

Patrones de dinámica del LCR en RM para diferenciar malformación de Chiari 1 simple y compleja

Cerebrospinal fluid dynamics patterns on MRI to differentiate between simple and complex Chiari 1 malformation

Alejandra P. Vigliano*, Alejandro Sánchez-Solano, Jairo Hernández-Pinzón, Martín Carnevale, Hernán Chaves, Martín Aguilar

Departamento de Diagnóstico por Imágenes, Clínica FLENI, Buenos Aires, Argentina

Resumen

Introducción: La malformación de Chiari compleja es una variante más grave de la malformación de Chiari tipo 1 (MC1), que requiere un abordaje quirúrgico diferente. **Objetivo:** Evaluar si la dinámica del líquido cefalorraquídeo (LCR) en secuencia de contraste de fase en resonancia magnética (RM-CF) permite discriminar entre subtipos simple (MCS) y complejo (MCC) de MC1. **Método:** Estudio retrospectivo, de 25 pacientes pediátricos con MC1 y RM-CF prequirúrgica, operados entre 2013 y 2021. Tres evaluadores independientemente diagnosticaron MCC y clasificaron la dinámica del LCR en seis patrones según la alteración anterior, posterior o ambas. Se aplicaron las pruebas t, χ^2 o Fisher, y el coeficiente kappa. Se consideró significativo $p < 0,05$. **Resultados:** Once pacientes (44%) presentaron MCC. Los patrones 0, 1 y 2 fueron frecuentes en MCS (77,7%) y ausentes en MCC. Los patrones 4, 5 y 6 predominaron en MCC (27,3%, 9,1% y 63,6%, respectivamente), frente al 7,1 % (cada uno) en MCS. El 90,9% de MCC presentó bloqueo anterior del LCR, frente al 14,3% de MCS ($p < 0,001$). El acuerdo interobservador fue alto (kappa: 0,79-0,92). **Conclusiones:** El bloqueo anterior del flujo del LCR, solo o con bloqueo posterior, es más frecuente en la MCC.

Palabras clave: Malformación de Arnold-Chiari. Imagen por resonancia magnética. Líquido cefalorraquídeo.

Abstract

Introduction: Complex Chiari malformation is a more severe variant of Chiari malformation type 1 (CM1), that requires a different surgical approach. **Objective:** To evaluate whether cerebrospinal fluid (CSF) dynamics on phase-contrast MRI (PC-MRI) can distinguish between simple (SCM) and complex (CCM) subtypes of CM1. **Method:** This retrospective study included 25 pediatric patients with CM1 and pre-surgical PC-MRI, who underwent surgery from 2013 to 2021. Three independent evaluators diagnosed CCM and classified CSF dynamics into six patterns based on anterior and/or posterior flow alterations. t-test, χ^2 or Fischer test, and kappa coefficient, were used for analysis. $p < 0.05$ was considered statistically significant. **Results:** Eleven patients (44%) met the criteria for CCM. Patterns 0, 1 and 2 were common in SCM (77.7%) and absent in CCM. Patterns 4, 5 and 6 were predominant in CCM (27.3, 9.1 and 63.6%, respectively), versus 7.1% (each) in SCM. Anterior CSF flow blockage was found in 90.9% of CCM patients, compared to 14.3% in SCM ($p < 0.001$). The interobserver agreement was high (kappa: 0.79-0.92). **Conclusions:** Anterior circulatory blockage, alone or with posterior blockage, is more frequently observed in CCM.

Keywords: Arnold-Chiari malformation. Magnetic resonance imaging. Cerebrospinal fluid.

*Correspondencia:

Alejandra P. Vigliano
E-mail: avigliano@fleni.org.ar

Fecha de recepción: 14-07-2025

Fecha de aceptación: 08-12-2025

DOI: 10.24875/RAR.25000069

Disponible en internet: 26-08-2026

Rev Argent Radiol. 2026;90(3):130-138

www.revistarar.com

1852-9992 / © 2025 Sociedad Argentina de Radiología (SAR) y Federación Argentina de Asociaciones de Radiología, Diagnóstico por Imágenes y Terapia Radiante (FAARDIT). Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La malformación de Arnold-Chiari tipo 1 (MC1) es una afección congénita caracterizada por una fosa craneal posterior pequeña con descenso de las amígdalas cerebelosas a través del foramen magno en más de 5 mm¹. Es una de las anomalías más frecuentes de la unión craneocervical, siendo el tipo más común de las cinco malformaciones de Chiari reconocidas².

Recientemente se ha descrito un subtipo de MC1 con una presentación clínica más grave, la malformación de Chiari compleja (MCC)³. En comparación con el subtipo clásico o simple de MC1 (MCS), la MCC asocia otras malformaciones en la base del cráneo y en la región cervical superior. Mientras que en el subtipo simple solo un pequeño grupo de pacientes presentan síntomas, generalmente cefalea, la MCC tiene una manifestación clínica más grave (debido a la compresión bulbar o bulbomedular) y a edades más tempranas. Además, esta diferenciación entre subtipos de MC1 tiene implicancia terapéutica. Los pacientes con MCS que requieren cirugía suelen someterse a una descompresión osteoligamentaria (cirugía descompresiva occipitocervical), un procedimiento relativamente sencillo, mientras que aquellos con MCC pueden requerir un abordaje quirúrgico distinto y más extenso, que incluye fusión craneocervical con o sin resección de la apófisis odontoides^{4,5}.

Según Bollo et al.⁶, las características radiológicas predictivas de necesidad de fusión craneocervical son la MC tipo 1.5, la invaginación basilar y un ángulo clivus-canal (ACC) < 125°. Según estos autores, las medidas morfológicas utilizadas para considerar MCC son la MC tipo 1.5 (descenso de las amígdalas cerebelosas y del tronco encefálico inferior a través del foramen magno), el retroceso de la apófisis odontoides del cuerpo vertebral C2 medida con la distancia pB-C2 (que debe ser > 9 mm), un ACC < 125°, invaginación basilar, angulación/*kinking* bulbar, asimilación del atlas y presencia de hidrocefalia, escoliosis y siringomielia. La MCC se diagnostica cuando está presente alguna de estas características^{6,7}.

Aunque el diagnóstico de MC1 se basa en aspectos morfológicos observados en la resonancia magnética (RM), la secuencia 2D cine por contraste de fase (RM-CF) es un procedimiento diagnóstico no invasivo útil para evaluar la dinámica del líquido cefalorraquídeo (LCR) en la unión craneocervical en la malformación de Chiari. Según Fan et al.⁸, se identifican diferentes patrones de alteraciones en la dinámica del flujo del LCR en pacientes con MC1, que influyen en la selección del abordaje quirúrgico.

El objetivo de este trabajo fue evaluar si el patrón de la dinámica del LCR en RM-CF puede discriminar entre MCS y MCC. Nuestra hipótesis es que los pacientes con MCC presentarán con mayor frecuencia bloqueo del flujo anterior del LCR, mientras que aquellos con MCS tendrán alteraciones aisladas en el flujo posterior del LCR.

Método

Aprobación del protocolo estándar

Se realizó un estudio retrospectivo, descriptivo y analítico que fue aprobado por el Comité de Ética institucional. Al tratarse de un estudio retrospectivo y no experimental, no fue necesario obtener el consentimiento informado individual de cada participante.

Participantes

Se incluyeron 25 pacientes pediátricos con diagnóstico de MC1 que contaban con una RM-CF prequirúrgica para evaluación de la dinámica del LCR, y que se sometieron a cirugía descompresiva occipitocervical en nuestra institución entre enero de 2013 y diciembre de 2021.

Los criterios de inclusión fueron pacientes entre 1 y 18 años con diagnóstico de MC1 tratados con cirugía entre enero de 2013 y diciembre de 2021, y contar con una RM-CF prequirúrgica realizada en un resonador de 1,5 o 3 T.

Se excluyeron los pacientes con RM-CF de LCR no evaluable o incompleta. Según los criterios morfológicos de diagnóstico de MCC, los pacientes fueron clasificados como MC1 compleja (Fig. 1).

Protocolo de RM

La RM cerebral fue adquirida utilizando un escáner de 1,5 o 3 T (General Electric o Philips). Las exploraciones de RM incluyeron una secuencia sagital ponderada en T2 de cortes finos, una secuencia sagital ponderada en T1, una secuencia axial T2 y una secuencia cine de contraste de fase 2D en el plano sagital.

La RM se realizó con una bobina receptora de cabeza y cuello de 16 canales en un escáner de 3 T y una bobina de cabeza y cuello de 8 canales en un escáner de 1,5 T. Los parámetros de la RM-CF se detallan en la [tabla 1](#).

Se evaluó el flujo de LCR en toda la fosa posterior, incluyendo el acueducto de Silvio, el cuarto ventrículo

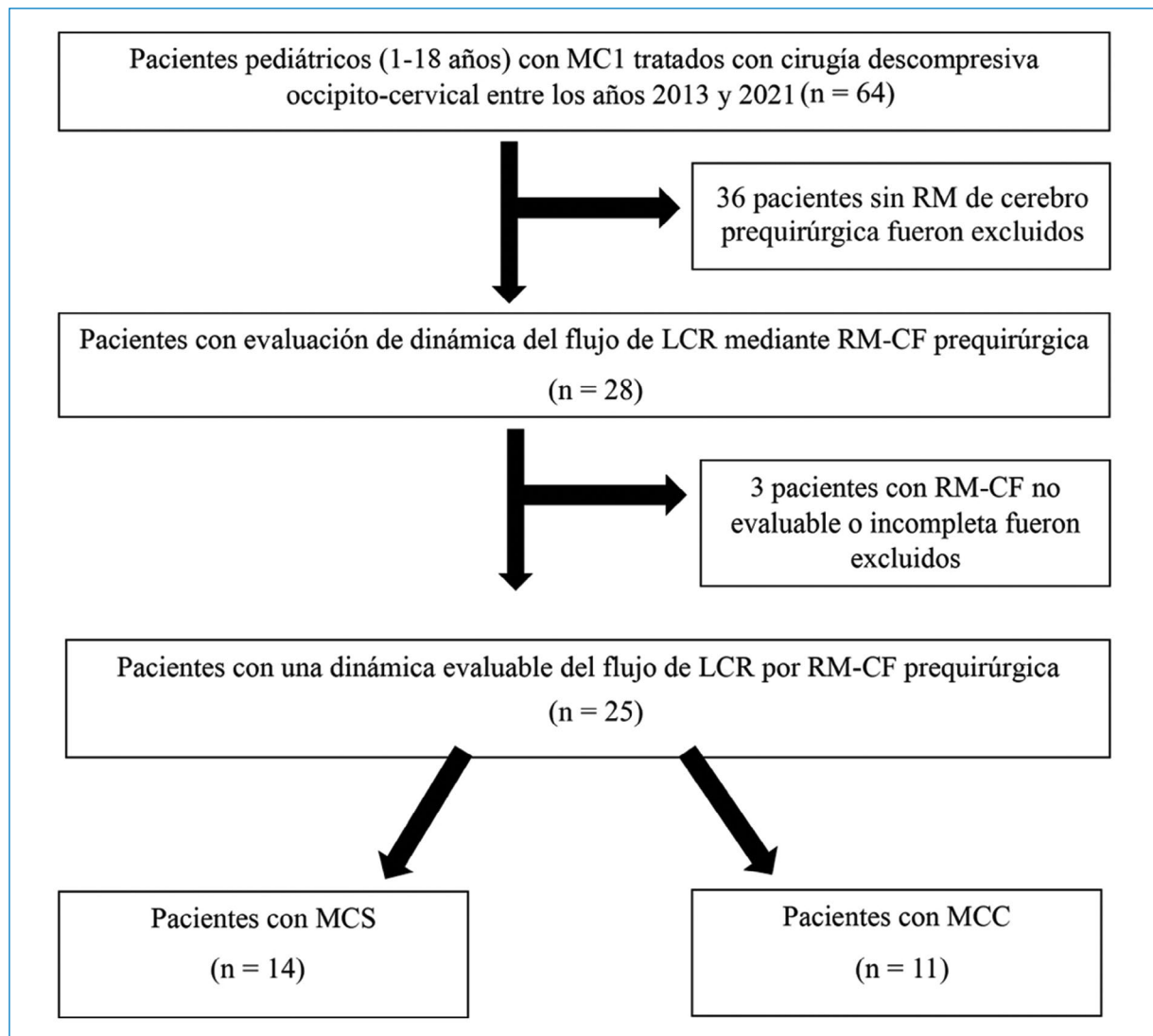


Figura 1. Diagrama de flujo que muestra los criterios de inclusión y exclusión de los sujetos del estudio en las distintas etapas de la evaluación realizada.

y el foramen magno, centrándose el análisis en el espacio ventral entre el clivus y el tronco encefálico a nivel del foramen magno (cisterna bulbar), y el espacio de la fosa posterior detrás del cerebelo y las amígdalas cerebelosas (cisterna magna).

Análisis de RM

Las RM anonimizadas de todos los sujetos fueron evaluadas independientemente por dos neurorradiólogos (uno semisenior [M.C.] y otro senior [M.A.], con más de cinco y 10 años de experiencia, respectivamente), y por un residente de radiología (con tres años de experiencia), quienes no conocían el diagnóstico de los pacientes. Cuando las evaluaciones diferían, el caso fue

reevaluado, considerando el diagnóstico del neurorradiólogo senior como referencia.

Las mediciones y las evaluaciones se llevaron a cabo con las herramientas gráficas disponibles en el sistema PACS (Carestream).

Mediciones morfológicas cualitativas y cuantitativas estandarizadas

Se utilizaron los criterios morfológicos de Bollo et al.⁶ para diagnosticar MCC, que incluyen MC tipo 1.5, retroceso odontoideo (cuando la distancia pB-C2 es > 9 mm), ACC < 125°, invaginación basilar, siringomielia y angulación/kinking bulbar^{6,7}. Se consideró MCC cuando al menos una de dichas alteraciones estaba presente (Fig. 2).

Tabla 1. Parámetros de la exploración de RM por contraste de fase

Parámetro técnico	Escáner de 3 T	Escáner de 1,5 T
Orientación	Sagital	Sagital
Campo de visión (cm)	24	24
TR/TE (ms)	33/10,85	21/8,8
Tamaño de la matriz	512 × 512	256 × 256
Número de excitaciones	1	1
Grosor de corte (mm)	6	10
Número de cortes	48	21
Longitud del tren de ecos	1	1
Codificación de velocidad (cm/s)	15	15

TE: tiempo de eco; TR: tiempo de repetición.

Medidas funcionales cualitativas (RM-CF)

La dinámica del LCR fue evaluada cualitativamente y clasificada como normal (0), disminución (1) o bloqueo (2) posterior del flujo de LCR; disminución (3) o bloqueo (4) anterior del flujo de LCR; y disminución (5) o bloqueo (6) anterior y posterior del flujo de LCR (Fig. 3).

Análisis estadístico

Se analizaron los datos demográficos de los pacientes, las mediciones morfométricas y la dinámica del LCR en la RM-CF. Se realizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov para explorar la distribución de las variables cuantitativas⁹. Al presentar distribución normal, se expresaron como media y desvío estándar, y se aplicó la prueba t para el análisis de dos variables independientes⁹. Las variables categóricas se reportaron como porcentajes del total, y se aplicó la prueba de χ^2 o la prueba de Fisher cuando una o más frecuencias esperadas fueron < 5. El acuerdo interobservador se evaluó mediante el coeficiente kappa¹⁰. El análisis estadístico se realizó utilizando STATA versión 16 y se consideró estadísticamente significativo un valor de $p < 0,05$.

Resultados

De un total de 25 pacientes, el 52% (13) fueron de sexo femenino y la edad media fue de 9,6 años, con un desvío estándar de 4,6. La edad media de los pacientes con MCC fue de $8,45 \pm 4,69$ años, y la de los pacientes con MCS fue de $10,57 \pm 4,41$ años ($p = 0,2591$).

El grado de concordancia entre los evaluadores fue considerable o casi perfecto, con valores que oscilaron entre 0,79 y 0,92. El acuerdo interobservador entre el residente de radiología y el neurorradiólogo senior fue del 96% (casi perfecto), con un coeficiente kappa de $0,92 \pm 0,2$ para el diagnóstico del subtipo de MC1, y del 88% (casi perfecto) con un coeficiente kappa de $0,85 \pm 0,1$ respecto al patrón de dinámica del flujo de LCR.

El acuerdo interobservador entre los dos neurorradiólogos fue del 92% (casi perfecto), con un coeficiente kappa de $0,84 \pm 0,2$ para el diagnóstico del subtipo de MC1, y del 84% (considerable) con un coeficiente kappa de $0,79 \pm 0,1$ respecto al patrón de dinámica del LCR.

Once pacientes (44%) cumplieron los criterios diagnósticos de MCC y presentaron una mayor herniación amigdalina respecto a los pacientes con MCS ($13,4 \pm 5,5$ y $11,3 \pm 2,9$ mm, respectivamente; $p < 0,05$). En pacientes con MCC, la media de la distancia pB-C2 fue de $6,6 \pm 2,1$ mm y del ACC fue de $145,3 \pm 15^\circ$ (Tabla 2).

El 54,5% de los pacientes con MCC presentaron angulación/*kinking* bulbar y siringomielia, el 45,5% invaginación basilar, el 36,4% hidrocefalia y el 18,2% retroceso odontoideo (Tabla 3).

De los once pacientes con MCC, 2 (18,2%) presentaron pB-C2 > 9 mm y 1 (9,1%) ACC < 125°, mientras que los restantes fueron clasificados por la presencia de siringomielia (54,5%), angulación/*kinking* bulbar (54,5%) o invaginación basilar (45,5%).

Con respecto a la dinámica del LCR, los patrones 0, 1 y 2 estuvieron presentes en el 77,7% de los pacientes con MCS y ausentes en aquellos con MCC. Ningún paciente presentó el patrón 3. El patrón 4 estuvo presente en el 27,3% de los pacientes con el subtipo complejo, el patrón 5 en el 9,1% y el patrón 6 en el 63,6%. Cada uno de estos patrones estuvo presente en el 7,1% de los pacientes con MCS. Al estratificar los resultados, el 90,9% de los pacientes con MCC presentaron bloqueo anterior del flujo de LCR, frente al 14,3% de los pacientes con MCS ($p < 0,001$) (Tabla 4).

En la figura 4 se muestran las características y las diferencias predominantes de la MCS y la MCC. El paciente con MCS presenta una herniación amigdalina > 5 mm (9,3 mm) (Fig. 4A) y un patrón 1 de dinámica de LCR en la RM-CF (disminución posterior del flujo de LCR en la cisterna magna) (Fig. 4B). El paciente con MCC presenta herniación de las amígdalas cerebelosas y del tronco encefálico a través del foramen magno (MC tipo 1.5), angulación/*kinking* bulbar y

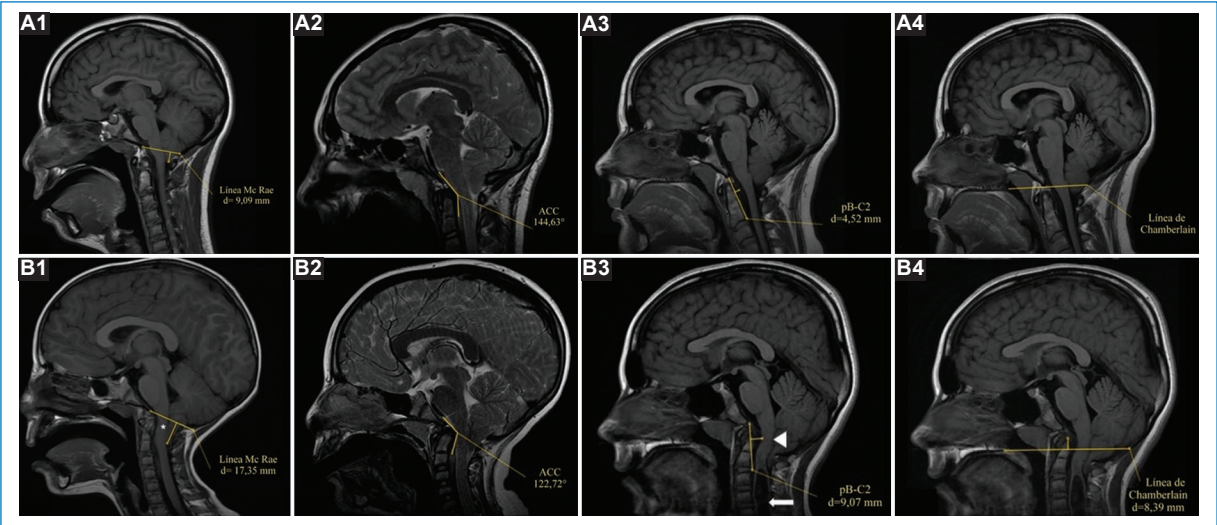


Figura 2. Comparación de la morfometría y los hallazgos morfológicos en pacientes con MCS (A) y MCC (B). (A1) Se trazó la línea de McRae (que une el basión con el opistión) para medir la herniación tonsilar, la cual se considera significativa cuando el descenso de las amígdalas cerebelosas a través del foramen magno es > 5 mm. El paciente tenía MCS con una herniación amigdalina de 9,09 mm. (B1) Paciente con MCC con una herniación tonsilar de 17,35 mm y descenso concomitante del bulbo raquídeo a través del foramen magno (asterisco), conformando una MC tipo 1.5. (B2) Se trazó el ACC entre la pendiente clival (línea que une el punto clival con la duramadre cervicomedular ventral) y la línea axial posterior (línea que conecta la duramadre cervicomedular ventral con la cortical posteroinferior del cuerpo vertebral C2). Este ángulo permite evaluar la cifosis craneocervical, que se considera cuando el ACC es < 125°. (A2) Paciente con MCS con un ACC de 144,63°. (B2) Paciente con MCC con un ACC de 122,72°. (B3) Se realizó la medida pB-C2 para valorar el retroceso de la apófisis odontoides de C2 y la compresión cervicobulbar. Para ello, se trazó la distancia perpendicular máxima desde la duramadre cervicomedular ventral a la línea basión-C2. Se considera retroceso de la apófisis odontoides cuando la medida pB-C2 es > 9 mm. (A3) Paciente con MCS con una distancia pB-C2 de 4,52 mm. (B3) Paciente con MCC con una distancia pB-C2 de 9,07 mm. (B4) Se trazó la línea de Chamberlain que une el borde posterior del paladar duro con el opistión. Cuando la apófisis odontoides de C2 sobrepasa esta línea > 3 mm, se considera que existe invaginación basilar. (A4) Paciente con MCS sin invaginación basilar (la apófisis odontoides de C2 no sobrepasa la línea de Chamberlain). (B4) Paciente con MCC con invaginación basilar (la apófisis odontoides de C2 sobrepasa la línea de Chamberlain en 8,39 mm).

Tabla 2. Medidas morfométricas

	Total MC1 (n = 25)	MCS (n = 14, 56%)	MCC (n = 11, 44%)	p*
Herniación amigdalina (mm), media±DE	13,4 ± 5,5	11,3 ± 2,9	16,1 ± 6,8	0,049
pB-C2 (mm), media ± DE	6,3 ± 1,6	6 ± 1,2	6,6 ± 2,1	0,451
ACC (°), media ± DE	147,3 ± 12,9	148,9 ± 11,3	145,3 ± 15	0,509

*Prueba t.
DE: desvío estándar; MC1: malformación de Arnold-Chiari tipo 1; MCC: malformación de Chiari compleja; MCS: malformación de Chiari simple.

siringomielia, así como invaginación basilar. En la RM-CF, este paciente presenta un patrón 6 de dinámica de LCR, con bloqueo anterior y posterior del flujo de LCR en las cisternas bulbar y magna, respectivamente (Fig. 4D).

Discusión

La MC1 es una de las anomalías más frecuentes de la unión craneocervical en pacientes pediátricos. La cefalea es el síntoma más reportado (81%), siendo de localización predominantemente suboccipital, de

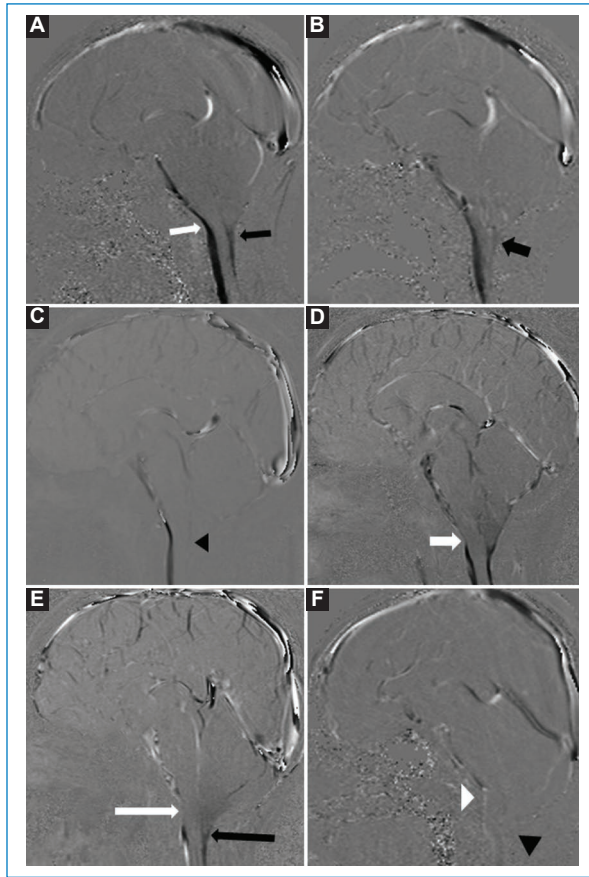


Figura 3. Patrones de la dinámica del flujo de LCR en RM-CF (imagen cualitativa de fase en plano sagital). **(A)** Patrón 0: flujo normal de LCR en la cisterna bulbar (flecha blanca) y la cisterna magna (flecha negra). **(B)** Patrón 1: disminución posterior del flujo de LCR en la cisterna magna (flecha negra). **(C)** Patrón 2: bloqueo posterior del flujo de LCR en la cisterna magna (punta de flecha negra). **(D)** Patrón 4: bloqueo anterior del flujo de LCR en la cisterna bulbar (flecha blanca). **(E)** Patrón 5: disminución del flujo de LCR tanto anterior en la cisterna bulbar (flecha blanca) como posterior en la cisterna magna (flecha negra). **(F)** Patrón 6: bloqueo del flujo de LCR anterior en la cisterna bulbar (punta de flecha blanca) y posterior en la cisterna magna (punta de flecha negra).

carácter transitorio (de segundos a menos de cinco minutos de duración) y asociada a la actividad, como toser, estornudar, reír, hacer ejercicio o maniobras de Valsalva, por lo cual es conocida como “cefalea asociada a la tos”¹¹. Sin embargo, si bien la MC1 suele manifestarse con cefalea, la presentación clínica puede variar desde casos asintomáticos hasta síntomas secundarios a la compresión bulbomedular. En este contexto, la descripción de la MCC realizada por Bollo et al.⁶ permitió identificar un subgrupo de pacientes con

Tabla 3. Hallazgos morfológicos en pacientes con MCC

Hallazgos	MCC (n = 11, 44%)
Angulación/ <i>kinking</i> bulbar, n (%)	6 (54,5)
Siringomielia, n (%)	6 (54,5)
Invaginación basilar, n (%)	5 (45,5)
Hidrocefalia, n (%)	4 (36,4)
Retroceso odontoideo, n (%) (pB-C2 > 9 mm)	2 (18,2)

MCC: malformación de Chiari compleja.

MC1 con una presentación clínica a edades más tempranas y con una forma de presentación más agresiva, con presencia de síntomas bulbares, incluyendo vértigo, diplopía, disfagia y apnea. Según estos autores, la presencia de al menos uno de los siguientes parámetros morfométricos permite diagnosticar MCC, incluyendo MC tipo 1.5; distancia pB-C2 > 9 mm, ACC anormal < 125°, invaginación basilar, angulación/*kinking* bulbar, asimilación del atlas, hidrocefalia, escoliosis y siringomielia. Todas estas características pueden identificarse mediante RM^{6,7}.

Si bien los valores promedio de pB-C2 y del ángulo clivus-canal en el subgrupo MCC se encontraron dentro de rangos no patológicos, la clasificación como malformación de Chiari compleja se realizó cuando estuvo presente al menos uno de los criterios morfológicos descritos por Bollo et al. En nuestra serie, la mayoría de los pacientes clasificados como MCC cumplían criterios distintos de pB-C2 > 9 mm o ACC < 125°, principalmente siringomielia, angulación/*kinking* bulbar e invaginación basilar. Esto explica que los valores medios de dichas variables no reflejen necesariamente alteraciones en todos los pacientes del subgrupo.

En nuestro trabajo se incluyeron 25 pacientes pediátricos con MC1, con una edad media de $9,6 \pm 4,6$ años, similar a la reportado en la literatura ($9,7 \pm 9,1$ años)⁶. Asimismo, se evidenció que la edad de los pacientes con MCC ($8,45 \pm 4,69$ años) era menor que la de aquellos con MCS ($10,57 \pm 4,41$ años), en concordancia con la literatura ($8,7 \pm 5,1$ años vs. $9,7 \pm 9,1$ años, respectivamente)⁶.

La mitad de nuestros pacientes (52%) eran del sexo femenino, similar a lo publicado (44%)⁶. Once pacientes (44%) cumplieron los criterios diagnósticos de MCC, con un porcentaje mayor que el reportado en la literatura (18,8%)⁶. Los pacientes con MCC presentaron una mayor herniación amigdalina que aquellos con

Tabla 4. Patrón de dinámica del LCR en secuencia cine por contraste de fase de RM

Patrón de dinámica del LCR	Total MC1 (n = 25)	MCS (n = 14, 56%)	MCC (n = 11, 44%)	p*
0, n (%)	4 (16)	4 (28,6)	0 (0)	0,1052
1, n (%)	6 (24)	4 (42)	0 (0)	0,1052
2, n (%)	1 (4)	1 (7,1)	0 (0)	1
3, n (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1
4, n (%)	4 (16)	1 (7,1)	3 (27,3)	0,5956
5, n (%)	2 (8)	1 (7,1)	1 (9,1)	1
6, n (%)	8 (32)	1 (7,1)	7 (63,6)	0,0072
4, 5 y 6, n (%)	14 (56)	3 (21,4)	11 (100)	< 0,001
4 y 6, n (%)	12 (48)	2 (14,3)	10 (90,9)	< 0,001

*Prueba de χ^2 o prueba de Fisher cuando una o más frecuencias esperadas eran < 5.
 LCR: líquido cefalorraquídeo; MC1: malformación de Arnold-Chiari tipo 1;
 MCC: malformación de Chiari compleja; MCS: malformación de Chiari simple.

MCS ($16,1 \pm 6,8$ vs. $11,3 \pm 2,9$ mm, respectivamente; $p < 0,05$), hallazgo similar al observado por Bollo et al.⁶ ($16,3 \pm 6,5$ vs. $13 \pm 5,1$ mm, respectivamente; $p = 0,02$). De los pacientes con MCC, el 45,5% presentaron invaginación basilar y el 54,5% siringomielia, en proporciones similares a las encontradas por Bollo et al.⁶ (37% y 47%, respectivamente). Sin embargo, la presencia de angulación/*kinking* bulbar (54,5%) y de retroceso odontoideo (18,2%) de nuestros pacientes con MCC fue menor en comparación con lo constatado en el trabajo de dichos autores (79% y 68%, respectivamente)⁶. Asimismo, la distancia pB-C2 fue menor en nuestros pacientes con MCC ($6,6 \pm 2,1$ mm) respecto a lo reportado ($10,2 \pm 2,3$ mm), mientras que la media del ACC fue mayor en nuestro trabajo ($145,3 \pm 15^\circ$) que en publicaciones previas ($115,2 \pm 17,2^\circ$)⁶.

La RM-CF es un método diagnóstico no invasivo utilizado con frecuencia para evaluar de forma cualitativa y cuantitativa la circulación del LCR en la charnela craneocervical en pacientes con malformación de Chiari. En condiciones normales, el flujo de LCR es pulsátil y sincrónico con el ciclo cardíaco, siendo caudal durante la sístole y craneal durante la diástole. En los pacientes con MC1 suele observarse flujo caudal en fase media diastólica e inversión del flujo en fase tardía sistólica¹².

Si bien dicha secuencia es útil para detectar una obstrucción del flujo del LCR en el foramen magno y mostrar una herniación clínicamente relevante, existe poca información sobre la dinámica del LCR en la MCC.

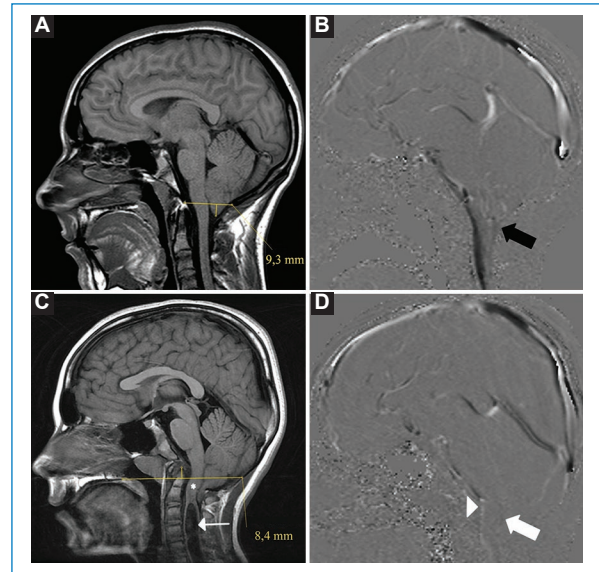


Figura 4. Diferencias morfológicas y del patrón de dinámica del flujo de LCR en RM-CF entre un paciente con MCS (A y B) y un paciente con MCC (C y D). (A) Secuencia ponderada en T1 en plano sagital. Se trazó la línea de McRae (que une el basión y el opistión) para medir la herniación amigdalina a través del foramen magno, que es > 5 mm (9,3 mm). (B) Dinámica cualitativa del LCR en RM-CF (imagen cualitativa de fase en plano sagital). Se observa el patrón 1 (disminución posterior del flujo de LCR) (flecha negra). (C) Secuencia ponderada en T1 en el plano sagital. Se trazó la línea de Chamberlain (que une el borde posterior del paladar duro con el opistión) para evaluar la invaginación basilar, la cual se considera presente cuando la punta de la apófisis odontoides de C2 está por encima de esta línea > 3 mm (8,4 mm). También se observan angulación/*kinking* bulbar (asterisco blanco) y siringomielia (flecha blanca). (D) Dinámica cualitativa del flujo de LCR en RM-CF (imagen cualitativa de fase en el plano sagital). Se observa el patrón 6, con bloqueo anterior (punta de flecha blanca) y posterior (flecha blanca) del flujo de LCR en las cisternas bulbar y magna, respectivamente.

Fan et al.⁸ clasificaron la dinámica del LCR en la MC1 en tres patrones, que influyen en la selección del tratamiento descompresivo a realizar. El patrón tipo 1, caracterizado por obstrucción del flujo de LCR en la fosa posterior en situación dorsal al cerebelo y amígdalas cerebelosas, sugiere realizar descompresión subdural. En el patrón tipo 2, en el cual existe obstrucción del flujo de LCR en la fosa posterior detrás del cerebelo y las amígdalas cerebelosas, en el cuarto ventrículo y el acueducto de Silvio, resulta útil realizar una ecografía intraoperatoria para determinar el tipo de tratamiento. Los pacientes con el patrón tipo 3, en el que existe una obstrucción del flujo de LCR en la fosa

posterior detrás del cerebelo y las amígdalas cerebelosas, en el cuarto ventrículo, el acueducto de Silvio y, además, en el espacio ventral entre el clivus y el tronco encefálico, suelen requerir cirugía descompresiva con manipulación aracnoidea⁸. Sin embargo, estos autores no hacen referencia a la MCC. Por lo tanto, nuestro objetivo fue evaluar si el patrón de dinámica del LCR en la RM-CF podría discriminar entre MCS y MCC, y permitir la identificación de pacientes que podrían requerir un abordaje quirúrgico diferente⁷.

Considerando que los criterios diagnósticos de MCC incluyen mecanismos de compresión anterior que agravan la obstrucción posterior del LCR causada por la herniación de las amígdalas cerebelosas, planteamos la hipótesis de que la dinámica del LCR podría ser útil en el diagnóstico de este subtipo de MC1. Nuestro trabajo ha demostrado que el patrón de dinámica del LCR podría ayudar a identificar la MCC. De los pacientes con MCC, el 63,6% presentaron bloqueo anterior y posterior del LCR (patrón 6), porcentaje mayor que el del patrón 3 reportado por Fan et al.⁸ (33,3%, 42 pacientes de un total de 126). Respecto a aquellos con MCS, el 35,7% de nuestros pacientes presentaron alteración posterior del flujo de LCR (patrones 1 y 2), porcentaje mayor que el del patrón 1 hallado por Fan et al.⁸ (28,6%, 36 pacientes de un total de 126). Estas diferencias podrían deberse a que en el trabajo de Fan et al.⁸ se incluyó un mayor número de pacientes.

En resumen, la mayoría de nuestros pacientes con MCC (90,9%) presentaron un bloqueo anterior del flujo de LCR asociado o no con un bloqueo posterior ($p < 0,001$), mientras que aquellos con MCS mostraron una alteración posterior (35,7%) o en menor medida un flujo de LCR conservado en la charnela craneocervical (28,6%).

La principal fortaleza de nuestro trabajo es la identificación de pacientes pediátricos con MCC mediante la dinámica de LCR en la RM-CF prequirúrgica, lo cual no había sido evaluado en publicaciones previas. Esta diferenciación podría ayudar y orientar al neurocirujano sobre el tipo de abordaje quirúrgico necesario, favoreciendo un mejor pronóstico luego de la cirugía. Sin embargo, nuestro estudio tiene algunas limitaciones. En primer lugar, el análisis de la dinámica del LCR fue cualitativo, en vez de cuantitativo. Si bien un análisis cuantitativo podría ser más preciso y reproducible, también consumiría más tiempo y requeriría un *software* específico para su procesamiento. Cabe destacar que, a pesar de haber realizado un análisis cualitativo, el acuerdo interobservador de los tres evaluadores en relación con el patrón de dinámica de LCR fue alto

(coeficiente kappa entre 0,79 y 0,92). Otra limitación de nuestro trabajo fue el tamaño de la muestra, ya que en las publicaciones de Bollo et al. y de Fan et al.⁸ el número de pacientes incluidos fue mayor, lo que podría explicar las diferencias constatadas con respecto a nuestros hallazgos. Asimismo, al ser nuestro estudio de índole retrospectiva, no se valoró la evolución clínica de los pacientes tras la cirugía, lo que podría haber sido de mucha utilidad.

Conclusiones

El bloqueo anterior del flujo del LCR, solo o junto con bloqueo posterior, es más frecuente en los pacientes con MCC que en aquellos con MCS. El patrón de dinámica del LCR, junto con los criterios diagnósticos morfológicos, podría facilitar la elección del procedimiento quirúrgico en los pacientes con MC1.

Financiamiento

Los autores declaran no haber recibido financiamiento para este estudio.

Conflicto de intereses

J. Hernández-Pinzón es editor asociado de la *Revista Argentina de Radiología*. Los demás autores declaran no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable, de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. Los procedimientos fueron autorizados por el Comité de Ética de la institución.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. Los autores han obtenido la aprobación del Comité de Ética para el análisis de datos clínicos obtenidos de forma rutinaria y anonimizados. Debido a la naturaleza del estudio, no fue necesario el consentimiento informado individual. Se han seguido las recomendaciones éticas pertinentes.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial. Los autores declaran que no se utilizó ningún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción ni la creación de contenido de este manuscrito.

Referencias

1. Aboulezz AO, Sartor K, Geyer CA, Gado MH. Position of cerebellar tonsils in the normal population and in patients with Chiari malformation: a quantitative approach with MR imaging. *J Comput Assist Tomogr.* 1985;9:1033-6.
2. Loftus JR, Wassef C, Elikka S. Chiari I deformity: beyond 5 mm below the foramen magnum. *Radiographics.* 2024;44:e230227.
3. Brockmeyer DL. The complex Chiari: issues and management strategies. *Neurol Sci.* 2011;32(Suppl 3):S345-7.
4. Moore HE, Moore KR. Magnetic resonance imaging features of complex Chiari malformation variant of Chiari 1 malformation. *Pediatr Radiol.* 2014;44:1403-11.
5. Ho WSC, Brockmeyer DL. Complex Chiari malformation: using cranio-vertebral junction metrics to guide treatment. *Childs Nerv Syst.* 2019;35:1847-51.
6. Bollo RJ, Riva-Cambrin J, Brockmeyer MM, Brockmeyer DL. Complex Chiari malformations in children: an analysis of preoperative risk factors for occipitocervical fusion. *J Neurosurg Pediatr.* 2012;10:134-41.
7. Brockmeyer DL, Spader HS. Complex Chiari malformations in children: diagnosis and management. *Neurosurg Clin North Am.* 2015;26:555-60.
8. Fan T, Zhao H, Zhao X, Liang C, Wang Y, Gai Q. Surgical management of Chiari I malformation based on different cerebrospinal fluid flow patterns at the cranial-vertebral junction. *Neurosurg Rev.* 2017;40:663-70.
9. Khan AM, Goel A. Basics of statistical comparisons. *Indian Pediatr.* 2021;58:987-90.
10. McHugh ML. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochem Med (Zagreb).* 2012;22:276-82.
11. Bezuidenhout AF, Chang YM, Heilman CB, Bhadelia RA. Headache in Chiari malformation. *Neuroimaging Clin North Am.* 2019;29:243-53.
12. Battal B, Kocaoglu M, Bulakbasi N, Husmen G, Sanal HT, Tayfun C. Cerebrospinal fluid flow imaging by using phase-contrast MR technique. *Br J Radiol.* 2011;84:758-65.