

ACTUALIZACIÓN Y BUENAS PRÁCTICAS EN LOS USOS DE LOS MEDIOS DE CONTRASTE

Medios de contraste basados en gadolinio dedistribución extracelular



R. Soler-Fernández*, C. Méndez-Díaz y E. Rodríguez-García

Servicio de Radiología, Complejo Hospitalario Universitario A Coruña (CHUAC), A Coruña, España

Recibido el 17 de febrero de 2024; aceptado el 12 de abril de 2024

Disponible en Internet el 4 de junio de 2024

PALABRAS CLAVE

Gadolinio;
Resonancia
magnética;
Medios de contrastes;
Seguridad del
paciente

Resumen Los contrastes de gadolinio (CGd) de distribución extracelular se utilizan frecuentemente en resonancia magnética (RM) porque aumentan la detección de alteraciones, mejoran la caracterización tisular y permiten un diagnóstico diferencial más preciso.

Los CGd se consideran seguros, pero no están exentos de riesgo. Conocer los riesgos, saber qué actitud adoptar en diferentes situaciones (embarazo, lactancia, insuficiencia renal) y cómo reaccionar si se producen complicaciones (extravasaciones, reacciones adversas, alérgicas y anafilácticas) es imprescindible para el uso adecuado de los CGd.

Se presentan las características de la molécula de gadolinio (Gd), las diferencias en la estructura bioquímica, su biodistribución y el efecto sobre la señal de RM. Se revisan los aspectos de seguridad y las aplicaciones clínicas más frecuentes.

© 2024 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de SERAM.

KEYWORDS

Gadolinium;
Magnetic resonance
imaging;
Contrast media;
Patient safety

Extracellular gadolinium-based contrast agents

Abstract Extracellular gadolinium-based contrast agents (GBCA) are commonly used in magnetic resonance imaging (MRI) because they increase the detection of alterations, improve tissue characterisation and enable a more precise differential diagnosis.

GBCAs are considered to be safe but they are not risk-free. When using GBCAs, it is important to be aware of the risks and to know how to react in different situations (pregnancy, breast-feeding, kidney failure) including if complications occur (extravasations, adverse, allergic or anaphylactic reactions).

The article describes the characteristics of the gadolinium molecule, the differences in the biochemical structure of these GBCA, their biodistribution and the effect on the MRI signal. It also reviews safety aspects and the most common clinical applications.

© 2024 Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of SERAM.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: rafaelasoler@telefonica.net (R. Soler-Fernández).

Introducción

Los medios de contraste basados en gadolinio (Gd) de distribución extracelular son útiles porque aumentan la sensibilidad y la especificidad de la resonancia magnética (RM)¹.

El Gd es un metal que, en su forma básica, es tóxico pero unido a grandes moléculas orgánicas forma complejos estables y se convierte en un material inerte, no tóxico, utilizable como medio de contraste. La unión de las moléculas de Gd y las macromoléculas orgánicas se denominan quelatos de Gd².

Los quelatos de Gd, según su estructura química, tienen propiedades fisicoquímicas, perfiles de seguridad y frecuencia de efectos no deseados diferentes^{3,4}.

Los contrastes de Gd (CGd) son muy bien tolerados, pero no están exentos de provocar reacciones adversas agudas². Conocer si es necesario el ayuno previo a administrar CGd, saber lo aconsejado sobre los CGd durante el embarazo y la lactancia y cuál es el uso adecuado de CGd en pacientes con insuficiencia renal es fundamental para el uso correcto de estos contrastes. Las diferencias de seguridad de cada CGd deben conocerse para adoptar las medidas necesarias, evitar complicaciones o solucionarlas si se producen⁵.

El objetivo de este trabajo es presentar las características fisicoquímicas, la farmacocinética, las dosis y modos de administración de los CGd de distribución extracelular, revisar aspectos fundamentales sobre la seguridad de su utilización y resumir las aplicaciones clínicas más frecuentes.

Características fisicoquímicas

Características del gadolinio

El Gd es un metal blanco plateado, maleable y dúctil del grupo de los lantánidos con el núm. atómico 64, con propiedades magnéticas altas.

El magnetismo del Gd se debe al número y disposición de electrones no apareados en sus capas externas; en su forma iónica el Gd³⁺ es el ión estable con mayor número de electrones en su capa externa lo que condiciona su elevado efecto paramagnético.

Las propiedades paramagnéticas del Gd³⁺ provocan alteraciones del campo magnético en torno a la molécula y facilitan la relajación de los núcleos de hidrógeno (H¹). La potencia paramagnética de Gd³⁺ es tan intensa que un solo átomo de Gd³⁺ provoca acortamiento del tiempo de relajación longitudinal y transversal de muchos H¹.

Características de los medios de contraste

El Gd³⁺ en su forma libre es tóxico pero unido a grandes moléculas orgánicas forma un complejo inerte, no tóxico, utilizable como medio de contraste. Los CGd pueden ser lineales y macrocíclicos según su estructura y, según su carga, iónicos y no iónicos (tabla 1)⁴.

Se ha demostrado que los complejos macrocíclicos iónicos son más estables que los lineales y menos propensos a liberar Gd³⁺ que pueda depositarse en diversos tejidos.

Siguiendo las indicaciones de la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS) y las recomen-

daciones del Comité Europeo para la Evaluación de Riesgos en Farmacovigilancia, se ha suspendido la comercialización de los CGd lineales Magnevist®, Optimark® y Omniscan®^{6,7}. Aunque existen discrepancias con esa recomendación de paralizar la comercialización de los CGd lineales para uso general, sin tener en cuenta los perfiles individuales de cada uno³.

Efecto de los contrastes de gadolinio sobre la señal de resonancia magnética

La molécula de Gd³⁺ provoca acortamiento del tiempo de relajación longitudinal (T1) y del tiempo de relajación transversal (T2).

El acortamiento del T1 de los protones adyacentes a la molécula de Gd³⁺ es lo que provoca el aumento de la señal en las secuencias potenciadas en T1. Así pues, la hiperintensidad visible no es el Gd³⁺ sino su efecto sobre los H¹ adyacentes.

El acortamiento del T2 provoca disminución de la intensidad en las secuencias potenciadas en T2.

El efecto predominante del Gd³⁺ sobre la relajación longitudinal o transversal está en relación con su concentración. Así, con concentraciones bajas predomina el acortamiento de T1 y provoca hiperintensidad en secuencias potenciadas en T1 y con concentraciones altas predomina el acortamiento de T2 que provoca hiposeñal en secuencias potenciadas en T2.

La relajatividad es una propiedad de los CGd que describe el «poder de realce» de un contraste; esta constante física depende de la estructura molecular que determina el número de moléculas de agua con las que interacciona el contraste y de la cinética del compuesto y expresa la capacidad del contraste para modificar los tiempos de relajación de los H¹ más próximos. Las unidades de medida de la relajatividad son r1 y r2 y se expresan en mmol⁻¹ s⁻¹ (tabla 1)^{3,8-10}.

Recientemente, se han publicado los resultados fisicoquímicos y farmacocinéticos de una nueva molécula macrocíclica con alta relajatividad, el gadopíclenol¹⁰ que ha sido aceptado por la Agencia Europea de Medicamentos (EMA) y en la Reunión del Comité de Medicamentos de Uso Humano (CHMP) de octubre 2023 se ha emitido una opinión positiva¹¹.

Farmacocinética / biodistribución

Los CGd de distribución extracelular se caracterizan porque son hidrófilos y no se unen a proteínas ni a receptores. Habitualmente, se administran por vía intravenosa (i.v.). De forma inicial, se distribuyen por el espacio intravascular y por su bajo peso molecular pasan rápidamente al espacio intersticial, a través de los capilares. No atraviesan la barrera hematoencefálica ni las membranas celulares intactas y se eliminan sin metabolizar por vía urinaria mediante filtración glomerular¹.

La vida media de los CGd, es decir, el tiempo necesario para que un contraste reduzca su concentración a la mitad es de unos 90 minutos en pacientes sanos; habitualmente más del 95% del CGd se ha eliminado en menos de 24 horas⁴. En caso de insuficiencia renal, la vida media se prolonga; si la insuficiencia es moderada puede ser de unas seis horas,

Tabla 1 Contrastes de gadolinio de distribución extracelular: bioestructura, carga iónica y relajatividad en plasma a 37 °C

Nombre genérico	Nombre comercial	Bioestructura	Carga iónica	Relajatividad r1 1.5T (mmol ⁻¹ s ⁻¹)	Relajatividad r1 3T (mmol ⁻¹ s ⁻¹)	Comercializado en España
Gadodiamida	Omniscan® GE Healthcare	Lineal	No iónica	4,0-4,6	3,8-4,2	No
Gadopentetato dimeglumina	Magnevist® Schering-Bayer	Lineal	Iónica	3,9-4,3	3,5-3,9	No
Gadoversetamina	Optimark® Guerbet	Lineal	No iónica	4,4-5,0	4,2-4,8	No
Ácido gadobénico	MultiHance® Bracco	Lineal	Iónica	6,0-6,6	5,2-5,8	Sí
Gadobenato de dimeglumina	Diagnostics					
Gadobutrol	Gadovist® Bayer	Macrocíclico	No iónico	4,9-5,5	4,7-5,3	Sí
	HealthCare					
	Pixooscan® GE Healthcare	Macrocíclico	No iónico	4,9-5,5	4,7-5,3	Sí
Ácido gadotérico	Dotarem® Guerbet	Macrocíclico	Iónico	3,4-3,8	3,3-3,7	Sí
Gadoterato meglumina	Clariscan® GE Healthcare	Macrocíclico	Iónico	3,4-3,8	3,3-3,7	Sí
Gadoteridol	Prohance® Bracco	Macrocíclico	No iónico	3,9-4,3	3,5-3,9	Sí
	Diagnostics					
Gadopiclénol	Vueway® Bracco	Macrocíclico	No iónico	12,8	11,6	No
	Diagnostics					
	Elucirem® Guerbet	Macrocíclico	No iónico	12,8	11,6	No

si es severa puede ser mayor de nueve horas y si el filtrado glomerular estimado es < 5 mL/min o el paciente está en diálisis puede alcanzar las 30 horas⁴. Tras la fase de eliminación rápida existe una eliminación más lenta de cantidades residuales, nanomolares y de distribución tisular desigual. De hecho, se sabe que la recuperación del CGd en la orina no alcanza el 100% de la dosis administrada y se ha demostrado la presencia de Gd residual principalmente en el hueso, el hígado y el encéfalo lo que indica la existencia de un compartimento intersticial extracelular en el que el Gd podría quedar retenido durante mucho tiempo³.

Seguridad

Ayuno

No está indicado el ayuno previo a la administración de CGd.

La necesidad de ayuno previo a la administración i.v. de contrastes era habitual cuando se empleaban contrastes yodados hiperosmolares y muchos pacientes vomitaban; por eso, se aconsejaba el ayuno para evitar posibles aspiraciones^{2,12}. Sin embargo, los CGd y los contrastes yodados no iónicos hipo e isomolares tienen un riesgo muy bajo de provocar náuseas, vómitos o aspiración y el ayuno previo a su administración no proporciona ningún beneficio^{2,12,13}.

Extravasación

La extravasación de contrastes es una de las complicaciones más frecuentes de las inyecciones i.v., la mayoría limitadas a los tejidos blandos adyacentes a la vena, la piel y el tejido subcutáneo^{14,15}.

Las extravasaciones de CGd son menos frecuentes que las de contrastes yodados, probablemente por los menores volúmenes de CGd administrados, la velocidad de administración más baja y la administración manual más frecuente¹⁶.

Los factores de riesgo de extravasación están relacionados con la técnica y con las condiciones del paciente. Para minimizarlos se aconseja: 1) utilizar angiocatéteres en lugar de agujas de mariposa, 2) realizar una técnica meticulosa de inserción del catéter y 3) fijar la posición del catéter insertado².

Embarazo y contrastes de gadolinio

Se ha demostrado que algunos CGd atraviesan la barrera placentaria en primates no humanos¹⁷, alcanzan la circulación fetal y se excretan al líquido amniótico a través de la orina; posteriormente, una pequeña cantidad del CGd puede ser tragada y absorbida desde el intestino fetal y de nuevo eliminada hacia el líquido amniótico.

No se han demostrado efectos adversos sobre el feto tras la administración de CGd a las dosis clínicas habitualmente utilizadas. Sin embargo, en un estudio retrospectivo se citó que existía mayor riesgo de muerte fetal o neonatal, de sufrir enfermedades reumatológicas, inflamatorias o infiltrativas y de problemas de la piel en los niños¹⁸ y, aunque se ha cuestionado la metodología de ese estudio y no se ha confirmado posteriormente, se recomienda evitar la administración de CGd y usarlos solo en indicación muy clara de la necesidad de RM con CGd en la que el beneficio supere el riesgo desconocido de exposición fetal^{2,12,19}. La European Society of Urogenital Radiology (ESUR) recomienda administrar CGd macrocíclico exclusivamente con la menor dosis posible¹².

Lactancia y contrastes de gadolinio

Se considera seguro continuar normalmente la lactancia tras administrar CGd macrocíclicos a una mujer lactante¹². Si bien, algunos indican que debe informarse a la paciente para que decida si suspender temporalmente la lactancia durante un periodo de 12 a 24 horas o no², indicándole que la administración de CGd puede modificar el sabor de la leche y el lactante podría rechazar la toma.

Estas posiciones se basan en que menos del 0,04% del contraste administrado a la madre se excreta en la leche materna en las primeras 24 horas. Probablemente, la mayoría del Gd en la leche materna está en forma estable y quelada²⁰. Menos del 1% del contraste deglutido se absorbe por el tracto gastrointestinal del lactante, lo que supone una cantidad menor a 0,0004% de la dosis administrada y eso es mucho menos que la dosis permitida para uso i.v. en recién nacidos.

Reacciones adversas

Los CGd son muy bien tolerados. Las reacciones adversas pueden producirse entre 0,07 y 2,4% de los casos, la mayoría son leves y fisiológicas como sensación de frío, calor o dolor en la zona de la inyección, náuseas con o sin vómitos, dolor de cabeza, parestesias y mareos. Las reacciones adversas de tipo alérgico pueden producirse entre 0,004 y 0,7% y sus manifestaciones son similares a las de una reacción de tipo alérgico a un medio de contraste yodado.

Las reacciones anafilácticas graves que ponen en peligro la vida son infrecuentes, con una frecuencia descrita de entre 0,001 y 0,01%², con reacciones mortales excepcionales, aunque existen casos descritos²¹.

El riesgo de reacción adversa aumenta hasta ocho veces si ha habido antecedente de reacción a un CGd; si la reacción fue de tipo alérgico moderada o severa y se considera necesario realizar una RM con CGd, se deberá utilizar un contraste diferente al que provocó la reacción anterior y se aconseja efectuar profilaxis con corticoides, aunque no hay estudios que demuestren que sea efectivo para reducir la probabilidad de una nueva reacción.

Función renal - nefrotoxicidad

Los CGd no son nefrotóxicos con las dosis aprobadas para uso clínico. La baja viscosidad de CGd y los pequeños volúmenes administrados minimizan su potencial nefrotóxico; en pacientes con función renal normal, el riesgo de fracaso renal agudo tras CGd es prácticamente inexistente y en caso de insuficiencia renal leve-moderada tampoco hay evidencia de riesgo de nefrotoxicidad⁴.

Fibrosis sistémica nefrogénica

La fibrosis sistémica nefrogénica (FSN) es una enfermedad descrita en el año 2000 en pacientes con enfermedad renal crónica en etapa terminal, particularmente en pacientes en diálisis. Los síntomas iniciales suelen ser engrosamiento de la piel y/o prurito y posteriormente, pueden desarrollar contracturas e inmovilidad articular. Afecta principalmente a la piel y tejidos subcutáneos, pero también al pulmón, esófago, corazón y músculos esqueléticos². En 2006, se observó la asociación de la FSN con la administración de CGd en pacientes con enfermedad renal avanzada, con un tiempo de aparición de los síntomas desde la administración del CGd variable de días o meses y, excepcionalmente, años tras la última administración.

El mecanismo de desarrollo de FSN se desconoce, pero se cree que puede estar en relación con la liberación del Gd de los quelatos.

Desde que se demostró la asociación entre CGd y FSN se establecieron guías para el uso adecuado de CGd en pacientes con insuficiencia renal y tras la implantación de estas guías no se han producido nuevos casos de FSN^{2,12}.

La clasificación de los CGd según la probabilidad de desarrollo de FSN y las recomendaciones de uso de los CGd se resumen en las [tablas 2](#)¹² y [tabla 3](#)².

Depósitos de gadolinio

La detección en 2014 de áreas de hiperseñal en secuencias potenciadas en T1 en los núcleos dentados, globos pálidos y en otras múltiples localizaciones cerebrales en pacientes con función renal normal, sin evidencia clínica de enfermedad renal o hepática a los que se había administrado múltiples dosis habituales de CGd llevó a la realización de investigaciones tras las cuales se puede afirmar que esas hiperseñales en T1 corresponden a depósitos de Gd en forma del quelato de Gd original, de nuevos quelatos formados con macromoléculas endógenas o de formas insolubles del Gd. La confirmación de estos depósitos de Gd se ha efectuado en biopsias y en necropsias de pacientes expuestos a CGd diversos³. Los depósitos se producen incluso en ausencia de enfermedad clínicamente evidente y en el contexto de una barrera hematoencefálica intacta². También se ha demostrado un depósito de Gd en el hueso, riñón e hígado; en el hueso, el depósito de Gd es incluso mayor que en el sistema nervioso y se cree que el hueso puede constituir un reservorio de Gd tras su transmetalación con el calcio; en el riñón y el hígado el Gd se encuentra principalmente en el endotelio vascular y el intersticio tisular con una distribución heterogénea³.

Tabla 2 Clasificación y recomendaciones de la ESUR sobre el uso de CGd en relación con la fibrosis sistémica nefrogénica¹²

Grupo	Nombre genérico	Nombre comercial	Bioestructura	Recomendaciones
Mayor riesgo	Gadodiamida	Omniscan®	Lineal	La agencia europea del medicamento (AEM) ha suspendido el uso intravenoso de los contrastes de alto riesgo (Omniscan®, Magnevist®) y se ha retirado Optimark® del mercado europeo.
Riesgo intermedio	Gadopentetato dimeglumina	Magnevist®	Lineal	• La AEM permite el uso para artrografía de Magnevist®
	Gadoversetamina	Optimark®	Lineal	La AEM aprueba el uso de los CGd de riesgo intermedio (Multihance®, Primovist®) únicamente para estudios hepatobiliares
	Ácido gadobénico	MultiHance®	Lineal con grupo benceno	
Menor riesgo	Ácido gadoxético	Eovist®	Lineal con grupo benceno	-No es obligatorio hacer análisis para medir la función renal - Deben emplearse con precaución si: • filtrado glomerular < 30 mL/min • deberían pasar al menos 7 días entre dos administraciones de contraste - Embarazadas: se puede usar si es necesario para obtener información diagnóstica esencial - Recomendación para todos los pacientes: • nunca denegar una exploración clínicamente bien indicada mediante RM con CGd • usar la menor cantidad de contraste necesaria para obtener un resultado diagnóstico • registrar siempre en la historia: el nombre del CGd y la dosis administrada
	Gadobutrol	Gadovist®	Macrocíclico	
	Ácido gadotérico	Dotarem®	Macrocíclico	
	Ácido gadotérico	Clariscan®	Macrocíclico	
	Gadoteridol	ProHance®	Macrocíclico	

CGd: contrastes de gadolinio; ESUR: European Society of Urogenital Radiology; RM: resonancia magnética.

En julio de 2015 se emitió una alerta de seguridad y se comunicó que se estaba investigando el riesgo y la importancia clínica de estos depósitos de Gd². Hasta la actualidad no hay informes de que estos depósitos estén asociados con cambios histológicos y, aunque no se conocen consecuencias clínicas adversas, está justificado continuar las investigaciones para aclarar los mecanismos del depósito, el estado de quelación de estos depósitos, la relación con la estabilidad y la afinidad de unión del CGd, y el potencial tóxico teórico, que puede ser diferente para distintos CGd. Hasta que se comprendan completamente los mecanismos implicados y sus consecuencias clínicas, se debe evaluar cuidadosamente la seguridad y el potencial de depósito tisular de los CGd².

Dosis y modo de administración

El CGd de distribución extracelular se administra más frecuentemente por vía i.v. pero existen otras posibles vías de administración como la intraarticular y, excepcionalmente, la intratecal.

Vía intravenosa: en la administración i.v. la dosis generalmente es de 0,1 mmol/kg²². Puede administrarse en embolada manual, si no se requieren estudios dinámicos, o mediante inyector, que asegura la homogeneidad de la embolada, cuando se requiere un estudio dinámico y análisis de la cinética del contraste con curvas de captación. La administración de los CGd puede ser variable según la patología, los equipos de resonancia y las secuencias utilizadas. En la [tabla 4](#) se resumen algunas de sus principales indicaciones^{23–25}.

Los nuevos contrastes de alta relajatividad (aún no comercializados) permiten reducir la dosis de Gd sin disminuir su eficacia^{11,26}; se ha publicado que el gadopíclenol a 0,05 mmol/kg, tiene un perfil de seguridad y capacidad de detección de lesiones comparable a 0,1 mmol/kg de un CGd como Gadovist®²⁷ con una farmacocinética y seguridad similar en pacientes pediátricos de dos a 17 años, que en adultos²⁸.

Vía intraarticular: la artrografía directa por RM (artro-RM) con administración de CGd intraarticular es la técnica

Tabla 3 Clasificación y recomendaciones de la ACR sobre el uso de CGd en relación con la fibrosis sistémica nefrogénica²

Grupo	Nombre genérico	Nombre comercial	Bioestructura	Recomendaciones
Grupo I Contrastes asociados con el mayor número de casos de FSN	Gadodiamida	Omniscan®	Lineal	Riesgo de desarrollar FSN si: ● paciente en diálisis ● insuficiencia renal crónica grave (filtrado glomerular < 30 mL/min/1,73 m²) sin diálisis ● insuficiencia renal aguda
	Gadopentetato dimeglumina	Magnevist®	Lineal	
	Gadoversetamina	Optimark®	Lineal	
Grupo II Contrastes asociados con pocos casos, si es que hay alguno, de FSN sin factores de confusión	Ácido gadobénico	MultiHance®	Lineal con grupo benceno	El riesgo de FSN con dosis estándar o inferiores de CGd es suficientemente bajo o posiblemente inexistente como para que la evaluación de la función renal con un cuestionario o pruebas de laboratorio antes de la administración i.v. de CGd sea opcional
	Gadobutrol	Gadovist®	Macrocíclico	
	Ácido gadotérico	Dotarem®	Macrocíclico	
	Ácido gadotérico	Clariscan®	Macrocíclico	
	Gadoteridol	ProHance®	Macrocíclico	
	Gadopiclesol	Elucirem®	Macrocíclico	
	Gadopiclesol	Vueway®	Macrocíclico	
Grupo I Contrastes con datos limitados del riesgo de FSN. Pero se han notificado pocos casos de FSN, si es que hay alguno, sin factores de confusión	Ácido gadoxético	Eovist®	Lineal con grupo benceno	No hay datos suficientes para determinar el riesgo de FSN tras administración CGd del grupo III. Es importante identificar los pacientes con riesgo de desarrollar FSN: ● paciente en diálisis ● insuficiencia renal crónica grave (filtrado glomerular < 30 mL/min/1,73 m²) sin diálisis ● insuficiencia renal aguda
		Primovist®		

ACR: American College of Radiology®; CGd: contraste de gadolinio; FSN: fibrosis sistémica nefrogénica; i.v.: intravenoso.

de referencia para la valoración de las estructuras articulares. Se realiza administrando CGd diluido mediante una punción articular (tabla 4); la dilución adecuada es fundamental porque el aumento de la concentración provoca la disminución de la señal en secuencias potenciadas en T1 y en T2 y causa posibles errores diagnósticos²⁹. La cantidad a inyectar depende de la articulación y generalmente se acepta: glenohumeral 8-15 mL, codo 3-6 mL, radiocarpiana 3-4 mL, cadera 10-12 mL, rodilla 30-40 mL, tobillo 4-8 mL, metatarsofalángicas 1-2 mL³⁰.

Vía intratecal: la administración intratecal de CGd se ha utilizado para detectar anomalías complejas del líquido cefalorraquídeo. Los CGd intratecales son seguros con dosis bajas, pero se han producido manifestaciones neurotóxicas en casos de sobredosis accidental. En un metanálisis reciente se detectaron 10 pacientes (de 1.036 analizados) con manifestaciones neurotóxicas graves tras CGd intratecal y concluyen que existe seguridad clínica relativa con dosis intratecales bajas (hasta 1,0 mmol), pero plantean que se requieren ensayos controlados aleatorios o estudios prospectivos para definir con seguridad indicaciones y dosis de administración de los CGd³¹.

Aplicaciones clínicas de los contrastes de gadolinio extracelulares

La administración de CGd está indicada en el estudio de múltiples patologías de las diferentes áreas de la radiología. A continuación, se recogen algunas de las recomendacio-

nes principales de su uso, de forma orientativa. El análisis exhaustivo de las patologías y de las diferentes secuencias utilizadas con los CGd está fuera del objetivo de este trabajo.

Sistema nervioso central

La RM con CGd está indicada en múltiples patologías del sistema nervioso central (SNC), cabeza y cuello. Las indicaciones más frecuentes son el diagnóstico diferencial y extensión de tumores (fig. 1), metástasis, infecciones, enfermedades desmielinizantes y sospecha de lesiones vasculares (malformaciones arteriovenosas, aneurismas, fístulas durales), entre otras³²⁻³⁵. Según la sospecha clínica, la RM con CGd está indicada en el diagnóstico, en los controles tras el tratamiento y durante el seguimiento³⁴; en otros casos, como en la esclerosis múltiple, el CGd está indicado en el estudio basal para el diagnóstico y pronóstico de la enfermedad, pero en la actualidad se considera que generalmente no es necesario y no debe utilizarse de forma rutinaria durante el seguimiento³⁴.

Según la sospecha clínica, el equipo de RM y las secuencias disponibles, los estudios se realizarán preferentemente con espín-eco rápido (TSE), turbo eco de gradiente (TEG) 3 D o secuencias de sangre negra. De acuerdo con la patología a estudio, se obtendrán imágenes estáticas pre y poscontraste potenciadas en T1 o secuencias dinámicas de perfusión durante la administración del CGd. Las secuencias de perfusión potenciadas en T1 se realizan para la caracterización

Tabla 4 Vías de administración, dosis y flujo habituales en CGd extracelular en algunas de las indicaciones clínicas

Área	Vía de administración	Indicación	Dosis	Flujo	Suero salino
SNC	Intravenosa	Estudios estáticos pre-poscontraste	0,1 mmol/kg	2 mL/s	20 mL
	Intravenosa	Perfusión T1 o T2*	0,1 – 0,2 mmol/kg	5 mL/s	20 mL
	Intravenosa	Angio-RM con contraste: Malformaciones, etc.	0,1 mmol/kg	2 mL/s	20 mL
	Intratecal	Punción directa intratecal Anomalías complejas líquido cefalorraquídeo	Menor de 1,0 mmol	-	-
Mama	Intravenosa	Dinámico Cáncer de mama y cribado	0,1 mmol/kg	2 mL/s	20 mL
Cardiovascular	Intravenosa	Perfusión primer paso	0,05 – 0,1 mmol/kg	3-7 mL/s	30 mL
	Intravenosa	Realce tardío	0,1 – 0,2 mmol/kg	2-3 mL/s	20 mL
Angio - RM	Intravenosa	Aorta, arterias y venas pulmonares, arterias renales	0,1 – 0,2 mmol/kg	3-5 mL/s	20 mL
Abdomen - pelvis	Intravenosa	Hepato-bilio-pancreático, entero-RM, peritoneo, pelvis, próstata, escroto	0,1 mmol/kg	2 mL/s	20 mL
Musculoesquelético	Intravenosa	Pre y poscontraste básico. Estudios dinámicos de caracterización	0,1 mmol/kg	2 mL/s	20 mL
	Intrarticular	Arthro-RM directa	CGd diluido: 0,1 mL de CGd (0,5 mmol/mL) en 20 mL de suero fisiológico	-	-

Angio-RM: angiografía por resonancia magnética; Arthro-RM: artrografía directa por RM; CGd: contraste de gadolinio; Entero-RM: enterografía por RM; SNC: sistema nervioso central.

titular y el análisis de la cinética del contraste y las de perfusión potenciadas en T2* (*dynamic susceptibility contrast* [DSC]) para obtener información de la perfusión tisular capilar y del volumen sanguíneo. Las dosis y flujos más frecuentemente empleados en el SNC se resumen en la [tabla 4](#).

Mama

La RM tiene una gran sensibilidad para detectar el cáncer de mama, debido a que la neoangiogénesis tumoral tiene mayor permeabilidad y provoca una extravasación precoz del CGd³⁶ ([fig. 2](#)). El estudio se realiza con una secuencia dinámica T1-TEG, con o sin supresión grasa, preferentemente en el plano transversal. Se adquiere una serie precontraste y tras la administración del CGd se obtienen las series poscontraste ([tabla 4](#)). Es fundamental que las adquisiciones posCGd sean lo más precoces posible, tanto para la estadificación del cáncer ([fig. 3](#)), la valoración de respuesta de posneoadyuvancia como para los estudios de cribado^{36–38}. La aplicación del protocolo de adquisición y posprocesado de las imágenes, permite efectuar un informe radiológico estructurado óptimo³⁹.

Cardiovascular

El CGd está indicado en múltiples patologías cardiovasculares como la enfermedad coronaria para establecer

el pronóstico y seguimiento de la cardiopatía isquémica ([fig. 4](#))⁴⁰, en el síndrome coronario crónico⁴¹, en miocardiopatías, cardiopatías congénitas, masas cardíacas, etc.^{41,25}.

La dosis, volumen y velocidad de administración del CGd varían según se requieran estudios de perfusión de primer paso, de realce tardío o estudios de angiografía por RM ([fig. 5](#)), pero existen indicaciones estandarizadas según acuerdos de expertos que se recogen en la [tabla 4](#)^{23,42,43}.

Hepato-bilio-pancreático

El CGd extracelular es parte fundamental de la RM multiparamétrica (RMmp) hepato-bilio-pancreática, mediante un estudio dinámico T1-TEG con supresión grasa y obtención de imágenes basales precontraste, de administración del contraste ([tabla 4](#)) y adquisición poscontraste de, al menos, tres fases: arterial, venosa portal e intersticial o de equilibrio⁴⁴ ([fig. 6](#)).

Intestino delgado

El CGd está indicado en la enterografía por RM para identificar la presencia y severidad de la actividad inflamatoria y la detección de complicaciones. Generalmente, se obtienen imágenes T1-TEG con supresión grasa en el plano coronal poscontraste en la fase portal (60 s) ([fig. 7](#)), aunque algunos autores adquieren cuatro fases: sin contraste, arterial

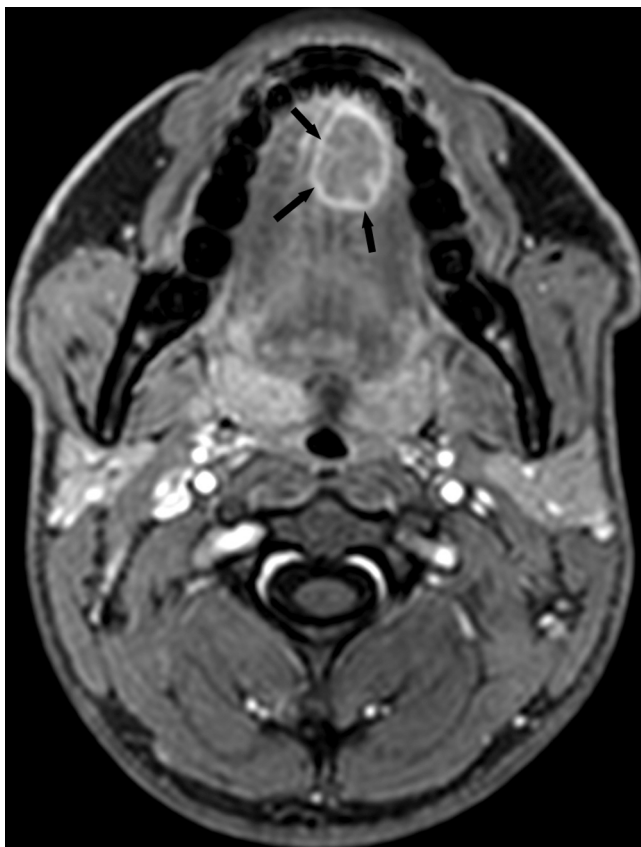


Figura 1 Varón de 17 años con una lesión indurada y adherida en la cara ventral de la lengua. La RM en secuencia T1-TEG con supresión grasa poscontraste demuestra un nódulo en 1/3 anterior izquierdo de la lengua con realce heterogéneo (flechas). El diagnóstico anatomopatológico fue de sarcoma sinovial. RM: resonancia magnética; TEG: turbo eco de gradiente.

(20-25 s), portal (60 s) y equilibrio (120 s). Tras el plano coronal, se realizan secuencias T1-TEG con supresión grasa en los planos transversal y sagital^{45,46}.

Fístulas perianales

La RM es de elección para la identificación y caracterización de las fístulas complejas de cara a decidir su tratamiento⁴⁷. Las secuencias T1-TEG 3D con supresión grasa en el plano transversal y coronal al eje del canal anal, sin y tras la administración de CGd (tabla 4), permite identificar el realce de los trayectos fistulosos y del tejido de granulación y detectar la presencia de abscesos^{48,49}.

Recto

El CGd no está indicado en la valoración inicial porque no mejora la seguridad diagnóstica del grado de extensión local^{50,51}. En la reevaluación tras neoadyuvancia no se emplea de forma habitual, aunque puede tener utilidad, en algunos casos, para detectar la persistencia tumoral como áreas de realce heterogéneo⁵¹ y posibles complicaciones como fistulización o abscesos pélvicos⁵². Sí está indicado el

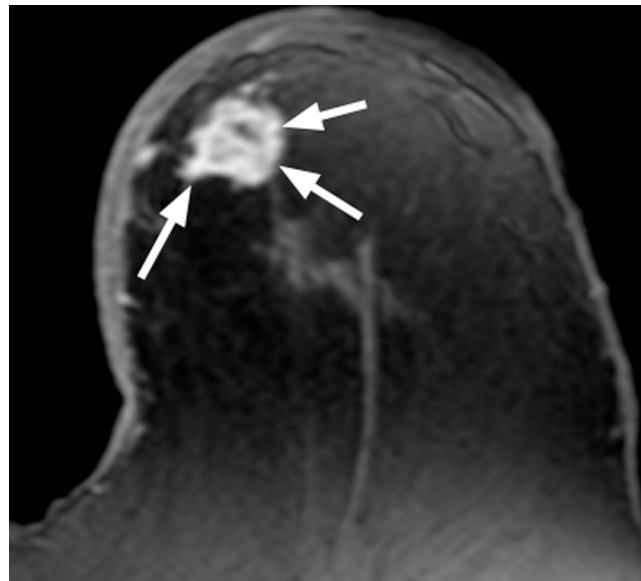


Figura 2 Mujer de 59 años que se palpa un nódulo en la mama izquierda. Biopsia guiada con ecografía y anatomía patológica de carcinoma ductal infiltrante. La RM preneoadyuvancia en secuencia T1-TEG con supresión grasa poscontraste evidencia el nódulo único con realce intenso en la fase arterial (flechas). RM: resonancia magnética; TEG: turbo eco de gradiente.



Figura 3 Mujer de 42 años con mamas muy densas. Nódulo en la mama izquierda biopsiado mediante control ecográfico con anatomía patológica de carcinoma ductal infiltrante. La RM preneoadyuvancia T1-TEG con supresión grasa poscontraste demuestra el nódulo biopsiado y nódulos múltiples dispersos con realce intenso en la fase arterial (flechas). RM: resonancia magnética; TEG: turbo eco de gradiente.

CGd en casos de sospecha de una recurrencia local tras el tratamiento.

Peritoneo

La RM del peritoneo puede aportar información para el diagnóstico y la planificación quirúrgica de tumores peritoneales primarios o metastásicos⁵³. La secuencia dinámica T1-TEG 3D en los planos transversal, coronal y sagital de todo el abdomen a los cinco minutos de la administración del CGd permite valorar las zonas de realce anómalo del peritoneo, fundamental para la valoración de la extensión tumoral⁵⁴.

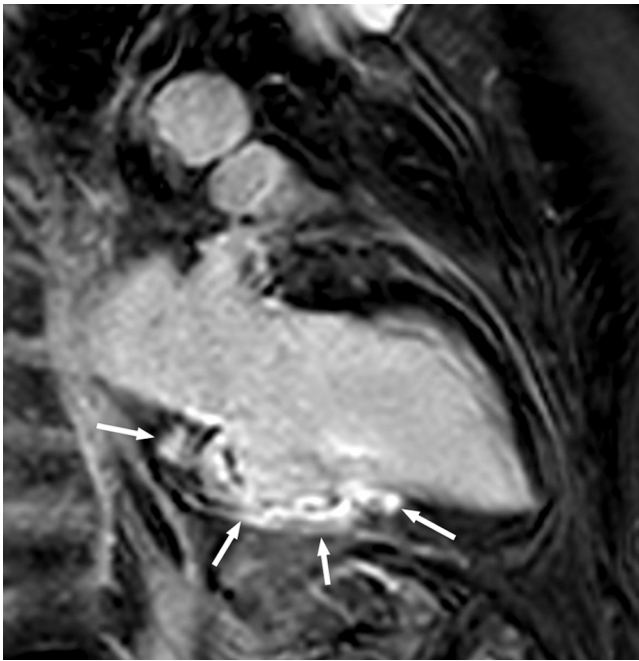


Figura 4 Varón de 39 años. La RM cardíaca en secuencia de realce tardío poscontraste, en plano de dos cámaras, demuestra hiperseñal miocárdica en los segmentos inferiores basales y medios (flechas) por contraste retenido en el miocardio patológico debido a infarto en el territorio de la coronaria derecha.

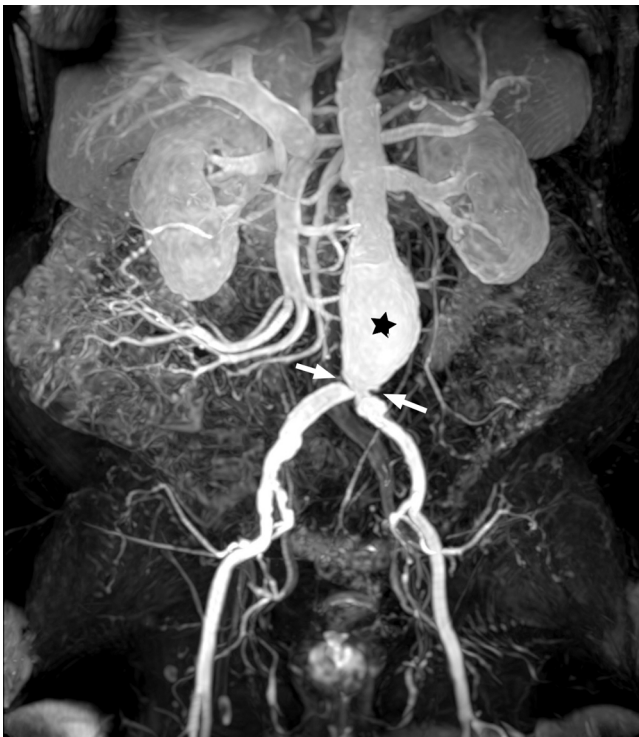


Figura 5 Varón de 80 años. La angio-RM T1-TEG 3 D en el plano coronal demuestra un aneurisma fusiforme infrarrenal (asterisco) y estenosis en confluencia aorto-iliaca (flechas). Angio-RM: angiografía por resonancia magnética; TEG: turbo eco de gradiente.

Pelvis femenina

Los estudios de RM de la pelvis femenina se realizan con protocolos diversos según el tipo de patología que se esté estudiando⁵⁵. Dada la diversidad en los protocolos, se detallan a continuación los aspectos más relevantes de las patologías principales.

Cáncer de cérvix

La RM es una técnica indicada para la estadificación locorregional basal, la respuesta del tumor a la quimiorradioterapia y la valoración de recidivas locorregionales. El CGd no está indicado en la valoración inicial y en la respuesta tras neoadyuvancia, aunque puede ser de utilidad en casos de duda, fundamentalmente en la valoración de infiltración de estructuras adyacentes. Sí está indicado en la sospecha de recaída tras el tratamiento^{55,56}.

Carcinoma de endometrio

La RM con CGd está indicada para valorar el tamaño del tumor y la profundidad de la invasión miometrial. La secuencia T1-TEG a los dos minutos y 30 segundos permite obtener el mejor contraste entre el tumor y el miometrio⁵⁵. Se puede hacer el estudio con adquisición de una secuencia pre y otra poscontraste o bien mediante la obtención de una secuencia dinámica T1-TEG 3 D con supresión de grasa^{55,57} (fig. 8).

Masas vaginales

La secuencia dinámica T1-TEG con supresión grasa con CGd en las fases arterial, portal y de equilibrio es útil para caracterizar y definir la extensión de las masas⁵⁸.

Masas anexiales

La RMmp está indicada para caracterizar las masas anexiales cuando la ecografía es indeterminada. La RM con CGd, mediante una secuencia T1-TEG dinámica o bien una secuencia potenciada en T1 pre y poscontraste, preferiblemente en un plano transversal (paralelo al cuerpo uterino) es primordial para detectar el realce de nódulos o áreas sólidas murales y áreas de necrosis⁵⁵.

Endometriosis

La RMmp es complementaria a la ecografía si esta no es concluyente o si se requiere más información para planificar la cirugía.

No existe una recomendación clara sobre la necesidad de CGd y es opcional en el diagnóstico inicial para la valoración de la endometriosis anexial indeterminada o el diagnóstico diferencial con otras patologías pélvicas⁵⁹.

Próstata

Las guías clínicas del cáncer de próstata recomiendan utilizar la RMmp para diagnosticar esta entidad en pacientes con antígeno prostático específico (PSA) elevado previo a la biopsia⁶⁰. La guía *Prostate Imaging Reporting & Data System (PI-RADS®)* 2.1 incluye realizar una secuencia dinámica posCGd para completar la valoración de la zona periférica de la glándula (tabla 4)⁶¹.

Últimamente, se ha planteado la posibilidad de suprimir la secuencia dinámica poscontraste y realizar una RM bipa-

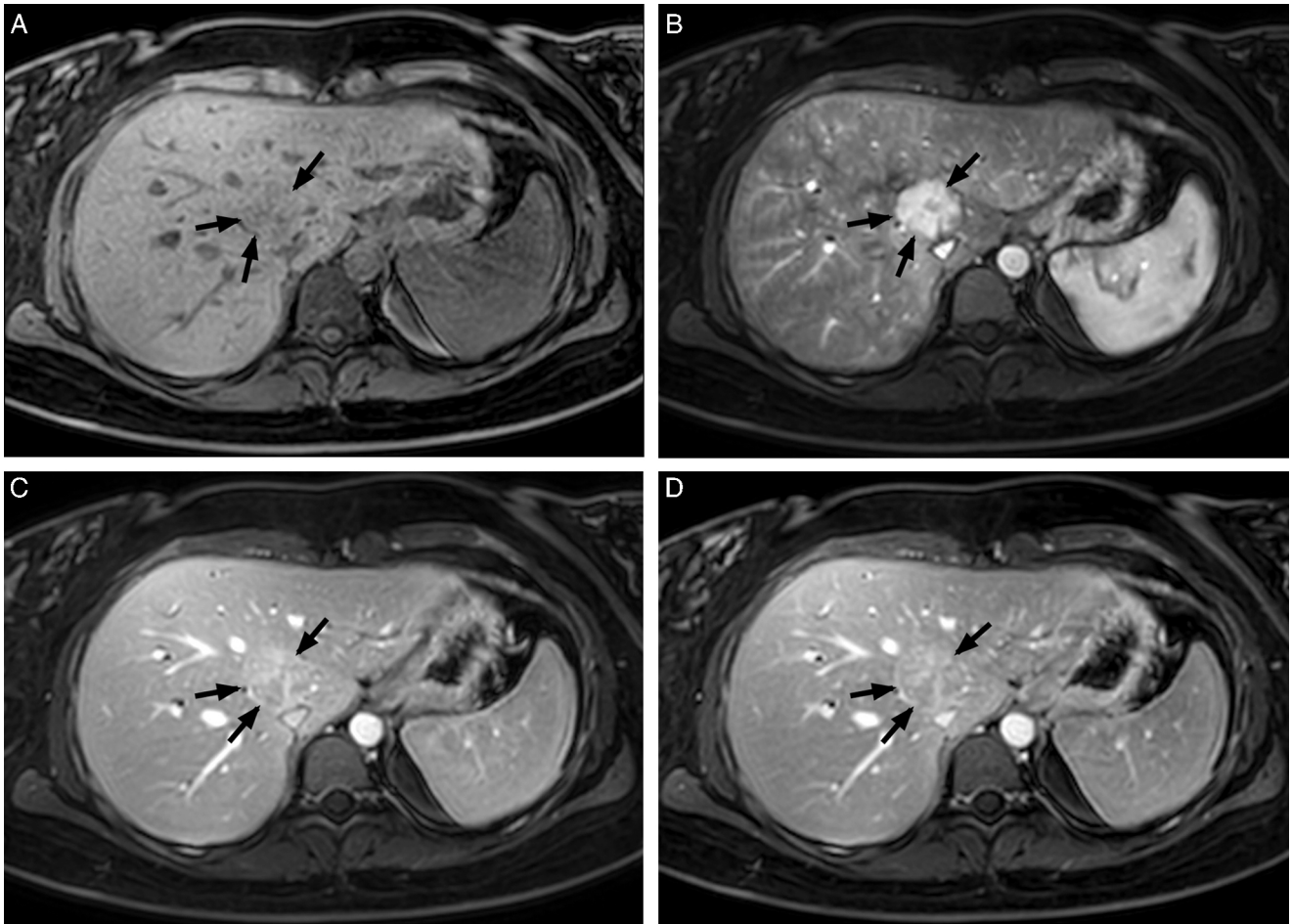


Figura 6 Mujer de 25 años con ictericia y colestasis. La RM hepática, secuencia T1-TEG con supresión de grasa (a) sin contraste y poscontraste (b) en fase arterial, portal (c) y equilibrio (d), demuestra una masa de 36 mm en el segmento VIII (flechas), bien delimitada, con realce intenso y heterogéneo, con centro hipointenso en la fase arterial, que en las fases portal y de equilibrio se hace mayoritariamente isointensa con alguna zona central que permanece hiperintensa, en relación con hiperplasia nodular focal. RM: resonancia magnética; TEG: turbo eco de gradiente.

ramétrica con secuencias potenciadas en T2 y de difusión⁶². Sin embargo, abandonar las imágenes poscontraste supondría un aumento de lesiones indeterminadas y una reducción en la detección de cáncer de próstata clínicamente significativo, especialmente si la interpretación la efectúan profesionales con menos experiencia⁶³. Recientemente, se ha publicado que se necesitan más estudios prospectivos para poder hacer recomendaciones basadas en evidencia sobre la RM sin contraste en el diagnóstico inicial del cáncer de próstata⁶⁴.

En la valoración de recidiva local tras una prostatectomía o radioterapia y en pacientes en vigilancia activa se debe incluir una secuencia dinámica con CGd⁶⁵.

Escroto - testículo

La RM escrotal es complementaria de la ecografía⁶⁶ porque aporta información útil cuando los hallazgos ecográficos no son concluyentes o no son concordantes con la exploración clínica en: 1) diferenciación entre lesiones intratesticulares y paratesticulares, 2) caracterización de lesiones intra-

testiculares y paratesticulares, 3) diagnóstico diferencial entre los tumores de células germinales y tumores testiculares del cordón sexual, estadificación local de neoplasias malignas testiculares (en pacientes planificados para cirugía conservadora de testículos), 5) diferenciación entre seminomas y tumores no seminomatosos (cuando la quimioterapia inmediata se planifica y se retrasa la orquiectomía), 6) en evaluación del escroto agudo y traumatismo escrotal y 7) detección y localización de testículos no descendidos⁶⁷. La RM proporciona una sensibilidad del 100% y una especificidad del 88% en la evaluación y caracterización de masas intratesticulares para la diferenciación de benignos y malignos⁶⁸. La RMmp escrotal incluye la secuencia T1-TEG 3D en el plano coronal pre y posCGd con obtención de cinco a siete dinámicos⁶⁹.

Musculoesquelético

La administración de CGd i.v. mejora el diagnóstico y la extensión de las infecciones musculoesqueléticas y ayuda a caracterizar y diferenciar la celulitis focal, absceso, mio-

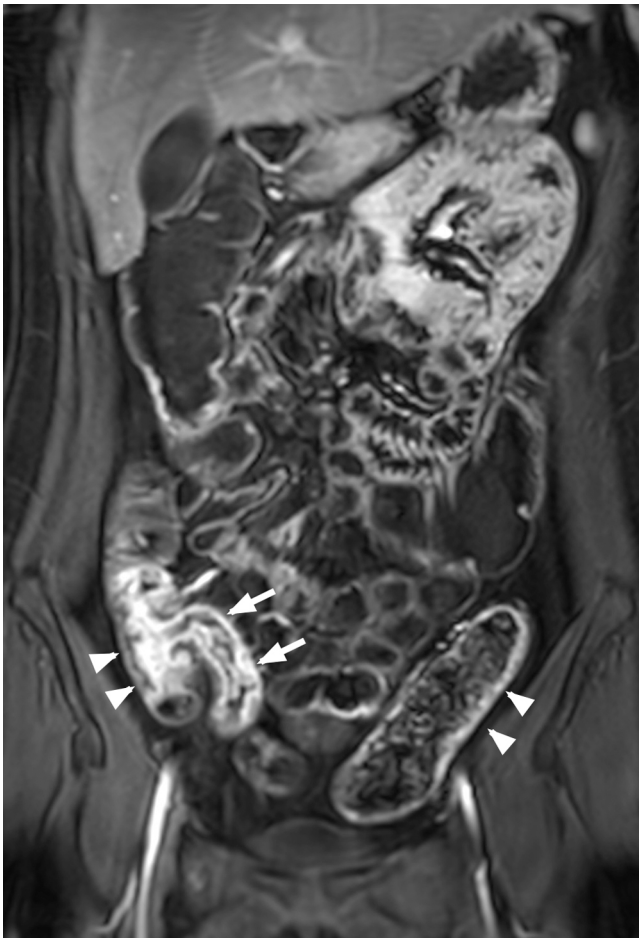


Figura 7 Mujer de 20 años. La RM intestinal con CGd demuestra un realce de la pared de un segmento de 7 cm de íleon terminal (flechas) y de 8 cm de ciego y colon ascendente (punta de flecha) y realce en la pared del colon descendente (puntas de flecha), por enfermedad de Crohn, con actividad inflamatoria.

CGd: contraste de gadolinio; RM: resonancia magnética.

sitis, fascitis, infección necrotizante de tejidos blandos, artritis séptica e infecciones óseas⁷⁰. En el estudio de las masas de partes blandas, los CGd son fundamentales para la caracterización y valoración de su extensión⁷¹ (fig. 9).

Recientemente, la Sociedad de Radiología Esquelética (SSR) ha propuesto un sistema de datos e informes óseos (Bone-RADS) y algoritmos para el diagnóstico de lesiones óseas en el que se especifica que en múltiples circunstancias el uso de CGd ayuda al diagnóstico de las lesiones óseas⁷².

Estudios articulares: la artro-RM directa se considera la modalidad de imagen más precisa para la evaluación de estructuras intraarticulares. Recientemente, se ha publicado un documento de consenso de la SSR con recomendaciones sobre el uso de la artro-RM y sus aplicaciones clínicas habituales⁷². La artro-RM directa sigue siendo en la actualidad, un procedimiento importante para el diagnóstico y es especialmente útil cuando la RM convencional es indeterminada o los resultados discrepan de la evaluación clínica³⁰.

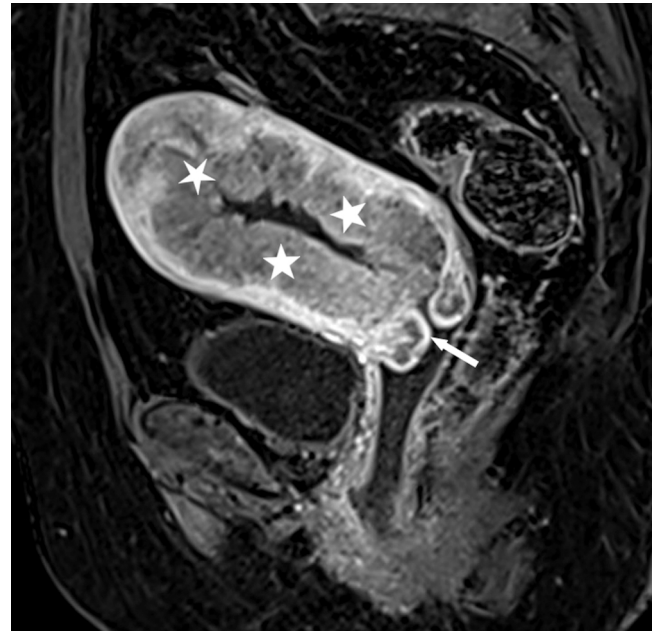


Figura 8 Mujer de 60 años con metrorragia. Neoformación endometrial en el cuerpo uterino (asteriscos) que se extiende hasta el orificio cervical interno. El CGd permite definir la invasión de más del 50% del miometrio y por el realce normal de la mucosa cervical (flechas) se excluye la invasión del estroma cervical. CGd: contraste de gadolinio.

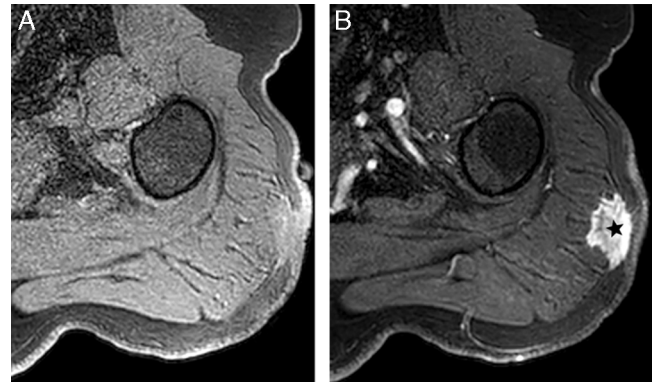


Figura 9 Varón de 65 años con una masa en el hombro izquierdo. La RM T1-TEG (a) sin contraste y (b) poscontraste en la fase arterial demuestra una masa (asterisco) de 3 x 2 cm, de contorno irregular, en tejido celular subcutáneo que infiltra la fascia y el compartimento muscular. El diagnóstico anatómico patológico fue de linfoma.

RM: resonancia magnética; TEG: turbo eco de gradiente.

Conclusiones

Los CGd de distribución extracelular son los más frecuentemente utilizados en la práctica clínica. Son contrastes seguros que aumentan la capacidad diagnóstica y que forman parte de los protocolos básicos de estudio de múltiples patologías. Conocer su formulación, biodistribución, complicaciones e indicaciones mejora el proceso diagnóstico en RM en todas las áreas de la radiología.

Autoría

1. Responsable de la integridad del estudio: RSF.
2. Concepción del estudio: RSF.
3. Diseño del estudio: RSF.
4. Obtención de los datos: no procede.
5. Análisis e interpretación de los datos: no procede.
6. Tratamiento estadístico: no procede.
7. Búsqueda bibliográfica: RSF, CMD, ERG.
8. Redacción del trabajo: RSF.
9. Revisión crítica del manuscrito con aportaciones intelectualmente relevantes: RSF, CMD, ERG.
10. Aprobación de la versión final: RSF, CMD, ERG.

Financiación

No se ha recibido ninguna subvención ni ayuda económica de instituciones públicas o privadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Soler R, Rodríguez E, Méndez C. Medios de contraste basados en gadolinio de distribución extracelular. En: Martí-Bonmatí L, Pallardó Calatayud Y, editores. Monografías SERAM. 1 ed. Madrid: Médica Panamericana; 2007.
2. ACR Manual on ContrastMedia 2023 [consultado 18 Dic 2023]. Disponible en: https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Clinical-Resources/Contrast_Media.pdf
3. Martí-Bonmatí L, Martí-Bonmatí E. Retención de compuestos de gadolinio usados en resonancia magnética: revisión crítica y recomendaciones de las agencias regulatorias. Radiología. 2017;59:469–77.
4. Carrasco Muñoz S, Calles Blanco C, Marcin J, Fernández Álvarez C, Lafuente Martínez J. Contrastes basados en gadolinio utilizados en resonancia magnética. Radiología. 2014;56(S1):21–8.
5. Beckett KR, Moriarity AK, Langer JM. Safe Use of Contrast Media: What the Radio-logist Needs to Know. Radiographics. 2015;35:1738–50.
6. Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). Riesgo de formación de depósitos cerebrales asociado a la administración de agentes de contraste con gadolinio. Recomendaciones del Comité europeo para la evaluación de riesgos en farmacovigilancia (PRAC) [consultado 20 Dic 2023]. Disponible en: https://www.aemps.gob.es/informa/notasinformativas/medicamentosuso-humano-3/seguridad-1/2017/ni-muh.fv_02-gadolinio/#_edn1
7. Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). Gadodiamida (Omniscan®): suspensión de comercialización [consultado 20 Dic 2023]. Disponible en: https://www.aemps.gob.es/informa/notasinformativas/medicamentosuso-humano-3/seguridad-1/2018/ni-muh.fv_04-gadodiamida-omniscan/
8. Rohrer M, Bauer H, Mintonovitch J, Requardt M, Weinmann HJ. Comparison of magnetic properties of MRI contrast media solutions at different magnetic field strengths. Invest Radiol. 2005;40:715–24.
9. Martí-Bonmatí L, Pallardó Calatayud Y. Introducción a los medios de contraste en Radiología. En: Martí-Bonmatí L, Pallardó Calatayud Y, editores. Monografías SERAM. 1 ed. Madrid: Médica Panamericana; 2007.
10. Bashir MR, Thomas KL. A New Generation of Gadolinium-based MRI Contrast Agents: Higher Relaxivity, Lower Dose. Radiology. 2023;308:e231454.
11. Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). Reunión del Comité de Medicamentos de Uso Humano (CHMP). Fecha de publicación: 24 de Oct de 2023 [consultado 20 Dic 2023]. Disponible en: <https://www.aemps.gob.es/informa/reunion-del-comite-de-medicamentos-de-uso-humano-chmp-de-octubre-2023/>
12. Guías de la ESUR sobre agentes de contraste. Sociedad Europea de Radiología Urogenital 10.0 Oct 2018 [consultado 22 Dic 2023]. Disponible en: <https://www.esur.org/esur-guidelines-on-contrast-agents/>
13. Hunt CH, Hartman RP, Hesley GK. Frequency and severity of adverse effects of iodinated and gadolinium contrast materials: retrospective review of 456,930 doses. AJR Am J Roentgenol. 2009;193:1124–7.
14. Pacheco Compañía FJ, Gago Vidal B, Méndez Díaz C. Extravasación de medios de contraste intravenosos en el sitio de la punción: Protocolo de actuación. Radiología. 2014;56:295–302.
15. Tardáguila de la Fuente G, Santos Armentia ME, Tardáguila Montero F. Administración de contrastes intravenosos: las extravasaciones. Radiología. 2014;56 Suppl 1:38–44.
16. Behzadi AH, Farooq Z, Newhouse JH, Prince MR. MRI and CT contrast media extravasation: A systematic review. Medicine. 2018;97:e0055.
17. Oh KY, Roberts VH, Schabel MC, Grove KL, Woods M, Frias AE. Gadolinium Chelate Contrast Material in Pregnancy: Fetal Biodistribution in the Nonhuman Primate. Radiology. 2015;276:110–8.
18. Ray JG, Vermeulen MJ, Bharatha A, Montanera WJ, Park AL. Association Between MRI Exposure During Pregnancy and Fetal and Childhood Outcomes. JAMA. 2016;316:952–61.
19. American College of Radiology; ACR Committee on MR Safety. ACR Manual on MR Safety Version 1.0. 2020 [consultado 18 Dic 2023]. Disponible en: <https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Radiology-Safety/MR-Safety/Manual-on-MR-Safety.pdf>
20. Wang PI, Chong ST, Kielar AZ, Kelly AM, Knoepp UD, Mazza MB, et al. Imaging of pregnant and lactating patients: part 1, evidence-based review and recommendations. AJR Am J Roentgenol. 2012;198:778–84.
21. Jordan RM, Mintz RD. Fatal reaction to gadopentetate dimeglumine. AJR Am J Roentgenol. 1995;164:743–4.
22. Fraga Rivas P, De Miguel Criado J, García Del Salto Lorente L, Gutiérrez Velasco L, Quintana Valcarcel P. Seguridad del paciente en Resonancia Magnética. Radiología. 2023;65:447–57.
23. Kramer CM, Barkhausen J, Bucciarelli-Ducci C, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update. J Cardiovasc Magn Reson. 2020;22:17.
24. Lee VS, Martin DJ, Krinsky GA, Rofsky NM. Gadolinium-enhanced MR angiography: artifacts and pitfalls. AJR Am J Roentgenol. 2000;175:197–205.
25. Leiner T, Bogaert J, Friedrich MG, Mohiaddin R, Muthurangu V, Myerson S, et al. SCMR Position Paper (2020) on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance. J Cardiovasc Magn Reson. 2020;22:76.
26. Alsogati E, Ghandourah H, Bakhsh A. Review of the Efficacy and Safety of Gadopidlenol: A Newly Emerging Gadolinium-Based Contrast Agent. Cureus. 2023;15:e43055.
27. Kuhl C, Csösz T, Piskorski W, Misalski T, Lee JM, Otto PM. Efficacy and Safety of Half-Dose Gadopidlenol versus Full-Dose Gadobutrol for Contrast-enhanced Body MRI. Radiology. 2023;308:e222612.

28. Jurkiewicz E, Tsvetkova S, Grinberg A, Pasquiers B. Pharmacokinetics, Safety, and Efficacy of Gadopiclenol in Pediatric Patients Aged 2 to 17 Years. *Invest Radiol*. 2022;57:510–6.
29. Kurra C, Harmon TS, Taylor K, Utz J, Hernandez M, Matteo J, et al. The Dark Side of Gadolinium: A Study of Arthrographic Contrast at Extreme Concentrations. *Cureus*. 2019;11:e6006.
30. Chang EY, Bencardino JT, French CN, Fritz J, Hanrahan CJ, Jibri Z, et al. SSR white paper: guidelines for utilization and performance of direct MR arthrography. *Skeletal Radiol*. 2024;53:209–44.
31. Patel M, Atyani A, Salameh JP, McInnes M, Chakraborty S. Safety of Intrathecal Administration of Gadolinium-based Contrast Agents: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology*. 2020;297:75–83.
32. Essig M, Anzalone N, Combs SE, Dörfler A, Lee SK, Picozzi P, et al. MR imaging of neoplastic central nervous system lesions: review and recommendations for current practice. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2012;33:803–17.
33. Kaufmann TJ, Smits M, Boxerman J, Huang R, Barboriak DP, Weller M, et al. Consensus recommendations for a standardized brain tumor imaging protocol for clinical trials in brain metastases. *Neuro Oncol*. 2020;22:757–72.
34. Rovira À, Doniselli FM, Auger C, Haider L, Hodel J, Severino M, et al. Use of gadolinium-based contrast agents in multiple sclerosis: a review by the ESMRMB-GREC and ESNR Multiple Sclerosis Working Group. *Eur Radiol*. 2023;34:1726–35, <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-023-10151-y>.
35. Santos Armentia E, Martín Noguerol T, Suárez Vega V. Técnicas avanzadas de resonancia magnética en patología tumoral de cabeza y cuello. *Radiología*. 2019;61:191–203.
36. Mann RM, Cho N, Moy L. Breast MRI: State of the Art. *Radiology*. 2019;292:520–36.
37. Greenwood HI, Freimanis RI, Carpentier BM, Joe BN. Clinical Breast Magnetic Resonance Imaging: Technique, Indications, and Future Applications. *Semin Ultrasound CT MR*. 2018;39:45–59.
38. Mann RM, Athanasiou A, Baltzer PAT, Camps-Herrero J, Clauser P, Fallenberg EM, et al. Breast cancer screening in women with extremely dense breasts recommendations of the European Society of Breast Imaging (EUSOBI). *Eur Radiol*. 2022;32:4036–45.
39. García Mur C, García Barrado AI, Cruz Ciria S. El informe radiológico: informe estructurado, ¿qué y cómo? Informe estructurado de RM mama en neoadyuvancia: qué información se precisa en los comités? *Radiología*. 2022;64:89–97.
40. Hidalgo A, Pons-Lladó G. Utilidad de la RM cardíaca en el pronóstico y seguimiento de la cardiopatía isquémica. *Radiología*. 2015;57:201–12.
41. Rajiah PS, François CJ, Leiner T. Cardiac MRI: State of the Art. *Radiology*. 2023;307:e223008.
42. Díaz Angulo C, Méndez Díaz C, Rodríguez García E, Soler Fernández R, Rois Siso A, Marini Díaz M. Hallazgos de imagen de las masas cardíacas (parte I): protocolo de estudio y tumores benignos. *Radiología*. 2015;57:480–8.
43. Bernal Garnes N, Méndez Díaz C, Soler Fernández R, Rodríguez García E. Resonancia magnética en la valoración de las conexiones venosas pulmonares anómalas. *Radiología*. 2016;58:111–9.
44. Inge KI, Wang J, Deng Y, Pi S, Geahchan A, Taouli B, et al. Abbreviated MRI Protocols in the Abdomen and Pelvis. *J Magn Reson Imaging*. 2024;59:58–69.
45. Panizza PS, Viana PC, Horvat N, Dos Santos VR Jr, De Araújo DA, Yamanari TR, et al. Inflammatory Bowel Disease: Current Role of Imaging in Diagnosis and Detection of Complications: Gastrointestinal Imaging. *Radiographics*. 2017;37:701–2.
46. Bruining DH, Zimmermann EM, Loftus EV Jr, Sandborn WJ, Sauer CG, Strong SA. Consensus Recommendations for Evaluation, Interpretation, and Utilization of Computed Tomography and Magnetic Resonance Enterography in Patients With Small Bowel Crohn's Disease. *Radiology*. 2018;286:776–99.
47. Gallego JC, Echarri A. Role of magnetic resonance imaging in the management of perianal Crohn's disease. *Insights Imaging*. 2018;9:47–58.
48. De Miguel Criado J, Del Salto LG, Rivas PF, Del Hoyo LF, Velasco LG, De las Vacas MI, et al. MR imaging evaluation of perianal fistulas: spectrum of imaging features. *Radiographics*. 2012;32:175–94.
49. Ramírez Pedraza N, Pérez Segovia AH, Garay Mora JA, Techawatanset K, Bow-man AW, Cruz Marmolejo MA, et al. Perianal Fistula and Abscess: An Imaging Guide for Beginners. *Radiographics*. 2022;42:E208–9.
50. Inoue A, Sheedy SP, Heiken JP, Mohammadinejad P, Graham RP, Lee HE, et al. MRI-detected extramural venous invasion of rectal cancer: Multimodality performance and implications at baseline imaging and after neoadjuvant therapy. *Insights Imaging*. 2021;12:110.
51. Horvat N, Carlos Tavares Rocha C, Clemente Oliveira B, Petkovska I, Gollub MJ. MRI of Rectal Cancer: Tumor Staging, Imaging Techniques, and Management. *Radiographics*. 2019;39:367–87.
52. Santiago I, Rodrigues B, Barata M, Figueiredo N, Fernandez L, Galzerano A, et al. Re-staging and follow-up of rectal cancer patients with MR imaging when «Watch-and-Wait» is an option: a practical guide. *Insights Imaging*. 2021;12:114.
53. Miguez González J, Calaf Forn F, Pelegrí Martínez L, Lozano Arranz P, Oliveira Caiafa R, Català Forteza J, et al. Primary and secondary tumors of the peritoneum: key imaging features and differential diagnosis with surgical and pathological correlation. *Insights Imaging*. 2023;14:115.
54. Maestro Durán MA, Costas Mora M, Méndez Díaz C, Fernández Blanco C, María Álvarez Seoane R, Soler Fernández R, et al. Role and usefulness of MR imaging in the assessment of peritoneal carcinomatosis. *Eur J Radiol*. 2022;156:110519.
55. European Society of Urogenital Radiology ESUR Quick Guide to Female Pelvis Imaging. ESUR Female Pelvis Imaging Working Group Fecha de publicación: abril, 2019 [consultado 27 Dic 2023]. Disponible en: https://www.esur.org/wp-content/uploads/2022/10/ESUR_2019_-_ESUR_Quick_Guide_to_Female_Pelvis_Imaging.pdf
56. Manganaro L, Lakhman Y, Bharwani N, Gui B, Gigli S, Vinci V, et al. Staging, recurrence and follow-up of uterine cervical cancer using MRI: Updated Guidelines of the European Society of Urogenital Radiology after revised FIGO staging 2018. *Eur Radiol*. 2021;31:7802–16.
57. Maheshwari E, Nougaret S, Stein EB, Rauch GM, Hwang KP, Stafford RJ, et al. Update on MRI in Evaluation and Treatment of Endometrial Cancer. *Radiographics*. 2022;42:2112–30.
58. Zulfiqar M, Shetty A, Yano M, McGettigan M, Itani M, Naeem M, et al. Imaging of the Vagina: Spectrum of Disease with Emphasis on MRI Appearance. *Radiographics*. 2021;41:1549–68.
59. Bazot M, Bharwani N, Huchon C, Kinkel K, Cunha TM, Guerra A, et al. European society of urogenital radiology (ESUR) guidelines: MR imaging of pelvic endometriosis. *Eur Radiol*. 2017;27:2765–75.
60. Vilanova JC, Catalá-Sventetzky V, Hernández-Mancera J. Resonancia magnética en la detección, estadificación y seguimiento del cáncer de próstata: síntesis de las guías PI-RADS v2.1, MET-RADS, PRECISE y PI-RR. *Radiología*. 2023;65:431–46.
61. PI-RADS [consultado Dic 2023]. Disponible en: <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Reporting-and-Data-Systems/PI-RADS>
62. Asbach P. Contrast-medium administration for prostate MRI: yes! Contrast-medium administration can be abandoned. *Eur Radiol*. 2023;33:8413–4.
63. Rouvière O. Contrast-medium administration for prostate MRI can be abandoned: no(t so simple)! *Eur Radiol*. 2023;33:8415–6.

64. Schoots IG, Barentsz JO, Bittencourt LK, Haider MA, Macura KJ, Margolis DJA, et al. PI-RADS c With Suspected Prostate Cancer: Narrative Review. *AJR Am J Roentgenol.* 2021;216:3–19.
65. Panebianco V, Villeirs G, Weinreb JC, Turkbey BI, Margolis DJ, Richenberg J, et al. Prostate Magnetic Resonance Imaging for Local Recurrence Reporting (PI-RR): International Consensus-based Guidelines on Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for Prostate Cancer Recurrence after Radiation Therapy and Radical Prostatectomy. *Eur Urol Oncol.* 2021;4:868–76.
66. Tsili AC, Bertolotto M, Turgut AT, Dogra V, Freeman S, Rocher L, et al. MRI of the scrotum: Recommendations of the ESUR Scrotal and Penile Imaging Working Group. *Eur Radiol.* 2018;28:31–43.
67. Tsili AC, Argyropoulou MI, Dolciemi M, Ercolani G, Catalano C, Manganaro L. When to ask for an MRI of the scrotum. *Andrology.* 2021;9:1395–409.
68. Coursey Moreno C, Small WC, Camacho JC, Master V, Kokabi N, Lewis M, et al. Testicular tumors: what radiologists need to know-differential diagnosis, staging, and management. *Radio-graphics.* 2015;35:400–15.
69. Tsili AC, Sofikitis N, Pappa O, Bougia CK, Argyropoulou MI. An Overview of the Role of Multiparametric MRI in the Investigation of Testicular Tumors. *Cancers (Basel).* 2022;14:3912.
70. Alaia EF, Chhabra A, Simpfendorfer CS, Cohen M, Mintz DN, Vossen JA, et al. MRI nomenclature for musculoskeletal infection. *Skeletal Radiol.* 2021;50:2319–47.
71. Meyers AB, Epelman M. Ultrasound versus magnetic resonance imaging of soft-tissue lesions: competitive or complementary? *Pediatr Radiol.* 2022;52:1639–47.
72. Chang CY, Garner HW, Ahlawat S, Amini B, Bucknor MD, Flug JA, et al. Society of Skeletal Radiology - white paper. Guidelines for the diagnostic management of incidental solitary bone lesions on CT and MRI in adults: bone reporting and data system (Bone-RADS). *Skeletal Radiol.* 2022;51:1743–64.