

# Simple and Completely Noninvasive Method to Estimate Right Ventricular Operating Stiffness Based on Pulmonary Regurgitant Velocity and Tricuspid Annular Plane Movement Measurements during Atrial Contraction

Michito Murayama<sup>1</sup>, Sanae Kaga<sup>2</sup>, Kazunori Okada<sup>2</sup>, Hisao Nishino<sup>1</sup>, Shinobu Yokoyama<sup>1</sup>, Masahiro Nakabachi<sup>1</sup>, Miwa Sarashina<sup>3</sup>, Shingo Tsujinaga<sup>3</sup>, Mutsumi Nishida<sup>1</sup>, Hitoshi Shibuya<sup>1</sup>, Toshiyuki Nagai<sup>3</sup>, Hiroyuki Iwano<sup>3</sup>, Toshihisa Anzai<sup>3</sup>, Taisei Mikami<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Diagnostic Center for Sonography, Hokkaido University Hospital

<sup>2</sup> Faculty of Health Sciences, Hokkaido University

<sup>3</sup> Department of Cardiovascular Medicine, Faculty of Medicine and Graduate School of Medicine, Hokkaido University

**Introduction:** It was recently reported that invasively determined right ventricular (RV) stiffness was more strongly associated with the prognosis of patients with pulmonary hypertension than RV systolic function. So far, a completely noninvasive method to assess RV stiffness has not been reported.

**Hypothesis:** The rise in atrial-systolic RV pressure can be estimated from the descent of the pulmonary artery-RV pressure gradient during atrial contraction (PRPGDAC). The tricuspid annular plane movement during atrial contraction (TAPMAC) may reflect the RV volume change due to atrial contraction. Thus, we assumed that the ratio of PRPGDAC to TAPMAC (PRPGDAC/TAPMAC) may be useful as a completely noninvasive index of RV operating stiffness.

**Methods:** We studied 81 consecutive patients with various cardiac diseases who underwent echocardiography and cardiac catheterization. We measured PRPGDAC and TAPMAC using continuous-wave Doppler and M-mode echocardiography, respectively, and calculated PRPGDAC/TAPMAC. RV end-diastolic pressure (RVEDP) and RV pressure increase during atrial contraction ( $\Delta$ RV PAC) was measured from the RV pressure waveform. The RV volume change during atrial contraction ( $\Delta$ VAC) was calculated based on echocardiographic measurements of the late-diastolic transtricuspid flow time-velocity integral and tricuspid annular area. The ratio of  $\Delta$ RV PAC to  $\Delta$ VAC ( $\Delta$ RV PAC/ $\Delta$ VAC) was then calculated as a standard index for late-diastolic RV operating stiffness.

**Results:** PRPGDAC/TAPMAC was well correlated with  $\Delta$ RV PAC/ $\Delta$ VAC ( $r=0.84$ ,  $p<0.001$ ) and RVEDP ( $r=0.80$ ,  $p<0.001$ ). The areas under the receiver operating characteristic curves of PRPGDAC/TAPMAC to discriminate elevation of  $\Delta$ RV PAC/ $\Delta$ VAC ( $>0.07$  mmHg/mL according to a previous report) and RVEDP ( $>12$  mmHg) were 0.93 and 0.94, respectively.

**Conclusions:** The PRPGDAC/TAPMAC can be a useful completely noninvasive index of RV operating stiffness and a good practical marker of RVEDP elevation.

## 心房収縮期における肺動脈弁逆流速度波形の窪みと三尖弁輪移動距離の計測に基づく非侵襲的な右室硬さの推定

村山迪史<sup>1</sup>、加賀早苗<sup>2</sup>、岡田一範<sup>2</sup>、西野久雄<sup>1</sup>、横山しのぶ<sup>1</sup>、中鉢雅大<sup>1</sup>、更科美羽<sup>1</sup>、辻永真吾<sup>3</sup>、西田 睦<sup>1</sup>、澁谷 齊<sup>1</sup>、永井利幸<sup>3</sup>、岩野弘幸<sup>3</sup>、安斉俊久<sup>3</sup>、三神大世<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学病院 超音波センター

<sup>2</sup> 北海道大学大学院 保健科学研究所

<sup>3</sup> 北海道大学大学院 循環病態内科学

**【背景】** 最近、肺高血圧症患者において、侵襲的に評価した右室硬さの増大が、右室収縮機能指標よりも、患者予後とより強く関連したと報告された。これまで、完全に非侵襲的な方法で右室硬さを評価した報告はみあたらない。肺動脈弁逆流 (PR) の流速波形にみられる心房収縮期の窪みは、右室圧 a 波に起因すると考えられるので、その窪みの直前と底の肺動脈-右室圧較差の差 (PRPGDAC) から、心房収縮期の右室圧上昇 ( $\Delta$ RVPAC) を推定することができる。また、心房収縮期の三尖弁輪移動距離 (TAPMAC) はこの時相の右室容積変化を反映すると考えられる。従って、PRPGDAC と TAPMAC との比 (PRPGDAC/TAPMAC) は、この時相における右室硬さを反映すると我々は考えた。本研究では、この指標の有用性を、心カテーテル法を用いた右室硬さ指標 (Otsuji Y et al. Am J Cardiol 1996) や右室拡張末期圧 (RVEDP) との比較に基づき検討する。

**【方法】** 対象は、心カテーテル検査と心エコー検査で良好な記録が得られた各種心疾患患者連続 81 例である。心エコー法で PRPGDAC と TAPMAC を計測し、PRPGDAC/TAPMAC を算出した。心カテーテル法により、右室圧記録から  $\Delta$ RVPAC と RVEDP を計測した。また、経三尖弁血流速度波形の時間速度積分値と三尖弁輪面積から心房収縮期の右室容積変化 ( $\Delta$ VAC) を求め、 $\Delta$ RVPAC との比 ( $\Delta$ RVPAC/ $\Delta$ VAC) を本研究における拡張後期の右室硬さのスタンダードとして用いた。

**【結果】** PRPGDAC/TAPMAC は  $\Delta$ RVPAC/ $\Delta$ VAC と良好に相関し ( $r=0.84$ ,  $p<0.001$ )、RVEDP とよく相関した ( $r=0.80$ ,  $p<0.001$ )。PRPGDAC/TAPMAC で、 $\Delta$ RVPAC/ $\Delta$ VAC と RVEDP の上昇 (順に  $>0.07$  mmHg/mL、 $\geq 12$  mmHg) を診断するための ROC 解析における曲線下面積は 0.93 と 0.94 であった。

**【結論】** PRPGDAC/TAPMAC は非侵襲的な右室硬さの推定に有用であり、硬さの増大に起因する RVEDP 異常高値の検出に役立つと考えられた。

## 質疑応答

### 質問 1:

心房収縮期における三尖弁輪移動距離と肺動脈弁逆流速度波形の窪みを計測する時相は同じですか？  
また、両者の計測は難しくありませんか？

### 応答 1:

同じ時相で両者を計測しました。心房収縮に起因する肺動脈弁逆流速度波形の窪みが明瞭でない場合には、先行研究に基づき(Murayama M, Mikami T et al. *Ultrasound Med Biol.* 2017)、心電図の P 波の立ち上がりから 0.11 秒後を心房収縮直前時相として計測しました。また、心房収縮における三尖弁輪移動距離についても、同様に計測しました。検者間および検者内再現性は良好でした。

### 質問 2:

肺動脈弁逆流速度波形の窪みは全例でありましたか？見えにくい場合はありませんか？

### 応答 2:

心房細動例などの有効な心房収縮が消失した例を除けば、肺動脈弁逆流速度波形には、拡張後期に右房収縮に伴う右室圧の隆起を反映する通常は小さな、ときには大きく明瞭な窪みが観察されます。ほとんどの例において、それは比較的容易に認識されますが、右室拡張機能が正常に近い例では、右房収縮に伴う右室圧の隆起は小さく、窪みも不明瞭となることがあります。その場合、心電図の P 波を参考にして計測しました。しかし、右室機能が正常で窪みが不明瞭な例における右室硬さ評価の重要性は低く、実臨床では問題にならないと思います。

### 質問 3:

心エコーによる右室硬さの指標と右房圧との相関はいかがですか？

### 応答 3:

本研究では、臨床的に心室の硬さの代用的な指標として用いられる右室拡張末期圧との相関を検討しましたが、右房圧とも良好に相関しました( $r=0.75$ )。