

博士論文（要約）

Comparison of right ventricular function between three-dimensional  
transesophageal echocardiography and pulmonary artery catheter

（3次元経食道心エコーと肺動脈カテーテルによる右心機能測定と比較）

矢野喜一

(Yuki Toyama, Takafumi Iida, Kentaro Hayashi,

Keiya Takahashi, Hirotsugu Kanda)

Comparison of right ventricular function between three-dimensional transesophageal echocardiography and pulmonary artery catheter

(3次元経食道心エコーと肺動脈カテーテルによる右心機能測定と比較)

共著者名

Kiichi Yano, Yuki Toyama, Takafumi Iida, Kentaro Hayashi, Keiya Takahashi, Hirotsugu Kanda

Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia - in press

研究目的

心臓病患者において右心機能と死亡率との関連が報告されており<sup>1</sup>、重症患者の血行動態管理における右心機能評価の重要性が認識されつつある。しかし、右心室は左心室と解剖学的・機能的に異なるため、左心機能の評価方法をそのまま右心系に適用することが難しく、右心系モニタリング方法の模索が続いている。手術室内では肺動脈カテーテル(PAC)によって測定された右心系の測定値が頻用されているが、PACはその侵襲性や合併症が問題になっている。我々は、3次元経食道心エコー(3D-TEE)で測定された右心室拡張末期容積(RVEDV)、右心室収縮末期容積(RVESV)、1回拍出量(SV)、右心室駆出率(RVEF)がPACで測定された値と相関があるのではないかと仮説を立てた。この測定値に信頼性があれば、3D-TEEによって前負荷過多と収縮率低下の両方を迅速に検出し、右心不全を予防することが可能となる。本研究は、肺動脈カテーテルと3次元経食道心エコーの間で右室容積と駆出率の測定値を比較することを目的とした。

材料・方法

2016年11月から2017年10月までの間に、PACを使用する心臓手術を受ける成人患者を対象とした。心臓手術の既往歴、先天性心疾患、心内シャント、三尖弁逆流、ペースメーカー植え込みのある患者、洞調律でない患者は除外された。全身麻酔導入後、3-D TEEとPACを挿入した。3D-TEEはすべての症例で、フィリップス社製の超音波診断装置(iE33)と3Dマトリックスアレイトランスデューサ(X7-2t)を使用して施行した。PACはエドワーズライフサイエンス社製の774F75を挿入し、同じくエドワーズライフサイエンス社製のモニタリングシステム(ビジランス)に接続した。血行動態が安定した手術開始直前のタイミングでそれぞれ測定を行った。

3D-TEEでの測定は米国心エコー学会の経食道心エコー資格を取得した5名の麻酔科医が行った。

中部食道4腔像を用いて、右心室全体・左心室心尖部・僧帽弁接合部が含まれる画像を描出し、右心室の3次元データを取得した。取得した右心室の3次元データをトムテック社製のソフト(4D RV-Function 2.0)を用いて解析し、各パラメータ(RVEDV・RVESV・SV・RVEF)を算出した。PACはカテーテルに装備された熱フィラメントを用いた熱希釈法を用いて連続的に各パラメータを測定した。

本研究の主要評価項目は、2つの方法を用いて測定したRVEDV・RVESV・SV・RVEFの相関と一致度を評価することであった。測定値は平均±標準偏差で表示し、 $P<0.05$ を有意差ありとした。対応ありt検定およびピアソン相関係数(r)を用いた線形回帰分析を用いて、各測定値の相関を評価した。また、Bland-Altman法を用いて各測定法の一致度を評価した。

## 成 績

33名の患者が今回の研究に登録され、2症例が除外された。(1人は僧帽弁の石灰化のため解析に適さず、もう1人はフレームレートが不足していた)。結果31名の患者でPACと3D-TEEのデータを比較した。RVEDVとRVESVに関しては、PACよりも3D-TEEの方がわずかに低かった( $205.9 \pm 42.1$  vs  $220.2 \pm 46.9$  ml  $P=0.0018$ ,  $143.0 \pm 35.8$  ml vs  $155.5 \pm 44.7$  ml  $P=0.0143$ )が、SVとRVEFでは有意差は認められなかった( $61.6 \pm 19.9$  ml vs  $66.9 \pm 13.6$  ml  $P=0.92$ ,  $31.0 \pm 8.0\%$  vs  $31.1 \pm 7.8\%$   $P=0.0569$ )。線形回帰分析では、RVEDV ( $r=0.87$ ,  $P<0.0001$ )とRVESV ( $r=0.81$ ,  $P<0.0001$ )について、3D-TEEとPACとの間に高い相関が認められた。SV ( $r=0.67$ ,  $P<0.0001$ )とRVEF ( $r=0.67$ ,  $P<0.0001$ )については中程度の相関が見られた。Bland-Altman分析を用いた平均差の評価は、RVEDVは $-14.4 \pm 23.3$  ml (95%信頼区間:  $-60.1 \sim 31.3$  ml)、RVESVは $-12.5 \pm 26.8$  ml (95%信頼区間:  $-64.9 \sim 39.9$  ml)、SVは $-5.3 \pm 15.0$  ml (95%信頼区間:  $-34.7 \sim 24.0$  ml)、RVEFは $-0.11 \pm 6.5\%$  (95%信頼区間:  $-12.8 \sim 12.6\%$ )であり、殆どの測定値において95%信頼区間に収まっていた。

## 考 察

本研究によって、3D-TEEで計測された右心室パラメータはPACを用いて得たそれとよく相関していることが示された。これは、PACによる右心機能評価の一部を3D-TEEに置き換えることができ、手術室での右心機能評価の選択肢が増えることを意味する。

右心室容積を計測する標準的な方法は、MRIであるが、手術室や集中治療室で使用することはできない。そのため、3D-TEEとの比較対象は手術室や集中治療室で右心系機能のモニタリングに広く使用されているPACと設定した。なお、3次元心エコー(経胸壁、経食道とも)で測定した心室容積は、MRIで測定した心室容積とよく一致していることがわかっている。右心室の構造は複雑なため、右心室容積の測定には3次元心エコー検査が適しており、精度は2次元心エコー法よりも高いと考えられている<sup>2</sup>。

本研究では、3D-TEEでの測定がPACと比較して容積を過小評価する傾向がみられた。同様の傾向は、3D-TEEでの測定とMRIでの測定との比較においてもみられていた<sup>3</sup>。3D-TEEが過小評価しがちな理由として、エコーで描出した心内膜のぼやけのために、検者が心内膜のより内側をトレースする傾向があると考えられる。3-D TEEで心内膜をトレースする際には、よく観察し実際の心内膜の位置に注意を払う必要がある。また、過小評価傾向はRVESVよりもRVEDVの方が顕著である。これには2つの理由が考えられる。1つめは、右室が大きくなればなるほど、トランスデューサと右室壁との距離が大きくなり、距離分解能が低下し心内膜の境界が曖昧になるため、実際の心内膜より内側をトレースすることになるからである。第2の理由は、フレ

ームレートが有限であることに由来する。拡張末期として解析に使用された画像は、真の拡張末期の瞬間とはわずかに異なり、体積はより小さく算出される。同様の理由で、収縮末期においてはこの傾向は逆となり、体積はより大きく算出される。

PAC は、挿入に伴う合併症が致命的な場合もあるため、PAC でしかパラメータを測定できない場合に使用を限定すべきである。PAC を用いて測定するパラメータは、今回 3D-TEE で測定した RVEDV・RVESV・SV・RVEF の他に肺動脈圧・心拍出量・混合静脈酸素飽和度である。この 3D-TEE により、肺動脈圧と混合静脈血酸素飽和度を除くすべてのパラメータを測定することができる。また、過半数の患者において肺動脈圧は三尖弁の最大血流速度を測定し、簡易ベルヌーイ式を用いて推定できるとされている<sup>4</sup>。また、プリセップオキシメトリーカテーテル(エドワーズライフサイエンス社)を用いて得られる中心静脈血酸素飽和度は、混合静脈血酸素飽和度の変化に追従する傾向があり、中心静脈血酸素飽和度での代用が可能である<sup>5</sup>。つまり、肺動脈カテーテルで測定していたパラメータは他手段で測定可能と考えられる。これが本研究の成果である。

この研究にはいくつかの限界がある。心血管疾患を有する患者のみを対象としていること、単一の超音波装置メーカー(フィリップス社)での測定であること、単一施設の比較的少数の患者を対象としたものであること、2 つの測定方法が盲検化されていないことである。また、右室容積測定 of 標準的な方法である MRI ではなく、PAC をリファレンスとしていることも挙げられる。また、SV と RVEF の信頼区間が広い。これは精度の誤差によるものと思われるが、将来的にはより多くの患者を対象とした大規模な研究で、この測定法の有効性を実証する必要がある。

## 結 論

結論として、PAC と 3D-TEE は右心機能評価において高い相関関係があることがわかった。手術室内に関しては、3D-TEE は PAC の代替となる可能性がある。この知見についてさらなるエビデンスを確立し、PAC の挿入に伴う合併症を軽減する可能性を評価するためには、さらに大規模な無作為化比較試験が必要である。3D TEE が、右心不全を伴うことが多い重症患者の管理の進歩につながることを期待している。

## 引 用 文 献

1. Haddad F, Denault AY, Couture P, et al. Right ventricular myocardial performance index predicts perioperative mortality or circulatory failure in high-risk valvular surgery. *J Am Soc Echocardiogr* 2007;20:1065-1072.
2. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:1-39 e14.
3. Shimada YJ, Shiota M, Siegel RJ, et al. Accuracy of right ventricular volumes and function determined by three-dimensional echocardiography in comparison with magnetic resonance imaging: a meta-analysis study. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:943-953.

参 考 论 文

4. Maslow AD, Regan MM, Panzica P, et al. Precardiopulmonary bypass right ventricular function is associated with poor outcome after coronary artery bypass grafting in patients with severe left ventricular systolic dysfunction. *Anesth Analg* 2002;95:1507-1518.
5. Judge O, Ji F, Fleming N, et al. Current use of the pulmonary artery catheter in cardiac surgery: a survey study. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2015;29:69-75.