

## 心臓 MRI による右室ストレイン指標とプレッシャーカテーテル指標との比較

研究分担者 辻野一三

北海道大学大学院医学研究院 呼吸・循環イノベーションリサーチ分野 特任教授

### 研究要旨

肺高血圧症（PH）において右室機能は予後と強く関連する。我々は心臓 MRI によって算出した前毛細管性 PH の右室ストレインおよびストレインレート（SR）指標が右室収縮/拡張能を正確に反映するかを検証した。右室収縮・拡張機能のゴールドスタンダードとしてプレッシャーカテーテルにより算出した収縮末期エラストランス（Ees）と右室弛緩時定数（tau）をそれぞれ用いた。本研究では前毛細管性 PH 連続 19 症例に心臓 MRI と右心カテーテル検査を行った。対照 19 症例では心臓 MRI のみを行った。対照症例と比較し、PH 症例では長軸方向のピークストレインと SR、および拡張早期 SR が低く、逆に心房性拡張期 SR は高かった。同様に PH 群では円周性 SR は低く、心房性拡張期 SR は高かった。PH 症例の右室収縮能では心臓 MRI 指標とカテーテル指標との間に関連はなかったが、右室拡張能では長軸方向の心房性拡張期 SR ( $r=-0.61$ )、減速時間 ( $r=0.75$ )、長軸方向の収縮・拡張時間比 ( $r=0.59$ )、早期拡張期 SR ( $r=-0.5$ )、円周性心房性拡張期 SR ( $r=-0.52$ )、減速時間 ( $r=0.62$ ) が tau と有意に相関した。肺動脈性肺高血圧症において右室の拡張期ストレイン解析は非侵襲的かつ正確な右室拡張機能解析手法である。

### A. 研究目的

心臓 MRI を用いたストレインおよびストレインレート（SR）解析によって肺動脈性肺高血圧症（PAH）患者の右室収縮機能と拡張機能を正確に評価できるかどうかを調べること

### B. 研究方法

—2013 年 1 月から 2016 年 3 月までに右心カテーテル検査と同日に心臓 MRI を行った症例の中前毛細管性 PH と診断された症例を対象とした。比較のために MESA 研究の心疾患および/または呼吸器疾患を持たない年齢と性別をマッチさせた被験者を対照とした。ベースラインの臨床的特徴は本学の PH データベースを用いた。

#### —心臓 MRI イメージング

画像取得は右心カテーテル検査の 5 時間以内に行った。シネ画像解析により右室・左室内腔容積を算出した。またマルチモダリティ組織追跡ソフトウェア Ver.6.0（Toshiba, Tokyo, Japan）を用いて右室のストレインと SR を解析した。ストレイン曲線をもとに右室の収縮期ピークストレイン、収縮期と拡張期時間およびその比（S:D 比）、収縮期ピーク SR（SRs）、拡張早期ピーク SR（SRe）、心房性拡張期ピーク SR（SRa）、SRe の減速時間（DT）を求めた。

#### —Pressure-Volume（PV）分析

Valsalva 法第 2 段階で前負荷量を変化させた一連のループから収縮末期圧迫容積ポイントを決定し、反復アルゴリズムを用いた垂直回帰によりフィットさせ収縮末期 PV 関係の傾き（収縮末期エラストランス、Ees）を算出した。同ループ画像を用いて収縮末期 PV 関係の x 切片（V0）、Ea、Ees/Ea、Tau を算出した。

#### —統計的手法

対照群と PH 群間の測定値の差は Fisher's exact test、Student's t test、Wilcoxon test で評価した。連

続変数の相関関係は Pearson 相関係数を用いて評価した。

### C. 研究結果

—PAH 患者 16 名と強皮症合併間質性肺疾患 (SSc-ILD) 合併 PH3 名の合計 19 名の PH 症例を解析した。16 名の PAH 患者中 6 名は特発性、10 名は SSc 関連だった。MESA 研究から 19 人の健常対照者が参加した。19 名の PH 患者の平均肺動脈圧は 33 mmHg、肺血管抵抗は 5.5 Wood Units だった。

—コントロール群と PH 群の心臓 MRI 指標の比較

PH 患者は対照群と比較して、RV 末期拡張期容積、RV 末期収縮期容積、および RV 質量が有意に大きかった。ストレイン解析では右室の長軸方向ピークストレイン、長軸方向の収縮期ピーク SR、長軸方向の拡張早期ピーク SR、RV の円周方向の収縮期ピーク SR が PH 患者で対照群に比べ有意に低かった。一方、右室の長軸方向の心房性ピーク SR と円周方向の心房性ピーク SR は PH 患者の方が対照群よりも高かった。長軸方向と円周方向の S:D 比は PH 患者の方が対照群よりも高かった。

—右心室の侵襲的パラメータと心臓 MRI 指標の相関性について

Ees または Ees/Ea と心臓 MRI による長軸および円周方向の収縮機能指標との間に有意な相関はなかった。Log Ea は RV の長軸方向の収縮期ストレインと有意な相関があった ( $r=0.46$ ,  $P=0.0498$ )。RV の長軸方向の解析では、タウは RV の長軸方向のピーク SRa ( $r=0.61$ ,  $P=0.006$ )、DT の RV の長軸方向のピーク SRe ( $r=0.75$ ,  $P=0.0002$ )、長軸方向の S:D 比 ( $r=0.59$ ,  $P=0.0083$ ) と有意な相関があった。円周方向の解析では、タウは RV ピーク円周方向の SRe ( $r=-0.5$ ,  $P=0.027$ )、RV ピーク円周方向の SRa ( $r=-0.52$ ,  $P=0.0257$ )、RV ピーク円周方向の DT の SRe ( $r=0.62$ ,  $P=0.0058$ ) と有意に相関していた。

### D. 考察

本研究では、19 名の PH 患者と 19 名の対照群との間で、心臓 MRI による RV 機能指標 (strain パラメータを含む) を比較し、さらに PH 症例では心臓 MRI で測定された RV の収縮期および拡張期機能と侵襲的に測定された RV の収縮期および拡張期機能のゴールドスタンダードパラメータとの関係を検討した。本研究で得られた主な知見は、(1) 心臓 MRI で得られたストレイン関連のパラメータは、PH 群と対照群との間で、長軸方向と円周方向いずれでも大きく異なっていた。(2) PH 患者において、RV 収縮機能の心臓 MRI パラメータと侵襲的に測定された指標との間に有意な相関はなかった。(3) RV 拡張機能の心臓 MRI パラメータはタウと相関し、心房-拡張期のピーク SR と DT が最も強い相関を示した。(4) 心臓 MRI で得られた S:D 比はタウと相関していたが、Ees とは相関していなかった。

PH 患者において RV 機能は重要な予後規定因子であり、収縮期と拡張期の両方の機能が RV 機能に重要な役割を果たしている。しかし、これまでのほとんどの研究では RV 収縮機能を解析対象とし、拡張機能不全に焦点を当てた研究はほとんどなかった。その中で本研究では心臓 MRI による拡張期右室 SR は、対照群と PH 患者との間で大きく異なること、さらに複数の拡張期指標はタウと有意に相関することを示した。これらの知見は、心臓 MRI を用いたストレイン解析により、PH 症例の RV 拡張機能、特にタウに代表される弛緩機能を非侵襲的に評価できる可能性を示した。

### E. 結論





本研究によって対照群と PH 患者との間で、ストレインや SR を含む様々な心臓 MRI パラメータに違いがあることが明らかになった。収縮機能評価のゴールドスタンダードである Ees と心臓 MRI による RV 収縮機能のストレインパラメータの間には有意な相関はなかったが、タウと心臓 MRI による右心室のストレイン指標である長軸方向の SRe、長軸方向と円周方向の SRa、SRe の DT、長軸方向の S:D 比には、有意な相関が認められた。これらのことから、PAH の拡張機能を評価するには、心臓 MRI を用いたストレイン解析が適切であると考えられた。

## F. 研究發表

### 1. 論文

Sato T, Ambale-Venkatesh B, Zimmerman SL, Tedford RJ, Hsu S, Chamera E, Fujii T, Mullin CJ, Mercurio V, Khair R, Corona-Villalobos CP, Simpson CE, Damico RL, Kolb TM, Mathai SC, Lima JAC, Kass DA, Tsujino I, Hassoun PM. Right ventricular function as assessed by cardiac magnetic resonance imaging-derived strain parameters compared to high-fidelity micromanometer catheter measurements. *Pulm Circ.* 2021 Sep 24;11(4):20458940211032529.

# Right ventricular function as assessed by cardiac magnetic resonance imaging-derived strain parameters compared to high-fidelity micromanometer catheter measurements

Takahiro Sato<sup>1</sup>, Bharath Ambale-Venkatesh<sup>2</sup>, Stefan L. Zimmerman<sup>2</sup>, Ryan J Tedford<sup>3</sup>, Steven Hsu<sup>4</sup>, Ela Chamera<sup>4</sup>, Tomoki Fujii<sup>4</sup> , Christopher J Mullin<sup>5</sup>, Valentina Mercurio<sup>1</sup>, Rubina Khair<sup>1</sup>, Celia P. Corona-Villalobos<sup>2</sup>, Catherine E. Simpson<sup>1</sup> , Rachel L. Damico<sup>1</sup>, Todd M. Kolb<sup>1</sup>, Stephen C. Mathai<sup>1</sup>, Jao A.C. Lima<sup>4</sup>, David A. Kass<sup>4</sup>, Ichizo Tsujino<sup>6</sup>  and Paul M. Hassoun<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Division of Pulmonary and Critical Care Medicine, Department of Medicine, Johns Hopkins University School of Medicine, Baltimore, MD, USA; <sup>2</sup>Department of Radiology and Radiological Science, Johns Hopkins University School of Medicine, Baltimore, MD, USA; <sup>3</sup>Division of Cardiology, Department of Medicine, Medical University of South Carolina, Charleston, SC, USA; <sup>4</sup>Division of Cardiology, Department of Medicine, Johns Hopkins University School of Medicine, Baltimore, MD, USA; <sup>5</sup>Brown University Warren Alpert Medical School, Providence, RI, USA; <sup>6</sup>First Department of Medicine, Hokkaido University Hospital, Sapporo, Japan

## Abstract

Right ventricular function has prognostic significance in patients with pulmonary hypertension. We evaluated whether cardiac magnetic resonance-derived strain and strain rate parameters could reliably reflect right ventricular systolic and diastolic function in precapillary pulmonary hypertension. End-systolic elastance and the time constant of right ventricular relaxation tau, both derived from invasive high-fidelity micromanometer catheter measurements, were used as gold standards for assessing systolic and diastolic right ventricular function, respectively. Nineteen consecutive precapillary pulmonary hypertension patients underwent cardiac magnetic resonance and right heart catheterization prospectively. Cardiac magnetic resonance data were compared with those of 19 control subjects. In pulmonary hypertension patients, associations between strain- and strain rate-related parameters and invasive hemodynamic parameters were evaluated. Longitudinal peak systolic strain, strain rate, and early diastolic strain rate were lower in PAH patients than in controls; peak atrial-diastolic strain rate was higher in pulmonary hypertension patients. Similarly, circumferential peak systolic strain rate was lower and peak atrial-diastolic strain rate was higher in pulmonary hypertension. In pulmonary hypertension, no correlations existed between cardiac magnetic resonance-derived and hemodynamically derived measures of systolic right ventricular function. Regarding diastolic parameters, tau was significantly correlated with peak longitudinal atrial-diastolic strain rate ( $r = -0.61$ ), deceleration time ( $r = 0.75$ ), longitudinal systolic to diastolic time ratio ( $r = 0.59$ ), early diastolic strain rate ( $r = 0.5$ ), circumferential peak atrial-diastolic strain rate ( $r = 0.52$ ), and deceleration time ( $r = 0.62$ ). Strain analysis of the right ventricular diastolic phase is a reliable non-invasive method for detecting right ventricular diastolic dysfunction in PAH.

## Keywords

pulmonary arterial hypertension, strain and strain rate, right ventricular failure, pressure volume loop, tau

Date received: 7 April 2021; accepted: 17 June 2021

Pulmonary Circulation 2021; 11(3) 1–10  
DOI: 10.1177/204589402111032529

## Introduction

In pulmonary arterial hypertension (PAH), a chronic elevation of pulmonary arterial pressure causes progressive right ventricular (RV) dysfunction leading to significant morbidity and premature death.<sup>1,2</sup> Accurate evaluation of RV morphology and function is critical in the management of PAH

Corresponding author:

Paul M. Hassoun, Division of Pulmonary and Critical Care Medicine, 1830 E. Monument Street, Baltimore, MD 21205, USA.  
Email: phassoun@jhmi.edu



Creative Commons Non Commercial CC BY-NC: This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits non-commercial use, reproduction and distribution of the work without further permission provided the original work is attributed as specified on the SAGE and Open Access pages (<https://us.sagepub.com/en-us/nam/open-access-at-sage>).

! The Author(s) 2021  
Article reuse guidelines:  
[sagepub.com/journalsPermissions](https://sagepub.com/journalsPermissions)  
[journals.sagepub.com/home/jul](https://journals.sagepub.com/home/jul)

