

Clinical expert consensus document on bailout algorithms for complications in percutaneous coronary intervention from the Japanese Association of Cardiovascular Intervention and Therapeutics

小川 崇之¹・坂倉 建一²・角辻 暁³・兵頭 真⁴・山口 淳一⁵・平瀬 裕章⁶
山下 武廣⁷・門田 一繁⁸・小林 欣夫⁹・上妻 謙¹⁰

- ¹ 東京慈恵会医科大学 循環器内科
- ² 自治医科大学附属さいたま医療センター 循環器内科
- ³ フリーランス, 大阪大学循環器内科 未来医療学
- ⁴ 小倉記念病院 循環器内科
- ⁵ 東京女子医科大学 循環器内科
- ⁶ 高岡みなみハートセンター
- ⁷ 札幌孝仁会記念病院
- ⁸ 倉敷中央病院 循環器内科
- ⁹ 千葉大学大学院医学研究院 循環器内科学
- ¹⁰ 帝京大学医学部内科学講座 循環器内科

抄録

冠動脈疾患に対する経皮的冠動脈インターベンション (percutaneous coronary intervention: PCI) 治療の有効性と安全性が確立され, 本邦でも年間約 25 万程度の PCI 治療が施行されている。しかし, 低侵襲である PCI においても, ある一定の確率で合併症が生じる。軽症であるものから, ときには重篤な事象に進展するものまで様々な合併症が存在する。そして, その対処法についても多くの方法や意見, 対応が存在する。正しい判断のもと, 対処法を知っているか, それを正確に実践できるかというのは, 緊急事態において, いかなる術者にも問われる問題である。特別な手技だけでなく, 普遍的で安全かつ有用な対処法を整理して, 経験の未熟な術者のみならず熟練者においても共有すべきである。そこで日本心血管インターベンション治療学会 (CVIT) の PCI 合併症におけるバイルアウトに関するタスクフォースは, 様々な合併症のバイルアウトに関して推奨すべき手技をまとめ, 専門家によるコンセンサス文書として提案する。

1. 背景

本邦では年間約 25 万程度の PCI 治療が施行されている¹。PCI は冠動脈バイパス術 (CABG) に比し, 手術侵襲度が低いことは明らかであり, 患者の負担軽減効果は大きい。さらに薬剤溶出性ステント (DES) による長期治療成績の改善効果もあり, PCI の適応も拡大した²。しかし, 低侵襲である PCI においても, ある一定の確率で合併症が生じる。合併症によっては生命の危険を脅かす重篤な問題に発展するおそれもあるため, それぞれの症例におけるリスクを予測し, 合併症を予防することが不可欠である。また早期に合併症を発見することも重要であり, 状況の早期把握と的確な判断で対処法を選択し正確に実践する能力が求められる。さらに, 適切なデバイスを常備し, その使い方や多くの手順に関する幅広い知識を備えていなければならない。しかし, いざ知識や準備ができていても, 特殊な事態であるがゆえの精神的な動揺もあり, 冷静な判断は難しいことが予想される。バイルアウト手技のみに集中するあまり全体を見誤り, さらに事態を深刻にしてしまう可能性も否定できない。また術者だけでなく, カテ室のスタッフ間でも, 進む方向性が共有できているかという点も重要であり, ここでもチーム医療が必要とされる。

これまでに合併症のアルゴリズムに関する論文はいくつかあるが, 本邦からの発信は未だない^{3,4}。今回の expert consensus document では, 各合併症に対するアルゴリズムを概説し, その方法をフローチャートとして提示した。検査・治療にかかわる術者およびスタッフの力強いサポートとなることを期待する。

2. 総論

Figure 1 に合併症対策の総論的フローチャートを提示する。まず正確に現状を確認・把握する。血行動態を評価したうえで, 有効かつ施行可能な対応策を迅速に行う。スタッフ・専門医を招集する。合併症対

応にのみとられず、血行動態や虚血の有無、脳血流確保などを確認のうえ、それぞれに必要な対策を講じなくてはならない。このため、各自が分担してその役割を担う必要がある。合併症の対応だけでなく、デバイスの準備や手配、血行動態の管理、患者に対する様々なサポート、メカニカルサポート（MCS）の準備、患者家族への説明、後方ベッドの確保など、多様な対応が必要となる。また、カテ室には各種ベイルアウト用のデバイスや機材として、各種コイル、カバードステント、対応可能なガイドエクステンションカテーテル（GEC）、マイクロカテーテル（MC）などを常にセットとして準備しておくもよい。そしてカテ業務にかかわるスタッフ全員が各デバイスの使用用途および設置場所を共有していることも重要である。多職種がかかわる事案でもあり、ときにはシミュレーションなど緊急対応の予行練習も必要となるため、明確なプロトコルを定めておくもよい。なお、状況によってはカテーテル治療に固執することなく、外科的な対応も含めて最善策を選択すべきである。ときに、軽度の合併症としてカテーテル治療で十分対応可能と判断していても、状況が一変し深刻な事案へと悪化する場合もありうる。このような状況では、外科へのコンサルトや外科手術への移行も重要となる。そのためにも常日頃から緊密な情報・意見交換ができる関係を築き、緊急時にも情報共有を迅速に行う必要がある。ただし、外科手術は手術開始までに一定の時間を要するため、その間にカテーテル治療として可能な対応を行い、最終的に最も有効な対応をハートチームとして達成することとなる。

ときに、経験豊富なスタッフは、術者よりも早く合併症に気づくことができ、それを指摘することで早期発見につながる事案も少なくない。また管理について補助的な視点を提供することもできる。これは、外科医、非侵襲的心臓専門医、臨床工学技士、放射線技師、看護師にもいえることである。時間的余裕があれば、同じような合併症を経験したことのある外部の医師や、製品に関連する企業のスタッフにも相談のうえ、対処法を確認するなど、多くの意見を参考にすることも必要である。

重篤な合併症が発生した場合は、関連する全てのスタッフに第3者もまじえ、原因や対処法についてなどを総括する検討会を行い、今後の予防につとめる必要がある。最終的に成功したか否かにかかわらず、合併症例においては可能なかぎりチームでの報

告会を行うことを推奨する。このディブリーフィングは、医師とスタッフが様々な問題について話し合う場所となる。合併症から学ぶ努力は、結果的にチームを強化し、将来の手技のパフォーマンスを向上させると考える。

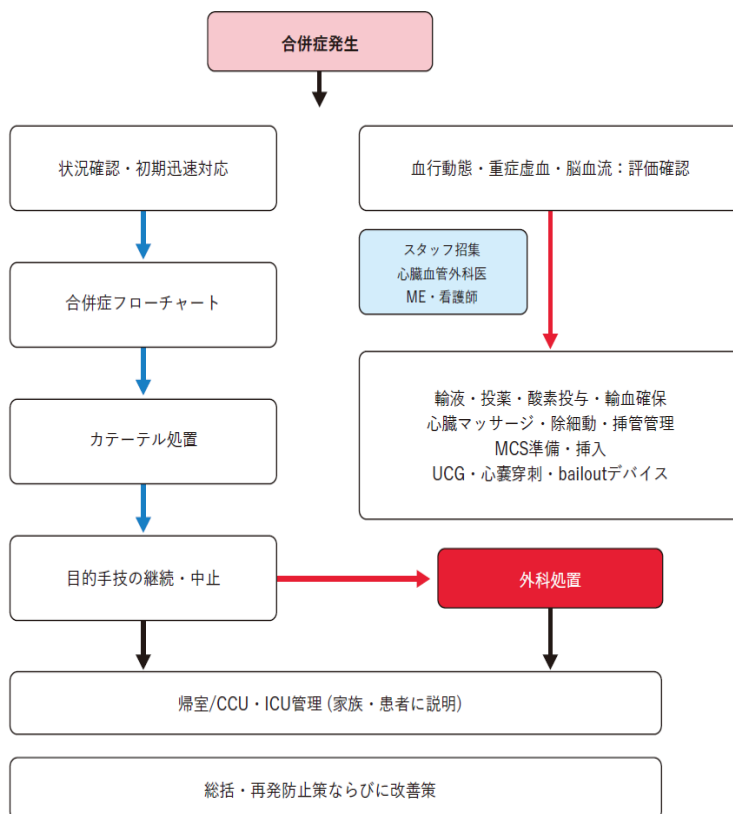


Figure 1 : PCI 合併症に対するフローチャート

→成功 (YES)

→不成功 (NO)

→進行

3. カテーテルによる重症冠動脈解離

【発生機序】

重症冠動脈解離は、冠動脈解離によって真腔の血流量が低下し、致死性の虚血が発生することである。医原性の重症冠動脈解離の機序は、診断カテーテル・ガイドワイヤ（GW）にかかわらず、カテーテル先端部で解離が形成され、その解離腔が拡大し、真腔の圧排・血流量低下が生じることである。特にカテーテル先端部で解離が形成されたあと、カテーテル先端圧がウェッジした状態での造影剤注入が解離腔のさらなる進展をきたす⁵。

真腔内にすでにガイドワイヤ（GW）が進められている状況では、一般的に真腔を拡大し血流を確保することが可能であり、冠動脈解離が形成されても致死

的な状況には至らない。しかし、真腔に GW が進められていない状況での冠動脈解離形成・解離腔拡大は、真腔血流確保が困難となり非常に危険である。真腔内に GW が進められている状況でも、高度な狭窄や石灰化などにより真腔の拡張ができない場合には重篤な状況に進展することもある。

【発生頻度】

カテーテルによる重症冠動脈解離は右冠動脈（RCA）と左冠動脈（LCA）でほぼ同じ頻度で発生すると報告されている。Eshtehardi らによると、診断カテの 0.06%、PCI の 0.1% で左主幹部（LMT）解離が生じており、その LMT 解離のうち 42.1% は解離が Major branch に、2.6% は上行大動脈まで進展したという報告がある^{5,6}。2 つの後ろ向き研究による医原性上行大動脈解離の発生率は、診断カテで 0.006～0.01%、PCI 治療で 0.098～0.12% に発生したという報告がある^{7,8}。

【対処方法】

重症冠動脈解離の対応は、「全身の循環、特に脳血流の確保」と「真腔の血流確保」の 2 要素からなる。対応フローチャートを Figure 2 に示す。循環動態が破綻する前にステントを真腔に留置し血流を確保できれば、ほとんどの場合それ以上の対応は不要となり、予後も良好である。しかし、冠動脈解離発生後、血行動態が破綻するまでの時間や真腔へのワイヤリングに要する時間の予測は困難であり、メカニカルサポートの準備・対応にも一定のマnpパワーおよび時間が必要であるため、真腔の血流確保とメカニカルサポートのどちらを優先するかの判断は容易ではない。

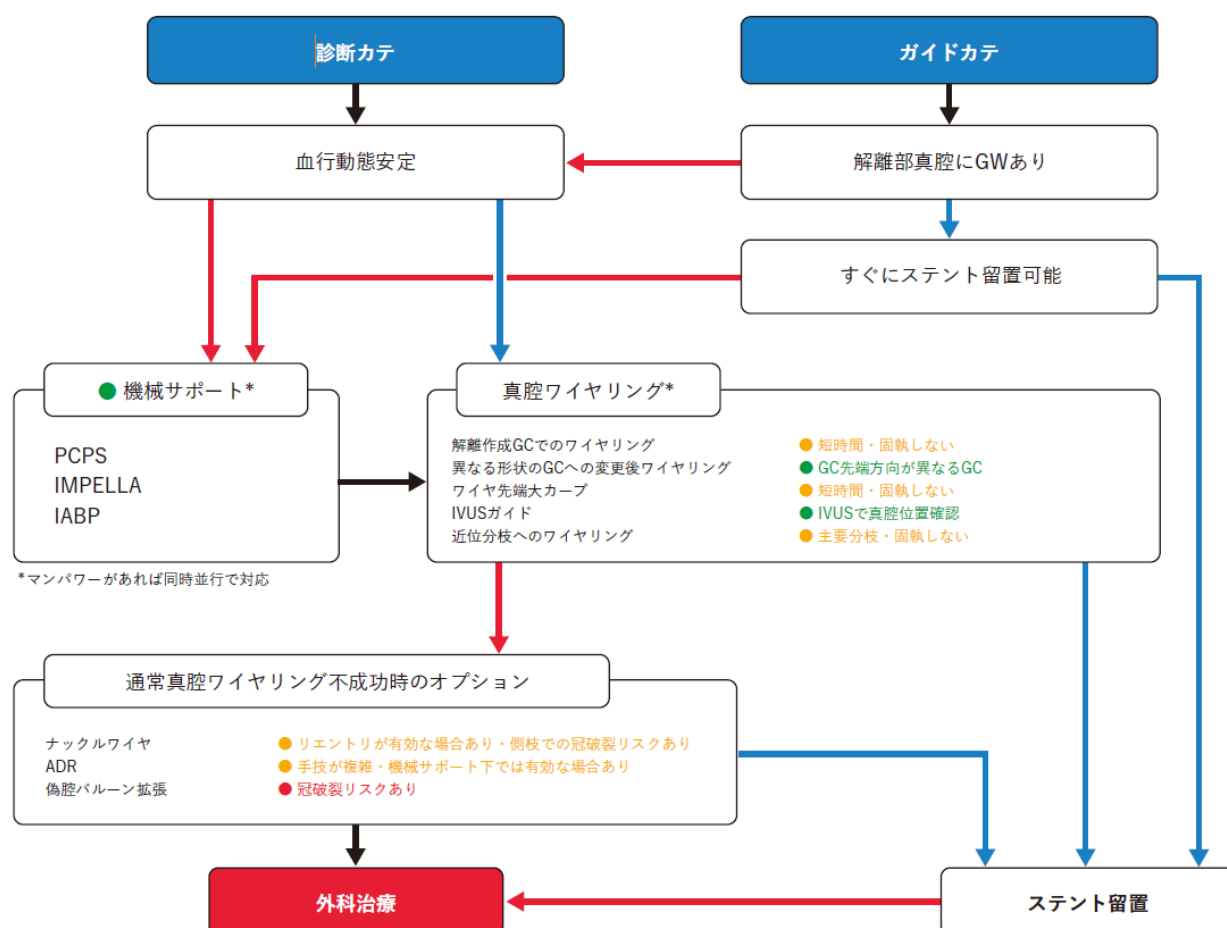


Figure 2 : カテーテルによる重症冠動脈解離に対するフローチャート

→成功 (YES) →不成功 (NO) →進行

● 推奨 ● 推奨はしないが他に方法がない、成功の報告あり ● 推奨しない

GW : guide wire, PCPS : percutaneous cardiopulmonary support

GC : guiding catheter, IABP : intra aortic balloon pumping

IVUS : intravascular ultrasound, ADR: antegrade dissection reentry

一般的には、既に GC がエンゲージされている状況では、GC 先端方向を調整し（解離が生じた状況と同じ状況でワイヤリングしても解離腔に GW が進むため）ごく短時間のワイヤリングをすることは妥当な対応と考えられる。しかし、GC の変更や、解離腔の血管内超音波（IVUS）を用いた真腔へのワイヤリング手技は、その成功や手技に必要な時間を予測することによって、行うべきか、メカニカルサポートを優先すべきかを判断しなければならない。さらに診断カテで重症冠動脈解離を作成した場合には、通常シースの交換から始まる一連の手技を行う必要があり、より時間を要することが予測できる。その場合にはメカニカルサポートを優先すべきである。メカニカルサポートの準備・対応では、システムのプライミングと並行して、穿刺部の消毒やシース挿入が行われる。もしマンパワーが充足していれば、1つのチームがメカニカルサポートの準備・対応を行いつつ、もう1つのチームが真腔確保の手技を行うことが理想的である。

メカニカルサポート下、もしくは血行動態が維持されている状況での真腔確保は下記の手順が考慮される。

GC の先端方向調整および別形状の GC 選択【推奨】

GC での解離であれば、上記の通り GC の先端方向を調整し GW を進める。GC の先端方向調整後のワイヤリングで GW が偽腔にしか進まない場合には、GC を異なる先端形状の GC に変更する。診断カテでの解離であれば、シースの入れ替え後に、診断カテの先端形状と異なる GC 形状を選択し GW を進める。解離腔が拡大している場合には、GW の先端カーブを通常より大きくするなど、先端カーブの形状を変更することで真腔の選択に成功することがある。上記の手技は真腔確保を保証するものではなく、しばしば GW は偽腔にしか進まない場合もあることは十分に理解しておく必要がある。通常、GW が真腔に進んだ場合は GW を進める際の抵抗が明らかに小さくなることで判断できるが、トラブルが生じた際の術者の心理には「うまく行ってほしい」という正常性バイアスが発生しがちであり、多少の抵抗を無視して GW を進め偽腔を拡大してしまうことがある。GW を進める際に多少でも抵抗が残っている場合は、本当に真腔内かどうか、慎重に判断する必要があり、最終的に造影剤注入ではなく、IVUS を用いて真腔かどうかを判断することが重要である。

IVUS ガイド【推奨】

偽腔にしか GW が進まない場合に真腔ワイヤリングをする最適の方法は「IVUS ガイド」である。偽腔に挿入した GW に IVUS を進め、偽腔の開始位置で残存真腔の位置を確認する。分枝方向、近位真腔および GC 内の IVUS カテーテルの位置、GW と IVUS の位置関係などの情報を用いて、透視上での残存真腔の位置と方向を決定することにより、短時間で効率のいい真腔ワイヤリングが可能である。なお、近年、光干渉断層法（OCT）ガイドの PCI も増加傾向にあるが、OCT では血球除去のためのフラッシュで偽腔拡大のおそれがあるため、使用は禁忌であり、すでに OCT が清潔台の上にでている場合でも IVUS を新たに準備すべきである。

主要側枝ワイヤリング

解離の発生位置が主要側枝に近い場合には、主要側枝へのワイヤリングも行うべき手技の1つである。ただ、解離発生部位が主要側枝の分枝部より近位にある場合や、解剖学的・病変的状况により側枝真腔へのワイヤリングが困難な場合がある。ワイヤリングで最も重要なことは、目的とする血管の真腔確保であるため、側枝ワイヤリングにいたずらに長い時間をかけるべきでない。なお、本幹の GW が IVUS で真腔にあることを確認できている場合は、側枝を取る際には Double lumen catheter を用いて操作を行うのが安全である。

造影剤注入【禁忌】

造影剤の注入は、解離腔を拡大させ真腔ワイヤリングをより困難にするため、原則的に禁忌である。IVUS を使って造影を回避するなどの努力を行い、造影剤注入は真に必要な最小限にしなくてはならない。特に GC の先端圧が Wedge の状態で造影剤注入をすると、解離の進展、上行大動脈への逆行性解離などをきたす可能性があるため、絶対的禁忌であることに注意されたい⁵。

上記の通常行われる真腔ワイヤリングが不成功のときのオプションは下記の通りである。

偽腔ナックル GW

どうしても偽腔にしか GW が進まない際には、ナックル GW を偽腔に進め、冠動脈中間部・遠位部で真腔との交通を作ることは1つのオプションである。解離腔にリエントリーが作成されると、解離腔内圧が減少し、真腔血流が増加して、血行動態・症状が改

善し、その後の手技を行う際の時間的な余裕が生まれる可能性がある。今回のタスクフォースメンバーの経験によれば、偽腔ナックル GW の経験の多くは重症冠動脈解離ではなく、慢性完全閉塞(CTO)の PCI でのナックル GW の経験ではあるが、外膜に傷害を作らずに真腔に交通をつくるという観点から、滑りの良いインターメディエイト GW が望ましいのではないかと考えられる。ただし、この方法ではリエントリーする場所をコントロールすることはできず、単に偽腔を拡大させてしまうおそれがある。さらに、ナックル GW が側枝に進入すると、大きな冠動脈破裂を作るリスクもある。偽腔ナックル GW を行う際には、本幹に進んでいること、ならびに、強く押さないことに留意されたい。

ADR: Antegrade Dissection Reentry

時間的に余裕があり、どうしても解離発生位置で真腔に GW を進めることができない場合には、IVUS もしくは専用デバイスを用いて偽腔から直接真腔へのワイヤリングを行うことで真腔ワイヤリングを行える可能性がある。ただし、手技は複雑であり、穿通力の高い GW を使うと冠穿孔を起こすリスクは避けられない。

IVUS や専用デバイスを用いない穿通 GW 【禁忌】

CTO-PCI 用の GW のように穿通力の高い GW で真腔ワイヤリングを行う方法は、上記の通り冠穿孔を発生させるリスクがあり、予想される成功率も十分高いとは言えないことが多いため、原則的には禁忌と考える。

偽腔バルーン拡張 【禁忌】

偽腔でバルーン拡張を行うことは、CTO-PCI によるサブ腔でのバルーン拡張と同様に「偽腔を拡張するが真腔へのエントリーは作れない」。いたずらに大きいバルーンを選択したり、スコアリングバルーンを使用したりすると、外膜損傷、つまり冠動脈破裂が発生するリスクがあり、基本的に禁忌と考える。

上記の「真腔ワイヤリング」が不成功、もしくは「真腔へのステント留置」が不成功であった場合には、外科治療を選択すべきである。重症冠動脈解離が発生した段階で、心臓外科チームと情報共有を開始し、患者に重篤・不可逆的なダメージを作る前に外科治療を含めた集学的治療を行う。

今回のタスクフォースメンバーのうちの 1 名は、冠動脈解離が大動脈および大動脈弁に進展した合併

症例を経験している。この件で心臓外科医と症例検討をした際に教わったのが「大動脈解離の手術で最も重要なのは解離入口部の閉鎖である」ということであった。つまり、冠動脈解離が大動脈に進展した場合には「冠動脈内で解離腔を閉鎖する必要」があり、それは外科的治療ではなく血管内治療により達成されるべきということになる。同メンバーは「解離腔をカバードステントで閉鎖して良好な経過となった例」と「カバードステントステント留置を躊躇して重篤な経過となった例」の両方を経験している。冠動脈解離が大動脈に進展した症例に対し心臓外科を含めた集学的治療を行う場合には、上記情報を含め心臓外科と協議のうえ、最高のハートチーム治療を行うことが重要である。

4. 冠動脈穿孔

【発生機序】

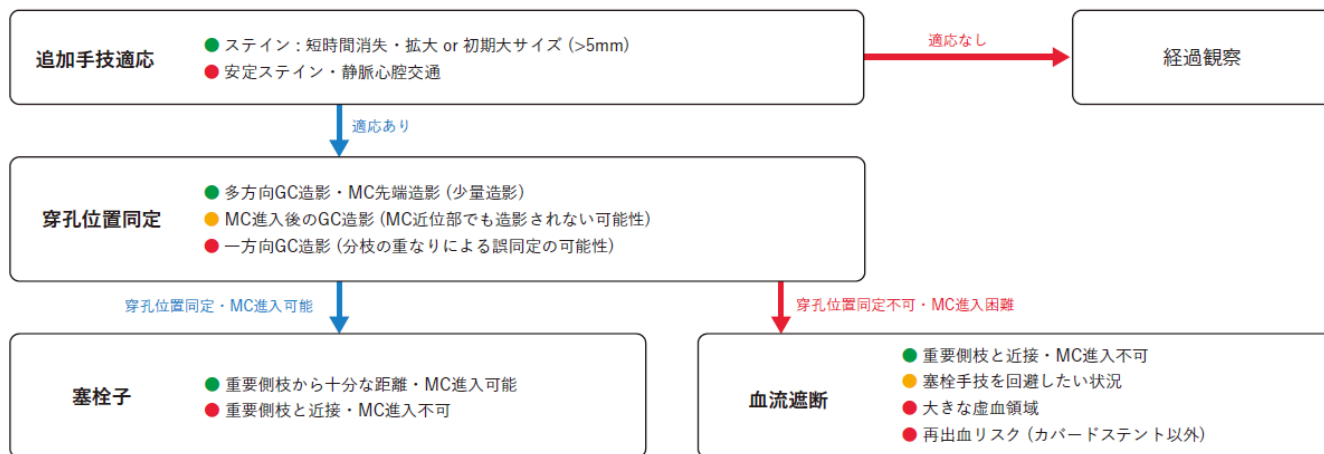
今回、冠動脈穿孔として扱う事象は、冠動脈末梢で GW が血管外に進んだために発生した GW による穿孔である。GW 先端が接触している部位で血管構造を破壊する力が GW 先端部に作用した際に、GW 穿孔が発生する。

【発生頻度】

GW 穿孔の発生頻度は 0.5～1.0% との報告があるが^{9,10}、最近では PCI 手技の内容の複雑化によって発生頻度が増加している可能性がある。

【好発状況】

GW 先端部での血管壁に対する力の大きさに影響する GW の要素として「滑り性能」と「変形耐性」がある。「滑る GW」や「変形しづらい GW」では摩擦抵抗による力の減弱が少なく、GW 先端部に大きな力が作用しやすくなる。「変形しづらい GW」には、「先端荷重が大きな GW」以外に「シャフトのサポート性が高い GW」もあり注意が必要である。GW 先端部での血管壁に作用する力は GW 先端と血管壁の角度にも関係する。より直角に近い角度で GW が血管壁に接触している場合は、より強い力が血管壁に作用するため「蛇行した冠動脈」では冠動脈穿孔に注意が必要である。



	ペールアウト方法	準備	手技	ヘパリンリバース
塞栓子	● コイル	製品準備	コイルを穿孔部近傍に留置できれば、少ない数のコイルで止血が可能 短時間・確実・再現性の高い手技が可能	不要
	● 血栓	ヘパリン化前血栓 薬剤で作成した血栓	手技中に塞栓子が見えないため手技の再現性が低い 血栓溶解による再出血の可能性が否定できない	適宜
	● 脂肪	脂肪採取	手技中に塞栓子が見えないため手技の再現性が低い	適宜
	● スポンゼル	製品準備	手技中に塞栓子が見えないため手技の再現性が低い	適宜
血流遮断	● マイクロカテーテル	日常使用製品	持続陰圧することが多い、MC位置がずれることによる出血・血栓溶解による再出血のリスクがある	適宜
	● 近位バルーン拡張	日常使用製品	通常バルーンの長時間拡張では末梢領域の虚血のリスクがあり 一度止血した後に血栓溶解による再出血のリスクが有る	適宜
	● Covered Stent	製品準備	その他のオプションが不可もしくは不成功時にカバードステントで出血血管の血流遮断をする 心筋虚血リスク、慢性期の再狭窄・再開塞リスクがある	不要
	● Standard Stent	日常使用製品	効果が不確実、追加手技の難易度が増加する可能性あり	適宜

Figure 3a：冠動脈穿孔に対するフローチャート

MC: micro catheter



Figure 3b：カール型コイル使用時に推奨されるコイル留置手技

【対処方法】

対応フローチャートを Figure 3a に示す。

早期発見

最初に重要なのは「早期発見」である。GW 穿孔は冠動脈破裂と異なり、GW 穿孔発生から血行動態の悪化に至るまでに時間の余裕がある。したがって、GW 穿孔後早期に GW 穿孔を発見すれば、重篤な合併症である心タンポナーデを発生させることなく対応することが可能である。これは、GW 穿孔による血液漏出は、ある一定量まで血管周囲組織に局限するためと推定される。早期発見が遅れやすい状況として「GW の先端位置を確認していない場合」や「GW を進める際の抵抗に対する評価が不十分な場合」などが挙げられる。手技中には GW の先端位置について注意し、GW を進める際の抵抗感の評価や GW の先端形状の評価を行うことで「もしかして穿孔したのでは」と気づき、GC もしくは MC からの造影で GW 穿孔の早期発見が可能となる。

孔部位の同定

GW 穿孔の確認方法として「GC からの造影」と「MC からの造影」がある。GC からの造影で GW 穿孔を確認する際には「冠動脈末梢部の観察」と「静脈相が終わるまでの長い造影」が重要である。モニターに写っていない部位でトラブルが発生している可能性や、静脈内の造影剤で GW 穿孔による血腫がマスクされてしまう可能性に留意する。この注意深い観察は、GW 穿孔を起こしていないと思われる通常の手技終了時の造影でも行われるべきである。最終造影では「十分な造影剤の使用」「末梢部までの観察」「静脈相終了までの長い撮影」を行い、GW 穿孔を見逃さないようにする。

MC を用いた穿孔部位同定では、穿孔を疑う部位の近傍まで MC を進めて先端造影をすることで、GW 穿孔の有無とともに GW 穿孔部位を特定することができる。MC からの先端造影をする際には、空気塞栓を避けるために造影剤を滴下しつつ GW を抜去し、血腫を増大させないように低圧かつ少量の造影剤を注入する。

心タンポナーデリスク評価

GW 穿孔は発見された時点で、その多くは「限局した血腫」である。この血腫は冠動脈周囲組織（線維芽細胞と脂肪細胞）の中に存在し、この時点では心嚢腔とは交通していないと考えられる。この段階で判断すべきことは「心タンポナーデ発生リスク」である。

GW 穿孔で発生した血腫が心嚢腔と交通する主な機序は、血腫内圧による心嚢腔への穿破である。穿破の前は血腫が増大するため、「血腫増大」が認められない血腫は心タンポナーデの発生リスクは小さいと判断できる。「血腫増大」の判断は容易ではないが、「血腫増大なし」の場合は血腫内に貯留した造影剤がそのままの形状・大きさを保っていることで判断が可能である。経時変化として数分間程度血腫のサイズや形状に変化が認められなければ、心タンポナーデのリスクは低いと判断し、経過観察とすることが妥当である。

逆に血腫が経時的に増大する場合は、心タンポナーデの発生リスクが大きいと考えるべきである。最初に血腫を確認した際に血腫サイズが大きい（5mm 以上の）場合も、血腫が増大しやすい状況の可能性がある。注意深い観察・評価が必要である。まれではあるが、GW 穿孔時にすでに心嚢腔と交通している場合もある。このような状況下では、心タンポナーデ発生リスクが高いため、何らかの対応を直ちに行う必要がある。

心嚢腔内に血液が貯留する通常的心タンポナーデ以外にも、心筋内に血腫が拡がり心タンポナーデ状態になることがある（ドライタンポナーデと称される状況）。この血腫が心筋内に限局している場合でも上記の「血腫の経時的拡大・血腫の初期サイズ」による評価で血行動態悪化の予測が可能である。

塞栓と血流遮断

心タンポナーデ発生のリスクがある場合の対応は大きく分けると 2 種類ある。1 つは塞栓子を用いて血腫への流入血流を阻害し血腫内圧を減圧する方法、もう 1 つは MC・バルーン(BC)・カバードステントを用いて血腫への流入血流を遮断する方法である。塞栓術を行う際には穿孔部位を正しく特定する必要がある。GC からの造影による末梢血管穿孔部の正しい同定は難しいため、MC による先端造影が必要である。MC を進めて GC からの造影を行い造影剤のリークが認められないことで穿孔部位を同定する方法もあるが、この方法では MC 先端位置が穿孔部から離れていても、MC による血流が遮断される場合があり推奨されない。MC の先端造影でも造影剤が多いと逆流した造影剤で穿孔が確認されてしまい、穿孔部位の特定ができない場合がある。先端造影では「ごく少量」「低圧」の造影を行う。

塞栓子として「コイル・血栓・脂肪・スポンゼル」

が広く用いられてきたが、最近ではコイルが多く使用されている。いずれにしても穿孔部から離れた部位で塞栓を行うと、血管内腔が広い「より大量」の塞栓子が必要となり、塞栓による虚血領域が広がる。したがって、穿孔部位のごく近傍に塞栓子を留置することが重要である。さらに、コイルでは血流阻害効果の高いカール形状のコイルがより有効である。GW 穿孔部位は屈曲性の高い冠動脈末梢であるため、カール形状により血管が変形し血腫内圧の減少が得られやすい。さらに、カール型コイルは「血管構造内では直線形状・血管構造外ではカール形状」となるため、血管内に留置されたかどうかの判断や、直線部とカール部の移行部の位置から穿孔部位の確認が可能というメリットを持つ。カール型コイル使用時に推奨されるコイル留置手技を Figure 3b に示す。

正しい穿孔部位の特定が困難、もしくは何らかの理由で塞栓子を使えない状況では、MC・バルーン・カバードステントによる血流遮断がオプションとなる。MC 使用時は陰圧をかけることで末梢血管内腔を虚脱させ、効果的な血流遮断が可能である。MC・バルーンでの血流遮断では穿孔部位に血栓を作ることで心タンポナーデを回避するため、血栓を作るには十分な時間が必要となる。穿孔している枝を Jail させるようにカバードステントを用いれば確実な血流遮断が可能であるが、虚血領域の拡大や、慢性期の再狭窄・再閉塞リスクを伴う。通常のス TENT 留置は、血流遮断が不確実であること、そして血流遮断不成功時の対応が難しくなることから推奨されない。

ヘパリンリバーサ

主に血栓化を期待する対応方法ではヘパリンリバーサが必要となる。つまり、MC・バルーンでの対応ではヘパリンをヘパリンリバーサすることを考える。コイル・カバードステントを用いた対応では基本的にヘパリンリバーサは不要である。その他の対応方法では状況に応じて必要時にヘパリンリバーサを行う。

対応後評価

血腫はあるが心嚢腔との交通がない場合には、極少量の MC 先端造影で血腫が増大しないことを確認する。血腫が造影されてもその大きさが経時的に変化しない場合には、血腫内圧が周囲組織の抵抗以下にコントロールされているため、それ以上の対応は不要である。血腫内の造影剤が造影直後に薄くなる・広がる場合は、造影剤を含まない血流の流入があるた

め、経時的に血腫が増大する可能性があり、追加対応を考慮する。

すでに心嚢腔との交通が形成されている場合には、心嚢腔への出血流の途絶が必要である。

血腫に血液が流入するルートが複数存在する場合もある。元々側副血行路で交通がある場合に加え、血腫が大きくなることで近傍の血管と交通ができる場合がある。発見が遅れた場合、もしくは血腫内圧の減少が不十分で血腫が大きくなってしまった場合には、GW を進めていない冠動脈に対して造影を行い、血腫への血流を確認し、必要に応じて対応を行う。

【まとめ】

GW 穿孔が発生した際には、まず心タンポナーデリスク評価を行う。心タンポナーデリスクが大きい場合には、コイル塞栓などの対応および対応後の詳細な評価を行うことにより心タンポナーデを回避する。心タンポナーデリスクを減らすための早期発見・早期対応も重要である。

5. 冠動脈破裂

【発生機序】

冠動脈破裂はガイドワイヤ（GW）による冠動脈穿孔とは異なり、冠動脈外膜および血管周囲組織の重大な損傷によって発生する。その原因は主として「バルーンおよびステント拡張による冠動脈外膜および血管周囲組織の過伸展」もしくは「回転式アテレクトミー（RA）・Orbital Atherectomy（OAS）・方向性冠動脈粥腫切除術（DCA）などの Atherectomy デバイスによる冠動脈外膜・血管周囲組織の損傷」である。CTO-PCI においては、GW が血管外に進んだことを認識せず、MC・バルーン・IVUS などを進めてしまったときにも冠動脈外膜や血管周囲組織に大きな損傷が発生し冠動脈破裂となる。冠動脈破裂では血管周囲組織の損傷が大きく心嚢腔と交通ができる場合と、血管周囲組織の損傷が部分的で心嚢腔との交通がない場合があり、前者が Ellis 分類の Type 3 Blow Out 型冠動脈破裂、後者は Ellis 分類では Type 2 となる¹¹。後者の場合でも、血管周囲組織内の血腫内圧が周囲の組織抵抗より高い状況が続けば、血腫が増大し、最終的に心嚢腔に穿破して心タンポナーデになる場合がある。さらに心タンポナーデに至らない場合でも冠動脈外膜欠損部位があるため仮性動脈瘤になる場合があり、慎重な経過観察が必要である。

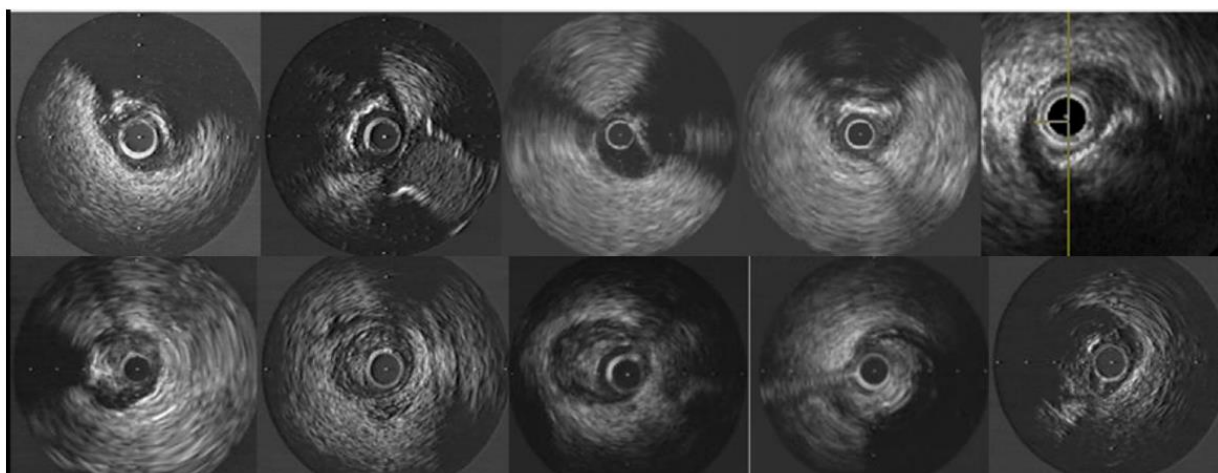


Figure 4 : 冠動脈破裂ハイリスク病変の IVUS 画像

冠動脈破裂病変の IVUS 像を示す（上は石灰化病変，下は線維化病変）

すべての病変は高度偏心性病変であり，対側にはブラックは認めない

【発生頻度・好発状況】

発生頻度については 0.2～0.5%との報告が多く^{9, 10, 12}，網羅的なデータは存在しないが発生頻度はきわめて低い．バルーン拡張やステント拡張による冠動脈破裂は外膜が過伸展する状況で発生しやすい．具体的には Figure 4 のような偏心性病変が冠動脈破裂の好発状況である．Atherectomy デバイスでは，屈曲部・石灰化部・血管径に差がある部位で冠動脈破裂が発生しやすい．

【IVUS 画像による発生予測・発生確認】

上記の冠動脈破裂機序の中で「バルーン拡張およびステント拡張による冠動脈外膜の過伸展」は IVUS 画像で発生予測が可能であり，「血管外ワイヤリング」は IVUS 画像でその発生を確認できる．冠動脈外膜の伸展性についてはブタ冠動脈外膜を用いた実験において高度の伸展性（150 mmHg で 1.8 倍長）があることが報告されている¹³．通常は対象血管径の 1.8 倍の大きさのバルーンやステントを使用しないため，冠動脈外膜が全体的に伸展される状況では冠動脈破裂の発生するリスクは低い．しかし，偏心性病変で冠動脈外膜の一部分のみが伸展される場合には冠動脈外膜の過伸展による冠動脈破裂が発生しうる．つまり，バルーン拡張やステント拡張前の IVUS で冠動脈外膜の過伸展リスクを評価・判断することにより，冠動脈破裂の予測が可能である．

血管外に GW および MC を進めてしまった状況での IVUS 画像を Figure 5A に示す．その特徴は，3 層構造が認められないこと，ならびに，血管外血腫が認められることである．この状況では，すでに冠動脈外膜

には IVUS 外径もしくはそれ以上の損傷が発生した冠動脈破裂の状態であり，IVUS カテーテルを抜去すると血管外への血液漏出が発生し，心タンポナーデを起こしうる危険な状況である．血管外に進んだ IVUS 画像を見る機会は少ないため，Figure 5A の画像をしっかりと認識し，このような画像が得られたときには適切な対応をしていただきたい．IVUS 画像での血管外血腫のイメージ(Figure 5B)も重要である．血管外血腫の存在は，すでに冠動脈外膜に損傷が発生していることを示す重要な画像である．血管損傷が疑われる場合には，血管外血腫についても注意して IVUS を観察していただきたい．

血管外ワイヤリングの IVUS 像

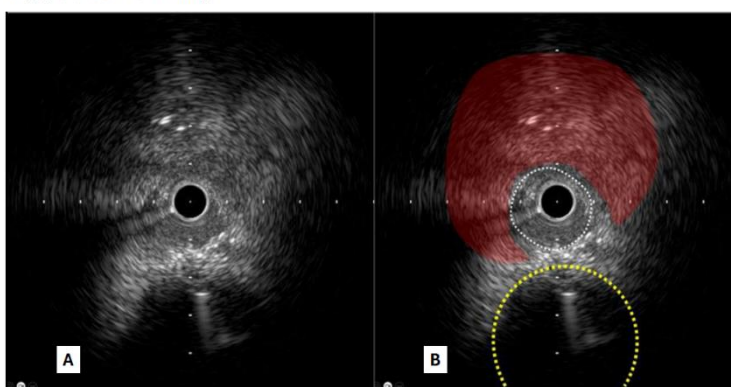


Figure 5 : 血管外ワイヤリングの IVUS 像

(A) 血管外ワイヤリングの IVUS 像

(B) 右の白い点線部分は血管の外側にできた空間であり，赤で示した部分は正常血管周囲組織と比較して明らかに低エコーであり，血管外血腫を強く示唆する．黄色の点線部分が元の冠動脈

【対処方法：Blow Out 型冠動脈破裂】

ここからは Blow Out 型冠動脈破裂の対応について述べる。フローチャートを Figure 6a に示す。

初期対応

初期対応として「人員確保」「外科チーム連絡」「出血コントロール」に加えて「脳血流確保」が重要である。周知のことだが、脳は心臓に比し虚血耐性が低い。心拍出量が乏しく脳血流が不足している状況では「心臓マッサージ」から「メカニカルサポート」の対応を最大限に優先して行う必要がある。

冠動脈破裂部位同定

脳血流の確保後、冠動脈破裂部位の同定について評価を行う。冠動脈破裂の際には心嚢腔に交通するルート以外に血管周囲組織にも造影剤が流出するため、しばしば冠動脈破裂位置の同定が困難である。そのような場合には、止血に使用しているバルーンやパーフュージョンバルーンの場所を少しずつ移動させて造影を行うなどの方法で冠動脈破裂部位を同定する。その際、可能であればダブルガイドカテーテルシステムとすれば止血をコントロールしながら冠動脈破裂部位の同定が可能となる。

止血手技

冠動脈破裂部位が同定され、最初に使っていた GC を用いて止血バルーンと同時にカバードステントを確実に病変に進めることが可能であれば、最初に使っていた GC を用いて、冠動脈内での止血バルーンからカバードステントへの交換を行うことにより、心タンポナーデを回避した止血手技が可能である。止血バルーンとカバードステントの同時挿入が困難でも、止血バルーンとパーフュージョンバルーンの同時挿入が可能であれば、冠動脈内で止血バルーンからパーフュージョンバルーンに交換することで、心タンポナーデを回避しつつダブルガイドカテーテルシステムを構築することが可能であり、ダブルガイドカテーテルシステムが構築できれば心タンポナーデを回避しつつカバードステント留置が可能である¹⁴。止血システムと、パーフュージョンバルーンもしくはカバードステントの同時挿入可能性について簡易テストの結果を Table 1 に示す。この結果は GC 内でのデバイス同時挿入性を、大きめだが限定したサイズで、ドライの環境にて確認したものである。デバイスのサイズ、GC の状況、冠動脈病変の状況は考慮されていないため、あくまで「参考資料」として取り扱う必要がある。

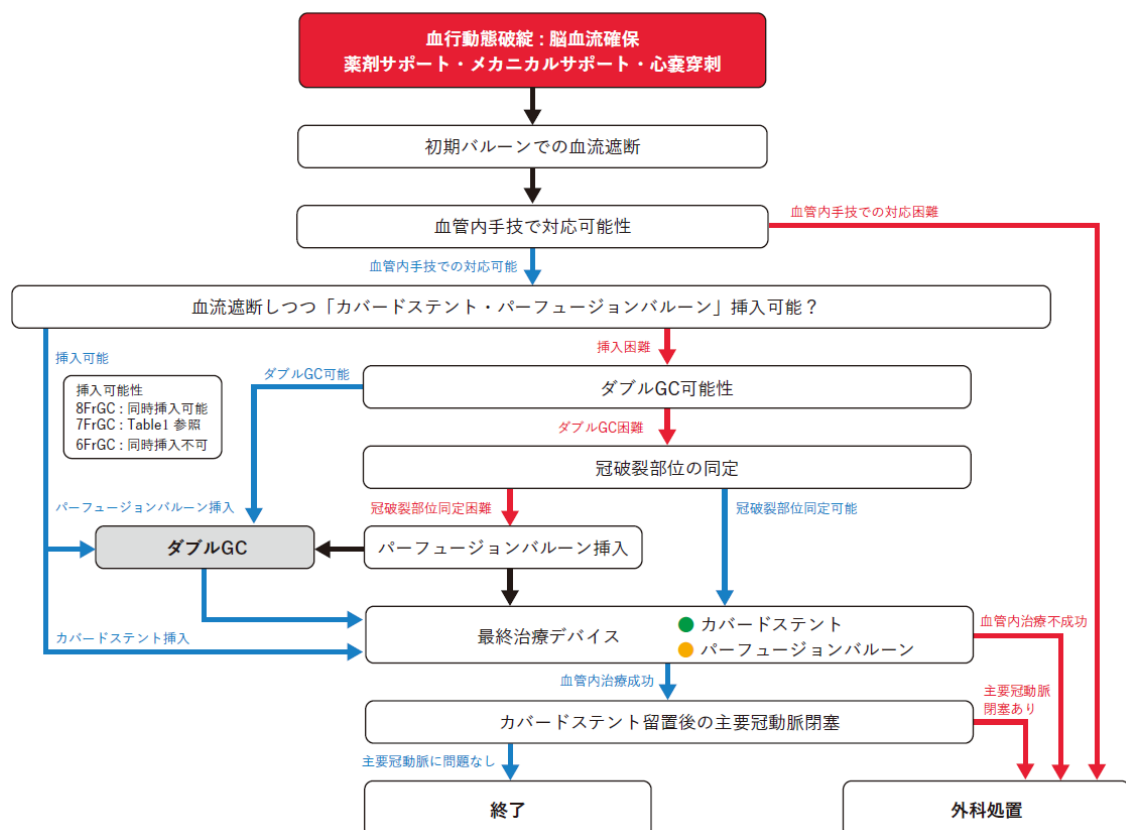


Figure 6a：冠動脈破裂に対するフローチャート

穿刺部・シース選択

- ソケイ部・7Fr以上：血管径大・不随対応容易・メカニカルサポートへの移行性
- その他の容易な穿刺部・7Fr以上：上腕穿刺は不随時のシステム抜去リスクあり
- 穿刺困難部・6Fr以下：長時間穿刺による虚血・不随増強、6Fr以下では使用デバイス・システムに制限あり

GC・GEC選択

- ある程度以上のバックアップがありエンゲージが比較的容易なGCを選択
- カバードステント・パーフュージョンバルーン挿入のため、7FrGC以上を推奨
- デバイス挿入・デバイス変形防止のためのGEC使用を考慮する
- エンゲージ困難なGC：手技時間の延長は虚血・不随などの問題
- 不安定・バックアップの悪いGC：カバードステント・パーフュージョンバルーン挿入困難のリスク

2nd システム構築

- ダメージの少ない先端がソフトなGWとMCを使う
- 血流遮断バルーン近傍までMCとGWを進める
- 血流遮断バルーンを短時間デフレーションしてGWを冠動脈末梢まで進める
- GW操作困難時：血流遮断バルーンを近位に移動＋MCの横で拡張＝血流遮断しつつ時間をかけたGW操作が可能
- GWの通過後、血流遮断バルーンを破裂部で拡張＝血流遮断に加え 2ndシステムのGWをアンカートラップする
- MCを抜去し、カバードステントもしくはパーフュージョンバルーンを進める
- 血流遮断バルーンを抜去しカバードステント留置もしくはパーフュージョンバルーン拡張を行う
- 2ndシステムGWが冠動脈末梢に通過しているため、最初のGWは血流遮断バルーンとともに抜去しても問題ない
- MC非使用で、2ndシステムGWを操作し血流遮断中止時間が長くなる
- ワイヤ手技・バルーン手技に集中して、血行動態のチェックをおろそかにする

心嚢穿刺後注意：冠動脈破裂・穿孔部対応が完了したにも関わらず心嚢ドレーンからの出血が持続する場合

- 再アンギオ時に、例えば当初の手技に関係なくとも「RCA造影」を行う
- 心嚢穿刺針による、心臓前面にある右室灌流の冠動脈分枝（円錐枝・右室枝・鋭縁枝）の損傷・出血が報告されている

Figure 6b：ダブルガイドカテーテル手技・手順＋心嚢穿刺後注意点

DES留置後に冠破裂発生、通常バルーンやDESシステムで一次止血をしている状況下「パーフュージョンバルーン・カバードステントの同時挿入システム」テスト結果

結果・6Fr GC：	通常のバルーン・耐厚バルーンで一次止血していても「パーフュージョンバルーン・カバードステントの同時挿入不可」
	止血システムのDESのプロファイルに大きな違いがあるため、同時挿入可能な状況は大きく異なる。
結果・7Fr GC：	DESシステムとして、Coroflex・Resolute Onyx・Ultimaster Nagomiは、パーフュージョンバルーン・カバードステント同時挿入のチャンスがある
	Synergy XD・Orsiro Missionでは同時挿入は難しい可能性があり、Xience Skypointでは同時挿入を試みるべきではない
結果・8Fr GC：	どのDESシステムもしくはパーフュージョンバルーンでの一次止血システムと同時に「いずれのパーフュージョンバルーン・カバードステントも同時挿入可能」
◆注意◆	この結果は「ドライ環境での簡易テスト」「GC内の通過性のみ評価」のため、あくまで参考にとどめること。
◆注意◆	冠動脈内の状況によっては、テスト結果と異なり同時通過できない状況がありうる。
◆注意◆	PKPapyrusではステント脱落の報告がある。GC内・冠動脈内に関わらずシステムを進めている時の抵抗感など、十分注意した手技が必要である。
◆注意◆	今回のテストでは、最も大きいバルーン径のDESを使っている。小さいサイズのDESのプロファイルが小さく同時挿入が可能な場合はありうる。

GC	止血システム	同時挿入デバイス					
		Ryusei 4.0x20	GM 3.5x16	GM 2.8x16	PKP 3.5x15	PKP 3.0x15	PKP 2.5x20
6Fr 0.071"	Kamui 2.4Fr	×	×	×	×	×	×
	NCKamui 2.6Fr	×	×	×	×	×	×
7Fr 0.081"	Coroflex 4.0x38	△	○	○	○	○	○
	Resolute Onyx 4.0x18	△	△	-----	△	○	○
	Ultimaster Nagomi 4.0x21	△	△	-----	△	○	○
	Synergy XD 4.0x16	△	×	-----	×	○	○
	Orsiro Mission 3.5x22	×	△	△	×	△	○
	Xience Skypoint 4.0x18	×	×	×	×	×	△
	Kamui 2.4Fr	△	×	△	×	-----	○
	NCKamui 2.6Fr	△	△	△	×	-----	○
	Ryusei 4.0x20	-----	×	×	×	×	×
8Fr 0.090"	Orsiro Mission 3.5x22	○	○	○	○	○	○
	Ryusei 4.0x20	-----	○	○	○	○	○
	Xience Skypoint 4.0x18	○	○	○	○	○	○
	Other DES	Xience Skypoint 4.0x18, Orsiro Mission 3.5x22 が通過したので「通過確定」でテストせず					

Table 1：パーフュージョンバルーン・カバードステント同時挿入システムテスト結果

GC への止血バルーンと、パーフュージョンバルーンもしくはカバードステントの同時挿入においては、止血バルーンの GW がパーフュージョンバルーンもしくはカバードステントの進入を妨げる場合がある。パーフュージョンバルーンやカバードステントを進めるための GW が冠動脈末梢真腔に確実に挿入されている場合には、止血バルーンの GW の抜去が有効となりうる。

CTO-PCI など、止血バルーンの持続拡張による虚血が問題にならない場合には、止血手技を継続しつつダブルガイドカテーテルシステムを構築することが有効である。ダブルガイドカテーテルシステム構築後もしくは最初のシングル GC システムで止血バルーンとパーフュージョンバルーンもしくはカバードステントの同時挿入が可能な場合、冠動脈内で止血バルーンからパーフュージョンバルーンやカバードステントへの交換を行う。その際、心タンポナーデを回避するためには、可能な限り短時間の止血解除が必要となる。止血バルーンを拡張しながら、パーフュージョンバルーンもしくはカバードステント用のワイヤを止血部近傍まで進め、ごく短時間の止血解除の間に冠動脈破裂部を通過させ、冠動脈末梢の真腔にワイヤを進める。出血をコントロールしながらワイヤ通過を行うために MC のサポートが有効な場合がある。さらに冠動脈破裂部のワイヤ通過が困難な際には、MC を冠動脈破裂部のすぐ近位まで進め、止血バルーンを MC の外側で拡張することにより止血を継続しつつワイヤ操作を行う方法が有効である (Figure 6b)。

止血デバイスとパーフュージョンバルーンもしくはカバードステントの同時挿入ができないシステムでダブルガイドカテーテルシステムに移行できない場合には、止血バルーンを抜去しカバードステント（冠動脈破裂部位同定が確実）もしくはパーフュージョンバルーン（冠動脈破裂部位同定が不確実）に交換するが、いずれの場合でもデバイス交換にはある程度の時間が必要であり、いくら急いでも多量の出血を伴うため心タンポナーデのリスクがある。このような状況では、止血バルーン抜去前に昇圧剤や心嚢穿刺などの準備を行う。

カバードステント

冠動脈破裂は冠動脈外膜が破綻した状態であるため、バルーンやパーフュージョンバルーンで一時的に止血されても、その止血は血管周囲組織内の血栓

による止血であり、血栓溶解による再出血の可能性が避けられないことに留意する。血栓溶解が原因と考えられる遅発性タンポナーデの報告もある^{15 16}。このため、冠動脈破裂後の対応として、バルーンやパーフュージョンバルーンによる止血が得られてもカバードステントを留置することが勧められる。カバードステントの留置に関しては、通過性やステント脱落リスク、カバー層の損傷リスクについて通常のステント留置と異なる注意が必要である。通過性については、特にステントストラットが 2 層となっているカバードステント (Graftmaster : Abott medical 社製) 使用の際に問題となることがある。ステント脱落リスクやカバー層の損傷リスクについては、ステントストラットが 1 層のカバードステント (PK Papyrus : Biotronik 社製) で注意が必要である。通過性や脱落リスク、損傷リスクに対しては GEC の使用が有効な対応方法であるが¹⁷、カバードステントは通常ステントに比べプロファイルが大きいいため、各カバードステントに対応可能な GEC を知っておかなければならない。止血バルーンと GEC の同時挿入は、今回確認した範囲では「8Fr GC (0.090 インチ) と GuidePlus 5Fr (ニプロ社製)」でのみ挿入可能であったが、GuidePlus 5Fr は内腔が小さく現存のカバードステントの通過は困難であるため、シングルガイドカテーテルの状況で止血バルーンとガイドエクステンションカテーテルサポートでのカバードステント留置は現実的な方法とはいえない。

ヘパリンリバーズ

カバードステント留置を行う際には、基本的に「ヘパリンリバーズは行わない」。これは、ヘパリンリバーズによる「血栓形成・冠閉塞」がより重篤な状況を発生するためである。何らかの理由でヘパリンリバーズを行う際には ACT を 150~200 程度にコントロールし、冠動脈内・カテーテル内の血栓形成を防ぐための定期的なフラッシュが必要となる。

外科対応

冠動脈破裂部位が特定でき、大きな冠動脈閉塞などの虚血問題を発生させずカバードステント留置ができた場合には、外科対応は不要である。逆に、冠動脈破裂部位が特定できない場合や、バルーンやパーフュージョンバルーン、カバードステントで出血をコントロールできない状況、あるいはカバードステント留置で大きな虚血問題が発生するという状況では外科的治療が必要となる。そのような場合は、緊急

状況下で時間が限られていたとしても「外科チームとの情報共有」は非常に重要である。重篤な状況であればこそ「外科治療と血管内治療のすべてのオプションを用いた集学的治療」が必須といえる。

【対処方法：非 Blow Out 型冠動脈破裂】

冠動脈破裂でも Blow Out 型でない場合は血行動態が保たれ、時間的余裕があることが多い。ただし、非 Blow Out 型冠動脈破裂も経時的に Blow Out 型冠動脈破裂に移行する場合があります。可及的かつ速やかにカバードステント留置やパーフュージョンバルーン拡張（虚血がなければ通常バルーン拡張も可）を行う必要がある。さらに、非 Blow Out 型であっても冠動脈破裂は冠動脈外膜が破綻していることを認識する必要がある。パーフュージョンバルーンなどによって止血が得られても、血栓溶解による遅発性再出血のリスクがあり、状況によってはカバードステント留置を考慮すべきである。

【対処方法：CTO-PCI におけるワイヤ手技での冠動脈破裂】

CTO-PCI におけるワイヤ手技での冠動脈破裂では、まずはプラークシーリングを試みる。アンテグレードまたはレトログレードのいずれかの方法で、冠動脈破裂部位と異なるプラーク内、もしくは冠動脈破裂部位とは反対側のサブインティマにワイヤを進め、バルーン拡張もしくはステント留置することでプラークによる冠動脈破裂部のシーリングが可能である。この際、シーリングするプラークに解離を形成して内腔と冠動脈破裂部位に交通ができると止血困難となるため、小さめのバルーンやステントを低圧から徐々に拡張する。冠動脈破裂部位を含めたサブインティマのルートでワイヤが通過し、バルーン拡張やステント留置を行った際には、プラークシーリングができずに出血が持続する場合がある。この状況ではパーフュージョンバルーンでの長時間拡張による血栓止血もしくはカバードステント留置が選択肢となる。プラークシーリングもワイヤ通過もできない場合にはサブインティマ腔にコイルを留置することで出血をコントロールできる可能性がある。この状況は、冠穿孔に対するコイル手技とは異なり、ある程度大きな内腔に対するコイル手技であり「より長いコイル」「より多くのコイル」が必要となることが多い。

【心嚢穿刺後の持続性出血】

まれな事象であるが、冠動脈破裂部に対し適切な対

応を行い止血が確認されたにもかかわらず、心嚢穿刺ドレナージからの出血が持続する場合がある。その際は「RCA 造影」を行うべきである。心嚢穿刺の針が心臓表面にある RCA 領域の血管を損傷している場合があることがその理由である (Figure 6b)。

【まとめ】

冠動脈破裂の際に重要なのは、いかに患者の生命・高次脳機能を保つかである。そのためには、まず「脳血流を維持」し、その状況下において血管内治療医と心臓外科医が患者にとっての治療を行うことが重要である。

6. GW スタック・断裂

【発生機序】

GW は、PCI において必要不可欠のデバイスであり、病変に応じた種々のタイプの GW が使用可能である。各種デバイスや PCI 技術の進歩に伴い、CTO-PCI や、高度石灰化・高度屈曲病変、分岐部病変などの複雑な病変に対して PCI が施行される機会が増えている。これに伴いデバイスのスタックなどの合併症が増加している。なかでも GW のスタックは、CTO、ステント内再狭窄 (ISR)、分岐部病変、Stent jail など¹⁸で生じ、体内に遺残すると非常に血栓形成性が高いことが知られている。

【発生頻度】

PCI 全体では 0.1~0.2%¹⁹、CTO-PCI では 0.5%程度²⁰と報告されており、その頻度は決して高くはないが、いったん生じると生命にかかわる事態を引き起こす可能性のある合併症である。

【GW のスタック・断裂の原因】

GW のスタック・断裂の原因としては、CTO、石灰化病変、屈曲病変、分岐部病変、ISR 病変への wiring, Stent jail, ポリマージャケットワイヤの使用などが挙げられる。GW 先端の小血管内への迷入や攣縮もスタックの原因となりうる。手技的な要因は、CTO や高度屈曲病変における GW の過度の回転操作である。また CTO 内部をポリマージャケットワイヤの knuckle 形状で進める場合にもスタックは生じやすい。先端がスタックした状態に気づかず、さらなる回転操作を加えると GW は容易に断裂する。また、entrap した GW を引き抜く際、一定以上の力が加わると断裂を生じる^{21,22}。また、RA, OAS, DCA のように、GW 上を高速回転するデバイスを使用した手

技中も GW が断裂するリスクがある。GW のストッパー部まで burr や Crown が進んでしまった場合や、何らかの原因で GW 先端が冠動脈内でトラップした状態でデバイスを activation した場合に容易に GW は断裂する。

GW は、コアと呼ばれる棒状の金属に素線（アウターコイル）が密に巻きつけられて形成される。先端約 3 cm 程度の放射線不透過チップは、コアを細径化することで柔軟性を担保している。一言に断裂といっても先端の柔軟なチップの離断、コアの離断、コイルの伸延を伴う場合など様々である。柔軟なチップの離断であれば、冠動脈損傷の可能性は低い、シャフトの断裂であれば、断裂したコアの近位端で不整脈や血管解離、穿孔、裂傷を生じる場合がある^{4,23}。また、コイルの伸延であれば、コイルは細く柔軟なため nidus を形成し高い血栓形成性を示す。冠動脈内に遺残すると冠動脈血栓閉塞を生じ、大動脈に遺残した場合は全身性生血栓症を生じうる²⁴。

【予防】

GW を過度に回転させず、時計回転、反時計回転をそれぞれ 180°程度に留める。また、先端がトラップした状態で回転操作を行わないようにする。特に RA、OAS、DCA 施行中は GW の先端の可動性を確認して

おくことも重要である。また臨床上、ステント留置時に側枝保護のために挿入した GW がスタックすることもしばしば経験する。放射線不透過部分をステントにより jail しないことや、高圧後拡張を行う前に抜去すること、特に長区間のステント使用時の石灰化病変に注意することなどが留意点となる。また、最近では、このような症例の側枝保護目的に jailed corsair technique²⁵ や jailed balloon technique²⁶ などの手技が行われる場合がある。これらの手技は側枝保護目的ではあるものの、ある意味 GW の保護も同時に行っており、分岐部病変の GW のスタック予防にもなると考えられる。

【対処方法】

GW のスタックや断裂が生じた場合の対処法として、経皮的除去、外科的除去、保存療法の 3 つが考えられる。まずは経皮的な除去が試されるが、その成功は、術者の経験や技術に依存しているのが現状である。本稿では GW のスタックや断裂が生じた場合の、状況に応じた段階的なアプローチ法を記載する。これは、すべての Interventional cardiologist が共有、使用できるものである。

ワイヤスタックの際のフローチャートを Figure 7 に示す。

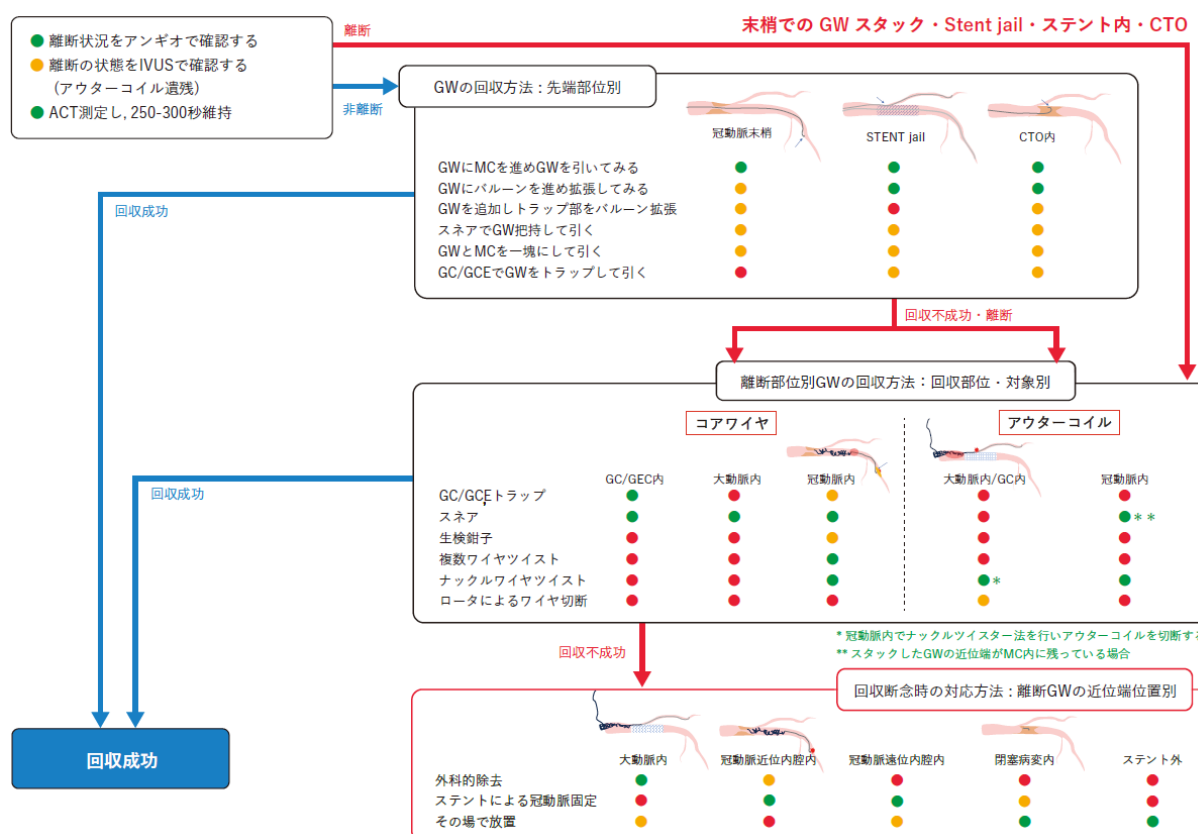


Figure 7 : GW のスタック・離断に対するフローチャート

CTO: chronic total occlusion , GEC: Guide-extension catheter

【経皮的除去方法】

マイクロカテーテル (MC) 法

entrap した GW に沿って MC をできるだけ進める。それだけで「接触部位」が変わり entrap が解除される場合がある^{4,27}。MC を挿入することで GW を引く力を集中させることができる。回転可能な MC (Corsair/Tornus : Asahi Intecc 社製) は、ステントと血管壁に挟まれた部分に進めて GW を開放できる可能性がある。また、後述するが MC で GW がカバーされている状況であれば、スネアの使用も選択肢となる。なお、GW を引き抜く際、GC の予期しない引き込みにより冠動脈解離を発生する可能性も留意しなければならない。

プラークモディフィケーション (plaque modification) 法

entrap した GW に沿ってできるだけバルーンを進め、拡張することによって病変とワイヤの抵抗の減弱を試みる方法である。また、GW の追加が可能な場合、entrap した部位に GW を追加し、entrap 部をバルーン拡張する。entrap した組織に力を加えることで GW を開放し、病変の抵抗を減弱できる可能性がある¹⁸。また stent jail の場合、小径バルーンを entrap した GW に沿わせて進め、ステントと血管壁で挟まれた部位を拡張することで GW を開放し、病変の抵抗を減弱してワイヤ抜去の可能性が生じる。

GC・GEC トラッピング法

GW が entrap された状態で GC や GEC を冠動脈内にできるだけ深く進め、GC 先端付近でバルーンを拡張し、一塊にして引き抜く方法である¹⁹。GW 断裂を生じている場合は、トラップする位置がコアの部分でなくてはならない。解けたアウターコイルをトラップしてもアウターコイルはさらに解けて伸延するだけである。

GW ツイスト法

主に GW 断裂を生じた場合の回収方法である。2 本以上の GW を追加で挿入し、トルクデバイスで束ねて同じ方法に同時に回転することにより、遺残した GW を巻き付けて回収する²⁸。末梢に枝の分岐がある場合、それぞれの GW 挿入部位を (LAD であれば 1 本目は中隔枝、2 本目は対角枝という具合に) 分けた方が巻き付け効果は高い。

ナックルツイスター法

GW ツイスト法と同様に、GW 断裂を生じた場合の回収方法である²⁹。先端がテーパードしたポリマージャケットワイヤー (原著では XT-A : Asahi Intecc 社製を推奨) を使用する。先端 3~6 cm をナックルに形成し (Figure 8A)、遺残した GW よりわずかに末梢まで進め (Figure 8B)、回転操作により巻き付けて (Figure 8C)、回収あるいは切断する方法である (Figures 8D および E)。GW ツイスト法と比較し、強く巻き付けることができるため、伸延したアウターコイルの回収もしくは遠位部での切断が可能である。

ナックルツイスター法

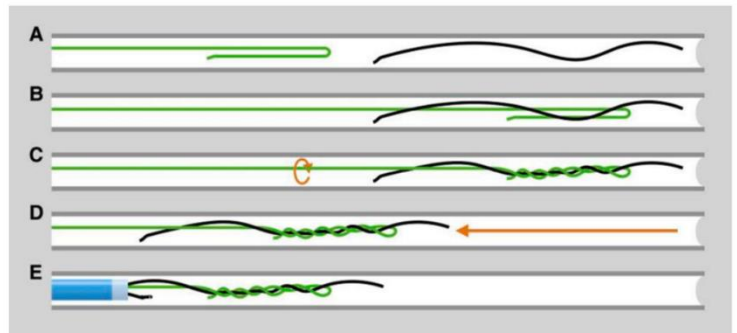


Figure 8 : ナックルツイスター法

ポリマージャケットワイヤーの先端 3~6 cm をナックルに形成し (A)、遺残した GW よりわずかに末梢まで進め (B)、回転操作により巻き付けて (C)、回収あるいは切断する方法である (D, E)

この Figure は許可を得て転載 (Leibundgut, et al²⁹)

スネア法

GW スタック時にスネアで把持することで強い力で引き抜くことができる一方、断裂を生じる可能性や、GW を損傷し、その後の手技を困難にする可能性がある。冠動脈内の遺残デバイスの回収には、2~4 mm ループのグースネックスネア (メドトロニック社製) を使用する³⁰。3 本のループを有する ENSNARE (MERITMEDICAL 社製) を使用すると回収の可能性は高まる。一般的にスネアを冠動脈末梢まで進めることは困難であり、末梢部に遺残した GW の回収には Soutenir (Asahi Intecc 社製) が有効である。

スタックした GW の近位端が MC 内に残っている場合 (GW が MC でカバーされている状況) は、MC のハブを切断したうえでスネアをスタック部位まで持ち込み、把持、切断・回収を試みることは推奨される。この場合、4 mm のスネア + 小径 MC であれば 6 Fr でも同時挿入可能であり、スタック部位まで容易

にスネアを導入することが可能となり、スタックした GW が把持可能である。この場合、スネアシステムではなくスネア+小径 MC を推奨する。

その後、引き戻す作業においてはかなりの引力を必要とする可能性があるが、把持部位での切断、あるいはそのまま回収に成功することも実験的検討では可能であった（その際は、4 mm ループのグースネックスネア+Finecross GT：テルモ社製を使用した）。マルチワイヤー、ナックルツイスター法ではカバーしている MC を抜く必要があるため、まずこのスネア+MC 法が優先すべき回収方法と考える。

【フローチャートの解説：Figure 7】

ワイヤスタックが発生した際にまず行うことは「ワイヤ離断の確認」である。まずは透視で GW のコアワイヤの連続性を確認し、透視での判断が難しい場合には IVUS での確認を行う。血栓トラブルを予防するために ACT が 250～300 秒以上となるように、必要に応じて追加のヘパリン投与を行う。透視上コアワイヤの連続性が確認できる場合には、チャートにあるように、MC を進めて GW 単体で引く、バルーンを進めて拡張する、追加の GW を進めて追加バルーンにより病変拡張を行う、スネア把持して GW を引く、GC や GEC 内でバルーントラップして引くなどの方法を試みる。最終的には MC を進めて GW と一塊にして引くことになる。スタックした GW が

- (1) 冠動脈末梢、(2) stent jail、(3) CTO 病変という状況によって最初に試みる方法を緑色、次に行うべき方法を黄色とし、実施する際にリスクが伴う方法を赤色で示しているので参考にされたい。

元々 GW が離断している、もしくは上記回収手技によって GW が離断した場合には、離断 GW の回収が次に行うべき対応となる。通常 GW 離断は、コアの離断とアウターコイルの伸延を伴う。コアの断裂は、引き抜く抵抗が急に消失することで知ることができる。コアの切断部は透視で確認する。しかし、アウターコイルが伸延しているか否かは透視では判断できないため、IVUS により確認する。アウターコイルの伸延を認めた場合は、直ちに ACT を測定し、適正な抗凝固療法下（ACT 250～300 秒）で経皮的除去を試みる。チャートには、離断した「コアワイヤ」の近位端が「GC もしくは GEC 内」「大動脈内」「冠動脈内」のいずれかによって、対応方法を上記の通り「緑色・黄色・赤色」で示している。また、上記離断したコアの回収が困難である場合、「アウターコイル」の位置

が「大動脈・GC 内」「冠動脈内」のいずれであるかによって対処方法を示した。

離断したコアが GC 内にある場合は、GC・GEC トラッピング法を試す。冠動脈内にある場合は、GC・GEC を冠動脈内に進めてコア断端が GC・GEC 内に入ったところでバルーントラッピングを試す。GC・GEC を冠動脈内に進める際には、冠動脈解離の発生に注意が必要である。離断したコアが冠動脈近位にある場合、スネア法や生検鉗子を試してもよい。冠動脈末梢にある場合は、Souvenirを試みる。回収時、把持した GW 近位端により冠動脈損傷をきたす可能性があるため、GEC を併用することでそのリスクを減じる。また、回収時に冠動脈内で抵抗を認めた際は、無理に引き抜かず、ステントによる血管壁固定（ステント固定）を考慮すべきである^{23,27}。

コアが大動脈内に浮遊する場合、大きなループのグースネックスネアやハンドメイドスネアによる回収を試みる。大動脈損傷を予防するため、スネアで把持する部位は、遺残したコアのできるだけ近位端とする。柔軟なチップやボールチップの完全離断は、CTO 内や小血管内で可動性がなければそのまま放置してもよい。冠動脈内で断裂部分に可動性があれば、GW ツイスト法かナックルツイスター法を試す。

アウターコイルの遺残の場合、より対処が難しい。これは、アウターコイルはナイドスを形成し、血栓形成を生じること、また、非常に細く柔軟でスネアやバルーントラップ法が無効であることが要因である。加えて、さらなる伸延をきたす可能性もあるため、本稿では推奨しないとした（前述したがスタックした GW の近位端が MC 内に残っている場合は、MC のハブを切断しスネアをスタック部位まで持ち込み、把持、切断・回収を試みることは推奨される）。アウターコイル遺残に対する処置では、アウターコイルをできるだけ短く切断し、冠動脈内に限局させることを目標とし、ナックルツイスター法を試みる。冠動脈内に限局されたらステント固定を行う。なお、冠動脈内に長く遺残したアウターコイルをロータブレーターにより冠動脈入口部で切断する方法が報告されている³¹。これは、術者の技量に依存するため「選択してもよい」（黄色）とした。種々の試みを行っても回収できず、大動脈内にアウターコイルが遺残した場合は外科的除去を考慮する。

【まとめ】

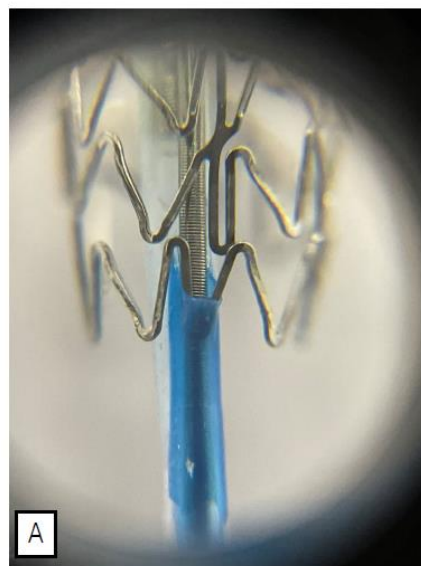
GW のスタック・断裂は、まれであるが命に関わる可能性のある合併症である。その原因や GW 遺残後のリスク、予防法、対処方法を知ることは重要である。Interventional cardiologist として、遺残した異物を取り除きたいと考えるのはごく自然なことである。しかし、経皮的な回収を繰り返し試みることで、冠動脈解離、冠動脈穿孔、冠動脈血栓症など、さらなる合併症に発展する可能性があることを忘れてはならない。完全回収を追求し過ぎず、患者の状態や背景を考慮しつつ、冠動脈壁へのステント固定、外科的除去、保存治療なども考慮すべきである。一方、外科的除去においても、緊急手術であることや、合併してバイパス手術を行うことから、その死亡率も決して低いことを忘れてはならない。したがって、患者ごと、断裂形態ごとの適切な対処が望まれる。本稿では基本的な方法に関して、チャートを用いて概説した。

7. イメージングスタック

【発生機序】

IVUS カテーテルのスタックには、ステントストラットのエグジットポートへの嵌頓(Figure 9A)や、高度狭窄に IVUS カテを押し込みすぎでのスタック、GW のたわみ・キンクに伴うスタックが存在する。当然ながら、IVUS カテーテルだけでなく OCT・OFDI でも起こる合併症であり、Short monorail type だけでなく Second ガイドワイヤーメーンを持つ WR type でも起こりうる。スタックの原因により、その対処法は異なる。フローチャートを Figure 10 に示す。高度狭窄でのスタックであれば、病変部の拡張や、可能であればスネアでなるべくスタック近くで把持し引き抜くことにより抜去を試みる。GW の問題であれば、IVUS を先に進め GW のたわみを修正し、GW ごとにゆっくり抜去するという方法で IVUS カテーテルの抜去を試みることになる。本稿では IVUS スタックで最も問題となるステントストラットのエグジットポートへの嵌頓を中心に概説する。

IVUSスタック発生関連・実験画像



ステント留置後のIVUSスタックの実験画像

Figure 9A : IVUS スタック発生のメカニズム

ステント留置後の IVUS スタックの実験画像 (A) ステントストラットが IVUS カテーテルのエグジットポートに嵌頓している

【好発状況】

ステントストラットのエグジットポートへの嵌頓について、Hiraya らは very tortuous lesion, severe calcified lesion, 3rd generation DES, stent diameter 2.5 mm の症例で発生頻度が高いと報告している³²。エグジットポート嵌頓の特徴や他の原因との鑑別点は、IVUS カテーテルのスタック発生後に IVUS カテーテルの遠位部への押し込みは容易であるが、引き戻す際に同じ場所でスタックすることである。

【対処方法】

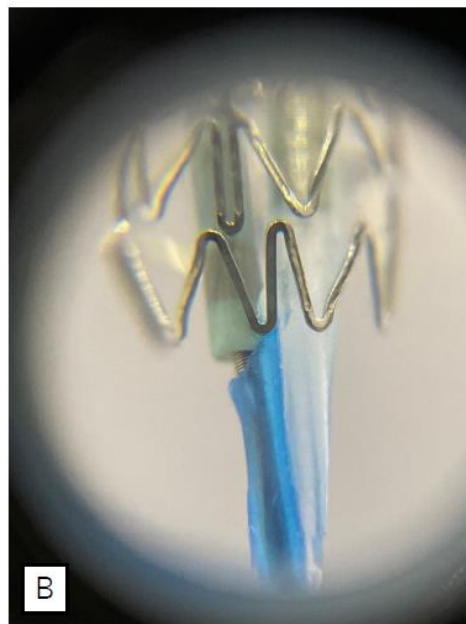
IVUS カテーテルを強く引くとスタックが強固となり、IVUS カテーテルの遠位部への押し込みができなくなり、スタックの解決が困難となる。スタックを強固にしないためには、IVUS の引き戻しを透視下で行い、スタックが発生した場合は強く引かないようにすることである。スタックの機序がエグジットポート嵌頓の場合、ステントストラットが嵌頓するエグジットポートを塞ぐこと、もしくは IVUS カテーテル引き戻し時にステントストラットがエグジットポートに嵌頓しないようにエグジットポートとステントストラットの位置をずらすことによってスタックを回避することができる。

IVUS カテ回転

IVUS カテーテルが遠位に進む状況であれば、まず IVUS カテーテルを回転させて再度引き抜くことによりスタックを解除できる場合がある。ただし、この方法は確実ではないため、無理に固執しないことが重要である。

エグジットポート塞ぎ

IVUS カテーテルを回転させてもスタックが解除できない場合、もしくは最初の手技として、エグジットポートを塞ぐ手技を行う。エグジットポートを塞ぐためには、まず IVUS を遠位まで進め、IVUS を進めた GW に MC や BC を挿入し、それらの先端がエグジットポートに接するまで進める (Figure 9B)。その後 IVUS とエグジットポートを塞ぐために進めたデバイスを一緒に引き戻すことで IVUS カテーテルを抜去することができる。この際、エグジットポートを塞ぐための MC や BC が先に引き戻されるとエグジットポートの塞ぎが不十分となり、再びステントストラットが嵌頓する場合がある。確実にエグジットポートを塞ぐ状況を保ちつつ IVUS カテーテルとデバイスを引き抜くことが重要である。このエグジットポート塞ぎは非常に確実性が高い方法であるが、施行するには条件がある。



小径バルーンもしくはマイクロカテーテル進入時の画像

Figure 9B : IVUS スタック発生のメカニズム

小径バルーンもしくはマイクロカテーテル進入時の実験画像 (B)

デバイス先端がエグジットポートを塞ぐ状況になっているため、ステントストラットが嵌頓する空間がなくなっている

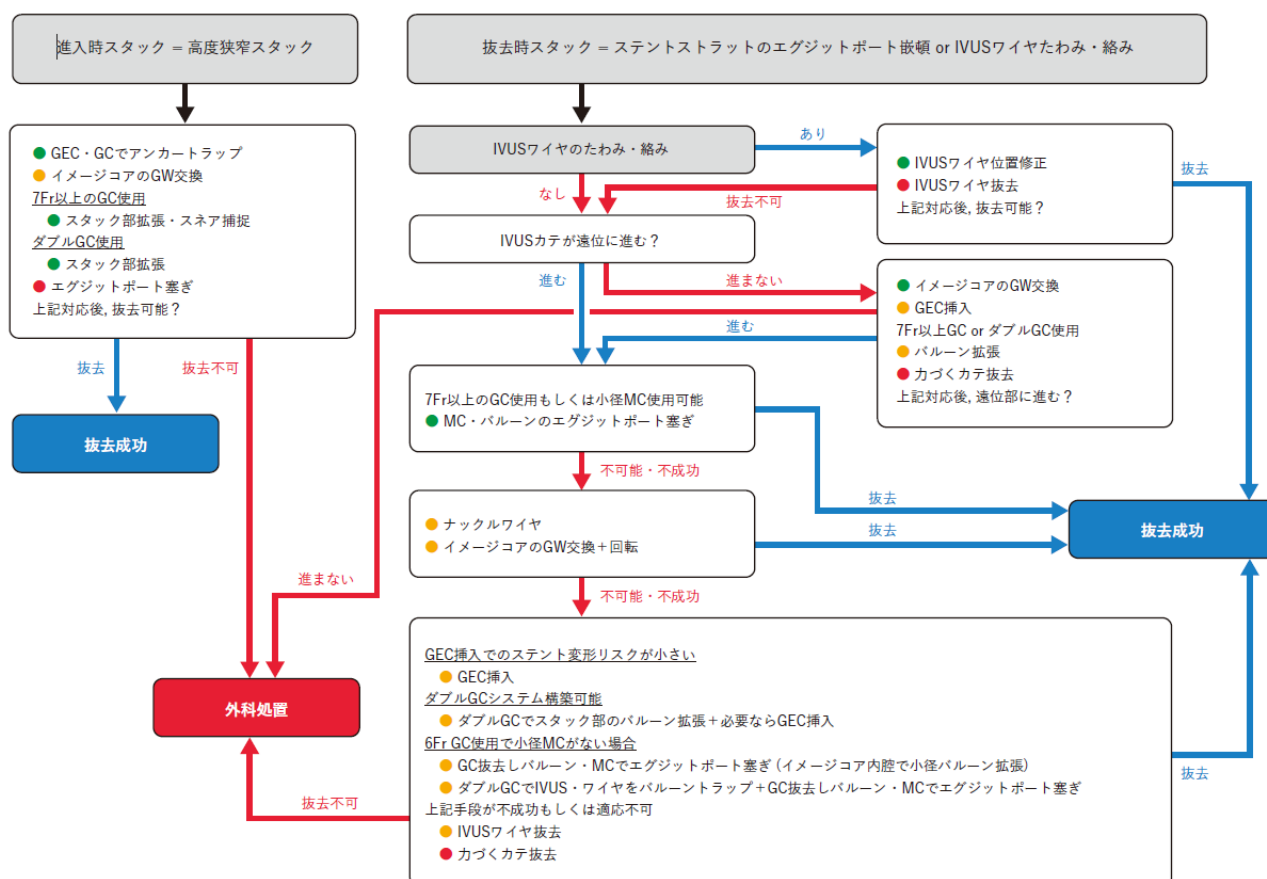


Figure 10 : イメージングスタックに対するフローチャート

ガイドカテーテルが 7 Fr 以上の場合には細めの MC・BC を選択すれば、MC・BC をスタックした IVUS カテーテルに沿ってガイドカテーテル内に進めることができるが、ガイドカテーテルが 6 Fr 以下の場合には、使用した IVUS カテーテルによって併用可能なデバイスに限られる。IVUS カテーテルと併用可能なデバイスの適合性については事前に情報を得ておく必要がある。6FrGC 使用時のイメージングカテーテルと MC や BC の同時挿入可能条件は下記の通りである。IVUS カテーテルのシャフト外径が 3.0~3.2 Fr であれば、1.9 Fr の MC の挿入は可能である。しかし、シャフト外径が 3.6 Fr の場合は、1.6 Fr であっても強い抵抗や挿入困難もあり、現状では推奨されない。参考情報として簡易テストの結果を追記する。6 Fr GC で「先端 2.4 Fr+エグジットポート 3.15 Fr+基部 3.0 Fr (OptiCross : Boston 社製)」「先端 2.6 Fr+基部 3.0 Fr (AltaView : テルモ社製)」「先端 2.6 Fr+基部 3.1 Fr (AnteOwl : テルモ社製)」と「1.9 Fr (Carnelian Marvel Micro Catheter non Taper : 東海メディカルプロダクツ社製)」の同時挿入は可能であった。6FrGC で「先端 2.4 Fr+エグジットポート 3.2 Fr+基部 3.6 Fr (6FrGC ID : 0.070 および 0.071) (Dualpro : Infraredx 社製)」と「Carnelian Marvel Micro Catheter (Model S MXNS155X 1.6/1.8 Fr, 155 cm single marker : 東海メディカルプロダクツ社製)」の場合は、条件によってはエグジットポートまで到達可能であったが、強い抵抗を感じるなど到達不可の場合もあり、推奨には至らないと判断した。Dualpro 使用時は 7 Fr GC を選択することも一考である。なお、BC の挿入はどの IVUS であっても 6 Fr では困難である。

スタックした IVUS カテーテルの遠位挿入

エグジットポートの嵌頓が強固となり、IVUS カテーテルが遠位に進まない場合は、イメージングコアを抜いて、太めの親水性 GW に交換する。IVUS・OCT・OFDI カテーテルとイメージングコア交換可能 GW は、AltaView (テルモ社製) 0.021 GW, FastView (テルモ社製) 0.018 GW(これのみドライ、水通しなしであることが必須), Dragonfly (Abott medical 社製) 0.018 GW, OptiCross (Boston 社製) 0.025 GW, Dualpro (Infraredx 社製) 0.025 GW である。太めの GW を交換するためには、IVUS カテーテル近位部のハブを緩めて外す、もしくは IVUS カテーテルの伸縮部遠位端を切断する。この交換によって IVUS カテーテルを遠位に押し込む力が増すため、IVUS カテーテルが遠

位部に移動する可能性がある。

IVUS カテーテルが遠位部に移動し、上記のエグジットポート塞ぎが可能な状況であればエグジットポートを塞いで IVUS カテーテルを抜去する。GC がある状況でエグジットポート塞ぎの手技ができない状況、もしくはエグジットポート塞ぎが不成功であった場合は下記の手技を行う。

IVUS カテーテルの横にナックル形状にした柔らかい 0.014 GW を進める

ナックル GW で IVUS 抜去ルートがストラットから外れると IVUS カテーテルを抜去することができる。ナックル GW は複数挿入することで成功率が増す可能性もあるが、結果をコントロールすることは困難である。

ダブルガイドカテーテルにしてスタック部位をバルーンで拡張+必要時には GEC を併用する

シングルシステムで治療していた場合にはもう 1 つの穿刺が必要となり、さらに同じ冠動脈に GC を 2 本進めることになるが、ダブルガイドカテーテルシステムを構築できれば、2 本目の GC を用いてスタック部を拡張することによりエグジットポートとスタックしていたストラットの位置関係を変えられる可能性は高く、顕著な成功率の向上が見込まれる。さらに 2 本目の GC からのバルーン拡張と下記の IVUS カテーテルを切断し GEC を進める方法を併用することも可能である。

IVUS カテーテルを切断しイメージングコアを太い GW と交換+必要に応じて IVUS カテーテルを回転させる

太い GW が入ることで、IVUS 引き抜きルートのずれ、IVUS カテーテルが抜去できる可能性がある。太い GW の挿入により回転性能が向上するとみられ、IVUS カテーテルの回転も併用できる。

IVUS カテーテルを切断し GEC・子カテを進める

GEC・子カテの先端を、スタック部を越えた位置まで進めることができれば、エグジットポートにストラットが嵌頓しなくなり、確実に IVUS カテーテルを抜去することができる。GEC・子カテの先端がスタック部に到達しなくても、その近傍まで進めばエグジットポートとストラットの位置関係が変わり嵌頓しなくなる可能性がある。ただし、IVUS カテーテルのスタックの原因としてステントの不完全拡張があり、GEC・子カテの挿入によりステント変形をきたすリスクがある。IVUS スタックにステント変形が合併

すると、より重篤な合併症になりえるためこの方法を行うべきか、慎重な判断が求められる。

IVUS カテーテル切断・GC 抜去とエグジットポート塞ぎ+必要に応じてダブルガイドカテーテルによるアンカートラップ

6 Fr 以下の GC を使用していて上記のエグジットポート塞ぎができない場合、IVUS カテーテルを切断後に GC を抜去し、IVUS ワイヤにバルーン・MC を進めることでエグジットポート塞ぎを行う方法がある。GC 抜去時の意図しない IVUS カテーテル・ワイヤの動きを予防するために、エクステンションワイヤの使用に加え、IVUS カテーテルのイメージングコア内腔に 0.014 インチのワイヤと小径バルーンを進め、バルーンを拡張する。この方法で GC 抜去中にも常に IVUS カテーテル・ワイヤを保持することが可能となり、意図しない IVUS カテーテル・ワイヤの動きを防ぐことができる。GC 抜去後のバルーン・MC 挿入が困難な場合には、ダブルガイドカテーテルシステムを構築し、スタック部より遠位で IVUS カテーテルとワイヤをアンカートラップする方法がある。これにより IVUS ワイヤに引きテンションを加えつつバルーン・MC を挿入することができ、バルーン・MC の挿入が成功する可能性が高くなる。ただし、あくまで冠動脈内でのアンカートラップであるため、意図せず IVUS カテーテル・ワイヤが引き抜かれることがある点には注意が必要である。

IVUS GW の抜去

他の方法が不成功、もしくは他の方法が適応できない場合の最後の方法として、IVUS カテーテルの GW の抜去がある。IVUS カテーテルの GW を抜去することでエグジットポートとストラットの位置関係が変わり、IVUS カテーテルが抜去できることがある。ただし、IVUS の GW を抜去するとエグジットポート塞ぎ法ができなくなるため、その適応には注意が必要である。

IVUS カテーテル抜去成功後の対応

IVUS カテーテルの抜去後には、ステントの拡張と冠動脈血流を確認する必要がある。通常、この時点での血管内イメージングによるステント変形の確認は行われなため、バルーンによるステント再拡張が望ましいと考えられる。

外科対応

上記の全ての手技が不成功になった場合には、血行動態が悪化する前に外科的回収を考慮すべきである。

一般的に外科的回収は非常に安全かつ容易に行われている。

8. Rotablator スタック

【発生機序・発生頻度】

ロータブレーターは現代の PCI においても高度石灰化病変への治療では中心的役割を担っている^{33,34}。ロータブレーターには様々な合併症が生じるが、中でもバーのスタックはロータブレーターに特有の合併症である。複数の単施設研究の結果によると、バーのスタック頻度は 0.4% から 0.8% と報告されている^{35,36}。バーのスタックには複数のメカニズムが提唱されている。こけし現象はメカニズムの 1 つとされている。これは、回転の影響で狭窄部を通過し、回転が止まると抜去困難になる現象であり、動摩擦力よりも静摩擦力の方が小さいという原理のために 1 度スタックしてしまうとバーは動くことができないと考えられる³⁶。こけし現象によるバーのスタックは小さ目のバーを力一杯押すことで生じる可能性がある。血管の屈曲はバーのスタックにおけるもう 1 つの主要なメカニズムである。ロータバーが楕円形であること、および、バーの後ろ半分にはダイヤモンドコーティングが施されていないことから、それほど重度ではない石灰化においても屈曲部でバーがスタックする場合もある。また既存のステント部位をバーが通過する際にステントにスタックするケースもあり、ステント内あるいはステント末梢のバー通過に際しては注意を要する。

バーのスタックを予防するために、術者はロータブレーターにおける回転数の変化や音の変化、そして手元の抵抗に注意を払うべきである。術者はバーのスタックが生じた際にまずは冷静になることが何よりも重要である。次に術者は順行性血流の有無、心電図変化、胸部症状の程度を評価するべきである。順行性血流が全くない場合は経皮的なベイルアウトはかなり難しいため、心臓外科医に連絡し、外科的ベイルアウトについて相談すべきである。また、バイタルサインが不安定な場合にはメカニカルサポートデバイスを使用することを躊躇すべきではない。一方、ST 上昇がなく、順行性血流が保たれていれば、術者には経皮的ベイルアウトを試みる余裕が生じる。実際のベイルアウト手技を試みる前に、術者はメカニカルサポートやダブルガイドシステム用に大腿動静脈へ

のアクセスを確保することを考慮すべきである。スタックしたバーを引き抜いた直後に重篤な血管破裂が生じるおそれがあるため、速やかにメカニカルサポートデバイスを確立するうえで大腿動静脈シースを準備することは有用であると考えられる。

【対処方法】

ロータブレーターのスタックに対するベイルアウトの方法についてはいくつかの文献に記載されているが、もっとも重要な選択は、ダブルガイドカテーテルシステムを確立するか、シングルガイドカテーテルシステムのままで行うかということである^{37 38 39 40 41 42 43 44 45}。術者がダブルガイドシステムを選択した場合には、2 目目のガイドから通常の PCI-GW をバー越しに通過させてスタックしたバーの近位部を拡張する³⁸。ダブルガイドカテーテルシステムの有利な点は、大きな冠動脈破裂がバーの抜去に際して生じた場合にピンポンテクニックを使用できることにある⁴⁶。ただし、こけし現象によるスタックでは GW のスタック部位通過に難渋することが予想される。このため親水性コーティング GW もしくはポリマージャケット GW の使用が通常は有用である。ときに CTO に使用する硬い GW が必要となる場合もある⁴⁰。なお、GW を通過させるためマイクロカテーテルが必要となることもあるが、シングルガイドを選択した場合、6 Fr もしくは 7 Fr のシステムではドライブシャフトシース（4.3 Fr）とマイクロカテーテルが共存できないため注意が必要である。次に術者がシングルガイドカテーテルシステムを選択した場合について記述する。このような場合でも、まず GW をバー越しに通過させることを推奨する。この新たに通過させた GW は、バーの抜去に際して大きな冠動脈破裂が生じたときの命綱となる。シングルガイドカテーテルシステムの場合、次のステップは GW の口径（8 Fr か 7 Fr 以下か）によって異なる。8 Fr のガイドカテを使用していた場合、術者が GW を病変越しに通した後で、その GW に沿ってバルーンを持ち込み、近位部を拡張させることが可能である。しかし、7 Fr 以下のガイドカテを使用していた場合には、7 Fr ガイドはドライブシャフトシース、GW、バルーンを同時に収納することができないため、術者はドライブシャフトとドライブシャフトシースを切断して、ドライブシャフトシースを引き出す必要がある（Figure 11）³⁷。ドライブシャフトシースが引き出されれば、術者はバルーンを病変近位部まで持

ち込むことが可能である。さらに、ドライブシャフトシースが引き出されていれば、ドライブシャフト越しに GEC を挿入することもできる^{39 42 43}。その場合、GEC をバーの後方近傍まで進め、引き抜く方法も可能となる。また、GEC 内で同時にスネアを用いてドライブシャフトを捕捉、あるいは BC にてドライブシャフトをトラッピングすることで引く力をサポートする方法もある。なお、引く力によってはドライブシャフトの離断のリスクがあることも追記しておく。各種サイズ別の GC および GEC と、ドライブシャフトと MC、スネア、BC の同時挿入の可能性について簡易テストの結果を Table 2 に示す。この結果は、GC および GEC 内でのデバイスの同時挿入性を、限定したサイズで確認したものである。デバイスのサイズ、GC の状況、冠動脈内の状況は加味されていないため、あくまで「参考資料」として扱う必要がある。特に 6 Fr の GEC 内へのデバイスの同時挿入については、複数回の施行において挿入可能であっても、強い抵抗を伴い断念したものはあえて不可としている。特にスネアの同時挿入などは、条件によって異なる結果になったことから、可能であれば常に余裕のある GC サイズを選択すべきである。

バースタックからのベイルアウトのプロセスでは、術者は常にバー抜去に際して大きな冠動脈破裂や重篤な冠動脈解離が生じる可能性を念頭に置く必要がある⁴⁷。また、バー抜去後も、そういった重篤な合併症に対して準備しておくことが必須といえる。シングルガイドカテーテルシステム、ダブルガイドカテーテルシステムのいずれにおいても、通常の PCI-GW をスタックしたバーを越えて、病変奥にまで挿入しておくことが重要である。大きな冠動脈破裂がバー抜去に際して生じて、術者はパーフュージョンバルーンやカバードステントをその GW 越しに持ち込むことができる。バースタックに対する予防およびベイルアウトを Table 3 にまとめた³⁴。シングルガイドシステムとダブルガイドシステムの違いを Table 4 にまとめた。フローチャートを Figure 12 に示す。

How to cut and pull the drive shaft sheath

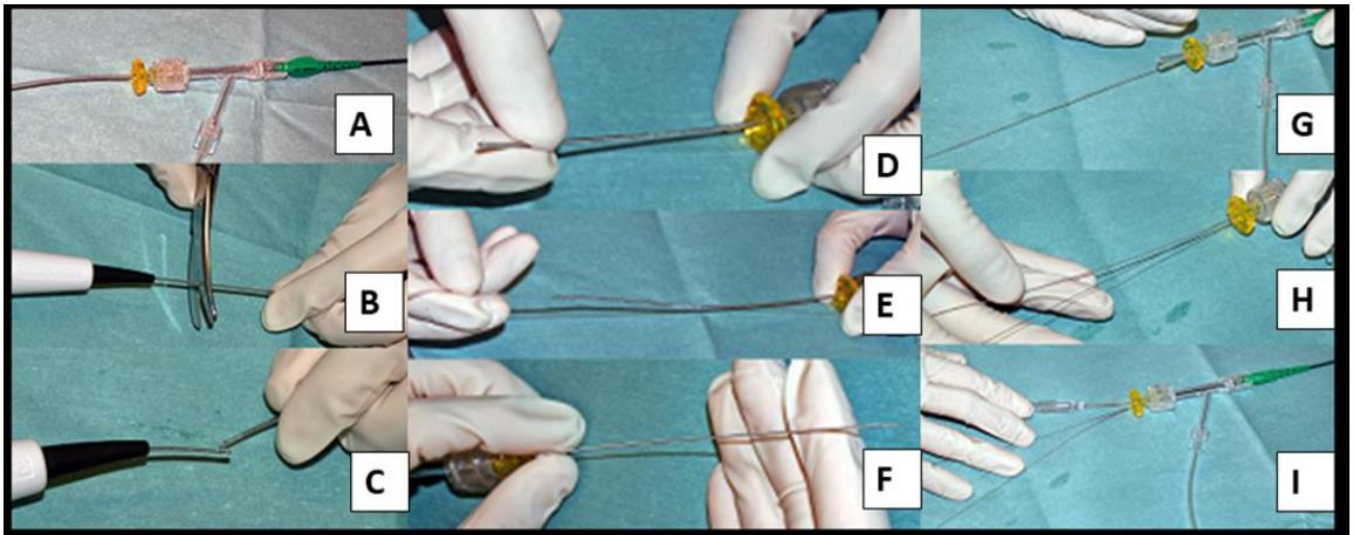


Figure 11 : ドライブシャフトシースの切断と抜去方法

1.25 mm Burr を、Y コネクターを介して 6 Fr ガイドカテーテルに挿入 (A)

ドライブシャフト、ドライブシャフトシース、GW はアドヴァンサーの近くで一緒に切断 (B, C)

ドライブシャフトシースを引き抜く (D, E)

ドライブシャフトシース抜去後も、ドライブシャフトは同じ位置にある (F)

GW (0.014 インチ) をインサーター、Y コネクターを介して GC に挿入 (G, H) 2.5×15 mm の BC は、ガイドカテーテルを容易に通過 (I)

この Figure は許可を得て転載 (Sakakura, et al ³⁷)

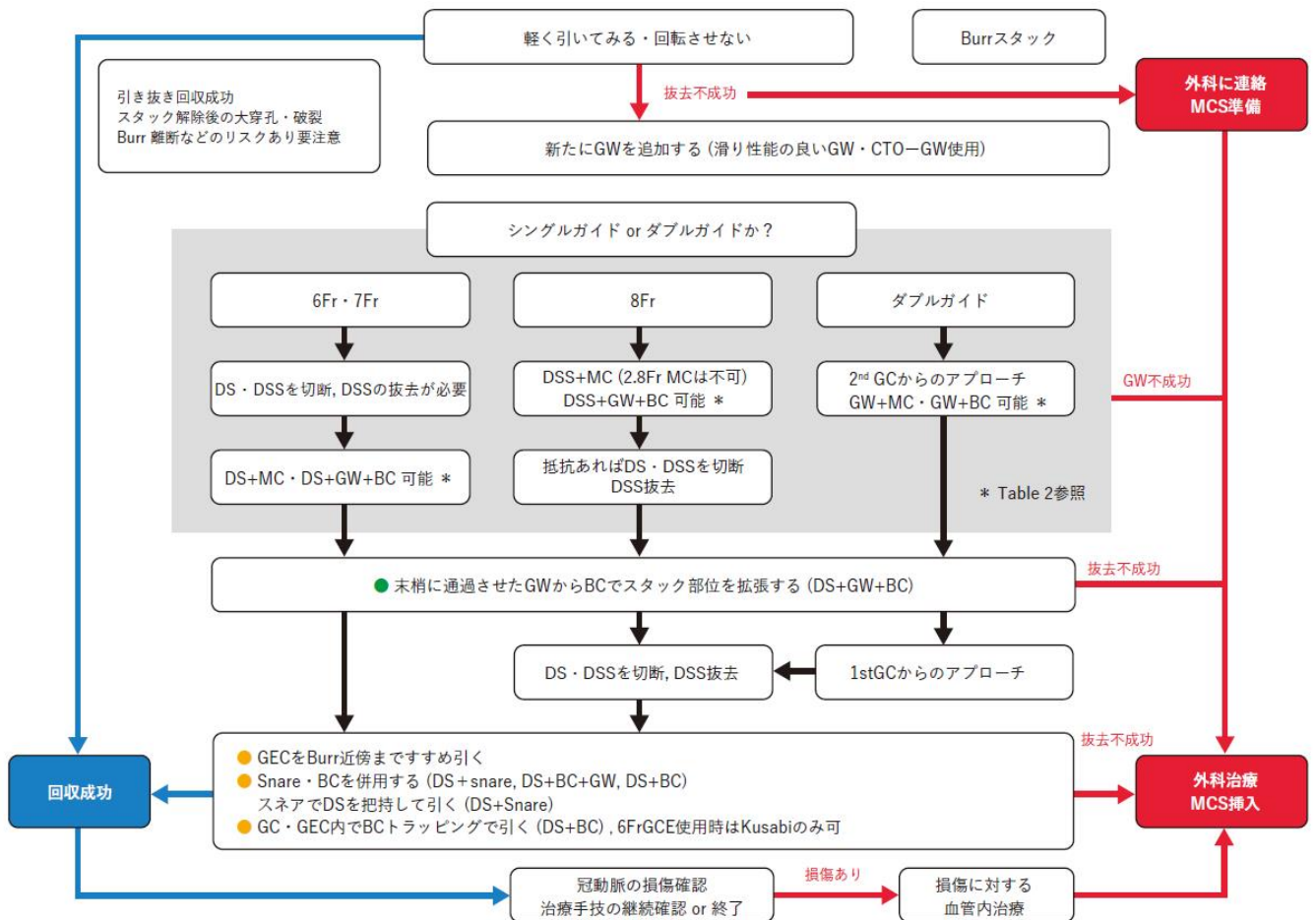


Figure 12 : Burr スタックに対するフローチャート

DS=drive shaft, DSS=drive shaft sheath

Rotablator burr stuck:ドライブシャフトシースの抜去・非抜去別デバイス同時挿入テスト結果

		ドライブシャフト・ドライブシャフトシースを切断しない		ドライブシャフト・ドライブシャフトシースを切断してドライブシャフトシースを抜去する				
		DSS+MC	DSS+GW+BC	DS+Snare	DS+MC	DS+BC+GW	DS+Trapping Device	
6Fr GC		×	×	○	○	○	○	
7Fr GC		×	×	○	○	○	○	
8Fr GC		△	○	○	○	○	○	
GC 1GC+GEC		8Fr GC (DS・DSS 切断なし)		6Fr GUIDEZILLA 1.45mm	6Fr HIYAKU 1.48mm	6Fr GUIDEPLUS II EL 1.43mm	6Fr EZ GUIDE 1.42mm	7Fr GUIDEZILLA 1.60mm
DS+Snare	GOOSE NECK Snare(2.3-3.0F)	×	×	×	×	×	×	○
DS+MC	総合評価	△		△	△	▲	×	○
	Mogul SP Thinner (2.6F)	○		▲	○	×	×	○
	FINECROSS GT (2.6F)	○		○	○	○	×	○
	Caravel (2.6F)	○		▲	○	▲	×	○
	Corsair PRO (2.8F)	×		×	×	×	×	○
	Zizai (2.8F)	×		△	○	○	×	○
DS+BC+GW	総合評価		○	▲	△	△	×	○
	SAPPHIRE NC24 (2.55F) 2.25 x 10mm		○	×	▲	▲	×	○
	Emerge (2.6F) 2.0 x 12mm		○	△	△	△	×	○
	Raiden3 (2.6F) 2.50 x 10mm		○	▲	○	○	×	○
	Ryurei (2.7F) 1.5 x 20mm		○	▲	△	△	×	○
DS+Trapping Device	KUSABI (2.0F)	○	○	○	○	○	○	○

- ◆ Benchテストの結果であり、冠動脈内の実臨床とは異なる環境であり、あくまで参考にとどめること
- 複数回のテストで1回でも不可あり、強い抵抗のあるものはX、抵抗はあるが可なのは△、強い抵抗はあるが可は▲、挿入可は○と表記
- 6Fr-7Fr GC使用時はDS・DSSの切断、DSSの抜去が必要
- 8Fr GC使用時はそのままデバイス挿入が可能であるが不可のデバイスもあり、強い抵抗を感じる場合はDS・DSSの切断、DSSの抜去を推奨する
- GECにsnare・MC・BCなど併用時は6Frでも概ね可能ではあったが、基本的に7FrのGECを推奨
- GEC内に併用デバイス挿入時はGECのカテーテル部分での干渉に注意する必要がある

ドライブシャフト 1DS
ドライブシャフトシース 1DSS
ガイドカテーテル 1GC ガイドワイヤー 1GW
マイクロカテーテル 1MC バルーン 1BC
ガイドエクステンションカテーテル 1GEC
Trapping device = KUSABI (2.0F)のみ使用Snare=
GOOSE NECK Snare(2.3-3.0F)のみ使用

Table 2: Rotablator burr stuck:ドライブシャフトシースの抜去・非抜去別デバイス同時挿入テスト結果

予防もしくはベイルアウト	コンセプト	特定の方法/コメント
予防	パースタックに対するリスクの評価をすることが最も重要	● パーを強く押しすぎない ● 屈曲病変ではリスクが高い ● 回転数の低下、音の評価、パー操作中の抵抗に注意する
予防	石灰化病変の途中でパーを止めないこと	● パーの後ろ側にはダイヤモンドコーティングはない ● 標的病変の近位部の中等度狭窄もスタックのリスクになりえる
ベイルアウト	まずは順行性血流の有無などの状況を冷静に評価することが大切	● パーのスタック後にロータブレーターを回転させない ● ベイルアウトの方法は大きく分けてシングルガイド、ダブルガイドに別れる ● ベイルアウトが上手くいかない時は速やかに心臓血管外科医にコンタクトを

Table 3: Burr のスタックに対する予防とベイルアウト

この Table は許可を得て転載 (Sakakura, et al ³⁴)

	シングルガイドシステム	ダブルガイドシステム
アドバンテージ	● 追加の動脈穿刺が不要 ● ダブルガイドよりも手技自体がシンプル	● パーが抜けた後の大きな冠動脈破裂に対してピンポンテクニックなど特殊な手技が使用可能 ● ベイルアウト後にロタシステムの再利用が可能かもしれない
ディアドバンテージ	● パーが抜けた後の大きな冠動脈破裂に対する対応が困難な可能性がある ● 8Fr以外ならロタシステムの切断が必要 ● ロタシステムを切断後に再度使用することはできない	● 完全にヘパリンが効いている状態での追加穿刺が必要 ● ガイドエクステンションシステムを使う場合にはいずれにしてもロタシステムの切断が必要

Table4: パースタックのベイルアウトにおけるシングルガイドとダブルガイドの違い

9. スtent脱落

【発生機序・発生頻度】

stentがマウントバルーンから脱落するという事象は、現在使用されているstentにおいて、マウントバルーンへのクリンプ力やstentのデリバリー性能の向上、加えてstentデリバリー手技の向上もあり、比較的まれな合併症となっている^{3 48 49}。しかしながら、この状況は、冠動脈の高度な石灰化や屈曲により、stentが通過しない、あるいはスタックなどが生じた際に、stentを回収しようとして生じることが多い。stent脱落の予防策としては、標的病変の十分な拡張による **Lesion preparation** のみならず、標的病変までの中等度の狭窄や石灰化、屈曲の程度をしっかりと把握して、慎重にstentをデリ

バリーする（無理に押し込まない）ことや、必要に応じて **GEC** を使用すること、stentを留置部位にデリバリーするまではマウントバルーンに陰圧をかけることなどが挙げられる。これらの注意を十分に行っても、stent脱落は生じる可能性がある。その場合の対処法は、stentが大きく変形しているか否か、**GW** がstent内に残っているか否かで異なる。したがって、まずはこの2点を確認することが第1ステップとなり、可能な限り速やかに、かつ2次合併症を生じることがないように対処することが求められる。また、冠動脈内にトラップされたstentを回収するためには、さまざまなインターベンションの技術を応用することが求められる⁵⁰。同時に対処に際しては、脱落したstentが回収可能であるか否かを適宜想定しながら進めることも大切なポイントである。

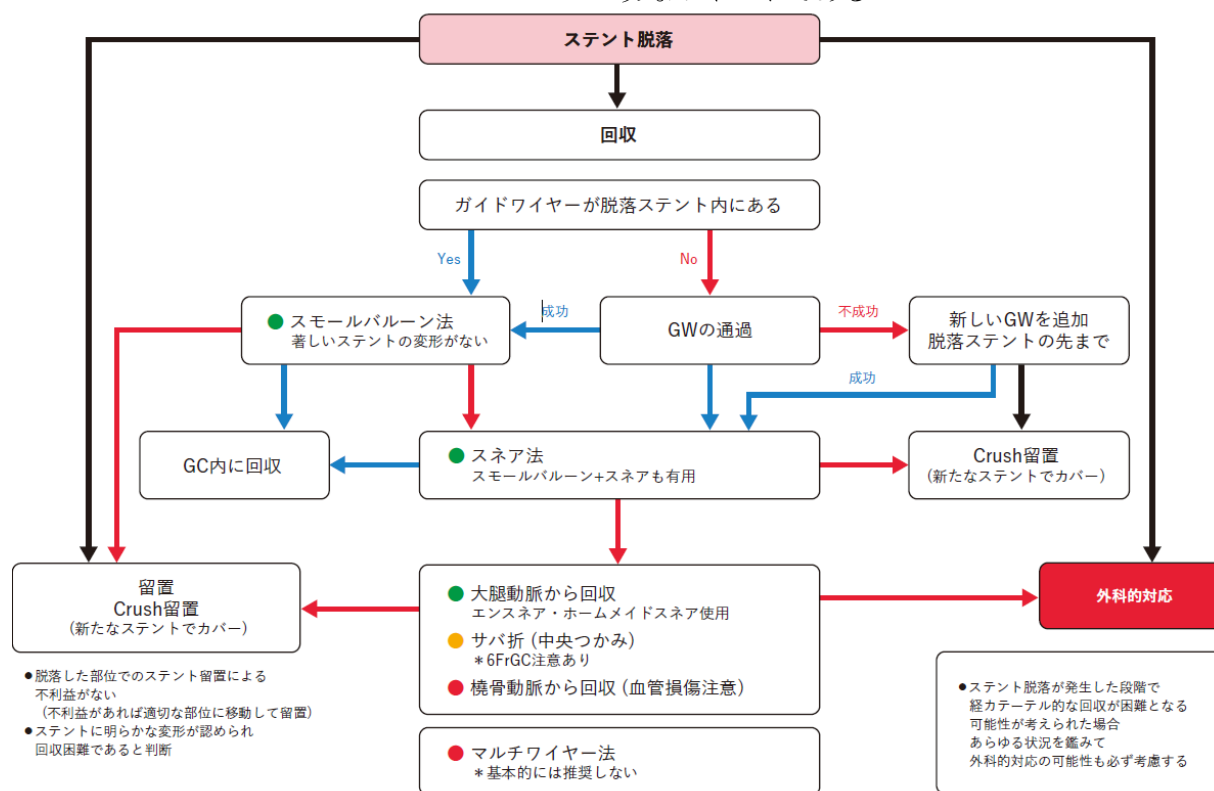


Figure 13：stent脱落に対するフローチャート

stent留置：脱落した位置にstentを留置することに大きなデメリットがなく、かつ血管径と脱落stentのサイズの著しい不適合がなければ、小径バルーンを脱落したstent内まで挿入し拡張、その後留置部位の血管径に合わせたバルーンにサイズアップをして留置する。

stent回収

小径バルーンによる回収：小径バルーンを脱落したstent内まで挿入し、stent近位部で低圧で拡張し、回収する方法。

スネアカテーテルを使用する方法：stent内を通過している **GW** に Medtronic 社製 **Goose Neck Snare** を通して脱落したstentを回収する。スネアのデリバリーに難渋する場合はスモールバルーンにマウントしてstent部位に到達する方法。

マルチワイヤーを用いる方法：stentの外側に2本の **GW** を追加し、3本の **GW** を1つのトルカーに入れて、同じ方向に回し続け、stentが回転し始めたら回転を維持しながらstentを回収する方法。stentがマルチワイヤーから外れてしまう可能性や、成功率の観点からは推奨できない方法である。

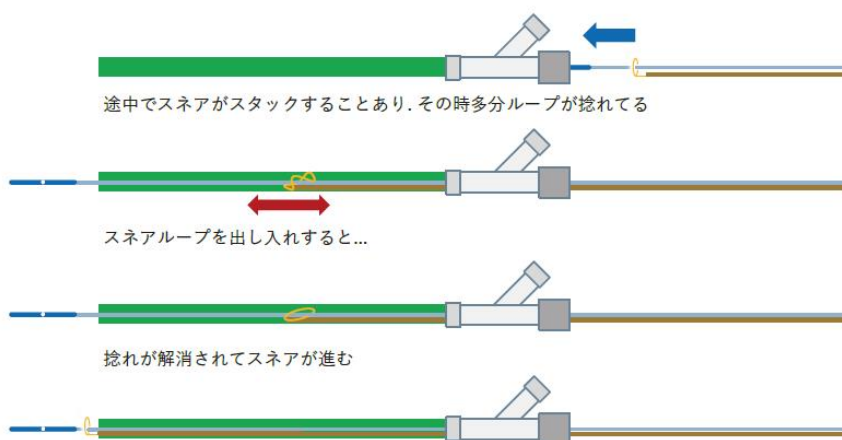
【対処方法】

大前提として、脱落したステントの回収は大腿動脈から行うことを推奨する。これは、大腿動脈からのアプローチのほうが大口径のガイドカテーテルを用いて回収することができ、また下行大動脈での回収のほうが頭頸部動脈へのステントの migration を回避できるためである⁵¹。撓骨動脈からのアプローチによる手技でステント脱落が生じた場合は、以下に推奨されるいずれかの方法でスムーズに回収できそうな場合にのみ試みるべきである。GC 内に脱落ステントを回収できていない状態での撓骨動脈からの回収は、血管損傷などのリスクが高いことを考慮して推奨しない。また、ステント脱落が発生した最初の段階で、ステント脱落に血栓が生じて血行動態が不安定となるような場合や、ステントの変形が著しく経カテーテル的な回収が困難となる可能性が考えられた場合には、あらゆる状況を鑑みて、外科的対応の可能性も考慮する必要がある。フローチャートを Figure 13 に示す。

ステント留置

ステントが明らかに変形しており回収が困難であると判断された場合は、新たな GW を挿入して変形したステントの外側を通過させ、脱落した部位でバルーンを拡張、その後新たなステントを留置して、脱落ステントをカバーする。ステントの明らかな変形がなく GW がステント内にある場合は、脱落した位置にステントを留置することに大きなデメリットはなく、かつ血管径と脱落ステントのサイズの著しい不適合がなければ、小径バルーン（バルーンのサイズは 1.5 mm×10 mm）を脱落したステント内まで挿入して拡張し、その後留置部位の血管径に合わせたバルーンにサイズアップをして留置する。バルーンをステント内に挿入する際にステントが遠位部に進むことがあり、最終的なステント留置部位が脱落部位よりも遠位になってしまう可能性があることは留意すべき点である。なお、小径バルーンを挿入する際にステントを移動させることができる場合は、適合する位置にステントを留置することも考慮する。

Pattern-1: 1.5mm バルーン先行パターン：バルーンを先にCoronaryまで進める



Pattern-2: 1.5mm バルーン + 4mm グースネックスネア同時挿入パターン

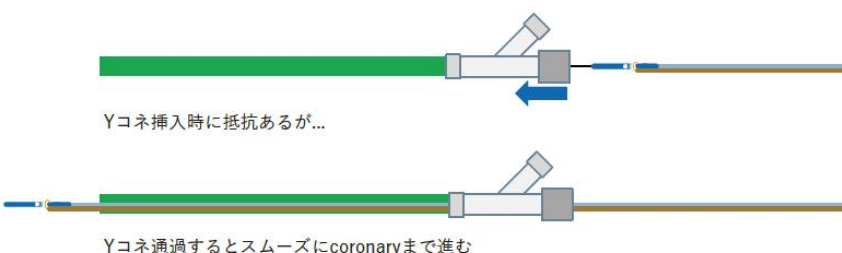


Figure 14：小径バルーンとスネアの併用

通常 GW に goose neck snare を組み合わせるが、この場合は GW だけでなく小径バルーンに組み合わせる

ステント回収

小径バルーンを脱落したステント内まで挿入し、ステント近位部で拡張して回収する。小径バルーンのサイズは 1.5 mm×10～15mm, 低圧での拡張を推奨する。遠位部ではなく、近位部のバルーン拡張を推奨するのは、適切にデザインされたベンチテストにおいて遠位部拡張よりも近位部拡張の方が有効であることが示されたためである⁵²。近位部拡張においては、バルーンの半分程度がステントカバーする、ステントの proximal edge がバルーン中央に位置する部位が望ましい。なお、GC 内に引き込む際には、多方向からの透視でバルーンと GC の同軸性を確認し、GC の位置（高さおよび方向）を微調整する必要がある。スネアカテーテルを使用する方法としては、ステント内を通っている GW に Medtronic 社製 Goose Neck Snare を通して脱落したステントを回収する。ステントの近位を掴み、ゆっくりと冠動脈近位部まで引き戻す。GC 内に引き込む際には、多方向からの透視で同軸性を確認し、GC の位置（高さおよび方向）を微調整して、スネアで掴んだステントとの同軸性を保ちながら回収することが重要である。スネアでステント近位部を掴むことが困難で、ステントの中央部を掴まざるを得ない状況となった場合、GC をエンゲージした状態でステントを回収することは容易ではない。このため、ステントを GC の近くまで引き戻した段階で、システムを冠動脈から上行大動脈まで引き上げ、GW を抜去し、GC とステントが T 字型となる形で、スネアをやや強く引き、ステントを 2 つ折りにして GC 内に回収する（鯖折り法）。この方法は 6 Fr 以上の GC で可能な手技であるが、一部の 6 Fr GC では回収困難な場合もあるので注意を要する。なお、GC 内に引き込む段階で把持が外れてしまった場合には、ステントが頭頸部血管に migration するリスクがあることを念頭においておく必要がある。

スネアのデリバリーに難渋する場合は、小径バルーンにマウントしてステント部位に到達する方法（Figure 14）がある。小径バルーンとスネアシステムの同時挿入は 6Fr の GC でも可能である。撓骨動脈からの手技において、スネアでステントを掴むことに成功した後で GC 内にステントを回収できなかった場合は、Femoral からの回収に切り替える。ステントが剥き出しの状態ではラディアルシースから回収する方法は、血管を損傷するリスクが高いため推

奨しない。Femoral からの回収に移行するためには、0.025 GW を GC に挿入して、右腕頭あるいは左鎖骨下動脈起始部まで引き上げたうえで、0.025 インチ GW を下行大動脈に進め、それに沿って GC と掴んだステントを下行大動脈に誘導する。これが難しい場合は、0.025 インチの GW をスネアで把持して引くことにより誘導する。なお、この手技の最中に把持したステントを離してしまうと、頭頸部の動脈にステントが migration するリスクがあるため、十分に注意されたい。大腿動脈から挿入した 8 Fr の GC から MERIT MEDICAL 社製 EN Snare を使用し回収する。Femoral から回収する際に EN Snare でステントとスネア GW のみを掴めた場合は、ステントと一緒にスネア GW を Femoral から回収する。Goose Neck Snare の MC も一緒に掴んでしまった場合は、MC のハブを切り、スネアの MC と一緒に Femoral から回収する。EN Snare が無い場合は、角辻スネア（ホームメイドスネア：Figure 15）を作成し回収を試みる⁵³。

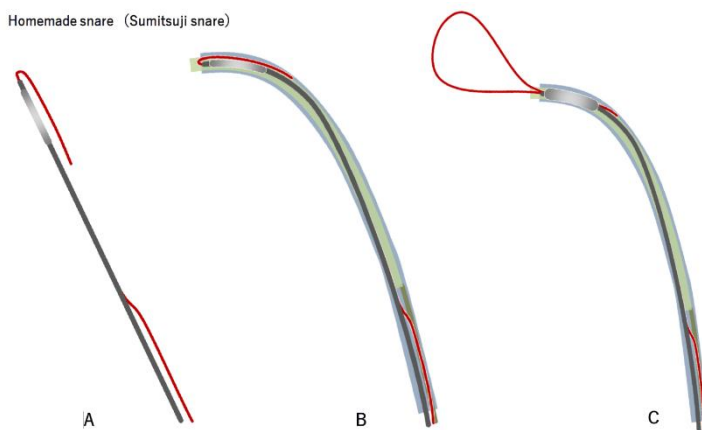


Figure 15 : Homemade snare （ Sumitsuji snare ）

GEC と 2 mm 以上のバルーンを使用して作成する

A) 通常モノレールバルーンの先端から通常使用ワイヤを 20 mm ほど出して、リバースワイヤのように折りたたむ。バルーン径は、ガイドエクステンションカテーテル内で拡張した際に十分ガイドエクステンションカテーテルに圧着するサイズを選択する。

B) 先端を折りたたんだワイヤとバルーンを、ガイドエクステンションカテーテルの先端近くまで進める。

C) ワイヤのリバース部が固定され、かつバルーン内のワイヤが動く圧でバルーンを拡張する。バルーン拡張後、バルーン内のワイヤを押し進めることでスネアループを作ることができる

マルチ GW を用いる方法：ステントの外側に 2 本の GW を追加する。いずれの GW もステント末梢側で別の枝に進めたうえで、3 本の GW を 1 つのトル

カーに入れて、同じ方向に回し続け、ステントが回転し始めたら回転を維持しながらステントを近位部まで移動させる。GC 内に引き込む際には、多方向からの透視で同軸性を確認して、GC の位置（高さおよび方向）を微調整することが重要である。GC 内に入った後もステントがカテーテル内に完全に入るまで回転を維持し、その後 GC からステントが飛び出さないよう注意して GC ごとシステムを全抜去する。なお、この方法に関しては、手前のステントなどすべてを巻き込むリスクがあり、ステント内に通っていたオリジナルの GW を失う可能性がある、GC 内に引き込む際にも回転を維持する必要がある、引き込む段階の上行大動脈において、ステントがマルチ GW から外れてしまう可能性もあり、成功率および Migration 等のリスクの観点から推奨できない方法である。

ステントの明らかな変形がなく、GW がステント内にはない場合には、脱落したステント内に GW の挿

入を試みる。血管壁にステント近位部が接触している場合などは容易に通過することがある。GW がステント内を通過したら、上述の方法を検討する。脱落したステント内に GW を挿入するのが難しい場合は、脱落したステントの横で新しい GW を通過させ、ステントを脱落した場所に別のステントを留置して脱落したステントをカバーする。脱落したステントを新しいステントでカバーすることが許容されない部位にある場合は、ステントの回収を試みる必要がある。この場合は、新しい GW を脱落ステントの先まで通過させ、その GW を介してスネアを進め、前述の方法でのステント回収を試みる。

10. バルーンデフレーション不全

バルーンデフレーション困難となることはまれである。しかし、起こった場合には冠血流が阻害され血行動態が破綻することもあり、急な対応を要する。

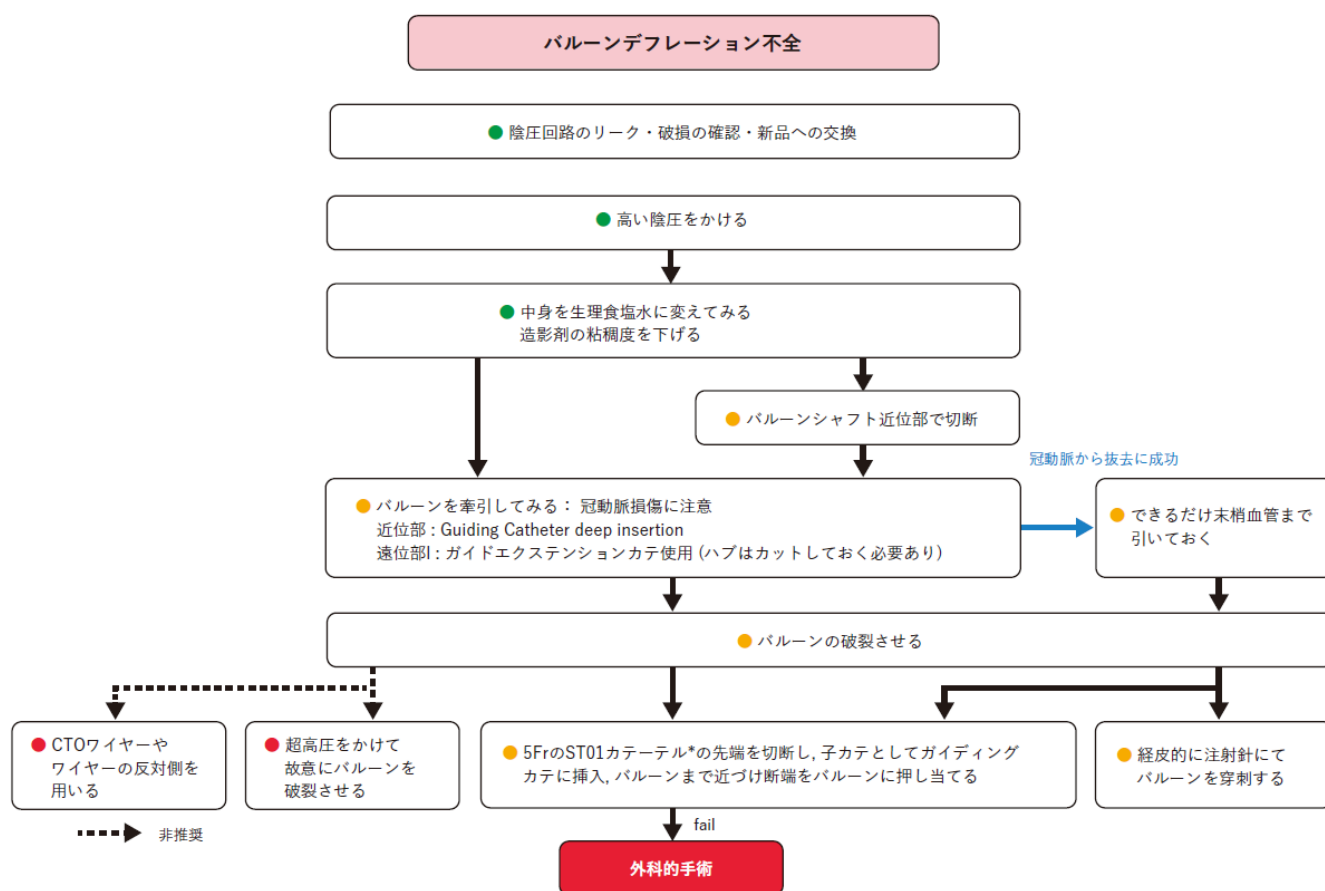


Figure 16：バルーンデフレーション不全に対するフローチャート

HeartrailIII 5 Fr ST01 カテーテル（テルモ社製）の先端を切断し、子カテとしてガイディングカテに挿入、バルーンまで近づけ断端をバルーンに押し当てることでバルーンを破裂させる

バルーンが遠位部にある場合は、子カテが届かないことがあるためあらかじめ Y コネクターをショートタイプの止血弁に交換しておく。押し当てるだけでバルーンが破裂できない場合は少し回転させてみる。

【発生机序】

原因としては、機械的閉塞、シャフトのキンク、バルーン収縮のための液体を供給する管腔の閉鎖、異物や結晶化した造影剤などの固形物による管腔の閉塞などが考えられる⁵⁴。特に、BCが収縮する前に強く引いたり、保護シースを抜いたりするときの力加減でバルーンシャフトが延伸し、インフレーションルーメンが狭くなることがある。またリラップ操作時に保護シースを回しながら入れたり、無理やり入れたりすることでねじれや座屈が生じ、インフレーションルーメンが狭くなることがある。これらによりチェックバルブのような状態に陥り、デフレーション困難となる。

【対処方法】

フローチャートを Figure 16 に示す。インデフレーター、3 方活栓の破損、リークがないか確認する。あれば新しい回路に交換する。そして強い陰圧をかける。2 本のインデフレーターを連結させて陰圧をかけることを検討する。30 cc バックロックシリンジの使用等も検討する。バックロックシリンジが利用できない場合は、10 cc シリンジを 30 cc シリンジのプッシュピースに挿入して陰圧を維持する。

インデフレーター内の造影剤を生理食塩水に変更する。生理食塩水をゆっくりとバルーンに注入する。生理食塩水で希釈して流体の粘度を下げると、粘性の低い流体を吸引するのに必要な陰圧が、粘性の高い流体を吸引するのに必要な陰圧よりも小さいため、バルーンの収縮に有効な場合がある。この際、圧力をかけすぎないように注意する必要がある。シャフト部ラプチャーを引き起こす可能性があるためである。次に、バルーンシャフトのできるだけ近位端で切断すると、造影剤がゆっくりと自然排出される場合がある。ただし、この後の加圧手技はできなくなるため注意が必要である。

バルーン回収を試みる

近位部であれば GC による損傷に注意しながら GC を深く挿入して牽引してみる。遠位部であればバルーンのハブを切断後、GEC をバルーンに沿わせて冠動脈内に挿入し、バルーンと共に抜去する。この際、過度に牽引すると、冠動脈損傷やバルーンシャフトの更なる延伸・断裂を引き起こすため注意する。バルーンを冠動脈から取り外すことに成功した場合は、バルーンをできるだけ末梢血管側に引く。冠動脈内よりも末梢血管で次の処置を続ける方が安全である。

バルーンを破裂させる

子カテを使用してバルーンを破裂させる方法がある⁵⁵。子カテの先端を 5 mm 程度の部分で直線的にカットする。カットの目的はカテ先を鋭利にすることではなく、カテーテル内のブレードを露出してあてることによってバルーンを破裂させる。このため、ブレードの露出面積が多いほど有効である。またブレードが編み込んであるカテーテルとなることから Heartrail II 5 Fr ST01 (テルモ社製) が推奨される。バルーンシャフト、GW に子カテをアンカーしながら親カテの中に挿入していく。この際バルーンが遠位部にあると子カテが届かない場合があるため、あらかじめ Y コネクターをショートタイプの止血弁に交換しておく。押し当てるだけでバルーンを破裂できない場合は、少し回転させてみる。GEC では十分なプッシュフォースを得られず、回転操作ができないため、有効でないことが多い。なお、先端をカットした子カテを血管内に持ち込むことで、血管が損傷するリスクも高まる。バルーンの位置が中枢側であれば可能な限り GC を深く挿入した状態で施行できるが、末梢側の場合は GC で子カテの先端を保護することができないため血管損傷に十分注意する。

CTO で使用する Stiff wire や GW の反対側でバルーンを穿通する方法もある。いくつかの成功症例報告はあるが^{54 56 57 58}、この方法は成功率も低く血管損傷の可能性もあり推奨しない。Stiff wire は透視下において視認性は良好であるが、閉塞バルーンに当たってもスリップして割れないことが多い。また、GW の反対側は透視下では見えない。そのためどちらも血管損傷のリスクが高く推奨しない。バルーンを超高压で加圧し破裂させる方法もある。この方法は、血管損傷の可能性や、バルーン部分ではなく閉塞近位部のシャフトが予期せず破裂し断裂する可能性もあるため推奨しない。

末梢血管までバルーンを引くことができたが、バルーン回収が困難な場合は、経皮的に 23G の注射針で突いて破ることができたという報告もある⁵⁹。経皮穿刺は、バルーンを触診したり、透視検査をガイドとして使用したりすることにより、簡単に行うことができる。シースを通して回収するには、BC の穿刺のみで十分な場合もあるが、シリンジによる造影剤の吸引はバルーンの収縮を促進し有益である。このようなバルーンを破裂させる手技は常に血管損傷リスクを伴うため、カバードステントは常に準備してお

く、これまでの手技で上手くいかなかった場合は、速やかに外科的除去を依頼する⁶⁰。

11. バイルアウトアルゴリズム作成に

あたり

今回のコンセンサスドキュメントに記載されている各種合併症における対処法は、タスクフォースメンバーの経験・症例報告を含む論文^{3 4 32 33 48 59 61}・実験的検討等に基づき、より十分な議論を重ねたうえで作成した。推奨する対処法の選択においては、数多くの方法論が存在する。このため、有効性や可能性を考慮したうえで、それらをすべて推奨するのは極めて困難な作業である。そこで、あえて熟練者の匠の技ではなく、比較的経験の浅い術者でも理解しやすく、安全かつ成功率が高く、単純にして確実性の高い対処法を推奨するものとした。なお、実際の緊急状況下では紙面の内容と決して一致するものではない。それぞれの状況に応じて本対処法を参考にしてもらいたい。当然ながら、通常手技とは異なる緊急事態であり、リスクは必ずしもゼロではなく、推奨する対処法が有効とならないこともある。また、カテーテル手技の一般的な理論に反する方法や、適応外のデバイスの使用・使用法があることもご理解いただきたい。

12. 結語

PCIは比較的合併症の少ない低侵襲的手技である。しかし、合併症が発生した場合、術者はそれをしっかりと管理しなくてはならない。合併症管理には、準備、早期の発見と全体を見据えた対応、効果的な手技の知識、チームベースのコミュニケーション、多職種連携が必要である。合併症に対するアルゴリズム的なアプローチは手技の成績を改善し、術者をサポートするものと期待する。

References

1. Yamaji K, Kohsaka S, Inohara T, Numasawa Y, Ando H, Wada H, Ishii H, Amano T, Miyata H and Ikari Y. Percutaneous coronary intervention during the COVID-19 pandemic in Japan: Insights from the nationwide registration data. *Lancet Reg Health West Pac.* 2022;22:100434.
2. Nakamura M, Yaku H, Ako J, Arai H, Asai T, Chikamori T, Daida H, Doi K, Fukui T, Ito T, Kadota K, Kobayashi J, Komiya T, Kozuma K, Nakagawa Y, Nakao K, Niinami H, Ohno T, Ozaki Y, Sata M, Takanashi S, Takemura H, Ueno T, Yasuda S, Yokoyama H, Fujita T, Kasai T, Kohsaka S, Kubo T, Manabe S, Matsumoto N, Miyagawa S, Mizuno T, Motomura N, Numata S, Nakajima H, Oda H, Otake H, Otsuka F, Sasaki KI, Shimada K, Shimokawa T, Shinke T, Suzuki T, Takahashi M, Tanaka N, Tsuneyoshi H, Tojo T, Une D, Wakasa S, Yamaguchi K, Akasaka T, Hirayama A, Kimura K, Kimura T, Matsui Y, Miyazaki S, Okamura Y, Ono M, Shiomi H and Tanemoto K. JCS/JSCVS 2018 Guideline on Revascularization of Stable Coronary Artery Disease. *Circ J.* 2022;86:477-588.
3. Giannini F, Candilio L, Mitomo S, Ruparelina N, Chieffo A, Baldetti L, Ponticelli F, Latib A and Colombo A. A Practical Approach to the Management of Complications During Percutaneous Coronary Intervention. *JACC Cardiovasc Interv.* 2018;11:1797-1810.
4. Doll JA, Hira RS, Kearney KE, Kandzari DE, Riley RF, Marso SP, Grantham JA, Thompson CA, McCabe JM, Karpalotis D, Kirtane AJ and Lombardi W. Management of Percutaneous Coronary Intervention Complications: Algorithms From the 2018 and 2019 Seattle Percutaneous Coronary Intervention Complications Conference. *Circ Cardiovasc Interv.* 2020;13:e008962.
5. Klaudel J, Glaza M, Klaudel B, Trenkner W, Pawłowski K and Szolkiewicz M. Catheter-induced coronary artery and aortic dissections. A study of the mechanisms, risk factors, and propagation causes. *Cardiol J.* 2022.
6. Eshtehardi P, Adorjan P, Togni M, Tevaearai H, Vogel R, Seiler C, Meier B, Windecker S, Carrel T, Wenaweser P and Cook S. Iatrogenic left main coronary

artery dissection: incidence, classification, management, and long-term follow-up. *Am Heart J*. 2010;159:1147-53.

7. Gómez-Moreno S, Sabaté M, Jiménez-Quevedo P, Vázquez P, Alfonso F, Angiolillo DJ, Hernández-Antolín R, Moreno R, Bañuelos C, Escaned J and Macaya C. Iatrogenic dissection of the ascending aorta following heart catheterisation: incidence, management and outcome. *EuroIntervention*. 2006;2:197-202.

8. Núñez-Gil IJ, Bautista D, Cerrato E, Salinas P, Varbella F, Omedè P, Ugo F, Ielasi A, Giammaria M, Moreno R, Pérez-Vizcayno MJ, Escaned J, De Agustin JA, Feltes G, Macaya C and Fernández-Ortiz A. Incidence, Management, and Immediate- and Long-Term Outcomes After Iatrogenic Aortic Dissection During Diagnostic or Interventional Coronary Procedures. *Circulation*. 2015;131:2114-9.

9. Shaukat A, Tajti P, Sandoval Y, Stanberry L, Garberich R, Nicholas Burke M, Gössl M, Henry T, Mooney M, Sorajja P, Traverse J, Bradley SM and Brilakis ES. Incidence, predictors, management and outcomes of coronary perforations. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2019;93:48-56.

10. Matsuura H, Mukai Y, Honda Y, Nishino S, Kang H, Kadooka K, Ogata K, Kimura T, Koiwaya H, Nishihira K, Kuriyama N and Shibata Y. Intra- and Postprocedural Management of Coronary Artery Perforation During Percutaneous Coronary Intervention. *Circ Rep*. 2022;4:517-525.

11. Ellis SG, Ajluni S, Arnold AZ, Popma JJ, Bittl JA, Eigler NL, Cowley MJ, Raymond RE, Safian RD and Whitlow PL. Increased coronary perforation in the new device era. Incidence, classification, management, and outcome. *Circulation*. 1994;90:2725-30.

12. Al-Lamee R, Ielasi A, Latib A, Godino C, Ferraro M, Mussardo M, Arioli F, Carlino M, Montorfano M, Chieffo A and Colombo A. Incidence, predictors, management, immediate and long-term outcomes following grade III coronary perforation. *JACC Cardiovasc Interv*. 2011;4:87-95.

13. Chen H, Liu Y, Slipchenko MN, Zhao X, Cheng JX and Kassab GS. The layered structure of coronary adventitia under mechanical load. *Biophys J*. 2011;101:2555-62.

14. Sugimoto T, Nomura T, Miyawaki D, Kato T, Keira N and Tatsumi T. Seesaw double GuideLiner(®) catheter technique for a successful bail-out procedure from blow-out type coronary perforation. *Cardiovasc Interv Ther*. 2017;32:396-400.

15. Goel PK. Delayed and repeated cardiac tamponade following microleak in RCA successfully treated with intra arterial sterile glue injection. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2009;73:797-800.

16. Al Mawed M, Vlachojannis M, Pula A and Gielen S. Delayed coronary perforation four days after percutaneous coronary intervention with subsequent cardiac tamponade: A case report. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2023;102:1061-1065.

17. Fujimoto Y, Tonoike N and Kobayashi Y. Successful delivery of polytetrafluoroethylene-covered stent using rapid exchange guide extension catheter. *Cardiovasc Interv Ther*. 2017;32:142-145.

18. Danek BA, Karatasakis A and Brilakis ES. Consequences and treatment of guidewire entrapment and fracture during percutaneous coronary intervention. *Cardiovasc Revasc Med*. 2016;17:129-33.

19. Hartzler GO, Rutherford BD and McConahay DR. Retained percutaneous transluminal coronary angioplasty equipment components and their management. *Am J Cardiol*. 1987;60:1260-4.

20. Gasparini GL, Sanz-Sanchez J, Regazzoli D, Boccuzzi G, Oreglia JA, Gagnor A, Mazzarotto P, Belli G and Garbo R. Device entrapment during percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions: incidence and management strategies. *EuroIntervention*. 2021;17:212-219.

21. Lotan C, Hasin Y, Stone D, Meyers S, Applebaum A and Gotsman MS. Guide wire entrapment during PTCA: a potentially dangerous complication. *Cathet Cardiovasc Diagn*. 1987;13:309-12.

22. Ghosh PK, Alber G, Schistek R and Unger F. Rupture of guide wire during percutaneous transluminal coronary angioplasty. Mechanics and management. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1989;97:467-9.

23. Karabulut A, Daglar E and Cakmak M. Entrapment of hydrophilic coated coronary guidewire tips: which form of management is best? *Cardiol J*. 2010;17:104-8.

24. Iturbe JM, Abdel-Karim AR, Papayannis A, Mahmood A, Rangan BV, Banerjee S and Brilakis ES. Frequency, treatment, and consequences of device loss and entrapment in contemporary percutaneous coronary interventions. *J Invasive Cardiol.* 2012;24:215-21.
25. Numasawa Y, Sakakura K, Yamamoto K, Yamamoto S, Taniguchi Y, Fujita H and Momomura SI. A novel side branch protection technique in coronary stent implantation: Jailed Corsair technique. *Cardiovasc Revasc Med.* 2017;18:295-298.
26. Shishido K, Moriyama N, Hayashi T, Yokota S, Miyashita H, Mashimo Y, Yokoyama H, Nishimoto T, Ochiai T, Tobita K, Yamanaka F, Mizuno S, Tanaka Y, Murakami M, Takahashi S and Saito S. The efficacy of modified jailed balloon technique for true bifurcation lesions. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2020;96:20-28.
27. Kilic H, Akdemir R and Bicer A. Rupture of guide wire during percutaneous transluminal coronary angioplasty, a case report. *Int J Cardiol.* 2008;128:e113-4.
28. Devidutta S and Lim ST. Twisting wire technique: An effective method to retrieve fractured guide wire fragments from coronary arteries. *Cardiovasc Revasc Med.* 2016;17:282-6.
29. Leibundgut G, Achim A and Krivoshei L. Safe and predictable transcatheter removal of broken coronary guidewires: the 'knuckle-twister' technique: a case series report. *Eur Heart J Case Rep.* 2023;7:ytad311.
30. Burns AT, Gutman J and Whitbourn R. Side-branch wire entrapment during bifurcation PCI: avoidance and management. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2010;75:351-3.
31. Tanaka K, Okamura A, Iwamoto M, Watanabe S, Nagai H, Sumiyoshi A, Suzuki S, Tanaka H, Koyama Y, Iwakura K and Fujii K. Wire Cutting Method Using Rotational Atherectomy for Stretched Spring Wire During Coronary Intervention. *JACC Case Rep.* 2021;3:1842-1848.
32. Hiraya D, Sato A, Hoshi T, Sakai S, Watabe H and Ieda M. Incidence, retrieval methods, and outcomes of intravascular ultrasound catheter stuck within an implanted stent: Systematic literature review. *J Cardiol.* 2020;75:164-170.
33. Sakakura K, Ito Y, Shibata Y, Okamura A, Kashima Y, Nakamura S, Hamazaki Y, Ako J, Yokoi H, Kobayashi Y and Ikari Y. Clinical expert consensus document on rotational atherectomy from the Japanese association of cardiovascular intervention and therapeutics. *Cardiovasc Interv Ther.* 2021;36:1-18.
34. Sakakura K, Ito Y, Shibata Y, Okamura A, Kashima Y, Nakamura S, Hamazaki Y, Ako J, Yokoi H, Kobayashi Y and Ikari Y. Clinical expert consensus document on rotational atherectomy from the Japanese association of cardiovascular intervention and therapeutics: update 2023. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38:141-162.
35. Sakakura K, Ako J, Wada H, Naito R, Funayama H, Arao K, Kubo N and Momomura S. Comparison of frequency of complications with on-label versus off-label use of rotational atherectomy. *Am J Cardiol.* 2012;110:498-501.
36. Kaneda H, Saito S, Hosokawa G, Tanaka S and Hiroe Y. Trapped Rotablator: kokesi phenomenon. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2000;49:82-4; discussion 85.
37. Sakakura K, Ako J and Momomura S. Successful removal of an entrapped rotablation burr by extracting drive shaft sheath followed by balloon dilatation. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011;78:567-70.
38. Grise MA, Yeager MJ and Teirstein PS. A case of an entrapped rotational atherectomy burr. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2002;57:31-3.
39. Sakakura K, Taniguchi Y, Tsukui T, Yamamoto K, Momomura SI and Fujita H. Successful Removal of an Entrapped Rotational Atherectomy Burr Using a Soft Guide Extension Catheter. *JACC Cardiovasc Interv.* 2017;10:e227-e229.
40. Hyogo M, Inoue N, Nakamura R, Tokura T, Matsuo A, Inoue K, Tanaka T and Fujita H. Usefulness of conquest guidewire for retrieval of an entrapped rotablator burr. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2004;63:469-72.
41. Tanaka Y and Saito S. Successful retrieval of a firmly stuck rotablator burr by using a modified STAR technique. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2016;87:749-56.
42. Kimura M, Shiraishi J and Kohno Y. Successful retrieval of an entrapped Rotablator burr using 5 Fr guiding catheter. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011;78:558-64.

43. Kanazawa T, Kadota K and Mitsudo K. Successful rescue of stuck rotablator burr entrapment using a Kiwami straight catheter. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2015;86:942-5.
44. Tehrani S, Achan V and Rathore S. Percutaneous Retrieval of an Entrapped Rotational Atherectomy Burr Using Novel Technique of Controlled Traction and Counter Traction. *Cardiovasc Revasc Med.* 2021;28s:132-135.
45. Prasan AM, Patel M, Pitney MR and Jepson NS. Disassembly of a rotablator: getting out of a trap. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2003;59:463-5.
46. Assad-Kottner C, Hakeem A and Uretsky BF. Modified dual guide catheter ("ping-pong") technique to treat left internal mammary artery graft perforation. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2015;86:E28-31.
47. Gambhir DS, Batra R, Singh S, Kaul UA and Arora R. Burr entrapment resulting in perforation of right coronary artery: an unreported complication of rotational atherectomy. *Indian Heart J.* 1999;51:307-9.
48. Brilakis ES, Best PJ, Elesber AA, Barsness GW, Lennon RJ, Holmes DR, Jr., Rihal CS and Garratt KN. Incidence, retrieval methods, and outcomes of stent loss during percutaneous coronary intervention: a large single-center experience. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2005;66:333-40.
49. Alomar ME, Michael TT, Patel VG, Altomare CG, Rangan BV, Cipher D, Banerjee S and Brilakis ES. Stent loss and retrieval during percutaneous coronary interventions: a systematic review and meta-analysis. *J Invasive Cardiol.* 2013;25:637-41.
50. Bolte J, Neumann U, Pfaffert C, Vogt A, Engel HJ, Mehmehl HC and von Olshausen KE. Incidence, management, and outcome of stent loss during intracoronary stenting. *Am J Cardiol.* 2001;88:565-7.
51. Kühn AL, Singh J and Puri AS. Migrated coronary stent into the left internal carotid artery: a rescue technique. *BMJ Case Rep.* 2023;16.
52. Ogawa T, Inoue Y, Aizawa T, Morimoto S, Ogawa K, Nagoshi T, Minai K, Kawai M and Yoshimura M. Investigation of the small-balloon technique as a method for retrieving dislodged stents. *Cardiovasc Interv Ther.* 2023;38:309-315.
53. Yokoi K, Sumitsuji S, Kaneda H, Siegrist PT, Okayama K, Ide S, Mizote I, Kumada M, Kuroda T, Tachibana K, Sakata Y and Nanto S. A novel homemade snare, safe, economical and size-adjustable. *EuroIntervention.* 2015;10:1307-10.
54. Gilchrist IC. Troubleshooting and treating the balloon that fails to deflate. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011;77:62.
55. Takama T, Ito Y, Ishimori H, Tsukahara R and Muramatsu T. Failure of a balloon to deflate during post dilatation in a coronary artery. *Cardiovasc Interv Ther.* 2015;30:57-60.
56. Bostan M, Satiroğlu O, Erdoğan T, Durakoğlugil ME and Uğurlu Y. A rare complication: Undeatable balloon of the stent. *Interv Med Appl Sci.* 2013;5:43-5.
57. Trivedi R. Double jeopardy: Failure to deflate stent balloon in rescue angioplasty. *Interv Med Appl Sci.* 2019;11:128-130.
58. Girish MP, Gupta MD and Tyagi S. Entrapped coronary angioplasty stent balloon due to nondeflation: percutaneous retrieval by a simple technique. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011;77:58-61.
59. Leibundgut G, Degen C and Riede F. Transcutaneous Puncture of an Undeatable Coronary Angioplasty Balloon Catheter. *Case Rep Cardiol.* 2018;2018:6252809.
60. Chang TM, Pellegrini D, Ostrovsky A and Marrangoni AG. Surgical management of entrapped percutaneous transluminal coronary angioplasty hardware. *Tex Heart Inst J.* 2002;29:329-32.
61. Al-Moghairi AM and Al-Amri HS. Management of retained intervention guide-wire: a literature review. *Curr Cardiol Rev.* 2013;9:260-6.