

CURSO BIANUAL
SOCIEDAD ARGENTINA DE CARDIOLOGÍA
CICLO 2023-2024

TEMA:

Seguridad y eficacia de la litotricia intravascular en estenosis coronaria calcificada grave como coadyuvante al tratamiento convencional con angioplastia.

Número de inscripción: 82

Año 2024

Índice

1. Introducción:	2
2. Metodología	4
3. Desarrollo	5
3.1 Mecanismos de la calcificación coronaria	5
3.2 Evaluación de la calcificación coronaria	8
3.2.1 Angiografía coronaria por tomografía computarizada (CTCA)	9
3.2.2 Tomografía de coherencia óptica (OCT)	10
3.2.3 Angiografía coronaria	10
3.2.4 Ultrasonido intravascular (IVUS)	11
3.3 Tratamiento convencional con Angioplastia coronaria	13
3.3.1 La angioplastia en calcificación coronaria grave	14
3.3.2 Seguridad y eficacia de la angioplastia	14
3.4 Litotricia Intravascular Coronaria	15
3.5 Seguridad y eficacia de la Litotricia en Arterias Coronarias Graves	17
3.5.1 IVL en comparación de otras técnicas	22
3.5.2 Complicaciones asociadas	23
3.6 Eficacia según el tipo de lesión coronaria	24
3.6.1 Lesiones excéntricas y concéntricas	24
3.6.2 Nódulo calcificado	25
3.6.3 Lesiones calcificadas largas	25
3.6.4 Estenosis de bifurcación calcificada	25
3.6.5 Stents subexpandidos	26
4. Discusión	27
5. Conclusiones	30
5.1 Recomendación:	31
6. Referencias bibliográficas	32
7. Imágenes y tablas	37
8. Glosario de términos	43
9. Agradecimiento	44

1. Introducción:

Se ha evidenciado un aumento progresivo en los depósitos de calcio a nivel arterial en la mayoría de las personas que sobrepasan los 60 años. La calcificación vascular abarca distintas patologías como hipertensión, estenosis arteriales, hipertrofia

cardiaca, isquemia de miocardio, insuficiencia cardiaca congestiva y compromiso integral vascular dando como resultado un aumento en la morbilidad y mortalidad. La gravedad y extensión de la mineralización reflejan la carga de placa aterosclerótica y predicen de manera fuerte e independiente la morbilidad y mortalidad cardiovascular (1).

En las arterias coronarias, los depósitos de calcio debilitan las respuestas vasomotoras y alteran la estabilidad de la placa aterosclerótica, dependiendo del tamaño y la distribución de los depósitos. Los depósitos grandes reducen la tensión circunferencial en la placa adyacente y que los depósitos pequeños aumentan la tensión en sus bordes esto lleva a un desajuste de distensibilidad que puede promover fallas mecánicas debido a la concentración de estrés en las interfaces de los depósitos de calcio con los componentes más blandos de la placa (1).

La calcificación de la arteria coronaria es altamente prevalente en pacientes con enfermedad coronaria y se asocia con eventos cardiovasculares adversos importantes. Hay dos tipos de calcificaciones siendo la íntima y medial, pero cada uno de ellos tiene factores de riesgo específicos. Se han propuesto varias teorías sobre el mecanismo de la calcificación vascular y actualmente creemos que la calcificación vascular es un proceso activo y regulado (2).

Con la ayuda de la Angiografía Coronaria por Tomografía Computarizada (CTCA), la Ecografía Intravascular (IVUS) y la Tomografía de Coherencia Óptica (OCT), la detección de la Calcificación Coronaria Grave (CAC) ha mejorado enormemente, pero la calcificación de la (CAC) aumenta significativamente la dificultad de la Intervención Coronaria Percutánea (PCI) (1). El tratamiento de las lesiones calcificadas incluye balones modificados (marcadores o cortantes) y la aplicación de Aterectomía Rotacional (AR). La (AR), un método complejo que utiliza una fresa con punta de diamante puede fracturar eficazmente la placa de calcio mediante la rotación de alta velocidad de su fresa y luego actuar selectivamente sobre el tejido calcificado, lo que resulta en la reducción de volumen de las placas de calcio. La (AR) es un procedimiento técnicamente exigente que depende de la experiencia del operador, y la seguridad de la (AR), ha mejorado con la experiencia acumulada y la maduración de la técnica (3-4).

En particular, aquellos con lesiones calcificadas moderada y grave han sido excluidos de la inscripción en la mayoría de los ensayos de stents y todavía representan un desafío para los cardiólogos intervencionistas, por muchas razones. La calcificación coronaria puede impedir la colocación y el despliegue del stent, lo que provoca una

expansión insuficiente, una mala aposición o un daño directo a la superficie del stent (incluido el polímero), lo que podría afectar la administración del fármaco. Aunque la aterectomía facilita la expansión del stent, el grado de modificación del calcio está limitado por el sesgo de la guía y puede estar asociado con complicaciones periprocedimiento que incluyen flujo lento, falta de reflujo, disección coronaria, perforación e Infarto de miocardio (IM) (5-6).

En varios resultados de estudios clínicos se demostró ampliamente que cuanto mayor es el arco, la longitud o el espesor del calcio, mayor será la probabilidad de una subexpansión del stent, lo que termina en un incremento de eventos isquémicos que entre los principales serían reestenosis y trombosis del stent en 1 año. Por datos obtenidos recientes a largo plazo son de gran interés ya que estos han demostrado a largo plazo a 10 años después de la (PCI) con *Drug Eluting Stent* (DES) de nueva generación, lo cuales evidenciaban un aumento de eventos adversos según el grado de calcificación coronaria y que la presencia de lesiones muy calcificadas era un predictor independiente de mortalidad. con un pronóstico similar después de la (PCI) o Cirugía de Revascularización Coronaria (CABG) (6).

El procedimiento de IVL incorpora principios utilizados para transmitir energía acústica para el tratamiento de la nefrolitiasis (es decir, litotricia extracorpórea) evaluándose como complemento de la colocación de stent coronario en estudios no aleatorizados relativamente pequeños de un solo grupo, que han demostrado altas tasas de éxito del dispositivo con excelentes resultados angiográficos tempranos y clínicos tardíos. Aunque estos informes proporcionan evidencia preliminar de efectividad y seguridad, así como información sobre el mecanismo de modificación del calcio, están limitados por un tamaño de muestra pequeño. Con el siguiente de análisis de estudio que tengan gran potencia estadística, se valorará la eficacia y seguridad para mejorar el tratamiento convencional en el despliegue del stent en pacientes que presenten estenosis coronarias de novo gravemente calcificadas (6).

2. Metodología

Se realizó una búsqueda bibliográfica extensa para realizar recopilación de información sobre litotricia en arterias coronarias calcificadas graves (CAC) a la vez

que discernir sobre artículos que evalúen la litotricia como método alternativo coadyuvante para tratamiento, así como eventos descritos post procedimiento relacionados a la enfermedad (CAC).

Para la elaboración del presente trabajo se dispuso a la búsqueda de bibliográfica, incluyendo artículos originales, estudios observacionales, multicéntricos, reporte de casos, revisiones, registros y diferentes publicaciones en su gran mayoría internacionales.

Se emplearon bases de datos electrónicas como la biblioteca nacional de medicina de los Estados Unidos (*Pubmed*), *Medline*, *Google Scholar*, *Scielo*, *Cochrane Library*, como también archivos de las principales revistas de cardiología a nivel internacional.

Se aplicaron restricciones de lenguaje a español e inglés. No se aplicaron restricciones de fechas.

Se utilizaron como parámetros de búsqueda los siguientes términos en inglés y sus equivalentes en español: "*Lithotripsy*", "*Calcified Coronary Artery*" and "*Severely Calcified Coronary ArteryDisease*"

Al ser una técnica que se encuentra en estudios que al momento solo se han escrito artículos con resultados preliminares de su eficacia y seguridad, aún están siendo evaluados para poder instaurarse como método de intervención cardiaca como parte de tratamiento convencional, por lo que hay estudios de poca población, aun en seguimiento y completando todos los requisitos para indicar su eficacia y seguridad ya sea a corto y largo plazo. Lo que conlleva a que no hay literatura con una amplia población intervenida y a su vez evaluada su seguridad a largo plazo. Estos fueron alguno de los obstáculos en la búsqueda bibliografía por lo que se tomó en consideración el uso ensayos no randomizados y opiniones de expertos.

3. Desarrollo

3.1 Mecanismos de la calcificación coronaria.

El calcio de las arterias coronarias graves (CAC) se reconoce actualmente como un predictor independiente e incremental de eventos en pacientes con riesgo intermedio

de enfermedad de las arterias coronarias, y varias pautas respaldan la detección selectiva en estos pacientes. También se han encontrado pruebas preliminares en sujetos de alto riesgo, como pacientes diabéticos y fumadores, donde la CAC parece añadir importancia pronóstica a los factores de riesgo. Hay dos tipos de calcificaciones siendo la íntima y medial, pero cada uno de ellos tiene factores de riesgo específicos (2-7).

Los factores de riesgo para la formación de lesiones coronarias calcificadas abarcan una serie de condiciones y hábitos que contribuyen al desarrollo de placas ateroscleróticas y calcificación coronaria. La hipercolesterolemia y dislipidemia, caracterizadas por niveles elevados de colesterol LDL, se relacionan con la formación de placa aterosclerótica y la calcificación coronaria. La hipertensión arterial aumenta la carga de trabajo del corazón y daña las paredes arteriales, favoreciendo la acumulación de placas y la calcificación. El tabaquismo, como factor modificable clave, agrava la inflamación, la formación de placas y la vulnerabilidad de estas a la ruptura, incrementando el riesgo de eventos cardiovasculares agudos. La diabetes tipo 2, la obesidad y el síndrome metabólico promueven la inflamación crónica y la disfunción endotelial, facilitando la calcificación vascular. La predisposición genética también desempeña un papel, al igual que los antecedentes familiares de enfermedad coronaria, ambos asociados con un mayor riesgo de calcificación coronaria. La falta de actividad física regular y un estilo de vida sedentario también aumentan el riesgo cardiovascular, mientras que el ejercicio regular ayuda a controlar los factores de riesgo y a reducir la progresión de la enfermedad coronaria. (2-5-6-7).

La calcificación arterial puede ocurrir tanto en la capa íntima como en la medial. En la íntima, la enfermedad aterosclerótica se caracteriza por la formación de placas fibrograsas. Se pensaba que la calcificación se producía en una fase avanzada del curso de la enfermedad. Sin embargo, utilizando ultrasonido intravascular, la aterosclerosis también puede ser una lesión circunferencial (sin una luz obstruida) con calcificación en una fase más temprana del curso de la enfermedad (8).

La capa medial también puede verse afectada, lo que lleva a un engrosamiento de la capa medial de las arterias elásticas más grandes, lo que resulta en arteriosclerosis de las arterias elásticas más pequeñas, clásicamente descrita como calcificación de Mönckeberg o calcinosis medial. (8- 9). Esta enfermedad de los vasos pequeños es más común en pacientes con diabetes, insuficiencia renal y envejecimiento avanzado y se asocia con un aumento de la mortalidad cardiovascular y por todas las causas en

pacientes diabéticos sin enfermedad renal crónica (ERC) y en pacientes con ERC con y sin diabetes (9).

Las manifestaciones clínicas de la calcificación vascular dependen de la ubicación dentro de la pared arterial y del tejido perfundido. La calcificación aterosclerótica de la íntima puede provocar un infarto de miocardio por estenosis y trombos agudos, o isquemia tanto en las arterias coronarias como en las periféricas. La calcificación medial o circunferencial puede provocar una distensibilidad reducida debido al endurecimiento arterial, lo que resulta en una vasodilatación alterada durante la isquemia que, en teoría, podría provocar arritmias y muerte súbita. Con la calcificación medial (arteriosclerosis) de la aorta, habrá un aumento de la velocidad de la onda del pulso, por aumento de la presión del pulso y en consecuencia hipertensión sistólica. Por último, la calcificación de las arteriolas de la piel y otros órganos puede provocar calcifilaxis e intestino isquémico (10).

La calcificación arterial se puede demostrar por radiología simple, así como por los métodos de tomografía computarizada (TC) que incluyen Tomografía computarizada por haz de electrones (EBCT) y TC multicorte (espiral) y por ecografía. Desafortunadamente, excepto para la ecografía intravascular, ninguna de estas técnicas puede distinguir la calcificación de íntima de calcificación medial. Los métodos basados en TC se usan para la investigación clínica, ya que permiten la cuantificación. La puntuación de calcificación de la arteria coronaria es proporcional al riesgo de mortalidad cardiovascular que tiene el paciente tanto en la población general como en la enfermedad renal crónica (ERC) (9). La edad sigue siendo el predictor de la enfermedad de las arterias coronarias, pero a la vez muchos otros factores de riesgo clínico se han implicado en la patogénesis de la calcificación. La calcificación de la arteria coronaria aumenta su prevalencia y gravedad entre los pacientes con ERC en comparación a la población general, por lo que los pacientes con ERC han proporcionado el sustrato para estudios sobre su patogénesis (9-10).

El mecanismo de la calcificación arterial es muy complejo, pero muchos de los investigadores coinciden que primero hay una desdiferenciación o transformación de las células del músculo liso vascular (VSMC) a un fenotipo osteoblasto-condrocítico. Las VSMC tiene como origen una célula madre mesenquimatosa similar a la de los osteoblastos; estos últimos ocurren con una regulación positiva del factor de transcripción alfa-1 (Cbfa-1), ahora llamado factor de transcripción relacionado con Runt 2 (RUNX2) o mshhomeobox 2 (MSX-2). Luego, estas células realizan lo que un osteoblasto normal que es secretar proteínas de la matriz. Hemos demostrado que

existe una mayor expresión de RUNX2 mediante hibridación in situ en áreas adyacentes a la calcificación de la íntima y la capa medial de la arteria epigástrica inferior obtenida de pacientes en hemodiálisis en asociación con proteínas de la matriz "ósea". Hay una serie de señales múltiples que inducen a esta transformación de la siguiente manera: Una vez que se establece la matriz, estas células mineralizan la matriz mediante la secreción de vesículas de matriz o mediante apoptosis. El fósforo y el calcio aumentan el potencial mineralizante de estas vesículas de matriz (9-11).

Las lesiones estables coronarias tienden a tener mayor asociación con mayor cantidad de calcio que las lesiones inestables, esto interfiere con la intervención coronaria percutánea. Estas lesiones coronarias inestables se relacionan con depósitos locales de calcio que podrían estar relacionados con la rotura de la capa fibrosa y los nódulos calcificados son una de las morfologías de la placa vulnerable. Este tipo de pacientes tienden a tener mayor riesgo de aumento de la calcificación coronaria.

3.2 Evaluación de la calcificación coronaria.

El cribado de la enfermedad coronaria clínicamente silente representa un reto para la salud. Ya que más de la mitad de los eventos coronarios iniciales, dentro de esta incluida la muerte súbita, tienen a desarrollarse en personas asintomáticas. El cálculo del riesgo cardiovascular en escalas a 10 años debe ser la herramienta inicial que nos ayude a determinar cuál será el siguiente escalón en la evaluación clínica y decidir sobre la necesidad de instaurar medidas preventivas en sujetos asintomáticos. La cuantificación de calcio coronario (CCC) permite valorar el depósito de calcio en las arterias coronarias y ha demostrado ser una herramienta útil para estratificar el riesgo cardiovascular. Actualmente, las recomendaciones para el uso de la CCC en pacientes asintomáticos se limitan a los que presentan un riesgo estimado intermedio y a aquellos de los que no se dispone de datos suficientes para dirigir la posterior estrategia terapéutica (12).

La CAC no sólo se asocia de forma independiente con la enfermedad coronaria de sujetos asintomáticos, sino que también tiene importancia pronóstica en pacientes con enfermedad coronaria conocida y ha demostrado en múltiples estudios de ultrasonido intravascular que el número promedio de depósitos de calcio dentro de un arco de < 90 grados por paciente fue significativamente mayor en pacientes con infarto agudo de miocardio (IAM) que con angina estable. Por el contrario, los depósitos de calcio fueron significativamente más prolongados en pacientes con angina estable, en contraste con el patrón típico de calcificación irregular en el IAM. En estudios se

encontraron que el volumen de CAC se asociaba positiva e independientemente con los riesgos de enfermedad coronaria y enfermedad cardiovascular. Sin embargo, en cualquier nivel de volumen de CAC, la densidad de CAC se correlacionó inversamente con los riesgos de enfermedad coronaria y enfermedad cardiovascular (13).

3.2.1 Angiografía coronaria por tomografía computarizada (CTCA)

Es la principal herramienta no invasiva para detectar lesiones calcificadas. En CTCA, CAC se utiliza ampliamente para cuantificar CAC. La CAC fue descrita por primera vez por Agatston, es uno de los métodos más utilizados para evaluar la carga aterosclerótica coronaria. Las puntuaciones de Agatston se dividieron en tres grupos: una CAC entre 0 y 100, 101 a 400 y más de 400. Y una CAC > 400 tiene importantes implicaciones pronósticas en grupos de pacientes específicos. El estudio de de Araujo, et al, había demostrado que había una diferencia significativa en la puntuación CAC entre pacientes con dolor torácico atípico con y sin diabetes mellitus [68 (0–311) comparado con (0–67), $P < 0,001$] En adultos asintomáticos (> 40 años) con diabetes, la medición de CAC es razonable para la evaluación del riesgo cardiovascular. Aquellos con CAC > 100 tenían entre 2 y 5 veces mayor riesgo de sufrir un evento agudo de enfermedad coronaria en el seguimiento a corto plazo. En estudios observacionales a gran escala, CAC agregó valor pronóstico en la predicción de muerte cardíaca e infarto de miocardio, especialmente en pacientes con riesgo intermedio de eventos (2-14).

La investigación también demostró que CAC tiene una relación positiva con el ECG y la aterosclerosis y una mayor incidencia de lipoproteínas elevadas. Lo más importante es que CAC desempeña un papel importante en la reclasificación de personas con riesgo intermedio de enfermedad coronaria. Esto es crucial ya que la mayoría de los eventos cardiovasculares ocurren en individuos con riesgo intermedio, y las intervenciones para reducir el riesgo entre individuos con alto riesgo están mejor establecidas que entre aquellos con riesgo intermedio (2). La medición de CAC es razonable para la evaluación del riesgo cardiovascular en adultos asintomáticos con riesgo intermedio de enfermedad coronaria (10% a 20%, riesgo a 10 años). El área bajo las curvas de características operativas del receptor mostró el valor incremental de CAC y CTCA para predecir MACE, 0,71 para factores de riesgo clínicos, que mejoró a 0,82 al agregar CAC y mejoró aún más a 0,93 al agregar CTCA (ambos $P < 0,001$). Por lo tanto, la evaluación de CAC y la ATC coronaria tienen valor pronóstico y tienen un valor incremental sobre los factores de riesgo de rutina para Eventos

Cardiovasculares Adversos Mayores (MACE), y la CTCA es superior a la CAC sola. Hay más estudios que confirman el valor pronóstico de la Angioplastia Coronaria Transluminal (ATC) cardíaca. Pero la CTCA no se recomienda para la evaluación del riesgo cardiovascular en adultos asintomáticos (2-14).

3.2.2 Tomografía de coherencia óptica (OCT)

Tiene un papel importante en el campo de la cardiología ya que es una herramienta valiosa en la evaluación de la enfermedad coronaria calcificada grave. Valorando como las arterias coronarias se vuelven estrechas o al igual que obstruirse por el acumulo de placa lo que deriva en dolor anginoso posterior infarto dando complicaciones graves. La OCT tiene una alta sensibilidad y especificidad para identificar CAC (15).

La evaluación de la enfermedad coronaria grave toma varios aspectos, entre estos la visualización de placa aterosclerótica ya que al proporcionar imágenes claras de alta resolución permitiendo visualizar las capas internas de las arterias coronarias. E incluso dilucidar la composición de la placa aterosclerótica, como la presencia de depósitos de lípidos, calcificación, trombos y capas fibrosas, siendo un pilar para determinar el riesgo de posibles eventos cardiovasculares graves y definir el tipo de tratamiento a seguir (15-16).

Es útil en la medición más precisa de la capa fibrosa de la placa, si la capa es delgada se asocia con un mayor riesgo de ruptura junto con eventos cardiovasculares agudos, como es el caso del infarto de miocardio. se puede también tener una evaluación más completa de la anatomía de la lesión coronaria, incluyendo diámetros, morfología y ubicación de la estenosis o la placa. Muy útil en la planificación en tiempo real del tratamiento médico intervencionista al permitir la visualización directa de la lesión coronaria y la colocación precisa del stent. Luego de la revascularización coronaria como el caso de la angioplastia con colocación de stent la OCT puede valorar el resultado del tratamiento por medio de imágenes de alta resolución de la arteria coronaria intervenida y del stent coronario (16).

3.2.3 Angiografía coronaria

Es muy frecuente que la cantidad de calcio coronario no se logre identificar mediante angiografía coronaria y no se logre evaluar la profundidad dentro de la placa. En la calcificación severa se entiende como radiopacidad observada sin movimiento

cardíaco, como una doble vía visible en ambos lados de la luz arterial. En un estudio realizado por Mintz et al, la sensibilidad de la angiografía para detectar la presencia de calcio en la lesión diana fue del 48% en comparación con la IVUS, y fue la más baja en aquellas lesiones con calcio en un cuadrante y la más alta (85%) en las lesiones con calcio de cuatro cuadrantes. La especificidad general de la detección angiográfica del calcio en la lesión diana fue del 89%. La menor capacidad mostrada por la angiografía coronaria para identificar placas calcificadas fue confirmada recientemente en un estudio donde se detectó calcio mediante angiografía en sólo el 40,2% de las lesiones. En ese estudio, la IVUS detectó cualquier cantidad de calcio en el 82,7% de las lesiones y la OCT en el 76,8% de las lesiones. Curiosamente, cualquier desacuerdo entre la angiografía coronaria y la IVUS/OCT se debió a depósitos finos de calcio que se demostró que no inhibían la expansión del stent. Por este motivo, a pesar del menor rendimiento diagnóstico intrínseco mostrado por la angiografía, el calcio visible angiográficamente (calcio espeso) parece ser un buen marcador para predecir la infraexpansión del stent (5) Figura 3 (39).

3.2.4 Ultrasonido intravascular (IVUS)

La ecografía intravascular (IVUS) es la primera tecnología basada en catéter utilizada para la obtención de imágenes intravasculares, introducida por Yock et al. en la década de 1980. Esta tecnología ofrece una resolución relativamente baja en comparación con otras herramientas de imágenes (es decir, OCT) pero una mayor profundidad de penetración. Su resolución axial es de 100 a 150 μm y la resolución lateral es de 150 a 300 μm para 40 MHz, mientras que, para 60 MHz, oscila entre 40 a 60 μm y 60 a 140 μm para resoluciones axial y lateral, respectivamente. Estas características de resolución no son óptimas cuando se trata de evaluar placas superficiales o resultados de ICP subóptimos. En el análisis IVUS, el calcio es hiperecogénico, más brillante que la adventicia de referencia, con sombras; por esta razón no se puede detectar el espesor del calcio (17-18).

Este patrón característico también podría ser compartido en parte por las placas fibrosas, pero el calcio produce reverberaciones distintivas a distancias reproducibles, especialmente después del tratamiento con técnicas ablativas. El análisis semicuantitativo es posible mediante la evaluación del arco de calcio y la longitud del calcio. Desde un punto de vista cualitativo, el calcio puede describirse como superficial (sombra acústica ubicada dentro del 50% más superficial de la placa y el espesor de

los medios) o profundo (sombra acústica dentro del 50% más profundo de la placa y el espesor de los medios) (17-18).

Es interesante destacar que se ha utilizado una puntuación de calcio basada en IVUS para identificar estenosis calcificadas con riesgo de expansión insuficiente del stent y que requieren una modificación complementaria del calcio antes de la implantación del stent. Las características que hay que tomar en cuenta en la de la placa calcificada cómo toma como corte ángulo de calcio superficial > 270°, diámetro de la placa mayor que 0.5 mm, un nódulo calcificado. Dadas las limitaciones de la interpretación visual cualitativa de las imágenes IVUS en escala de grises, se han desarrollado varios métodos de posprocesamiento para optimizar la caracterización del tejido de la placa coronaria, como VH-IVUS (histología virtual), iMAP-IVUS (iMap-Intravascular Ultrasound Radiofrequency Signal Analysis), o IB-IVUS (retrodispersión integrada). La identificación de nódulos calcificados representa un paso importante durante la evaluación morfológica de la placa, ya que su tratamiento es difícil y está relacionado con complicaciones del procedimiento. Las características de IVUS de un nódulo calcificado son una forma convexa en la superficie luminal, una forma convexa en el lado luminal del calcio y una superficie luminal irregular. La identificación de microcalcificaciones intraplaca rara vez es posible mediante IVUS y esto representa una limitación importante, ya que se ha sugerido que las microcalcificaciones en las capas fibrosas de los fibroateromas pueden aumentar el estrés tisular local y promover la ruptura de la placa inducida por cavitación (15-19).

La selección adecuada de los pacientes para someterse a litotricia coronaria es crucial para garantizar la seguridad y eficacia del procedimiento. Los criterios de inclusión varían según la experiencia del operador, las características del paciente y la complejidad de la lesión coronaria. Algunos de los criterios de inclusión se toman para su beneficio como calcificación coronaria severa que no responde adecuadamente a técnicas convencionales de angioplastia, como la dilatación con balón. También en presencia de lesiones coronarias calcificadas resistentes que presentan dificultades para la expansión del stent o la adecuada liberación del fármaco pueden beneficiarse de la litotricia. Se considera la litotricia en pacientes sintomáticos con lesiones coronarias calcificadas que presentan angina de pecho refractaria u otros síntomas isquémicos a pesar del tratamiento médico óptimo (20-21).

La litotricia puede ser apropiada en lesiones coronarias calcificadas complejas, como las que involucran bifurcaciones, ostias de rama lateral o lesiones calcificadas cerca de la anastomosis de un stent previo. Pero siempre requieren de una evaluación

adecuada de la anatomía coronaria mediante angiografía coronaria y, en algunos casos, técnicas de imagen intravascular, como la tomografía de coherencia óptica (OCT) o la ecografía intravascular (IVUS), (imagen 1) (19), para seleccionar lesiones apropiadas para la litotricia (20-21-22-23).

3.3 Tratamiento convencional con Angioplastia coronaria

La angioplastia coronaria, con o sin colocación de stent, es el tratamiento convencional de elección para lesiones coronarias, incluyendo aquellas con calcificación grave. La angioplastia implica la dilatación de la arteria estenosada u ocluida utilizando un balón inflable en el extremo de un catéter, permitiendo la restauración del flujo sanguíneo adecuado en las arterias coronarias y mejorando los resultados clínicos en pacientes con enfermedad coronaria compleja (24).

Para decidir realizar una angioplastia coronaria, se consideran una variedad de criterios anatómicos, clínicos y de imagen. Entre los criterios anatómicos se tiene que evaluar la extensión y localización de la calcificación coronaria, se evalúa la cantidad y distribución de la calcificación en las arterias coronarias mediante técnicas de imagen como la angiografía coronaria y la tomografía computarizada (TC) cardíaca. La calcificación grave que causa una estenosis significativa o que impide la expansión adecuada con balón puede ser un indicador para la angioplastia. Lesiones coronarias largas con calcificación grave pueden ser más difíciles de tratar con angioplastia y pueden requerir técnicas adicionales modernas. También se debe evaluar la morfología de la lesión, incluida la presencia de bifurcaciones, tortuosidad, oclusión total o disección, que pueden influir en la estrategia de tratamiento (25).

Criterios Clínicos para considerar, es la presencia y la gravedad de los síntomas del paciente, como dolor de pecho (angina) o síndromes coronarios agudos, que pueden indicar la necesidad de revascularización coronaria de manera urgente o programada. Tener en cuenta evaluar la respuesta al tratamiento médico óptimo posterior al tratamiento de angioplastia, la falta de control es un indicador para la revascularización coronaria. Los factores de riesgo cardiovascular modificables como la hipertensión, la diabetes, el tabaquismo y el colesterol alto también hay que evaluarlos para la decisión de tratamiento (22-25).

Se debe hacer uso de las técnicas de imagen para saber las características de la calcificación y definir su gravedad como la TC cardíaca, OCT y IVUS para evaluar la extensión, la densidad y la composición de la calcificación, lo que puede ayudar a prever la respuesta al tratamiento y a seleccionar la estrategia más adecuada.

Además, que se puede evaluar la lesión después del procedimiento para definir la eficacia del tratamiento y la dilatación adecuada de la arteria después de la angioplastia. (22-25).

3.3.1 La angioplastia en calcificación coronaria grave

La angioplastia coronaria en lesiones con calcificación grave busca restaurar el flujo sanguíneo adecuado al corazón, al fraccionar y dilatar la placa de calcificada. La angioplastia con balón y la colocación de stents ayudan a mantener la arteria abierta y a prevenir la recurrencia de la obstrucción, lo que mejora la perfusión coronaria y alivia los síntomas del paciente. Primero se debe realiza una evaluación exhaustiva de la lesión coronaria mediante angiografía coronaria en ocasiones usando técnicas de imagen avanzadas como la tomografía computarizada (TC) cardíaca para caracterizar la extensión y la composición de la calcificación (25-26).

Se debe comprender la técnica de la angioplastia en CAC. Hay que preparar la lesión, se utilizan dispositivos especializados como el atherectomy rotacional (rotablator) o el corte con láser para preparar la lesión y fraccionar la placa calcificada. Estos dispositivos rompen y debilitan la placa calcificada, facilitando la dilatación con balón y la colocación de stents (25-26).

La Angioplastia con Balón se realiza introduciendo un catéter guía en la arteria coronaria y se avanza hasta el sitio de la lesión. Luego, se infla un balón en el extremo del catéter en el área de la calcificación para comprimir la placa y expandir la arteria, restaurando así el flujo sanguíneo adecuado. En muchos casos, se coloca un stent metálico o recubierto de fármaco en la lesión dilatada para mantener la arteria abierta y prevenir la recurrencia de la obstrucción. El stent se expande mediante el balón y se queda en su lugar para sostener la arteria. Posterior al procedimiento se realiza una angiografía coronaria de control para evaluar la eficacia del tratamiento y confirmar la adecuada dilatación de la arteria (25-26).

3.3.2 Seguridad y eficacia de la angioplastia.

La eficacia y seguridad de la angioplastia coronaria como tratamiento individual en fraccionar la placa de calcificación coronaria grave han sido objeto de estudio en la literatura médica. Aquí tienes algunos estudios que abordan este tema:

Kufner S et al en su Estudio ISAR-DESIRE 4: Evaluó la eficacia y seguridad de la angioplastia coronaria en lesiones coronarias calcificadas graves utilizando stents farmacológicos. Se incluyeron pacientes con lesiones coronarias calcificadas severas

tratadas exclusivamente con angioplastia coronaria con stents farmacológicos. Como resultado se encontró que la angioplastia coronaria con stents farmacológicos fue efectiva en el tratamiento de lesiones coronarias calcificadas graves, con una tasa de éxito del procedimiento de angioplastia coronaria en lesiones coronarias calcificadas graves fue del 96.5%, lo que sugiere una alta tasa de éxito en este contexto específico (27).

Otsuka T et al. En su estudio analizó los resultados de la angioplastia coronaria en lesiones coronarias calcificadas graves en una cohorte de pacientes japoneses. Se evaluaron las tasas de éxito del procedimiento, las complicaciones y los resultados clínicos a corto y largo plazo. Como resultado se observó que la angioplastia coronaria como tratamiento individual fue efectiva y segura en el manejo de lesiones coronarias calcificadas graves, con tasas de éxito del procedimiento aceptables y resultados clínicos favorables a corto y largo plazo (28).

La tasa de fracaso de la angioplastia coronaria en casos de calcificación coronaria grave, especialmente cuando no se logra la ruptura de la placa calcificada con el balón y no se utilizan métodos de preparación de lesiones, puede ser alta y puede resultar en resultados subóptimos o complicaciones durante el procedimiento. Aunque la literatura puede ser limitada. Barbaro et al. En su estudio analizó las tasas de éxito y las complicaciones de la angioplastia coronaria en lesiones coronarias de alto riesgo, que incluían lesiones calcificadas graves y complejas. Se evaluaron los resultados en casos donde no se logró la ruptura efectiva de la placa calcificada con el balón y no se utilizaron métodos de preparación de lesiones. Como resultado de su estudio encontró que en casos donde no se logró la ruptura de la placa calcificada con el balón y no se utilizaron métodos de preparación de lesiones, la tasa de éxito de la angioplastia coronaria fue significativamente más baja y se asoció con un mayor riesgo de complicaciones como disección arterial, embolia distal y necesidad de intervenciones adicionales (22).

3.4 Litotricia Intravascular Coronaria

La litotricia intravascular por ondas de choque (S-IVL; *Shockwave Medical, Inc*) es un dispositivo recientemente aprobado para el tratamiento de lesiones coronarias calcificadas. El subestudio de tomografía de coherencia óptica Disrupt-CAD (*DisruptCoronaryArteryDisease*) ha demostrado que la modificación del calcio se logra mediante la fractura de las capas de calcio íntima y medial cuando se utiliza litotricia circunferencial con expansión del balón a baja presión. S-IVL es seguro y puede

realizarse sin los riesgos convencionales asociados con la aterectomía rotacional, como microembolización, flujo lento, perforación y bradicardia en algunos casos. Presentamos nuestra experiencia del mundo real con S-IVL, incluidos pacientes con síndromes coronarios agudos (SCA) y su uso como estrategia de rescate cuando la angioplastia con balón no tiene éxito (29).

Está compuesto por un generador IVL es una “caja” ortogonal totalmente portátil y recargable (dimensiones: 28 cm 15,2 cm 29,2 cm, peso: 6,8 kg) que entrega pulsos de hasta 3000 V de energía eléctrica generando pequeñas chispas eléctricas. Su frecuencia de tratamiento es de 1 pulso/1 segundo (1 Hz) y el número máximo de pulsos continuos (definido como un ciclo) depende del tipo de catéter IVL utilizado. El cable conector IVL es un cable de 1,53 m con 2 polos magnéticos, uno que se conecta al generador IVL y el otro, especialmente diseñado con un pulsador que activa la emisión de energía, conectándose directamente al extremo proximal del catéter IVL. Es simplemente la ruta y la puerta para la transferencia de energía eléctrica desde el generador IVL al catéter IVL (30). (Imagen 2).

El dispositivo S-IVL es un catéter monorraíl con balón y un núcleo central de ultrasonido que se coloca sobre un alambre de angioplastia de 0,014”. El dispositivo es compatible con catéteres guía ≥ 6 Fr. Los globos tienen todos 12 mm de longitud y un diámetro de 2,5 a 4,0 mm, y se eligen en una proporción de 1:1 con respecto al diámetro de referencia del vaso objetivo. El inflado a baja presión (4 atm) garantiza la aposición del balón antes de administrar la terapia. Esta baja presión se mantiene a lo largo de los ciclos de terapia. La litotricia se realiza durante un máximo de ocho ciclos de 10 segundos por dispositivo. Se recomienda que cada área de preocupación se someta a un mínimo de dos ciclos de litotricia. Los segmentos tratados con litotricia pueden superponerse. La litotricia se administra cuando los emisores vaporizan el líquido dentro del globo S-IVL, creando una burbuja que se expande y colapsa y genera ondas de presión sónicas. Esta onda de energía acústica viaja a través de la pared del vaso, fracturando selectivamente el calcio de la íntima y medial. Esta modificación del calcio en última instancia aumenta la distensibilidad de los vasos y optimiza la expansión del stent (31).

Durante la administración de ciclos de ondas de choque, se pueden observar señales eléctricas que imitan picos de estimulación en el trazo del electrocardiograma. Hay dos posibles explicaciones para esto. La primera es una chispa eléctrica creada por la vaporización del líquido durante la administración de S-IVL que provoca un artefacto que es captado por el electrocardiograma. Alternativamente, puede explicarse por el

vínculo directo entre las señales del electrocardiograma y la piezoelectricidad. La piezoelectricidad es la carga eléctrica que se acumula en ciertos materiales, incluidos los tejidos blandos, en respuesta al estrés mecánico (en este caso, de ondas de presión sónicas). Las ondas de presión sónicas en forma de esfera crean un efecto de campo para tratar calcio vascular circunferencial a una presión efectiva de aproximadamente 50 atm. Estas ondas de presión sónicas alteran y fracturan selectivamente el calcio in situ, alterando la distensibilidad del vaso, al tiempo que minimizan las lesiones y mantienen la integridad de los componentes fibroelásticos de la pared (18-19-20-32).

La integración de un balón semicomplaciente con emisores en el eje ofrece ventajas durante el tratamiento, primero proporcionar contraste y solución salina para disipar el calor generado mientras se producen las burbujas de vapor, además, así como se hace desinflando periódicamente entre cada ciclo por medio de la evacuación de fluidos que conlleva a la perfusión tisular y mitigar así la isquemia. Segundo además que permite proporcionar un soporte mecánico y estabilización que impide la deformación del tejido mientras se realiza el tratamiento. Tercero el tratamiento eficaz ya que al ser un balón muy delgado permite la transmisión de las ondas al tejido propagando el impulso desde el emisor a la pared (19-32).

Esto lleva a una fractura del calcio al posicionar el balón IVL sobre la pared para mantener una presión de 4atm, lo que minimiza el barotrauma normalmente asociado a angioplastia con balón a alta presión. Alineación de emisores y distribución de energía. El IVL utiliza múltiples emisores fuera del lumen de la guía, dispuestos en serie a lo largo del segmento del balón. Los emisores IVL están colocados como pares diametralmente opuestos (a 180° entre sí) y emiten perfiles de energía esféricos que son imágenes especulares casi simétricas a lo largo del borde del globo. Estos emisores están dispuestos en canales y cada canal pulsa a 1 Hz. Actualmente hay disponibles tres modelos de catéter IVL, que permiten variar el diámetro de los vasos y la longitud de los segmentos tratables asociados con los vasos coronarios y periféricos (32).

3.5 Seguridad y eficacia de la Litotricia en Arterias Coronarias Graves

La enfermedad de arterias coronarias calcificadas graves tiende a dar mayor dificultad en realizar un tratamiento de angioplastia coronaria con colocación de stent a la vez que aumentan el riesgo de posibles complicaciones graves como la disección de la arteria coronaria. La evaluación de la lesión es un punto clave en la elección del

dispositivo para el tratamiento optimo. La fluoroscopia subestima la presencia de calcio endoluminal, y el calcio detectado en la fluoroscopia a veces se localiza en la interfaz entre la adventicia y la media (arteriosclerosis de *Mönckeberg*) (21).

El IVUS es la herramienta de diagnóstico más confiable para detectar calcio endoluminal y profundo, pero el borde del calcio endoluminal esconde por su sombra la masa real de calcio en la pared del vaso. La tomografía por coherencia óptica (OCT) (Abbott, Chicago, Illinois, EE.UU.) tiene una profundidad limitada de penetración, pero puede, con una alta sensibilidad y especificidad, ver la imagen de calcio superficial y evaluar la parte posterior de la placa calcificada, lo que hace posible la medida de la masa calcificada total (33).

Estas 2 últimas técnicas son lamentablemente poco utilizadas, por costo y cobertura médica, en una minoría de pacientes. En el futuro cercano, la tomografía computarizada multicorte (MTSC) podría ser utilizada para definir la carga e indicar al cardiólogo intervencionista el plan a seguir en el tratamiento de estas placas calcificadas (aterectomía rotacional, aterectomía orbitaria, litotricia) (33).

La litotricia coronaria utiliza dispositivos que usan energía para fragmentar la calcificación. Una serie de estudios han sugerido algoritmos para analizar la característica de la placa y guiar la selección de estrategias de PCI y preparación de la placa mediante OCT o IVUS. Se considera la IVL es el tratamiento de elección en lesiones muy calcificadas definidas por tener un arco de calcio severo ($>270^\circ$) o un espesor de calcio $>0,5$ mm (34).

Para determinar la eficacia se basa en una serie de estudios. Entre diciembre de 2015 y marzo de 2019, se inscribieron 180 pacientes en los estudios Disrupt CAD I y Disrupt CAD II en 19 sitios en 10 países. Disrupt CAD I ($n = 60$) fue un estudio multicéntrico, prospectivo, de un solo brazo y previo a la comercialización diseñado para evaluar la seguridad y el rendimiento de la litotricia intravascular coronaria Shockwave (Shockwave Medical Inc., Santa Clara, CA, EE. UU.) (IVL) en el tratamiento de lesiones coronarias calcificadas con el fin de optimizar la colocación de stents y reducir la estenosis residual final. Después de la litotricia, se identificó fractura de calcio en el 43% de las lesiones. La frecuencia aumento en la de fracturas de calcio en las placas más severamente calcificadas. La ganancia media del área aguda fue de $2,1 \text{ mm}^2$, que aumentó aún más con la implantación de un stent, logrando un área mínima del stent de $5,94 \pm 1,98 \text{ mm}^2$. Disecciones profundas, como parte del efecto de la angioplastia, se produjo en el 13% de los casos y tuvieron un tratamiento exitoso con

la implantación de un stent, sin incidencia de oclusión aguda, flujo lento, no reflujo o perforación (33).

Pero se tenía que seguir evaluando la seguridad y eficacia de la IVL se realizó el estudio DISRUPT CAD II, un estudio prospectivo, multicéntrico, de una sola rama, realizado en 15 hospitales en 9 países. Se realizó un subestudio de OCT con el fin de evaluar el mecanismo de acción de la IVL. Los laboratorios centrales independientes adjudicaron la angiografía y la OCT, y un comité de eventos clínicos independiente adjudicó los principales eventos cardíacos adversos. Se reclutaron 120 pacientes. Se logró la colocación y el uso exitoso del catéter IVL en todos los pacientes. La ganancia luminal aguda angiográfica post-IVL fue de $0,83 \pm 0,47$ mm y la estenosis residual fue del $32,7 \pm 10,4\%$, que disminuyó aún más a $7,8 \pm 7,1\%$ después de la implantación de un stent liberador de fármaco. El criterio de valoración principal se verificó en el 5,8% de los pacientes, y consistió en 7 infartos de miocardio sin onda Q. No hubo oclusión aguda, flujo lento o no reflujo, ni perforaciones. Se identificó fractura de calcio en el 78,7% de las lesiones con $3,4 \pm 2,6$ fracturas por lesión, de $5,5 \pm 5,0$ mm de longitud (33).

La tasa de éxito del procedimiento es crucial para determinar la eficacia del procedimiento en la calcificación coronaria, se tomó como la capacidad de fragmentar con éxito la calcificación con lo que permite una adecuada expansión del stent, necesario para un resultado efectivo y con pronóstico bueno para el paciente a largo plazo, pero cuando la calcificación es significativa no hay una expansión completa y se vuelve un desafío tanto por la rigidez como por la resistencia de la calcificación. Ante esto se utiliza la litotricia coronaria para romper y fragmentar la calcificación previa a realizar la angioplastia y posterior colocación de stent (35).

Se realiza nuevo estudio Disrupt CAD III: Se inscribieron pacientes ($n = 431$) en 47 sitios en 4 países, fue un estudio multicéntrico prospectivo de un solo brazo diseñado para la aprobación regulatoria de IVL coronaria. Se valoró la ausencia de eventos cardiovasculares adversos a los 30 días. Se evidencia la ausencia de eventos cardiovasculares adversos graves durante 30 días fue del 92,2% ($p < 0,0001$). El criterio de valoración principal de eficacia del éxito del procedimiento fue del 92,4% ($p < 0,0001$). La longitud media del segmento calcificado fue de $47,9 \pm 18,8$ mm, el ángulo del calcio fue de $292,5 \pm 76,5^\circ$ y el espesor del calcio fue de $0,96 \pm 0,25$ mm en el sitio de máxima calcificación. La OCT demostró fracturas de calcio longitudinales y multiplanas después de la LIV en el 67,4% de las lesiones. El área mínima del stent fue de $6,5 \pm 2,1$ mm² y fue similar independientemente de las fracturas demostrables

en la OCT. La IVL coronaria facilitó de forma segura y eficaz la implantación de stent en lesiones gravemente calcificadas (6).

Se realiza un nuevo estudio que se publica en el 2021 sobre la estenosis de novo que involucran vasos coronarios severamente calcificados en una población japonesa conocido como Disrupt CAD IV fue un estudio prospectivo multicéntrico, realizado en una población de 64 de 8 centros en Japón. El criterio de valoración principal de seguridad fue la ausencia de MACE a los 30 días. En todas las lesiones hubo calcificación severa mediante evaluación de laboratorio central, con una longitud calcificada de $49,8 \pm 15,5$ mm y un ángulo de calcio de $257,9 \pm 78,4^\circ$ mediante tomografía de coherencia óptica. Los criterios de valoración primarios se lograron con la demostración de no inferioridad para la ausencia de MACE de 30 días (CAD IV: 93,8% frente a Control: 91,2%, $P = 0,008$) y el éxito del procedimiento (CAD IV: 93,8% frente a Control: 91,6%, $p=0,007$). No se produjeron perforaciones, cierres abruptos ni eventos de flujo lento o sin reflujo en ningún momento durante los procedimientos (36).

Se decide en España realizar nuevo estudio que se publica 2024 El estudio REPLICA-EPIC18 reclutó 426 pacientes de forma prospectiva a pacientes consecutivos tratados con IVL en 26 centros de España, Los puntos a evaluar son la eficacia del procedimiento (entrega exitosa de IVL, estenosis del diámetro final $<20\%$ y ausencia de eventos cardiovasculares adversos mayores intrahospitalarios MACE) a los 30 días. Un subestudio predefinido comparó los resultados entre pacientes con síndrome coronario agudo (SCA) y síndrome coronario crónico (SCC). El resultado de IVL fue exitosa en el 99% de los casos. Antes de la IVL, el 49% de las lesiones se consideraban infradilatables. El criterio de valoración principal de eficacia se alcanzó en el 66% de los pacientes, con tasas similares entre los pacientes con CCS (68%) y los pacientes con SCA (65%). Asimismo, no hubo diferencias significativas en el éxito angiográfico después de la LIV entre pacientes con CCS y SCA. La tasa de MACE a los 30 días (criterio de valoración principal de seguridad) fue del 3% (1% en pacientes con CCS y 5% en pacientes con SCA ($P = 0,073$)) (37).

El usar técnicas que reduzcan el volumen son necesarias para que se pueda realizar una intervención coronaria percutánea exitosa. Por lo que se realizó en el 2023 el estudio ROTA.shock fue un ensayo multicéntrico, prospectivo, aleatorio, de doble brazo y de no inferioridad, con una población de 70 pacientes. Diseñado para comparar el área mínima final del stent después de la litotricia intravascular coronaria (LIV) con la aterectomía rotacional (AR) para la preparación de la lesión en el tratamiento intervencionista coronario percutáneo de lesiones gravemente calcificadas.

Sobre la evaluación con tomografía de coherencia óptica (OCT) tomada antes e inmediatamente después de IVL o AR. Después de la AR y la LIV, se presentaron fracturas de placa calcificada en 14 de los pacientes (67%), con un número significativamente mayor de fracturas después de la LIV ($3,23 \pm 0,49$) que después de la AR ($1,67 \pm 0,52$; $p < 0,001$). Las fracturas de placa después de LIV fueron más largas que después de AR (IVL: $1,67 \pm 0,43$ mm vs AR: $0,57 \pm 0,55$ mm; $p = 0,01$), lo que resultó en un mayor volumen total de las fracturas (IVL: $1,47 \pm 0,40$ mm³ vs AR: $0,48 \pm 0,27$ mm³; $p = 0,003$). El uso de AR se asoció con una mayor ganancia aguda de luz que el uso de IVL (RA: $0,46 \pm 0,16$ mm² vs IVL: $0,17 \pm 0,14$ mm²; $p = 0,03$) (38).

Para comprobar seguridad y eficacia, Dean J Kereiakes. Realiza una evaluación de estudios. Los datos de los pacientes se agruparon de los estudios Disrupt CAD. Entre diciembre de 2015 y abril de 2020, se inscribieron 628 pacientes en 72 sitios de 12 países. La presencia de calcificación grave se confirmó en el 97,0 % de las lesiones diana con una longitud promedio del segmento calcificado de $41,5 \pm 20,0$ mm. Los criterios de valoración principales de seguridad y eficacia se alcanzaron en el 92,7% y el 92,4% de los pacientes, respectivamente. A los 30 días, las tasas de fracaso de la lesión diana, muerte cardíaca y trombosis del stent fueron del 7,2%, 0,5% y 0,8%. Las tasas de complicaciones angiográficas graves post-IVL y finales fueron del 2,1% y el 0,3%, sin perforaciones asociadas a la IVL, cierre abrupto o episodios sin reflujo (39).

En la revista argentina de cardiología intervencionista Sebastián Peralta y cols, en su estudio “Angioplastia en lesiones coronarias severamente calcificadas. Experiencia inicial con litotricia intravascular coronaria en la Argentina. Serie de casos de intervención percutánea y revisión de la bibliografía” da a conocer una serie de casos reportamos las primeras experiencias de pacientes con lesiones complejas y severamente calcificadas que fueron exitosamente tratados con el balón de litotricia (Shockwave Medical, Fremont, California) en la Argentina. En dos pacientes se planeó la ATC con el balón de litotricia y en los otros se intentó realizar una ATC con balón inicialmente, que no fue exitosa, y sí pudo lograrse en la segunda instancia con el balón de litotricia (39).

Honton B, et al. En su artículo “*BestPractice in Intravascular Lithotripsy*” hace una recopilación sobre la Viabilidad y seguridad de la IVL, en lesiones de tronco principal izquierdo LM están respaldadas por un análisis retrospectivo de 31 lesiones tratadas con IVL. En este estudio, el área mínima objetivo del stent se logró en el 97,3 % de los segmentos con stent sin MACE intrahospitalario. Las preocupaciones con la IVL para

lesiones del LM es la necesidad de una oclusión vascular prolongada por el requerimiento de energía, que podría llevar a una isquemia grave. Salazar et al. Distribuyó la energía proporcionando pulsos individualmente o en pequeños grupos con inflados de globos más cortos para minimizar este riesgo. Con esta estrategia, sólo 2 de 23 pacientes experimentaron hipotensión arterial grave durante la inflación (34).

También nos expone otras lesiones como son: Lesiones nodulares de calcio es posible que se requieran más pulsos para modificar el calcio excéntrico ya que el emisor está más alejado de la raíz del calcio y no se produce la reflexión de ondas que se observa con el calcio concéntrico. Otras que se tiene que tomar en cuenta son las lesiones largas para garantizar una cobertura terapéutica completa en el vaso, se recomienda una superposición de 2 mm al administrar energía en zonas de tratamiento consecutivas y en las lesiones múltiples recomendamos administrar 20 pulsos por cada lesión y posteriormente evaluar los puntos óptimos para los pulsos restantes. En las lesiones críticas se evidencio en el Disrupt CAD II, se permitió la dilatación previa con un catéter con balón para asegurar el cruce del catéter IVL. Esto fue necesario en 41,7 % de los casos, utilizando un tamaño de balón promedio de $2,2 \pm 0,6$ mm (34).

3.5.1 IVL en comparación de otras técnicas

La eficacia y las complicaciones de varias técnicas utilizadas en la modificación del calcio durante la angioplastia coronaria, centrándose en la angioplastia con balón intravascular (IVL), la aterectomía rotacional (AR) y la angioplastia coronaria con láser excímero (ELCA). No hay ensayos controlados aleatorizados que comparen la IVL con otras técnicas de modificación del calcio, y los estudios disponibles son retrospectivos y observacionales. La IVL se compara principalmente con AR o balones de alta presión no distensibles (HPNCB). Los resultados indican un mayor éxito en el procedimiento y una reducción en el tiempo de fluoroscopia con IVL en comparación con AR, aunque se necesitan más estudios para una evaluación completa (34,44).

La AR proporciona modificación del calcio mediante el contacto directo con la pared del vaso, pero puede causar complicaciones como perforación y disección del vaso, lo que lleva a una cicatrización vascular deficiente y posiblemente a reestenosis dentro del stent. La IVL también puede provocar complicaciones como inflamación en las capas media y adventicia, lo que puede conducir a una remodelación negativa. Se necesitan estudios adicionales para comprender mejor su impacto a largo plazo (34,44).

ELCA se considera una opción cuando la calcificación es extensa, pero no es efectivo para extirpar calcio en lesiones ateroscleróticas. El éxito puede deberse a la presencia de contraste o sangre en el campo láser (29-44) Tabla 1 (44).

3.5.2 Complicaciones asociadas.

Las lesiones asociadas a IVL hay que tenerlas en cuenta las complicaciones asociadas durante el procedimiento de la litotricia como es la perforación arterial, la disección coronaria o la embolización distal de fragmentos de calcio. Se analiza el resultado a corto y largo plazo del procedimiento valorando la mejoría sintomática del paciente, que es un predictor del éxito terapéutico y de no necesitar nueva reintervención o eventos adversos cardíacos mayores tanto a corto y largo plazo (40).

La litotricia coronaria al ser un procedimiento invasivo es fundamental evaluar la incidencia de las complicaciones y saber la seguridad del tratamiento, dentro de las más importantes. Disección de la arteria coronaria se puede producir mientras se realiza la litotricia coronaria, al usar la energía rotacional para poder fragmentar la calcificación podría provocar una disección de la pared arterial, lo que puede comprometer el flujo sanguíneo y aumentar el riesgo de eventos adversos. Otra complicación muy frecuente es el desprendimiento de fragmentos de calcio hacia la luz arterial. Que pueden causar obstrucción del flujo sanguíneo distal, lo que aumenta la probabilidad de eventos isquémicos agudos. Al igual que la perforación arterial por la manipulación que se hace más intensa en lesiones calcificadas graves que generan hemorragia, taponamiento cardíaco que inclusive sea necesaria la cirugía cardíaca (41-42).

Alteraciones eléctricas: Producidas por (IVL) puede generar pulsos mecánicos provocando captura auricular o ventricular en pacientes con bradicardia. En aquellos con marcapasos y desfibriladores implantables, la captura asincrónica puede afectar la detección. Es importante entender que no se produce corriente eléctrica del catéter IVL, sino que se transfiere una pequeña cantidad de energía mecánica a la pared del vaso, creando ondas de presión sónicas que activan el miocardio. En casos de efectos hemodinámicos significativos, puede ser necesario interrumpir temporalmente la terapia IVL (34).

Aunque la IVL ha demostrado ser segura en múltiples ensayos clínicos, se han reportado casos de estimulación ventricular asincrónica, fibrilación ventricular y fibrilación/aleteo auricular. Wilson y colaboradores describieron por primera vez la

captura ventricular inducida por IVL, llamada "temas de choque". En un estudio retrospectivo, el 77,8% de los pacientes experimentaron captura ventricular inducida por IVL sin eventos adversos clínicos. La aparición y relevancia de los temas de choque se evaluaron en Disrupt CAD III, donde se observó captura inducida por IVL en el 41,1% de los casos. Aunque la presión arterial sistólica disminuyó más frecuentemente durante IVL en pacientes con captura inducida por IVL, no se asoció con eventos adversos. Sin embargo, se ha reportado un caso de fibrilación ventricular relacionado con el uso no autorizado de IVL para reestenosis dentro de un stent en una arteria coronaria derecha dominante. Este evento destaca la necesidad de estar alerta ante efectos secundarios excepcionales pero potenciales (34).

3.6 Eficacia según el tipo de lesión coronaria.

3.6.1 Lesiones excéntricas y concéntricas.

La litotricia intravascular (IVL) ha demostrado ser efectiva en el tratamiento de lesiones coronarias calcificadas, tanto concéntricas como excéntricas, aunque hay menos datos disponibles sobre el uso en lesiones excéntricas. Los estudios DISRUPT EAC I y DISRUPT CAD II han mostrado que las complicaciones intraprocedimiento y las tasas de eventos adversos cardiovasculares mayores (MACE) son similares entre lesiones excéntricas y concéntricas. Además, un análisis de datos agrupados de varios subestudios de DISRUPT CAD ha revelado que contribuye a una mayor ganancia luminal y expansión del stent en ambos tipos de lesiones. Sin embargo, se observó que las lesiones concéntricas tenían una mayor profundidad, anchura y número de fracturas de calcio en comparación con las lesiones excéntricas, lo que podría deberse a limitaciones en la capacidad de la tomografía de coherencia óptica (OCT) para detectar fracturas de calcio profundas en lesiones excéntricas (6,44).

Un estudio adicional realizado por Mattesini et al. comparó el efecto de la IVL en lesiones calcificadas concéntricas y excéntricas utilizando OCT. Encontraron que no había diferencias significativas en el área luminal mínima dentro del stent, la ganancia aguda, las complicaciones perioperatorias o la mortalidad a los 30 días entre ambos grupos. Sin embargo, el número de fracturas de calcio fue significativamente mayor en el grupo de lesiones concéntricas, lo que sugiere que puede ser más efectiva en fracturar el calcio en este tipo de lesiones (44).

3.6.2 Nódulo calcificado.

La IVL se ha mostrado eficaz en el tratamiento de nódulos calcificados (CN), aunque puede requerir más ciclos de tratamiento que en otras lesiones calcificadas y, a veces, inflados adicionales de balones de no compresión y perforación para asegurar que el CN esté completamente fracturado. Aunque los datos sobre la eficacia clínica y los resultados de la IVL en pacientes con CN son limitados, análisis de datos agrupados de estudios como DISRUPT I, II, III y IV han mostrado resultados similares en términos de ganancia luminal aguda y área mínima del stent entre CN y no CN. A pesar de una mayor carga de calcio en las CN, se ha observado un mayor número de fracturas inducidas por IVL en estas lesiones. Además, se ha informado de casos donde la IVL ha sido efectiva en fracturar nódulos calcificados que eran resistentes a otros tratamientos, permitiendo la colocación exitosa de stents (6,21,36,44).

3.6.3 Lesiones calcificadas largas.

Las lesiones coronarias calcificadas largas pueden no ser la aplicación ideal para la IVL debido a su costo cada catéter tiene un costo muy elevado y hay que tomar en cuenta que la tecnología IVL eléctrica actual solo es compatible con balones de 12 mm. Es decir que una lesión que sea extensa ocupando un tercio o la mitad de una arteria coronaria se llegaría a valores muy elevados. Sin embargo, en algunos países en donde se realizaron los estudios se está implementado los reembolsos por este tipo de procedimientos, así se podrían cambiar esta dinámica. Por el momento en comparación con otras tecnologías, podría ser más coste-efectiva, especialmente en lesiones largas. Además, los avances en la tecnología han permitido la expansión de su uso en situaciones donde antes se consideraba menos práctico o efectivo (44).

3.6.4 Estenosis de bifurcación calcificada.

La IVL se está estableciendo como una opción atractiva para el tratamiento de estenosis de bifurcación calcificada debido a su capacidad para tratar la placa calcificada sin desplazarla hacia las ramas laterales. Además, su uso puede ser compatible con la protección de ambas ramas de bifurcación con alambres durante el procedimiento, lo que reduce el riesgo de complicaciones. Aunque en el estudio DISRUPT CAD III se excluyeron las lesiones de bifurcación verdaderas, el 34,4% de las lesiones del estudio DISRUPT CAD IV consistieron en lesiones en bifurcación. Se logró un alto éxito del procedimiento sin reflujo. Es una opción convincente para las estenosis en bifurcación (21,36,44).

3.6.5 Stents subexpandidos.

La subexpansión del stent es un factor de riesgo importante para la reestenosis dentro del stent y la trombosis del stent. Se está convirtiendo en la tecnología preferida para tratar la subexpansión del stent, ya que puede proporcionar una expansión efectiva y segura del stent sin los riesgos asociados con otras técnicas, como la ablación con láser. Se han reportado resultados prometedores en términos de éxito del procedimiento y ausencia de complicaciones perioperatorias, lo que sugiere que es una opción viable y segura para el tratamiento de stent subexpandidos (44).

El estudio multicéntrico IVL-Dragon evaluó a 62 pacientes y demostró una tasa de éxito del procedimiento del 72,6%, definida como una expansión relativa del stent superior al 80%, sin incidencia de infarto de miocardio en la lesión diana (TLR) o infarto de miocardio en el vaso diana (TV-IM) durante el seguimiento de 30 días. Además, el registro multicéntrico CRUNCH analizó a 70 pacientes con stents subexpandidos en las arterias coronarias, mostrando un éxito del procedimiento del 92,3% sin complicaciones relacionadas con la IVL ni MACE durante el seguimiento figura 4 (39). En el 41,4% de los pacientes y se aplicó como estrategia de rescate, y el 21,4% tenía doble capa de stent (44).

Estos resultados sugieren que está emergiendo como la tecnología preferida para tratar la subexpansión del stent. En algunos casos, ha demostrado ser eficaz cuando otras técnicas, como la dilatación con balón de alta presión o la aterectomía rotativa, no han logrado una expansión adecuada del stent. Un caso reportado por Alawami y colaboradores describe un stent subexpandido en la circunfleja que no respondió a múltiples intentos de dilatación con balón de alta presión y aterectomía rotativa. Sin embargo, después de 70 pulsos, la lesión se expandió completamente, y las imágenes de seguimiento no mostraron evidencia de retroceso del stent o reestenosis dentro del mismo (44).

4 Discusión

El resultado de este análisis de estudios se realiza para describir la seguridad y eficacia de la IVL en paciente con calcificación coronaria grave en comparación al tratamiento convencional según una serie de estudios y ensayos realizados, se ha evaluado la efectividad del procedimiento en términos de resultados clínicos, como la tasa de éxito del procedimiento, la tasa de complicaciones y los resultados a largo plazo, así como la necesidad de revascularización repetida y la incidencia de eventos cardíacos adversos mayores.

Es importante evaluar al paciente de manera integral y utilizando métodos cada vez más eficaces, en donde pueda tener una mejor descripción anatómica de la lesión para poder elegir de mejor manera el dispositivo previo a su colocación y así discernir que tipo de lesiones tenemos ya sea excéntricas o concéntricas reduciendo la estenosis residual. El seguimiento post procedimiento es crucial para valorar lesiones excéntricas, perforaciones y alteraciones en el flujo con técnicas como OCT y el IVUS, se espera que, en un futuro cercano, la tomografía computarizada multicorte (MTSC) podría ser utilizada para definir la carga e indicar al cardiólogo intervencionista el plan a seguir en el tratamiento de estas placas calcificadas, ya que al momento estas técnicas son lamentablemente poco utilizadas, por elevados costos, cobertura médica, y que solo una minoría de pacientes sea capaz de financiarlos.

Una serie de estudios sugieren que el tratamiento convencional con angioplastia coronaria como tratamiento individual puede ser eficaz y seguro en la calcificación coronaria grave, pero hay una cantidad alta de pacientes en los que no logró ser eficaz con solo la expansión del balón, dando resultados subóptimos y complicaciones durante el procedimiento, esto hizo que sea necesario utilizar técnicas de preparación de la lesión.

Muchas veces la calcificación coronaria grave hace difícil el avance de los dispositivos a través de la arteria calcificada, como parte del procedimiento es indicado realizar una predilatación antes de la colocación del stent, se implementó la aterectomía rotacional para la modificación de la placa mejorando la expansión, así como la liberación y absorción del fármaco y polímero, ya que la infraexpansión es la que lleva principalmente a complicaciones como la reestenosis y trombosis, pero dichas técnicas han demostrado ser de alto riesgo de disección coronaria y de perforación.

Diversos estudios se realizaron en torno a la seguridad y eficacia de IVL, entre estos está el ensayo Disrupt CAD I que fue un estudio europeo piloto de 60 pacientes evaluando por primera vez la seguridad y eficacia de la LIC en LCC (eficacia 95%); El estudio Disrupt CAD II fue un registro multicéntrico europeo de 120 pacientes que analizó la seguridad y factibilidad del sistema LIC previo al implante de stent, mostrando una eficacia en el éxito clínico del 94% y éxito angiográfico del 100%, sin complicaciones; El Disrupt CAD III fue un estudio multicéntrico de un solo brazo de 431 pacientes realizado en los Estados Unidos de América para obtener la aprobación de la Food and Drug Administration, que demostró una tasa de éxito del procedimiento del 92.4% con bajas tasas de eventos cardiovasculares mayores (7,8%); El estudio Disrupt CAD IV, que se realizó en 64 pacientes japoneses, evidenció una eficacia mayor al 98% de LIC en la preparación de LCC antes de la implantación del stent, con bajas tasas de eventos cardiovasculares mayores. Actualmente, se lleva a cabo el estudio The Clinical Trial of the Shockwave Coronary IVL System Used to Treat Calcified Coronary Arteries (SOLSTICE), que evalúa LIC en LCC de una población china que, en resultados iniciales a 180 días, revela un alto éxito del procedimiento (eficacia del 95%) y pocas complicaciones angiográficas (0%) (38).

El estudio Rota shock evidenció modificación de la placa de las lesiones coronarias mediante OCT como resultado indujo más fracturas y más largas de la placa calcificada, el estudio REPLICA-EPIC18 confirmó que el IVL coronario fue un procedimiento factible y seguro en un entorno de la "vida real", facilitando eficazmente la implantación de stent en lesiones gravemente calcificadas en los pacientes con SCA y en SCC, pero si se evidencia una tendencia alta al MACE a los 30 días en comparación al SCC (32-33).

Aleksandra B et al. En su estudio. Review of intravascular lithotripsy for treating coronary, peripheral artery, and valve calcifications. Indica que la (IVL) es un procedimiento muy eficaz y seguro en alta tasa de éxito en lesiones concéntricas

severamente calcificadas, en lesiones excéntricas aún se encuentra en estudio, nódulos calcificados, estenosis de bifurcación calcificada, subexpansión del stent. En lesiones coronarias calcificadas largas hay que hacer una evaluación de la longitud afectada, teniendo en cuenta que cada balón mide 12mm y en lesiones extensas se necesitarían varios balones aumentando el costo del procedimiento y haciéndolo menos accesible por su alto costo, sin embargo, ofrece tasas de éxito significativas y sin complicaciones relacionadas con el tratamiento (39)

La calcificación coronaria grave son lesiones complejas que pueden limitar la eficacia del tratamiento convencional con angioplastia, por la dificultad en la expansión adecuada de los stents aumentando el riesgo de complicaciones como disección arterial, perforación o trombosis stent. En la actualidad para evitar esta limitación se complementó con métodos que modifican la placa calcificada como son la aterectomía rotacional, el corte con láser u otros dispositivos de preparación de lesiones, sin embargo, en la mayoría se evidencia complicaciones, poca seguridad y eficacia.

La IVL está indicada principalmente en lesiones coronarias con calcificación grave que presentan dificultades para la dilatación adecuada con balón y la colocación de stents durante la angioplastia convencional. Estas lesiones suelen estar definidas por un arco de calcio severo ($>270^\circ$) o un espesor de calcio $>0,5\text{mm}$. Al igual que los pacientes que no logran una dilatación adecuada con balón durante la angioplastia convencional, lo que resulta en una subóptima expansión del stent o complicaciones durante el procedimiento, pueden ser candidatos adecuados para la IVL como opción terapéutica complementaria.

Estudios recientes indican su beneficio en casos de lesiones coronarias con calcificación grave que no son dilatables de manera efectiva con balón durante la angioplastia convencional, la IVL puede ser considerada como una alternativa para mejorar la expansión del stent y asegurar su implantación adecuada.

Hay que tomar el alto costo del procedimiento, así como los costos asociados con la adquisición de los dispositivos de IVL y los materiales necesarios como los catéteres y los balones de litotricia. Además, el costo de formación del personal médico para el manejo de esta nueva técnica ya que es muy operador dependiente y existen valores indirectos asociados con las posibles complicaciones y la necesidad de reintervención.

La IVL es una técnica nueva con altas expectativas por su eficacia y seguridad en comparación al tratamiento convencional solo e incluso con otros métodos de modificación de placa, en lesiones no dilatables de Novo y secundaria a la

insuficiencia de la dilatación de stent, para mejorar el despliegue del stent y de esa manera asegurar su implantación exitosa Tabla (2).

5 Conclusiones

La calcificación coronaria grave sigue siendo una patología compleja en donde el cardiólogo intervencionista es quien indica el tratamiento a seguir del paciente y que terapia utilizar e incluso la importancia de poder implementar el “*Heart team*” un equipo multidisciplinario que ha demostrado mejorar la calidad de la atención al paciente y los resultados clínicos al facilitar la toma de decisiones informada y personalizada basándose siempre en la evidencia actual en donde el tratamiento convencional ya no alcanzó por sí solo los beneficios terapéuticos esperados.

Aquí es donde aparecen las nuevas técnicas que acompañan al tratamiento convencional, entre estas el IVL que ofrece como beneficio una dilatación previa modificando y preparando la lesión calcificada ya sea superficial o profunda, basándose en su principio de pulsos mecánicos de alta energía, respetando tejidos blandos y asegurándonos que es un tratamiento eficaz y seguro.

La anatomía del vaso es fundamental para identificar y establecer diámetros, se lo puede realizar por distintos métodos de imagen como OCT y IVUS, siendo un tratamiento de elección para las lesiones muy calcificadas definidas por tener un arco de calcio severo ($>270^\circ$) o un espesor de calcio $>0,5$ mm, esto asegura que pueda pasar el catéter de IVL y realizar el procedimiento de manera efectiva.

Se ha demostrado ser un procedimiento efectivo en lesiones concéntricas y excéntricas severamente calcificada, nódulos calcificados, estenosis de bifurcación calcificada, subexpansión del stent y en lesiones coronarias largas calcificadas, con alto éxito y sin complicaciones relacionadas.

La IVL es un tratamiento novedoso y seguro que permite modificar la calcificación de las arterias coronarias y arterias periféricas, que aún se encuentra en estudios a nivel mundial pero con altas expectativas, con poca experiencia en Argentina y su elevado costo es un limitante para su mayor empleo y obtención de datos para establecer sus

beneficios e indicaciones para poder convertirse en el procedimiento coadyuvante estándar del tratamiento convencional actual para el manejo de las lesiones coronarias calcificadas graves.

5.1 Recomendación:

Se recomienda continuar con la revisión bibliográfica, así como complementar estudios al considerar la litotricia intravascular una opción muy efectiva frente al tratamiento convencional ya sea esta angioplastia sola o con RA en la calcificación coronaria grave extensa, con comorbilidades y factores de riesgo. Hay que replantearnos el uso de este método coadyuvante al ser un procedimiento menos invasivo con menor tasa de complicaciones y alta efectividad, considerando su costo beneficio.

Además, capacitar a cardiólogos intervencionistas en su uso, implementar técnicas de imagen asociadas a IVL para el procedimiento y expandir a otras indicaciones e incluso en un futuro poder comparar costo benéfico con otras terapéuticas como CGBA en pacientes con múltiples complicaciones y riesgo quirúrgico alto.

6 Referencias bibliográficas

1. Demer LL, Tintut Y. Vascular calcification: pathobiology of a multifaceted disease. *Circulation*. 2008 ;117(22):2938-48. <http://doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.107.743161>
2. Liu W, Zhang Y, Yu CM, Ji QW, Cai M, Zhao YX, et al. Current understanding of coronary artery calcification. *J Geriatr Cardiol*. 2015 ;12:668-75. <http://doi:10.11909/j.issn.1671-5411.2015.06.012>.
3. Tomey MI, Kini AS, Sharma SK. Current status of rotational atherectomy. *JACC Cardiovasc Interv*. 2014;7:345-53. <http://doi:10.1016/j.jcin.2013.12.196>
4. Barbato E, Carrié D, Dardas P, Fajadet J, Gaul G, Haude M, et al. European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. European expert consensus on rotational atherectomy. *EuroIntervention*. 2015;11:30-6. <http://doi:10.4244/EIJV11I1A6>
5. Caiazzo G, Di Mario C, Kedhi E, De Luca G. Current Management of Highly Calcified Coronary Lesions: An Overview of the Current Status. *J Clin Med*. 2023;12:4844. <http://doi:10.3390/jcm12144844>
6. Hill JM, Kereiakes DJ, Shlofmitz RA, Klein AJ, Riley RF, Price MJ, et al. Disrupt CAD III Investigators. Intravascular Lithotripsy for Treatment of Severely Calcified Coronary Artery Disease. *J Am Coll Cardiol*. 2020; 76: 2635-2646. <http://doi:10.1016/j.jacc.2020.09.603>
7. Paolo Raggi, Maria C. Gongora, Ambarish Gopal, Tracy Q. Callister, Matthew Budoff, Leslee J. Shaw, Coronary Artery Calcium to Predict All-Cause Mortality in Elderly Men and Women. *J Am Coll Cardiol*. 2008; 42: 17-23, ISSN 0735-1097, <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2008.04.004>

8. Chen NX, Moe SM. Vascular calcification: pathophysiology and risk factors. *CurrHypertens Rep.* 2012;14:228-37. <https://doi:10.1007/s11906-012-0265-8>
9. Lehto S, Niskanen L, Suhonen M, Rönnemaa T, Laakso M. Medial artery calcification. A neglected harbinger of cardiovascular complications in non-insulin-dependent diabetes mellitus. *ArteriosclerThrombVasc Biol.* 1996;16:978-83. <https://doi:10.1161/01.atv.16.8.978>
10. Raggi P, Gongora MC, Gopal A, Callister TQ, Budoff M, Shaw LJ. Coronary artery calcium to predict all-cause mortality in elderly men and women. *J Am Coll Cardiol.* 2008;52:17-23. <https://doi:10.1016/j.jacc.2008.04.004>
11. Moe SM, O'Neill KD, Duan D, Ahmed S, Chen NX, Leapman SB, et al. Medial artery calcification in ESRD patients is associated with the position of bone matrix proteins. *KidneyInt.* 2002; 61:1523-1755. <https://doi:10.1046/j.1523-1755.2002.00170>
12. Morcillo C, Valderas JM, Roca JM, Oliveró R, Núñez C, Sánchez M, y col. La determinación de calcio coronario con tomografía computarizada en la evaluación del riesgo cardiovascular: un estudio. *RevEspCardiol.* 2007; 60:268-75.
13. Budoff MJ, Malpeso JM. Is coronary artery calcium the key to assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults?. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2011;5:12-5. <https://doi:10.1016/j.jcct.2010.11.004>
14. Araújo Gonçalves P, Garcia-Garcia HM, Carvalho MS, Dore H, Sousa PJ, Marques H, et al. Diabetes as an independent predictor of high atherosclerotic burden assessed by coronary computed tomography angiography: the coronary artery disease equivalence revisited. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2013;29:1105-14. <https://doi:10.1007/s10554-012-0168-4>.
15. Kini AS, Vengrenyuk Y, Pena J, Motoyama S, Feig JE, Meelu OA, et al. Optical coherence tomography assessment of the mechanistic effects of rotational and orbital atherectomy in severely calcified coronary lesions. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2015; 86:1024-32. <https://doi:10.1002/ccd.26000>
16. Tearney G, Regar E, Akasaka T, et al., International Working Group for Intravascular Optical Coherence Tomography (IWG-IVOC). Consensus standards for acquisition, measurement, and reporting of intravascular optical coherence tomography studies: a report from the International Working Group for Intravascular Optical Coherence Tomography Standardization and Validation *J Am Coll Cardiol.* 2012; 59: 1058-1072

17. Kereiakes DJ, Virmani R, Hokama JY, Illindala U, Mena-Hurtado C, Holden A, et al. Principles of Intravascular Lithotripsy for Calcific Plaque Modification. *JACC Cardiovasc Interv.* 2021;14:1275-1292. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2021.03.036>
18. Sorini Dini C, Nardi G, Ristalli F, Mattesini A, Hamiti B, Di Mario C. Contemporary Approach to Heavily Calcified Coronary Lesions. *Interv Cardiol.* 2019; 14:154-163. <https://doi.org/10.15420/icr.2019.19.R1>
19. Gary S. Mintz, Intravascular Imaging of Coronary Calcification and Its Clinical Implications, *JACC: Cardiovascular Imaging.* 2015; 8:461-471.
20. Ali ZA, Nef H, Escaned J, Werner N, Banning AP, Hill JM, De Bruyne B, et al. Safety and Effectiveness of Coronary Intravascular Lithotripsy for Treatment of Severely Calcified Coronary Stenoses: The Disrupt CAD II Study. *Circ Cardiovasc Interv.* 2019; 12:008434. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.119.008434>
21. Kereiakes DJ, Shlofmitz RA, Mahmud E, et al. Intravascular lithotripsy for treatment of severely calcified coronary artery disease: the Disrupt CAD III Study. *JACC Cardiovasc Interv.* 2019;12:1911-1921. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2019.06.012>
22. Barbato E, Shlofmitz E, Milkas A, et al. State of the art: evolving concepts in the treatment of heavily calcified and undilatable coronary stenoses – from debulking to plaque modification, a 40-year-long journey. *EuroIntervention.* 2017;13:696-705. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00398>
23. Lee MS, Shlofmitz E, Lluri G, et al. Orbital and rotational atherectomy: Where are we now and where are we headed? *Trends Cardiovasc Med.* 2020; 30:77-84. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2019.03.007>
24. Abdel-Wahab M, Baev R, Dieker P, Kassner G, Khattab AA, Toelg R, et al. Long-term clinical outcome of rotational atherectomy followed by drug-eluting stent implantation in complex calcified coronary lesions. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2013; 81:285-91. <https://doi.org/10.1002/ccd.24367>
25. Mintz GS, Popma JJ, Pichard AD, Kent KM, Satler LF, Chuang YC, et al. Patterns of calcification in coronary artery disease. A statistical analysis of intravascular ultrasound and coronary angiography in 1155 lesions. *Circulation.* 1995; 91:1959-65. <https://doi.org/10.1161/01>
26. Jolly SS, Cairns JA, Yusuf S, Meeks B, Pogue J, Rokoss MJ, et al. Randomized trial of primary PCI with or without routine manual thrombectomy. *N Engl J Med.* 2015;372:1389-98. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1415098>

27. Kufner S, Joner M, Thannheimer A, Hoppmann P, Ibrahim T, Mayer K, et al. Ten-Year Clinical Outcomes From a Trial of Three Limus-Eluting Stents With Different Polymer Coatings in Patients With Coronary Artery Disease. *Circulation*. 2019;139:325-333. <https://doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.118.038065>
28. Kawaguchi R, Tsurugaya H, Hoshizaki H, Toyama T, Oshima S, Taniguchi K. Impact of lesion calcification on clinical and angiographic outcome after sirolimus-eluting stent implantation in real-world patients. *Cardiovasc Revasc Med*. 2008;9:2-8. <https://doi:10.1016/j.carrev.2007.07.004>
29. Wong B, El-Jack S, Newcombe R, Glenie T, Armstrong G, Khan A. Shockwave Intravascular Lithotripsy for Calcified Coronary Lesions: First Real-World Experience. *J Invasive Cardiol*. 2019; 31:46-48.
30. Kassimis G, Didagelos M, De Maria GL, Kontogiannis N, Karamasis GV, Katsikis A, et al. Shockwave Intravascular Lithotripsy for the Treatment of Severe Vascular Calcification. *Angiology*. 2020; 71:677-688. <https://doi:10.1177/0003319720932455>
31. Bourantas CV, Zhang YJ, Garg S, Iqbal J, Valgimigli M, Windecker S, et al. Prognostic implications of coronary calcification in patients with obstructive coronary artery disease treated by percutaneous coronary intervention: a patient-level pooled analysis of 7 contemporary stent trials. *Heart*. 2014; 100:1158-64. <https://doi:10.1136/heartjnl-2013-305180>
32. Gasser, T. C., Görgülü, G., Folkesson, M., & Swedenborg, J. Failure properties of intraluminal thrombus in abdominal aortic aneurysm under static and pulsating mechanical loads. *J. of vascular surgery*, 2008;48:179-188
33. Peralta S, Fernandez C, Agatiello C, De Brahi J, Mieres J, Medina H, y col. Angioplastia en lesiones coronarias severamente calcificadas. Experiencia inicial con litotricia intravascular coronaria en la Argentina. Serie de casos de intervención percutánea y revisión de la bibliografía. *Rev. Argentina de Cardiología Interv.* 2021;02: 0088-0092 <https://doi:10.30567/RACI/202102/0088-0092>
34. Honton B, Monsegu J. Best Practice in Intravascular Lithotripsy. *IntervCardiol*. 2022;17:02-08. <https://doi:10.15420/icr.2021.14>
35. Ali ZA, Brinton TJ, Hill JM, Maehara A, Matsumura M, Karimi Galougahi K, et al. Optical Coherence Tomography Characterization of Coronary Lithoplasty for Treatment of Calcified Lesions: First Description. *JACC*

Cardiovasclmaging. 2017;10:897-906.
<https://doi:10.1016/j.jcmg.2017.05.012>

36. Saito S, Yamazaki S, Takahashi A, Namiki A, Kawasaki T, Disrupt CAD IV Investigators et al. Intravascular Lithotripsy for Vessel Preparation in Severely Calcified Coronary Arteries Prior to Stent Placement- Primary Outcomes From the Japanese Disrupt CAD IV Study. *Circ J.* 2021; 85:826-833. <https://doi:10.1253/circj.CJ-20-1174>
37. Rodriguez-Leor O, Cid-Alvarez AB, Lopez-Benito M, Gonzalo N, Vilalta V; REPLICA-EPIC18 Investigators, et al. A Prospective, Multicenter, Real-World Registry of Coronary Lithotripsy in Calcified Coronary Arteries: The REPLICA-EPIC18 Study. *JACC CardiovascInterv.* 2024;23:1936-8798. <https://doi:10.1016/j.jcin.2023.12.018>
38. Blachutzik F, Meier S, Weissner M, Schlattner S, Gori T, ROTA.Shock Investigators, et al. Comparison of Coronary Intravascular Lithotripsy and Rotational Atherectomy in the Modification of Severely Calcified Stenoses. *Am J Cardiol.* 2023;15:93-100. <https://doi:10.1016/j.amjcard.2023.02.028>
39. Kereiakes DJ, Di Mario C, Riley RF, Fajadet J, Shlofmitz RA, Saito S, et al. Intravascular Lithotripsy for Treatmentof Calcified Coronary Lesions: Patient-Level Pooled Analysis of the Disrupt CAD Studies. *JACC CardiovascInterv.* 2021;14:1337-1348. <https://doi:10.1016/j.jcin.2021.04.015>
40. Towashiraporn K, Krittayaphong R, Tresukosol D, Phankingthongkum R, Tungsubutra W, Wongpraparut N, et al. Clinical Outcomes of Rotational Atherectomy in Heavily Calcified Lesions: Evidence From the Largest Cardiac Center in Thailand. *Glob Heart.* 2022;17:77-80. <https://doi:10.5334/gh.1162>
41. Aksoy A, Salazar C, Becher MU, Tiyerili V, Weber M, Jansen F, at el. Intravascular Lithotripsy in Calcified Coronary Lesions: A Prospective, Observational, Multicenter Registry. *CircCardiovascInterv.* 2019;12:008154-57. <https://doi:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.119.008154>.
42. Abdel-Wahab M, Richardt G, Joachim Büttner H, Toelg R, Geist V, Meinertz T, et al. High-speedrotationalatherectomybeforepaclitaxel-eluting stent implantation in complex calcified coronary lesions: the randomized ROTAXUS (Rotational Atherectomy Prior toTaxus Stent Treatment for Complex Native Coronary Artery Disease) trial. *JACC CardiovascInterv.* 2013;6:10-9. <https://doi:10.1016/j.jcin.2012.07.017>
43. Inzunza-Cervantes G, García-Fajardo EA, Martínez-Hernández FA, Zazueta-Armenta V, Hernandez-Marquez JO, Herrera-Gavilanes JR.

Litotricia coronaria en lesiones calcificadas: fragmentando el calcio.
 Coronary lithotripsy in calcified lesions: fragmented calcium. RevMedInst Mex Seguro Soc. 2023;61:888-894. <https://doi:10.5281/zenodo.10064745>

44. Gruslova AB, Inanc IH, Cilingiroglu M, Katta N, Milner TE, Feldman MD. Review of intravascular lithotripsy for treating coronary, peripheral artery, and valve calcifications. Catheter Cardiovasc Interv. 2024 ;103:295-307. <https://doi: 10.1002/ccd.30933>

7 Imágenes y tablas

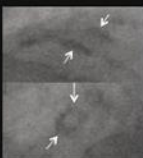

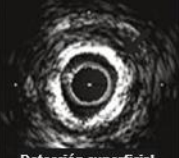
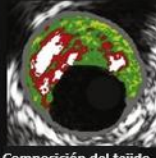
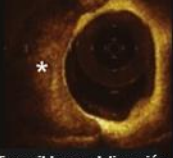
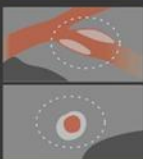


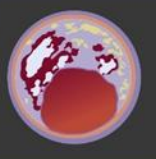

	Angiografía coronaria	CT	IVUS	RF-IVUS (IVUS-VH)	OCT
MODALIDADES DE IMAGEN			 Detección superficial de calcio	 Composición del tejido codificada por colores	 Es posible una delineación nítida del área de calcio
Detección de calcio en las arterias coronarias	+	+++	+++	+++	++++
Localización del calcio en las arterias coronarias	+	+++	+++	+++	++++
Cuantificación del calcio en las arterias coronarias	+	+++	++	+++	++++
					

Imagen 1 (21), Ilustración Central. Detección, localización y cuantificación de calcio coronario mediante diversas modalidades de imagen. La angiografía coronaria, la tomografía computarizada (TC) coronaria, la ecografía intravascular (IVUS), la radiofrecuencia (RF), la ecografía intravascular-histología virtual (IVUS-VH) y la

tomografía de coherencia óptica (OCT) pueden detectar e intentar localizar y cuantificar el calcio, aunque con precisiones diagnósticas muy diferentes.

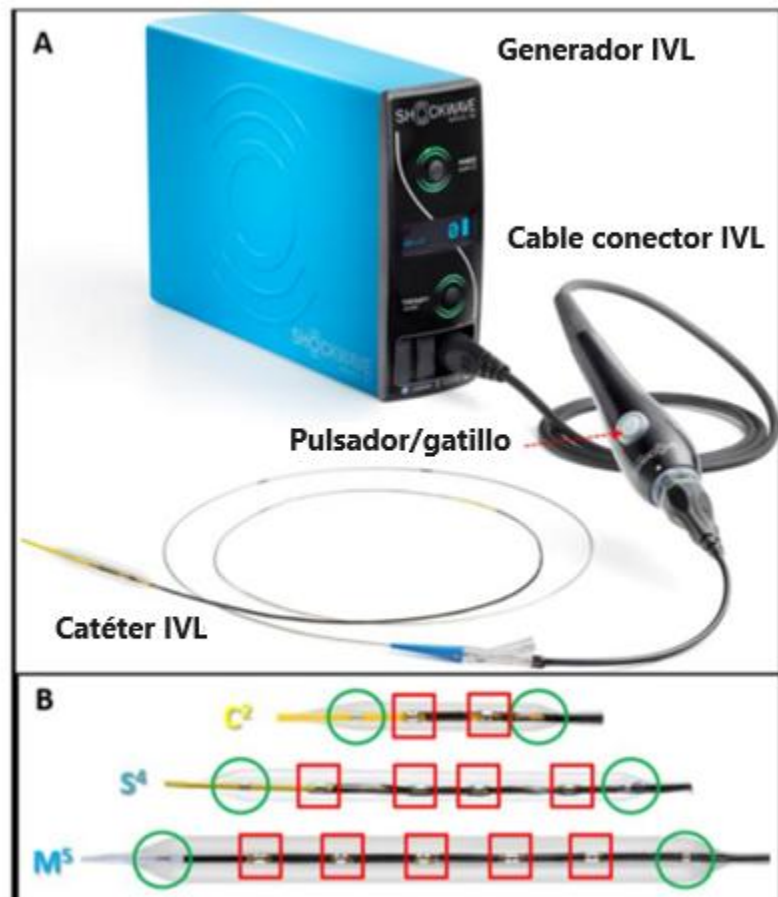


Imagen 2 (30). Sistema de litotricia intravascular: A componentes del sistema de litotricia intravascular (IVL). B, Diferencias en las características del balón de los diferentes catéteres IVL. C2-M5 (círculos marcadores radiopacos distales y proximales, cuadrados emisores de energía).

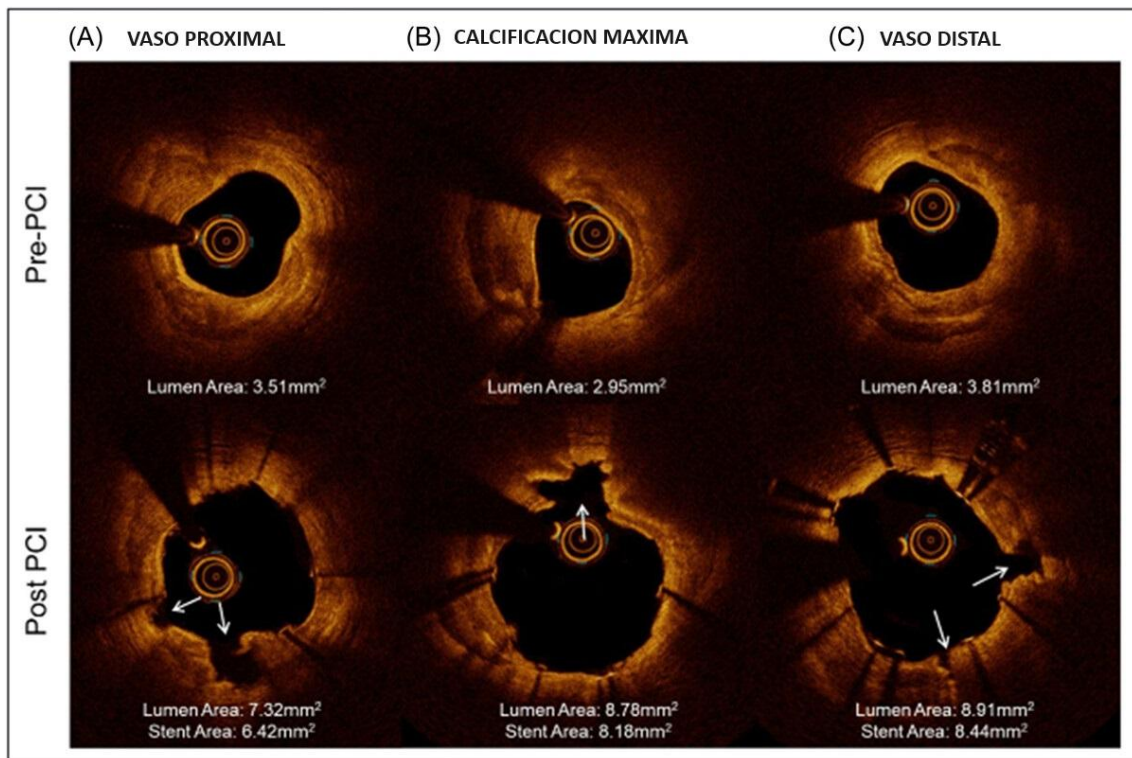


Imagen 3 (44). Ejemplo de imágenes de tomografía de coherencia óptica (OCT) de litotricia intravascular con ondas de choque para la modificación de lesiones para: (A) placa concéntrica; y (B) y (C) placa excéntrica, ambas tratadas con éxito. Arriba, intervención coronaria prepercutánea (ICP): (A) La calcificación severa está presente en la imagen de OCT en el vaso proximal. (B) En el sitio de máxima calcificación, hay una calcificación superior a 270° con un espesor mínimo >1 mm y un área luminal mínima de 2,95 mm². (C) La calcificación severa está presente en la imagen de OCT en el vaso distal. Abajo, después de la ICP: (A) La fractura de calcio se identifica en dos ubicaciones (flechas blancas) en la OCT coregistrada con la imagen previa a la ICP. (B) En el sitio de calcificación máxima, hay una fractura de calcio (flecha blanca) que libera la expansión del stent y una ganancia aguda de 5,83 mm². (C) En el vaso distal, la fractura de calcio se identifica en dos ubicaciones (flechas blancas) en la OCT coregistrada con la imagen pre-ICP.

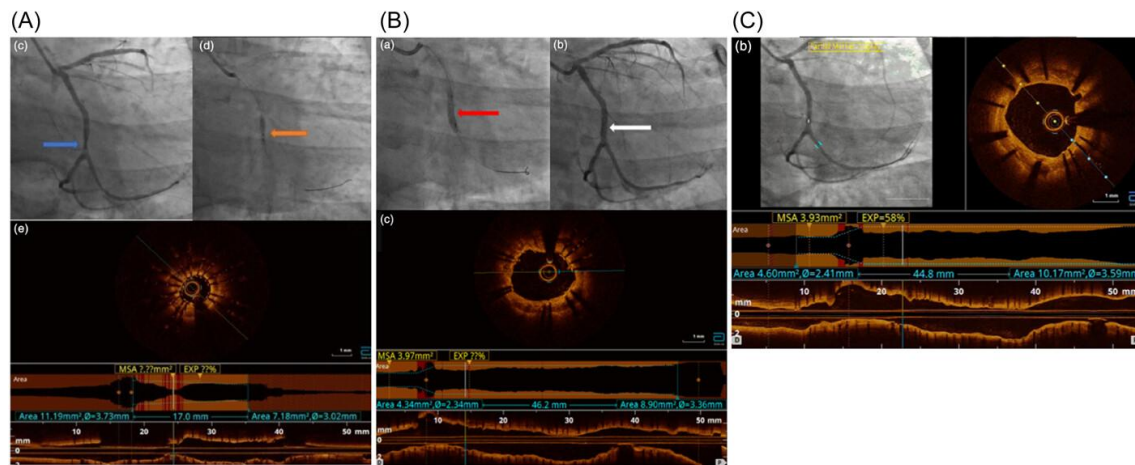


Imagen 3 (44). Litotricia intravascular para tratar un stent coronario subexpandido. (A) Expansión insuficiente del stent LCX después de la rotación y el balón NC. (B) Stent completamente expandido después de litotricia intravascular (IVL). (C) Seguimiento a los 4 meses con stent bien endotelizado.

	Principio	Ventajas	Desventajas
IVL	-Modificación de la lesión a través de ondas de presión sónicas pulsátiles	<ul style="list-style-type: none"> -Más eficaz y seguro -Riesgo mínimo de disección/perforación/embolia distal -Puede contribuir a una mejor reducción de la reducción de la endoprótesis y a reducir los gradientes de FFR posteriores a la ICP -No hay polarización de alambre ya que la energía se distribuye circunferentemente -Eficaz en la modificación de la calcificación superficial y profunda -Modificación efectiva del calcio detrás de los puntales del stent -Seguro en lesiones calcificadas que contienen disección/trombo -Se puede aplicar fácilmente en bifurcaciones y lesiones excéntricas 	<ul style="list-style-type: none"> -Uso limitado en caso de lesiones calcificadas infranqueables con balón -No es ideal para lesiones calcificadas largas debido a su alto costo
RA/OA	-Citoreducción mecánica de la placa calcificada superficial	<ul style="list-style-type: none"> -Funciona bien para modificar lesiones infranqueables con balón -Útil en calcificaciones superficiales -Se puede utilizar para modificar nódulos calcificados -Rentable para lesiones largas 	<ul style="list-style-type: none"> -Aumento del riesgo de embolia distal/disección de vasos limitantes de flujo/ausencia de reflujo/oclusión/perforación/necesidad de colocación de stents de rescate -Mayor riesgo de perforación en lesiones anguladas -Aumento del costo/duración del procedimiento/exposición a la radiación en caso de complicación peroperatoria -Polarización de alambre -Se necesita experiencia del operador -Mayor riesgo de complicación en lesiones disecadas/que contienen trombo -Riesgo de atrapamiento en lesiones intrastent -Mayor riesgo de complicación en las lesiones ostiales -Mayor riesgo de pérdida de rama lateral en lesiones de bifurcación calcificante -Modificación de lesiones no homogéneas en lesiones excéntricas -Contraindicado en lesiones SVG
ELCA	<p>Generando pulsos de longitud de onda corta y luz ultravioleta de alta energía.</p> <p>Propiedades fotoquímicas, fototérmicas y fotomecánicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Eficaz para lesiones excéntricas, concéntricas e instantas -Presiones de dilatación más altas, especialmente cuando se aplica a la técnica de infusión de línea -Eficaz en la reestenosis calcificante instante -Se puede aplicar en lesiones SVG, bifurcación, ostial y CTO 	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor riesgo de perforación -No se recomienda si hay una gran longitud de posicionamiento de la guía subintimal

Tabla 1(44).

Abreviaturas: CTO, oclusión total crónica; ELCA: aterectomía coronaria con láser excimer; FFR: reserva fraccional de flujo; IVL: litotricia intravascular; OA: aterectomía orbitaria; ICP: intervencionismo coronario percutáneo; AR: aterectomía rotacional; SVG: injerto de vena safena.

Aspecto	Litotricia Intravascular (IVL)	Tratamiento convencional (Angioplastia Coronaria)
Ruptura de Placa Calcificada	La IVL rompe la calcificación con ondas de choque	La angioplastia depende de la capacidad del balón y la fuerza de expansión
Eficacia	La IVL facilita la dilatación de la lesión y mejora la expansión del stent	La eficacia de la angioplastia depende de la capacidad de dilatación del balón
Riesgos Potenciales	La IVL presenta un riesgo de disección arterial menor, embolización distal y rotura de placa	La angioplastia tiene riesgo de disección arterial, trombosis de stent y perforación
Resultados a Largo Plazo	Estudios muestran menos reestenosis y necesidad de reintervención en algunos casos	Resultados variables dependiendo de la extensión de la enfermedad y factores de riesgo
Curva de Aprendizaje	La IVL requiere una curva de aprendizaje para familiarizarse con el dispositivo y la técnica	La angioplastia es una técnica estándar en cardiología intervencionista
Disponibilidad	La IVL está disponible en centros selectos con experiencia	La angioplastia es ampliamente disponible en la mayoría de los centros
Costo	La IVL puede ser más costosa debido al uso de dispositivos especializados	El costo de la angioplastia puede variar según los dispositivos utilizados

Tabla 2 (22-25). Cuadro comparativo entre la litotricia intravascular IVL y la angioplastia coronaria.

8. Glosario de términos

CTCA	Angiografía Coronaria por Tomografía Computarizada
IVUS	Ecografía Intravascular
OCT	Tomografía de Coherencia Óptica
CAC	Calcificación Coronaria Grave
PCI	Intervención Coronaria Percutánea
AR	Aterectomía Rotacional
DES	<i>Drugeluting stent</i>
CABG	Cirugía de Revascularización Coronaria
IVL	Litotricia Intravascular
ERC	Enfermedad renal crónica
TCHE	Tomografía Computarizada por Haz de Electrones
VSMC	Células del músculo liso vascular
CCC	Cuantificación de Calcio Coronario
MACE	Eventos Cardiovasculares Adversos Mayores
ATC	Angioplastia Coronaria Transluminal
SCA	Síndromes Coronarios Agudos
SCC	Síndrome Coronario Crónico
MTSC	Tomografía Computarizada Multicorte
ELCA	Aterectomía coronaria con láser excimer
OA	Aterectomía orbitaria
AR	Aterectomía rotacional

9. Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme cumplir un sueño que ahora es una meta en mi vida.

A mi familia en especial a mi madre por su amor y apoyo incondicional en mis años de formación de médico sin ella no hubiese sido posible alcanzar.

A mi esposa por su amor incondicional quien me acompaña en esta etapa de formación, pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos por la bendición de tenerlos en mi vida.

A mis amigos por estar siempre a mi lado animando y haciendo de esta una experiencia única.

A mis maestros, compañeros, amigos que eh conocido y compartido durante mi residencia, sé que estos 3 años serán inolvidable.

A mis tutores de redacción, así como maestros amigos, quienes con predisposición pudieron ayudarme a finalizar.