

REC: CardioClinics

www.reccardioclinics.org

Temas de actualidad

Selección de lo mejor del año 2019 en imagen cardiovascular



Chi-Hion Li^{a,*}, David Viladés^a, Teresa López-Fernández^b, Manuel Barreiro-Pérez^c,
María Nazarena Pizzi^d, Rafael Vidal-Pérez^e, María Amparo Martínez-Monzónis^f
y Luis Jesús Jiménez-Borreguero^g

^a Servicio de Cardiología, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España

^b Servicio de Cardiología, Hospital Universitario La Paz, IdiPAZ, CIBERCV, Madrid, España

^c Servicio de Cardiología, Complejo Asistencial Universitario de Salamanca (CAUSA), Instituto de Investigación Biosanitaria de Salamanca (IBSAL), CIBERCV, Salamanca, España

^d Servicio de Cardiología, Hospital Universitari Vall d'Hebron, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España

^e Unidad de Imagen Cardíaca, Hospital Universitario Lucus Augusti, Lugo, España

^f Servicio de Cardiología, Hospital Clínico de Santiago, CIBER CV, Santiago de Compostela, A Coruña, España

^g Servicio de Cardiología, Hospital Universitario de La Princesa, Instituto de Investigación Sanitaria Princesa (IP), CIBERCV, Madrid, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 21 de agosto de 2019

Aceptado el 27 de septiembre de 2019

On-line el 28 de diciembre de 2019

Palabras clave:

Tomografía computarizada cardíaca

Intervencionismo estructural

percutáneo

Inteligencia artificial

Cardio-oncología

Cardiología nuclear

Cardiorresonancia magnética

RESUMEN

La imagen cardiovascular es uno de los grandes pilares en el diagnóstico y el seguimiento de la cardiología moderna. Los diferentes avances técnicos ofrecen una mejora en este proceso, aunque con una exactitud y una eficacia dependientes de múltiples factores, incluidos la disponibilidad y la experiencia acumulada. Resulta difícil seleccionar «lo mejor del 2019» por la cantidad de publicaciones donde participa la imagen cardiovascular. Hemos realizado un pequeño muestreo de artículos destacados en las diferentes técnicas diagnósticas (ecocardiografía, resonancia cardíaca, tomografía computarizada y cardiología nuclear) con un foco especial en tres campos de mayor interés actual: la inteligencia artificial, la cardio-onco-hematología y el campo del intervencionismo en patología estructural.

© 2019 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de Sociedad Española de Cardiología.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: CH.PedroLi@gmail.com (C.-H. Li).

<https://doi.org/10.1016/j.rccl.2019.09.009>

2605-1532/© 2019 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de Sociedad Española de Cardiología.

Selection of the best of 2019 in cardiovascular imaging

A B S T R A C T

Keywords:

Cardiac CT
Structural heart disease
Artificial intelligence
Cardio-oncology
Nuclear cardiology
Cardiac magnetic resonance
imaging

Cardiovascular imaging is one of the main pillars in the diagnosis and monitoring of modern cardiology. Different technical developments provide an improvement in this process, although accuracy and effectiveness depends on multiple factors, including availability and accumulated experience. It is difficult to select the “best of 2019” given the number of publications on cardiovascular imaging. We aim to make a small selection of highlighted articles in the different diagnostic techniques (cardiac ultrasound, cardiac magnetic resonance imaging, computed tomography and nuclear cardiology), with a special focus on three fields of major current interest: artificial intelligence, cardio-onco-haematology, and field of intervention in structural heart disease.

© 2019 Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of Sociedad Española de Cardiología.

Avances en inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) es ya uno de los elementos para tener en cuenta dentro de la imagen cardiaca en cualquiera de sus diferentes modalidades, y debemos empezar a conocerla. La IA se define como los sistemas que permiten que las computadoras o máquinas realicen o imiten el pensamiento humano. En lo que respecta a las imágenes cardíacas, la IA permite el reconocimiento automatizado y la segmentación de estructuras cardíacas y realiza la cuantificación de las cámaras cardíacas utilizando reglas, algoritmos o instrucciones preespecificadas. La IA puede mejorar la selección de pacientes, la adquisición y reconstrucción de imágenes y la identificación de artefactos. En el futuro cercano, ya casi presente, la IA aplicada a las imágenes cardíacas probablemente permitirá un diagnóstico automático de estados de enfermedad. Debemos incluir dos conceptos más: *machine learning* y *deep learning*¹, esenciales en el avance de la IA dentro de la imagen cardiaca (fig. 1).

Dentro de los avances más relevantes de los últimos meses en el campo de la ecocardiografía destacan los trabajos publicados por el grupo de Madani^{2,3}, que emplean técnicas de *deep learning* para la identificación automática de los distintos planos ecocardiográficos, lo que permitirá una posterior automatización del análisis de las imágenes obtenidas aplicando estas técnicas. Otro grupo de investigadores⁴, empleando estrategias de *deep learning*, han conseguido la automatización de la interpretación en algunas situaciones clínicas tales como cálculo de la función cardíaca y tamaño de estructuras, distinguir entidades diferentes (miocardiopatía hipertrófica, amiloidosis cardíaca e hipertensión pulmonar) o valoración de la evolución de la fracción de eyección en situaciones de cardiotoxicidad con trastuzumab/pertuzumab en el cáncer de mama.

En el campo de la tomografía computarizada (TC), uno de los trabajos más relevantes que ha empleado *machine learning* ha sido el publicado por Dey et al.⁵, donde la IA se ha empleado para predecir isquemia debida a una lesión específica dentro de un estudio con TC que se correlacionó con reserva fraccional de flujo (FFR) invasiva. Los autores demuestran que agrupando datos clínicos, estenosis cuantitativa y métricas de

la placa obtenidas por TC, a través de la IA se puede establecer un modelo predictivo mejor.

En el campo de la cardiorresonancia magnética (CRM) ya ha llegado la segmentación automática, como han demostrado Bai et al.⁶, que, empleando *deep learning*, segmentaron 93.500 imágenes de resonancia provenientes de 4.875 sujetos del UK Biobank con precisión similar a la de expertos en la técnica; este trabajo se ha validado con éxito recientemente de forma prospectiva⁷.

Avances en tomografía computarizada cardíaca

La TC cardíaca se ha consolidado como técnica no invasiva, sólida y polivalente, capaz de proporcionar información anatómica y funcional en el ámbito de la sospecha de enfermedad arterial coronaria (EAC) y la cardiopatía isquémica estable (fig. 2). Destacan los resultados a 5 años de seguimiento del ensayo SCOT-HEART⁸, que asignó aleatoriamente a 4.146 pacientes con dolor torácico estable a una evaluación «estándar» con/sin TC. La cohorte estudiada con TC tuvo una tasa significativamente más baja de muerte cardiovascular e infarto agudo de miocardio no mortal que la cohorte evaluada sin TC en ausencia de una tasa significativamente más alta de angiografía coronaria invasiva o intervencionismo coronario percutáneo. Los autores sugieren que el diagnóstico directo de la EAC con TC permite una mejor estratificación del riesgo individual, una mejor adecuación de los objetivos terapéuticos o el uso de exploraciones complementarias, lo que conlleva una mejoría en el pronóstico clínico.

En el campo de la reserva fraccional de flujo coronario por TC (FFR-TC) destacan los resultados del registro multicéntrico ADVANCE y su posterior seguimiento al año⁹. Este registro incluyó a 5.083 pacientes con dolor torácico en estudio y evidencia de aterosclerosis coronaria por TC a los que se les realizó una FFR-TC. El seguimiento clínico y terapéutico demostró una modificación del tratamiento en dos tercios de los pacientes con FFR-TC en comparación con la TC sola, y se asocia a una mejor correlación con la angiografía coronaria y a un menor número de intervencionismo coronario percutáneo. Los resultados al año de seguimiento mostraron una

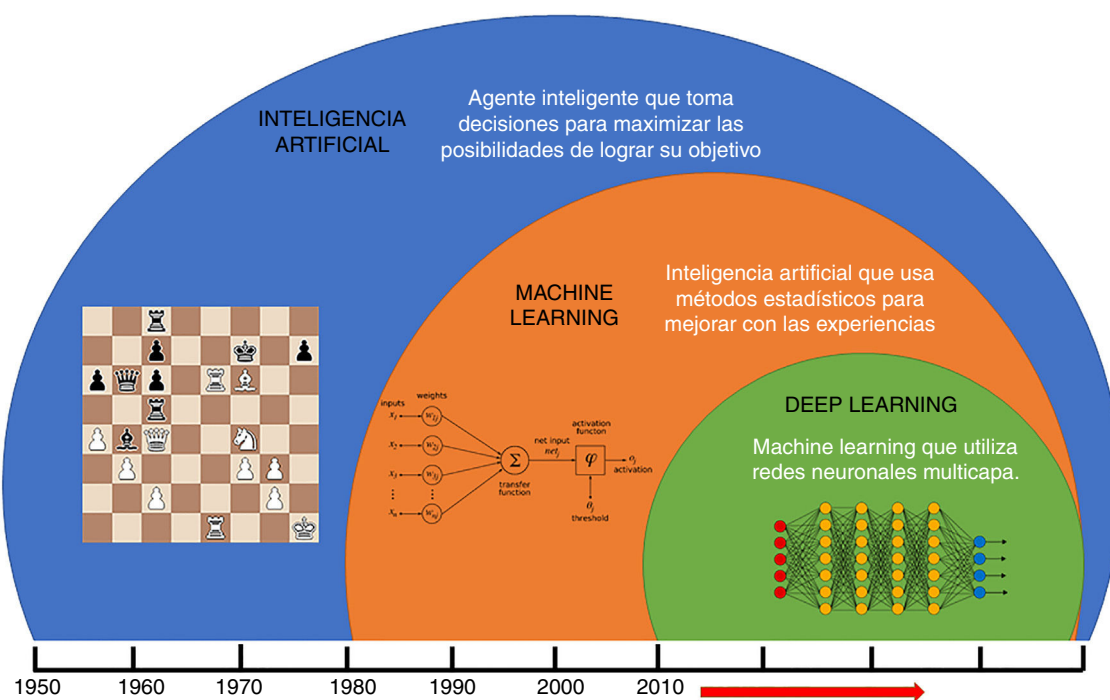


Figura 1 – Evolución temporal del concepto de inteligencia artificial.

baja tasa de eventos adversos cardiovasculares mayores en todos los pacientes y una reducción significativa de la tasa de muerte cardiovascular o infarto agudo de miocardio en pacientes con una FFR-TC negativa, respecto a aquellos con valores patológicos de FFR-TC.

En la TC de estrés con perfusión (TCP) estática contamos con interesantes resultados del ensayo PERFECTION¹⁰, que incluyó consecutivamente a 147 pacientes programados para angiografía coronaria + FFR invasivo (por indicación clínica) que se evaluaron previamente con una TC, una FFR-TC y una TCP estática. Los autores concluyeron que la FFR-TC y la TCP estática, además de la TC, son herramientas válidas y comparables para evaluar la relevancia funcional de la EAC. En el campo de la TCP dinámica cabe resaltar los resultados de Pontone et al.¹¹, que incluyeron consecutivamente a 85 pacientes sintomáticos programados para angiografía coronaria más FFR y a quienes se realizó previamente una TC, una FFR-TC y una TCP dinámica. La precisión diagnóstica para detectar EAC funcionalmente significativa se evaluó mediante un modelo de TC cardiaca con/sin FFR-TC y con/sin una TCP dinámica, comparándolos con la angiografía más FFR como referencia. La adición de una TCP dinámica a la TC con FFR-TC proporcionó una mejoría de la precisión diagnóstica con una dosis media de irradiación aceptable ($2,8 \pm 1,2$ mSv para la TC y $5,3 \pm 0,7$ mSv para la TCP dinámica).

Asimismo, en este último año la TC se ha erigido como una herramienta útil para monitorizar directamente el impacto biológico del tratamiento con estatinas en la progresión y composición de la EAC. Así lo muestra el estudio multicéntrico PARADIGM¹², que incluyó a 1.255 pacientes sin antecedentes de EAC que se sometieron a dos TC durante el seguimiento (tiempo entre ambas pruebas >2 años). El tratamiento con estatinas no modificó la progresión en el porcentaje de

estenosis coronaria, pero se asoció a una ralentización en la progresión de la carga total de placa coronaria, un aumento en su calcificación y una menor prevalencia de placas vulnerables.

Finalmente, cabe destacar que gracias al esfuerzo de la *European Association of Cardiovascular Imaging*, desde 2018 ya se puede acreditar el grado de excelencia en TC cardiaca; de hecho, en el EuroEcho 2018 tuvo lugar su primer examen acreditativo.

Avances en intervencionismo estructural percutáneo

En el pasado año se publicaron importantes avances en el intervencionismo percutáneo valvular. El implante percutáneo de válvula aórtica (TAVI) sigue extendiéndose, e incluye ahora a pacientes de bajo riesgo. La evolución en el diseño de las nuevas generaciones de TAVI ha permitido reducir significativamente la regurgitación aórtica residual¹³. La TC se ha establecido como primera opción en la planificación preprocedimiento, con un documento de consenso reciente para estandarizar su uso e interpretación¹⁴. Las complicaciones vasculares son el principal problema tras un TAVI, que se puede mejorar con un análisis detallado de la TC previa¹⁵. Tras el procedimiento, el hallazgo de engrosamiento e hipoa-tenuación de velos sugestivo de trombosis por TC, o HALT, continúa siendo incierto, si bien en un registro prospectivo mostró una prevalencia del 9%, con una tendencia no significativa a la aparición de eventos isquémicos, especialmente en prótesis balón-expandibles de mayor tamaño¹⁶. La disfunción ventricular derecha se establece como un factor pronóstico de

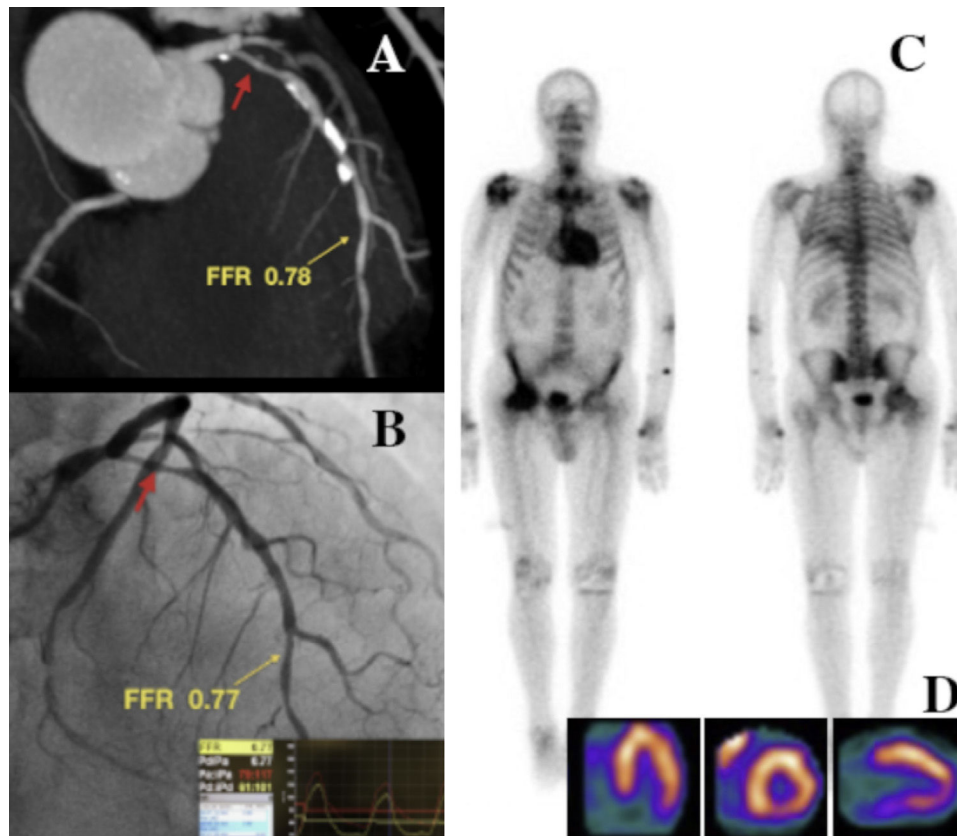


Figura 2 – Aplicaciones en TC cardiaca y medicina nuclear. A,B) Paciente con estenosis moderada (QCA del 65%) en el segmento proximal de la DA (flecha roja), con valor patológico de reserva fraccional de flujo, por TC (A) y por angiografía invasiva (B). C) Detección de ATTR-AC mediante ^{99m}Tc -PYP-SPECT con imágenes planares de cuerpo entero que evidencian intensa captación del trazador a nivel cardiaco, significativamente superior a la captación del marco óseo del paciente (grado 3). D) Imagen tomográfica en los ejes largo horizontal, corto y largo vertical del ventrículo izquierdo que muestran captación global del trazador.

gran relevancia, ya que presenta más del doble de mortalidad a un año tras TAVI¹⁷.

Se han publicado dos grandes estudios de reparación percutánea de insuficiencia mitral (IM) mediante la técnica borde-a-borde con resultados contradictorios/complementarios^{18,19}. Su análisis conjunto resalta la importancia de una correcta selección de pacientes: sintomáticos en situación ambulatoria, bajo tratamiento médico óptimo, diámetro telesistólico <70 mm, fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) entre 20 y 50% y orificio regurgitante $\geq 30 \text{ mm}^2$. Entran en debate interesantes conceptos de IM proporcionada/desproporcionada al grado de dilatación del ventrículo izquierdo como una forma de integrar los diferentes parámetros de cuantificación en IM²⁰. Los estudios de imagen dirigidos a localizar predictores de remodelado inverso tras este tratamiento solo han añadido como predictor independiente la presión sistólica de arteria pulmonar previa al implante²¹.

El ventrículo derecho y la válvula tricúspide continúan siendo el foco de un gran número de tratamientos transcáteter emergentes, lo que justifica un estudio por imagen pormenorizado²². La experiencia previamente adquirida en intervencionismo estructural no valvular, en concreto en el

cierre de la orejuela izquierda, ha permitido demostrar la no inferioridad de estrategias de monitorización mínimamente invasivas^{23,24}.

Avances en ecocardiografía

En 2019 se han publicado varias guías y recomendaciones, entre las que destaca la guía sobre cómo realizar un ecocardiograma transtorácico en la que, con una excelente iconografía, se detallan los diferentes planos y medidas que se deben obtener. Un punto negativo es la escasa referencia al ecocardiograma 3D y al *strain*, herramientas de uso cada vez más frecuente²⁵.

Siguen apareciendo publicaciones que muestran que el *strain* global longitudinal (GLS) aporta un valor añadido a la FEVI en múltiples patologías. Un recientemente publicado metaanálisis de 10 estudios que incluye a 1.067 pacientes con estenosis aórtica (EAo) y FEVI $\geq 50\%$ muestra que un GLS <14,7% multiplica por 2,5 el riesgo de muerte en un periodo de seguimiento medio de 1,8 años²⁶. Este metaanálisis y la revisión en relación con la valoración de la disfunción ventricular subclínica publicada en la EAo ponen de manifiesto que el

GLS es un marcador de disfunción ventricular izquierda subclínica con valor pronóstico²⁷, y por tanto debe ser incluido en el algoritmo de seguimiento y toma de decisiones terapéuticas de la EAO. El GLS tiene, además, un papel fundamental en el diagnóstico ecocardiográfico de diferentes miocardiopatías, como la enfermedad de Fabry²⁸ y la amiloidosis. En esta última, el ya clásico patrón de GLS de preservación relativa del *strain* apical es fundamental en el algoritmo diagnóstico de la amiloidosis, como se muestra en el artículo de Ruberg et al.²⁹, independientemente del tipo de amiloidosis que presente el paciente.

Respecto al aumento de los tratamientos reparadores de la válvula mitral, han aumentado las publicaciones referidas a la caracterización de la IM. En un estudio de 727 pacientes con IM moderada/grave se evidenció que es más frecuente la IM funcional y, dentro de esta, la IM por dilatación del ventrículo izquierdo; estos enfermos son los que presentaban mayor número de eventos a 5 años, seguidos por los que tenían una IM secundaria a dilatación anular por dilatación de la aurícula izquierda³⁰. En este intento de caracterizar el mecanismo de la IM destaca la excepcionalidad del artículo de revisión de la anatomía del anillo mitral de Faletra et al.³¹.

El estudio DEFENSE-PFO ha identificado en los pacientes con ictus criptogénico las características de un foramen oval de alto riesgo (septo interauricular aneurismático, hipermovilidad y tamaño mayor de 3 mm) que identifica a los que se benefician de un cierre percutáneo por disminuir el riesgo de reaparición de ictus³².

Avances en cardiología nuclear

En cardiopatía isquémica destacan los nuevos resultados del estudio PACIFIC³³, que comparó el rendimiento de la tomografía por emisión de positrones (PET-TC), la tomografía por emisión de fotones (SPECT) y la TC cardiaca en 208 pacientes con sospecha de angina y probabilidad pretest intermedia. Confirman que, utilizando como patrón oro la FFR invasiva, la cuantificación del flujo miocárdico absoluto y de la reserva coronaria de flujo mediante PET-TC continúa siendo la técnica de mayor exactitud diagnóstica. El flujo miocárdico absoluto también puede cuantificarse mediante gamma-cámaras de semiconductores (CZT-SPECT), cuyo uso aumenta progresivamente. Estudios recientes demuestran que el flujo miocárdico absoluto y la reserva coronaria de flujo obtenidos en CZT-SPECT son comparables a los obtenidos mediante PET-TC, con una exactitud del 93% para detectar isquemia, y que dichos valores también se correlacionan adecuadamente con la FFR invasiva³⁴.

En el análisis del sincronismo ventricular, el estudio del análisis de fase mediante *gated*-SPECT arroja varios parámetros que permiten establecer el grado de disincronía ventricular y podrían mejorar la valoración de los pacientes candidatos a terapia de resincronización cardiaca. Un reciente estudio español comunica que el 99% de los pacientes con criterios de terapia de resincronización cardiaca tienen alterados 3 o 4 de dichos parámetros³⁵. Otro estudio multicéntrico, el VISION-CRT, concluye que la reducción de los grados de desviación estándar del histograma de fase, o PSD, observada en 195 pacientes a 6 meses tras la terapia de resincronización

cardiaca, se correlacionó significativamente con una mejor respuesta a dicha terapia³⁶.

En la amiloidosis cardiaca, las técnicas de cardiología nuclear permiten establecer su fenotipo (por cadenas ligeras [AL] o por transtiretina [ATTR]) y facilitan un diagnóstico rápido, de bajo coste y altamente específico de las ATTR mediante trazadores tradicionalmente utilizados en gammagrafías óseas, pudiendo alcanzarse el diagnóstico sin necesidad de biopsias³⁷. Un hallazgo reciente destacable es la coexistencia de ATTR y EAO grave. Mediante ^{99m}Tc-DPD-SPECT, Scully et al.³⁸ detectaron una prevalencia de ATTR del 13% en 101 pacientes (85 ± 5 años) con EAO grave candidatos a TAVI. Las complicaciones y la mortalidad fueron significativamente mayores que en los pacientes con EAO grave y estudios negativos para ATTR (31/23% frente a 15/13%).

Varias series han reflejado la utilidad de la PET-TC en el diagnóstico de endocarditis protésica, infección de dispositivos intracardíacos y recientemente de dispositivos de asistencia ventricular³⁹. Dos metaanálisis recientes agrupan los resultados de las series individuales^{40,41}: la PET-TC mejora la exactitud diagnóstica de la endocarditis protésica (13 estudios, 537 pacientes; sensibilidad del 80,5%, especificidad del 73,1%). En infección de dispositivos (14 estudios, 492 pacientes), la PET-TC ha demostrado una alta sensibilidad/especificidad para diagnosticar infección del generador (96 y 97%, respectivamente), mientras que para la infección de electrodos y de endocarditis relacionada a dispositivos continúa siendo más limitadas (76 y 83%, respectivamente).

Estudios de PET-TC con ¹⁸F-NaF han mostrado procesos de calcificación activa y captación en la EAO en varios estudios. Cartledge et al.⁴² demostraron que el ¹⁸F-NaF se fija en sitios de degeneración protésica y se relaciona significativamente con una progresión de la velocidad pico transvalvular y desarrollo de disfunción/degeneración.

Avances en cardio-oncología

La imagen cardiaca ocupa un papel clave en el campo de la cardio-onco-hematología, y múltiples estudios confirman su utilidad diagnóstica y pronóstica.

Comprender los mecanismos de la cardiotoxicidad e identificar las fases potencialmente reversibles del daño miocárdico es prioritario para organizar estrategias eficaces de prevención. En un modelo de cerdos, Galán-Arriola et al.⁴³ han demostrado que la prolongación de T2 en CRM es el marcador más precoz de daño miocárdico reversible por antraciclinas. Si se interrumpe la doxorubicina precozmente, se resuelve el edema intracelular (normalización de T2), mientras que con el tratamiento mantenido aumenta progresivamente el espacio intravascular y se reduce la FEVI.

En la práctica clínica, la ecocardiografía es la técnica más utilizada para el diagnóstico de cardiotoxicidad y la monitorización de los tratamientos. La cuantificación avanzada de la función ventricular, con GLS, *strain* global circunferencial y FEVI3D permite un diagnóstico de daño miocárdico en fases asintomáticas y potencialmente reversibles⁴⁴. El grupo de Pensilvania ha publicado el seguimiento prospectivo a 3,5 años de 314 pacientes con cáncer de mama, distinguiendo tres patrones de comportamiento: 1) el 51% no desarrollan cambios en

la función ventricular; 2) el 40% presentan cambios precoces (<6 meses) y persistentes en la FEVI, *strain* global longitudinal y *strain* global circunferencial y elevación de NT-proBNP, y 3) el 9% presenta un descenso > 10% de la FEVI en el primer año, con recuperación parcial en el seguimiento⁴⁵. Los pacientes con cambios persistentes en la FEVI y *strain* global circunferencial presentan mayor riesgo de insuficiencia cardíaca⁴⁶. Durante el tratamiento con inmunoterapia⁴⁷, inhibidores de tirosina cinasa⁴⁸ o radioterapia⁴⁹, las técnicas de imagen avanzadas también son herramientas valiosas en el diagnóstico precoz de cardiotoxicidad. Sin embargo, su uso está limitado por la ausencia tanto de una definición consensuada de cardiotoxicidad basada en el riesgo de eventos clínicos como de una puntuación prospectiva de cardiotoxicidad, dos grandes retos que deben afrontar los equipos de cardio-onco-hematología para mejorar la atención a los pacientes con cáncer⁵⁰.

Avances en cardiorresonancia magnética

En el campo de la cardiorresonancia magnética (CRM), un estudio reciente con seguimiento de más de 5 años a 810 pacientes ha demostrado que la obstrucción microvascular precoz postinfarto es un marcador pronóstico independiente y potente⁵¹. Sorprendentemente, la extensión de la obstrucción microvascular mejora la estratificación del riesgo a largo plazo sobre los predictores tradicionales. También en el infarto agudo de miocardio, el aumento del T1 nativo en el miocardio remoto y sano ha demostrado ser un marcador independiente de eventos mayores a 6 meses⁵². Este resultado inesperado podría deberse a que la reperusión del miocardio lesionado desencadena una respuesta inflamatoria local y sistémica intensa. En el miocardio remoto esta respuesta está asociada con la activación de vías proinflamatorias e infiltración de leucocitos.

En pacientes con muerte súbita y coronarias normales, Rodrigues et al.⁵³ han demostrado que con un estudio de CRM se puede identificar un sustrato etiológico hasta en el 50% de los pacientes, y que estos tienen peor pronóstico.

La caracterización del miocardio con CRM sigue proporcionando nuevos métodos diagnósticos. Tras las técnicas iniciales de realce tardío de gadolinio y STIR que valoran la fibrosis y la necrosis miocárdica se han introducido las técnicas de mapeo T1 y T2 para detectar la fibrosis difusa y el aumento del espacio extracelular en el miocardio. Recientemente se empiezan a utilizar nuevas técnicas de análisis de textura de las imágenes del miocardio. Son métodos de análisis de la intensidad y distribución de los píxeles en las imágenes del miocardio que, mediante la IA, detectan patrones de textura reproducibles, aunque inapreciables a simple vista. Cheng et al.⁵⁴ han identificado un patrón de textura de gadolinio en el miocardio que predice eventos arrítmicos en pacientes con miocardiopatía hipertrofia portadores de desfibrilador automático. Otro estudio en pacientes con infarto agudo de miocardio ha identificado un patrón de textura del miocardio sin gadolinio que identifica la necrosis y permite realizar el diagnóstico de infarto subagudo y crónico con alta precisión⁵⁵. Más recientemente, el análisis de la textura aplicado a las imágenes T1 nativas ha permitido discriminar entre pacientes con cardiopatía hipertensiva y miocardiopatía hipertrófica, mejorando la capacidad diagnóstica del mapeo

global T1 nativo⁵⁶. El análisis de texturas del miocardio es una técnica sencilla que empieza a desarrollarse y con perspectivas de asentarse en la práctica clínica si los siguientes estudios confirman o amplían su utilidad.

En el campo de la imagen híbrida con CRM y PET, el avance más destacado está en la eficacia de la corrección del movimiento con técnicas de adquisición 3D de CRM. La adquisición 3D con CRM de las imágenes del corazón permite corregir eficazmente el movimiento y obtener imágenes con mayor precisión y detalle de la captación de FDG¹⁸ con PET. Además, con la misma adquisición 3D se mejora la calidad de la coronariografía con CRM⁵⁷.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dey D, Slomka PJ, Leeson P, et al. Artificial intelligence in cardiovascular imaging: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2018.12.054>
2. Madani A, Arnaout R, Mofrad M, Arnaout R. Fast and accurate view classification of echocardiograms using deep learning. *npj Digit Med*. 2018;1:6, <http://dx.doi.org/10.1038/s41746-017-0013-1>
3. Madani A, Ong JR, Tibrewal A, Mofrad MRK. Deep echocardiography: Data-efficient supervised and semi-supervised deep learning towards automated diagnosis of cardiac disease. *npj Digit Med*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1038/s41746-018-0065-x>
4. Zhang J, Gajjala S, Agrawal P, et al. Fully automated echocardiogram interpretation in clinical practice. *Circulation*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1161/circulationaha.118.034338>
5. Dey D, Gaur S, Ovrehus KA, et al. Integrated prediction of lesion-specific ischaemia from quantitative coronary CT angiography using machine learning: A multicentre study. *Eur Radiol*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-017-5223-z>
6. Bai W, Sinclair M, Tarroni G, et al. Automated cardiovascular magnetic resonance image analysis with fully convolutional networks. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1186/s12968-018-0471-x>
7. Ruijsink B, Puyol-Anton E, Oksuz I, et al. Fully automated quality-controlled cardiac analysis from CMR: Validation and large-scale application to characterize cardiac function. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.05.030>
8. Coronary CT. Angiography and 5-year risk of myocardial infarction. *N Engl J Med*. 2018;379:924-933, <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa1805971>.
9. Patel MR, Nørgaard BL, Fairbairn TA, et al. 1-Year impact on medical practice and clinical outcomes of FFRCT. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.03.003>
10. Pontone G, Baggiano A, Andreini D, et al. stress computed Tomography Perfusion Versus Fractional Flow Reserve CT derived in suspected coronary artery disease. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12:1487-1497.
11. Pontone G, Baggiano A, Andreini D, et al. Dynamic stress computed tomography perfusion with a whole-heart coverage scanner in addition to coronary computed tomography angiography and fractional flow reserve

- computed tomography derived. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.02.015>
12. Lee S-E, Chang H-J, Sung JM, et al. Effects of statins on coronary atherosclerotic plaques: The PARADIGM (Progression of Atherosclerotic PLAque Determined by Computed Tomographic Angiography Imaging) study. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.04.015>
 13. Stundl A, Lucht H, Shamekhi J, et al. Early versus newer generation transcatheter heart valves for transcatheter aortic valve implantation: Echocardiographic and hemodynamic evaluation of an all-comers study cohort using the dimensionless aortic regurgitation index (AR-index). *PLoS One*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0217544>
 14. Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S, et al. Computed tomography imaging in the context of transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR): An expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2019;13:1-20.
 15. Urbach J, Hou CR, Lesser JR, et al. Computed tomographic angiography-derived risk factors for vascular complications in percutaneous transfemoral transcatheter aortic valve implantation. *Am J Cardiol*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.03.043>
 16. Tang L, Lesser JR, Schneider LM, et al. Prospective evaluation for hypoattenuated leaflet thickening following transcatheter aortic valve implantation. *Am J Cardiol*. 2019;123:658-666.
 17. Asami M, Stortecky S, Praz F, et al. Prognostic value of right ventricular dysfunction on clinical outcomes after transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.12.015>
 18. Stone GW, Lindenfeld J, Abraham WT, et al. Transcatheter mitral-valve repair in patients with heart failure. *N Engl J Med*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa1806640>
 19. Obadia J-F, Messika-Zeitoun D, Leurent G, et al. Percutaneous repair or medical treatment for secondary mitral regurgitation. *N Engl J Med*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1056/NEJMoa1805374>
 20. Grayburn PA, Sannino A, Packer M. Proportionate and disproportionate functional mitral regurgitation. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.11.006>
 21. Cimino S, Maestrini V, Cantisani D, et al. 2D/3D echocardiographic determinants of left ventricular reverse remodelling after MitraClip implantation. *Eur Hear J Cardiovasc Imaging*. 2018;1-7, <http://dx.doi.org/10.1093/ehjci/jey157>
 22. Khalique OK, Cavalcante JL, Shah D, et al. Multimodality imaging of the tricuspid valve and right heart anatomy. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12:516-531.
 23. Barreiro-Perez M, Cruz-González I, Moreno-Samos JC, et al. Feasibility safety, and utility of microtransesophageal echocardiography guidance for percutaneous LAAO under conscious sedation. *JACC Cardiovasc Interv*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcin.2019.02.027>
 24. Sedaghat A, al-Kassou B, Vij V, et al. Contrast-free, echocardiography-guided left atrial appendage occlusion (LAAo): A propensity-matched comparison with conventional LAAo using the AMPLATZER Amulet device. *Clin Res Cardiol*. 2019;108:333-340.
 25. Mitchell C, Rahko PS, Blauwet LA, et al. Guidelines for performing a comprehensive transthoracic echocardiographic examination in adults: Recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32:1-64.
 26. Magne J, Cosyns B, Popescu BA, et al. Distribution and prognostic significance of left ventricular global longitudinal strain in asymptomatic significant aortic stenosis: An individual participant data meta-analysis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12:84-92.
 27. Dahl JS, Magne J, Pellikka PA, Donal E, Marwick TH. Assessment of subclinical left ventricular dysfunction in aortic stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12:163-171.
 28. Yeung DF, Sirrs S, Tsang MYC, et al. Echocardiographic assessment of patients with Fabry disease. *J Am Soc Echocardiogr*. 2018;31:639-649.e2.
 29. Ruberg FL, Grogan M, Hanna M, Kelly JW, Maurer MS. Transthyretin amyloid cardiomyopathy: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol*. 2019;73: 2872-2891.
 30. Dziadzko V, Dziadzko M, Medina-Inojosa JR, et al. Causes mechanisms of isolated mitral regurgitation in the community: Clinical context outcome. *Eur Heart J*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehz314>
 31. Faletra FF, Leo LA, Paiocchi VL, et al. Anatomy of mitral annulus insights from non-invasive imaging techniques. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2019;20:843-857.
 32. Lee PH, Song J-K, Kim JS, et al. Cryptogenic stroke and high-risk patent foramen ovale: The DEFENSE-PFO trial. *J Am Coll Cardiol*. 2018;71:2335-2342.
 33. Driessen RS, Danad I, Stuijzand WJ, et al. Comparison of coronary computed tomography angiography fractional flow reserve, and perfusion imaging for ischemia diagnosis. *J Am Coll Cardiol*. 2019;73:161-173.
 34. Zavadovsky KV, Mochula AV, Boshchenko AA, et al. Absolute myocardial blood flows derived by dynamic CZT scan vs invasive fractional flow reserve: Correlation and accuracy. *J Nucl Cardiol*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1007/s12350-019-01678-z>
 35. Aguadé-Bruix S, Romero-Farina G, Candell-Riera J, Pizzi MN, García-Dorado D. Mechanical dyssynchrony according to validated cut-off values using gated SPECT myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1007/s12350-016-0684-z>
 36. Peix A, Karthikeyan G, Massardo T, et al. Value of intraventricular dyssynchrony assessment by gated-SPECT myocardial perfusion imaging in the management of heart failure patients undergoing cardiac resynchronization therapy (VISION-CRT). *J Nucl Cardiol*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1007/s12350-018-01589-5>
 37. Pilebro B, Arvidsson S, Lindqvist P, et al. Positron emission tomography (PET) utilizing Pittsburgh compound B (PIB) for detection of amyloid heart deposits in hereditary transthyretin amyloidosis (ATTR). *J Nucl Cardiol*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1007/s12350-016-0638-5>
 38. Scully PR, Treibel TA, Fontana M, et al. Prevalence of cardiac amyloidosis in patients referred for transcatheter aortic valve replacement. *J Am Coll Cardiol*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2017.11.037>
 39. Kim J, Feller ED, Chen W, Liang Y, Dilsizian V. FDG PET/CT for early detection and localization of left ventricular assist device infection: Impact on patient management and outcome. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12:722-729.
 40. Mahmood M, Kendi AT, Farid S, et al. Role of ¹⁸F-FDG PET/CT in the diagnosis of cardiovascular implantable electronic device infections: A meta-analysis. *J Nucl Cardiol*. 2019;26:958-970.
 41. Mahmood M, Kendi AT, Ajmal S, et al. Meta-analysis of ¹⁸F-FDG PET/CT in the diagnosis of infective endocarditis. *J Nucl Cardiol*. 2019;26:922-935.
 42. Cartlidge TRG, Doris MK, Sellers SL, et al. Detection and prediction of bioprosthetic aortic valve degeneration. *J Am Coll Cardiol*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2018.12.056>

43. Galán-Arriola C, Lobo M, Vilchez-Tschischke JP, et al. Serial magnetic resonance imaging to identify early stages of anthracycline-induced cardiotoxicity. *J Am Coll Cardiol*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2018.11.046>
44. Plana JC, Thavendiranathan P, Bucchiarelli-Ducci C, Lancellotti P. Multi-modality imaging in the assessment of cardiovascular toxicity in the cancer patient. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.06.003>
45. Demissei BG, Finkelman BS, Hubbard RA, et al. Cardiovascular function phenotypes in response to cardiotoxic breast cancer therapy. *J Am Coll Cardiol*. 2019;73:248-249.
46. Demissei BG, Finkelman BS, Hubbard RA, et al. Detailed phenotyping reveals distinct trajectories of cardiovascular function and symptoms with exposure to modern breast cancer therapy. *Cancer*. 2019;125:2762-2771.
47. Lyon AR, Yousaf N, Battisti NML, Moslehi J, Larkin J. Immune checkpoint inhibitors and cardiovascular toxicity. *Lancet Oncol*. 2018, [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(18\)30457-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(18)30457-1)
48. Nhola LF, Abdelmoneim SS, Villarraga HR, et al. Echocardiographic assessment for the detection of cardiotoxicity due to vascular endothelial growth factor inhibitor therapy in metastatic renal cell and colorectal cancers. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.echo.2018.09.019>
49. Yu AF, Ho AY, Braunstein LZ, et al. Assessment of early radiation-induced changes in left ventricular function by myocardial strain imaging after breast radiation therapy. *J Am Soc Echocardiogr*. 2019;32:521-528.
50. Lancellotti P, Suter TM, Lopez-Fernandez T, et al. Cardio-Oncology services: Rationale, organization, and implementation. *Eur Heart J*. 2019;40:1756-1763.
51. Symons R, Pontone G, Schwitter J, et al. Long-term incremental prognostic value of cardiovascular magnetic resonance after st-segment elevation myocardial infarction: A study of the collaborative registry on CMR in STEMI. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.201705023>
52. Reinstadler SJ, Stiermaier T, Liebetrau J, et al. prognostic significance of remote myocardium alterations assessed by quantitative noncontrast T1 mapping in ST-segment elevation myocardial infarction. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2018;11:411-419.
53. Rodrigues P, Joshi A, Williams H, et al. Diagnosis and prognosis in sudden cardiac arrest survivors without coronary artery disease: Utility of a clinical approach using cardiac magnetic resonance imaging. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017, <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.117.006709>
54. Cheng S, Fang M, Cui C, et al. LGE-CMR-derived texture features reflect poor prognosis in hypertrophic cardiomyopathy patients with systolic dysfunction: Preliminary results. *Eur Radiol*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-018-5391-5>
55. Baessler B, Mannil M, Oebel S, Maintz D, Alkadhi H, Manka R. Subacute and chronic left ventricular myocardial scar: Accuracy of texture analysis on nonenhanced cine MR images. *Radiology*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2017170213>
56. Neisius U, el-Rewaidy H, Nakamori S, Rodriguez J, Manning WJ, Nezafat R. Radiomic analysis of myocardial native T1 imaging discriminates between hypertensive heart disease and hypertrophic cardiomyopathy. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcmg.2018.11.024>
57. Munoz C, Kunze KP, Neji R, et al. Motion-corrected whole-heart PET-MR for the simultaneous visualisation of coronary artery integrity and myocardial viability: An initial clinical validation. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2018, <http://dx.doi.org/10.1007/s00259-018-4047-7>