

¹ Aster Hospital Mankhool, Dubai, Emirados Árabes.

² Max Super Speciality Hospital, Bathinda, Índia.

Opções contemporâneas de tratamento para superar o dilema das lesões coronárias calcificadas

Contemporary treatment options for surmounting the conundrum of calcified coronaries

Debabrata Dash^{1iD}, Naveed Ahmed^{1iD}, Rohit Mody^{2iD}

DOI: 10.31160/JOTCI202028A202007

RESUMO – Desde o advento da angioplastia com balão, em 1977, surgiram inúmeras ferramentas e técnicas que ampliaram a aplicação da intervenção coronária percutânea em contextos anatômicos complexos. As lesões coronárias muito calcificadas continuam a representar um desafio para a intervenção coronária percutânea, pois dificultam sua dilatação bem como o implante adequado dos stents farmacológicos. A má expansão do stent está associada ao aumento de complicações relacionadas ao procedimento e a desfechos subótimos a longo prazo. Graças ao surgimento de instrumentais dedicados de intervenção coronária percutânea, como balões ateroabrasivos (*cutting balloon* e *scoring balloon*), dispositivos de aterectomia e a nova tecnologia de litotripsia intravascular, o tratamento dessas lesões tornou-se cada vez mais viável, seguro e previsível. Nesta revisão, é abordado um resumo dos princípios, da técnica e das evidências contemporâneas de várias estratégias de modificação de placa, com o objetivo principal de otimizar a navegação e o implante de stents farmacológicos, traduzindo-se em melhor desfecho para o paciente.

Descritores: Intervenção coronária percutânea; Calcificação vascular; Aterectomia; Litotripsia

ABSTRACT – Since the advent of balloon angioplasty in 1977, countless tools and techniques have been introduced and broadened the application of percutaneous coronary intervention in unprecedented anatomic settings. Heavily calcified coronary lesions traditionally continue to pose a challenge for percutaneous coronary intervention, since they are difficult to dilate adequately and/or there is inability to deliver and deploy drug eluting stents appropriately. Poor stent deployment is associated with increased procedural complications and suboptimal long-term outcomes. Thanks to the introduction of dedicated percutaneous coronary intervention tools, like cutting- and scoring balloons, atherectomy devices, and the novel intravascular lithotripsy technology, the treatment of such lesions has become increasingly feasible, safe and predictable. In this focused review, the author provides a summary of the principles, technique and contemporary evidence for various plaque modification strategies, with main objective of optimizing drug eluting stents delivery and deployment, translating into improved patient outcome.

Keywords: Percutaneous coronary intervention; Vascular calcification; Atherectomy; Lithotripsy

INTRODUÇÃO

A extensão da calcificação da artéria coronária (CAC), um indicador de doença arterial coronariana (DAC) avançada, correlaciona-se fortemente com o grau de aterosclerose e, assim, com o índice de eventos cardíacos futuros.¹⁻³ Apesar do progresso notável no tratamento da DAC e da melhoria nos dispositivos e em técnicas intervencionistas desde o advento da intervenção coronária percutânea (ICP), o tratamento ótimo de lesões com CAC grave continua a ser um desafio para os intervencionistas.

Idade avançada, hiperlipidemia, hipertensão, diabetes e doença renal crônica foram associados à CAC, e a calcificação grave acomete de 6% a 20% dos pacientes tratados com ICP.⁴ Essas condições causam lesão endotelial e disfunção celular, aumentando a resposta inflamatória dos leucócitos e das células musculares lisas vasculares, resultando em deposição de cálcio na íntima e na média das artérias.⁵ Embora seja encontrada rotineiramente, a CAC deixa de ser detectada em quase 50%

Como citar este artigo:

Dash D, Ahmed N, Mody R. Opções contemporâneas de tratamento para superar o dilema das coronárias calcificadas. J Transcat Intervent. 2020;28:eA202007. <https://doi.org/10.31160/JOTCI202028A202007>

Autor correspondente:

Debabrata Dash
Aster Hospital Mankhool
Caixa postal: 119428
E-mail: dr_dash2003@yahoo.com

Recebido em:

27/4/2020

Aceito em:

2/7/2020



Esta obra está licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

dos casos utilizando-se apenas angiografia coronariana, como demonstrado por estudos de ultrassonografia intracoronária (USIC).⁶

A CAC é um grande problema na sala de hemodinâmica, por conta da dilatação inadequada de vasos, dificuldade de navegação e implante do stent, possíveis danos ao polímero do stent farmacológico (SF), expansão insuficiente e mau posicionamento do stent. A insuflação de um balão de alta pressão pode resultar em perfurações e extensas dissecções nas camadas íntima e média. A revascularização de lesões com CAC leva ao aumento de complicações durante o procedimento, a eventos adversos a longo prazo e a altas taxas de reestenose e trombose do stent (Tabela 1).⁴

Tabela 1. Eventos adversos de intervenção coronária percutânea relacionados à calcificação de artéria coronária

Rupturas de balão
Perfuração ou ruptura de vasos
Dissecção
ICP malsucedida devido a lesões não dilatáveis
Stents assimétricos, mal posicionados e com expansão insuficiente
Aumento de taxa de ECAM
Maior incidência de reestenose e RLA
Maior incidência de trombose do stent
Maior incidência de IAM durante ou após procedimento
Menor concentração e adsorção da droga na parede arterial pelos stents farmacológicos

ICP: intervenção coronária percutânea; ECAM: eventos cardiovasculares adversos maiores; RLA: revascularização da lesão-alvo; IAM: infarto agudo do miocárdio.

O objetivo deste artigo foi resumir os princípios, as técnicas e as evidências contemporâneas das estratégias atuais de modificação de placa, para otimizar o implante de SF e melhorar os desfechos subsequentes, a curto e a longo prazos.

DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE CÁLCIO

Ultrassonografia intracoronária

A marca característica da CAC na USIC é uma placa eco-densa (hiperecoica), mais brilhante que a adventícia de referência, com sombra (Figura 1A); no entanto, o tecido fibroso denso também é ecodenso e, às vezes, pode projetar uma sombra. O cálcio produz reverberações, ao contrário do tecido fibroso denso. A placa hiperecoica com sombra é altamente sensível, ao passo que as reverberações são altamente específicas.⁷ Quantitativamente (arco da lesão), a CAC foi dividida em quatro classes na USIC: classe I, calcificação de 0° a 90°; classe II, calcificação de 91° a 180°; classe III, calcificação de 181° a 270° e classe IV, calcificação >270°.⁸ A classificação semiquantitativa caracteriza a CAC como ausente ou subten-dente aos quadrantes 1, 2, 3 ou 4. Qualitativamente, a CAC é descrita de acordo com sua localização: superficial (borda

anterior da sombra acústica dentro dos 50% mais superficiais da espessura da placa e da média) ou profunda (borda anterior da sombra acústica dentro dos 50% mais profundos da espessura da placa e da média).

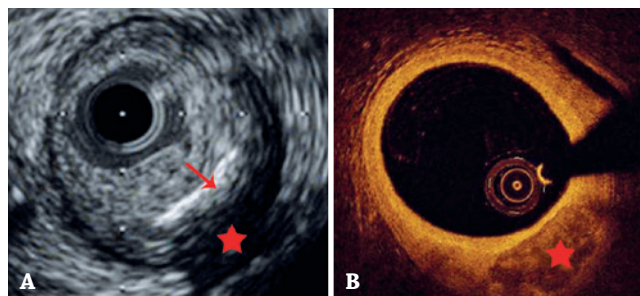


Figura 1. Imagens de ultrassonografia intracoronária e tomografia de coerência óptica mostrando calcificação da artéria coronária. (A) A ultrassonografia intracoronária revela a borda anterior brilhante da calcificação superficial mais próxima do lúmen do que a adventícia (seta vermelha) com sombras mais profundas (estrela vermelha). A espessura e a área da calcificação da artéria coronária não podem ser avaliadas. (B) Tomografia de coerência óptica mostra a região de sinal luminoso pobre e heterogênea, com as bordas laterais, anterior e posterior nitidamente delineadas. É possível medir a espessura e a área da calcificação da artéria coronária.

Tomografia de coerência óptica

A tomografia de coerência óptica (OCT, do inglês *optical coherence tomography*) identifica a CAC como região pobre em sinal ou heterogênea, com bordas nitidamente delineadas (Figura 1B). Sua avaliação por USIC é limitada, devido à reflexão de alta intensidade com sombra acústica, que impede a avaliação da espessura (Tabela 2). Como a penetração do cálcio pela OCT é maior do que em outros tecidos, essa técnica, ao contrário da USIC, pode medir a espessura, a área e o volume da CAC.⁹ Uma lesão com escore de CAC 4 (2 pontos por ângulo máximo >180°, 1 ponto por espessura máxima >0,5mm e 1 ponto por extensão >5mm) na OCT apresenta risco aumentado de expansão insuficiente do stent.¹⁰

Tabela 2. Diversas modalidades de imagem para calcificação de artéria coronária

CAC	AGC	TC	USIC (detecção de cálcio na superfície)	USIC-RF (USIC-VH; composição do tecido codificada por cores)	OCT (delineamento nítido da área de cálcio)
Detecção	+	+++	+++	+++	++++
Localização	+	+++	+++	+++	++++
Quantificação	+	+++	++	+++	++++

CAC: calcificação de artéria coronária; AGC: angiografia coronariana; TC: tomografia computadorizada; USIC: ultrassonografia intracoronária; USIC-RF: ultrassonografia intracoronária com radiofrequência; USIC-VH: ultrassonografia intracoronária com histologia virtual; OCT: tomografia de coerência óptica.

Angiografia coronária

Na angiografia coronariana, a CAC é classificada como ausente, leve, moderada ou grave. A CAC moderada é definida como radiopacidade observada apenas durante o ciclo cardíaco antes da injeção de contraste, ao passo que a CAC grave é definida como radiopacidade observada sem movimento cardíaco, geralmente afetando ambos os lados do lúmen arterial.

Tomografia computadorizada

O escore de cálcio coronariano é calculado usando-se um valor ponderado atribuído à maior densidade de calcificação em cada segmento coronariano, que é multiplicado pela área e, por fim, somado para todas as artérias, a fim de fornecer um escore total de cálcio coronariano correlacionado com os desfechos do paciente.¹¹ Em comparação com indivíduos com CAC zero, aqueles com CAC >400 têm risco de 1,8 a 3,2 vezes maior de morte por todas as causas e risco de 3,1 a 5,1 vezes maior de morte por doenças cardiovasculares.¹² A presença de calcificações focais esteve correlacionada com achados semelhantes de histologia virtual e de USIC em escala de cinza, que são indicativos de placas instáveis.¹³

ESTRATÉGIAS DE MODIFICAÇÃO DE PLACAS

É essencial que a introdução, a plena expansão e a aposição do stent sejam adequadas para evitar muitos desfechos adversos associados à ICP em lesões com CAC grave. Várias estratégias de modificação de placa foram desenvolvidas para atingir esses objetivos (Tabela 3).

Balões não complacentes

Um balão não complacente (NC) pode ser o primeiro passo para melhorar sua expansão uniforme. Mesmo assim, o risco de expansão excêntrica do balão não é totalmente atenuado, devido à maior tensão circunferencial resultante da calcificação grave. Os pontos focais de resistência dentro da lesão resultam em uma expansão não uniforme do balão, em “*dog bone*”, com hiperexpansão dos segmentos mais complacentes, sem fraturar a calcificação. Os balões NC exercem mais força de dilatação sobre uma lesão do que os balões complacentes. A utilização de um balão complacente com alta pressão em lesões calcificadas pode causar dissecação. A lesão pode se tornar resistente à dilatação de alta pressão do balão NC quando o arco da calcificação se estender por um grande segmento da circunferência do vaso, exigindo o uso de outras ferramentas auxiliares.^{14,15}

Balão de superalta pressão

Além dos balões NC padrão, foram desenvolvidos balões NC de superalta pressão, como o OPN (SIS Medical AG, Winterthur, Suíça), que produzem uma pressão pós-dilatação $\geq 35\text{atm}$.^{16,17} Utilizam tecnologia de balão de camada dupla, que permite insuflação de alta pressão e garante expansão uniforme em ampla gama de pressões, eliminando o efeito *dog bone*. O balão é altamente NC, de troca rápida, com uma pressão nominal de 10atm e pressão estimada de ruptura (RBP) de 35atm. Cada balão é testado na fábrica para 45atm. O diâmetro dos balões varia de 1,5mm a 4,5mm, com comprimentos disponíveis de 10, 15 e 20mm.¹⁷ Diaz et al.¹⁸ usaram esse balão de superalta pressão em pacientes com lesões calcificadas e não dilatáveis e alcançaram índice de sucesso de 75% sem sequelas adversas, oferecendo uma

Tabela 3. Métodos de modificação de lesões

Dispositivo	Mecanismo
Balão não complacente	Pouca alteração no volume, mesmo em alta pressão, concentrando a força de dilatação no local da calcificação. Os pontos focais de resistência dentro da lesão resultam em expansão em <i>dog bone</i>
Balão de superalta pressão	Uso de insuflação com pressão $\geq 35\text{atm}$ garantindo expansão uniforme, em grande variação de pressões, eliminando a expansão em <i>dog bone</i>
Balão semicomplacente restrito	Cateter balão OTW, com estrutura de restrição de nitinol montada, projetada especificamente para insuflação uniforme e controlada e rápida deflação, facilitando dilatação atraumática
Microdissecção intencional assistida por balão	Dissecção controlada dos vasos, facilitando a introdução do equipamento secundário além da lesão calcificada
<i>Cutting balloon</i>	Criação de 3 ou 4 incisões radiais intimaes através do tecido calcificado, permitindo maior expansão com balões convencionais. As lâminas ancoram na íntima, impedindo o deslizamento do balão, e resultam em expansão mais uniforme dele
<i>Scoring balloon</i>	Expansão luminal ampla e previsível por bordas retangulares de abrasão à base de nitinol
Cateter Lacrosse® com elemento antideslizante	Técnica de <i>leopard-crawl</i> , seguida por efeito de abrasão
Aterectomia rotacional	Corte diferencial
Aterectomia orbital	Lixamento diferencial
Aterectomia coronária com Excimer laser	Ablação fototérmica
Litotripsia intravascular coronária (<i>Shockwave</i>)	Ondas de pressão sônica pulsátil circunferenciais transitórias

OTW: *over-the-wire*.

nova maneira de tratar lesões nos casos em que outros balões NC não tenham sucesso. Houve aumento significativo do diâmetro luminal mínimo (DLM) e do ganho luminal agudo após uso do OPN NC em uma ampla faixa de pressão, com redução no risco de ruptura do balão, dano aos vasos e perfuração coronariana.¹⁷ A principal limitação desse balão é seu perfil relativamente alto, que, juntamente da rigidez da tecnologia de camada dupla, prejudica, na maioria dos casos, qualquer tentativa de recruzamento, quando insuflado. Talvez seja preciso utilizar uma extensão do cateter guia para a introdução bem-sucedida desses balões na lesão.

Microdissecção intencional assistida por balão

Um pequeno (geralmente 1,20mm a 1,5mm) balão Threader (Boston Scientific, Natick, MA, USA) ou Glider (Boston Scientific, Natick, MA, USA) é introduzido até onde for possível na lesão e insuflado com alta pressão até sua ruptura. Essa microdissecção intencional assistida por balão causa dissecção intencional e controlada dos vasos, mantendo o fio posicionado no lúmen verdadeiro, facilitando a introdução do instrumental, além da lesão calcificada. A microdissecção intencional assistida por balão deve ser usada como último recurso, caso as outras estratégias venham a falhar ou não estejam disponíveis.¹⁹

Cutting balloon

O primeiro dispositivo de aterectomia a ser desenvolvido foi o *cutting balloon* (Flextome™, Cutting Balloon™, Boston Scientific, Natick, MA, USA), disponível no tipo *monorail*, ou *over-the-wire* (OTW), em cateter balão de 6, 10 ou 15mm de comprimento, com três ou quatro micrótomos (lâminas microcirúrgicas). Essas lâminas montadas longitudinalmente na superfície de um balão NC são cinco vezes mais afiadas que as lâminas cirúrgicas convencionais.²⁰ O *cutting balloon* deve ser inflado sequencialmente, primeiro a 2atm, depois a 4atm e, finalmente, a 6atm. Durante a deflação, esse dispositivo cria três ou quatro incisões radiais intimaes através do tecido calcificado, permitindo maior expansão com balões convencionais. Além disso, as lâminas ancoram na íntima, impedindo o deslizamento do balão nas lesões excêntricas, resultando em uma expansão mais uniforme do balão. Seu diâmetro e a inerente rigidez podem dificultar o cruzamento da lesão. Além disso, a pressão do *cutting balloon* não deve exceder 12atm, a fim de evitar a penetração do dispositivo na parede arterial.^{21,22} Acima de 16atm, o risco de ruptura é bastante elevado, e um *cutting balloon* rompido pode dificultar seu recolhimento no cateter-guia. Demonstrou-se que o uso desse dispositivo antes do SF melhora o implante do stent e reduz a revascularização da lesão-alvo (RVA).²⁰ O *cutting balloon* Wolverine™ (Boston Scientific, Natick, MA, USA) tem perfil de cruzamento reduzido, com corte preciso e controlado.

Scoring balloon

A iteração mais bem-sucedida da tecnologia de *scoring balloon* foi o sistema AngioSculpt® (AngioScore, Inc., Fremont,

CA, USA), que consiste em um cateter de lúmen duplo, com um balão de *nylon* semicomplacente, rodeado por uma borda de fragmentação helicoidal externa, à base de nitinol. A expansibilidade de três hastes espirais retangulares é influenciada por uma extremidade distal fixa e uma extremidade proximal semirrestrita em relação ao balão. Esse desenho especial permite uma expansão controlada e uniforme do balão e da gaiola de nitinol, impedindo o deslizamento significativo do dispositivo enquanto fragmenta a placa e maximiza a expansão do lúmen. O AngioSculpt® é mais flexível e fácil de ser introduzido em comparação com o *cutting balloon*. No entanto, tem as mesmas vantagens do *cutting balloon*, incluindo menor incidência de deslizamento do balão, expansão mais uniforme do balão, retração (*recoil*) elástica reduzida e ótimo DLM. O AngioSculpt® aumentou a expansão do stent, comparado com a angioplastia direta com balão e angioplastia simples com balões semicomplacentes, em estudo observacional com 299 pacientes submetidos a implante de SF guiado porUSIC.²³ Infelizmente, não existe uma comparação por estudo randomizado controlado entre os balões *cutting* e *scoring*, e qualquer consideração sobre o desempenho comparativo desses dispositivos é especulativa. É aconselhável subdimensionar o *scoring balloon*, inflando-o próximo à RBP. Os balões *cutting* e *scoring* são usados em lesões com CAC leve a moderada.²⁴

Balão semicomplacente restrito (balão Chocolate®)

O balão Chocolate® (TriReme Medical, Pleasanton, CA, USA) é um cateter balão OTW, com estrutura de restrição de nitinol montada, projetada especificamente para insuflação uniforme e controlada, e rápida deflação, facilitando uma dilatação atraumática, sem a necessidade de corte ou abrasão. A estrutura restritiva de nitinol gera segmentos de balão ou “almofadas”, que entram em contato com o vaso e atuam de modo a minimizar as forças locais. Os “sulcos” promovem a modificação da placa. A almofada e os sulcos característicos facilitam a minimização do trauma vascular, reduzindo a taxa de dissecção, o que resulta em menor necessidade de stent de resgate.²⁵

Cateter Lacrosse® com elemento antideslizante e técnica de “leopard-crawl”

O desenho do cateter *scoring* está sujeito a um fenômeno de “folga” em potencial e também é incapaz de criar múltiplos efeitos de *scoring*. O *cutting balloon* carece de flexibilidade, com maior risco de causar perfuração do vaso. A técnica de “leopard-crawl” supera esses obstáculos, usando uma baixa pressão de inflação para criar uma cunha na calcificação e, posteriormente, avançando o cateter durante a deflação do balão, para facilitar a introdução do cateter além da lesão, através do vaso tortuoso. Essa técnica é adequada para o cateter Lacrosse® com elemento antideslizante (NSE, sigla do inglês *non-slip element*) devido ao desenho exclusivo desse dispositivo. O cateter Lacrosse® NSE (Goodman Co, Ltd, Japan), disponível com balão de 2,0 a 4,0mm, contém três elementos triangulares de nylon (0,014” de

largura x 0,015" de altura) que flutuam livremente na parte externa da superfície do balão, presos proximal e distalmente a um balão de 13mm de comprimento. A dilatação produzida pelo Lacrosse® NSE gera um efeito de abrasão no tecido calcificado pela transmissão da força concentrada na porção mais distal desses elementos. Os elementos do Lacrosse® NSE são fixados distalmente ao balão e, quando o cateter não consegue cruzar o ponto da lesão, a técnica de *leopard-crawl* pode facilitar a introdução do dispositivo. Essa técnica é considerada eficaz, dadas as condições prévias de baixo perfil do cateter distal, que permite avançar a ponta até o local da lesão, e de boa funcionalidade de recobrimento do balão.²⁶ Após a deflação do Lacrosse® NSE, a conexão dos elementos localizados distalmente às dobras do balão assemelha-se ao mecanismo de fechamento de um guarda-chuva, e o perfil distal deriva do tamanho do elemento dobrado. Os elementos dobram-se de novo paralelamente ao corpo do cateter, garantindo que a porção distal do Lacrosse® NSE mantenha um perfil baixo. Em comparação, os outros balões *scoring* têm menos elementos, dificultando múltiplos efeitos de abrasão, ou uma lâmina contida dentro do segmento do balão, que afeta a funcionalidade do recobrimento. Um perfil maior do balão após a insuflação afeta a capacidade de executar a técnica de *leopard-crawl*.²⁶

É importante considerar cuidadosamente o dimensionamento do cateter e a pressão de insuflação aplicada. Geralmente, o Lacrosse® NSE pode ser usado com segurança e eficácia em lesões calcificadas pela seleção de um tamanho de cateter que limite a expansão a um tamanho menor do que a adventícia ou a média. É preferível confirmar o diâmetro do vaso e o tamanho luminal da lesão calcificada, usando imagens de USIC antes da ICP. A seleção do tamanho com base em 25% a 50% a menos que o diâmetro do vaso no local calcificado, determinado pela angiografia coronariana, é considerada uma alternativa segura quando a avaliação pela USIC não estiver disponível. A pressão de insuflação do balão deve começar com uma insuflação baixa e aumentar lentamente (4atm, para 6atm, para 8atm). Após introduzir com sucesso o Lacrosse® NSE no local distal, é possível realizar a dilatação usando pressão mais alta (próximo à RBP, que é de 14atm) para tratar a lesão-alvo.²⁷

ATERECTOMIA

Uma estratégia de redução de volume de lesões calcificadas, que fazia parte da técnica de resgate para tratamento de estenoses não dilatáveis por balão, evoluiu para uma abordagem de preparação da lesão primária, chamada "aterectomia primária". Comparada à aterectomia de resgate, a aterectomia primária está associada a menor tempo de procedimento e fluoroscopia, menor volume de contraste e menor número de cateteres/balão de pré-dilatação utilizados.²⁸ Isso altera a morfologia da placa, induzindo fraturas na CAC e alterando a complacência das lesões, a fim de aumentar a probabilidade de DLM maior e a expansão completa do stent. Atualmente, a aterectomia é realizada por aterectomia rotacional (AR), orbital (AO) ou a laser (Figura 2).

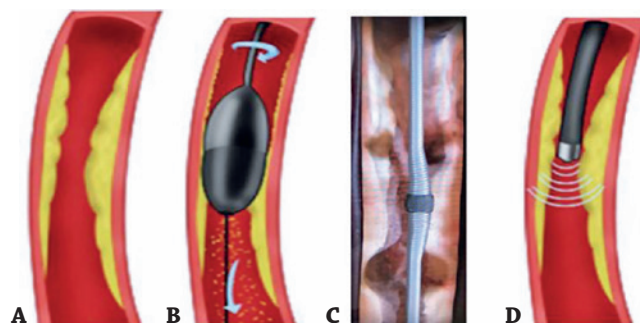


Figura 2. Ilustrações esquemáticas dos dispositivos de aterectomia utilizados para modificações da calcificação da artéria coronária. (A) Estenose da artéria. (B) Aterectomia rotacional. (C) Aterectomia orbital. (D) Aterectomia com Excimer laser.

Aterectomia rotacional

A AR atua segundo o princípio do "corte diferencial" e do "deslocamento ortogonal do atrito". O sistema Rotablator®, disponível comercialmente (Boston Scientific, Natick, MA, USA), foi inventado por Auth e descrito por Ritchie et al.²⁸ Ele elimina seletivamente as placas fibrocalcificadas inelásticas, poupando o tecido elástico adjacente. Os microcristais incrustados na ogiva fragmentam a placa calcificada em partículas microscópicas (5 a 10µm de diâmetro), menores que os eritrócitos, que são carregadas a jusante e removidas da circulação pelo sistema retículo endotelial. Essa ablação seletiva da placa fibrocalcificada produz uma superfície luminal polida e lisa, em comparação com as múltiplas rupturas/dissecções da íntima resultantes da angioplastia com balão.²⁹ Ela minimiza o estiramento da parede do vaso e a retração elástica, elimina o barotrauma vascular e modifica a placa de modo a facilitar a introdução e a expansão do stent. Com a ablação de parte do volume da placa, menos pressão é necessária para se obter maior expansão do balão.

O sistema Rotablator®

O sistema Rotablator® (Boston Scientific, Natick, MA, USA) compõe-se principalmente de avançador, console e ogiva. O avançador tem um botão de controle da ogiva na parte superior e, na lateral, uma porta de infusão salina, uma conexão de cabo de fibra óptica para o conta-giros e uma mangueira para o avançador com conector de gás comprimido. A ogiva niquelada tem forma elíptica e está incrustada com 2.000 a 3.000 microcristais de diamante. A ogiva é presa a um eixo de transmissão banhado a níquel, coberto por uma bainha de Teflon, que permite que a solução salina esfrie e lubrifique os componentes rotativos, evitando possíveis lesões no vaso provocadas pelo eixo de transmissão.

Uma nova geração de sistema AR (ROTAPRO™, Boston Scientific, Natick, MA, USA) foi lançada com grandes modificações, visando principalmente à simplificação de seu uso. O pedal foi substituído por um botão posicionado acima do controlador da ogiva do avançador. O pedal Dynaglide™

também foi substituído por um botão na lateral do avançador. O modo Dynaglide™ permite que a ogiva gire a uma velocidade fixa entre 60.000 e 90.000rpm para facilitar a troca da ogiva. A montagem é mais fácil e simples, com um novo mostrador digital com indicadores de desaceleração no console de controle.

Técnica contemporânea da aterectomia rotacional

A AR contemporânea foi refinada,³⁰ desde a estratégia (primária *versus* resgate),³¹ a configuração para o procedimento, até as ferramentas e técnicas aplicadas. O acesso arterial que era tradicionalmente uma bainha femoral de tamanho 8F passou a ser uma bainha radial ou femoral de tamanho 6F. A técnica de uso de fios-guia foi facilitada pelo uso de um fio *workhorse* comum ou um fio hidrofílico, posteriormente trocado com microcateteres ou balões OTW pelo fio-guia RotaWire™. Os elementos fundamentais da técnica ideal incluem o uso de uma única ogiva (1,5mm) com razão ogiva/artéria de 0,6, velocidade de rotação de 140.000rpm a 180.000rpm, avanço gradual da ogiva em um movimento de vaivém e ablações curtas de 15 a 20 segundos, evitando-se desacelerações >5.000rpm. No entanto, em lesões que não podem ser cruzadas com uma ogiva de 1,5mm

(Figura 3) ou em segmentos tortuosos muito longos, pode ser necessária uma ogiva de 1,25mm, com escalonamento gradual (Tabela 4). A necessidade de um marca-passo temporário foi reconsiderada devido à incidência significativamente menor de bloqueio cardíaco transitório com o uso de ogivas menores e velocidades mais baixas, que podem ser gerenciadas, sem dificuldade, com o uso de atropina ou aminofilina.

O botão de controle do avançador deve estar travado em 2cm a 3cm para frente antes de se avançar a ogiva para dentro de um cateter-guia. Se a ogiva estiver proximal à lesão, qualquer tensão para a frente no eixo de transmissão será aliviada, destravando-se o botão de controle do avançador, puxando-o para trás. A rotação é iniciada com o afrouxamento do botão de controle do avançador, pressionando-se o pedal manual e movendo suavemente a ogiva à frente, para dentro da lesão. É preciso garantir que a velocidade inicial da ogiva seja semelhante à definida fora do paciente. Uma velocidade de rotação que esteja significativamente abaixo desse nível indicaria atrito dentro da guia e reduziria o desempenho da ogiva. Os operadores não devem apertar demais o adaptador Y, fazer movimentos de vaivém, interromper o avanço da ogiva na lesão ou

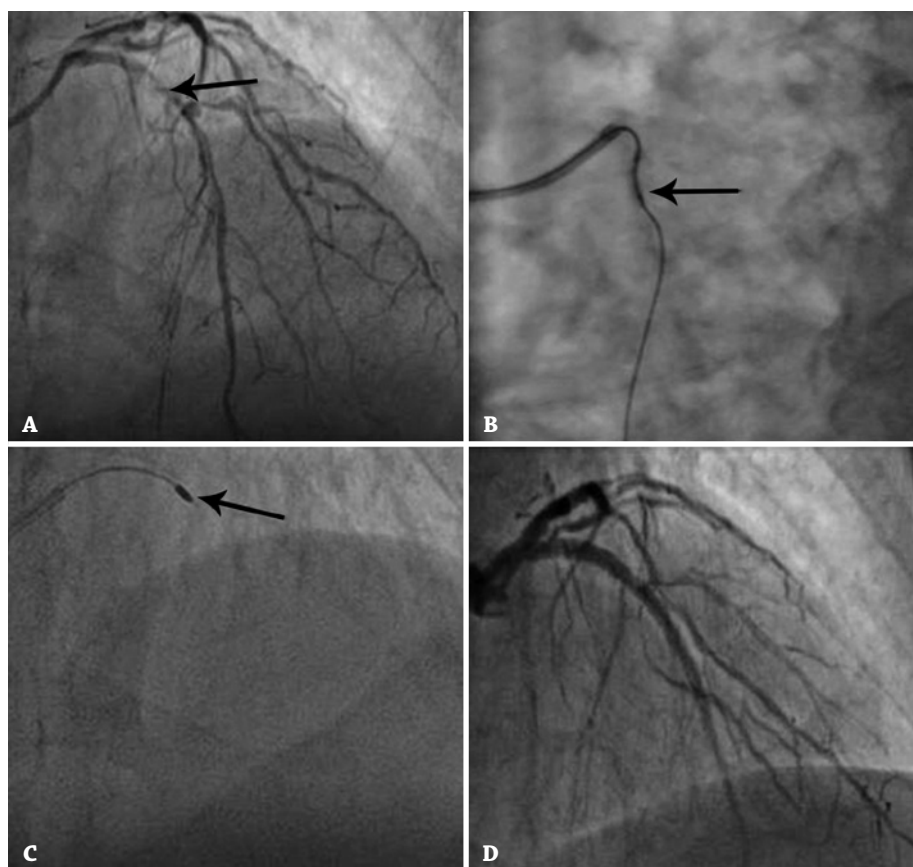


Figura 3. Uso de aterectomia rotacional em lesão calcificada não dilatável. (A) Angiografia coronariana mostra lesão calcificada difusa (seta preta) dos segmentos proximal e médio da artéria descendente anterior. (B) Evidência do efeito *dog bone* (seta preta), apesar da dilatação à alta pressão com balão não complacente. (C) Modificação da placa por aterectomia rotacional usando uma ogiva de 1,5mm (seta preta). (D) Resultado angiográfico final após dilatação com balão não complacente e implante de dois stents farmacológicos sobrepostos.

Tabela 4. Dicas e truques para aterectomia rotacional coronariana ótima³²

Preferência por ogiva única menor (geralmente 1,5mm) com razão ogiva/artéria de 0,6
Uso de ogiva de 1,25mm em lesões tortuosas longas, ou em lesões que não podem ser cruzadas com ogiva de 1,5mm
Velocidade de rotação de 140.000 a 180.000rpm
Avanço gradual da ogiva em um movimento de vaivém
Ablações curtas de 15 a 20 segundos
Tempo de contato com a lesão de 1 a 3 segundos, com tempo mais longo de 3 a 5 segundos de reperfusão para permitir retirada dos resíduos
Evitar rigorosamente as desacelerações (>5.000rpm por >5 segundos)
Lavagem do sistema com contraste diluído durante as ablações
Manter o fio-guia úmido o tempo todo para evitar atrito
Movimento contínuo para evitar que o dispositivo se aqueça, especialmente em vasos com maior angulação/tortuosos
Polimento final

distalmente a ela, ajustar as rotações durante a ablação, avançar a ogiva rotativa até o ponto de contato com a ponta do fio-guia ou rotações no interior do cateter-guia.³² Após cada ablação, a ogiva é trazida de volta à posição inicial, e o estado clínico e o eletrocardiograma do paciente são verificados. Depois de a ogiva cruzar completamente a lesão, ela pode ser avançada por períodos mais longos e distâncias maiores para o “polimento” final da lesão. Luo et al.³³ aplicaram a seguinte estratégia modificada: uma “lavagem dupla”, que combina a ação do cateter-guia e a do sistema de AR (ao aumentar a pressão de lavagem de detritos que passam pela microvasculatura coronária, isso esfria a turbina do Rotablator® e reduz ainda mais a ocorrência de *slow/no reflow*); passagem do cateter de USIC (ogiva de 1,5mm em lesões cruzáveis pelo cateter de imagem, e ogiva de 1,75mm em lesões intransponíveis); e velocidade “alta” (160.000 a 220.000rpm) para cruzar, seguida por velocidade “baixa” (140.000 a 160.000rpm) garantem um cruzamento eficiente da lesão e uma suficiente modificação da placa.

Em uma lesão de bifurcação que exija AR do ramo lateral, um cateter de extensão é avançado até o óstio do ramo lateral, para impedir que o fio-guia do ramo principal interaja com a ogiva da AR. Para realizar a AR da lesão do ramo lateral, a ogiva da AR pode subsequentemente avançar pelo cateter de extensão.

Evidências contemporâneas da aterectomia rotacional

Os intervencionistas, a princípio, demonstraram grande entusiasmo em relação à AR, mas a expectativa inicial de uma menor taxa de reestenose por ausência de barotrauma e dissecação dos vasos não encontrou amparo nos estudos DART (*Dilatation vs Ablation Revascularization Trial Targeting Restenosis*),³⁴ ERBAC (*Excimer Laser, Rotational Atherectomy, and Balloon Angioplasty Comparison*),³⁵ STRATAS (*Rotablator and Transluminal Angioplasty Strategy*)³⁶ ou CARAT (*Coronary Angioplasty and Rotablator Atherectomy Trial*).³⁷ Ao

entusiasmo inicial, seguiu-se uma redução acentuada na utilização da AR. O dilema da reestenose pós-ICP foi amplamente eliminado pelo advento do SF. Evidentemente, a CAC grave continua sendo o grande desafio da intervenção. O SF tem índice de 6% de falência terapêutica, sendo duas vezes maior em lesões calcificadas.²⁹ As manipulações vigorosas do SF nessas lesões podem danificar o polímero, levando a um aumento na resposta inflamatória vascular.^{38,39} O implante subótimo do SF pode aumentar a trombose do stent.⁴⁰ O implante do SF após AR demonstrou ter melhor prognóstico. Teoricamente, a AR e o SF podem atuar de forma sinérgica em lesões complexas, pois a AR pode evitar danos ao revestimento do stent, e o SF pode suprimir a proliferação neointimal com eficiência. O renascimento da AR na era do SF, particularmente na CAC muito complexa, ressalta a importância das modificações da placa antes que o SF possa ser introduzido com sucesso, posicionado com precisão e implantado de modo a exercer os efeitos desejáveis. De fato, estudos observacionais e registros contemporâneos demonstraram resultados favoráveis em relação ao implante de SF em CAC grave após AR.^{41,42} No entanto, o ensaio clínico randomizado ROTAXUS (*Rotational Atherectomy Prior to TaxusStent Treatment for Complex Native Coronary Artery Disease*)⁴³ não demonstrou superioridade da AR em relação à dilatação convencional por balão antes do SF em CAC grave. Os pacientes com CAC grave não podem ser tratados sem AR e, portanto, não podem ser randomizados, conforme demonstrado pela taxa de *crossover* 8% maior entre a angioplastia convencional com balão e a AR observada nesse estudo.⁴³ Com base nos resultados do ROTAXUS, a AR não pode ser rotineiramente recomendada para preparação da lesão no caso de lesões calcificadas. A AR inicial de alta velocidade de lesões severamente calcificadas é viável em quase todos os pacientes e melhora o sucesso do implante do SF em comparação com os balões *cutting* ou *scoring* modificados, de acordo com os resultados do estudo PREPARE-CAL C Trial (*Comparison of Strategies to PrepAre SeveRely CALCified Coronary Lesions Trial*). Embora ambas as estratégias sejam igualmente seguras e efetivas, “*the use of RA is no longer associated with excessive late lumen loss in the modern era*”.⁴⁴

As diretrizes atuais para ICP afirmam que a AR é razoável para lesões muito calcificadas não passíveis de serem cruzadas ou dilatadas antes do implante planejado do stent (classe IIa, Nível de Evidência C).⁴⁵

Prevenção e resolução de complicações da aterectomia rotacional

As complicações (Tabela 5) que ocorrem na AR incluem dissecação, perfuração, fenômeno de *slow/no reflow*, aprisionamento da ogiva, aprisionamento do fio RotaWire™, vasospasmo por superaquecimento e bloqueio cardíaco transitório. Tais complicações podem ser reduzidas aderindo-se à técnica adequada, ou seja, menor velocidade, ablações curtas (<20 segundos) e desaceleração limitada (<5.000rpm).

Tabela 5. Prevenção e resolução de complicações da aterectomia rotacional

Complicações	Prevenção e resolução de problemas
Bradicardia e bloqueio atrioventricular	Limitar o tempo de ablação (<15 a 20 segundos) Pré-tratamento com atropina Desativação da ogiva, se a frequência cardíaca diminuir Marcapasso temporário para lesões de coronária direita e circunflexa
<i>Slow/no reflow</i>	Uso de uma ogiva menor Ablação intermitente Evitar grandes desacelerações Limitar o tempo de ablação para 15 a 30 segundos Aumentar o intervalo entre as ablações Menos velocidade (140.000rpm) associada à menor agregação plaquetária Farmacoterapia antitrombótica ótima Pressão arterial adequada Uso de vasodiladores intracoronários (nitratos/verapamil/adenosina/nitroprussiato)
Superaquecimento	Uso de pequena ogiva em movimento de vaivém
Travamento da ogiva	Retração da ogiva a partir da lesão e movida para frente, lentamente e com menos força Evitar acotovelamento do cateter-guia Uma ogiva de maior velocidade e tamanho menor de ogiva
Aprisionamento da ogiva	Intubação profunda do guia com tração controlada para frente e para trás na haste espiral Ajustar velocidade rotacional para 200.000rpm e tentar introduzir a ogiva dentro do lúmen verdadeiro distal Corte da haste rotalink distal ao avançador e remoção da bainha externa Posicionamento de um segundo fio-guia (técnica de cateter duplo) além da ogiva aprisionada e insuflação do balão proximal a ela Avanço do laço sobre a haste exposta, o mais próximo possível da ogiva, e retração simultânea do laço e guia Negociação com cateter <i>mother-in-child</i> Tração e reentrada na subintima com dilatação de balão adjacente à ogiva aprisionada Cirurgia cardiovascular de emergência
Fratura do fio-guia	Manter o fio-guia fora dos ramos menores Reposicionamento frequente do fio-guia durante longas ablações Fechamento adequado do clipe do fio Evitar prolapso da ponta do fio-guia Captura com laços, cesta ou pinças
Aprisionamento do RotaWire™	Avanço de balão ou microcateter <i>over-the-wire</i> no fio do Rotablator®, tunelização por fora do stent apostado para facilitar tração e remoção do fio

Aterectomia orbital

Semelhante à AR em seu conceito operacional, a OA (Diamondback 360, Cardiovascular System, Inc, St Paul, MN, USA) foi aprovada para uso nas artérias coronárias em 2013.⁴⁶ Ela supera algumas das limitações da AR. Utiliza uma coroa excêntrica incrustada de diamantes (na extremidade distal de um eixo de transmissão) que gira sobre o fio-guia ViperWire® (Cardiovascular Systems, Inc, St Paul, MN, USA) a 80.000rpm, em baixa velocidade, e a 120.000rpm, em alta velocidade. Tem um mecanismo de ação de lixamento diferenciado para reduzir a placa, minimizando os danos ao tecido saudável. Como na AR, a AO utiliza a infusão contínua de solução lubrificante (ViperSlide™, Car-

diovascular System, Inc, St Paul, MN, USA) para operar de modo seguro. Diferentemente da AR, o sistema AO é desativado por si mesmo na ausência de fluxo suficiente (Tabela 6). A coroa da AO tem cristais de diamante na parte frontal e traseira, permitindo ateroablação bidirecional. O aprisionamento da coroa é menos provável quando comparado ao aprisionamento da ogiva,⁴⁷ devido à ablação retrógrada. A AO incorpora forças centrífugas para aumentar diferencialmente o diâmetro do lúmen da calcificação. A duração habitual recomendada do tratamento é de 20 segundos ou menos por passagem. Esse mecanismo exclusivo permite o fluxo contínuo de sangue e de soro fisiológico durante o movimento orbital, reduzindo a geração de calor (Tabela 7).⁴⁸

Tabela 6. Comparação entre aterectomia rotacional e orbital

	Aterectomia rotacional	Aterectomia orbital
Dispositivo	Rotablator®	Diamondback 360®
Fabricante	Boston Scientific, Natick, MA	Cardiovascular System, Inc., St. Paul, MN
Fio-guia	RotaWire™ de 0,009 polegadas	ViperWire® de 0,012 polegadas
Lubrificante	Rotaglide™	ViperSlide™
Fonte de energia	Sistema pneumático, requer console, pedal e fornecimento de gás comprimido; tanque de nitrogênio ou ar ambiente	Sistema eletrônico, que pode ser colocado no campo cirúrgico, conecta a uma bomba especializada com solução salina
Aterectomia	Corte diferencial	Lixamento diferencial
Dispositivo de ablação	Ogiva	Coroa
Chips de diamante	Anterior	Anterior e posterior
Movimento axial	Rotacional, concêntrico	Centrífugo, excêntrico
Movimento longitudinal	Vaivém, intermitente	Gradual, contínuo
Tamanho do dispositivo	Múltiplo (1,25-2,5mm), intercambiável	Coroa única de 1,25mm, com trajeto mais amplo, formado por maior velocidade
Tamanho do cateter-guia	6F (ogiva de 1,25-1,75mm) 7F (ogiva de 2mm) 8F (ogiva de 2,25-2,5mm)	6F
Velocidade de ablação	140.000-180.000rpm	80.000-120.000rpm
Direção de ablação	Apenas anterógrada	Ambas anterógrada e retrógrada
Ablação máxima	20 segundos	25 segundos
Diâmetro de ablação ajustável	Não (é preciso mudar o tamanho da ogiva)	Sim (apenas controlar a velocidade rotacional)
Curva de aprendizado	Mais longa	Mais curta
Tempo e complexidade da configuração	Mais longa, mais complexa	Mais curta, menos complexa
Período de experiência	Décadas	Anos
Efeito na placa	Dissecções mais rasas	Dissecções mais profundas
Tamanho da partícula	5-10µg	2µg
Slow/no reflow	Risco maior	Risco menor
Perfuração da coronária	Risco maior	Risco menor

Tabela 7. Dicas e truques para aterectomia orbital

Posicionamento do ViperWire® para garantir a distância mínima de 10mm entre o sistema de AO e a ponta do fio-guia durante o tratamento
Priming do sistema de AO (fora do corpo), realizar um giro momentâneo, abrir o freio, travar o botão de controle e deixar a bomba ligada
Avanço da coroa de AO aproximadamente a 35mm proximal à lesão e destravamento do botão de controle
Uso de menor velocidade para alcançar velocidade de rotação de 1 a 3mm/segundo para manter a velocidade na faixa de 1 a 10mm/segundo
Evitar o movimento de vaivém, pois poderia resultar em velocidade de rotação maior que 10mm/segundo
Uso de série de intervalo de tratamento intermitente com períodos de descanso pelo menos iguais à duração do tratamento
Manutenção de movimento 1:1 entre a coroa e o botão do avançador
Uso de alta velocidade em vaso calibroso não tortuoso (≥3mm)
Travamento do botão de controle e retirada do sistema de AO

AO: aterectomia orbital.

Uma única coroa de 1,25mm introduzida por um cateter-guia de 6F pode ser efetiva para vasos de referência com diâmetro de até 3,5mm. A coroa de tamanho 1,25mm é o

padrão para todas as artérias coronárias (Figura 4) e pode tratar lúmens de tamanho maior, aumentando-se a velocidade ou diminuindo-se a taxa de avanço, de modo a permitir um aumento no diâmetro da órbita elíptica. Reduzindo-se a velocidade de rotação para 1mm/segundo em alta velocidade, a órbita da ogiva pode exceder 2mm de diâmetro. A velocidade baixa deve ser usada para todas as passagens iniciais da AO. Se um desfecho adequado não for alcançado em baixa velocidade, o tratamento pode ser ampliado para alta velocidade. Não é necessário utilizar velocidade alta em todos os casos, a qual deve ser especificamente evitada em vasos pequenos e excessivamente tortuosos, para reduzir o risco de perfuração.⁴⁸ A ogiva da AR é movida para frente, em um movimento lento de vaivém, de modo a permitir que a ablação intermitente diminua o risco de travamento ou aprisionamento da ogiva, ao passo que a coroa da AO é avançada com um movimento gradual e contínuo, detendo-se nas regiões de interesse, para permitir mais tempo para a ablação. O pequeno tamanho das partículas e o fluxo contínuo durante a órbita podem contribuir para as baixas taxas de bloqueio cardíaco transitório e ausência de refluxo observados na AO, em comparação com a AR. O

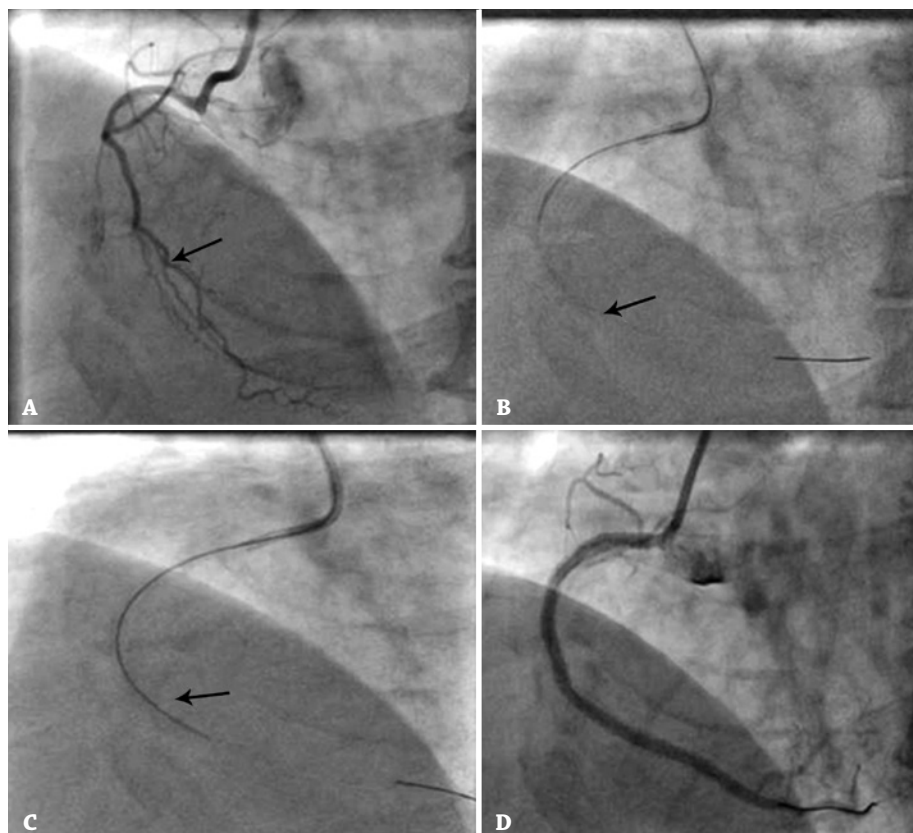


Figura 4. Aplicação de aterectomia orbital em lesão calcificada. (A) Angiografia coronariana mostra lesão calcificada (seta preta) nos segmentos médio e distal da artéria coronária direita. (B) Navegação do fio-guia no lúmen verdadeiro distal (seta preta). (C) Modificação de placa por aterectomia orbital com coroa de 1,25 (seta preta). (D) Resultado angiográfico final após dilatação com balão não complacente e implante de dois stents farmacológicos sobrepostos.

sistema Micro Crown OA representa o próximo avanço tecnológico, que visa melhorar a eficiência da AO. Nesse dispositivo AO, o eixo de transmissão foi reprojetoado para ajudar na introdução da coroa. A área de lixamento disponível foi aumentada e modificada para operar em velocidades de rotação mais baixas (baixa: 50.000rpm; alta: 70.000rpm). A implementação dessa tecnologia provavelmente ampliará as opções de aterectomia em perfis angiográficos e de pacientes cada vez mais complexos.⁴⁹

O estudo ORBIT 1 (*Coronary Orbital Atherectomy System for Treating De Novo, Seeverely Calcified Coronary Lesions in Elderly Patients*) é prospectivo, de braço único e demonstrou 98% de sucesso no dispositivo e 94% de sucesso no procedimento em 50 pacientes com placa calcificada, sem tratamento prévio. A taxa de eventos cardiovasculares adversos maiores (ECAM) foi de 18,2%, em 3 anos, e de 21,2%, em 5 anos.⁴⁶ No estudo ORBIT II, com 443 pacientes, a AO foi associada a 97,7% de sucesso no implante de stents e a baixas taxas de infarto do miocárdio intra-hospitalar (0,7%), morte cardíaca (0,2%) e revascularização do vaso-alvo (0,7%).⁵⁰ Um acompanhamento de 3 anos demonstrou a durabilidade desses resultados, com RLA de 7,8% nos pacientes tratados com AO.⁵¹

Kini et al.,⁵² em uma série de 20 pacientes, avaliaram as diferenças mecanicistas do impacto da AR e da AO na OCT. A AO foi associada a dissecções mais profundas, particularmente em placas mais lipídicas e menos calcificadas. Os pacientes tratados com AO tenderam a um aumento da expansão do stent e uma prevalência significativamente menor de má posição do stent em comparação com a AR. O estudo COAST (*Coronary Orbital Atherectomy System Study*) relatou taxa de sucesso do procedimento de 85% (IC95% 76,5-91,4), com 99% de implante de stent bem-sucedido, 99% de estenose residual <50% e 14% de ECAM no hospital.⁵³ O impacto da AO na microcirculação está sendo avaliado no estudo prospectivo ORACLE (*Comparison of Orbital Versus Rotational Atherectomy Effects On Coronary Microcirculation in PCI*; ClinicalTrials.gov Identifier NCT03021577), que randomizou 20 pacientes com lesões calcificadas em AO ou AR, e irá comparar a reserva de fluxo coronariano e o volume de necrose miocárdica em exames seriados de ressonância magnética. O ensaio randomizado em andamento ECLIPSE (*Evaluation of Treatment Strategies for Severe Calcific Coronary Arteries: Orbital Atherectomy vs Conventional Angioplasty Technique Prior to Implantation of Drug-Eluting Stents: The ECLIPSE Trial*, ClinicalTrials.gov

Identifier NCT03108456) está avaliando se a preparação rotineira da lesão com AO resultará em melhora do ganho luminal agudo e falência do vaso-alvo em 1 ano, em comparação com somente a angioplastia com balão. As aplicações integradas da AR com imagens intravasculares também estão sendo avaliadas e provavelmente esclarecerão nossa compreensão de como otimizar a modificação da lesão antes do implante do stent – estudo ORBID-AO (*Feasibility of Orbital Atherectomy System in Calcified Bifurcation Lesion*; ClinicalTrials.gov Identifier NCT03058510). Em vista da simplicidade de uso e menores complicações em comparação com a AR (Tabela 6), a AO pode vir a ter uso generalizado no futuro. No entanto, são necessários mais estudos controlados, que comparem diretamente a segurança e a eficácia das duas modalidades.

Aterectomia coronária com Excimer laser

A aterectomia coronária com Excimer laser (ELCA), por meio de um mecanismo fotoacústico, tem sido utilizada para tratar estenoses coronárias resistentes. A ELCA é uma abordagem alternativa de tratamento na CAC e emprega mecanismos fotoquímicos, fototérmicos e fotomecânicos para eliminar a placa. Os fragmentos liberados têm 10µm de diâmetro, evitando obstrução microvascular, pois são absorvidos pelo sistema retículo-endotelial.^{54,55} O sistema CVX-300 (Spectranetics, Colorado Springs, CO, USA) emite pulsos de luz ultravioleta a um comprimento de onda de 308nm; os pulsos ultravioletas gerados penetram somente até uma profundidade tecidual de 50µm e, portanto, resultam na desintegração relativamente isolada da placa, sem lesar a camada média ou a camada adventícia, que são mais profundas. Deve-se tomar cuidado para selecionar um cateter-guia que forneça apoio adequado para permanecer no mesmo eixo durante o laser. O tamanho dos cateteres a laser selecionados baseia-se na gravidade da lesão, no diâmetro de referência do vaso e na consistência do material-alvo. Recomenda-se o uso do cateter a laser ELCA X-80 de troca rápida de 0,9mm, que pode ser avançado em qualquer fio-guia padrão de 0,014 polegadas, a uma fluência de 80mJ/mm², e a uma taxa de repetição de 80Hz com infusão salina simultânea. Para minimizar o risco de dissecções ou perfurações inadvertidamente induzidas por microbolhas geradas a partir de partículas no sangue, recomenda-se uma infusão salina normal contínua (geralmente de 1mL/s a 2mL/s) durante o laser. Os pulsos de energia do laser são liberados à medida que o cateter avança lentamente (0,5mm/segundo) através da lesão, permitindo absorção e ablação adequadas. A ablação fica abaixo do ideal se o cateter for avançado muito rapidamente, de modo que o tecido não tenha tempo para absorver a energia luminosa.⁵⁵ O cateter ELCA pode atravessar até lesões moderadamente calcificadas, criando um “orifício guia”, que permite a introdução de balões e stents em 93% de todas as falhas no cruzamento de balões. Para CAC grave, a ELCA pode propiciar modificação suficiente da placa, para possibilitar o avanço

do microcateter, passando para um fio-guia de aterectomia que permita o uso da aterectomia e facilitando a expansão ideal do balão e a utilização do stent (técnica RASER).^{56,57}

LITOTRIPSIA INTRAVASCULAR

A litotripsia intravascular (LIV; Shockwave Medical, Fremont, CA, USA) é um novo dispositivo que produz ondas de pressão sônica pulsátil localizadas, modificando preferencialmente a placa calcificada, sem afetar a camada intimal e facilitando posteriormente a introdução e a otimização do stent. O mecanismo está amparado na litotripsia eletro-hidráulica gerada para criar ondas de pressão sônica de alta velocidade, que passam através dos tecidos moles para fragmentar seletivamente a calcificação.⁵⁸ A LIV para tratamento de calcificação coronariana foi realizada pela primeira vez em 2016.⁵⁸ Um cateter balão contendo vários emissores de ondas de litotripsia é avançado até a lesão-alvo sobre um fio-guia coronário padrão. O balão está conectado ao gerador de pulsos externo. Depois que o balão é inflado a baixa pressão (4atm), uma série de dez pulsos de alta energia é liberada por 10 segundos, seguida por uma insuflação adicional do balão a 6atm, por 15 a 20 segundos antes da deflação (Figura 5). Esse processo pode ser repetido em uma lesão-alvo, até um total de oito ciclos por balão (80 pulsos). O tamanho do balão baseia-se no tamanho do stent desejado para a lesão-alvo (ou seja, 1:1 para o diâmetro do vaso de referência) e geralmente é guiado porUSIC ou OCT.⁵⁹ Os balões coronários de LVI têm 12mm de comprimento e variam entre 2,5mm a 4,0mm de diâmetro, com incrementos de 0,5mm. Podem ser utilizados extensores de cateter-guia ou fios-guia em paralelo (*buddy-wire*), para facilitar a introdução e o posicionamento desse balão de maior perfil.

A terapia LIV fragmenta a calcificação com auxílio deUSIC ou OCT e proporciona a expansão ideal do stent em lesões não dilatáveis, resistentes a balões dedicados e AR.⁶⁰⁻⁶² Em contraste, algumas lesões podem não ser passíveis de terapia LIV ou continuar resistentes após a aplicação de todos os 80 pulsos. A introdução e o posicionamento do cateter balão LIV podem ser afetados por tortuosidade ou angulação severa, redução crítica do lúmen, indentação da placa no lúmen, vasos finos e múltiplas camadas de stent. Até 46% das lesões também podem exigir pré-dilatação e/ou pós-dilatação da lesão com balões NC, ou beneficiar-se da preparação das lesões adjuvantes com dispositivos convencionais, como balões *cutting* ou *scoring*, ou aterectomia, para facilitar a introdução do balão ou aumentar a complacência da calcificação após a terapia LIV.^{61,63} A LIV funciona bem sem que haja preocupação com complicações relacionadas ao fio-guia, porque o balão inflado atua circunferencialmente sobre a CAC. Uma curva de aprendizado reduzida e uma aparente ausência de embolização e perfuração são atributos muito atraentes da LIV, em comparação com a aterectomia. Além disso, a LIV é possível após o stent, ao contrário da aterectomia.

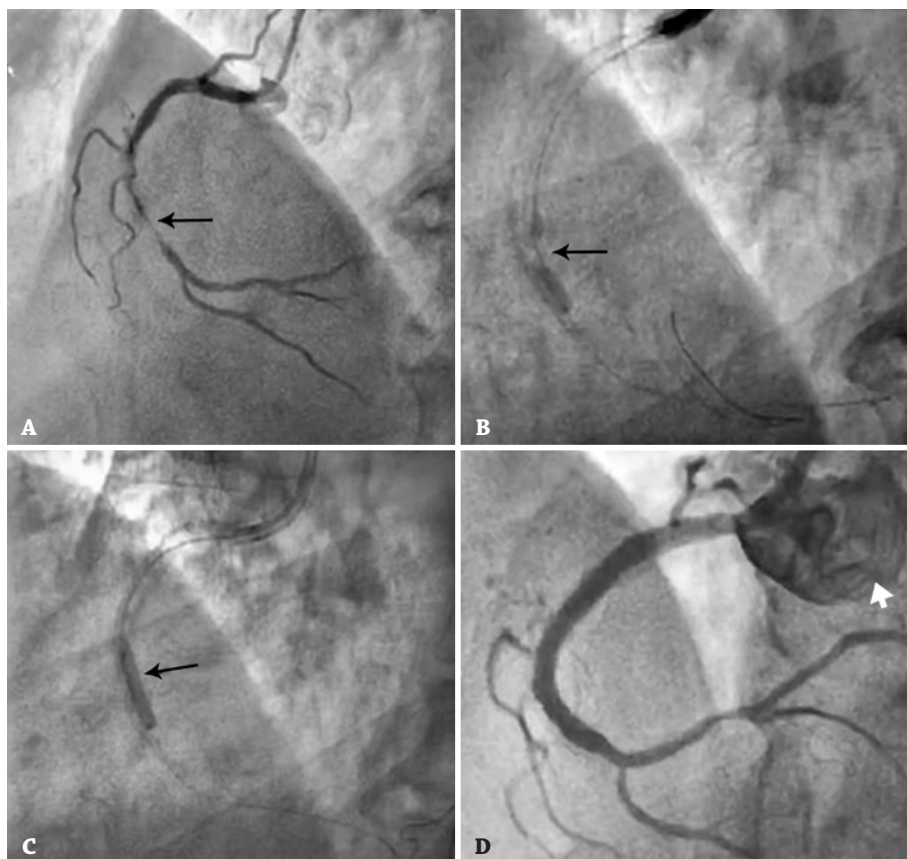


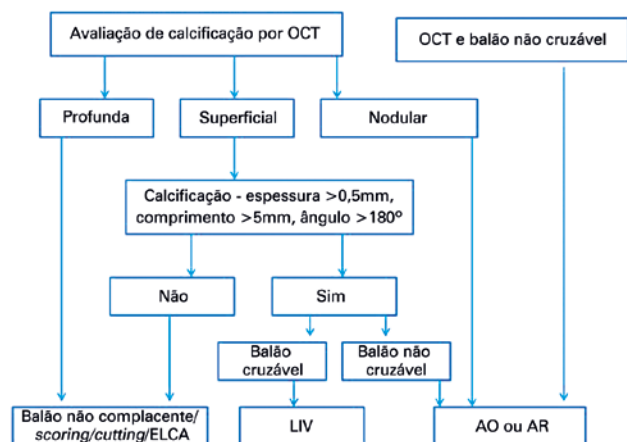
Figura 5. Aplicação de litotripsia intravascular em lesões calcificadas não dilatáveis. (A) Estenose grave do segmento médio da artéria coronária direita com calcificação. (B) Evidência de efeito *dog bone* (seta preta), apesar da dilatação à alta pressão por balão não complacente. (C) Aplicação de litotripsia intravascular com expansão completa do balão (seta preta). (D) Resultado angiográfico final após implante de stent.

A LIV pode causar complicações vasculares, embora a ruptura do balão seja incomum. Foi descrita uma súbita ruptura do balão com dissecação arterial durante a terapia de litotripsia. Deve ser usada com cautela em estenoses graves ou em artéria tortuosa.^{64,65} Recentemente, houve um relato de caso de perfuração ocorrida após essa terapia.⁶⁶ Além disso, vasos com diâmetro >4mm (tamanho máximo do balão de ondas de choque) ou com importante excentricidade da placa impedem a aposição adequada do balão LIV na parede do vaso, podendo reduzir a eficácia da terapia. O estudo Disrupt-CAD (*Disrupt Coronary Artery Disease*), prospectivo, multicêntrico, de braço único, que incluiu 60 pacientes com CAC grave, tratados com LIV por ondas de choque, relatou 98% de sucesso do dispositivo, implante de 100% dos stents, baixa taxa de ECAM, elevado ganho luminal agudo e nenhum caso de dissecação, perfuração, fechamento abrupto, ou fenômenos de *slow/no reflow*.⁶⁷ A LIV pôde ser realizada com segurança, com alto sucesso de procedimento, com complicações mínimas e substancial fragmentação da placa calcificada na maioria das lesões, no estudo prospectivo multicêntrico Disrupt CAD II.⁶⁸ O Disrupt CAD III (ClinicalTrials.gov Identifier: NCT03595176)

é um estudo multicêntrico, prospectivo e não randomizado, com a intenção de avaliar a segurança e a efetividade do Shockwave Coronary IVL System em 392 pacientes com CAC grave, antes do implante de stents. O estudo avaliará a ocorrência de ECAM em até 30 dias após o procedimento inicial como desfecho primário de segurança. O desfecho primário de efetividade será o sucesso do procedimento, definido como o implante do stent com estenose residual inferior a 50% e sem ECAM intra-hospitalar.

CONCLUSÕES

O cenário da intervenção coronária percutânea mudou drasticamente nos últimos anos. Apesar das melhorias nos dispositivos e técnicas de intervenção, a calcificação da artéria coronária ainda constitui um desafio significativo para a intervenção coronária percutânea. As dificuldades técnicas associadas ao tratamento dessas lesões podem resultar em piores desfechos a longo prazo. Na prática atual, a terapia ideal para uma calcificação significativa da artéria coronária é multifacetada e requer a disponibilidade de várias estratégias na sala de hemodinâmica (Figura 6). A intervenção



OCT: tomografia de coerência óptica; ELCA: aterectomia coronária com Excimer laser; LIV: litotripsia intravascular; AO: aterectomia orbital; AR: aterectomia rotacional.

Figura 6. Abordagem proposta para o tratamento de lesões coronárias calcificadas.

coronária percutânea dessas lesões demonstrou alta taxa de sucesso do procedimento e um risco relativamente baixo com o uso da aterectomia rotacional, da aterectomia orbital, da aterectomia coronária com Excimer laser ou, mais recentemente, da litotripsia intravascular. As futuras melhorias na flexibilidade do cateter-balão e no perfil de cruzamento, bem como a adição de revestimentos hidrofílicos, devem aumentar ainda mais a possibilidade de utilização dos balões *cutting* e *scoring*. A aplicação de drogas antiproliferativas nesses balões combinaria o benefício da aterectomia por balão com as propriedades antiproliferativas dos balões farmacológicos. Apesar do volume cada vez maior de dados referentes a várias modalidades, ainda é preciso realizar uma comparação rigorosa *head-to-head*, sendo necessários ensaios randomizados adicionais para esclarecer melhor a superioridade de uma modalidade em relação à outra.

FONTE DE FINANCIAMENTO

Não há.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Concepção e desenho do estudo: DD, NA e RM; coleta dos dados: DD, NA e RM; interpretação dos dados: DD, NA e RM; composição do texto: DD, NA e RM; aprovação da versão final a ser publicada: DD, NA e RM.

REFERÊNCIAS

1. Gruntzig AR, Senning A, Siegenthaler WE. Nonoperative dilatation of coronary-artery stenosis: percutaneous transluminal

coronary angioplasty. *N Engl J Med.* 1979;301(2):61-8. <https://doi.org/10.1056/NEJM197907123010201>

2. Lee MS, Shah N. The impact and pathophysiologic consequences of coronary artery calcium deposition in percutaneous coronary interventions. *J Invasive Cardiol.* 2015;28(4):160-7. PMID: 26301561
3. Mintz GS. Intravascular imaging of coronary calcification and its clinical implications. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2015;8(4):461-71. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.02.003>
4. Généreux P, Madhavan MV, Mintz GS, Maehara A, Palmerini T, Lasalle L, et al. Ischemic outcomes after coronary intervention of calcified vessels in acute coronary syndromes. Pooled analysis from the HORIZONS-AMI (Harmonizing Outcomes With Revascularization and Stents in Acute Myocardial Infarction) and ACUTY (Acute Catheterization and Urgent Intervention Triage Strategy) TRIALS. *J Am Coll Cardiol.* 2014;63(18):1845-54. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.034>
5. Amann K. Media calcification and intima calcification are distinct entities in chronic kidney disease. *Clin J Am Soc Nephrol.* 2008;3(6):1599-605. <https://doi.org/10.2215/CJN.02120508>
6. 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(7):1959-65. <https://doi.org/10.1161/01.cir.91.7.1959>
7. Mintz GS, Nissen SE, Anderson WD, Bailey SR, Erbel R, Fitzgerald PJ, et al. Standards for the acquisition, measurement, and reporting of intravascular ultrasound studies: a report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol.* 2001;37(5):1478-92. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(01\)01175-5](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(01)01175-5)
8. 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(6):668-75. <https://doi.org/10.11909/j.issn.1671-5411.2015.06.012>
9. Mehanna E, Bezerra HG, Prabhu D, Brandt E, Chamié D, Yamamoto H, et al. Volumetric characterization of human coronary calcification by frequency-domain optical coherence tomography. *Circ J.* 2013;77(9):2334-40. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-12-1458>
10. Fujino A, Mintz GS, Mastumura M, Lee T, Kim SY, Hoshino M, et al. A new optical coherence tomography-based calcium scoring system to predict stent underexpansion. *EuroIntervention.* 2018;13(18):e2182-9. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00962>
11. Youssef G, Kalia N, Darabian S, Budoff MJ. Coronary calcium: new insights, recent data, and clinical role. *Curr Cardiol Rep.* 2013;15(1):325. <https://doi.org/10.1007/s11886-012-0325-3>
12. Grandhi GR, Mirbolouk M, Dardari ZA, Al-Mallah MH, Rumberger JA, Shaw LJ, et al. Interplay of coronary artery calcium and risk factors for predicting CVD/CHD mortality: The CAC consortium. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2020;13(5):1175-1186. doi: 10.1016/j.jcmg.2019.08.024
13. de Graaf MA, Broersen A, Kitslaar PH, Roos CJ, Dijkstra J, Lelieveldt BP, et al. Automatic quantification and characterization of coronary atherosclerosis with computed tomography coronary angiography: cross-correlation with intravascular ultrasound and virtual histology. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2013;29(5):1177-90. <https://doi.org/10.1007/s10554-013-0194-x>
14. Seth A, Gupta S, Pratap Singh V, Kumar V. Expert opinion: optimising stent deployment in contemporary practice: the role of intracoronary imaging and noncompliant balloons. *Interv Cardiol.* 2017;12(2):81-4. <https://doi.org/10.15420/icr.2017.12.1>
15. Romagnoli E, Sangiorgi GM, Cosgrave J, Guillet E, Colombo A. Drug-eluting stenting: the case for post-dilation. *JACC Cardiovascular Interv.* 2008;1(1):22-31. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2007.10.005>

16. Kassimis G, Patel N, Banning AP. IVUS-guided high-pressure non-compliant balloon dilation to treat in-DES restenosis. *J Invasive Cardiol*. 2014;26(7):348. PMID: 24993993
17. Secco GG, Ghione M, Mattesini A, Dall'Ara G, Ghilencea L, Kilickesmez K, et al. Very high-pressure dilatation for undilatable coronary lesions: indications and results with a new dedicated balloon. *EuroIntervention*. 2016;12(3):359-65. https://doi.org/10.4244/EIJY15M06_04
18. Diaz JF, Gomez-Menchero A, Cardenal R, Sánchez-González C, Sanghvi A. Extremely high-pressure dilation with a new noncompliant balloon. *Tex Heart Inst J*. 2012;39(5):635-8. PMID: 23109756
19. Dash D. Interventional management of "balloon-uncrossable" coronary chronic total occlusion: Is there any way out? *Korean Circ J*. 2018;48(4):277-86. <https://doi.org/10.4070/kcj.2017.0345>
20. Barath P, Fishbein MC, Vari S, Forrester JS. Cutting balloon: a novel approach to percutaneous angioplasty. *Am J Cardiol*. 1991; 68(11):1249-52. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(91\)90207-2](https://doi.org/10.1016/0002-9149(91)90207-2)
21. Mauri L, Bonan R, Weiner BH, Legrand V, Bassand JP, Popma JJ, et al. Cutting balloon angioplasty for the prevention of restenosis: results of the cutting balloon global randomized trial. *Am J Cardiol*. 2002;90(10):1079-83. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(02\)02773-x](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(02)02773-x)
22. Albiero R, Silber S, Di Mario C, Cernigliaro C, Battaglia S, Reimers B, Frasheri A, Klauss V, Auge JM, Rubartelli P, Morice MC, Cremonesi A, Schofer J, Bortone A, Colombo A; RESCUT Investigators. Cutting balloon versus conventional balloon angioplasty for the treatment of in-stent restenosis: results of the restenosis cutting balloon evaluation trial (RESCUT). *J Am Coll Cardiol*. 2004;43(6):943-9. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2003.09.054>
23. de Ribamar Costa J Jr, Mintz GS, Carlier SG, Mehran R, Teirstein P, Sano K, et al. Nonrandomized comparison of coronary stenting under intravascular ultrasound guidance of direct stenting without predilatation versus conventional predilatation with semi-compliant balloon versus predilatation with a new scoring balloon. *Am J Cardiol*. 2007;100(5):812-27. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2007.03.100>
24. Raina T, Gunn J. The final score: use of a sculpting balloon. *Heart*. 2009;95(17):1448. <https://doi.org/10.1136/hrt.2008.156109>
25. Schillinger M, Minar E. Percutaneous treatment of peripheral artery disease: novel techniques. *Circulation*. 2012;126(20):2433-40. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.036574>
26. Ashida K, Hayase T, Shimmura T. Efficacy of lacrosse NSE using the "leopard-crawl" technique on severely calcified lesions. *J Invasive Cardiol*. 2013;25(10):555-64. PMID: 24088433
27. Taguchi I, Kageyama M, Kanaya T, Abe S, Node K, Inoue T. Clinical significance of non-slip element balloon angioplasty for patients of coronary artery disease: a preliminary report. *J Cardiol*. 2014;63(1):19-28. <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2013.06.009>
28. Kawamoto H, Latib A, Ruparelia N, Boccuzzi GG, Pennacchi M, Sardella G, et al. Planned versus provisional rotational atherectomy for severe calcified coronary lesions: insights from the ROTATE multi-center registry. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2016;88(6):881-9. <https://doi.org/10.1002/ccd.26411>
29. Moussa I, Ellis SG, Jones M, Kereiakes DJ, McMartin D, Rutherford B, et al. Impact of coronary culprit lesion calcium in patients undergoing paclitaxel-eluting stent implantation (a TAXUS-IV sub study). *Am J Cardiol*. 2005; 96(9):1242-7. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2005.06.064>
30. Barbato E, Carrié D, Dardas P, Fajadet J, Gaul G, Haude M, Khashaba A, Koch K, Meyer-Gessner M, Palazuelos J, Reczuch K, Ribichini FL, Sharma S, Sipötz J, Sjögren I, Suetsch G, Szabó G, Valdés-Chávarri M, Vaquerizo B, Wijns W, Windecker S, de Belder A, Valgimigli M, Byrne RA, Colombo A, Di Mario C, Latib A, Hamm C; European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions. European expert consensus on rotational atherectomy. *EuroIntervention*. 2015;11(1):30-6. <https://doi.org/10.4244/EIJV11I1A6>
31. Allali A, Abdel-Wahab M, Sulimov DS, Jose J, Geist V, Kassner G, et al. Comparison of bailout and planned rotational atherectomy for heavily calcified coronary lesions: a single-center experience. *J Interv Cardiol*. 2017;30(2):124-33. <https://doi.org/10.1111/joic.12361>
32. Dash D. Percutaneous coronary rotational atherectomy: Does it make sense in 2018? *J Indian Coll Cardiol*. 2018;8(2):80-6. <https://doi.org/10.1016/j.jicc.2018.02.005>
33. Dong H, Hachinohe D, Nie Z, Kashia Y, Luo J, Haraguchi T, et al. Reappraisal value of a modified rotational atherectomy technique in contemporary coronary angioplasty era. *Journal of Interventional Cardiology*. 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9190702>
34. Mauri L, Reisman M, Buchbinder M, Popma JJ, Sharma SK, Cutlip DE, et al. Comparison of rotational atherectomy with conventional balloon angioplasty in the prevention of restenosis of small coronary arteries: Results of the dilatation vs ablation revascularization trial targeting restenosis (DART). *Am Heart J*. 2003;145(5):847-54. [https://doi.org/10.1016/S0002-8703\(03\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0002-8703(03)00080-2)
35. Reifart N, Vandormael M, Krajcar M, Göhring S, Preusler W, Schwarz F, et al. Randomized comparison of angioplasty of complex coronary lesions at a single center. Excimer Laser, Rotational Atherectomy, and Balloon Angioplasty Comparison (ERBAC) Study. *Circulation*. 1997;96(1):91-8. <https://doi.org/10.1161/01.cir.96.1.91>
36. Whitlow PL, Bass TA, Kipperman RM, Sharaf BL, Ho KK, Cutlip DE, et al. Results of the study to determine rotablator and transluminal angioplasty strategy (STRATAS). *Am J Cardiol*. 2001;15(6):87: 699-705. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(00\)01486-7](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(00)01486-7)
37. Safian RD, Feldman T, Muller DW, Mason D, Schreiber T, Haik B, et al. Coronary angioplasty and rotablator atherectomy trial (CARAT): immediate and late results of a prospective multicenter randomized trial. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2001;53(2):213-20. <https://doi.org/10.1002/ccd.1151>
38. Whitlow PL, Bass TA, Kipperman RM, Sharaf BL, Ho KK, Cutlip DE, et al. Results of the study to determine rotablator and transluminal angioplasty strategy (STRATAS). *Am J Cardiol*. 2001;87(6):699-705. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(00\)01486-7](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(00)01486-7)
39. Wiener N, Butz T, Schmidt W, Schmitz KP, Horstkotte D, Langer C, et al. Scanning electron microscopic analysis of different drug eluting stents after failed implantation: from nearly undamaged to major damaged polymers. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2010; 75(6):905-11. <https://doi.org/10.1002/ccd.22347>
40. Kuriyama N, Kobayashi Y, Yamaguchi M, Shibata Y. Usefulness of rotational atherectomy in preventing polymer damage of everolimus eluting stent in calcified coronary artery. *JACC Cardiovasc Interv*. 2011;4(5):588-99. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2010.11.017>
41. Fujii K, Carlier SG, Mintz GS, Yang YM, Moussa I, Weisz G, et al. Stent underexpansion and residual reference segment stenosis are related to stent thrombosis after sirolimus-eluting stent implantation: an intravascular ultrasound study. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45(7):995-8. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2004.12.066>
42. Tomey MI, Kini AS, Sharma SK. Current status of rotational atherectomy. *JACC Cardiovasc Interv*. 2014;7(4):345-53. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2013.12.196>
43. Abdel-Wahab M, Richardt G, Joachim Büttner H, Toelg R, Geist V, Meinertz T, et al. High-speed rotational atherectomy before paclitaxel-eluting stent implantation in complex calcified coronary lesions: the randomized ROTAXUS (Rotational Atherectomy Prior To Taxus Stent Treatment For Complex Native Coronary

- Artery Disease) trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2013;6(1):10-9. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2012.07.017>
44. Abdel-Wahab M, Toelg R, Byrne M, Geist V, El-Mawardy M, Allali A, et al. High-speed rotational atherectomy versus modified balloons prior to drug-eluting stent Implantation in severely calcified coronary lesions. *Circ Cardiovasc Interv.* 2018;11(10):e007415. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.118.007415>
45. Authors/Task Force members, Windecker S, Kolh P, Alfonso F, Collet JP, Cremer J, Falk V, et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur Heart J.* 2014;35(37):2541-619. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu278>
46. Parikh K, Chandra P, Choksi N, Khanna P, Chambers J. Safety and feasibility of orbital atherectomy for the treatment of calcified coronary lesions: the ORBIT I trial. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2013;81(7):1134-9. <https://doi.org/10.1002/ccd.24700>
47. Sulimov DS, Abdel-Wahab M, Toelg R, Kassner G, Geist V, Richardt G. Stuck rotablator: the nightmare of rotational atherectomy. *EuroIntervention.* 2013;9(2):251-8. <https://doi.org/10.4244/EIJV9I2A41>
48. Shlofmitz E, Martinsen BJ, Lee M, Rao SV, G  n  reux P, Higgins J, et al. Orbital atherectomy for the treatment of severely calcified coronary lesions: evidence, technique, and best practices. *Expert Rev Med Devices.* 2017;14(11):1867-79. <https://doi.org/10.1080/17434440.2017.1384695>
49. Shavadia JS, Vo MN, Bailey KR. Challenges with severe coronary artery calcification in percutaneous coronary intervention: a narrative review of therapeutic options. *Can J Cardiol.* 2018;34(12):1564-72. <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2018.07.482>
50. Chambers JW, Feldman RL, Himmelstein SI, Bhatheja R, Villa AE, Strickman NE, et al. Pivotal trial to evaluate the safety and efficacy of the orbital atherectomy system in treating de novo, severely calcified coronary lesions (ORBIT II). *JACC Cardiovasc Interv.* 2014;7(5):510-8. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.01.158>
51. Lee M, G  n  reux P, Shlofmitz R, Phillipson D, Anose BM, Martinsen BJ, et al. Orbital atherectomy for treating de novo, severely calcified coronary lesions: 3-year results of the pivotal ORBIT II trial. *Cardiovasc Revasc Med.* 2017;18(4):261-4. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2017.01.011>
52. 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(6):1024-32. <https://doi.org/10.1002/ccd.26000>
53. Sharma S, Saito S, Shlofmitz R, Stone G. Treatment of Severely Calcified Coronary Lesions with the Coronary Orbital Atherectomy System Micro Crown: 1-year Results from the COAST Trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2017;10(3 Suppl):S-1-S2. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.12.033>
54. Badr S, Ben-Dor I, Dvir D, Barbash IM, Kitabata H, Minha S, et al. The state of the excimer laser for coronary intervention in the drug-eluting stent era. *Cardiovasc Revasc Med.* 2013;14(2):93-8. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2012.12.008>
55. Rawlins J, Din JN, S Talwar, O'Kane P. Coronary intervention with the excimer laser: review of the technology and outcome data. *Interv Cardiol.* 2016;11(1):27-32. <https://doi.org/10.15420/icr.2016:2:2>
56. Sandoval Y, Lobo AS, Tatji P, Brilakis ES. Laser-assisted orbital or rotational atherectomy: a hybrid treatment strategy for balloon uncrossable lesions. *Hellenic J Cardiol.* 2018;S1109-9666(18)30278-1. <https://doi.org/10.1016/j.hjc.2018.07.010>
57. Fernandez JP, Hobson AR, McKenzie D, Shah N, Sinha MK, Wells TA, et al. Beyond the balloon: excimer coronary laser atherectomy used alone or in combination with rotational atherectomy in the treatment of chronic total occlusions, non-crossable and nonexpandable coronary lesions. *EuroIntervention.* 2013;9(2):243-50. <https://doi.org/10.4244/EIJV9I2A40>
58. Brinton TJ, Ali ZA, Hill JM, Meredith IT, Maehara A, Illindala U, et al. Feasibility of shockwave coronary intravascular lithotripsy for the treatment of calcified coronary stenoses. *Circulation.* 2019;139(6):834-6. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.036531>
59. Yeoh J, Hill JM. Intracoronary lithotripsy for the treatment of calcified plaque. *Interv Cardiol Clin.* 2019;8(4):411-424. <https://doi.org/10.1016/j.iccl.2019.06.004>
60. Venuti G, D'Agosta G, Tamburino C, La Manna A. Coronary lithotripsy for failed rotational atherectomy, cutting balloon, scoring balloon, and ultra-high-pressure non-compliant balloon. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2019;94(3):E111-E115. <https://doi.org/10.1002/ccd.28287>
61. Chen G, Zrenner B, Pyxaras SA. Combined rotational atherectomy and intravascular lithotripsy for the treatment of severely calcified in-stent neoatherosclerosis: a mini-review. *Cardiovasc Revasc Med.* 2019;20(9):819-21. <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2018.10.007>
62. Vainer J, Lux A, Ilhan M, Vainer J, Lux A, Ilhan M, et al. Smart solution for hard times: successful lithoplasty of an undilatable lesion. *Neth Heart J.* 2019;27(4):216-7. <https://doi.org/10.1007/s12471-019-1261-2>
63. Kassimis G, Raina T, Kontogiannis N, Patri G, Abramik J, Zaphiriou A, et al. How should we treat heavily calcified coronary artery disease in contemporary practice? From atherectomy to intravascular lithotripsy. *Cardiovasc Revasc Med.* 2019;20(12):1172-83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carrev.2019.01.010>
64. López-Lluya MT, Jurado-Román A, Sanchez-Pérez I, Abell  n-Huerta J, Lozano Ru  z-Poveda F. Shockwave: useful but potentially dangerous. *JACC Cardiovasc Interv.* 2019;12(5):500-1. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2018.12.035>
65. Soriano F, Veas N, Piccinelli E, Oreglia J. Coronary dissection due to intravascular lithoplasty balloon rupture. *EuroIntervention.* 2019;15(6):e558-e559 <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-19-00383>
66. Simsek C, Vos J, IJsselmuiden A, Meuwissen M, van der Braden B, Heijer P, et al. Coronary artery perforation after shockwave intravascular lithotripsy. *JACC: Case Report.* 2020;2(2):247-9. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2019.10.045>
67. Brinton TJ, Ali Z, Mario CD, Hill J, Whitbourn R, Gotberg M, et al. Performance of the lithoplasty system in treating calcified coronary lesions prior to stenting: results from the DISRUPT-CAD OCT sub-study. *J Am Coll Cardiol.* 2017;69:11-21. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(17\)34510-2](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(17)34510-2)
68. Ali ZA, Nef H, Escaned J, Werner N, Banning AP, Hill JM, 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(10):e008434. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.119.008434>