

Reducción en el uso de contraste mediante la aplicación del *Dynamic Coronary Roadmap* en la angioplastia coronaria

Reduction in Contrast Use through the Application of the Dynamic Coronary Roadmap in Coronary Angioplasty

MARCELO A. ABUD¹, FACUNDO VILLA¹, IGNACIO L. PAGANINI¹, JAVIER CÓGGIOLA¹, JUAN P. DE BRAHI¹
INSTITUTO CARDIOVASCULAR SAN GERÓNIMO - SERVICIO DE TERAPÉUTICA ENDOVASCULAR

RESUMEN

Antecedentes: La nefropatía inducida por contraste es una complicación relevante de la intervención coronaria percutánea (ICP), especialmente en pacientes con comorbilidades. El Dynamic Coronary Roadmap (DCR) es una herramienta innovadora que optimiza la navegación intravascular y podría reducir el consumo de contraste sin comprometer la seguridad del procedimiento.

Objetivos: Evaluar el impacto del uso de DCR en la reducción del volumen de contraste durante la ICP en un centro de Argentina.

Materiales y métodos: Se realizó un estudio retrospectivo unicéntrico que incluyó 480 pacientes consecutivos entre enero de 2024 y diciembre de 2024 sometidos a ICP. Se compararon dos grupos: ICP guiada por DCR (n=201) e ICP guiada por angiografía convencional (n=279). Se evaluó el volumen total de contraste utilizado, la exposición a radiación y la variación de creatinina sérica.

Resultados: El grupo DCR presentó una reducción significativa en el volumen de contraste utilizado en comparación con el grupo control: mediana (rango intercuartílico, RIC) de 120 ml (90-158) vs. 140 ml (100-200), p=0,007. La reducción promedio, ajustada por edad, sexo y complejidad del procedimiento, fue de 37,3 ml por paciente (IC95% 24,3 a 50,5 ml; p<0,001). No se observaron diferencias significativas en la función renal post procedimiento ni en la exposición a radiación.

Conclusiones: El uso de DCR durante la ICP se asoció con una reducción significativa en el volumen de contraste sin afectar la seguridad del procedimiento. Estos hallazgos, relevantes en el contexto regional, podrían tener un impacto positivo en la seguridad del paciente y en la optimización de costos en cardiología intervencionista.

Palabras clave: Intervención coronaria percutánea - Nefropatía inducida por contraste - Exposición a medios de contraste - Dynamic Coronary Roadmap; Radiación ionizante - Seguridad del paciente.

ABSTRACT

Background: Contrast-induced nephropathy is a significant complication of percutaneous coronary intervention (PCI), especially in patients with comorbidities. Dynamic Coronary Roadmap (DCR) is an innovative tool that optimizes intravascular navigation and could reduce contrast consumption without compromising the safety of the procedure.

Objective: The aim of this study was to evaluate the impact of DCR use on contrast volume reduction during PCI at a center in Argentina.

Methods: A single-center retrospective study was conducted including 480 consecutive patients undergoing PCI between January 2024 and December 2024. Two groups were compared: DCR-guided PCI (n=201) and conventional angiography-guided PCI (n=279). The total volume of contrast used, radiation exposure, and serum creatinine variation were evaluated.

Results: The DCR group showed a significant reduction in contrast volume used compared with the control group: median (interquartile range, IQR) of 120 ml (90-158) vs. 140 ml (100-200), p=0.007. The average reduction, adjusted for age, sex, and procedure complexity, was 37.3 mL per patient (95% CI 24.3-50.5 mL; p<0.001). No significant differences were observed in post-procedure renal function or radiation exposure.

Conclusions: The use of DCR during PCI was associated with a significant reduction in contrast volume without affecting the safety of the procedure. These findings, which are relevant in the regional context, could have a positive impact on patient safety and cost optimization in interventional cardiology.

Key words: Percutaneous coronary intervention - Contrast-induced nephropathy - Contrast media exposure - Dynamic Coronary Roadmap - Ionizing radiation - Patient safety.

REV ARGENT CARDIOL 2025;93:358-363. <https://doi.org/10.7775/rac.es.v93.i5.20941>

Recibido: 24/08/2025 Aceptado: 05/10/2025

Dirección para correspondencia: Marcelo A. Abud - Correo electrónico: abudmarceloangel@gmail.com



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

©Revista Argentina de Cardiología

¹ Servicio de Terapéutica Endovascular Instituto Cardiovascular San Gerónimo

INTRODUCCIÓN

En la última década, el perfil de los pacientes sometidos a una intervención coronaria percutánea (ICP) ha cambiado considerablemente. Cada vez es más frecuente tratar pacientes con aterosclerosis avanzada, revascularización coronaria previa y anatomía coronaria de mayor complejidad. Además, estos pacientes suelen presentar comorbilidades sistémicas, como disfunción renal crónica o diabetes, que aumentan la complejidad del procedimiento y elevan el riesgo de complicaciones asociadas.

En este contexto, la necesidad de optimizar el uso de contraste iodado ha cobrado especial relevancia dado que en cantidades elevadas puede provocar una lesión renal aguda, conocida como nefropatía inducida por contraste (NIC). Esta entidad se asocia con mayor morbimortalidad, mayor duración de la hospitalización y un aumento significativo en los costos de atención. Si bien la NIC es un fenómeno multifactorial, la cantidad de contraste utilizada durante la ICP se ha identificado como uno de los principales factores de riesgo, lo que ha llevado a la búsqueda de nuevas estrategias para minimizar su uso sin comprometer la eficacia diagnóstica y terapéutica del procedimiento.

Para abordar esta problemática, se han desarrollado herramientas que optimizan el uso de contraste durante la ICP. Entre ellas, el Dynamic Coronary Roadmap (DCR) aparece como una solución innovadora. Este *software* proyecta en tiempo real una imagen de referencia de la anatomía coronaria sobre la fluoroscopia. De este modo, el DCR genera un mapa dinámico y automatizado de las arterias coronarias, superpuesto a la imagen de fluoroscopia en vivo, lo que permite guiar los dispositivos (guías, balones y stents) de forma más eficiente y segura con menor utilización de contraste. La factibilidad técnica del DCR ya ha sido evaluada en estudios previos. En un análisis de 936 casos, la calidad de la superposición anatómica con la angiografía fue considerada “apta para uso” en el 99,5% de los casos, con baja variabilidad inter e intraobservador. Estos hallazgos respaldan la confiabilidad de la tecnología para su integración en la práctica clínica. (1)

El presente estudio se propone evaluar el impacto del uso del DCR en la utilización de contraste durante la ICP en un centro de Argentina. A pesar de la evidencia internacional que respalda su eficacia, la experiencia local reportada es limitada, lo que justifica la necesidad de generar datos específicos para nuestra realidad sanitaria. Los hallazgos de este estudio podrían facilitar la adopción de esta tecnología en los centros de cardiología intervencionista del país, con implicancias directas en la seguridad del paciente, la eficiencia operativa y la optimización de recursos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo unicéntrico y retrospectivo analiza la base de datos del Servicio de Terapéutica Endovascular del Instituto Cardiovascular San Gerónimo (Santa Fe, Santa Fe),

que recopila información desde 2017. La base permite un seguimiento sistemático a 30 días y anual, con monitoreo de las características de la población y los resultados técnicos y clínicos. Se analizan datos demográficos, antecedentes cardiovasculares, procedimientos realizados y evolución clínica. El consumo de contraste, registrado en el Informe Radiológico que se confecciona en cada paciente que ingresa a la sala de Hemodinamia, incluye la cantidad utilizada y las dosis de radiación. En procedimientos que combinan cinecoronariografía e ICP, se desagrega el consumo de contraste y radiación por cada intervención.

Población de estudio

Se incluyeron en el análisis los pacientes consecutivos sometidos a ICP entre enero y diciembre de 2024, los cuales fueron clasificados según que el procedimiento realizado fuera guiado por DCR (grupo DCR) o mediante angiografía convencional (grupo control). En todos los casos se utilizaron al menos 25 ml de contraste y las inyecciones se realizaron de forma manual. Se excluyeron únicamente los casos con shock cardiogénico al ingreso (tensión arterial sistólica <100 mmHg, frecuencia cardíaca >100 lpm, mala perfusión distal que requiriera fármacos inotrópicos o dispositivos de asistencia circulatoria mecánica) o aquellos en que se trataron únicamente lesiones en ramas laterales sin compromiso de las arterias coronarias principales. No se aplicaron otros criterios de exclusión.

Todos los procedimientos fueron realizados por el mismo equipo de operadores con experiencia en intervencionismo coronario, en la misma sala de Hemodinamia y el mismo sistema angiográfico (Azurion 3 M15, Philips).

Definiciones

Se considera *ICP compleja* aquella que involucra el tratamiento de múltiples vasos, el abordaje del tronco de la arteria coronaria izquierda no protegido, la intervención sobre un puente venoso, el manejo de una bifurcación verdadera o el tratamiento de lesiones con calcificación severa que requieran técnicas de ablación de calcio o lesiones trombóticas. La *ICP ad hoc* se define como aquella que se realiza de forma inmediata tras la cinecoronariografía diagnóstica, mientras que la *ICP planificada* se lleva a cabo en una intervención programada en un momento posterior a la cinecoronariografía. La nefropatía inducida por contraste (NIC) se definió como un incremento $\geq 0,5$ mg/dL o $\geq 25\%$ de la creatinina sérica basal dentro de las 48–72 horas posteriores al procedimiento.

Desenlaces

El objetivo principal de este estudio fue evaluar si el uso de DCR reduce el volumen total de contraste en las ICP. Los objetivos secundarios fueron analizar la cantidad total de radiación utilizada por ICP en cada grupo, como así también evaluar la función renal post-ICP según el uso o no de DCR.

Análisis estadístico

Las variables cualitativas se expresan como porcentajes y se evaluaron por medio del test de chi-cuadrado. Las variables cuantitativas fueron sometidas a test de normalidad (test de Kolmogorov-Smirnoff o el test de Shapiro-Wilk según corresponda, y se emplearon mediciones de parámetros del histograma: asimetría y curtosis). Aquellas variables que cumplieron con criterios de normalidad se expresaron como media \pm desviación estándar (DE), y de lo contrario, como mediana y rango intercuartílico (RIC).

Las características demográficas, clínicas y procedimentales basales se compararon utilizando la prueba t o la prueba U de Mann-Whitney para las variables continuas según su

distribución, y la prueba de Chi-cuadrado o la prueba exacta de Fisher para las variables categóricas. Se estableció un nivel de significancia bilateral de 0,05 para todos los análisis.

Las diferencias en el desenlace primario (consumo total de contraste) como así también en el desenlace secundario se evaluaron mediante el test-t o el test U de Mann-Whitney dependiendo de la distribución de las mismas y la varianza. Mediante regresión lineal se evaluó el impacto del uso de DCR ajustado por variables confundidoras: edad, sexo, vaso intervenido y complejidad de la ICP.

RESULTADOS

Se incluyeron en el presente análisis 480 casos de pacientes tratados con ICP entre enero y diciembre de 2024, de los cuales 201 fueron guiados por DCR (41,8%), y 279 por angiografía (58,2%).

Las variables demográficas se detallan en la Tabla 1. No se observan diferencias significativas en términos de edad y sexo, aunque los pacientes del grupo DCR presentaron mayor prevalencia de dislipidemia.

En la Tabla 2 se reportan los datos del procedimiento. No existieron diferencias significativas entre ambos grupos en el tipo de procedimiento (ICP ad-hoc vs ICP programada), ni en el vaso tratado. Sí existió una diferencia significativa en proporción de ICP complejas en la rama DCR en comparación con el grupo control (39,6% vs. 17,6%, $p < 0,001$).

Consumo de contraste

Se observó una reducción significativa en el uso de contraste en el grupo DCR (medianas de 120 ml vs. 140 ml, $p = 0,007$) (Figura 1). Como se detalla en la Tabla 3, esta diferencia se mantiene incluso al estratificar los datos según el tipo de procedimiento y la complejidad de la ATC. Estos hallazgos, ajustados por sexo, edad y complejidad del procedimiento mediante un modelo de regresión lineal, confirman una reducción promedio de 37,3 ml (IC95%-50,5 -24,3ml, $p < 0,0001$) de contraste por paciente en el grupo DCR.

Tabla 1. Variables basales

VARIABLES	GRUPO DCR (n = 201)	GRUPO CONTROL (n = 279)	p
Edad (años)	69 (62-75)	68 (60 - 75)	0,170
Sexo masculino	78,8	75	0,819
IMC (kg/m ²)	28 (23-31)	28 (22-31)	0,887
Diabetes mellitus	23,8	21,6	0,596
Dislipemia	79,7	67,3	0,006
HTA	84,9	86,1	0,723
ICP previa	32,1	30,7	0,779
FEVI < 30%	2	2,6	0,951
Creatinina basal (mg/dL)	0,88 (0,78-1,0)	0,90 (0,73-1,0)	0,084

DCR: Dynamic Coronary Roadmap; FEVI: fracción de eyección ventricular izquierda; HTA: hipertensión arterial; ICP: intervención coronaria percutánea; IMC: índice de masa corporal.

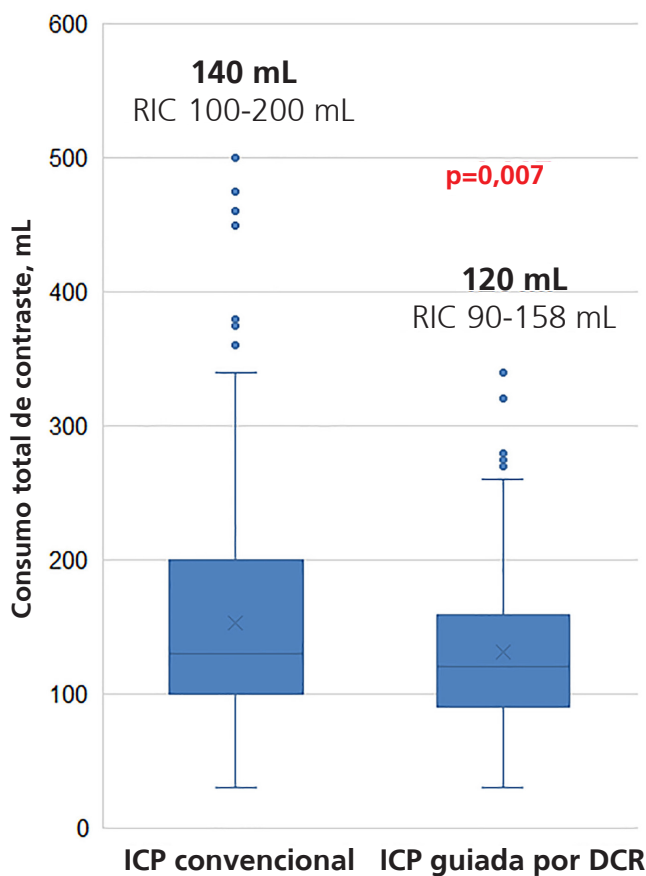
Las variables continuas se presentan como mediana (rango intercuartilico) y las categóricas como porcentaje.

Tabla 2. Variables basales

VARIABLES	GRUPO DCR (n = 201)	GRUPO CONTROL (n = 279)	p
Tipo de procedimiento			
ICP ad-hoc	58,1	53,1	0,306
ICP programada	41,9	46,9	
Vaso tratado			
TCl	4,1	7,6	0,195
DA	41,9	37,1	
CX	25,6	33,1	
CD	25	25,7	
ICP compleja	39,6	17,6	

CD: arteria coronaria derecha; Cx: arteria circunfleja; DA: arteria descendente anterior; DCR: Dynamic Coronary Roadmap; ICP: intervención coronaria percutánea; TCl: tronco de arteria coronaria izquierda

Las variables categóricas se presentan como porcentaje

Fig. 1. Consumo de contraste según el empleo de DCR

ICP: intervención coronaria percutánea; DCR: Dynamic Coronary Roadmap; RIC: rango intercuartílico

Tabla 3. Radiación, dosis de contraste y evolución de la función renal según el uso o no de DCR

	Grupo DCR (n = 201)	Grupo control (n = 279)	p
Contraste total, ml	120 (90-158)	140 (100-200)	0,007
Contraste en ICP, ml	100 (70-140)	120 (80-180)	0,001
PDA, Gy.cm ²	41,7 (25,3-68)	45,5 (27,7-69,7)	0,846
Kerma, mGy	517 (299-824)	514 (315-801)	0,567
Delta de Cr, mg/dL	0,10 (0-0,02)	0,10 (0,01-0,2)	0,813

Cr: creatinine; DCR: Dynamic Coronary Roadmap; ICP: intervención coronaria percutánea
Las variables se expresan como mediana (rango intercuartílico)

Desenlaces secundarios

Se analizó la exposición a la radiación durante cada procedimiento, expresada en términos de Kerma (indicador de cantidad de radiación emitida y recibida en el campo de trabajo, medido en Gy) y Producto dosis – área (PDA; es una magnitud dosimétrica que expresa la cantidad total de radiación emitida hacia el paciente y se mide habitualmente en Gy·cm².), sin observarse diferencias significativas entre ambos grupos (Tabla 3). En cuanto a la función renal, dado su relación directa con el uso de medio de contraste, se evaluó la variación

de la creatinina sérica (Δ Cr), comparando los valores previos al procedimiento con los registrados antes del alta. No se encontraron diferencias significativas entre los grupos

DISCUSIÓN

Hasta donde sabemos, este es el primer estudio en nuestra región que evalúa el impacto del uso del Dynamic Coronary Roadmap (DCR) en la reducción del volumen de contraste en procedimientos de ATC.

Nuestros hallazgos proporcionan evidencia relevante sobre la aplicabilidad de esta tecnología en una población no seleccionada, con comorbilidades significativas y anatomías coronarias complejas.

Las principales observaciones fueron: a) una reducción significativa en el uso de contraste en el grupo DCR (medianas de 120 ml vs. 140 ml; $p=0,007$); b) ajustando por edad, sexo, tipo de procedimiento y complejidad de la ATC, se observó una reducción promedio de 37,3 ml por paciente; c) no se observaron diferencias significativas en la función renal post-procedimiento ni en la exposición a radiación.

La realización de procedimientos complejos en pacientes con comorbilidades y anatomías desafiantes implica riesgos que deben minimizarse. Entre ellos, la nefropatía inducida por contraste (NIC) es una de las principales preocupaciones, con una incidencia $\leq 1\%$ en pacientes sin factores de riesgo, (1,2) pero que puede ascender al 10–30% en pacientes con diabetes y/o enfermedad renal crónica tras una angiografía. (3,4)

El hallazgo de reducción en la necesidad de contraste con el empleo de DCR es consistente con otros reportes de la literatura. (5-8). El ensayo randomizado multicéntrico DCR4Contrast demostró reducciones significativas en volumen de contraste y número de adquisiciones angiográficas. (9,10) Asimismo, dos metaanálisis recientes confirmaron que el uso de DCR se asocia a menor volumen de contraste y tiempo de fluoroscopia, sin comprometer la tasa de éxito del procedimiento. (11,12)

Estudios recientes sobre técnicas de ATC con bajo contraste destacan la integración de DCR como parte de estrategias más amplias para minimizar la nefrotoxicidad. (13,14) Además, revisiones recientes y guías internacionales confirman la relevancia de la NIC y enfatizan la necesidad de estrategias preventivas. (15-18)

Si bien en nuestra cohorte no se observaron diferencias significativas en la variación de la creatinina sérica, la reducción de contraste respalda el potencial del DCR para mitigar efectos adversos. Un metaanálisis de siete estudios (2020–2024) reportó menor incidencia de NIC en pacientes sometidos a ATC guiada por DCR (OR 0,50; IC95% 0,27–0,93). (11) Asimismo, tecnologías complementarias, como los sistemas de modulación de contraste, han mostrado impacto en la reducción del uso de contraste y en la incidencia de AKI. (19)

En entornos con recursos limitados, la implementación del DCR puede representar un desafío inicial en términos de inversión tecnológica. Sin embargo, su potencial para reducir el consumo de contraste, mejorar la eficiencia del procedimiento y disminuir complicaciones renales podría compensar estos costos a mediano plazo. La disponibilidad progresiva de consolas integradas en sistemas de angiografía modernos podría favorecer su adopción regional, especialmente en centros con alto volumen de procedimientos.

Nuestro estudio presenta limitaciones: al ser observacional, persiste el riesgo de sesgo pese al ajuste multivariable, lo cual limita establecer una relación

causal definitiva; además, el tamaño muestral puede no ser suficiente para detectar diferencias en desenlaces infrecuentes como la NIC.

A pesar de estas limitaciones, nuestros resultados aportan evidencia útil en un contexto regional, donde las características poblacionales y el acceso a tecnologías avanzadas pueden condicionar la implementación de innovaciones. Además de sus implicancias clínicas, la reducción del volumen de contraste tiene potenciales beneficios económicos, ya que la NIC se asocia a mayores costos hospitalarios. (20) La optimización de recursos y la mejora en la seguridad del paciente se alinean con las políticas de salud pública orientadas a reducir la morbilidad asociada al cateterismo y a mejorar la eficiencia en la atención cardiovascular.

Cabe mencionar que la adopción del DCR en nuestro centro ocurrió de manera progresiva durante el primer trimestre de 2024. No se observaron diferencias significativas en los volúmenes de contraste a lo largo del tiempo, lo que sugiere una rápida curva de aprendizaje del equipo y una integración estable de la herramienta en la práctica diaria.

CONCLUSIONES

El uso de DCR durante la ICP se asoció con una reducción significativa en el volumen de contraste sin afectar la función renal ni aumentar la exposición a radiación. Estos hallazgos, consistentes con la literatura previa, aportan evidencia local relevante en un contexto donde la variabilidad socioeconómica y el acceso a tecnologías avanzadas pueden influir en la práctica clínica. La reducción en el consumo de contraste no solo tiene implicancias en la seguridad del paciente, sino también en la optimización de costos y recursos sanitarios, alineándose con estrategias de salud pública destinadas a mejorar la eficiencia y reducir la morbilidad asociada al cateterismo.

Declaración de conflictos de intereses

(Véase formularios de conflictos de interés de los autores en la Web)

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Financiamiento

Este trabajo no recibió financiamiento específico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Piayda K, Kleinebrecht L, Afzal S, Bullens R, Ter Horst I, Polzin A, et al. Dynamic coronary roadmapping during percutaneous coronary intervention: a feasibility study. *Eur J Med Res* 2018;23:36. <https://doi.org/10.1186/s40001-018-0333-x>
2. Wilhelm-Leen E, Montez-Rath ME, Chertow G. Estimating the risk of radiocontrast-associated nephropathy. *J Am Soc Nephrol* 2017;28:653-9. <https://doi.org/10.1681/ASN.2016010021>
3. Aspelin P, Aubry P, Fransson SG, Strasser R, Willenbrock R, Berg KJ, et al. Nephrotoxic effects in high-risk patients undergoing angiography. *N Engl J Med* 2003;348:491-9. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa021833>
4. Rudnick MR, Davidson C, Laskey W, Stafford JL, Sherwin PF;

- VALOR Trial Investigators. Nephrotoxicity of iodixanol versus ioversol in patients with chronic kidney disease: the Visipaque Angiography/Interventions with Laboratory Outcomes in Renal Insufficiency (VALOR) trial. *Am Heart J* 2008;156:776-82. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2008.05.023>
5. Hong WY, Kabach M, Feldman G, Jovin IS. Intravenous fluids for the prevention of contrast-induced nephropathy in patients undergoing coronary angiography and cardiac catheterization. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 2020;18:33-9. <https://doi.org/10.1080/14779072.2020.1724537>
6. Yabe T, Muramatsu T, Tsukahara R, Nakano M, Takimura H, Kawano M, et al. The impact of percutaneous coronary intervention using the novel dynamic coronary roadmap system. *Heart Vessels* 2020;35:323-30. <https://doi.org/10.1007/s00380-019-01502-1>
7. Bendary A, Mahmoud D, Attia A, Elrabbat K. Value of the new dynamic coronary roadmap system in percutaneous coronary intervention for patients with chronic coronary syndrome. *Iran Heart J* 2023;24:34-41.
8. Hirano S, Yabe T, Oka Y, Kojima Y, Aikawa H, Noike R, et al. Clinical outcomes of patients with chronic kidney disease undergoing percutaneous coronary interventions with a novel Dynamic Coronary Roadmap system. *Int Heart J* 2023;64:823-31. <https://doi.org/10.1536/ihj.23-213>
9. Quast C, Phinicarides R, Afzal S, Veulemans V, Klein K, Berisha N, et al. Roadmap fusion imaging in percutaneous coronary intervention reduces contrast medium exposure irrespective of investigator's experience level. *J Invasive Cardiol* 2024;36:1-8. <https://doi.org/10.25270/jic/23.00203>
10. Hennessey B, Danenberg H, De Vroey F, Kirtane AJ, Parikh M, Karpaliotis D, et al. Dynamic Coronary Roadmap versus standard angiography for percutaneous coronary intervention: the randomised, multicentre DCR4Contrast trial. *EuroIntervention* 2024;20:e198-206. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-23-00460>
11. Behnouch AH, Ramandi A, Mahajan S, Altibi A, Samavarchiteh-rani S, Gupta R. Dynamic coronary roadmap in percutaneous coronary intervention: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cardiovasc Disord* 2024;24:681. <https://doi.org/10.1186/s12872-024-04350-8>
12. Hennessey B, Messenger JC, Kirtane AJ, Parikh M, Danenberg H, De Vroey F, et al. Rationale and design of the Dynamic Coronary Roadmap for Contrast Reduction (DCR4Contrast) randomized controlled trial. *Am Heart J* 2023;263:151-8. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2023.04.004>
13. Al Hayek M, Beshr IA, Beshr MS. Dynamic coronary roadmap-guided PCI reduces contrast volume and radiation time: a meta-analysis. *Heliyon* 2025;11:e41557. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41557>
14. Shabbir A, Ali Z, Colletti G, Dudek D, Garbo R, Hellig F, et al. Ultra-low-contrast PCI: structured approach including DCR. *JACC Cardiovasc Interv* 2025;18:123-34. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2024.11.043>
15. Azzalini L, Kalra S. Contrast-Induced Acute Kidney Injury—Definitions, Epidemiology, and Implications. *Interv Cardiol Clin* 2020;9:299-309. <https://doi.org/10.1016/j.iccl.2020.02.001>
16. American College of Radiology. ACR Manual on Contrast Media. Version 2024. Reston, VA: ACR; 2024.
17. European Society of Urogenital Radiology (ESUR). ESUR Guidelines on Contrast Agents. Version 10.0. 2018.
18. Modi K, Hennessey T. Contrast-Induced Nephropathy. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [updated 2024].
19. Mehran R, Faggioni M, Chandrasekhar J, Angiolillo DJ, Bertolet B, Jobe RL, et al. Effect of a Contrast Modulation System on contrast use and AKI after coronary angiography. *JACC Cardiovasc Interv* 2018;11:1601-10. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2018.04.007>
20. Šüva M, Kala P, Poloczek M, Kaňovský J, Štípal R, Radvan M, et al. Contrast-induced acute kidney injury and its contemporary prevention. *Front Cardiovasc Med*. 2022;9:1073072. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1073072>