

## ARTÍCULO DE REVISIÓN

# Resonancia magnética fetal en el estudio prequirúrgico de disrafia espinal

Ximena Ortega<sup>a,b,\*</sup>, Felipe Otayza<sup>c</sup>, Diego Araneda<sup>a,b</sup>, Karla Moenne<sup>b</sup>, Carolina Pérez<sup>b</sup>, Juan Antonio Escaffi<sup>b</sup> y Gonzalo Corral<sup>b</sup>



CrossMark

<sup>a</sup> Centro de Enfermedades Raras, Clínica Las Condes, Santiago, Chile

<sup>b</sup> Radiología Infantil, Departamento de Diagnóstico por Imágenes, Clínica Las Condes, Santiago, Chile

<sup>c</sup> Departamento de Neurocirugía, Clínica Las Condes, Santiago, Chile

Recibido el 31 de agosto de 2016; aceptado el 11 de septiembre de 2016

Disponible en Internet el 29 de septiembre de 2016

### PALABRAS CLAVE

Disrafia espinal;  
Resonancia  
magnética;  
Ultrasonografía;  
Prenatal;  
Sistema nervioso  
central;  
Enfermedades  
fetales;  
Diagnóstico prenatal

### KEYWORDS

Spinal dysraphism;  
Magnetic resonance  
imaging;  
Ultrasound;  
Prenatal;  
Central nervous  
system;  
Foetal diseases;  
Prenatal diagnosis

**Resumen** Las disrafias espinales son una indicación importante de resonancia magnética fetal (RMF), considerando la evaluación de posibles candidatos para cirugía intrauterina. La RMF ha demostrado ser superior a la ultrasonografía 3D y 2D para la evaluación de la fosa posterior, el tronco cerebral, el cuerpo calloso, y las anomalías del desarrollo de la corteza cerebral. La descripción y el nivel del daño espinal, el grado de hidrocefalia, la magnitud de la herniación del cerebelo, y la presencia de lesiones asociadas son variables importantes, útiles para la planificación preoperatoria y la comparación con estudios posnatales.

© 2016 SOCHRADI. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### Foetal magnetic resonance imaging in the pre-surgical assessment of spinal dysraphism

**Abstract** Spinal dysraphism is an important indication for foetal magnetic resonance imaging (MRI), considering the evaluation of potential candidates for intrauterine surgery. Foetal MRI has proved to be superior to 2D and 3D ultrasound for the posterior fossa, brain stem, corpus callosum, and cortical development abnormalities. The description and level of spinal injury, hydrocephalus, magnitude of cerebellum herniation, and associated injuries, are valuable information, which is useful for the preoperative assessment, as well as for the comparison with postnatal studies.

© 2016 SOCHRADI. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [xortega@clinicalascondes.cl](mailto:xortega@clinicalascondes.cl) (X. Ortega).

## Introducción

El ultrasonido ha sido y seguirá siendo la modalidad primaria para el diagnóstico de la patología del sistema nervioso central. La resonancia magnética, que ha revolucionado el diagnóstico por imágenes en todas las áreas de la medicina, se hizo parte del diagnóstico prenatal con la introducción de secuencias rápidas y ultrarrápidas, que disminuyeron los artefactos de movimiento, lo que permitió visualizar el feto con imágenes multiplanares, sin uso de radiación y con una resolución de contraste de tejidos no descrita por otras técnicas.

Los esfuerzos por mejorar las imágenes de resonancia magnética fetal (RMF) se acompañaron de innumerables publicaciones tratando de establecer sus ventajas en áreas en las cuales la ecografía había sido el estándar. Sin embargo, el debate sobre la superioridad de las imágenes respecto del ultrasonido es estéril en ausencia de un ultrasonido de calidad, que permita una sospecha diagnóstica temprana que posibilite el estudio por técnicas complementarias. El ultrasonido sigue y seguirá siendo el método estándar para el cribado. Por lo mismo, las comparaciones sobre sensibilidad y especificidad de ambos métodos deben ser cuidadosas; teniendo en cuenta que la RMF no es realizada como procedimiento estándar en pacientes con ultrasonidos normales, la valoración de verdaderos o falsos negativos tendrá un valor cuestionable<sup>1</sup>. De esta forma, el valor de la RMF en la evaluación de la patología del sistema nervioso central, desde hace varios años, ha estado centrado en el aporte de información adicional al ultrasonido y en la manera en que esta información es capaz de cambiar las decisiones clínicas<sup>2</sup>. En términos generales, y de acuerdo con la revisión realizada por Rossi y Prefumo<sup>1</sup>, se estima actualmente que en la evaluación del sistema nervioso central los hallazgos pueden ser confirmados posnatalmente (*o post mortem*) en cerca del 90% de los casos, y que la RMF agrega hallazgos a la ecografía en alrededor de un 18%, principalmente en relación con anomalías de la línea media, alteraciones de la fosa posterior, determinación y cuantía de la dilatación del sistema ventricular, tumores, maduración de la corteza cerebral, alteraciones de la migración, lesiones isquémicas y hemorragias, y en la evaluación del contenido en presencia de hernias<sup>3-5</sup>. Los cambios de conducta motivados por estos hallazgos se estiman, actualmente, cercanos al 30% de los casos estudiados en las mismas series, por lo que apoyan su indicación, como examen de segunda línea, frente a alteraciones detectadas en ecografía.

La espina bífida abierta o mielomeningocele es una malformación severa del sistema nervioso central en la cual un cierre incompleto de la columna vertebral expone tejido medular. Se localiza preferentemente en la región lumbar y se calcula que su incidencia es de aproximadamente 1/1.000 nacimientos<sup>6</sup>. En la etapa prenatal, el tejido nervioso expuesto queda en contacto con el líquido amniótico y es altamente vulnerable al daño químico y traumático, lo que deteriora la función neurosensorial hacia distal. La pérdida constante de líquido cefalorraquídeo a través del defecto desplaza las estructuras encefálicas hacia la región posterocaudal del cráneo, ocasionando el descenso de la fosa posterior, la compresión del foramen magno e hidrocefalia secundaria, lo que se conoce como malformación de

Chiari tipo II. Como consecuencia, los individuos afectados presentan daño neurológico irreparable, paraplejía, hidrocefalia triventricular, disfunción vesical, intestinal y sexual, deformidades esqueléticas de extremidades inferiores y deterioro neurosensorial de por vida, con los consecuentes costos emocionales y financieros para la familia y la sociedad. Aunque es considerada una anomalía no letal, el 15-30% de los afectados con espina bífida fallecen en los primeros años de vida debido a enclavamiento medular, infección y sepsis, e insuficiencia renal.

Actualmente se reconoce que el daño asociado a espina bífida no solo se produce por neurulación incompleta, sino también por exposición de tejido nervioso vulnerable al ambiente intrauterino, lo que es más manifiesto después de las 26 semanas de gestación. Por este motivo, la espina bífida abierta se ha convertido en la primera anomalía no letal en la que se considera cirugía intrauterina con el fin de realizar rescate neurológico, preservación de la función neuromotora y revertir la herniación del cerebro posterior.

El estudio aleatorizado MOMS<sup>7</sup> demostró que la cirugía intrauterina reduce la necesidad de derivación ventrículo-peritoneal a la mitad, mejora en forma significativa la función motora evaluada a los 30 meses de vida en comparación con la cirugía neonatal convencional, y considera la RMF en la evaluación prequirúrgica de estos pacientes.

Esta nueva cirugía durante la etapa fetal ya ha sido realizada en nuestro país, motivo por el cual es necesario estar en conocimiento de los hallazgos que son relevantes para el equipo perinatal, tanto en la selección como en el abordaje de los pacientes.

## Protocolo de estudio por imágenes

El examen puede ser realizado en decúbito supino o decúbito lateral según la tolerancia de la paciente. Debido a que la indicación del estudio por imágenes con resonancia depende de los hallazgos en ultrasonografía, en muchos centros se ha optado por la evaluación dirigida, circunscrita a la cabeza y columna del feto, con menor o ninguna dedicación a otras áreas anatómicas. Esta práctica permite reducir costo y tiempo del estudio, pero disminuye las posibilidades de diagnóstico frente a alteraciones no sospechadas previamente y que pudieran configurar un cuadro sindromático, ya que el estudio a través de RMF permite detectar hallazgos adicionales en hasta un 28% de los casos<sup>8</sup>.

En nuestro centro realizamos de rutina adquisiciones potenciadas en T2 en planos axial, coronal y sagital, por separado para la cabeza y el tronco fetal, con secuencias half-Fourier single-shot turbo spin-echo (HASTE). En estas imágenes, el líquido cefalorraquídeo hiperintenso permite delinear con exquisito detalle el sistema ventricular y el espacio subaracnoidal tanto de la convexidad como del perimedular y los límites de la columna vertebral. Realizamos, adicionalmente, secuencias True FISP y T1-weighted turbo FLASH, de la cabeza fetal, para contribuir en la búsqueda de alteraciones asociadas, con un tiempo total de estudio entre los 25 y 40 min, dependiendo de los movimientos fetales.

La obtención de un plano sagital estricto a nivel del encéfalo permite delimitar el contorno del cerebelo y la relación de las amígdalas con el foramen magno. En

**Tabla 1** Protocolo de estudio de cabeza y columna fetal. Comparación 1,5 T y 3 T

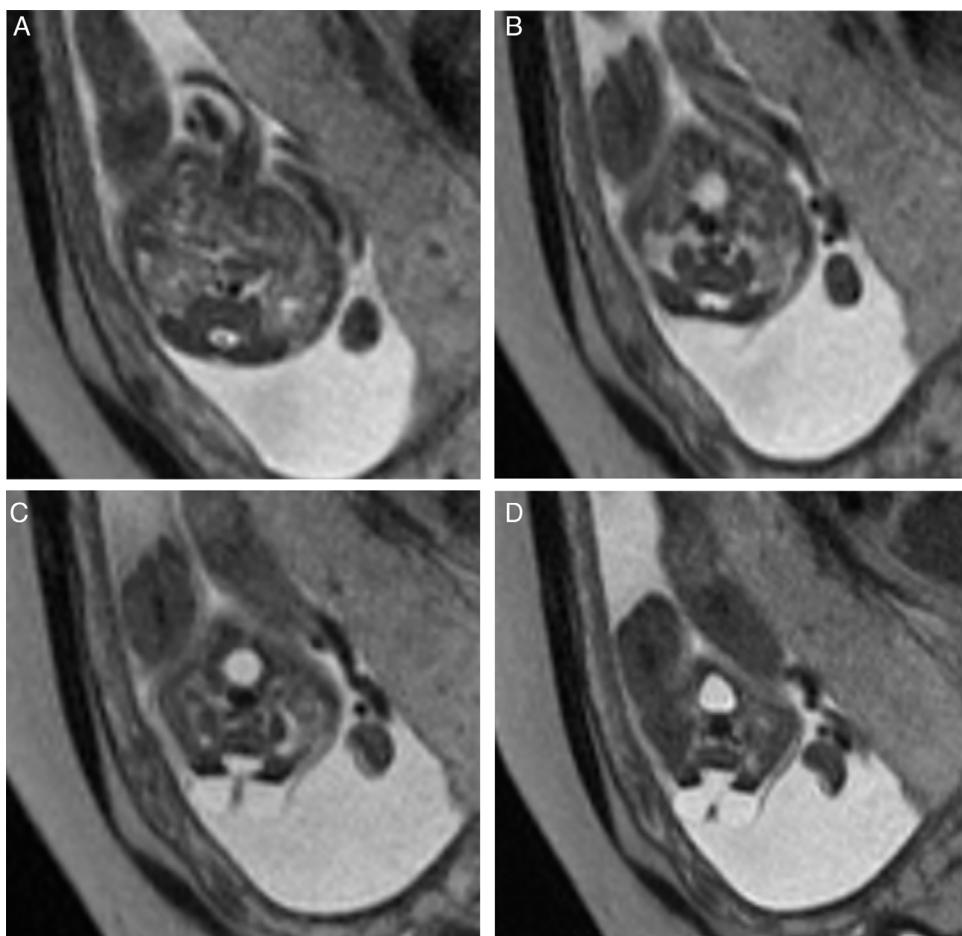
|  | 1,5 T   | 3 T  |
|--|---|--|
| Axial/coronal/sagital T2w HASTE<br>( <i>free-breathing</i> ) | TR/TE = 1.200/141 ms, SL = 4 mm,<br>FOV = (250*250) mm <sup>2</sup> ,<br>matrix = (205*256) px <sup>2</sup> | TR/TE = 1.100 / 96 ms, SL = 3 mm,<br>FOV = (280*280) mm <sup>2</sup> ,<br>matrix = (256*230) px <sup>2</sup> |
| Axial T1w FLASH ( <i>breathhold</i> )                        | TR/TE = 99/5 ms, SL = 4 mm,<br>FOV = (250*250) mm <sup>2</sup> ,<br>matrix = (205*256) px <sup>2</sup>      | TR/TE = 122/2,46 ms, SL = 3 mm,<br>FOV = (280*280) mm <sup>2</sup> ,<br>matrix = (224*168) px <sup>2</sup>   |
| Sagittal T2w trufi2d ( <i>breathhold</i> )                   | TR/TE = 3,59/1,8 ms,<br>FOV = (250*250) mm <sup>2</sup> ,<br>matrix = (205*256) px <sup>2</sup>             | TR/TE = 3,88/1,7 ms,<br>FOV = (376*376) mm <sup>2</sup> ,<br>matrix = (614*768) px <sup>2</sup>              |

Parámetros en resonador Siemens Avanto 1.5 T y Siemens Skyra 3T.

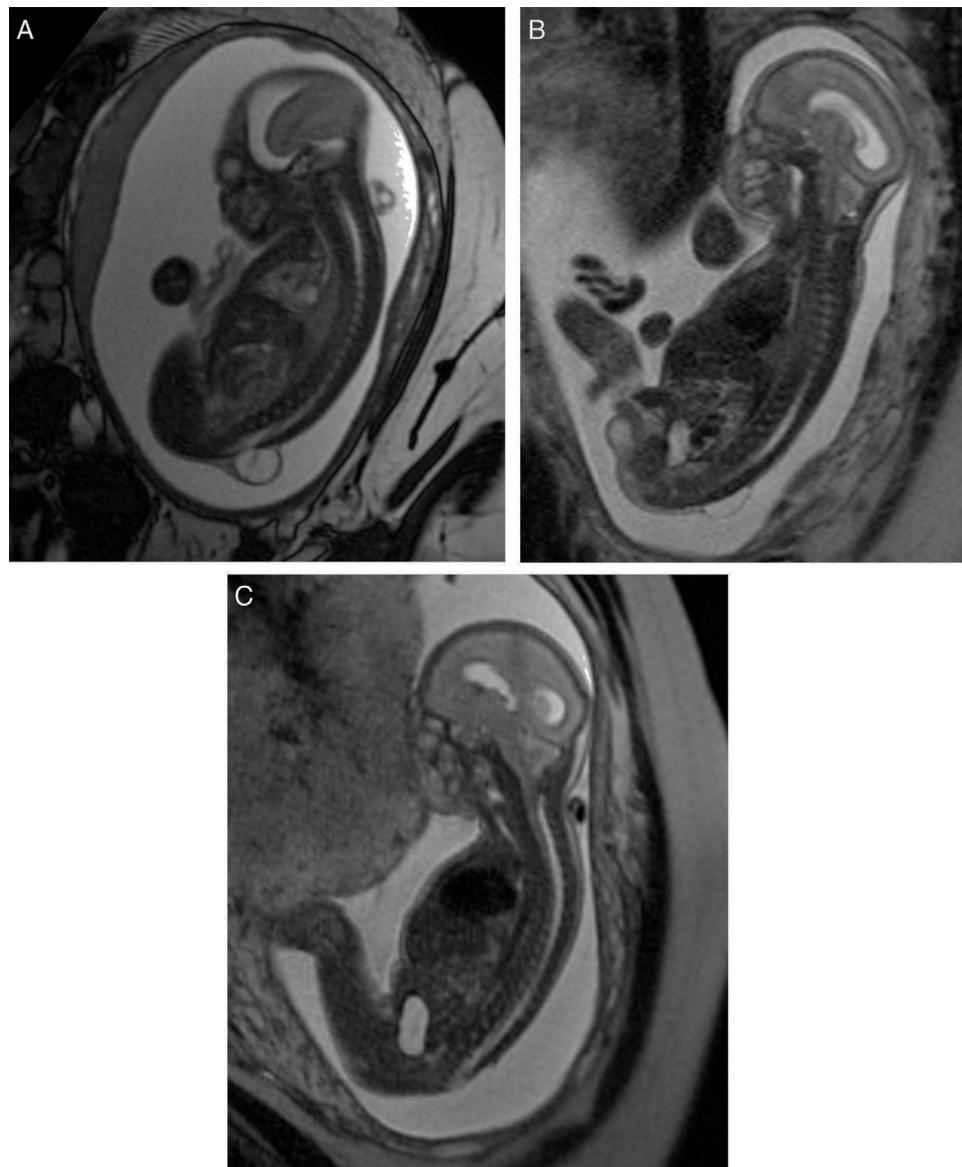
Fuente: Schneider<sup>10</sup>.

la columna, es posible precisar la longitud del defecto en sentido céfalo-caudal; la determinación precisa de los segmentos vertebrales comprometidos en el defecto ha sido un hecho desafiante en el reporte radiológico y, obviamente, de mayor relevancia frente a la estimación del nivel de compromiso clínico posterior de los pacientes. Sin embargo, ya ha sido documentada la dificultad de concordar en establecer el nivel de la lesión espinal entre diferentes observadores.

Simon y Pollock, en el año 2004, reportaron diferencias de hasta un 20% en los casos reportados<sup>9</sup>. Mangels et al, por su parte, reportaron discordancias consideradas sutiles, cuando involucraban uno o 2 segmentos, en el 43% de los casos, y significativas en el 11%<sup>4</sup>. A pesar de los pocos cortes que se obtienen en el barrido del tronco, debido al pequeño tamaño del feto, es posible programar secuencias obteniendo imágenes consecutivas, no traslapadas o



**Figura 1** Imágenes T2w HASTE en plano axial, desde cefálico (A) hacia caudal (D). Se observa desplazamiento posterior del cono medular, con tejido neural fuera del canal medular, en contacto con la membrana superficial.



**Figura 2** Disrafia espinal, con defecto posterior y saco de diferente tamaño. Imágenes T2w HASTE sagital con saco grande (A), pequeño (B) y ausente (C).

volumétricas, para acceder a reconstrucciones que contribuyan a la determinación de los segmentos anatómicos comprometidos, utilizando referencias anatómicas habituales.

Como es sabido, el contraste de los tejidos fetales depende fuertemente de la cantidad de agua libre de las estructuras. La preocupación inicial sobre la influencia del campo magnético sobre el feto en desarrollo ha sido seguida por un período carente de reportes de efectos deletéreos asociados. Actualmente, la mayoría de los estudios se realizan en resonadores de 1,5 T, campo que permite una adecuada definición de contornos y diferencia entre las intensidades de señal de los diferentes tejidos. Recientemente, se han incorporado resonadores de 3 T, igualmente seguros para los pacientes, y que permiten también obtener imágenes de excelente contraste. La diferencia en la potencia del campo magnético debe ser considerada en

la programación de un estudio fetal en 1,5 versus 3 T y las secuencias requieren ajustes<sup>10</sup>. La diferente susceptibilidad magnética a los líquidos puede ser, por una parte, responsable de nuevos artefactos y por otra, permitir la visualización de estructuras, especialmente vasculares u óseas, de representación limitada en imágenes obtenidas a menor intensidad de campo. La [tabla 1](#) resume el protocolo estándar utilizado en nuestro centro con 1,5 T y los ajustes para 3 T.

La recomendación del Colegio Americano de Radiología respecto de la práctica de la RMF no considera el uso de contraste intravenoso<sup>11</sup>. El gadolinio durante el embarazo es considerado un medicamento tipo C, lo que significa que su seguridad en humanos no ha sido suficientemente probada. Estudios han demostrado que los contrastes con gadolinio ingresan a la circulación fetal, atravesando la barrera placentaria<sup>12</sup>. Más tarde son filtrados por los riñones y

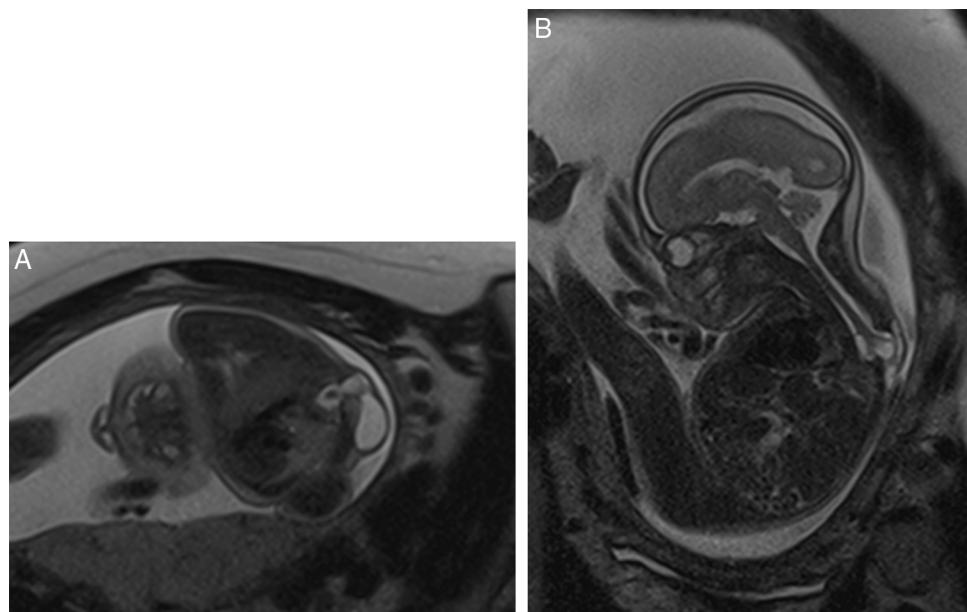


Figura 3 Mielomeningocele dorsal, en imágenes T2w HASTE axial (A) y sagital (B).

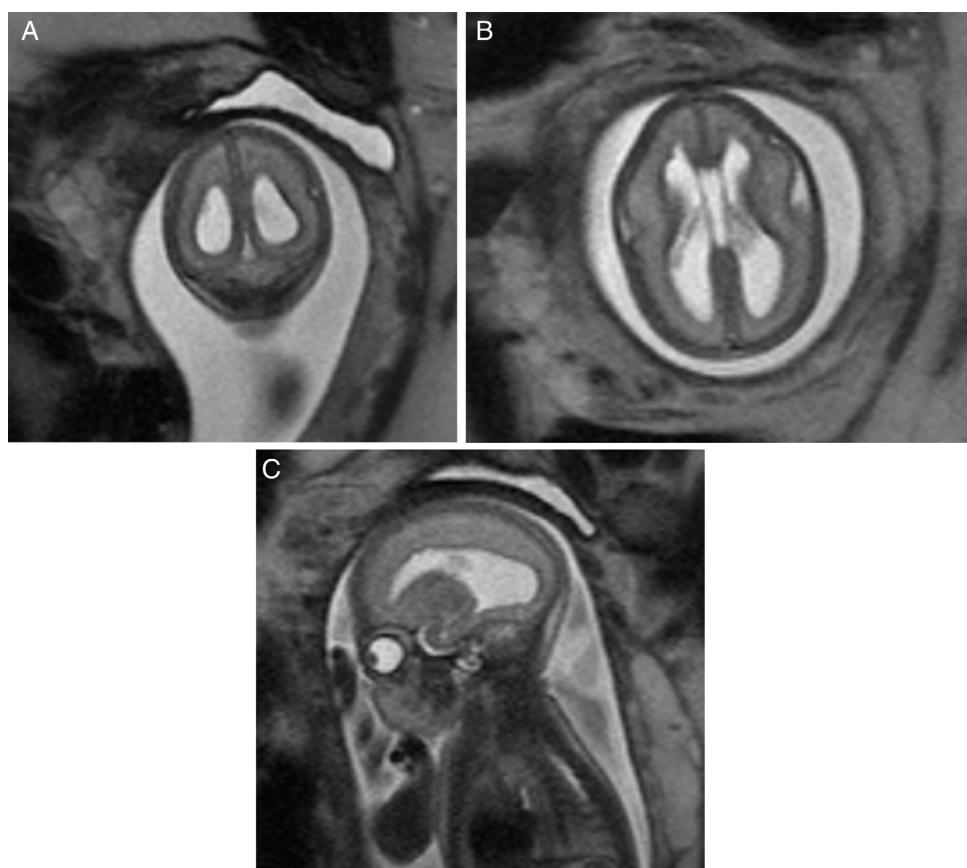
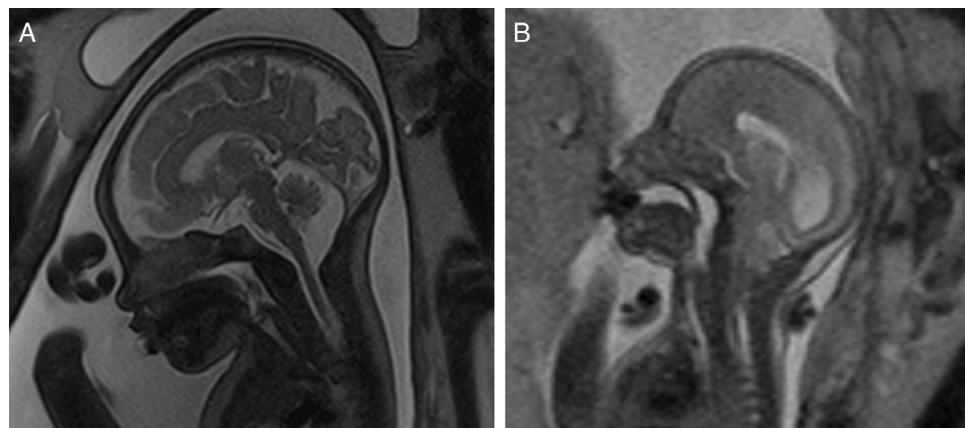


Figura 4 Colpocefalia, con prominencia de cuernos posteriores de ventrículos laterales, en imágenes T2w HASTE coronal (A), axial (B) y sagital (C).



**Figura 5** Disrafia espinal, con fosa posterior normal y espacio subaracnideo de amplitud normal en imágenes sagital T2w HASTE (A) y con espacio subaracnideo disminuido (B) asociado a descenso de amígdalas cerebelosas a través del foramen magno.

eliminados al líquido amniótico, donde pudiera ser degluti-  
tido nuevamente por el feto, en un ciclo cuya duración no  
ha sido determinada.

### Hallazgos

Las alteraciones de la inducción dorsal corresponden a un  
espectro de alteraciones ocurridas durante las primeras 4-  
5 semanas de gestación, cuando se forman el tubo neural,  
la notocorda, la columna y el cráneo. Desde el punto de  
vista del diagnóstico por imágenes, estas alteraciones pue-  
den ser divididas en espina bífida oculta, meningocele y  
mielomeningocele<sup>3</sup>.

La espina bífida oculta, habitualmente no se diagno-  
stica con ultrasonido prenatal, por lo que estos pacientes  
no llegan a una segunda opinión con resonancia magnética.  
El diagnóstico de esta alteración se da durante el período  
posnatal, en general asociado a la presencia de estigmas  
cutáneos.

El meningocele y el mielomeningocele corresponden a  
patologías que sí son sospechadas en útero. Además de con-  
firmar inicialmente la alteración, el estudio por imágenes  
está enfocado en la cirugía fetal como indicación potencial.  
De esta forma, el foco en el análisis y en el reporte de los  
hallazgos debe centrarse en los siguientes puntos.

### Descripción de la lesión espinal

La falla en el cierre del tubo neural determina la separación  
del aspecto posterior de la vértebra con herniación de las  
meninges y de líquido cefalorraquídeo fuera del canal (fig. 1)  
La posición de la placoda neural con respecto al nivel de la  
superficie de la piel permite distinguir el tipo de defecto  
abierto<sup>9</sup>. Si el saco de la hernia contiene estructuras ner-  
viosas, corresponde a mielomeningocele; si solo comprende  
grasa y tejido conectivo, corresponde a un meningocele  
(fig. 2).

### Nivel de la lesión espinal

Frecuentemente las alteraciones comprometerán la región  
lumbar o lumbosacra. Sin embargo, es necesario tener

presente que los defectos pudieran ser altos e incluso múlti-  
ples (fig. 3). Una vez que el defecto es identificado, es  
preciso determinar la longitud teniendo en cuenta que com-  
promisos más extensos involucrarán, obviamente, un mayor  
número de segmentos vertebrales, dependiendo del tamaño  
del feto. El reconocimiento de la unión dorsolumbar es  
clave en la determinación del nivel estructural compro-  
metido, en presencia de una adecuada definición de los  
contornos óseos. La unión dorsolumbar mantiene en la vida  
fetal sus relaciones habituales con las costillas, la inserción  
posterior del diafragma y el polo superior de los riñones.

### Grado de hidrocefalia

Las imágenes coronales son útiles en la evaluación general  
del estado del sistema ventricular y del espacio subarac-  
noideo de la convexidad. La determinación del diámetro  
bifrontal pudiera ser rutinaria en resonancia, considerando  
que es una determinación fácil de obtener con ecogra-  
fía luego del nacimiento, enriqueciendo el seguimiento. La  
caracterización y cuantificación de la dilatación de los ven-  
trículos laterales es menor evaluada en imágenes axiales,  
donde es posible obtener también mediciones reproducibles  
de los cuernos posteriores, por ejemplo (fig. 4).

### Grado de herniación del cerebelo

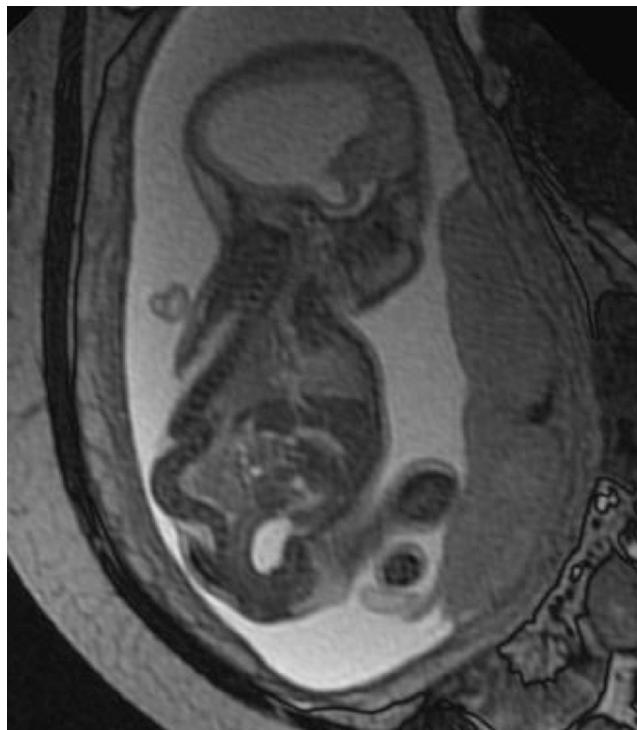
La fosa posterior en estos pacientes es habitualmente  
pequeña. El mielomeningocele está frecuentemente  
acompañado por anomalías cerebrales, que incluyen el  
descenso de las amígdalas cerebelosas a través del foramen  
magno. Las imágenes sagitales estrictas permiten la delimi-  
tación del foramen y la cuantificación del tejido herniado  
hacia la región caudal (fig. 5).

### Lesiones asociadas

La detección de lesiones asociadas puede diferenciar inme-  
diatamente los pacientes candidatos a cirugía prenatal de  
aquellos que no lo serán. La presencia de alteraciones en  
el espectro de la disrafia espinal está descrita en varios

**Tabla 2** Síndromes asociados a disrafia espinal

|  |
|--|
| Disostosis espondilocostal                   |
| Síndrome de delección del cromosoma 22q11.21 |
| Síndrome Waardenburg tipo I                  |
| Síndrome orofaciocutáneo tipo I              |
| Tetrasomía 18p                               |
| Síndrome de Goltz                            |
| Síndrome de Joubert                          |
| Trisomía 18                                  |
| Síndrome de Meckel                           |

**Figura 6** Disrafia espinal asociada a severa deformidad de la columna vertebral, en imagen sagital T2w HASTE.

síndromes y resumida en la [tabla 2](#). La búsqueda de alteraciones de los demás segmentos y órganos debe ser, por esto, rutinaria y exhaustiva ([fig. 6](#)).

## Conclusión

La cirugía prenatal antes de las 26 semanas disminuye el riesgo de muerte y la necesidad de válvula derivativa a los 12 meses de vida. Por otra parte, mejora el rendimiento mental y motor en una escala ajustada según el nivel de la lesión a los 30 meses de vida, el grado de herniación asociada a Chiari tipo II, así como el nivel neuromotor en relación con la lesión anatómica, beneficios que deben balancearse en atención al 13% de partos prematuros que ocurren antes de las 30 semanas según reporta la literatura.

La RMF ha sido un examen de segunda línea en múltiples patologías. Su utilidad frente a la disrafia espinal en particular va más allá de la confirmación de los hallazgos sospechados con ultrasonido. Además de la capacidad de detectar alteraciones asociadas que pudieran hacer no

recomendable la cirugía, la resonancia tiene un rol importante en la descripción del defecto, la presencia y las características del saco y su relación con el tejido neural, para la adecuada planeación de la neurorrafia.

## Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

## Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

## Bibliografía

- Rossi AC, Prefumo F. Additional value of fetal magnetic resonance imaging in the prenatal diagnosis of central nervous system anomalies: A systematic review of the literature. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2014;44:388–93.
- Breysem L, Bosmans H, Dymarkowski S, Schoubroeck DV, Witters I, Deprest J, et al. The value of fast MR imaging as an adjunct to ultrasound in prenatal diagnosis. *Eur Radiol.* 2003;13: 1538–48.
- Herman-Sucharska I, Bekiesinska-Figatowska M, Urbanik A. Fetal central nervous system malformations on MR images. *Brain Dev.* 2009;31:185–99.
- Mangels J, Tulipan N, Tsao L, Alarcon J, Bruner J. Fetal MRI in the evaluation of intrauterine myelomeningocele. *Pediatr Neurosurg.* 2000;32:124–31.
- Simon E, Goldstein R, Coakley F, Filly R, Broderick K, Musci T, et al. Fast MR imaging of fetal CNS anomalies in utero. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2000;21:1688–98.
- Frey L, Hauser WA. Epidemiology of neural tube defects. *Epilepsia.* 2003;44 Suppl. 3:4–13.
- Adzick NS, Thom E, Spong C, Brock J, Burrows PK, Johnson MP, et al. A randomized trial of prenatal versus postnatal repair of myelomeningocele. *N Engl J Med.* 2011;364:993–1004.
- Verburg B, Fink AM, Reidy K, Palma-Dias R. The Contribution of MRI after fetal anomalies have been diagnosed by ultrasound: Correlation with postnatal outcomes. *Fetal Diagn Ther.* 2015;38:186–94.
- Simon M, Pollock A. Prenatal and postnatal imaging of spinal dysraphism. *Semin Roentgenol.* 2004;39:182–96.
- Schneider JF. Case series: Fetal\* MR imaging of the brain at 3T. Clinical fetal imaging. MAGNETOM Flash. 2011 [consultado 15 Jun 2016]. Disponible en: <http://www.siemens.com/magnetom-world>
- ACR-SPR. ACR-SPR practice parameter for the safe and optimal performance of fetal magnetic resonance imaging (MRI). 2015 (resolution 11). [consultado 20 Jun 2016]. Disponible en: <http://www.acr.org/~/media/CB384A65345F402083639E6756CE513F.pdf>.
- Runge VM. Safety of approved MR contrast media for intravenous injection. *J Magn Reson Imaging.* 2000;12:205–13.