

医療事故の再発防止に向けた提言
第19号

肺動脈カテーテルに係る
死亡事例の分析

第1部 開心術編

第2部 検査編

2024年2月

医療事故調査・支援センター
(一般社団法人 日本医療安全調査機構)

本提言の関連資料

- ・ 提言の解説動画
- ・ 肺動脈カテーテルの縫込み事故防止のために (ポスター)



「再発防止に向けた提言書」の趣旨

本提言書は、医療事故調査・支援センターに様々な医療機関から報告された個々の死亡事例の調査報告書をもとに、類似事例を集積し、その共通点・類似点を調査・分析して、情報提供するものです。

本提言書の位置づけは、学会から出される指針と異なり、「死亡に至ることを回避する」という視点で、再発防止の考え方を示したものであり、これにより、医療従事者の裁量を制限したり、あるいは新たな義務や責任を課したりするものではありません。

このようなことを踏まえ、提言書は、利用される方が個々の医学的判断、患者の状況、年齢、本人やご家族の希望、さらには、医療機関の診療体制や規模等を総合的に勘案して、ご活用していただきたくお願いします。

なお、この提言書は、医療法第6条の16の規定に基づき、同様の死亡事例が発生しないよう、再発防止と医療安全の確保を目的として情報提供するものであり、係争等の解決の手段として利用されることを目的としているものではありません。

医療事故の再発防止に向けた提言（第19号）の 公表にあたって

一般社団法人 日本医療安全調査機構
理事長 門脇 孝

一般社団法人日本医療安全調査機構は、2015年10月より開始された医療事故調査制度に基づき、医療事故調査・支援センターとして、医療の安全を確保し医療事故の再発防止、医療の質向上を目指すべく日々取り組んでおります。

医療は近年、ますます高度化・多様化してきており、その中で医療機関は重大な医療事故が起こらないよう院内において日々予防に取り組まれておられることと思います。しかしながら、医療の提供の場においては時に予期しない形で患者が死亡するという重大事象が発生する場合があります、それらの事例をセンターに報告いただいております。制度開始以来、8年4か月が経過し、センターに報告された院内調査結果報告書は2,500件を超えました。この結果報告書から「医療事故の再発防止に向けた提言」として、これまでに18の提言書を公表してきました。

このたび、センターとして第19号の医療事故の再発防止に向けた提言をまとめるに至り、分析課題として「肺動脈カテーテルに係る死亡事例」を取り上げました。肺動脈カテーテル挿入・抜去の操作において、死亡に至る事態が発生することは稀ではあるものの、センターに複数の死亡事例が報告されているというその重大性に鑑み、今回の提言をまとめました。なお、対象事例は、医療事故調査制度において報告された開心術事例5例、肺動脈カテーテル検査事例4例の9事例となります。

医療事故調査制度の目的は、医療現場の安全の推進です。安全な医療を提供するためには、多方面からの様々な取り組みや努力が求められます。「医療事故の再発防止に向けた提言」は、センターに報告されている死亡事例をその時点の専門的知見および医療安全の観点から検討し、「予期せぬ死亡を回避する」ために作成しております。広い知見から検討される学術団体などから発表されるガイドラインとは区別されるものであり、また、医療従事者の裁量を制限したり、義務づけたりするものではありません。各医療機関においては、規模や体制など、その環境や事情が異なっていることなどありますが、本提言書がそれぞれの医療機関の肺動脈カテーテルに係る事故の回避に広く活用されることを祈念いたします。また、センターとしては、本制度がその一助となるよう、臨床現場に資する提言になっているかを今後も検証しながら、報告事例をもとに現場に即した情報提供を行うことに引き続き努めてまいります。

最後になりますが、本提言書をまとめるにあたり、院内調査結果報告書や追加情報提供などのご協力をいただいた医療機関およびご遺族、事例を詳細に分析し再発防止の検討をいただいた専門家の皆様のご理解とご協力に心より感謝申し上げます。

肺動脈カテーテルに係る死亡事例の分析

第1部 開心術編

<関連する職種> 心臓血管外科医、麻酔科医、集中治療医
開心術に関わる看護師
臨床工学技士 など

<開心術5事例の特徴>

- ・手術操作に伴う肺動脈カテーテルの意図しない前進により、肺動脈を損傷し肺出血が生じた事例は、2例であった。
- ・手術中、縫合の際に心臓壁に肺動脈カテーテルを縫込み、抜去時に心臓損傷が生じた事例は、3例であった。

【適応の検討】

提言 1 肺動脈カテーテルの使用は致命的合併症のリスクを有するため、開心術全症例に一律に挿入するのではなく、肺動脈カテーテルを挿入する必要性とリスクを評価し、適応を検討する。

【肺動脈損傷の予防と対応】

提言 2 《肺動脈損傷を防ぐための操作》
人工心肺開始に伴う心腔内容量減少や、手術中の心臓の脱転や圧排の操作により肺動脈カテーテルが意図せず前進する可能性がある。人工心肺開始前に、右肺動脈主幹部近傍（肺門部付近）から3～5cm程度引き抜き、さらに肺動脈カテーテル先端圧に変化がないことを手術操作ごとに確認する。

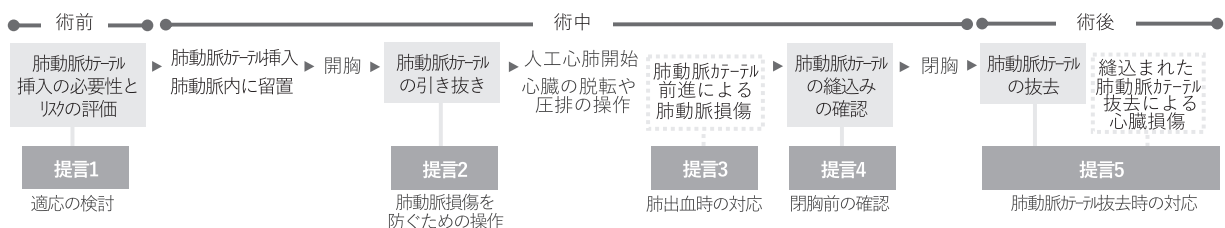
提言 3 《肺出血時の対応》
手術中に肺出血を認めた場合は、まず気管支ブロッカーを挿入し、対側肺への血液の流入を防ぐ。循環動態の安定と肺出血量の減少を目的としたECMOの装着や経カテーテル的止血術あるいは肺葉切除などの外科的治療を検討する。

【肺動脈カテーテルの縫込みの予防と対応】

提言 4 《閉胸前の確認》
外科医は術野の縫合操作終了から閉胸までの間に、糸掛けを行ったすべての部位をつまみ上げるように持ち上げ、触診で肺動脈カテーテルが縫込まれていないか確認する。その後、麻酔科医は肺動脈カテーテルの可動性を確認し、同時に外科医は縫込みの可能性がある部位の引きつれがないか視診・触診で確認する。

提言 5 《肺動脈カテーテル抜去時の対応》
肺動脈カテーテル抜去時には、肺動脈カテーテルが縫込まれている可能性を念頭に置き、抵抗に気づけるような速度でゆっくり引き抜く。わずかでも抵抗がある場合は抜去を中止し、X線透視などで確認を試みる。縫込みが疑われる場合には、手術室で開胸し抜去する。

【肺動脈カテーテルの挿入の判断から抜去の流れと提言内容】



第2部 検査編

<関連する職種>循環器内科医、呼吸器内科医、集中治療医
検査に関わる看護師
臨床工学技士、診療放射線技師 など

<肺動脈カテーテル検査4事例の特徴>

- ・肺動脈カテーテル検査中に肺動脈を損傷し、肺出血を生じた事例は4例あり、咳嗽、血痰などの呼吸器症状が出現した。
- ・肺動脈カテーテル挿入時にガイドワイヤーを使用した事例は3例、バルーンを適正容量以上膨張させた事例は3例であった。

【適応の検討】

提言6 肺動脈カテーテル検査は致命的合併症のリスクを伴う。肺高血圧症の確定診断や病型診断には必須であるが、術前検査などにおいては心臓超音波検査で代用可能かを検討する。高齢、女性、血液凝固異常、ステロイド薬の長期使用など肺動脈損傷および致命的出血のリスクを評価し、肺動脈カテーテル検査の必要性とリスクを踏まえ検査の適応を検討する。

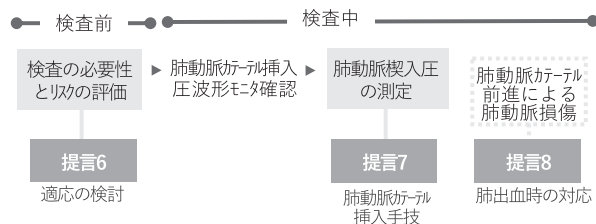
【肺動脈カテーテル挿入手技】

提言7 ・肺動脈楔入圧が測定できない時に肺動脈内でバルーンの膨張と収縮を繰り返しているとたわんだカテーテルが末梢に進む場合があるため、カテーテルはX線透視下でカテーテルの先端位置を観察しながら操作する。
・カテーテル先端が末梢に迷入していると適正容量であっても肺動脈を損傷する可能性があるため、ゆっくりと抵抗を感じながら空気を注入する。また、抵抗を感じなくても適正容量以上の空気の注入はしない。
・ガイドワイヤーは可能な限り使用せず、やむを得ず使用する際は、肺動脈カテーテル先端よりガイドワイヤーが突出していないことを確認する。
・肺動脈楔入圧が測定できない場合には、固執せず他の指標で代用することを検討する。

【肺出血時の対応】

提言8 肺動脈カテーテル検査中、咳嗽や血痰などの呼吸器症状を認めた場合は、まず肺動脈の損傷を疑い直ちに手技を中止する。血管造影で出血部位の特定を行い、経カテーテル的止血術などで止血を試みる。

【肺動脈カテーテル検査実施の判断および検査手技と提言内容】



目 次

1. はじめに	5
1) 肺動脈カテーテルについて	5
2) 専門分析部会設置の経緯と位置づけ	6
3) 提言に関連するこれまでの医療安全の主な取り組み	6
2. 分析方法	7
1) 対象事例の抽出	7
2) 対象事例の情報収集と整理	7
3) 専門分析部会の実施	7
第1部 開心術編	9
3. 開心術編における対象事例の概要	10
4. 開心術編における再発防止に向けた提言と解説	14
第2部 検査編	29
5. 検査編における対象事例の概要	30
6. 検査編における再発防止に向けた提言と解説	32
7. 学会・企業等へ期待（提案）したい事項	38
8. おわりに	39
9. 文献	40
10. 資料	
肺動脈カテーテル（開心術）情報収集項目	42
肺動脈カテーテル（検査）情報収集項目	43

1. はじめに

1) 肺動脈カテーテルについて

1970年にSwanとGanzら¹⁾が初めて臨床使用した肺動脈カテーテルは、重症心不全、肺高血圧症、ショックなどの重症患者において、血行動態の把握や水分管理、カテコラミンや血管拡張薬をはじめとする心血管作動薬の効果判定や投与量調節など、診断、治療方針の決定に広く用いられてきた。

肺動脈カテーテルにより測定しうるパラメーターとして、①肺動脈圧、②肺動脈楔入圧、③中心静脈圧、④心拍出量、⑤混合静脈血酸素飽和度、⑥右室駆出率などがあり、そこから肺血管抵抗、体血管抵抗、右室容積など血行動態を把握するために重要な指標が算出される。多くはカテーテルを肺動脈内に進めることによって初めて正確な値を得ることができ、他の手法で完全に代替することは難しい。開心術においても、最近では術中管理に経食道心エコーが汎用されるようになったが、肺動脈カテーテルは、今なお術中および周術期モニタとして世界中で広く用いられている。しかし、肺動脈カテーテルの有効性に関しては、これまで複数のメタアナリシスなどが実施されているがいずれも有意な結果は示されていない²⁾。肺動脈カテーテルは治療そのものではなく、あくまで治療の方針決定の手段であることが、有用性の立証を難しくしているとも考えられる。しかし、治療法を選択する際、肺動脈カテーテルが有意義であることを多くの医師は経験的に認識しており、その使用を続けているというのが現状であろう。

一方で、肺動脈カテーテル挿入に際して生じうる肺動脈損傷や心穿孔など様々な合併症も報告されており、死亡に至った症例も少なからず存在する。しかしながら、これまでその合併症の発生頻度などに関する本邦での実態は明らかではなく、世界的にも報告は少なかった³⁾。日本心臓血管外科学会では、本邦で発生した開心術後の肺動脈カテーテル引き抜き時の心臓損傷死亡事例を契機とし、心臓手術時の肺動脈カテーテル使用についての現状把握を目的としたアンケート調査を2019年に行った⁴⁾。その結果から、心臓手術の9割以上に肺動脈カテーテルを使用している医療機関がおよそ70%を占めることが明らかになった。依然として多くの医療機関で開心術時に肺動脈カテーテルがルーティンに使用されていた。また約30%の医療機関で肺動脈カテーテルの縫込みを経験しており、肺動脈損傷あるいは肺出血を経験した医療機関も約20%あった。一方、肺動脈カテーテルは開心術時のみではなく、確定診断や病型診断、心不全患者における血行動態を把握するため、カテーテル検査室や集中治療室においても使用される。

肺動脈カテーテル使用に関し、開心術時と肺動脈カテーテル検査時では、使用目的や肺動脈カテーテル挿入中の状況が異なることから、本提言書では「開心術編」と「検査編」に分けて提言した。各編で肺動脈カテーテル使用の適応から挿入中の取り扱い、抜去までの一連の過程において、肺動脈カテーテルを安全に使用できることを目標とした。本提言がそれぞれの医療機関における肺動脈カテーテルに関連した事故の回避に広く活用されることを祈念する。

2) 専門分析部会設置の経緯と位置づけ

医療事故調査・支援センター（以下「センター」）における再発防止の検討は、報告された事例から再発防止委員会（P 44 参照）が分析課題（テーマ）を選定し、テーマごとにその専門領域の医療従事者からなる専門分析部会（P 44 参照）を設置し、提言をとりまとめている。

肺動脈カテーテルは、手術や検査、重症患者管理などにおいて、外科、内科、麻酔科、集中治療科など様々な診療科で使用されており、手術と検査では手技や操作が異なる。対象事例の開心術事例では、手術操作に伴う肺動脈損傷や肺動脈カテーテルの縫込みにより心臓損傷を来し死亡に至っていた。また検査事例では、肺動脈カテーテル挿入手技に伴う肺動脈損傷により死亡に至っていた。そのため、本提言書では開心術と検査に分けて実行可能な再発防止策を講じていくことが重要と考え、肺動脈カテーテルに係る死亡事例を分析するため専門分析部会を設置した。

3) 提言に関連するこれまでの医療安全の主な取り組み

- 日本心臓血管外科学会・日本心臓血管麻酔学会合同ステートメント作成委員会
心臓手術時の肺動脈カテーテル使用に関するステートメント（2020年3月3日）⁵⁾

2. 分析方法

1) 対象事例の抽出

センターに届けられた医療事故報告（2015年10月～2022年11月）の院内調査結果報告書2,207件のうち、肺動脈カテーテルに関連した死亡事例は9例であった。専門分析部会においては、開心術事例5例、肺動脈カテーテル検査事例4例の計9例を分析対象とした。

2) 対象事例の情報収集と整理

センターへ提出された院内調査結果報告書に記載された情報をもとに専門分析部会で分析し、確認が必要な部分に関しては、可能な範囲で報告医療機関の協力を得て追加の情報収集をした。それらを情報収集項目（10.資料参照）に沿って整理した。




3) 専門分析部会の実施

- 第1回 2022年4月25日
- 第2回 2022年8月31日
- 第3回 2022年11月29日
- 第4回 2023年7月19日
- ・その他、電子媒体などによる意見交換を行った。

第1部 開心術編

<開心術編に関連する職種>

関連する診療科、職種の皆様、是非ご一読ください。

-  心臓血管外科医、麻酔科医、集中治療医
-  開心術に関わる看護師
-  臨床工学技士 など

3. 開心術編における対象事例の概要

事例概要は、院内調査結果報告書および追加の情報をもとに専門分析部会が以下の①～⑤に整理し、作成した。

①患者情報、②肺動脈カテーテル挿入～留置までの経過、③術中の肺動脈カテーテル操作、④出血判明後の経過、⑤死因など

<肺動脈カテーテルの意図しない前進により肺動脈損傷が生じた事例（推定含む）>






事例 1 肺動脈損傷

- ① 70歳代、女性、身長 150 cm 台。高度大動脈弁狭窄症、心房細動の患者。大動脈弁置換術、肺静脈隔離術、左心耳閉鎖術を施行。手術 3 日前より抗血栓薬を休薬。
- ② 右内頸静脈より肺動脈カテーテルを挿入し、肺動脈楔入圧測定後、48 cm で肺動脈内に留置。
- ③ 人工心肺開始後、肺動脈カテーテルを 2～3 cm 引き抜いた。肺静脈隔離術および左心耳閉鎖術の際、術野確保のため肺動脈を含めた心臓全体を右方へ圧排する操作を行った。
- ④ 人工心肺離脱中、気管チューブ内に出血を認めたため、対側肺への流入を防ぐために気管支ブロッカーの挿入を試みたが出血が多く困難であった。プロタミン硫酸塩を投与し、気管支ブロッカーを右気管支に挿入できたが、出血が続き右肺中下葉切除を行った。肺出血による循環不全などから心筋壁の浮腫、心膜炎、縦隔炎に至り、手術から約 1 か月後に死亡。
- ⑤ 死因は、右中葉肺門部の肺動脈の断裂（約 2 mm）に伴う肺出血を契機とした多臓器不全。死亡時画像診断（Autopsy imaging、以下「Ai」）無、解剖有。

事例 2 肺動脈損傷（推定）

- ① 80歳代、女性、身長 150 cm 台。大動脈弁狭窄症、心房細動の患者。大動脈弁形成術、メイズ手術を施行。手術前より抗血栓薬休薬（期間不明）。
- ② 右内頸静脈より肺動脈カテーテルを挿入したが、肺動脈楔入圧の測定が困難であったため、カテーテル先端を肺動脈内に留置し（長さ不明）、肺動脈圧で代用。
- ③ 人工心肺開始後、肺動脈カテーテルを数 cm 引き抜いた（長さ不明）。
- ④ 大動脈遮断解除後、右肺門部付近に出血を認めた。肺動脈損傷を疑い修復を試みたが、出血部位の特定ができず止血困難。右肺全摘術を行ったが、手術から 2 日後に死亡。
- ⑤ 死因は、右肺動脈主幹部と右上葉肺動脈の分岐部（推定）の損傷による出血性ショック。Ai 有、解剖有（出血時、止血操作で複数回縫合が行われており出血点特定に至らず）。

図 1 対象事例の経過（術中に肺動脈損傷が生じた事例）

	事例1	事例2
性別/年齢	70歳代/女性	80歳代/女性
術式	大動脈弁置換術、 肺静脈隔離術、 左心耳閉鎖術	大動脈弁形成術、 メイズ手術
穿刺部位	右内頸静脈	右内頸静脈
損傷部位	右中葉肺門部の肺動脈の 断裂(約2mm)	右肺動脈主幹部と 右上葉肺動脈の分岐部(推定)
挿入し留置	 肺動脈カテーテル  圧波形モニター  気管支ブロッカー  肺動脈楔入圧測定 48cmで留置	肺動脈楔入圧測定困難 ↓ 肺動脈圧で代用 留置位置不明
	人工心肺開始後 2~3cm引き抜いた 肺静脈隔離術および 左心耳閉鎖術の際 肺動脈を含めた心臓 全体を右方へ圧排 大動脈遮断解除  肺動脈圧波形確認 気管チューブ内に出血確認	人工心肺開始後 数cm引き抜いた 心臓脱転操作 大動脈遮断解除 圧波形不明 右肺門部付近から 出血
	挿入困難 プロタミン硫酸塩投与 右気管支に挿入 左肺分離換気開始 出血持続 右肺中下葉切除 止血困難 ECMO装着	局所止血剤貼付 プロタミン硫酸塩投与 出血持続 右肺全摘術 止血困難 PCPS装着
出血後の対応		
手術時間	約13時間	約11時間
死亡までの期間	手術から約1か月後	手術から2日後

事例概要は、院内調査結果報告書および追加の情報をもとに専門分析部会が以下の①～⑤に整理し、作成した。

- ①患者情報、②肺動脈カテーテル挿入～留置までの経過、③術中操作、④カテーテル抜去後の経過、⑤死因など

<肺動脈カテーテルを縫込んだ事例>

事例3 肺動脈カテーテル縫込み

- ① 70歳代、女性、身長150 cm台。僧帽弁閉鎖不全症、狭心症の患者。僧帽弁形成術、冠動脈バイパス術を施行。手術3日前より抗血栓薬を休薬。
- ② 右内頸静脈より肺動脈カテーテルを挿入し留置。
- ③ 術中、下大静脈カニューレ挿入部、右房切開部、上大静脈カニューレ挿入部に糸掛けを行った。外科医は、閉胸前に縫込まれていないか確認するために上大静脈カニューレ挿入部を触診で確認。
- ④ 術後2日目、集中治療室で肺動脈カテーテル抜去中、約20 cm引き抜いたところで抵抗があり、胸痛を訴えたため中止。直後に胸腔、心嚢、前縦隔ドレーンより暗赤色の血液が大量流出し、血圧低下。緊急開胸止血術で、下大静脈カニューレ挿入部と思われる部位に右房壁欠損を認めため縫合閉鎖。しかし、術後も自己心拍が得られず、同日死亡。
- ⑤ 死因は、右房壁損傷による出血性ショック。Ai無、解剖無。

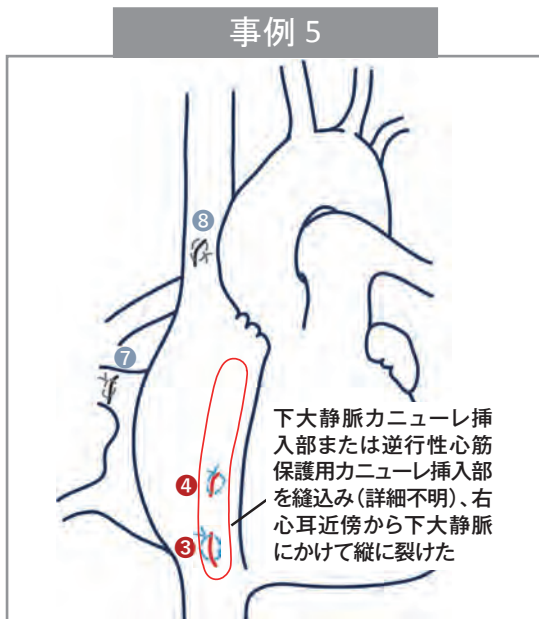
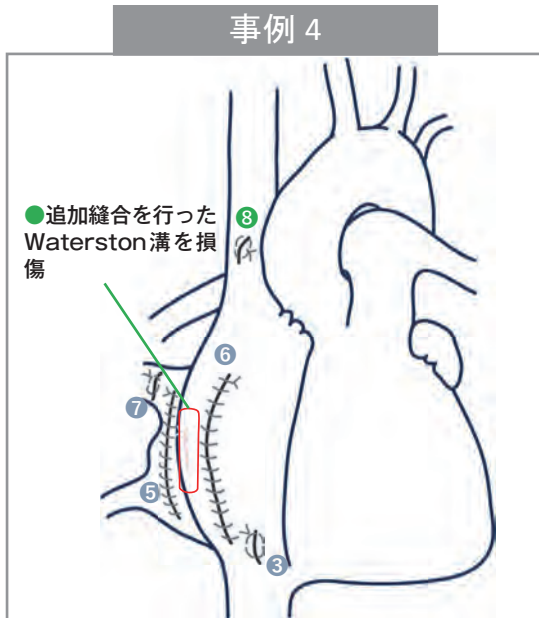
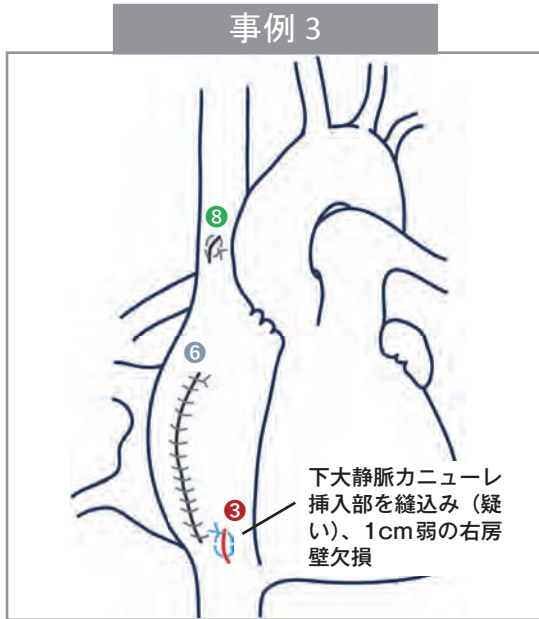
事例4 肺動脈カテーテル縫込み

- ① 70歳代、男性、身長160 cm台。僧帽弁閉鎖不全症、肺高血圧症の患者。僧帽弁形成術、三尖弁形成術施行。抗血栓薬の使用は無。
- ② 右内頸静脈より肺動脈カテーテルを挿入し留置。
- ③ 術中、下大静脈カニューレ挿入部、右側左房切開部、右房切開部、左房・左室ベントカニューレ挿入部、上大静脈カニューレ挿入部に糸掛けを行った。Waterston溝の剥離中に右房側を損傷したため縫合したが、目視による確認が困難な部位であったため外科医は肺動脈カテーテルが縫込まれていないか触診で確認。閉胸前に縫込まれていないか確認するために、麻酔科医は肺動脈カテーテルを2～3 cm動かし、外科医は肺動脈カテーテルの可動と上大静脈カニューレ挿入部、右房壁の縫合部に引きつれがないことを確認。
- ④ 術後1日目、集中治療室で肺動脈カテーテルを抜去直後に動脈血圧低下、ドレーン排液が増量。緊急開胸止血術でWaterston溝に損傷を認め縫合閉鎖。術後、重篤な脳虚血障害が回復せず、手術から約2週間後に死亡。
- ⑤ 死因は、右房壁損傷による出血性ショックを契機とした多臓器不全。Ai無、解剖有。

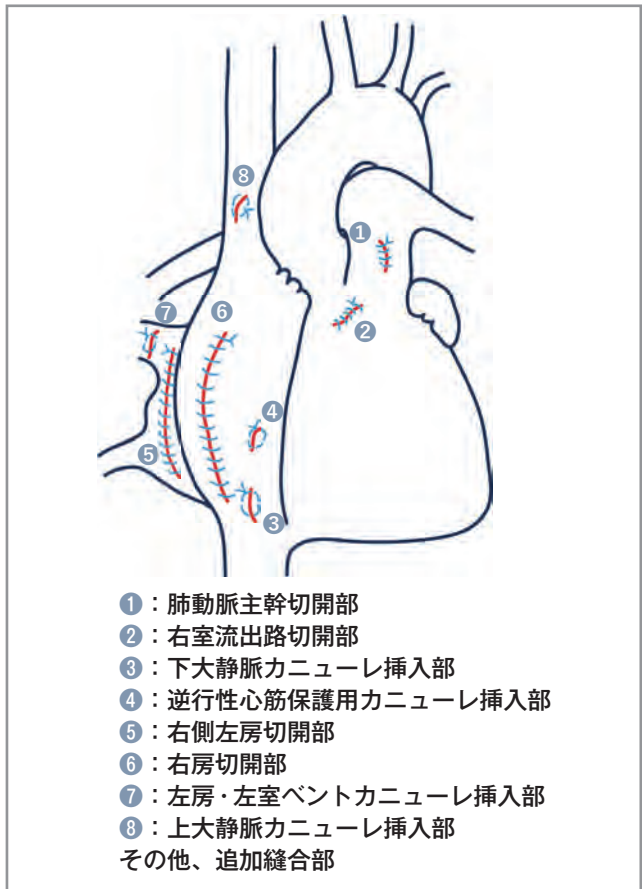
事例5 肺動脈カテーテル縫込み

- ① 60歳代、女性、身長150 cm台。大動脈弁狭窄症の患者。大動脈弁置換術施行。抗血栓薬の使用は無。
- ② 右内頸静脈より肺動脈カテーテル挿入を試みたが肺動脈まで挿入できず、右房内にとどめた状態で手術を開始。
- ③ 術中、下大静脈カニューレ挿入部、逆行性心筋保護カニューレ挿入部、左房・左室ベントカニューレ挿入部、上大静脈カニューレ挿入部に糸掛けを行った。弁置換後、術野で肺動脈カテーテル挿入を再度試みたが、経食道心エコーでカテーテル先端を肺動脈内に確認できず閉胸（縫込みの確認未実施）。
- ④ 閉胸後、X線透視で右房内の肺動脈カテーテルのたわみを確認。約10 cmゆっくりと引き抜いた直後、心嚢・前縦隔ドレーンより血液が大量流出。緊急開胸止血術で右心耳近傍から下大静脈近傍まで損傷を認め縫合閉鎖。肺動脈カテーテルをすべて抜去しようとした際に抵抗を認めたため、上大静脈を切開すると、肺動脈カテーテル先端から約5 cmの位置に組織片が縫合糸とともに残存しており、縫込まれていたことが判明。術後、低酸素脳症、多臓器不全に至り回復せず、手術から約4か月後に死亡。
- ⑤ 死因は、右房壁損傷による出血性ショックを契機とした多臓器不全。Ai無、解剖有。

図2 肺動脈カテーテルを縫込んだ事例



(参考) 肺動脈カテーテルの縫込みが生じやすい部位



- ：肺動脈カテーテルが縫込まれていないか確認を行った部位
- ：損傷部位

4. 開心術編における再発防止に向けた提言と解説

【適応の検討】

提言 1 肺動脈カテーテルの使用は致命的合併症のリスクを有するため、開心術全症例に一律に挿入するのではなく、肺動脈カテーテルを挿入する必要性とリスクを評価し、適応を検討する。

●開心術の肺動脈カテーテル使用に伴う致命的合併症のリスク

開心術の周術期管理において、血行動態をリアルタイムで正確に把握し、迅速に適正化を図ることは重要である。血行動態を把握するために様々なモニタリング方法が用いられるが、その中でも肺動脈カテーテルから得られる肺動脈圧、肺動脈楔入圧、中心静脈圧、心拍出量、混合静脈血酸素飽和度（以下「SvO₂」）、右室駆出率などは血行動態の最適化を図る際に重要な情報である。特に高度心不全や低心機能における開心術で有効であるとされる。一方で肺動脈は、体循環系の動脈に比べ平滑筋線維と弾性線維の分布が疎になっており⁶⁾、血管壁は約1 mmと薄い。そのため、手術中の肺動脈カテーテルによる肺動脈損傷の危険性がある（提言2、3参照）。また、肺動脈カテーテルが縫込まれた状態で引き抜くことによる心臓損傷（提言4、5参照）など致命的合併症のリスクを有する。

開心術事例5例においては、手術中、肺動脈カテーテルにより肺動脈損傷が生じた事例（推定含む）が2例、肺動脈カテーテルを心臓壁に縫込み、その後抜去したことにより右房を損傷した事例が3例であった。肺動脈カテーテル挿入にあたっては、致命的合併症が起こりうることを認識した上で適応を検討することが重要である。

●肺動脈カテーテルの適応を患者ごとに検討

2019年の日本心臓血管外科学会のアンケート調査によると、心臓手術の9割以上に肺動脈カテーテルを使用していると回答した医療機関は72%⁴⁾であり、多くの医療機関で使用されている事実が明らかになった（コラム1参照）。

開心術事例5例の医療機関では、開心術における肺動脈カテーテル挿入を全症例あるいは急性大動脈解離を除いた全症例に一律に挿入することとしていた。

現在、開心術における肺動脈カテーテルの適応基準を示したガイドラインなどはない。

しかし、肺動脈カテーテルの挿入は、挿入に伴う肺動脈損傷や縫込みに伴う抜去時の心臓損傷などの致命的合併症のリスクを有するため、開心術全症例に一律に挿入することは望ましくない。予定している術式、予測される心停止時間、左室機能、右室機能、肺高血圧症や心不全の有無や程度などを考慮し、患者ごとに必要性を検討する。

肺動脈カテーテルの適応を検討する際には、肺動脈損傷のリスクも含めて検討する必要がある。開心術事例5例のうち肺出血が生じた2例は、いずれも70歳以上で身長150 cm台の女性であり、抗血栓薬を内服していた。肺動脈損傷および致命的出血のリスクファクターとして高齢、女性、肺高血圧症、抗血栓薬使用、ステロイド薬の長期使用などが挙げられる^{7) 8)}。

肺動脈カテーテルの使用にあたっては、術前カンファレンスなどにおいて、必要性と肺動脈損傷および致命的出血のリスクを患者ごとに評価し、適応を検討する。

●患者・家族と肺動脈カテーテル挿入の必要性和リスクを共有

肺動脈カテーテルの挿入が必要と判断した場合には、手術前に患者・家族と挿入の必要性和リスクを共有することが重要である。しかし、一般的に術前説明では、術式、麻酔・輸血、中心静脈カテーテル挿入などの内容を説明されることが多く、肺動脈カテーテル挿入の必要性和リスクについて説明が行われていない現状がある。

開心術事例5例では、患者・家族に肺動脈カテーテル挿入に伴う肺動脈損傷や心臓損傷などの致死合併症の説明は行われていなかった。肺動脈カテーテルの挿入では、術者が注意や確認をしても意図せず肺動脈損傷や心臓損傷などの致死合併症が起こるリスクがある。

手術前に、医師は肺動脈カテーテル挿入の必要性和肺動脈損傷および致死出血のリスクを、患者・家族が理解できるように平易な言葉を用いて説明し、共有する（表1参照）。

表1 術前説明時における肺動脈カテーテルの説明内容の例

開心術の術前説明では、重症不整脈、心臓弁損傷、留置に伴う感染や血栓症などのリスクに加え、手術操作に伴う肺動脈カテーテルの致死合併症のリスクとして、肺動脈損傷や心臓損傷が起こりうることを患者・家族に共有することが重要です。下記の説明内容を参考にしてください。

①手術中の意図しない肺動脈カテーテルの位置移動（前進）による肺動脈損傷

肺動脈カテーテルによる肺動脈損傷の発生率は0.016～0.2%と稀ですが、その死亡率は50%以上にも及ぶ重大な合併症です⁹⁾。手術中は肺動脈カテーテルにより肺動脈損傷が生じないように、カテーテル先端の位置を調整しますが、意図せず肺動脈カテーテルが位置移動（前進）し、血管を損傷する場合があります。

②心臓壁に肺動脈カテーテルを縫込み、抜去したことによる心臓損傷

閉胸する前に、心臓壁や血管に糸を掛けた部位に肺動脈カテーテルが縫込まれていないか確認します。しかし、縫込まれてしまった場合、縫込みの程度や部位によっては、発見が困難な場合があります。引き抜く際には、縫込まれている可能性を念頭に置き、患者さんの様子を観察しながら引き抜きます。病室で抜去する際には患者さんに声かけをしながら実施します。肺動脈カテーテルが縫込まれている可能性が疑われる場合は、手術室において全身麻酔下で開胸し、抜去します。

●代用モニタ機器の使用を検討

肺動脈カテーテルの適応を検討し、挿入する必要性が低いと判断した場合は、肺動脈カテーテルの挿入を回避し、代用モニタ機器の使用を検討する。

開心術事例5例は、開心術時に一律に肺動脈カテーテルを挿入していたため代用モニタ機器の使用を検討していなかった。

例えば心拍出量は、経皮的動脈血酸素飽和度（以下「SpO₂」）の測定器で測定する方法や観血的動脈圧波形による連続モニタ（以下「APCO」）で代用することが可能である。しかし、大動脈弁閉鎖不全症、大動脈バルーンパンピング（IABP）使用、重度の不整脈、敗血症、肝硬変など著しく血管抵抗が変化している場合などは、肺動脈カテーテルによる測定値とAPCOの測定値に乖離が生じる場合がある。

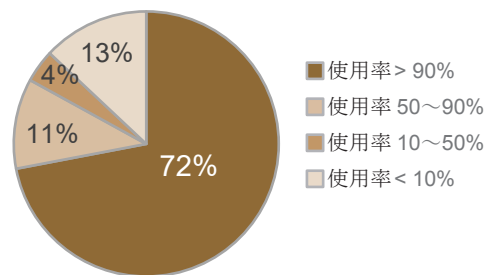
酸素需給バランスの指標である SvO₂ は、中心静脈カテーテルの先端に酸素飽和度センサーを付けたオキシメトリーカテーテルによって連続的にモニタリングする中心静脈血酸素飽和度（以下「ScvO₂」）で代用が可能である。しかし、SvO₂ と ScvO₂ は、患者の病態や中心静脈カテーテルの位置の関係で必ずしも一致するとはいえないため、絶対値および推移を他の指標と併せて総合的に判断することが重要である¹¹⁾。

現在の代用モニタ機器は、患者の病態により肺動脈カテーテルの測定値との乖離が生じる場合があり、複数の指標と併せて総合的に判断する必要がある。そのため、今後は肺動脈カテーテルと同等の情報が得られる非侵襲的モニタリング機器の研究・開発が望まれる。

コラム1：開心術時における肺動脈カテーテルの使用頻度 ～日本心臓血管外科学会アンケート調査より～

本邦における日本心臓血管外科学会のアンケート（2019年）によると、心臓手術の9割以上に肺動脈カテーテルを使用していると回答した医療機関は約70%であるのに対して、使用率が1割未満と回答した医療機関は約10%にとどまった⁴⁾。欧米を中心としたアンケート調査（2015年）においても、心臓手術の75%以上で肺動脈カテーテルを使用していると回答した医療機関は約7割であったと報告されている¹²⁾。経食道心エコーや体外式連続心拍出量測定用モニタなどの非観血的モニタが汎用されるようになったが、肺動脈カテーテルはいまだに開心術における周術期モニタとして広く用いられているのが現状である。

各医療機関における心臓手術における肺動脈カテーテルの使用率⁴⁾



【肺動脈損傷の予防と対応】

提言2 《肺動脈損傷を防ぐための操作》

人工心肺開始に伴う心腔内容量減少や、手術中の心臓の脱転や圧排の操作により肺動脈カテーテルが意図せず前進する可能性がある。人工心肺開始前に、右肺動脈主幹部近傍（肺門部付近）から3～5 cm程度引き抜き、さらに肺動脈カテーテル先端圧に変化がないことを手術操作ごとに確認する。

●肺動脈楔入圧測定後の肺動脈カテーテルの留置位置

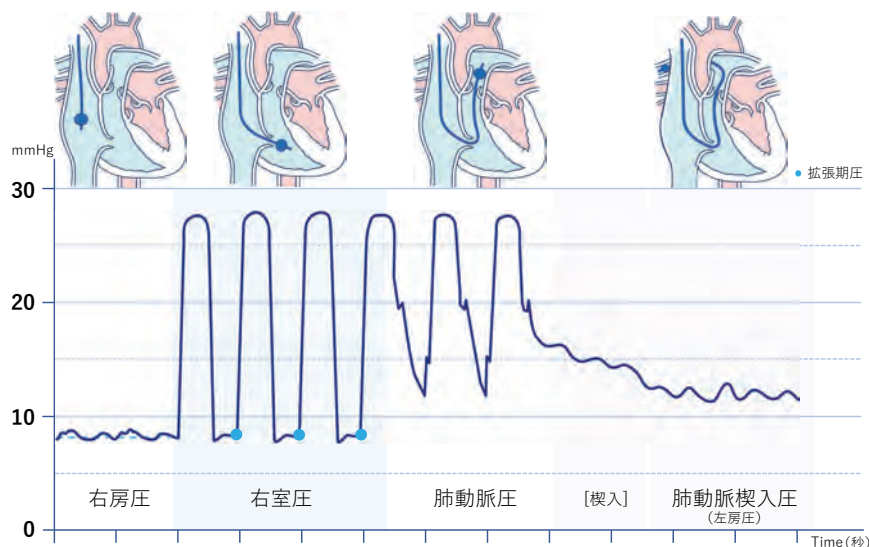
手術の際は、肺動脈カテーテルを挿入し、右房圧、右室圧、肺動脈圧の順に確認する。円弧を描きながら右房から右室、肺動脈へと挿入されていく肺動脈カテーテルは、血流比（右：左＝3：2）の関係から、生理的に右肺動脈に進むことが多い。円弧を描いて進む関係から右上葉肺動脈へ進むことは稀であり、右中下葉肺動脈に迷入することがほとんどである。そのため、肺動脈損傷部位は右中下葉肺動脈が多い。

開心術事例5例のうち2例で肺出血が生じた。2例中1例は、右肺動脈主幹部と右上葉肺動脈の分岐部で血管損傷が生じたと推測され、もう1例は、肺動脈カテーテルが右中葉肺動脈に迷入し肺動脈損傷に至った。

挿入時には圧波形モニターとともに経食道心エコーなどで肺動脈カテーテル先端の位置を確認する（図3参照）。肺動脈楔入圧を確認した後、バルーンの空気を抜き、肺動脈カテーテルを約3 cm引き抜き右肺動脈主幹部近傍（肺門部付近）に留置する⁵⁾。

留置時に圧モニターが急上昇する時には、肺動脈カテーテルが血管壁に当たっている場合があり、体格や身長などから想定した挿入長より深い位置で肺動脈圧が測定される時は、肺動脈内でたわんでいる可能性がある。そのため、圧波形モニターや経食道心エコーで肺動脈カテーテルの先端位置や、たわみがないかを確認することが重要である。確認できない場合には、1～2 cm引き抜いて可動していることを確認する（コラム2参照）。

図3 肺動脈カテーテルの先端位置と圧波形



●肺動脈カテーテルの位置移動（前進）による肺動脈損傷を防ぐカテーテルの留置位置

<人工心肺開始に伴う、意図しない肺動脈カテーテルの位置移動（前進）>

肺出血事例2例は、人工心肺開始後に肺動脈カテーテルを数cmあるいは2～3cm引き抜いていた。人工心肺を開始すると、体外へ血液が移行するため心腔内容量が減少し、肺動脈カテーテルは末梢肺動脈に引き込まれ、意図せず前進する場合がある。そのため、麻酔科医は人工心肺開始前に、右肺動脈主幹部近傍（肺門部付近）から約3cm引き抜き留置する⁵⁾。

<心臓の脱転や圧排の操作による意図しない肺動脈カテーテルの位置移動（前進）>

手術中は、心臓の脱転や圧排する操作に伴い肺動脈カテーテルが位置移動（前進）する可能性がある。そのため、人工心肺開始前に引き抜く約3cmに加えて、1～2cm引き抜くことが推奨される。

肺出血事例2例のうち1例は、手術中に心臓の脱転の操作を行い、もう1例は、肺静脈隔離術および左心耳閉鎖術の際、術野確保のため肺動脈を含めた心臓全体を右方へ圧排する操作を行った。

心臓の脱転や圧排の操作がある場合は、肺動脈カテーテルが位置移動（前進）する可能性を考慮し、人工心肺開始前に右肺動脈主幹部近傍（肺門部付近）から4～5cm⁵⁾引き抜くことが推奨される。肺動脈カテーテルを引き抜く長さは、5cmでも不十分な場合もあることを考慮し、麻酔科医は引き抜く長さを決定する。

●手術中、バルーン膨張や肺動脈カテーテルを動かす操作は最小限にする

人工心肺開始後は、心腔内容量減少に伴い肺動脈カテーテル先端の位置を圧波形モニタや経食道心エコーでの確認が困難になること、ヘパリンナトリウムの使用により止血困難な状態になっていることなどから、肺動脈カテーテルを動かす操作は極力避けることが望ましい。

肺動脈カテーテルによる血管損傷は、末梢肺動脈部位以外に右房、肺動脈弁直下など組織が薄く弱い部位でも起こりうる。手術中に肺動脈カテーテル先端の位置が不明になった際に、バルーンを膨張させたり、肺動脈カテーテルを前進あるいは引き抜いたりすることは血管損傷のリスクを伴う。そのため、手術中に肺動脈カテーテルを動かすことは最小限の回数にとどめる。

人工心肺中の肺動脈カテーテル先端圧は、通常マイナス～0 mmHgと表示されるが、圧上昇がみられる際は、末梢肺動脈に楔入している可能性がある。その場合にはゆっくりと2～3cm引き抜く必要があるため、人工心肺中も継続して圧波形モニタの観察を行う。

麻酔科医は、手術中に肺動脈カテーテルが意図せず前進してしまうこともあるため何cm前進したのか確認できるよう、右肺動脈主幹部近傍（肺門部付近）から引き抜き留置した長さを手術記録や麻酔チャートへ記録しておく。

現在、肺動脈カテーテルに記載されている目盛りは10cm間隔であるため、1cm単位の操作を行う際には、目測でしか位置を把握できない。そのため、1cm単位で確認が必要な40～60cmの範囲だけでも目盛りの間隔を細かく設定した肺動脈カテーテルの改良が望まれる。

コラム2：肺動脈カテーテル留置時の留意点

●圧波形モニタによる異常波形

肺動脈カテーテル留置時、圧波形が急上昇する時には、肺動脈カテーテルが末梢肺動脈に楔入している場合や、肺動脈のくぼみや分岐部に先端が当たっている場合がある。そのような時には、バルーンを膨らませずに1~2 cm ゆっくりと引き抜き、圧波形モニタが肺動脈圧を示しているか確認する。

●肺動脈カテーテルを留置する長さ（右内頸の場合）

肺動脈カテーテルが右房と上下大静脈との結合部付近まで挿入された時の長さは、典型的な成人の場合、一般的に頸静脈から15~20 cmとされているが、肺動脈カテーテルが末梢肺動脈に楔入するまでの長さは、38~60 cm¹³⁾と個人差が大きい。Walzらの報告によると、身長が150 cmの場合、右内頸静脈から右肺動脈主幹部近傍（肺門部付近）までの肺動脈カテーテルの至適挿入長は40 cm程度と算出する方法もある¹⁴⁾。

肺動脈カテーテル挿入深度：身長 (cm) ÷ 2.35 - 23.5

身長に対する肺動脈カテーテルの挿入長の目安

身長 (cm)	145	150	155	160	165	170
挿入長 (cm)	38	40	42	45	47	49

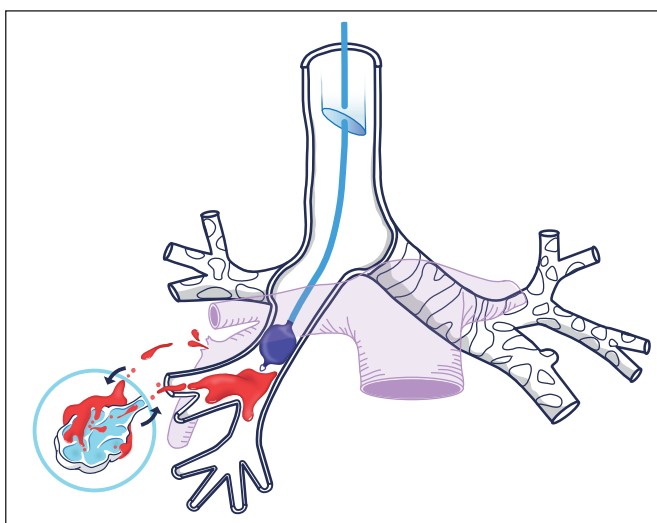
提言3 《肺出血時の対応》

手術中に肺出血を認めた場合は、まず気管支ブロッカーを挿入し、対側肺への血液の流入を防ぐ。循環動態の安定と肺出血量の減少を目的とした ECMO の装着や経カテーテル的止血術あるいは肺葉切除などの外科的治療を検討する。

●気管支ブロッカーを挿入し対側肺への血液の流入を防ぐ

手術中に気管チューブから大量の出血を認めた場合は、何らかの操作により肺動脈を損傷した可能性を疑う。人工心肺中は肺からの出血量は減少するが、離脱すると出血量が増える。そのため、人工心肺中に気管支鏡で出血区域を確認後、気管チューブから出血区域に向かって気管支ブロッカーを挿入し、対側肺への血液の流入を防ぐことが重要である（図4参照）。

図4 肺出血時の気管支ブロッカー挿入のイメージ



●肺出血時の対応

肺動脈カテーテルによる肺動脈損傷の発生率は0.016~0.2%と稀であるが、その死亡率は50%以上にも及び⁹⁾、止血することが非常に困難である。肺出血事例2例は、術中に出血点が特定できず右肺葉切除後、死亡に至っていた。

現状では、肺出血時の標準的な止血方法やガイドラインはなく様々な方法で治療が行われている。

まず、人工心肺の使用に伴い投与しているヘパリンナトリウムを中和させるため、人工心肺離脱後、プロタミン硫酸塩を静脈内投与する。止血方法として、コイル塞栓、滅菌吸収性ゼラチンスポンジ、血管塞栓用プラグなどを用いた経カテーテル的止血術が挙げられる。ECMOの装着後、肺出血量が徐々に減少したことにより循環動態と酸素化が改善し、最終的に経カテーテル的止血術により治癒したという報告もある¹⁵⁾。また、血管内治療に比べ侵襲度は高くなるが、肺葉切除術¹⁶⁾や血管形成術など外科治療を選択せざるを得ない場合もあり、患者の状態に合わせて治療方法を検討する。

肺動脈損傷が生じた場合の死亡率は高く、急激に循環動態が増悪する。そのため、各医療機関においては、院内の設備や機器などを考慮し、事前に肺出血時の対応方法を検討しておくことが望まれる。また、速やかに対応できるよう心臓血管外科、麻酔科、呼吸器外科、放射線科（特にIVR担当医）など院内で連携可能な関連診療科と、事前に調整しておくことが望ましい。

【肺動脈カテーテルの縫込みの予防と対応】

提言4 《閉胸前の確認》

外科医は術野の縫合操作終了から閉胸までの間に、糸掛けを行ったすべての部位をつまみ上げるように持ち上げ、触診で肺動脈カテーテルが縫込まれていないか確認する。その後、麻酔科医は肺動脈カテーテルの可動性を確認し、同時に外科医は縫込みの可能性がある部位の引きつれがないか視診・触診で確認する。

●肺動脈カテーテルを縫込む可能性がある縫合部位

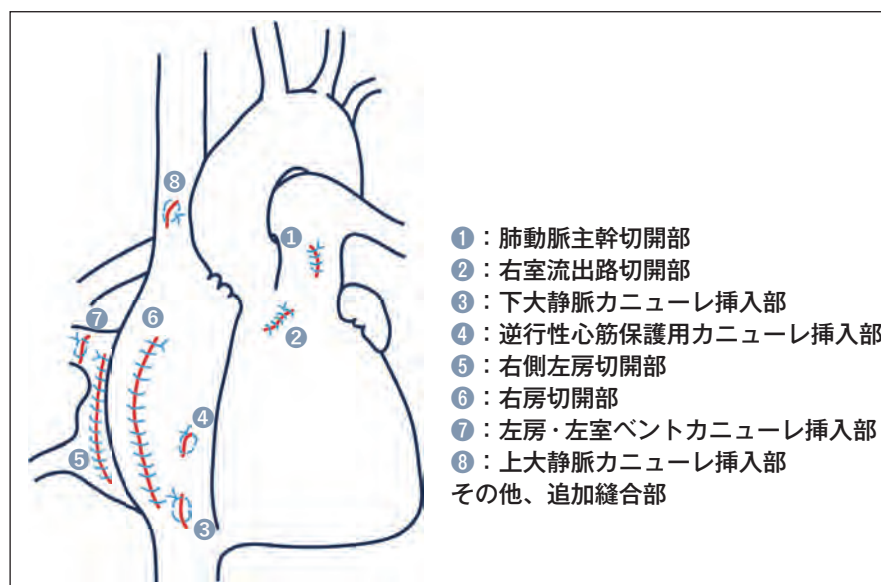
開心術の際、カニューレの挿入に対する巾着縫合や心房切開線の閉鎖などのために糸掛けを行った場合、肺動脈カテーテルを巻き込む、あるいは貫通して糸掛けを行ってしまう可能性がある⁵⁾。

縫込む可能性がある縫合部位は、①肺動脈主幹部切開線縫合、②右室流出路切開部：大動脈基部手術あるいは右室流出路切開線縫合、③下大静脈カニューレ挿入部巾着縫合、④逆行性心筋保護用カニューレ挿入部巾着縫合、⑤右側左房切開線縫合、⑥右房切開線縫合、⑦左房・左室ベントカニューレ挿入部巾着縫合、⑧上大静脈カニューレ挿入部巾着縫合がある(図5参照)。

開心術事例5例のうち、肺動脈カテーテルが心臓壁に縫込まれた事例は3例あった。

縫込みが最も多い部位は、③の下大静脈カニューレ挿入部の出血に対する追加針であるが、次いで多いのが①の肺動脈主幹部切開部や、⑧の上大静脈カニューレ挿入部といわれている。②の右室壁、⑥の右房壁、⑤の左房壁で

図5 肺動脈カテーテルの縫込みが生じやすい部位



縫込む可能性もあり、肺静脈からの⑦左房・左室ベントカニューレ挿入のための糸掛けが右房内の肺動脈カテーテルを貫通した症例も報告されている⁵⁾。

縫込み事例3例のうち2例で、下大静脈カニューレ挿入部で縫込まれていた。

右房などの切開線を閉鎖する際には、縫合部位に肺動脈カテーテルが近接していないことを視診・触診で確認しながら糸掛けを行う。外表面から巾着縫合などをかける場合、視診での確認は困難であり、肺動脈カテーテルは体温により温められると体外で触診するより柔らかくなるため、運針が肺動脈カテーテルを貫通しても触覚的には感知し得ないこともある⁵⁾。そのため、糸掛けを行うすべての部位で肺動脈カテーテルを縫込む危険性があることを認識しておくことが重要である。

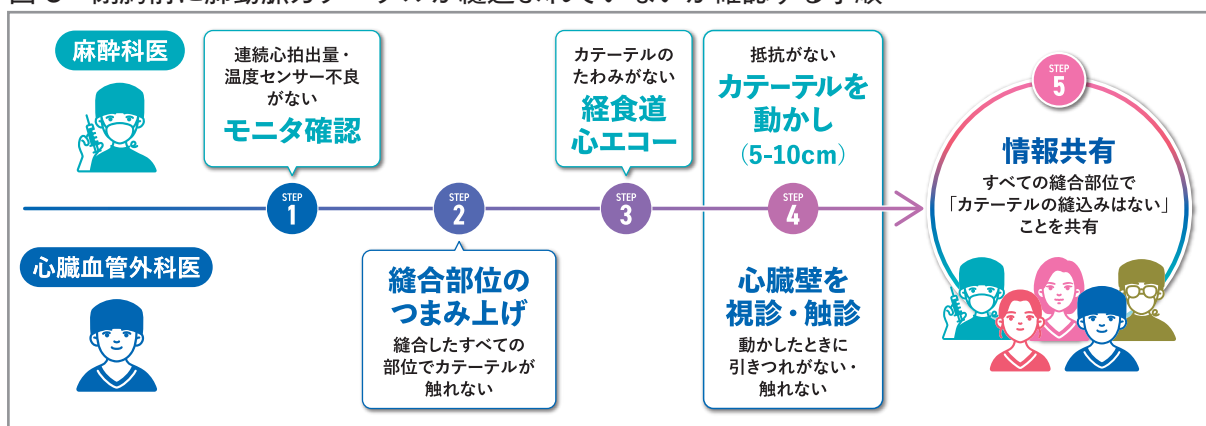
●肺動脈カテーテルが縫込まれていないか確認する方法

肺動脈カテーテルの縫込みは、糸掛けを行ったすべての部位を確認することで見落とすリスクを減らすことができる。

閉胸前に「縫込まれていないか確認を行った」と認識していた事例は3例のうち2例あったが、糸掛けを行ったすべての部位を視診・触診で確認した事例はなかった（図2参照）。

肺動脈カテーテルの縫込みの確認は、人工心肺で使用したカニューレ類が抜去され、術野の止血操作が終了した時点から閉胸までの間に、外科医と麻酔科医により糸掛けを行ったすべての部位をまとめて確認する（図6参照）。外科医と麻酔科医がともに確認を行うことで系統的に縫込みの確認を行うことができる。各医療機関においては、これらの縫込みの確認の手順を明確化し、ルール化しておくことが望まれる。

図6 閉胸前に肺動脈カテーテルが縫込まれていないか確認する手順



手順1：麻酔科医は圧波形モニタで数値の異常やセンサー不良の有無を確認

まず麻酔科医は圧波形モニタが肺動脈圧波形を示していることを確認する。糸掛けの際に肺動脈カテーテルを貫通した場合には、圧波形モニタで連続心拍出量の数値が異常を示したり、先端温度センサーが不良となることがある⁵⁾。しかし、針糸が極わずかに肺動脈カテーテルを縫込んでいたり、カテーテルの外周を回っている場合、圧波形モニタでは異常としては捉えることができないことがある。そのため、縫込みの確認は視診・触診で行うことが基本であり、圧波形モニタの確認は補助的な方法となるが、まず麻酔科医が圧波形モニタで数値の異常やセンサー不良が生じていないか確認する。

手順2：外科医は糸掛けを行ったすべての部位をつまみ上げるように持ち上げ、縫込まれていないか触診で確認

麻酔科医が圧波形モニタで異常はないか確認した後、外科医が肺動脈カテーテルの経路である右心系やこれに近接する左房・肺静脈、糸掛けを行ったすべての部位において触診を行う必要がある。

閉胸前に縫込まれていないか確認した2例は、縫込まれた部位とは異なる部位を確認したり、縫込まれた部位を触診のみで確認していた。

図5の⑤右側左房切開部など組織が重なり合う部位においては、つまみ上げるように持ち上げても確認が難しい場合もあるが、外科医は、指で糸が掛かっている部位の組織をつまみ

上げるようにして持ち上げ、その中に肺動脈カテーテルを触知しないか確認することが重要である⁵⁾。

手順3：麻酔科医は経食道心エコーでカテーテルのたわみがないことを確認

外科医により糸掛けを行ったすべての部位をつまみ上げて確認を行った後、麻酔科医は、経食道心エコーにより肺動脈カテーテルの走行を確認し、カテーテルのたわみがないことを確認する。また、肺動脈カテーテルは5～10 cm引き抜けば縫込みの確認が可能との報告があるが¹⁷⁾、右房や右室内でたわみが生じている場合、5～10 cm引き抜いても縫込みを否定できないこともある¹⁸⁾。そのため、手順4の外科医と麻酔科医が共同で縫込まれていないか確認する前に、経食道心エコーを用いて確認を行うことが望ましい。

手順4：外科医と麻酔科医は共同作業で縫込まれていないか確認

肺動脈カテーテルが縫込まれていないか確認を行う際は、外科医と麻酔科医が共同で行うことが基本である。

麻酔科医は、経食道心エコーで肺動脈カテーテルのたわみがないことを確認した後、肺動脈カテーテルを5～10 cm動かし、抵抗がないことの確認および経食道心エコーで上下大静脈や右房壁などが引きつれたり、引っ張られていないことを確認する。この時、外科医は糸掛けを行ったすべての部位に引きつれが起らないかを視診・触診で確認する。しかし、図5の⑤右側左房切開部など組織が重なり合う部位においては、視診で確認することが困難な場合もあるため、肺動脈カテーテルを動かした際の抵抗の有無や触診で引きつれていないか確認することが重要である。下大静脈や右房壁などで縫込まれている場合には、経食道心エコーで心臓壁が歪む状態を確認することができる。ただし、経食道心エコーでは、解剖学的に上大静脈や右室壁の糸掛け部位の縫込みを確認することは困難であるため、あくまでも補助的方法として実施する。

これらの縫込みの確認は、外科医が「カテーテルが縫込まれた可能性があるのではないかと疑った時のみに行うのではなく、右心系やこれに近接する左房・肺静脈など糸掛けを行ったすべての部位の確認を行う⁵⁾。

手順5：肺動脈カテーテルの縫込みの確認の実施について共有

閉胸前に外科医は、糸掛けしたすべての部位で縫込まれていないことを確認したと、声に出して手術に関わるスタッフと情報共有を行うことが望ましい。

また、肺動脈カテーテル抜去は、術者と抜去する医師が異なる場合もあることから、麻酔科医および手術室看護師は、縫込みの確認について記録を残し、術後チームへ申し送ることが推奨される。

●肺動脈カテーテルの縫込みが判明した際の対処法

肺動脈カテーテルの可動性を確認した際に抵抗があった場合や縫込みを疑った場合には、経食道心エコー、視診・触診で縫込み部位を直ちに特定する。

図5の③下大静脈カニューレ挿入部、④逆行性心筋保護用カニューレ挿入部、⑦左房・左室ベントカニューレ挿入部、⑧上大静脈カニューレ挿入部にかけた巾着縫合が原因である場合は、その縫合糸の外側を回るようにもう1周の巾着縫合をかけてから、原因となっている縫合糸を切離し、肺動脈カテーテルを抜去してから新しい巾着縫合を結紮する。

また、⑤右側左房切開部、⑥右房切開部といった心房切開線の縫合ラインに縫込んでいる場合には、縫込み部位の前後の縫合線に水平マットレス縫合をかけて結紮し、その間にある原因となっている縫合糸を切り、カテーテルを抜去してから同部を縫合閉鎖する。あらかじめ巾着縫合をかけておく方法でもよい。縫込み確認の際には、人工心肺は離脱しているが、これらの方法によりほとんどの場合、人工心肺を使用することなく対処することが可能と考えられる⁵⁾。

図7 肺動脈カテーテルの縫込み事故防止のために（ポスター）

肺動脈カテーテルの縫込みが生じやすい部位と閉胸前に肺動脈カテーテルが縫込まれていないか確認する手順をポスターにしました。



閉胸前にCheck!

肺動脈カテーテルの「縫込み」はありますか？

カテーテル抜去時の「**心臓損傷**」を未然に防ぐ！

縫込みが生じやすい部位
※その他の追加縫合部もご確認ください

1 PA 主幹切開部

2 RV 流出路切開部

3 IVC カニューレ挿入部

4 逆行性心筋保護用カニューレ挿入部

5 右側 LA 切開部

6 RA 切開部

7 LA・LV ベントカニューレ挿入部

8 SVC カニューレ挿入部

▲詳細については、
【肺動脈カテーテルの縫込みの予防と対応】
提言4をご覧ください。

必ず閉胸前に行ってください

「縫込み」がないかどうかの確認手順

麻酔科医

連続心拍出量・
温度センサー不良
がない

モニタ確認

STEP 1

心臓血管外科医

縫合部位の
つまみ上げ
縫合したすべての
部位でカテーテルが
触れない

STEP 2

カテーテルの
たわみがない
経食道心エコー

STEP 3

抵抗がない
**カテーテルを
動かし
(5-10cm)**

STEP 4

**心臓壁を
視診・触診**
動かしたときに
引きつれがない・
触れない

STEP 5

情報共有
すべての縫合部位で
「カテーテルの縫込みはない」
ことを共有

※本書は、医療法第6条の11等に則り報告された情報に基づいて作成された「医療事故の再発防止に向けた提言第19号 肺動脈カテーテルに係る死亡事例の分析」の関連資料になります。これらの情報は、作成時点の情報に基づいており、その内容を将来にわたり、保証するものではありません。

医療事故調査・支援センター
(一般社団法人 日本医療安全調査機構)

提言 5 《肺動脈カテーテル抜去時の対応》

肺動脈カテーテル抜去時には、肺動脈カテーテルが縫込まれている可能性を念頭に置き、抵抗に気づけるような速度でゆっくり引き抜く。わずかでも抵抗がある場合は抜去を中止し、X線透視などで確認を試みる。縫込みが疑われる場合には、手術室で開胸し抜去する。

●肺動脈カテーテルが縫込まれている可能性を疑う

肺動脈カテーテルの縫込みの発生頻度は、システマティック・レビューを行っているCochrane Libraryにおいても示されていない¹⁹⁾。一方、本邦の調査においては、肺動脈カテーテルの血管あるいは心臓壁への縫込みを経験している医療機関は28%と報告されている⁴⁾。

縫込み事例3例のうち1例は、肺動脈カテーテルが縫込まれた可能性を認識していなかった。他2例においても、糸掛けを行ったすべての部位に縫込まれた可能性があることを認識していなかった。閉胸前に肺動脈カテーテルの縫込みの確認を行ったとしても、縫込みの可能性を完全に除外することはできないため、抜去する際には縫込みの可能性を念頭に置いておく必要がある。

●肺動脈カテーテルは抵抗に気づけるような速度でゆっくり引き抜く

末梢肺動脈、右房、肺動脈弁直下などは組織が薄く血管損傷が生じる可能性があるため、肺動脈カテーテルを抜去する際に危機的出血が生じると致死的となりうる。

縫込み事例3例のうち2例は、抜去時に抵抗を感じなかった。その他1例では約20 cm引き抜いた時点で抵抗を感じ、患者が胸痛を訴えたため抜去を中止した。

肺動脈カテーテル抜去時、素早く引き抜くと抵抗があったとしても感じない場合がある。そのため、肺動脈カテーテルが縫込まれている可能性を念頭に置き、抵抗に気づけるよう低速かつ均一のスピードで抜去することが重要である。

一方、低速、ゆっくりという速度の感覚には個人差がある。抜去の経験が少ない医師は、適切な速度を判断することが難しい場合もあるため、上級医がデモンストレーションを行うなど教育プログラムを用意し指導することが重要である。各医療機関においては、肺動脈カテーテル抜去操作の教育を行い、教育を受けた医師にのみ抜去を認めるなどのルール作りが望まれる。また、肺動脈カテーテル抜去の際は、単独で行うのではなく、肺動脈カテーテル抜去操作の教育を受けた複数人の医師で抜去することを推奨する。

●わずかでも抵抗がある場合は抜去を中止し、縫込みを疑う

肺動脈カテーテル抜去の際にわずかでも抵抗を感じた場合には縫込まれている可能性があるため、無理に引き抜かないことが重要である。抵抗を感じた原因としてカテーテルの結節の形成とカテーテルが縫込まれている可能性が考えられる。抵抗を感じた際には抜去を中止し、X線透視を行う。肺動脈カテーテルの結節が生じていないか確認を行うとともに、縫合時に糸掛けを行った部位を確認する。ただし、X線透視では上大静脈や右側左房など確認が困難な部位もあるため、手術室で気管挿管後、経食道心エコーで確認を行い、開胸して抜去を行うことが危機的出血の防止につながる。




肺動脈カテーテルは、術後数日で抜去する場合がほとんどである。縫込み事例3例のうち2例は、集中治療室で肺動脈カテーテルを抜去していた。縫込まれた肺動脈カテーテルを引き抜いた際の心臓壁の損傷は大きくなりやすく、開胸下での修復術が第一選択となる。

集中治療室で肺動脈カテーテルを抜去した事例2例のうち1例は、肺動脈カテーテル抜去直後に心臓損傷を疑い、1分後に開胸術を開始したが救命に至らなかった。危機的出血に備えて準備を行っていても、一旦心臓壁の損傷が生じてしまうと救命が難しい場合が多い。集中治療室などで肺動脈カテーテルを抜去する場合には、危機的出血が生じうることを考慮し、再開胸止血術を速やかに施行することが可能な準備を検討しておく。

第2部 検査編

<検査編に関連する職種>

関連する診療科、職種の皆様、是非ご一読ください。

-  循環器内科医、呼吸器内科医、集中治療医
-  検査に関わる看護師
-  臨床工学技士、診療放射線技師 など

5. 検査編における対象事例の概要

事例概要は、院内調査結果報告書および追加の情報をもとに専門分析部会が以下の①～⑤に整理し、作成した。

①患者情報、②検査目的、③検査経過、④症状出現後の経過、⑤死因など

事例 6

- ① 70歳代、女性、身長140 cm台、脳梗塞、心不全、僧帽弁狭窄症(疑い)がある患者。抗血栓薬を服用中。
- ② 心不全および心臓弁膜症の精査目的のため、肺動脈カテーテル検査と左室造影検査を実施（使用したカテーテルのバルーン適正容量 1.5 ml）。
- ③ X線透視下で、右大腿静脈より肺動脈カテーテルを挿入。バルーンを 1.5 ml 膨張させたが肺動脈楔入圧が測定できず、バルーンを 2.25 ml まで膨張させた。しかし、肺動脈楔入圧が測定できないため、ガイドワイヤーを使用してカテーテルを前進させ、肺動脈楔入圧を測定した。
- ④ 肺動脈楔入圧測定から約 15 分後、咳嗽、血痰が出現し SpO₂ 93 %。プロタミン硫酸塩を投与、酸素 2 ℓ を開始し、左心造影検査を実施した。検査終了後、出血を評価するため CT 室へ移動中、血圧測定不可となり気管挿管。超音波検査で血性胸水が疑われ、胸腔ドレーンを留置。暗赤色の排液が多量に流出後、心停止となり、緊急開胸止血術を施行。右上中葉葉間肺動脈に 1 cm 程度の損傷部位を認め修復したが、出血制御できず、検査開始約 9 時間後に死亡。
- ⑤ 死因は、右葉間肺動脈損傷による出血性ショック。Ai 有、解剖有。

事例 7

- ① 70歳代、女性、身長150 cm台、重度の僧帽弁狭窄症、心不全、心房細動がある患者。抗血栓薬を服用中。
- ② 術前精査のため、肺動脈カテーテル検査を実施（使用したカテーテルのバルーン適正容量 1.5 ml）。
- ③ X線透視下で、右大腿静脈より肺動脈カテーテルを挿入。カテーテルを肺動脈に誘導できずガイドワイヤーを先行させて前進。バルーンを 1 ml ずつ 2 ml まで膨張させたが肺動脈楔入圧が測定できなかった。
- ④ 右心内圧測定後、咳嗽、喀血あり、直後に鼠径動脈触知不可となり、胸骨圧迫を開始。気管挿管、PCPS（経皮的心肺補助装置）を装着した。超音波検査で胸腔内に体液貯留を認め、肺動脈造影を試みたが出血部位の特定に至らず、検査開始約 8 時間後に死亡。
- ⑤ 死因は、左肺動脈損傷（疑い）による出血性ショック。Ai 有、解剖有。

事例 8

- ① 40歳代、女性、身長 150 cm 台、肺高血圧症（疑い）、肝硬変、食道静脈瘤、血小板減少（1.6 万 / μ l）があり、虚血性心疾患疑いで救急搬送された患者。抗血栓薬の使用は無。
- ② 急性冠症候群と肺高血圧症の精査のため、肺動脈カテーテル検査と冠動脈造影検査を実施（使用したカテーテルのバルーン適正容量 1.0 ml）。
- ③ X線透視下で、右内頸静脈より肺動脈カテーテルを挿入。カテーテルを肺動脈に誘導できずガイドワイヤーを使用して前進。その後、咳嗽が出現。バルーンを 2 ml 膨張させ肺動脈楔入圧を測定し、冠動脈造影を施行。
- ④ 検査終了後、湿性咳嗽が持続。SpO₂ 80 % 台へ低下し、酸素 2 ℓ 開始。血痰あり、食道静脈瘤破裂を疑い集中治療室へ移動中に中等量の喀血。心肺停止となり、検査開始約 3 時間後に死亡。
- ⑤ 死因は、右中葉肺動脈分岐部あるいは右前肺底動脈分岐部の損傷を契機とした右心不全。Ai 有、解剖有。

事例 9

- ① 90歳代、女性、身長 150 cm 台、急性心筋梗塞、重度の僧帽弁閉鎖不全症、肺高血圧症がある患者。抗血栓薬を服用中。
- ② 血行動態を把握するため、肺動脈カテーテルを挿入（使用したカテーテルのバルーン適正容量 1.5 ml）。
- ③ 圧波形モニターで確認しながら、右内頸静脈より肺動脈カテーテルを挿入。肺動脈までカテーテルを誘導してバルーンを 1.5 ml 膨張させたが、肺動脈楔入圧を測定できず、バルーンを収縮した。再度、1.5 ml 膨張させた際、シリンジの抵抗が消失する感覚があった。
- ④ 再膨張した直後に咳嗽あり、肺動脈損傷を疑い手技を中止。直後に大量喀血、心肺停止となり、検査開始約 1 時間後に死亡。
- ⑤ 死因は、右中葉肺動脈損傷による出血性ショック。Ai 有、解剖有。

図8 対象事例の経過（検査事例）

	事例6	事例7	事例8	事例9
年齢/性別	70歳代/女性	70歳代/女性	40歳代/女性	90歳代/女性
検査名	肺動脈カテーテル検査 左室造影検査	肺動脈カテーテル検査	肺動脈カテーテル検査 冠動脈造影検査	肺動脈カテーテル検査
場所	カテーテル室	カテーテル室	カテーテル室	CCU
確認方法	透視下	透視下	透視下	圧波形モニタ
カテーテル挿入部位	右大腿静脈	右大腿静脈	右内頸静脈	右内頸静脈
損傷部位	右葉間肺動脈	左肺動脈(疑い)	右中葉肺動脈分岐部 あるいは右前肺底動脈分岐部	右中葉肺動脈
バルーン適正容量	1.5mℓ	1.5mℓ	1.0mℓ	1.5mℓ
検査経過	 バルーンを適正容量内で膨張  バルーンを追加膨張  バルーンを収縮  ガイドワイヤー  圧波形モニタ  SpO ₂  血圧測定不能 心停止 心臓蘇生  肺出血を示唆する症状			
	30分  1.5mℓ 肺動脈楔入圧 測定困難  2.25mℓ 肺動脈楔入圧 測定困難  ガイドワイヤーでカテーテル前進  肺動脈楔入圧測定	肺動脈にカテーテル誘導困難  ガイドワイヤーでカテーテル前進  1.0mℓ  2.0mℓ 肺動脈楔入圧 測定困難	肺動脈にカテーテル誘導困難  ガイドワイヤーでカテーテル前進 咳嗽  2.0mℓ  肺動脈楔入圧測定 冠動脈造影	 1.5mℓ 肺動脈楔入圧 測定困難  0mℓ  1.5mℓ 咳嗽 検査中止  喀血
	60分	咳嗽 血痰 O ₂ : 2ℓ 93 プロタミン硫酸塩投与 左室造影	咳嗽 喀血 O ₂ : 10ℓ 88 検査中止 非侵襲的陽圧換気 68	喀血 湿性咳嗽 89 血痰 O ₂ : 2ℓ 85 O ₂ : 4ℓ 喀血
死亡までの時間	検査開始 約9時間後	検査開始 約8時間後	検査開始 約3時間後	検査開始 約1時間後

6. 検査編における再発防止に向けた提言と解説

【適応の検討】

提言 6 肺動脈カテーテル検査は致死合併症のリスクを伴う。肺高血圧症の確定診断や病型診断には必須であるが、術前検査などにおいては心臓超音波検査で代用可能かを検討する。高齢、女性、血液凝固異常、ステロイド薬の長期使用など肺動脈損傷および致死出血のリスクを評価し、肺動脈カテーテル検査の必要性和リスクを踏まえ検査の適応を検討する。

●肺動脈カテーテル検査に伴う致死合併症のリスク

肺動脈は体循環系の動脈に比べ平滑筋線維と弾性線維の分布が疎になっており⁶⁾、血管壁は1 mmと薄い。そのため、肺動脈カテーテル検査中にバルーンの過膨張やカテーテル先端からガイドワイヤーが突出することで肺動脈を損傷するなど致死合併症のリスクを有する。

検査事例4例は、肺動脈カテーテル検査中のバルーン操作あるいはガイドワイヤーの操作により肺動脈を損傷(疑い含む)し、肺出血が生じていた。4例の損傷部位は、右中葉肺動脈損傷が3例、左肺動脈損傷(疑い)が1例であった。

肺動脈カテーテルは、心臓内へ直接挿入するためカテーテルにより肺動脈や心臓壁を損傷した場合、致死的となりうる。肺動脈カテーテル挿入にあたっては、致死合併症が起こりうることを認識した上で検査の適応を検討することが重要である。

●心臓超音波検査で代用可能か検討

肺動脈カテーテル検査で得られる情報は、指定難病である肺動脈性肺高血圧症や慢性血栓性肺高血圧症など、肺高血圧症の確定診断や病型診断、心臓移植や補助人工心臓について学会申請する際に必須の検査であり、術前などにおいても循環動態を評価する重要な指標となる。しかし、心臓弁膜症の診断および重症度評価や心臓弁膜症の手術の適応の検討は、心臓超音波検査あるいは経食道心エコーでも可能であることから、肺動脈カテーテル検査を必須としなくてもよい。

検査事例4例のうち1例は、肺動脈性肺高血圧症の診断を目的とし、3例は僧帽弁膜症の術前検査や病態評価を目的としていた。

肺動脈カテーテル検査は致死合併症のリスクを有するため、肺動脈カテーテル検査を実施する前に、まずは侵襲度の低い心臓超音波検査などで得た情報で代用が可能か検討する。また、術前検査の病態把握のためにカテーテル検査の依頼を受けた場合には、まず心臓超音波検査などの結果を確認し、肺動脈カテーテル検査の必要性について検討することが望ましい。

●肺動脈カテーテル検査の必要性とリスク評価をもとに適応を検討

肺動脈カテーテル検査の適応を検討する際には、検査の必要性と肺動脈損傷および致死性的出血のリスクを含めて検討する必要がある。肺動脈損傷および致死性的出血のリスクファクターとして、高齢、女性、肺高血圧症、抗血栓薬使用、ステロイド薬の長期使用などが挙げられる^{7) 8)}。また、体格が小柄であると肺動脈カテーテルが過挿入になり、肺動脈損傷が生じる可能性が高くなる症例も報告されている²⁰⁾。

検査事例4例のうち3例が70歳以上、4例が女性、1例は肺高血圧症であった。また4例のうち3例は抗血栓薬を内服しており、1例では血小板減少がみられた。

肺動脈カテーテル検査の適応を検討する際は、術前カンファレンスなどにおいて検査の必要性と肺動脈損傷および致死性的出血のリスクを患者ごとに評価し、肺動脈カテーテル検査の適応を検討する。

●患者・家族と肺動脈カテーテル検査の必要性とリスクを共有

肺動脈カテーテル検査は、肺動脈損傷などの致死性的合併症のリスクを有することから、患者・家族が検査の必要性とリスクを理解した上で検査に臨むことが望まれる。

検査事例4例では患者・家族に対する検査説明の際、穿刺部位からの出血や造影剤などによるアレルギーなどについては、文書で説明されていた。しかし4例のうち3例は、肺動脈損傷などの説明が行われていなかった。医師は肺動脈カテーテル検査の必要性と肺動脈損傷および致死性的出血のリスクを患者・家族が理解できるように平易な言葉を用いて説明し、共有することが重要である。

【肺動脈カテーテル挿入手技】

提言 7

- ・肺動脈楔入圧が測定できない時に肺動脈内でバルーンの膨張と収縮を繰り返しているとたわんだカテーテルが末梢に進む場合があるため、カテーテルはX線透視下でカテーテルの先端位置を観察しながら操作する。
- ・カテーテル先端が末梢に迷入していると適正容量であっても肺動脈を損傷する可能性があるため、ゆっくりと抵抗を感じながら空気を注入する。また、抵抗を感じなくても適正容量以上の空気の注入はしない。
- ・ガイドワイヤーは可能な限り使用せず、やむを得ず使用する際は、肺動脈カテーテル先端よりガイドワイヤーが突出していないことを確認する。
- ・肺動脈楔入圧が測定できない場合には、固執せず他の指標で代用することを検討する。

●肺動脈カテーテルは可能な限りX線透視下で挿入する

肺動脈カテーテルは、バルーンを膨らませると血流に乗るように設計されており、心内圧および肺動脈圧を連続的に監視しながら操作を行うため、X線透視を使用せずベッドサイドで行うことができるとされている。しかし、カテーテルにたわみがあると、バルーンの膨張や収縮などのカテーテル操作に伴い、たわみが解消された時に意図せずカテーテルが末梢に前進する可能性がある。

検査事例のうち1例は、ベッドサイドで圧波形モニタを確認しながら挿入していたが、中葉肺動脈まで前進し損傷した。盲目的に肺動脈カテーテルを操作することは、肺動脈や心臓壁を損傷する危険を増加させる。特に、バルーン収縮時にカテーテルが末梢に前進し肺動脈損傷が生じる場合があることを念頭に置き、可能な限りX線透視を使用し、カテーテル先端の位置を観察しながら慎重に挿入する。

●バルーンはゆっくり膨張し、適正容量を遵守する

肺動脈楔入圧が測れない時は、バルーンが血管の分岐部に位置しているなどバルーンが血管に楔入できていない状況が考えられる。

検査事例のうち1例は、肺動脈楔入圧が測れないためバルーンを収縮し、適正容量内で再膨張したところ、肺動脈が損傷した。他の例では、肺動脈楔入圧を測定できなかったため、バルーンの適正容量より多く膨張させ、肺動脈を損傷した可能性があった。

バルーンは適正容量に膨張させることでカテーテル先端が覆われ、カテーテルの中心が肺動脈血管内腔の中心に位置し、血管損傷を防ぐことができる。しかし、バルーンが適正容量内であっても末梢肺動脈にカテーテルが前進していると、肺動脈を損傷する可能性がある。

バルーンは、膨張用バルブにロックをかけ、再度専用シリンジを接続することで空気を追加注入することができてしまう。しかし、バルーンを適正容量以上に膨張させたり、急激に膨張させると、肺動脈が過度に押し伸ばされ、血管径以上にバルーンの径が大きくなることで血管損傷を引き起こす可能性やバルーンが破裂するなどの危険がある。バルーンを膨張す

る際は、必ず圧波形モニタで肺動脈圧を観察しながらゆっくりと注入時の抵抗を感じながら膨張させ、適正容量を超えないように肺動脈楔入圧が出現したら空気注入を止める。

●ガイドワイヤーは可能な限り使用しない

検査事例4例のうち2例は、カテーテル挿入時に前進させることが難しくガイドワイヤーを使用し、カテーテル先端からガイドワイヤーが突出した状態で前進していた例もあった。大腿静脈から挿入する場合や肺動脈カテーテルが血流に乗らず右室から肺動脈に浮上しない場合などにおいては、ガイドワイヤーを使用してカテーテルを前進させることがある。肺動脈カテーテル先端よりガイドワイヤーが突出した状態で操作すると肺動脈や心臓壁を損傷する危険性があり、致命的となりうる。

やむを得ずガイドワイヤーを使用する場合は、X線透視下で行い、ガイドワイヤーがカテーテル先端部より突出していないことを確認しながら、肺動脈に入ったらガイドワイヤーを抜去し、圧波形モニタを観察しながらカテーテルを操作する。

●肺動脈楔入圧の測定が困難な場合は、他の指標で代用

検査事例4例のうち1例は肺動脈楔入圧が測定できず、バルーンを適正容量で再膨張した後右肺中葉動脈損傷が生じていた。

肺動脈壁は薄く、特に肺高血圧症の場合にはわずかな損傷でも大出血につながる危険性がある。

肺動脈楔入圧が得られない場合には、肺動脈楔入圧の測定に固執せず中止し、他の指標で代用可能かを検討する。右心カテーテルの場合は、肺動脈拡張期圧での代用を検討し、左心カテーテルを行っている場合には、左室拡張末期圧での代用を検討する。

【肺出血時の対応】

提言 8 肺動脈カテーテル検査中、咳嗽や血痰などの呼吸器症状を認めた場合は、まず肺動脈の損傷を疑い直ちに手技を中止する。血管造影で出血部位の特定を行い、経カテーテル的止血術などで止血を試みる。

●咳嗽や血痰を認めた場合には肺動脈損傷を疑う

検査4事例全例で、検査中に咳嗽や血痰などの呼吸器症状を認めていた。そのうち2例は、咳嗽、血痰や呼吸困難感の出現直後に急変し、他2例は、肺胞出血や心不全の増悪、既往歴より食道静脈瘤を疑っている間に状態が急変した。

肺動脈カテーテル検査中に咳嗽や血痰などの呼吸器症状を認めた場合は、まず肺動脈損傷を疑い、検査の手技を直ちに中止して患者の状態を観察する。

低酸素血症に対しては、酸素投与やNPPV（非侵襲的陽圧換気療法）など陽圧換気療法による管理を行い、それでも呼吸状態の改善がみられない時には、IPPV（侵襲的陽圧換気法）など人工呼吸器による呼吸管理を行う必要がある。

●出血部位の特定と肺出血時の対応

肺動脈損傷が疑われたらまず、ヘパリンナトリウムを使用している場合は、ヘパリンナトリウムを中和するため、プロタミン硫酸塩を静脈内に投与する。手技を中止後、血管造影で出血部位の特定を行う。出血部位の確認方法としてCTも挙げられるが、CTでは出血部位の特定を行うことはできない。加えて、CT撮影の移動に時間を要するため、その間に急変する可能性も考えられる。

検査事例2例は、症状出現から約10分で心停止に至っていた。

肺動脈を損傷すると急激に循環動態が増悪するため救命が困難な場合もあるが、咳嗽・血痰を認めた場合には、直ちに血管造影を行い経カテーテル的止血術で止血することが重要である。

血管造影で出血部位が特定された場合には、バルーン閉塞あるいはコイル塞栓や滅菌吸収性ゼラチンスポンジ、血管塞栓用プラグなどを用いた経カテーテル的止血術などの止血方法が挙げられる。カテーテル検査室にある設備状況は各医療機関で異なり、機器の準備が困難な場合もあるが、ECMOの装着後に肺出血量が減少したことにより循環動態と酸素化が改善し、最終的に経カテーテル的止血術により治癒したという報告もある。また、血管内治療よりも外科治療の方が侵襲度は高くなるが、肺葉切除術¹⁶⁾や血管形成など外科的治療を選択せざるを得ない場合もあり、患者の状態に合わせて治療方法を検討する（提言3参照）。

肺動脈カテーテルに起因した出血ではないと確認できた場合には、呼吸状態を観察しながら既往歴などを考慮して鑑別診断を行う。

●危機的出血時に備えた体制を整備する

検査事例4例のうち2例は、術者が1人で肺動脈カテーテル検査を行っていた。肺動脈カテーテル検査は致命的合併症のリスクを伴うため、肺動脈カテーテル検査の際には、複数人の医師で行い、危機的出血時にはチームで対応できる体制を整備しておくことが重要である。また、呼吸器外科、放射線科（特にIVR担当医）など関連診療科に速やかに応援を要請できるよう、可能な限り事前に連携しておくことが望ましい。

7. 学会・企業等へ期待(提案)したい事項

学会・企業等には以下の課題に取り組み、さらなる医療安全の向上につながることを期待する。

●学会への要望

日本胸部外科学会、日本心臓血管外科学会、日本麻酔科学会、日本心臓血管麻酔学会、日本循環器学会など肺動脈カテーテルを取り扱う領域の学会には、以下のことを期待したい。

①開心術における肺動脈カテーテル挿入の適応基準の作成とその普及

開心術における肺動脈カテーテルの挿入の適応検討に際しては、肺動脈カテーテル挿入、検査の必要性和患者個別のリスクを評価し、検討することが重要である。リスク評価の項目や視点をまとめ、適応基準案を作成することが望まれる。

②肺動脈カテーテルを使用する患者への説明のあり方の検討

肺動脈カテーテルの使用は、肺動脈損傷や心臓壁の損傷など致命的合併症のリスクを有する。術前や検査時における説明の考え方や具体的な説明のあり方を明確に示すことが望まれる。

●企業への要望

①肺動脈カテーテルに代わるモニタリング機器の研究・開発

現在、肺動脈カテーテルと同等の情報が得られる精度を有した機器はないため、モニタリング機器の研究・開発が望まれる。例えば体表からの電位変化の感知など非観血的な方法による肺動脈圧推定法の実現や、様々な病態において発生する測定値のずれを補正する機能を持つ心拍出量推定のアルゴリズム開発などが望まれる。

②肺動脈カテーテルの目盛り表示仕様の改良

肺動脈カテーテル本体には10 cm おきに目盛りが記されているが、肺動脈カテーテルは、手術中に1 cm 単位で可動させる操作がある。しかし、肺動脈カテーテルの正確な位置を把握するために、目盛りの間隔を細かくするなどの方法により挿入長が一目で把握できる仕様への改良が望まれる。

8. おわりに

本専門分析部会では、肺動脈カテーテル使用による死亡事例について分析・検討し、肺動脈カテーテル操作による致死合併症を回避するための提言を行った。

死亡に至った事例の分析の結果、肺動脈カテーテルによる致死合併症は、大きく2つのカテゴリーに分けられることが明らかとなった。肺動脈損傷による肺出血および、開心術時に肺動脈カテーテルを縫込んだことに気がつかず、抜去したことによる心臓損傷である。いずれも突然発症し急激にショック状態となり、短時間で死亡に至っている事例が多かったことから、一旦発症するとその対応は容易ではないことが示された。したがって、予防が極めて重要であり、それを提言の骨子とした。

まず、致死合併症が生じる危険性を前提とした適応の検討が重要であることを提言した。肺動脈カテーテルの様々な病態における有用性を示した研究は少なく、エビデンスレベルの高いものは存在しなかったため、まず各医療機関における関連する診療科で十分な検討を行い、なるべく適応を限定していく努力を行うことを勧めたが、今後学会レベルでのエビデンス構築に向けた努力が望まれる。また、いくつかの肺動脈カテーテルの代替方法が臨床使用可能であるものの、その限界も指摘されており、より精度が高く侵襲性の低いモニタリング機器の研究開発が望まれる。

あくまでも、病態把握のための検査手技の一つとして認識されているためか、術前の説明において中心静脈カテーテル挿入などに含めて説明されている場合が多い。肺動脈カテーテルの必要性とリスクを説明し、共有する必要があることを提言した。

カテーテルの縫込み事故は、最大限それを避ける努力は必要とはいえ、縫込みの時点で気づくことは容易ではない。ただ、日本心臓血管外科学会のアンケート調査では縫込みをしてしまった場合であっても、引き抜く際に気づいて、事故を回避できた事例も多いことが示されている。カテーテルを引き抜く際に、「縫込み」の可能性を常に念頭に置き、わずかでも抵抗を感じたら、開胸し、心臓損傷時に対応できる体制をとった上で抜去する対策が必要であることを提言した。

肺動脈損傷に関しては、肺動脈へのカテーテル挿入、留置中の取り扱い、バルーンの使用方法が関与しているため、その注意点を示した。特にカテーテル先端の肺動脈への挿入時に、ガイドワイヤーの使用により損傷を生じたと疑われる症例が複数あり、その使用方法には細心の注意が必要であることも提言した。

最後に原因究明、再発防止に取り組み、院内調査結果報告書の共有にご協力をいただいた医療機関に謝意を表すとともに、亡くなられた患者様、ご遺族に対し深甚なる弔意を表します。この提言書が、医療安全の向上に向かう歩みの一歩として、医療従事者に役立つことを祈念いたします。

9. 文献

- 1) Swan HJ, Ganz W, Forrester J, et al.: Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *The New England Journal of Medicine*. 1970, 283(9), p.447-451.
- 2) Chiang Y, Hosseinian L, Rhee A, et al.: Questionable benefit of the pulmonary artery catheter after cardiac surgery in high-risk patients. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2015, 29(1), p.76-81.
- 3) Evans DC, Doraiswamy VA, Prosciak MP, et al.: Complications associated with pulmonary artery catheters : A comprehensive clinical review. *Scandinavian Journal of Surgery*. 2009, 98, p.199-208.
- 4) 松宮護郎, 鈴木孝明, 横山斉: 心臓手術時の肺動脈カテーテル使用と関連合併症に関するアンケート調査. *日本心臓血管外科学会雑誌*. 2021, 50 (1), p.1-7.
- 5) 日本心臓血管外科学会・日本心臓血管麻酔学会合同ステートメント作成委員会: 心臓手術時の肺動脈カテーテル使用に関するステートメント. *日本心臓血管外科学会雑誌*. 2021, 50(1), p.8-14.
- 6) Leslie Ko, Wick MR: *Practical Pulmonary Pathology A Diagnostic Approach*: 3rd ed. 2018, p.8-10.
- 7) Kearney TJ, Shabot MM: Pulmonary Artery Rupture Associated With the Swan-Ganz Catheter. *Chest*. 1995, 108(5), p.1349-1352.
- 8) Lois JF, Takiff H, Schechter MS, et al.: Vessel rupture by balloon catheters complicating chronic steroid therapy. *American Roentgen Ray Society*. 1985, 144(5), p.1073-1074.
- 9) Stancofski ED, Sardi A, Conaway GL: Successful outcome in Swan-Ganz catheter-induced rupture of pulmonary artery. *The American surgeon*. 1998, 64(11), p.1062-1065.
- 10) 飯田泰功, 佐久間潮里, 野村実: 動脈圧波形を用いた心拍出量モニタリングの有用性: ICUにおける OPCAB 術後患者での検討. *日本冠疾患学会雑誌*. 2009, 15(2), p.117-121.
- 11) 小山薫: 術中循環動態の把握 静脈血酸素飽和度をみる. *日本臨床麻酔学会誌*. 2015, 35(4), p.487-491.
- 12) Judge O, Ji F, Fleming N, et al.: Current Use of the Pulmonary Artery Catheter in Cardiac Surgery: A survey study. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2015, 29(1), p.69-75.
- 13) Bear J, Wyatt MM, Kreisler KR: Utilizing transesophageal echocardiography for placement of pulmonary artery catheters. *Echocardiography*. 2018, 35(4), p.467-473.
- 14) Walz R, Roth S, Hollmann MW, et al.: Formula for safe insertion depth of a pulmonary artery catheter. *British Journal of Anaesthesia*. 2021, 127(1), e25-e27.
- 15) Bianchini R, Melina G, Benedetto U, et al.: Extracorporeal membrane oxygenation for Swan-Ganz induced intraoperative hemorrhage. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2007, 83(6), p.2213-2214.
- 16) Deren MM, Barash PG, Hammond GL, et al.: Perforation of the pulmonary artery requiring pneumonectomy after the use of a flow-directed (Swan-Ganz) catheter. *Thorax*. 1979, 34(4), p.550-553.

- 17) Vucins EJ, Rusch JR, Grum CM: Vent stitch entrapment of Swan-Ganz catheters during cardiac surgery. *Anesthesia & Analgesia*. 1984, 63(8), p.772-774.
- 18) L' Acqua C, Suriano P, Gregu S, et al.: Troubles After Swan-Ganz Catheter Placement in Cardiac Surgery. *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2017, 21(3), p.262-265.
- 19) Rajaram SS, Desai NK, Kalra A, et al.: Pulmonary artery catheters for adult patients in intensive care (Review). *Cochrane Database of systematic Reviews*. 2013, Feb, 28, 2013(2), CD003408.
- 20) 吉田光剛、瀬尾勝弘、板谷美和, 他: 肺動脈カテーテルにより肺動脈損傷をきたした3症例. *日本臨床麻酔学会誌*. 2002, 22(1), p.39-43.

10. 資料

本提言の検討時に整理した項目になります。類似事例調査の際にご活用ください。

肺動脈カテーテル（開心術）情報収集項目

項目	視点	具体的項目	
基本情報	患者情報	年齢・性別 年齢： 歳 性別： <input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	
		身長・体重（測定日） 身長： cm 体重： kg（ 年 月 日）	
		診断名 既往歴	
	血液検査	内服薬（抗血栓薬） 休薬： <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	
		血算（採血日： ） <input type="checkbox"/> Hb: g/dl <input type="checkbox"/> Plt: 万/ μ l <input type="checkbox"/> 他:	
	凝固（採血日： ） <input type="checkbox"/> PT: % <input type="checkbox"/> PT: 秒 <input type="checkbox"/> APTT: 秒 <input type="checkbox"/> PT-INR: <input type="checkbox"/> Fib: mg/dl <input type="checkbox"/> 他:		
死因	A解剖・	解剖結果：損傷部位（推定含む） Ai 結果：損傷部位（推定含む）	
	適応の検討	必要性とリスクの評価	検討方法 <input type="checkbox"/> カンファレンス <input type="checkbox"/> 主治医のみ <input type="checkbox"/> 他: カテーテル挿入の必要性 <input type="checkbox"/> 術式: <input type="checkbox"/> 心停止時間: <input type="checkbox"/> 左室機能: <input type="checkbox"/> 右室機能: <リスク> <input type="checkbox"/> 肺高血圧症程度: <input type="checkbox"/> 心不全の程度: <input type="checkbox"/> 他: 肺動脈損傷および致死性の出血のリスク <input type="checkbox"/> 高齢 <input type="checkbox"/> 女性 <input type="checkbox"/> 肺高血圧症 <input type="checkbox"/> 抗血栓薬使用 <input type="checkbox"/> ステロイド薬の長期使用 代用の検討 <input type="checkbox"/> SpO ₂ 測定器 <input type="checkbox"/> APCO <input type="checkbox"/> SvO ₂ <input type="checkbox"/> ScvO ₂
説明方法 <input type="checkbox"/> 説明同意書 <input type="checkbox"/> 口頭 <input type="checkbox"/> 他:			
説明内容 <input type="checkbox"/> カテーテル挿入の必要性 <input type="checkbox"/> 手術操作に伴う肺動脈損傷のリスク <input type="checkbox"/> カテーテル抜去に伴う心臓損傷のリスク <input type="checkbox"/> 他:			
手術の情報		器材使用	カテーテル製品名 挿入時使用した機器 <input type="checkbox"/> 圧波形モニタ <input type="checkbox"/> 経食道心エコー <input type="checkbox"/> 他: 挿入部位 <input type="checkbox"/> 内頸静脈(左・右) <input type="checkbox"/> 大腿静脈(左・右) <input type="checkbox"/> 他:
		カテーテル挿入の操作および留置	確認した測定圧 <input type="checkbox"/> 右房圧 <input type="checkbox"/> 右室圧 <input type="checkbox"/> 肺動脈圧 <input type="checkbox"/> 肺動脈楔入圧
	バルーンの膨張容量 <input type="checkbox"/> 実際に膨張した容量()ml ※規格の適正容量()ml		
	右肺動脈主幹部近傍に留置した確認方法 <input type="checkbox"/> 圧波形モニタ <input type="checkbox"/> 経食道心エコー <input type="checkbox"/> 他:		
	人工心肺開始前の留置位置 引き抜いた長さ 右肺動脈主幹部近傍(肺門部付近)から ()cm 留置した長さ ()cm		
	手術操作	心臓の脱転や圧排の操作 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	
		糸掛けや縫合を行った部位 <input type="checkbox"/> 肺動脈主幹切開部 <input type="checkbox"/> 右室流出路切開部 <input type="checkbox"/> 下大静脈カニューレ挿入部 <input type="checkbox"/> 逆行性心筋保護用カニューレ挿入部 <input type="checkbox"/> 右側左房切開部 <input type="checkbox"/> 右房切開部 <input type="checkbox"/> 左房・左室ベントカニューレ挿入部 <input type="checkbox"/> 上大静脈カニューレ挿入部	
		閉胸前にカテーテルが縫込まれていないかの確認する方法 <input type="checkbox"/> 麻酔科医：連続心拍出量の異常や先端温度センサーの不良の有無 <input type="checkbox"/> 外科医：縫合したすべての部位をつまみ上げた時の肺動脈カテーテルの縫込みの有無 <input type="checkbox"/> 麻酔科医：経食道心エコーにおける右房・右室内のたわみの有無 <input type="checkbox"/> 〔共同〕麻酔科医：肺動脈カテーテルを5～10cm動かした時の抵抗の有無 <input type="checkbox"/> 〔作業〕外科医：縫合したすべての部位の引きつれの有無(視診・触診)	
		確認部位 <input type="checkbox"/> 縫合を行ったすべての部位 <input type="checkbox"/> 縫合を行った一部: <input type="checkbox"/> 他:	
	出血時の対応	抜去時	抜去場所 <input type="checkbox"/> 集中治療室 <input type="checkbox"/> 手術室 <input type="checkbox"/> 他:
立ち会った医師の人数 ()人			
引き抜く際の抵抗 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無			
縫込みが疑われた際の確認方法 <input type="checkbox"/> X線 <input type="checkbox"/> X線透視 <input type="checkbox"/> 経食道心エコー <input type="checkbox"/> 他:			
発合併症		出血部位 部位: <input type="checkbox"/> 特定困難 処治・治療など <input type="checkbox"/> 気管支ブロック挿入 <input type="checkbox"/> ECMOの装着 <input type="checkbox"/> 経カテーテル的止血術: <input type="checkbox"/> 外科的治療: <input type="checkbox"/> 他:	
体管制理	教育	抜去の教育プログラムの整備 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無	

肺動脈カテーテル（検査）情報収集項目

項目	視点	具体的項目
基本情報	患者情報	年齢・性別 年齢： 歳 性別： <input type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女
		身長・体重（測定日） 身長： cm 体重： kg（ 年 月 日）
		診断名
		既往歴
		内服薬（抗血栓薬） 休薬： <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無
血液検査	血算（採血日： ） <input type="checkbox"/> Hb: g/dl <input type="checkbox"/> Plt: 万/ μ l <input type="checkbox"/> 他:	
	凝固（採血日： ） <input type="checkbox"/> PT: % <input type="checkbox"/> PT: 秒 <input type="checkbox"/> APTT: 秒 <input type="checkbox"/> PT-INR: <input type="checkbox"/> Fib: mg/dl <input type="checkbox"/> 他:	
死因	Ai 解剖・	解剖結果：損傷部位（推定含む）
	Ai 結果：損傷部位（推定含む）	
適応の検討	リスクの必要性と評価	検討方法 <input type="checkbox"/> カンファレンス <input type="checkbox"/> 主治医のみ <input type="checkbox"/> 他科依頼 <input type="checkbox"/> 他:
		挿入目的 <input type="checkbox"/> 肺高血圧症の確定診断・病型診断 <input type="checkbox"/> 学会申請 <input type="checkbox"/> 弁膜症の診断、重症度評価 <input type="checkbox"/> 手術の適応の検討 <input type="checkbox"/> 他:
		肺動脈損傷および致死性的出血のリスク <input type="checkbox"/> 高齢 <input type="checkbox"/> 女性 <input type="checkbox"/> 肺高血圧症 <input type="checkbox"/> 抗血栓薬使用 <input type="checkbox"/> ステロイド薬の長期使用
	代用の検討 <input type="checkbox"/> 心臓超音波検査 <input type="checkbox"/> 経食道心エコー <input type="checkbox"/> 他:	
説明	説明方法 <input type="checkbox"/> 説明同意書 <input type="checkbox"/> 口頭 <input type="checkbox"/> 他:	
	説明内容 <input type="checkbox"/> カテーテル挿入の必要性 <input type="checkbox"/> 肺動脈損傷および致死性的出血のリスク <input type="checkbox"/> 他:	
検査中の情報	場所	挿入場所 <input type="checkbox"/> 血管造影室(それに準ずる治療室) <input type="checkbox"/> 病室 <input type="checkbox"/> 他:
	器材使用	カテーテル製品名
		挿入時使用した機器 <input type="checkbox"/> 圧波形モニタ <input type="checkbox"/> X線透視 <input type="checkbox"/> 他:
	カテーテルの経過検査中	挿入部位 <input type="checkbox"/> 内頸静脈(左・右) <input type="checkbox"/> 大腿静脈(左・右) <input type="checkbox"/> 他:
		ガイドワイヤーの使用 <input type="checkbox"/> 有 理由: <input type="checkbox"/> 無
		肺動脈楔入圧測定困難時の対応 <input type="checkbox"/> 肺動脈拡張期圧で代用 <input type="checkbox"/> 左室拡張末期圧で代用 <input type="checkbox"/> 他:
		確認した測定圧 <input type="checkbox"/> 右房圧 <input type="checkbox"/> 右室圧 <input type="checkbox"/> 肺動脈圧 <input type="checkbox"/> 肺動脈楔入圧
バルーンの膨張容量 <input type="checkbox"/> 実際に膨張した容量()ml ※規格の適正容量()ml		
出血時の対応	発合併症時	呼吸器症状 <input type="checkbox"/> 有 (<input type="checkbox"/> 咳嗽 <input type="checkbox"/> 喀血 <input type="checkbox"/> 血痰 <input type="checkbox"/> 呼吸困難感 <input type="checkbox"/> 他:) <input type="checkbox"/> 無
		出血部位の確認方法 <input type="checkbox"/> 血管造影 <input type="checkbox"/> 他:
		出血部位 部位: <input type="checkbox"/> 特定困難
		止血方法 <input type="checkbox"/> ECMOの装着 <input type="checkbox"/> 経カテーテル的止血術: <input type="checkbox"/> 外科的治療: <input type="checkbox"/> 他:
体制	連携	関連診療科との連携体制 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無

専門分析部会 部会員

部会長	松宮 護郎	特定非営利活動法人 日本心臓血管外科学会
部会員	大西 佳彦	一般社団法人 日本心臓血管麻酔学会
	佐藤 哲文	公益社団法人 日本麻酔科学会
	杉村 宏一郎	日本肺高血圧・肺循環学会
	原口 剛	一般社団法人 日本集中治療医学会
	福本 義弘	一般社団法人 日本循環器学会
	前田 浩	日本手術看護学会
	宮入 剛	特定非営利活動法人 日本心臓血管外科学会
	山口 敦司	特定非営利活動法人 日本心臓血管外科学会

利益相反

医療事故調査・支援センターは、専門分析部会 部会員が自己申告した本提言書の内容に関する利益相反の状況を確認した。

再発防止委員会 委員

委員長	松原 久裕	千葉大学大学院医学研究院 先端応用外科 教授
副委員長	後 信	九州大学病院 医療安全管理部 部長・教授
委員	荒井 康夫	北里大学病院 医療支援部 診療情報管理室 課長
	上野 道雄	公益社団法人 福岡県医師会 参与
	加藤 良夫	栄法律事務所 弁護士
	日下部 哲也	独立行政法人 医薬品医療機器総合機構 医療機器品質管理・安全対策部長
	隈丸 拓	東京大学大学院医学系研究科 医療品質評価学講座 特任准教授
	児玉 安司	新星総合法律事務所 弁護士
	小松原 明哲	早稲田大学理工学術院 創造理工学部 経営システム工学科 教授
	坂井 浩美	公益社団法人 東京都看護協会 危機管理室 次長
	坂井 喜郎	公益社団法人 日本精神科病院協会 理事
	寺井 美峰子	公益財団法人 田附興風会医学研究所 北野病院 看護部長
	原 眞純	帝京大学医学部附属溝口病院 病院長
	福士 賢治	公益社団法人 日本歯科医師会 理事
	布施 明美	公益社団法人 日本助産師会 理事
	舟越 亮寛	一般社団法人 日本病院薬剤師会 理事
	細川 秀一	公益社団法人 日本医師会 常任理事
	松本 守雄	一般社団法人 日本医学会連合 理事
	矢野 真	日本赤十字社 総合福祉センター 所長
	山口 育子	認定NPO法人 ささえあい医療人権センターCOML 理事長

上記再発防止委員会 委員名簿は「医療事故の再発防止に向けた提言 第19号」が承認された時点のものである。

医療事故の再発防止に向けた提言 第19号

肺動脈カテーテルに係る死亡事例の分析 第1部 開心術編/第2部 検査編

2024年2月 発行

編集・発行：医療事故調査・支援センター（一般社団法人 日本医療安全調査機構）

TEL：代表 03-5401-3021

〒105-0013 東京都港区浜松町 2-8-14 浜松町TSビル 2階

一般社団法人日本医療安全調査機構は、医療法第6条の15により「医療事故調査・支援センター」の指定を受け、同法第6条の16各号に掲げる業務（以下「調査等業務」という）を行うものです。

本提言書に掲載する内容は、同法第6条の11等に則り報告された情報に基づいて作成されています。これらの情報は、作成時点の情報に基づいており、その内容を将来にわたり、保証するものではありません。

本提言書の全部または一部を無断で複製複写（コピー）することは、著作権法上での例外を除き禁じられています。

