Descripción de la experiencia en RM cerebral fetal en Cali - Colombia

Ana María Granados¹, Juan Felipe Orejuela Z², Camila Ospina³.

1. Neurorradiología, Fundación Valle del Lili. Cali, Colombia.
2. Ingeniero Biomédico, Fundación Valle del Lili. Cali, Colombia.
3. Médica Rural en Investigación, Fundación Valle del Lili. Cali, Colombia.

Experience description in fetal magnetic resonance in Cali - Colombia

Abstract. Objective: To describe the experience with the use of fetal magnetic resonance in alterations of the nervous system, in a high-level center in Cali - Colombia.

Methods: A retrospective observational descriptive study was made. We analyzed all cases of fetal MRI between September 2011 and April 2017. Demographic, clinical and imagenological information were reviewed. Including age, gestational age, type of gestation, study indication and imagenological findings.

Results: 36 fetal brain MRI were analyzed. The average age of cases was 29.7 ± 5.2 years-old with an average of 31.8 ± 3.5 weeks of gestation. All cases were single gestation. The most frequent result was ventriculomegaly $n=17$ (47.2%), acquired pathologies $n=6$ (16.7%), neural tube anomalies $n=5$ (13.9%), and corpus callosum anomalies $n=3$ (8.3%). Conclusions: The frequencies of fetal cerebral anomalies found in this study were congruent with literature.

Keywords: Fetal magnetic resonance imaging, Cerebral fetal magnetic resonance imaging.

Resumen. Objetivo: Describir la experiencia en la implementación de resonancia magnética fetal en alteraciones del sistema nervioso en un centro de alto nivel en Cali - Colombia. Materiales y métodos: Estudio descriptivo observacional retrospectivo. Se analizaron los casos de resonancia magnética fetal (RMF) entre septiembre del 2011 y abril del 2017. Se registró y analizó la información demográfica, clínica e imagenológica disponible en los informes radiológicos e historia clínica. Resultados: Se analizaron 36 estudios de RMF cerebral, la edad promedio de las pacientes fue $29,7 \pm 5.2$ años, la edad gestacional promedio fue 31.8 ± 3.5 semanas. El hallazgo más frecuente fue ventriculomegalia en 47.2% de casos ($n=17$), patologías adquiridas $n=6$ (16.7%), alteraciones del tubo neural $n=5$ (13.9%), y anomalías del cuerpo calloso $n=3$ (8.3%). Cuatro pacientes tuvieron estudio postnatal. Conclusión: La frecuencia de anomalías cerebrales encontradas en esta revisión es congruente con lo reportado en la literatura.

Palabras clave: Resonancia magnética fetal, Resonancia magnética fetal cerebral.

Granados AM, et al. Descripción de la experiencia en RM cerebral fetal en Cali - Colombia. Rev Chil Radiol 2017; 23(4): 187-192.

Correspondencia: Camila Ospina / cami8491@gmail.com

Trabajo enviado el 13 de octubre de 2017. Aceptado para publicar el 09 de enero de 2018.

Introducción

El primer caso reportado de uso de resonancia magnética durante el embarazo fue en 1983, para confirmar la presencia de acretismo placentario¹. En las últimas tres décadas la resonancia magnética fetal (RMF) ha revolucionado el diagnóstico en útero de patologías fetales, ya que tiene muchas ventajas sobre la ultrasonografía (US) prenatal, no está limitada por obesidad materna, la posición fetal o la presencia de

oligohidramnios². A pesar de esto, la US sigue siendo el estándar de oro para la evaluación de la mayoría de gestantes. Se debe tener en cuenta que el uso de RMF está indicado en casos de alta complejidad donde la ultrasonografía no provee información suficiente³.

El Colegio Americano de Radiología aceptó el uso de RMF en cualquier etapa del embarazo, cuando el riesgo-beneficio lo indique y los otros métodos diagnósticos no proveen información suficiente. Sin

embargo, es ideal esperar hasta las 18 semanas de gestación para realizar este estudio ya que antes existen limitaciones debido al tamaño del feto y el exceso de movimiento. La RMF es un método no invasivo, no involucra radiación y no tiene efectos secundarios reportados².

Las anomalías cerebrales fetales son altamente prevalentes, ocurren en 3 de cada 1000 embarazos. Se asocian a un alto nivel de morbilidad, por lo que se ha propuesto la RMF cerebral como complemento ideal a la evaluación por US. Griffiths y colaboradores, en 2016, encontraron que el rendimiento diagnóstico de anomalías fetales cerebrales de la US fue de 70% en fetos con edad gestacional menor a 24 semanas y de 64% en fetos mayores de 24 semanas. Este bajo rendimiento después de las 24 semanas, es atribuido a la osificación del cráneo y al descenso de la cabeza fetal hacia la pelvis de la madre. Al adicionar la RMF, la exactitud diagnóstica alcanza un 92% para fetos menores de 24 semanas y para los mayores alcanza hasta un 94%⁴.

Las patologías cerebrales detectadas por RMF se clasifican en malformaciones corticales, anomalías comisurales, ventriculomegalia, patologías infratentoriales y patologías adquiridas. Dentro de estas, la agenesia del cuerpo calloso es la anomalía congénita cerebral más común. La principal indicación para este estudio es ventriculomegalia diagnosticada por US. El 85% de los casos de ventriculomegalia están asociados a otras alteraciones. Una de las ventajas de la RMF, es la posibilidad de realizar una evaluación anatómica fetal completa en busca de alteraciones relacionadas en otros sistemas²⁻⁵.

Para una adecuada interpretación de la RMF cerebral se requiere de un radiólogo con experiencia y conocimiento en embriología y anatomía cerebral, capaz de reconocer los procesos del desarrollo como la neurulación, formación cortical y mielinización, entre otros. En el presente trabajo se realizó una descripción de la experiencia de un centro de alto nivel en la implementación de RMF cerebral.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio descriptivo, observacional y retrospectivo. Se analizaron todos los casos de RMF almacenados en el sistema PACS. Se registró en una base de datos la información clínica e imagenológica disponible en los informes radiológicos e historia clínica. Todas las imágenes revisadas fueron extraídas del sistema de almacenamiento PACS y la información clínica del sistema de gestión SAP de la institución.

Se evaluaron las características demográficas y clínicas, incluyendo edad, semanas de gestación, tipo de gestación (embarazo único o múltiple), enfermedad materna o fetal que fue la indicación de la toma del estudio. Se revisaron los hallazgos imagenológicos encontrados y la conclusión del reporte de radiológico.

Se agruparon los casos según la clasificación de patologías fetales cerebrales por RMF, en la mayoría de los casos se encontraron múltiples alteraciones, por lo que se escogió el diagnóstico principal en la conclusión del reporte para clasificar los hallazgos. Adicionalmente, los hallazgos asociados fueron clasificados de manera independiente. Se revisaron los registros de historia clínica, en búsqueda de estudios post natales. Se escogieron los casos más representativos y académicamente interesantes para presentar las imágenes.

Los estudios imagenológicos fueron adquiridos en dos equipos de resonancia magnética uno de 1.5 T (Avanto, SIEMENS, Erlangen, Alemania) y otro de 3 T (Skyra, SIEMENS, Erlangen, Alemania). Se realizaron las siguientes secuencias: T2 haste sagital, coronal y axial para determinación de la orientación del cráneo fetal (FOV read= 240mm, grosor del corte= 3mm), T2 trufi axial, sagital y coronal (FOV read= 240mm, grosor del corte 2mm), y difusión axial (FOV read= 300mm, grosor del corte= 3mm).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis exploratorio de los datos para verificar y corregir los datos extremos y datos faltantes, con el fin de asegurar la calidad y total digitación de la base de datos. Las variables numéricas fueron descritas por medio de la medida de tendencia central promedio y la desviación estándar, o mediana y rango intercuartílico dependiendo de la distribución de los datos y se presentaron como proporciones en tablas de frecuencias.

Resultados

En el periodo comprendido entre septiembre de 2011 y abril del 2017 se encontraron 36 estudios de RMF cerebral. La edad promedio de las pacientes fue 29.7 años, con una edad gestacional promedio de 31.8 semanas, uno de los casos era menor de 24 semanas. Todos los casos fueron gestación única. En el 91,7% de los casos (n= 33) el feto estaba posición cefálica. La indicación más frecuente para la toma del estudio fue ventriculomegalia 33.3% (n= 12) (Tabla 1).

El hallazgo más frecuente detectado por RMF fue ventriculomegalia 47,2% (n= 17), seguido de las patologías adquiridas 16.7% (n= 6) donde se incluyeron infección por Zika, hidranencefalia y lesiones hipóxicas. Adicionalmente, se encontraron alteraciones del tubo neural en el 13,9% de los casos (n= 5), donde se incluyeron malformación de Arnold-Chiari, meningocele, espina bífida y ventriculus terminalis. En las anomalías comisurales (8,3%, n= 3), se detectaron disgenesia y agenesia del cuerpo calloso. En el 11,1% (n= 4) de los estudios, no se detectaron anomalías y fueron reportados como normales (Tabla 2).

Se revisaron los hallazgos asociados reportados, encontrando que el 30.5% (n= 11) de los casos

tenían hallazgos asociados, dentro de los cuales el más común fue ventriculomegalia 30% (n= 3) y anomalías comisurales 30% (n= 3) (Tabla 3). Se encontró una alteración en otro sistema, una hernia diafragmática izquierda.

Adicionalmente, se revisaron los registros de historia clínica en búsqueda de estudios post natales. Se encontraron 5 casos que contaban con estudios posteriores al nacimiento, 3 tuvieron ecografía transfontanelar, 1 resonancia magnética cerebral y 1 escanografía cerebral. Se describieron los hallazgos prenatales y postnatales (Tabla 4).

Discusión

La RMF tiene múltiples ventajas sobre US, ya que permite una realizar evaluación con mayor detalle anatómico, sin limitaciones por obesidad materna, posición fetal o presencia de oligohidramnios², con la posibilidad de realizar una evaluación multisistémica, lo cual es importante para excluir anomalías asociadas o casos sindrómicos. Adicionalmente, la RMF permite identificar alteraciones adicionales a las detectadas por US en el 40 - 50% de los casos⁶. En esta revisión se detectaron hallazgos asociados en el 30.5% de los casos, encontrando una hernia diafragmática congénita izquierda, y otras anomalías asociadas en el sistema nervioso central como ventriculomegalia y anomalías comisurales.

La indicación más frecuente para la realización de una RMF fue ventriculomegalia, lo cual es com-

patible con lo reportado en la literatura. El hallazgo más común también fue ventriculomegalia, donde se incluyeron los casos de colpocefalia, ventriculomegalia y megacisterna magna. La colpocefalia es uno de los hallazgos indirectos de anomalías en el cuerpo calloso; en esta revisión, se encontraron 10 casos con colpocefalia, de los cuales 2 tenían asociado una anomalía en el cuerpo calloso^{2,5,7}.

La ventriculomegalia es una patología causada por sobreproducción, destrucción u obstrucción del drenaje de líquido cefalorraquídeo (LCR). El 50% - 80% de los casos están asociados a otra malformación, como agenesia del cuerpo calloso, anomalías de la migración

Tabla 2. Hallazgos de RMF.

Clasificación	n(%)
Anomalías comisurales	3(8,3)
Disgenesia del cuerpo calloso	1(2,8)
Agenesia del cuerpo calloso	2(5,6)
Ventriculomegalia	17(47,2)
Ventriculomegalia	5(13,9)
Colpocefalia	10(27,8)
Megacisterna Magna	2(5,6)
Patologías adquiridas	6(16,1)
Lesión hipóxico-isquémica	1(2,8)
Hidranencefalia	2(5,6)
Infección por ZIKA	3(8,3)
Alteraciones del tubo neural	5(13,9)
Arnold-Chiari	2(5,6)
Meningocele	1(2,8)
Espina bífida	1(2,8)
Ventriculus terminalis	1(2,8)
Anomalías infratentoriales	1(2,8)
Malformación de Dandy-Walker	1(2,8)
Hidrocefalia	1(2,8)
Normal	4(11,1)

Tabla 1. Características clínicas de base.

Características	n(%)
Edad Promedio (ds)	29,7 (ds ± 5,2)
Semanas de embarazo (ds)	31,8 (ds ± 3,5)
Menor o igual a 24 semanas (%)	1(2,9)
Mayor a 24 semanas (%)	34(97,1)
Tipo de embarazo:	
Único	36(100)
Presentación fetal :	
Cefálico	33(91,7)
Podálico	2(5,6)
Transverso	1(2,8)
Indicación:	
Ventriculomegalia	12(33)
Alteración SNC no especificada	3(8)
Agenesia del cuerpo calloso	3(8)
Infección por Zika	3(8)
Microcefalia	3(8)
Infección por CMV	2(5)
Sospecha de Dandy-Walker	2(5)
Holoprosencefalia	2(5)
Otros	6(16)

Tabla 3. Hallazgos asociados en RMF.

Clasificación	n(%)
Alteración del tubo neural	1(9,1)
Malformación de Arnold Chiari	1(9,1)
Anomalías Comisurales	4(36,4)
Agenesia del cuerpo calloso	3(27,3)
Disgenesia del cuerpo calloso	1(9,1)
Anormalidad Infratentorial	1(9,1)
Malformación de Dandy Walker	1(9,1)
Patologías adquiridas	2(18,2)
Lesión Hipóxico-isquémica	1(9,1)
Porencefalia	1(9,1)
Ventriculomegalia	3(27,3)
Ventriculomegalia	2(18,2)
Colpocefalia	1(9,1)

Tabla 4. Comparación de RMF y estudios postnatales.

Hallazgos prenatales	Clasificación	Tipo de estudio	Hallazgos post-natales
Caso 1. Áreas de restricción a la difusión peri-ventriculares y corticales frontales derechas.	Patología adquirida	Ecografía transfontanelar	Lesión focal peri-ventricular izquierda.
Caso 2. Disgenesia del cuerpo calloso y dilatación del asta occipital de los ventrículos laterales de predominio derecho.	Patología adquirida / Zika	Escanografía Cerebral	Calcificaciones en banda en la región cortico subcortical frontal bilateral y parietal izquierda, disminución del volumen del hemisferio cerebral izquierdo con prominencia secundaria del ventrículo de este lado, adelgazamiento del cuerpo calloso y Dolicocefalia sin craneosinostosis.
Caso 3. Hidrocefalia con prominencia del ventrículo lateral derecho y septos hacia el asta frontal y occipital del mismo con disminución del parénquima cerebral adyacente.	Patología adquirida / Zika	Resonancia Magnética Cerebral	Microcefalia, adelgazamiento del cuerpo calloso, septos ventriculares y adelgazamiento de la corteza con pobre diferenciación de sustancia blanca y gris.
Caso 4. Disgenesia del cuerpo calloso asociado con quistes interhemisféricos bilaterales que ocasiona dilatación del sistema ventricular supratentorial derecho y adelgazamiento del parénquima cerebral.	Anormalidad comisural	Ecografía transfontanelar	Dilatación del sistema ventricular de astas temporales y frontales derechas, asociado a imágenes quísticas interventriculares y disgenesia del cuerpo calloso.
Caso 5. Hidrocefalia no comunicante, con disminución de la amplitud usual del IV ventrículo que sugiere estenosis acueductal.	Hidrocefalia	Ecografía transfontanelar	Signos sugestivos de hidrocefalia y ausencia del septum pellucidum.

o hemorragia intraventricular. Múltiples estudios han demostrado que la RMF tiene una alta sensibilidad y especificidad en el diagnóstico e identificación de la etiología de la ventriculomegalia^{5,7,8}. En este estudio se encontraron 5 casos de ventriculomegalia, de los cuales 2 tenían anomalías asociadas, una de estas fue una hernia diafragmática congénita.

El cuerpo calloso comienza su formación en la octava semana de gestación y termina en la semana veinte de gestación^{7,8}. Esto es de gran importancia, ya que la evaluación en edades gestacionales tempranas puede mostrar cambios normales del neurodesarrollo, que pueden ser confundidos con un hallazgo patológico. En esta revisión no se encontraron casos con edad gestacional menor a 20 semanas, por lo que no se cuenta con este posible sesgo.

Las anomalías comisurales se asocian a otras alteraciones como anomalías en los sulcos, malformación de Dandy-Walker y Arnold-Chiari II. La RMF es de alta utilidad al evaluar el cuerpo calloso, ya

que su modalidad multiplanar permite visualizar toda la longitud de esta estructura. El diagnóstico temprano de esta patología es crucial, ya que el 27% de los casos tendrán un retraso en el neurodesarrollo. Existen signos indirectos de la agenesia del cuerpo calloso, como colpocefalia, ausencia del septum pellucidum y lipoma interhemisférico^{2,7,8}. Se encontraron 3 casos con disgenesia o agenesia del cuerpo calloso, dos tenían asociados otros hallazgos, uno tenía una dilatación del sistema ventricular y otro una malformación de Arnold-Chiari II con mielomeningocele.

En las malformaciones de la fosa posterior o infratentoriales, están incluidas alteraciones como malformación de Dandy-Walker, hipoplasia, displasia o hemorragia cerebelar. Estudios previos demuestran que la RMF es significativamente superior que la US al evaluar patologías infratentoriales^{5,7}. En esta revisión se detectaron dos casos de Dandy-Walker, uno se presentó asociado a colpocefalia y otro estaba asociado a porencefalia con una lesión hipóxico-isquémica.

Dentro de las patologías adquiridas se encuentran los infartos isquémicos, hemorragias, tumores y calcificaciones secundarias a enfermedades maternas o fetales, como las infecciones perinatales. Los tumores fetales intracraneales son infrecuentes, se asocian a otras alteraciones como polihidramnios, macrocefalia y ventriculomegalia⁸⁻¹⁰. En este estudio, se detectaron 6 casos con una patología adquirida, una lesión hipóxico isquémica, dos casos de hidranencefalia y tres casos de infección por Zika.

La hidranencefalia es una entidad que se presenta 1 de cada 5000 embarazos, donde hay una ausencia casi completa de los hemisferios cerebrales y un saco membranoso lleno de LCR, tejido glial y ependimario. Su etiología es variable, se proponen accidentes vasculares, infecciones perinatales, exposición a tóxicos, entre otros^{11,12}. Ninguno de estos antecedentes estuvo presente en los dos casos que tuvieron hallazgos sugestivos de hidranencefalia.

La infección causada por el virus Zika produce graves alteraciones en el desarrollo del sistema nervioso central. Los hallazgos por imágenes pueden ser: microcefalia, calcificaciones cerebrales subcorticocorticales, alteraciones en el patrón de los giros, ventriculomegalia, anomalías del cuerpo calloso, disminución de los volúmenes cerebrales y agrandamiento de la cisterna magna y espacio subaracnoideo extraaxial^{13,14}. En este estudio se encontraron tres casos con sospecha de infección por Zika, dos se confirmaron por reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para Zika en cordón umbilical y líquido amniótico. Dos de los casos cuentan con estudios imagenológicos postnatales, en ambos se evidencia correlación entre los hallazgos pre y postnatales, además, los hallazgos concuerdan con lo descrito en la literatura como característico de síndrome congénito de Zika (Tabla 4).

Las alteraciones del tubo neural ocurren en 1 de cada 3000 nacidos vivos, el subtipo más común es el mielomeningocele, que puede estar asociado a malformación de Arnold-Chiari tipo II. El papel de la RMF en este tipo de alteraciones es crucial, ya que existen métodos quirúrgicos prenatales que se usan para el cierre de estas malformaciones y la imagen por resonancia es usada para la evaluación prequirúrgica¹⁵. En la revisión actual, se detectaron 5 alteraciones del tubo neural, un caso de espina bífida, otro de meningocele con médula anclada, un caso de Arnold Chiari, otro de ventriculus terminalis y un caso de Arnold Chiari II asociado a mielomeningocele.

En este estudio se encontraron 5 casos que cuentan con estudios postnatales, al revisar los hallazgos, se encontró que en todos los casos hay una correlación entre ambos hallazgos, incluso con diferentes modalidades, incluyendo ecografía transfontanelar, RM y escanografía.

Existen múltiples estudios que evalúan la aplicación

de métodos avanzados en RMF. El principal problema en estas técnicas es el movimiento fetal, ya que limita la adquisición de la imagen. Se ha evaluado volumetría cerebral fetal y su evolución en el desarrollo prenatal, concluyendo que el crecimiento cerebral varía según el área, las regiones frontales y parieto-temporales crecen más rápidamente. En estudios de difusión se ha encontrado que los coeficientes aparentes de difusión (ADC) se reducen con el aumento de la edad gestacional, esto se puede explicar por el incremento en la mielinización. Estudios en conectividad representan un reto más grande, debido a que los tiempos de adquisición son mayores, siendo más susceptible la aparición de artefactos por movimiento. Sin embargo, en publicaciones recientes, Mitter y colaboradores, han reportado visualización de tractos sensoriales, motores y del cuerpo calloso¹⁷. Existen estudios de espectroscopia que han revelado que la principal limitante es el tamaño del voxel, que no permite una evaluación regional, encontrando que los hallazgos de un feto de 34 semanas son comparables con un recién nacido. Shetty y colaboradores, encontraron que hay técnicas que pueden usarse para mejorar la calidad de la RMF con espectroscopia, como las técnicas de reconstrucción usadas en espectroscopia cardíaca, donde también existen interferencias por el movimiento del corazón⁹. Hykin y colaboradores, realizaron estudios funcionales que detectaron respuesta a estímulos visuales y auditivos, especialmente al hablar la madre¹⁸. El uso de estas técnicas en diagnóstico prenatal es prometedor, se requieren de estudios adicionales donde se busquen herramientas que disminuyan los artefactos que limitan estas técnicas^{10,19-22}.

Un aspecto que se debe tener en cuenta al usar la RMF, son sus implicaciones éticas, ya que las cualidades del método permiten una mayor exactitud diagnóstica y van a jugar un rol importante en la determinación del pronóstico del embarazo. Esto tiene repercusiones en la decisión para terminación del embarazo. Consideramos que es importante realizar una valoración global en un equipo multidisciplinario, teniendo en cuenta la severidad de las alteraciones y sus asociaciones para la toma de decisiones.

Conclusiones

La resonancia magnética fetal es un método con múltiples ventajas sobre el ultrasonido, mayor detalle anatómico, mejor resolución espacial, no está limitada por obesidad materna, oligohidramnios o la posición fetal.

El uso de técnicas avanzadas multimodales, ayudan en el diagnóstico diferencial en patologías del SNC. Se requieren estudios adicionales que evalúen la efectividad y utilidad de estas técnicas en etapa gestacional.

Al analizar de manera cualitativa los hallazgos

por imagen de RMF prenatal y estudios postnatales encontramos que existe una buena correlación entre ambos hallazgos.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias

- Smith FW, Adam AH, Phillips WD. NMR imaging in pregnancy. *Lancet* 1983; 1(8314-5): 61-62.
- Saleem SN. Fetal MRI: An approach to practice: A review. *J Adv Res* 2014; 5(5): 507-523.
- Wataganara T, Ebrashy A, Aliyu LD, Moreira de Sa RA, Pooh R, Kurjak A, et al. Fetal magnetic resonance imaging and ultrasound. *J Perinat Med* 2016; 44(5): 533-542.
- Griffiths PD, Bradburn M, Campbell MJ, Cooper CL, Graham R, Jarvis D, et al. Use of MRI in the diagnosis of fetal brain abnormalities in utero (MERIDIAN): A multicentre, prospective cohort study. *Lancet*. 2017 Feb 4; 389(10068): 538-546. doi: 10.1016/S0140-6736(16)31723-8. Epub 2016 Dec 15
- Weisstanner C, Kasprian G, Gruber GM, Brugger PC, Prayer D. MRI of the Fetal Brain. *Clin Neuroradiol* 2015; 25 Suppl 2: 189-196.
- Kline-Fath BM, Calvo-Garcia MA. Prenatal imaging of congenital malformations of the brain. *Semin Ultrasound CT MR* 2011; 32(3): 167-188.
- Lyons K, Cassady C, Jones J, Paldino M, Mehollin-Ray A, Guimaraes C, et al. Current Role of Fetal Magnetic Resonance Imaging in Neurologic Anomalies. *Semin Ultrasound CT MR* 2015; 36(4): 298-309.
- Tee LM, Kan EY, Cheung JC, Leung WC. Magnetic resonance imaging of the fetal brain. *Hong Kong Med J* 2016; 22(3): 270-278.
- Shetty AN, Gabr RE, Rendon DA, Cassady CI, Mehollin-Ray AR, Lee W. Improving spectral quality in fetal brain magnetic resonance spectroscopy using constructive averaging. *Prenat Diagn* 2015; 35(13): 1294-1300.
- Dai Y, Dong S, Zhu M, Wu D, Zhong Y. Visualizing cerebral veins in fetal brain using susceptibility-weighted MRI. *Clin Radiol* 2014; 69(10): e392-7.
- Pavone P, Praticò AD, Vitaliti G, Ruggieri M, Rizzo R, Parano E, et al. Hydranencephaly: cerebral spinal fluid instead of cerebral mantles. *Ital J Pediatr* 2014; 40: 79.
- Malik AM, Ahmad M, Khan A, Ullah E. Hydranencephaly: A rare cause of delayed developmental milestones. *BMJ Case Rep* 2013; 2013.
- Aragao MF, Brainer-Lima AM, Holanda AC, van der Linden V, Vasco Aragão L, Silva ML, et al. Spectrum of Spinal Cord, Spinal Root, and Brain MRI Abnormalities in Congenital Zika Syndrome with and without Arthrogryposis. *AJNR Am J Neuroradiol* 2017.
- Chimelli L, Melo AS, Avvad-Portari E, Wiley CA, Camacho AH, Lopes VS, et al. The spectrum of neuropathological changes associated with congenital Zika virus infection. *Acta Neuropathol*. 2017 Jun;133(6):983-999. doi: 10.1007/s00401-017-1699-5. Epub 2017 Mar 22.
- Egloff A, Bulas D. Magnetic Resonance Imaging Evaluation of Fetal Neural Tube Defects. *Semin Ultrasound CT MR* 2015; 36(6): 487-500.
- Woodley-Cook J, Konieczny M, Spears J. The Slowly Enlarging Ventriculus Terminalis. *Pol J Radiol* 2016; 81: 529-531.
- Mitter C, Prayer D, Brugger PC, Weber M, Kasprian G. In vivo tractography of fetal association fibers. *PLoS One* 2015; 10(3): e0119536.
- Hykin J, Moore R, Duncan K, Clare S, Baker P, Johnson I, et al. Fetal brain activity demonstrated by functional magnetic resonance imaging. *Lancet* 1999; 354(9179): 645-646.
- Jakab A, Pogledic I, Schwartz E, Gruber G, Mitter C, Brugger PC, et al. Fetal Cerebral Magnetic Resonance Imaging Beyond Morphology. *Semin Ultrasound CT MR* 2015; 36(6): 465-475.
- Qiu A, Mori S, Miller MI. Diffusion tensor imaging for understanding brain development in early life. *Annu Rev Psychol* 2015; 66: 853-876.
- Sanz-Cortes M, Simoes RV, Bargallo N, Masoller N, Figueras F, Gratacos E. Proton magnetic resonance spectroscopy assessment of fetal brain metabolism in late-onset 'small for gestational age' versus 'intrauterine growth restriction' fetuses. *Fetal Diagn Ther* 2015; 37(2): 108-116.
- Biegon A, Hoffmann C. Quantitative magnetic resonance imaging of the fetal brain in utero: Methods and applications. *World J Radiol* 2014; 6(8): 523-529.