

# 第 11 回血流会 プログラム・抄録集

- 開催日 平成 31 年 1 月 5 日(土)～6 日(日)
- 会場 早稲田大学グリーンコンピューティングシステム研究機構  
40 号館 1 階 102 プレゼンテーションルーム
- 当番世話人 滝沢研二  
(早稲田大学理工学術院)

## 参加者の皆様へ

研究会に参加される方には必ず受付をお願い致します

参加費:¥500

## 講演発表の先生方へ

発表について

- ◇ 講演は発表 15 分、質疑応答 10 分です。
- ◇ 講演はご自分の研究についてご発表ください。
- ◇ 持ち時間を厳守し、座長の指示に従い円滑な進行にご協力お願いします。
- ◇ 発表の 10 分前には会場にご着席ください。

## 発表データについて

◇発表はご自身の PC の持ち込み、または USB フラッシュメモリー、外付けハードディスク、CD-R によるメディアの持ち込みが可能です。動画や音声をご使用の場合にはご自身の PC をお使いください。

◇プロジェクタには MiniD-SUB15 ピンのみ接続できます。変換ケーブルが必要な機種の場合には、必ず変換ケーブルをご持参ください。

◇データ破損等を考慮し、USB でのバックアップデータをご準備ください。

## 座長の先生方へ

- ◇ 座長の先生は担当セッション開始の 15 分前には会場にご着席ください。
- ◇ 時間厳守でのセッションの進行をお願いいたします。

## 1 日目

**12:30-12:50 世話人会**

**12:55- 13:00 開会の辞**

当番世話人：滝沢研二 先生 早稲田大学 創造理工学部総合機械工学科

**13:00-13:50 一般演題① 心臓血管構造と血流の問題提起**

座長

瀬尾由広 先生 筑波大学 医学医療系 循環器内科学

武居昌宏 先生 千葉大学大学院 工学研究科

**13:00 - 13:25**

左室低形成症候群における三尖弁の構造力学的解析の試み

順天堂大学 小児科学教室 高橋 健 先生

**13:25 - 13:50**

仮想データによる3次元VFMの実現に向けた計算方法の検討

埼玉大学大学院 理工学研究科 住谷拓斗 先生

**13:50 - 14:15**

コネクタ電極を用いた循環流路における血栓検出およびその評価

千葉大学大学院 融合理工学府 基幹工学専攻 上村拓生 先生

**休憩 14:15 - 14:30**

**14:30-17:25 特別企画 数学と医学に関する基本の基本的講義**

座長

上嶋 徳久 先生 心臓血管研究所 循環器内科

中村 匡徳 先生 名古屋工業大学 電気・機械工学科

**14:30 - 14:55**

血流に必要な流体力学の意味とその数学的定義について

東北大学材料科学高等研究所 水藤 寛 先生

**14:55 - 15:20**

血流動態パラメータの臨床医療における意義とピットフォール

東北大学放射線診断科 植田琢也 先生

**15:20 – 15:45**

血流がもたらす心血管内皮の分子生物学的な応答について

東京大学医用生体工学講座 山本 希美子 先生

**総合討論 15:45 – 16:05**

**休憩 16:05 – 16:15**

**16:15 – 16:40**

血流と心臓弁および血管壁構造のシミュレーションについて

早稲田大学理工学術院総合機械工学科 滝沢研二 先生

**16:40 – 17:05**

血流シミュレーションの条件設定および臨床応用について

京都府立医科大学心臓血管血流解析学講座 板谷慶一 先生

**総合討論 17:05 – 17:25**

**休憩 17:25 – 17:40**

**17:40 - 18:55 一般演題② 数値計算技術の循環器診療への応用課題**

座長:

水藤 寛 先生 東北大学材料科学高等研究所

山本 匡 先生 社会医療法人 北海道循環器病院 循環器内科

**17:40 – 18:05**

慢性大動脈解離に対する TEVAR の治療効果予測における computational fluid dynamics の有用性

自治医科大学附属さいたま医療センター 心臓血管外科 木村直行 先生

**18:05 – 18:30**

輸送効率に着目した最適ダウンストリームモデルの推定

早稲田大学 流体構造連成系応用力学研究室 小宮賢士 先生

**18:30 – 18:55**

ステント内残圧格差も考慮した冠動脈連続病変/びまん性病変における治療後心筋血流予備比(FFR)推定の試み

京都大学医学部 循環器内科 齋藤成達 先生

## 2 日目

### 10:00 - 11:20 一般演題③ 左房・僧帽弁と渦流

#### 座長

山田 聡 先生 東京医科大学 八王子医療センター 循環器内科  
植田 琢也 先生 東北大学 放射線診断科

#### 10:00 - 10:25

4D flow MRI を用いた僧帽弁形成術後の血流動態に対する影響の検討  
京都府立医科大学大学院医学研究科 心臓血管外科 森地裕子 先生

#### 10:25 - 10:50

4D Flow MRI を用いた肺癌肺切除後の左房内血流解析  
日本医科大学付属病院 放射線科 仲座方辰 先生

#### 10:50 - 11:25

前壁心筋梗塞後の左室瘤合併例における渦流と拡張早期僧帽弁逆流の解析  
獨協医科大学日光医療センター 心臓・血管・腎臓内科 上間貴子 先生

謎の E 波消失: 拡張早期 MR を呈する DCM の 1 例

東京医科大学八王子医療センター 循環器内科 山田 聡 先生

### 休憩 (11:25 - 11:40)

### 11:40 - 14:10 一般演題④ 血流計測技術の新領域

#### 座長:

滝沢 研二 先生 早稲田大学 創造理工学部総合機械工学科  
高橋 健 先生 順天堂大学 小児科学教室

#### 11:40 - 12:05

右室流出路疾患をもつ成人先天性心疾患患者の 4D flow MRI による Energy Loss 測定  
京都府立医科大学 循環器内科 瀧上 雅雄 先生

#### 12:05 - 12:30

体格の異なる犬における拡張早期左室内圧較差およびエネルギー損失の検討  
麻布大学 外科学第一研究室 上原 拓也 先生

**12:30 - 13:10 ランチョン講義 4D flow MRI の基礎技術と臨床応用**

**座長:**

上嶋 徳久 先生 心臓血管研究所 循環器内科

板谷 慶一 先生 京都府立医科大学 心臓血管外科・心臓血管血流解析学講座

Turbulent Kinetic energy assessment of HOCM by using Multi-VENC 4D Flow MRI

日本医科大学 放射線科 関根 鉄朗 先生

**休憩 (13:10 - 13:20)**

**11:40 - 14:10 一般演題④続き 血流計測技術の新領域**

**13:20 - 13:45**

脾動脈瘤における CFD を用いた解析について

広島大学病院 放射線診断科 馬場 康貴 先生

**13:45 - 14:10**

左心室流れが大動脈弁及びその後流に与える影響の評価

早稲田大学 流体構造連成系応用力学研究室 塩崎 健介 先生

**閉会の辞 (14:10-14:15)**

京都府立医科大学 心臓血管外科・心臓血管血流解析学講座 板谷 慶一 先生

## 左室低形成症候群における三尖弁の構造力学的解析の試み

高橋 健<sup>1)</sup>、重光幸栄<sup>1), 2)</sup>、Nee Scze Khoo<sup>2)</sup>

1) 順天堂大学小児科学教室

2) 2) Department of Pediatrics, University of Alberta.

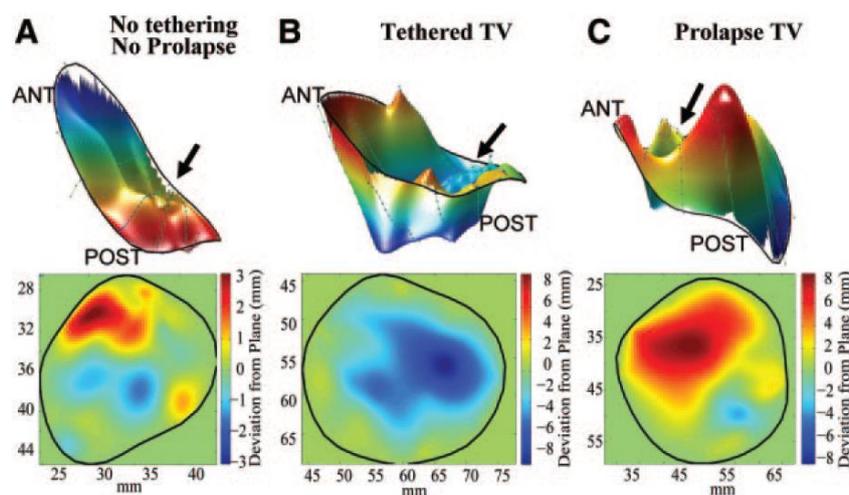
【背景】左室低形成症候群 (Hypoplastic left heart syndrome : HLHS) において、唯一の機能している房室弁である三尖弁の機能は、予後に重大な影響を与える因子の一つである。現在まで HLHS の房室弁に対し三次元超音波を用いて、弁輪面積、弁輪の形態、弁尖の心房側への逸脱及び心尖部側への牽引の程度など、様々な形態の異常が調べられてきた。循環器内科領域では、機能的僧帽弁閉鎖不全症を中心に、これら形態評価に加えて、弁尖の曲率やストレス等の弁への構造力学的な負荷の評価を行うことにより、弁の機能不全を進行させる要因の解明が試みられている。しかしながら、これらの構造力学的な負荷の評価は、現在まで HLHS を含む先天性心疾患の房室弁に対しては行われていない。

【目的】HLHS において三尖弁の構造力学的な負荷の評価を行い、弁機能悪化の機序を解明すること

【方法】対象は1歳から3歳のフォンタン手術後の HLHS 患者 70 名。超音波機器は IE33 の Matrix X3-1 もしくは X7-2 probe (Philips Medical Systems) を使い、経胸壁三次元超音波を施行を行う。その後 TomTec を用いて基本的なデータ処理を行い、解析の準備をする。

【検討要望事項】経胸壁三次元超音波を用いたデータで、HLHS の三尖弁の構造力学的負荷の評価が可能か否か、検討して頂くこと。

【参考資料】下記は、過去に行った HLHS の三尖弁の三次元構造の解析例。



## 仮想ドプラデータによる 3 次元 VFM の実現に向けた計算方法の検討

住谷拓斗

埼玉大学大学院理工学研究科

Vector Flow Mapping(VFM)は、壁運動と血流速度の情報が記録されているドプラデータから、ドプラ法で計測される速度成分に直交する速度成分を推定することで、平面内の流れを可視化する技術である。本技術は、左心室長軸断面において面を通過する血流の運動量が面内の運動量に対して小さいことを前提としている。しかし、心臓弁膜症などにより、この前提が成り立たない症例も存在すると考えられる。そこで我々はドプラデータから血流を 3 次元に再構築する方法について検討をした。左心室において、短軸方向の圧力勾配が長軸方向の圧力勾配に比して小さいという仮定をおくことによって、Navier-Stokes 方程式と連続の式に基づいて数値計算を行う。現在は、pc-MRI にて計測された血流速度に基づいて仮想的にドプラデータを作製し、考案した再構築方法を試した。今回は計算方法の紹介と現状の報告について発表する。

## コネクタ電極を用いた循環流路における血栓検出およびその評価

上村拓生、小石まどか、立川華子、李 建平、羽石秀昭、武居昌宏

千葉大学大学院 融合理工学府 基幹工学専攻

【目的】循環流路において血栓が形成されやすいコネクタ部に注目し、電気計測により血栓検出を行う。また、OCT による計測およびシミュレーションと比較し、電気計測の評価を行う。

【方法】コネクタ電極を組み込んだ閉流路を、クエン酸ナトリウムで抗凝固を施したブタ血液で満たし、ポンプで循環させた。流路に塩化カルシウムを添加し、血栓形成を促した。コネクタ電極による電気計測と同時に OCT で電極部分を撮影した(下図参照)。計測終了前にヘパリンを添加し凝固反応を止め、計測および血液循環を終了した。速やかに流路から血液を抜いた後、生理食塩水で流路をすすぎ流路内に形成された血栓を目視で確認した。

・コネクタ電極: 電極のついたアクリルコネクタ。2 電極間でコネクタ端面の電気的変化を局所的に計測する。また、血栓形成をより促進させるため、通常の医療用コネクタより肉厚を厚く設計している。

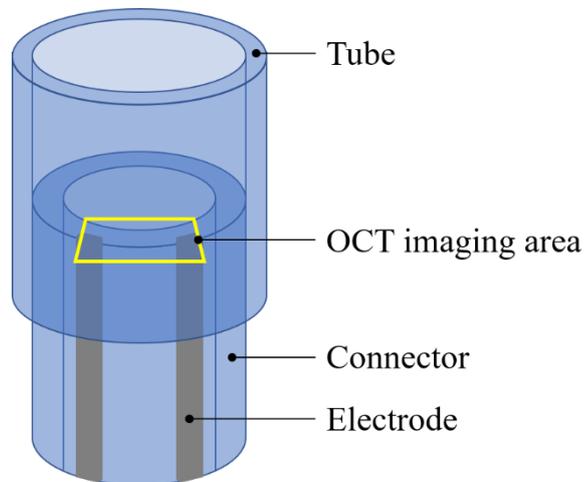
・OCT: Optical Coherence Tomography。近赤外線を照射し、光の干渉性を利用して試料の断面を撮影する技術。

【シミュレーション】①: 血液および血栓の電気特性を求める。②: ①で得た値を用い、コネクタ電極端面に血栓が形成するモデルを構築する。

【結果】電気計測の値の変化に伴い、OCT においても画像に変化がみられた。実験終了後、OCT 画像に見られる変化と同様の形状の血栓が目視で確認された。実験とシミュレーションにおいて、血栓形成により電気特性が同様に変化することが示された。



(1) 計測の様子



(2) コネクタ電極の模式図

# 慢性大動脈解離に対する TEVAR の治療効果予測における computational fluid dynamics の有用性

木村直行<sup>1)</sup>、田中高志<sup>1)</sup>、中村匡徳<sup>2)</sup>

1) 自治医科大学附属さいたま医療センター 心臓血管外科

2) 名古屋工業大学 医用生体工学研究室

【目的】慢性大動脈解離に対するステント治療(thoracic aortic endovascular repair: TEVAR)では、偽腔血栓化が得られ大動脈が縮小する症例がいる一方、術後大動脈拡大を呈する症例も存在する。慢性大動脈解離に対する TEVAR 実施例を対象に、治療前後の CFD 解析を施行した。

【対象】症例は 67 歳女性。60 歳時に急性 A 型解離を発症し、上行大動脈置換術が実施された。その後 7 年間で下行大動脈径は 38 mm から 56 mm と増大したため、待機的に TEVAR を行った。術前と術後早期に 3 TPC-MRI と 3D-CT を実施、専用解析ソフト(SCRUYU, Cradle Co., Ltd. Osaka, Japan)による CFD 解析を行い、TEAVR 前後の①真腔・偽腔血流の流線②大動脈壁圧力分布を計算した。

【結果】TEVAR 前の CT 検査では、大動脈最拡大部の真腔・偽腔径は 13・43 mm であり、下行大動脈中枢側に primary re-entry を認め、腹部大動脈分岐部にも re-entry を認めた。TEVAR 実施 2 週後の CT 検査では、大動脈最大径は術前と変化なかったが、ステント留置部の偽腔血栓化と真腔拡大(真腔 19 mm・偽腔 37 mm)を認めた。CFD 結果:①術前の流線解析では、真腔内の血流速度は一定ではなく、最狭窄部である横隔膜上で 2.9m/s と上昇していた。偽腔内では中枢側の primary re-entry から末梢側への順行性の slow flow を認めた。術後の流線解析では、真腔拡大の影響もあり、真腔内の最大血流速度は 1.4 m/s と減少し、縮小した偽腔内では末梢側からの吹上げ血流のみが観察された。②大動脈基部を 100mmHg と仮定したときの圧力計算では、術前は上行大動脈～偽腔に面した下行大動脈拡大部にかけて 99mmHg を超える高い壁圧を連続性に認め、偽腔壁圧は真腔壁圧より上昇していた。術後の偽腔壁圧は最大 92.9mmHg と減少していた。術後 2 年目の CT 検査では下行大動脈は最大径 52 mm と縮小し、真腔・偽腔径 24 mm・28 mm と真腔拡大の進行を認めた。

【結論】ステント留置部の偽腔血栓閉塞が得られた本症例の CFD 解析では、TEVAR 後早期に拡大した下行大動脈の壁圧減少を認め、これに合致して遠隔期の大動脈縮小も確認された。

## 輸送効率に着目した最適ダウンストリームモデルの推定

小宮賢士

早稲田大学 流体構造連成系応用力学研究室

### 【背景・目的】

3次元の血流解析は、血管内の詳細な流れ場を知ることができ、疾患の機序解明や診断および予測に有効である。その際、全身の血管を一体ととして解析することは難しく、実際には注目する領域の近傍のみを行うことになる。したがって、境界条件が必要となる。境界条件の組み合わせの例としては、流入血流の速度分布と流出境界における出口圧力がある。これら必要な値を測定することは困難であり、多くの場合一部のデータしか測定されておらず、何らかの方法でそれを決めることが必要になる。さらに、術後の流れが知りたいときのように、現状の把握ではなく予測に用いる場合にはこれらの情報はそもそも存在しない。したがって、測定技術の今後の進歩を見込んでも、測定以外の方法により境界条件を推定することに一定の需要がある。

生体の血管網による血液の輸送効率が高いことは知られている。もし血管の伸縮がなければこのような小さな心臓で全身に血液を送ることはできない。このような観点から考え、血液輸送は効率の高い状態になっているという考えることには一定の妥当性がある。そこで、形状や流量要件から、考えられる輸送効率を最大とするような境界条件を導くことを本研究の目的とする。

### 【方法】

複数血管形状に対して以下の手順で最大の輸送効率を求める。

- 1.任意の境界条件を用いて3次元流体解析を行う。
- 2.3次元流体解析で得られた結果をもとに対応する集中定数回路モデルを構築する。
- 3.集中定数回路モデルの出口境界部分にウインドケッセルモデルを配置する。これにより血管の出口以降の効果を含めた集中定数回路モデルを構築する。
- 4.胸部大動脈における輸送効率を最大となるようなウインドケッセルパラメータの推定を行うことで、対応する境界条件を導く。
- 5.新しい設定で3次元の計算を行い、新たな計算結果に基づいて2.へ戻る。

# ステント内残圧格差も考慮した冠動脈連続病変/びまん性病変における

## 治療後心筋血流予備比(FFR)推定の試み

齋藤成達

京都大学医学部循環器内科

連続病変/びまん性病変では心筋血流予備比(FFR: Fractional Flow Reserve of Myocardium)は病変間の相互作用があり予測に際しては比較的複雑な計算式と冠動脈楔入圧の測定が必要であるとされまたステント内 FFR Gradient の影響を受けるとの報告もある。近年 iFR が新しい侵襲的心筋虚血の検査指標として注目されている。iFR を用いるとびまん性病変/連続病変の治療後の iFR は簡単に予測できるとされる。

本研究の目的は

- (ア) ステント内 FFR Gradient を加味した連続病変/びまん性病変での治療後予測式の導出を行うこと
- (イ) 導出した予測式をベンチテストで検証する
- (ウ) 導出した予測式を臨床データで検証する

であり、治療後の FFR が実臨床でも予測可能かを検討することである。

Tandem 病変での治療後の FFR 予測は Bryune らの導出した式が有名であるがそれを拡張し連続病変に適用できるようにすると

$$FFR_{pred} = \frac{FFR_{pre}(1 - CFI) - CFI\Delta FFR}{1 - \Delta FFR - CFI} \quad (1)$$

となる。これをステント内治療後残 FFR 較差を加味すると

$$FFR_{a-pred} = \frac{FFR_{pre}(1 - CFI) - CFI\Delta FFR - \Delta FFR'(FFR_{pre} - CFI)}{1 - \Delta FFR - CFI} \quad (2)$$

となる ( $\Delta FFR$ : 標的病変での  $\Delta FFR$ 、CFI: Pw/Pa-冠動脈楔入圧、 $\Delta FFR'$ : 標的病変治療後 FFR)。前提条件として Tandem Lesion の治療後 FFR の予測式と同じく狭窄によって生じる圧較差は血流量に比例するという条件を用いた。

上記(1), (2)式をベンチテスト(n=50)及び臨床データ(n=67)で検証した結果について血流会では報告する。

## 4D flow MRI を用いた僧帽弁形成術後の血流動態に対する影響の検討

森地裕子<sup>1)</sup>、板谷慶一<sup>2)</sup>、沼田 智<sup>1)</sup>、山崎祥子<sup>1)</sup>、谷口智史<sup>1)</sup>、神崎智仁<sup>1)</sup>、  
眞鍋 嘉一郎<sup>1)</sup>、池本公紀<sup>1)</sup>、夫悠<sup>1)</sup>、中路康介<sup>3)</sup>、玉木長良<sup>3)</sup>、山田 恵<sup>3)</sup>、宮崎翔平<sup>4)</sup>、  
西野輝泰<sup>4)</sup>、夜久 均<sup>1)</sup>

1) 京都府立医科大学大学院医学研究科 心臓血管外科

2) 京都府立医科大学大学院医学研究科 心臓血管外科・血流解析講座

3) 京都府立医科大学大学院医学研究科 放射線科

4) Cardio Flow Design Inc.

【背景】僧帽弁形成術(MVP)の際にリングやバンドを使用し弁輪を形成する。MVP 後の血流動態や使用するデバイスによる血流動態の違いは明らかにされていない。

本研究では、MVP 後の左室内血流動態を評価するとともに僧帽弁輪形成術にバンドを使用した場合とリングを使用した場合の血流動態の相違を明らかにすることを目的とした。

【方法】健常例 21 例、MVP 症例 (CG Future Band (B 群) 7 例, Physio II Ring (R 群) 5 例)に 4D flow MRI を施行した。左室機能及び左室と大動脈の血流動態、エネルギー損失(Energy Loss: EL)を計測し、健常例との比較、各々のデバイス使用時の特徴と相違について解析した。人工弁輪の周囲では磁場の乱れが存在するため、EL 計測は位相コントラスト情報から弁輪およびその周囲の磁場の乱れを除いた左室心腔内(LVEL)のみと、左室-大動脈(LVAoEL)で評価した。また左室流出血流への影響を検討するために、大動脈弁輪径の収縮期と拡張期の比(AoD ratio)および大動脈基部の血流分布から計測した大動脈弁の有効弁口面積係数 EOAI を評価した。

【結果】MVP 症例では、拡張流入期に左室内にできる渦流は健常例と比べ前尖下、後尖下ともに大きく、前尖側の渦流は 2 連形態を示していた。LVEL を心拍出量で除した値 (LVEL/CO)も健常例と比べ高値であった( $P<0.01$ )。収縮早期に健常例では前尖側の渦流は心基部後壁側に存在し、滑らかな駆出に繋がるが、MVP 例では前尖側の渦流が真腔中央に存在し駆出血流を妨げるように見える例が存在した。その傾向は人工弁輪の弁口面積を体表面積で除した値 (IROA)が小さい症例で特に顕著であり、LVEL/CO が高値を示した。また、LVEL と僧帽弁の mean pressure gradient は相関していた ( $r=0.63$ ,  $P=0.04$ )。

リングとバンドの比較においては R 群では B 群に比して収縮期の左室流出血流の拡張が不十分な傾向があった(AoD ratio  $P=0.10$ )が、EOAI は有意に B 群で高値を示した( $P=0.04$ )。2 群間に LVEL および LVAoEL に有意差は認めなかった。

【結論】僧帽弁形成術においては渦の向きだけでなく駆出血流への影響を検討することが重要である可能性が示唆された。今後、血流のエネルギー損失や流出路の駆出血流パターンが長期予後に及ぼす影響など検討する必要がある。

## 4D Flow MRI を用いた肺癌肺切除後の左房内血流解析

仲座方辰<sup>1)</sup>、関根鉄朗<sup>1)</sup>、伊藤宏貴<sup>2)</sup>、松本充生<sup>2)</sup>、井上達哉<sup>2)</sup>、白田実男<sup>2)</sup>、  
汲田 伸一郎<sup>1)</sup>

- 1) 日本医科大学付属病院放射線科
- 2) 日本医科大学付属病院呼吸器外科

### 【背景】

肺癌に対する外科的手術として肺葉切除が施行される。この肺葉切除後の重篤な合併症として心房内血栓に起因する塞栓性脳梗塞が存在する。この塞栓性脳梗塞は外科手術手技と強く関連しており、具体的には左上葉切除(LUL: Left Upper lobectomy)との強い関連を示唆する報告が散見される。この関連を説明可能な想定される機序の一つは左房内や左上肺静脈(LSPV: Left Superior Pulmonary Vein)断端での血流のうっ滞である。

### 【目的】

4D Flow MRI を用いて LUL 群と健常者群で左房内血流のうっ滞の有無と広がり进行を明らかにする

### 【方法】

対象は、LUL 群(当院で LUL 施行した 6 例、うち左房内血栓 4 例)と健常者群(ボランティア 7 人)。4D Flow MRI は voxel Resolution = 1.7 \* 1.7 \* 2.0-3.0 mm、VENC は 50-150cm/sec の dual VENC、k-t PCA 高速撮像法を用いて 10 分程度の撮像とした。症例ごとに LSPV の左房内流入部を含む水平断面(Upper)と、それより尾側に他の肺静脈流入部を含まないような2つの水平断面(Middle, Lower)の計 3 断面を選び、それぞれの断面で左房内に関心領域を設定した。関心領域内での低血流領域(2.3cm/sec 以下)の占める割合を SFA: Slow Flow Area(%)とした。3 断面での SFA の平均を算定し、LUL 群と健常者群間で比較した。3 断面間での SFA の異なりについて、それぞれ LUL 群内、健常者群内において比較検討した。

### 【結果】

LUL 群においては、健常群と比較して SFA 平均が有意に高かった。健常者群では upper、middle、lower の断面での SFA の変化はなかったが、LUL 群では LUL 断端を含む Upper 領域では、Middle 及び Lower 領域と比較して SFA が有意に高く、解剖学的構造との相関が示唆された。

### 【考察・結論】

LUL 群では LSPV 流入部近傍で心房内血流の低下が生じている事が明らかとなった。LUL 施行後の左房内血栓や LSPV 断端血栓の形成には、この血流のうっ滞が関与している可能性がある。

## 前壁心筋梗塞後の左室瘤合併例における渦流と拡張早期僧帽弁逆流の解析

上間貴子<sup>1)</sup>、安 隆則<sup>1)</sup>、長尾萌子<sup>1)</sup>、巴崇<sup>1)</sup>、杉山拓氏<sup>1)</sup>、星合 愛<sup>1)</sup>、上野 明日香<sup>1)</sup>、  
石川まゆ子<sup>1)</sup>、堀江康人<sup>2)</sup>、杉村浩之<sup>2)</sup>、上嶋徳久<sup>3)</sup>

- 1) 獨協医科大学日光医療センター 心臓・血管・腎臓内科
- 2) 獨協医科大学日光医療センター循環器内科
- 3) 心臓血管研究所附属病院

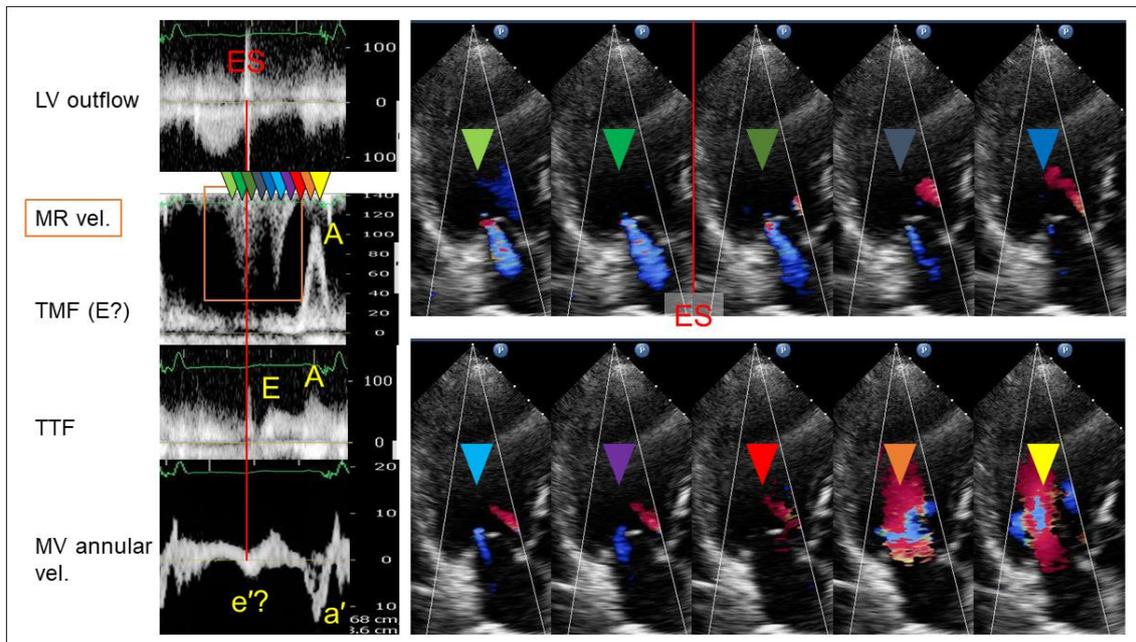
【背景】左室瘤は予後不良の心筋梗塞症の機械的合併症である。その瘤内の渦流についてはこれまで正確な評価方法がなく研究が進んでいない。通常、左室拡張末期圧高値例では、左室流入速波形は偽正常化( $E/A > 1$ )し、さらに拘束型( $E/A > 2$ )になるが、左室瘤合併心筋梗塞症の一部に左室拡張末期圧が高値であるにもかかわらず、左室流入速波形が弛緩障害型( $E/A < 1$ )を呈している例がある。そのような症例の中で拡張早期の僧房弁逆流を有する症例を我々はこれまでに 4 例経験し(図 A)、そのうち 3 例が 6 か月以内に心不全死をした。【目的】本研究の目的は、左室瘤を有する前壁心筋梗塞患者の瘤内の渦流と拡張早期の血行動態を、新しい心臓超音波 modality である Vector Flow Mapping(VFM)とカテーテル検査によって詳細に検討し、拡張早期の左室内圧反転現象の機序を解明し、その予後についても検討することである。【結果】前壁心筋梗塞症で、集約的内科治療にも関わらず左室瘤を合併した 20 例に対して心エコー図検査を施行した。そのうち 5 例はその他の modality でうっ血性心不全を示唆しているにもかかわらず、左室流入速波形は弛緩障害パターンであった。また VFM で左室瘤合併症例の拡張早期の相対的左室内圧を調べてみると、健常者では左室流入部が左室内で最も圧が高くなるのに対し(図 B)、左室瘤を合併している症例では、左室瘤内の圧が高く、圧反転現象が起きていることが確認できた(図 C)。【考察】左室瘤の残存している症例では、左室拡張末期圧が上昇しているだけでなく、さらに同時相で左室瘤から僧帽弁に向かう血流が起こることで左室流入血流を打ち消し、E 波の cancellation が起き、そのために左室拡張末期圧が高値であるにもかかわらず、左室流入速波形が弛緩障害パターンを呈しその極形が dMR として現れると思われた。そのような症例では左室の効率が著しく阻害され、予後不良な経過を辿ると推測された。



## E 波はどこだ？ early-diastolic MR を呈する DCM の 1 例

山田 聡<sup>1)</sup>、栗田絵梨奈<sup>2)</sup>、河上雅子<sup>2)</sup>、鈴木 勇<sup>2)</sup>、實田 顕<sup>1)</sup>、外間洋平<sup>1)</sup>、高橋聡介<sup>1)</sup>、  
相賀 護<sup>1)</sup>、渡邊圭介<sup>1)</sup>、西原崇創<sup>1)</sup>、田中信大<sup>1)</sup>

- 1) 東京医科大学八王子医療センター 循環器内科
- 2) 東京医科大学八王子医療センター 中央検査部エコーセンター



## 右室流出路疾患をもつ成人先天性心疾患患者の 4D flow MRI による

### Energy Loss 測定

瀧上雅雄

京都府立医科大学循環器内科

成人先天性心疾患は構造・血行動態が複雑であるが故に評価が非常に難しい領域である。そのような患者の手術適応を決めるうえで 4D flow MRI による Energy Loss の有用性を現在検証している。

右室流出路疾患をもつ成人先天性心疾患患者を対象に 4D flow MRI を撮影し右心系の Energy Loss を算出した。さらに regurgitation と stenosis での Energy Loss の発症の違いも検証すべく systolic phase と diastolic phase にも分けて計測した。

まだ測定数も十分ではありませんが今回の解析データから得られた知見について皆様方からご意見を頂けましたら幸いです。

## 脾動脈瘤における CFD を用いた解析について

馬場康貴

広島大学病院放射線診断科

内臓動脈瘤は日常よく目にする疾患であるが、治療適応に関してはまとまった見解はない。しかしながら、一度破裂出血すると致死的な場合もあり臨床的に治療適応の判断に迫られることがある。基本的には増大傾向にある内臓動脈瘤を治療適応としているが、事前の画像から増大予測ができないか考えた。具体的には内臓動脈瘤の中で一番頻度の高いとされる脾動脈瘤において一定期間観察しえた症例の画像を用いて CFD による評価を行い解析を行ったので報告する。

## 左心室流れが大動脈弁及びその後流に与える影響の評価

塩崎健介

早稲田大学 流体構造連成系応用力学研究室

目的:

血管病理では WSS (wall shear stress) や OSI (oscillatory shear index) が注目されている。これらは速度の微分値によって表現される繊細な量で数値計算により定量的に妥当な数値を得ることは容易ではない。

弁は開閉により血管の空間を分離するというトポロジー変化を生じさせる。空間微分に依存する流れの計算において、トポロジー変化に対応するためには、多くの場合、繊細な WSS を捉えるには不十分な近似が生じてしまう。我々は、この WSS を高精度に捉えることとトポロジー変化を両立させることを実現してきた。この研究では、弁上流に相当する左心室や僧帽弁が作る複雑な流れに着目し、そこから大動脈弁及びその後流に与える影響を評価することを目的とする。

方法:

弁表面の流れを詳細に捉えるため物体適合格子を用いる。

左心室の動きは CT 画像から抽出し、拍出量を加味した簡易モデルを作成する。

一様流を与えた場合と左心室をつけた場合を比較して、弁及びその後流への影響評価を行う。

## Turbulent Kinetic energy assessment of HOCM by using Multi-VENC 4D Flow MRI

Tetsuro Sekine<sup>1</sup>), Kotomi Iwata<sup>1</sup>), Masaki Tachi<sup>1</sup>), Yoichi Imori<sup>2</sup>), Junya Matsuda<sup>2</sup>), Yasuo Amano<sup>3</sup>), Makoto Obara<sup>4</sup>), Masahi Ogawa<sup>1</sup>), Hitoshi Takano<sup>2</sup>), and Shinichiro Kumita<sup>1</sup>)

1) Radiology, Nippon Medical School

2) Cardiology, Nippon Medical School

3) Radiology, Nihon University,

4) Philips Electronics Japan Ltd., Tokyo, Japan

### Introduction

The obstruction of LV outflow tract (LVOT) is independently associated with the adverse outcome in patients with hypertrophic obstructive cardiomyopathy (HOCM). Based on the signal drop of magnitude images of 4D Flow MRI due to intra-voxel dephasing, turbulent kinetic energy (TKE) can be calculated through estimating intra-voxel velocity standard deviation [1]. This value is not much sensitive to pixel resolution and feasible for 4D Flow MRI (e.g. if the pixel resolution was changed from 0.625 to 2.0mm, <15% error was observed [2]). The purpose of this study was to clarify the relationship between TKE and LVOT gradient.

### Methods

*Patients;* We recruited 3 normal volunteers, and 10 HOCM patients.

*MR acquisition;* We performed cardiac MRI including 4D Flow MRI using a 3.0-T MRI unit (Achieva; Philips Healthcare, Best, The Netherlands). TKE was calculated from the magnitude images of multi-VENC data combined with Bayesian estimation by using offline reconstruction software (CRECON, Gyrotools, Zurich, Switzerland) [3].

*MR analysis;* GT Flow (Gyrotools) was used. The VOI from left ventricular to aortic arch was drawn semi-automatically. TKE<sub>phase</sub> is calculated as the sum of entire VOI at each cardiac phase. TKE<sub>peak</sub> was the highest TKE<sub>phase</sub> in the all cardiac phase. TKE<sub>sum</sub> was the sum of all TKE<sub>phase</sub> through the entire cardiac phase.

### Results

The TKE<sub>sum</sub> and TKE<sub>peak</sub> of HOCM group were higher than those of volunteers (107.0±25.0mJ vs. 39.2±8.7mJ, p=0.025; 15.5±3.8mJ vs. 4.1±0.6mJ, p=0.025). There was no significant correlation between LOVT gradient and these TKE values (p=0.203, p=0.556, respectively).

### Conclusion

TKE reflects general flow characteristics in HOCM patients and may provide novel flow parameters

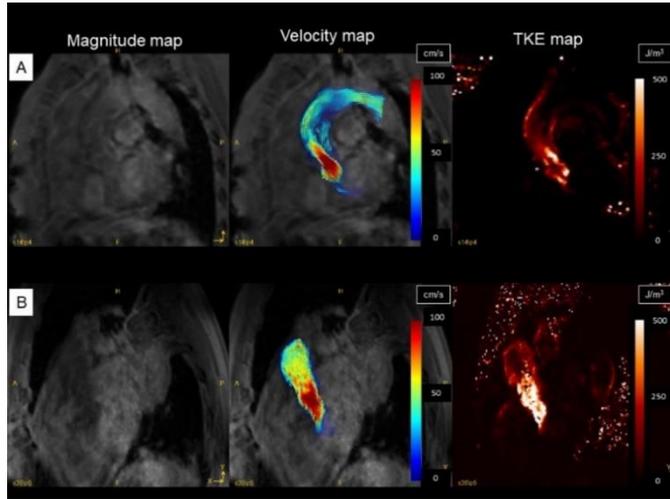
to estimate accurate pressure loss at LVOT in HOCM.

### References

1. Dyverfeldt P. *Magn Reson Med* 2006
2. Binter C. *Magn Reson Med* 2016
3. Knobloch V. *Magn Reson Med* 2014

### Figure

(A), 85-years-old female with HOCM. The pressure gradient (PG) measured by US was extremely



high (194 mmHg). However, the TKEsum and TKEpeak were relatively lower compared with the average among HOCM patients (73.0, 11.3 vs.  $107.0 \pm 25.0$ ,  $15.5 \pm 3.8$  mJ).

(B), 54-years-old male with HOCM.

The PG measured by US was moderate (46 mmHg). However, the TKEsum and TKEpeak were relatively higher compared with the average among HOCM patients (156.7, 22.0 mJ). The

slight dilatation of the ascending aorta may cause the elevation of TKE, even though the laminar jet flows at stenotic site.