

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ROL ACTUAL DE LA ARTERIOGRAFÍA CON CO2 EN COMPARACIÓN CON
ARTERIOGRAFÍA CON DOSIS BAJA DE MEDIO DE CONTRASTE YODADO PARA
EL TRATAMIENTO DE ISQUEMIA CRÍTICA EN PACIENTES CON NEFROPATÍA
CRÓNICA

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de
Posgrado en Vascular Periférico para optar al grado y título de Especialista en Vascular
Periférico

SUSTENTANTE
DR. ROBERTO MEZA AGUILAR

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, quien, con su arduo trabajo y apoyo incondicional desde mi infancia, me ha permitido llegar hasta este punto de mi vida profesional.

A mi esposa, mis abuelos, tías y primos, quienes han comprendido que mi formación profesional muchas veces ha llevado a una ausencia en momentos especiales, pero su amor sincero prevalece.

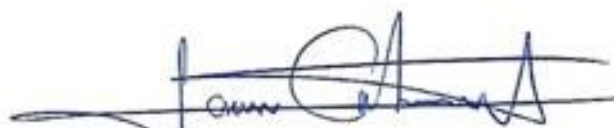
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los asistentes especialistas del Servicio de Cirugía Vascul ar Periférica del HSJD, quienes han sido pilar fundamental en mi formación como especialista en este campo; así también a los especialistas del HCG y el HM y los residentes mayores durante estos cuatro años, quienes han impulsado mi crecimiento profesional.

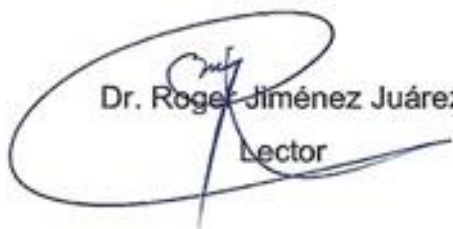
Agradezco al Dr. Luis Morelli, apoyo importante para el presente trabajo y promotor de la investigación y el desarrollo profesional desde el impulso académico como residente a nivel latinoamericano.

Especial agradecimiento al Dr. Javier Cabezas, quien fue ente invaluable en mi formación, con su paternal guía en la senda quirúrgica.

“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Postgrado en Cirugía Vasculat Periférico de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Médico Especialista en Vasculat Periférico”



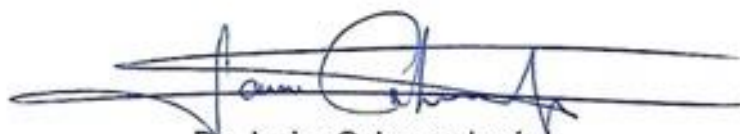
Dr. Javier Cabezas Loría
Profesor Guía



Dr. Rogel Jiménez Juárez
Lector



Dr. José E. Rojas Vásquez
Lector



Dr. Javier Cabezas Loría
Coordinador Programa de Postgrado en Cirugía Vasculat Periférico



Roberto Meza Aguilar
Sustentante

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen	6
Lista de Ilustraciones	7
Lista de Tablas	8
Lista de Abreviaturas	9
Licencia de Publicación	10
Introducción	11
Justificación.....	12
Hipótesis.....	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
Discusión	15
Antecedentes.....	15
Estudios No Invasivos.....	15
Flujograma de Manejo.....	17
La Enfermedad Renal Crónica y la Nefropatía Inducida por Contraste.....	18
Estrategias para la Prevención de la NIC.....	21
El CO2 como Medio de Contraste.....	25
Evidencia Actual.....	28
Conclusiones	32
Referencias	33

RESUMEN

La enfermedad arterial periférica vive un auge en nuestros días, y los motivos para este incremento en su presentación están directamente relacionados con el aumento de la expectativa de vida a nivel mundial y el incremento en comorbilidades tales como Hipertensión Arterial (HTA), Diabetes Mellitus (DM) y Enfermedad Renal Crónica (ERC).

Siendo de especial importancia la correlación entre la HTA y la DM con la ERC, ya que estos factores de riesgo compartidos entre la ERC y la Enfermedad Arterial Periférica (EAP) hace que su presentación conjunta sea cada vez más frecuente.

La ERC presenta una limitante a la hora del diagnóstico y tratamiento endovascular de la EAP, ya que requiere del uso de medios de contraste yodados (MCY), y esta sustancia a la vez puede generar un detrimento en la función renal de los pacientes.

Recientemente se han descrito otros medios de contraste tales como el CO₂, sin embargo, las imágenes obtenidas, especialmente a nivel de los vasos distales, no siempre son útiles para la toma de decisiones con respecto al manejo adecuado de las lesiones.

Es donde entra en discusión la arteriografía con dosis baja de medio de contraste como opción diagnóstica, ya que permite una mejor calidad de imagen diagnóstica y por ende un mejor manejo de las lesiones ateroscleróticas.

Se planteará una discusión, basada en la evidencia actual, para definir si la arteriografía con baja dosis de MCY tiene cabida en el arsenal diagnóstico y terapéutico actual o si, por el contrario, se debe continuar utilizando la arteriografía con CO₂ en estos pacientes.

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Flujograma PLAN.....	17
Ilustración 2. Fisiopatología de la Nefropatía Inducida por Contraste.....	19
Ilustración 3. Biomarcadores dinámicos en la nefropatía inducida por contraste ¹¹	20
Ilustración 4. Distribución del CO2 en el bloqueo de vapor a nivel aórtico.....	27

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Rutherford Isquemia Crónica.....	15
Tabla 2. Correlación de PAT con ITB.....	16

LISTA DE ABREVIATURAS

Hipertensión Arterial (HTA)
Diabetes Mellitus (DM)
Enfermedad Renal Crónica (ERC)
Enfermedad Arterial Periférica (EAP)
Medio de Contraste Yodado (MCY)
Ultrasonido Intravascular (IVUS, por sus siglas en inglés)
Dióxido de Carbono (CO₂)
Milímetros de Mercurio (mmHg)
Presión de Tobillo (PT)
Índice de Tobillo Brazo (ITB)
Presión de Dedo (PD)
Índice Dedo Brazo (IDB)
Presión de Oxígeno Transcutánea (TcPO₂)
Tiempo de Aceleración de la Plantar (PAT)
Tasa de Filtración Glomerular (TFG)
Analgésicos Antiinflamatorios No Esteriodeos (AINES)
Aclaramiento Endógeno de Creatinina (AEC)
Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)
Nefropatía Inducida por Contraste (NIC)



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Roberto Meza Aguilar, con cédula de identidad 01-1510-0923, en mi condición de autor del TFG titulado ROL ACTUAL DE LA ARTERIOGRAFÍA CON CO2 EN COMPARACIÓN CON ARTERIOGRAFÍA CON DOSIS BAJA DE MEDIO DE CONTRASTE YODADO PARA EL TRATAMIENTO DE ISQUEMIA CRÍTICA EN PACIENTES CON NEFROPATÍA CRÓNICA.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

INTRODUCCIÓN

La Enfermedad Arterial Periférica se define como una patología oclusiva crónica de las extremidades inferiores, siendo hasta el 90% de ellas de causa aterosclerótica. Al igual que otras patologías ateroscleróticas en todo el organismo humano, esta enfermedad está asociada a otras patologías crónicas cada vez más frecuentes en el mundo actual tal como la hipertensión arterial, la diabetes mellitus, dislipidemia y el tabaquismo, todos estos cada vez más frecuentes conforme se envejece.

Todas las patologías ateroscleróticas se han convertido en un problema de salud mayor a nivel mundial, más de 200 millones de pacientes en el mundo presentan actualmente EAP, y esto ha venido en aumento durante las últimas dos décadas hasta en un 23.5%.¹

Los pacientes con EAP se pueden presentar con una amplia gama de sintomatología, desde aquellos asintomáticos, pasando por dolores leves al ejercitarse, llegando a dolor en reposo o hasta lesiones críticas o gangrena. Por lo que un diagnóstico certero y oportuno es indispensable en esta patología.

Hoy en día se dispone de diversos estudios no invasivos que permiten un reconocimiento de esta patología, mismos que, acompañados de una adecuada historia clínica y examen físico pueden guiar de manera adecuada el manejo que se le dará al paciente. Un importante número de los pacientes que se presentan con isquemia crítica deberán ser llevados a una sala de hemodinamia para la realización de arteriografías diagnósticas.

Estos procedimientos invasivos requieren el uso de medios de contraste yodados, que, en algunos pacientes, principalmente aquellos con nefropatía ya diagnosticada, podrían llevar a un deterioro en la función renal basal de estos, llevándolos incluso hasta la dependencia de terapias de sustitución renal o a la muerte.

Es por lo anterior que, en la actualidad, el diagnóstico de nefropatía crónica influye en la decisión de llevar a cabo una angiografía o no al paciente, esto por el temor del clínico a

inducir nefrotoxicidad asociada a MCY. Lo que lleva a infrautilizar estos procedimientos diagnósticos o terapéuticos en pacientes nefrópatas; contrariamente, esto podría poner en riesgo al paciente desde el punto de vista vascular. Incluso algunas publicaciones han nombrado este dilema como *renalismo*.²

Influenciados por este mismo paradigma, es que día a día se estudian nuevas formas de disminuir esta nefrotoxicidad, tanto farmacológicas como no farmacológicas y además se investigan nuevos métodos diagnósticos para sustituir el uso de medio de contraste en los procedimientos invasivos, como por ejemplo el IVUS.

En el presente escrito, se pretende analizar la evidencia más reciente sobre la arteriografía con CO₂ y la arteriografía con dosis bajas de medio de contraste. Discutir la calidad de imágenes obtenidas con ambos métodos diagnósticos y así también definir la validez de una u otra en nuestro arsenal diagnóstico actual.

Se pretende encontrar un volumen de medio de contraste óptimo para la realización de estudios diagnósticos y terapéuticos en esta población y de esta manera no limitar su acceso a estas terapias endovasculares, cuyo objetivo generalmente es el salvataje de una extremidad; pero tampoco poniendo en riesgo su condición nefrológica basal.

Justificación

Se estima que en los Estados Unidos de América hasta un 6% de la población presenta algún tipo de nefropatía crónica en estadio 1 y 2³. En Costa Rica, desdichadamente, no se cuenta con datos que permitan realizar un estudio epidemiológico de esta patología, se sabe que entre 1990 y 2013 se presentaron 8382 muertes por ERC, así como poco más de 31 000 egresos hospitalarios con este diagnóstico.⁴

De esta población, un gran número va a requerir la realización de algún estudio diagnóstico o terapéutico que requiera el uso de medios de contraste, ya sea para angiografía coronaria, angiografía periférica o algún estudio radiológico no invasivo contrastado. De ellos, se estima que desde un 12% hasta un 50% pueden llegar a

desarrollar una nefropatía por medio de contraste⁵. Una de las estrategias más efectivas en la reducción de este riesgo es precisamente el uso del menor volumen de medio de contraste para cada estudio, pero para esto se debe tener en consideración también la calidad del estudio que se va a obtener.

En la actualidad se cuenta con la opción de realizar la angiografía con CO₂. Al igual que el medio de contraste yodado cuenta con algunas ventajas y desventajas, una de las cuales puede ser el ser considerado por muchos intervencionistas como un medio de contraste de mala calidad, asociado a su susceptibilidad al movimiento o a la baja experiencia con este contraste del intervencionista, razón por la cual hasta en 40% de los procedimientos que se realizan con CO₂, algunos de los hallazgos son confirmados con bajas dosis de medio de contraste yodado.

Además, el uso del CO₂ requiere equipos para su inyección, ya sean automatizados y manuales, que no siempre están disponibles en los centros médicos, así como paquetes de post procesamiento de las imágenes que no están instalados en todos los angiógrafos y su adquisición, puede representar una inversión importante para el centro médico.

Si bien recientemente los esfuerzos de todas las partes involucradas en estos procedimientos, desde las compañías médicas que desarrollan los angiógrafos, pasando por las compañías farmacéuticas que aportan el equipo utilizado para realizar estas intervenciones, los técnicos de rayos X y los médicos intervencionistas se han concentrado en optimizar el uso del medio de contraste y perfeccionar las imágenes obtenidas, aun no se ha llegado a un resultado final satisfactorio.

Actualmente se cuenta con programas de procesamiento de imágenes mucho más poderosos que permiten incluso combinar las imágenes de las tomografías previas, alineándolas con las imágenes del angiógrafo para así lograr disminuir hasta en 40mL la cantidad de medio de contraste utilizado en los procedimientos.⁶

Recae en esto la necesidad de desarrollar una revisión de las publicaciones científicas para el adecuado planeamiento de estos procedimientos con baja dosis de medio de contraste, garantizando así la seguridad renal para el paciente y la obtención de imágenes adecuadas que logren resolver la patología vascular del paciente.

El resultado de esta revisión permitirá definir el rol de la arteriografía con CO₂ al compararla con la arteriografía con baja dosis de MCY, especialmente en aquellos pacientes en quienes en la actualidad esta terapia no se realiza por el riesgo de lesión renal aguda. Así como la valoración de las imágenes obtenidas al realizar la angiografía con CO₂. De esta manera los estudios contrastados en pacientes nefrópatas se podrán realizar de manera segura y estandarizada.

Hipótesis

El uso de bajas dosis de medio de contraste yodado para la realización de arteriografías infrainguinales diagnósticas y terapéuticas en paciente con nefropatía en estadios 1, 2 y 3 no aumenta el riesgo de producir una lesión renal aguda por medios de contraste.

Objetivo General

Demostrar que la arteriografía con dosis bajas de MCY puede ser ampliamente utilizado en pacientes con Enfermedad Renal Crónica en estadios 1 ,2 y 3 sometidos a revascularización infrainguinal.

Objetivos Específicos

1. Comparar el porcentaje de aumento en la creatinina en pacientes con Enfermedad Renal Crónica en estadios 1, 2 y 3 que hayan sido sometidos a arteriografía con dosis baja de MCY con respecto a aquellos que no fueron sometidos al medio yodado y se les realizó la arteriografía con CO₂.
2. Evaluar que la calidad de las imágenes arteriográficas obtenidas con ambos medios de contraste permita la toma de decisiones y el tratamiento adecuado de los pacientes con enfermedad arterial periférica infrainguinal.

DISCUSIÓN

Antecedentes

La EAP se puede subclasificar, de acuerdo con la severidad de la sintomatología, en claudicación intermitente, dolor en reposo e isquemia crítica (Tabla 1). Para esto se necesita no solo la historia clínica y el examen físico del paciente sino también estudios que hagan un diagnóstico objetivo.

Se disponen en la actualidad estudios hemodinámicos invasivos y no invasivos que corroboran la sospecha diagnóstica de una manera más fiable.

Estudios No Invasivos

Presión de Tobillo (PT) e Índice de Tobillo Brazo (ITB): El ITB es un parámetro accesible como primera línea diagnóstica en nuestros pacientes. Para su realización se debe tomar la presión sistólica a nivel del tobillo de la arteria pedia y tibial posterior y luego dividir la mayor de estas entre la mayor presión braquial. Se considera patológica una presión de tobillo menor a 50mmHg o un ITB menor a 0.9 o mayor a 1.4¹, esto debido a la no compresibilidad de las arterias que tornan este estudio en no confiable, por lo que se deberá recurrir a otros diagnósticos. Se debe sospechar que este estudio en no confiable también cuando, a pesar de un resultado dentro de parámetros de normalidad, al análisis de las ondas de pulso, evidencie ondas aplanadas o monofásicas.

	DESCRIPCIÓN CLÍNICA	CRITERIOS DIAGNÓST.
0	Asintomático	Prueba Ejercicio Normal ^a
1	Claudicación Leve	Completa Ejercicio ^a , PT después del ejercicio >50mmHg pero al menos 20mmHg menos que en reposo.
2	Claudicación Moderada	Entre categorías 1 y 3 No completa ejercicio ^a .
3	Claudicación Severa	PT después del ejercicio <50mmHg
4	Dolor en Reposo	PT reposo <30-50mmHg, PD <30mmHg
5	Pérdida Tisular Menor	PT reposo < 50-70mmHg, PD<40mmHg en no DM y <50mmHg en DM. tcPO ₂ <30mmHg.
6	Pérdida Tisular Mayor ^{b,c}	Igual a categoría 5.

Tabla 1. Clasificación Rutherford Isquemia Crónica⁷

^a5min a 2millas/hora con 12% inclinación.

^bÚlcera que no cicatriza o gangrena focal con isquemia difusa del pie.

^cSe extiende más allá del nivel transmetatarsal o pie sin posibilidades de salvataje.

PT: Presión de Tobillo. PD: Presión de Dedo.

tcPO₂: Presión de Oxígeno transcutánea.

Presión de Dedo (PD) e Índice Dedo Brazo (IDB): Para realizar esta medición se debe colocar un brazalete pequeño en la base del primer dedo de la extremidad inferior y utilizar un detector fotopletoislográfico o doppler para medir la presión sistólica. La ventaja de la medición de la presión de dedo al compararla con la presión de tobillo es que esta última está menos sujeta a cambios por la aterosclerosis, y respectiva incompresibilidad de las arterias. Se debe utilizar este estudio cuando se tengan ITB o PT falsamente elevados. Se considera una PD patológica aquella menor a 30mmHg o un IDB menor a 0.7.¹

Presión de Oxígeno Transcutánea (TcPO₂): Es la medición, con transductores cutáneos, la presión de oxígeno en puntos específicos de la piel. Esta es útil para evaluar la microcirculación y predecir la probabilidad de cicatrización. Se considera patológica la medida menor a 60mmHg.

Tiempo de Aceleración de la Plantar (PAT): uno de los estudios más recientemente descritos, basado en el concepto de los angiosomas, se debe ubicar la arteria plantar lateral y medir el tiempo (en milisegundos) desde el inicio de la sístole y hasta su pico. Se demostró que hay una correlación entre este valor y el ITB, tal como se muestra en la tabla 2.⁸

PAT	ITB
0-120ms	0.90-1.30
121-180ms	0.69-0.89
181-224ms	0.40-0.68
Mayor a 225ms	0.00-0.39

Tabla 2. Correlación de PAT con ITB. ⁸

Flujograma de Manejo

Una vez realizado el diagnóstico, se debe definir el manejo que se le dará al paciente. En el caso de la isquemia crítica, la revascularización efectiva es primordial en el manejo y para decidir el método y la necesidad se han propuesto múltiples flujogramas, el más recientemente propuesto es conocido como PLAN¹ (por sus siglas en inglés):

- **Patient Risk Estimation:** Se debe evaluar si el paciente es candidato a salvataje de la extremidad, el riesgo del procedimiento y la expectativa de vida.
- **Limb Staging:** Se debe también tener en consideración la condición de la extremidad, para esto se recomienda utilizar la clasificación Wiffl, al ser esta la única que integra los pilares de esta patología (**W**ound, **I**schemia, **f**oot **I**nfection) y aporta un riesgo de amputación mayor.
- **ANatomic pattern of disease:** Si bien este punto es secundario a los dos previos, la ubicación de la enfermedad puede tutelar la decisión del manejo que se le dará al paciente.

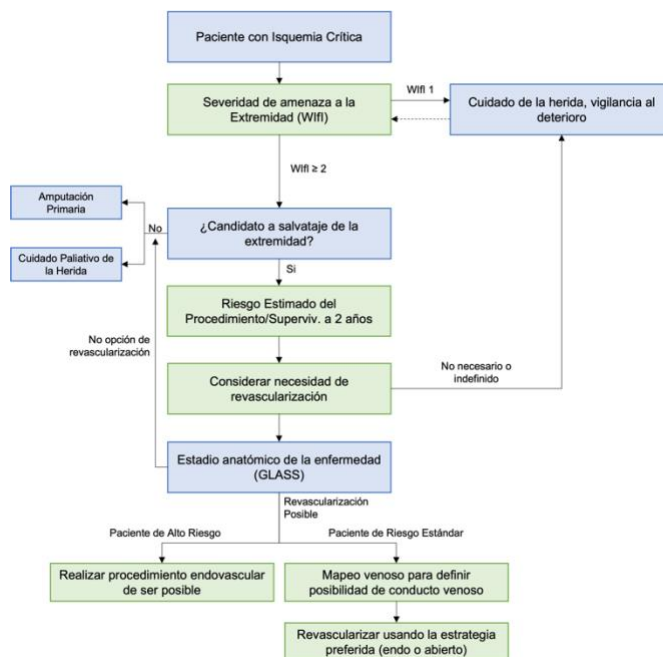


Ilustración 1. Flujograma PLAN

En la actualidad, los avances tecnológicos han permitido ofrecer la revascularización a una mayor cantidad de pacientes gracias a la disponibilidad de opciones terapéuticas endovasculares mínimamente invasivas. Si bien estas opciones confieren una disminución en el riesgo quirúrgico, son también más frecuentemente asociadas a lesión renal, principalmente en pacientes con antecedente de nefropatía.

La Enfermedad Renal Crónica y la Nefropatía Inducida por Contraste

La Enfermedad Renal Crónica (ERC) comprende un espectro de procesos patológicos asociados con una función renal anormal. Esta enfermedad tiene dos mecanismos generales: 1) el mecanismo desencadenante, que es específico para cada etiología (anomalía genética, deposición de complejos inmunes o inflamación en glomerulonefritis o exposición a toxinas). 2) Mecanismos progresivos que involucran la hiperfiltración e hipertrofia de las nefronas remanentes consecuentes a la reducción de larga data de la masa renal.

Se estima que un 6% de la población de EE.UU sufre de ERC estadios 1 y 2, un 4.5% adicional presenta los estadios 3 y 4³. Entre las etiologías más frecuentes de ERC se encuentran nefropatía diabética, glomerulonefritis, ERC asociada a la hipertensión, enfermedades renales poliquísticas entre otras.

Si bien la nefropatía inducida por contraste no es una de las etiologías más frecuentes de ERC, algunas series refieren que esta se puede presentar en un 3.3-8% de los pacientes sin deterioro renal previo y entre un 12-50% de los pacientes con ERC o DM expuestos a medio de contraste, con variación del riesgo dependiendo de la cantidad de medio de contraste utilizado, con una elevación del riesgo aproximada del 12% por cada 100ml de medio de contraste⁵. Es poca la información disponible específicamente para las angiografías de los miembros inferiores, en algunos centros se habla de una incidencia de 8.25% de los pacientes.⁵ Si bien el mecanismo fisiopatológico por el cual el medio de contraste causa lesión renal no ha sido elucidado aún, se conocen algunos efectos directos e indirectos.

La administración de medio de contraste lleva a un aumento de los radicales libres, adenosina y endotelina, así como una disminución del óxido nítrico y las prostaglandinas, estos cambios conllevan a una vasoconstricción, asociada a un influjo de calcio y la disminución del óxido nítrico, que posteriormente provoca una isquemia renal en la médula renal externa, esta tiene una presión parcial de oxígeno relativamente baja, por lo que, al combinarse con el aumento de los requerimientos metabólicos hace la médula

particularmente susceptible a efectos hemodinámicos isquémicos. El medio de contraste además genera una toxicidad específicamente sobre las células tubulares, llevando hacia una pérdida de la función, apoptosis y necrosis de estas.⁹

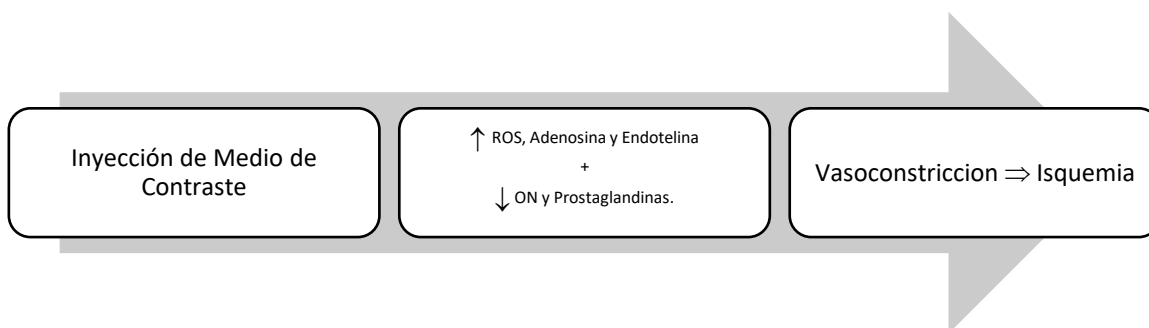


Ilustración 2. Fisiopatología de la Nefropatía Inducida por Contraste.

La excreción extrarenal de los medios de contraste es menor a 1% en paciente con función renal normal, lo que lleva a una excreción del 100% de este en 24 horas, mientras que, en pacientes nefrópatas la excreción puede tardar hasta 40 horas más.⁵

Clásicamente se ha conocido la nefropatía por contraste como el incremento en la concentración plasmática de creatinina de por lo menos 0.5mg/dL o un aumento de por lo menos un 25% del basal de 2 a 5 días después de la exposición.⁹ Sin embargo, en el 2012, el grupo KDIGO planteo una nueva definición basada en la creatinina plasmática, tomando ahora como diagnóstico un aumento de 1.5 veces el valor basal en los 7 días siguientes a la exposición al medio de contraste, un aumento de por lo menos 0.3mg/dL de creatinina sérica en las 48hrs siguientes a la exposición o una diuresis menor a 0.5cc por kilogramo de peso corporal por hora que persiste por al menos 6 horas después de la exposición al medio de contraste.¹⁰ Aunque la gran mayoría de las publicaciones utilizan la creatinina como marcador para la evaluación y seguimiento de la nefropatía por contraste, hay otros marcadores que se han medido que, basado en los estudios clínicos, han demostrado brindar mayor información con respecto a la severidad de la lesión renal. La cistatina C por ejemplo va a aumentar de manera más veloz que la

creatinina, principalmente por su menor tamaño y además porque esta molécula permanece en el espacio extracelular, por lo que no solo es un marcador temprano de lesión renal aguda, sino además brinda cierta predicción de la severidad. La creatinina sérica y la cistatina C se elevan conforme disminuye la tasa de filtración glomerular, el KIM-1 indica daño al túbulo proximal y el NGAL indicador de daño a la nefrona. Estos últimos dos marcadores no se utilizan para definir diagnóstico de lesión renal aguda porque son indicativos de lesión más que determinantes tempranos de procesos fisiopatológicos que llevan a lesión renal aguda.¹¹

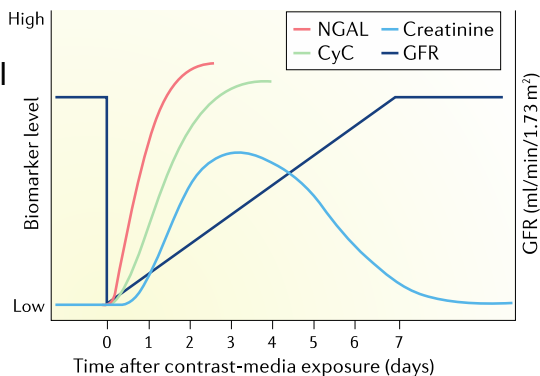


Ilustración 3. Biomarcadores dinámicos en la nefropatía inducida por contraste¹¹

Algunos de los factores de riesgo principales para el desarrollo de la nefropatía por contraste incluyen hipertensión, dislipidemia, falla cardíaca, edad avanzada, depleción de volumen, inestabilidad hemodinámica, uso concurrente de otros nefrotóxicos, y volúmenes altos de medio de contraste o el uso de medios de contraste hiper-osmolares. Sin embargo, de todos estos, el más importante es la enfermedad renal preexistente.¹⁰ La Diabetes Mellitus, si bien es citada en alguna bibliografía como factor de riesgo, estudios más recientes la catalogan como susceptibilidad ampliada.

De estos factores de riesgo antes mencionados, uno de los que habitualmente se observan en los centros hospitalarios es el uso concomitante de medicamentos nefrotóxicos. En esta categoría se pueden ubicar los AINES, aminoglucósidos, anfotericina B, diuréticos de asa y algunos antivirales.¹⁰

Se sabe que el desarrollo de una nefropatía por contraste va a generar mayor riesgo de muerte y hospitalización prolongada en los pacientes que la desarrollen, pero no como mecanismo causante. Existe evidencia clínica que no solo el aumento en la creatinina sérica, pero también los descensos (≤ 0.5 mg/dL) aportaban un mayor riesgo de

mortalidad, estas fluctuaciones en probable asociación a inestabilidad hemodinámica, disminución en la autoregulación renovascular o ambas¹².

Estrategias para la Prevención de la NIC

Recientemente se han investigado múltiples estrategias para la prevención de la nefropatía inducida por medios de contraste, estudiando tanto opciones farmacológicas como no farmacológicas.

El uso de la menor dosis de medio de contraste es de las opciones que mejor a prevenido el desarrollo de nefropatía por contraste. Distintos investigadores han descrito fórmulas útiles para el calculo de la dosis máxima de medio de contraste. Inicialmente se utilizó la proporción entre dosis (gramos de yodo) y tasa de filtración glomerular (TFG); al obtener una proporción menor a 1 el riesgo de nefropatía por contraste se describe alrededor del 3%, mientras que, con proporciones iguales o mayores a 1, este riesgo puede llegar hasta el 25%¹⁰.

Por otro lado, desde 1989, Cigarroa et al. describieron que esta proporción con el peso corporal también parece dar un adecuado volumen máximo de medio de contraste a utilizar, esto al recurrir, de manera empírica, a la fórmula $(5\text{ml de contraste} \times \text{Peso Corporal [Kg]}) \div \text{Creatinina Sérica}$.¹⁰ Con una dosis máxima de 300ml¹³. Este grupo estudió 115 pacientes durante 10 años, logrando evidenciar que la cantidad de medio de contraste utilizada, si tiene que ver con la incidencia de la nefropatía inducida por medios de contraste, principalmente en el grupo de pacientes diabéticos.¹⁴

Un grupo japonés, realizó un estudio multicéntrico, retrospectivo, en un grupo de pacientes con una TFG $<30\text{ml/min}/1.73\text{m}^2$ quienes fueron sometidos a una Intervención Coronaria Percutánea. Posteriormente estos fueron divididos en tres grupos: 1) Baja Dosis, Volumen de Contraste /TFG <1.0 ; 2) Dosis Media, Volumen de Contraste/TFG ≥ 1 y $<$ Máxima Dosis de Medio; 3) Dosis Alta, Volumen de Contraste \geq Máxima Dosis de Medio, si bien el estudio enroló únicamente 100 pacientes, sus resultados fueron

bastante claros con una incidencia de nefropatía por contraste de 0, 11 y 23% en respectivamente.²

Otro estudio español, que evaluó 940 pacientes con Síndrome Coronario Agudo sometidos a angiografía coronaria determinó que cada aumento de 0.1 en la proporción de medio de contraste/TFG se asoció a un aumento de 4.9% en el riesgo de desarrollar lesión renal aguda asociada a medio de contraste.¹⁵

La vía de administración del medio de contraste también ha sido inquirida, y parece que la administración arterial del medio de contraste representa mayor riesgo que la administración intravenosa, la cual genera un riesgo de nefropatía únicamente en un 4% de los casos.¹⁰

La selección del medio de contraste también ha sido analizada como uno de los posibles mecanismos para prevenir la nefropatía por contraste. Todos los medios de contraste tienen una estructura básica de un anillo de benceno triyodado, los átomos de yodo unidos a los carbonos 2, 4 y 6; mientras que los carbonos 1, 3 y 5 se unen a distintas cadenas que determinan la solubilidad, osmolalidad, unión a proteínas y algunos otros efectos adversos.¹³ Los medios de contraste iónicos se disocian en iones negativos y positivos, por lo tanto, los agentes iónicos contienen más partículas por mililitro llevando a una mayor osmolalidad comparado con los no iónicos, que no se disocian, pero tienen grupos hidroxilos polares que los tornan solubles en agua.

Los compuestos iónicos fueron los primeros en desarrollarse, estos tenían una osmolalidad muy alta, de hasta 5-8 veces la sérica. Al comenzar su aplicación clínica se evidenciaron efectos adversos que se asociaron a su alta osmolalidad. De ahí que se desarrollaron los agentes hipo-osmolares, los primeros producidos con dímeros iónicos y luego se desarrollan los no iónicos.

Se han considerado dos panoramas, el primero es el uso de medios hiper-osmolares versus iso o hipo-osmolares, mismo que ha sido prácticamente descartado y la evidencia

recae en literatura más antigua, la cual habla de un riesgo similar de nefrotoxicidad en paciente sin alteración renal previa, sin embargo, en paciente con enfermedad renal preexistente los medios de contraste hipo-osmolares representan un riesgo menor. En la actualidad la discusión se ha concentrado en la evaluación de medios iso-osmolares versus aquellos hipo-osmolares, en este caso la evidencia no es tan definitiva y se requieren mayor cantidad de estudios, aunque algunos de ellos han encontrado un riesgo mayor con el uso de iohexol al compararlo con iodixanol.

Ahora bien, existen además estrategias farmacológicas que se han estudiado, aunque los estudios en la mayoría de estas son poco conclusivos, algunas de ellas se utilizan de manera generalizada bajo recomendación de experto.

La administración de fluidos intravenosos permite una expansión del volumen extracelular para contrarrestar tanto las alteraciones hemodinámicas intrarenales, mediante la supresión de la vasopresina y la inhibición del eje renina-angiotensina-aldosterona. Contrapesando también los efectos tóxicos tubulares directos del medio, por dilución de este logrando así disminuir tanto su concentración como su viscosidad. El grupo de trabajo KDIGO en su última actualización del 2012 recomienda la expansión de volumen ya sea con cloruro de sodio isotónico o con bicarbonato de sodio, catalogándolo como recomendación 1^{a10}. Esto, aunque la evidencia derive de estudios observacionales, ya que la evidencia de estudios clínicos randomizados es escasa.

El Colegio Americano de Radiología recomienda el uso de solución salina isotónica en una infusión a 100mL por hora por 6 a 12hrs antes y 4 a 12 horas después de la angiografía.¹⁶

La N-Acetilcisteína ha sido objeto de múltiples estudios en los últimos años, si bien no hay estudios claros que demuestren su beneficio, su uso tampoco implica un riesgo inminente para el paciente por lo que su uso está recomendado en conjunto con la expansión de volumen por el grupo KDIGO, sin embargo, en este caso como recomendación 2D. El estudio PRESERVE comparó la administración de 1200mg cada

12h horas por 5 días contra placebo y no se encontraron disminuciones en la tasa de mortalidad, necesidad de diálisis ni persistencia de las alteraciones renales a los 90 días, al evaluar muerte, diálisis y un aumento del 50% de la creatinina.¹⁷

Mientras que la teofilina y el fenoldopam no han demostrado eficacia en estos casos por lo que su uso no está recomendado.

Las estatinas también se han estudiado más recientemente, esto con base en sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes. El estudio PROMISS no mostró diferencia entre la administración de simvastatina y placebo al comparar los niveles séricos de creatinina 48 horas después de la angiografía en pacientes con enfermedad renal crónica. Algunos otros estudios como el PRATO-ACS que comparó 40mg de rosuvastatina versus placebo si demostró una reducción significativa en las tasas de lesión renal aguda.¹⁸ Si bien hay muchas otras publicaciones, la mayoría cuentan con limitaciones técnicas, por lo que aún no hay una recomendación definitiva para su uso como prevención de lesión renal aguda, pero, usualmente los paciente sometidos a arteriografías ya tienen en su arsenal medicamentoso estas moléculas como parte del tratamiento crónico de su enfermedad de base.

Se quiso hacer un análisis de los estudios, no solo basados en los resultados de nefropatía inducida por contraste o no, sino más bien, el grado de deterioro de la creatinina posterior a la exposición a un medio de contraste yodado. El estudio de Martinez-Rico, et al, publicado en el 2017, en el que se estudiaron 163 pacientes sometidos a revascularización infrainguinal, a quienes se les administró un promedio de 37.43mL (± 22.3) evidenció que en los pacientes sin nefropatía previa ni Diabetes Mellitus, la creatinina sérica pasó de 86.4 μ mol/L (0.98mg/dL) prequirúrgica a 80.90 μ mol/L (0.91mg/dL). Mientras que, en los pacientes con nefropatía crónica pasó de 121.4 μ mol/L (1.37mg/dL) prequirúrgica a 129.50 μ mol/L (1.46mg/dL) (p 0.095).⁵ Demostrando así que el uso de dosis usuales de medio de contraste en pacientes nefrópatas, si aumenta el valor de la creatinina sérica sin llegar a tener significancia estadística.

El CO₂ como medio de contraste

Por otra parte, se cuenta con el CO₂ que funciona como un medio de contraste negativo, cuyas ventajas son su disponibilidad amplia, bajo costo, baja toxicidad y rápido aclaramiento por los tejidos. Hoy por hoy, una de las principales indicaciones para el uso del CO₂ es su uso en aquellos pacientes que presentan alto riesgo de desarrollar una nefropatía por medio de contraste. Otro de sus potenciales usos es en aquellos pacientes que presentan alergia al medio de contraste yodado, si bien algunas de estas reacciones pueden ser leves, otras de ellas pueden llegar hasta la anafilaxia contraindicando su uso en otras ocasiones. Por último, otro de los usos que se le ha dado al CO₂ como medio de contraste es al realizar angiografías que requieran valorar vasos distales a obstrucciones, redes colaterales pequeñas, sitios ocultos de sangrado del tracto gastrointestinal y visualización de las venas porto esplácnicas,⁶ esto gracias a la viscosidad ultra baja de este gas, permitiendo también su uso como guía durante del procedimiento (angioplastias con balón o despliegue de stents o endoprótesis). El uso del CO₂ también ha sido descrito en procedimientos que requieren grandes dosis de medio de contraste, aumentando así el riesgo de nefropatía, tal es el caso de intervenciones aórticas complejas que requieran prótesis fenestradas.

Algunas de las propiedades físicas o químicas que permiten el uso del CO₂ como medio de contraste son:⁶

1. No toxicidad ni reacciones alérgicas: gracias a que el CO₂ es un agente neutral natural no es nefrotóxico, hepatotóxico ni alergénico.
2. Aclaramiento intravascular rápido: la mayor parte del CO₂ es eliminado por los pulmones en un solo paso, se habla que 30mL de este gas se disuelven en 30-60 segundos. El CO₂ puede estar presente en el organismo en tres formas distintas:
 - a. Ácido Carbónico (H₂CO₃) – 68%: resultado de la conversión enzimática de agua (H₂O) + CO₂. La anhidrasa carbónica en el pulmón convierte este de vuelta a CO₂ para ser extraído por los capilares alveolares.
 - b. Compuestos Carbamino – 22%: predominantemente unidos a hemoglobina.

c. CO₂ Libre – 10%.

3. Flotabilidad: esto permite contrastar principalmente la porción anterior del vaso, lo que puede ser ventajoso en caso de querer estudiar ramas anteriores de cierto lecho, sin embargo, limita el contraste de ramas posteriores. Esta propiedad del CO₂ se pierde en aquellos vasos menores de 10mm porque las burbujas desplazan el 80% de la sangre del lumen. Así también permite optimizar la visualización de vasos distales (como los tibiales) al posicionar la mesa en Trendelenburg o elevando la extremidad 15-20 grados. El llenado de estos vasos distales se puede aumentar aún más al inyectar 100-200µg de nitroglicerina.
4. Viscosidad ultra baja y alta difusibilidad: permite una inyección manual con menor resistencia que el medio de contraste yodado convencional, incluso a través de catéteres pequeños.
5. Reflujo: al ser un gas permite el reflujo central desde el punto de administración, permitiendo valorar el ostium sin tener que retirar el catéter.
6. No miscibilidad y desplazamiento de fluidos: durante la inyección intravascular el CO₂ desplaza la sangre en lugar de mezclarse con esta, limitando la dilución progresiva permitiendo excelente visualización de venas centrales y otras estructuras vasculares grandes.
7. No color ni olor: esta es una propiedad poco deseada ya que impide visualizar cuando se está inyectando CO₂ puro o si está contaminado con otros gases.
8. Compresibilidad: como otros gases, el CO₂ se comprime, provocando que si el catéter no está bien purgado este pueda resultar en una inyección eruptiva.

Hay múltiples sistemas disponibles en la actualidad para permitir la entrega del CO₂, desde kits para inyección manual, sistemas de bolsa reservorio, sistemas portátiles hasta los sistemas más complejos y automatizados como el Angiodroid, fabricado en Italia, automatizado, amigable con el usuario y seguro.

El punto débil del CO₂ como medio de contraste es la susceptibilidad al movimiento del paciente, lo que se aumenta si se desean valorar vasos abdominales, principalmente si el paciente no colabora con la respiración.

Algunos de los efectos adversos de este medio de contraste negativo son náusea y vómitos que se asocian a atrapamiento pasajero de CO_2 en los vasos mesentéricos, esto es usualmente inocuo y auto limitado. De manera similar, pero en las extremidades inferiores, puede haber dolor tipo calambre en las piernas.

Otros efectos adversos más severos son por ejemplo los ocasionados por la contaminación del CO_2 , sus manifestaciones son las de un embolismo aéreo por lo que van a variar según el lecho afectado, siendo las más severas las de neurotoxicidad, principalmente al administrarlo intra arterial en vasos por encima del diafragma o del miembro superior, ya que por reflujo pueden ascender a la subclavia y embolizar hacia el SNC. Algunas terapias efectivas son las maniobras posicionales, oxígeno hiperbárico y la heparinización para prevenir la trombosis secundaria.

El bloqueo de vapor a nivel aórtico ocurre luego de múltiples inyecciones en áreas susceptibles como en aneurismas aórticos o aortas tortuosas, ocasionando un atrapamiento de CO_2 en la porción anterior evitando su aclaramiento. Esto se da por un equilibrio de los gases sanguíneos no solubles (N_2 y O_2 , principalmente) con la burbuja CO_2 atrapada. De obstruirse la mesentérica inferior, podría llevar a isquemia colónica. Este atrapamiento se puede dar no solo a nivel de la aorta

abdominal, sino también a nivel de las pulmonares, que tal como se discutió previamente, usualmente el gas se absorbe en 30 segundos, sin embargo, de darse este fenómeno, podría manifestarse clínicamente como un embolismo pulmonar masivo con hipoxia e hipotensión. El manejo en ese caso serían los cambios de posición a un decúbito lateral izquierdo y de no mejorar, la aspiración de la burbuja con un catéter guiado por fluoroscopia.

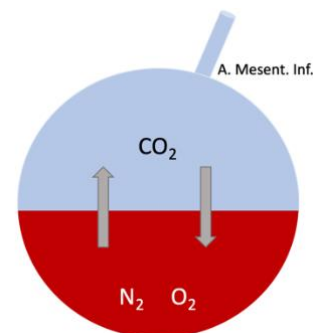


Ilustración 4. Distribución del CO_2 en el bloqueo de vapor a nivel

Por último, otra complicación severa es el ateroembolismo posterior a una inyección explosiva de CO₂, provocando el embolismo de porciones sueltas de la placa de ateroma hacia lechos distales.

Evidencia Actual

Son pocos los estudios publicados comparando estos dos procedimientos diagnósticos, y son aun menos aquellos randomizados con gran cantidad de pacientes.

En 2015, un centro alemán realizó un análisis retrospectivo de 191 pacientes ingresados para tratamiento endovascular por EAP¹⁹. Todos los pacientes con AEC menor a 60ml/min recibieron solución salina a 1ml/kg de peso 12 horas previo y posterior al procedimiento. Los pacientes seleccionados para arteriografía con CO₂ fueron aquellos con un AEC menor a 30ml/min con gasto urinario conservado, alergia al MCY, hipertiroidismo o preferencia del paciente. Y la única exclusión fue EPOC Gold IV. En todos los casos realizados con CO₂, los pacientes tenían las extremidades inferiores elevadas 10°.

De los 191 pacientes, 154 recibieron solo MCY, 33 recibieron MCY y CO₂ y solo 4 pacientes recibieron únicamente CO₂. En general se describe una adecuada tolerancia del paciente al CO₂, siendo la principal queja el dolor, que alivió de manera espontánea a los 20 segundos. Así también se describe un éxito técnico del 100% en los pacientes en quienes se utilizó MCY y CO₂.

Se describe un uso promedio de 113ml de MCY en arteriografía con MCY únicamente, en comparación con 34ml en aquellas híbridas. Se tuvo como consecuencia una Nefropatía Inducida por Contraste en 19% de los pacientes con MCY únicamente y en 5% de los pacientes a quienes se les realizó un estudio híbrido (en todos los casos hubo resolución completa con hidratación y ninguno de los pacientes requirió terapias de sustitución renal).

Llama la atención que, en pacientes con el mismo valor de creatinina inicial, aquellos diabéticos presentaron un riesgo de 25% para NIC, mientras que aquellos no diabéticos el riesgo fue de un 13%. Mientras que en el grupo que se utilizó CO₂, el riesgo de NIC fue de un 5% en diabéticos y un 6% en no diabéticos (mostrando una diferencia no significativa). Describen también una menor calidad de las arteriografías al realizarlas con CO₂, sin embargo, esto no generó una disminución en el porcentaje de procedimientos con éxito técnico. En este estudio se concluye que el CO₂ es útil para la prevención de NIC al utilizarlo de manera híbrida para disminuir la dosis de MCY.

También en el 2015, un grupo brasileño publicó un estudio prospectivo, randomizado, en el que se analizaron únicamente 21 pacientes con lesiones iliofemorales.²⁰ Randomizados a un grupo de arteriografía con CO₂ y otro con MCY. La inyección de ambos medios de contraste fue manual, y en el caso del MCY este se utilizó en una dilución de 3ml de MCY y 7ml de solución fisiológica. El protocolo de nefro protección incluía fluidoterapia y n-acetilcisteína, con monitorización de electrolitos y creatinina por 72hrs.

Así también las imágenes obtenidas fueron sometidas a una valoración por personal no involucrado al procedimiento y sin experiencia en arteriografía con CO₂, y fueron calificadas en una escala de 1 a 3, siendo 3 la mejor nota posible.

Del total de pacientes, 11 fueron sometidos a intervención con CO₂ y 10 a intervención con MCY. El porcentaje de éxito técnico fue de un 90% y 90.9% respectivamente. Con solo un fallo técnico en cada grupo. El promedio de MCY utilizado en dicho grupo fue de 34.25ml. En 4 pacientes (36.4%) del grupo de CO₂ fue necesario utilizar MCY para completar el procedimiento, y se utilizó un promedio de 6.5ml. No hubo cambios significativos en la creatinina sérica postquirúrgica en ninguno de los dos grupos. Se evidenció un descenso en la creatinina sérica de los pacientes del grupo de CO₂ y en el grupo de MCY no se evidenciaron cambios, sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

Así tampoco se encontró diferencia entre los tiempos quirúrgico de ambos grupos. Ahora bien, con respecto a la calidad de las imágenes, todas las obtenidas con CO2 recibieron una puntuación de 2 y 3 por ambos observadores, con alta concordancia entre ellos, mientras que todas las obtenidas con MCY recibieron una puntuación de 3.

Además, en ese mismo año, un grupo japonés hizo una publicación relacionada al uso de CO2 en la angiografía. En este caso se trata de un estudio prospectivo, multicéntrico. En el que se estudiaron 98 pacientes con un AEC menor a 60ml/min y en con ERC-3.²¹ Se describe un éxito técnico de un 97.9%. Se requirió el uso suplementario de MCY con un promedio de 15ml. Se reportó una incidencia de NIC de un 5.1% y un 2% de complicaciones severas relacionadas al CO2.

El más reciente estudio publicado al respecto se trata de un estudio egipcio, prospectivo, no randomizado, publicado en 2022.²² En este se analizan 206 pacientes con creatininas séricas basales superiores a 1.5mg/dL, excluyendo aquellos en estadio 5, quienes presentan isquemia crítica y requirieron arteriografía con CO2 con el uso suplementario o no de MCY. Se excluyeron aquellos pacientes con EPOC (sin describir su estadio), hipertensión pulmonar, ERC-5, pacientes no aptos para anestesia regional, embarazadas y pacientes pediátricos. El protocolo incluía el cese de todos los medicamentos nefrotóxicos y el inicio de estatinas. También contemplaba la administración de solución salina isotónica a 1ml/kg/hr y N-Acetilcisteína 600mg cada 12hrs iniciados el día antes y por 3 días posteriores al procedimiento.

Todos los procedimientos de realizaron con anestesia espinal y con un equipo angiográfico móvil. Se realizaron inyecciones seriadas de CO2, si en algún caso, la imagen obtenida no era técnicamente satisfactoria después de dos intentos, se administraba una inyección con MCY (1ml de MCY en 9ml de Solución Salina). Los pacientes tenían una elevación de 10° de sus extremidades inferiores y para mejor opacificación de los vasos tibiales, se administró 150-200µg de nitroglicerina. Los pacientes fueron vigilados en hospitalización por, al menos, 3 días posterior al procedimiento.

Para el análisis de los resultados, se definió un éxito técnico como la reinstauración de un flujo lineal al pie con estenosis menores al 30%. Se definió NIC como el aumento del 25% o un aumento de más de 0.5mg/dl en el nivel de creatinina sérica basal a las 72 horas de la intervención.

Del total de pacientes 77.2% fue sometido a arteriografía con CO2 únicamente y 22.8% a arteriografía híbrida. La dosis promedio de MCY en aquellos pacientes sometidos a arteriografía híbrida fue de 11.8ml. Es interesante el hecho que un 76.2% de aquellos pacientes con lesiones por debajo de la rodilla requirieron el uso de MCY suplementario para el procedimiento. Anotan un éxito técnico de un 96.2% en el grupo de CO2 únicamente y de un 93.6% de aquellos sometidos a arteriografía híbrida. No obstante, acá se debe tener en consideración el hecho que el MCY se utilizó después de dos intentos de visualización por CO2, por lo que, es probable que la dificultad técnica de estas lesiones fuera mayor y ese menor éxito técnico en arteriografía híbridas no esté asociado al MCY sino más bien a las características técnicas de la lesión.

No hubo muertes ni complicaciones sistémicas mayores y solo 1 paciente (0.5%) requirió amputación mayor.

En el grupo sometido a arteriografía híbrida, no se evidenció un cambio significativo en el nivel de creatinina posterior al procedimiento y solo dos pacientes (4.3%) mostraron datos transitorios de NIC.

Se reconoce en las conclusiones de este estudio las limitaciones técnicas del CO2 y la menor calidad de las imágenes al compararlas con aquellas con MCY, así también concluyen que el uso de dosis suplementarias de MCY (11.8ml promedio en este estudio) no afectó la función renal postquirúrgica en estos pacientes.

CONCLUSIONES

Basado en la evidencia actual analizada en este escrito, se sabe que una dosis baja de medio de contraste en pacientes con nefropatía crónica no dependientes de diálisis puede ser utilizada de manera segura sin perjudicar la función renal basal del paciente y permitiendo así un diagnóstico y tratamiento óptimo de la lesión vascular.

Los estudios disponibles y evaluados acá son estudios pequeños; de estos, solo uno es multicéntrico y solo uno es aleatorizado, por lo que la calidad de la información disponible sobre el tema no permite la toma de decisiones o la creación de protocolos de manejo; antes bien, genera espacio para la realización de estudios con mejores características y continuar la investigación en este campo. Lastimosamente, no se encontraron estudios ni protocolos que indiquen cual es la dosis máxima que se pueda utilizar de manera segura en estos pacientes.

Se sabe que el porcentaje de cambio en el valor de la creatinina al comparar el basal de cada paciente y su valor a las 72 horas posterior a la exposición al MCY no presentó una variación que fuera estadísticamente significativa, al menos es los estudios analizados.

Solo en dos estudios analizados de evaluó la calidad de la imagen obtenida con CO₂ y con MCY, si bien la diferencia no fue estadísticamente significativa, si se describió como una menor calidad en aquella con CO₂, lo que llevó en muchas ocasiones a requerir el uso de MCY.

Por lo tanto, lo que se puede extraer de la evidencia actual es que la tecnología disponible actualmente para la realización de arteriografías con CO₂ no permite su uso exclusivo para el diagnóstico y tratamiento de los pacientes con patología vascular, principalmente infragenicular. Por lo que, se podría utilizar como un suplemento para reducir la cantidad total de MCY utilizado en estos pacientes y preservar así tanto la función renal como la extremidad a tratar al manejarlos con arteriografía híbridas.

REFERENCIAS

1. Conte, M., et al. (2019). *Global vascular guidelines on the management of chronic limb-threatening ischemia*. Journal of Vascular Surgery, 69, 3S-104S.
2. Ogata, N. et al. (2014). *Safety margin of minimized contrast volume during percutaneous coronary intervention in patients with chronic kidney disease*. Japanese Association of Cardiovascular Intervention and Therapeutics
3. Bargman, J. Skorecki, K. (2012). *Nefropatía Crónica* en Longo, D. et al. (Ed.), Harrison Principios de Medicina Interna (18 ed., Vol 2., 2308-2321). McGraw Hill.
4. Rivera-Chavarría, A. Méndez-Chacón, E. (2016). *Mortalidad y egresos hospitalarios por enfermedad renal crónica compatibles con enfermedad crónica de causas no tradicionales, Costa Rica*. Acta Médica Costarricense, 58(1), 1-14. Epub March 01, 2016. Retrieved April 12, 2020, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022016000100001&lng=en&tlng=es.
5. Martínez-Rico, C. et al. (2017). *Contrast-Induced Nephropathy: Fact or Fiction in Lower Limb Revascularisation?* Annals of Vascular Surgery. doi: 10.1016/j.avsg.2017.03.193.
6. Sharafuddin, M. Marjan, A. (2017). *Current status of carbon dioxide angiography*. Journal of Vascular Surgery. Volume 66, Number 2
7. Norgren, L. et al. (2007). *Inter-society consensus for the management of peripheral arterial disease (TASC II)*. J Vasc Surg;45:S34.
8. Sommerset, J. et al. (2019). *Plantar Acceleration Time: A Novel Technique to Evaluate Arterial Flow to the Foot*. Ann Vasc Surg; 1-7
9. Mehran, R. Dangas, G. Weisbord, S. (2019). *Contrast-Associated Acute Kidney Injury*. N Engl J Med 2019;380:2146-55. DOI: 10.1056/NEJMra1805256
10. Kellum, J. et al. (2012) *Kidney Disease Improving Global Outcomes (KDIGO). Clinical practice guideline for acute kidney injury*. Kidney Int Suppl 2012;2:1-138.
11. Föhling, M. et al. (2017). *Understanding and preventing contrast-induced acute kidney injury*. doi:10.1038/nrneph.2016.196 Published online 31 Jan 2017

12. Lassnigg, A. et al. (2004). *Minimal changes of serum creatinine predict prognosis in patients after cardiothoracic surgery: a prospective cohort study*. J Am Soc Nephrol; 15:1597-605.
13. Aoun et al. (2018). *Maximum Allowable Contrast Dose and Prevention of Acute Kidney Injury Following Cardiovascular Procedures*. Curr Opin Nephrol Hypertens; 27(2): 121–129. doi:10.1097/MNH.0000000000000389.
14. Cigarroa, R. et al. (1989). *Dosing of Contrast Material to Prevent Contrast Nephropathy in Patients with Renal Disease*. The American Journal of Medicine (86) p. 649-652.
15. Raposeiras-Roubín, S. et al. (2013). *Dosing of iodinated contrast volume: a new simple algorithm to stratify the risk of contrast-induced nephropathy in patients with acute coronary syndrome*. Catheter Cardiovasc Interv Off J Soc Card Angiogr Interv; 11 15;82(6):888–97.
16. American College of Radiology (ACR) Committee on Drugs and Contrast Media. (2016). *Manual on contrast media*, version 10.2.
17. Weisbord, SD. et al. (2018). *Outcomes after angiography with sodium bicarbonate and acetylcysteine*. N Engl J Med.;378:603-1
18. Leoncini, M. et al. (2014). *Early high-dose rosuvastatin and cardio- protection in the protective effect of rosuvastatin and antiplatelet therapy on contrast-induced acute kidney injury and myocardial damage in patients with acute coronary syndrome (PRATO-ACS) study*. Am Heart J;168:792-7.
19. Stegemann, E et al. (2015). *Carbondioxide-Aided Angiography Decreases Contrast Volume and Preserves Kidney Function in Peripheral Vascular Interventions*. Angiology; 1-7.
20. Mendes, CA. et al. (2015). *Carbon dioxide contrast medium for endovascular treatment of ilio-femoral occlusive disease*. Clinics;70(10):675-679
21. Fujihara, M. et al. (2015). *Endovascular Therapy by CO2 Angiography to Prevent Contrast-Induced Nephropathy in Patients With Chronic Kidney Disease: A Prospective Multicenter Trial of CO2 Angiography Registry*. Catheterization and Cardiovascular Interventions 85:870–877

22. Taha, A et al. (2022). *Safety and Efficacy of Hybrid Angiography in Chronic Lower Extremity Ischemia Patients at Risk of Contrast-Induced Acute Kidney Injury*. *Vasc & Endovac Surg*. 56; 180-189
23. van der Molen et al. (2018). *Post-contrast acute kidney injury. Part 2: risk stratification, role of hydration and other prophylactic measures, patients taking metformin and chronic dialysis patients*. *Eur Radiol*; 28:2856–2869