

# Clinical Expert Consensus Document on Rotational Atherectomy from the Japanese Association of Cardiovascular Intervention and Therapeutics: update 2026（日本語版）

[本文献を引用する場合には, Cardiovasc Interv Ther. 2026;41(2):256-282（英語版）を引用してください]

坂倉 建一<sup>1\*</sup>, 伊藤 良明<sup>2</sup>, 柴田 剛徳<sup>3</sup>, 岡村 篤徳<sup>4</sup>, 鹿島 由史<sup>5,6</sup>, 中村 茂<sup>7</sup>,  
濱寄 裕司<sup>8</sup>, 阿古 潤哉<sup>9</sup>, 横井 宏佳<sup>10</sup>, 小林 欣夫<sup>11</sup>, 伊莉 裕二<sup>12</sup>, 上妻 謙<sup>13</sup>

1. 自治医科大学附属さいたま医療センター循環器内科.\*責任著者.
2. 済生会横浜市東部病院循環器内科.
3. 宮崎市郡医師会病院循環器内科.
4. 桜橋渡辺未来医療病院循環器内科.
5. 大分循環器病院循環器内科.
6. 札幌ハートセンター循環器内科.
7. 京都桂病院心臓血管センター.
8. おおたかの森病院循環器内科.
9. 北里大学医学部循環器内科.
10. 福岡山王病院循環器内科.
11. 千葉大学大学院医学研究院循環器内科学.
12. 東海大学医学部循環器内科.
13. 帝京大学医学部循環器内科.

## 抄録

CVIT の Rotational atherectomy (RA) コンセンサスドキュメント作成班は RA に関するテクニックやエビデンスをまとめたコンセンサスドキュメントの初版を 2020 年に出版し, 2023 年に Update 版を出版した. 高度石灰化病変への血行再建は現代の PCI において非常に注目されている領域であり, 2023 年以降も多く論文が発表されている. 最近の RA における学術上の進歩などを取り入れるため, ここに 2026 年 Update 版を報告する.

## 1. はじめに

冠動脈病変における高度石灰化は PCI おける予後不良因子として広く知られている(1-4). Rotational atherectomy (RA) は高度石灰化病変への治療デバイスとして 20 年以上, 国内外で広く使用されている. 北米およびヨーロッパからは RA 使用に関するエキスパートコンセンサスドキュメントがすでに出版されている(5, 6). 北米およびヨーロッパと比較して, 日本の RA 治療は血管内イメージングデバイスの高い使用率を背景に独自の進化を遂げてきた(7-12). 日本では PCI 中の IVUS および OCT の使用が保険でカバーされることから, RA 術者は IVUS や OCT を使用しやすい環境にある. IVUS は RA においてガイドワイヤバイアスを判断したり, 適切な burr サイズを決定することに有用であり(13), OCT は石灰化病変の厚さを測定し, その測定に基づく burr サイズを選択することも可能である(14), (15). さらに, 日本における RA 使用率は他国よりも高い傾向にある. 日本における使用率は 3.3% と報告されており(16), イギリス (3.1%) およびフランス (2.9%) とほぼ同じで, イタリア (1.3%) やドイツ (0.8%) よりも高かった(6).

一方, 日本における大きな変化として 2020 年 4 月より RA は心臓血管外科医のオンサイトでのバックアップ無しでも使用が可能となった. CVIT が関係省庁と協力して新しい施設基準を策定したことで, 上記が可能となった. この新しい

施設基準によって日本における RA 術者は増加し、300 以上の施設が CVIT および製造販売元（ボストンサイエンティフィック）が作成したトレーニングプログラムを修了した。新規認定施設からの良好な初期臨床成績も報告された(17)。CVITRA コンセンサスドキュメント作成班は RA に関するテクニックやエビデンスをまとめたコンセンサスドキュメントの初版を 2020 年に出版し、2023 年に Update 版を出版した(18, 19)。高度石灰化病変への血行再建は現代の PCI において非常に注目されている領域であり、2023 年以降も多くの論文が発表されている。最近の RA における学術上の進歩などを取り入れるため、ここに 2026 年 Update 版を報告する。

## 2. RA の目的

冠動脈ステント留置が広まる前の時代においては RA の主目的は冠動脈石灰化のデバルキングであった(20)。しかし、RA を用いたデバルキング後の再狭窄率はかなり高かった(21)。Drug-eluting stent (DES)の登場が PCI の適応を大きく広げ、びまん性石灰化病変への PCI も DES の治療対象となった。DES のデリバリーと留置を容易にする lesion modification が現代の RA の主要な目的となり、RA 施行後 DES 留置の長期臨床成績も悪くないことが報告されている(22-28)。ただし、calcified nodule や透析患者における臨床成績は不良である(29-32)。最近 PREPARE-CALC trial(200 名の患者を modified balloon+DES と RA+DES に無作為割り付けした試験)の 5 年成績が発表され、RA 群において target lesion revascularization の有意な減少を認めた(33)。DIRO trial (RA とダイヤモンドバック後の stent 拡張を OCT で観察した無作為割り付け試験)においては RA においてより良好なステント拡張が認められたことが報告されている(34)。ROTA.Shock trial (IVL と RA の無作為割り付け試験)においては OCT において RA でより大きな acute lumen gain が確認された(35)。さらに ROLLER COASTR-EPIC22

trial (RA, IVL, ELCA においてステント拡張を比較した無作為割り付け試験)において、IVL は RA に対して非劣勢であることが示されたが、ELCA は RA に対する非劣勢を示すことができなかった(36)。最近の meta-analysis では IVL と RA の効果は同等で、合併症は IVL の方が少なかったという報告がある(37, 38)。しかし、IVL は基本的にクラッキングデバイスであり、RA は基本的にデバルキングデバイスであることから、石灰化病変に対する役割は異なると考えられる。

RA 後の中長期成績は透析、低栄養の患者においては不良であるが、これは RA というよりも元々の患者背景に起因していると考えられる(39-41)。Incomplete stent apposition (ISA)は石灰化病変の治療においてしばしば認める所見であるが、この ISA の臨床的意義は確立されていない(42, 43)。

RA は DES を石灰化病変に持ち込む際のポリマーのダメージを予防する可能性がある(44)。デバルキングデバイスとしての RA の初期成績は満足のいくものではなかったが、日本においてはイメージングデバイスや drug-coated balloon (DCB) の活用によって、独自の発展を遂げている(45-52)。また、RA+POBA の成績も 3mm 以上の大きな血管であれば、許容可能なレベルであることが示されている(53)。RA と modified balloon（カッティングバルーンを含む）の組み合わせは日常臨床でしばしば使用されている。一方、臨床成績としては RA+modified balloon と RA+POBA の間には大きな差はないことが報告されている(54-56)。RA とダイヤモンドバックの併用療法についても、組み合わせることでガイドワイヤバイアスが良くなったり、大きなサイズの burr を安全に使用することができたとする報告がある(57-62)。これまで RA と IVL の併用療法は系統的には検証されていなかったが、RA によって IVL カテーテルが病変に届きやすくなるという報告があった(63-67)。Dual-Prep registry (日本におけるデバルキングデバイスと IVL 併用の多施設前向き PCI レジストリーで RA と IVL の

併用療法が全体の 83.9%を占めていた)は IVL とデバルキングデバイスの併用療法は高い初期成功率と良好なステント拡張を呈することを報告している(68). CVIT はこの Dual-Prep registry の報告を受け、デバルキングデバイスと IVL の併用を可能とするステートメントを発表した(69).

現代の RA の適応を Table 1 に示す. また、この表とは別に CT における石灰化が RA の必要性を予測する可能性がある(70, 71). IVUS において石灰化は acoustic shadow を伴う high echoic signal として描出される(72). Reverberation は acoustic shadow 間に concentric で弧を描くラインとして観察される(72, 73). Reverberation は石灰化病変の表面の平滑さに関係している(74), reverberation はもともと表面が平滑な石灰化および RA 後に認めることが多い. 近年, Jinnouchi らは reverberation と RA 後の slow flow には関連があることおよび reverberation が多ければステント拡張不良や RA を用いた PCI 後の target lesion revascularization が増えることを報告している(75, 76). ただし、自然発

生の reverberation の臨床的意義は未だ十分に検証されていない. 予定された RA とベイルアウト目的の RA を検証した systematic review と meta-analysis では、予定された RA において手技時間短縮、より少ない造影剤、より少ない血管解離所見、より少ないステント数が認められたと報告している(77). 一方で、Bacmeister らは 1000 病変の検証から予定外の RA の方が予定された RA よりも良好な臨床転帰であったことを報告している(78). Kanda らは secondary RA strategy (RA 前にバルーン拡張を行う)は ST 上昇の遷延が少なかったことを報告している(79). CRATER trial は予定された RA とベイルアウト目的の RA においてトータルヘルスケアコストを比べた無作為割り付け試験であるが、トータルヘルスケアコストは 2 群間で有意な差はなかった. しかし、多くの患者においてベイルアウト群から予定群へのクロスオーバーが多かったことから、予定 RA の方にメリットがあることが示唆される結果であった(80).

**Table 1. RA の適応**

|         |                                               |
|---------|-----------------------------------------------|
| 適応      | 360 度の高度石灰化病変                                 |
|         | ナブキンリング状の石灰化                                  |
|         | Reverberation を示す石灰化                          |
|         | デバイス不通過病変                                     |
|         | IVUS/OCT 不通過                                  |
|         | マイクロカテーテル不通過                                  |
| 相対適応    | 中等度石灰化病変 (>180 度より大きい)                        |
| ハイリスク病変 | 血栓を認める病変<br>広範な解離を認める病変<br>屈曲病変<br>バイパスグラフト病変 |
| 禁忌      | 低左心機能で他の 2 枝が閉塞している際の最後の非閉塞病変                 |

### 3. Junior RA operator

本ドキュメントにおいては、RA 経験 50 例未満の術者を junior RA operator と定義した. 施設および

術者あたりの RA 症例数は合併症発生と反比例の関係にあるので、術者あたりの経験数は合併症を予防する上で重要と考える(16, 81, 82). また、RA

の良い適応は必ずしも低リスクの RA を意味しない。たとえば右冠動脈入口部への RA は良い適応である反面、技術的には難しい(83, 84)。したがって、junior RA operators への推奨と senior operators への推奨は異なることがある。

#### 4. 患者背景、機械的補助、テンポラリーペーシング

RA を計画する際にはバイタルサインや心機能といった患者背景を十分に評価すべきである。RA はしばしば complex and high-risk intervention in indicated patients (CHIP)の状況で行われるので(85-87)、臨床情報および動脈硬化リスク因子なども合わせて評価しておくことが望ましい(88)。一般に、RA は急性冠症候群の責任病変に対するベイルアウト手技として施行可能である(89-93)。一方で緊急 RA は重大合併症を来すリスクが大きい(16)。RA 中の血圧に関する明確なエビデンスはないが、収縮期血圧 120 mmHg 以上、少なくとも 100 mmHg 以上を保つことが slow flow などの合併症を防ぐために重要と考えられている。左室機能が低下した患者において slow flow が生じると血行動態が破綻する危険性がある。左室機能が低下した患者が低い血圧を呈している場合には RA 前に予防的な IABP 挿入を検討してもよい(94)。Chen らは RA において最初から IABP を入れておく方が後からベイルアウトとして IABP を入れるよりも合併症が少なかったことを報告しており、複雑な手技が予想される場合には最初から IABP を入れておく方が良いことが示唆されている(95)。待機的 RA のために V-AECMO をあらかじめ挿入することは非常に稀と考えられるが、非常にハイリスクな RA の際には、万が一の V-A ECMO のために追加で鼠径部に動脈シースと静脈シースを確保することを考慮する。また、待機的 RA の際には IABP の禁忌となるような動脈瘤や shaggy aorta の有無を事前に CT で確認しておくことが望ましい。日本においては Impella を待機的 RA のバックアップ目的で

挿入することは保険適応条件外だが(96)、米国では待機的 RA の際の Impella はオプションになりえる(97)。心原性ショックですでに Impella や V-A ECMO のサポートを受けている患者への RA を用いた PCI はショックから離脱するためのベイルアウトの手段にもなり得る。ベータ遮断薬は至適薬物療法において極めて重要であるが、slow flow 発生の懸念から RA を予定している患者には処方を控える術者もいる(98)。RA 中の徐脈は問題になり得るが、ベータ遮断薬の有無が slow flow に直接的な影響はなかったとする報告もあるので、基本的に継続可能と考える(99)。

徐脈や AV block 等の不整脈は RA 中、特に右冠動脈への治療中に時折生じる。テンポラリーペーシングは信頼できる解決策であるが、senior RA operator は次にあげる理由からテンポラリーペーシングを使用しないことがある：[1] アブレーション時間が短ければ、不整脈が遷延するリスクは低い、[2] 咳嗽反射がある程度は有効(100)、[3] テンポラリーペーシングによる心室穿孔のリスクもある(101, 102)。しかし、junior RA operator は必要と考えられる病変にはテンポラリーペーシングを挿入する方が安全である。実際、徐脈は右冠動脈、大きな左回旋枝、左冠動脈主幹部、またまれに左前下行枝への RA で生じる。本ドキュメントでは右冠動脈、大きな左回旋枝、左主幹部病変への RA においてはテンポラリーペーシングを挿入することを junior RA operator に推奨する。アミノフィリンの静注が RA 中の徐脈性不整脈を防ぐ可能性が報告されているが(103-105)、臨床経験が限られており、副作用の懸念もあることから本ドキュメントは現時点ではアミノフィリンの使用を推奨しない。

Kusumoto らは RotaWire を用いた trans-coronary pacing を報告している(55)。このケースレポートにおいては、体外式ペースメーカーの陰極はクリップを用いて RotaWire の遠位端、陽極は鼠径部に刺した（麻酔下）針につけることで作動さ

せている(106). Iqbal は trans-coronary pacing について検証し、成功率は 91.7% (121/132 の RA 症例)であったことを報告している(107). Trans-coronary pacing は通常のテンポラリーペーシングの潜在的な代替案として議論可能であるが、冠攣縮や横隔膜の twitching などの課題もあるため、本ドキュメントにおいて現時点では推奨しない。

## 5. RA におけるガイドカテーテル

RA は trans-radial, femoral, brachial のいずれにおいても可能であるが(108-110), RA 術者は各カテーテルサイズで可能な最大 burr サイズを認識しておく必要がある。6-Fr は 1.75-mm burr まで、7-Fr は 2.0-mm burr までが最大であり、術者が 2.15-mm 以上の burr を使用する際には 8-Fr ガイドが必要である。一方、ガイドカテーテルに強い屈曲があるとガイド内で burr を進めることが非常に困難になるため、burr のサイズダウンが必要になることがある。また、術者が手製のサイドホールをガイドカテーテルに開けた場合には、そのサイドホールが burr の前進を妨げる可能性もある。junior RA operator の手技においては、slow flow や穿孔などの合併症を早期発見するために冠動脈血流をより頻回に確認することが望ましく、そのためには 6-Fr ガイドよりも 7-Fr ガイドが望ましい (drive shaft sheath は 4.3 Fr あり、造影を妨げるので)。

ガイドカテーテルの形状選択は senior RA operator の間でもバラつきがある。安定した手技のためには適度のバックアップサポートが必要であるが、CTO 治療で必要とされるような非常に強いバックアップサポートは RA には不要である。ガイドカテーテルのポジショニングとして同軸性が非常に重要である。一方、まれに非常に強いバックアップサポートを要する RA 症例があることも報告されている(111)。ガイドカテーテルが大動脈のカスプの部分で浮いたまま手技を行うと大動脈弁を傷つけ、重度の大動脈弁逆流を来す可能性

があることが報告されている(112, 113)。TAVI 弁留置後にはガイドカテーテルのエンゲージ自体が困難なことがしばしばあるが、アテレクトミーデバイスを使用するためにはしっかりとエンゲージすることが重要である(114, 115)。

## 6. RA におけるガイドワイヤ

RA においては RotaWire floppy (Boston scientific, Marlborough, MA, USA) と RotaWire extra-support (Boston scientific, Marlborough, MA, USA)の 2 種類のガイドワイヤが使用可能である。両方の RotaWire が 0.014-inch/0.36-mm スプリングチップと 0.009-inch/0.23-mm ガイドワイヤシャフトで構成されているが、テーパのされかた、スプリングチップの長さが異なる。RotaWire floppy は長いテーパされたシャフト (13 cm of <0.0077-inch/0.20-mm shaft) と短いスプリングチップ (22 mm)を持ち、RotaWire Extra-support は短いテーパされたシャフト (5 cm of <0.009-inch/0.23-mm shaft) とやや長いスプリングチップ (28 mm)を持つ (116)。RA を成功させるためには、RotaWire に屈曲を作らないことが重要である。RotaWire の屈曲は burr と RotaWire の摩擦を著しく増加させる。したがって、RotaWire を Target および末梢に持ち込む際にはマイクロカテーテル使用が推奨される。RA 術者は 0.014-inch の通常ガイドワイヤで病変を通過させて、その後にマイクロカテーテルを使用して RotaWire に交換するべきである。近年、RotaWire は改良されて RotaWire drive floppy と RotaWire drive extra-support が使用可能である (117)。トルクレスポンスはこの Drive シリーズで大きく改善した。しかし、本ドキュメントでは RotaWire Drive であっても、RotaWire に屈曲を作らないために、マイクロカテーテルを使用する従来通りの方法を推奨する。RotaWire の選択についてのガイダンスを Table 2 に示す。

**Table 2. RotaWire 選択のガイドンス**

| 特徴もしくは特定の状況                                      | RotaWire Floppy か Extra-Support                        |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| より強く石灰化を切削する能力(切削効率)                             | Extra-Support > Floppy                                 |
| 屈曲した血管を伸ばす力                                      | Extra-Support > Floppy                                 |
| システム全体のバックアップ力を高める力                              | Extra-Support > Floppy                                 |
| 血管内イメージングが通過して、ガイドワイヤバイアス等の十分な情報が得られた場合          | イメージングデバイスおよびアンギオの情報から Extra-Support もしくは Floppy を選択する |
| 術者がアンギオもしくはイメージングデバイスからガイドワイヤバイアスを判断できない場合       | Floppy 使用を優先する                                         |
| Junior RA operator がどちらの RotaWire が良いのか判断できない場合  | Floppy 使用を優先する                                         |
| Burr が病変を通過できないときの, Floppy から Extra-Support への交換 | コンタクトポイントが変わることで、ワークする可能性がある。一方、深掘れに注意する必要がある。         |
| Burr が病変を通過できない時の, Extra-Support から Floppy への交換  | コンタクトポイントが変わることで、ワークする可能性がある。                          |

## 7. 適切な burr サイズ

RA 初期のころは、比較的大きな burr で石灰化のデバルキングを行うということがしばしば行われていた。しかし、small burrs (burr/artery ratio of  $\leq 0.7$ ) と large burrs (burr/artery ratio of  $> 0.7$ ) を比較した無作為化試験において、small burrs は large burrs と同等の初期および遠隔成績、そしてより少ない合併症という好ましい結果を示した(118)。さらに、最近の後ろ向き研究においても burr/artery ratio  $> 0.61$  は不良な臨床転帰との関連が認められた(119)。ヨーロッパのコンセンサスドキュメントは burr/artery ratio 0.6 を推奨し (6)、アメリカのコン

センサスドキュメントは burr/artery ratio 0.4-0.6 を推奨している (5)。本ドキュメントではイメージングデバイスが無い場合は burr/artery ratio 0.4-0.6 を推奨し、burr/artery ratio  $\geq 0.6$  を目指す場合にはイメージングデバイスを使用することを推奨する。

Lesion modification 目的であれば、1本の burr で十分かもしれないが、lesion modification 目的であっても、2本目の burr が必要となることもある。2本目の burr を使用するガイドンスを Table 3 に示す。

**Table 3. 2本目の burr を用いるガイドンス**

| サイズダウンもしくはサイズアップ | 状況                                          | コメント                                                                                              |
|------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| サイズダウン           | 最初の burr が病変を通過できない時は、burr のサイズダウンを行うべきである。 | 重篤な合併症を予防するためにサイズダウンは重要である。Junior RA operators は burr が 4 から 6 回のセッションでも通過しない場合にはサイズダウンを検討すべきである。 |

|        |                                                                                                   |                                                                                         |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                                                                                                   | 胸痛、心電図変化という slow flow を示唆する所見があれば、即座にサイズダウンを検討すべきである。                                   |
| サイズアップ | 術者が大きな burr ( $\geq 1.75$ -mm)を最終的に使用する場合に、小さい burr ( $\leq 1.5$ -mm) で使用して、サイズアップを行う。            | 一般にサイズアップのレンジは 0.25 mm から 0.75 mm. Junior RA operator は 0.25-mm もしくは 0.50-mm サイズアップを推奨。 |
| サイズアップ | 術者が最初の burr が通過した後の血管内イメージング所見で、切削不十分と判断した場合のサイズアップ。                                              | OCT における石灰化の厚みはサイズアップすべきかどうかの指標となる。サイズアップ前に胸痛や心電図変化という slow flow の兆候を必ず確認する。            |
| サイズアップ | 術者が最初の burr で RA を終えて、バルーン (NC, スコアリング, カッティング) 拡張を試みたが、拡張不十分 (典型的にはドッグボーン現象) であった場合のサイズアップ。      | バルーン拡張後には解離ができていないはずなので、慎重な RotaWire 操作が必要となる。                                          |
| サイズアップ | RA 中に術者が burr を押しているにも関わらず、回転数のダウンが見られない状況において、術者が burr と石灰化の接触が得られていないと判断して、接触面を増やすためにサイズアップを行う。 | Burr を押しているにも関わらず、回転数ダウンが見られない状況は burr のスタックや血管穿孔のリスクがある状態である。                          |

## 8. Burr 操作と回転数

ペッキングモーション (素早く burr の前進と後退を繰り返す) が RA の burr 操作の基本とされてきた(6). RA のエキスパート達は様々な burr 操作を行っているが、共通点はプラットフォームから burr を前進させて、プラットフォームに burr を戻すということである。実際、burr の操作速度はエキスパート間でも大きく異なる。非常に速い操作を好むエキスパートがいれば、非常にゆっくりの操作を好むエキスパートもいる。基本的には次に挙げるポイントが守られていれば、いずれの操作速度も許容され则认为る:[1] 術者は burr の動きをコントロールする必要がある。術者が burr のコントロールを難しいと感じている場合、操作速度が速すぎる可能性がある、[2] 術者は過度の回転数ダウンを避けるべきである、[3] burr のスタックの原因となるため、術者は病変の途中で burr の回転を止めてはならない。術者は burr がプラットフォーム

まで戻った後に burr の回転を止めるべきである。術者は burr がプラットフォームにある時に、burr による虚血誘発に注意を払うべきである。burr サイズがプラットフォームの血管径に近い場合、虚血はしばしば生じる。近年のシネアンギオ装置は透視保存の機能があるため、junior RA operator はセッション毎に透視保存を行って、セッションの合間にその透視保存をレビューすることを推奨する。このレビューによって術者は burr, RotaWire, ガイドカテーテルの挙動を確認することができし、burr 断裂などの兆候を認識できるかもしれない(120, 121)。さらに、日本においては ROTAPRO (Boston scientific, Marlborough, MA, USA)が新規施設、既存施設ともに導入されている。ROTAPRO はデジタルコンソールと作動させるボタンで構成されており、従来のフットペダルが無くなった(117)。

RA における 1 回の操作時間も合併症を

防ぐために重要であり、メーカー推奨は 30 秒未満である。一般的にはより長い操作時間はより多くのデブリスを発生させると考えられており、junior RA operator には短い 1 回の操作時間 (15 から 20 秒) を推奨する。また、セッションの間には心電図変化やバイタルサインを確認することも重要である。

回転数に関して、メーカー推奨は 14 万～19 万回転である(122)。本コンセンサスドキュメントでは 14 万～19 万を推奨としつつ、術者が病変通過に困難を感じる時には 19 万回転以上も許容する。以前、低速回転は slow flow を予防できるのではという議論があった。In vitro の実験において 18 万回転は 14 万回転にくらべて血小板凝集が多かったという結果がある(123)。しかし、14 万回転と 19 万回転で slow flow 発生を比較した無作為化試験によって 14 万回転は slow flow を抑制しないことが示された(124)。したがって、slow flow 予防目的に低速回転を行うことは合理的ではない。一方で、日本から低速回転による lumen gain に関する興味深い研究がいくつか報告されている。Mizutani らは低速回転 (<150000 rpm) によって lumen gain が得られることを OCT で確認した(125)。Yamamoto らも超低速回転 (110000 rpm) で lumen gain が得られることを OCT で確認した(126)。一方、Kobayashi らは低速回転(120000 rpm)で追加の lumen gain が得られなかったと報告している(127)。これらの報告を考慮して、14 万回転程度の低速回転は lumen gain を得るためのオプションとして許容される一方、14 万回転未満の超低速回転

は特に junior RA operator は使用すべきではないと考える。

19 万回転を超える超高速は日本においてしばしば行われている(14, 128)。RotaWire は通常、ハイスピードモードにおいては内部ブレーキと WireClip によって回転しないようになっているが、ベンチテストでは超高速回転下で RotaWire が回転する可能性が示唆された(129)。大きなレジストリデータ等では示されていないものの、RotaWire の回転は RotaWire が壊れることに関連している可能性がある(130, 131)。

## 9. Burr のプラットフォームへの持ち込み方

Burr を回転させる前に、RotaWire を安定させたまま、burr をプラットフォームまで持ち込むことが RA 成功において重要なポイントである。しかし、この過程で RotaWire が奥に入りすぎるとか、逆に抜けてくるなどのトラブルは生じやすい。RotaWire が体外で大きなループを作ることも生じ得るし、結果として予期せぬ重大合併症につながることもある(132)。メーカー推奨ではダイナグライドモードは burr を抜去するときのみに使用であるが、実臨床では多くの術者が burr の持ち込みの際にもダイナグライドモードを用いている。Table 4 にダイナグライドモードを使用する場合、使用しない場合のリスクとベネフィットを記載する。それぞれの方法にリスクがあるため、術者はそれらを理解し、合併症を避けるために最善を尽くすべきである。

**Table 4. ダイナグライドモードで burr を持ち込むメリットとデメリット**

|                                       | ダイナグライドモードを用いる                      | ダイナグライドモードを用いない                           |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| 術者が burr を進めるときの抵抗                    | 少ない                                 | 大きい                                       |
| 術者が burr を前進させるときに RotaWire が奥に進んでしまう | 通常起こらない                             | 起こる                                       |
| 術者が burr を前進させるときに RotaWire が手前に引けてくる | 通常は生じにくいですが、ガイドカテーテルの同軸性が保たれていないなどの | 通常は生じにくいですが、助手が RotaWire を引きすぎるなどの状況では生じ得 |

|                                  |            |                                         |
|----------------------------------|------------|-----------------------------------------|
|                                  | 状況では生じ得る   | る                                       |
| ガイドカテーテルの外でループを作ってしまう            | 非常に稀       | 生じ得る（術者が気づかないと非常に危険）                    |
| 術者と助手の協調作業                       | それほど重要ではない | 重要（助手が RotaWire の位置をコントロールする必要がある）      |
| プラットフォームで burr を回転させたときのジャンピング現象 | 稀          | 生じ得る．アドバンサーのノブを 1-2 cm 離れた場所で固定することが重要． |
| ガイドカテーテル内へのダメージ                  | 生じ得る       | 無い                                      |

## 10. ロタカクテル

RA のアドバンサーには生理食塩水を注入するポートがあり、メーカーとしては特に薬剤注入を推奨していないが、様々な薬剤がロタカクテルとして slow flow 予防のために用いられてきた。代表的なロタカクテルの組み合わせはベラパミル 10 mg (5 mg), ニトログリセリン 5 mg (2.5 mg), ヘパリン 10000 unit (5000 unit), と生理食塩水 1000 ml (500 ml)である。他の組み合わせとして、ニコランジル 24 mg (12 mg), ニトログリセリン 5 mg (2.5 mg), ヘパリン 10000 unit (5000 unit), と生理食塩水 1000 ml (500 ml)がある。ニコランジルベースのカクテルとベラパミルベースのカクテルで slow flow 発生率を検証した 2 つの無作為化試験があり、いずれにおいても slow flow はニコランジルベースのカクテルで少なかった(133, 134)。また、アミノフィリンを含んだカクテルは右冠動脈や大きな回旋枝への RA 中の徐脈を予防することが報告されている(135)。近年, Guo らはヘパリンと生理食塩水のための単純なカクテルとベラパミル, ヘパリン, ニトログリセリン, 生理食塩水のロタカクテルの無作為比較試験において slow flow 発生率は単純なカクテルで高い傾向にあり（有意差無し）、冠攣縮は単純なカクテルで有意に高かったことを報告している(136)。また, You らは低温のロタフラッシュと通常温度のロタフラッシュを比較する無作為化試験を行い、低温ロタフラッシュにおいて心筋

障害などが少なかったことを報告している(137)。ロタカクテルの好みは RA のエキスパート間でもバラつきが大きい。理由として、近年はニコランジルやニトロプルシドなどの冠動脈注射が比較的容易に行うことができるため、あまりカクテルに対するこだわりが無くなったのかもしれない。つまり、カクテルとしてはいずれの組み合わせも許容されるが、カテ室において冠拡張薬の注入がいつでも可能なようにスタンバイしておくことが重要である。もし生理食塩水のためのフラッシュを使用する場合, RA 前に ACT を再チェックして血栓形成を予防することが重要である。RA における理想的な ACT は明らかではないが、300 以上、もしくは少なくとも 250 以上は必要と考えられる(138)。

## 11. RA におけるイメージングデバイス

IVUS や OCT というイメージングデバイスは RA において極めて有用である(139-146)。本ドキュメントでは IVUS もしくは OCT を RA 前, 途中, RA 後に使用することを推奨する。IVUS と OCT にはそれぞれメリットとデメリットがあるため、各症例において RA の目的に合わせて各イメージングデバイスを選択するべきである。IVUS と OCT のメリットとデメリットを Table 5 に示す。OCT は赤血球除去が必要なため、RA 後に解離や血腫が形成された場合には使用困難である(147)。Kawaguchi らはガイドワイヤが正常血管を押し付けていると、

血管損傷を生じる可能性が高くなることを報告しており、血管内イメージングカテーテルが正常血管を強く押す tenting 現象が血管損傷の重要な原因であることを示している(148). 実際, tenting 現象部分への RA は血管損傷や穿孔を生じる(149). 一方, Matsumura らは IVUS における reverse tenting sign が RA 後の血管損傷に関連することを示している (150). Reverse tenting sign は IVUS 上, 正常血管が内腔側に引きつれるような像として定義されるが, 軽度のアコーディオン現象によって引き起こされている所見なのかもしれない(150). また, Hashimoto らはガイドワイヤと IVUS カテーテルが血管の正常側に近い場合, 特に左前下行枝と対角枝の分岐部付近で RA 手技による中膜損傷リスクがあることを報告している(151). 近年, Hashimoto らは IVUS イメージを用いた AI ベースのアルゴリズムで RA によって切削される部分を予測することができることを報告している(152). Hamana らは RA 効果を予測する OFDI ベースのシミュレーションが可能であるが, その正確性は OFDI カテーテルとガイドワイヤの位置の影響をうけることを報告している(153). ガイドワイヤバイアスが RA に不向きの場合に術者は以下の方法でバイアスを変えることを試みてもよい[1] RotaWire の交換 (Floppy から Extra-Support またはその逆), [2] ガイドカテーテルの変更もしくはガイドカテーテルの位置調整, [3] ガイドワイヤのルートを変更したり, ガイドワイヤの深さを変更する (回旋枝本幹から OM 枝に変更したり, RCA の 4PD から 4PL に変更したりする). ただし, 上記のような努力を重ねてもガイドワイヤバイアスが改善しないことはある. ガイドワイヤバイアスが改善しなければ, RA から IVL や modified balloon への方針変更も検討する. 限られたケースにおいては, 石灰化結節の中へ硬いガイドワイヤを再疎通させて石灰化結節を切削する ARCADIA テクニックが有効なこともある(154, 155).

血管内イメージングは RA における burr

サイズ選択や RotaWire 選択に有用であるが, 血管内イメージングカテーテルが石灰化病変を通過しないことがある. もし, RA 前の血管内イメージングが必須の状況 (回旋枝入口部病変等) であれば, ガイドエクステンションカテーテル併用や小径バルーンを用いることも検討する. ただし, 大きなバルーンで拡張すると解離ができて, RA 自体が困難になることがある(156). イメージングデバイスが通過しないような病変においては, 小径の burr (1.25-mm もしくは 1.5-mm burrs) を用いるが, 1.25-mm か 1.5-mm は術者の好みで決めることが多い. Sakakura らは IVUS 不通過病変に対して 1.25-mm burr を使用した場合と 1.5-mm burr を使用した場合の合併症頻度を比較し, 大きな差が無かったことを報告している(157). また, イメージングデバイス不通過病変はイメージングデバイス通過病変よりも合併症リスクが高いことも報告されている(158). Junior RA operator はイメージングデバイス不通過病変に対して十分な注意を払うべきであり, 合併症予防の観点から RA 前の小径バルーン拡張を検討してもよい.

Machara らは IVUS 石灰化スコアおよび OCT 石灰化スコアを開発した(159, 160). OCT 石灰化スコアは最大の石灰化の角度( $>180^{\circ}$  = 2 points), 最大の石灰化の厚さ( $>0.5$  mm = 1 point), 石灰化の長さ ( $>5$  mm = 1 point)で得点化する (159). OCT 石灰化スコアはステント拡張不良と関連があるため, OCT 石灰化スコアが高い場合は良好なステント拡張を得るために RA の使用が検討される(159). IVUS 石灰化スコアは 270 度以上の表在性石灰化の長さ( $\geq 5$  mm = 1 point), 360 度石灰化の有無 (yes = 1 point), 石灰化結節の有無 (yes = 1 point), 血管径 ( $<3.5$  mm = 1 point)で得点化する (160). 著者らはステント拡張不良を避けるために IVUS 石灰化スコア 2 点以上の場合にアテレクトミーデバイスの使用を検討するように提唱している(160). CORAL study は OCT 石灰化スコア 1-2 点の病変はバルーン(NC バルーン, スコアリングバルーン,

カッティングバルーン) のみで適切に治療されたことを報告している(161). 尚, OCT 石灰化スコアは最近 Update された(162). IVUS および OCT 石灰化スコアは RA の適応に対して有用である可能性があるものの, 血管内イメージングカテーテルが

石灰化病変を通過しないことはしばしばある. これらの石灰化スコアは RA の適応というよりも小径の RA が通過後にサイズアップをしたり, IVL を追加したりする適応があるかどうかを検討することに向いているのかもしれない.

**Table 5. RA における IVUS と OCT の比較**

|               | IVUS                                                                                                                                                                        | OCT                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ストロングポイント     | <ul style="list-style-type: none"> <li>● IVUS は血球除去の必要性がないため, 解離や血腫が RA 後にできた場合でも安全に使用可能.</li> </ul>                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>● OCT は石灰化の厚みを提示することができる.</li> </ul>                                                                                                                                                             |
| ウィークポイント      | <ul style="list-style-type: none"> <li>● IVUS は石灰化の厚みを測定することはできない.</li> </ul>                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>● RCA および LMT 入口部では難しい.</li> <li>● OCT は血球除去が必要なので, RA 後に解離や血腫ができると使用が難しい.</li> <li>● 複数回の OCT を行うことで, volume overload となることがある. 低左心機能ではより注意が必要.</li> <li>● 柔らかい組織の裏にある石灰化を見落とす可能性がある</li> </ul> |
| ガイドワイヤバイアスの判断 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 正確であるが, IVUS probe とガイドワイヤは術者が IVUS カテを強く押しつけた場合に離れる傾向にある. そのような状況では IVUS のプルバック前に少し IVUS カテを引いて, 分離を改善させてから, プルバックを行う.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 正確</li> </ul>                                                                                                                                                                                  |
| 有効性(切削効率)対安全性 | <ul style="list-style-type: none"> <li>● IVUS は RA における安全性を高める. RA 後の重篤な合併症では IVUS が極めて重要な役割を果たすことがある.</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>● OCT は石灰化の厚みがわかるため, より積極的な切削に役立つ.</li> </ul>                                                                                                                                                    |

## 12. RA のエンドポイント

術者は各症例において適切なエンドポイントを設定すべきである. 一般的には burr が病変を通過し, 通過による抵抗がなくなり, 通過による回転数ダウンも無い状態となれば, 術者はサイズアップをする場合を除いて, RA を終了できる (古典的

な RA のエンドポイント). 現代の PCI においては IVUS, OCT の発展もあり, RA のエンドポイントはもう少し複雑になっている. IVUS においてはナプキンリング状の石灰化にクラックを認めれば, RA のエンドポイントと考えてよいかもしれない (13). OCT においては切削後の石灰化の厚みが RA

のエンドポイントになりえる(14, 163). 術者, 特に junior RA operator は slow flow 等の合併症の兆候があれば, 古典的なエンドポイントに固執するべきではない.

### 13. 合併症: slow flow

Slow flow は RA において最も高頻度でみられる合併症である. Slow flow の頻度は 5~20%と報告によってバラつきが大きい(124, 134, 164). Slow flow 確認のタイミングであったり, slow flow の定義が報告によって異なるためにバラつきが生じやすいと考えられる. 病変長および burr-to-artery ratio は slow flow の規定因子として報告されている(124, 165). また, IVUS での長い病変長, reverberation の数, minimum lumen area での石灰化の角度なども slow flow を予測するのかもしれない(75). slow flow 予防のためには, 適切なバーサイズ, 短い切削時間, 過度の回転数ダウンをさける丁寧な操作によって RA によって生じるデブリスを減らすことが重要と考えられている. 後ろ向き研究においては短い一回のセッション( $\leq 15$  秒)は slow flow の減少と関連していたので(165), 1 回のセッションを短くすれば, slow flow 頻度を減らす可能性があると考えられていた. しかし, 短い 1 回のセッションと長い 1 回のセッションを無作為比較した試験において, 短い 1 回のセッションの slow flow 予防効果は認めなかった. (166, 167). この試験においては, 266 名の患者が 132 名の短い 1 回のセッション群と 134 名の長い一回のセッション群に無作為割付された(167). RA 直後の slow flow 発生率は両群でほぼ同じであった(短い 1 回のセッション群:14.4% 対 長い 1 回のセッション群: 14.9%,  $p>0.999$ ) (167). この無作為化試験の結果と後ろ向き研究の間の不一致が生まれた原因としては, 患者組み入れ期間の違いが挙げられる. 後ろ向き研究は 2014 年 11 月から 2020 年 8 月まで, 無作為化試験は 2022 年 4 月から 2025 年 2 月までである.

無作為化試験に参加した RA 術者らは CVIT のコンセンサスドキュメントから slow flow の対処法を学び, slow flow 予防のための技術を開発, 報告している. (168, 169). また, 無作為化試験においてセッション間のインターバルについては規定がなかったため, RA 中に ST 上昇を認めたら 1 回のセッションが長い群においても十分な休憩時間を取ることができた. 通常, ST 上昇は slow flow に先行するため, ST 上昇への適切な対応, すなわち, 十分なインターバルを取って, 血圧を維持して, 冠拡張薬を投与し, バーサイズを下げる, そして意図的な halftime を取ることで予防された可能性がある(169).

支持する文献は無いものの, RA 中に生理食塩水をフラッシュすることを好むエキスパートも存在する. RA 中の十分な収縮期血圧の確保, 120 mm Hg, 少なくとも 100 mmHg 以上に保つことが slow flow 予防の観点からも重要である. 患者の心機能が正常であれば, 十分なハイドレーションも重要である. 心機能が低下しており, 血圧も低ければ IABP の挿入を考慮する. 生理食塩水で希釈されたノルアドレナリンは血圧維持のためにしばしば使用される. 術者が万が一のために, 大腿静脈にシースを挿入していれば, そのようなシースへの薬剤投与は効果発現が早く, 有効である. Primary PCI における slow flow とは異なり, RA 中の slow flow は通常はゆっくりと徐々に悪化する. たとえば, TIMI-3 から TIMI-2, TIMI-2 から TIMI-1 という具合である. ただし, lipid rich プラークに RA をした場合は primary PCI 同様に急激な slow flow を来すため, 注意が必要である. したがって, 通常, RA 中の slow flow に関しては心電図変化が先に現れる. たとえ患者が無症状でも, ST 上昇を認めたら適切なアクションを取ることが重要である. TIMI-2 の slow flow が発生したら, TIMI-3 の状態に戻るまで RA を一時的に中断するべきである. 多くの一過性の TIMI-2 の slow flow は適切に対応されれば, 周術期心筋梗塞に至ることは稀である

(170). しかし, ST 上昇や胸痛が slow flow 回復後も遷延している場合は, RA を中断して回復まで十分な時間をかけることが重要である. 十分な時間をとっても ST 上昇や胸痛が遷延している場合には, 急性冠閉塞のリスクは低いと考えられれば, サブオプティマルな PCI で終了して, 後日に staged PCI を組むことも一つのオプションである. Slow flow 後の心筋障害は長期予後の悪化にも関連する(171). Slow flow 後に血圧低下を認めれば, 希釈したノルアドレナリンを注射して血圧維持に努める. ノルアドレナリンで血圧上昇が不十分であれば, 速やかに IABP を挿入することを検討する. ニトロプルシド, ニコランジル, ニトログリセリンの冠注が slow flow の治療に用いられる. こういった血管拡張薬の効果を直接比較した文献はないが, ニトロプルシドは slow flow 時の最も強力な血管拡張薬と考えられている (172). ニコランジルはニトログリセリンよりも有効かもしれないが (173), ニコランジルの急速冠注は致死的不整脈, 時に心停止を引き起こす可能性があるので注意が必要で

ある(174). また, burr が冠動脈内もしくはガイドカテーテル内にある時の血管拡張薬の冠注はかなり効果が減弱する可能性がある. Burr, ドライブシャフトシース, ガイドカテーテルのサイドホールなどの影響で薬剤が冠動脈末梢まで届かない可能性がある. マイクロカテーテルやダブルルーメンカテーテルを用いることで冠拡張薬の量を減らして, 冠拡張薬による低血圧のリスクを減らすことができる. 適切なタイミングで冠拡張薬を注入することが slow flow の治療において重要である. 術者はセッションの間に心電図やバイタルサインを確認し, 心電図変化を認めた際には冠血流をチェックすべきである. TIMI-0 等の重篤な slow flow の際には血栓形成が slow flow の原因のこともあるため, 冠拡張薬注入前に血栓吸引カテーテルの使用を検討してもよい(175). Slow flow の予防および対処法について Table 6 に示す. 近年, いくつかのグループが RA 後の冠微小循環抵抗が長期予後と関連していたことを報告しているが(176-178), 未だ確定的ではない.

**Table 6. Slow flow への予防と対処法**

| 予防もしくは対処法 | コンセプト        | 具体的方法                                                                                                                                                                 |
|-----------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 予防        | 大きなデブリスを作らない | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 適切な burr サイズ</li> <li>● 過度の回転数ダウンを避ける</li> </ul>                                                                             |
| 予防        | 十分な体血圧を維持する  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 収縮期血圧 120 mmHg 以上 (少なくとも 100 mmHg 以上)をキープする</li> <li>● 希釈したノルアドレナリンを使用する</li> <li>● 低血圧が低左心機能由来であれば IABP 使用を検討する.</li> </ul> |
| 対処法       | 速やかな治療が最も重要  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● セッション間で ST 変化, バイタルサイン, 症状の有無をチェックする</li> <li>● 血圧が落ちればノルアドレナリンを使用する</li> <li>● ニトロプルシド等の冠拡張薬を使用する</li> </ul>                |

### 13. 合併症：穿孔/破裂

RA における冠動脈穿孔は最も重篤な合併症であ

り, その頻度はおおよそ 1-2%とされている(179-182). RA 中に冠動脈穿孔が生じると院内死亡を来

す可能性もあり、特に左冠動脈主幹部周囲の穿孔ではより危険性が高い(183). 冠動脈穿孔のリスクは高度屈曲病変や偏心性石灰化部位において高くなる. Burr の形状は楕円体であるため(184), burr は角度の強い屈曲に追従することができず、結果として穿孔リスクが高くなる. 冠動脈穿孔のリスクはナブキンリング状の全周性石灰化よりも石灰化結節などの偏心性石灰化の部位において高いと考えられている. したがって、術者は偏心性石灰化に対して RA を施行する際には十分な注意が必要となる. 適切な burr サイズおよび RotaWire の選択が冠動脈穿孔を予防するにあたって、重要であり、血管内イメージングデバイスを使用することで burr サイズと RotaWire の選択を最適化すべきである. 血管内イメージングデバイスが正常血管部分を強く押している所見があれば、RA 後の穿孔や血管損傷のリスクが高いことを認識すべきである(148). 血管内イメージングデバイスが通過しないときは、特に junior RA operator は小径 (1.25-mm もしくは 1.5-mm) の burr を選択すべきである. 一般的に RotaWire floppy は血管の形態をあまり変形させることなく、RotaWire Extra-support は血管の形態自体を変形させる可能性が高い. したがって、RotaWire floppy と Extra-support では burr の通過するルートが異なるため、冠動脈穿孔の予防の点からも適切な RotaWire の選択が重要となる. 血管内イメージングや血管造影からガイドワイヤバイアスを読みにくい場合には RotaWire floppy を選択する方が良い.

RA による冠動脈穿孔への対処法は RA 以外の冠動脈穿孔と基本的には同じであるが、RotaWire を冠動脈末梢にキープしたまま RA のシステムを抜いてくるのがまずは最初のステップになる. 大きな冠動脈穿孔/破裂後に RotaWire が抜

けてしまうと、ガイドワイヤを再通過させることが難しくなる. 7-Fr 以上のシステムであれば 1.5-mm 以下の burr の抜去に Kusabi (Kaneka, Osaka, Japan)は使用可能である(185). 通常バルーンもしくはパーフュージョンバルーンを速やかに持ち込み、血液が心膜腔へ流入するのをブロックする. RA 後の大きな冠動脈穿孔では通常、心膜穿刺が必要となるため、心膜穿刺キット等をカテ室に常備しておくことが重要である. 止血のためのカバードステントは複数個必要となるかもしれない(186-188). また、カバードステントの持ち込みのためにガイドエクステンションカテーテルやダブルガイドカテーテルシステムが必要になるかもしれない(189, 190). カバードステントは高度石灰化病変においてデリバリーの際の脱落等のリスクもある. ダブルガイドシステムにおいては、一つ目のガイドカテーテルでバルーンを用いて止血し、その間に2つ目のガイドカテーテルでカバードステントを準備することで、血液の心膜腔への流入時間を最小限にすることができ、止血で用いたバルーンをカバードステントデリバリーの際のアンカーバルーンとして用いることもできる. また、術者は万が一止血できない場合に備えて心臓血管外科医に速やかにコンタクトをとるべきである. RA による冠動脈穿孔後には遅発性心タンポナーデや慢性期の冠動脈瘤が生じえるため(191), 慎重なフォローアップが必要である. 右房圧の上昇は収縮期血圧や心拍数よりも心タンポナーデに対する鋭敏なマーカーであるので、遅発性心タンポナーデのリスクが高いと考えられる時には、ICU で右房圧の持続的モニタリングを用いて経過観察することも考慮する(191). 冠動脈穿孔/破裂に対する予防および対処法を Table 7 に示す.

**Table 7. 冠動脈穿孔/破裂への予防と対処法**

| 予防もしくは対処法 | コンセプト                             | 具体的方法                                                                                                                                                                                           |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 予防        | RA による冠動脈穿孔の予防のためには病変のリスク評価が最も重要. | <ul style="list-style-type: none"> <li>● 屈曲病変はリスクが高い.</li> <li>● 全周性石灰化に比べて偏心性石灰化でリスクが高い.</li> </ul>                                                                                            |
| 予防        | 適切な burr サイズおよび RotaWire を選択する    | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Burr を過度に押さない.</li> <li>● 小さな burr (<math>\leq 1.5\text{-mm}</math>) を高リスク病変には用いる.</li> <li>● 血管内イメージングからガイドワイヤバイアスを判断して、適切な RotaWire を選択する</li> </ul> |
| 対処法       | 冠動脈穿孔が生じた際には RotaWire を病変末梢にキープする | <ul style="list-style-type: none"> <li>● パニックにならない. RotaWire を末梢にキープしつつ, RA システムを抜去する.</li> <li>● カバードステントおよび心膜穿刺が大部分のケースでは必要となる.</li> <li>● 経皮的な止血ができない場合に備えて、速やかに心臓血管外科医にコンタクトをとる.</li> </ul> |

### 13. 合併症：burr スタック

Burr スタックは RA 特有の合併症であり、大規模レジストリーからの頻度は不明であるが、いくつかの単施設研究の結果によると 0.4% から 0.8% と報告されている (192-194). Burr スタックは複数のメカニズムで発生すると考えられている. 1 つのメカニズムとして「こけし現象」というものがあり、近位部の狭窄を超えた遠位部で burr がスタックしてしまうものを指す(193). こけし現象のメカニズムとして、摩擦熱が狭窄部をわずかに拡大し、動摩擦力は静摩擦力よりも小さいことなどが挙げられている(193). このタイプの burr スタックは小径の burr を非常に強く押した場合に生じるのかもしれない. 他のメカニズムとしては、血管の屈曲に関連する burr スタックがある. Burr の形状が楕円体であり、ダイヤモンドコーティングは burr の後方には無いことなどから、burr は屈曲部では石灰化がそれほど強くなくてもスタックを生じうる. Burr スタックを予防するためには、術者は回転数ダウン、切削の音、burr 操作中の抵抗などに注

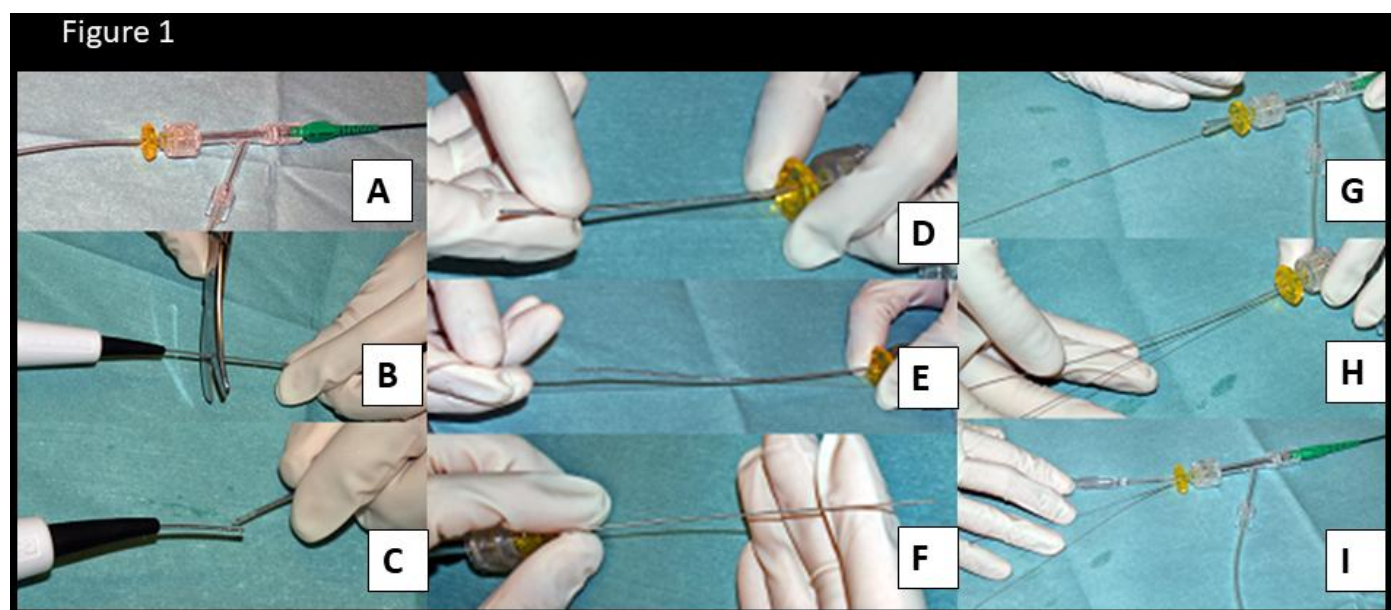
意を払う必要がある(195). Burr スタックの初期の段階では、術者が burr を引き戻すことはできないが、奥に進めることができるという状況が起こりえる. もし、術者がスタックするポイントよりも遠位部に burr を安全に持ち込むことができるなら、その遠位部からダイナグライドモードを使って burr を抜去するという方法が上手くいく可能性がある(196).

Burr がスタックした際に単純に引っ張るということで、ベイルアウトできるかもしれない. 特に軽度のスタックであれば有効な可能性がある. しかし、単純に引っ張ることで burr の離断が生じることもあるため、術者は単純に引っ張ることに固執するべきではない(197). Burr がスタックしたら、術者は状況を冷静に評価することが重要である. 順行性の血流があるか、ST 上昇があるか、患者は胸痛を訴えているかなどを評価する. スタックした部分で順行性血流が全く無い場合は経皮的ベイルアウトは非常に難しく、経験豊富な senior RA operator でないと対処できない可能性が高い.

心臓血管外科医にコンタクトをして、外科的ベイルアウトについて相談すべきである。順行性の血流が残っていて、ST 上昇が無ければ、術者は経皮的ベイルアウトを検討する時間的余裕をもつことができる。いくつかの経皮的ベイルアウトが報告されているが(198-205), 主な違いはシングルガイドカテのままで行うか、ダブルガイドカテシステムを導入するかである。ダブルガイドカテシステムを選択した場合、通常のガイドワイヤを 2 本目のガイドカテを介して挿入し、スタックした burr の手前の部分をバルーン拡張することを試みる(199)。術者がシングルガイドカテのままでベイルアウトを行うことを選択した場合、次のステップはガイドカテが 8-Fr なのか 7-Fr 以下なのかで異なる。8-Fr ガイドであれば、通常ガイドワイヤをそのまま通過させて、近位部をバルーン拡張すること

ができる。しかし、7-Fr 以下の場合はドライブシャフトシース、ガイドワイヤ、バルーンカテーテルの 3 つを同時に収容することができないため、最初にドライブシャフトシースを切って抜き取ることから開始する(Figure 1) (198)。ドライブシャフトシースを抜き取ってしまえば、バルーン挿入が可能なので、近位部のバルーン拡張を試みることができる。また、ドライブシャフトシースを抜去した後は、ガイドエクステンションカテーテルを挿入することも可能である(200, 203, 204)。もちろん、術者は経皮的ベイルアウトが失敗に終わる可能性も考慮し、また burr を抜去した際に巨大な冠動脈破裂や重度の解離が起こる可能性があることにも備える必要がある(206)。Burr スタックに対する予防および対処法を Table 8 に、対処法のフローチャートを Figure 2 に示す(207)。

**Figure 1. ドライブシャフトシースのカットおよび引き抜き方**

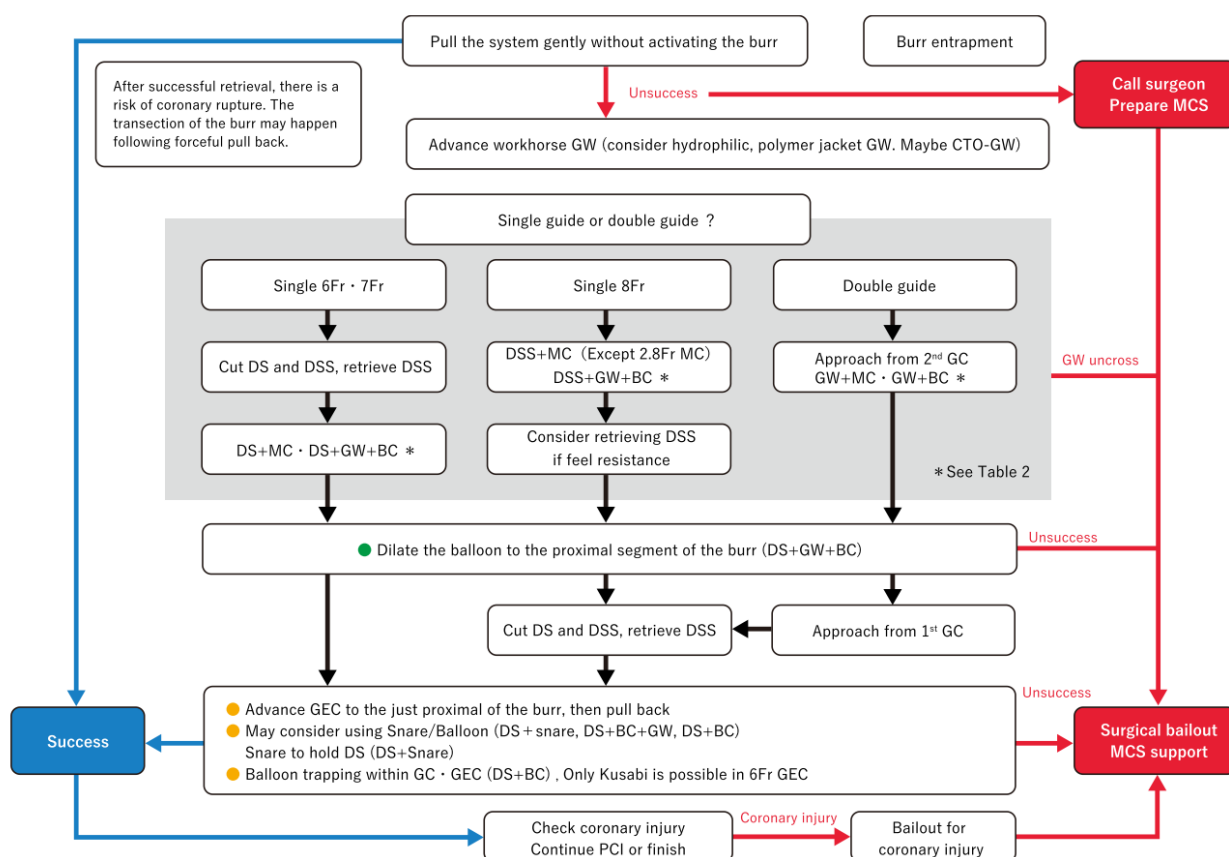


**Panel A:** 1.25-mm burr が 6-Fr ガイドカテーテルに Yコネクターを介して挿入されている。 **Panel B, C:** ドライブシャフトシース、ドライブシャフト、RotaWire をアドバンサー近くで一緒に切断する。 **Panel D, E:** ドライブシャフトシースのみを引き抜く。 **Panel F:** ドライブシャフトシースが抜けた後、ドライブシャフトが残る。 **Panel G, H:** 0.014 インチのガイドワイヤを Yコネクターを介してガイドカテーテルに挿入する。 **Panel I:** 2.5 x 15 mm の通常バルーンをガイドカテーテル内に容易に挿入することができた。この図は Sakakura, et al(198)より許可を得て転載。

**Table 8. Burr スタックに対する予防および対処法**

| 予防もしくは対処法 | コンセプト                          | 具体的方法                                                                                                                                                                            |
|-----------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 予防        | リスク評価が RA 後のバースタックの予防において最も重要. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Burr を強く押しすぎない.</li> <li>屈曲部ではスタックリスクが高い.</li> <li>回転数低下, 切削の音, burr 操作中の抵抗に注意を払う.</li> </ul>                                             |
| 予防        | 狭窄病変の途中でバーの回転を停止しない            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Burr の後ろ側にはダイヤモンドコーティングがない</li> <li>病変近位部の中等度狭窄がスタックの原因となることもある</li> </ul>                                                                |
| 対処法       | 順行性血流の有無などを冷静に評価することが重要.       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Burr がスタックしたら, そこで burr を回転させないこと.</li> <li>ベイルアウト法はシングルガイドとダブルガイドに大別される.</li> <li>経皮的ベイルアウトが不成功の場合に備えて, 速やかに心臓血管外科医にコンタクトを取る.</li> </ul> |

**Figure 2. Burr スタックに対する対処法のフローチャート.**



DS, drive shaft; DSS, drive shaft sheath; GW, guidewire. この図は Ogawa, et al (207) より許可を得て転載

### 13. 合併症：RotaWire 断裂

RotaWire の断裂はまれな合併症であり, 大規模レ

ジストリーからの報告はないが, 0.4~1%程度と考えられている(208, 209). RotaWire の断裂は X 線不

透過部分の断裂と X 線透過部分の断裂に大別される。X 線不透過部分の断裂は気づきやすい。X 線不透過部分の RotaWire 断裂に術者が気づいたら、新しい RotaWire に交換すべきである。RotaWire の X 線不透過部分の断裂は通常のガイドワイヤの X 線不透過部分の断裂と同じなので、ツインガイドワイヤ法などの手技で回収を試みても良い(208)。RotaWire の X 線不透過断裂端が冠動脈のかなり末梢にあれば、回収よりもそのままにすることを選択しても良いのかもしれない。一方、RotaWire の X 線透過部分の断裂は非常に気付くのが難しい。術者が X 線透過部分の断裂に気付かない場合、最悪血管穿孔に至る(209-211)。実際、Wang らは冠動脈穿孔のうち 18.2% は RotaWire 断裂に伴うものであったと報告している(182)。また、RotaWire 断裂が X 線透過部で生じれば、その断端回収は非常に大きな危険を伴う。RotaWire 断端は非常に鋭く、視認することができないので、その見えない刃が近位部冠動脈や大動脈壁まで傷つけるおそれがある。IVUS は見えない断端を認識するのに有用である。したがって、RotaWire 断裂が X 線透過部分で生じた場合には、回収を試みるよりもステント留置で断端をシーリングしてしまう方が安全かもしれない。

RotaWire の断裂頻度は少なく、断裂の原因も十分には理解されていない。金属疲労が一つの原因と考えられるので、バーと RotaWire の同じ部分が持続的にコンタクトすることを避けることが重要かもしれない。RotaWire がガイドカテーテル外でキンクしてしまうと、バーがそのキンクに到達した際に RotaWire 断裂が生じる(132)。また、WireClip Torquer (Boston Scientific, Marlborough, MA, USA)はハイスピードモードの時だけでなく、ダイナグライドモードの時にもつけることが重要であり、こちらが RotaWire の回転および断裂を予防することになる。

### 13. 合併症：Burr の離断およびドライブシャフトの断裂

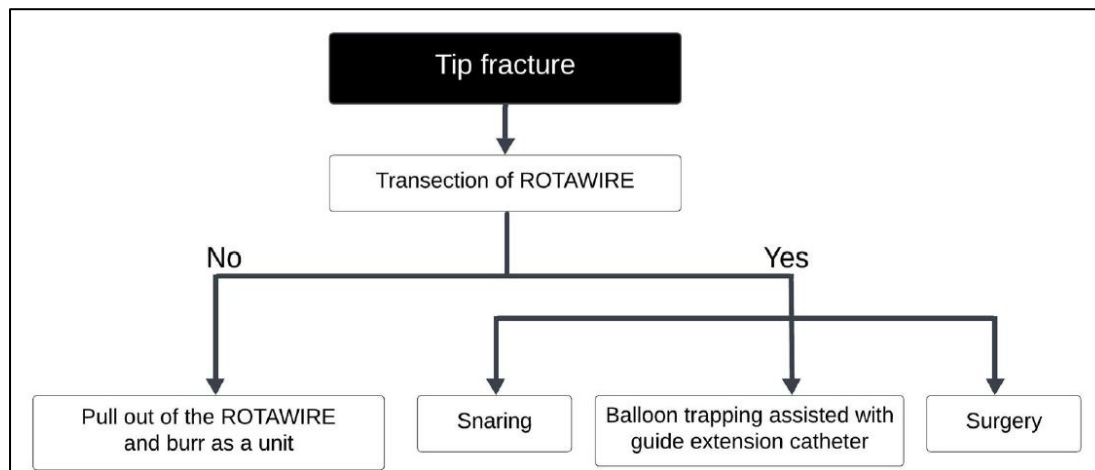
Burr の離断は非常に稀な合併症であり、その頻度について言及している文献はない。Burr の離断に関する、はっきりとしたメカニズムおよび原因は特定されていない。経験豊富な senior RA operator でも未経験もしくはごく限られた経験しかないと思われる。Burr がスタックした後にアクチベートさせたり、強い抵抗にも関わらず、ステント内や屈曲部で強く押したりすると理論上は発生すると考えられる。Burr と手元のノブが一对一で動かないことで、術者は burr の離断に気がつくかもしれない。RotaWire の先端は 0.014 インチであり、burr を引っ張る際にアンカーとして作用するため、RotaWire が断裂していなければ、burr の離断に対する経皮的ペイルアウトは可能かもしれない(212, 213)。Imamura らは burr の離断およびその経皮的ペイルアウトについて報告している(214)。彼らの報告では、ガイドエクステンションカテーテルを用いた単純な牽引はワークしなかったので、拡張させたバルーンとガイドエクステンションカテーテルで離断したバーを挟み込んで、一緒に引っ張るという方法でペイルアウトに成功している(214)。この稀な合併症に対しては外科的ペイルアウトも考慮すべきである(215)。

ドライブシャフトの断裂も非常に稀な合併症である(216, 217)。ドライブシャフト断裂の正確なメカニズムは不明であるが、高度の屈曲および石灰化に関連しているのかもしれない。ドライブシャフト断裂の際には致死的な血管穿孔/破裂が起こりえる(217)。

Kaneko らは burr の離断およびドライブシャフトの断裂について 2 つのメカニズムを提唱している。1 つは高度の近位部の屈曲による burr の頻回なプロラプスおよび RA の軸と標的病変の軸のズレ、もう 1 つは過度の屈曲する力が burr とドライブシャフトの接合部にかかったり、ドライブシャフト自体にかかること挙げている(120)。また、3 つの pre-fracture sign を提唱している。1 つ目は burr と手元のノブの動きが全く連動しないこと、2

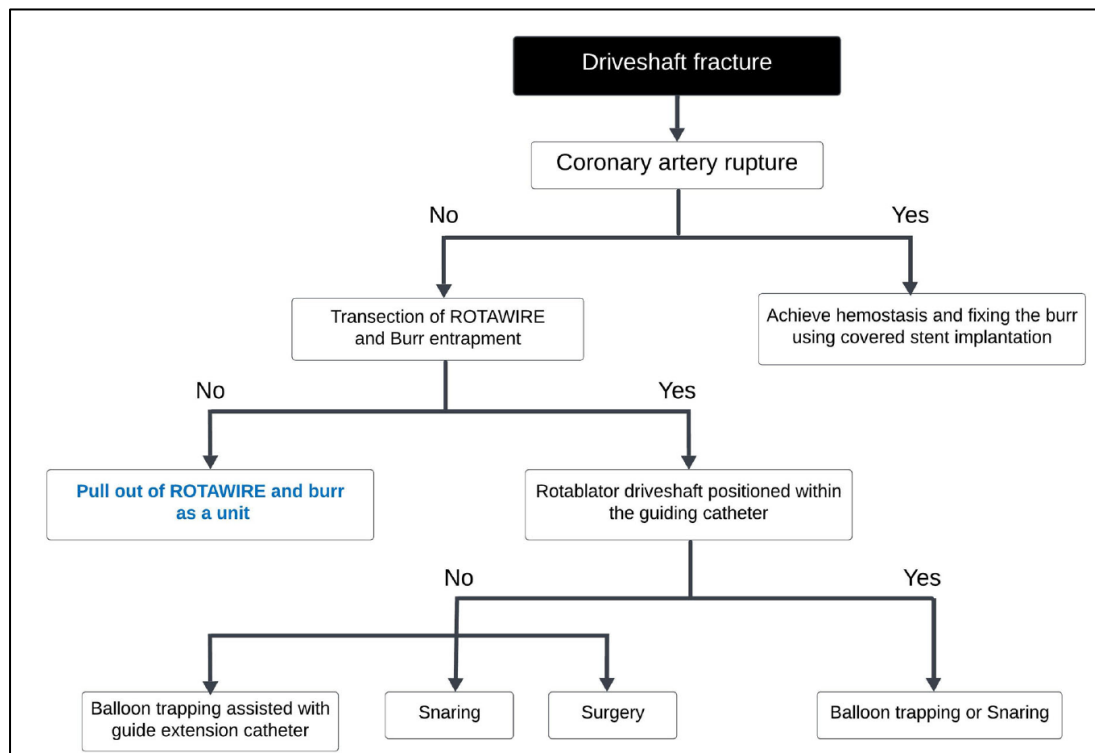
つ目は離断が起ころうとしている場所に透視上、隙間のようなものが見えること、3つ目は近位部の拡大やフリースペースによってドライブシャフトのプロラプスが頻回に生じることを挙げている(120). Burr の離断に対する対処法のフローチャートを Figure 3 に、ドライブシャフト断裂に対する対処法のフォローチャートを Figure 4 に示す(120).

**Figure 3.** Burr の離断への対処法のフローチャート



この図は Kaneko, et al (120) より許可を得て転載

**Figure 4.** ドライブシャフト断裂への対処法のフローチャート



この図は Kaneko, et al (120) より許可を得て転載

血管閉塞がない、残存する離断した burr が塞栓しない、離断したドライブシャフトや

RotaWire が大動脈内に突き出していない、虚血がない等の条件が満たされれば、離断した burr をそのまま血管内に残してくるという保存的治療が選択肢となることもある(197, 218).

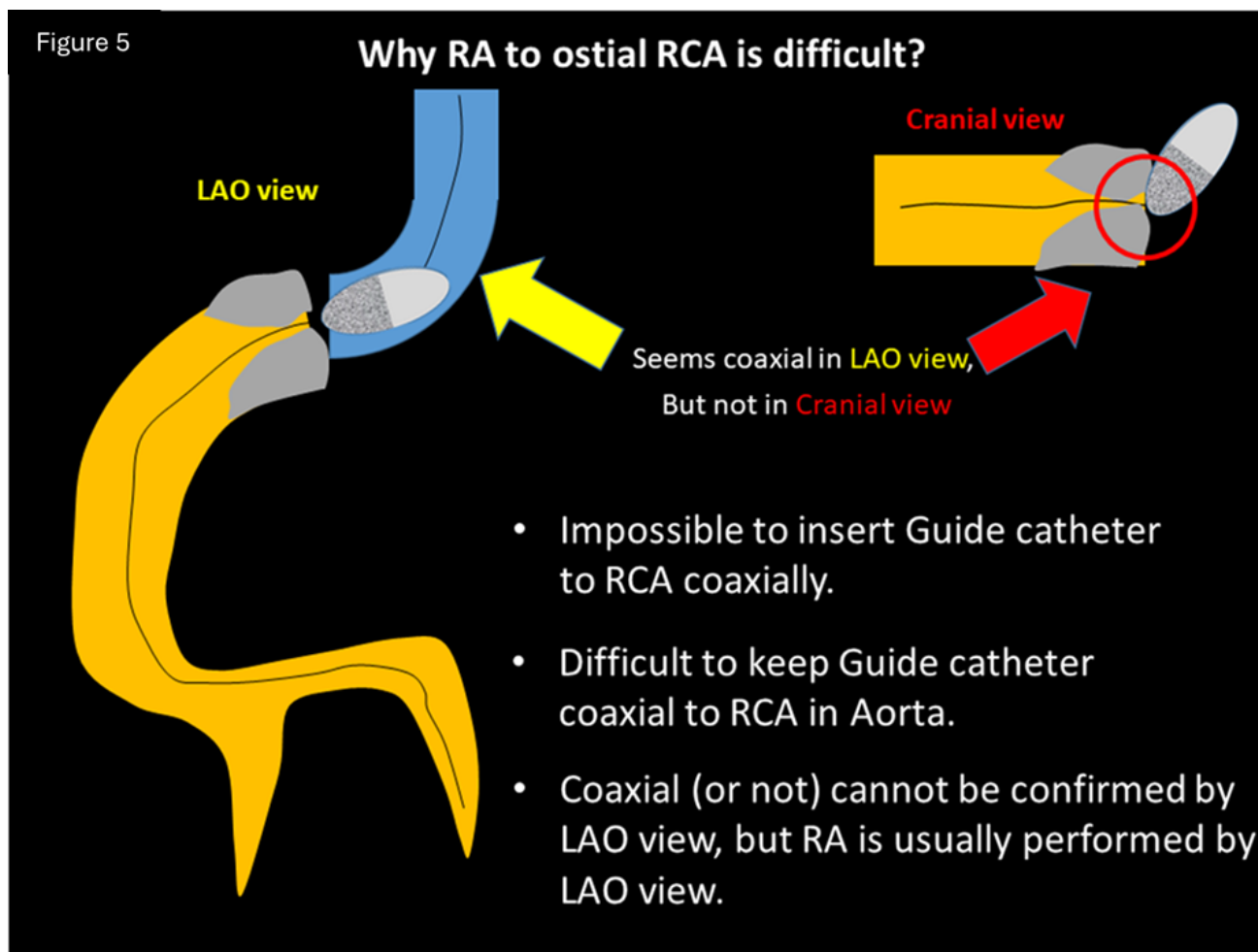
#### 14. 特別な病変：右冠動脈入口部病変

右冠動脈入口部病変への治療成績は悪く(219), RA は高度石灰化を伴う右冠動脈入口部病変への良い適応と考えられてきた(83). しかし, RA の良い適応ではあるが, junior RA operator には難しい病変である. Sakakura らは RA 中の過度の回転数ダウンと右冠動脈入口部病変が有意に関連しており, すなわち右冠動脈入口部病変への RA が技術的に難しいということを示唆する報告をしている(84). 右冠動脈入口部病変への RA が難しい理由はいくつかある. まず, 右冠動脈入口部に病変がある場合, ガイドカテーテルを完全に同軸に挿入することは不可能である. 術者は大動脈内でガイドカテーテルをできるだけ同軸にするよう努力することになる. 次に, 右冠動脈入口部に RA を行う場合に LAO view で見ることが多いが, LAO view で同軸性を確認することはできない. 通常の右冠動脈への PCI であれば, 同軸性は RAO view で確認する. ガイドカテーテルが一度右冠動脈に入って同軸性が RAO view で確認されれば, 通常 PCI を通じて同軸性を保つことが可能である. しかし, 右冠動脈入口部病変ではガイドカテーテルが右冠動脈にエンゲージできないので, 同軸性を手技中に保つ

ことが難しい. RAO view では右冠動脈入口部でのバーの動きが短縮してしまうため, 右冠動脈入口部病変への RA では LAO と RAO を頻回にチェックする必要がある. 他の手段としては cranial view を用いることであり, cranial view では右冠動脈入口部の同軸性を病変の短縮無しで確認できる.

右冠動脈入口部病変においては RotaWire の選択も重要である. 術者が意図的に右冠動脈入口部からガイドカテーテルを外したい時には RotaWire Extra-Support が有効かもしれないが, 同軸性が取れてない場合は危険である. IVUS は術者が同軸性を取れていない時の RA によるリスクを見積もるのに有用である. IVUS のカテーテルは病変を通過しないかもしれないが, 小径の burr を通過させれば, 通常は IVUS は通過する. 右冠動脈入口部病変に大径の burr で RA をする前には IVUS を確認すべきである. また, 右冠動脈入口部病変への RA は通常よりも脳梗塞リスクが高いかもしれない. 右冠動脈入口部への RA ではガイドカテーテルのチップが損傷する可能性がある(220). デブリスのサイズを小さくして, 脳梗塞を予防するためにも初回の burr は小径を用いることが重要と考えられる. 右冠動脈入口部病変への RA がなぜ難しいのかを Figure 5 にまとめる. 右冠動脈入口部病変への RA は senior RA operator のバックアップが無い限り, junior RA operator には推奨しない.

Figure 5. なぜ右冠動脈入口部への RA は難しいのか？



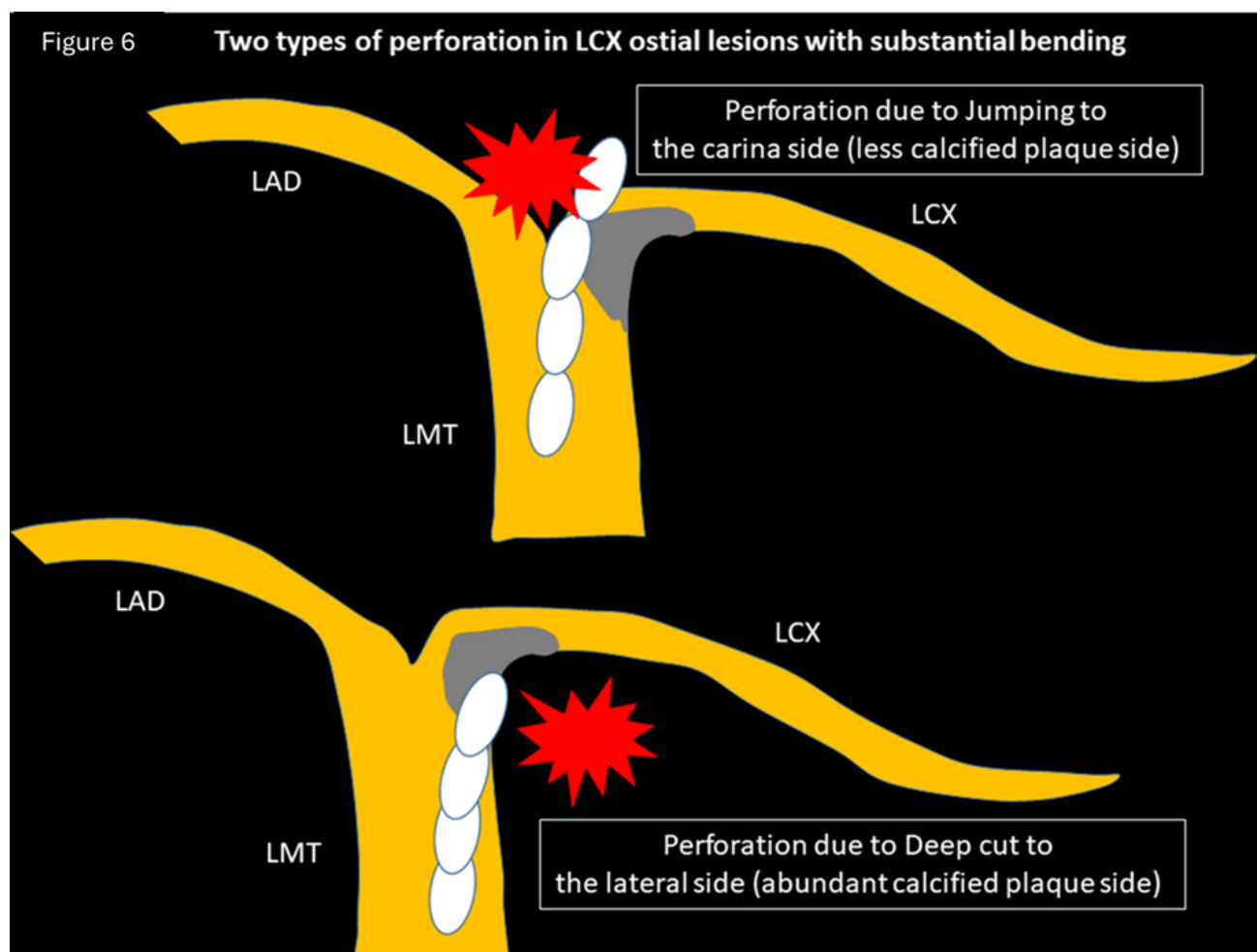
**14. 特別な病変: 曲がりの強い回旋枝入口部病変**  
高度屈曲および高度石灰化を伴う回旋枝入口部病変は RA においても最も高リスクな病変かもしれない。成功のためには術前の血管内イメージングデバイスの解釈が重要である。術前の血管内イメージングデバイスが通過して、ガイドワイヤバイアス等の十分な情報が得られれば、術者は適切な RotaWire および burr を選択することができる。通常、ガイドカテーテルの先端チップは回旋枝入口部病変に近い為、適切なガイドカテーテルの選択も重要である(221)。1.5 mm 程度の小径バルーンの拡張であれば、重度の解離を作るリスクを最小に抑えつつ、術前のイメージングを通過させたり、総アブレーション時間を短縮させたりすることに有用かもしれない(221)。しかし、術前のイメージ

ングデバイスが通過しなければ、術者はアンギオの情報のみから RotaWire および burr サイズを選択する必要がある。一般に動脈硬化は分岐部病変の側壁側で生じやすく、カーリーナ側で生じにくい(222)。重度の偏心性石灰化が回旋枝入口部の側壁側にあれば、カーリーナ側に burr がジャンプして、穿孔を来すリスクがある。したがって、術者はカーリーナ側の穿孔を避けつつ、側壁側の切削を試みる。しかし、術者が側壁側を削りすぎると、側壁のディープカットで穿孔するリスクもある。屈曲の強い回旋枝入口部病変における 2 つのタイプの穿孔を Figure 6 に示す。術者はこれら 2 つの穿孔を避けるために、適切な burr サイズ、RotaWire、バーの動かし方を選択する必要がある。また、複数の角度による血管造影にて実際の石灰化と

RotaWire の接触する部分を評価することが重要である。近年は低線量の血管造影が患者被ばくを避ける目的で重要であるが、過度の低線量だと RotaWire や石灰化が十分に評価できない可能性がある。RotaWire および石灰化の視認性はハイリスク RA においては重要であるため、術者は RotaWire と石灰化の視認性を確保できるように線量設定を行うべきである。また、回旋枝入口部で

穿孔が生じた場合、カバードステントを留置すると左前下行枝を閉塞させるリスクがあるため、経皮的ペイルアウトは難しいかもしれない。したがって、回旋枝入口部病変への RA は治療戦略と同様に治療の適応自体があるかどうかにも注意深く検討する必要がある。高度屈曲を伴う回旋枝入口部病変への RA は junior RA operator 単独による施行を推奨しない。

Figure 6. 高度屈曲を伴う回旋枝入口部病変における 2 つのタイプの穿孔



#### 14. 特別な病変: 保護されていない左冠動脈主幹部病変

Slow flow を来すと血行動態の破綻を来すことから、保護されていない左冠動脈主幹部病変への RA には特別な注意が必要である。しかし、Fukuらは RA を用いた左主幹部病変への PCI (n = 108) と RA を用いなかった左主幹部病変 (n = 1091) の

PCI で合併症率は同等であったと報告しており、左主幹部病変に対する RA 治療はある程度の安全性を持っていることが示唆された(223)。しかし、Bouisset らは RA を用いた非左主幹部病変治療に比べて RA を用いた左主幹部病変治療は院内死亡率が高かったことを報告している(224)。実臨床においては、slow flow を予防するために小径 (≤1.5-

mmr)の burr で開始することが重要であるが、左主幹部の血管径を考慮すると $\leq 1.5\text{-mm}$ の小径の burr は最終 burr サイズとしては小さすぎる可能性がある。IVUS, OCT を用いて初回 burr サイズ、最終 burr サイズを選択することが重要である。高度石灰化プラークが左主幹部入口部にある場合は、左主幹部中間部にある場合に比べて手技はより複雑となる。左主幹部入口部病変の治療では右冠動脈入口部への治療と同様に大動脈内でガイドカテーテルを同軸に安定させることが重要となる。また、IABP 使用やテンポラリーペーシングの使用についても検討すべきである。左主幹部への RA は junior RA operator 単独での使用を推奨しない。

左主幹部病変に限らず分岐部病変というカテゴリにおいては、PREPARE-CALC study のサブグループ解析において、分岐部病変では RA を用いた方が用いなかった場合に比べて側枝閉塞が少なかったことが報告されている(225)。Mizuno らも RA が本幹のみに施行された場合でも、RA を使用した方が側枝閉塞が少なかったことを報告している(226)。一方、Chen らは RA を本幹のみに施行した場合に比べて、本幹と側枝両方に RA を施行すると側枝穿孔がより高率に生じたことを報告している(227)。したがって、本幹と側枝の両方に RA を行う手技は senior RA operator のみとすべきである。

#### 14. 特別な病変: ステントアブレーション

ステントアブレーションは拡張不良となったステントによって再狭窄が生じた際に行われる。ステント拡張不良はアテレクトミーデバイスを使用後でも生じ得る(228)。Okamura らはシロリムス溶出ステントの拡張不良による再狭窄に対してステントアブレーションを施行した症例を報告している(229)。その報告の中で、対外実験を行っており、RA で切削された金属破片の大きさは  $5.6 \pm 3.6 \mu\text{m}$  であり、人体にとって安全なサイズと考えられると報告されている(229)。ステントアブレーション

のコツとしては、[1] 適切な burr サイズの選択、[2] 最初にステントストラットのみを切削する、[3] サイズアップした burr でストラット背後の石灰化を切削する、といった具合に段階的なステップを踏むことが重要である。ステントアブレーションでは burr スタックのリスクが高いため(213, 230)、段階的サイズアップと丁寧な操作が重要である。また、ステントアブレーションは冠微小循環の悪化と関連があるかもしれない(231)。ステントアブレーションは拡張不良のステントによって引き起こされる再狭窄に対する 1 つの解決策ではあるが、長期成績は満足できるものではない(232-235)。高度石灰化によるステント拡張不良に対しては IVL が一つのオプションになりえるが(236-238)、現時点で IVL は適応外であり、十分なフォローアップデータも不足している。ステントアブレーションは junior RA operator には推奨しない。また、術者が大きな burr でステントアブレーションを行う場合、burr スタックのリスクがかなり高いため、心臓血管外科医によるオンサイトのバックアップが必要かもしれない。ステント拡張不良の有無にかかわらず、in-stent の石灰化への治療は技術的に難しく、長期成績も不良であるため(239-241)、高度石灰化治療に対して final device を薬剤コーティッドバルーンにする方がより多くの再狭窄治療オプションを残せるという考え方がある(51, 242-245)。

#### 14. 特別な病変: びまん性の長い病変

RA はびまん性の長い病変に対してしばしば用いられ、その長期成績は RA が短い病変に用いられた場合と大きな差はない(246)。しかし、びまん性の長い病変は特にその途中で屈曲がある場合、junior RA operator には技術的に難しいかもしれない。病変内の強い屈曲は RA の手技不成功と関連している(247)。Sakakura らは屈曲を伴う病変に対する halfway RA の有用性を報告している(168, 248)。Halfway RA とは屈曲部における burr のスタックや穿孔を避けるために、術者が屈曲を超えるとこ

るまでは burr を持ち込まず、屈曲以遠の部分はバルーン拡張で対応するという手技である (Figure 7). Halfway RA はとりわけ junior RA operator に有用である。もし halfway RA がうまくいかなければ (すなわち、バルーンが屈曲以遠の石灰化を拡張できなければ), halfway RA から通常の RA 手技に変更することを検討する。他のオプションとしてガイドエクステンションカテーテルの併用があるが、ガイドエクステンションカテーテル越しの RA は簡単ではない。びまん性の長い病変への RA で注意する重要なポイントとして回転数のダウンを確認するということがある。RA 中の過度の回転数ダウンは避けるべきであるが、ある程度の回転数ダウンが見られないということは burr が石灰化に適切にコンタクトしていないことを示している可能性がある。術者が回転数ダウンを認めない中で、burr を過度に押し込むと burr のスタックや血管穿孔のリスクがある。したがって、回転数ダウンが見られない時は、burr と病変とのコンタクトする部分を増やす (変える) 目的で、RotaWire の種類を交換したり、バルーン拡張に移行したり (結果的に halfway RA となる) といった工夫を行うべきであり、まれに burr サイズを上げることが有効なこともある (184, 249)。

びまん性の長い病変への RA では、slow flow のリスクは短い病変よりも長い病変で大きい。ため、術者は術中の虚血誘発にも十分に注意すべきである (124)。びまん性の長い病変の途中で虚血のサインを認めたら、burr のサイズダウンを考慮する。他の方法としては、burr を冠動脈から退避させ、小休止を取って、冠動脈血流の回復とバイタルサインの安定を待つという方法がある。冠血流が回復して、バイタルサインが安定すれば、術者は安全に手技を再開できる。Sakakura らはびまん性の長い病変への RA において ST 上昇がみられた際の halftime RA の有用性について提唱している (169)。Halftime RA は burr のサイズダウン、RotaWire の交換、およびその両方を含んでいるが、

halftime RA の主なコンセプトは [1] RA のシステムを体外に出して、ST が低下するまで十分な時間を取る、[2] halftime の間に冠拡張薬の直接注入および血管内イメージングを施行する、[3] 完全な ST 低下を認めれば、同じ burr サイズ、同じ RotaWire で再度 RA を再開するということである (169) (Figure 8)。本ドキュメントではびまん性の長い病変への治療アルゴリズムを特に junior RA operator 向けに提唱する (Figure 9)。

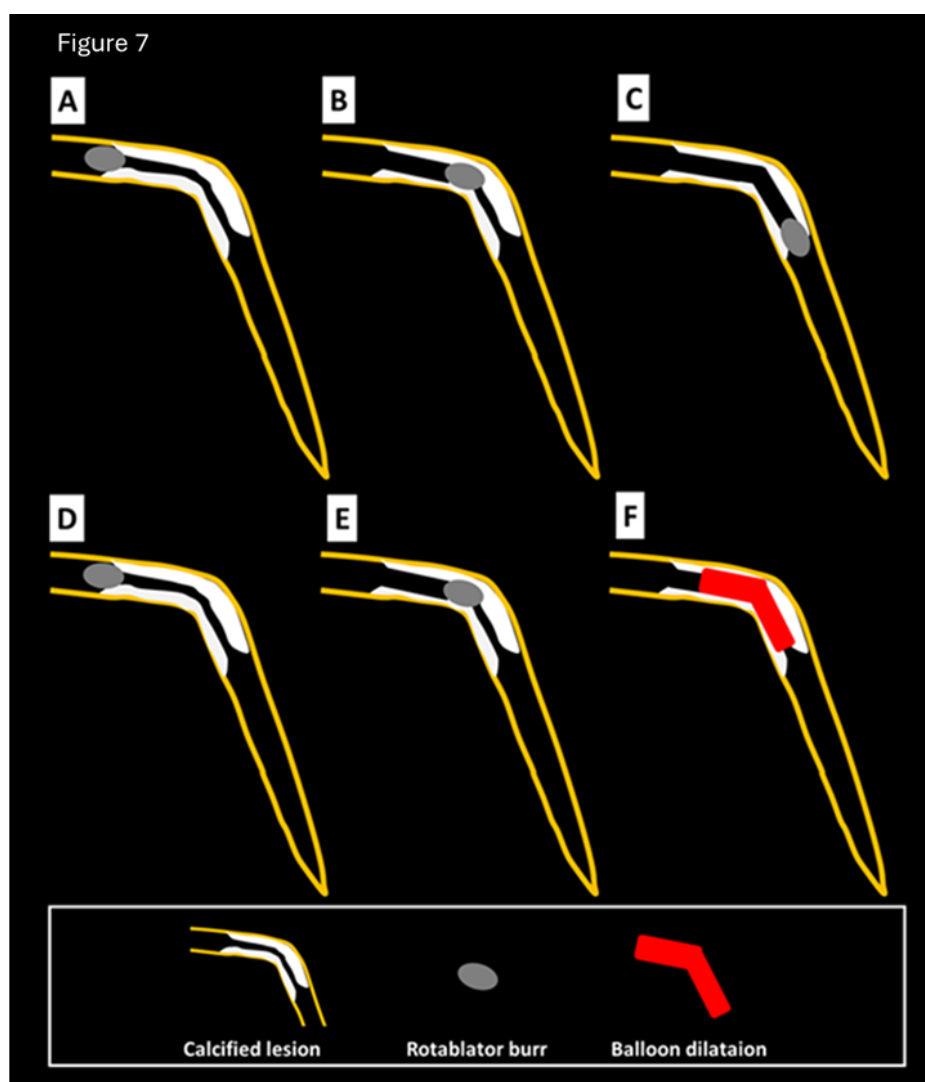
RA における burr のワーキングレンジは約 70mm である。術者は通常、burr のノブを端から 1-2 cm の位置にセットして、病変の 1-2 cm 手前をプラットフォームと設定する。したがって、実際の burr のワーキングレンジは 30-50 mm となる。もし、病変長が 30-50 mm を超えるなら、術者は手技の途中でプラットフォームを移動させる必要がある。手技中のプラットフォームの移動に関する文献はほとんどないが、RA のエキスパート間でもいくつかの方法がある。最も重要なポイントはプラットフォームを移動させる前にびまん性の長い病変の近位部を十分に切削しておくことである。1 回のみの通過は十分ではない可能性がある。追加の回転数ダウンが見られなくなるまで、数回の通過が必要かもしれない。Burr のサイズアップを行って、近位部をしっかりと切削することで安定したプラットフォームを作ること好むエキスパートも存在する。びまん性の長い病変の近位部を十分に切削した後で、術者はプラットフォームをより遠位に移動させることができる。ダイナグライドモードで移動させることを好むエキスパートがいる一方、スライディングシーステクニック (burr を遠位端に置いた状態からアドバンサーを前方に移動させる) を好むエキスパートも存在する。ドライブシャフトシースの外形が 4.3 Fr (1.43 mm) であるため、1.25 mm burr の切削ではプラットフォームの移動には不十分かもしれない。

病変近位部の屈曲によってバーを遠位部の標的部分まで持ち運ぶのが困難なことが時折生

じる。そういった状況においては、ガイドエクステンションカテーテルを用いることが一つの選択肢になる。一方, burr をガイドエクステンションカテーテル越しに進める際にガイドエクステンションカテーテルのエントリーポートで引っかかることがある。屈曲や石灰化によってガイドエクステンションカテーテルの内腔がつぶれてしまっ

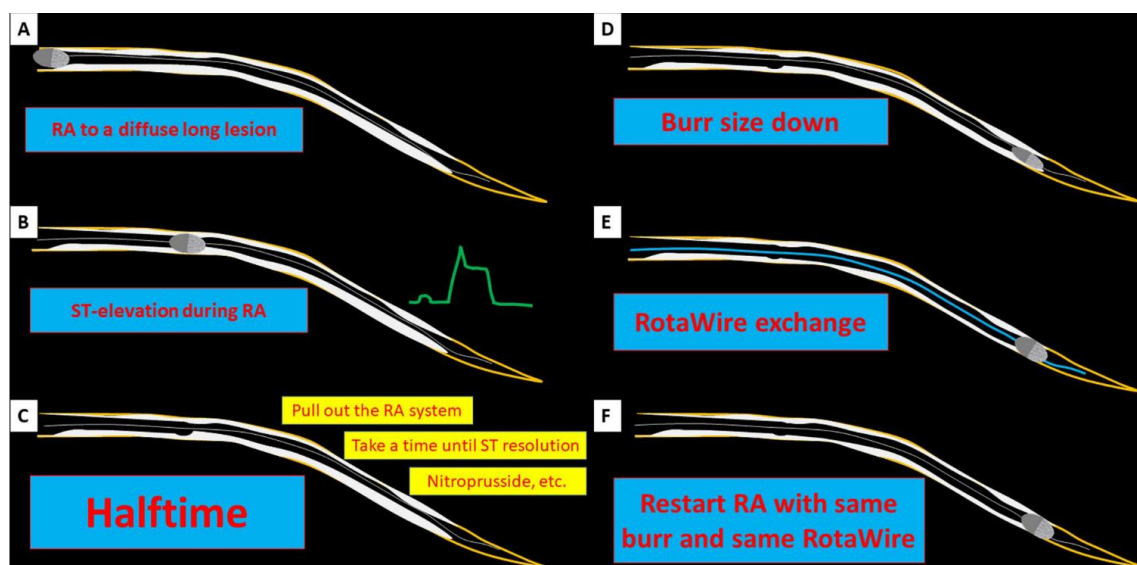
て手くいかないこともある(250)。Kaneko らは DELIVER (Deep Engagement of guide catheter or 5-F chiLd-guide catheter for burr deliVery and subsequent Rotational atherectomy)テクニックを報告しており、こちらにおいてはガイドエクステンションカテーテルに比べて burr をよりスムーズに持ち込むことができる(251, 252)。

Figure 7. 通常および Halfway RA のコンセプト



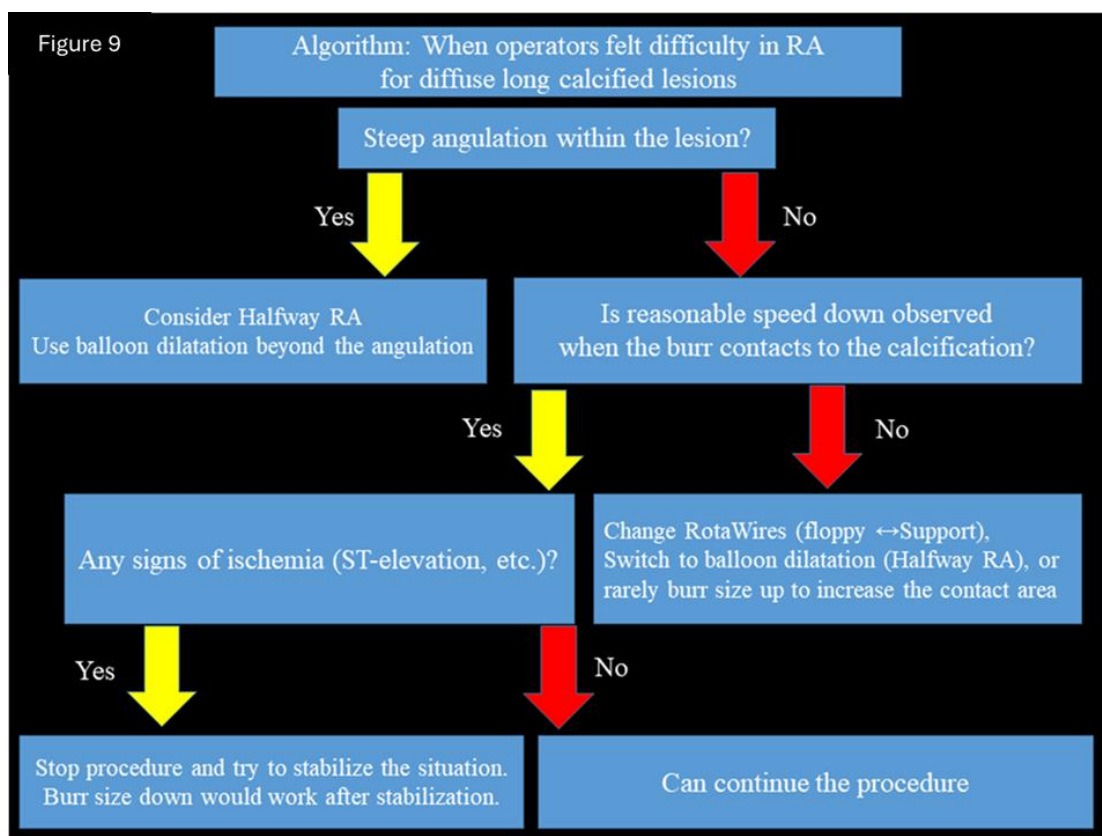
パネル (A), (B), (C) は通常の RA 手技, パネル (D), (E), (F) は halfway rotational atherectomy のイラスト. (A): バーは石灰化病変の直前. (B): バーが石灰化病変の近位部を切削. (C): バーが残りの石灰化部分も切削. (D): バーは石灰化病変の直前. (E): バーが石灰化病変の近位部を切削. (F): 残りの石灰化部分はバルーンで拡張. この図は Sakakura, et al (168) より許可を得て転載.

**Figure 8.** Halftime RA のコンセプト



パネル A. びまん性の長い病変への RA. パネル B. バーは病変の途中だが著名な ST 上昇を認めた. パネル C. RA のシステムをガイドカテーテルから抜去. ST 上昇が改善するまで十分な Halftime を取る. ニトロプルシドなどの血管拡張薬を注入する. 冠血流が完全に回復すれば術者はいくつかのアプローチをとることができる(パネル D, E, F). パネル D. バーサイズを下げることはびまん性の長い石灰化病変での標準的なアプローチである. パネル E. RotaWire の交換もびまん性の長い石灰化病変での標準的なアプローチ. パネル F. 同じバーサイズと同じ RotaWire で再開するのはこの Halftime RA の独自のアプローチで、余分なコストも生じない. この図は Sakakura, et al (169) より許可を得て転載.

**Figure 9.** 術者がびまん性の長い病変への RA で難しさを感じた時のアルゴリズム



#### 14. 特別な病変: ガイドワイヤースタックに対するアブレーション

ガイドワイヤのスタックは複雑病変への PCI で時折生じる。スタックしたガイドワイヤを無理やり引き抜こうとすると、冠動脈壁に損傷を来したり、ガイドワイヤが壊れたりする恐れがある。RA はスタックしたガイドワイヤを切断する一つのオプションであると報告されている(253-256)。スネアなどで無理に引き抜く場合と比較して、RA とガイドワイヤの接触点が IVUS できちんとコントロールできるなら、冠動脈には無理な力がかからないため、より安全な抜去になる可能性がある(254)。しかし、この手技で逆に RA burr がガイドワイヤに絡まる可能性もあり、この手技は junior RA operator には推奨しない。

#### 15. 結論

本ドキュメントでは、Japanese style RA、すなわち血管内イメージングデバイスを活用して安全性と有効性を高める RA を提唱する。本ドキュメントは主に junior RA operator にとって役立つものとなるように執筆されているが、senior RA operator にとっても手技の発展に役立つものと考える。

#### Funding

なし

#### 利益相反

Drs. Sakakura, Ito, Shibata, Okamura, Nakamura, Hamazaki, Ako, Yokoi, Kobayashi, Ikari は Boston Scientific から講演料を受けている。Drs. Sakakura, Shibata, Okamura, Nakamura, Hamazaki は RA のプロクターである。Dr. Ikari は Boston Scientific からのリサーチグラントを受けている。

#### References

1. Guedeney P, Claessen BE, Mehran R, Mintz

GS, Liu M, Sorrentino S, et al. Coronary Calcification and Long-Term Outcomes According to Drug-Eluting Stent Generation. JACC Cardiovasc Interv. 2020;13(12):1417–28.

2. Copeland-Halperin RS, Baber U, Aquino M, Rajamanickam A, Roy S, Hasan C, et al. Prevalence, correlates, and impact of coronary calcification on adverse events following PCI with newer-generation DES: Findings from a large multiethnic registry. Catheter Cardiovasc Interv. 2018;91(5):859–66.

3. Kawashima H, Serruys PW, Hara H, Ono M, Gao C, Wang R, et al. 10-Year All-Cause Mortality Following Percutaneous or Surgical Revascularization in Patients With Heavy Calcification. JACC Cardiovasc Interv. 2022;15(2):193–204.

4. Hirose T, Fujii K, Hashimoto K, Bando K, Morishita S, Taniichi M, et al. Plaque rupture and calcified nodules: major contributors to out-of-hospital cardiac arrest in acute myocardial infarction. Cardiovasc Interv Ther. 2025.

5. Sharma SK, Tomey MI, Teirstein PS, Kini AS, Reitman AB, Lee AC, et al. North American Expert Review of Rotational Atherectomy. Circ Cardiovasc Interv. 2019;12(5):e007448.

6. Barbato E, Carrié D, Dardas P, Fajadet J, Gaul G, Haude M, et al. European expert consensus on rotational atherectomy. EuroIntervention. 2015;11(1):30–6.

7. Fujii K, Kubo T, Otake H, Nakazawa G, Sonoda S, Hibi K, et al. Expert consensus statement for quantitative measurement and morphologic assessment of optical coherence tomography: update 2025. Cardiovasc Interv Ther. 2025;40:226–33.

8. Saito Y, Kobayashi Y, Fujii K, Sonoda S, Tsujita K, Hibi K, et al. CVIT 2025 clinical expert consensus document on intravascular ultrasound. Cardiovasc Interv Ther. 2025;40:211–25.

9. Tanita A, Sunamura S, Ogata T, Noda K, Takii T, Nitta Y, et al. Correlation between coronary angioscopy yellow grade and lipid plaque assessment by integrated backscatter intravascular ultrasound. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40:778–87.
10. Gohbara M, Hibi K, Morimoto T, Kirigaya H, Yamamoto K, Ono K, et al. Complex PCI and 1-year outcomes in the OPTIVUS-complex PCI study multivessel cohort. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40(3):516–26.
11. Kasahara T, Kitahara H, Takou K, Tateishi K, Saito Y, Kato K, et al. Impact of pullback speed on evaluation of lipid core plaque using near-infrared spectroscopy-intravascular ultrasound. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40(3):536–43.
12. Ashikaga T, Lee T, Miyazaki R, Nagase M, Misawa T, Kaneko M, et al. Methods for treating coronary eruptive calcified nodules. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2024;104(5):899–906.
13. Sakakura K, Yamamoto K, Taniguchi Y, Tsurumaki Y, Momomura SI, Fujita H. Intravascular ultrasound enhances the safety of rotational atherectomy. *Cardiovasc Revasc Med.* 2018;19(3 Pt A):286–91.
14. Maejima N, Hibi K, Saka K, Akiyama E, Konishi M, Endo M, et al. Relationship Between Thickness of Calcium on Optical Coherence Tomography and Crack Formation After Balloon Dilatation in Calcified Plaque Requiring Rotational Atherectomy. *Circ J.* 2016;80(6):1413–9.
15. Kobayashi N, Ito Y, Yamawaki M, Araki M, Obokata M, Sakamoto Y, et al. Optical coherence tomography-guided versus intravascular ultrasound-guided rotational atherectomy in patients with calcified coronary lesions. *EuroIntervention.* 2020;16(4):e313–e21.
16. Sakakura K, Inohara T, Kohsaka S, Amano T, Uemura S, Ishii H, et al. Incidence and Determinants of Complications in Rotational Atherectomy: Insights From the National Clinical Data (J-PCI Registry). *Circ Cardiovasc Interv.* 2016;9(11):e004278.
17. Nomura T, Wada N, Ota I, Tasaka S, Ono K, Sakaue Y, et al. Early experience with coronary debulking devices in a newcomer facility after introducing revised facility criteria in Japan. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38(1):104–12.
18. Sakakura K, Ito Y, Shibata Y, Okamura A, Kashima Y, Nakamura S, et al. Clinical expert consensus document on rotational atherectomy from the Japanese association of cardiovascular intervention and therapeutics. *Cardiovasc Interv Ther.* 2021;36(1):1–18.
19. Sakakura K, Ito Y, Shibata Y, Okamura A, Kashima Y, Nakamura S, et al. Clinical expert consensus document on rotational atherectomy from the Japanese association of cardiovascular intervention and therapeutics: update 2023. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38(2):141–62.
20. Kini A, Marmur JD, Duvvuri S, Dangas G, Choudhary S, Sharma SK. Rotational atherectomy: improved procedural outcome with evolution of technique and equipment. Single-center results of first 1,000 patients. *Catheter Cardiovasc Interv.* 1999;46(3):305–11.
21. 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.
22. Endo H, Dohi T, Miyauchi K, Takahashi D, Funamizu T, Shitara J, et al. Clinical impact of complex percutaneous coronary intervention in patients with coronary artery disease. *Cardiovasc*

Interv Ther. 2020;35(3):234–41.

23. Naito R, Sakakura K, Wada H, Funayama H, Sugawara Y, Kubo N, et al. Comparison of long-term clinical outcomes between sirolimus-eluting stents and paclitaxel-eluting stents following rotational atherectomy. *Int Heart J*. 2012;53(3):149–53.

24. 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.

25. Hachinohe D, Kashima Y, Kanno D, Kobayashi K, Sugie T, Kaneko U, et al. Rotational atherectomy and new-generation drug-eluting stent implantation. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2018;91(6):1026–34.

26. Dong H, Hachinohe D, Nie Z, Kashima Y, Luo J, Haraguchi T, et al. Reappraisal Value of a Modified Rotational Atherectomy Technique in Contemporary Coronary Angioplasty Era. *J Interv Cardiol*. 2020;2020:9190702.

27. Lee K, Jung JH, Lee M, Kim DW, Park MW, Choi IJ, et al. Clinical Outcome of Rotational Atherectomy in Calcified Lesions in Korea-ROCK Registry. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(7).

28. Mankerious N, Hemetsberger R, Traboulsi H, Toelg R, Abdel-Wahab M, Richardt G, et al. Outcomes of patients treated with a biodegradable-polymer sirolimus-eluting stent versus durable-polymer everolimus-eluting stents after rotational atherectomy. *Clin Res Cardiol*. 2021;110(10):1574–85.

29. Morofuji T, Kuramitsu S, Shinozaki T, Jinnouchi H, Sonoda S, Domei T, et al. Clinical

impact of calcified nodule in patients with heavily calcified lesions requiring rotational atherectomy. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2021;97(1):10–9.

30. Jinnouchi H, Sakakura K, Taniguchi Y, Tsukui T, Watanabe Y, Yamamoto K, et al. Clinical Outcomes and Unique Restenosis of Calcified Nodule in Heavily Calcified Coronary Artery. *J Atheroscler Thromb*. 2023;30(6):649–62.

31. Narui S, Yamamoto MH, Mori H, Amemiya K, Okabe T, Koyanagi Y, et al. Mechanism of Stent Failure in Patients With Eruptive Calcified Nodule Treated With Rotational Atherectomy. *Can J Cardiol*. 2024;40(11):1998–2007.

32. Kise M, Ishihara T, Higashino N, Tsujimura T, Hata Y, Nakao S, et al. Long-Term Outcomes Following Percutaneous Coronary Intervention With Rotational Atherectomy for Severely Calcified Lesions. *Circ Rep*. 2025;7(7):528–34.

33. Mankerious N, Richardt G, Allali A, Geist V, Kastrati A, El-Mawardy M, et al. Lower revascularization rates after high-speed rotational atherectomy compared to modified balloons in calcified coronary lesions: 5-year outcomes of the randomized PREPARE-CALC trial. *Clin Res Cardiol*. 2024;113(7):1051–9.

34. Okamoto N, Egami Y, Nohara H, Kawanami S, Sugae H, Kawamura A, et al. Direct Comparison of Rotational vs Orbital Atherectomy for Calcified Lesions Guided by Optical Coherence Tomography. *JACC Cardiovasc Interv*. 2023;16(17):2125–36.

35. Blachutzik F, Meier S, Weissner M, Schlattner S, Gori T, Ullrich-Daub H, et al. Comparison of Coronary Intravascular Lithotripsy and Rotational Atherectomy in the Modification of Severely Calcified Stenoses. *Am J Cardiol*. 2023;197:93–100.

36. Jurado-Román A, Gómez-Menchero A, Rivero-Santana B, Amat-Santos IJ, Jiménez-Valero S,

- Caballero-Borrego J, et al. Rotational Atherectomy, Lithotripsy, or Laser for Calcified Coronary Stenosis: The ROLLER COASTR-EPIC22 Trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2025;18(5):606–18.
37. Moghadam AS, Kakavand N, Shirmard FO, Poopak A, Anaraki N, Javadi M, et al. Intravascular Lithotripsy Versus Rotational Atherectomy in the Management of Calcific Coronary Lesions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2025.
38. Suruagy-Motta RFO, Cabeça LS, Da Silva AMP, Neves GR, Camarotti MT, Lima LCV, et al. Intravascular Lithotripsy Versus Rotational Atherectomy for Calcified Coronary Lesions: A Systematic Review and an Updated Meta-Analysis of Clinical Outcomes. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2025;106(1):563–72.
39. Dong H, Hachinohe D, Nie Z, Kashima Y, Li G, Haraguchi T, et al. Predictors of clinical outcome after rotational atherectomy-facilitated percutaneous coronary intervention in hemodialysis patients. *Ann Palliat Med.* 2021;10(11):11308–21.
40. Jujo K, Otsuki H, Tanaka K, Fukushima N, Okai I, Nakashima M, et al. Long-term cardiovascular prognosis after rotational atherectomy in hemodialysis patients: Data from the J2T multicenter registry. *Int J Cardiol.* 2019;285:14–20.
41. Katayama T, Hioki H, Kyono H, Watanabe Y, Yamamoto H, Kozuma K. Predictive value of the geriatric nutritional risk index in percutaneous coronary intervention with rotational atherectomy. *Heart Vessels.* 2020;35(7):887–93.
42. Kyodo A, Okura H, Okamura A, Iwai S, Kamon D, Hashimoto Y, et al. Incidence and Characteristics of Incomplete Stent Apposition in Calcified Lesions: An Optical Coherence Tomography Study. *Cardiovasc Revasc Med.* 2022;41:55–60.
43. Watanabe Y, Sakakura K, Taniguchi Y, Yamamoto K, Seguchi M, Tsukui T, et al. Comparison of clinical outcomes of intravascular ultrasound-calcified nodule between percutaneous coronary intervention with versus without rotational atherectomy in a propensity-score matched analysis. *PLoS One.* 2020;15(11):e0241836.
44. 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):588–9.
45. Nagai T, Mizobuchi M, Funatsu A, Kobayashi T, Nakamura S. Acute and mid-term outcomes of drug-coated balloon following rotational atherectomy. *Cardiovasc Interv Ther.* 2020;35(3):242–9.
46. Ueno K, Morita N, Kojima Y, Takahashi H, Kawasaki M, Ito R, et al. Safety and Long-Term Efficacy of Drug-Coated Balloon Angioplasty following Rotational Atherectomy for Severely Calcified Coronary Lesions Compared with New Generation Drug-Eluting Stents. *J Interv Cardiol.* 2019;2019:9094178.
47. Shiraishi J, Kataoka E, Ozawa T, Shiraga A, Ikemura N, Matsubara Y, et al. Angiographic and Clinical Outcomes After Stent-less Coronary Intervention Using Rotational Atherectomy and Drug-Coated Balloon in Patients with De Novo Lesions. *Cardiovasc Revasc Med.* 2020;21(5):647–53.
48. Iwasaki Y, Koike J, Ko T, Funatsu A, Kobayashi T, Ikeda T, et al. Comparison of drug-eluting stents vs. drug-coated balloon after rotational atherectomy for severely calcified lesions of non-small vessels. *Heart Vessels.* 2021;36(2):189–99.
49. Shiraishi J, Asano Y, Kakei Y, Ito F, Yoshimura J, Kataoka E, et al. Mid-term results of stent-less coronary intervention using rotational

- atherectomy and drug-coated balloon for de-novo lesions in hemodialysis patients. *Minerva Cardiol Angiol.* 2023;71(3):294–302.
50. Yamada M, Ueno K, Kojima Y, Watanabe M, Morita N. Long-term efficacy of drug-coated balloon only angioplasty for IgG4-related coronary artery disease: a case report. *Eur Heart J Case Rep.* 2024;8(10):ytac492.
  51. Sakakura K, Jinnouchi H, Taniguchi Y, Yamamoto K, Fujita H. Lifetime management of severely calcified coronary lesions: the treatment algorithm focused on the shape of calcification. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38(4):375–80.
  52. Osawa T, Koizumi T, Ito Y. Sustained Lumen Area by Paclitaxel-Coated Balloon Following Rotational Atherectomy for Napkin-Ring Left Main Trunk Ostial Lesion. *Tex Heart Inst J.* 2023;50(2).
  53. Dong H, Hachinohe D, Nie Z, Kashima Y, Luo J, Haraguchi T, et al. Comparison of Drug-Eluting Stent and Plain Old Balloon Angioplasty After Rotational Atherectomy in Severe Calcified and Large Coronary. *Int Heart J.* 2021;62(2):264–73.
  54. Khalefa BB, Ayyad M, Alqeeq BF, Albandak M, Ayyad A, Awad AK, et al. Rotational Atherectomy Followed by Modified (Cutting or Scoring) Balloon Versus Plain Balloon Before Drug-Eluting Stent Implantation for Calcified Coronary Lesions: A Meta-Analysis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2025.
  55. Patel N, Bandyopadhyay D, Agarwal G, Chakraborty S, Kumar A, Hajra A, et al. Outcomes of rotational atherectomy followed by cutting balloon versus plain balloon before drug-eluting stent implantation for calcified coronary lesions: A meta-analysis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2022;99(6):1741–9.
  56. Sharma SK, Mehran R, Vogel B, Hooda A, Sartori S, Hanstein R, et al. Rotational atherectomy combined with cutting balloon to optimise stent expansion in calcified lesions: the ROTA-CUT randomised trial. *EuroIntervention.* 2024;20(1):75–84.
  57. Oda T, Kinoshita Y, Miyahara M, Maekawa Y, Nishikawa H, Suzuki T. Wire bias modification with reverse orbital atherectomy for safer rotational atherectomy in calcified bifurcation. *J Cardiol Cases.* 2024;29(3):128–31.
  58. Adachi Y, Kinoshita Y, Suzuki T. Efficacy of Combination Atherectomy of Orbital Atherectomy System and Rotational Atherectomy for Severely Calcified Nodule. *Cardiovasc Revasc Med.* 2021;28:100–1.
  59. Oka A, Okada T, Nosaka K, Doi M. A case combining orbital and rotational atherectomy systems for a bifurcation lesion with a severely calcified nodule. *AsiaIntervention.* 2023;9(1):62–3.
  60. Yamamoto H, Tsunamoto H, Yoshida C, Takaya T. Combined Orbital and Rotational Atherectomy for Severe Nodular Calcification at Curved Arteries. *Circ J.* 2023;87(4):582.
  61. Oka T, Sanada R, Urabe Y, Mitsuba N, Fukuda Y, Ueda H. Effectiveness of using both rotational atherectomy with smallest burr and orbital atherectomy system for stentless treatment of calcified nodules. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38(4):424–6.
  62. Amisaki R, Watanabe T, Kato M. The efficacy of orbital atherectomy is associated with prior rotational atherectomy and a greater preprocedural lumen area. *Coron Artery Dis.* 2025.
  63. Takahashi T, Menegus M, Choi H, Bliagos D, Assafin M, Rauch J, et al. Complementary Utility of Intravascular Lithotripsy With Atherectomy for Severely Calcified Coronary Stenoses in Contemporary Practice. *J Invasive Cardiol.* 2023;35(1):E46–e54.
  64. Włodarczak A, Rola P, Barycki M, Engel B,

Szudrowicz M, Kulczycki JJ, et al. Rota-lithotripsy: A combination of rotational atherectomy and intravascular lithotripsy (Shockwaves) as a novel strategy for a rotatable-resistant lesion in a patient with ST-segment elevation myocardial infarction. *Cardiol J*. 2021;28(6):993–4.

65. Rola P, Włodarczyk A, Barycki M, Kulczycki JJ, Engel B, Doroszkowski A. "All hands on deck" - rota-lithotripsy - a combination of rotational atherectomy and intravascular lithotripsy (shockwave) with additional use of a Turnpike Gold microcatheter and guide extension as a novel approach for calcified lesions. *Postępy Kardiologii Interwencyjnej*. 2021;17(2):214–7.

66. Miura Y, Koyama K, Izumi K, Yamazaki H, Soejima K. Staged strategy of combined rotational atherectomy and intravascular lithotripsy for severely calcified lesions: an evaluation using multimodality intracoronary imaging-a case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2024;8(10):ytac504.

67. Yasumura K, Vinayak M, Hooda A, Sharma SK, Kini AS. Comprehensive Optical Coherence Tomography-Guided RotaTripsy for Massive Coronary Calcified Nodule: A Decision-Making Approach. *JACC Case Rep*. 2024;29(19):102566.

68. Nakamura M, Kuriyama N, Tanaka Y, Yamazaki S, Kawasaki T, Muramatsu T, et al. Dual-Prep registry: atherectomy devices and intravascular lithotripsy for the PREPARation of heavily calcified coronary lesions registry. *Cardiovasc Interv Ther*. 2025;40:553–64.

69. Ikari Y, Sugano T, Ogata N, Sonoda S, Nakazato K, Ako J, et al. Device indication for calcified coronary lesions based on coronary imaging findings. *Cardiovascular Intervention and Therapeutics*. 2025;40:733–5.

70. Kurogi K, Ishii M, Nagatomo T, Tokai T, Kaichi R, Takae M, et al. Mean density of computed

tomography for predicting rotational atherectomy during percutaneous coronary intervention. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2023;17(2):120–9.

71. Nakano Y, Okutsu M, Hino R, Nagata T, Sadamatsu K, Serikawa T, et al. A Novel Cardiac Computed Tomography-Based Calcium Scoring System for Predicting the Use of Atherectomy Devices in Severely Calcified Coronary Lesions. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2025;106(5):2892–900.

72. Mintz GS, Nissen SE, Anderson WD, Bailey SR, Erbel R, Fitzgerald PJ, et al. American College of Cardiology Clinical Expert Consensus Document on Standards for Acquisition, Measurement and Reporting of Intravascular Ultrasound Studies (IVUS). A report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol*. 2001;37(5):1478–92.

73. Quien MM, Saric M. Ultrasound imaging artifacts: How to recognize them and how to avoid them. *Echocardiography*. 2018;35(9):1388–401.

74. Wang X, Matsumura M, Mintz GS, Lee T, Zhang W, Cao Y, et al. In Vivo Calcium Detection by Comparing Optical Coherence Tomography, Intravascular Ultrasound, and Angiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2017;10(8):869–79.

75. Jinnouchi H, Sakakura K, Taniguchi Y, Tsukui T, Watanabe Y, Yamamoto K, et al. Intravascular ultrasound-factors associated with slow flow following rotational atherectomy in heavily calcified coronary artery. *Sci Rep*. 2022;12(1):5674.

76. Jinnouchi H, Sakakura K, Taniguchi Y, Tsukui T, Watanabe Y, Yamamoto K, et al. Impact of ultrasound reverberation in calcified coronary arteries: Intravascular ultrasound study. *Atherosclerosis*. 2022;363:1–7.

77. Schwarz K, Lovatt S, Borovac JA, Parasuraman S, Kwok CS. Planned Versus Bailout Rotational Atherectomy: A Systematic Review and

- Meta-Analysis. *Cardiovasc Revasc Med.* 2022;39:45–51.
78. Bacmeister L, Breitbart P, Sobolewska K, Kaier K, Rahimi F, Löffelhardt N, et al. Planned versus unplanned rotational atherectomy for plaque modification in severely calcified coronary lesions. *Clin Res Cardiol.* 2023;112(9):1252–62.
  79. Kanda D, Takumi T, Arikawa R, Anzaki K, Sonoda T, Ohmure K, et al. Secondary rotational atherectomy is associated with reduced occurrence of prolonged ST-segment elevation following ablation. *Intern Emerg Med.* 2023;18(7):1995–2002.
  80. Galeote G, Zubiaur J, Jurado-Román A, Fernández-Portales J, Romani S, Salinas P, et al. Coronary Rotational Atherectomy Elective Versus Bailout in Patients With Severely Calcified Lesions and Chronic Renal Failure (CRATER) Trial. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2025.
  81. Kinnaird T, Gallagher S, Sharp A, Protty M, Salim T, Ludman P, et al. Operator Volumes and In-Hospital Outcomes: An Analysis of 7,740 Rotational Atherectomy Procedures From the BCIS National Database. *JACC Cardiovasc Interv.* 2021;14(13):1423–30.
  82. Januszek R, Siudak Z, Malinowski KP, Wańha W, Wojakowski W, Reczuch K, et al. Annual operator volume among patients treated using percutaneous coronary interventions with rotational atherectomy and procedural outcomes: Analysis based on a large national registry. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2022;99(6):1723–32.
  83. Motwani JG, Raymond RE, Franco I, Ellis SG, Whitlow PL. Effectiveness of rotational atherectomy of right coronary artery ostial stenosis. *Am J Cardiol.* 2000;85(5):563–7.
  84. Sakakura K, Taniguchi Y, Yamamoto K, Wada H, Momomura SI, Fujita H. Association of Excessive Speed Reduction with Clinical Factors During Rotational Atherectomy. *Cardiovasc Revasc Med.* 2020;21(3):314–9.
  85. Fujimoto Y, Sakakura K, Jinnouchi H, Taniguchi Y, Tsukui T, Watanabe Y, et al. Comparison of Long-Term Clinical Outcomes of Elective Percutaneous Coronary Intervention Between Complex and High-risk Intervention in Indicated Patients (CHIP) versus Non-CHIP. *Am J Cardiol.* 2023;194:1–8.
  86. Fujimoto Y, Sakakura K, Jinnouchi H, Taniguchi Y, Tsukui T, Watanabe Y, et al. Comparison of Outcomes of Elective Percutaneous Coronary Intervention between Complex and High-Risk Intervention in Indicated Patients (CHIP) versus Non-CHIP. *J Atheroscler Thromb.* 2023;30(9):1229–41.
  87. Fujimoto Y, Sakakura K, Fujita H. Complex and high-risk intervention in indicated patients (CHIP) in contemporary clinical practice. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38(3):269–74.
  88. Yoshizaki T, Nakamura T, Horikoshi T, Watanabe Y, Kobayashi T, Saito Y, et al. Impact of atherothrombotic risk stratification in patients with heavily calcified lesions following rotational atherectomy. *J Cardiol.* 2024;83(1):37–43.
  89. Hemetsberger R, Mankerious N, Muntané-Carol G, Temporal J, Sulimov D, Gaede L, et al. In-hospital Outcomes of Rotational Atherectomy in ST-Elevation Myocardial Infarction: Results From the Multicentre ROTA-STEMI Network. *Can J Cardiol.* 2024;40(7):1226–33.
  90. Farooq A, Koshy AN, Giustino G, Sartori S, Snyder C, Hooda A, et al. Impact of Clinical Presentation on Outcomes After Rotational Atherectomy in Patients Who Underwent Percutaneous Coronary Intervention. *Am J Cardiol.* 2023;201:252–9.
  91. Yoneda S, Asaumi Y, Murai K, Iwai T,

- Matama H, Sawada K, et al. Feasibility of rotational atherectomy in patients with acute coronary syndrome: favorable in-hospital outcomes and clinical importance of complexed coronary atherosclerosis. *Heart Vessels*. 2023;38(10):1193–204.
92. Aikawa T, Mori Y, Kohsaka S, Matsue Y, Kuno T, Yamaji K, et al. Application and Outcomes of Coronary Atherectomy in Acute Coronary Syndrome: A Report From the J-PCI Registry. *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv*. 2025;4(7):103622.
  93. Honda Y, Nishihira K, Kuriyama N, Takamatsu M, Yamamoto K, Nishino S, et al. Comparison of Short-Term Clinical Outcomes Between Intravascular Lithotripsy and Rotational Atherectomy for Calcified Coronary Stenosis in Patients With Acute Coronary Syndrome. *Circ Rep*. 2025;7(8):612–8.
  94. Hu H, Guo Z, Wu J, Ma L. Outcomes of Patients Undergoing Rotational Atherectomy with Intra-Aortic Balloon Pump Support in Patients with Multivessel Disease and Low Left Ventricular Ejection Fraction. *Rev Cardiovasc Med*. 2023;24(1):27.
  95. Chen YW, Chen YH, Su CS, Chang WC, Wang CY, Liu TJ, et al. The Characteristics and Clinical Outcomes of Rotational Atherectomy under Intra-Aortic Balloon Counterpulsation Assistance for Complex and Very High-Risk Coronary Interventions in Contemporary Practice: An Eight-Year Experience from a Tertiary Center. *Acta Cardiol Sin*. 2020;36(5):428–38.
  96. Koide M, Fukui K, Sugimoto H, Takeda Y, Sogabe K, Kato Y, et al. Impella-Supported Optical Coherence Tomography-Guided Aggressive Rotational Atherectomy for Heavily Calcified Lesions in Left Main Trunk Bifurcation in a Patient with Severe Left Ventricular Systolic Dysfunction. *Case Rep Cardiol*. 2023;2023:6894610.
  97. Azzalini L, Johal GS, Baber U, Bander J, Moreno PR, Bazi L, et al. Outcomes of Impella-supported high-risk nonemergent percutaneous coronary intervention in a large single-center registry. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2021;97(1):E26–e33.
  98. Sharma SK, Dangas G, Mehran R, Duvvuri S, Kini A, Cocke TP, et al. Risk factors for the development of slow flow during rotational coronary atherectomy. *Am J Cardiol*. 1997;80(2):219–22.
  99. Sakakura K, Ako J, Wada H, Naito R, Arao K, Funayama H, et al. Beta-blocker use is not associated with slow flow during rotational atherectomy. *J Invasive Cardiol*. 2012;24(8):379–84.
  100. LoMauro A, Aliverti A. Blood Shift During Cough: Negligible or Significant? *Front Physiol*. 2018;9:501.
  101. Tanaka M, Yanagisawa R, Yashima F, Arai T, Watanabe Y, Naganuma T, et al. A novel technique to avoid perforation of the right ventricle by the temporary pacing lead during transcatheter aortic valve implantation. *Cardiovasc Interv Ther*. 2021;36(3):347–54.
  102. Von Sohsten R, Kopistansky C, Cohen M, Kussmaul WG, 3rd. Cardiac tamponade in the "new device" era: evaluation of 6999 consecutive percutaneous coronary interventions. *Am Heart J*. 2000;140(2):279–83.
  103. Megaly M, Sandoval Y, Lillyblad MP, Brilakis ES. Aminophylline for Preventing Bradyarrhythmias During Orbital or Rotational Atherectomy of the Right Coronary Artery. *J Invasive Cardiol*. 2018;30(5):186–9.
  104. Knott JD, Sabbah MS, Lewis BR, Hassan A, Gladden JD, Bell MR, et al. Prophylactic Intravenous Aminophylline for Preventing Bradyarrhythmias During Coronary Atherectomy: A 10-Year Single-Center Experience. *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv*. 2023;2(3):100590.

105. Nakhle A, Kunkel KJ, Aqtash O, Zakhour S, Brice L, Arnautovic J, et al. Safety and efficacy of aminophylline in the prevention of bradyarrhythmia during coronary atherectomy. *Am Heart J Plus*. 2024;44:100419.
106. Kusumoto H, Ishibuchi K, Hasegawa K, Otsuji S. Trans-coronary pacing via Rota wire prevents bradycardia during rotational atherectomy: a case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2022;6(2):ytac013.
107. Iqbal MB, Robinson SD, Nadra IJ, Das D, van Zyl M, Sikkell MB, et al. The Efficacy and Safety of an Adjunctive Transcoronary Pacing Strategy During Rotational Atherectomy: ROTA-PACE Study. *JACC Cardiovasc Interv*. 2023;16(17):2189–90.
108. Ferstl P, Drentwett AS, Bargon S, Schacher N, Tröbs M, Marwan M, et al. Rotational atherectomy via the transradial access: success rates, procedural parameters and complications. *Heart Vessels*. 2022;37(9):1478–88.
109. Desta L, Jurga J, Völz S, Omerovic E, Ulvenstam A, Zwackman S, et al. Transradial versus trans-femoral access site in high-speed rotational atherectomy in Sweden. *Int J Cardiol*. 2022;352:45–51.
110. Januszek R, Siudak Z, Malinowski KP, Reczuch K, Dobrzycki S, Lesiak M, et al. Radial versus femoral access in patients treated with percutaneous coronary intervention and rotational atherectomy. *Kardiologia Pol*. 2020;78(6):529–36.
111. Mitomo S, Demir OM, Latib A, Colombo A. Buddy-wire technique during rotational Atherectomy: Simple and effective solution to achieve strong back-up support. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2019;93(3):436–9.
112. Othman F, Yong G, Whelan A, Ihdayhid AR. Aortic valve laceration following rotational atherectomy: a case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2024;8(6):ytac226.
113. Shah N, Demetriades P, Maqableh GM, Khan SQ, Shahid F. Aortic cusp perforation during rotational atherectomy: a case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2023;7(4):ytad171.
114. Saigan M, Miyasaka M, Tazawa D, Kosuga M, Maeda M, Teng Y, et al. Feasibility of guiding catheter exchange using extension wire in percutaneous coronary intervention after transcatheter aortic valve replacement. *Cardiovasc Interv Ther*. 2025;40:820–6.
115. Yashima F, Sato M, Matsumura H, Yoshijima N, Hashizume K, Shimoji K. Percutaneous coronary intervention with orbital atherectomy after transcatheter aortic valve replacement. *Cardiovasc Interv Ther*. 2025;40(1):189–90.
116. Boston\_Scientific\_Corporation. Rotablator and RotaWire: product document. 2020.
117. Boston\_Scientific\_Corporation. ROTAPRO™ Rotational atherectomy system. 2022.
118. 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.
119. Nowak A, Ratajczak J, Kasprzak M, Sukiennik A, Fabiszak T, Wojakowski W, et al. Long-term outcome of rotational atherectomy according to burr-to-artery ratio and changes in coronary artery blood flow: Observational analysis. *Cardiol J*. 2023;30(3):361–8.
120. Kaneko U, Kashima Y, Sugie T, Kuramitsu S, Tadano Y, Takeuchi T, et al. Fracture of Rotational Atherectomy Burr: Pre-Fracture Signs, Mechanisms, and Management Strategies. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2025;105(7):1608–15.
121. Yamaji K, Tanaka K, Yamasaki T, Sudo K, Kinoshita Y, Sumiyoshi A, et al. Rotablator Burr

Disconnection and a Gap Predictor. *JACC Case Rep.* 2025;104403.

122. Boston\_Scientific\_Corporation. Rotablator, product document. 2016.

123. Reisman M, Shuman BJ, Dillard D, Fei R, Misser KH, Gordon LS, et al. Analysis of low-speed rotational atherectomy for the reduction of platelet aggregation. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1998;45(2):208–14.

124. Sakakura K, Funayama H, Taniguchi Y, Tsurumaki Y, Yamamoto K, Matsumoto M, et al. The incidence of slow flow after rotational atherectomy of calcified coronary arteries: A randomized study of low speed versus high speed. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2017;89(5):832–40.

125. Mizutani K, Hara M, Nakao K, Yamaguchi T, Okai T, Nomoto Y, et al. Association between debulking area of rotational atherectomy and platform revolution speed-Frequency domain optical coherence tomography analysis. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2020;95(1):E1–e7.

126. Yamamoto T, Yada S, Matsuda Y, Otani H, Yoshikawa S, Sasaoka T, et al. A Novel Rotablator Technique (Low-Speed following High-Speed Rotational Atherectomy) Can Achieve Larger Lumen Gain: Evaluation Using Optimal Frequency Domain Imaging. *J Interv Cardiol.* 2019;2019:9282876.

127. Kobayashi N, Yamawaki M, Hirano K, Araki M, Sakai T, Sakamoto Y, et al. Additional debulking efficacy of low-speed rotational atherectomy after high-speed rotational atherectomy for calcified coronary lesion. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2020;36(10):1811–9.

128. Jinnouchi H, Kuramitsu S, Shinozaki T, Kobayashi Y, Hiromasa T, Morinaga T, et al. Two-Year Clinical Outcomes of Newer-Generation Drug-Eluting Stent Implantation Following Rotational Atherectomy for Heavily Calcified Lesions. *Circ J.*

2015;79(9):1938–43.

129. Sakakura K, Momomura SI, Fujita H. The RotaWire may be spinning in rotational atherectomy under the maximum rotational speed. *Cardiovasc Interv Ther.* 2019;34(2):182–3.

130. Warisawa T, Cook CM, Doi S, Kasahara M, Takai M, Akashi YJ. RotaWire fracturing due to spinning under the maximum rotational speed. *Cardiovasc Interv Ther.* 2019;34(4):373–4.

131. Sakakura K, Taniguchi Y, Yamamoto K, Tsukui T, Jinnouchi H, Fujita H. Excessive Rotational Speed May Be Associated With the Transection of Guidewires in Rotational Atherectomy. *Am J Cardiol.* 2020;132:172–3.

132. Foster-Smith K, Garratt KN, Holmes DR, Jr. Guidewire transection during rotational coronary atherectomy due to guide catheter dislodgement and wire kinking. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1995;35(3):224–7.

133. Matsuo H, Watanabe S, Watanabe T, Warita S, Kojima T, Hirose T, et al. Prevention of no-reflow/slow-flow phenomenon during rotational atherectomy--a prospective randomized study comparing intracoronary continuous infusion of verapamil and nicorandil. *Am Heart J.* 2007;154(5):994.e1–6.

134. Tsubokawa A, Ueda K, Sakamoto H, Iwase T, Tamaki S. Effect of intracoronary nicorandil administration on preventing no-reflow/slow flow phenomenon during rotational atherectomy. *Circ J.* 2002;66(12):1119–23.

135. Acar E, Izci S, Donmez I, Ozgul N, Ozcan E, Kaygusuz T, et al. A mix of aminophylline and heparin plus nitroglycerin can reduce bradycardia during rotational atherectomy on the right coronary artery and dominant circumflex artery. *Herz.* 2023;48(6):480–6.

136. Guo Z, Hu H, Hua J, Ma L. Comparison of

Two Different Rota-Flush Solutions in Patients Undergoing Rotational Atherectomy: A Randomized, Controlled, Triple-Blind Trial. *Cardiol Ther.* 2022;11(4):531–43.

137. You W, Wu XQ, Wu ZM, Wang YF, Shen TT, Tang B, et al. Safety and efficacy of low-temperature RA-flush solution in patients with moderate-to-severe calcified lesions (LOTA-II): a randomized, double-blind, multicenter study. *Sci Rep.* 2025;15(1):18280.

138. Cavusoglu E, Kini AS, Marmur JD, Sharma SK. Current status of rotational atherectomy. *Catheterization and Cardiovascular Interventions.* 2004;62(4):485–98.

139. Tanimura K, Otake H, Kawamori H, Toba T, Nagasawa A, Sugizaki Y, et al. Prediction of the debulking effect of rotational atherectomy using optical frequency domain imaging. *Heart Vessels.* 2021;36(9):1265–74.

140. Hashimoto K, Fujii K, Shibutani H, Matsumura K, Tsujimoto S, Otagaki M, et al. Prediction of optimal debulking segments before rotational atherectomy based on pre-procedural intravascular ultrasound findings. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2021;37(3):803–12.

141. Yokoi K, Nakamura D, Mizote I, Shiraki T, Ohtani T, Hikoso S, et al. Comparison of Intravascular Ultrasound and Optical Coherence Tomography Images of Calcified Lesions During Rotational Atherectomy. *JACC Cardiovasc Interv.* 2021;14(4):474–5.

142. Ishida M, Oshikiri Y, Kimura T, Sakamoto R, Shimoda Y, Ishikawa Y, et al. High-definition intravascular ultrasound versus optical frequency domain imaging for the detection of calcium modification and fracture in heavily calcified coronary lesion. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2022;38(6):1203–12.

143. Kurogi K, Ishii M, Ikebe S, Kaichi R, Mori T,

Komaki S, et al. Optical coherence tomography-versus intravascular ultrasound-guided stent expansion in calcified lesions. *Cardiovasc Interv Ther.* 2022;37(2):312–23.

144. Teng W, Li Q, Ma Y, Cao C, Liu J, Zhao H, et al. Comparison of optical coherence tomography-guided and intravascular ultrasound-guided rotational atherectomy for calcified coronary lesions. *BMC Cardiovasc Disord.* 2021;21(1):290.

145. Allali A, Traboulsi H, Sulimov DS, Abdel-Wahab M, Woitek F, Mangner N, et al. Feasibility and safety of minimal-contrast IVUS-guided rotational atherectomy for complex calcified coronary artery disease. *Clin Res Cardiol.* 2021;110(10):1668–79.

146. Hemetsberger R, Gori T, Toelg R, Byrne R, Allali A, El-Mawardy M, et al. Optical Coherence Tomography Assessment in Patients Treated With Rotational Atherectomy Versus Modified Balloons: PREPARE-CALC OCT. *Circ Cardiovasc Interv.* 2021;14(3):e009819.

147. Takei Y, Sekimoto T, Sato T, Mori H, Suzuki H. Iatrogenic aorto-coronary dissection triggered by contrast injection during coronary evaluation with optical frequency domain imaging. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40(2):416–7.

148. Kawaguchi Y, Tamura T, Masuda S, Unno K, Okazaki A, Miyajima K, et al. Impact of the Degree of Wire Bias in the Vessel's Healthy Portion on Coronary Perivascular Trauma in Rotational Atherectomy. *Cardiovasc Revasc Med.* 2022;40:123–31.

149. Fu HN, Kuramitsu S, Tsao TP, Fujita T. Tenting Sign on Intravascular Ultrasound: A Red Flag for Coronary Perforation Risk During Rotational Atherectomy. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2025.

150. Matsumura H, Shimoji K, Yoshijima N. A novel finding for predicting heightened risk for vessel injury caused by debulking devices. *Cardiovasc Interv*

Ther. 2025;40(1):191–2.

151. Hashimoto K, Fujii K, Shibutani H, Tsujimoto S, Otagaki M, Morishita S, et al. Prediction of medial damage by rotational atherectomy using intravascular ultrasound. *Coron Artery Dis.* 2022;33(4):295–301.

152. Hashimoto K, Fujii K, Ueda D, Sumiyoshi A, Hasegawa K, Fukuhara R, et al. Development and Validation of Artificial Intelligence-Based Algorithms for Predicting the Segments Debulked by Rotational Atherectomy Using Intravascular Ultrasound Images. *Am J Cardiol.* 2024;223:1–6.

153. Hamana T, Kawamori H, Toba T, Nishimori M, Tanimura K, Kakizaki S, et al. Prediction of the debulking effect of rotational atherectomy using optical frequency domain imaging: a prospective study. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38(3):316–26.

154. Tsuru Y, Domei T, Hyodo M, Morofuji T, Ando K. An effective treatment for repeated coronary in-stent restenosis using rotational atherectomy after aggressive wire penetration through the calcified nodule: a case report. *Eur Heart J Case Rep.* 2025;9(6):ytaf268.

155. Sudo K, Yasuda M, Yamasaki T, Tanaka K, Watanabe S, Iwamoto M, et al. 3-Dimensional Wiring Allows for ARCADIA Technique Followed by Rotational Atherectomy for Calcified Nodules. *JACC Case Rep.* 2025;30(35):105165.

156. Watanabe Y, Sakakura K, Jinnouchi H, Fujita H. Complicated coronary artery dissection in which a guidewire was pushed out from the true lumen to the false lumen behind calcified plaque. *Journal of Cardiology Cases.* 2024;31(3):72–5.

157. Sakakura K, Taniguchi Y, Yamamoto K, Tsukui T, Seguchi M, Wada H, et al. Comparison of complications with a 1.25-mm versus a 1.5-mm burr for severely calcified lesions that could not be crossed

by an intravascular ultrasound catheter. *Cardiovasc Interv Ther.* 2020;35(3):227–33.

158. Sakakura K, Taniguchi Y, Yamamoto K, Tsukui T, Seguchi M, Wada H, et al. Comparison of the incidence of slow flow after rotational atherectomy with IVUS-crossable versus IVUS-uncrossable calcified lesions. *Sci Rep.* 2020;10(1):11362.

159. Fujino A, Mintz GS, Matsumura 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–e9.

160. Zhang M, Matsumura M, Usui E, Noguchi M, Fujimura T, Fall KN, et al. Intravascular Ultrasound-Derived Calcium Score to Predict Stent Expansion in Severely Calcified Lesions. *Circ Cardiovasc Interv.* 2021;14(10):e010296.

161. Katagiri Y, Kitani S, Takenouchi G, Suzuki T, Hirai T, Ishikawa K, et al. Prospective investigation of calcium score in optical coherence tomography-guided revascularization to identify lesions with low risk for stent under expansion: the CORAL study. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40(1):33–44.

162. Sato T, Matsumura M, Yamamoto K, Sugizaki Y, Shlofmitz E, Moses JW, et al. A Revised Optical Coherence Tomography-Derived Calcium Score to Predict Stent Underexpansion in Severely Calcified Lesions. *JACC Cardiovasc Interv.* 2025;18(5):622–33.

163. Kobayashi N, Ito Y, Yamawaki M, Araki M, Sakai T, Sakamoto Y, et al. Optical frequency-domain imaging findings to predict good stent expansion after rotational atherectomy for severely calcified coronary lesions. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2018;34(6):867–74.

164. Kini A, Reich D, Marmur JD, Mitre CA, Sharma SK. Reduction in periprocedural enzyme elevation by abciximab after rotational atherectomy of

- type B2 lesions: Results of the Rota ReoPro randomized trial. *Am Heart J*. 2001;142(6):965–9.
165. Sakakura K, Taniguchi Y, Yamamoto K, Tsukui T, Jinnouchi H, Seguchi M, et al. Modifiable and unmodifiable factors associated with slow flow following rotational atherectomy. *PLoS One*. 2021;16(4):e0250757.
  166. Sakakura K, Jinnouchi H, Taniguchi Y, Tsukui T, Watanabe Y, Yamamoto K, et al. Study design and rationale for comparison of the incidence of slow flow following rotational atherectomy to severely calcified coronary artery lesions between short single session and long single session: The randomized ROTASOLO trial. *Cardiol J*. 2023;30(3):483–8.
  167. Sakakura K, Jinnouchi H, Taniguchi Y, Yamamoto K, Tsurumaki Y, Tsukui T, et al. Comparison of the Incidence of Slow Flow Following Rotational Atherectomy to Severely Calcified Coronary Artery Lesions between Short Single Session and Long Single Session Strategies: The Randomized ROTASOLO Trial. *Cardiovasc Interv Ther*. 2025;40:827–39.
  168. Sakakura K, Taniguchi Y, Yamamoto K, Wada H, Momomura SI, Fujita H. Halfway rotational atherectomy for calcified lesions: Comparison with conventional rotational atherectomy in a propensity-score matched analysis. *PLoS One*. 2019;14(7):e0219289.
  169. Sakakura K, Jinnouchi H, Taniguchi Y, Tsukui T, Watanabe Y, Yamamoto K, et al. Halftime rotational atherectomy: a unique concept for diffuse long severely calcified lesions. *Cardiovasc Interv Ther*. 2024;39(1):18–27.
  170. Mizuno Y, Sakakura K, Jinnouchi H, Taniguchi Y, Tsukui T, Yamamoto K, et al. Comparison of the incidence of periprocedural myocardial infarction between percutaneous coronary intervention with versus without rotational atherectomy using propensity score-matching. *Sci Rep*. 2021;11(1):11140.
  171. Emori H, Shiono Y, Kuriyama N, Honda Y, Kadooka K, Kudo T, et al. Impact of Periprocedural Myocardial Injury on Long-Term Outcomes After Percutaneous Coronary Intervention Requiring Atherectomy. *Am J Cardiol*. 2024;222:1–7.
  172. Su Q, Li L, Naing KA, Sun Y. Safety and effectiveness of nitroprusside in preventing no-reflow during percutaneous coronary intervention: a systematic review. *Cell Biochem Biophys*. 2014;68(1):201–6.
  173. Sani HD, Eshraghi A, Nezafati MH, Vojdanparast M, Shahri B, Nezafati P. Nicorandil Versus Nitroglycerin for Symptomatic Relief of Angina in Patients With Slow Coronary Flow Phenomenon: A Randomized Clinical Trial. *J Cardiovasc Pharmacol Ther*. 2015;20(4):401–6.
  174. Wei SJ, Luan FY, He DY, Xu F, Chen YG. Intracoronary administration of nicorandil-induced cardiac arrest during primary percutaneous coronary intervention: A case report. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(7):e14473.
  175. Komaki S, Moribayashi K, Matsuura Y, Tanaka H, Kaikita K. Optical coherence tomography imaging of coronary thrombosis developed after rotational atherectomy despite appropriate antithrombotic therapy. *Cardiovasc Interv Ther*. 2024;39(4):493–4.
  176. Sakamoto Y, Kawamori H, Toba T, Sasaki S, Fujii H, Hamana T, et al. Prognostic significance of angiography-derived index of microcirculatory resistance assessment after rotational atherectomy in patients with severely calcified lesions. *Heart Vessels*. 2025.
  177. Bai X, Yu X, Li Y, Zhang Z, Guo X, Xue Y, et al. Microcirculatory resistance index based on a

single angiographic view predicts long-term prognosis following rotational atherectomy in patients with acute coronary syndrome. *BMC Cardiovasc Disord.* 2025;25(1):504.

178. Zhang X, Jin Q, Li C, Yang J, He J, Zhao T, et al. Prognostic value of angiography-derived microcirculatory resistance in patients undergoing rotational atherectomy- a multi-center study. *Int J Cardiol.* 2025;434:133322.

179. Januszek R, Siudak Z, Dziewierz A, Dudek D, Bartuś S. Predictors of in-hospital effectiveness and complications of rotational atherectomy (from the ORPKI Polish National Registry 2014-2016). *Catheter Cardiovasc Interv.* 2018;92(4):E278–e87.

180. Kinnaird T, Kwok CS, Kontopantelis E, Ossei-Gerning N, Ludman P, deBelder M, et al. Incidence, Determinants, and Outcomes of Coronary Perforation During Percutaneous Coronary Intervention in the United Kingdom Between 2006 and 2013: An Analysis of 527 121 Cases From the British Cardiovascular Intervention Society Database. *Circ Cardiovasc Interv.* 2016;9(8).

181. Protty MB, Hussain HI, Gallagher S, Al-Raisi S, Aldalati O, Farooq V, et al. Rotational Atherectomy Complicated by Coronary Perforation Is Associated With Poor Outcomes: Analysis of 10,980 Cases From the British Cardiovascular Intervention Society Database. *Cardiovasc Revasc Med.* 2021;28:9–13.

182. Wang YH, Chen WJ, Chen YW, Lai CH, Su CS, Chang WC, et al. Incidence and Mechanisms of Coronary Perforations during Rotational Atherectomy in Modern Practice. *J Interv Cardiol.* 2020;2020:1894389.

183. Hussain HI, Protty MB, Gallagher S, Al-Raisi S, Aldalati O, Farooq V, et al. The impact of coronary perforation in percutaneous interventions involving the left main stem coronary artery in the

United Kingdom 2007-2014: Insights from the British Cardiovascular Intervention Society database. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2021;97(2):E179–e85.

184. Sakakura K, Taniguchi Y, Yamamoto K, Wada H, Momomura SI, Fujita H. When a Burr Can Not Penetrate the Calcified Lesion, Increasing Burr Size as Well as Decreasing Burr Size Can Be a Solution in Rotational Atherectomy. *Int Heart J.* 2017;58(2):279–82.

185. Yamamoto K, Sakakura K, Taniguchi Y, Tsurumaki Y, Wada H, Momomura SI, et al. Trapping Balloon Technique for Removal of the Burr in Rotational Atherectomy. *Int Heart J.* 2018;59(2):399–402.

186. Yamamoto S, Sakakura K, Funayama H, Wada H, Fujita H, Momomura SI. Percutaneous Coronary Artery Bypass for Type 3 Coronary Perforation. *JACC Cardiovasc Interv.* 2015;8(10):1396–8.

187. Degrauwe S, Cimci M, Mock S, Noble S, Iglesias JF. Covered Stents for the Percutaneous Management of Delayed Coronary Wall Rupture Following Subadventitial Rotational Atherectomy. *JACC Case Rep.* 2020;2(15):2434–6.

188. Hori K, Matsuno S, Kishi M, Kano H, Yajima J, Oikawa Y. Recurrent Cardiac Tamponade Following Rotablator-Associated Coronary Perforation Treated with Additional Covered Stent Implantation. *Int Heart J.* 2025;66(1):179–82.

189. Fujimoto Y, Tonoike N, Kobayashi Y. Successful delivery of polytetrafluoroethylene-covered stent using rapid exchange guide extension catheter. *Cardiovasc Interv Ther.* 2017;32(2):142–5.

190. Rodriguez-Santamarta M, Estevez-Loureiro R, Cuellas C, Benito-Gonzalez T, Perez de Prado A, Lopez-Benito M, et al. Double Guide Catheter Technique for Sealing an Iatrogenic Coronary Perforation. *Res Cardiovasc Med.* 2016;5(2):e31388.

191. Matsuura H, Mukai Y, Honda Y, Nishino S, Kang H, Kadooka K, et al. Intra- and Postprocedural Management of Coronary Artery Perforation During Percutaneous Coronary Intervention. *Circ Rep.* 2022;4(11):517–25.
192. Sakakura K, Ako J, Wada H, Naito R, Funayama H, Arao K, et al. Comparison of frequency of complications with on-label versus off-label use of rotational atherectomy. *Am J Cardiol.* 2012;110(4):498–501.
193. Kaneda H, Saito S, Hosokawa G, Tanaka S, Hiroe Y. Trapped Rotablator: kokesi phenomenon. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2000;49(1):82–4; discussion 5.
194. Morita Y, Kashima Y, Yasuda Y, Kanno D, Hachinohe D, Sugie T, et al. Burr entrapment in a percutaneous coronary intervention during rotational atherectomy: An experience with 3195 cases. *J Invasive Cardiol.* 2023;35(10).
195. Komiyama H, Abe T, Ando T, Ishikawa M, Tanaka S, Ishihara S, et al. Analyzing drilling noise in rotational atherectomy: Improving safety and effectiveness through visualization and anomaly detection using autoencoder-A preclinical study. *Health Sci Rep.* 2023;6(12):e1739.
196. Watanabe Y, Sakakura K, Fujita H. Simple bailout method for burr entrapment in rotational atherectomy. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40:705–6.
197. Leibundgut G, Achim A, Weilenmann D, Rigger J, Gocht F, Egred M, et al. Management of Lost Atherectomy Devices in the Coronary Arteries. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2025.
198. Sakakura K, Ako J, Momomura S. Successful removal of an entrapped rotablation burr by extracting drive shaft sheath followed by balloon dilatation. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011;78(4):567–70.
199. Grise MA, Yeager MJ, Teirstein PS. A case of an entrapped rotational atherectomy burr. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2002;57(1):31–3.
200. Sakakura K, Taniguchi Y, Tsukui T, Yamamoto K, Momomura SI, Fujita H. Successful Removal of an Entrapped Rotational Atherectomy Burr Using a Soft Guide Extension Catheter. *JACC Cardiovasc Interv.* 2017;10(24):e227–e9.
201. Hyogo M, Inoue N, Nakamura R, Tokura T, Matsuo A, Inoue K, et al. Usefulness of conquest guidewire for retrieval of an entrapped rotablator burr. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2004;63(4):469–72.
202. Tanaka Y, Saito S. Successful retrieval of a firmly stuck rotablator burr by using a modified STAR technique. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2016;87(4):749–56.
203. Kimura M, Shiraishi J, Kohno Y. Successful retrieval of an entrapped Rotablator burr using 5 Fr guiding catheter. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011;78(4):558–64.
204. Kanazawa T, Kadota K, Mitsudo K. Successful rescue of stuck rotablator burr entrapment using a Kiwami straight catheter. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2015;86(5):942–5.
205. Tehrani S, Achan V, Rathore S. Percutaneous Retrieval of an Entrapped Rotational Atherectomy Burr Using Novel Technique of Controlled Traction and Counter Traction. *Cardiovasc Revasc Med.* 2021;28s:132–5.
206. Gambhir DS, Batra R, Singh S, Kaul UA, Arora R. Burr entrapment resulting in perforation of right coronary artery: an unreported complication of rotational atherectomy. *Indian Heart J.* 1999;51(3):307–9.
207. Ogawa T, Sakakura K, Sumitsuji S, Hyodo M, Yamaguchi J, Hirase H, et al. Clinical expert consensus document on bailout algorithms for complications in percutaneous coronary intervention from the Japanese Association of Cardiovascular

- Intervention and Therapeutics. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40(1):1–32.
208. Hashimoto S, Takahashi A, Yamada T, Mizuguchi Y, Taniguchi N, Nakajima S, et al. Usefulness of the twin guidewire method during retrieval of the broken tip of a microcatheter entrapped in a heavily calcified coronary artery. *Cardiovasc Revasc Med.* 2018;19(8s):28–30.
  209. Lai CH, Su CS, Wang CY, Lee WL. Heavily calcified plaques in acutely angulated coronary segment: high risk features of rotablation resulting in Rotawire transection and coronary perforation. *Int J Cardiol.* 2015;182:112–4.
  210. Woodfield SL, Lopez A, Heuser RR. Fracture of coronary guidewire during rotational atherectomy with coronary perforation and tamponade. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1998;44(2):220–3.
  211. Hiraya D, Sato A, Hoshi T, Ieda M. Life-threatening perforation of the left main coronary artery by a rotablator burr delivered on a broken rotawire. *Eur Heart J.* 2020;41(27):2600.
  212. Kobayashi T, Horikoshi T, Yoshizaki T, Sato A. Successful Retrieval of Rota Burr After Driveshaft Fracture. *Case Rep Cardiol.* 2024;2024:5482922.
  213. Toba T, Hamana T, Kawamori H, Torii S, Nakazawa G, Otake H. Retrieval of entrapped Rotablator burr in coronary stent using guide extension catheter and RotaWire spring-tip. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38(4):431–3.
  214. Imamura S, Nishida K, Kawai K, Hamashige N, Kitaoka H. A rare case of Rotablator<sup>®</sup> driveshaft fracture and successful percutaneous retrieval of a trapped burr using a balloon and GuideLiner<sup>®</sup>. *Cardiovasc Interv Ther.* 2017;32(3):294–8.
  215. Endo GJ, Hayase T, Fukushima Y, Shibata Y. Emergent coronary artery bypass grafting after a broken Rotablator drive-shaft. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2010;11(5):614–6.
  216. Uehara H, Okuyama M, Oe Y, Yoshimura T, Gunji T. Successful Bail Out of Rotablator Driveshaft Fracture Due to Severe Calcified Lesion and Proximal Tortuosity. *Heart Views.* 2023;24(4):221–3.
  217. Kaneko U, Kashima Y, Sugie T, Kanno D, Fujita T. Rotablator Driveshaft Fracture Due to Significant Proximal Tortuosity and Enlargement Causing Massive Coronary Perforation. *Korean Circ J.* 2020;50(11):1048–50.
  218. Hamzaraj K, Hemetsberger R. Rotablator Burr Disconnection: Can This Rare Complication Be Predicted and How to Manage? *JACC Case Rep.* 2025;30(25):105159.
  219. Ko E, Natsuaki M, Toyofuku M, Morimoto T, Matsumura Y, Oi M, et al. Sirolimus-eluting stent implantation for ostial right coronary artery lesions: five-year outcomes from the j-Cypher registry. *Cardiovasc Interv Ther.* 2014;29(3):200–8.
  220. Taya S, Yoshida M, Ejiri K, Toda H, Nakamura K, Morita H, et al. Guide Tip Damage Due to Rotalation. *JACC Case Rep.* 2025;30(32):105347.
  221. Taniguchi Y, Sakakura K, Jinnouchi H, Tsukui T, Fujita H. Rotational atherectomy to left circumflex ostial lesions: tips and tricks. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38(4):367–74.
  222. Nakazawa G, Yazdani SK, Finn AV, Vorpahl M, Kolodgie FD, Virmani R. Pathological findings at bifurcation lesions: the impact of flow distribution on atherosclerosis and arterial healing after stent implantation. *J Am Coll Cardiol.* 2010;55(16):1679–87.
  223. Fuku Y, Kadota K, Toyofuku M, Morimoto T, Ohya M, Higami H, et al. Long-Term Outcomes of Drug-Eluting Stent Implantation After Rotational Atherectomy for Left Main Coronary Artery Bifurcation Lesions. *Am J Cardiol.*

2019;123(11):1796–805.

224. Bouisset F, Ribichini F, Bataille V, Reczuch K, Lhermusier T, Dobrzycki S, et al. Clinical Outcomes of Left Main Coronary Artery PCI With Rotational Atherectomy. *Am J Cardiol.* 2023;186:36–42.

225. Allali A, Abdel-Wahab M, Traboulsi H, Hemetsberger R, Mankerious N, Byrne R, et al. Impact of Lesion Preparation Technique on Side Branch Compromise in Calcified Coronary Bifurcations: A Subgroup Analysis of the PREPARE-CALC Trial. *J Interv Cardiol.* 2020;2020:9740938.

226. Mizuno Y, Sakakura K, Jinnouchi H, Taniguchi Y, Tsukui T, Watanabe Y, et al. Impact of rotational atherectomy on the incidence of side branch compromise in calcified bifurcation lesions undergoing elective percutaneous coronary intervention. *J Cardiol.* 2022;80(6):518–24.

227. Chen YW, Su CS, Chang WC, Liu TJ, Liang KW, Lai CH, et al. Feasibility and clinical outcomes of rotational atherectomy for heavily-calcified side branches of complex coronary bifurcation lesions in the real-world practice of the drug-eluting stent era. *J Interv Cardiol.* 2018;31(4):486–95.

228. Nishino M, Egami Y, Okamoto N, Sugino A, Kobayashi N, Abe M, et al. Predictors of Stent Underexpansion for Severely Calcified Lesions After Debulking. *Circ J.* 2025.

229. Okamura A, Ito H, Fujii K. Rotational atherectomy is useful to treat restenosis lesions due to crushing of a sirolimus-eluting stent implanted in severely calcified lesions: experimental study and initial clinical experience. *J Invasive Cardiol.* 2009;21(10):E191–6.

230. Al-Ogaili A, Brilakis ES. Stentectomy by an entrapped rotational atherectomy burr. *J Invasive Cardiol.* 2025;37(1).

231. Tabata T, Abe M, Uehara H. Impact of

stentablation with rotational atherectomy in coronary microcirculatory function. *Clin Case Rep.* 2024;12(8):e9212.

232. Whiteside HL, Nagabandi A, Kapoor D. Safety and Efficacy of Stentablation with Rotational Atherectomy for the Management of Underexpanded and Undilatable Coronary Stents. *Cardiovasc Revasc Med.* 2019;20(11):985–9.

233. Hachinohe D, Kashima Y, Hirata K, Kanno D, Kobayashi K, Kaneko U, et al. Treatment for in-stent restenosis requiring rotational atherectomy. *J Interv Cardiol.* 2018;31(6):747–54.

234. Édes IF, Ruzsa Z, Szabó G, Lux Á, Gellér L, Molnár L, et al. Rotational atherectomy of undilatable coronary stents: stentablation, a clinical perspective and recommendation. *EuroIntervention.* 2016;12(5):e632–5.

235. Yasumura K, Ueyama H, Jeffrey S, Vengrenyuk Y, Barman N, Suleman J, et al. Rotational Atherectomy for the Management of Undilatable In-Stent Restenosis with Single or Multiple Stent Layers. *Cardiovasc Revasc Med.* 2022;34:32–7.

236. Tovar Forero MN, Van Mieghem NM, Daemen J. Stent underexpansion due to heavy coronary calcification resistant to rotational atherectomy: A case for coronary lithoplasty? *Catheter Cardiovasc Interv.* 2020;96(3):598–600.

237. Matsuda K, Lee T, Ashikaga T, Nozato T, Taomoto Y, Sasano T. Intravascular Lithotripsy Treatment With In-Stent Underexpansion Followed by Angiography, Optical Coherence Tomography, and Coronary Angioscopy. *JACC Case Rep.* 2025;30(7):103381.

238. Ng L, Wong B, El-Jack S, Harrison W, Webster M, Somaratne J. A Multicenter Retrospective Analysis of the Utility of Intravascular Lithotripsy in Underexpanded Stents. *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv.* 2025;4(6):103600.

239. Jinnouchi H, Sakakura K, Taniguchi Y, Yamamoto K, Hatori M, Tsukui T, et al. Clinical Impact of In-Stent Calcification in Coronary Arteries: Optical Coherence Tomography Study. *Am J Cardiol.* 2024;214:115–24.
240. Jinnouchi H, Sakakura K, Fujita H. Deep dive into intravascular coronary imaging in calcified lesions. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40(2):234–44.
241. Sakamoto Y, Sugimoto A, Iwaya T, Minami Y. Calcified nodules in the stented segment concomitant with stent deformation at the hinge point. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40(1):184–5.
242. Kawai Y, Ando J, Warisawa T. A Case of Calcified Nodule in the Saphenous Vein Graft Successfully Treated by Guide Extension Catheter-Supported Orbital Atherectomy System. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2025.
243. Numasawa Y, Kamata K, Tamura T, Yokokura S, Kojima H, Tanaka M. Successful percutaneous coronary intervention using intravascular lithotripsy with intravascular ultrasound and optical coherence tomography guidance for a calcified saphenous vein graft. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025;40(1):177–9.
244. Funatsu A, Sato T, Koike J, Mizobuchi M, Kobayashi T, Nakamura S. Comprehensive clinical outcomes of drug-coated balloon treatment for coronary artery disease. Insights from a single-center experience. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2024;103(3):404–16.
245. Takamura TA, Nakagawa C, Masaki M, Akita S, Oda M, Wakasa M, et al. Three-Year Outcome of Drug Coated Balloon Angioplasty Following Atherectomy for Severely Calcified Coronary Lesions. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2025.
246. Iannaccone M, Barbero U, D'Ascenzo F, Latib A, Pennacchi M, Rossi ML, et al. Rotational atherectomy in very long lesions: Results for the ROTATE registry. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2016;88(6):E164–e72.
247. Tomaszewicz B, Kubler P, Zimoch W, Kosowski M, Wańha W, Ładziński S, et al. Acute Angulation and Sequential Lesion Increase the Risk of Rotational Atherectomy Failure. *Circ J.* 2021;85(6):867–76.
248. Sakakura K, Taniguchi Y, Matsumoto M, Wada H, Momomura S, Fujita H. How Should We Perform Rotational Atherectomy to an Angulated Calcified Lesion? *Int Heart J.* 2016;57(3):376–9.
249. Taniguchi Y, Sakakura K, Mukai Y, Yamamoto K, Momomura SI, Fujita H. Intentional switch between 1.5-mm and 1.25-mm burrs along with switch between rotawire floppy and extra-support for an uncrossable calcified coronary lesion. *J Cardiol Cases.* 2019;19(6):200–3.
250. Minami Y, Warisawa T, Katsura A, Tsuda T, Hagiya K, Shishido K, et al. Guide extension catheters in coronary intervention: device selection, technical insights, and clinical applications. *Cardiovasc Interv Ther.* 2025.
251. Kaneko U, Kashima Y, Kuramitsu S, Tadano Y, Sugie T, Kobayashi K, et al. The DELIVER Technique: Deep Engagement of Guide or ChILd-guIde Catheter for Burr DelIVery and Rotational Atherectomy. *JACC Case Rep.* 2025;30(5):103177.
252. Kaneko U, Kashima Y, Kuramitsu S, Tadano Y, Sugie T, Kobayashi K, et al. The DELIVER technique: A comprehensive review of deep catheter engagement for rotational atherectomy in complex coronary anatomy. *Interv Cardiol.* 2025;17,2:979–84.
253. Cho JY, Hong SJ. Successful Retrieval of Entrapped Gaia Guidewire in Calcified Chronic Total Occlusion Using Rotational Atherectomy Device. *Int Heart J.* 2018;59(3):614–7.
254. Tanaka K, Okamura A, Iwamoto M, Watanabe S, Nagai H, Sumiyoshi A, et al. Wire

Cutting Method Using Rotational Atherectomy for Stretched Spring Wire During Coronary Intervention. JACC Case Rep. 2021;3(17):1842–8.

255. Wang X, Ye J, Gao JQ, Liu ZJ. A case report of fractured guidewire removal by rotational atherectomy. J Cardiothorac Surg. 2021;16(1):342.

256. Shekiladze N, Sandesara PB, Tai Z, Maisuradze N, Jaber W, Nicholson W. Technical aspects of entrapped coronary guidewire retrieval using rotational atherectomy device: A case series. Catheter Cardiovasc Interv. 2024;103(1):89–96.