

# 体液管理における肺動脈カテーテルの有用性

医療法人社団 公仁会 大和成和病院 麻酔科  
池崎弘之、米谷 聰、木本真之、金上 浩

キーワード： 体液管理、循環血液、肺動脈カテーテル、心拍出量、混合静脈酸素飽和度

連絡先： 医療法人社団 公仁会 大和成和病院

〒242-0006 神奈川県大和市南林間9-8-2

Tel : 046-278-3911

Fax : 046-278-3900

E-mail : E-mail:ikezaki@seiwa.or.jp

## 要旨

現在の肺動脈カテーテル製品の機能は右房圧、右室圧、肺動脈圧、肺動脈楔入圧、血液温、混合静脈血酸素飽和度、心拍出量測定である。肺動脈カテーテルのひとつの利点は右室系から挿入して左室の前負荷を垣間見ることができることである。すなわち臨床の場では肺動脈拡張期圧または肺動脈楔入圧を左房圧の代用としている。しかしこの前提条件は肺動脈圧拡張期圧 = 肺動脈楔入圧 = 左房圧 = 左室拡張末期圧 = 左室拡張末期容量という関係が成り立つことである。肺高血圧症をはじめとする肺血管抵抗の上昇した状態、胸郭や肺のコンプライアンス異常など胸腔内圧の影響を受けやすい状態、左房圧と左室拡張終期圧に乖離のある僧帽弁疾患、左室拡張終期圧と左室拡張終期容量に乖離のある左室コンプライアンス異常が存在する場合は肺動脈拡張圧や肺動脈楔入圧は左室拡張末期容量を正確には反映しない。体液管理上、私たちが知りたいのが左室の容量であるならば、そこに肺動脈カテーテルの限界が生じる。現在(経食道)心エコーは身近なモニターとなり、容量測定においては心エコーに分があるわけである。しかし体液管理は血行動態管理なしには考えられない。血行動態の管理は“動態”的管理であり、時々刻々と前負荷、後負荷、収縮力が変化する病態においてはFrank-Starling Curveに代表されるようにこれらを相互に関連付けて管理する必要がある。この点においては前負荷、心拍出量、酸素の需給バランスがひと目で把握できる肺動脈カテーテルの存在意義は大きく、その使用により綿密な体液管理が可能と考える。

日々臨床家たちがそれぞれの専門的立場から体液管理を行っていることであろう。一般的に体液管理とは 1. 循環血液量、2. 水分出納（輸液、輸血、出血、尿量、発汗など）、3. 血液（凝固）成分、4. 栄養素、免疫、5. 電解質、動脈血液ガス、浸透圧、6. 血液温度などの管理を指していると思われる。この稿では体液管理を、集中治療室や手術室での循環血液の管理として考察してみたい。

循環血液が足りているかどうか？という視点はわれわれの日常的な視点であるが、循環血液が足りているとはどういうことであろうか？一般

に循環血液量を推定する因子として 1. 中心静脈圧 (CVP)、肺動脈楔入圧 (PCWP)、末梢静脈圧 (PVP) 2. ヘモグロビン濃度 3. 左室、右室拡張末期容量 4. 下大静脈径 5. 心拍出量、6. 尿量らが挙げられる。これらがそれぞれに、もしくはすべてが、十分であることで循環血液量が足りているとするのだろうか？端的に循環血液量の多寡を感覚的に実感する事例として人工心肺のリザーバータンク水位レベルの変動、もしくはPCPS (percutaneous cardio pulmonary support) 回路への輸液による流量調節があげられる。このよう

な事例で経験するのは流量と血液量の相互機能であり、血液量単独で循環を判断するのではなく、血液流量を保つために循環血液量を確保し循環動態が十分となり、当然ながら循環血液を管理する場合には循環する血液の量ばかりでなく流量をも管理する必要がある。循環血液の管理を体液管理とするならば体液管理とは動的な管理である。なぜ循環する血液が必要か？究極的にはそれは酸素を運搬するためであり循環血液管理とは酸素運搬管理となる。

肺動脈カテーテル(pulmonary artery catheter; PAC)は古典的には肺動脈圧測定を目的に作成され、熱希釈法により心拍出量測定が可能なカテーテルである。近年のPACにより測定できるのは右房圧、右室圧、肺動脈圧、肺動脈楔入圧、血液温度、混合静脈血酸素飽和度(SVO<sub>2</sub>)、連続的心拍出量(cardiac output; CO)である。現在PACを用いる理由は肺動脈圧測定に加え、CO、SVO<sub>2</sub>の測定であろう。銘記すべきはPACはあくまでも侵襲的モニターであるということである。PACに限らず侵襲的モニターを扱う上で、われわれは1. その挿入または留置技術が卓越している。2. モニターにより得られたデータの解釈能力があり、そのデータを臨床にフィードバックできる。3. モニターによる合併症を熟知し回避できる、ことが大前提となる。またすべてのモニターについていえることだが、そのモニターの限界を知り、誤った解釈をしないことである。例えば中心静脈圧、肺動脈楔入圧からわれわれが知りたいのは容量、ボリュームである。それを圧で代用し

ているのである。PACは右心系から挿入したにもかかわらず左心系の前負荷(左室拡張期末期容量)を推測することが出来る。これが30年以上も使われてきた理由のひとつであろう。しかし、その前提は肺動脈圧拡張期圧(PADP)≈ 肺動脈楔入圧(PCWP)≈ 左房圧(LAP)≈ 左室拡張末期圧(LVEDP)≈ 左室拡張末期容量(LVEDV)という相関が成り立つことである。肺高血圧症をはじめとする肺血管抵抗の上昇した状態、胸郭や肺のコンプライアンス異常など胸腔内圧の影響を受けやすい状態、LAPとLVEDPに乖離がある僧帽弁疾患、LVEDPとLVEDVに乖離のある左室のコンプライアンス異常が存在する場合はPADPまたはPCWPは左室拡張末期容量を正確には反映しない(図1)。このようなPACの圧測定の原則を知ったうえでデータを臨床にフィードバックすることが肝要と考える。さて先に述べたように近年のPACには連続CO測定、SVO<sub>2</sub>測定機能を併せ持っている。PCWPとCOの関係につき言及した有名なフォレスター分類(図2)はもともと急性心筋梗塞の血行動態分類であるが、今なお心不全の管理にもその概念は大いに役立っている<sup>1)</sup>。まさにフォレスター分類は体液管理を循環血液量と流量の見地からみたゴールドスタンダードの一例ではないだろうか？血行動態管理の最終目標が酸素運搬管理であるならば、SVO<sub>2</sub>は酸素の需給バランスが一目瞭然にわかる指標であり、SVO<sub>2</sub>を目安に管理するのは理にかなっている。もしもこの異常値をみた場合には(図3)のような原因を探り治療を開始すべきである。

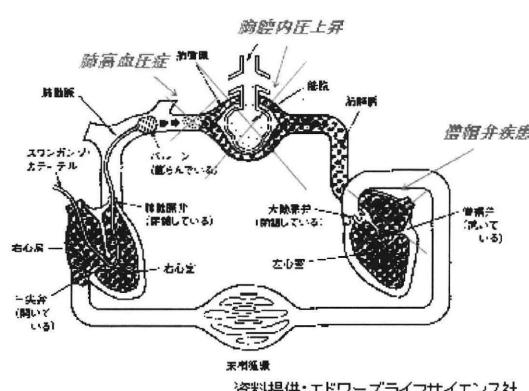
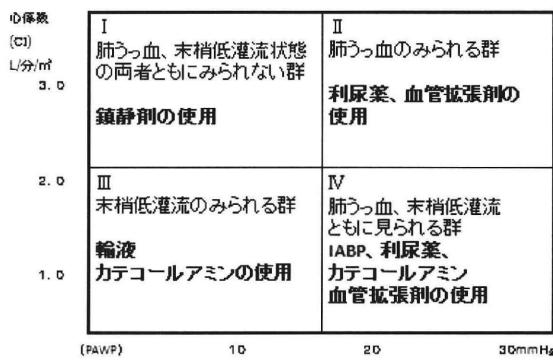


図1 心室拡張期



資料提供:エドワーズライフサイエンス

図2 フォレスター分類による血行動態管理

| 症状                | 解釈                                      | 原因                                     |
|-------------------|---|--|
| 高いSvO2値<br>(>80%) | 酸素供給量の増加                                | FIO2の増加<br>高酸素症                        |
|                   | 酸素需要量の低下                                | 低体温、麻酔時<br>薬理的麻痺、敗血症                   |
| 低いSvO2<br>(<60%)  | 酸素供給量の低下<br>Hbの減少<br>SaO2の減少<br>心拍出量の低下 | 貧血、出血<br>低酸素症、吸引時<br>低血圧、ショック時、<br>不整脈 |
|                   | 酸素需要量の増加                                | 高体温、疼痛時、ふるえ<br>発作時                     |

資料提供:エドワーズライフサイエンス社

図3 SVO2のデータ解釈

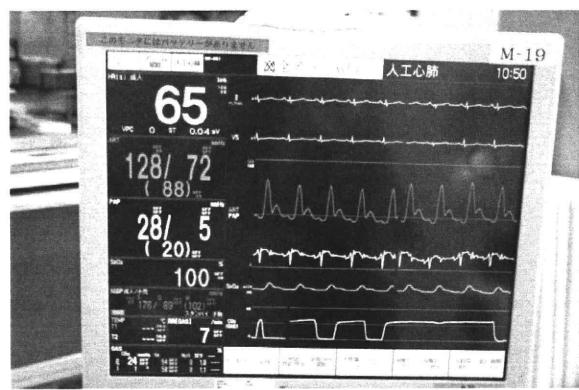
 $\alpha$  系刺激薬を使用

図4 OPCAB 時の血行動態の管理前下降枝吻合時

次にわれわれの施設でのPACが非常に役立つ場面を紹介したい。我々の施設で特にPACが有用であることを体感する場面は、もちろん一般的な弁置換術でも有用なのであるが、1. オフポンプ冠動脈バイパス術(OPCAB)中、2.術後ICUでのモニタリングである。

### 1. OPCAB 術中の PAC の有用性

OPCABではグラフトの吻合操作によりその血行動態が変化する。血圧が低下する主な原因是右室流出路一肺動脈の圧迫による狭窄、僧帽弁逆流の悪化などで、いずれにせよ左室拡張末期容量が低下する。これらの場合にPACが情報を与えてくれる。鈍角枝、後下降枝吻合のポジションでは薄い右室が圧迫されやすくなり、また心臓にねじれが加わると右室流出路が狭窄し十分な心拍出量が保てなくなる。このような場合、肺動脈波形を見ると(図4)圧波形は正常で圧は低めをとることが多い。これに対してはトレンデンベルグ体位をとり、必要ならばvasopressor, inotropesを投与することで対処する。また術前より僧帽弁逆流のみられる症例、左室径の大きい症例、低心機能症例では心臓脱転中に僧帽弁逆流が新たに出現もしくは悪化し、心拍出量が低下することがある。このような場合のPAC波形は圧が高めで台形様になることが多い(図5)。inodilator, chronotropesを使用する。漫然とVasopressorを投与し続けてはいけない。このように連続的PACモニタリングはわれわれに警鐘を鳴らしてくれ、OPCAB中の血行動態評価に非常に有用で

ある。

2. 患者がICUに移動した後に一般的にみられる血行動態の変化として頻度の高いものが、末梢血管抵抗の低下に伴う血圧低下であろう。これは手術刺激の消失、体温の回復などが原因となる。低血圧をみた場合、特に心臓外科術後では、心機能の低下が原因なのか抹消血管抵抗もしくは循環血液量の低下なのかもしくはその複合事象で起きているのか判断に迷うことが少なくない。このようなときにPAPがモニターでき、その値が低ければ安心して輸液をすることができる。これは左心不全症例でもあてはまる。左心不全が原因で血圧低下をみるとPAPは必ず上昇するため、治療する側としてはPAPが上昇していかなければ余裕がもてるのである。われわれの施設では心臓手術が主に行われているが、PACが心臓手術後に有用であった一例を紹介したい。心臓外科術後では術後の出血がまずコントロールされていなければ

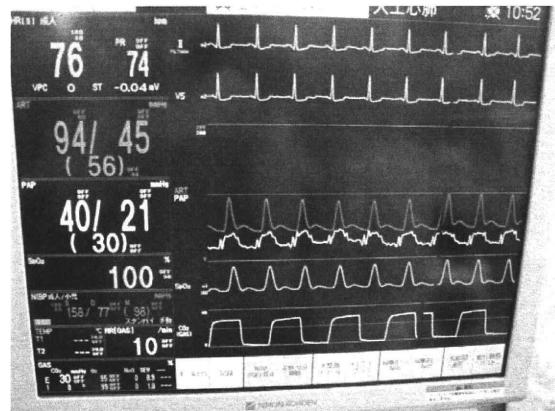
 $\beta$  系薬剤、血管拡張剤を使用

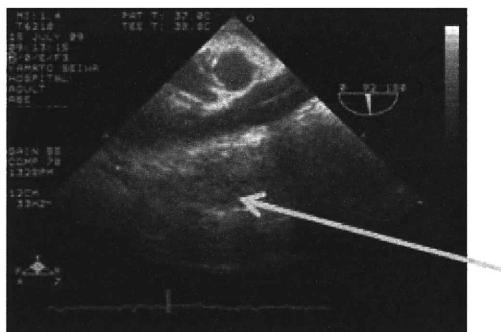
図5 OPCAB 時の血行動態の管理回旋枝吻合時

ばならない。術後出血、血腫形成による心タンポナーデ状態の有無を評価する場合PACはとても有用である。右室前面、左室後面の血腫は必ずといっていいほど心係数(CI)、SvO<sub>2</sub>が低下する。またCVPとPAPに乖離がある場合(CVPが高くPAP、PCWPが低い場合)、上大静脈、右房前面を圧迫する血腫であることが多い。このような血行動態をみたときには経食道心エコー(TEE)を行い血腫があれば再開胸手術を行う。TEE上、少量の血腫でも血腫除去により血行動態の飛躍的改善をみることも少なくない。(図6)の症例はOPCABのICU患者の血行動態と心エコー図である。血圧は正常であり時間尿量も十分であるが、CO、SvO<sub>2</sub>が低下していた。TEEを施行したところ肺動脈前面を圧排する血腫が認められ速やかに再開胸手術となり、事なきを得た。また大動脈弁狭窄症による大動脈弁置換術後にみられるように左室壁の肥厚した症例で経験することが多いのが、左室駆出率はとても良いが心拍出量が低下

しているケースである。(図7)に示す如く左室駆出率はよかつたがCI、SvO<sub>2</sub>が低下していた。これらに対しドブタミンを開始し十分な輸液を施行しCIは2.8 L/min、SvO<sub>2</sub>も64%まで回復した。TEEで左室の動きが良くてもCI、SvO<sub>2</sub>が低下している例では拡張能を上げ、輸液をすることで対処できる。このような状態を知らせてくれるのも、また治療効果を知らせてくれるのもPACのおかげである。

以上述べてきたように体液管理上、知りたいものが循環血液量、心内容量であるならば肺動脈カテーテルに限界があるのは否めない。しかし私たちが知りたいのが血行動態であり、組織への十分な酸素供給がなされ、酸素需給バランスが適正かどうか判断するのであれば肺動脈カテーテルは有用であると考える。

BP 120/70, PAP 30/12, U/O 90 ml/hr, CI 1.7, SvO<sub>2</sub> 58%



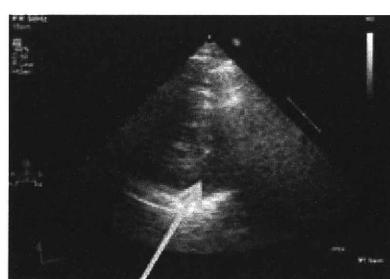
肺動脈前面の血腫

Post AVR  
BP 80/40, C.I. 1.5, EF 76% SvO<sub>2</sub> 51 %



拡張終期

左室は非常に  
肥大している



収縮周期

図7 術後の血行動態の管理

## 文 献

- 1) Forrester JS, Chatterjee K, Swan HJ:  
JAMA ; 226: 60-1, 1973
- 2) P.-G. Chassot, P. van der Linden, M. Zaugg  
et.al: Off-pump coronary artery bypass sur-  
gery: physiology and anaesthetic manage-  
ment. British Journal of Anaesthesia, 92 :  
400-413, 2004