



Estudio comparativo, mediante resonancia magnética, de los tractos del cíngulo y de las radiaciones talámicas anteriores de pacientes con trastorno por déficit de atención y controles sanos

Reyes-Vaca JG¹, Rodríguez-Aguilar JA², Escalante Padrón FJ³, Bravo-Oro A⁴, Villegas-Aguilera M⁵, Hernández-Sierra JF⁶

Resumen

INTRODUCCIÓN: el trastorno por déficit de atención es una afección del neurodesarrollo común en la infancia, de predominio masculino a los 7 años pero puede persistir hasta la edad adulta (2-5%). Se caracteriza por hiperactividad, falta de atención e impulsividad. Su prevalencia mundial varía de 3 a 7% y en México es de 5%. Representa 44% de las consultas psiquiátricas en instituciones públicas, su diagnóstico es clínico y sus causas son multifactoriales; la resonancia magnética ayuda en el estudio de estos pacientes.

OBJETIVO: determinar por tractografía las diferencias de grosor de los tractos nerviosos del cíngulo y de las radiaciones talámicas anteriores entre personas sanas y pacientes con trastorno por déficit de atención.

MATERIAL Y MÉTODO: estudio observacional, transversal, prospectivo y comparativo en 5 pacientes con trastorno por déficit de atención y 5 sujetos sanos como controles. Todos fueron evaluados previamente por pediatría-psiquiátrica y posteriormente sometidos a tractografía por resonancia magnética.

RESULTADOS: se observó aumento del grosor de los tractos de la radiación talámica anterior en forma significativa ($p = 0.009$) en el hemisferio derecho en pacientes con trastorno por déficit de atención. El 90% de pacientes evaluados fueron del sexo masculino y no se observaron diferencias en cuanto a su lateralidad.

CONCLUSIONES: el aumento del grosor de los tractos de la radiación talámica anterior derecha probablemente sea compensatorio por hipofunción de la corteza cerebral y adelgazamiento de la radiación talámica anterior contralateral, ya que estudios neuroquímicos postulan alteraciones en la regulación de las catecolaminas (dopamina y noradrenalina) en la corteza prefrontal, parietal, cíngulo, cuerpo estriado, hipocampo y tálamo.

PALABRAS CLAVE: trastorno por déficit de atención, tractografía, resonancia magnética, cíngulo y radiación talámica anterior.

¹Médico Neurorradiólogo y Jefe del Departamento de Radiología eImagen del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto.

²Médico Residente en la Especialidad de Imagenología Diagnóstica y Terapéutica del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto.

³Médico Neonatólogo y Jefe del Departamento de neonatología del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto.

⁴Médico Neuropediatra adscrito al Departamento de Neuropediatria.

⁵Médico Residente de Neuropediatria.

⁶Médico Pediatra Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Unidad de Resonancia Magnética e Imagenología Integral del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto. Av. Venustiano Carranza No. 2395, Zona Universitaria, 78290, San Luis Potosí, S.L.P. México.

Recibido: 3 de octubre 2016

Aceptado: 24 de octubre 2016

Correspondencia

Jorge Guillermo Reyes Vaca
memoreyesvaca@gmail.com

Este artículo debe citarse como

Reyes-Vaca JG, Rodríguez-Aguilar JA, Escalante Padrón FJ, Bravo-Oro A, Villegas-Aguilera M, Hernández-Sierra JF. Estudio comparativo, mediante resonancia magnética, de los tractos del cíngulo y de las radiaciones talámicas anteriores de pacientes con trastorno por déficit de atención y controles sanos. Anales de Radiología México 2016;15(4):327-338.

Anales de Radiología México 2016 Oct;15(4):327-338.

Comparative study, using magnetic resonance, of the cingulate bundles and anterior thalamic radiations of patients with attention deficit disorder and healthy controls.

Reyes-Vaca JG¹, Rodríguez-Aguilar JA², Escalante Padrón FJ³, Bravo-Oro A⁴, Villegas-Aguilera M⁵, Hernández-Sierra JF⁶

Abstract

INTRODUCTION: attention deficit disorder is a common neurodevelopmental condition in childhood, predominant in males aged 7 years, but may persist into adulthood (2-5%). It is characterized by hyperactivity, lack of attention, and impulsiveness. Its prevalence varies from 3 to 7% worldwide, and in Mexico is 5%. It represents 44% of psychiatric consultations in public institutions, diagnosis is clinical, and its causes are multifactorial; magnetic resonance helps in studying such patients.

OBJECTIVE: determine, by tractography, differences in thickness of nerve bundles of the cingulum and anterior thalamic radiations between healthy persons and patients with attention deficit disorder.

MATERIAL AND METHOD: a transverse, prospective, and comparative observational study in 5 patients with attention deficit disorder and 5 healthy subjects as controls. All were previously evaluated by pediatric psychiatry and then underwent tractography by magnetic resonance.

RESULTS: we observed significantly greater thickness of tracts in the anterior thalamic radiation ($p = 0.009$) in the right hemisphere in patients with attention deficit disorder. Ninety percent of the patients evaluated were male and no differences in their laterality were observed.

CONCLUSIONS: increased thickness of tracts in the right anterior thalamic radiation is probably compensatory, in response to hypofunction of the cerebral cortex and thinning of the contralateral anterior thalamic radiation, given that neurochemical studies postulate alterations in regulation of catecholamines (dopamine and noradrenaline) in the prefrontal cortex, parietal lobe, cingulum, striate body, hippocampus, and thalamus.

KEYWORDS: attention deficit disorder; tractography; magnetic resonance; cingulum and anterior thalamic radiation

¹Médico Neurorradiólogo y Jefe del Departamento de Radiología e Imagen del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto.

²Médico Residente en la Especialidad de Imagenología Diagnóstica y Terapéutica del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto.

³Médico Neonatólogo y Jefe del Departamento de neonatología del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto.

⁴Médico Neuropediatra adscrito al Departamento de Neuropediatria.

⁵Médico Residente de Neuropediatria.

⁶Médico Pediatra Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Unidad de Resonancia Magnética e Imagenología Integral del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto. Av. Venustiano Carranza No. 2395, Zona Universitaria, 78290, San Luis Potosí, S.L.P. México.

Correspondence

Jorge Guillermo Reyes Vaca
memoreyesvaca@gmail.com



INTRODUCCIÓN

El trastorno por déficit de atención es una afección del neurodesarrollo que se presenta en la infancia, a los 7 años de edad (3-7% a nivel mundial y 5% en México). Se caracteriza por hiperactividad, falta de atención e impulsividad;¹ remite en la edad adulta en 45-50% de los casos²⁻⁴ y representa 44% de las consultas psiquiátricas en instituciones públicas. El diagnóstico es clínico⁵ y el sistema de evaluación clínica más usado es el DSM-IV-TR que lo clasifica en 3 subtipos: inatento, hiperactivo-impulsivo y combinado.^{1,6} La forma de presentación más frecuente es la de hiperactividad (que predomina en la infancia)⁷ y es aplicable en adultos ya que puede persistir hasta la edad adulta en 2-5%; se denomina entonces trastorno por déficit de atención en el adulto, donde la hiperactividad es menos frecuente. La causa del déficit de atención es multifactorial:⁸ genética y adquirida; los genes involucrados son el 5, 6, 11, 16 y 17, mientras que la adquirida incluye factores prenatales (cigarrillo y alcohol), natales (bajo peso y asfixia perinatal) y posnatales (desnutrición, dieta baja en minerales y elementos esenciales). Sin embargo, en ambas circunstancias, genética o adquirida, la base bioquímica como origen del trastorno es la misma.¹ Estudios neuroquímicos en déficit de atención han postulado que los fallos en la atención, memoria de trabajo y función ejecutiva se asocian con alteraciones en la regulación de la dopamina y la noradrenalina.⁸⁻¹¹ A pesar de mostrar evidencias desde el punto de vista clínico la precisión diagnóstica no es fácil. El déficit de atención en edad preescolar se manifiesta en 50% menos que en la edad escolar, lo que supone alrededor de 3% de los niños. No existen criterios clínicos predictivos en el caso de los preescolares (menores de 6 años) aunque pueden ser útiles los correspondientes al DSM-IV para trastorno por déficit de atención e hiperactividad infantil a la hora de estimar un diagnóstico diferencial frente a conductas de sobreactividad, fácil distracción o alteración de las

normas por encima de la media de los criterios de normalidad.¹² La evolución de las neurociencias en el diagnóstico de los trastornos mentales cuenta en la actualidad con diferentes métodos de exploración o técnicas de neuroimagen como tomografía computada, resonancia magnética y los correspondientes a medicina nuclear, entre los cuales que se encuentran la tomografía por emisión de positrones y la tomografía por emisión de fotón único; desgraciadamente son pocos los datos científicos que brindan estos métodos de imagen como para justificar su uso dentro de la mayoría los protocolos de diagnóstico clínico. Pero no cabe la menor duda que el uso de los mismos en los próximos años conseguirá un avance importante en el diagnóstico y conocimiento de muchos de los trastornos mentales y en especial del déficit de atención, ya que hoy en día permanecen sin resolver.¹³ Ante el retraso en el diagnóstico debido a las dificultades en la estandarización de los criterios diagnósticos clínicos y a la heterogeneidad de presentación que repercute en el tratamiento de estos pacientes, actualmente la resonancia promete grandes avances en el diagnóstico por imagen gracias a sus avances tecnológicos en cuanto a lo anatómico, fisiológico y funcional, siendo fundamental la evaluación de los tractos nerviosos implicados en la disfunción, principalmente los circuitos frontoestriatales que se postulan como los responsables de la conectividad estructural que se ve interrumpida en el déficit de atención. Nuestra hipótesis, con base en lo anteriormente descrito, es que los pacientes con esta afección muestran disminución del grosor de los tractos nerviosos del cíngulo y de la radiación talámica anterior ya que estos forman parte del circuito frontoestriatal. El objetivo principal de este trabajo fue demostrar, en forma comparativa, esos cambios estructurales en pacientes con déficit de atención; con la justificación de que la tractografía por resonancia magnética con tensor de difusión puede demostrar claramente el grosor de los tractos nerviosos en forma no invasiva, cuantitativa y comparativa.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó estudio piloto, observacional, transversal y prospectivo de tractografía por resonancia magnética en 5 pacientes con trastorno por déficit de atención e hiperactividad y 5 controles sanos después de haber evaluado 100 candidatos con déficit de atención de la base de datos del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto. Los criterios de inclusión fueron: pacientes con diagnóstico de trastorno por déficit de atención e hiperactividad, pacientes controles sanos sin diagnóstico de la enfermedad, ambos géneros, que contaran con financiamiento para la tractografía por resonancia magnética y que aceptaran el consentimiento informado para participar en el protocolo. Únicamente se seleccionaron pacientes en un rango de edad de 10 a 30 años, que no hubieran recibido tratamiento farmacológico (enfermedad nativa o con un manejo menor de dos años) y que hubieran sido evaluados por el servicio de neurología pediátrica. Los criterios de exclusión fueron personas con un peso superior a los 110 kg, personas sin diagnóstico de déficit de atención, personas sin firma del consentimiento informado, mujeres embarazadas, personas claustrofóbicas y personas con implantes no compatibles para resonancia magnética (marcapaso cardiaco, neuroestimuladores, clips de aneurismas, implantes cocleares, prótesis valvulares metálicas en corazón y materiales ferromagnéticos en piezas dentarias). También se excluyeron pacientes con antecedente de traumatismo craneoencefálico, los que presentaran antecedentes de otra patología orgánica en el encéfalo, aquellos con medicación para déficit de atención de más de 2 años, pacientes con patología previa en estudios de resonancia (neoplasias, infartos, etcétera), estudios con poca definición o con movimiento durante el estudio; es decir pacientes no cooperadores. Todos los estudios se realizaron en un equipo de campo alto, superconductivo de 1.5 T HDe de General Electric[®], utilizando una antena o bobina de exploración neurovascular de 8

canales. Se realizaron secuencias de pulso Flair T1 en proyección sagital y axial; Flair T2 y FSE T2 en proyección axial; STIR coronal, angiorresonancia 3D TOF, espectroscopia de protones univoxel 2D, imágenes de susceptibilidad magnética en proyección axial y tensor de difusión también en proyección axial. No se aplicó medio de contraste a ninguno de los pacientes. Las imágenes de tensor de difusión fueron procesadas en una estación de trabajo ADW 4.5 para la reconstrucción de los tractos nerviosos del cíngulo y la radiación talámica anterior. Se utilizaron como máscara imágenes T1 Flair en proyección axial para fusionar con las imágenes de tractografía a fin de mostrar la localización exacta de los tractos. Posteriormente se evaluó el grosor de dichos tractos en pacientes con déficit de atención y en controles sanos (**Figuras 1-4**). Los datos obtenidos se anexaron a una base de datos para el análisis de los mismos (**Cuadros 1 y 2**). Las variables de estudio evaluadas fueron: variable independiente (diagnóstico de trastorno por déficit de atención), variable dependiente (grosor de los tractos observados) y confusoras (edad, sexo y lateralidad diestro-zurdo). El análisis estadístico se realizó de acuerdo con el tipo de variable: las continuas se expresan como promedios \pm desviación estándar y las categóricas como proporciones. Se realizó prueba de normalidad (Shapiro Wilk) y de homogeneidad de varianza (Levene). Cuando se cumplieron los requisitos de homogeneidad de varianza se realizó "t" de Student; si la distribución era no paramétrica se realizó U de Mann Whitney. Un valor de $p \leq 0.05$ se consideró significativo y se utilizó el programa estadístico SPSS 21 (**Cuadros 3 y 4** y **Figuras 5 y 6**).

RESULTADOS

Se analizaron los estudios de resonancia magnética de 10 pacientes: 5 con déficit de atención y 5 controles sanos, con un rango de edad entre 7 y 24 años. Los hallazgos más relevantes en la tractografía por resonancia magnética, realizada

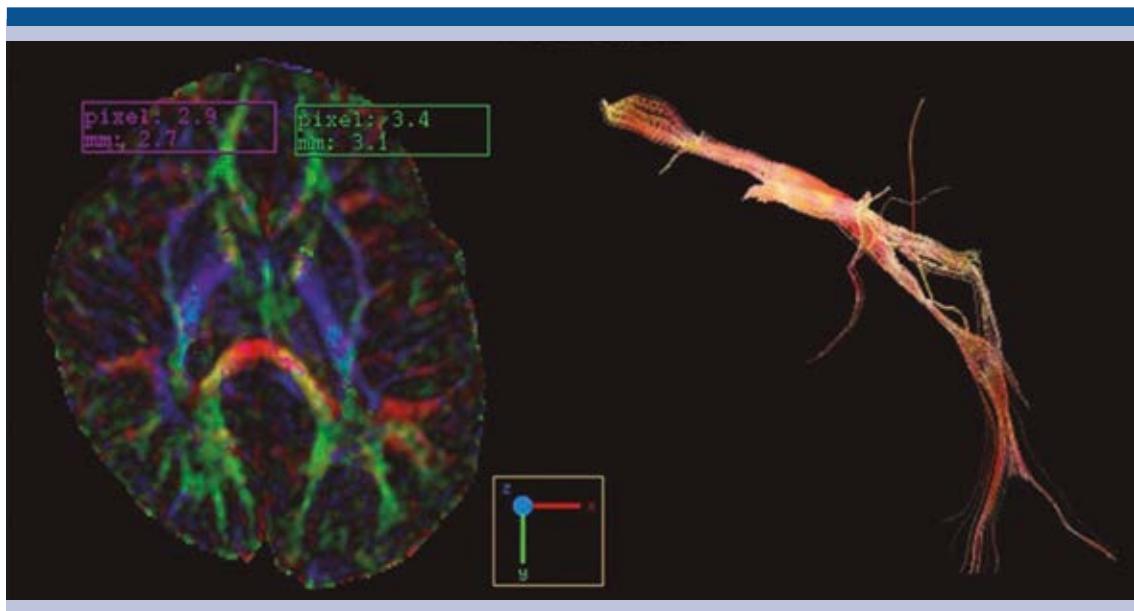


Figura 1. Imagen axial de tensor de difusión con mapa de colores: muestra la dirección de los diferentes tractos observados a ese nivel en un paciente sano; además señala las dimensiones en milímetros de las radiaciones talámicas anteriores. La otra imagen de difusión avanzada o tractografía muestra la radiación talámica anterior derecha.

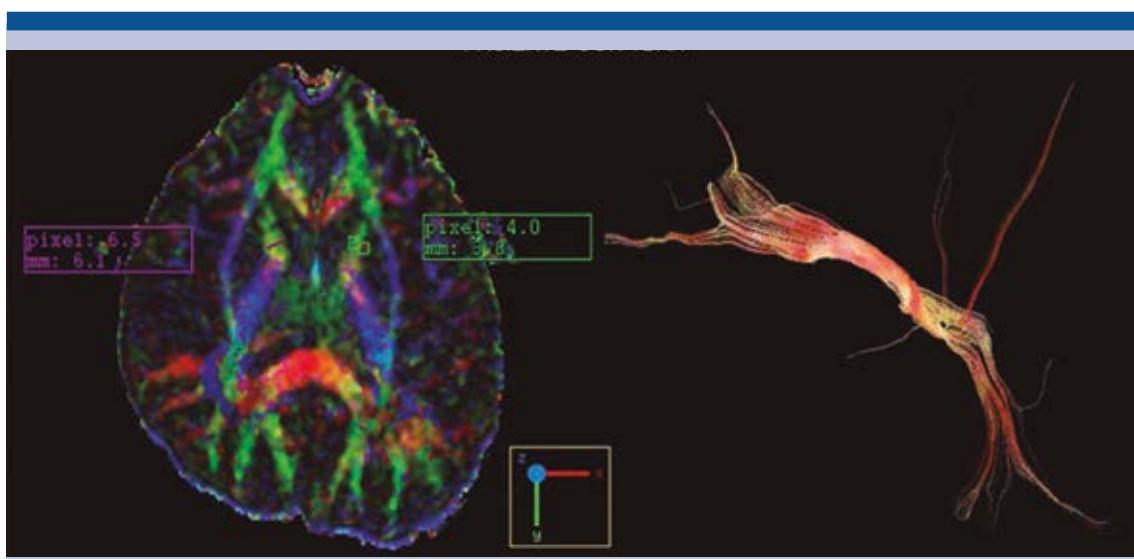


Figura 2. Imagen axial de tensor de difusión con mapa de colores: muestra la dirección de los diferentes tractos observados a ese nivel en un paciente con trastorno por déficit de atención; además señala las dimensiones en milímetros de las radiaciones talámicas anteriores. La otra imagen de difusión avanzada o tractografía muestra la radiación talámica anterior derecha.

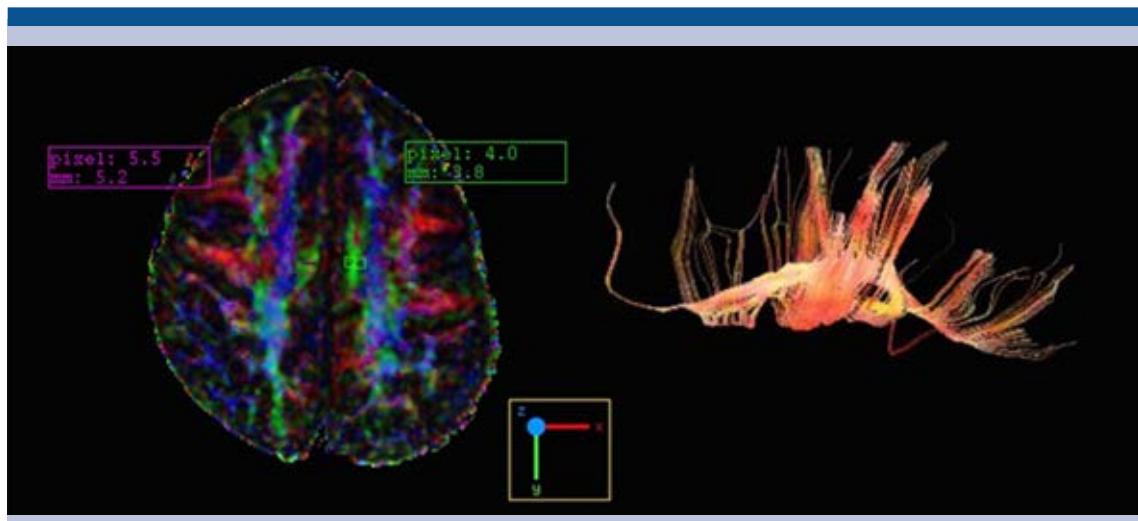


Figura 3. Imagen axial de tensor de difusión con mapa de colores: muestra la dirección de los diferentes tractos observados a ese nivel en un paciente sano y además señala las dimensiones en milímetros de los tractos nerviosos del cíngulo. La otra imagen de difusión avanzada o tractografía muestra los tractos nerviosos del cíngulo derecho.

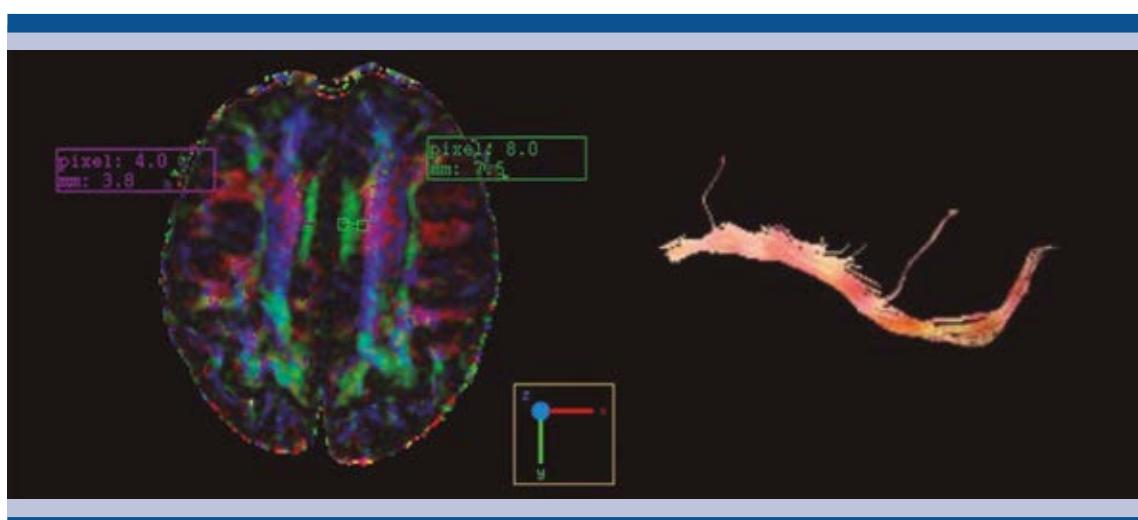


Figura 4. Imagen axial de tensor de difusión con mapa de colores: muestra la dirección de los diferentes tractos observados a ese nivel en un paciente con trastorno por déficit de atención y además señala las dimensiones en milímetros de los tractos nerviosos del cíngulo. La otra imagen de difusión avanzada o tractografía muestra los tractos nerviosos del cíngulo derecho.

a nivel de los tractos nerviosos del cíngulo y la radiación talámica anterior, fueron los siguientes: no se encontraron diferencias de los tractos con

respecto a la edad, 80% de los pacientes fueron diestros, el género que predominó fue el masculino (9 pacientes). Se encontró disminución del



Cuadro 1. Descripción de los tractos nerviosos evaluados por resonancia magnética, en pacientes con trastorno por déficit de atención y controles sanos, su abreviación, localización y diámetro en los ejes X y Z

Tracto	Descripción	Localización	Diámetro
RTA D-X	Radiación talámica anterior	Derecha	Eje X
RTA D-Z	Radiación talámica anterior	Derecha	Eje Z
RTA I-X	Radiación talámica anterior	Izquierda	Eje X
RTA I-Z	Radiación talámica anterior	Izquierda	Eje Z
TNC D-X	Tracto nervioso del cíngulo	Derecho	Eje X
TNC D-Z	Tracto nervioso del cíngulo	Derecho	Eje Z
TNC I-X	Tracto nervioso del cíngulo	Izquierdo	Eje X
TNC I-Z	Tracto nervioso del cíngulo	Izquierdo	Eje Z

grosor de la radiación talámica anterior derecha en todos los pacientes pero predominando en los controles sanos (**Cuadro 2**); sin embargo, en el análisis estadístico del grupo de pacientes con déficit de atención se encontraron diferencias significativas por aumento del grosor de la radiación talámica anterior derecha (eje Z) con una media en mm de 21.58 ± 3.25 comparado con el grupo control 15.3 ± 2.27 , con $p = 0.009$ (**Cuadro 3** y **Figuras 1-4**). Cuando se compararon las mediciones en las regiones exploradas por dominancia de lateralidad no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, $p > 0.05$ (**Cuadros 5 y 6**). Las demás secuencias de pulso no mostraron alteraciones que consignar (**Cuadro 4** y **Figuras 5 y 6**).

DISCUSIÓN

La tractografía por resonancia magnética es la única técnica no invasiva que permite la disección *in vivo* de las fibras o tractos de la sustancia blanca y aporta información clave en el estudio anatómico. Esta técnica puede estudiar las fibras de proyección, de asociación y las fibras comisurales, así como también supone una mejora y un importante complemento a la imagen de la resonancia magnética convencional. Su mayor aplicación clínica es la obtención de mapas preoperatorios, sobre todo del haz corticoespinal,

nal, debiéndose analizar siempre junto con las imágenes de mapas paramétricos coloreados;¹⁴ sin embargo, actualmente las aplicaciones son mucho mayores tales como malformaciones congénitas, afección hipóxico-isquémica, enfermedades desmielinizantes, trastornos neurosiquiátricos y neurodegenerativos.¹⁵ La difusión es la propiedad física que describe el movimiento aleatorio de las moléculas en solución con concentración uniforme en respuesta a la energía térmica. Este fenómeno, conocido como movimiento browniano, fue descrito por Robert Brown en 1827 en las partículas de polen en suspensión que mostraban un continuo movimiento caótico.¹⁶ Asimismo, la difusión depende de otros factores como el peso molecular, las interrelaciones moleculares, la viscosidad o la temperatura.¹⁷ La difusión puede ser isotrópica o anisotrópica, cuando las moléculas de agua difunden igual en todas las direcciones (como en el líquido cefalorraquídeo intraventricular) hablamos de difusión isotrópica. Debe recordarse que en la sustancia blanca cerebral existen barreras a la difusión como la mielina, la densidad, el diámetro de los axones y la integridad de la membrana axonal, que hacen que la difusión difiera en las distintas direcciones (difusión anisotrópica), dominando en la dirección paralela a las fibras.¹⁸ Tensor de difusión es una tecnología de resonancia magnética y un método de for-

Cuadro 2. Base de datos de los pacientes con trastorno por déficit de atención y controles sanos evaluados por resonancia magnética en ambos hemisferios cerebrales a nivel de la radiación talámica anterior y cíngulo

#	Sexo	Edad	TDAH	Radiación talámica anterior				Tracto nervioso del cíngulo				Lateraldad
				Lóbulo cerebral derecho	Diámetro X	Diámetro Z	Lóbulo cerebral izquierdo	Diámetro X	Diámetro Z	Lóbulo cerebral derecho	Diámetro X	
1	F	24	No	02.50	12.30	03.60	18.30	01.00	18.90	08.90	17.60	Diestro
2	F	14	No	02.70	16.40	03.10	26.50	03.40	07.60	04.70	14.50	Diestro
3	M	12	No	04.00	16.70	05.20	22.37	05.60	12.10	05.20	12.70	Diestro
4	F	7	No	05.20	13.50	06.10	19.10	03.30	06.60	05.20	09.40	Diestro
5	F	9	No	05.30	17.60	06.30	26.20	03.80	11.40	05.70	09.30	Zurdo
6	F	10	Sí	03.00	22.80	04.80	27.90	03.80	09.69	04.00	11.81	Diestro
7	F	11	Sí	04.50	18.20	03.40	17.10	03.70	09.40	04.90	15.30	Diestro
8	F	15	Sí	06.70	21.00	06.10	29.30	04.80	16.30	04.80	16.30	Diestro
9	F	13	Sí	06.10	19.40	03.80	17.20	03.80	09.50	03.80	13.30	Diestro
10	F	13	Sí	05.00	26.50	03.60	23.10	03.80	15.00	07.50	10.80	Zurdo

TDAH: trastorno por déficit de atención e hiperactividad.

mación de imágenes del cerebro, desarrollado a mediados de la década de 1990, que adquiere imágenes anatómicas de las conexiones de las fibras neuronales mediante la medición de la difusión de moléculas de agua dentro de los tractos de la materia blanca.

En una revisión o metanálisis de Tirapu-Ustarroz y colaboradores observaron, en pacientes pediátricos con déficit de atención, que existe una estrecha correlación entre las alteraciones en la atención y la disminución de la materia blanca del hemisferio cerebral derecho y el tamaño de las regiones prefrontales ipsilaterales.¹⁹ Según Pueyo y su equipo hay evidencia de una menor cantidad de sustancia blanca, concretamente de la región frontal anterior derecha en los niños con déficit de atención.²⁰ Por otro lado, Overmeyer y colaboradores observaron una disminución en la sustancia blanca frontal central izquierda.²¹ En nuestro estudio encontramos una disminución del grosor de la radiación talámica anterior derecha en todos los pacientes estudiados pero predominando en los controles sanos (**Cuadro 2**), sin embargo en el análisis estadístico del grupo de pacientes con déficit de atención se encontraron diferencias significativas (*t* de Student de 0.009) por aumento del grosor de la radiación talámica anterior derecha (**Cuadro 3** y **Figuras 5 y 6**).

En el 2014 Hong y su equipo encontraron la participación de 25 tractos en el déficit de atención, y estos llegan a 23 regiones del cerebro que abarcan la región frontal, cuerpo estriado y regiones del cerebelo. Ellos también encontraron que había una conectividad anormal, frontoestriatal, de la sustancia blanca en el déficit de atención mediante una correlación de rendimiento y atención; sin embargo, ésta no es la única vía interrumpida sino que también están implicadas por separado vías frontales, cuerpo estriado y cerebelo.²² En nuestro trabajo de tractografía por resonancia magnética únicamente nos enfocamos al estudio de dos regiones específicas: los



Cuadro 3. Variables consideradas para el estudio de los tractos nerviosos en pacientes con trastorno por déficit de atención y controles sanos

Variables	Con TDAH	Sin TDAH	p
	n=5	n=5	
Edad, media ± DE	12.40 ± 1.95	13.20 ± 6.60	0.800*
RTA D-X, media ± DE	05.06 ± 1.44	04.00 ± 1.33	0.240*
RTA D-Z, media ± D	21.58 ± 3.25	15.30 ± 2.27	0.009*
RTA I-X, media ± DE	04.34 ± 1.12	04.86 ± 1.45	0.540*
RTA I-Z, media ± DE	22.92 ± 5.75	22.49 ± 3.84	0.890*
TNC D-X, mediana (RIQ)	03.60 (0.60)	03.40 (2.60)	0.310**
TNC D-Z, mediana (RIQ)	09.69 (6.20)	11.40 (8.40)	0.840**
TNC I-X, mediana (RIQ)	04.80 (2.39)	05.20 (2.40)	0.220**
TNC I-Z, media ± DE	13.50 ± 2.3	12.70 ± 3.52	0.680*

* t de Student; ** U de Mann-Whitney.

DE: desviación estándar; RIQ: rango intercuantílico; RTA: radiación talámica anterior; TDAH: trastorno por déficit de atención e hiperactividad; TNC: tracto nervioso del cíngulo; D-X: derecho diámetro (mm) en eje X; D-Z: derecho diámetro (mm) en eje Z; I-X: izquierdo diámetro (mm) en eje X; I-Z: izquierdo diámetro (mm) en eje Z.

Cuadro 4. Hallazgos según la lateralidad (diestro o zurdo) de los pacientes con trastorno por déficit de atención y controles sanos según las variables estudiadas

Variables	Diestro	Zurdo	p
	n=8	n=2	
EDAD, media ± DE	13.25 ± 5.00	11.00 ± 2.83	0.57*
RTA D-X, media ± DE	04.34 ± 1.58	05.15 ± 0.21	0.50*
RTA D-Z, media ± DE	17.55 ± 3.57	22.05 ± 6.29	0.19*
RTA I-X, media ± DE	04.51 ± 1.20	04.95 ± 1.90	0.68*
RTA I-Z, media ± DE	22.22 ± 5.03	24.65 ± 2.19	0.54*
TNC D-X, media ± DE	03.67 ± 1.33		0.31*
TNC D-Z, media ± DE	11.26 ± 4.29	13.20 ± 2.55	0.84*
TNC I-X, mediana (rango)	04.85 (3.8-8.9)	06.6 (5.7-7.5)	0.22**
TNC I-Z, media ± DE	13.86 ± 2.6	10.05 ± 1.06	0.68*

* t de Student; ** U de Mann-Whitney

DE: desviación estándar; RTA: radiación talámica anterior; TNC: tracto nervioso del cíngulo; D-X: derecho diámetro (mm) en eje X; D-Z: derecho diámetro (mm) en eje Z; I-X: izquierdo diámetro (mm) en eje X; I-Z: izquierdo diámetro (mm) en eje Z.

tractos nerviosos del cíngulo y la radiación talámica anterior (**Figuras 1-4**), que son las de mayor interés según se señalan en diferentes fuentes bibliográficas. A diferencia de ellos nosotros sólo observamos una marcada disminución del grosor

de los tractos analizados del hemisferio derecho con respecto al hemisferio contralateral. Ramos Quiroga y su grupo encontraron, en niños con trastorno por déficit de atención e hiperactividad, déficits de la sustancia gris en lóbulos frontales,

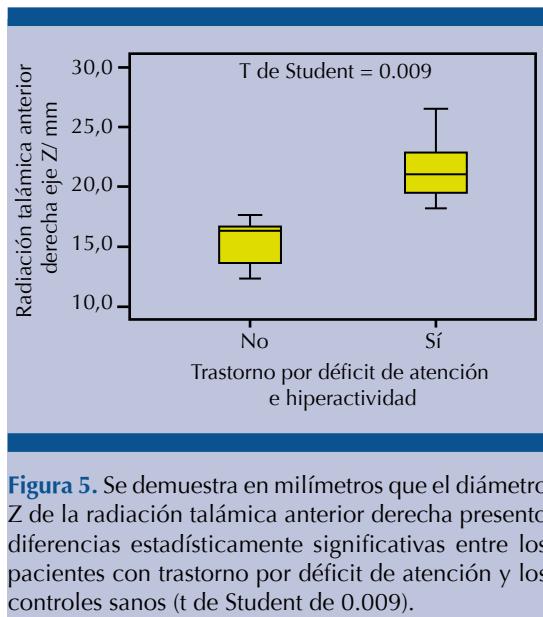


Figura 5. Se demuestra en milímetros que el diámetro Z de la radiación talámica anterior derecha presentó diferencias estadísticamente significativas entre los pacientes con trastorno por déficit de atención y los controles sanos (t de Student de 0.009).

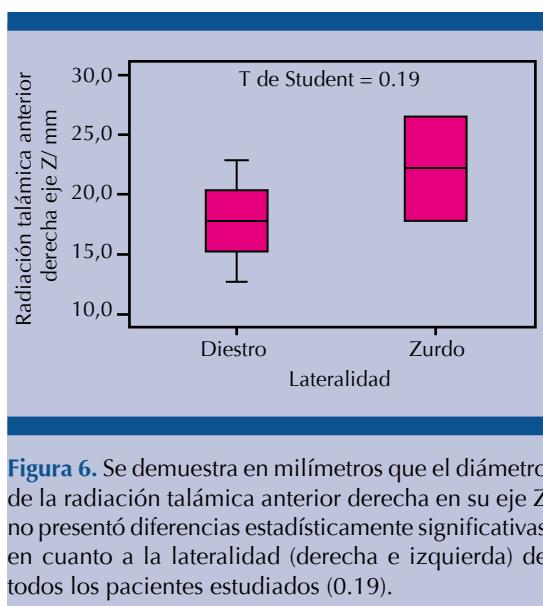


Figura 6. Se demuestra en milímetros que el diámetro de la radiación talámica anterior derecha en su eje Z no presentó diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la lateralidad (derecha e izquierda) de todos los pacientes estudiados (0.19).

ganglios basales y cerebro.²³ Adicionalmente, se ha descrito disminución de volumen en regiones parietales, temporales y occipitales en este grupo de pacientes. Carmona y sus colegas hallaron también disminución de volumen del núcleo caudado derecho en niños con déficit

de atención.²⁴ Estas alteraciones podrían estar relacionadas, según estudios longitudinales, con un retraso en la maduración de la estructura cerebral, con una media de 3 años. A diferencia de ellos, nosotros sólo incluimos pacientes con un rango de edad entre 7 a 24 años y solo observamos una disminución del hemisferio derecho con respecto al contralateral; además cabe señalar que ellos hacen mención de la disminución del volumen del núcleo caudado, parámetro que no fue considerado en nuestro estudio.^{23,24} Casey y sus colaboradores encontraron una disminución de la sustancia blanca, de predominio frontoestriatal, en los pacientes con déficit de atención y en sus progenitores, lo que puede estar asociado con una posible causa genética.²⁵ En nuestro estudio observamos aumento de volumen significativo de la radiación talámica anterior derecha, lo cual podría valorarse también en los progenitores para descartar o evitar la transmisión genética que es la hipótesis que cuenta con más apoyo en la actualidad, considerándose el circuito frontoestriatal parte esencial del sustrato neurofisiológico de las funciones ejecutivas.

Zametkina y sus colegas demostraron, con estudios de tomografía por emisión de positrones, una disminución en el metabolismo cerebral de la glucosa en el lóbulo frontal.^{26,27} Gustafsson P y su grupo realizaron otros estudios con tomografía por emisión de fotón único donde encontraron, además, la existencia de una relación inversa entre el flujo sanguíneo cerebral en las regiones frontales del hemisferio derecho y la gravedad de los síntomas conductuales.²⁸

Shaw y sus colaboradores encontraron que los niños con déficit de atención muestran adelgazamiento cortical en regiones importantes relacionadas con el control de la atención, además observaron que los niños con peor resultado en las pruebas clínicas presentaron adelgazamiento de la corteza prefrontal medial



izquierda e incremento del espesor de la corteza cerebral parietal derecha.²⁹ La neuroimagen funcional ha proporcionado nuevas formas de analizar la fisiopatología del déficit de atención ya que ha demostrado la disfunción generalizada en los sistemas neuronales y la participación de la corteza prefrontal, el cuerpo estriado y el lóbulo parietal, dando lugar a un modelo cerebral de los déficits en múltiples vías de desarrollo.³⁰ Con base en todas estas experiencias es indispensable que pacientes que padeczan esta enfermedad sean sometidos a estudios más sofisticados de resonancia magnética, los cuales deberán incluir: tractografía, perfusión cerebral y resonancia magnética funcional para una evaluación integral del encéfalo.

CONCLUSIONES

La resonancia magnética es el método de elección para la evaluación de pacientes con trastorno por déficit de atención e hiperactividad por ser un estudio versátil (anatómico, fisiológico, funcional, bioquímico y metabólico), de alta definición y que no utiliza radiación ionizante como otros métodos de imagen (tomografías simple, por emisión de positrones o de fotón único). La tractografía por resonancia magnética es un excelente método de imagen para demostrar cambios estructurales en las materias blanca y gris de pacientes con déficit de atención. Existen diferencias significativas de los tractos nerviosos de la radiación talámica anterior derecha en estos pacientes por aumento de su grosor, lo cual muy probablemente es de tipo compensatorio. Es conveniente incrementar el número de pacientes con déficit de atención para tener un universo mayor y determinar si los hallazgos pueden estar influenciados por el tipo de muestra, además será interesante seguir a estos pacientes (ya estudiados) para revalorar, con controles posteriores, el tratamiento farmacológico. Finalmente es importante llevar a cabo estudios de resonancia

más complejos que comparen imágenes estructurales de tractografía, imágenes funcionales y de perfusión cerebral en los pacientes con déficit de atención ya que hoy en día todavía existen muchas incógnitas.

REFERENCIAS

1. Pascual-Castroviejo I. Trastornos por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Protocolos Diagnósticos Terapéuticos de la AEP. 2008;20:140-150.
2. Chen L. et al. Microstructural abnormalities of the brain white matter in attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Psychiatry Neurosci.* 2015;40(4):280-287.
3. Ramos-Quiroga JA, Picado M, Mallorquí-Bagué N, Vilarroya O, Palomar G, Richarte V, et al. Neuroanatomía del trastorno por déficit de atención/hiperactividad en el adulto: hallazgos de neuroimagen estructural y funcional. *Rev Neurol* 2013;56(Supl 1):S93-106.
4. Rubia K, Alegría AA, Brinson H. Anomalías cerebrales en el trastorno por déficit de atención/hiperactividad: una revisión. *Rev Neurol* 2014;58(Supl 1):S3-18.
5. Granados Rojas Armida. et al. Diagnóstico y tratamiento del trastorno por déficit de atención e hiperactividad en niños y adolescentes en atención primaria y especializada. Guía de Práctica Clínica. SSA-158-09 www.cenetec.salud.gob.mx/interior/gpc.html
6. Alda Diez J. A. et al. Guía de Práctica Clínica sobre el Trastorno por Déficit de Atención con Hiperactividad (TDAH) en Niños y Adolescentes. Guías de Práctica Clínica en el SNS 2010: AATRM Nº 2007/18.
7. De la Fuente A, et al. A review of attention-deficit/hyperactivity disorder from the perspective of brain networks. *Frontiers in Human Neuroscience.* 2013;7;197:1-6.
8. Curatolo P, D'Agati E. The neurobiological basis of ADHD. *Italian Journal of Pediatrics.* 2010;36:79.
9. Del Campo, N. Chamberlain, S. Sahakian. The Roles of Dopamine and noradrenaline in the Pathophysiology and Treatment of Attention-Deficit/ Hyperactivity Disorder. *B. BIOL PSYCHIATRY.* 2011;69:e145-157.
10. Trujillo-Orrego N, Ibáñez A, Pineda DA. Validez del diagnóstico de trastorno por déficit de atención/hiperactividad: de lo fenomenológico a lo neurobiológico (II). *Rev Neurol* 2012;54:367-79.
11. Navajas Tejedor, M. Quintero J. Neurobiología Del Trastorno de Deficit de Atencion e Hiperactividad. Psiformacion, Curso Experto de TDAH. (2008). 1-27.
12. Susanna N, Visser MS, Catherine A, Lesesne, PhD, MPH, Ruth Perou, PhD. National Estimates and Factors Associated With Medication Treatment for Childhood Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Pediatrics* 2007;119:S99-S106.

13. Luis Guillermo Almeida Montes. Alteraciones anatómico-funcionales en el trastorno por déficit de la atención con hiperactividad. *Salud Mental* 2005;28(3):1-12.
14. Recio Rodríguez M, Hernández Aceituno D, Hernández González LC, Martínez de Vega Fernández V y Carrascoso J. Imagen de tractografía 3T: anatomía y aplicaciones clínicas. *Radiología*. 2013;55(1):57-68.
15. Eriksson SH, Rugg-Gunn FJ, Symms MR, Barker GJ, Duncan JS. Diffusion tensor imaging in patients with epilepsy and malformations of cortical development. *Brain*. 2001;124:617-26.
16. Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, Grenier P, Cabanis E, Laval-Jeantet M, et al. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology*. 1986;161:401-7.
17. Yang E, Nucifora PG, Melhem ER. Diffusion MR imaging: basic principles. *Neuroimaging Clin N Am*. 2011;21:1-25.
18. Beaulieu C. The basis of anisotropic water diffusion in the nervous system - a technical review. *NMR Biomed*. 2002;15:435-55.
19. Tirapu-Ustároz J, Luna-Lario P, Hernández-Goñi P, García-Suescun I. Relación entre la sustancia blanca y las funciones cognitivas. *Rev Neurol* 2011;52:725-42.
20. Pueyo R, Mañeru C, Vendrell P, Mataró M, Estévez-González A, García-Sánchez C, et al. Trastorno por déficit de atención con hiperactividad. Asimetrías cerebrales observadas en resonancia magnética. *Rev Neurol* 2000;30:920-925.
21. Overmeyer S, Bullmore ET, Suckling J, et al. Distributed grey and white matter deficits in hyperkinetic disorder: MRI evidence for anatomical abnormality in an attentional network. *Psychol Med* 2001;31:1425-35.
22. Hong SB, Zalesky A, Fornito A, et al. Connectomic disturbances inattention-deficit/hyperactivity disorder: a whole-brain tractography analysis. *Biol Psychiatry* 2014;76:656-63.
23. Ramos-Quiroga JA, Picado M, Mallorquí-Bagué N, Vilarrroya O, Palomar G, Richarte V, et al. Neuroanatomía del trastorno por déficit de atención/ hiperactividad en el adulto: hallazgos de neuroimagen estructural y funcional. *Rev Neurol* 2013;56(Supl 1):S93-S106.
24. Carmona S, Proal E, Hoekzema E, Gispert JD, Moreno I, Soliva JC, et al. Ventro-striatal reductions underpin symptoms of hyperactivity and impulsivity in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biol Psychiatry* 2009;66:972-7.
25. B.J. Casey, Ph.D. Jeffery N. Epstein, Ph.D. Jason Buhle, B.A, et al. Frontostriatal Connectivity and Its Role in Cognitive Control in Parent-Child Dyads With ADHD. *Am J Psychiatry* 2007;164:1729-1736.
26. Zametkina y cols. Cerebral glucose metabolism in adults with hyperactivity of childhood onset. *N Eng J Med* 1990;323:1361-1366.
27. Zametkina y cols. Brain metabolism in teenagers with attention-deficit hyperactivity disorder. *Arch Gen Psychiatry*. 1993;50:333-340.
28. Gustafsson P, Thernlund G, Ryding E, Rosén I, Cederblad M. Associations between cerebral blood-flow measured by single photon emission computed tomography (SPECT), electroencephalogram (EEG), behaviour symptoms, cognition and neurological soft signs in children with attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). *Acta Paediatrica* 2000;89:830-5.
29. Philip Shaw, MD; Jason Lerch, PhD; Deanna Greenstein, PhD; Wendy Sharp, MSW; Liv Clasen, PhD; Alan Evans, PhD; Jay Giedd, MD; F. Xavier Castellanos, MD; Judith Rapoport, MD. Longitudinal Mapping of Cortical Thickness and Clinical Outcome in Children and Adolescents With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Arch Gen Psychiatry*. 2006;63:540-549.
30. Curatolo P, D'Agati E, Moavero R. The Neurobiological basis of Addhd. *Italian J Pediatr* 2010;36:79.