

Beneficios de la resonancia magnética para el estudio del *pectus excavatum* en niños: experiencia inicial

M. Dore Reyes, C. De La Torre, M. Bret Zurita¹, P. Triana Junco, J. Jiménez Gómez, M. Romo Muñoz, A. Vilanova Sánchez, M. Parrón Pajares¹, A. Pérez Vigarra, J.L. Encinas Hernández, L. Martínez Martínez, F. Hernández Oliveros, M. López-Santamaría

Servicio de Cirugía Pediátrica, ¹Servicio de Radiología Pediátrica. Hospital Universitario La Paz. Madrid.

RESUMEN

Introducción/Objetivos. Las alteraciones cardiovasculares provocadas por la impronta del esternón en el mediastino causan muchos de los síntomas que presentan los pacientes con *pectus excavatum* (PE). Su estudio anatómico y funcional es fundamental para el entendimiento de la enfermedad y para la elección del tratamiento adecuado. Nuestro objetivo es describir el uso de la resonancia magnética (RM) en el estudio de los pacientes con PE, y si esta prueba es equiparable o superior a otras técnicas de imagen.

Pacientes y métodos. Evaluación retrospectiva de los resultados de las primeras 10 RM indicadas en pacientes con PE en el período de octubre 2015-2016. Se analizaron los índices de PE: Haller, corrección, asimetría, así como el grado de rotación esternal. Además se realizó un análisis de la función ventricular derecha mediante ecocardiografía y RM.

Resultados. Los 10 pacientes evaluados con RM presentaron: índice de Haller en inspiración de 3,75 (3,5-7,3) y en espiración de 4,9 (3,9-10,8), índice de corrección 24% (5-37%) y rotación esternal 12° (0°-31°). Del estudio cardiovascular destaca una fracción de eyección del ventrículo derecho (FEVD) del 50% (38-64%), con 9 de los pacientes por debajo del valor normal 61% (54-71%). La ecocardiografía infraestimó la alteración funcional en la mayoría de casos, al calificarla de normal en el 100%.

Conclusión. Este estudio inicial sugiere que el uso de la RM como prueba de elección en la evaluación del PE susceptible de corrección quirúrgica es factible. La ausencia de radiación ofrece la capacidad de un estudio tanto anatómico como cardiovascular completo y dinámico.

PALABRAS CLAVE: *Pectus excavatum*; Resonancia magnética.

BENEFITS OF MAGNETIC RESONANCE FOR THE STUDY OF PECTUS EXCAVATUM IN CHILDREN: INITIAL EXPERIENCE

ABSTRACT

Introduction/Aim of the study. In patients with PE, cardiovascular alterations ensue as a result of the mediastinum compression caused by sternum impingement and is responsible of many of the symptoms. Anatomical and functional assessment is of the utmost importance for a comprehensive understanding of the disease and an adequate treatment plan. Our aim was to describe the use of magnetic resonance image (MRI) in the study of PE and whether it is comparable to imaging techniques.

Patients and methods. A retrospective study of the first 10 patients in which an MRI was performed as part of PE assessment within august 2015-2016. PE indexes were evaluated: Haller, correction, asymmetry, as well as sternal rotation. An analysis of right ventricular function was carried out comparing echocardiogram and MRI.

Results. MRI scan on 10 patients showed the following findings: Haller index: inspiration: 3.75 (3.5-7.3) and expiration 4.9 (3.9-10.8), correction index of 24% (5-37%) and a sternal rotation of 12° (0-31°). The cardiovascular study showed a median ejection fraction of the right ventricle (EFRV) of 50% (38-64%), with 9 of the 10 patients under the normal value of 61% (54-71%). Echocardiographic findings underestimated functional alterations in all of the patients.

Conclusion. This initial study suggests that the use of MRI as a test of choice in the evaluation of PE subject to surgical correction is feasible. Absence of radiation offers the capacity of a complete and dynamic anatomical as well as cardiovascular study.

KEY WORDS: *Pectus excavatum*; Magnetic resonance.

Correspondencia: Dra. Mariela Dore Reyes. Servicio de Cirugía Pediátrica. Hospital Universitario La Paz. P^o de la Castellana, 261. 28046 Madrid
E-mail: macridore@gmail.com

Trabajo presentado en el 55º Congreso de la Sociedad Española de Cirugía Pediátrica celebrado el 26 y 27 de mayo en Oviedo.

Recibido: Mayo 2016

Aceptado: Mayo 2017

INTRODUCCIÓN/OBJETIVOS

El *pectus excavatum* (PE) es la malformación más frecuente de la pared torácica. Afecta a 1 por cada 300-400 nacidos vivos, con una *ratio* hombre:mujer de 5:1⁽¹⁻³⁾. Es más frecuente en pacientes con antecedentes familiares de PE, y puede ocurrir asociado a algún síndrome como Marfan, Ehlers-Danlos o escoliosis congénita⁽⁴⁾.

En cuanto a la etiología, las teorías más recientes señalan que se produce una alteración en la microestructura del cartílago costal. Esta conduce a una desestructuración de la arquitectura celular del mismo, una mayor sensibilidad ante las presiones torácicas y con ello al hundimiento de la pared torácica anterior. Esta teoría explica la incidencia de PE en aquellos pacientes con síndromes asociados a debilidad del cartílago costal (Ehlers-Danlos, Marfan, osteogenesis imperfecta, etc.). Otra teoría sugiere un anclaje posterior del esternón al diafragma, lo que además explicaría el 33% de incidencia de PE tras la reparación de hernias diafragmáticas congénitas⁽⁵⁾. Sin embargo, su causa última aún es desconocida.

Los síntomas dependen fundamentalmente del grado de hundimiento esternal. La mayoría de pacientes niegan molestias durante la infancia, probablemente debido a la mayor elasticidad del tórax en este período. Llegada la pubertad y adolescencia, coincidiendo con los períodos de máximo crecimiento, aparecen de forma gradual las molestias torácicas, palpitaciones, disnea de esfuerzos, y limitación del ejercicio. Cuando aparecen, los síntomas son principalmente disnea con el ejercicio y dolor torácico^(3,6,7). El grado de afección psicológica de cada paciente, que es independiente del grado de hundimiento o severidad de la deformidad, puede conducir en ocasiones a conductas patológicas las cuales también deberán ser atendidas⁽³⁾.

Aparte de la historia clínica y la exploración física, la evaluación de los pacientes con PE puede incluir diferentes pruebas para completar el estudio. Estas irán dirigidas tanto al estudio anatómico de la misma como a conocer las restricciones funcionales que provoca. El estudio anatómico clásicamente incluye la radiografía simple del tórax en proyección tanto antero-posterior como lateral y la tomografía computarizada (TC) torácica. Recientemente, se han incluido los escáneres de superficie en 3D que permiten una pesquisa rápida y ambulatoria de la magnitud de la deformidad. Estas pruebas permiten el estudio anatómico de la malformación y calcular diferentes índices de gravedad para estandarizar los casos y planificar el tratamiento. El estudio funcional suele incluir pruebas de función respiratoria (espirometría) y cardíaca (ecocardiograma).

La TC torácica permite realizar un estudio anatómico completo con reconstrucciones muy precisas del tórax con el inconveniente de la exposición a radiación. Sin embargo, a pesar de su alta definición no permite realizar un estudio las cuatro cámaras cardíacas, ni análisis de su función. Esta situación ha desencadenado la búsqueda de una prueba de imagen idónea, que permita realizar un estudio tanto anatómico como funcional en ausencia de radiación.

Las alteraciones funcionales en pacientes con PE han sido ampliamente estudiadas, sin embargo los resultados habían sido incongruentes. Típicamente los pacientes con PE presentan disminución del volumen espiratorio forzado (VEF) y disminución de la capacidad vital (CV) con un patrón restrictivo en la espirometría. Recientemente, la recolección de información de un mayor número de pacientes ha permitido

realizar estudios que demuestran las alteraciones funcionales respiratorias y cardíacas, así como la mejoría tras la corrección de la deformidad⁽⁸⁾. Aunque el mecanismo de las alteraciones respiratorias es probablemente multifactorial, Redlinger y cols. demostraron un proceso de ventilación anormal en los pacientes con PE. Mediante el uso de la pletismografía encontraron una disminución focal de la motilidad torácica en la zona de la deformidad, además de un aumento de la contribución abdominal al proceso de ventilación⁽⁹⁾. Birke-meier y cols. además ahondan en el estudio respiratorio encontrando que la deformidad varía con el ciclo respiratorio, siendo mayor en espiración profunda, que en inspiración o en posición neutra⁽⁶⁾. Estos hallazgos sugieren que el estudio dinámico de la deformidad permite realizar una evaluación integral de la misma.

Lograr demostrar objetivamente las alteraciones de la función cardíaca en el PE ha sido un auténtico reto. La disminución de la distancia esterno-vertebral en el PE ocasiona un desplazamiento y rotación del corazón, que además se encuentra comprimido por el esternón⁽¹⁰⁾. Otras anomalías descritas incluyen el prolapso de la válvula mitral^(5,10). La disminución de la función ventricular derecha (FVD) es, probablemente, secundaria a una restricción por compresión extrínseca. La valoración de la FVD por ecocardiografía se encuentra limitada por la misma anatomía, y es difícil cuantificarla. La resonancia magnética cardíaca (RM-c) se ha establecido como el *gold standard* en el estudio de la función cardíaca para todas las cardiopatías, ya que no depende de la anatomía del tórax, y permite una estimación exacta de la función biventricular^(10,11).

Por todo ello y a pesar de tener menor resolución para el estudio de la parrilla costal hemos decidido realizar la RM-c como estudio fundamental a los pacientes con PE graves, aquellos con manifestaciones clínicas o aquellos que por razones psicosociales soliciten la intervención. Nuestro objetivo es describir el uso de la RM-c en el estudio de los pacientes con PE, y si esta prueba es equiparable o superior a otras técnicas de imagen.

PACIENTES Y MÉTODOS

Estudio retrospectivo de 10 pacientes consecutivos (9 hombres y 1 mujer) con diagnóstico de PE moderado-grave o sintomático en el período de 10 meses a partir de octubre 2015. En todos ellos se realizaron de forma preliminar una radiografía del tórax AP y lateral, una espirometría y un ecocardiograma. En vez de realizar la TC torácica como prueba de imagen definitiva, lo cual era la práctica habitual en nuestro centro, se realizó una RM-c.

El protocolo de estudio fue elaborado por el servicio de radiología infantil de nuestro centro basándose en la bibliografía descrita hasta el momento y en los medios disponibles. Se realizaron los estudios de RM torácica en secuencias morfológicas Echo de Gradiente (ECG) potenciadas en T2, sangre blanca 2D axial en inspiración y espiración para valorar la

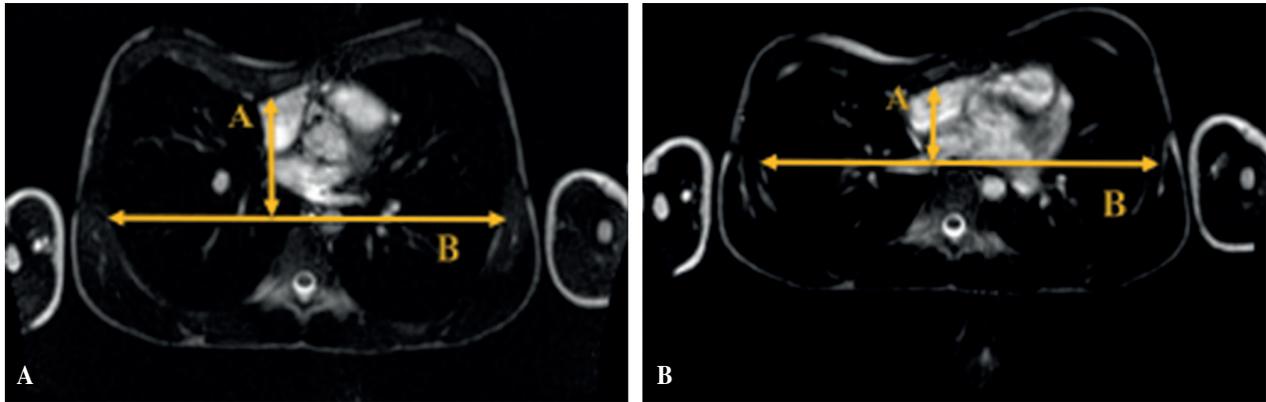


Figura 1. Índice de Haller: B/A. A) Índice de Haller en inspiración de 3,3. B) Índice de Haller en espiración de 5,2.

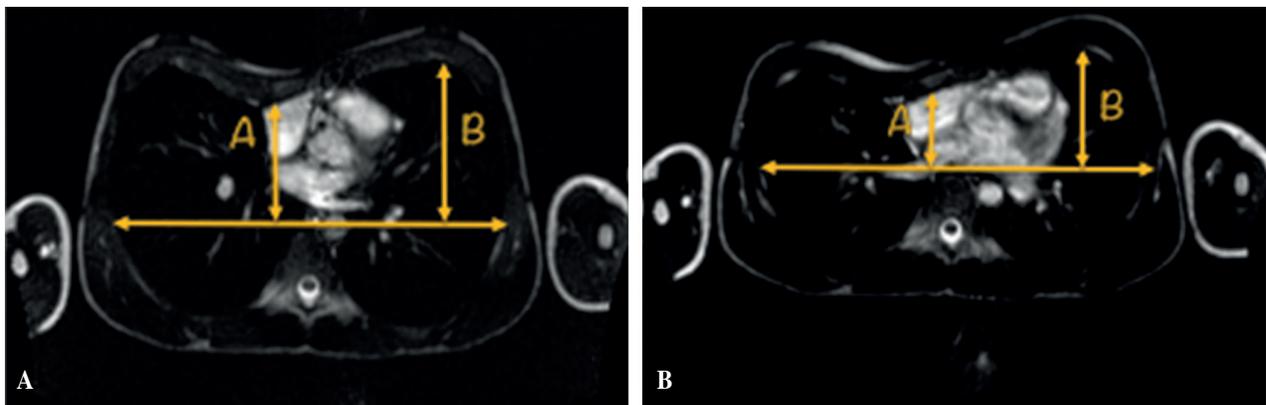


Figura 2. Índice de corrección: $[(B-A)/B] \times 100$. A) Índice de corrección en inspiración de 26%. B) Índice de corrección en espiración del 36%.

deformidad de la caja torácica. Además, en corte coronal y sagital y en inspiración permitieron valorar posibles alteraciones asociadas en aorta y arterias pulmonares.

Mediante secuencias ECG-gated 2D *steady-state free precession*, eje corto se cuantificaron los volúmenes cardíacos telesistólico, telediastólico, índice sistólico, índice cardíaco y fracción de eyección de ambos ventrículos. En las secuencias ECG-gated modo cine en 4 cámaras se evaluó la repercusión de la deformidad torácica sobre las cámaras cardíacas y las relaciones anatómicas esternales con la aurícula derecha, surco atrioventricular derecho o pared anterior del ventrículo derecho. En las proyecciones axiales se realizaron los cálculos del índice de Haller, índice de asimetría derecha/izquierda, ángulo de inclinación o rotación esternal e índice de corrección.

El índice de Haller se calculó al obtener el diámetro transversal máximo del tórax y dividirlo entre el valor mínimo del diámetro anteroposterior (entre la cara anterior de la columna vertebral hasta la porción más desplazada posteriormente del tórax anterior). Se consideraron índices de Haller mayores de 3,21 como malformación grave (Fig. 1).

El gran problema del índice de Haller es su dependencia del diámetro transversal del tórax, que puede llegar a enmas-

carar una deformidad importante o acentuar una deformidad leve⁽²⁾.

El índice de corrección requirió trazar una línea imaginaria en el borde anterior de la columna vertebral. Se realiza una medición de la distancia entre dicha línea y el punto de mayor hundimiento esternal. Además, se traza una línea entre dicha línea y la superficie interna de la costilla más anterior. Se divide la diferencia entre ambas, se divide entre la última y se multiplica por 100, generando un porcentaje de hundimiento esternal. Los valores superiores a 10 se consideran el punto de corte para separar a los pacientes con PE importante de aquellos con variaciones mínimas de la normalidad⁽²⁾ (Fig. 2).

El índice de asimetría se calculó al obtener en un mismo corte, el mayor diámetro del hemitórax derecho y del izquierdo, dividiéndolos entre sí⁽²⁾ (Fig. 3).

Finalmente, el ángulo de inclinación o rotación esternal ha sido calculado mediante la medición del ángulo entre el eje transversal del esternón y el verdadero plano coronal/horizontal del tórax, considerándose severos los valores mayores de 30°^(2,12) (Fig. 4).

A todos los pacientes se les realizó ecocardiografía para valoración de anomalías asociadas. Se valoró la función ven-

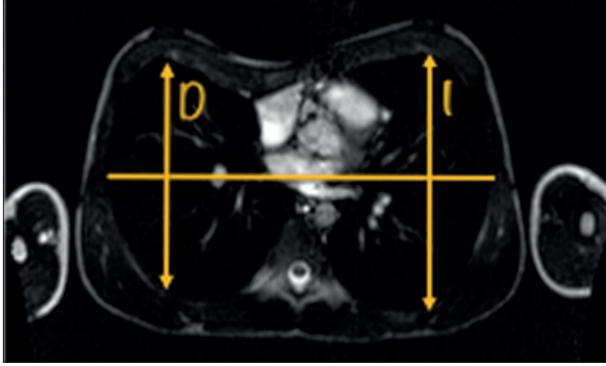


Figura 3. Índice de corrección: $(D/I) \times 100$. Índice de corrección del 66%.

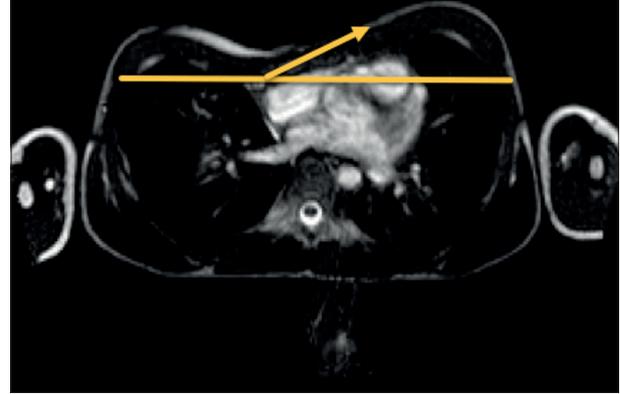


Figura 4. Ángulo de rotación esternal. Ángulo de rotación esternal de 27°.

tricular derecha subjetivamente mediante TAPSE (*Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion*) que mide el acortamiento del ápex a la base cardíaca, estimando así la función global ventricular derecha^(13,14).

RESULTADOS

En un período de 10 meses, se han realizado un total de 10 pruebas de RM-c en el estudio preoperatorio de pacientes con *pectus excavatum* (PE) que se presentaron síntomas incapacitantes (disnea de esfuerzos, dolor torácico o alteraciones psicológicas secundarias al complejo físico o una rápida progresión de la deformidad). La mediana de edad de los pacientes fue de 14 (9-15) años. A todos se les realizó una radiografía del tórax, espirometría, ecocardiograma y RM torácica.

Se realizó el cálculo de los índices de Haller tanto en inspiración como en espiración, obteniéndose medianas de 3,8 (3,5-7,3) y 4,9 (3,9-10,8), respectivamente. El índice de corrección también se midió en ambas fases de la respiración encontrándose en inspiración del 24% (5-37%) y en espiración del 37% (6-47%). La RM, al ser estudio dinámico nos permitió

cuantificar en ambos casos la relación entre el hundimiento esternal y la respiración, encontrándose una tendencia a mayor gravedad en espiración ($p > 0,05$).

Aquellos índices que indican asimetría (índice de asimetría y ángulo de rotación esternal) no demostraron variación con la respiración. El índice de asimetría demostró un índice de 0,89 tanto en inspiración como en espiración con un rango entre 0,02-1,00. El ángulo de rotación esternal identificó 8° (0-31°) de inclinación.

Dentro del estudio preoperatorio se debe realizar la valoración de la función cardiovascular, en este caso mediante ecocardiograma y RM. Se encontró que todos los pacientes presentaron un ecocardiograma con la función cardíaca dentro de los límites normales (valoradas mediante TAPSE) y sin evidencia de anomalías estructurales importantes. Sin embargo, en la RM se encontraron hallazgos compatibles con alteraciones de la función cardíaca derecha, además de visualizar la impronta esternal sobre el corazón y su relación con el ciclo cardíaco. La fracción de eyección del ventrículo derecho (FEVD) fue del 50% (38,3-63,8%), por debajo del límite inferior de la normalidad del 80% [61% (54-71)]⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ (véase Tabla I).

Tabla I. Índices en pacientes con *pectus excavatum*.

Paciente	Índice Haller inspiración	Índice Haller espiración	Índice corrección inspiración	Índice corrección espiración	Índice asimetría	Rotación esternal (°)	FEVD (%)
1	3,6	5,1	23	40	0,89	14	47,3
2	7,3	3,9	30	45	0,89	19	38,3
3	3,6	4,6	25	47	1,00	9	63,8
4	3,6	4,6	14	32	0,95	30	52,0
5	5,9	10,7	33	36	0,93	36	57,0
6	3,5	5,0	17	18	0,98	0	49,0
7	3,6	5,7	5	6	0,95	8	47,0
8	4,3	4,8	35	38	0,70	6	50,5
9	5,1	10,8	37	45	1,00	18	50,0
10	3,9	4,2	12	13	1,00	0	50,0

DISCUSIÓN

Históricamente el PE fue considerado una malformación con implicaciones meramente estéticas, sin embargo el tiempo ha demostrado lo contrario, al encontrarse anomalías funcionales en estos pacientes⁽¹⁸⁾. La clínica aparecerá en función de la edad del paciente y del grado de hundimiento del esternón. En pacientes asintomáticos durante toda la adolescencia, la clínica puede aparecer en la edad adulta, momento en el que el tórax pierde gran parte de su elasticidad. La misión de todo cirujano pediátrico implicado en las malformaciones torácicas será la de ser capaz de diagnosticar y tratar no solo aquellos pacientes que presentan afectación clínica durante la edad pediátrica sino de también atender y tratar a aquellos que tienen altas posibilidades de padecerlo en el futuro.

Desde hace años los grupos con mayor experiencia y seguimiento de pacientes señalaron que la causante principal de los síntomas clínicos de los pacientes con PE era la compresión cardíaca⁽⁵⁾. Tanto la TC como el ecocardiograma infraestiman la implicación que tiene la impronta del esternón sobre el corazón, no pudiendo aportar datos objetivos sobre este punto. Por un lado, encontramos que la TC es muy superior a la RM en el estudio de las malformaciones tanto óseas como cartilaginosa, dada su capacidad de realizar reconstrucciones tridimensionales de gran calidad y por otro, nos limita llevar a cabo estudios dinámicos la radiación que implica.

La TC sigue siendo la prueba de elección preoperatoria en los casos de pacientes con dismorfias graves u otras malformaciones de la pared torácica susceptibles de corrección quirúrgica. No obstante, en el estudio de los pacientes con PE no nos es tan interesante el estudio óseo-cartilaginoso como el estudio de la compresión de los órganos internos. Consideramos que los índices estandarizados de gravedad se pueden medir igualmente tanto en la RM como en la TC, siendo ambas igual de eficaces para ayudar a establecer el plan quirúrgico. Si bien es cierto que la RM-c, al permitir un estudio completo durante todo el proceso de respiración, aporta información valiosa para la toma de decisiones.

El PE es una malformación dinámica, que ejerce efecto sobre el ciclo cardíaco y varía con el ciclo respiratorio. Es más algunos autores como Albertal y cols.⁽¹⁹⁾ recomiendan que, debido al dinamismo de la malformación con la respiración, la TC debería realizarse al final de la espiración, momento en el que las alteraciones son más marcadas, aludiendo al carácter cambiante de la malformación. La RM-c ofrece muchas ventajas sobre la TC para el estudio del PE. Debe ser el objetivo de todo profesional tratar de disminuir al máximo las dosis de radiación que todo paciente recibe, por lo tanto la primera y más evidente ventaja es que no somete a los pacientes a radiación. Esto, además, nos permitirá realizar estudios más amplios y dinámicos. Es decir, podemos estudiar la malformación torácica en las diferentes fases de la respiración y ver cómo se comporta. Al igual que Birkemeier y cols.⁽⁶⁾, hemos encontrado que mediante la RM-c el cálculo del índice de Haller y de corrección fue posible tanto en inspiración y

espiración, encontrándose diferencias considerables con el ciclo respiratorio. Esto también sería posible con una TC pero a costa de una gran dosis de radiación. Asimismo, podríamos repetir la RM tanto para ver la evolución del paciente como para comprobar el beneficio de las intervenciones correctoras. Por lo tanto, la RM-c permite un estudio más adecuado del dinamismo del PE⁽¹⁻³⁾.

Otra ventaja es la capacidad de la RM-c de estudiar el corazón desde un punto de vista tanto anatómico como funcional. No solo veremos la compresión sobre el corazón, usualmente el ventrículo derecho, y su desplazamiento, sino también es capaz de medir datos funcionales como la fracción de eyección. De acuerdo con la literatura reciente, hemos encontrado disminución de la FEVD en los pacientes con PE; este hallazgo, junto con las alteraciones de la contracción y relajación cardíaca secundaria a la impronta del esternón justifican la sintomatología y podrían ser la causa de la mayoría de los síntomas de estos pacientes durante la adolescencia^(2,3). Como comentamos al principio de este apartado, en aquellos pacientes asintomáticos pero con fracciones de eyección en rangos inferiores a la normalidad debemos esperar que los síntomas aparecerán en el futuro y ese dato debe ser conocido tanto por los profesionales como por los pacientes y familias para tomar las decisiones adecuadas.

La principal limitación del estudio es el número de pacientes y su carácter retrospectivo que no nos permite realizar grandes aseveraciones.

CONCLUSIÓN

Los datos preliminares sobre el uso de la RM-c en pacientes con PE sintomático, grave o con secuelas psicológicas secundarias demuestran que dicha prueba parece superior a la ecocardiografía para la valoración de la función cardiovascular, a la vez que permite la medición de los índices de gravedad de PE. Consideramos que la RM ha de ser tenida en cuenta como prueba diagnóstica en el estudio de los pacientes con PE. Más allá de sus ventajas en la capacidad del estudio cardíaco anatómico y funcional, es la ausencia de radiación la que hace que sea nuestra prueba de elección en el momento actual.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lo Piccolo R, Bongini U, Basile M, Savelli S, Morelli C, Cerra C, et al. Chest fast MRI: An imaging alternative on pre-operative evaluation of Pectus Excavatum. *J Pediatr Surg*. 2012; 47: 485-9.
2. Sarwar ZU, DeFlorio R, O'Connor SC. Pectus excavatum: Current imaging techniques and opportunities for dose reduction. *Semin Ultrasound CT MR*. 2014; 35: 374-81.
3. Lollert A, Funk J, Tietze N, Turial S, Laudemann K, Düber C, et al. Morphologic assessment of thoracic deformities for the preoperative evaluation of pectus excavatum by magnetic resonance imaging. *Eur Radiol*. 2015; 25: 785-91.

4. Huddleston CB. Pectus excavatum. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2004; 16: 225-32.
5. Obermeyer RJ, Goretsky MJ. Chest wall deformities in pediatric surgery. *Surg Clin North Am.* 2012; 92: 669-84.
6. Birkemeier KL, Podberesky DJ, Salisbury S, Serai S. Breathe in... Breathe out... Stop breathing: Does phase of respiration affect the haller index in patients with pectus excavatum? *Am J Roentgenol.* 2011; 197: 934-9.
7. Jaroszewski DE. Physiologic implications of pectus excavatum. *J Thorac Cardiovasc Surg* [Internet]. 2017; 153: 218-9.
8. Frantz FW. Indications and guidelines for pectus excavatum repair. *Curr Opin Pediatr.* 2011; 23: 486-91.
9. Redlinger RE, Kelly RE, Nuss D, Goretsky M, Kuhn MA, Sullivan K, et al. Regional chest wall motion dysfunction in patients with pectus excavatum demonstrated via optoelectronic plethysmography. *J Pediatr Surg.* 2011; 46: 1172-6.
10. Töpper A, Polleichtner S, Zagrosek A, Prothmann M, Traber J, Schwenke C, et al. Impact of surgical correction of pectus excavatum on cardiac function: insights on the right ventricle. A cardiovascular magnetic resonance study†. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2015; 22: 38-46.
11. Humphries CM, Anderson JL, Flores JH, Doty JR. Cardiac magnetic resonance imaging for perioperative evaluation of sternal eversion for pectus excavatum. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2013; 43: 1110-3.
12. St. Peter SD, Juang D, Garey CL, Laituri CA, Ostlie DJ, Sharp RJ, et al. A novel measure for pectus excavatum: The correction index. *J Pediatr Surg* [Internet]. 2011; 46: 2270-3.
13. Schmid E, Hilberath JN, Blumenstock G, Shekar PS, Kling S, Sheridan SK, et al. Tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) predicts poor outcome in patients undergoing acute pulmonary embolectomy. *Hear lung Vessel.* 2015; 7: 151-8.
14. Narayan RL, Vaishnava P, Castellano JM, Fuster V. Quantitative assessment of right ventricular function in pectus excavatum. *J Thorac Cardiovasc Surg* [Internet]. The American Association for Thoracic Surgery; 2012; 143: e41-2.
15. Kawel-Boehm N, Maceira A, Valsangiacomo-Buechel ER, Vogel-Claussen J, Turkbey EB, Williams R, et al. Normal values for cardiovascular magnetic resonance in adults and children. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2015; 17: 29.
16. Fratz S, Chung T, Greil GF, Samyn MM, Taylor AM, Valsangiacomo Buechel ER, et al. Guidelines and protocols for cardiovascular magnetic resonance in children and adults with congenital heart disease: SCMR expert consensus group on congenital heart disease. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2013; 15: 51.
17. Saleh RS, Finn JP, Fenchel M, Moghadam AN, Krishnam M, Abrazado M, et al. Cardiovascular magnetic resonance in patients with pectus excavatum compared with normal controls. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2010; 12: 73.
18. Abdullah F, Harris J. Pectus Excavatum: More Than a Matter of Aesthetics. *Pediatr Ann.* 2016; 45: e403-6.
19. Albertain M, Vallejos J, Bellia G, Millan C, Rabinovich F, Buela E, et al. Changes in chest compression indexes with breathing underestimate surgical candidacy in patients with pectus excavatum: a computed tomography pilot study. *J Pediatr Surg.* 2013; 48: 2011-6.