

ARTÍCULO ORIGINAL

Tractografía por tensor de difusión en pacientes con patología de la sustancia blanca en el Hospital Obrero N° 1, La Paz – Bolivia

Tractography by tensor of diffusion in patients with pathology of the white matter in Hospital Obrero n° 1, La Paz – Bolivia

Cori-Ramos Elizabeth*
Conde-Vargas Jaime**

CRE: Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-1665-6687>

*Médico Radiólogo – Hospital Materno Infantil, Caja Nacional de Salud.

DOI: <https://doi.org/10.53287/zoha4858ur44x>

dra.elizabethcoriramos@gmail.com

CVJ: Orcid: <https://orcid.org/Orcid: 0009-0000-5745-399X>

**Médico radiólogo – Hospital Obrero N° 1, Caja Nacional de Salud.

jaime-conde@hotmail.com

Recibido: 08/02/2022

Aceptado: 27/03/2023

RESUMEN

Las imágenes de tensor de difusión (DTI) pueden ser utilizadas para generar tractografía de la sustancia blanca. **Objetivo:** este estudio pretende evaluar la aplicación de la tractografía por tensor de difusión (DTI) en pacientes con patología de la sustancia blanca - Hospital Obrero No 1, La Paz Bolivia. **Material y Método:** El Tipo de estudio es observacional, prospectivo y descriptivo en pacientes seleccionados con patología de la sustancia blanca, tipo serie de casos, realizado entre abril del 2017 hasta enero del 2018, cuyo total es de 50 pacientes, se incluyeron a pacientes desde 1 a 80 años. Para el procedimiento se utilizó escáner de RM de 1.5 Teslas, DTI en plano axial, cortes de 4 mm, 25 direcciones, se aplicó un abordaje de múltiples regiones de interés (ROI). **Resultados:** Las imágenes de tractografía basadas en el tensor de difusión (DTI) (valoración cuantitativa y cualitativa) aportan hallazgos adicionales y únicos en los estudios de la anatomía de la sustancia blanca en comparación con los obtenidos con RM convencional de cerebro. **Conclusion:** Se realiza la evaluación de distintas variables para valorar en Índice de Alteración por Tractografía (IAT) donde se toma en cuenta el desplazamiento de las fibras, pérdida de continuidad y disminución de la densidad de las fibras. Además, se realiza la medición cuantitativa de la Fracción de Anisotropía (FA) y se ilustra en distintas patologías que afectan a la sustancia blanca.

Palabras Clave: DTI, Tractografía, Sustancia blanca, IAT, Fracción de anisotropía.

ABSTRACT

Diffusion tensor imaging (DTI) can be used to generate white matter tractography. **Objective:** this study aims to evaluate the application of diffusion tensor tractography (DTI) in patients with white matter pathology - Obrero Hospital No 1, La Paz Bolivia. **Material and methods:** The type of study is observational, prospective and descriptive in selected patients with white matter pathology, case series type, carried out between April 2017 and January 2018, whose total is 50 patients, including patients from 1 to 80 years of age. . For the procedure, a 1.5 Tesla MR scanner was used, DTI in the axial plane, 4 mm slices, 25 directions, a multiple regions of interest (ROI) approach were applied. **Results:** Diffusion tensor-based tractography (DTI) images (quantitative and qualitative assessment) provide additional and unique findings in white matter anatomy studies compared to those obtained with conventional brain MRI. **Conclusions:** The evaluation of different variables is carried out to assess the Alteration Index by Tractography (IAT) where the displacement of the fibers, loss of continuity and decrease in the density of the fibers are taken into account. In addition, the quantitative measurement of the Anisotropy Fraction (FA) is performed and illustrated in different pathologies that affect the white matter.

Key Words: DTI, Tractography, White matter, IAT, Fraction of anisotropy.

INTRODUCCIÓN

La tractografía - DTI es una técnica relativamente nueva de imágenes por Resonancia Magnética (RM) basado en la forma 3D de la difusión del agua¹, si la difusión libre es uniforme en todas las direcciones se conoce como difusión isotrópica². La conformación de los axones en paquetes, y sus vainas de mielina, facilitan la difusión de las moléculas de agua preferentemente a lo largo de su dirección principal^{3,4}. La difusión con una dirección preferente, se llama difusión anisotrópica⁴. La difusión es más anisotrópica en áreas de alta madurez axonal, en condiciones como traumas, tumores e inflamaciones interrumpen la mielina o la estructura del axón, reduciendo la anisotropía porque las barreras son afectadas por la destrucción y desorganización de las fibras^{5,6}. La anisotropía se mide de varias maneras. Una de ellas es por una proporción conocida como "anisotropía fraccional" (FA) Una anisotropía de "0" corresponde a una esfera perfecta, y una anisotropía de valor 1 es la difusión lineal ideal^{7,8,9}. Los tractos bien definidos tienen una FA mayor de 0.20^{10,11,12}. (10,11). Las imágenes por tensor de difusión pueden ser utilizadas para generar tractografía de la sustancia blanca^{13,14}. La sustancia blanca es una parte del sistema nervioso central compuesta de fibras nerviosas mielinizadas, las fibras nerviosas contienen sobre todo axones (un axón es la parte de la neurona encargada de la transmisión de información a otra célula nerviosa)^{4,6}. Varios autores han intentado realizar una clasificación de las alteraciones en las fibras de la sustancia blanca mediante tractografía^{6,7,12,13}, pero no existe aún una clasificación uniforme que incluya diferentes tipos de variables cualitativas y cuantitativas que son susceptibles de análisis. La selección de tractos específicos es un tema de investigación en diferentes centros de diagnóstico por imágenes a nivel mundial^{4,6,7,14}, lo cual significa un importante reto en nuestro medio, ya que su aplicación puede ser de amplia ayuda en el ámbito clínico quirúrgico. En este trabajo de investigación se pretende mostrar la anatomía y anomalías de pacientes seleccionados con distintas patologías de la sustancia blanca mediante la cualificación cuantitativa y cualitativa del daño a los tractos. El objetivo es evaluar la aplicación de la tractografía por tensor de difusión en pacientes con patología

de la sustancia blanca en el Hospital Obrero No 1, La Paz- Bolivia.

MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó un estudio observacional, prospectivo y descriptivo en pacientes seleccionados con patología de la sustancia blanca, tipo serie de casos. El estudio se realizó en pacientes de la consulta externa e internados del servicio de neurología y neurocirugía con solicitud de estudio de RM por patología de la sustancia blanca, previamente evaluados para la realización de la secuencia de tractografía – imagen por tensor de difusión (DTI) en el servicio de Diagnóstico por Imágenes del Hospital Obrero No 1, de la ciudad de La Paz- Bolivia entre abril del 2017 hasta enero del 2018, cuyo total es de 50 pacientes, se incluyeron a pacientes con edades desde 1 a 80 años, se realizaron todos los exámenes clínicos y analíticos pertinentes para excluir diagnósticos alternativos. Se excluyó a pacientes que constituían a todas aquellas contraindicaciones para la realización de una RM, es decir, aquellos portadores de implantes cocleares y neuroestimuladores no seguros en RM; portadores de marcapasos, clips de aneurismas, así también, se excluyeron a pacientes que no aceptaron participar en el estudio. En la presente investigación, por el tipo y diseño de estudio, los datos son codificados y se reservan el uso de los nombres, cumpliendo el principio de confidencialidad.

La obtención de las imágenes de RM se realizó durante una única sesión por paciente, se utilizó escáner de RM de 1.5 Teslas (General Electric Company – SIGNA EXCITE). Las imágenes DTI se adquirieron en el plano axial, usando una secuencia spin eco-planar de una sola toma, con un Campo de Visión (FOV) de 256 x 256 mm., cortes de 4 mm. con Gap = 0, valor b = 1000 mm²/s., TE/TR 72/11000, 25 direcciones y matriz de 128 x 128. El tiempo de adquisición fue de 8 a 15 minutos.

La reconstrucción y análisis de las tractografías fue realizada por el autor principal, los datos fueron a continuación procesados para determinar el tensor de difusión y las imágenes anatómicas de RM, utilizando un software de tractografía del

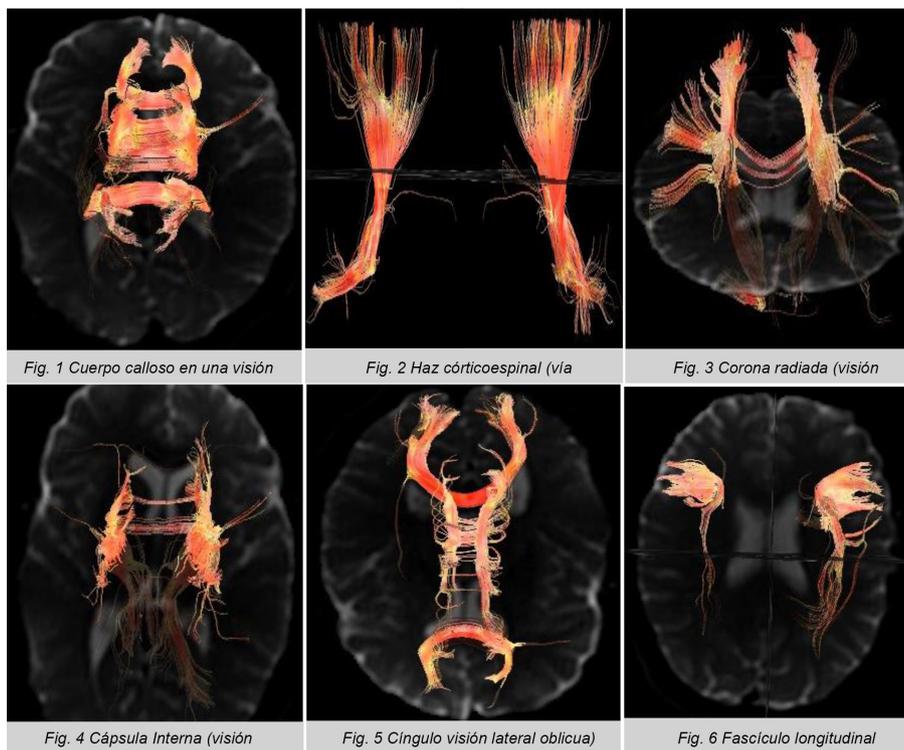
mismo equipo del cual se reconstruyeron tractos de la sustancia blanca y se calcularon los mapas de las fracciones de anisotropía (FA). Se aplicó un abordaje de múltiples regiones de interés (ROI),

en el cual el algoritmo de tractografía se inició en regiones seleccionadas por el usuario. Para la reconstrucción de tractos se utilizó el siguiente cuadro (cuadro N° 1).

Cuadro N° 1. Referencia anatómica – fibras de sustancia blanca

	Origen	Destino	Función
Fibras de asociación			
Cíngulo	Lóbulos frontal y parietal, discurre inmediatamente encima del cuerpo calloso.	Lóbulo temporal medial.	Comunicación entre los componentes del sistema límbico. La parte anterior se asocia con las emociones, la sección posterior con funciones cognitivas incluyendo la capacidad de atención, destrezas espaciales y visuales.
Uncinado	Lóbulo frontal inferior, área motora del habla.	Lóbulo temporal anterior.	Se considera parte del sistema límbico. Se asocian con ansiedad social, enf. De Alzheimer, desorden bipolar y depresión.
Longitudinal inferior	Lóbulo occipital, pasando por fuera de la radiación óptica.	Lóbulo temporal.	Integra múltiples entradas sensoriales, como la somatosensorial, la auditiva y visual.
Longitudinal superior	Lóbulo parietal, occipital y temporal.	Lóbulo frontal	Proporciona información para centrar la atención espacial y regular la selección de información espacial, transfiere la información somatosensorial.
Fibras de proyección			
Radiaciones ópticas	Núcleo geniculado lateral del tálamo.	Corteza visual	Es una colección de axones que llevan información visual.
Tracto corticoespinal	Corteza motora	Tronco cerebral y medula espinal. Se produce un cruce al lado opuesto a través de la decusación piramidal.	Transmisión de señales para realizar movimientos voluntarios y especializados.
Fórnix	Hipocampo, a cada lado del hemisferio	Hipotálamo, donde se unen con el cuerpo del fórnix.	Lleva las señales del hipocampo al hipotálamo y del sistema límbico de un hemisferio al del otro, contribuye a la regulación del comportamiento emocional, los procesos de motivación y la memoria.
Fibras comisurales			
Cuerpo calloso	Corteza de los hemisferios cerebrales	Corteza de los hemisferios cerebrales	Conecta territorios homólogos de los dos hemisferios cerebrales.

Ejemplos de reconstrucciones tridimensionales en pacientes sin daño de la sustancia blanca: *Cuerpo calloso (fig. 1), tracto corticoespinal (fig. 2), corona radiada (fig. 3), capsula interna (fig. 4), cingulo (fig. 5) y fascículo longitudinal superior (Fig. 6):*



Aplicación del Índice de Alteración por Tractografía (cuadro N° 2): se aplicó este índice en pacientes que presentaron afectación de la sustancia blanca para poder clasificar las lesiones.

Cuadro N° 2. Índice de Alteración por Tractografía

Tipo de alteración	puntos
Sin alteración	0
Desplazamiento de las fibras	1
Perdida de continuidad	1
Disminución de la densidad de las fibras:	
Menor o igual a 10%	0
Entre 11 y 30%	1
Entre 31 y 50%	2
Mayor 50 %	3

El valor mínimo del índice es 0 y el mayor 5.

Para cada paciente se valoraron los siguientes parámetros: edad, sexo, causa de patología que afecta a la sustancia blanca, lado de localización de la lesión, tracto afectado, presencia o ausencia de clínica, tipo de lesión al tracto, desplazamiento del tracto, acortamiento del tracto, disminución de la densidad de las fibras, cuantificación de la

fracción de anisotropía (FA) e índice de afectación de la sustancia blanca (cuadro N° 3). Los valores de todos los datos obtenidos en el estudio propuesto se almacenaron en la base de datos del programa estadístico SPSS 11 y se analizaron de manera descriptiva.

Cuadro N° 3. Variables analizadas

Nombre	Tipo de variable	Indicador	Escala de medición
Sexo	Cualitativo	Género	1: Femenino 2: Masculino
Edad	Cuantitativo	Número de años	1: menor a 10 años; 2: 10 – 20 años; 3: 20 – 30 años; 4: 30 – 40 años; 5: 40 – 50 años; 6: mayor a 50 años
Causas de patología de la sustancia blanca	Cualitativo	Patologías que producen daño de la sustancia blanca.	1: TU cerebral; 2: Epilepsia; 3: Esclerosis múltiple; 4: Retraso global del desarrollo; 5: TAE; 6: Otros
Pacientes con patología que afecta la sustancia blanca	Cualitativo	Número de pacientes afectados en la sustancia blanca.	1: sí 2: no
Localización de la lesión	Cualitativo	Región anatómica afectada	1: Lobulo frontal; 2: Lobulo parietal; 3: Lobulo temporal; 4: Lobulo occipital; 5: Ninguno; 6: Otros
Lado de afectación	Cualitativo	Localización de la lesión en relación a la línea media de una persona.	1: Derecho; 2: Izquierdo; 3: Bilateral
Tracto afectado	Cualitativo	Fibras afectadas por patología de la sustancia blanca.	1: Cingulo; 2: Uncinado; 3: Longitudinal superior; 4: Longitudinal inferior; 5: Radiaciones opticas; 6: Tracto corticoespinal; 7: Fibras comisurales; 8: Cuerpo caloso
Tipo de alteración clínica	Cualitativa	Limitación funcional	1: Deficit motor; 2: Deficit sensitivo; 3: Trastorno del aprendizaje; 4: Cefalea; 5: otros
Tipo de afección al tracto	Cualitativa	Lesión causada a las fibras	1: Desviacion; 2: Edema; 3: Infiltracion; 4: Destruccion ; 5: Desviacion e infiltracion ; 6: Desviacion y destruccion
Desplazamiento del tracto	Cualitativa	Alteración de la dirección de la fibra	1: Sin desplazamiento 2: Con desplazamiento
Acortamiento del tracto	Cualitativo	Disminución de la longitud de la fibra	1: Sin acortamiento 2: Con acortamiento
Disminución de la densidad de la fibra	Cualitativo	Alteración en la mielinización	1: Menor o igual al 10%; 2: Entre 11 y 30%; 3: Entre 31 a 50 %; 4: Mayor a 50 %
Cuantificación de la fracción de anisotropía	Cualitativo	Valor de la FA en el tracto afectado	1: menor a 0.20; 2: entre 0.20 a 0.90; 3: mayor a 0.90
Índice de alteración por tractografía	Cuantitativo	Severidad de alteración de las fibras	1:1 (leve); 2:2 (intermedio) ; 3:3 (moderado); 4:4 (grave); 5.5 (severo)

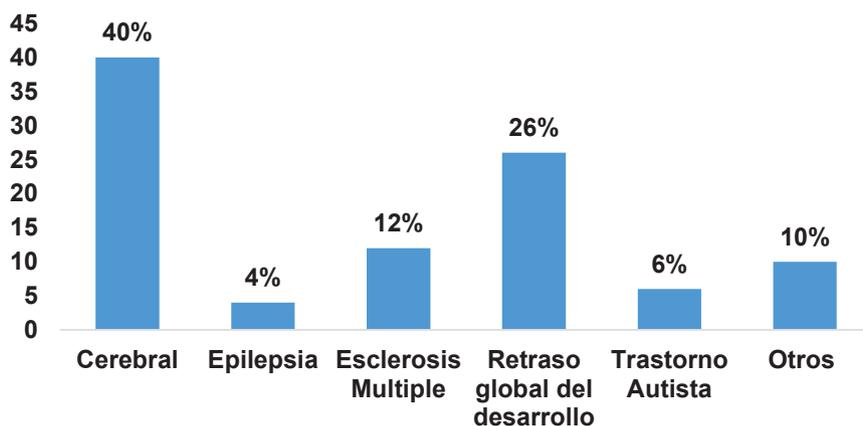
RESULTADOS

Se ha explorado prospectivamente mediante la secuencia tractografía DTI a 50 pacientes con diferentes enfermedades que afectan a la sustancia blanca.

Para el estudio se recolectó a 24 hombres y 26 mujeres; con edades desde 1 hasta 80 años, el grupo etario más afectado fueron los pacientes

menores a 10 años representando el 35 % de la población; el porcentaje de la población de estudio de acuerdo a la causa de patología de la sustancia blanca, fue en orden de frecuencia: tumores cerebrales en un 40 % retraso global del desarrollo en un 26%, esclerosis múltiple 12%, por trastorno del espectro autista 6%, epilepsia 4% y entre otros diagnósticos en un 10% (enfermedad degenerativas de ganglios de la base) (figura N° 7).

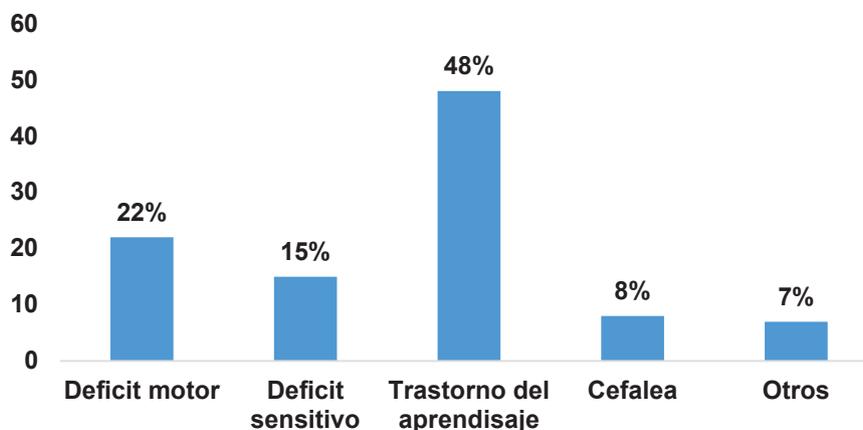
Figura N° 7. Porcentaje de pacientes según la patología de la sustancia blanca



En el conjunto de datos para la evaluación de la fracción de anisotropía (FA), se obtiene que en un 54 % de nuestra población si presentaron lesión de las fibras de la sustancia blanca y en el resto no (ni cualitativas ni cuantitativamente). En cuanto a la afectación según el lóbulo cerebral se tiene que el lóbulo frontal es el más prevalente con un 37%,

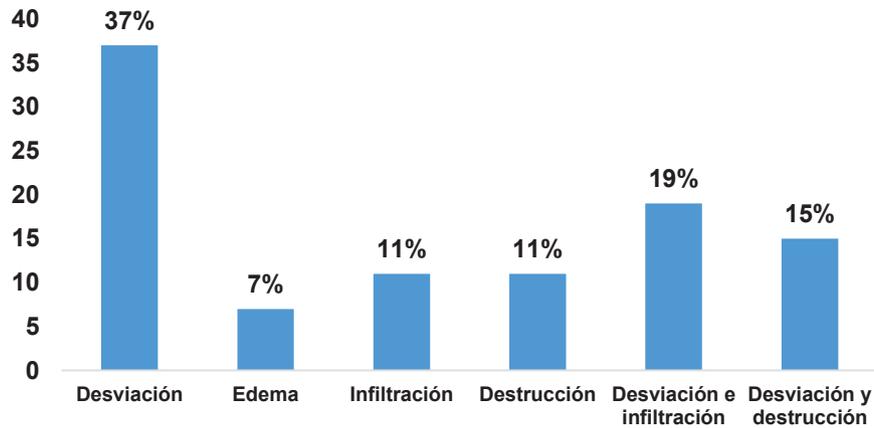
afección lobular difusa en un 22%, el lóbulo temporal es afectado en un 15%, el lóbulo parietal en un 4% y entre otros en un 18% (región frontoparietal derecha y parietooccipital izquierda); el tracto más afectado es el haz cortico espinal en un 70%. En cuanto a la afección clínica, el 48% cursa con trastornos neurocognitivos, 22% con déficit motor y el 15% con déficit sensitivo (figura N° 8).

Figura N° 8. Porcentaje de pacientes según tipo de afección clínica



El desvío de los tractos se presentó en el 37% de la afectación de la sustancia blanca, el desvío e infiltración en un 19% y edema cerebral en un 7% (figura N° 9).

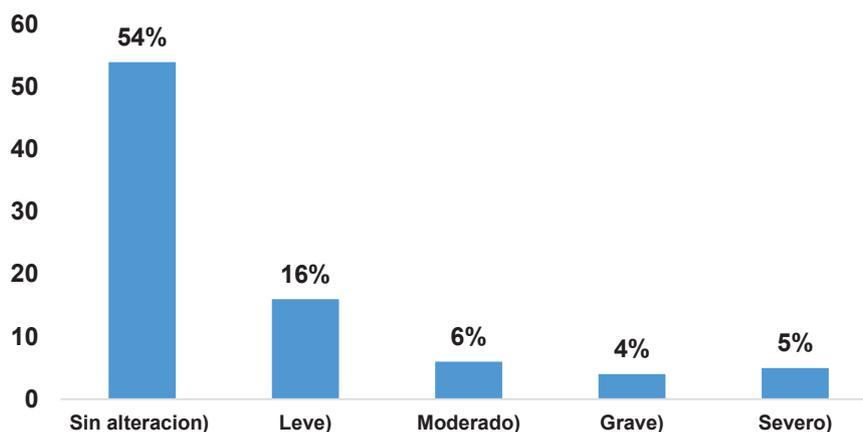
Figura N° 9. Porcentaje de pacientes según tipo de afección al tracto de la sustancia blanca



El 54 % de la población de estudio no muestra alteración del índice por tractografía, el 16 % presentó una leve alteración, el 6 % alteración moderada, el 4 % alteración grave y el 6 % una alteración severa. Se compararon las diferencias

de las variables continuas entre los valores entre los casos y los controles, y dentro de los primeros entre los que presentan clínica y los que no (figura N° 10).

Figura N° 10. Índice de alteración por Tractografía



Entre los casos más relevantes ilustramos las siguientes patologías que afectan a la sustancia blanca, la aplicación del índice de alteración por tractografía y fracción de anisotropía.

1. Paciente de 42 años de edad, sexo femenino, con el diagnóstico de rhabdomyosarcoma, ubicado en región orbitaria derecha, con afectación del lóbulo

frontal derecho. Se ubican los ROIs para delimitar los tractos, y se observa que principalmente el TCE derecho está afectado, disminuido de la densidad mayor al 50 % (3 puntos), hay desplazamiento de las fibras (1 punto) y pérdida de la continuidad (1 punto). IAT: 5 (severo) además se aprecia disminución de la FA (Fig. 11).

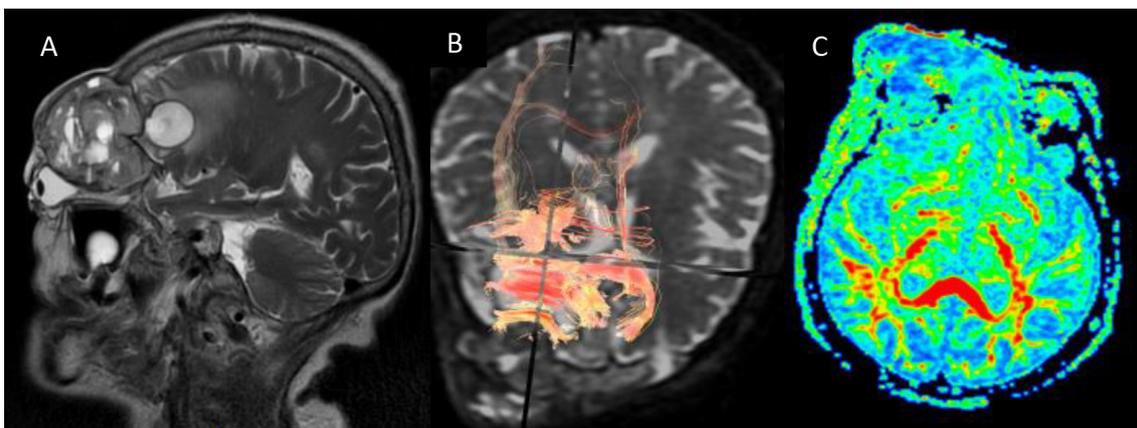


Fig. 11. Paciente de 42 años, femenino, diagnóstico de rhabdomyosarcoma en región orbitaria derecha, con afectación del lóbulo frontal derecho (A). Se observa afectación principalmente del TCE derecho (B) IAT: 5 (severo) además con disminución de la FA (C).

2. Paciente de 37 años de edad, sexo masculino, con el diagnóstico de glioblastoma multiforme en lóbulo frontal izquierdo se ubican los ROIs para delimitar los tractos, y se observa que principalmente el TCE izquierdo está afectado, disminuido de la densidad mayor al 50 % (3 puntos), hay desplazamiento de las fibras (1 punto) y pérdida de la continuidad (1

punto). IAT: 5 (severo) además con disminución de la FA (Fig. 12). En cuanto a la cuantificación de la fracción de la anisotropía se tiene que el 74 % de los pacientes con afección de la sustancia blanca presentan una alteración en la cuantificación del valor teniendo un valor menor a 0.20.

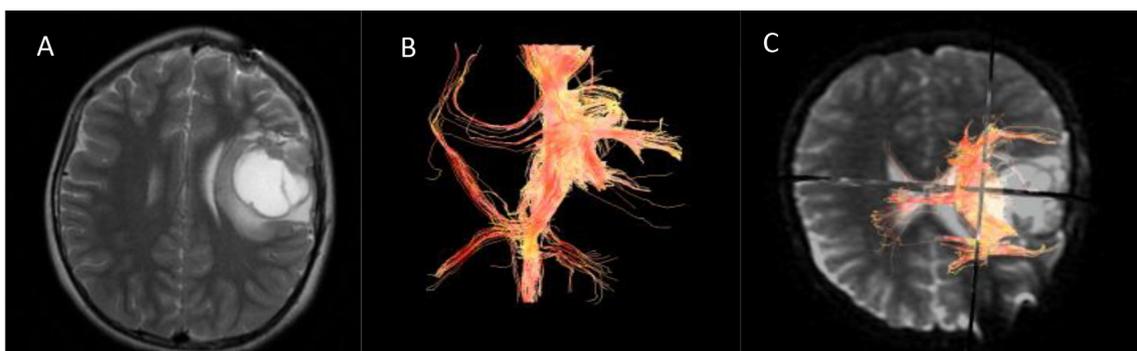


Fig. 12. Paciente de 37 años, masculino, diagnóstico de glioblastoma multiforme en lóbulo frontal izquierdo (A) afectación TCE izquierdo (B) IAT: 5 (severo) además con disminución de la FA (C).

3. Paciente de 27 años de edad, sexo femenino con el diagnóstico de EM, los estudios de imagen muestra en la secuencia T2 y Flair lesiones focales hiperintensas que cumplen los criterios de McDonald, si bien la tractografía no muestra alteración de las fibras, se observa un incremento del ADC y una disminución de la FA de 0.09, en este caso la FA es más baja porque se trata de lesiones activas, este hecho podría servir para medir respuesta

terapéutica e incluso determinar la relación entre alteraciones en la sustancia blanca y parámetros clínicos de actividad y posible pronóstico en la diseminación en espacio y tiempo, un dato importante es que el DTI es capaz de distinguir un área de desmielinización y otra de dismielinización, ambas igualmente hiperintensas en secuencias potenciadas en T2, pero la dismielinización no altera la anisotropía (Fig. 13).

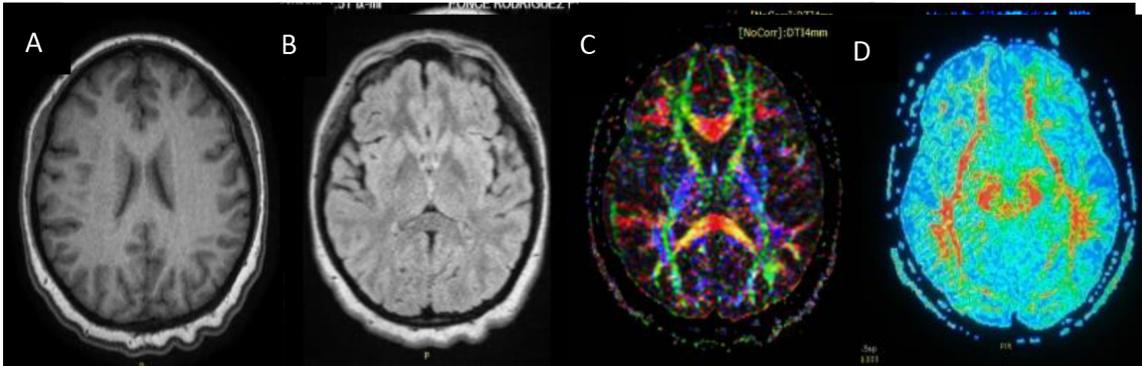


Fig. 13. Paciente de 24 años de edad, femenino, con alteración de la visión que se muestra normal en la IRM convencional (A, B), sin embargo la fracción de anisotropía muestra un patrón anormal en el lóbulo occipital derecho se encuentra disminuido con un valor de 0.03, asociado a disminución de la densidad de sus fibras (C,D).

4. Paciente de 32 años de edad, sexo masculino, con crisis convulsivas parciales, con el diagnóstico de Epilepsia temporal izquierda determinada por electroencefalograma, en la IRM convencional no se muestra alteraciones en zonas epileptógenas

sin embargo en la tractografía se observa leve alteración en la dirección de las fibras en región temporal izquierda, además presenta reducción de la fracción de anisotropía con valor medio de 0.09 e incremento del ACD a este nivel (Fig. 14).

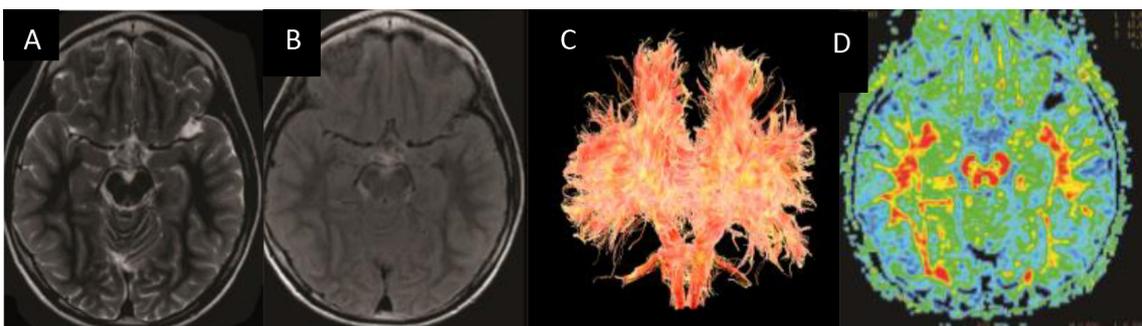


Fig. 14. Paciente 32 años de edad, masculino, diagnóstico de Epilepsia temporal izquierda, en la IRM convencional no se muestra alteraciones (A,B) en la tractografía leve alteración en la dirección (C) FA de 0.09 e incremento del ACD a este nivel (D).

5. Paciente de 24 años de edad de sexo femenino, con alteración de la visión que se muestra normal en la IRM convencional de cerebro, sin embargo, la FA muestra un patrón anormal en el lóbulo occipital

derecho se encuentra disminuido con un valor de 0.03, asociado a disminución de la densidad de sus fibras (Fig. 15).

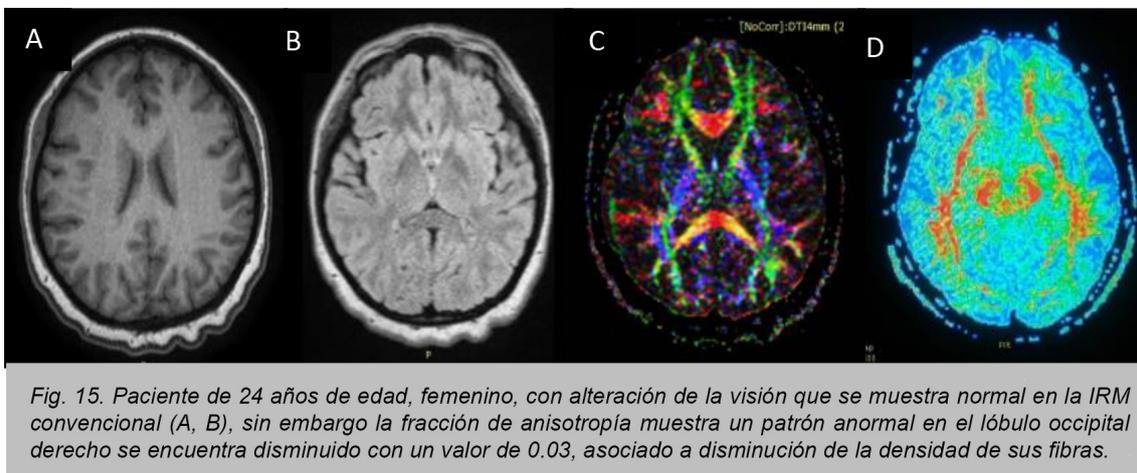


Fig. 15. Paciente de 24 años de edad, femenino, con alteración de la visión que se muestra normal en la IRM convencional (A, B), sin embargo la fracción de anisotropía muestra un patrón anormal en el lóbulo occipital derecho se encuentra disminuido con un valor de 0.03, asociado a disminución de la densidad de sus fibras.

6. Paciente con trastorno del espectro autista presenta atrofia cerebral leve, con disminución de la densidad de las fibras en tractos corticoespinales y

centros semioviales, además de una clara reducción de la fracción de anisotropía en regiones parietal y occipital no observadas en T2 y Flair (Fig. 16).

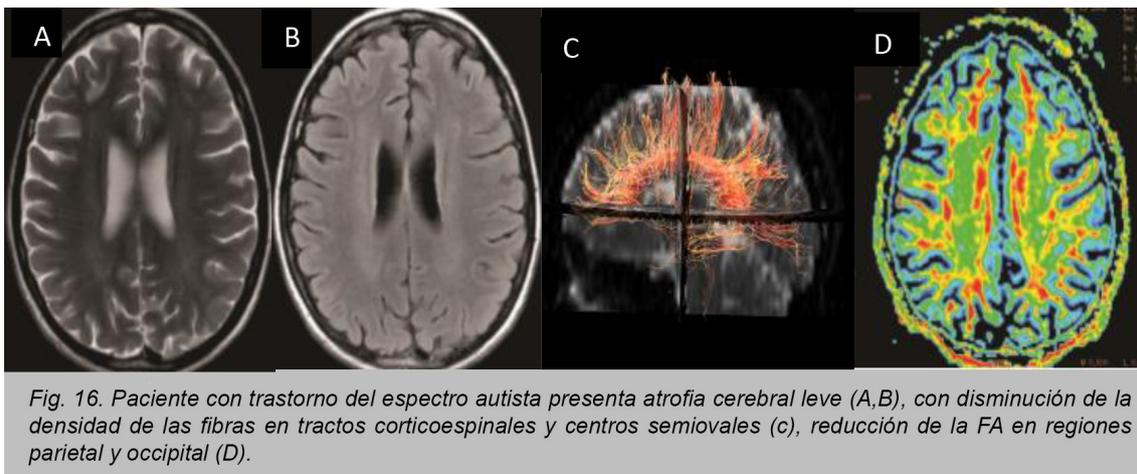


Fig. 16. Paciente con trastorno del espectro autista presenta atrofia cerebral leve (A,B), con disminución de la densidad de las fibras en tractos corticoespinales y centros semioviales (c), reducción de la FA en regiones parietal y occipital (D).

7. Paciente de 4 años de edad de sexo masculino, con alteraciones cognoscitivas, en la IRM de cerebro convencional se aprecia ausencia de cuerpo calloso, ventrículos laterales de configuración paralela, con amplitud disminuida de astas frontales y dilatación de astas occipitales, en la imagen de tractografía

por tensor de difusión del cuerpo calloso sobre un corte anatómico coronal, afectación del cuerpo calloso, con ausencia de cruce de fibras en todas las porciones del cuerpo calloso, y disminución marcada de la fracción de anisotropía en su tipografía (0.02) (Fig. 17).

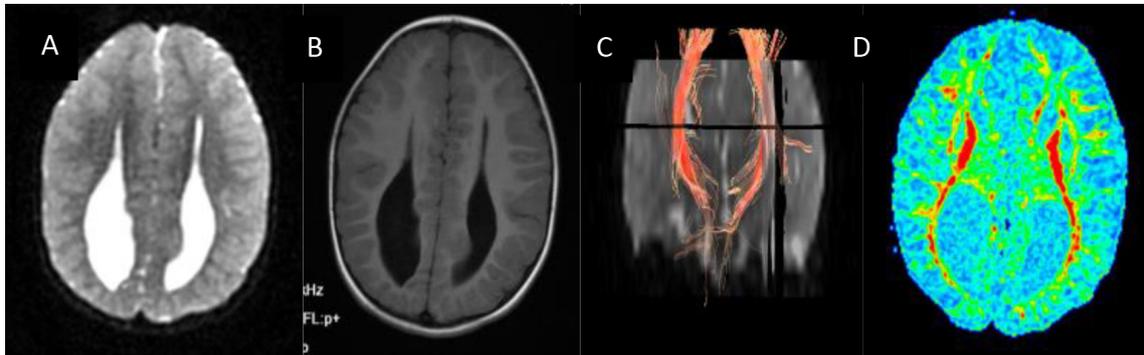


Fig. 17. Paciente de 4 años de edad, masculino, con alteraciones cognitivas, se observa en la IRM convencional (A,B) ausencia de cuerpo calloso, en la imagen de tractografía (C), afectación del cuerpo calloso, con ausencia de cruce de fibras en todas las porciones del cuerpo calloso, y disminución marcada FA (0.02).

Un 19 % de los pacientes muestran valores normales entre 0.20 a 0.90, y un 7 % de los pacientes mostraron valores superiores a lo normal mayor a 0.90.

DISCUSIÓN

Actualmente, la tractografía por DTI es el único método que permite realizar una valoración del recorrido de los diferentes tractos encontrados en la sustancia blanca^{3,4}. En el presente estudio se realizó una descripción de las características de las alteraciones de la sustancia blanca, mediante tractografía en una serie de pacientes con distintas patologías que afectan a la sustancia blanca, por medio de la descripción de alteración cuantitativa donde se reconstruyeron los haces afectados y caracterizarlos se pretende realizar una clasificación utilizando el IAT (índice de alteración por tractografía donde se toma en cuenta si existe desplazamiento, acortamiento y/o disrupción de la fibra, la disminución de la densidad de la fibra comparando con el lado sano)^{8,9,12,14} y la evaluación cualitativa donde se mide la FA (fracción de anisotropía)^{3,5,7,8}; se demuestra que estos índices son más útiles en lesiones tumorales³, sin embargo es aplicable a otras lesiones que afectan a la sustancia blanca^{6,7}. Varios autores han reportado los diferentes tipos de alteraciones que se pueden observar en las tractografías de pacientes con patología de la sustancia blanca. Yu y Cols.^{8,10,11} describieron la presencia de alteraciones en 3 tipos, de acuerdo a la presencia de desplazamiento (Tipo I), desplazamiento con disrupción (Tipo 2) o solamente disrupción de las fibras (Tipo III). Jellison

y cols^{3,6} también describieron los patrones de alteración en 4 tipos, según la presencia de efecto de masa, edema, infiltración o disrupción de fibras. Sin embargo, los autores no lograron demostrar las hipótesis que supuestamente darían explicación a los diferentes tipos de alteración de las fibras^{8,9,12}. Durante la reconstrucción de haces se encontró dificultad en los haces de entrecruzamiento, estos problemas se han descrito por otros autores, quienes proponen el uso de técnicas de detección de multitensores, la cual mejora la visualización de las fibras en áreas donde se entrecruzan las mismas. Los criterios de parada que se establecen en la fracción de anisotropía son un descenso de la anisotropía por debajo de 0,20 o un cambio de dirección de 70° o superior entre vóxeles contiguos, sin embargo, las cavidades de los abscesos pueden presentar valores muy elevados de FA a pesar de que en su interior no existan tractos organizados de sustancia blanca^{6,7,9}, pudiendo llevar a un error en el análisis de las estructuras adyacentes. La realización de las tractografías y la posibilidad de describir y clasificar las alteraciones de una manera estandarizada, cómo lo permite el IAT, nos permite tener una idea más concreta de los cambios tridimensionales que producen estas lesiones.

CONCLUSIÓN

Las imágenes de tractografía basadas en el tensor de difusión (DTI) aportan hallazgos adicionales y únicos en los estudios de la anatomía de la sustancia blanca en comparación con los obtenidos con RM convencional. Gracias a esta técnica no invasiva, la descripción de la arquitectura de la sustancia

blanca y sus relaciones con las lesiones cerebrales, se está convirtiendo en un procedimiento de rutina. En el presente estudio se demuestra la aplicabilidad de la tractografía para el estudio de los pacientes con afectación de la sustancia blanca, la severidad de las alteraciones de las fibras de la sustancia blanca se determinó con un índice que toma en cuenta el desplazamiento, el acortamiento de las fibras y la disminución de la densidad de esta forma podemos evaluar la alteración cualitativa y con el índice de FA la alteración cualitativa, estos

índices permiten determinar mediante una escala numérica la severidad de los cambios en los tractos, fascículos y demás fibras de la sustancia blanca cerebral. EL IAT puede ser utilizado para estudiar las características de patologías que afectan a la sustancia blanca e intenta clasificar en un índice de severidad, pero para su aplicación es más útil en lesiones tumorales, por lo tanto, para su validación como herramienta diagnóstica aún se requieren investigaciones adicionales.

REFERENCIAS

1. Thomas B, et al. Tensor Imaging of the Brain. *AJNR* 2004;25:356–369.
2. Kei Y, et al. MR Tractography: A Review of Its Clinical Applications. Vol. 8 No. 4, 2009 *Magnetic Resonance in Medical Sciences*.
3. Shoko Y, et al. Diffusion tensor imaging of normal brain development. *Pediatr Radiol* . 2013 January ; 43(1): 15–27.
4. Brian J. Aaron S, et al. Diffusion Tensor Imaging of Cerebral White Matter: A Pictorial Review of Physics, Fiber Tract Anatomy, and Tumor Imaging Patterns. *AJNR Am J Neuroradiol* 25:356–369, March 2004.
5. Enrique R, et al. Anatomía de la sustancia blanca mediante tractografía por tensor de difusión. *Radiología*. 2008;50(2):99-111.
6. Zahra F, et al. Diffusion tensor tractography can affect treatment strategy to remove brain occupying mass lesions. Summer 2013 Vol.4, No.3 ISSN 2008-4978.
7. Zhi-gang M, et al. Optimal Factors of Diffusion Tensor Imaging Predicting Corticospinal Tract Injury in Patients with Brain Tumors. *Korean J Radiol* 2017;18(5):844-851.
8. Nikos G, et al. Combining tractography and cortical measures to test system-specific hypotheses in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis* 16(5) 555–565.
9. Fariba D, et al. Diffusion Tensor Imaging for Glioma Grading: Analysis of Fiber Density Index. *Neuroscienc* January 2017. Volume 8. Number 1.
10. Jiangyang Z, et al. Evidence of Slow Maturation of the Superior Longitudinal Fasciculus in Early Childhood by Diffusion Tensor Imaging. *Neuroimage*. 2007 November 1; 38(2): 239–247.
11. Robert A, et al. White Matter Development in Adolescence: A DTI Study. *Cerebral Cortex* September 2010;20:2122—2131.
12. David B, et al. Diffusion Tensor Imaging in Children and Adolescents: Reproducibility, Hemispheric, and Age-Related Differences. *Neuroimage*. 2007 January 15; 34(2): 733–742.

13. Susumi M, et al. Fiber tracking: principles and strategies – a technical review. *NMR Biomed* 2002; 15:468-480.
14. Shawna F, et al. White matter fiber tractography: why we need to move beyond DTI. *J Neurosurg* 118:1367–1377, 2013.