

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 発行

編集

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

策定委員 (五十音順)

大西佳彦 国立循環器病研究センター麻酔科
岡本浩嗣 北里大学病院麻酔科
志水秀行 慶應義塾大学心臓血管外科
鈴木孝明 埼玉医科大学国際医療センター小児心臓外科
松宮護郎 千葉大学心臓血管外科
松村由美 京都大学医学部附属病院医療安全管理部
夜久 均 京都府立医科大学心臓血管外科

目次

1. 序文
2. 肺動脈カテーテル使用の適応
3. 挿入方法
 - A. 総論
 - B. 圧（波形）モニターのみを使用する挿入方法
 - C. X線透視ガイド下の挿入方法
 - D. 経食道エコーガイド下の挿入方法
4. 術中の取り扱い
5. 閉胸前の確認
6. ICUでの取り扱い
7. 抜去時の注意点
8. 医療安全の観点から

1. 序文

この度、日本心臓血管外科学会と日本心臓血管麻酔学会が共同で、心臓外科手術における肺動脈カテーテルの使用についてのステートメントを作成することが出来た。このステートメント作成に至るきっかけとなったのは、肺動脈カテーテルひき抜き時の心臓損傷死亡事例であり、それに対応して日本心臓血管外科学会が緊急で行った現状把握を目的としたアンケート調査の結果である。アンケートの対象は心臓血管外科専門医認定機構に登録された全国の修練施設であり、532 施設中 336 施設より回答を得ることができた。アンケートの集計結果からは、心臓外科手術の 90%を超える症例において肺動脈カテーテルを使用している施設がおよそ 70%あるにも関わらず、使用基準を決めている施設はおよそ半数しかないことがわかった。また 30%の施設でカテーテルの心臓あるいは血管壁へ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施設は約 20%であった。75%の施設で縫い込みの有無のチェックや抜去の際の教育指導を行なっていることも明らかとなったが、肺動脈カテーテルの安全使用については術中管理を担当している心臓麻酔科医も大きく関わっており、日本心臓血管麻酔学会にカテーテル関連事故の再発防止を目的とした提言を共同で行うことを提案し、このステートメントを作成することとなった。

事故はエラーの連鎖の結果発生するものであり、事故が起きたその時、その場所だけに焦点を当てても再発を防ぐことが出来ないのは周知の事実である。本ステートメントでは、カテーテル使用の適応から挿入、留置中の取り扱い、抜去までを通じ、標準的医療レベルを満たして安全に肺動脈カテーテルを使用することのできる指針となるべく構成することを目標とした。本ステートメントがそれぞれの医療機関の心臓外科手術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ものである。

最後に、本ステートメントをまとめるに当たりリーダーシップを取られた日本心臓血管外科学会横山斉理事長、日本心臓血管麻酔学会野村実理事長、またご協力を頂いた両学会の専門家の先生方、事故を経験された施設の医療安全部門の皆様のご理解とご協力に心より感謝申し上げます。

日本心臓血管外科学会医療安全管理委員長
鈴木孝明

2. 肺動脈カテーテル使用の適応

心臓血管手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きわめて重要である。

1970年にSwanら¹が初めて臨床使用した肺動脈カテーテルは、その後、さまざまな改良が加えられ、ショック症例、重症心不全例、肺高血圧例などの重症管理に加え、心臓血管手術の周術期管理においても、血行動態の把握や水分管理、カテコラミンの増減などの治療方針の決定において、臨床の現場で重要な役割を果たしてきた。最近では術中管理に経食道心エコー（TEE）が汎用されるようになったが、肺動脈カテーテルは、なお、心臓血管手術における術中および周術期モニターとして世界中で広く用いられている。Judgeらのアンケート調査によれば、回答者のうち約1/3は人工心肺手術の全例に、別の約1/3は75%以上に肺動脈カテーテルを使用しており、肺動脈カテーテルをまったく使用しないとの回答は全体の3.5%に過ぎなかったことが報告されている²。

一方、その有効性に関しては、これまでの多くの研究により、ショック例や重症手術例に肺動脈カテーテルを常用しても、在院死亡率の低下、在院日数やICU滞在日数の短縮などのメリットは得られないことが示されてきた³⁻⁵。この結果は心臓血管手術においても同様であり^{6,7}、したがって、心臓血管外科の周術期管理においては肺動脈カテーテルを全例に使用するのではなく、対象を絞って有効利用することが推奨される。

非心臓手術時の周術期の心血管評価と管理に関する2014 ACC/AHAガイドライン⁸によれば、非心臓手術において、血行動態に大きく影響する心不全、重症弁膜症、ショックなどの存在が術前に改善されていない場合には肺動脈カテーテルの使用が推奨され、たとえリスクが高い症例であっても肺動脈カテーテルを常用することは推奨されないことが示されている。

心臓血管手術における肺動脈カテーテルの適応基準を包括的に示したガイドラインはないが、CABGに対する2011 ACCF/AHAガイドライン⁹では、CABGに際して、心原性ショックの場合に麻酔導入・加刀前に肺動脈カテーテルを挿入すること、血行動態が不安定な患者の術中、術後早期に肺動脈カテーテルを用いることを推奨し、血行動態が安定している場合は患者リスク、予定術式、臨床状況を考慮して肺動脈カテーテルを使用するのが妥当としている。

肺動脈カテーテルにより直接的あるいは間接的に測定されるパラメーターは、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（SVO₂）、⑥拡張期容量（前負荷）などである。

これらのパラメーターのうち、肺動脈圧は肺動脈カテーテルのみが直接測定可能なツールである。TEEでも推定値として算出することが可能であるが、その精度はあまり高くない。また、TEEは食道静脈瘤がある場合などは適用自体が困難である。

肺動脈楔入圧は、そもそも左房圧の代用であるから、左房内に直接カテーテルを挿入した方が有用なデータが得られる。しかし、挿入は開胸後に限られ、術前から麻酔導入時にモニターすることはできない。また、抜去に際しての工夫が必要である。

心拍出量に関してはいくつかの代用法がある。その1つはTEEである。TEEは唯一画像データが得られる方法であり、術中モニターとしてきわめて有用である。しかし、心拍出量を連続的にデジタル表示できるモニターではなく、また、抜管後にTEEを頻回に施行することは実用的でない。一方、最近では、直接あるいは間接的に得られる動脈圧波形から1回心拍出量やその変化量(stroke volume variation)を連続的に測定する方法¹⁰や電磁インピーダンスを用いた低侵襲モニターなどが利用可能となっている。動脈圧波形解析は、動脈圧波形の正確性や不整脈の影響などに関する懸念がある一方、輸液反応性の評価にも優れるという特徴を有している。

混合静脈血酸素飽和度については、CVカテーテルの先端にセンサーがついた製品が利用可能である。厳密には混合静脈血でなく上大静脈血の測定となるが、概ね代用可能と考えられる。

拡張期容量に関しては、そもそも肺動脈カテーテルの測定精度は高くなく、心エコーの方が信頼性に優れている。

これらをまとめると、肺動脈圧を正確に測定するニーズが高い場合には肺動脈カテーテルが最適のモニターであり、一方、肺動脈圧を積極的に利用しない場合には、TEEや動脈圧波形を利用した心拍出量計と静脈血酸素飽和度の測定センサー付き中心静脈カテーテルの併用など、低侵襲モニターでの代用を検討する価値があるということになる。

心臓血管手術時に肺動脈カテーテルが重要なインフォメーションを提供する症例が確実に存在し、一方で、心臓血管手術の全例に肺動脈カテーテルを挿入することは推奨されない。その適応は、手術内容、症例の重症度、施設の実力によって異なるものであり¹¹、TEEや動脈圧波形による低侵襲モニターなど別のモダリティの使用も考慮しつつ、メリットとデメリットのバランスの中で、患者ごとに判断されるべきである¹²。

3. 挿入方法

A. 総論

挿入部位とその方法：肺動脈カテーテルは、その解剖学的な利点（走行の直進性、胸管の無いことなど）から、穿刺・挿入部位として右内頸静脈が選択されることが多い¹³。

しかしながら場合によって、左内頸静脈、左右鎖骨下静脈、左右肘静脈、左右大腿静脈が部位として使用される場合がある。右内頸静脈以外からの穿刺・挿入は、左腕頭静脈の走行異常や欠損、腋窩静脈の走行異常、腸骨・下大静脈の走行異常等に伴うカテーテルの迷入や挿入困難の可能性があるため、放射線イメージング（以下 X 線透視）ガイド下の挿入が薦められる。特に断らない限り本ステートメントでは右内頸静脈からのアプローチを念頭に述べる。

挿入に伴う合併症：重篤なものとして心穿孔とそれによる心タンポナーデ、肺動脈破裂、肺梗塞、三尖弁・肺動脈弁損傷、腱索や乳頭筋等の心腔内組織損傷、大静脈や大血管損傷（含動脈誤穿刺）、気胸や血胸、不整脈、迷入・屈曲や結節形成などが挙げられる。^{11, 13-16}

静脈穿刺とカテーテルイントロデューサ（以下シース）挿入：超音波（以下エコー）ガイド下で、且つガイドワイヤーを使用したいわゆるセルジンガー法による静脈穿刺が誤穿刺のリスクが少なく安全である¹¹。内頸静脈から挿入したガイドワイヤーが内頸静脈内で屈曲したり、左右鎖骨下静脈やその他の頸部静脈内に迷入せず、たわみなく上大静脈に到達していることをエコーあるいは X 線透視を用いて確認した後、ガイドワイヤーを通してシースを挿入する。シース挿入の際には抵抗がないこと、ガイドワイヤーを抜去した後にシースの側孔から血液がスムーズに吸引できること、エコーや X 線透視を用いてシースが屈曲していないことを確認する。シースの内径や形状によっては挿入の際にダイレーターを使用する場合があるが、その際も同様の注意が必要である。

B. 圧（波形）モニターのみを使用する挿入方法

シースが正しく留置されたことを確認後、シースを通して肺動脈カテーテルを挿入する。シースからカテーテル先端が確実に出る長さとなったら、適正な容量の空気を用いてバルーンを膨張させ、先端孔から圧及び圧波形を連続的に監視しながら慎重にカテーテルを進める。通常であれば 1 分ほどで右心房圧波形、右心室圧波形、肺動脈圧波形、肺動脈楔入圧波形と順次変化する。肺動脈楔入圧波形が見られた時点でバルーンを収縮（虚脱）させ、その長さから約 3cm カテーテルを引き抜く。再びバルーンを膨張させると数秒以内に肺動脈楔入圧波形が得られ、虚脱させると再び肺動脈圧波形に復帰することを確認した後、挿入長を記載しておく。挿入終了時に胸部 X 線写真を撮影し、カテーテルのたわみがないこと、カテーテル先端が肺門部に位置していることを確認する。

以上、圧（波形）モニターのみを使用して肺動脈カテーテルを適正な位置に留置する方法を述べたが、本ステートメントでは圧波形に加えて、X 線透視ガイド併用下あるいは TEE ガイド併用下に挿入・留置する方法を強く推奨するものである。以下に X 線透視ガイド下及び TEE ガイド下に挿入・留置する方法を述べる。

C. X 線透視ガイド下の挿入方法；心血管造影室やカテーテル検査室、あるいはハイブリッド手術室で挿入する場合は備え付けの X 線透視装置を使用するが、それ以外の手術室では移動用の X 線透視装置を使用しても良い。いずれの場合も、シース挿入時に使用

するガイドワイヤーの位置と走行を最初に確認する時点から X 線透視装置を用いると良い。X 線透視下にシースからカテーテルの先端が出たことを確認した後、バルーンを膨張させ、慎重にカテーテルを進める。その際、圧波形も参考にして右房から三尖弁を通過させ右心室に到達させる。三尖弁逆流のある症例や右房拡大のある症例では、右室に到達せずにバルーンが跳ね返されたり、右房内でループを描く像が X 線透視下で認められることがある。また、下大静脈や肝静脈や冠状静脈洞方向に迷入することもあるのでそのような場合には慎重に操作をやり直す必要がある。圧波形とともに X 線透視下に右室に挿入されたことが確認されたら、更にカテーテルを右室流出路方向に進める。肺動脈弁を通過すると肺動脈圧波形が得られる。時に右室心尖部方向にカテーテルが向かったり、特に右室肥大のある症例で右室内でループを作ることが X 線透視下に認められることがあり、そのような場合はバルーンを一旦虚脱させ少し引き抜いてから再度試行する。肺動脈圧波形が得られた部位からさらにカテーテルを進めると、通常は右肺動脈主幹部を通過し、右肺動脈分枝に入りやがてカテーテル先端のバルーンがより末梢の右肺動脈分枝に楔入し、固定される像が X 線透視下に確認され、同時に肺動脈楔入圧波形が得られる。この時点でバルーンを虚脱させ、その位置から約 3cm カテーテルを引き抜く。その際、圧波形が肺動脈圧波形に復帰し、カテーテル先端が右肺動脈主幹部近傍（肺門部付近）に位置すること、再びバルーンを膨張させると肺動脈楔入圧波形とともに X 線透視下に楔入像が見られることを確認し、挿入長を記載しておく。また肺動脈カテーテル全体が心血管腔内でたわむことなく肺動脈に到達していることも透視下に確認しておくが良い。

左肺動脈分枝にしかカテーテルが進まない場合もあるが右肺動脈と同様の方法で留置及びその確認を行う。重度の僧帽弁逆流症例など肺動脈楔入圧波形が得られない場合は無理にカテーテル先端を進めず、左右肺動脈主幹部（肺門部）に留置させ、肺動脈拡張期圧等を肺動脈楔入圧の代用とする。

症例によって挿入時の心室性不整脈が頻発したり、術野で確認しながら挿入することが適切と判断された場合は右心房-上大静脈接合部付近に留置し、右心房切開のもと直視下に用手的に挿入する。この場合肺動脈弁直上までの誘導にとどめ、より末梢への挿入は避ける。

D TEE ガイド下の挿入方法

肺動脈カテーテル挿入時に圧波形の確認だけで施行するよりも、TEE ガイド下で試みる方がスムーズに挿入できる^{17 18}。全身麻酔下で肺動脈カテーテル挿入時には予め TEE を挿入しておくことが望ましい。

成人症例では 7.5-8.5Fr. のシースを原則として右内頸静脈から挿入して、そこから 7-7.5Fr. の肺動脈カテーテルを挿入することになる。まれにシース先端が右鎖骨下動脈方向に向いていて、肺動脈カテーテルが迷入することもある。TEE での確認が有用となる。

右房から三尖弁通過時には TEE の上下大静脈像で肺動脈カテーテル挿入を確認する。右心耳方向への迷入や下大静脈側へカテーテル先端が弾かれるときに有用となる。バルーンを膨らませるとカテーテル先端がアコースティックシャドウで明瞭となる。上下大静脈像画面から若干反時計回りにプローブを回転すると三尖弁が描写される。先端が流入されるようにカテーテルを捻りながら誘導する。右内頸静脈からの挿入時には 25-35cm で右室内へ挿入される。40cm を超えて挿入しても右室波形が得られないときには 20cm 程度まで引き抜いてやり直す。頭位を下げた右下側臥位にした方が三尖弁に入りやすくなる。重度三尖弁逆流症例や、三尖弁形成術後症例では挿入困難となりやすい。

右室から肺動脈への挿入時は TEE の右室流入流出路像を描写して肺動脈弁を通過することを確認する。右室内でカテーテルの可動性が少なく固定されている状態は、先端が肺動脈弁輪直下に迷入して固定されている可能性が高い。ゆっくりと引き抜いていくと、右内頸挿入部より 30-40cm 程度でカテーテル先端が右室内で浮遊拍動しはじめる。肺動脈弁を通過させるようにカテーテルの出し入れを繰り返して誘導する。肺動脈への誘導時には頭位を上げて右下側臥位にすると入りやすくなる。右室流出路に先端があたり、時に重篤な心室性不整脈が見られるため愛護的に操作する。

肺動脈内では上食道部からの TEE の上行大動脈短軸像で肺動脈内カテーテル先端の位置を確認する¹⁹。右肺動脈内で浮遊拍動している状態が望ましい。右内頸挿入部より 45-55cm で至適部位となる症例が多い。

バルーンを膨らませてゆっくり進めて肺動脈楔入圧計測した後は必ず 3cm 引き抜いて固定する²⁰。人工心肺開始後の心停止前にも同様に 3cm 引き抜くことが必要である。引き抜きを忘れると Maze 手術操作時など心室反転時には 4-5cm カテーテルが侵入するため肺動脈損傷の原因となる。

4. 術中の取り扱い

術中は持続的にヘパリン加生理食塩水で圧ルーメンを満たし、圧トランスデューサに接続し、肺動脈圧及びその波形を常にモニターする。経時的にカテーテル先端が前進し肺動脈楔入圧波形になっていないか、逆にカテーテル先端が後退し右心室波形になっていないかを確認し、必要に応じて位置を修正する。肺動脈楔入圧測定のためのバルーンの膨張は数秒以内とし、測定終了後確実にバルーンを虚脱させ、肺動脈圧波形に復帰することを確認する。

体外循環（人工心肺）が開始されると、心腔内容量の減少とともにカテーテル先端が数センチ末梢へ前進する可能性があるため、開始直前に約 3cm カテーテルを引き抜く¹⁵。人工心肺を使用しない場合でも、心臓の機械的圧迫や脱転によりカテーテルが末梢へ前進することが危惧される場合は、同様に手技前にあらかじめカテーテルを必要に応じて引き抜く。カテーテルを引き抜く際にはバルーンを虚脱させて慎重に引き抜くことと、

引き抜き後も圧波形が肺動脈圧波形を示している（右室圧ではない）ことを確認しておく。

人工心肺の終了とともにカテーテルの位置の修正（前進・後退）を行ったり、肺動脈楔入圧を測定するためにバルーンを再膨張させる時には、圧波形が肺動脈圧波形を示していることを確認した後、徐々にバルーンの容量を増加させ、抵抗がある場合は無理をせず、バルーンを一旦虚脱させて更に引き抜いてから再施行する。

この時点でカテーテルの前進・後退に何らかの抵抗がある場合は、大静脈のターニケット（スネア）解除の確認を行うとともに、カテーテルの結節形成、上下脱血管や左房・肺静脈・肺動脈ベントのスティッチ、ペースメーカースティッチ等による縫い込み¹⁶、三尖弁形成や肺動脈形成、その他の心内修復時の誤結紮や縫い込みの可能性などを術者と確認する必要がある。

生体弁による三尖弁や肺動脈弁置換の場合やその他の手術手技による必要性から、一度抜去したカテーテルを再び術野から用手的に挿入する場合は、肺動脈分枝末梢まで誘導せず、肺動脈弁直上の主肺動脈内にとどめ、後に圧波形を確認しながら位置を調整する。

術中の合併症：肺動脈破裂や肺梗塞およびそれに伴う肺出血、心破裂、外科医による誤結紮や縫い込み、カテーテル自体の屈曲や結節形成・損傷や断裂などがある^{13 11 14 16}。

5. 閉胸前の確認

開心術中に右心系のいずれかの部位（上下大静脈、右心房、右心室、肺動脈）に巾着縫合や心房切開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ように、あるいは貫通して糸掛けを行ってしまう可能性がある。肺静脈へのベントカテーテル挿入のための糸掛けが右心房へ貫通して、カテーテルを貫通した症例も報告されている。最も多いのは下大静脈脱血管抜去部位の出血に対する追加針である。次いで肺動脈主幹部や上大静脈脱血管挿入部位である。右室壁や右房壁での縫い込みの可能性も少ないながらある。右心房の切開線を閉鎖する場合、縫合部位の中にカテーテルが近接していないことを確認しながら縫合を進める。右心房に外表面から巾着縫合などをかける場合、常温下ではカテーテルは体外で触診するよりは柔らかくなるため、運針時に針で肺動脈カテーテルを貫通しても触覚的には感知しえないこともありうる¹⁶。むしろ、これまで報告されたカテーテル縫込み事例のほぼすべてで外科医はカテーテルを貫通したことを自覚しておらず、肺動脈カテーテルの縫い込みは外科医の手術中の感覚のみからは否定しえないことに十分留意する必要がある。肺動脈カテーテルを貫通した症例では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。バルーンを破損した症例ではバルーンを拡張するシリンジ部位への血液逆流が見られる。

以上から、人工心肺を離脱して心臓への止血の糸掛けが必要なくなった時点から、閉胸までの間に縫込みが起こっていないかを確認することが極めて重要である。まず、右心系や右心房に近接する左心房や肺静脈に糸掛けを行った部分すべての触診を行う。指で糸がかかっている部分の組織をつまみ上げるようにして持ち上げ、その中にカテーテルを触知しないか確認する。麻酔医にカテーテルを動かしてみてもらい、抵抗がないことを確認してもらい、外科医は視診で可能性のある部分にひきつれが起こらないかを確認する。カテーテルを進めることは縫い込まれていても可能な症例があるため確実な方法ではない。カテーテルを 5-10 cm 引き抜けば確認可能との報告¹⁶があるが根拠は明らかでない。右心房や右心室内でたわみを生じている場合もあり、こういった場合 5-10cm 引き抜いても縫込みを否定できない場合もありうる²¹。したがって一旦シースの中まで引き抜いて再度挿入するのが確実であるが、再度挿入することのリスクや時間的制約もあるので、TEE でカテーテルの走行を確認し、たわみがない状態でカテーテルを引っ張っても心臓壁にひきつれがないかを確認する。下大静脈や肺動脈、右房壁などで縫い込まれている場合には TEE で壁が歪む状態が確認可能である。ただし、上大静脈や右室壁で縫い込まれている症例では確認できないことが多い。TEE での肺動脈カテーテルの可動性を確認することも重要となる。また、これらの確認は外科医が糸掛けを行った可能性があるのでないかと疑ったときのみに行うのではなく、右心系に糸掛けを行った症例全例に行うべきである。

引き抜き時に引っ掛かりがあった場合、触診および視診、TEE で縫込み部位を同定する。送脱血管や左房ベント、逆行性心筋保護用カテーテル挿入部位にかけた巾着縫合が原因である場合、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、カテーテルを抜去してから新しい巾着縫合を結紮する。心房切開線の縫合ラインに縫い込んでいる場合、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て縫合糸を前後で固定してから、その間にある原因となっている縫合糸をきり、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。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可能である。

6. ICU での取り扱い

手術終了時に胸部 X 線でカテーテル位置を確認し、主肺動脈に先端が来るように調節する。しかしその後、体位変換、頸の位置、血管内ボリュームの変動などによってカテーテル先端の位置は変動することがありうる。肺動脈先端圧を持続的にモニターし、楔入圧が出ていると思われる場合は肺動脈圧波形となるところまでゆっくり引き抜く。

定期的に楔入圧を測定するためにバルーンを膨らませることは、肺動脈損傷のリスクを著しく増すことになるので避けるべきである。肺動脈拡張期圧で代用することでほと

んどの場合、問題なく血行動態の指標としうる。楔入圧を測定することがどうしても必要なときには、バルーン拡張をゆっくりと抵抗を感じながら行い、抵抗を感じたところでそれ以上の空気の注入は行わないようにする^{22,23}。抵抗を感じない場合でも推奨容量以上の空気を注入することはしない。

7. 抜去時の注意点

閉胸時までの確認で 100% 縫込みが起こっていることは否定しえないことに留意する。これまでの報告のほとんどは肺動脈カテーテル抜去時に抵抗があることで初めて縫込みに気づかれている。したがってカテーテル縫い込みの可能性を常に念頭に置き、ゆっくりと引っ張り抵抗がある場合それ以上無理に引っ張らないことが重要である。カテーテル抜去を行う医療スタッフに対しては上記のことについて繰り返し定期的に教育する必要がある。本ステートメントを理解した集中治療医や心臓血管外科医の立会いの下で抜去するような取り決めを行うことが望ましい。

抵抗を感じた場合、まず胸部 X 線でカテーテルの結節形成が起こっていないことを確認する。その場合は透視下に処置が可能な場合もある。それがなければ縫込みが強く疑われる²⁴。カテーテル操作で抜去しえたとの報告もあるが、確実とは言えず出血を起こした場合には致命的になりうるので全身麻酔下に手術室で開胸して処置すべきである。開胸下の抜去法は「術中、閉胸前の確認」に記載した。

8. 医療安全の観点から

心臓手術時に肺動脈カテーテルを縫込み、それに気づかないまま位置調整目的にて閉胸後にカテーテルを引き抜き、心臓を損傷する大きな事故が発生した。患者さんはその事故によって、数か月後にお亡くなりになった。本来、リスクを低減するためのモニタリングが死亡につながることは、到底許容されることではなく、また、あってはならないことである。事故調査委員会の提言を受け、いくつかの具体的な再発防止策が、実施されているが、肺動脈カテーテルの使用を継続する以上、リスクはゼロにならないことも痛感している。

この度、日本心臓血管外科学会医療安全管理委員会が、肺動脈カテーテル使用状況や縫込みの発生の有無、各種リスク低減策についての実態調査を実施して下さった。一般に、リスクを管理するためには、まず、リスクに関する情報を収集し、リスクを低減するための安全管理システムを設計し、それを維持することが必要となる。しかし、発生確率が低い事故については、リスクに関する情報が集まりにくい。情報がなければ安全管理システムの構築もできない。この度の学会の調査では、情報収集だけでなく、専門的見地から分析し、その結果についても公表いただくことになった。このような学会

のご尽力に心から感謝するとともに、改めて院内の体制を見直し、リスク低減のプロセスの改善を続けたいと考えている。

肺動脈カテーテルの使用による利益がリスクを上回るのかという命題に対し、様々な意見が出されて来た。米国の心臓外科領域からの報告では、肺動脈カテーテルの使用により、感染合併症を増加させるが、在院日数を減少させ、心肺に関する合併症の発生を低下させるとしている。ただし、術後 30 日以内の院内死亡率には影響しないようである²⁵。他方、米国の麻酔科領域からは、リスクが大きい以上、心臓手術にルーチンに用いるべきではなく、対象を絞り込むべきであるとする意見もでており、それにも根拠がある²⁶。リスク管理の立場からは、今回の日本での調査の結果を得て重要と考えることは2点ある。一つは、カテーテルの縫込み事故は、頻度は低いとはいえ、実際に今も発生していることであり、縫込みの時点でそれに気付くことは困難であり、今後も縫込みは回避できないだろうということである。もう一つは、縫込みした場合であっても、引き抜く際に気付いて、事故を回避できている事例が多いということである。実際に患者に害が発生しなければよいので、縫込みが回避できない以上は、カテーテルを抜く作業をする際に、「縫込み」の可能性を常に念頭におき、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く、という対策しかないと思う。開胸しても、結果的に縫込みでなかったという場合もあるかもしれないが、もし、縫込みがあったとしたらその結果はあまりにも大きい。「抵抗を感じる」という部分は、作業員個人の感覚に依存することになり、リスクはゼロにはならないと考えるが、ヒューマンファクターに大きく依存する事故については、個人のリスク感性を増加させ、回避行動につなげることで、事故を低減するしかない。

James Reason は不安全行動を slip、lapse、mistake、violation の4つに分類している²⁷。それぞれ対策が異なる。各不安全行動についての詳細についてはここでは述べないが、カテーテル事故に関する不安全行動は、mistake に分類される。つまり判断のエラーである。判断のエラーは対策が最も難しい。人は判断を誤る生き物である。ヒューマンファクターを理解し、対策を立てるとしたら、「リスクを語り継ぐ」ことである。例を挙げる。先の東日本大震災で、津波によって多数の方がお亡くなりになられた。被災地の道路や建物には、「ここまで浸水した」という表示があったり、追悼の碑が立てられていたり、被害に遭った建造物が、人々の記憶に残すために残されていたりする。宮城県気仙沼向洋高等学校は震災遺構のひとつである。3階の教室の中に流れてきた車が残っている。また、4階までの校舎であるが、4階の外壁が大きく破損している。それは隣接していた冷凍工場が流れてきてぶつかったことによる。とても想像できないことが実際に発生したのだと実感する。そして、生徒や教師らが全員助かったという事実にも驚く。高校生は当初、やや高台の近隣の寺に避難したが、そこでは危ないという判断をして、より高台の中学校に避難して助かった。一度、この遺構を訪れたひとは、状況が脳裏に焼き付いて、同じ場面に遭遇したら、迷わず高台に向かうと思う。事故を語

り継ぐ行為自体に、事故の再発防止の力が備わっている。カテーテルの縫込みも同じことかもしれない。「もし、少しでも縫込みを疑ったら、絶対に、非開胸下で抜いてはいけない。それが患者の生死を分ける。」これを警鐘事例として語り継ぐことが、私たち医療者にできることではないだろうか。

文献

1. Swan HJ, Ganz W, Forrester J, Marcus H, Diamond G, Chonette D. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med* 1970;283:447-51.
2. Judge O, Ji F, Fleming N, Liu H. Current use of the pulmonary artery catheter in cardiac surgery: a survey study. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2015;29:69-75.
3. Shah MR, Hasselblad V, Stevenson LW, et al. Impact of the pulmonary artery catheter in critically ill patients: meta-analysis of randomized clinical trials. *JAMA* 2005;294:1664-70.
4. Harvey S, Harrison DA, Singer M, et al. Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomised controlled trial. *Lancet* 2005;366:472-7.
5. Rajaram SS, Desai NK, Kalra A, et al. Pulmonary artery catheters for adult patients in intensive care. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;CD003408.
6. Schwann NM, Hillel Z, Hoefl A, et al. Lack of effectiveness of the pulmonary artery catheter in cardiac surgery. *Anesth Analg* 2011;113:994-1002.
7. Barone JE, Tucker JB, Rassias D, Corvo PR. Routine perioperative pulmonary artery catheterization has no effect on rate of complications in vascular surgery: a meta-analysis. *The Am Surg* 2001;67:674-9.
8. Fleisher LA, Fleischmann KE, Auerbach AD, et al. 2014 ACC/AHA guideline on perioperative cardiovascular evaluation and management of patients undergoing noncardiac surgery: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation* 2014;130:2215-45.
9. Hillis LD, Smith PK, Anderson JL, et al. 2011 ACCF/AHA guideline for coronary artery bypass graft surgery: executive summary: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2012;143:4-34.
10. Jozwiak M, Monnet X, Teboul JL. Pressure Waveform Analysis. *Anesth Analg* 2018;126:1930-3.
11. Am Soc Anesthesiologists Task F. Practice guidelines for pulmonary artery

catheterization - An updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on pulmonary artery catheterization. *Anesthesiology* 2003;99:988-1014.

12. Saugel B, Vincent JL. Cardiac output monitoring: how to choose the optimal method for the individual patient. *Curr Opin Crit Care* 2018;24:165-72.
13. Asteri T, Tsagaropoulou I, Vasiliadis K, Fessatidis I, Papavasi-Liou E, Spyrou P. Beware Swan-Ganz complications. Perioperative management. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 2002;43:467-70.
14. Bossert T, Gummert JF, Bittner HB, et al. Swan-Ganz catheter-induced severe complications in cardiac surgery: right ventricular perforation, knotting, and rupture of a pulmonary artery. *J Card Surg* 2006;21:292-5.
15. Johnston WE, Royster RL, Choplin RH, Howard G, Mills SA, Tucker WY. Pulmonary artery catheter migration during cardiac surgery. *Anesthesiology* 1986;64:258-62.
16. Vucins EJ, Rusch JR, Grum CM. Vent stitch entrapment of Swan-Ganz catheters during cardiac surgery. *Anesth Analg* 1984;63:772-4.
17. Cronin B, Kolotiniuk N, Youssefzadeh K, et al. Pulmonary Artery Catheter Placement Aided by Transesophageal Echocardiography versus Pressure Waveform Transduction. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2018;32:2578-82.
18. Essandoh M. Transesophageal Echocardiography Should Be Considered During Pulmonary Artery Catheter Insertion in Cardiac Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2017;31:e93.
19. Cronin B, Robbins R, Maus T. Pulmonary Artery Catheter Placement Using Transesophageal Echocardiography. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2017;31:178-83.
20. Baer J, Wyatt MM, Kreisler KR. Utilizing transesophageal echocardiography for placement of pulmonary artery catheters. *Echocardiography* 2018;35:467-73.
21. L'Acqua C, Suriano P, Gregu S, Mazzanti V. Troubles After Swan-Ganz Catheter Placement in Cardiac Surgery. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2017;21:262-5.
22. Evans DC, Doraiswamy VA, Prosciak MP, et al. Complications associated with pulmonary artery catheters: a comprehensive clinical review. *Scand J Surg* 2009;98:199-208.
23. Abreu AR, Campos MA, Krieger BP. Pulmonary artery rupture induced by a pulmonary artery catheter: a case report and review of the literature. *J Intensive Care Med* 2004;19:291-6.
24. Koh KF, Chen FG. The irremovable swan: A complication of the pulmonary artery catheter. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 1998;12:561-2.
25. Shaw AD, Mythen MG, Shook D, et al. Pulmonary artery catheter use in adult patients undergoing cardiac surgery: a retrospective, cohort study. *Perioper Med (Lond)* 2018;7:24.
26. American Society of Anesthesiologists : Five Things Physicians and Patients Should

Question. <https://www.choosingwisely.org/wp-content/uploads/2015/02/ASA-Choosing-Wisely-List.pdf>

27. Reason J: Human error. Cambridge University Press, New York, p.199-212, 1991