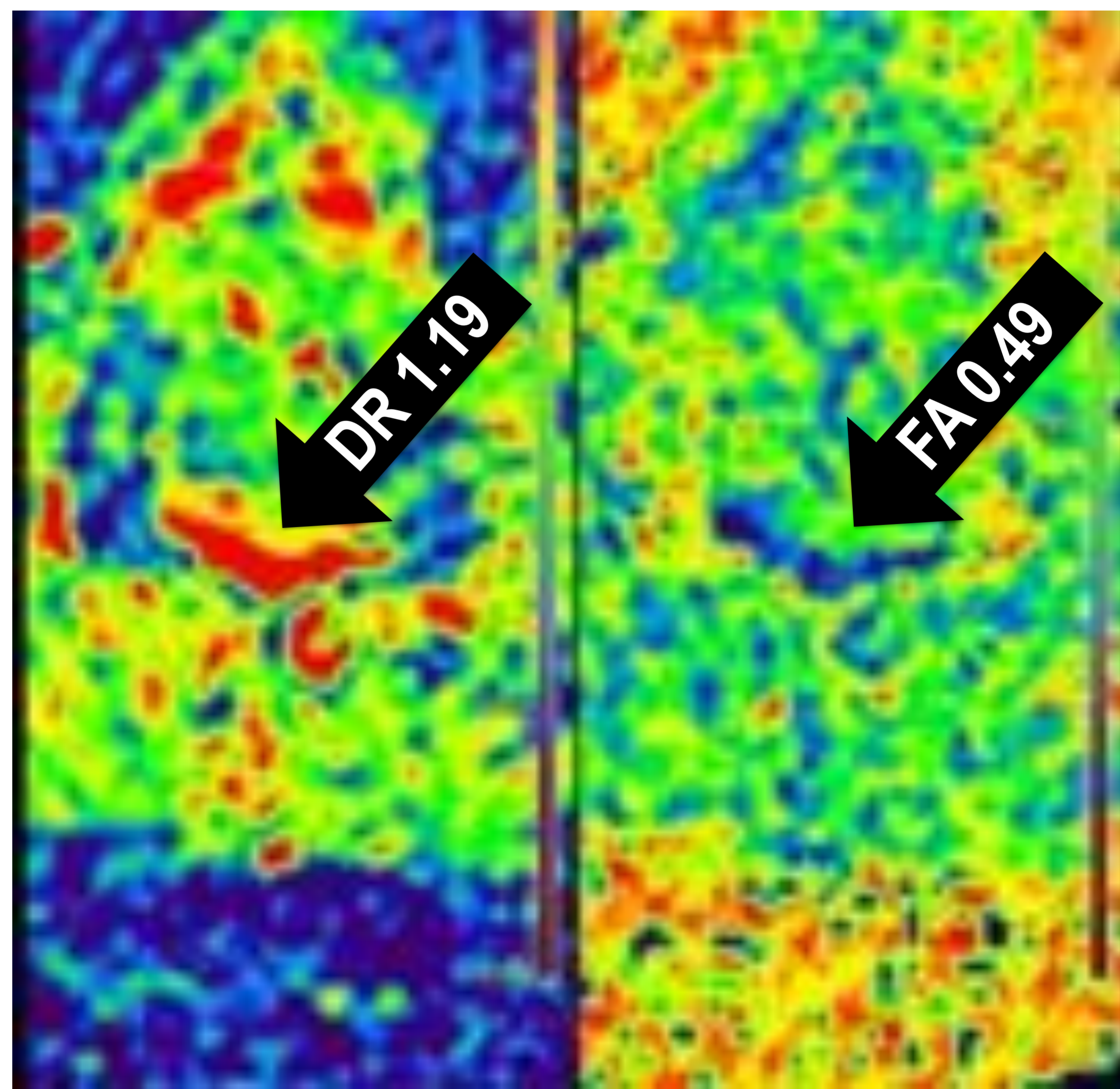
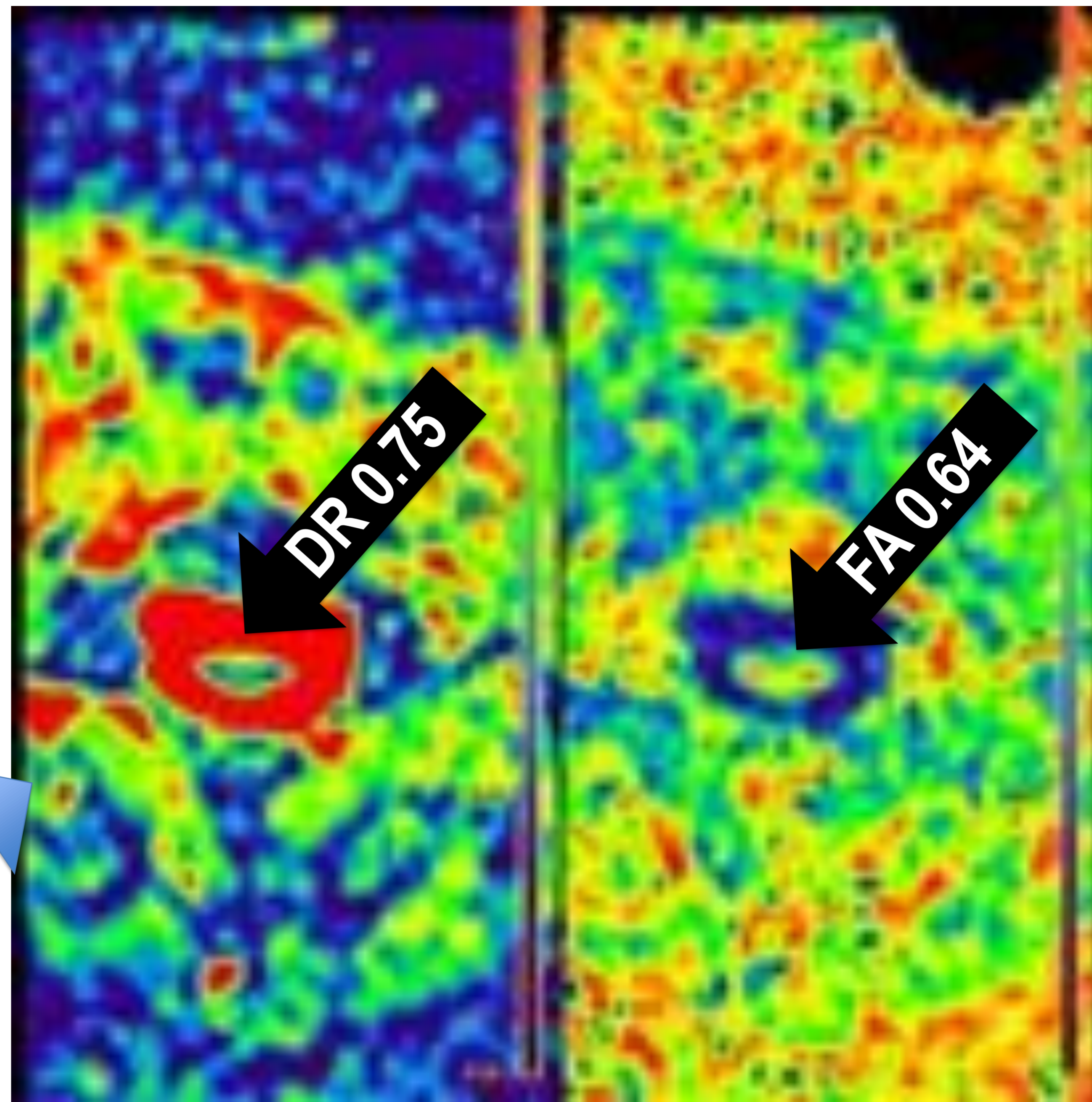
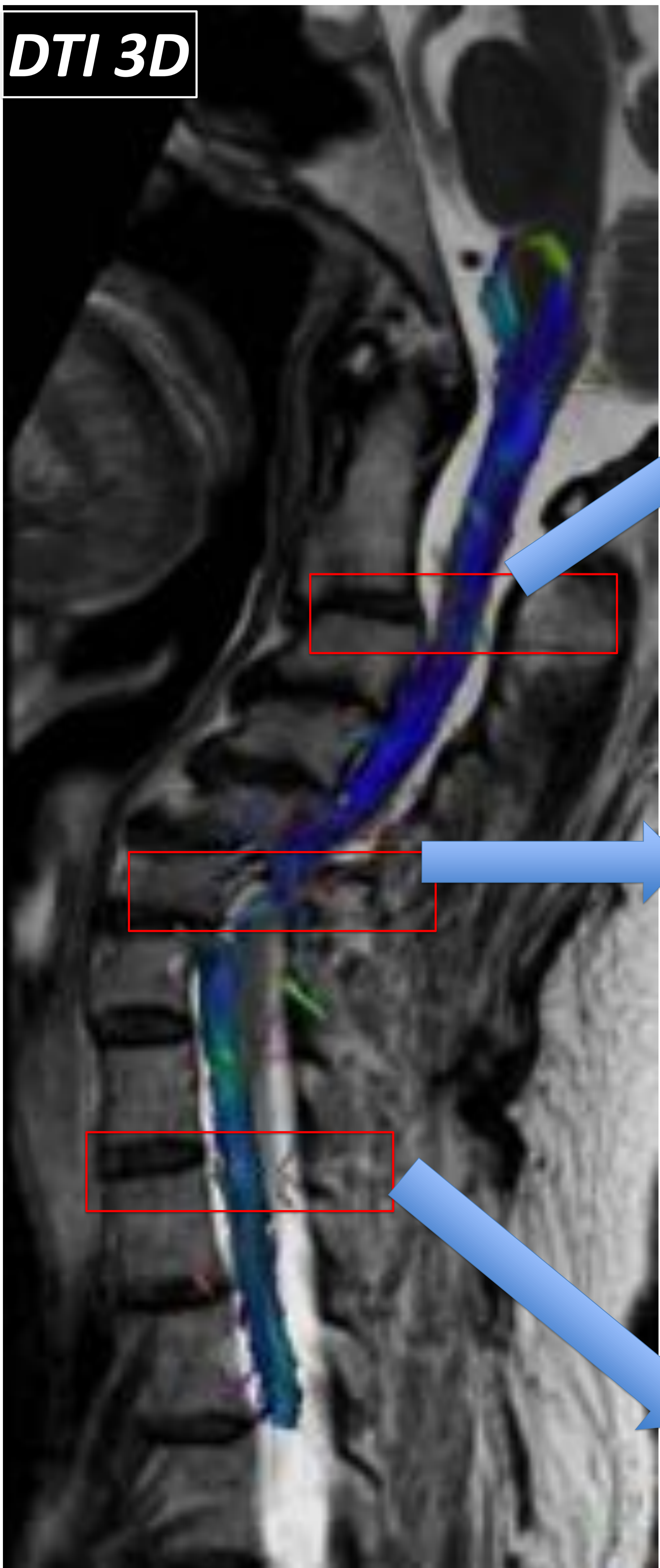
- En el posicionamiento de los ROIs siempre ha de intentarse evitarse la contaminación por el **líquido cefalorraquídeo** o incluir dentro del ROI calcificaciones o estructuras óseas ya que son una potencial fuente de falsos positivos y falsos negativos.
- En cuanto al **número de mediciones** a realizar es importante colocar como mínimo un ROI en médula aparentemente sana por encima de la lesión / punto de compresión, otro en el sitio de compresión y otro por debajo de éste para tener una información en conjunto y más precisa de los distintos parámetros derivados.
- En el punto de **máxima compresión** existe una dificultad añadida en los casos de mielopatía severa para diferenciar entre sustancia blanca y sustancia gris por lo que de nuevo es preferible incluir en un solo ROI todo el contorno del cordón medular.



Medida de FA
incluyendo LCR: 0.38

Medida de FA
excluyendo LCR: 0.49

¿Cómo medir?

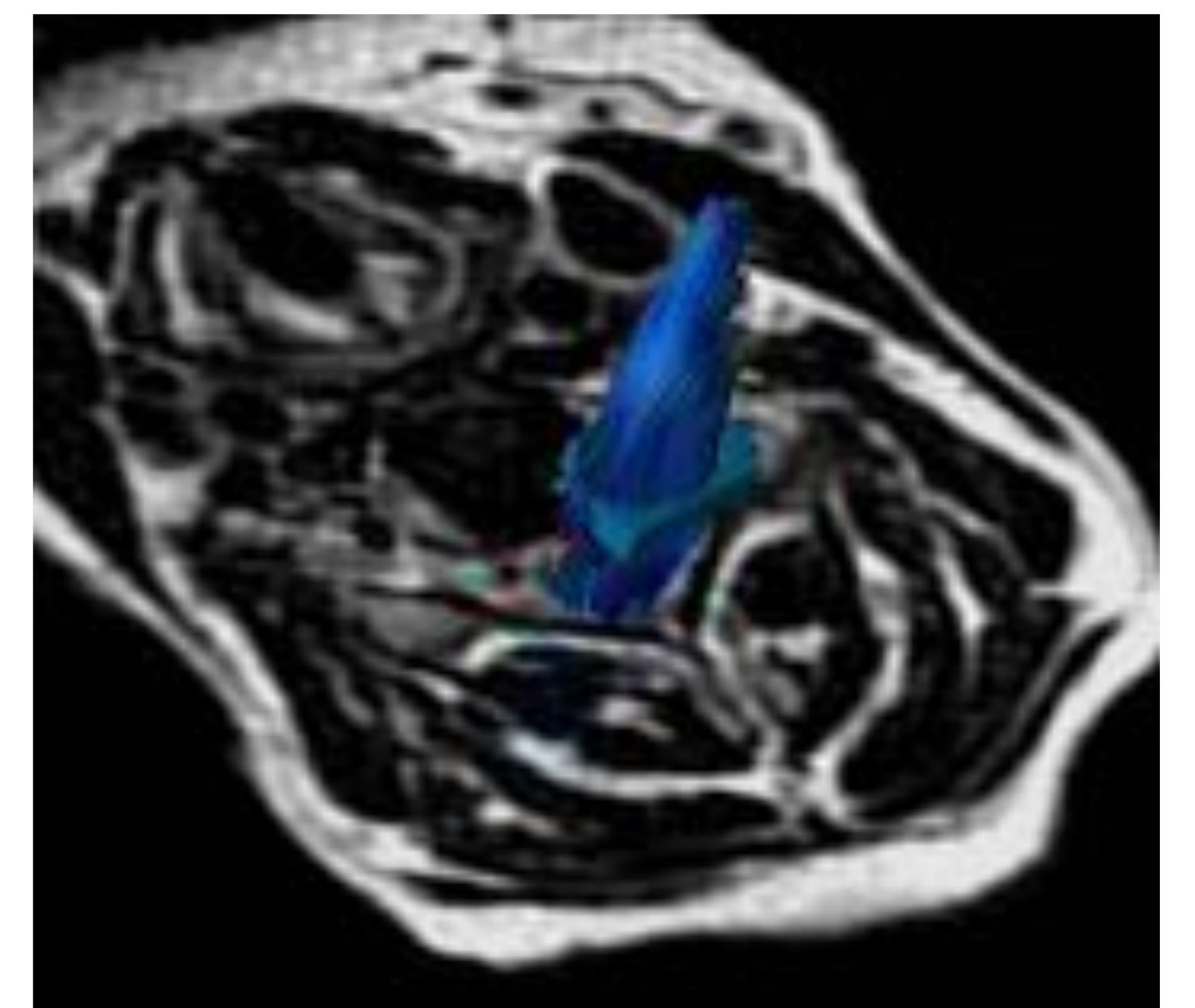


Discopatía degenerativa severa con medidas de FA y DR por encima, en el punto de máxima compresión y por debajo del mismo. Existe descenso de FA y aumento de DR en el punto de máxima compresión (y en menor medida por debajo) lo que sugiere disminución de la organización tisular y daño en la mielina (por mecanismo isquémico/ compresivo)

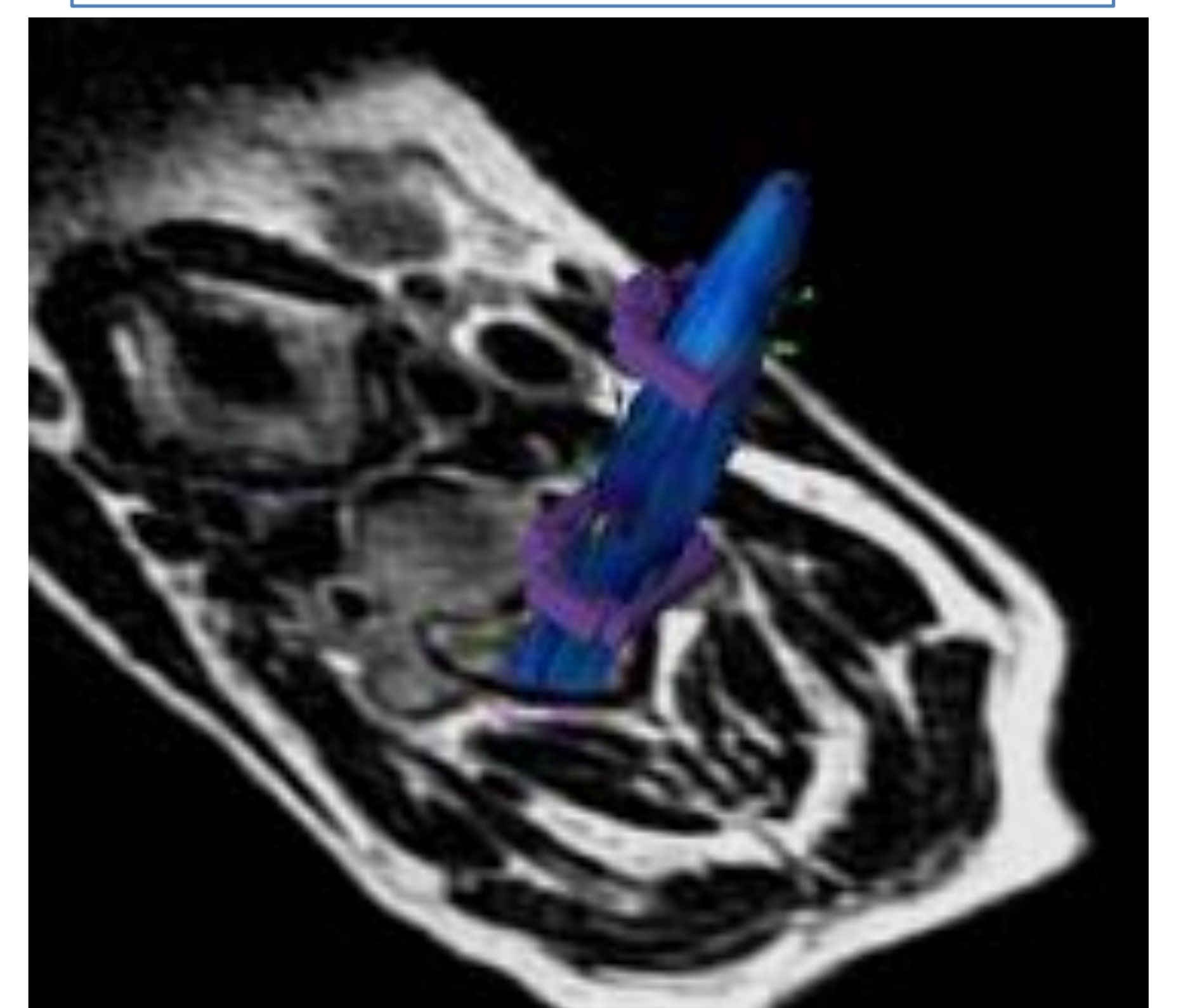
¿Cómo se hace la tractografía?

- La **FA** es la base para la representación de los tractos en el estudio del cordón medular.
- Existen diversos métodos para realizar este tipo de reconstrucciones entre los que destacan el **determinista** y el **probabilista**.
- El proceso de reconstrucción se basa en la identificación de vóxeles contiguos con similar **valor** de FA y con un determinado **ángulo** entre dichos vóxeles contiguos.
- Estos parámetros pueden ser ajustados en la mayoría de los **softwares** de postproceso por el usuario.
- Es importante recordar que dichas reconstrucciones son representaciones a través de un **modelo matemático** de la dirección dominante de movimiento del agua en el interior de los haces de sustancia blanca del cordón medular. En ningún caso el número o tamaño de las fibras representadas muestra la estructura real de los haces de sustancia blanca en el cordón medular.

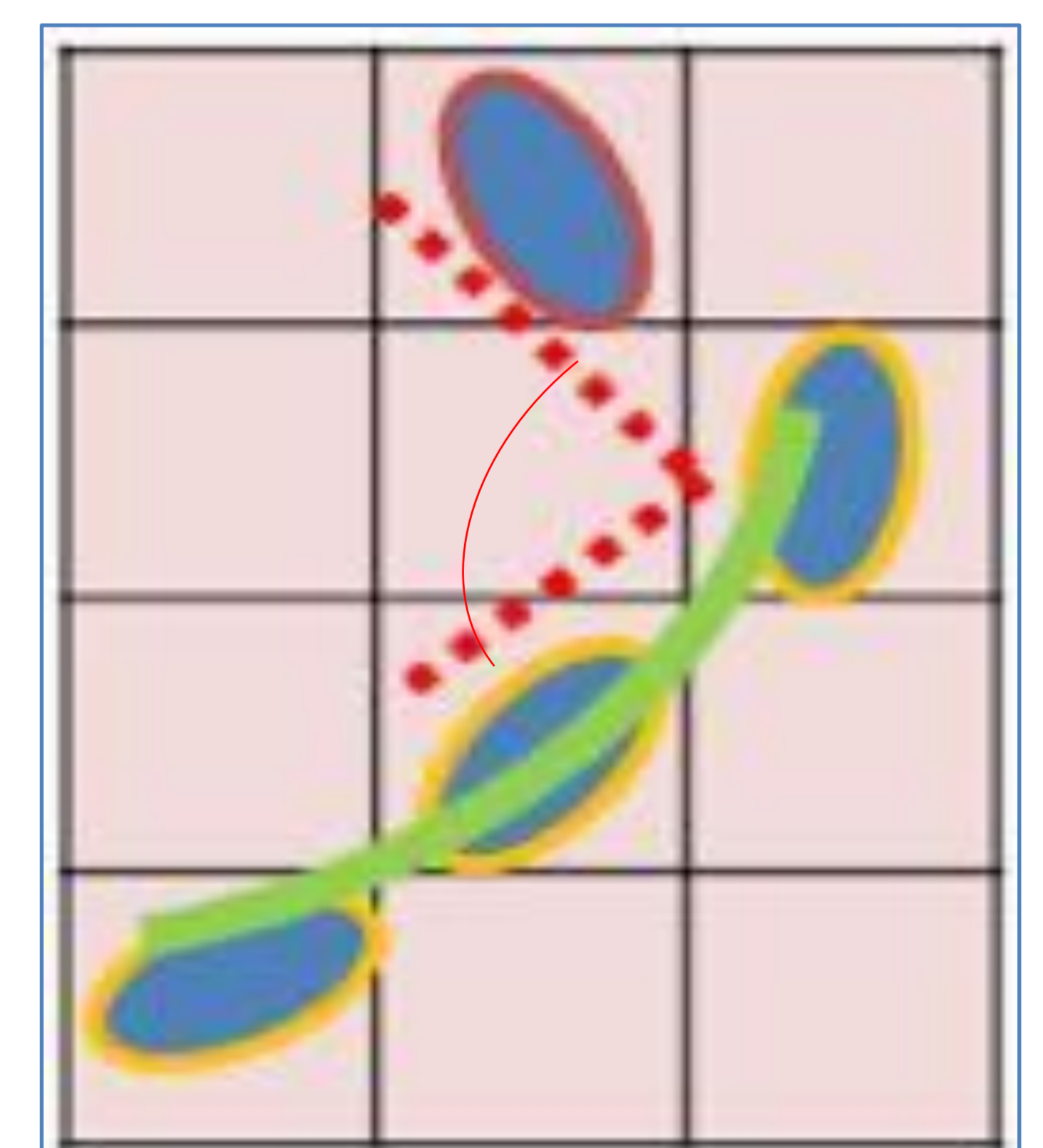
Reconstrucción usando 1 ROI



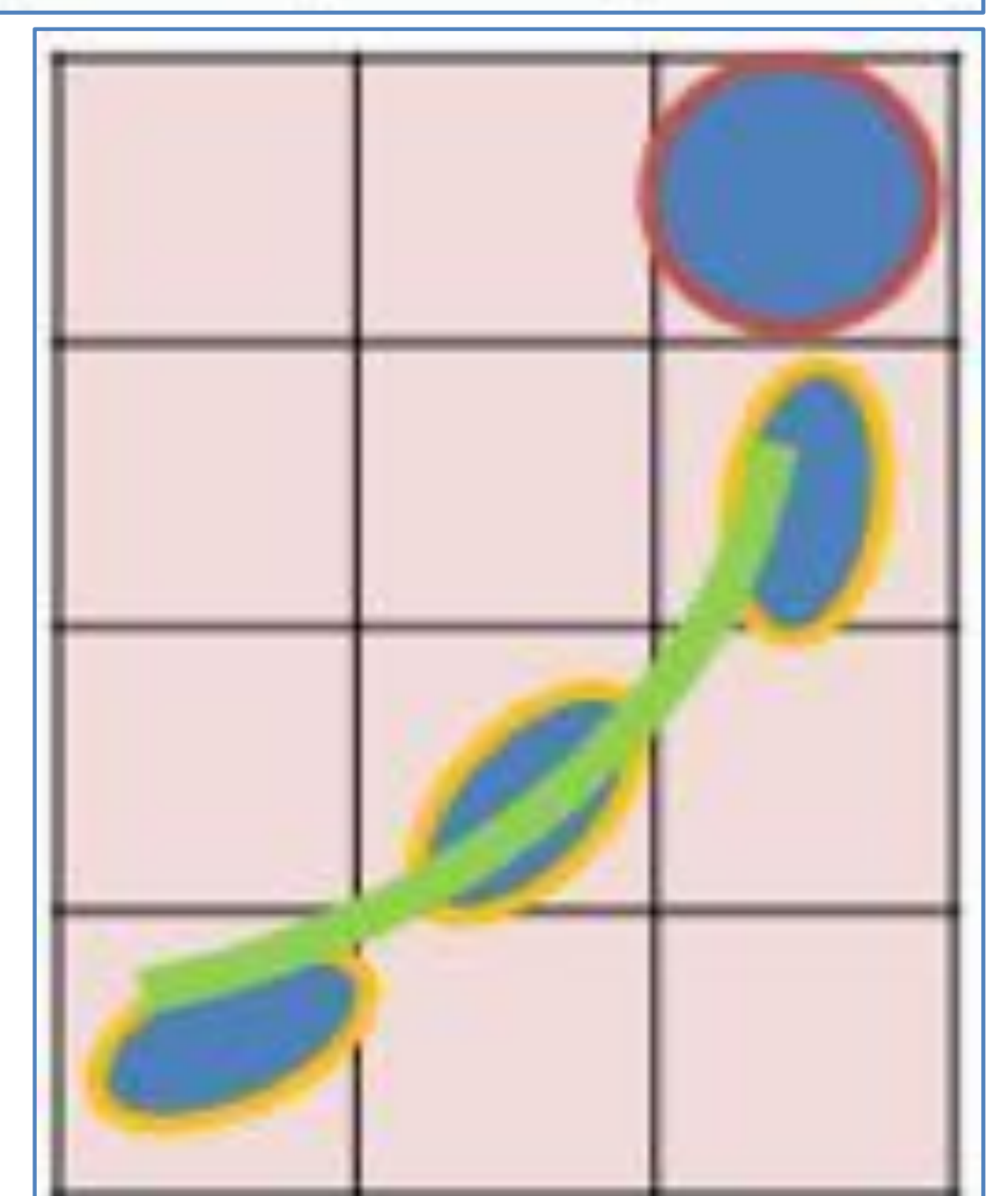
Reconstrucción usando 2 ROIs



Criterio de fin de reconstrucción: incremento de ángulo entre 2 vóxeles contiguos

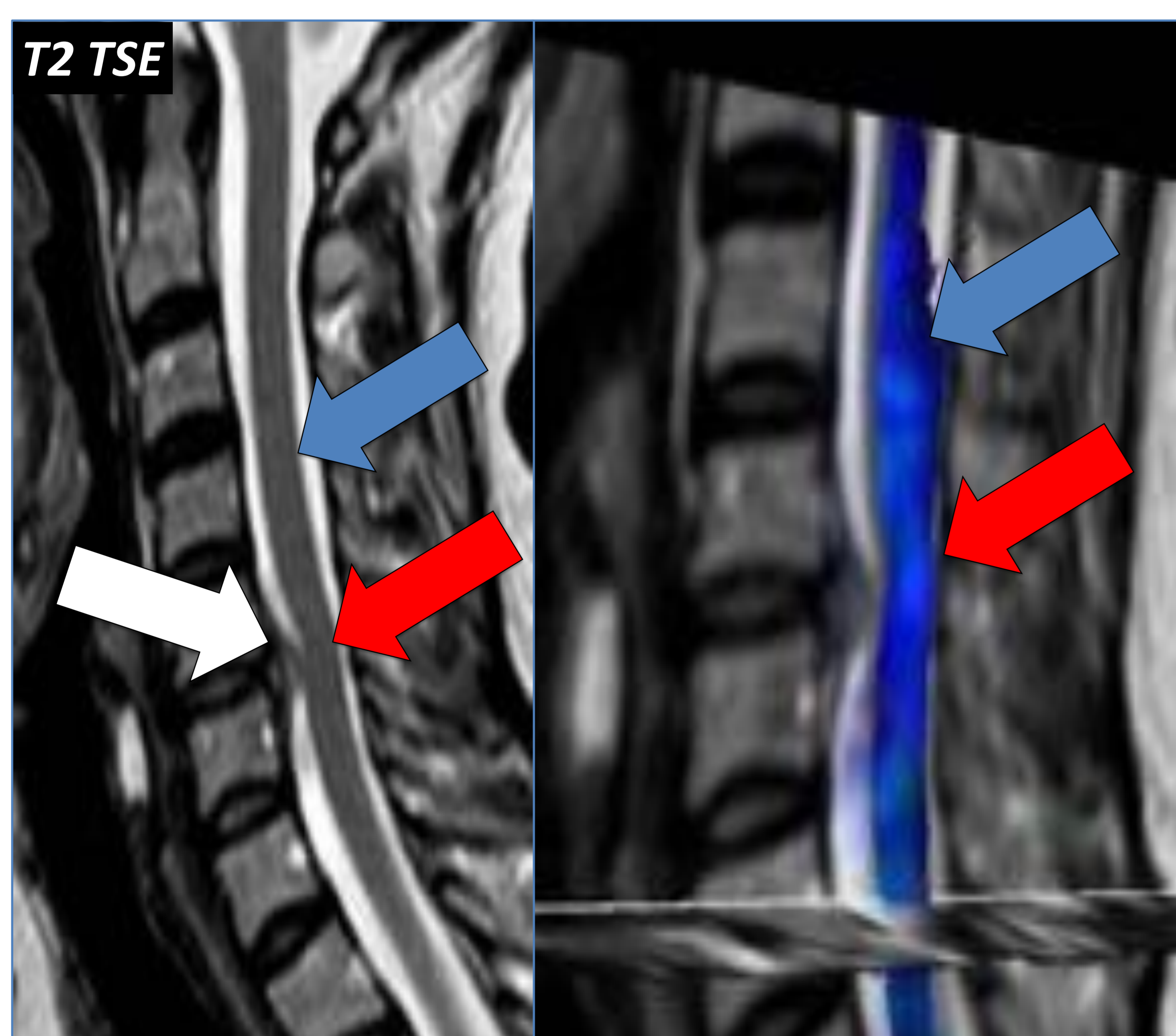


Criterio de fin de reconstrucción: vóxel con FA por encima de límite establecido

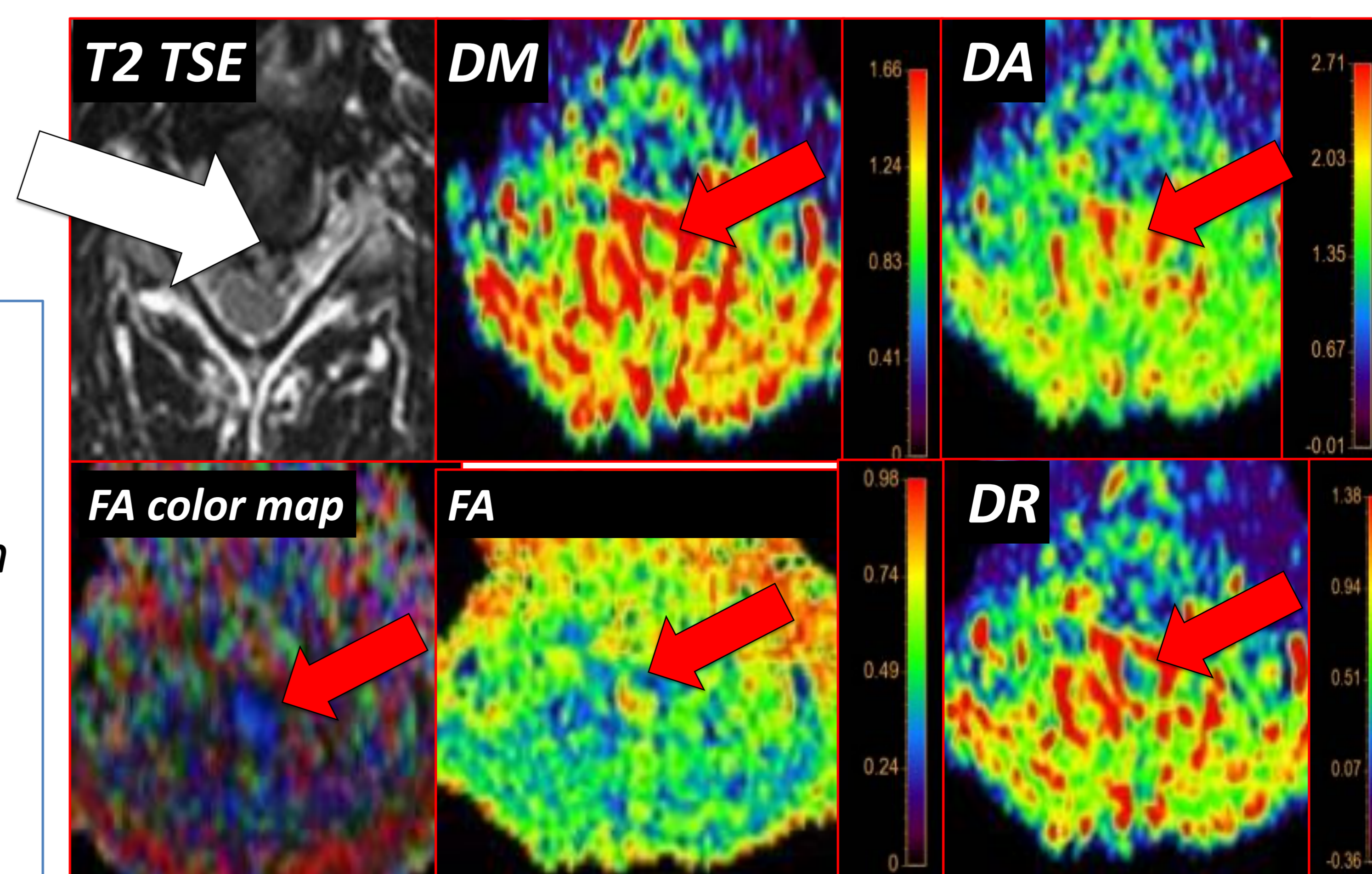
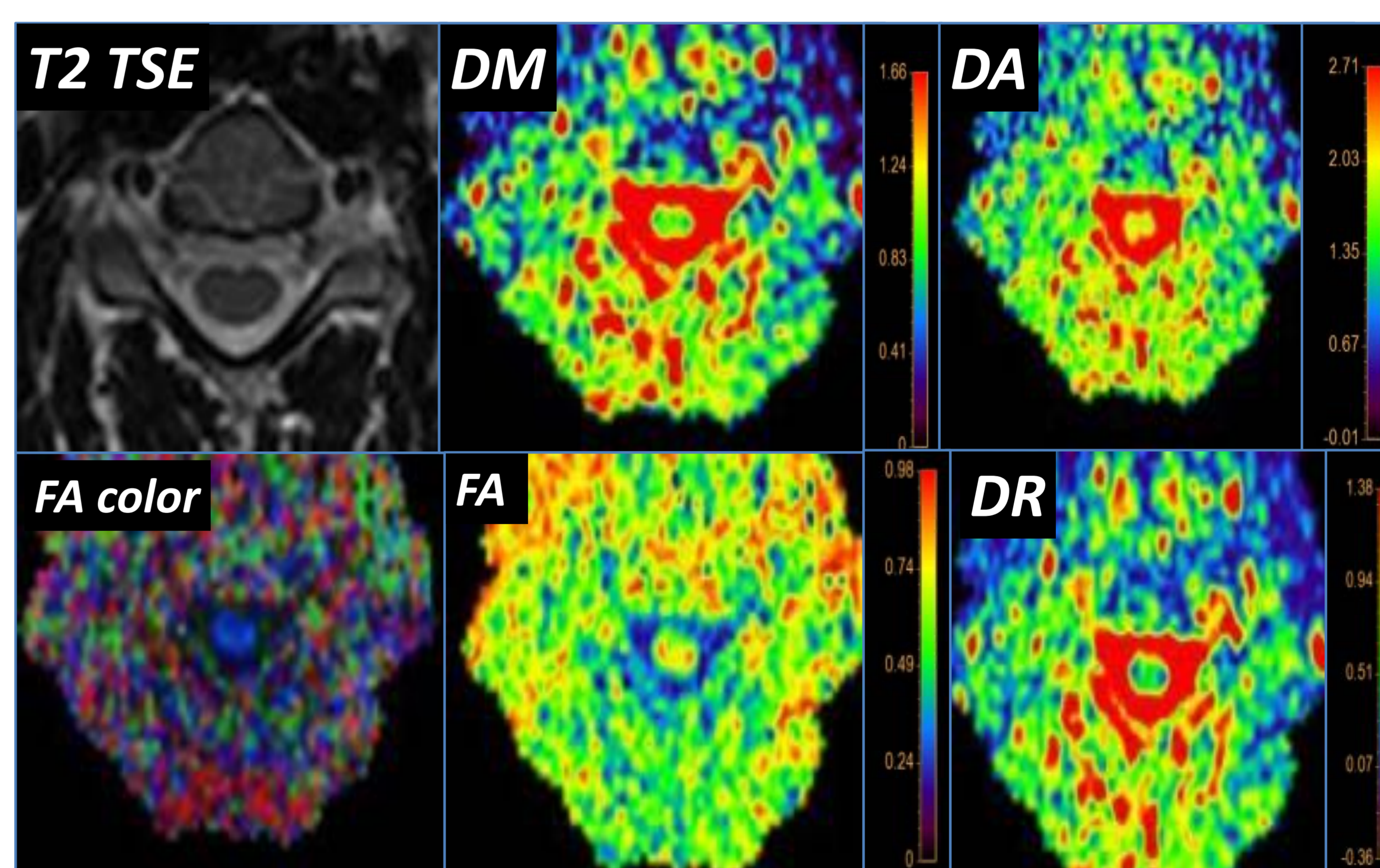


Valor añadido del DTI

- Como hemos visto, la RM morfológica convencional posee una **limitada sensibilidad** para la valoración de mielopatía compresiva (15-65%).
- Numerosos estudios han demostrado la **superioridad** del DTI para la detección de cambios por mielopatía compresiva con respecto a la RM convencional [9].
- DTI es capaz de detectar **cambios** (descenso de FA y aumento de MD) en pacientes con clínica de mielopatía y RM morfológica normal.
- Estos cambios se deben a un incremento en el agua en el compartimento extracelular que condiciona una **pérdida** local de la **anisotropía** del cordón medular.

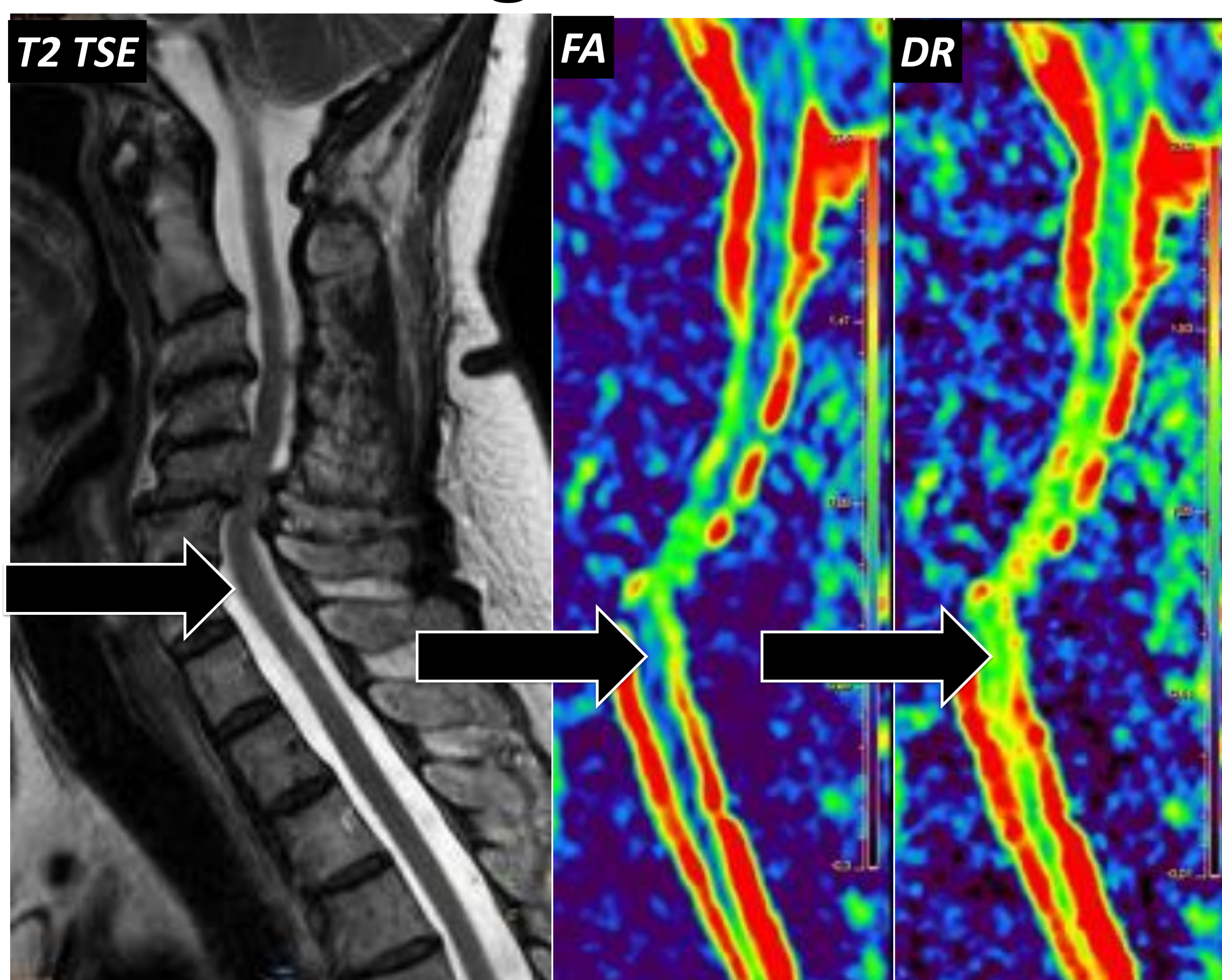


Varón de 56 con cervicobraquialgia izquierda. Flecha azul y recuadro superior muestran valores normales de los parámetros derivados del DTI. Se objetiva una pequeña protrusión discal subarticular izquierda que contacta cordón medular pero sin signos de mielopatía en el estudio morfológico. Flecha roja y recuadro inferior muestra aumento de DM, DA y DR con descenso de FA en el margen anterior izquierdo del cordón compatible con cambios por mielopatía.



Valor añadido del DTI

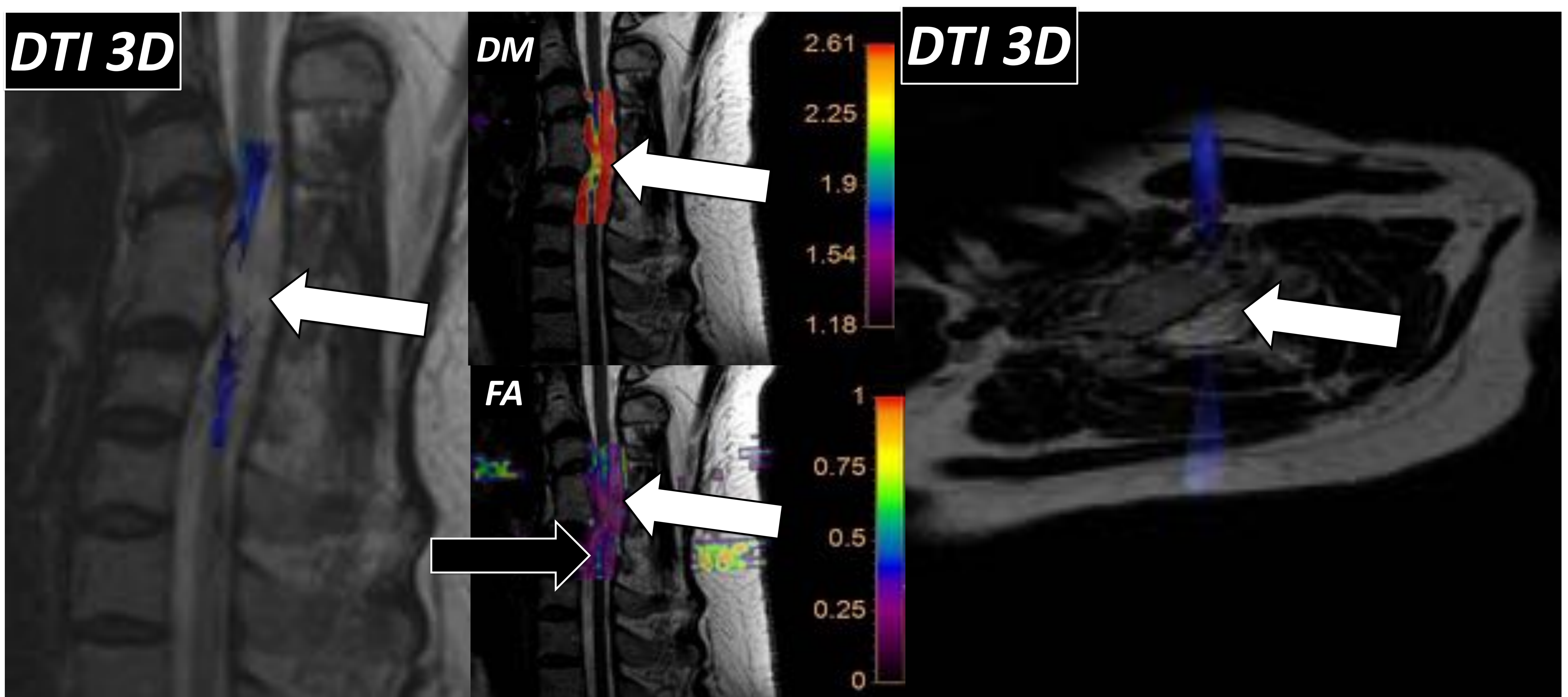
- En los estadios más **avanzados** de compresión medular, existe un mayor descenso de los valores de FA y mayor incremento en los valores de MD debido a cambios sobreañadidos por **degeneración Walleriana**, cambios quísticos / malácicos y muerte neuronal.
- De igual forma existe una **correlación** positiva entre la severidad de la clínica asociada y los valores de FA [9].
- Diversos estudios han demostrado **diferencias** significativas entre pacientes sintomáticos y asintomáticos en base a estos valores en comparación con imagen convencional de RM e incluso datos electrofisiológicos.



Mujer de 51 años con discopatía degenerativa severa sin evidencia de cambios en la intensidad de señal por debajo del punto de máxima compresión. Los mapas de FA y DR muestran descenso de los valores de FA e incremento de los valores de DR (flechas) compatible con incipientes cambios por degeneración walleriana.

Valor añadido del DTI

- En los casos de mielopatía **compresiva aguda**, los estudios con DTI han demostrado igualmente utilidad para valorar las lesiones asociadas y el pronóstico de los paciente.
- No obstante hay que recordar que en estos casos la existencia de posibles lesiones óseas o de partes blandas asociadas, especialmente componente hemorrágico intra medular o extra medular puede condicionar **artefactos** en el estudio de DTI.
- Los resultados obtenidos para los casos de mielopatía compresiva de naturaleza degenerativa pudieran ser extrapolables a causa **tumoral** ya que la base física (efecto compresivo) es similar. Sin embargo sería recomendable diseñar estudios dirigidos para confirmar dicha hipótesis.

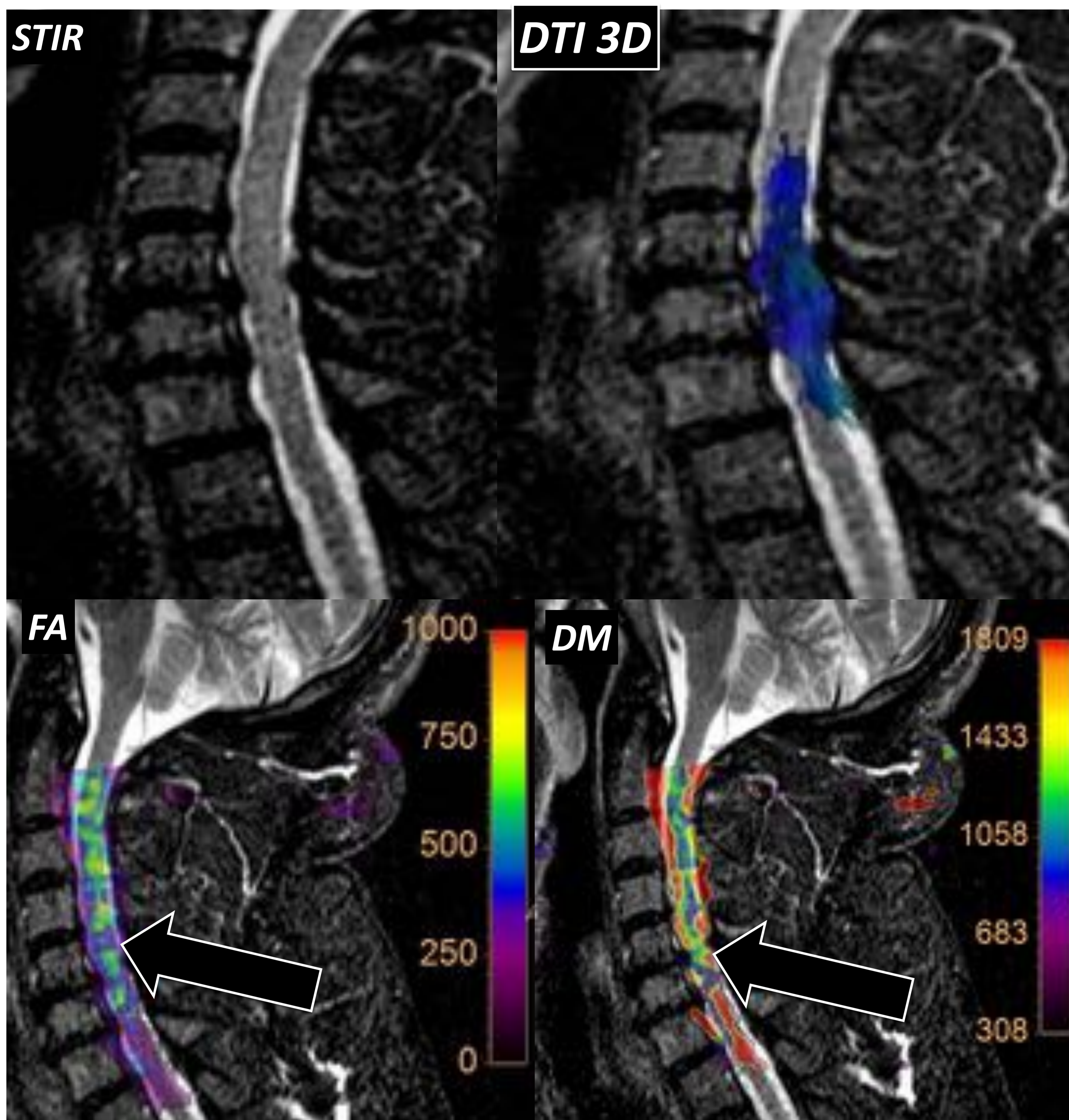


Varón de 36 con antecedente de trauma cervical severo hace 2 años muestra ausencia de continuidad del cordón medular tanto en el estudio morfológico como de DTI (flechas blancas) con severos cambios por vacuolización y necrosis a dicho nivel manifestados por incremento de la difusividad media y descenso de la FA, próxima a 0, por pérdida prácticamente completa de la anisotropía en dicha localización asociando igualmente valores bajos de FA por debajo de la lesión en relación con degeneración walleriana (flecha negra).

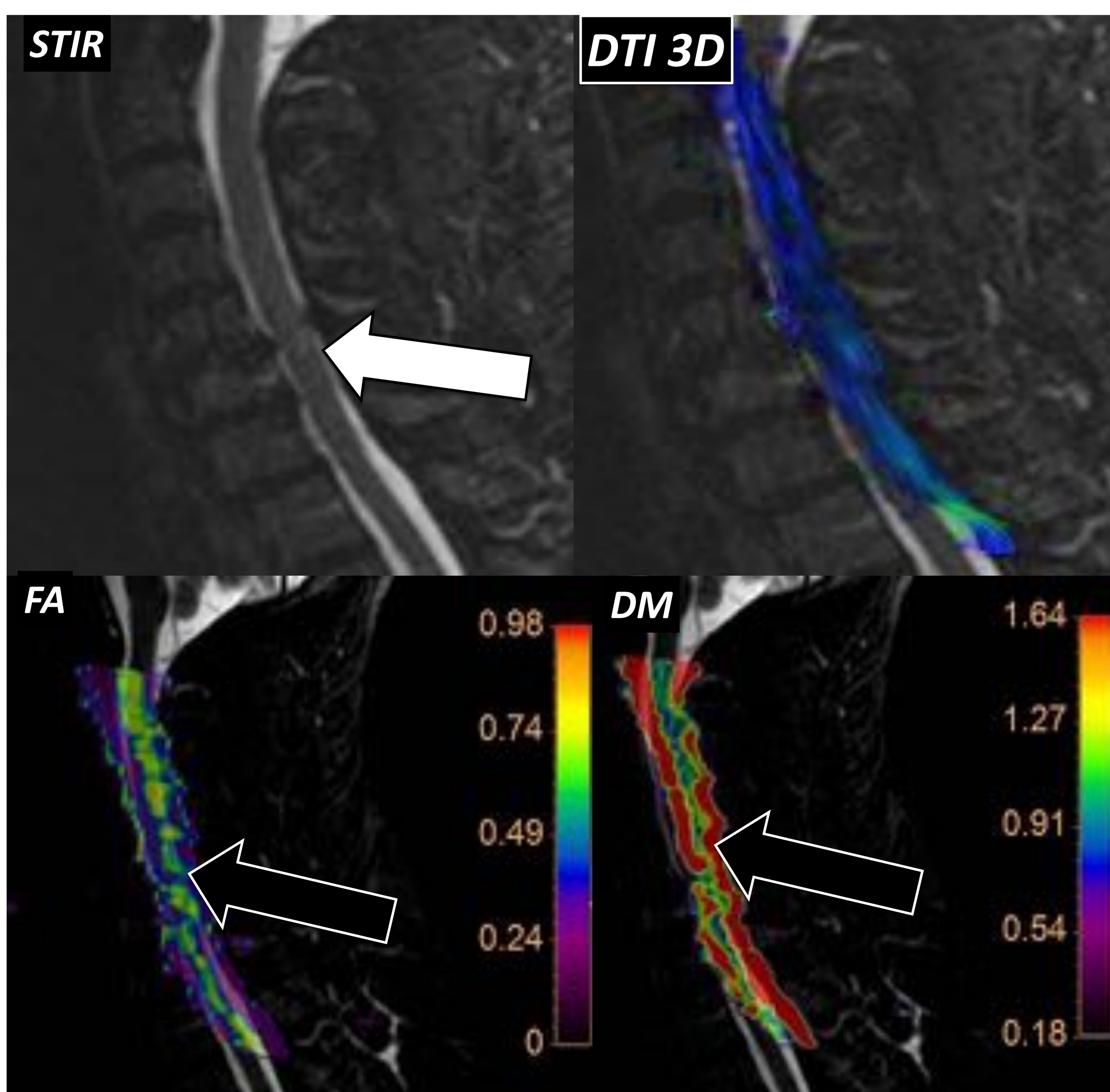
Valor añadido del DTI

- Con respecto al ***pronóstico*** y relación de los cambios por mielopatía en la valoración ***pre-quirúrgica*** medular, los estudios de DTI también han demostrado un valor añadido sobre el resto de pruebas.
- Se ha demostrado ***correlación*** entre valores altos de base de FA en el estudio pre quirúrgico con un mejor grado de recuperación funcional tras la intervención [6].
- Valores más bajos de FA, por debajo de 0.39 se han asociado a un peor pronóstico.
- De esta forma, la FA puede ser considerada un potencial ***predictor*** de respuesta a tratamiento quirúrgico facilitando las decisiones terapéuticas aunque siempre con prudencia y apoyándose en otros test diagnósticos siendo necesarios más estudios para confirmar estos resultados.
- De igual manera, los estudios de DTI pueden ser utilizados para ***monitorizar*** la evolución de la afectación del cordón medular en los casos de tratamiento ***conservador***.

Valor añadido del DTI



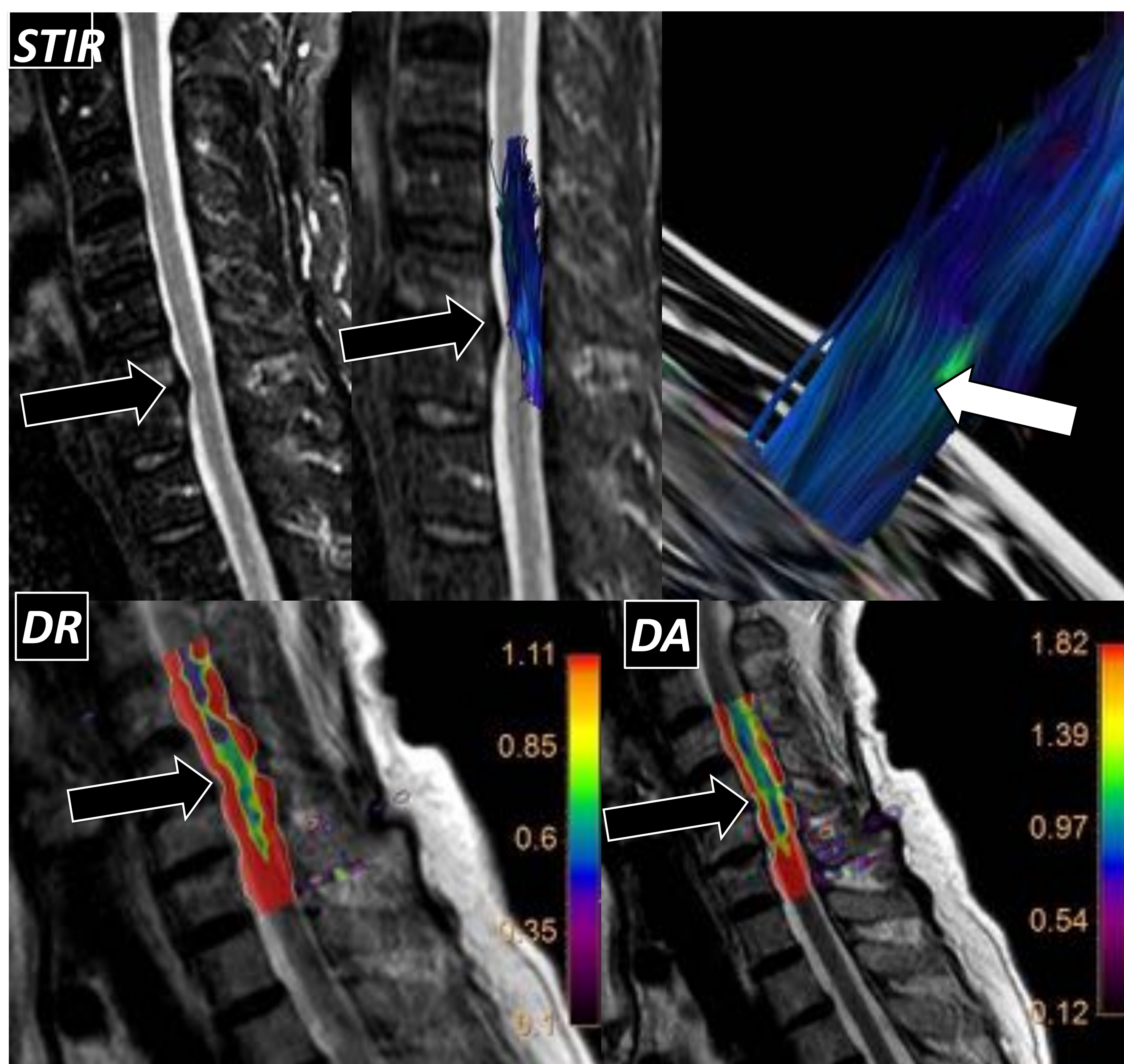
Septiembre 2015, varón de 56 años con parestesias en miembros superiores. El estudio morfológico muestra signos degenerativos discales con protrusiones sin evidencia de alteraciones en la intensidad de señal del cordón medular. El estudio de DTI muestra múltiples áreas de descenso de FA y aumento de DM (flechas) compatible con focos de mielopatía.



Noviembre 2016, el mismo paciente acude de nuevo por empeoramiento de sus síntomas. El estudio morfológico muestra foco de mielopatía con incremento de intensidad de señal del cordón (flecha blanca). En el estudio de DTI se objetiva progresión de las áreas con descenso de FA y aumento de DM.

...y más allá de la FA?

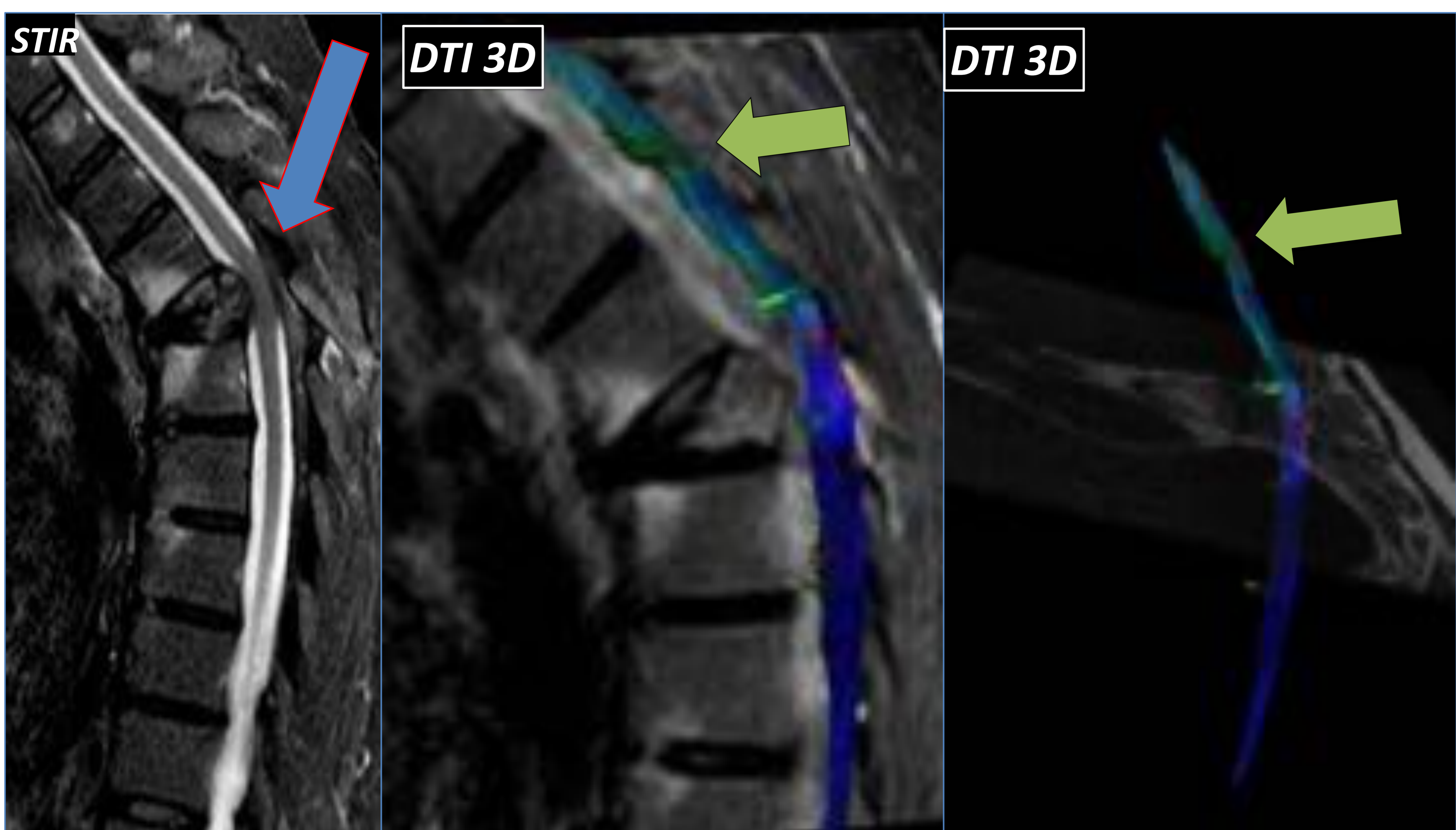
- El resto de **parámetros** derivados del DTI ha sido menos estudiado pero no por ello son menos importante.
- De hecho la **DA** y sobre todo la **DR** suponen un incremento notable sobre todo en la especificidad del DTI.
- La **FA** posee una alta sensibilidad para la detección de daño medular como se ha comentado pero carece de especificidad.
- La **DA** permite valorar si existe afectación específica de la conducción axonal.
- La **DR**, considerado el parámetro más específico de todos, nos habla del estado de la mielina y su integridad.
- Valores bajos de DR estarán ligados a integridad de dicha **mielina** mientras que valores altos de DR se asociarán a daño, normalmente isquémico / compresivo de dicha mielina [4].



Paciente de 35 años con parestesias en miembro superior derecho que muestra pequeña protrusión C6-C7 sin cambios por mielopatía asociados en el estudio morfológico (flecha negra). El estudio de DTI muestra incremento de DR al nivel de la protrusión discal e incluso por debajo de la misma con valores de DA preservados. Hallazgos sugerentes de afectación selectiva de vainas de mielina. Nótese la impronta de la protrusión discal sobre el cordón medular en la representación 3D (flecha blanca)

...y más allá de la FA?

- Tanto la DA como la DR pueden ayudar a valora el estado o severidad de los daños incluso **más allá** del punto de compresión.
- La **interrupción** del flujo que supone el mecanismo compresivo medular puede asociarse a disminución de la DA distal al punto de compresión.
- Los cambios por degeneración **walleriana**, normalmente distales a la lesión, pueden ser detectados con mayor antelación mediante la DR así como el daño de la mielina secundario a isquemia mantenida del cordón medular.



Fractura vertebral subaguda que condiciona estenosis de canal raquídeo con tenue aumento de señal en el estudio morfológico (flecha azul) en el cordón medular. En el estudio de DTI se aprecia una variación con descenso en los valores de FA por encima del punto de compresión (flechas verdes) lo que pudiera sugerir degeneración walleriana de las fibras sensitivas ascendentes por afectación predominante de cordones posteriores sin clara identificación de anomalías en el estudio morfológico.

Conclusiones

- ✓ Es **posible** realizar estudios de DTI para la valoración del cordón medular.
- ✓ Son necesarios ciertos **ajustes** técnicos para obtener estudios de calidad y reproducibles.
- ✓ El **conocimiento** de las técnicas de DTI y su aplicación para la valoración de patología medular compresiva puede ayudar a incrementar la sensibilidad y especificidad de nuestras exploraciones.
- ✓ Dichos estudios de DTI pueden ayudar a determinar el **diagnóstico** y **pronóstico** de los pacientes junto con los datos electrofisiológicos y clínicos.

Bibliografía

- 1. Ying J, Zhou X, Zhu M, Zhou Y, Huang K, Zhou B, et al. The Contribution of Diffusion Tensor Imaging to Quantitative Assessment on Multilevel Cervical Spondylotic Myelopathy. *Eur Neurol*. 2016;75(1–2):67–74.
- 2. Hori M, Tsutsumi S, Yasumoto Y, Ito M, Suzuki M, Tanaka FS, et al. Cervical spondylosis: Evaluation of microstructural changes in spinal cord white matter and gray matter by diffusional kurtosis imaging. *Magn Reson Imaging*. 2014;32(5):428–32.
- 3. Keřkovský M, Bednařík J, Jurová B, Dušek L, Kadaňka Z, Kadaňka Z, et al. Spinal Cord MR Diffusion Properties in Patients with Degenerative Cervical Cord Compression. *J Neuroimaging*. 2017;27(1):149–57.
- 4. Choe AS, Sadowsky CL, Smith SA, van Zijl PCM, Pekar JJ, Belegu V. Subject-specific regional measures of water diffusion are associated with impairment in chronic spinal cord injury. *Neuroradiology*. 2017;59(8):747–58.
- 5. Li XF, Yang Y, Lin CB, Xie FR, Liang WG. Assessment of the diagnostic value of diffusion tensor imaging in patients with spinal cord compression: A meta-analysis. *Brazilian J Med Biol Res*. 2016;49(1):1–9.
- 6. Maki S, Koda M, Kitamura M, Inada T, Kamiya K, Ota M, et al. Diffusion tensor imaging can predict surgical outcomes of patients with cervical compression myelopathy. *Eur Spine J*. 2017;26(9):2459–66.
- 7. Samson RS, Lévy S, Schneider T, Smith AK, Smith SA, Cohen-Adad J, et al. ZOOM or Non-ZOOM? Assessing spinal cord diffusion tensor imaging protocols for multi-centre studies. *PLoS One*. 2016;11(5):1–14.
- 8. Filippi CG, Andrews T, Gonyea J V., Linnell G, Cauley KA. Magnetic resonance diffusion tensor imaging and tractography of the lower spinal cord: Application to diastematomyelia and tethered cord. *Eur Radiol*. 2010;20(9):2194–9.
- 9. Lee S, Lee YH, Chung TS, Jeong EK, Kim S, Yoo YH, et al. Accuracy of Diffusion Tensor Imaging for Diagnosing Cervical Spondylotic Myelopathy in Patients Showing Spinal Cord Compression. *Korean J Radiol*. 2015;16(6):1303–12.
- 10. Barakat N, Mohamed FB, Hunter LN, Shah P, Faro SH, Samdani AF, et al. Diffusion tensor imaging of the normal pediatric spinal cord using an inner field of view echo-planar imaging sequence. *Am J Neuroradiol*. 2012;33(6):1127–33.