



UNIVERSIDAD DE MURCIA
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

**Valoración de la Estenosis de las Arterias Renales
Utilizando la Angioresonancia Magnética sin
Contraste: Correlación con la Angiotomografía
Computarizada**

D^a Elena Esteban García

2019



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. VICENTE GARCÍA MEDINA, Doctor de Universidad del Área de RADIOLOGÍA Y MEDICINA FÍSICA en el Departamento de Dermatología, Estomatología, Radiología y Medicina Física, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "VALORACIÓN DE LA ESTENOSIS DE LAS ARTERIAS RENALES UTILIZANDO LA ANGIORESONANCIA MAGNÉTICA SIN CONTRASTE: CORRELACIÓN CON LA ANGIOTOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA", realizada por D^a. ELENA ESTEBAN GARCÍA, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 12 de Marzo de 2019



HOSPITAL GENERAL UNIVERSITARIO
REINA SOFÍA - MURCIA
SERVICIO DE RADIOLOGÍA



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D. JOSÉ GARCÍA MEDINA, Doctor de Universidad del Área de RADIOLOGÍA Y MEDICINA FÍSICA en el Departamento de Dermatología, Estomatología, Radiología y Medicina Física, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "VALORACIÓN DE LA ESTENOSIS DE LAS ARTERIAS RENALES UTILIZANDO LA ANGIORESONANCIA MAGNÉTICA SIN CONTRASTE: CORRELACIÓN CON LA ANGIOTOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA", realizada por D^a. ELENA ESTEBAN GARCÍA, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 12 de marzo de 2019



HOSPITAL GENERAL UNIVERSITARIO
REINA SOFÍA - MURCIA
SERVICIO DE RADIOLOGÍA



UNIVERSIDAD DE
MURCIA

D^a. María Isabel Moya García, Doctora de Universidad del Área de Medicina en el Departamento de Medicina, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "VALORACIÓN DE LA ESTENOSIS DE LAS ARTERIAS RENALES UTILIZANDO LA ANGIORESONANCIA MAGNÉTICA SIN CONTRASTE: CORRELACIÓN CON LA ANGIOTOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA", realizada por D^a. ELENA ESTEBAN GARCÍA, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 12 de marzo de 2019



HOSPITAL DE ALICANTE
CONSULTAS EXTERNAS
SERVICIO DE RADIOLOGICO

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Vicente García Medina, director de esta Tesis, por todo el tiempo dedicado a guiarme, ayudarme y enseñarme durante este estudio de investigación.

Al Dr. José García Medina y a la Dra. Isabel Moya García, co-directores de esta Tesis, por su apoyo, confianza y colaboración en este estudio.

A D. Francisco Cano por ayudarme con la recopilación de casos.

A mis padres, por creer siempre en mí.

A mi hermana Amparo, por compartir conmigo sus habilidades artísticas haciendo los dibujos de esta Tesis.

A Eduardo, por apoyarme y quererme como lo hace.

Finalmente, agradecer al Servicio de Radiología y a la Dirección del Hospital General Universitario Reina Sofía de Murcia por darme la oportunidad y la facilidad de realizar este estudio.

A todos, muchas gracias.

ÍNDICE

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	13
I.1. ANATOMÍA DE LAS ARTERIAS RENALES.....	13
I.2. ESTENOSIS DE LAS ARTERIAS RENALES.....	16
I.2.1. Causas.....	16
I.2.2. Clínica.....	18
I.3. TÉCNICAS DE IMAGEN.....	20
I.3.1. Arteriografía.....	20
I.3.2. Ecografía.....	22
I.3.3. Tomografía Computarizada.....	23
I.3.4. Resonancia Magnética.....	25
I.3.5. Renograma con Captopril.....	28
I.4. RIESGOS DE LAS PRUEBAS DE IMAGEN.....	29
I.4.1. Riesgos de la Radiación Ionizante.....	29
I.4.1. Riesgos de la Resonancia Magnética.....	32
I.5. TIPOS DE CONTRASTES INTRAVENOSOS.....	35
I.5.1. Contrastes Yodados.....	35
I.5.2. Contrastes con Gadolinio.....	38
I.6. RIESGOS DE LOS CONTRASTES INTRAVENOSOS.....	40
I.6.1. Reacciones Adversas.....	40
I.6.2. Nefropatía Inducida por Medios de Contraste.....	42
I.6.3. Fibrosis Sistémica Nefrogénica.....	43
I.6.4. Depósitos de Gadolinio en el Cerebro.....	45
I.6.5. Contrastes Intravenosos en Mujeres Embarazadas.....	45
I.7. TRATAMIENTO DE LA ESTENOSIS DE LAS ARTERIAS RENALES.....	48
I.7.1. Tratamiento Médico.....	48
I.7.2. Revascularización.....	49
I.8. VALORACIÓN PREQUIRÚRGICA DE LAS ARTERIAS RENALES.....	51
II. MARCO HISTÓRICO	55
II.1. ANGIOGRAFÍA.....	55
II.2. ECOGRAFÍA.....	56
II.3. ANGIO-TC Y ANGIO-RM CON CONTRASTE.....	58
II.4. RESONANCIA MAGNÉTICA SIN CONTRASTE.....	60

III. HIPÓTESIS	63
IV. OBJETIVOS	67
IV.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	67
IV.2. OBJETIVO SECUNDARIO.....	67
V. MATERIAL Y MÉTODO	71
V.1. MUESTRA.....	71
V.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN.....	72
V.2.1. Criterios de inclusión.....	72
V.2.2. Criterios de exclusión.....	72
V.3. PROTOCOLOS DE IMAGEN.....	73
V.3.1. Protocolo angio-TC.....	73
V.3.2. Parámetros ARM-TOF.....	73
V.4. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES.....	75
V.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	79
VI. RESULTADOS	83
VI.1 RESULTADOS GENERALES.....	83
VI.2 ACUERDO ENTRE OBSERVADORES.....	84
VI.2.1 Tomografía Computarizada.....	84
VI.2.2 Resonancia Magnética con secuencia Time-Of-Flight.....	90
VI.3 ACUERDO ENTRE TÉCNICAS DE IMAGEN.....	95
VI.4 ÍNDICES DE VALIDEZ DIAGNÓSTICA.....	106
VII. DISCUSIÓN	113
VII.1. VALORACIÓN DE LOS HALLAZGOS.....	115
VII.1.1. Localización de la estenosis.....	115
VII.1.2. Grado de estenosis.....	116
VII.1.3. Caracterización de placa de aterosclerosis.....	121
VII.1.4. Arterias accesorias y polares.....	122
VII.1.5. Displasia Fibromuscular.....	124
VII.1.6. Hallazgos incidentales.....	125
VII.2. UTILIDAD EN EL ESTUDIO PARA TRASPLANTES.....	130
VIII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	135
IX. CONCLUSIONES	139
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143

XI. ÍNDICE DE SIGLAS	157
XII. ANEXOS	161
XII.1. ANEXO 1	161
XII.2. ANEXO 2	162
XII.3. ANEXO 3	163

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

I.1. ANATOMÍA DE LAS ARTERIAS RENALES

Las arterias renales proceden del aspecto lateral de la aorta abdominal, por debajo del origen de la arteria mesentérica superior. A través de éstas, los riñones reciben aproximadamente el 25% del gasto cardíaco, existiendo en condiciones normales una arteria renal principal para cada riñón (figura 1).

Miden entre 5-6 mm de diámetro y 4-6 cm de longitud¹, siendo la arteria renal principal izquierda de mayor diámetro, mientras que la derecha es de mayor longitud, y pasa por detrás de la vena cava para alcanzar el riñón. Estos hallazgos han sido comprobados en una amplia serie por Lauder et al.²

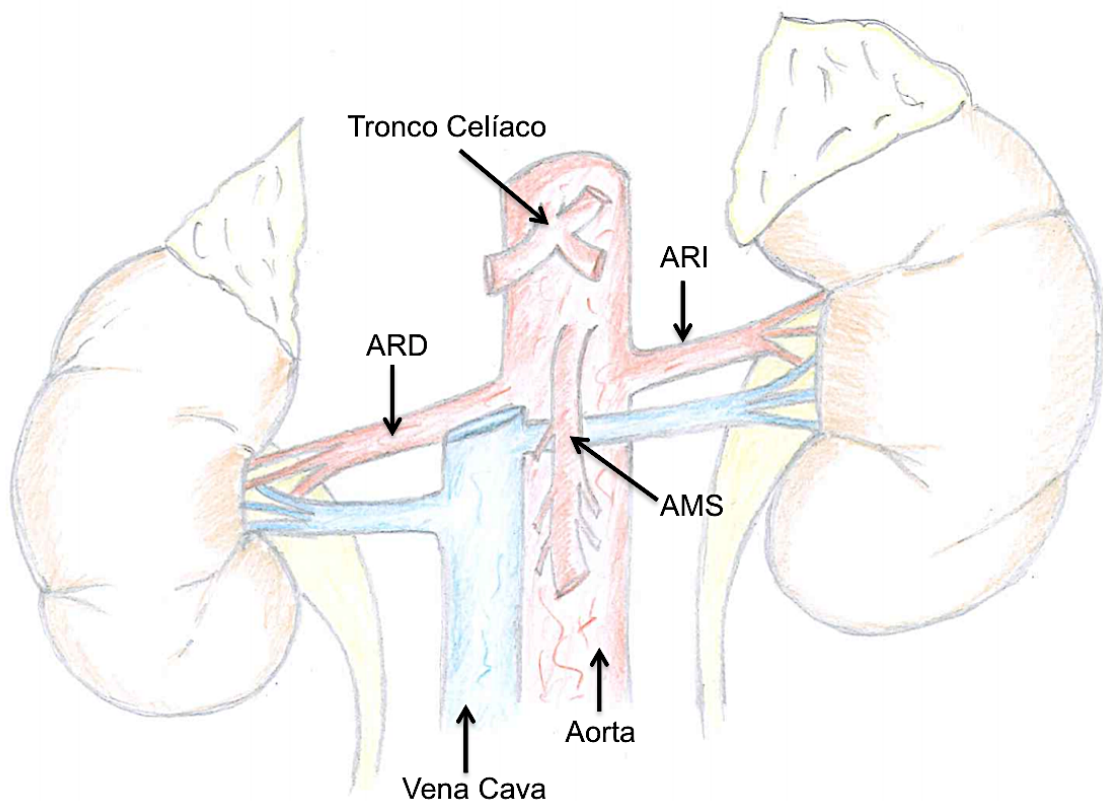


Figura 1. Anatomía normal. ARD: Arteria renal derecha. ARI: Arteria renal izquierda. AMS: Arteria mesentérica superior.

I. INTRODUCCIÓN

La arteria renal principal, después de emitir pequeñas ramas hacia la glándula suprarrenal, uréter, tejido perirrenal y cápsula renal, se divide cerca del hilio renal en arterias segmentarias que irrigan los respectivos segmentos del riñón (figura 2).

Existen arterias renales accesorias en un porcentaje variable de personas según distintos estudios: 11,2%³, 18%⁴, 20%^{2,5}, 22%⁶. Pueden originarse en la aorta, en las arterias ilíacas⁷ e incluso en raras ocasiones, en la aorta torácica baja o arterias mesentéricas⁸. Normalmente nacen distal a la arteria renal principal y pasan por delante del uréter pudiendo causar obstrucción (figura 3).

Cuando, en lugar de desembocar en el hilio renal, penetran en el riñón atravesando la capsula de los polos, se denominan arterias renales aberrantes o polares (figura 4).

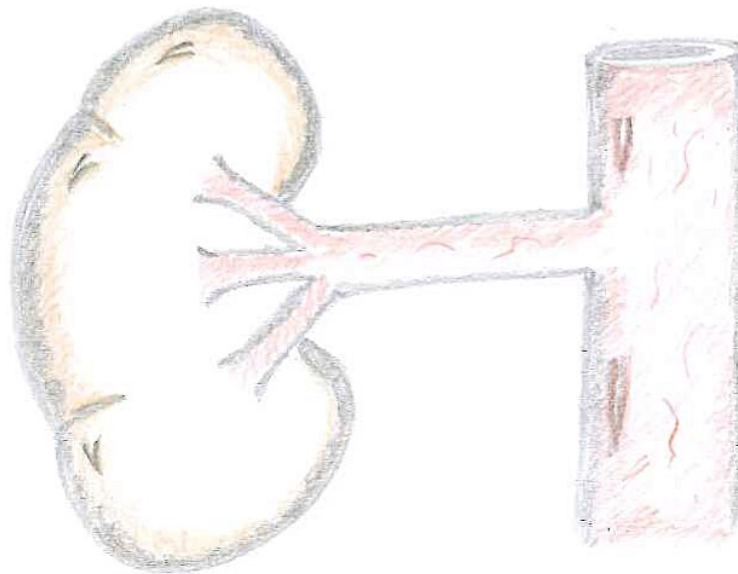


Figura 2. Arteria renal principal y su división en arterias segmentarias a nivel del hilio renal.

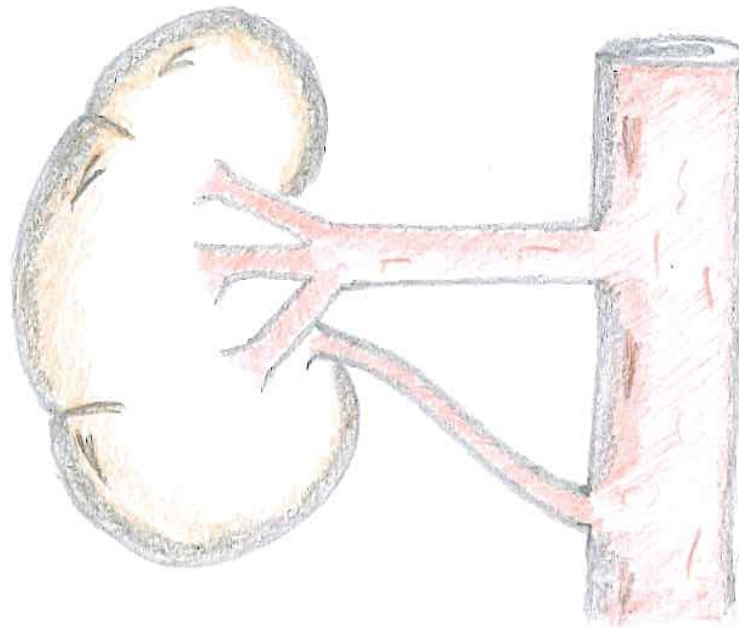


Figura 3. Arteria renal accesoria que se origina en la aorta y desemboca en el hilio renal.

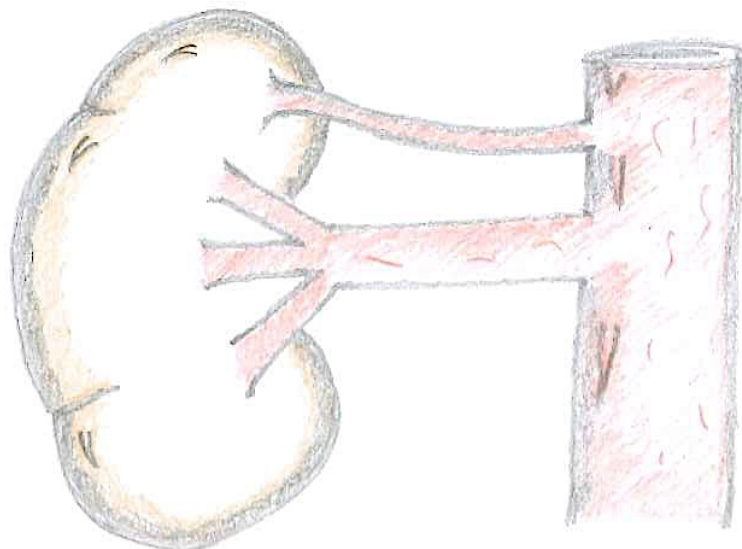


Figura 4. Arteria polar que se origina en la aorta y penetra el riñón por su polo superior.

I.2. ESTENOSIS DE LAS ARTERIAS RENALES

La estenosis de las arterias renales consiste en el estrechamiento de los vasos sanguíneos que llevan la sangre al riñón.

Fariba Samadian, citando a la “American Heart Association”, define la estenosis significativa como la reducción del diámetro de la luz de la arteria renal >60%⁹. Otros autores como Fellner et al.¹⁰, Leung et al.¹¹, Hansen et al.¹² y Hyo Kwon et al.¹³ consideran también esta gradación.

Se presenta aproximadamente en un 6.8% de la población mayor de 65 años¹², en un 36% de pacientes con enfermedad de las arterias coronarias¹⁴ y en un 35-50% de los pacientes con enfermedad oclusiva en aorta y miembros inferiores¹⁵.

I.2.1. Causas

Existen múltiples causas de estenosis de las arterias renales, siendo la más frecuente la aterosclerosis (aproximadamente 90%), seguida de la displasia fibromuscular (10%)⁹. Entre otras causas menos frecuentes encontramos los aneurismas, la disección, la trombosis y la compresión extrínseca por una masa renal o extrarrenal.

A) Aterosclerosis

La aterosclerosis consiste en la presencia de placas de ateroma en la íntima de arterias de mediano y gran calibre. Dichas placas están formadas por tejido necrótico, células inflamatorias, células musculares, neovascularización y tejido fibroso, como respuesta a un daño endotelial crónico.

Los principales factores de riesgo que predisponen a esta patología son la Diabetes Mellitus, la edad avanzada, el sexo (mujer post menopausia y hombre), la hiperlipidemia, la hipertensión arterial, el tabaco y la historia familiar.

Las placas de ateroma pueden ulcerarse, romperse, sangrar o aumentar de tamaño y causar finalmente una estenosis del vaso afectado (figura 5).

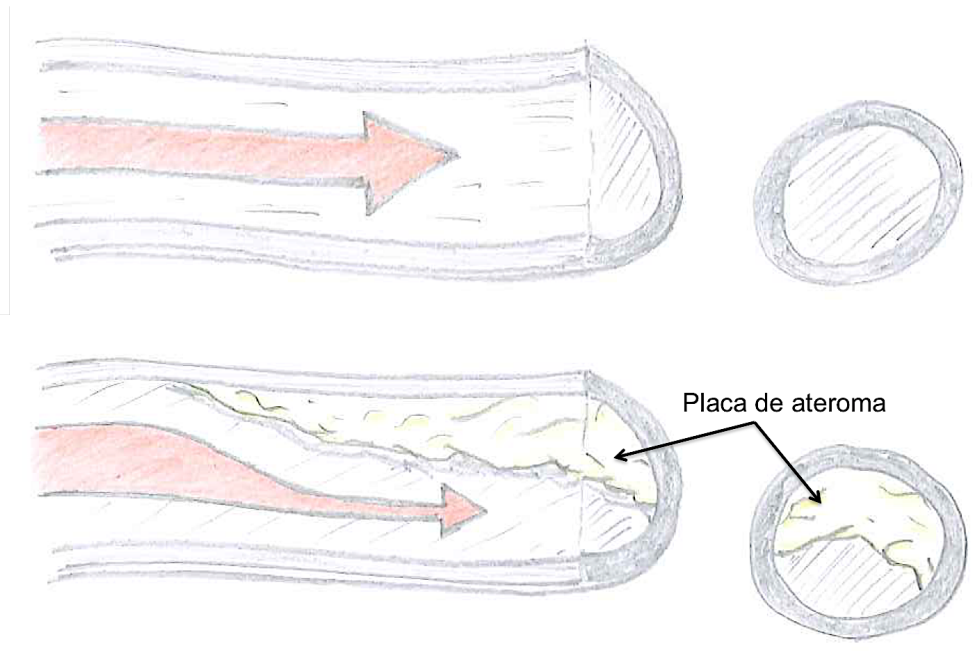


Figura 5. Corte longitudinal y axial de una arteria normal (imagen superior) y de una arteria con placa de ateroma en su pared que condiciona una disminución de su luz (imagen inferior).

La estenosis aterosclerótica de las arterias renales es una alteración que afecta principalmente a hombres mayores de 50 años y es más frecuente en pacientes con afectación aterosclerótica difusa de las arterias periféricas y/o arterias coronarias.

Este tipo de estenosis se encuentra normalmente en el origen de la arteria renal (ostium) y/o tercio proximal^{16,17} y se presenta de manera bilateral en un 30% de los casos¹.

B) Displasia Fibromuscular

La displasia fibromuscular es una enfermedad vascular no inflamatoria y no aterosclerótica de vasos de mediano y gran calibre. Afecta principalmente a las arterias renales seguido de la carótida interna, condicionando estenosis, aneurismas, disección y oclusión de las mismas.

I. INTRODUCCIÓN

A diferencia de la estenosis aterosclerótica, en la displasia fibromuscular las porciones más afectadas de las arterias renales son el tercio medio y el tercio distal¹⁷, se presenta en pacientes más jóvenes (entre 30-50 años) y es más frecuente en mujeres. Puede ser bilateral en 2/3 de los casos^{1,8}.

Existen tres tipos según la capa del vaso afectada: íntima, media o adventicia. La afectación de la capa media es la más frecuente (85-90%)⁹ y produce una imagen característica en “collar de cuentas” secundario a estenosis y dilataciones alternantes. La afectación de la íntima afecta aproximadamente a un 10% de los casos⁹, condicionando estenosis unifocal en segmentos largos. Y por último, la adventicia, que es la capa menos frecuentemente afectada (<1%)⁹.

I.2.2. Clínica

La estenosis de las arterias renales es asintomática en muchos casos, identificándose como hallazgo casual en estudios realizados con otros fines. Sin embargo, en ocasiones puede dar lugar a ciertos cambios como son la hipoxia del riñón, la activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona, el estrés oxidativo, la inflamación y la alteración microvascular, que condicionan finalmente hipertensión arterial y/o fallo renal^{9,13}.

Estrategias de detección precoz, como la utilización de pruebas de imagen, pueden frenar o enlentecer este proceso disminuyendo la morbimortalidad.

A) Hipertensión Arterial

Se considera hipertensión arterial cuando la presión sanguínea aumenta por encima de 140/90 mmHg. Existen dos tipos, la hipertensión arterial esencial y la secundaria. La esencial o idiopática es la más frecuente (95%) y su causa es desconocida, mientras que la secundaria se debe a una causa subyacente que puede ser renal, endocrina, vascular, neurogénica o medicamentosa.

La estenosis de las arterias renales es la principal causa de hipertensión arterial secundaria, observándose en aproximadamente 1-5% de los pacientes con hipertensión¹. Dos tercios de los casos se deben a arteriosclerosis y un tercio a displasia fibromuscular, lo cual condiciona una disminución de la perfusión renal que activa el sistema renina angiotensina y resulta en hipertensión sistémica conocida como hipertensión arterial reno-vascular.

Se trata de una causa de hipertensión arterial reversible en pacientes jóvenes.

B) Nefropatía Isquémica

La nefropatía isquémica se debe a la reducción del filtrado glomerular secundario a la reducción del flujo sanguíneo renal más allá del nivel de autorregulación compensatorio. Con el tiempo, la nefropatía isquémica conduce a atrofia renal e insuficiencia renal progresiva.

I.3. TÉCNICAS DE IMAGEN

Ante la sospecha de hipertensión arterial secundaria, existen estudios funcionales para valorar el estado del sistema renina-angiotensina, estudios de imagen para valorar el grado de estenosis de las arterias renales y pruebas diagnósticas que evalúan el beneficio de tratamientos intervencionistas. Será la combinación de estas pruebas las que nos lleven al diagnóstico, no pudiendo descartar la hipertensión secundaria sólo con la negativa de una de ellas.

Se ha de descartar con estudios de imagen una hipertensión arterial de causa vasculorrenal cuando aparezca una de las siguientes condiciones^{8,9}:

- Aumento brusco de la presión arterial en las últimas semanas/meses
- Hipertensión severa o resistente al tratamiento
- Fallo renal agudo en tratamiento con inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (IECA) o antagonistas del receptor de angiotensina II (ARAI)
- Edema agudo de pulmón

Las técnicas de imagen que se utilizan son la arteriografía, la ecografía, la tomografía computarizada (TC), la resonancia magnética (RM) y el renograma con captopril.

I.3.1. Arteriografía

La arteriografía es una prueba en la cual, a través de un catéter, se introduce contraste directamente en las arterias renales para posteriormente, mediante rayos X, obtener imágenes de las mismas (figura 6).

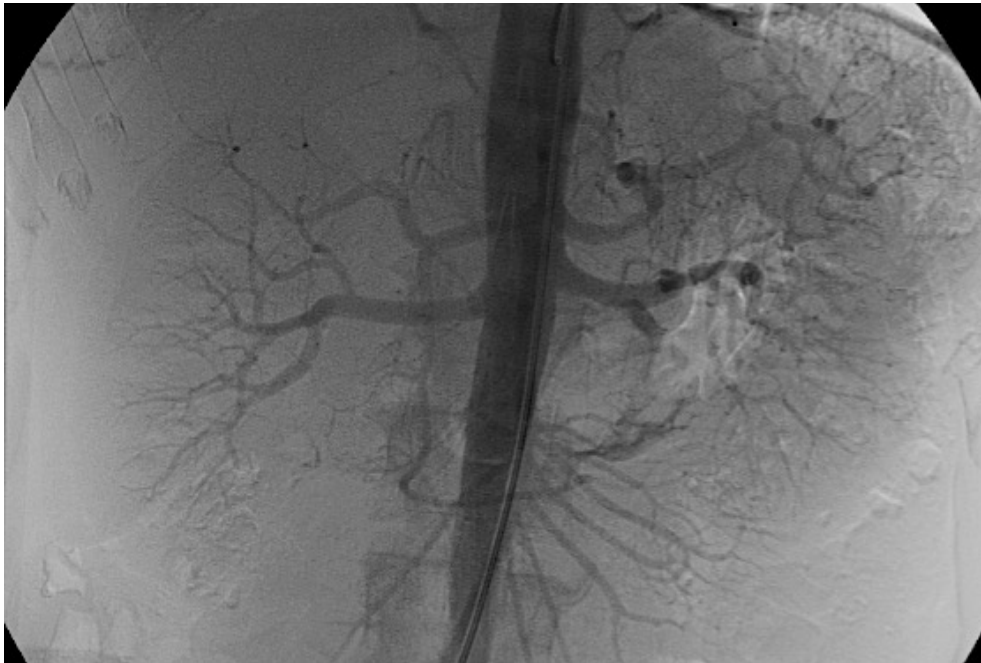


Figura 6. Arteriografía donde se observan las arterias renales normales. Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital General Universitario Reina Sofía de Murcia.

Es considerada la prueba “Gold estándar” para la valoración de las arterias renales ya que permite identificar las estenosis y oclusiones, los aneurismas, valorar la extensión de la patología arterial y además, es la técnica que mejor valora las arterias renales accesorias^{9,18,19}.

Se trata de una prueba invasiva, suele exigir ingreso hospitalario, utiliza radiaciones ionizantes y necesita contraste intravenoso. Presenta cierta morbilidad relacionada directamente con el procedimiento intervencionista, ya que existe el riesgo de complicaciones (disección arterial, rotura de la pared, hematomas en el punto de punción, pseudoaneurismas). Por estas razones está siendo sustituida por pruebas no invasivas como la ecografía, la TC o la RM.

La principal ventaja de la arteriografía es que permite tratar estenosis significativas en el momento; por ello, su utilización se reserva a pacientes que sean candidatos a revascularización o en aquellos con alta sospecha de hipertensión a pesar de tener TC y/o RM negativas^{9,18}.

I.3.2. Ecografía

La ecografía es un procedimiento diagnóstico que emplea el ultrasonido para crear imágenes.

Tiene las ventajas de ser una prueba no invasiva y de coste reducido, con alta disponibilidad, bien tolerada por los pacientes y que permite realizar estudios a tiempo real.

Se utiliza fundamentalmente para hacer una valoración anatómica, dada su capacidad para visualizar el parénquima renal (tamaño, volumen, malformaciones o variantes anatómicas, lesiones focales, litiasis), los vasos y ramas principales arteriales y venosas de los riñones, la vía urinaria, la vejiga y el resto de estructuras abdominales.

La ecografía Doppler es una variedad de la ecografía en la cual se aprovecha el efecto Doppler para valorar las características del flujo de los vasos. Es útil ante la sospecha de trombosis y estenosis arteriales y venosas.

Los criterios ecográficos para sospechar estenosis de la arteria renal son:

- Índice de resistencia (IR) de la arteria renal elevado ($>0,7$)
- Diferencia de IR entre ambos riñones $>0,05-0,07$
- Velocidad picosistólica mayor de 180cm/s
- Velocidad telediastólica mayor de 50cm/s
- Índice reno-aórtico mayor de 3,5
- Índice reno-renal mayor de 4,0
- Flujo turbulento en área post-estenótica
- Pulso parvus et tardus debido a la estenosis (figura 7)
- Índice de resistencia intraparenquimatoso $> 0,8$
- Tiempo de aceleración intraparenquimatoso $> 0,7$ seg

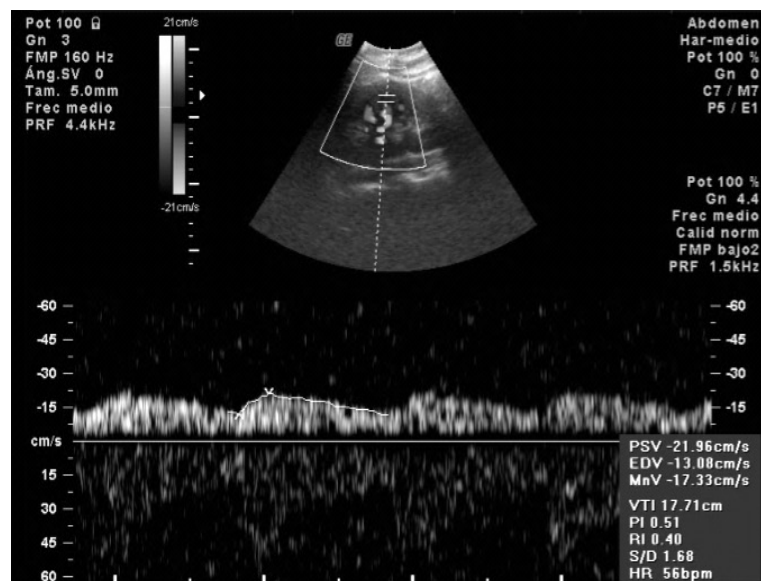


Figura 7. Registro Doppler de arterias intrarrenales con pulso “parvus et tardus” sugerente de estenosis de la arteria renal. Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital General Universitario Reina Sofía de Murcia.

El principal inconveniente de la ecografía es que se puede ver limitada por las características del paciente (obesidad, mala transmisión, mala colaboración)^{9,18}.

I.3.3. Tomografía Computarizada

La tomografía computarizada utiliza una fuente de rayos X para obtener imágenes de cortes anatómicos. Posteriormente, en una estación de trabajo o diagnóstica, a partir de todos los cortes axiales, se hacen reconstrucciones en los distintos planos con Softwares como MPR, MIP... (figura 8).

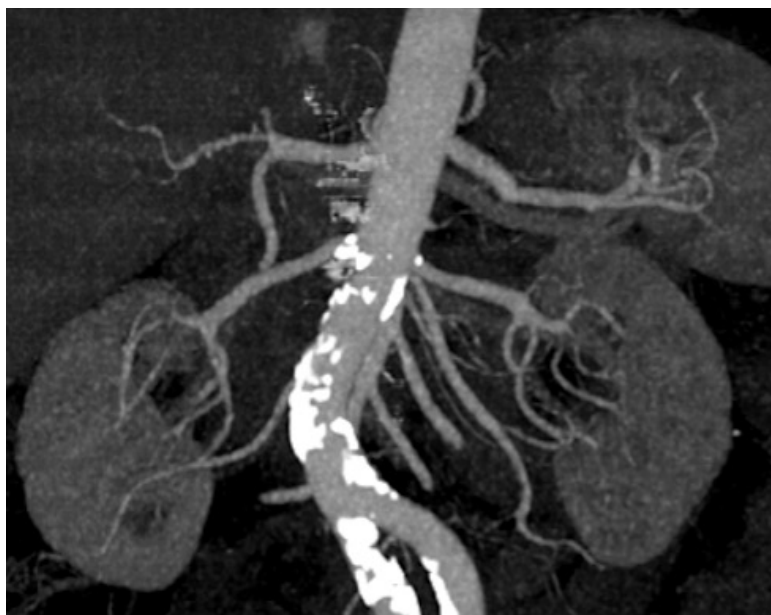


Figura 8. Angio-TC de aorta abdominal y sus ramas. Reconstrucción 3D-MIP. Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital General Universitario Reina Sofía de Murcia.

Se trata de una prueba rápida y no invasiva, con una alta resolución espacial pero cuyo mayor inconveniente es la exposición a radiaciones ionizantes.

La angiografía TC (angio-TC) se utiliza para visualizar los vasos arteriales. Se inyecta contraste yodado a través de una vena periférica y se realiza el estudio cuando el bolo alcanza las arterias de interés.

En concreto, en el estudio de las arterias renales, la adquisición de las imágenes se realiza con bolus tracking en la aorta abdominal, obteniendo imágenes del árbol vascular renal que nos permitirá estudiar las distintas patologías de las arterias.

En un segundo tiempo, en las estaciones de trabajo, se utilizan los software multiplanar, MIP, 3D... para reconstruir las arterias.

Nuevos avances en la TC permiten obtener información sobre parámetros de la función renal como el flujo renal o el filtrado glomerular. Éstos se obtienen mediante la valoración de los cambios en la atenuación del parénquima renal como consecuencia del tránsito del bolo de contraste intravenoso, pero la limitación de este procedimiento es la necesidad del contraste yodado¹³.

La TC se considera la prueba de elección para la valoración prequirúrgica de donantes vivos de riñón, con una exactitud en sus hallazgos entre 95-100%²⁰.

I.3.4. Resonancia Magnética

La RM no usa radiación ionizante, sino campos magnéticos para obtener información y construir imágenes. Se basa en la resonancia de los protones de hidrógeno de las diferentes sustancias de nuestro cuerpo (agua, grasa...). Es una prueba no invasiva y que no irradia. Sin embargo, está contraindicada en pacientes con claustrofobia o con determinados implantes metálicos.

La angiografía RM (angio-RM) es una alternativa a la angiografía convencional y la angio-TC en la cual no se utiliza contraste yodado ni radiaciones ionizantes. Existen dos variantes:

A) Angio-RM con contraste intravenoso

Se utiliza contraste con Gadolinio, que acorta el intervalo T1 de la sangre, haciendo que se vea hiperintensa. Es una técnica fiable para valorar las arterias renales pero expone al paciente a los riesgos de este tipo de contraste²¹.

B) Angio-RM sin contraste intravenoso

Es una técnica más segura por la ausencia de contraste. Existen varias secuencias con distintas ventajas y limitaciones que permiten valorar los vasos del cuerpo. Según lo que se quiera estudiar y las características particulares del paciente se utilizará una u otra secuencia: Time of Flight (TOF), Phase-Contrast, ECG-gated FSE, SSFP, ASL con SSFP o Black blood²².

Time of Flight

La secuencia de RM *Time of Flight* (TOF) fue una de las primeras técnicas de angi resonancia magnética (ARM) y una de las primeras en tener éxito en su aplicación clínica^{23,24}. Es una de la técnica angiográfica sin contraste más utilizada en la práctica diaria por estar disponible en la mayoría de equipos de RM^{22,25,26}, siendo su utilidad principal, el estudio de troncos supraaórticos y polígono de Willis.

Se basa en la emisión de pulsos de radiofrecuencia repetidos que excitan y saturan a los protones de los tejidos estacionarios de un corte seleccionado, bajando su intensidad de señal. Cuando se envía finalmente el pulso de radiofrecuencia necesario para obtener la imagen, los únicos protones no saturados que están en el corte son los de la sangre que acaba de entrar y serán los que den la mayor intensidad (figura 9).

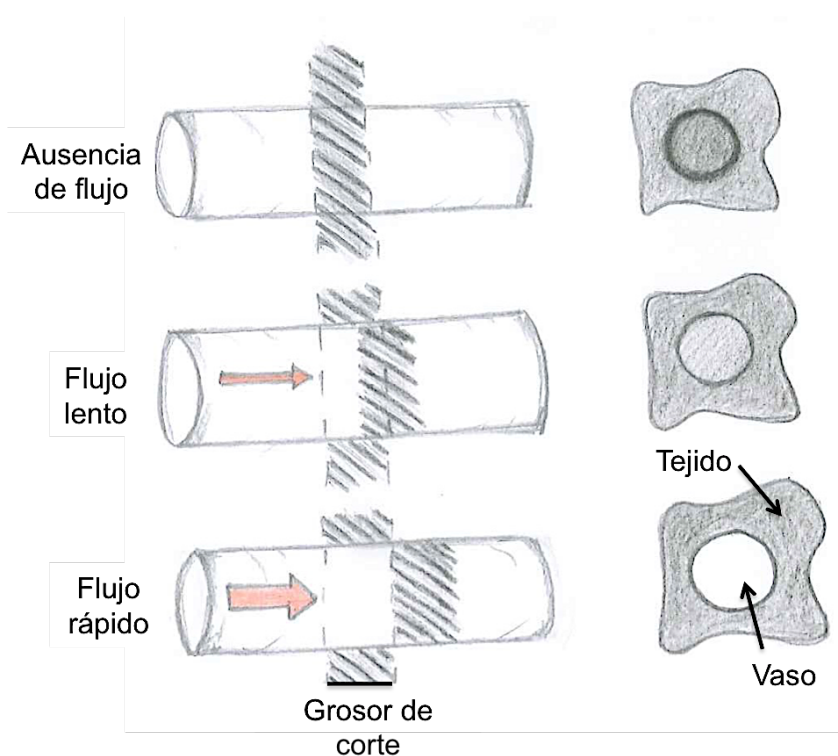


Figura 9. Principio de la ARM TOF. El flujo de protones no saturados produce mayor intensidad de señal en relación con los protones estacionarios saturados.

Para evitar la superposición de interferencia entre vasos arteriales y venosos, la técnica TOF utiliza bandas de saturación que suprimen el sentido de uno de los 2 tipos de vasos (figura 10).

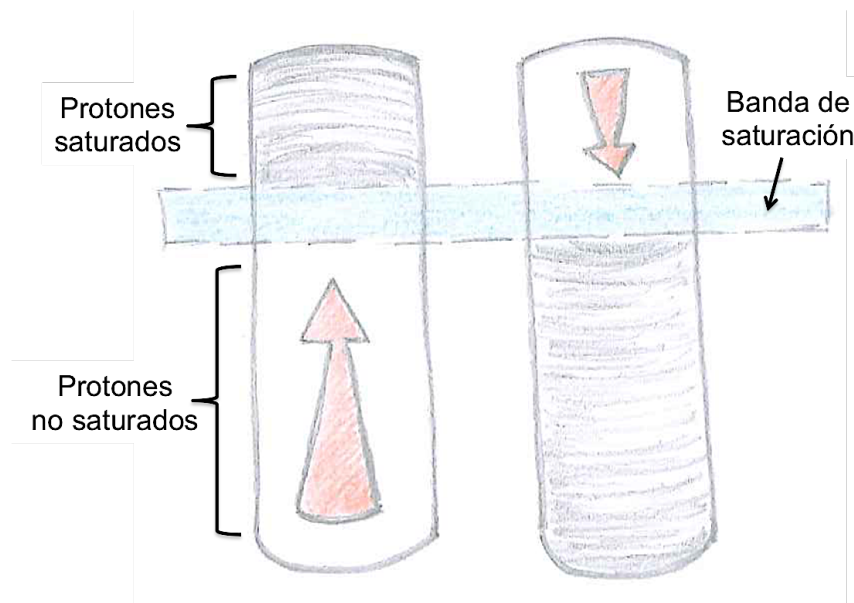


Figura 10. Para evitar la superposición de interferencia entre vasos arteriales y venosos, la técnica TOF utiliza bandas de saturación que suprimen el sentido de uno de los dos tipos de vasos.

La intensidad de señal será mayor cuanto menor sea el grosor de corte, menor sea el tiempo de repetición y mayor sea la velocidad del flujo.

Se trata de una secuencia eco de gradiente que puede realizarse en 2D y 3D^{27,28}. En las técnicas 2D, la adquisición se obtiene a partir de múltiples cortes finos (1-2mm) de forma contigua, perpendiculares al vaso sanguíneo. Permite realizar estudios de vasos largos como la aorta, carótidas o los miembros inferiores simplemente aumentando el número de cortes.

En las técnicas 3D se excita todo el volumen al mismo tiempo y posteriormente se puede dividir el volumen en cortes más finos, dando una mejor resolución espacial y una mayor relación señal-ruido. Permite realizar estudios de áreas anatómicas más pequeñas y de vasos que presenten distintas orientaciones¹⁰.

Las principales desventajas de las técnicas 3D son que el tiempo de adquisición es más largo que las técnicas 2D, existe efecto de saturación que limita el grosor máximo del corte en cada adquisición y al contrario que en las técnicas 2D, en las cuales los artefactos de movimiento afectan a un solo corte, en las técnicas 3D se afecta el volumen total del estudio haciendo que no sea valorable.

I.3.5. Renograma con Captopril

El renograma es un estudio de medicina nuclear que evalúa la función renal mediante la valoración de la radiactividad procedente de los riñones al excretar un isótopo previamente inyectado vía intravenosa.

El riñón afectado por la hipertensión renovascular presentará una disminución de su función y en consecuencia, de la radiactividad, tras la inhibición de la enzima convertidora de angiotensiva por parte del captopril.

El renograma con captopril, por tanto, sirve para el estudio funcional de los riñones, pero no aporta ningún dato anatómico respecto al número o lugar de la afectación de las arterias renales⁹. No se utiliza de rutina debido a la existencia de otras pruebas no invasivas que ofrecen imágenes anatómicas de alta calidad¹⁹.

I.4. RIESGOS DE LAS PRUEBAS DE IMAGEN

I.4.1. Riesgos de la Radiación Ionizante

Tanto la arteriografía como la tomografía computarizada hacen uso de la radiación ionizante para obtener las imágenes.

Las radiaciones ionizantes son aquellas que tienen suficiente energía para ionizar la materia, es decir, para arrancar un electrón del átomo cuando interactúan con él.

Esta radiación puede producir efectos adversos biológicos mediante la ruptura directa del ADN o mediante la producción de radicales libres. Según las células afectadas existen tres alteraciones posibles²⁹:

1. Cambios genéticos que se expresarán en futuras generaciones por alteraciones de las células germinales.
2. Carcinogénesis tras la activación de un oncogen o la delección de un gen supresor.
3. Muerte celular, fenómeno en el que se centra la radioterapia con el objetivo de matar células malignas.

El riesgo de la radiación ionizante se divide en reacciones tisulares (efectos deterministas) y efectos estocásticos.^{30,31}

A) Reacciones tisulares o efectos deterministas

Los efectos deterministas son aquellos que dependen de la dosis de radiación y ocurren con certeza una vez alcanzado un determinado umbral de dosis. Algunos efectos deterministas son: eritema cutáneo, daño cutáneo irreversible, pérdida de cabello, esterilidad y cataratas. La exposición al feto puede dar lugar a malformaciones, retardo en el crecimiento, retraso mental y muerte.^{32,33}

B) Efectos estocásticos

Los efectos estocásticos son aquellos cuya probabilidad de que aparezcan aumenta con la dosis de la radiación, sin existir un umbral, y cuando aparecen, la gravedad es la misma independientemente de la dosis de radiación. Los principales ejemplos son el desarrollo de cáncer y las mutaciones genéticas³⁴. Por tanto, cualquier prueba de imagen que utilice rayos X supone un riesgo de carcinogénesis.

Existen múltiples estudios que demuestran el efecto carcinogénico de la radiación ionizante. Entre ellos:

- En Gran Bretaña, Pearce et al.³⁵ ha hecho un seguimiento de 180.000 pacientes menores de 22 años a los que se les había realizado previamente una TC y ha comprobado que existe una asociación positiva entre la dosis de radiación de la TC y el riesgo de desarrollar leucemia o un tumor cerebral.
- En Australia, Mathews et al.³⁶ ha llevado a cabo un seguimiento de 680.000 personas entre 0 y 19 años a las que se les había realizado una TC y de un grupo control de 10.000.000 individuos de similar edad sin exposición a radiación. Confirma un incremento de un 24% en la incidencia de cáncer en el grupo de expuestos con respecto al grupo control. Entre los cánceres detectados en este estudio esta el tumor cerebral, el tumor del tracto urinario, el del tiroides, el melanoma, el linfoma y la leucemia. Se comprueba que el riesgo es independiente de la dosis y que aumenta cuanto mayor es el número de exploraciones realizadas y cuanto menor es la edad del niño.
- Chodick et al.³⁷ ha estimado que el crecimiento del uso de la TC en Israel ha aumentado un 0,29% el número de muertes por cáncer en niños y adolescentes.
- Sodickson et al.³⁸ ha realizado un estudio retrospectivo con 31.462 adultos en los cuales se valora la dosis de radiación acumulada durante 22 años. Comprueba que el aumento del número de TC realizadas a un paciente durante los años conlleva un aumento de dosis de radiación acumulada que se suma al riesgo de cáncer que de por sí supone una TC.

- Se han realizado análisis sobre la incidencia de cáncer en los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, comprobándose una fuerte evidencia de los riesgos de la radiación tanto para neoplasias hematológicas³⁹ como para tumores sólidos⁴⁰.
- Shuryak et al.⁴¹ analiza, por edades, a los supervivientes de la bomba atómica de Japón, llegando a la conclusión de que el riesgo de cáncer tras la exposición a radiaciones ionizantes no siempre disminuye con el aumento de la edad. Basa su explicación en los conceptos de “iniciación” y “promoción” inducida por radiación:

La “iniciación” inducida por radiación hace referencia a la alteración premaligna e irreversible de las células tras una mutación genética inducida por la radiación ionizante. Esto explica el mayor riesgo carcinogénico de la radiación en niños y jóvenes ya que tienen más años por delante para desarrollar cáncer a partir de estas células premalignas.

La “promoción” inducida por radiación es el proceso en el cual, una célula previamente “iniciada” y por tanto, premaligna, sufre una expansión clonal. Este concepto explica el mayor riesgo carcinogénico en personas adultas expuestas a radiación, ya que a medida que aumenta la edad, aumenta el número de células premalignas en el cuerpo.

Todos estos estudios comparten la misma conclusión: antes de realizar pruebas de imagen que supongan una exposición a radiaciones ionizantes debe valorarse minuciosamente el riesgo-beneficio, valorar siempre la posibilidad de pruebas alternativas y en caso de ser necesaria la prueba, realizarla con la menor dosis posible.^{35-38,42-44}

Para reducir la dosis de irradiación es necesario seguir los principios de protección radiológica^{45,46}:

- 1) Justificación: Toda actividad que pueda incrementar la exposición a radiaciones ionizantes debe producir el suficiente beneficio a los individuos expuestos como para compensar el perjuicio debido a la exposición a la radiación. La decisión de su realización deber realizarse valorando el riesgo-beneficio.
- 2) Optimización: Para cualquier fuente de radiación, debe seguirse el principio ALARA (“As Low As Reasonably Achievable”), es decir, que las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de verse expuestas deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible. Para ello, se intentará aumentar la distancia del foco de radiación, disminuir el tiempo de exposición y utilizar materiales plomados que actúen de blindaje.
- 3) Limitación de Dosis: La suma de dosis de radiación en un individuo no debe exceder los límites establecidos para el público o para los trabajadores profesionalmente expuestos. En pacientes no existe limitación de dosis.

I.4.1. Riesgos de la Resonancia Magnética

A pesar de que la resonancia magnética es una prueba bastante segura, que no utiliza radiaciones ionizantes, existen algunos riesgos que pueden poner en peligro al paciente.

A) Dispositivos con material ferromagnético

El campo magnético produce una fuerza rotacional y traslacional sobre objetos que contengan material ferromagnético. Por ello, esta prueba está contraindicada en pacientes que lleven implantes o dispositivos que puedan contener este tipo de material, como por ejemplo: clips metálicos de aneurismas, shunts ventriculoperitoneales, algunos stents vasculares y cardíacos, algunos endoclips gastrointestinales...

B) Marcapasos

Los marcapasos han sido siempre una contraindicación absoluta para la realización de esta prueba ya que pueden desincronizarse y causar arritmias. Actualmente existen algunos que son compatibles con la RM, aunque necesitan unas condiciones específicas y una supervisión por personal cualificado⁴⁷.

C) SAR

La SAR (Specific Absorption Rate) o tasa de absorción específica, es una medida de la potencia máxima con que un campo electromagnético de radiofrecuencia es absorbido por el tejido vivo. Se mide en vatios por kilogramo (W/kg). La FDA (Food and Drug Administration) ha establecido límites de SAR para la resonancia magnética con el fin de evitar daños relacionados con el incremento de temperatura que esa deposición de potencia pudiera provocar en el cuerpo.

D) Quemaduras

Otro posible efecto de la resonancia a tener en cuenta es el riesgo de quemaduras directas por el contacto de la piel con los materiales que transmiten la radiofrecuencia. Así mismo, los cambios en el campo magnético pueden generar corrientes en materiales conductores de calor que causan igualmente quemaduras.

E) Neuroestimulación

Los cambios rápidos del campo magnético tienen el riesgo de producir una neuroestimulación periférica dolorosa en los pacientes. Se mide en dB/dt y puede reducirse aumentando el ancho de banda y aumentando el tiempo de repetición. La sensibilidad a esta neuroestimulación varía entre distintos individuos y por tanto, no existe un límite numérico establecido.

F) Daño auditivo

Debido al elevado sonido que genera esta prueba, existen algunos casos de pérdida auditiva temporal por no utilizar protección como tapones o auriculares.

G) Embarazadas

La resonancia magnética expone al feto a un campo magnético 10.000 veces mayor que el de la Tierra. Los posibles efectos deletéreos pueden estar relacionados con el aumento de temperatura y la interacción del campo electromagnético con las estructuras biológicas. Tras varios estudios, se ha llegado a la conclusión de que el riesgo para el feto es mínimo^{32,33,48,49}.

Y respecto al posible daño auditivo, se ha comprobado que el sonido que llega al feto se encuentra atenuado hasta llegar a una número de Decibelios dentro del rango de seguridad³².

Medidas a llevar a cabo

Es necesario reducir los posibles riesgos de la resonancia magnética llevando a cabo ciertas medidas:

- Conocer la historia clínica del paciente y no realizar la prueba a aquellos con dispositivos o implantes ferromagnéticos.
- Utilizar en la sala objetos compatibles con la resonancia magnética asumiendo como peligrosos todos aquellos que no estén verificados.
- Ajustar parámetros para que la “tasa de absorción específica” media se encuentre dentro de los límites establecidos por la FDA.
- Utilizar materiales aislados con plástico protector para disminuir el riesgo de quemaduras.
- Evitar objetos que puedan contener materiales conductores (algunos apósitos, ropa, pendientes, pulseras, etc...).
- Utilizar tapones o auriculares para evitar posibles daños auditivos.

I.5. TIPOS DE CONTRASTES INTRAVENOSOS

I.5.1. Contrastes Yodados

Los contrastes yodados tienen una estructura molecular básica basada en un anillo de benceno y tres átomos de yodo en las posiciones 2,4 y 6 (ácido benzoico triyodado) (figura 11). Las distintas combinaciones químicas de los radicales en las posiciones 1, 3 y 5 son las que modifican las propiedades fisicoquímicas y biológicas de la sustancia, dando lugar a los distintos medios de contraste^{50,51}.

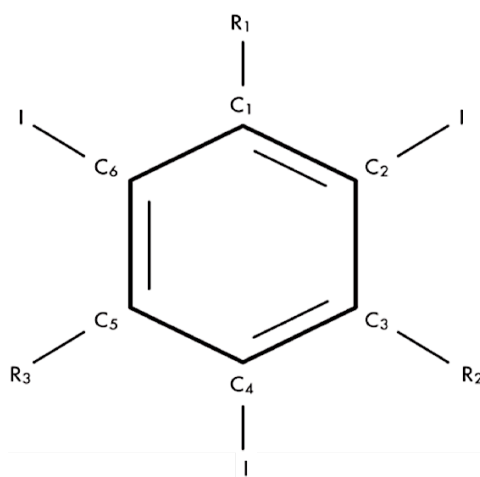


Figura 11. Estructura molecular básica del contraste yodado, con un anillo de benceno y tres átomos de yodo.

El yodo permite atenuar los rayos X y el enlace covalente con el benceno confiere una mayor estabilidad, reduciendo los posibles efectos asociados al yodo libre.

El anillo de benceno tiene tendencia a unirse a moléculas biológicas de forma no específica por ser la parte más hidrófoba y lipófila, lo que puede producir efectos tóxicos⁵².

Los medios de contraste yodados se clasifican según su osmolaridad, ionicidad y viscosidad:

I. INTRODUCCIÓN

- Osmolaridad (a mayor osmolaridad, mayores efectos adversos):
 - Hiperosmolares
 - Hipoosmolares
 - Isoosmolares
- Ionicidad:
 - Iónicos. En los contraste iónicos el radical carboxilo del carbono 1 se une a una sal o amida (figura 12). Al disolverse en agua se disociará en dos iones: un grupo aniónico (anillo de benceno y los tres átomos de yodo) y un catión (el sodio o la meglumina). Esto aumenta la osmolaridad.

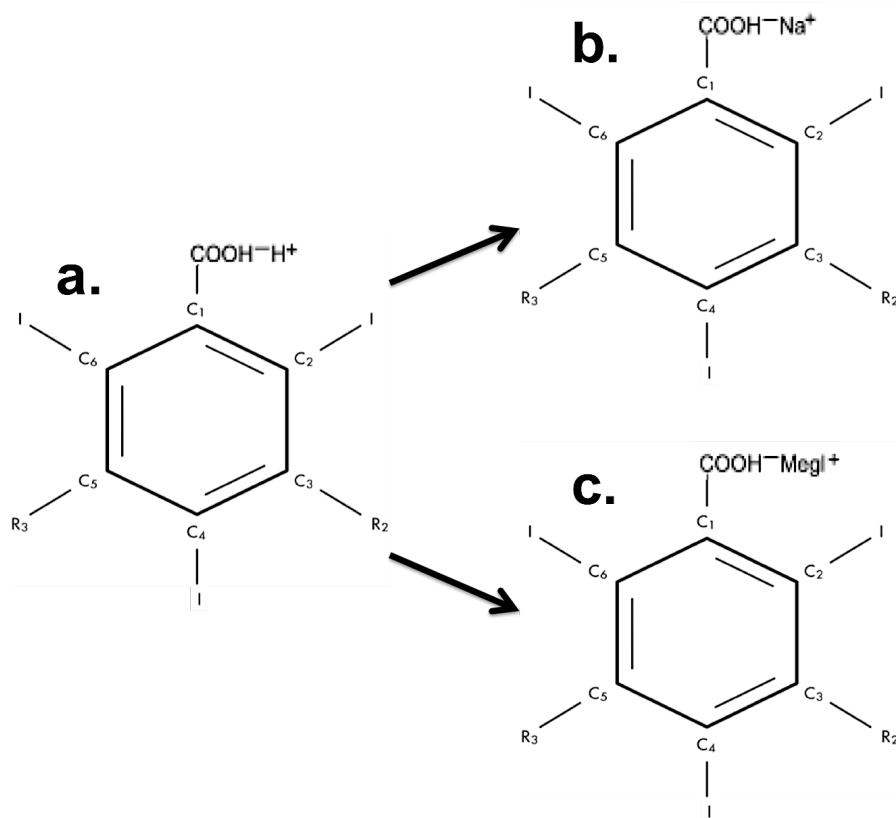


Figura 12. En los contraste iónicos el radical carboxilo del carbono 1 (a) se une a una sal (b) o amida (c).

- No iónicos. Se sustituye el grupo carboxilo del anillo benceno por una amida que no se disocia, logrando un medio de contraste con menor osmolaridad al resultar en una menor cantidad de partículas en solución acuosa (figura 13). Se denominan también hipoosmolares y además, no tienen carga. Todo ello da lugar a que produzcan menos efectos secundario que los contrastes iónicos.

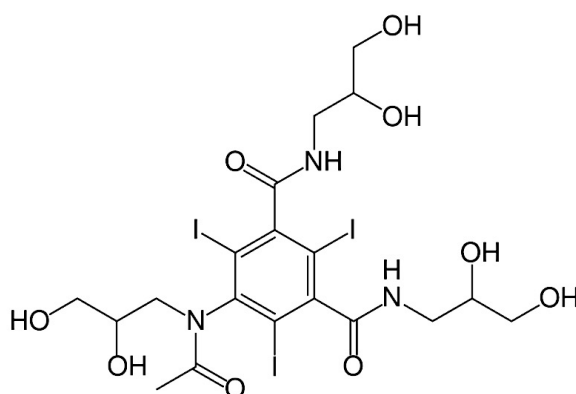


Figura 13. Estructura química del Iohexol como ejemplo de un contraste no iónico.

- Estructura molecular (indistintamente si son iónicos o no iónicos):
 - Monoméricos. Presentan un anillo de benceno (figura 11).
 - Diméricos. Presenta dos anillos de benceno unidos, con tres átomos de yodo cada uno. Por tanto, para una misma concentración de yodo, existen menos moléculas, condicionando un menor aumento de la osmolaridad; sin embargo, son moléculas más grandes y producen un aumento de la viscosidad (figura 14).

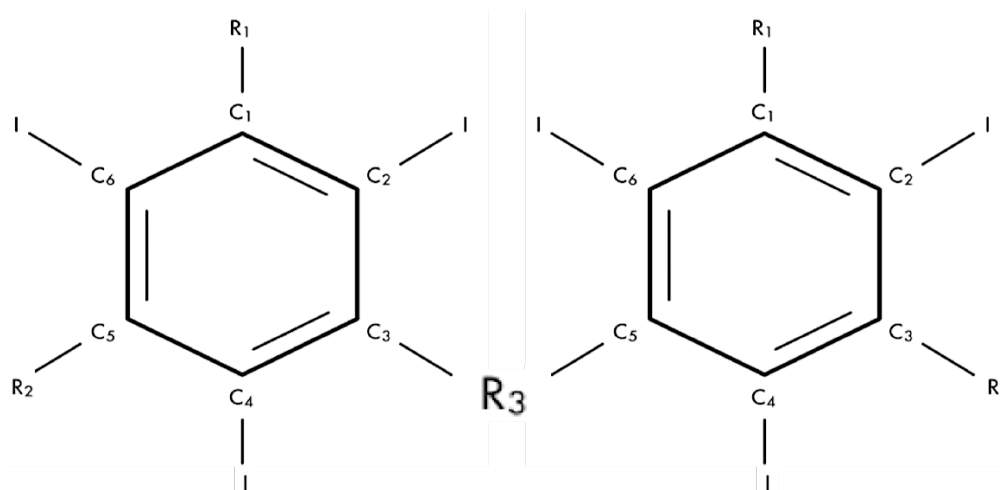


Figura 14. Estructura molecular de un dímero.

Son moléculas pequeñas que no atraviesan la barrera hematoencefálica y no se metabolizan, eliminándose invariadas principalmente a través del filtrado glomerular. Esto explica el efecto adverso más común asociado a la inyección de un contraste yodado: la nefropatía.

I.5.2. Contrastes con Gadolinio

El gadolinio es un metal pesado con una elevada capacidad paramagnética. En su forma libre resulta tóxico para el organismo, por ello, es necesario ligarlo a diferentes quelantes orgánicos formando un complejo inerte y no tóxico^{52,53}.

Los medios de contraste basados en gadolinio pueden ser lineales o macrocíclicos (según la estructura bioquímica del quelato) (figuras 15 y 16) e iónicos o no iónicos. Se ha comprobado que los iónicos macrocíclicos son los más estables, con menor liberación del ión de gadolinio⁵⁰.

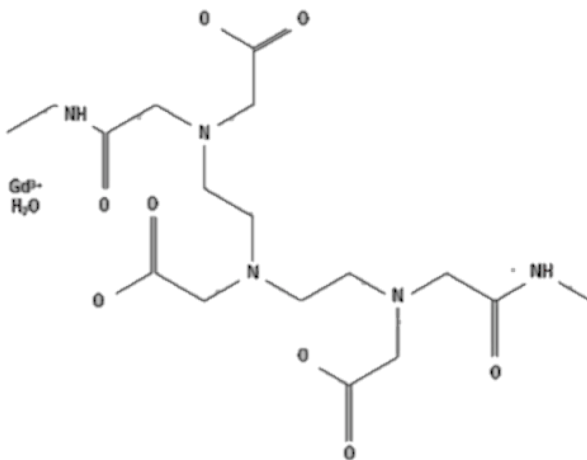


Figura 15. Molécula de gadolinio lineal.

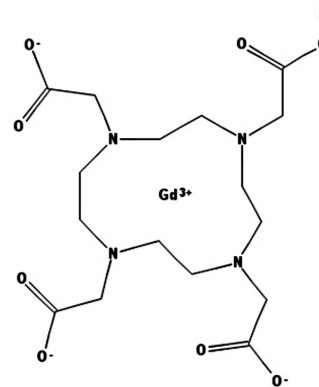


Figura 16. Molécula de gadolinio macrocíclica.

Son moléculas pequeñas, hidrófilas, no se unen a proteínas y se eliminan sin metabolizar casi totalmente por vía urinaria. No atraviesan la barrera hematoencefálica ni las membranas celulares. La vida media en un paciente sano es de unos 90 minutos; si tiene insuficiencia renal moderada sube a 6 horas y en caso de tener insuficiencia renal severa la vida media supera las 9 horas. Es importante, por tanto, tener en cuenta la función renal y considerar la utilización de los contrastes más estables ya que es directamente proporcional a su seguridad⁵³.

I.6. RIESGOS DE LOS CONTRASTES INTRAVENOSOS

I.6.1. Reacciones Adversas

Salvo el cambio de atenuación/intensidad de los tejidos, cualquier manifestación del contraste sobre el paciente puede considerarse como efecto adverso. Dependen tanto de las características del paciente como de las propiedades del contraste (el poder iónico, la osmolaridad y la viscosidad).

La frecuencia de reacciones adversas es mayor para contrastes yodados que para contrastes de gadolinio⁵⁴. Se estima una incidencia de 0.7%-3.1% y 0.01%-2% respectivamente⁵⁵.

En un estudio de 456,930 pacientes con administración de contraste, de los cuales 298,492 fueron con contrastes yodado de baja osmolaridad y 158,439 fueron con contrastes basados en gadolinio, se reportaron 458 reacciones adversas a los primeros (0.155%) y 64 reacciones adversas a los segundos (0.0404%)⁵⁶.

Las reacciones pueden ser anafilactoides o no anafilactoides (quimiotóxicas) y ambos tipos pueden ser de gravedad baja, moderada o severa.

Entre los síntomas de las reacciones anafiláctoides se encuentra la urticaria, prurito, edema cutáneo, picor de garganta, congestión nasal, estornudos, conjuntivitis, rinorrea, edema facial con disnea, broncoespasmo, eritema con hipotensión, edema de laringe y shock anafiláctico.

Entre los síntomas de las reacciones no anafiláctoides se encuentran las náuseas, vómitos, escalofríos, febrícula, dolor de cabeza, mareos, ansiedad, alteración del gusto, hipertensión, reacción vaso-vagal, dolor de pecho, arritmias, convulsiones y emergencia hipertensiva.

La alergia al contraste intravenoso ocurre en aproximadamente el 0.1% de la población y es una contraindicación absoluta para el uso de contrastes yodados en la CT o gadolinio en la RM ya que una reacción anafiláctica tiene consecuencias peligrosas en 1 de cada 75.000 casos.

Existen factores de riesgos para sufrir una reacción adversa al medio de contraste, siendo el mayor de ellos, el haber sufrido una reacción adversa previamente, con un 60% de probabilidad de volver a repetir la reacción⁵⁴.

Algunos riesgos están relacionados con el propio medio de contraste, como puede ser una velocidad de administración alta, una dosis alta (>100 mL), contrastes de alta osmolaridad, iónicos frente a los no-iónicos, vía de administración intraarterial más riesgo que la venosa...

Por ejemplo, la frecuencia de reacciones adversas con los contrastes de alta osmolaridad oscila entre un 5-12% comparado con un 1-3% de los contrastes de baja osmolaridad⁵⁴. Por ello, en la actualidad raramente se usan y han sido retirados del mercado en la mayoría de países⁵⁷. La sustitución de los contrastes iónicos de alta osmolaridad por aquellos no iónicos de baja osmolaridad ha disminuido considerablemente el número de reacciones adversas tras la administración intravascular de contrastes yodados⁵⁸.

Otros factores de riesgo son las comorbilidades de los pacientes como la diabetes, enfermedad cardiovascular, insuficiencia renal, asma, ansiedad, deshidratación, alteración tiroideas, tendencias atópicas, mastocitosis, pacientes oncológicos o alteraciones hematológicas como la anemia de células falciformes, policitemia, paraproteinemias...

Algunos tratamientos incrementan el riesgo, tales como los beta-bloqueantes, interleukin-2, antiinflamatorios no esteroideos, metotrexato, aminoglucósidos, biguanida, hidralazina...

Se ha comprobado que los niños y ancianos tienen más riesgo, así como las mujeres frente a los hombres.

Es por ello, por lo que todos los pacientes deben ser evaluados antes de la administración de contrastes intravenosos y aquellos con riesgos de sufrir reacciones adversas deben ser controlados y llevar a cabo las medidas preventivas necesarias en cada caso.

I.6.2. Nefropatía Inducida por Medios de Contraste

La nefropatía inducida por medios de contraste (CIN) se refiere a un deterioro repentino de la función renal tras la administración intravascular de un contraste yodado que se produce debido al contraste.

En la versión 10.3 del Manual de Contrastes de la ACR (American College of Radiology) hacen referencia a la diferencia entre ésta entidad y la insuficiencia renal aguda post-contraste (IRA-PC)⁵⁸. Ésta última, se trata de un deterioro repentino de la función renal en las primeras 48 horas tras la administración intravascular de un contraste yodado independientemente de la causas. La CIN es, por tanto, un tipo de IRA-PC.

El Comité de Drogas y Contrastes de la ACR considera, en el momento actual, que la nefropatía inducida por medios de contraste es una entidad poco frecuente⁵⁸.

No existen estudios suficientes que permitan valorar la incidencia de la CIN, ya que en muchos casos se han tomado ambas enfermedades como una única entidad⁵⁹. Se estima que en la población general con función renal normal es de un 0-5% y en pacientes con función renal alterada aumenta hasta un 12-27%⁵⁷.

No existen unos criterios estandarizados para el diagnóstico de la CIN ni la IRA-PC, existiendo numerosas definiciones propuestas en la literatura mundial.

La ACR sugiere la utilización de los criterios AKIN para la clasificación de la gravedad de la insuficiencia renal aguda en las primeras 48 horas tras la exposición a un evento nefrotóxico (administración de contraste yodado) en base principalmente al valor de creatinina sérica.

La fisiopatología exacta de la CIN no se conoce, pero se sugiere que puede ser secundario a efectos citotóxicos directos en los túbulos renales y a una vasoconstricción que condiciona isquemia de la médula renal^{57,59}.

Entre los factores de riesgo que predisponen a una CIN se incluye la diabetes mellitus, la deshidratación, patologías cardíacas, los diuréticos, la edad avanzada, el

mieloma múltiple, la hipertensión, la hiperuricemia y dosis de contrastes yodados en intervalos pequeños de tiempo (<24h), sin embargo, el factor de riesgo más importante es la existencia de insuficiencia renal severa previa⁵⁹.

En estos casos, será necesario valorar el riesgo-beneficio de la utilización de un contraste yodado y la opción de utilizar otras pruebas de imagen alternativas.

Según el manual de la ACR, el peligro de desarrollar una CIN es una contraindicación relativa pero no absoluta para la administración intravascular de contraste yodado en pacientes de riesgo.

A pesar de que en muchos casos esta patología sólo es transitoria, varios estudios han mostrado que aquellos pacientes con CIN tienen estancias hospitalarias más largas, mayor mortalidad y mayor incidencia de alteraciones neurológicas y cardíacas que aquellos pacientes que no han sufrido ninguna alteración renal tras la administración de contrastes yodados⁵⁷⁻⁵⁹.

Pacientes con insuficiencia renal en estadio final que se someten a diálisis no tienen contraindicación para la administración de contraste yodado ya que sus riñones no son funcionantes y por tanto no supone ningún riesgo para ellos⁵⁸.

I.6.3. Fibrosis Sistémica Nefrogénica

La fibrosis sistémica nefrogénica (FSN) es una patología rara pero grave, caracterizada por fibrosis de la piel y otros órganos del cuerpo (pulmones, corazón, esófago, músculos) en pacientes con insuficiencia renal importante⁶⁰⁻⁶³.

Los síntomas, que comienzan típicamente con engrosamiento cutáneo y prurito y avanzan hacia la rigidez articular y contracturas musculares, pueden aparecer a los días, meses e incluso años desde la exposición al contraste.

No existe un tratamiento curativo. El manejo de la enfermedad consiste en intentar paliar sus efectos y reducir la velocidad a la que avanza. En un 5% de los casos puede ser un cuadro rápidamente progresivo e incluso producir la muerte del paciente.

I. INTRODUCCIÓN

Afortunadamente, tras encontrar una asociación entre los contrastes con gadolinio y la FSN en el año 2006, se establecieron unas guías que han conseguido una reducción de esta patología gracias a la disminución del uso de estos contrastes en pacientes con insuficiencia renal grave y gracias a la disminución del uso de aquellos más asociados a la FSN⁵⁸ (tabla 1).

Tabla 1. Riesgo de aparición de FSN de los contrastes con Gadolinio según clasificación EMA⁶⁴. Grupo I: Alto riesgo; Grupo II: Riesgo Intermedio; Grupo III: Bajo riesgo

Grupo I	Grupo II	Grupo III
Gadodiamida (Omniscan®)	Gadobenato de dimeglumina (MultiHance®)	Gadobutrol (Gadovist®/ Gadavist®)
Gadopentetato de dimeglumina (Magnevistan®)	Gadoxetato disódico (Primovist® / Eovist®)	Gadoteridol (ProHance®)
Gadoversatamida (OptiMARK®)	Gadofosveset trisódico (Vasovist®/ Ablavar®)	Gadoterato de Meglumina (Dotarem®/ Magnescope®)

Se considera que el riesgo de nefrotoxicidad asociado al uso de contrastes basados en gadolinio a las dosis terapéuticas recomendadas (0.1-0.2 mmol/kg) en personas sin alteraciones renales es prácticamente inexistente⁵³.

Mientras que en los pacientes en diálisis o con insuficiencia renal crónica se ha estimado que existe un 1-7% de probabilidad de desarrollar FSN tras la exposición a contrastes con gadolinio del grupo 1 (alta asociación con FSN) y entre un 12-20% de los casos confirmados de FSN se han dado en pacientes con insuficiencia renal aguda⁵⁸.

Por ello, es importante conocer el estado de la función renal a la hora de realizar un estudio con este tipo de contrastes. En caso de estar alterada, se recomienda valorar el riesgo-beneficio, plantear pruebas alternativas, y finalmente, si es necesaria su utilización, hacerlo con las dosis mínimas aprobadas y evitando inyecciones repetidas.

I.6.4. Depósitos de Gadolinio en el Cerebro

Recientemente se han descubierto depósitos de gadolinio en tejido cerebral de pacientes a los que se les había administrado contrastes con gadolinio a lo largo de su vida. Parece ser que los depósitos tienen predilección por ciertas zonas del cerebro en particular y son dosis-dependiente. Además, éstos se producen también en pacientes sin alteraciones de la función renal ni hepática.

Actualmente no se ha comprobado que produzcan efectos adversos a la salud de las personas; aunque es un tema que está en investigación y hasta que esto se confirme, se deben utilizar los contrastes valorando siempre el riesgo-beneficio.

En diciembre de 2017, los Titulares de la Autorización de Comercialización de los agentes de contraste con gadolinio actualmente comercializados en España, de acuerdo con la Agencia Europea de Medicamentos (EMA) y la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS), informaron, como conclusión, que “los profesionales sanitarios deberán utilizar agentes de contraste con gadolinio únicamente cuando no se pueda obtener información esencial para el diagnóstico con imágenes sin contraste. Además, siempre deberán utilizar la menor dosis posible para obtener el realce adecuado para el diagnóstico”.⁶⁵

I.6.5. Contrastes Intravenosos en Mujeres Embarazadas^{32,33,58}

Tanto los contrastes yodados como los contrastes con gadolinio atraviesan la barrera placentaria y llegan al feto.

A) Contrastes Yodados

No se han descrito efectos mutagénicos ni teratogénicos tras la administración de contrastes yodados en embarazadas, por lo que, en la última actualización del manual de contrastes de la ACR no recomiendan la no utilización de contrastes yodado en embarazadas si el estudio es necesario para llegar al diagnóstico.

El hipotiroidismo congénito es una patología que se da en 1 de cada 4000 nacimientos y condiciona alteraciones mentales y del desarrollo. Actualmente en Europa y América de Norte existe un programa de screening, ya que con un tratamiento precoz se evitan las consecuencias del mismo.

El mayor peligro de los contrastes yodados es sobre la glándula tiroidea por la posibilidad de sufrir hipotiroidismo congénito secundario a la dosis de yodo que contienen; pero desde que se sustituyó la amniocentesis por la ecografía para detectar malformaciones congénitas hace más de 30 años, no existen casos documentados.

B) Contrastes con Gadolinio

Los efectos nocivos de los contrastes con gadolinio para el feto son desconocidos. No existen estudios que demuestren sus efectos teratogénicos en dosis bajas ni casos conocidos de fibrosis nefrogénica sistémica, aunque los resultados de los estudios realizados son inciertos.

Por ello, dado los posibles riesgos aún no conocidos, la utilización de los mismos debe hacerse con precaución en mujeres embarazadas, valorando el riesgo-beneficio y usándose sólo en casos en los que sea estrictamente necesario (si no existen otras pruebas alternativas y si la realización de la prueba no puede aplazarse a después del parto).

I.6.5. Contrastes Intravenosos durante la Lactancia^{32,33,58}

Según varios estudios, la proporción de contraste (tanto yodados como con gadolinio) que llega a la sangre del bebé tras pasar a la leche materna y posteriormente ser absorbida por su intestino, es mínima. Por esta razón, se considera que es seguro continuar con la lactancia a pesar de la utilización de contrastes en estudios realizados a la madre.

Si a pesar de esta recomendación, la madre prefiere interrumpir la lactancia, podrá continuar con la misma tras un periodo de 12-24 horas (tiempo que tarda el contraste en eliminarse de la sangre en personas con función renal conservada).

I.7. TRATAMIENTO DE LA ESTENOSIS DE LAS ARTERIAS RENALES

El objetivo del tratamiento de la estenosis de las arterias renales es controlar la presión arterial y preservar la función renal con la menor cantidad de complicaciones y efectos adversos.

En todos los casos es necesario tomar medidas para disminuir los factores de riesgo como dejar de fumar, hacer ejercicio, mantener niveles de glucosa y colesterol adecuados, etc...

El tratamiento puede ser médico y/o revascularización. La elección de uno u otro dependerá de la causa (ateroesclerosis o displasia fibromuscular) y de la clínica (hipertensión renovascular o nefropatía isquémica).

I.7.1. Tratamiento Médico

El control de la presión arterial se debe realizar con fármacos antihipertensivos¹³. El principal tratamiento médico son los inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (IECAs) y los antagonistas del receptor de la angiotensina II (ARAII).

Los pacientes con estos tratamientos deben llevar un control estricto por el riesgo de desarrollar un fallo renal agudo, ya que los IECAs y ARAII bloquean el mecanismo compensatorio que se activa ante una disminución del flujo sanguíneo renal como en casos de estenosis de las arterias renales. Este mecanismo consiste en estimular el sistema renina-angiotensina, lo cual condiciona una vasoconstricción de la arteriola eferente con el fin de aumentar retrógradamente la presión de los glomérulos renales y mantener el filtrado glomerular.

I.7.2. Revascularización

La revascularización consiste en la dilatación de la luz del vaso.

Está indicada en los siguientes casos⁹:

- Tratamiento médico insuficiente a pesar de utilizar 3 o más medicamentos a dosis máximas incluyendo diuréticos.
- Insuficiencia renal progresiva.
- Aumento reciente de los niveles de creatinina sérica.
- Fallo del filtrado glomerular durante tratamiento hipertensivo con IECAs o bloqueantes de receptor de angiotensina.
- Edema agudo de pulmón recurrente no relacionado con síndrome coronario agudo.
- Fallo cardíaco congestivo refractario, con estenosis bilateral de las arterias renales.

La revascularización puede ser percutánea o quirúrgica:

A) Intervención Percutánea

- I. Angioplastia transluminal percutánea.
- II. Stent

En casos de hipertensión secundaria a estenosis de las arterias renales por aterosclerosis, el tratamiento con colocación de stent ha mostrado ser más eficaz que la angioplastia sola, con mayor porcentaje de curación y menor porcentaje de re-estenosis¹⁹.

En pacientes con displasia fibromuscular no controlada con tratamiento médico, la técnica de elección es la angioplastia percutánea¹⁹.

Para la decisión de realizar un tratamiento percutáneo es necesario disponer de pruebas de imágenes previas, ya que algunas indicaciones y contraindicaciones de éste se verá condicionado por ciertas características anatómicas¹⁹:

I. INTRODUCCIÓN

- Tanto la angioplastia como la colocación de Stent están indicadas en estenosis significativas hemodinamicamente, definidas como:
 - Estenosis de más del 50% del diámetro o reducción del 75% del área en un corte transversal.
 - Gradiente de presión sistólica mayor del 10% de la presión sistólica o 10, 15 o 20mmHg.

- La colocación de Stent presenta las siguientes contraindicaciones:
 - Bifurcación de las arterias renales que de lugar a que la colocación del Stent bloquee la irrigación del 50% del riñón.
 - Diámetro de arteria renal 4mm o menos (excepto si se utilizan stents liberadores de medicamentos).
 - Sepsis

B) Intervención Quirúrgica

- I. Endarterectomía
- II. By-pass aorto-renal
- III. By-pass extra-anatómico (con anastomosis a arteria hepática/esplénica/tronco celíaco o vasos mesentéricos)

La intervención quirúrgica ha sido sustituida por el tratamiento endovascular en el manejo de la estenosis de las arterias renales, ya que, éste último, presenta menos complicaciones, menos costes, menor tiempo de recuperación y además permite tratar a pacientes con contraindicaciones para cirugía⁶⁶.

Por ello, en la actualidad, el tratamiento quirúrgico se reserva para lesiones complejas que no pueden ser tratadas vía percutánea, para pacientes a los que se les va a realizar nefrectomía o para aquellos que presentan patología aórtica candidata a reparación^{9,17}.

I.8. VALORACIÓN PREQUIRÚRGICA DE LAS ARTERIAS RENALES

La anatomía de las arterias renales se ha de estudiar con pruebas de imagen previo a una cirugía renal con el fin de realizar un correcto planteamiento quirúrgico y evitar posibles complicaciones.

Existen dos tipos de intervenciones quirúrgicas renales:

A) Nefrectomía total o parcial por causa tumoral

Se precisa conocer principalmente la existencia de arterias accesorias con el fin de ligarlas y evitar sangrados y hemorragias.

B) Trasplantes

El estudio renal de un donante debe incluir una serie de parámetros para que el cirujano pueda valorar la factibilidad del trasplante y si existen riesgos de complicación durante la intervención. Estos son:

- Localización y longitud del riñón
- Número de arterias y venas renales
- Longitud de las arterias renales desde su origen hasta su bifurcación
- Distancia desde margen derecho de vena cava hasta bifurcación de arteria renal derecha
- Tipo de arterias renales accesorias (hiliar/polar/capsular)
- Diámetro ortogonal de arteria accesoria
- Longitud de las venas renales desde la confluencia de las venas segmentarias hasta la vena cava
- Distancia desde la confluencia de las venas segmentarias izquierdas hasta margen izquierdo de la aorta
- Tipo de venas tributarias renales
- Diámetro y variantes de venas tributarias renales
- Presencia de patología arterial
- Cantidad de grasa perirrenal

-
- Número, localización y tamaño de quistes, cálculos y angiomiolipomas (si existen)
 - Número, localización, tamaño y estadiaje de tumor (si existe)
 - Evaluación de tracto urinario superior

Con el análisis de estos parámetros se puede²⁰:

- Detectar la presencia de más de dos arterias renales en un riñón ya que es una contraindicación para donación.
- Conocer el diámetro ortogonal de la arteria renal ya que debe ser igual o mayor a 3mm, puesto que en tamaños menores, la anastomosis es complicada y la incidencia de trombosis alta.
- Localizar la bifurcación de la arteria principal, que debe estar a mas de 1-1.5cm del origen ya que se necesita al menos 1 cm de la arteria principal para realizar la anastomosis¹.
- Identificar las arterias polares ya que su desgarró accidental puede causar sangrado arterial e infarto renal.
- Identificar las placas calcificadas ya que dificultan las anastomosis y pueden causar laceración de la íntima tanto de la arteria renal como de la aorta. Por lo tanto, es necesario diferenciarlas de las placas no calcificadas y alertar al cirujano.

II. MARCO HISTÓRICO

II. MARCO HISTÓRICO

II.1. ANGIOGRAFÍA

A pesar de que la angiografía se considera la prueba “gold estándar” para el estudio de las arterias renales, ya a finales del siglo XX, conscientes de los riesgos de la misma, se intentaba realizar sólo a los pacientes con alta sospecha de estenosis tras la valoración previa con renograma con captopril⁶⁷.

Se planteaban dos opciones como alternativa a la angiografía: por un lado la identificación de criterios clínicos que detectasen pacientes de alto riesgo a los que realizarles la arteriografía y por otro lado desarrollar técnicas de imagen menos invasivas que sustituyesen a la arteriografía.

Respecto a la primera opción, se ha comprobado que ciertos parámetros como la edad, género, tabaco, masa corporal, enfermedad aterosclerótica, hipertensión reciente, concentración de creatinina sérica y concentración sérica de colesterol pueden predecir con una precisión similar a la del cintigrama renal, qué pacientes tienen hipertensión renovascular⁶⁸. Sin embargo, la precisión de estas pruebas está por debajo del 75%^{67,68}.

Respecto a la segunda opción, durante las últimas décadas, múltiples investigaciones han ido orientadas a valorar la fiabilidad de otras pruebas de imagen menos invasivas con el fin de sustituir definitivamente a la angiografía.

II.2. ECOGRAFÍA

Existen estudios que demuestran la precisión de la ecografía para detectar estenosis de las arterias renales.

Taylor et al.⁶⁹ compara de manera retrospectiva los hallazgos de la ecografía y la arteriografía de 58 arterias en 29 pacientes, considerando que un ratio >3.5 entre la velocidad picosistólica renal y la velocidad sistólica máxima de la aorta abdominal (RAR) equivale a una estenosis $>60\%$. Obtiene una sensibilidad para la ecografía del 84%, una especificidad del 97%, un VPP del 94% y una precisión del 93%.

Hoffmann et al.⁷⁰ valora la ecografía como alternativa, llegando a la conclusión de que se puede considerar como prueba para screening de hipertensión arterial renovascular dado que puede demostrar y localizar con precisión las estenosis en las arterias renales. Ha realizado un estudio con 41 pacientes, comparando los resultados de la ecografía con la arteriografía en el que obtiene:

- Una sensibilidad del 95% y especificidad del 90% para detectar enfermedad de la arteria renal, tomando como referencia un aumento de la velocidad picosistólica renal mayor de 180cm/sec.
- Una sensibilidad del 92% y especificidad del 62% para detectar estenosis de la arteria renal mayor del 60%, considerada como un RAR mayor de 3.5.
- Una detección con ecografía 10 de oclusiones completas de las 11 detectadas con angiografía.
- La ecografía determina la localización de la lesión renal con una precisión del 96% (kappa 0.74).

Boudenwijn et al.⁷¹ realizó un meta-análisis de los estudios existentes hasta ese momento, comparando las cinco técnicas de imagen menos invasivas que la arteriografía para detectar estenosis de las arterias renales: TC, RM, ecografía, cintigrama renal y test de captopril. Otras técnicas no han sido incluidas en este estudio por estar prácticamente en desuso^{72,73}.

En el meta-análisis se incluyen 55 estudios en inglés, alemán y francés, con ciertos criterios de inclusión, entre ellos, que los pacientes tuvieran sospecha de hipertensión renovascular y que la arteriografía se usara como prueba “Gold estándar”.

Tomando el área bajo la curva ROC como medida de la precisión diagnóstica de las pruebas, ésta es de 0.93 para la ecografía, 0.92 para el cintigrama renal y 0.72 para el test de captopril, mostrando que la ecografía y el cintigrama tienen una precisión parecida y que ambas son mejores que el test de captopril.

También se han descrito en la literatura valores menores, con una sensibilidad y especificidad de 81% y 87% respectivamente¹¹, un VPP de 88%⁷⁴ y una sensibilidad y VPP de 75% y 60% respectivamente¹⁸.

Johansson et al.⁷⁵ ha realizado ecografías y renogramas con captopril a 98 pacientes y utiliza la angiografía renal como prueba Gold estándar para identificar estenosis >50% de las arterias renales, obteniendo como resultados:

- Ecografía → S: 84%; E: 94%; VPP: 76%; VPN: 96%
- Renografía con captopril → S: 68%; E: 92%; VPP: 68%; VPN: 92%

La ecografía es más fácil de realizar y más costo efectiva que la arteriografía, no necesita contraste intravenoso, no es invasiva y no irradia al paciente. Además, puede obtener información hemodinámica y localizar con precisión las estenosis en las arterias renales⁷⁰. Por estas razones, a pesar de su menor precisión, muchos autores la plantean como prueba de primera elección para screening de hipertensión arterial renovascular^{11,18,69,70,75}.

Presenta los inconvenientes de ser una prueba operador dependiente que precisa de una formación previa para su correcta realización, consume mucho tiempo y en ocasiones se encuentra limitada en pacientes con un alto índice de masa corporal¹¹.

II.3. ANGIO-TC Y ANGIO-RM CON CONTRASTE

Múltiples publicaciones confirman que la angio-TC es una opción atractiva y mínimamente invasiva para la detección de estenosis significativas de las arterias renales, con una sensibilidad y especificidad próxima al 100%^{18,71,76-79}.

Una limitación de la TC en la que coinciden muchos autores es la visualización de las estenosis intrarrenales en arterias segmentarias o interlobares, siendo el estudio de éstas, indicación de arteriografía⁷⁹.

En otras ocasiones se ha propuesto la angio-RM con contraste como una alternativa fiable a la arteriografía en la detección de patología de las arterias renales, con una sensibilidad >96% y especificidad >92%^{18,80,81}, un VPP de aprox. 92%⁷⁴ y una precisión mayor del 95%⁸¹.

Tan et al.⁸² ha realizado un meta-análisis incluyendo 25 artículos en inglés desde 1985-2001 que cumplen los siguientes criterios de inclusión: comparación ciega con angiografía, inclusión de la indicación de la RM, clara descripción de las técnicas de imagen y un intervalo entre la RM y la angiografía menor de 3 meses. Si un centro tiene varios estudios, han incluido sólo el mayor de ellos.

Se han incluido un total de 499 pacientes a los que se les había realizado una RM con contraste, siendo la sensibilidad del 97% y la especificidad del 93%.

En el meta-análisis de Boudenwijn et al⁷¹ se obtiene como resultado una precisión diagnóstica de 0.99 para la angio-TC y 0.99 para la angio-RM con contraste y ambas resultan ser significativamente mejor detectando esta patología que el resto de pruebas.

En este meta-análisis también se comprueba que la angio-RM con contraste es tan precisa como la angio-TC⁷¹, incluso en algún estudio ha resultado ser más precisa⁷⁴.

Rountas et al.¹⁸ ha realizado un estudio con 58 pacientes comparando la ecografía Doppler color, la angio-TC y la angio-RM utilizando la angiografía como prueba Gold estándar. Sugiere que tanto la angio-TC como la angio-RM con contraste son dos

pruebas que pueden utilizarse para la valoración de arterias renales con buenos resultados, lo cual apoya la conclusión del meta-análisis de Boudenwijn⁷¹.

Leung et al.¹¹ compara la angio-RM con contraste y la ecografía en 89 pacientes con sospecha de enfermedad renovascular, de los cuales 60 se hicieron también angiografía y confirma que la angio-RM con contraste es una técnica útil para diagnosticar enfermedad renovascular ya que elimina algunas de las limitaciones de la ecografía: no es operador dependiente, no se ve limitada por el índice de masa corporal y la calidad de la imagen es mejor.

En base a los resultados de las investigaciones y valorando el riesgo-beneficio, la arteriografía ha sido sustituida en los últimos años por la angio-TC y la angio-RM.

La TC es una prueba rápida, altamente disponible y accesible, y la RM no utiliza radiaciones ionizantes ni contraste yodado, sin embargo, a pesar de las ventajas, estas técnicas no están exentas de riesgos, ya que ambas hacen uso de contraste intravenoso, yodado en la TC y con gadolinio en la RM.

Como ya se ha indicado, el contraste yodado en ocasiones produce reacciones alérgicas y está relativamente contraindicado en pacientes con insuficiencia renal. El gadolinio tiene menos riesgos pero hay que llevar precaución por la posibilidad de desarrollar fibrosis sistémica nefrogénica o depósitos de gadolinio en el cerebro.

Por este motivo, ha ido creciendo el interés por la RM sin contraste como alternativa, ya que puede reducir riesgos y costes.

II.4. RESONANCIA MAGNÉTICA SIN CONTRASTE

La secuencia Time-of-Flight (TOF) es ampliamente utilizada para el estudio de las arterias cerebrales ya que ofrece imágenes de alta resolución de pequeños vasos y ha sido la primera secuencia de RM sin contraste en utilizarse para valorar las arterias renales.

En varios estudios se ha comprobado que esta secuencia es una alternativa válida a la arteriografía para la identificación de estenosis de las arterias renales, con una sensibilidad del 100%, una especificidad > 90% y una precisión > 90%⁸³⁻⁸⁶.

Es necesario que la sangre fluya perpendicular al plano de la imagen, lo cual es a veces complicado en el caso de las arterias renales, produciéndose una pérdida de señal que puede simular una falsa estenosis o la imposibilidad de valorar todos los segmentos del vaso.

Por otro lado, los flujos turbulentos también puede causar una pérdida de señal debido al desfase que producen y al tratarse de una técnica eco de gradiente es sensible a artefactos por clips quirúrgicos.

Con el tiempo se han ido desarrollando distintas secuencias de resonancia tratando de disminuir estas limitaciones: Steady-state free precession (SSFP), Phase-contrast MRI, BOLD... comprobándose su eficacia y la posibilidad de utilizarlas como alternativa a otras pruebas con más riesgos⁸⁷⁻⁹³. El principal inconveniente de estas nuevas secuencias es que no se encuentran disponibles en todos los equipos de resonancia magnética.

III. HIPÓTESIS

III. HIPÓTESIS

La secuencia de resonancia magnética *Time of Flight* es una prueba fiable y su eficacia en la identificación de estenosis de las arterias renales clínicamente significativas no es inferior a la de la angio-tomografía computarizada.

IV. OBJETIVOS

IV. OBJETIVOS

IV.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Comprobar la fiabilidad de la angio-resonancia magnética sin contraste utilizando la secuencia *Time of Flight* en la valoración de las estenosis de las arterias renales con el fin de comprobar en qué medida podría sustituir a la angio-tomografía computarizada.

IV.2. OBJETIVO SECUNDARIO

Valorar la posibilidad de utilizar la ARM-TOF en el estudio prequirúrgico de las arterias renales.

V. MATERIAL Y MÉTODO

V. MATERIAL Y MÉTODO

V.1. MUESTRA

De la base de datos (RIS/PACS) del Hospital General Universitario Reina Sofía de Murcia se ha obtenido de modo retrospectivo, una lista de todas las resonancias magnéticas de arterias renales sin contraste realizadas desde marzo del 2012 hasta marzo 2017, obteniéndose un total de 153 pacientes.

De éstos, se han incluido en el estudio aquellos que tienen realizada también una TC en la que se visualizan las arterias renales en fase angiográfica, resultando la muestra final de 58 pacientes.

A cada paciente del estudio se le ha asignado un código para mantener el anonimato.

V.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

V.2.1. Criterios de inclusión

- Tener realizada una angio-RM de arterias renales sin contraste intravenoso, con la secuencia TOF.
- Tener realizada una angio-TC con contraste intravenoso que incluya las arterias renales, independientemente de la sospecha clínica:
 1. Angio-TC de miembros inferiores
 2. TC de abdomen dinámico que incluya fase arterial
 3. Angio-TC de aorta
 4. Angio-TC de arterias renales
 5. Angio-TC de arteria mesentérica

V.2.2. Criterios de exclusión

- Que no cumplan los criterios de inclusión.

V.3. PROTOCOLOS DE IMAGEN

V.3.1. Protocolo angio-TC

Las angio-TC se han realizado en un escáner de 16 detectores (Brilliance 16; Philips Medical Systems), siguiendo los protocolos clínicos estandarizados:

- 34 Angio-TC de miembros inferiores
- 10 TC de abdomen dinámico con fase arterial incluida
- 9 Angio-TC de aorta
- 4 Angio-TC de arterias renales
- 1 Angio-TC de arteria mesentérica

Se han realizado con 100-120 kV y un tubo con corriente variable y modulación de dosis. El grosor de corte ha sido de 1,25mm.

En todos los casos se ha utilizado un contraste yodado no iónico de baja osmolaridad.

Las imágenes han sido analizadas en la estación de trabajo de Singovia (Siemens), con la posibilidad de realizar reconstrucciones multiplanares (MPR), maximum intensity projection (MIP) y three-dimensional (3D) volume rendering.

V.3.2. Parámetros ARM-TOF

El estudio se ha realizado con una Resonancia Symphony Tim de 1.5T (Siemens, Erlangen, Germany), utilizando una bobina de 6 canales.

Se ha utilizado una secuencias angiográfica de resonancia magnética sin contraste para la valoración de las arterias renales: una secuencia 3D Time-of-Flight (TOF).

La secuencia TOF-3D se ha adquirido en respiración libre, con un tiempo de adquisición total de 6 minutos, y los siguientes parámetros de imagen:

V. MATERIAL Y MÉTODO

- excitación de agua
- excitación FA=25°
- corte con orientación axial de 92 particiones de 0.9mm de grosor distribuidos en 3 bloques
- in-plane FOV=271x406 mm²
- matriz=179x384
- TR/TE=36/4.6 ms
- BW=70Hz/px
- phase-encoding (PE) direction =A-P

Se coloca una banda de saturación móvil en la parte superior del FOV para suprimir la señal de la vena cava y las venas renales.

V.4. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES

Dos radiólogos han sido los responsables de evaluar los estudios de TC y RM, uno con más de 30 años de experiencia y una residente de radiología de tercer y cuarto año. Ambos radiólogos han valorado todas las pruebas, de manera aleatoria y con varias semanas de separación entre la lectura de las TC y las RM para evitar sesgos de memoria. Los datos se han recopilado de manera ciega e independiente, sin conocimiento de la historia clínica del paciente ni de los resultados entre ambos observadores.

Todos los estudios han sido revisados por los dos radiólogos que han ido señalando en un Excel las pruebas informadas, para asegurar que los dos hayan valorado tanto la TC como la RM de todos los pacientes (anexo 1).

Por cada prueba de imagen que se ha analizado, se ha rellenado una hoja de recogida de datos, obteniéndose cuatro hojas distintas para cada paciente (anexo 2):

1. Angio-TC Observador 1
2. Angio-TC Observador 2
3. ARM-TOF Observador 1
4. ARM-TOF Observador 2

En cada paciente se han estudiado los dos riñones de manera independiente (riñón derecho y riñón izquierdo) y en cada uno se ha identificado de manera visual una serie de variables:

- N° de arterias renales principales (en caso de existir más de una arteria principal, se consideran como dos casos distintos, diferenciándose cada uno con una letra, ejemplo: 23A, 23B)
- Diámetro
- Si hay placa o no en:
 - Ostium/½ proximal
 - ½ distal

Y en el caso de que haya placa, se indica:

- Tamaño
- Composición
 - Calcio
 - No calcio
 - Mixta
- Si hay estenosis o no en:
 - Ostium/½ proximal
 - ½ distal

Y en el caso de que haya estenosis, se indica:

- Grado
 - Mínima (ausente o <30%)
 - Moderada (30-60%)
 - Grave (>60%)
 - Oclusión (100%)
- Bifurcación
 - <1.5cm del origen
 - >1.5cm del origen
- Presencia de arteria polar
- Presencia de arteria accesoria
- Dilatación postestenótica
- Lesión renal incidental

Se han recopilado en un Excel los datos de todos los pacientes (anexo 3), juntando los hallazgos de la TC y la RM del observador 1 (TC1 y TOF1) y la TC y la RM del observador 2 (TC2 y TOF2), adjudicando un valor numérico a los distintos hallazgos:

PLACA OSTIUM/PROXIMAL

- No: 0
- Sí: 1 y se indica tamaño y composición (calcio/no calcio/mixta)

PLACA DISTAL

- No: 0
- Sí: 1 y se indica tamaño y composición (calcio/no calcio/mixta)

ESTENOSIS OSTIUM/PROXIMAL

- Ausente o <30%: 1
- 30-60%: 2
- >60%: 3
- 100%: 4

ESTENOSIS DISTAL

- Ausente o <30%: 1
- 30-60%: 2
- >60%: 3
- 100%: 4

BIFURCACIÓN

- <1,5cm: 1
- >1,5cm: 2

POLAR

- No: 0
- Sí: 1

ACCESORIA

- No: 0
- Sí: 1

DILATACIÓN POST

- No: 0
- Sí: 1

V. MATERIAL Y MÉTODO

En casos de discrepancias en los hallazgos entre ambos lectores en la clasificación de una estenosis como mayor o menor de 60%, se ha tomado una decisión por consenso, analizando las imágenes de manera conjunta, tal y como se ha realizado en otros estudios^{11,91,94}.

V.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico descriptivo de la muestra se han empleado los métodos descriptivos básicos, de modo que, para las variables cualitativas, se ha obtenido el número de casos presentes en cada categoría y el porcentaje correspondiente; y para las variables cuantitativas, los valores mínimo, máximo, media y desviación típica.

El grado de acuerdo para las variables cualitativas se ha estudiado mediante el índice *kappa* (tabla 2)⁹⁵.

Tabla 2. Valoración del índice Kappa

Valor k	Fuerza de la concordancia
< 0,20	Pobre
0,21 - 0,40	Débil
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Buena
0,81 - 1,00	Muy buena

Para las variables cuantitativas se ha calculado el coeficiente de correlación intraclase (CCI). Se han calculado los índices de validez diagnóstica (sensibilidad, especificidad y valores predictivos) con sus intervalos de confianza al 95% para la ARM-TOF con respecto a la TC.

El análisis estadístico se ha realizado con el programa SPSS 25.0 para Windows. Las diferencias consideradas estadísticamente significativas son aquellas cuya $p < 0.05$.

VI. RESULTADOS

VI. RESULTADOS

VI.1 RESULTADOS GENERALES

La muestra final del estudio se ha constituido con 58 pacientes de los cuales un 67,2% son hombres y un 32,8% mujeres, con edades comprendidas entre los 43 y 89 años con un promedio de 68,9 años (DT = 10,9).

Con la TC se han identificado un total de 120 arterias principales, puesto que 4 riñones tenían dos arterias principales.

Con la RM se han valorado 113 arterias principales ya que:

- En 3 de los casos de riñones con dos arterias renales principales, no ha podido valorarse la que tiene origen más inferior en la aorta por no estar incluida en el FOV.
- En 1 de los riñones con dos arterias renales principales, no se han podido valorar ninguna de las dos por artefactos de movimiento.
- 1 paciente no pudo tolerar la RM por claustrofobia y el estudio está incompleto, no siendo estas dos arterias valorables.

A continuación, se muestran los resultados del grado de acuerdo entre observadores y técnicas de imagen para cada una de las variables estudiadas.

VI.2 ACUERDO ENTRE OBSERVADORES

VI.2.1 Tomografía Computarizada

A) Diámetro

En la tabla 3 se muestra la media y desviación típica de los valores de la variable *diámetro*, así como los resultados del coeficiente de correlación intraclase entre observadores. Los valores del CCI han sido superiores a 0,6 indicando un grado de acuerdo alto.

Tabla 3. Media y grado acuerdo entre observadores en la TC de la variable *diámetro*

	Medida, <i>media (DT)</i>		Acuerdo		
	Observador 1	Observador 2	CCI	IC 95%	<i>p</i> -valor
Diámetro (mm)	5,3 (1,2)	5,5 (1,3)	0,694	0,562 - 0,786	< 0,001

DT: Desviación típica; CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza.

B) Tamaño de la placa de ateroma

En la tabla 4 se muestran la media y desviación típica de los valores de la variable *tamaño de la placa*, así como los resultados del coeficiente de correlación intraclase entre observadores, tanto a nivel de la arteria proximal como distal. Los valores del CCI han sido superiores a 0,6 indicando un grado de acuerdo alto.

Tabla 4. Media y grado acuerdo entre observadores en la TC de la variable *tamaño de la placa*

	Medida, <i>media (DT)</i>		Acuerdo		
	Observador 1	Observador 2	CCI	IC 95%	<i>p</i> -valor
Placa (mm)					
Ostium/ Proximal	3,8 (5,2)	3,7 (4,9)	0,924	0,891 - 0,947	< 0,001
Distal	0,3 (1,3)	0,1 (0,7)	0,607	0,504 - 0,714	< 0,001

DT: Desviación típica; CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza.

C) Composición de la placa de ateroma

La caracterización de la composición de la placa de ateroma ha obtenido una concordancia muy buena a nivel del ostium/mitad proximal (tabla 5), alcanzando un porcentaje de acuerdo del 88,3%, con un índice *kappa* de 0,805 ($p < 0,001$); mientras que a nivel distal el grado de concordancia ha sido moderado (tabla 6), con un porcentaje de acuerdo del 95%, con un índice *kappa* de 0,476 ($p < 0,001$).

Tabla 5. Número de arterias según la composición de la placa a nivel del ostium/mitad proximal en la TC según los observadores

Observador 1	Observador 2			Total
	No placa	Calcio	No Calcio	
No placa	52	3	0	56
Calcio	3	45	1	50
No calcio	1	1	2	5
Mixta	0	2	0	9
Total	56	51	3	120

Tabla 6. Número de arterias según la composición de la placa a nivel de la mitad distal en la TC según los observadores

Observador 1	Observador 2			Total
	No placa	Calcio	No Calcio	
No placa	107	1	0	109
Calcio	2	4	0	6
No calcio	1	0	2	3
Mixta	1	0	0	2
Total	111	5	2	120

D) Grado de estenosis a nivel proximal

En la tabla 7 se muestra el número de arterias según el grado de estenosis valorado por ambos observadores, siendo el porcentaje de acuerdo del 87,5%, con un índice de acuerdo *kappa* de 0,599 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia moderada.

VI. RESULTADOS

Tabla 7. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel del ostium/mitad proximal en la TC según los observadores

Observador 1	Observador 2			Oclusión total	Total
	<30%	30-60%	>60%		
<30%	92	5	0	0	97
30-60%	8	5	0	0	13
>60%	0	2	6	0	8
Oclusión total	0	0	0	2	2
Total	100	12	6	2	120

E) Grado de estenosis a nivel distal

Con respecto a la estenosis distal (tabla 8), el número de estenosis < 30% del observador 1 ha sido de 116 y para el observador 2 han sido 115, siendo el porcentaje de acuerdo del 96,7%, con un índice *kappa* de 0,544 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia moderada.

Tabla 8. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel distal en la TC según los observadores

Observador 1	Observador 2			Oclusión total	Total
	<30%	30-60%	>60%		
<30%	114	2	0	0	116
30-60%	1	0	0	0	1
>60%	0	1	0	0	1
Oclusión total	0	0	0	2	2
Total	115	3	0	2	120

F) Bifurcación

El localización de la bifurcación ha alcanzado un porcentaje de acuerdo del 93,2%, con un índice *kappa* de 0,599 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia moderada. El observador 1 ha identificado la bifurcación a menos de 1.5cm del origen en 10 de los casos mientras que el observador 2 ha identificado 12 casos (tabla 9).

Tabla 9. Número de arterias según la localización de la bifurcación de la arteria renal principal en la TC según los observadores

Observador 1	Observador 2		Total
	<1,5cm	>1,5cm	
<1,5cm	7	3	10
>1,5cm	5	103	108
Total	12	106	118

G) Arteria polar

La identificación de la arteria polar (tabla 10) ha tenido una concordancia muy buena, obteniendo un porcentaje de acuerdo del 98,3%, con un índice *kappa* de 0,919 ($p < 0,001$). El observador 1 ha identificado 15 arterias polares y el observador 2 ha observado 13.

Tabla 10. Número de riñones con arteria polar en la TC según los observadores

Observador 1	Observador 2		Total
	No	Sí	
No	105	0	105
Sí	2	13	15
Total	107	13	120

VI. RESULTADOS

H) Arteria accesoria

Ambos observadores han identificado 4 arterias accesorias, con un porcentaje de acuerdo del 100% (tabla 11).

Tabla 11. Número de riñones con arteria accesoria en la TC según los observadores

Observador 1	Observador 2		Total
	No	Sí	
No	116	0	116
Sí	0	4	4
Total	116	4	120

I) Dilatación postestenosis

La identificación de dilatación postestenosis (tabla 12) ha tenido un porcentaje de acuerdo del 100% entre ambos observadores, identificando 1 caso con dilatación postestenosis.

Tabla 12. Número de arterias según la presencia de dilatación postestenosis en la TC según los observadores

Observador 1	Observador 2		Total
	No	Sí	
No	119	0	119
Sí	0	1	1
Total	119	1	120

J) *Tabla resumen*

En la tabla 13 se muestra el resumen del nivel de acuerdo alcanzado entre los observadores con la TC en cada una de las variables.

Tabla 13. Acuerdo entre observadores con la TC

		CCI	IC 95%	p-valor
Diámetro		0,694	0,562 - 0,786	< 0,001
Placa Ostium/Proximal		0,924	0,891 - 0,947	< 0,001
Placa Distal		0,607	0,504 - 0,714	< 0,001
	Acuerdo observado	Kappa	IC 95%	p-valor
Composición Placa Ostium/Proximal	88,3%	0,805	0,711 - 0,899	< 0,001
Composición Placa Distal	95,0%	0,476	0,262 - 0,690	< 0,001
Estenosis Proximal	87,5%	0,599	0,421 - 0,777	< 0,001
Estenosis Distal	96,7%	0,544	0,193 - 0,895	< 0,001
Bifurcación	93,2%	0,599	0,346 - 0,852	< 0,001
Polar	98,3%	0,919	0,809 - 1,029	< 0,001
Accesorias	100,0%			
Dilatación postestenosis	100,0%			

DT: Desviación típica; CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza.

VI.2.2 Resonancia Magnética con secuencia Time of Flight

A) Diámetro

En la tabla 14 se muestran la media y desviación típica de los valores de la variable *diámetro*, así como los resultados del coeficiente de correlación intraclase entre observadores. Los valores del CCI han sido superiores a 0,6 indicando un grado de acuerdo alto.

Tabla 14. Media y grado acuerdo entre observadores en la ARM-TOF de la variable *diámetro*

	Medida, media (DT)		Acuerdo		
	Observador 1	Observador 2	CCI	IC 95%	p-valor
Diámetro (mm)	4,7 (1,1)	4,8 (1,2)	0,681	0,534 - 0,781	< 0,001

DT: Desviación típica; CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza.

B) Tamaño de la placa de ateroma

En la tabla 15 se muestran las medias y desviaciones típicas de los valores de las variable *tamaño de la placa*, tanto a nivel proximal como distal, así como los resultados del coeficiente de correlación intraclase entre observadores. Los valores del CCI han sido superiores a 0,6 indicando un grado de acuerdo alto.

Tabla 15. Descriptivo y grado acuerdo entre observadores en la ARM-TOF de las variables *tamaño de la placa*

	Medida, media (DT)		Acuerdo		
	Observador 1	Observador 2	CCI	IC 95%	p-valor
Placa (mm)					
Ostium/Proximal	3 (4,3)	1,7 (3,5)	0,619	0,509 - 0,727	< 0,001
Distal	0,2 (1,6)	0,1 (0,4)	0,614	0,514 - 0,703	< 0,001

DT: Desviación típica; CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza.

C) Grado de estenosis a nivel proximal

En la tabla 16 se muestra el grado de estenosis a nivel proximal según los observadores, siendo el porcentaje de acuerdo del 89,4%, con un índice de acuerdo *kappa* de 0,626 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia buena.

Tabla 16. Número de arterias según el grado de estenosis de la arteria renal a nivel del ostium/mitad proximal en la ARM-TOF según los observadores

Observador 1	Observador 2			Oclusión total	Total
	<30%	30-60%	>60%		
<30%	90	3	0	0	93
30-60%	6	4	0	0	10
>60%	1	2	4	0	7
Oclusión total	0	0	0	3	3
Total	97	9	4	3	113

D) Grado de estenosis a nivel distal

Con respecto a la estenosis distal (tabla 17), el número de estenosis < 30% del observador 1 ha sido de 107 mientras que para el observador 2 han sido 109 y ambos observadores han identificado 1 estenosis >60% y 3 oclusiones totales, siendo el porcentaje de acuerdo del 98,2%, con un índice *kappa* de 0,794 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia buena.

Tabla 17. Número de arterias según el grado de estenosis de la arteria renal a nivel distal en la ARM-TOF según los observadores

Observador 1	Observador 2			Total
	<30%	>60%	Oclusión total	
<30%	107	0	0	107
30-60%	2	0	0	2
>60%	0	1	0	1
Oclusión total	0	0	3	3
Total	109	1	3	113

VI. RESULTADOS

E) Bifurcación

La localización de la bifurcación ha obtenido una concordancia moderada, alcanzado un porcentaje de acuerdo del 93,62%, con un índice *kappa* de 0,493 ($p = 0,031$). El observador 1 ha identificado la bifurcación a menos de 1.5cm del origen en 6 de los casos mientras que el observador 2 ha identificado 3 casos (tabla 18).

Tabla 18. Número de arterias según la localización de la bifurcación de la arteria renal principal en la ARM-TOF según los observadores

Observador 1	Observador 2		Total
	<1,5cm	>1,5cm	
<1,5cm	1	5	6
>1,5cm	2	102	104
Total	3	107	110

F) Arteria polar

Con respecto a las arterias polares (tabla 19), el observador 1 ha identificado 2 mientras que el observador 2 ha identificado 1, siendo el porcentaje de acuerdo del 99,1%, con un índice *kappa* de 0,663 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia buena.

Tabla 19. Número de riñones con arteria polar en la ARM-TOF según los observadores

Observador 1	Observador 2		Total
	No	Sí	
No	108	0	108
Sí	1	1	2
Total	109	1	110

G) Arteria accesoria

La identificación de arterias accesoria (tabla 20) ha obtenido una concordancia moderada, siendo el porcentaje de acuerdo del 98,2% con un índice *kappa* de 0,491 ($p < 0,001$).

Tabla 20. Número de riñones con arteria accesoria en la ARM-TOF según los observadores

Observador 1	Observador 2		Total
	No	Sí	
No	107	1	108
Sí	1	1	2
Total	108	2	110

H) Dilatación postestenosis

Ambos observadores han identificado una dilatación postestenosis (tabla 21) con un porcentaje de acuerdo del 100%.

Tabla 21. Número de arterias según la presencia de dilatación postestenosis en la ARM-TOF según los observadores

Observador 1	Observador 2		Total
	No	Sí	
No	119	0	119
Sí	0	1	1
Total	119	1	120

VI. RESULTADOS

1) Tabla resumen

En la tabla 22 se muestra el resumen del nivel de acuerdo alcanzado entre los observadores con la ARM-TOF en cada una de las variables.

Tabla 22. Acuerdo entre observadores con la ARM-TOF

		CCI	IC 95%	p-valor
Diámetro		0,681	0,534 - 0,781	< 0,001
Placa Ostium/Proximal		0,619	0,509 - 0,727	< 0,001
Placa Distal		0,614	0,514 - 0,703	< 0,001
	Acuerdo observado	Kappa	IC 95%	p-valor
Estenosis Proximal	89,4%	0,626	0,440 - 0,812	< 0,001
Estenosis Distal	98,2%	0,794	0,518 - 0,870	< 0,001
Bifurcación	93,6%	0,493	0,274 - 0,660	0,031
Polar	99,1%	0,663	0,544 - 0,782	< 0,001
Accesoria	98,2%	0,491	0,217 - 0,667	
Dilatación postestenosis	100,0%			

DT: Desviación típica; CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza.

VI.3 ACUERDO ENTRE TÉCNICAS DE IMAGEN

A) Diámetro

La media de los diámetros de la arteria renal principal en la angio-TC es de 5,4mm +/- 1,2 mm y en la ARM-TOF es de 4,8mm +/- 1,1mm. El grado de concordancia en esta variable ha sido alto, con un CCI de 0,737 (tabla 23).

Tabla 23. Media y grado acuerdo entre técnicas de imagen de la variable *diámetro*

	Medida, media (DT)		Acuerdo		
	TC	TOF	CCI	IC 95%	p-valor
Diámetro (mm)	5,4 (1,2)	4,8 (1,1)	0,737	0,277 - 0,875	< 0,001

DT: Desviación típica; CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza.

Teniendo en cuenta que un parámetro relevante para el cirujano en los trasplantes es conocer si diámetro es igual o mayor de 3mm (puesto que en tamaños menores la anastomosis es complicada y la incidencia de trombosis alta), se han agrupado los diámetros según este punto de inflexión, obteniendo una concordancia del 100% entre ambas técnicas (tabla 24).

Tabla 24. Número de arterias según el diámetro de la arteria renal principal con ambas técnicas de imagen (datos agrupados)

TC	TOF		Total
	< 3mm	> 3 mm	
< 3mm	4	0	4
> 3 mm	0	105	105
Total	4	105	109

VI. RESULTADOS

B) Tamaño de la placa de ateroma

En la tabla 25 se muestran las medias y desviaciones típicas de los valores de la variable *tamaño de la placa*, tanto a nivel proximal como distal, así como los resultados del coeficiente de correlación intraclase según las distintas técnicas de imagen. Para el tamaño de la placa en el ostium/proximal el CCI ha sido de 0,418 indicando un valor moderado de concordancia mientras que para el tamaño de la placa distal la concordancia ha sido nula (CCI=0,093).

Tabla 25. Media y grado acuerdo entre técnicas de imagen de la variable *tamaño de la placa*

	Medida, media (DT)		Acuerdo		
	TC	TOF	CCI	IC 95%	p-valor
Placa (mm)					
Ostium/Proximal	3,7 (5,1)	3 (4,2)	0,418	0,157 - 0,599	0,002
Distal	0,3 (1,2)	0,2 (1,5)	0,093	-0,327 - 0,379	0,307

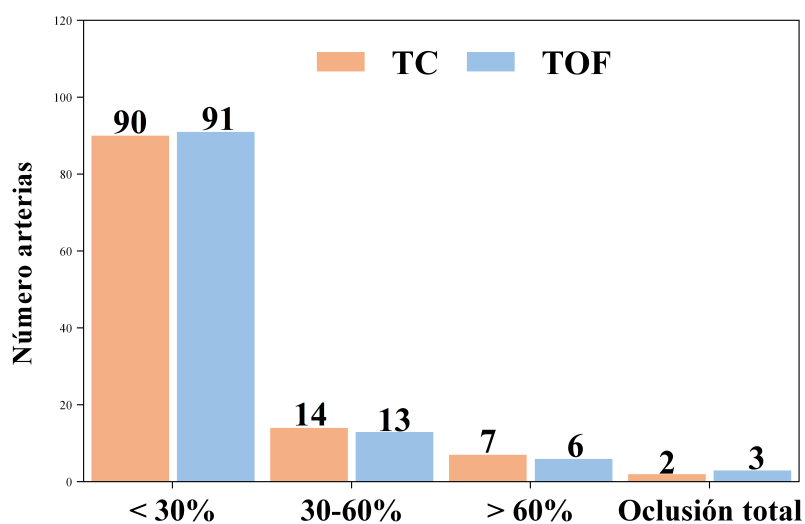
DT: Desviación típica; CCI: Coeficiente de correlación intraclase; IC: Intervalo de confianza.

C) Grado de estenosis a nivel proximal

En la tabla 26 y gráfica 1 se muestra el número de arterias según el grado de estenosis con ambas técnicas de imagen, siendo el porcentaje de acuerdo del 92,9%, con un índice de acuerdo *kappa* de 0,792 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia buena.

Tabla 26. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel del ostium/mitad proximal con ambas técnicas de imagen

TC	TOF			Oclusión total	Total
	<30%	30-60%	>60%		
<30%	87	2	0	1	90
30-60%	4	10	0	0	14
>60%	0	1	6	0	7
Oclusión total	0	0	0	2	2
Total	91	13	6	3	113



Gráfica 1. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel del ostium/mitad proximal con ambas técnicas de imagen

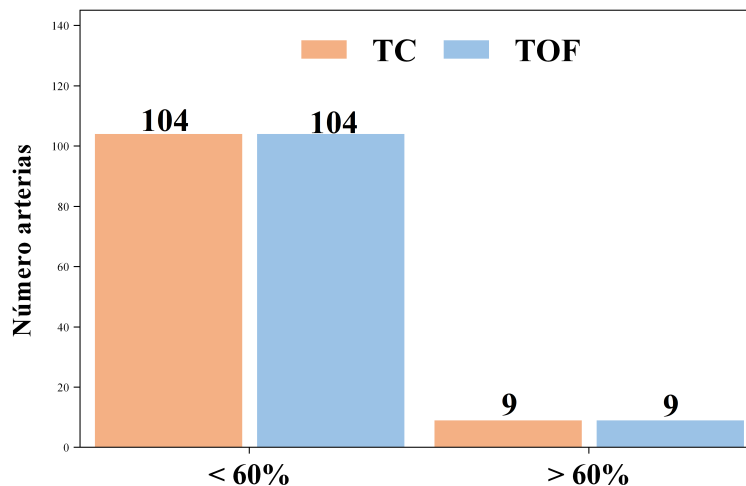
VI. RESULTADOS

Al agrupar por un lado los casos con estenosis no clínicamente significativas (<30% y 30-60%) y por otro lado los casos con estenosis clínicamente significativas (>60% y oclusión total) (tabla 27 y gráfica 2), el grado de acuerdo entre ambas técnicas de imagen asciende a un 98,2% con una concordancia muy buena (índice de acuerdo *kappa* de 0,9).

De las nueve estenosis significativas detectadas con la TC, ocho han sido identificadas también con la ARM-TOF. Ha habido un caso de falso positivo y un falso negativo.

Tabla 27. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel del ostium/mitad proximal con ambas técnicas de imagen (datos agrupados)

TOF	TC		Total
	Estenosis <60%	Estenosis >60%	
Estenosis <60%	103	1	104
Estenosis >60%	1	8	9
Total	104	9	113



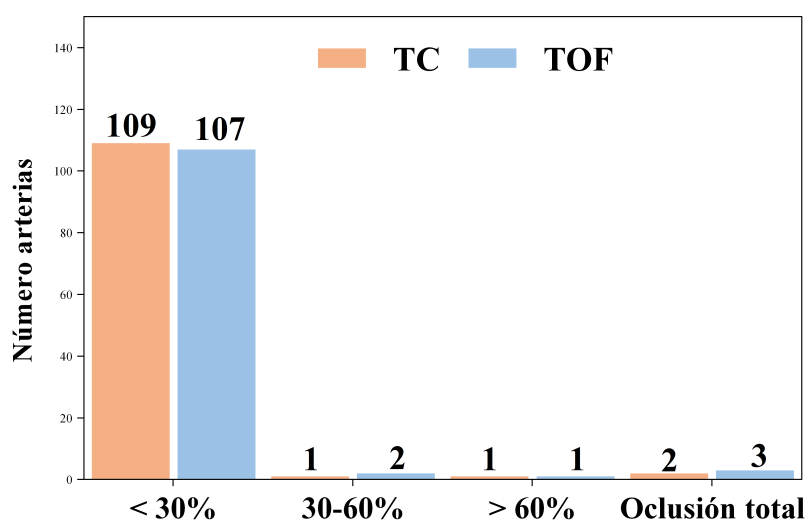
Gráfica 2. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel del ostium/mitad proximal con ambas técnicas de imagen (datos agrupados)

D) Grado de estenosis a nivel distal

Con respecto al grado de estenosis a nivel distal (tabla 28 y gráfica 3), el número de arterias con un grado de estenosis < 30% identificadas con TC han sido 109 y con la ARM-TOF han sido 107 y ambos observadores han identificado 2 oclusiones, siendo el porcentaje de acuerdo del 94,7%, con un índice *kappa* de 0,382 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia débil.

Tabla 28. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel distal con ambas técnicas de imagen

TC	TOF			Oclusión total	Total
	<30%	30-60%	>60%		
<30%	105	2	1	1	109
30-60%	1	0	0	0	1
>60%	1	0	0	0	1
Oclusión total	0	0	0	2	2
Total	107	2	1	3	113



Gráfica 3. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel distal con ambas técnicas de imagen

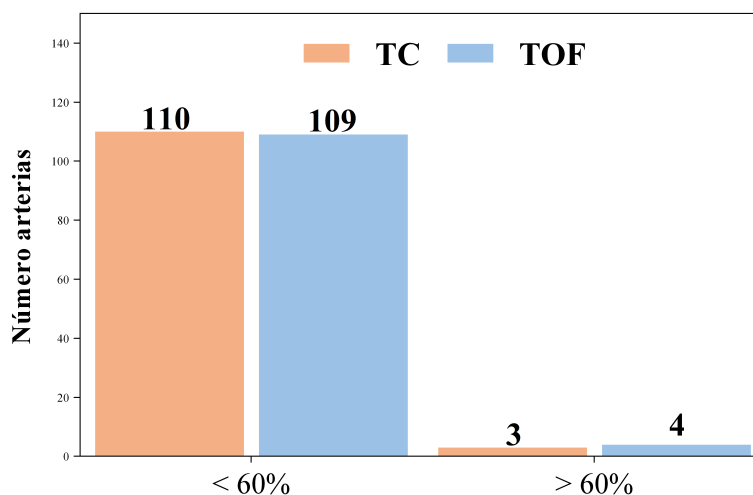
VI. RESULTADOS

Al agrupar por un lado los casos con estenosis no clínicamente significativos (<30% y 30-60%) y por otro lado los casos con estenosis clínicamente significativas (>60% y oclusión total) (tabla 29 y gráfica 4), el grado de acuerdo entre ambas técnicas de imágenes ha sido de un 97,3% con un índice de acuerdo *kappa* de 0,6.

De las tres estenosis significativas detectadas con la TC, dos han sido identificadas también con la ARM-TOF. Ha habido un caso de falso negativo y dos falsos positivos.

Tabla 29. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel distal con ambas técnicas de imagen (datos agrupados)

TOF	TC		Total
	Estenosis <60%	Estenosis >60%	
Negativo	108	1	109
Positivo	2	2	4
Total	110	3	113



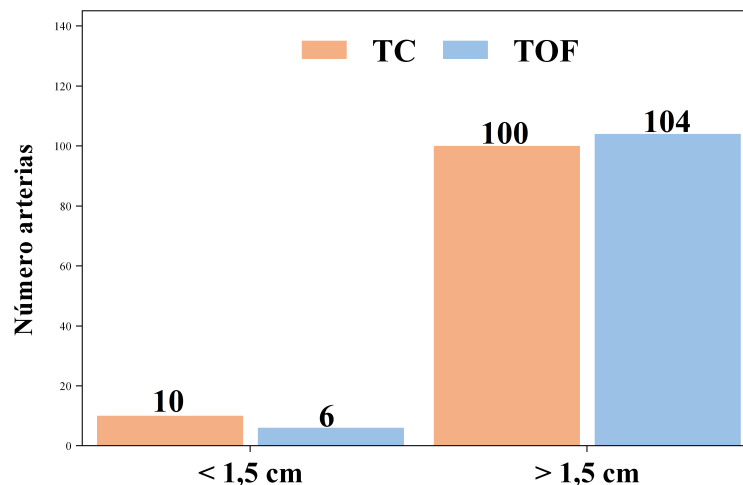
Gráfica 4. Número de arterias según el grado de estenosis a nivel distal con ambas técnicas de imagen (datos agrupados)

E) Bifurcación

Respecto a la localización de la bifurcación de la arteria renal principal (tabla 30 y gráfica 5) la TC la identificó a más de 1.5cm en 100 casos mientras y con la ARM-TOF se identificaron 104 casos, alcanzando un porcentaje de acuerdo del 89,1%, con un índice *kappa* de 0,195 ($p = 0,034$) y, por tanto, una concordancia pobre.

Tabla 30. Número de arterias según la localización de la bifurcación de la arteria renal principal con ambas técnicas de imagen

TC	TOF		Total
	<1,5cm	>1,5cm	
<1,5cm	2	8	10
>1,5cm	4	96	100
Total	6	104	110



Gráfica 5. Número de arterias según la localización de la bifurcación de la arteria renal principal con ambas técnicas de imagen

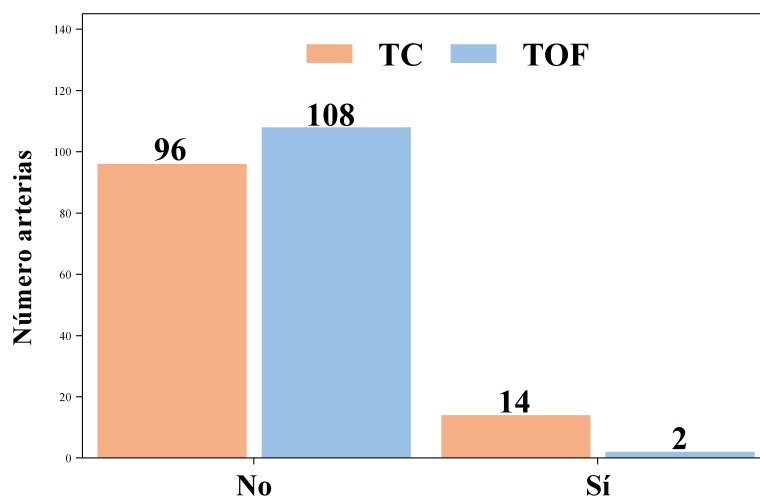
VI. RESULTADOS

F) Arteria polar

Así mismo, la identificación de la arteria polar ha presentado una concordancia pobre, obteniendo un porcentaje de acuerdo del 87,3%, con un índice *kappa* de 0,096 ($p = 0,11$). Con la TC se han identificado 14 arterias polares y con la ARM-TOF se han observado 2 (tabla 31 y gráfica 6).

Tabla 31. Número de arterias según la presencia de arteria polar con ambas técnicas de imagen

TC	TOF		Total
	No	Sí	
No	95	1	96
Sí	13	1	14
Total	108	2	110



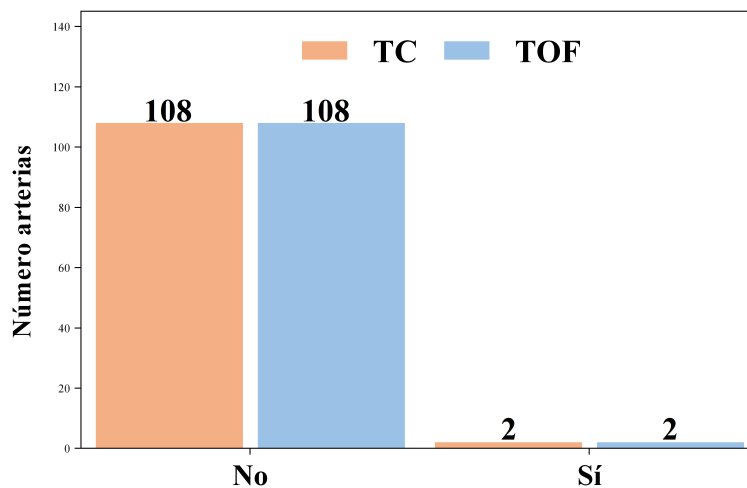
Gráfica 6. Número de arterias según la presencia de arteria polar con ambas técnicas de imagen

G) Arteria accesoria

La identificación de la arteria accesoria ha presentado un porcentaje de acuerdo del 98,2%, con un índice *kappa* de 0,491 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia moderada. Con la TC se han detectado dos arterias accesorias de las cuales solo una ha sido detectada por la ARM-TOF (tabla 32 y gráfica 7).

Tabla 32. Número de arterias según la presencia de arteria accesoria con ambas técnicas de imagen

TC	TOF		Total
	No	Sí	
No	107	1	108
Sí	1	1	2
Total	108	2	110



Gráfica 7. Número de arterias según la presencia de arteria accesoria con ambas técnicas de imagen

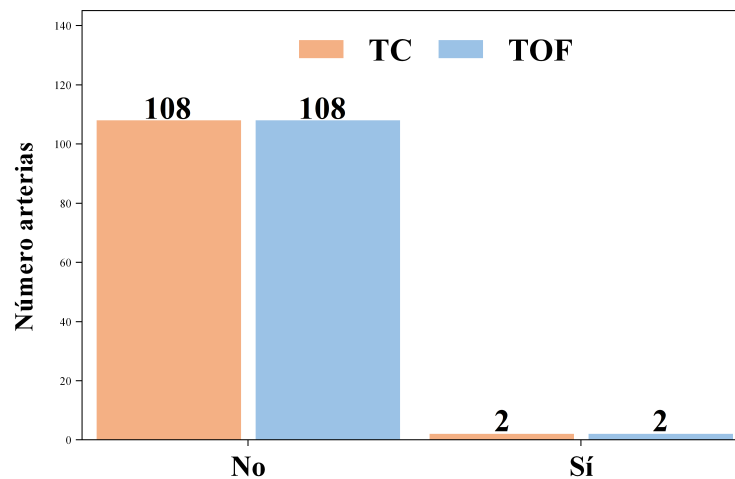
VI. RESULTADOS

H) Dilatación postestenosis

La identificación de la dilatación postestenosis ha presentado un porcentaje de acuerdo del 98,2%, con un índice *kappa* de 0,491 ($p < 0,001$) y, por tanto, una concordancia moderada. Con la TC se han detectado dos dilataciones postestenosis, de las cuales solo una ha sido detectada por la ARM-TOF (tablas 33 y gráfica 8).

Tabla 33. Número de arterias según la presencia de dilatación postestenosis con ambas técnicas de imagen

TC	TOF		Total
	No	Sí	
No	107	1	108
Sí	1	1	2
Total	108	2	110



Gráfica 8. Número de arterias según la presencia de dilatación postestenosis con ambas técnicas de imagen

I) *Tabla resumen*

En la tabla 34 se muestra el resumen del nivel de acuerdo alcanzado entre ambas técnicas de imagen para cada una de las variables estudiadas.

Tabla 34. Acuerdo entre técnicas de imagen

		CCI	IC 95%	p-valor
Diámetro		0,737	0,277 - 0,875	< 0,001
Placa Ostium/Proximal		0,418	0,157 - 0,599	0,002
Placa Distal		0,093	-0,327 - 0,379	0,307
	Acuerdo observado	Kappa	IC 95%	p-valor
Estenosis Proximal	92,9%	0,792	0,655 - 0,929	< 0,001
Estenosis Proximal Agrupados	98,2%	0,879	0,714 - 1,044	< 0,001
Estenosis Distal	94,7%	0,382	0,006 - 0,770	< 0,001
Estenosis Distal Agrupados	97,3%	0,558	0,111 - 1,005	< 0,001
Bifurcación	89,1%	0,195	0,095 - 0,485	0,034
Polar	87,3%	0,096	0,112 - 0,304	0,11
Accesoria	98,2%	0,491	0,117 - 1,099	< 0,001
Dilatación postestenosis	98,2%	0,491	0,117 - 1,099	< 0,001

DT: Desviación típica; CCI: Coeficiente de correlación intraclass; IC: Intervalo de confianza.

VI.4 ÍNDICES DE VALIDEZ DIAGNÓSTICA

En la tabla 35 se muestran los índices de validez diagnóstica (sensibilidad, especificidad y valores predictivos) con sus intervalos de confianza al 95% del TOF con respecto a la TC para las distintas variables estudiadas.

La identificación de las arterias renales principales <3mm presenta índices de validez diagnóstica del 100%.

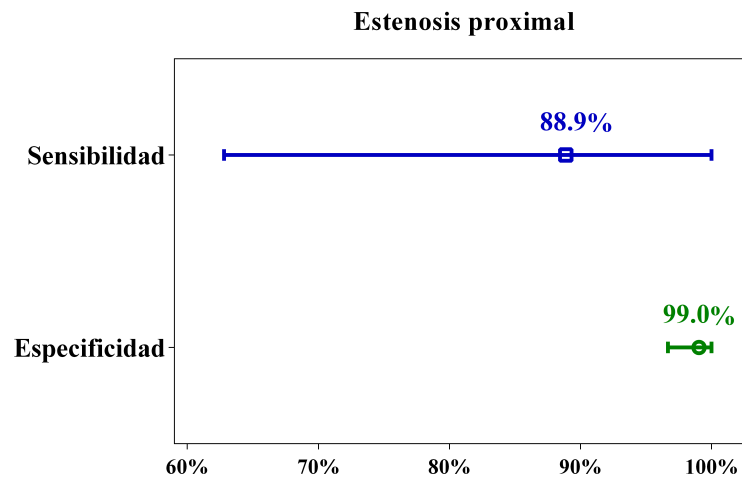
Tanto la especificidad como el valor predictivo negativo están próximos al 100% para la valoración de la estenosis en la porción proximal y distal de la arteria renal. La sensibilidad y el valor predictivo positivo son altos en el segmento proximal, cercano al 90%, mientras que para el segmento distal muestran cifras más bajas (66,7% y 50% respectivamente).

La sensibilidad para detectar las bifurcaciones a <1,5cm del origen de la arteria renal principal y para identificar las arterias polares es baja (20% y 7% respectivamente) y para detectar arterias accesorias es moderada (50%). Así mismo, el valor predictivo positivo de estas tres variables es moderado (33,3%, 50% y 50% respectivamente). Mientras que la especificidad y el valor predictivo negativo de las mismas es alto, acercándose al 100% en caso de la identificación de arterias accesorias.

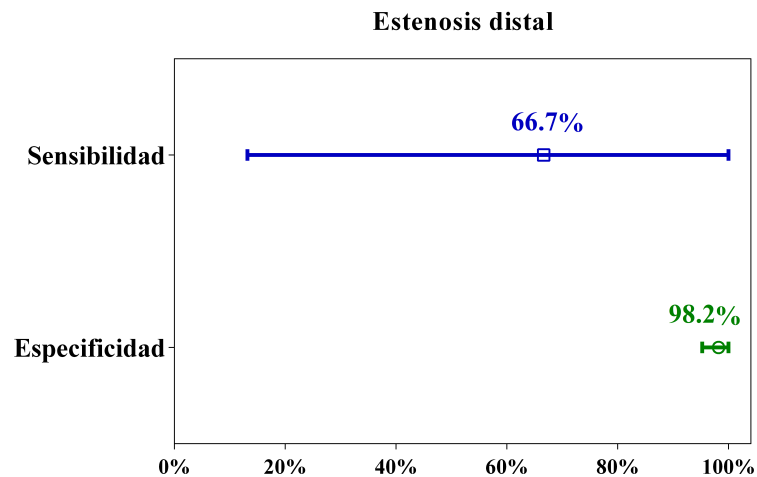
Tabla 35. Índices de validez diagnóstica de la ARM-TOF con respecto a la TC.

	Índice, % (IC95%)			
	Sensibilidad	Especificidad	Valor predictivo +	Valor predictivo -
Diámetro	100 (99,52 – 100,0)	100 (87,5 – 100,0)	100 (99,52 – 100,0)	100 (87,5 – 100,0)
Estenosis Proximal	88,89 (62,8 - 100,0)	99,04 (96,7 - 100,0)	88,89 (62,8 - 100,0)	99,04 (96,7 - 100,0)
Estenosis Distal	66,67 (13,2 - 100,0)	98,18 (95,2 - 100,0)	50 (0,0 - 100,0)	99,08 (96,8 - 100,0)
Bifurcación	20 (0,0 - 49,8)	96 (91,7 - 100,0)	33,33 (0,0 - 79,4)	92,31 (86,7 - 97,9)
Polar	7,14 (0,0 - 24,2)	98,96 (96,4 - 100,0)	50 (0,0 - 100,0)	87,96 (81,4 - 94,6)
Accesorias	50 (0,0 - 100,0)	99,07 (96,8 - 100,0)	50 (0,0 - 100,0)	99,07 (96,8 - 100,0)

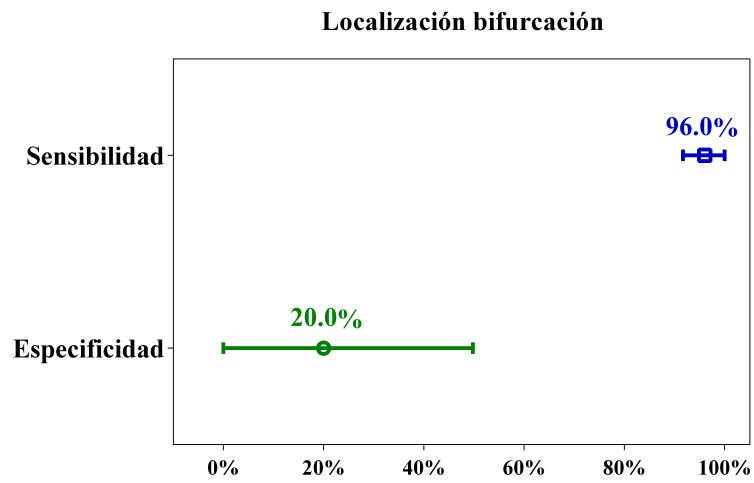
En las gráficas 9-13 se muestran los valores de sensibilidad y especificidad de las pruebas con sus intervalos de confianza



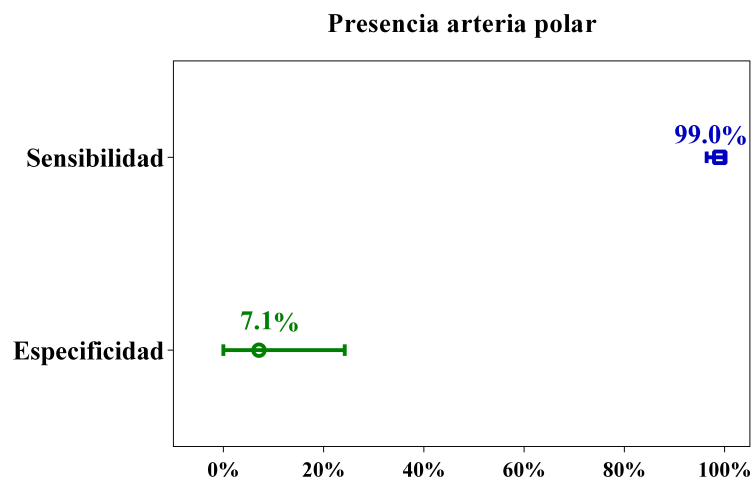
Gráfica 9. Sensibilidad y especificidad de la ARM-TOF para detectar estenosis de las arterias renales en ostium/mitad proximal



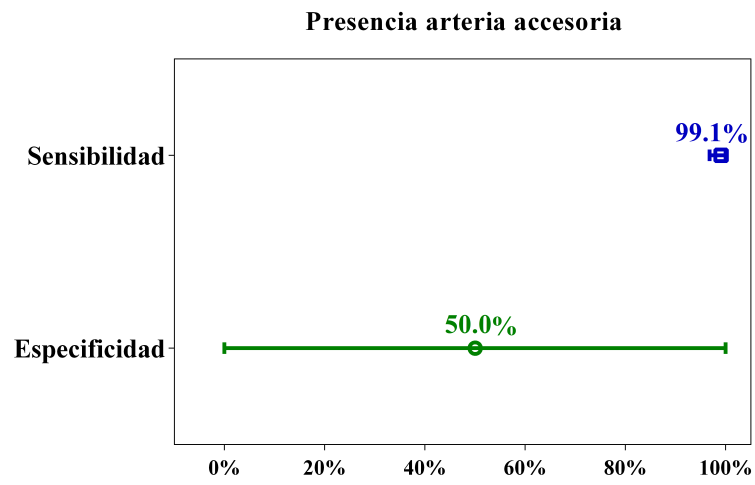
Gráfica 10. Sensibilidad y especificidad de la ARM-TOF para detectar estenosis de las arterias renales en mitad distal



Gráfica 11. Sensibilidad y especificidad de la ARM-TOF para localizar la bifurcación



Gráfica 12. Sensibilidad y especificidad de la ARM-TOF para localizar arterias polares



Gráfica 13. Sensibilidad y especificidad de la ARM-TOF para localizar arterias accesorias

VII. DISCUSIÓN

VII. DISCUSIÓN

La estenosis de las arterias renales es una de las principales causas curable de hipertensión arterial y de fallo renal; por ello, la importancia de hacer un diagnóstico precoz y evitar el progreso a estadios terminales de insuficiencia renal.

Aunque la prueba “Gold standard” para estudiar dichas arterias sigue siendo la arteriografía^{9,18,19}, el procedimiento más frecuentemente utilizado en el día a día para descartar hipertensión renovascular es la angio-TC, ya que ha mostrado ser una buena alternativa no invasiva^{18,71,76-79}.

Hasta el día de hoy se han realizado múltiples estudios comparando las distintas pruebas de imagen para la valoración de las arterias renales, con el fin de encontrar una alternativa eficaz a la TC que consiga evitar los riesgos de la radiación y del contraste intravenoso.

El presente estudio de investigación se ha realizado con la secuencia de resonancia magnética sin contraste *Time of Flight* por ser la que se lleva a cabo en este centro hospitalario.

A pesar de que otras secuencias de RM sin contraste presentan distintas ventajas, la ARM-TOF tiene la ventajas de ser simple y versátil, que no necesita gradientes especialmente fuertes y está disponible en la mayoría de los equipos de resonancia magnética. Esto permite que múltiples centros del mundo tengan la oportunidad de realizar esta técnica.

Además, es una secuencia conocida, ya que se utiliza para valorar otras arterias como las intracraneales, con lo que radiólogos y técnicos están familiarizados con ella.

Presenta algunas limitaciones:

- Es una técnica de RM con tiempo de adquisición largo.
- Se centra en la valoración de la luz vascular, estando limitada la visualización de la pared del vaso.

VII. DISCUSIÓN

- En las zonas de flujo lento o turbulento (estenosis, bifurcaciones, aneurismas) se pierde la señal por la disminución de la velocidad de los protones, lo cual puede sobreestimar la longitud y grado de las estenosis o dar lugar a un error en su localización^{83,84}.
- Se pueden visualizar artefactos en los vasos muy próximos a tejidos con tiempos de relajación T1 cortos, como la grasa o la hemorragia subaguda.
- Es necesario que el vaso a estudiar se encuentre perpendicular al plano de adquisición; de lo contrario, se verá saturado o semisaturado y la intensidad de señal bajará, dejando de ser visible.

Aunque no existen estudios previos con las mismas características que éste con el que comparar resultados, los existentes nos aportan información complementaria.

VII.1. VALORACIÓN DE LOS HALLAZGOS

VII.1.1. Localización de la estenosis

En este estudio, la valoración de la estenosis de las arterias renales con la ARM-TOF es precisa a nivel proximal pero se encuentra limitada a nivel distal (figura 17). La especificidad y el valor predictivo negativos son aproximadamente del 99% en ambos segmentos, sin embargo, tanto la sensibilidad como el valor predictivo positivos son superiores en el segmento proximal (88,9% y 88,9% respectivamente) con respecto a nivel distal (66,7% y 50%).

Esto coincide con otros estudios realizados previamente como el de Craig Kent et al.⁸³ que concluye que la RM resulta precisa para valorar el 1/3 proximal de la arteria renal, pero existen dudas sobre su precisión en los 2/3 distales.

Loubeyre et al.⁸⁵ tras comparar la ARM-TOF con la angiografía y ecografía, concluye que es un método sencillo para detectar estenosis en la región proximal de las arterias renales pero aquellas a más de 3 cm del origen no son detectadas con seguridad.

Gracioli et al.⁸⁶ comprueba que la secuencia TOF es un método fiable para el estudio del segmento proximal de las arterias renales, con una sensibilidad del 100% y una especificidad del 98% en la detección de oclusiones de la luz mayores del 50%.

Dado que la mayoría de las estenosis, generalmente por aterosclerosis, están en el 1/3 proximal, la ARM-TOF puede ser una prueba eficaz para este tipo de estudios.

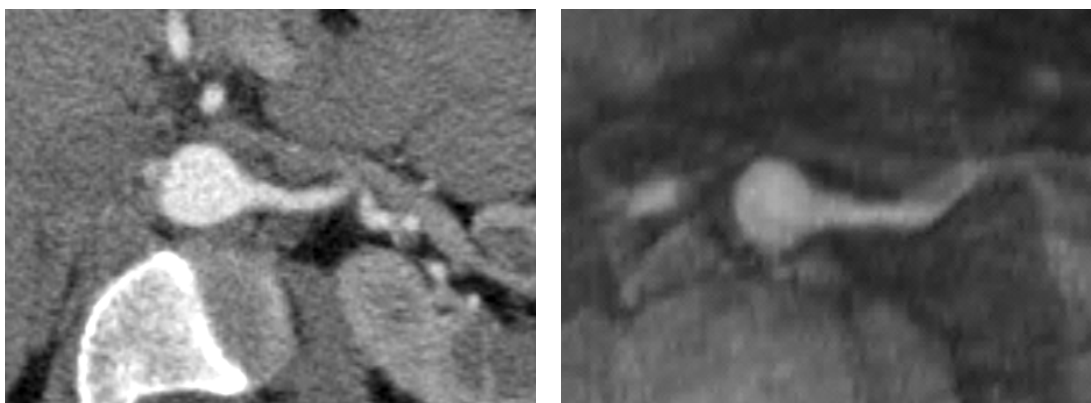


Figura 17. Angio-TC y ARM-TOF muestran la arteria renal izquierda permeable, sin signos de estenosis a nivel proximal y pérdida de señal a nivel distal.

VII.1.2. Grado de estenosis

A) Ostium/segmento proximal

La ARM-TOF ha mostrado una buena concordancia con la TC en la valoración del grado de estenosis en el ostium/segmento proximal.

En estenosis menores del 60% ha existido una pequeña diferencia en la clasificación del grado de estenosis de algunas arterias entre ambas técnicas y ambos observadores, no siendo clínicamente relevante.

Se han identificado con la TC 9 estenosis clínicamente significativas, de las cuales 8 han sido correctamente valoradas con la ARM-TOF.

Una correcta clasificación de la estenosis es importante ya que la sobreestimación puede dar lugar a tratamientos innecesarios y una infraestimación evita que se identifiquen aquellos casos que sí que precisan de un tratamiento.

En este estudio, la ARM-TOF ha sobreestimado el grado de estenosis de 3 arterias. En dos de ellas, este error no es clínicamente significativo, ya que se han clasificado con la ARM-TOF como estenosis entre 30-60% siendo realmente <30% en la TC.

Esta limitación de la Angio-RM sin contraste de sobreestimar el grado de estenosis también se observa en el estudio de Craig Kent et al.⁸³, en el cual la ARM-TOF sobreestima el grado de estenosis en un grado en 5/37 pacientes.

Yucel Kent et al.⁸⁴ clasifica correctamente 32/35 estenosis y presenta las tres equivocaciones en los grados de estenosis severa.

Todos los autores coinciden en que los errores en la estimación son debido a una pérdida de señal por la turbulencia del flujo producido por la estenosis.

Este tipo de error, se produce también en la angio-RM con contraste^{18,81,96}.

Por otro lado, se han dado 5 casos de discordancia en el grado de estenosis que son atribuibles a una sobreestimación de la estenosis con la TC debido al artefacto producido por el calcio de la placa de ateroma⁹⁷ (figura 18).

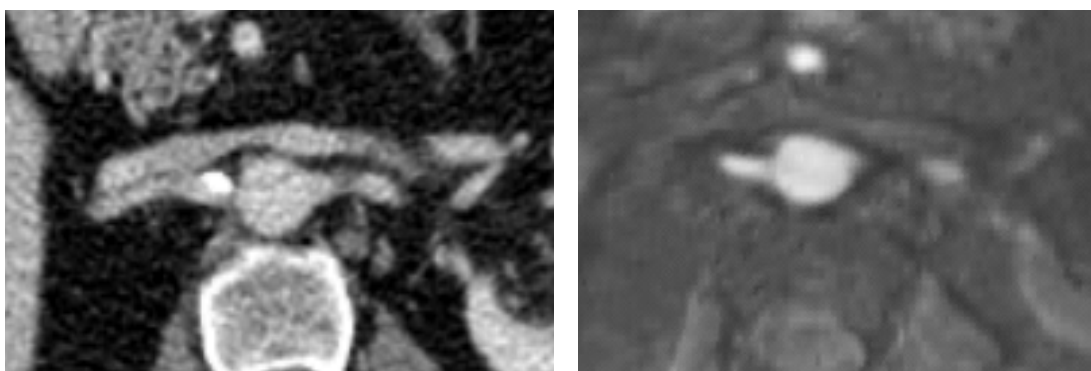


Figura 18. Placa de ateroma calcificada en origen de arteria renal derecha que condiciona una sobreestimación del grado de estenosis en la TC (derecha). ARM-TOF del mismo paciente (izquierda) en la que se visualiza la luz del vaso sin estenosis significativa.

Además de observar que las estenosis se ven como pérdida de señal, Loubeyre et al.⁸⁵ comprueba que cuando existe recuperación de la señal posterior es indicativo de que la estenosis no es completa, aunque el grado no se puede medir con exactitud con la RM. Su experiencia coincide con nuestro estudio.

Por lo general, aquellas estenosis de alto grado se ven en la RM como oclusiones pero con revascularización distal presente (figuras 19 y 20), mientras que en las

VII. DISCUSIÓN

oclusiones completas reales no existe flujo distal (figura 21). Por tanto, en caso de no existir flujo distal, damos por sentado que existe oclusión completa del vaso.

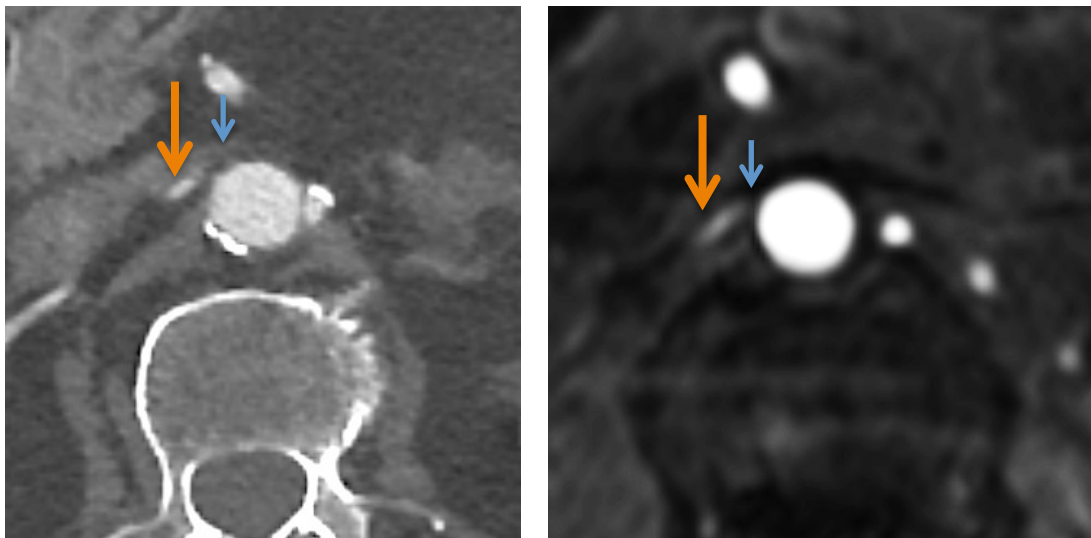


Figura 19. Estenosis severa en el origen de arteria renal derecha. La TC (imagen izquierda) muestra una placa de ateroma no calcificada en su origen (flecha azul) y flujo distal (flecha naranja). La RM (imagen derecha) muestra una pérdida de señal (flecha azul) y revascularización distal presente (flecha naranja).

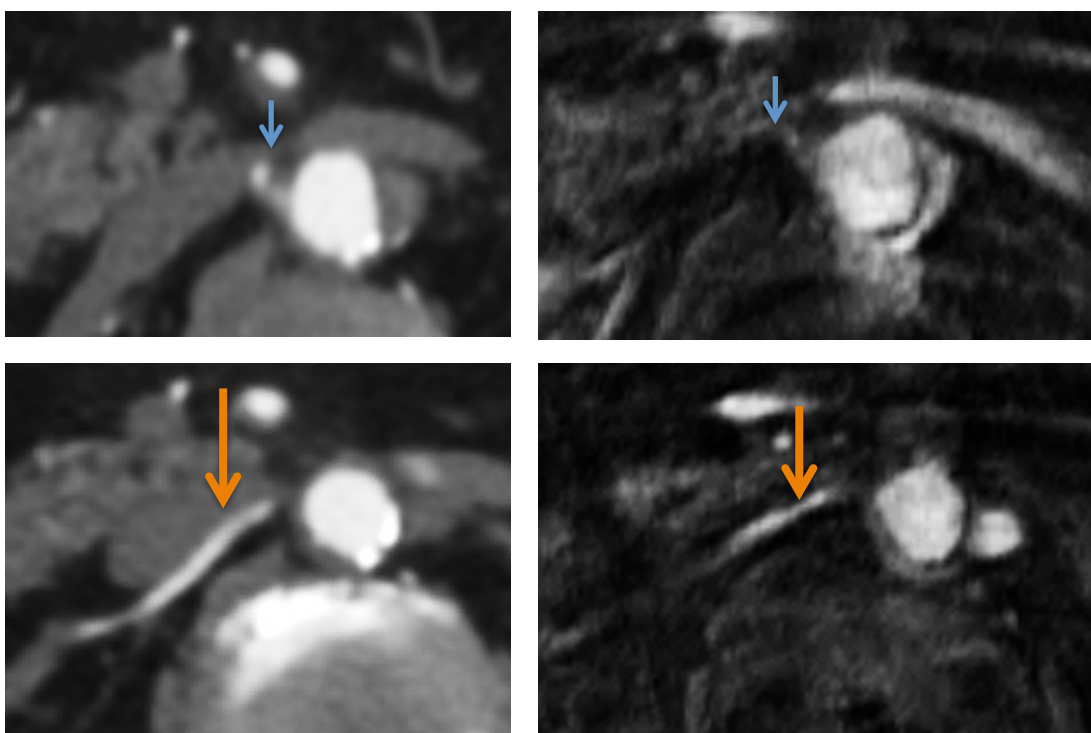


Figura 20. Estenosis severa en origen de arteria renal derecha. La TC (imágenes izquierdas) muestra una placa de ateroma no calcificada en su origen (flecha azul) y flujo distal (flecha naranja). La RM (imágenes derechas) muestra una pérdida de señal (flecha azul) y revascularización distal presente (flecha naranja).

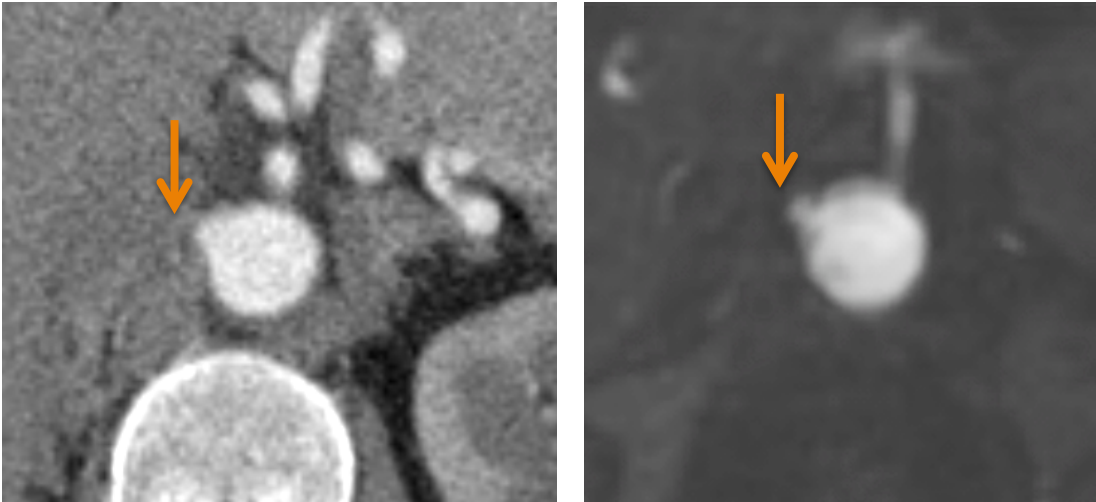


Figura 21. Oclusión completa en el origen de la arteria renal derecha, con pérdida de señal y ausencia de flujo distal.

En uno de los casos se ha producido un falso positivo dándose como oclusión total cuando realmente no existía estenosis, error que se ha debido a que la arteria renal presenta un origen anterior en la aorta, con dirección caudo-craneal, por tanto, no se encuentra perpendicular al plano de adquisición, el flujo se ve saturado y no hay señal, dejando de ser visible (figura 22).

Esta pérdida de señal por la marcada angulación en la porción proximal de la arteria renal se presenta también en el estudio de Loubeyre et al.⁸⁵ dando lugar a 2 falsos positivos.

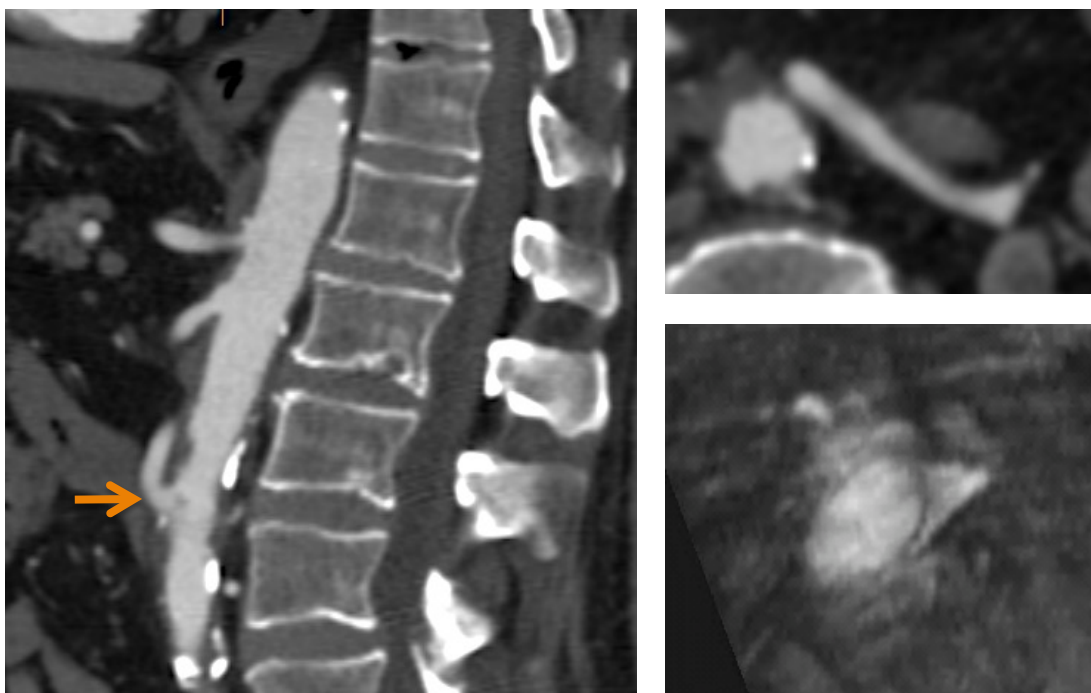


Figura 22. Reconstrucción sagital de la angio-TC donde se identifica la arteria renal izquierda con origen anterior en la aorta y dirección caudo-craneal (flecha naranja). No hay evidencia de estenosis en toda su longitud en la TC (arriba-derecha), mientras que en la ARM-TOF (abajo-derecha) se observa ausencia de señal, lo cual da lugar a un falso positivo.

B) Segmento distal

La concordancia entre la ARM-TOF y la angio-TC es débil en la valoración de la estenosis a nivel del segmento distal de la arteria renal, debido a que, como se ha comentado previamente, la valoración de este segmento se encuentra limitada con la ARM-TOF.

En este estudio, la ARM-TOF ha sobreestimado en cuatro casos el grado de estenosis a nivel distal. En dos de ellos no es significativo, ya que se ha considerado estenosis entre 30-60% siendo realmente <30%. En las otras dos ocasiones, se han considerado estenosis >60% y oclusión, arterias que realmente no tienen estenosis, lo cual ha dado lugar a dos falsos positivos.

Por otro lado, en dos ocasiones la ARM-TOF ha infraestimado el grado de estenosis, de las cuales una es clínicamente significativa ya que se ha considerado <30%, siendo realmente >60%.

Esto ha ocurrido también en el estudio de Hertz et al.⁹⁸ en el cual el único falso negativo ocurre al no detectar una estenosis distal en un paciente con displasia fibromuscular.

VII.1.3. Caracterización de placa de aterosclerosis

La angio-TC ha mostrado ser más eficaz para la identificación y caracterización de las placas de ateroma. La concordancia entre observadores es muy buena en la valoración del ostium/mitad proximal de la arteria renal y moderada a nivel distal.

La ARM-TOF, por otro lado, se centra en la valoración de la luz vascular, estando limitada la visualización de la pared del vaso.

A la hora de medir el tamaño de las placas en el ostium/segmento proximal de las arterias renales, la concordancia entre ambas técnicas es moderada, mientras que a nivel distal la concordancia es nula.

Además, tanto las placas de ateroma blandas como las calcificadas se ven hipointensas en la ARM-TOF (figura 23 y 24), por tanto la composición de la placa no puede diferenciarse correctamente y debido al pequeño tamaño en muchas ocasiones no se visualizan.

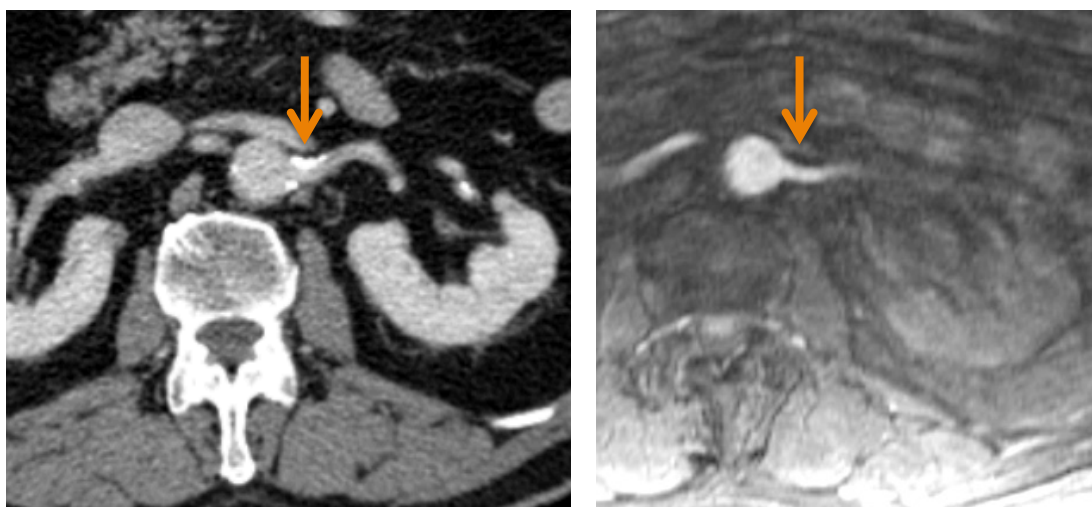


Figura 23. Placa de ateroma calcificada en ostium/segmento proximal de arteria renal izquierda. Comparación entre TC y RM.

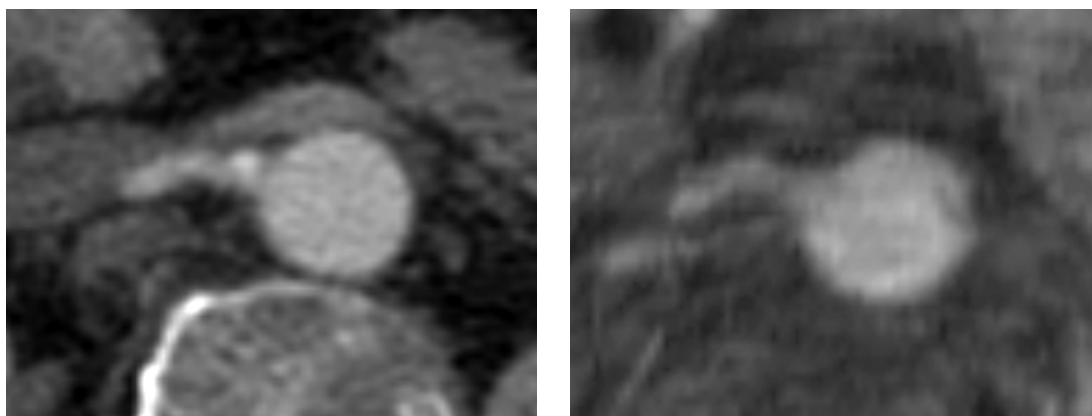


Figura 24. Placa de ateroma mixta en el ostium/segmento proximal de la arteria renal derecha que condiciona estenosis <30%. En la TC (izquierda) se diferencia la placa blanda del componente de calcio; en la RM (derecha), se observa todo como una imagen hipointensa.

VII.1.4. Arterias accesorias y polares

Es importante no sólo excluir estenosis de las arterias principales sino también de las arterias polares ya que recientemente se ha publicado que la estenosis de éstas también puede ser causa de hipertensión⁹⁹.

La arteriografía ha mostrado ser el estudio de elección para detectar este tipo de arterias, incluso para identificar estenosis en ellas. En el estudio de Rountas et al.¹⁸ sólo la arteriografía ha logrado detectar las dos estenosis de las arterias polares.

También se ha comprobado que la valoración de las arterias accesorias y polares con la ecografía se encuentra limitada. Rountas et al.¹⁸ detecta 16 arterias accesorias con la angiografía, de las cuales sólo 2 son detectadas con la ecografía y en el estudio de Leung et al.¹¹ sólo se identifica 1 de 20.

Aun no siendo la prueba de elección, la TC permite detectar con bastante precisión las arterias accesorias.

Wittenberg et al.⁷⁹ identifica con la angio-TC 30 arterias polares de las 33 identificadas con arteriografía y Johnson et al.⁷⁸ detecta tres arterias accesorias que no son detectadas con la angiografía convencional, utilizando algoritmos diagnósticos de la angio-TC como VR y MIP, lo cual muestra que los avances tecnológicos permiten aumentar la precisión de la prueba.

La RM también muestra una sensibilidad alta en la valoración de las arterias accesorias, detectando el 96% de las mismas¹¹.

En el meta-análisis realizado por Tan et al.⁸², se comprueba que las arterias renales accesorias se identificaban mejor con la angio-RM con contraste que sin contraste (82% frente a 49%).

Pero no siempre la angio-TC y la angio-RM detectan todas las arterias polares. De las 16 arterias detectadas por la arteriografía en el estudio de Rountas et al. sólo 7 son identificadas con la TC y 9 con la RM¹⁸. Algunos factores que pueden influir en esto son el pequeño calibre del vaso, la angulación de los mismos o la mala interpretación de la división de la arteria principal.

La RM sin contraste ha demostrado identificar en algunas ocasiones el 100% de las arterias accesorias⁸³, mientras que en otros casos existen arterias que no son posibles de identificar. En el estudio de Hertz et al.⁹⁸ la ARM-TOF no detecta ninguna de las tres arterias renales accesorias identificadas con la arteriografía.

En nuestro estudio, la sensibilidad de la ARM-TOF para detectar arterias accesorias ha sido del 50%, lo cual es insuficiente para confirmar con seguridad que no hay y para detectar arterias polares ha sido muy baja (aprox. del 7%). Además, la concordancia entre la angio-TC y la ARM-TOF ha resultado ser moderada para las accesorias y pobre para la detección de arterias polares.

Con la angio-TC se han detectado 14 arterias polares, de las cuales sólo 1 ha sido identificada por la RM y dos arterias accesorias, de las cuales 1 ha sido detectada por la RM.

Esto ocurre unas veces porque el origen de la arteria no está incluido en el FOV (figura 25) o porque la dirección del vaso no se encuentra perpendicular al plano de adquisición, lo cual hace que la sangre se sature y la intensidad de señal baje, dejando de ser visible. Además, el pequeño tamaño es un reto debido a la baja resolución de la prueba.⁸⁵

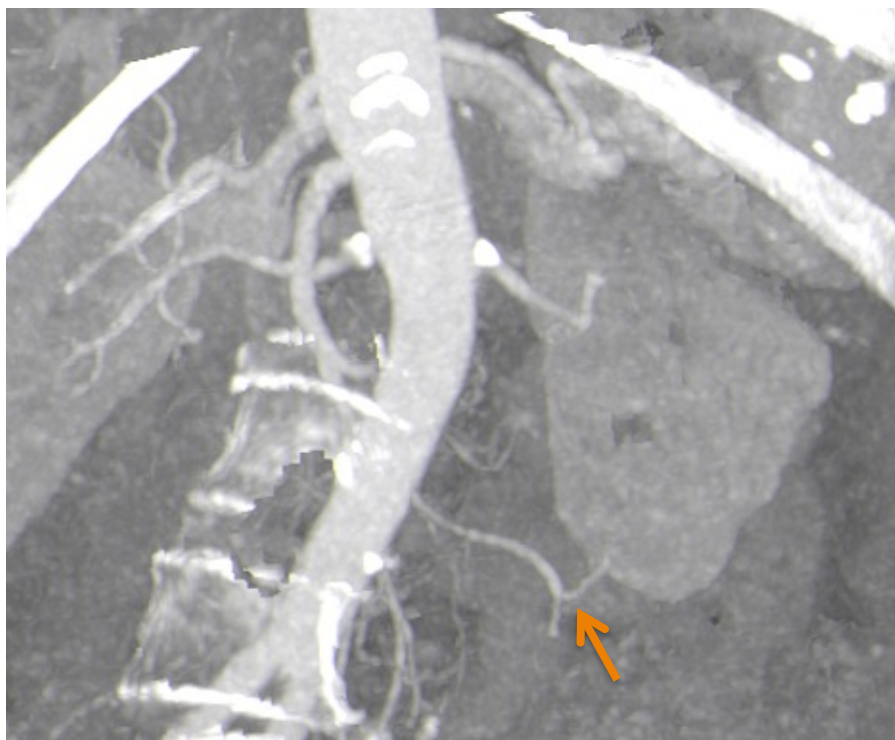


Figura 25. Reconstrucción 3D MIP de una angio-TC donde se identifica una arteria polar inferior en riñón izquierdo que no es valorable con la ARM-TOF por no estar incluido el origen en el FOV.

VII.1.5. Displasia Fibromuscular

En los estudios realizados para comprobar la sensibilidad y especificidad de la TC y la RM para el diagnóstico de la displasia fibromuscular, la angio-TC ha mostrado buenos resultados en la detección de la misma, principalmente utilizando técnicas de reconstrucción^{100,101}.

Beregi et al.¹⁰⁰ en un estudio de 20 pacientes, obtiene como resultado que la angio-TC tiene una sensibilidad del 100%, pero la arteriografía valora mejor el segmento distal intrarrenal de la arteria y se ve menos afectada por estructuras adyacentes como las venas, por lo que continúa siendo la técnica de elección¹⁰¹.

Willoteaux et al.¹⁰¹ comprueba en un estudio con 25 pacientes, que la angio-RM con contraste tiene una sensibilidad y especificidad adecuada para identificar los pacientes con displasia fibromuscular (97% y 93% respectivamente). Pero sus limitaciones se han demostrado, ya que la sensibilidad de la prueba para detectar

estenosis significativas de las arterias renales aumenta de un 90% a un 97% al excluir de la muestra los casos de displasia¹¹.

Por el contrario, Boudewijn et al. obtiene peores resultados en su estudio con 356 pacientes, con una sensibilidad del 28% y especificidad de 99% para la angio-TC y una sensibilidad del 22% y especificidad del 96% para la angio-RM¹⁰².

Al comparar la ecografía con la angio-RM con contraste, Leung et al.¹¹ concluye que la resolución espacial de la RM es inadecuada para detectar con seguridad la displasia fibromuscular y la ecografía obtiene además información hemodinámica, por lo que considera esta última más útil para valorar a los pacientes con sospecha de displasia.

La RM sin contraste, por otro lado, ha demostrado no ser muy eficaz. Sebastiá et al.⁹¹ sugiere que la secuencia 3D-SSFP es una buena alternativa para descartar estenosis de arterias renales excepto si se sospecha displasia fibromuscular ya que en su estudio se han clasificado mal dos casos clínicamente significativos y ambos tienen esta patología.

A pesar de que en la muestra de nuestro estudio no se ha identificado ningún caso de displasia fibromuscular, la ARM-TOF ha demostrado, de acuerdo con otros estudios como los de Fellner et al.¹⁰ o Revel et al.⁸⁵, que se encuentra limitada la valoración del segmento distal de las arterias renales, lugar que con más frecuencia afecta la displasia fibromuscular.

VII.1.6. Hallazgos incidentales

Durante el estudio se han identificado algunos hallazgos en la angio-TC de manera incidental, algunos de los cuales han sido valorables también con la ARM-TOF y otros no. Esto indica cierta limitación por parte de esta exploración.

VII. DISCUSIÓN

Entre los hallazgos incidentales destacamos:

- Quistes renales en 40 riñones (figuras 25 y 26)
- Dos riñones con poliquistosis (ambos en el mismo paciente)
- Dos riñones atróficos (figura 27)
- Un paciente con riñón en herradura
- Un aneurisma de la arteria renal (figura 28)
- Una estenosis de la arteria mesentérica superior
- Un quiste de páncreas
- Un pseudoquiste de páncreas

Se han identificado con ambas técnicas de imagen los quistes renales, la poliquistosis renal, los riñones atróficos y el aneurisma de la arteria renal. El resto de los hallazgos no han sido valorables con la ARM-TOF.

Hertz et al.⁹⁸ presenta igualmente 5 pacientes con quistes renales, 2 con infartos renales y un tumor renal como hallazgos incidentales identificados correctamente con las imágenes de la ARM-TOF.

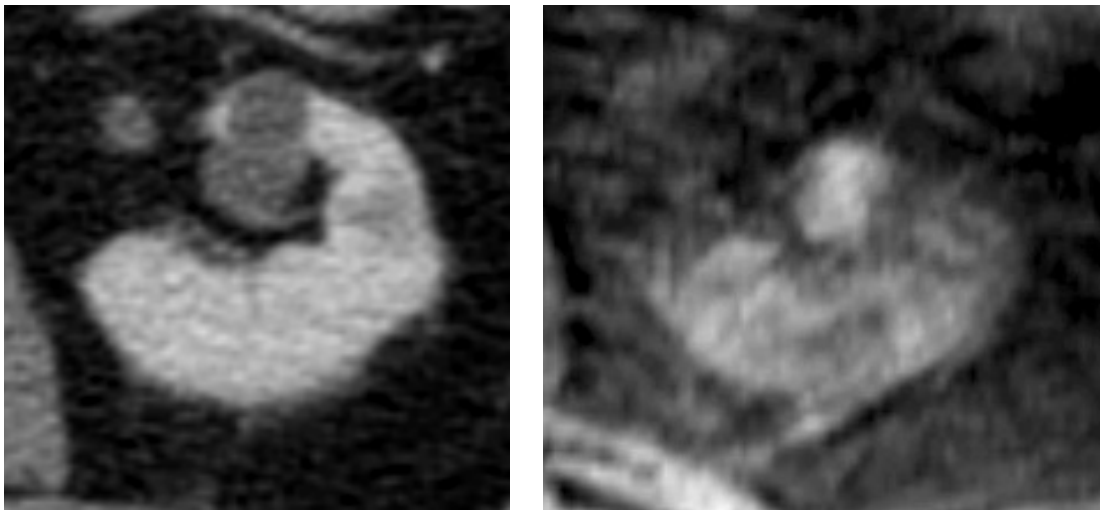


Figura 25. Quiste simple renal identificado en la angio-TC (izquierda) y la ARM-TOF (derecha).

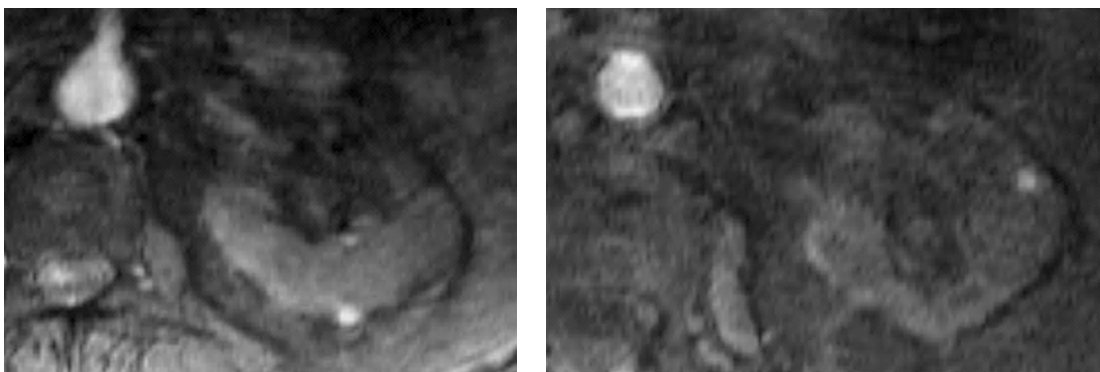


Figura 26. ARM-TOF de dos riñones distintos que presentan pequeñas lesiones con hiperintensidad de señal que corresponden con quistes corticales simples.

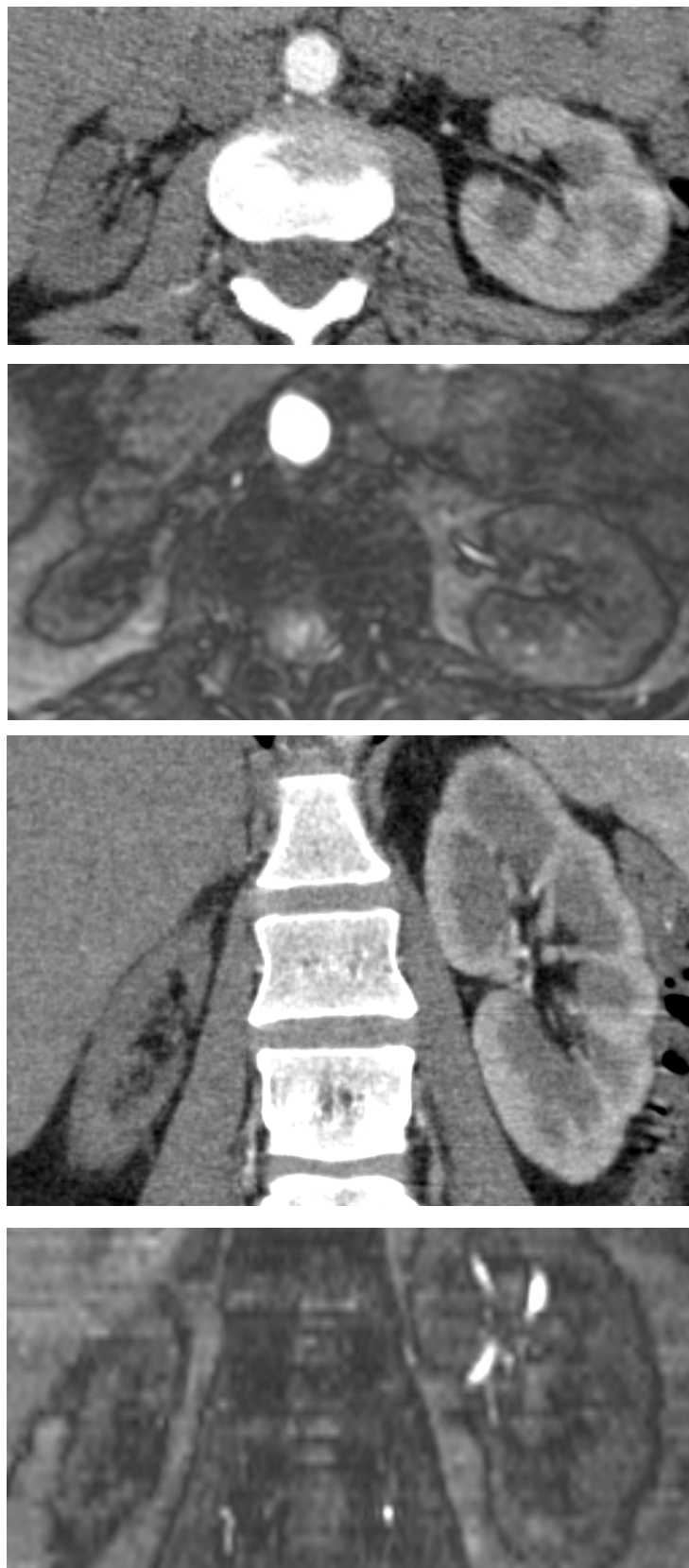


Figura 27. Imágenes del mismo paciente que la figura 21 muestran atrofia renal derecha en la angio-TC y en la ARM-TOF secundaria a oclusión de la arteria renal derecha.

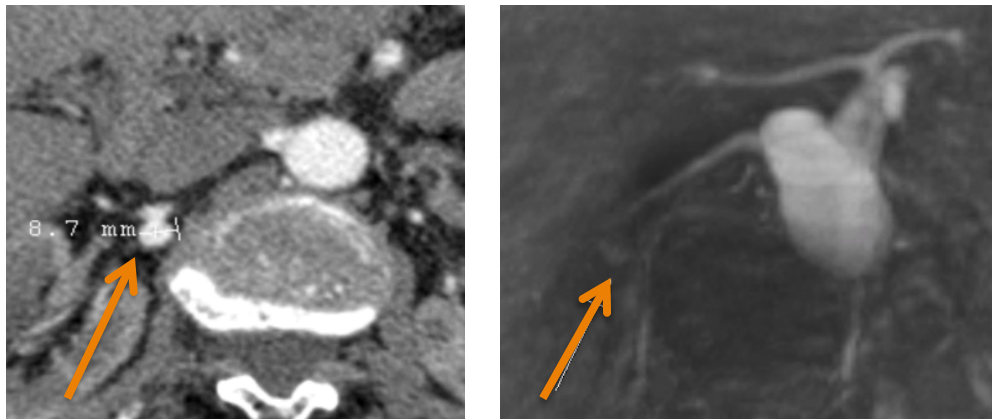


Figura 28. Aneurisma de la arteria renal derecha visible y medible en la angio-TC (izquierda) y difícil de valorar mediante la RM (derecha).

VII.2. UTILIDAD EN EL ESTUDIO PARA TRASPLANTES

La angio-TC es la técnica de elección para la valoración prequirúrgica de donantes vivos, con una precisión del 95%–100%,^{103,104} pero existen investigaciones que han planteado pruebas de imagen alternativas, entre ellas, las de Patil et al.¹⁰⁵ y Blankholm et al.¹⁰⁶, que han utilizado la RM sin contraste con la secuencia SSFP, obteniendo buenos resultados.

Laurence et al.¹⁰⁷ y Goetti et al.¹⁰⁸ han realizado la comparación de esta misma secuencia con respecto a la RM con contraste, obteniendo igualmente buenos resultados.

A pesar de que nuestro estudio se centra en la valoración de estenosis de las arterias renales, de manera secundaria, se ha valorado la utilidad de la ARM-TOF en el estudio de las arterias renales previo a una intervención quirúrgica. El resto de parámetros de los riñones necesarios para los cirujanos en los trasplantes pueden evaluarse con la TC sin contraste.

Según los resultados obtenidos, la secuencia TOF no es la técnica adecuada para valorar la anatomía de todo el árbol arterial renal.

El diámetro ortogonal de la arteria renal se puede medir con precisión con la ARM-TOF ya que presenta un alto grado de concordancia con la angio-TC y una sensibilidad para detectar arterias >3mm del 100%. La diferencia de media entre ambas técnicas de imagen ha sido de 0,7mm, la cual no es clínicamente significativa. Pero existen múltiples datos que los cirujanos necesitan conocer para realizar un correcto abordaje quirúrgico, que no son posibles de confirmar con seguridad mediante esta técnica.

En este estudio, las variantes anatómicas son una limitación para la ARM-TOF. Las arterias renales numerarias pueden no detectarse si el origen de la arteria no está incluido en el FOV (figura 29) y como se ha visto previamente, la identificación de las arterias polares con la ARM-TOF no es adecuada.



Figura 29. Reconstrucción 3D Volume Rendering de una angio-TC donde se identifica una arteria accesoria inferior que no es valorable con la ARM-TOF por no estar incluido el origen en el FOV.

Además, al detectar la localización de la bifurcación de la arteria renal, existe una concordancia pobre entre ambas pruebas y una baja sensibilidad de la ARM-TOF para detectar aquellas a $<1,5\text{cm}$ del origen (20%).

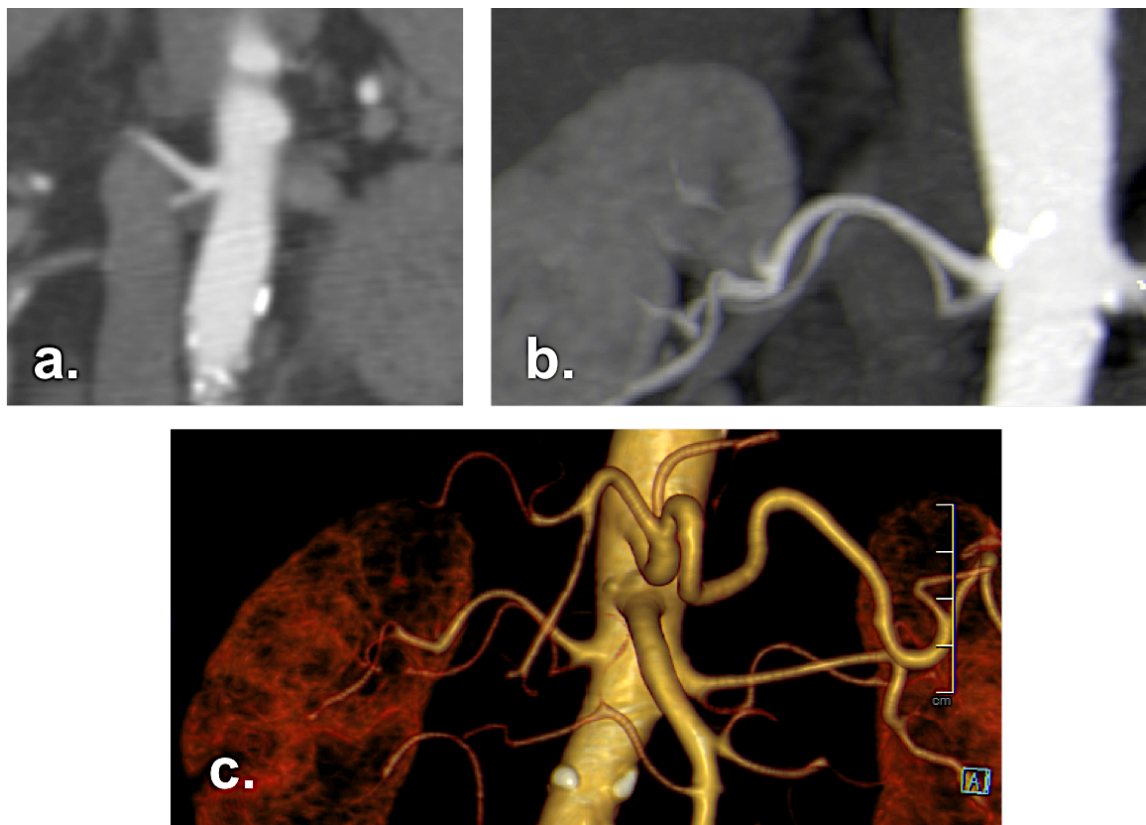


Figura 30. Reconstrucción MPR coronal (a), 3D MIP (b) y 3D Volume Rendering (c) de una angio-TC donde se identifica una bifurcación de la arteria renal principal a <math><1,5\text{cm}</math> del origen no visible con la ARM-TOF por no estar perpendicular al plano de adquisición.

Por otro lado, la caracterización de las placas de ateroma está limitada, no pudiendo identificarse las placas calcificadas, lo cual es necesario saber para alertar al cirujano.

Para poder confirmar que la ARM sin contraste puede sustituir por completo a la TC en el estudio prequirúrgico, es necesario realizar futuros estudios de investigación con otras secuencias de RM.

VIII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

VIII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Una limitación de nuestro estudio es que consideramos la angio-TC como prueba de referencia, suponiendo que tiene una sensibilidad y especificidad del 100%. Esto no es correcto, ya que como se ha visto en múltiples publicaciones, se trata de una prueba muy precisa pero sin llegar al 100%.

Nuestros criterios de inclusión, que incluyen pacientes sin clínica, pueden ser la causa de la baja prevalencia de estenosis en nuestro caso comparado con otros estudios.

Sin embargo, a pesar de que no todos los pacientes han tenido sospecha de estenosis de arterias renales, se considera una muestra representativa ya que existe un aumento de la prevalencia de estenosis de las arterias renales asintomática en pacientes con enfermedad arterial oclusiva a otros niveles¹⁵.

Se podría mejorar, realizando una selección de pacientes con criterios de inclusión y exclusión más estrictos, por ejemplo, seleccionando sólo aquellos con sospecha de hipertensión arterial renovascular.

Podríamos suponer que nuestros resultados sean distintos al de otros estudios por existir diferencias en ciertas características como la inclusión o exclusión de arterias accesorias, el punto de corte considerado como estenosis significativa (en nuestro caso >60%) o por los avances tecnológicos respecto a estudios antiguos. Sin embargo, Boudewijn et al.⁷¹ en el meta-análisis que ha realizado, comprueba que estas características condicionan una diferencia entre los estudios pequeña y no es estadísticamente significativa.

Finalmente, para la interpretación de la RM se necesita experiencia, pero la curva de aprendizaje es rápida.

IX. CONCLUSIONES

IX. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este estudio son las siguientes:

1. La ARM-TOF es una técnica fiable (aunque no 100% precisa) para valorar estenosis del segmento proximal de las arterias renales.
2. La ARM-TOF presenta una buena correlación con la angio-TC, por lo que se puede plantear como opción en pacientes con sospecha de hipertensión renovascular que presenten contraindicaciones para el uso de contraste intravenoso (alergia o insuficiencia renal) y/o contraindicaciones para el uso de técnicas con radiación ionizante (jóvenes y embarazadas).
3. Un resultado negativo permite descartar estenosis clínicamente significativas de la porción proximal de las arterias renales principales, beneficiándose el paciente de la ausencia de radiación y contraste intravenoso.
4. Un resultado positivo debería ser confirmado con otras técnicas de imagen ya que existen algunas limitaciones de la ARM-TOF que pueden causar falsos positivos.
5. La secuencia TOF no es una técnica adecuada para la valoración prequirúrgica de la anatomía de las arterias renales ya que existen múltiples datos que los cirujanos necesitan conocer para realizar un correcto abordaje quirúrgico, que no son posibles de confirmar con seguridad mediante esta técnica.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Al-Katib S, Shetty M, Mohammad Jafri SA, Zafar Jafri SH. Radiologic Assessment of Native Renal Vasculature: A Multimodality Review. *RadioGraphics*. 2017;37:136-156. doi:10.1148/rg.2017160060.
2. Lauder L, Ewen S, Tzafriri AR, et al. Renal artery anatomy assessed by quantitative analysis of selective renal angiography in 1,000 patients with hypertension. *EuroIntervention*. 2018;14(1):121-128. doi:10.4244/EIJ-D-18-00112.
3. Wozniak WT. Origin of the renal arteries from sides of aorta. *Folia Morphol (Warsz)*. 2000;58(4):259-261.
4. Khamanarong K, Prachaney P, Utraravichien A, Tong-Un T, Sriporaya K. Anatomy of renal arterial supply. *Clin Anat*. 2004;17(4):334-336. doi:10.1002/ca.10236.
5. Dhar P, Lal K. Main and accessory renal arteries-a morphological study. *Ital J Anat Embriol*. 2005;110(2):101-110.
6. Tardo DT, Briggs C, Ahern G, Pitman A, Sinha S. Anatomical variations of the renal arterial vasculature: An Australian perspective. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2017;61(5):643-649. doi:10.1111/1754-9485.12618.
7. Krishnaveni C, Kulkarni R. A right ectopic kidney with bilateral multiple anomalies of the renal vasculature - a case report. *J Clin diagnostic Res*. 2013;7(1):150-153. doi:10.7860/JCDR/2012/5000.2692.
8. Urban BA, Ratner LE, Fishman EK. Three-dimensional Volume-rendered CT Angiography of the Renal Arteries and Veins: Normal Anatomy, Variants, and Clinical Applications. *Radiographics*. 2001;21(2):373-386. doi:10.1148/radiographics.21.2.g01mr19373.
9. Samadian F, Dalili N, Jamalian A. New Insights Into Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment of Renovascular Hypertension. *Iran J Kidney Dis*. 2017;11(2):79-89.
10. Fellner C, Strotzer M, Geissler A, et al. Renal Arteries: Evaluation with Optimized 2D and 3D Time-of-Flight MR Angiography. *Radiology*. 1995;196(3):681-687. doi:10.1148/radiology.196.3.7644629.
11. Leung DA, Hoffmann U, Pfammatter T, et al. Magnetic resonance angiography versus duplex sonography for diagnosing renovascular disease. *Hypertension*.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1999;33(2):726-731. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10024336>.
12. Hansen KJ, Edwards MS, Craven TE, et al. Prevalence of renovascular disease in the elderly: A population-based study. *J Vasc Surg.* 2002;36(3):443-451. doi:10.1067/mva.2002.127351.
 13. Hyo Kwon S, Lerman LO. Atherosclerotic renal artery stenosis: Current status. *Adv Chronic Kidney Dis.* 2015;22(3):224-231. doi:10.1053/j.ackd.2014.10.004.
 14. Nanjundappa A, Bates MC. Clinical strategy for treating renal artery stenosis and contemporary tactics for renal artery stenting. *Interv Cardiol.* 2012;4(4):429-438. doi:10.2217/ICA.12.41.
 15. Olin JW, Melia M, Young JR, Graor RA, Risius B. Prevalence of atherosclerotic renal artery stenosis in patients with atherosclerosis elsewhere. *Am J Med.* 1990;88(1N):46N-51N. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2368764>.
 16. Lao D, Parasher PS, Cho KC, Yeghiazarians Y. Atherosclerotic renal artery stenosis - Diagnosis and treatment. *Mayo Clin Proc.* 2011;86(7):649-657. doi:10.4065/mcp.2011.0181.
 17. Bloch MJ, Basile J. Diagnosis and Management of Renovascular Disease and Renovascular Hypertension. *J Clin Hypertens.* 2007;9:381-389. doi:10.1111/j.1524-6175.2007.06573.x.
 18. Rountas C, Vlychou M, Vassiou K, et al. Imaging modalities for renal artery stenosis in suspected renovascular hypertension: Prospective intraindividual comparison of Color Doppler US, CT angiography, GD-enhanced MR angiography, and digital subtraction angiography. *Ren Fail.* 2007;29(3):295-302. doi:10.1080/08860220601166305.
 19. Smith A, Gaba RC, Bui JT, Minocha J. Management of Renovascular Hypertension. *Tech Vasc Interv Radiol.* 2016;19(3):211-217. doi:10.1053/j.tvir.2016.06.006.
 20. Sebastià C, Peri L, Salvador R, et al. Multidetector CT of Living Renal Donors: Lessons Learned from Surgeons. *RadioGraphics.* 2010;30(7):1875-1890. doi:10.1148/rg.307105032.
 21. Kim D, Edelman RR, Kent KC, H.Porter D, J.Skillman J. Abdominal Aorta and Renal Artery Stenosis: Evaluation with MR Angiography. *Radiology.* 1990;174(3):727-731. doi:10.1148/radiology.174.3.2305057.
 22. Morita S, Masukawa A, Suzuki K, Hirata M. Unenhanced MR Angiography: Techniques and Clinical Applications in Patients with Chronic Kidney Disease. *Radio.* 2011;31(2):E13-E33. doi:10.1148/rg.312105075/-/DC1.

23. Gondalia R, Vernuccio F, Marin D, Bashir MR. The role of MR imaging in the assessment of renal allograft vasculature. *Abdom Radiol*. April 2018. doi:10.1007/s00261-018-1611-3.
24. Potthast S, Maki JH. Non-Contrast-Enhanced MR Imaging of the Renal Arteries. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2008;16(4):573-584. doi:10.1016/j.mric.2008.07.007.
25. Aprendiendo los fundamentos de la resonancia magnética. In: *Aprendiendo Los Fundamentos de La Resonancia Magnética*. ; 2006:65-66. http://seram.es/readcontents.php?file=documentos/150_aprendiendo_los_fundamentos_de_la_rm2_2.pdf.
26. Miyazaki M, Lee VS. Nonenhanced MR Angiography. *Radiology*. 2008;248(1):20-43. doi:10.1148/radiol.2481071497.
27. Saloner D. The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Residents An Introduction to MR Angiography. *Radiographics*. 1995;15:453-465. http://mriquestions.com/uploads/3/4/5/7/34572113/radiographics2e152e22e7761648_mra_review.pdf.
28. Vilanova Gallart P, Muñoz Ribas B, Moreno Pigem J. Angiografía por resonancia magnética: técnica y aplicaciones en el estudio de la estenosis de carótida. *Imagen Diagnóstica*. 2014;5(1):24-31. doi:10.1016/j.imadi.2013.10.002.
29. Balter S, Hall E. Scientific View of Low-Level Radiation Risks. *RadioGraphics*. 1991;11:509-518. <https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiographics.11.3.1852943>.
30. Hamada N, Fujimichi Y. Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects. *J Radiat Res*. 2014;55(4):629-640. doi:10.1093/jrr/rru019.
31. Wunderle K, Gill AS. Radiation-related injuries and their management: an update. *Semin Intervent Radiol*. 2015;32(2):156-162. doi:10.1055/s-0035-1549446.
32. Chen MM, Coakley F V, Kaimal A, Laros RK. Guidelines for Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging Use During Pregnancy and Lactation. *Obs Gynecol*. 2008;112(2):333-340. doi:10.1097/AOG.0b013e318180a505.
33. Tremblay E, Therasse E, Thomassin-Naggara I, Trop I. Guidelines for use of medical imaging during pregnancy and lactation. *Radiographics*. 2012;32:897-911. doi:10.1148/rg.323115120.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

34. Tharmalingam S, Sreetharan S, Kulesza A V., Boreham DR, Tai TC. Low-Dose Ionizing Radiation Exposure, Oxidative Stress and Epigenetic Programming of Health and Disease. *Radiat Res.* 2017;188(4.2):525-538. doi:10.1667/RR14587.1.
35. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet.* 2012;380:499-505. doi:10.1016/S0140-6736(12)60815-0.
36. Mathews JD, Forsythe A V, Brady Z, et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ.* 2013;346. doi:10.1136/bmj.f2360.
37. Chodick G, Ronckers CM, Shalev V, Ron E. Excess lifetime cancer mortality risk attributable to radiation exposure from computed tomography examinations in children. *Isr Med Assoc J.* 2007;9(8):584-587. doi:10.1148/radiol.12121248.
38. Sodickson A, Baeyens PF, Andriole KP, et al. Recurrent CT, Cumulative Radiation Exposure, and Associated Radiation-induced Cancer Risks from CT of Adults. *Radiology.* 2009;251(1):175-184. doi:10.1148/radiol.2511081296.
39. Preston DL, Kusumi S, Tominaga M, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III. Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. *Radiat Res.* 1994;137:68-97. doi:10.2307/3578893.
40. Preston DL, Ron E, Tokuoka S, et al. Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958–1998. *Radiat Res.* 2007;168(1):1-64. doi:10.1667/RR0763.1.
41. Shuryak I, Sachs RK, Brenner DJ. Cancer risks after radiation exposure in middle age. *J Natl Cancer Inst.* 2010;102(21):1628-1636. doi:10.1093/jnci/djq346.
42. Frush DP. Responsible use of CT. *Radiology.* 2003;229(1):289-291. doi:10.1148/radiol.2291030373.
43. Einstein AJ. Beyond the bombs: Cancer risks of low-dose medical radiation. *Lancet.* 2012;380(9840):455-457. doi:10.1016/S0140-6736(12)60897-6.
44. Brenner DJ, Hall EJ. Cancer risks from Ct Scans: Now We Have Data, What Next? *Radiology.* 2012;265(2):330-331. doi:10.1148/radiol.12121248.
45. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. *Int At Energy Agency.* 2014. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1578_web-57265295.pdf.
46. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising

- radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom a. *Off J Eur Union*. 2014. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/CELEX-32013L0059-EN-TXT.pdf>.
47. Colletti PM, Shinbane JS, Shellock FG. "MR-Conditional" Pacemakers: The Radiologist's Role in Multidisciplinary Management. *Am J Roentgenol*. 2011;197(3):W457-W459. doi:10.2214/AJR.11.7120.
 48. Tsai LL, Grant AK, Mortelet KJ, Kung JW, Smith MP. A Practical Guide to MR Imaging Safety: What Radiologists Need to Know. *RadioGraphics*. 2015;35(6):1722-1737. doi:10.1148/rg.2015150108.
 49. Kanal E, James Barkovich A, Bell C, et al. ACR Guidance Document on MR Safe Practices: 2013. *J Magn Reson Imaging*. 2013;37:501-530. doi:10.1002/jmri.24011.
 50. Martí-Bonmatí L, Calatayud YP. *Medios de Contraste En Radiología*. España: Panamericana; 2008.
 51. Sartori P, Rizzo F, Taborda N, et al. Medios de contraste en imágenes. *RAR*. 2013;77(1):49-62. doi:10.7811/rarv77n1a08.
 52. Méndez Fernández R, Graña López L. Fármacos en radiología. In: *Radiología Esencial*. 1st ed. Madrid: Panamericana; 2010:65-77.
 53. 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):21-28. doi:10.1016/j.rx.2014.06.005.
 54. Morzycki A, Bhatia A, Murphy KJ. Adverse Reactions to Contrast Material: A Canadian Update. *Can Assoc Radiol J*. 2017;68:187-193. doi:10.1016/j.carj.2016.05.006.
 55. Costello JR, Kalb B, Martin DR. Incidence and risk factors for gadolinium-based contrast agent immediate reactions. *Top Magn Reson Imaging*. 2016;25(6):257-263. doi:10.1097/RMR.000000000000109.
 56. Hunt CH, Hartman RP, Hesley GK. Frequency and severity of adverse effects of iodinated and gadolinium contrast materials: Retrospective review of 456,930 doses. *Am J Roentgenol*. 2009;193:1124-1127. doi:10.2214/AJR.09.2520.
 57. Ferreira Morales JL. Actualidad en nefropatía por medio de contraste. *Nefrol Latinoam*. 2017;14(2):69-78. doi:10.1016/j.nefrol.2017.03.001.
 58. Davenport MS, Asch D, Cavallo J, et al. ACR Manual on Contrast Media Version 10.3. *Stanford Protoc*. 2018. <https://www.acr.org/-/media/ACR/files/clinical->

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- resources/contrast_media.pdf.
59. Mamoulakis C, Tsarouhas K, Fragkiadoulaki I, et al. Contrast-induced nephropathy: Basic concepts, pathophysiological implications and prevention strategies. *Pharmacol Ther.* 2017;180:99-112. doi:10.1016/j.pharmthera.2017.06.009.
 60. Shabana WM, Cohan RH, Ellis JH, et al. Nephrogenic systemic fibrosis: A report of 29 cases. *Am J Roentgenol.* 2008;190:736-741. doi:10.2214/AJR.07.3115.
 61. Wertman R, Ersan A, Martin DR, et al. Risk of Nephrogenic Systemic Fibrosis: Evaluation of Gadolinium Chelate Contrast Agents at Four American Universities. *Radiology.* 2008;248(3):799-806. <https://doi.org/10.1148/radiol.2483072093>.
 62. Perez-Rodriguez J, Lai S, Ehst BD, Fine DM, Bluemke DA. Nephrogenic Systemic Fibrosis: Incidence, Associations, and Effect of Risk Factor Assessment—Report of 33 Cases. *Radiology.* 2009;250(2):371-377. <https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiol.2502080498>.
 63. Varela U C, Prieto-Rayó JC. Fibrosis sistémica nefrogénica: la pandemia que no fue. *Rev Med Chil.* 2014;142:1565-1574. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rmc/v142n12/art10.pdf>.
 64. Thomsen HS, Morcos SK, Almén T, et al. Nephrogenic systemic fibrosis and gadolinium-based contrast media: updated ESUR Contrast Medium Safety Committee guidelines. *Eur Radiol.* 2013;23:307-318. doi:10.1007/s00330-012-2597-9.
 65. Europea A, Espa A, Sanitarios P. *Comunicación Dirigida a Profesionales Sanitarios Agentes de Contraste Con Gadolinio: Recomendaciones y Medidas Adoptadas Tras La Revisión Europea Llevada a Cabo Sobre El Riesgo de Formación de Depósitos Tisulares (Cerebro y Otros).*; 2017. <https://sinaem.agemed.es/CartasFarmacovigilanciaDoc/2017/2017-12-12-Gadolinio.pdf>.
 66. Gill KS, Fowler RC. Atherosclerotic renal arterial stenosis: clinical outcomes of stent placement for hypertension and renal failure. *Radiology.* 2003;226:821-826. doi:10.1148/radiol.2263011244.
 67. Van Jaarsveld B, Krijnen P, Derkx F, Oei H, Postma C, Schalekamp M. The place of renal scintigraphy in the diagnosis of renal artery stenosis. Fifteen years of clinical experience. *Arch Intern Med.* 1997;157(11):1226-1234. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9183234>.
 68. Krijnen P, van Jaarsveld BC, Steyerberg EW, Man in 't Veld AJ, Schalekamp MA,

- Habbema JD. A clinical prediction rule for renal artery stenosis. *Ann Intern Med.* 1998;129(9):705-711. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9841602>.
69. Taylor DC, Kettler MD, Moneta GL, et al. Duplex ultrasound scanning in the diagnosis of renal artery stenosis: A prospective evaluation. *J Vascular Surg.* 1988;7(2):363-369.
70. Hoffmann U, Edwards JM, Carter S, et al. Role of duplex scanning for the detection of atherosclerotic renal artery disease. *Kidney Int.* 1991;39:1232-1239. doi:10.1038/ki.1991.156.
71. Boudewijn G, Vasbinder GB, Nelemans PJ, et al. Diagnostic tests for renal artery stenosis in patients suspected of having renovascular hypertension: a meta-analysis. *Ann Intern Med.* 2001;135(6):401-11. <http://www.annals.org/content/135/6/401.full.pdf>.
72. Mann S., Pickering T. Detection of renovascular hypertension. State of the art: 1992. *Ann Intern Med.* 1992;Nov 15;117(10):845-853.
73. Spencer E, Pedersen E, Jorgensen J, Egeblad M, Nielsen S, Rehling M. Diagnosing renal artery stenosis: a comparison between conventional renography, captopril renography and ultrasound Doppler in a large consecutive series of patients with arterial hypertension. *Blood Press.* 2007;5(6):342-348. doi:10.3109/08037059609078072.
74. Paven G, Waugh R, Nicholson J, Gillin A, Hennessy A. Screening tests for renal artery stenosis: a case-series from an Australian tertiary referral centre. *Nephrology.* 2006;11(1):68-72. doi:10.1111/j.1440-1797.2006.00546.x.
75. Johansson M, Jensen G, Aurell M, et al. Evaluation of duplex ultrasound and captopril renography for detection of renovascular hypertension. *Kidney Int.* 2000;58:774-782. doi:10.1046/j.1523-1755.2000.00226.x.
76. Olbricht CJ, Paul K, Prokop M, et al. Minimally invasive diagnosis of renal artery stenosis by spiral computed tomography angiography. *Kidney Int.* 1995;48:1332-1337. doi:10.1038/ki.1995.418.
77. Kaatee R, J.A F, E. de Lange E, et al. Renal Artery Stenosis: Detection and Quantification with spiral CT angiography versus optimized digital subtraction angiography. *Radiology.* 1997;205(1):121-127. doi:10.1148/radiology.205.1.9314973.
78. Johnson PT, Halpern EJ, Kuszyk BS, et al. Renal Artery Stenosis: CT Angiography—Comparison of Real-time Volume-rendering and Maximum Intensity Projection Algorithms. *Radiology.* 1999;211(2):337-343.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- doi:10.1148/radiology.211.2.r99ap17337.
79. Wittenberg G, Kenn W, Tschammler A, Sandstede J HD. Spiral CT angiography of renal arteries: comparison with angiography. *Eur Radiol.* 1999;9(3):546-551. doi:10.1007/s003300050707.
 80. Qanadli SD, Soulez G, Therasse E, et al. Detection of Renal Artery Stenosis: Prospective Comparison of Captopril-Enhanced Doppler Sonography, Captopril-Enhanced Scintigraphy, and MR Angiography. *AJR.* 2001;177(5):1123-1129. doi:10.2214/ajr.177.5.1771123.
 81. Hackländer T, Mertens H, Stattaus J, et al. Evaluation of Renovascular Hypertension Comparison of Functional MRI and Contrast-Enhanced MRA with a Routinely Performed Renal Scintigraphy and DSA. *J Comput Assist Tomogr.* 2004;28(6):823-831.
 82. Tan K, van Beek E, Brown P, van Delden O, Tijssen J, Ramsay L. Magnetic resonance angiography for the diagnosis of renal artery stenosis: A meta-analysis. *Clin Radiol.* 2002;57(7):617-624.
 83. Craig Kent K, Edelman RR, Kim D, Steinman TI, Porter DH, Skillman JJ. Magnetic resonance imaging: A reliable test for the evaluation of proximal atherosclerotic renal arterial stenosis. *J Vasc Surg.* 1991;13(2):311-318. doi:10.1067/mva.1991.25810.
 84. Yucel EK, Kaufman JA, Prince M, Bazari H, Fang LST, Waltman AC. Time of flight renal MR angiography: Utility in patients with renal insufficiency. *Magn Reson Imaging.* 1993;11(7):925-930. doi:10.1016/0730-725X(93)90211-U.
 85. Loubeyre P, Revel D, Garcia P, et al. Screening Patients for Renal Artery Stenosis: Value of Three-Dimensional Time-of-Flight MR Angiography. *AJR.* 1994;162(4):847-852. doi:10.2214/ajr.162.4.8141006.
 86. Grazioli L, Stanga C, Olivetti L, Belli L, Viola G FC. Magnetic resonance angiography with TOF-TONE tridimensional sequences in the study of steno-occlusive. *Radiol Med.* 1997;93(1-2):77-82.
 87. Parienty I, Rostoker G, Jouniaux F, Piotin M, Admiraal-Behloul F, Miyazaki M. Renal Artery Stenosis Evaluation in Chronic Kidney Disease Patients: Nonenhanced Time-Spatial Labeling Inversion-Pulse Three-dimensional MR Angiography with Regulated Breathing versus DSA. *Radiol n Radiol.* 2011;259(2):592-601. doi:10.1148/radiol.11101422.
 88. Angeretti M, Lumia D, Can A, et al. Non-enhanced MR angiography of renal arteries: comparison with contrast-enhanced MR angiography. *Acta radiol.*

- 2013;4:749-756. doi:10.1177/0284185113482690.
89. Genji B, Weijing T, Yang S, Lili G. Meta analysis Role of non-contrast balanced steady-state free precession magnetic resonance angiography compared to contrast-enhanced magnetic resonance angiography in diagnosing renal artery stenosis: a meta-analysis. *Chin Med J (Engl)*. 2014;127(19):3483-3490. doi:10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20132762.
 90. Gaudio C, Busato F, Ferramosca E, et al. 3D FIESTA pulse sequence for assessing renal artery stenosis: is it a reliable application in unenhanced magnetic resonance angiography? *Eur Radiol*. 2014;24:3042-3050. doi:10.1007/s00330-014-3330-7.
 91. Sebastià C, Sotomayor AD, Paño B, et al. Accuracy of unenhanced magnetic resonance angiography for the assessment of renal artery stenosis. *Eur J Radiol open*. 2016;3:200-206. doi:10.1016/j.ejro.2016.07.003.
 92. Xu X, Lin X, Huang J, et al. The capability of inflow inversion recovery magnetic resonance compared to contrast-enhanced magnetic resonance in renal artery angiography. *Abdom Radiol*. 2017;42(10):2479-2487. doi:10.1007/s00261-017-1161-0.
 93. Yamuna J, Chandrasekharan A, Rangasami R, Ramalakshmi S, Joseph S. Unenhanced renal magnetic resonance angiography in patients with chronic kidney disease & suspected renovascular hypertension: Can it affect patient management? *Indian J Med Res*. 2017;146(Supplement):S22-S29. doi:10.4103/ijmr.IJMR_1613_15.
 94. Liang K-W, Chen J-W, Huang H-H, Su C-H, Tyan Y-S, Tsao T-F. The Performance of Noncontrast Magnetic Resonance Angiography in Detecting Renal Artery Stenosis as Compared With Contrast Enhanced Magnetic Resonance Angiography Using Conventional Angiography as a Reference. *J Comput Assist Tomogr*. 2017;41(4):619-627. doi:10.1097/RCT.0000000000000574.
 95. G. Altman D. *Practical Statistics for Medical Research.*; 1991.
 96. Gilfeather M, Yoon H-C, Siegelman ES, et al. Renal Artery Stenosis: Evaluation with Conventional Angiography versus Gadolinium-enhanced MR Angiography. *Radiology*. 1999;210(2):367-372. doi:10.1148/radiology.210.2.r99fe44367.
 97. Ota H, Takase K, Rikimaru H, et al. Quantitative Vascular Measurements in Arterial Occlusive Disease. *RadioGraphics*. 2005;25(5):1141-1158. doi:10.1148/rg.255055014.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

98. Hertz SM, Holland GA, Baum RA, Haskal ZJ, Carpenter JP. Evaluation of renal artery stenosis by magnetic resonance angiography. *Am J Surg.* 1994;168(2):140-143.
99. Kem DC, Lyons DF, Wenzl J, Halverstadt D, Yu X. Renin-dependent hypertension caused by nonfocal stenotic aberrant renal arteries: Proof of a new syndrome. *Hypertension.* 2005;46(2):380-385.
doi:10.1161/01.HYP.0000171185.25749.5b.
100. Beregi J, Louvegny S, Gautier C, Moretti A, Wattinne L, Mcfadden E. Fibromuscular Dysplasia of the Renal Arteries: Comparison of Helical CT Angiography and Arteriography. *AJR.* 1999;172(1):27-34.
doi:10.2214/ajr.172.1.9888733.
101. Willoteaux S, Faivre-pierret M, Moranne O, Bruzzi J, Finot M, Gaxotte V. Fibromuscular Dysplasia of the Main Renal Arteries : Comparison of Contrast-enhanced MR Angiography with Digital Substraction Angiography. *Radiology.* 2006;241(3):922-929. doi:10.1148/radiol.2413050149.
102. Boudewijn G, Vasbinder C, Nelemans PJ, et al. Accuracy of Computed Tomographic Angiography and Magnetic Resonance Angiography for Diagnosing Renal Artery Stenosis. *Ann Intern Med.* 2004;141(9):674-682.
103. Won Chai J, Lee W, Hu Yin Y, et al. CT Angiography for Living Kidney Donors: Accuracy, Cause of Misinterpretation and Prevalence of Variation. *Korean J Radiol.* 2008;9(4):333-339. doi:10.3348/kjr.2008.9.4.333.
104. Türkvatan A, Akinci S, Yildiz S, Olçer T, Cumhuri T. MDCT for preoperative evaluation of vascular anatomy in living renal donors. *Surg Radiol Anat.* 2008;31(4):227–235. doi:10.1007/s00276-008-0428-0.
105. Abhijit Dnyandeo Patil, K. Shailage, Jeyaseelan Nadarajah, P. Harigovind RKM. Comparison of computed tomographic angiography and noncontrast magnetic resonance angiography in preoperative evaluation of living renal donors. *Indian J Urol.* 2017;Jan-Mar; 3(1):30–35.
106. Blankholm AD, Pedersen BG, Østrat EØ, et al. Noncontrast-Enhanced Magnetic Resonance Versus Computed Tomography Angiography in Preoperative Evaluation of Potential Living Renal Donors. *Acad Radiol.* 2015;22(11):1368-1375. doi:10.1016/j.acra.2015.06.015.
107. Laurence I, Ariff B, Quest RA, et al. Is there a role for free breathing non-contrast steady-state free precession renal MRA imaging for assessing live donors? A preliminary study. *Br J Radiol.* 2012;85(1016):448-454.

doi:10.1259/bjr/16270927.

108. Goetti R, Baumueller S, Alkadhi H, et al. Diagnostic Performance of a Non-Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Imaging Protocol for Potential Living Related Kidney Donors. *Acad Radiol.* 2013;20(4):393-400.

doi:10.1016/j.acra.2012.12.001.

XI. ÍNDICE DE SIGLAS

XI. ÍNDICE DE SIGLAS

2D	Dos dimensiones
3D	Tres dimensiones
ACR	American College of Radiology
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ASL	Arterial spin labeling
ARAI	Antagonistas del receptor de angiotensina II
CCI	Coefficiente de correlación intraclase
CIN	Nefropatía inducida por medios de contraste
DT	Desviación típica
E	Especificidad
ECG	Electrocardiogram
IC	Intervalo de confianza
IECA	Enzima convertidora de angiotensina
IR	Índice de resistencia
IRA-PC	Insuficiencia renal aguda post-contraste
FDA	Food and Drug Administration
FOV	Field of view
FSE	Fast spin eco
FSN	Fibrosis sistémica nefrogénica
Kg	Kilogramos
MIP	Maximum intensity projection
mL	Mililitros
MPR	Multiplanar reconstruction
RM	Resonancia magnética
S	Sensibilidad
SAR	Specific Absorption Rate
SSFP	Steady-state free precession
TC	Tomografía computarizada
TOF	Time-of-flight
VPP	Valor predictivo negativo
VPP	Valor predictivo positivo
W	Vatios

XII. ANEXOS

XII. ANEXOS

XII.1. ANEXO 1

**Valoración de la Estenosis de las Arterias Renales utilizando la Angioresonancia Magnética sin contraste:
correlación con la Angiotomografía Computarizada**

Código	Número de historia	Fecha realización TC	TC Observador 1	TC Observador 2	Fecha realización RM	RM Observador 1	RM Observador 2

XII.2. ANEXO 2

Valoración de la Estenosis de las Arterias Renales utilizando la Angioresonancia Magnética sin contraste: correlación con la Angiotomografía Computarizada

Angio-TC OBSERVADOR 1

Código		
Estudio Valorable	Sí	
	No	

RIÑÓN DERECHO

A. Principal	Número					
	Diámetro					
	Placa	NO				
		Sí	Proximal	tamaño/calcio/no calcio/mixta		
			Distal	tamaño/calcio/no calcio/mixta		
	Estenosis	NO				
		Sí	Proximal	<30%		
				30%-60%		
				>60%		
				100%		
		Distal	<30%			
			30%-60%			
>60%						
100%						

Bifurcación	<1.5cm del origen	
	>1.5cm del origen	

A. Polar	No	
	Sí	

A. Accesorias	No	
	Sí	

Dilatación postestenótica:

Hallazgo renal incidental:

Otros:

XII.3. ANEXO 3

CÓDIGO	RIÑÓN	TC1 DIÁMETRO	TC1 PLACA OSTIUM/ PROXIMAL	TC1 PLACA DISTAL	TC1 ESTENOSIS OSTIUM/ PROXIMAL	TC1 ESTENOSIS DISTAL	TC1 BIFURCACIÓN	TC1 POLAR	TC1 ACCESORIA	TC1 DILATACIÓN POST

CÓDIGO	RIÑÓN	TOF1 DIÁMETRO	TOF1 PLACA OSTIUM/ PROXIMAL	TOF1 PLACA DISTAL	TOF1 ESTENOSIS OSTIUM/ PROXIMAL	TOF1 ESTENOSIS DISTAL	TOF1 BIFURCACIÓN	TOF1 POLAR	TOF1 ACCESORIA	TOF1 DILATACIÓN POST

CÓDIGO	RIÑÓN	TC2 DIÁMETRO	TC2 PLACA OSTIUM/ PROXIMAL	TC2 PLACA DISTAL	TC2 ESTENOSIS OSTIUM/ PROXIMAL	TC2 ESTENOSIS DISTAL	TC2 BIFURCACIÓN	TC2 POLAR	TC2 ACCESORIA	TC2 DILATACIÓN POST

CÓDIGO	RIÑÓN	TOF2 DIÁMETRO	TOF2 PLACA OSTIUM/ PROXIMAL	TOF2 PLACA DISTAL	TOF2 ESTENOSIS OSTIUM/ PROXIMAL	TOF2 ESTENOSIS DISTAL	TOF2 BIFURCACIÓN	TOF2 POLAR	TOF2 ACCESORIA	TOF2 DILATACIÓN POST