

## 第12回血流会

- ◆日時：令和元年8月3日（土）～4日（日）
- ◆会場：京都府立医科大学 河原町キャンパス  
臨床講義棟 南臨床講義室
- ◆特別企画『血流解析 Hands on seminar』：  
基礎医学学舎 2F 第1演習室
- ◆参加費：1,000円
- ◆懇親会費：4000円（予定）  
（京都市役所前・三条駅周辺）
- ◆当番世話人：  
板谷 慶一  
京都府立医科大学大学院医学研究科  
心臓血管外科・心臓血管血流解析学講座 講師  
成人先天性心疾患センター
- ◆アクセス：

〒602-8566 京都市上京区河原町通広小路 上る 梶井町 465 番地

出発地	利用路線	到着地
JR 「京都駅（正面）」	市バス 4、17、205系統	「府立医大病院前」 バス停で下車すぐ
阪急電鉄 「河原町駅」	市バス 3、4、17、205系統	
京阪電鉄 「三条駅」 京都市営地下鉄（東西線） 「三条京阪駅」	市バス 37、59系統 京都バス 23、43系統	
京阪電鉄 「神宮丸太町駅」	徒歩10分	
京阪電鉄 「出町柳駅」	徒歩15分	
京都市営地下鉄（烏丸線） 「丸太町駅」	徒歩20分	

## 周辺地図



河原町  
キャンパス

- ・市バス  
「府立医大病院前」下車すぐ
- ・京阪電鉄  
「神宮丸太町駅」徒歩10分  
「出町柳駅」徒歩15分

## 校内図



臨床講義棟

会場：  
臨床講義棟  
南臨床講義室

基礎医学学舎

ハンズオンセミナー：  
基礎医学学舎 2F  
第1演習室

## 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をお願いします。
- ◇ 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。

# 第 12 回血流会プログラム

8月3日(土) 1日目

12:30– 13:00 世話人会

13:00– 13:05 開会の辞

当番世話人： 板谷 慶一 京都府立医科大学 心臓血管外科

13:05-13:55 セッション I 数値シミュレーションモデルの新たな展望

座長

田中 智彦 日立製作所 中央研究所

板谷 慶一 京都府立医科大学 心臓血管外科

13:05 – 13:30

血管疾患における構造解析の意味と可用性

早稲田大学 理工学術院 佐々木 崇史

13 : 30 – 13:55

3D超音波ドプラデータに基づく左心室内血流構造完全再構築への道

名古屋工業大学 電気・機械工学科 中村 匡徳

休憩 13:55 – 14:05

14: 05-14:55 セッション II 大動脈弁弁膜症評価に対する MRI を用いた新たな挑戦

座長

関根 鉄朗 日本医科大学 放射線科

斎藤 成達 京都大学 循環器内科

14: 05 – 14:30

MRI を用いた血流評価に基づく大動脈弁狭窄症の重症度診断

京都府立医科大学 心臓血管外科 法里 優

14:30 – 14:55

Falot 四徴症と Ross 手術後における大動脈基部拡大ならびに大動脈弁閉鎖不全症  
についての考察

京都府立医科大学 循環器内科 瀧上 雅雄

休憩 14:55 – 15: 05

**15: 05-15:55 セッションⅢ 超音波血流解析を用いた左室のメカニズムの新たな見解**

座長

高橋 健 順天堂大学 小児科  
飯野 貴子 秋田大学 循環器内科

15:05 – 15:30

前負荷変化の部位別拡張早期左室内圧較差に対する影響  
順天堂大学 小児科学講座 細野 優

14:30 – 14:55

等容収縮期に血液が持つエネルギーは心不全予後を予測できる  
東京医科大学 循環器内科 高橋 梨紗

休憩 15:55 – 16: 10

**16:10 - 18:40 特別企画『血流解析 Hands on seminar』**

- A コース プログラミングの Hands on 名古屋工業大学 中村 匡徳 先生  
1 コース 50 分
- B コース 超音波 VFM の Hands on 日立製作所 岡田 孝 先生  
1 コース 25 分
- C コース 4D flow MRI の Hands on Cardio Flow Design Inc. 宮崎 翔平 先生  
1 コース 25 分
- D コース CFD 血管血流解析の Hands on ヒューマン・アイ 荒井 和喜 先生  
1 コース 50 分

4 サイトを好きなコースを各々時間内に回っていただく企画

\*A コースは Python でのコースになります。事前に自分の PC にコンパイラを下記 URL からインストールして自分の PC での受講が可能になります。

<https://www.anaconda.com/>

\*D コースは SimVascular を用いたコースになります。事前に自分の PC に下記 URL からソフトウェアとサンプルをインストールして自分の PC での受講が可能になります。

<http://simvascular.github.io/docsQuickGuide.html>

## 8月4日(日) 2日目

### 9:30 - 10:45 セッションIV 超音波血流解析を用いた心不全の機序への新たな挑戦

#### 座長

上嶋 徳久 心臓血管研究所 循環器内科

秋山 浩一 淀川キリスト教病院 麻酔科

#### 9:30 - 9:55

右室ペーシング誘発性左室内同期不全における左室内渦動態の特徴

秋田大学 循環器内科 飯野 貴子

#### 9:55 - 10:20

IVPDによるLVADポンプスピードの最適化

淀川キリスト教病院 麻酔科 秋山 浩一

#### 10:20 - 10:45

ドキシルビシン投与犬における長期慢性心毒性による心機能低下の評価法の検討

東京農工大学 獣医外科学研究室 白石 健士郎

#### 休憩 (10:45 - 11:00)

### 11:00 - 12:25 セッションV 肺循環と右心系に関する新たな知見

#### 座長

山田 聡 東京医科大学八王子医療センター 循環器内科

中西 直彦 京都府立医科大学 循環器内科

#### 11:00 - 11:25

肺動静脈奇形における流体力学的考察について

広島大学病院放射線診断科 馬場 康貴

#### 11:25 - 11:50

犬における心エコードプラ法を用いた新たな肺高血圧の評価法についての検討

東京農工大学 外科学教室 吉田 智彦

#### 11:50 - 12:25 (学生発表)

成人先天性心疾患における肺動脈弁再手術前後での血行動態評価

京都府立医科大学 心臓血管外科 東谷 紀香

フォロー四徴症の右心系・左心系の血行動態における評価

京都府立医科大学 心臓血管外科 西元 真由

**閉会の辞 (12:25-12:30)**

心臓血管研究所 循環器内科 上嶋 徳久

## 血管疾患における構造解析の意味と可用性

佐々木崇史

早稲田大学理工学術院

### 【目的】

血管疾患の診断や予測に有用と考えられる数値解析研究は、血流解析だけでなく血管壁の構造解析もある。そこで本講演では、構造解析の基礎から、それを利用して得られる結果の例の提示まで示す。

### 【構造解析とは】

議論の開始点としてまず、固体力学をベースとする構造解析の支配方程式と、数値解析の行程を示す。構造解析では、変位または表面力を境界条件として与えることで対象物の応力やひずみを得ることができる。では、ある圧力下に置かれる物体のひずみを計算する場合、どのような情報が必要で、結果に重要な意味を持つ要素はどれなのか。講演内では、馴染みのある数値流体解析と比較しながら説明していく。

### 【血管における構造解析】

血管の構造解析ではどのようなことがわかるのか、実際の病態と照らし合わせながら解説する。その中で、血管構造解析における入力データの制限から現存する問題点に言及する。

### 【血管ゼロ応力状態推定法】

血管構造解析の応用例として、ゼロ応力状態推定法の解説を行う。これは、血管モデリングにおいて重要な要素であり、計測では取得できない情報を、限られたリソースからいかに力学的でロバストなモデルを構築できるか、といった挑戦的研究である。本手法の解説とこれにより獲得できる結果の一例を以て構造解析の応用例とする。

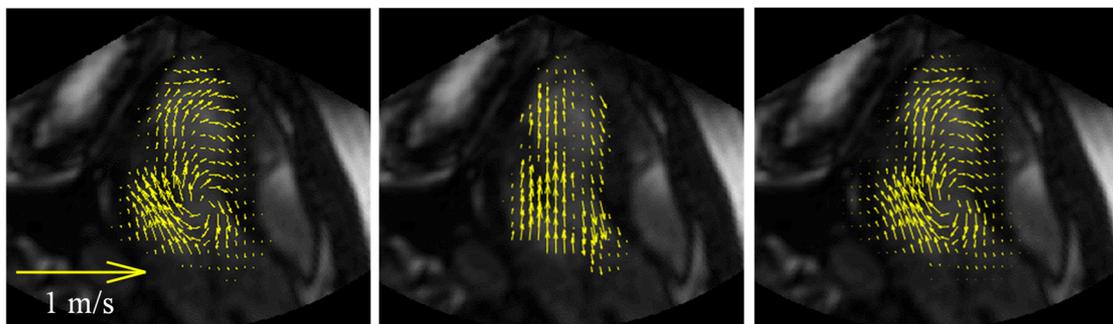
### 3D超音波ドプラデータに基づく左心室内血流構造完全再構築への道

中村 匡徳

名古屋工業大学 電気・機械工学科

左心室内の流れは、心機能と関連するとされる。渦流などの左心室内の血流を非侵襲的に調べることができれば、心筋異常などの心疾患の診断に繋がると期待される。左心室内血流を非侵襲的に調べる技術の1つに超音波ドプラ法がある。超音波ドプラ法は超音波入射方向の流速のみが測定され、渦流が計測できない。現在、2次元ドプラデータから2次元血流場を再構築し、渦流などを可視化する技術 Vector Flow Mapping (VFM) が存在するが、本来、左心室内血流は空間的に3次元である。空間的に三次元な流れを完全に再構築できれば、二次元VFMでは捉えられない異常血流を検知できる可能性がある。そこで本研究は、3次元ドプラデータから3次元血流場の再構築する方法について検討した。

3次元血流場を再構築するために、Navier-Stokes 方程式と連続の式を連立し、球面座標系に沿う速度ベクトルを陽的に求められるよう定式化した。再構築方法の有用性を調査するため、pc-MRI データから仮想3次元ドプラデータを作製した。過去の研究における左心室内の圧力勾配データに基づいて、計算を簡略化することを目的として、左心室短軸方向の圧力勾配項を0と仮定した。しかし、この仮定の下では、拡張期血流を特徴付ける大動脈弁下側の渦流などが再現できなかった。このことから、短軸方向の圧力勾配項の重要性を認識し、pc-MRI データから圧力勾配項を求め、それを利用して再計算を行った。結果として、再構築血流場は定性的、定量的に pc-MRI データと一致した。このことから、短軸方向の圧力勾配は長軸方向に比べ小さいが、三次元血流場を再構築する上で無視できないということが示唆された。



左心室長軸断面上の拡張期血流：左から順に、PC-MRI データ、短軸方向の圧力勾配を考えずに再構築した場合、短軸方向の圧力勾配を考えて再構築した場合

## MRI を用いた血流評価に基づく大動脈弁狭窄症の重症度診断

法里優<sup>1)</sup> 板谷慶一<sup>1)</sup> 松尾あきこ<sup>2)</sup> 宮崎翔平<sup>3)</sup> 西野輝泰<sup>3)</sup> 夜久均<sup>1)</sup>

1) 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

2) 京都第二赤十字病院 循環器内科

3) Cardio Flow Design Inc

【背景】大動脈弁狭窄症 (AS) の重症度診断は、一般的には経胸壁心エコー検査(TTE)で行うが、解剖学的要因や左心機能低下により度々困難となる。近年、MRI による流体力学的評価が循環器領域にも応用されている。本研究では、通常の 2 次元位相コントラストシネ画像に 3 軸方向のエンコード速度(VENC)を設定した方法 (2D-PC cine3 軸 VENC 法) を考案し、AS 重症度を流体力学的に評価し、従来法の心エコー図による弁口面積と比較、検討した。

【方法】対象は、TTE で大動脈弁通過最大速度(APV)が 3 m/s 以上の AS 患者 30 例。Accelerated AS 群 (APV>4m/s) は 15 例(A 群)、Nonaccelerated AS 群(APV<4m/s)は 15 例(N 群)であった。MRI で 2D-PC cine 3 軸 VENC 法にて VENC 4 m/sec と設定し、左室流出路から Valsalva 洞を 10 断面の短軸断面を撮像した。解析ソフトとして iTFlow ver 1.8.5 (Cardio Flow Design Inc. Tokyo, Japan)を用い、大動脈弁通過血流の流線を可視化し、流線束が最も収束した領域から算出した有効弁口面積(EOA)を MRI-EOA とし、経胸壁心エコー図において連続の式から求めた EOA(TEE-EOA)と比較検討した。

【結果】年齢は、N 群は A 群に対して年齢、左室駆出率、には有意差なく、左室拡張末期径、左室一回拍出量が有意に低値であった(63.0 vs 87.9ml;p<0.05, 40.5 vs 51.1ml; p<0.05)。MRI-EOA に両群間で有意差はなかったが(1.33 cm<sup>2</sup> vs 1.45 cm<sup>2</sup>, p=0.35)、MRI-EOA と TEE-MRI の相関は、N 群で良好で (R=0.732, p=0.001)、A 群では中程度の相関であった (R=0.546,p=0.017)。MRI-EOA と TEE-EOA の一致率に関しては、これらの 2 つの方法での EOA の差の平均は、N 群が A 群に対して有意に低値であった(0.83cm<sup>2</sup> ;95%許容範囲 : 0.66- 1.01vs. 0.37cm<sup>2</sup> ; 95% 許容範囲 0.23-0.52, p<0.01)。

【結語】本研究は、MRI を用いて大動脈基部での血流を可視化し、流体力学的に EOA を計測した。Accelerated AS は TTE で診断は容易であるが、低心拍出量により生じる LF/LG AS は TTE では診断に難渋する場合が多い。LF/LG AS を含む nonaccelerated AS の判読に MRI は有用と考えられた。

## Fallot 四徴症と Ross 手術後における大動脈基部拡大ならびに

### 大動脈弁閉鎖不全症についての考察

瀧上 雅雄<sup>1</sup>, 板谷 慶一<sup>2</sup>, 中西 直彦<sup>1</sup>, 森地 裕子<sup>2</sup>, 中路 康介<sup>3</sup>, 山野 倫代<sup>1</sup>, 梶山 葉<sup>4</sup>, 中村 猛<sup>1</sup>, 的場 聖明<sup>1</sup>, 夜久 均<sup>2</sup>, 山岸 正明<sup>5</sup>

- 1) 京都府立医科大学 循環器内科
- 2) 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
- 3) 京都府立医科大学 放射線科
- 4) 京都府立医科大学 放射線科
- 5) 京都府立医科大学小児医療センター 小児心臓血管外科

成人性先天性心疾患(ACHD)の中には Fallot 四徴症や Ross 術後など成人期にしばしば大動脈拡張を来す疾患がある。さらに基部拡大と同時に大動脈弁閉鎖不全症(AR)を発症することもまれでなく、成人先天性心疾患における大きな問題点の一つである。

Fallot 四徴症の大動脈拡大の機序に関しては上行大動脈内の異常血流や大動脈中膜の障害などが学説としてあげられる一方で、Ross 手術後における大動脈基部拡大は大動脈基部が元来の肺動脈組織であることや再建後の形態の問題等解剖学的な要因や血流学上の要因が大きいことが示唆される。しかし小児心臓外科手術術式の歴史的変遷のため、大動脈拡張に対する診断、治療指針、生命予後等に関しては統計エビデンスが乏しい。

今回ファロー四徴症と Ross 手術後の患者における大動脈基部拡大について 4D flow MRI, 造影 CT, 心臓超音波など様々な modality を用いてその機序の違いなどの考察を行う。

## 前負荷変化の部位別拡張早期左室内圧較差に対する影響

細野 優<sup>1)</sup>、高橋 健<sup>1)</sup>、井福真友美<sup>1)</sup>、秋本智史<sup>1)</sup>、秋谷梓<sup>1)</sup>、佐藤恵也<sup>1)</sup>、佐藤浩之<sup>1)</sup>、板谷慶一<sup>2)</sup>、清水俊明<sup>1)</sup>

1) 順天堂大学 小児科学講座

2) 京都府立医科大学大学院医学研究科心臓血管外科・心臓血管血流解析学講座

【背景】Tilt 試験は、運動負荷よりも簡便に行え、前負荷の増減により安静時よりも鋭敏に心機能異常を評価可能な検査方法であるが、Tilt 試験時の左室拡張早期圧較差(Intra ventricular pressure difference: IVPD)の変化を検討した報告はまだ存在しない。

【目的】健常者の Tilt 試験による前負荷変化時の部位別 IVPD の変化とそのメカニズムを明らかにし、疾患群との比較の準備をする。

【方法】成人健常者 5 例 (28 ~ 32 歳) を傾斜台で、水平時(Stage 1)、Tilt up 22.5 度 (Stage 2)、Tilt down -22.5 度 (Stage 3)において、心臓超音波による一般的計測に加え、胸骨傍短軸像より乳頭筋部円周方向性ストレイン(PCS)を、心尖部四腔像より長軸方向ストレイン(LS)を、Color-M-mode より IVPD を計測した。

【結果】左室拡張末期容積/体表面積は 4 例において安静時に比較して Tilt up で減少し ( $49.8 \pm 8.1$  vs.  $43.1 \pm 3.4$  ml/m<sup>2</sup>)、Tilt down で Tilt up 時より増加した ( $46.9 \pm 6.1$  ml/m<sup>2</sup>)。左房容積/体表面積は 5 例全例で水平時に比較して Tilt up で減少し ( $27.5 \pm 9.0$  vs.  $18.9 \pm 7.4$  ml/m<sup>2</sup>)、Tilt down で増加した ( $29.4 \pm 10.3$  ml/m<sup>2</sup>)。Stage 1 から Stage 3 まで PCS ( $-16.2 \pm 0.7$  vs.  $-15.2 \pm 0.7$  vs.  $-17.2 \pm 0.7$  mmHg) および LS は ( $-17.0 \pm 1.0$  vs.  $-15.7 \pm 1.0$  vs.  $-19.3 \pm 1.0$  mmHg) 変化した。左室の僧帽弁から 1/3 の Basal IVPD は水平時に比較し Tilt up では変化を認めなかったが ( $1.6 \pm 0.3$  vs.  $1.6 \pm 0.3$  mmHg)、Tilt down では全例で 2 倍近く増加した ( $2.5 \pm 0.3$  mmHg)。Mid to apical IVPD は、Tilt up で水平時と比較し変化を認めず ( $0.9 \pm 0.2$  vs.  $0.9 \pm 0.2$  mmHg)、Tilt down でも僅かな増加に留まった ( $1.2 \pm 0.2$  mmHg)。Mid to apical IVPD は CS と ( $r = -0.60$ ,  $p = 0.023$ )、Basal IVPD は LS と ( $r = -0.62$ ,  $p = 0.017$ ) とそれぞれ有意な相関を示した。

【結語】Basal IVPD は前負荷減少には影響されないが、前負荷増加により増加する。Mid to apical IVPD は前負荷増減による影響は軽微である。左室変形も前負荷の変化から影響を受け、Mid to apical IVPD は主に円周方向ストレインの、Basal IVPD は主に長軸方向ストレインから影響されるため、部位別 IVPD の変化の機序は単純ではない。今後症例数を増やし、前負荷の変化の影響を受ける部位別 IVPD の範囲を検討し、より詳細な IVPD 変化の機序を報告する予定である。

## 等容収縮期に血液が持つエネルギーは心不全予後を予測できる

高橋 梨紗

東京医科大学 循環器内科

【背景】拡張期に左室に流入した血液はエネルギー (kinetic energy, KE) を持っているが、全てが血液の駆出に使われるわけではなく、一部は駆出に関与することなく消失してしまう。

【目的】KE を測定し、それが左室内の血流や心機能にどのように関与しているかを調べること。

【方法】正常群と拡張型心筋症の患者群を対象に拡張期から収縮期直前にかけての左室内の血液が持つ KE の推移を測定した。拡張型心筋症の患者は 3 年間のフォローアップ期間中に心不全イベントの有無で 2 群に分けた。KE は駆出に関与したもの (KE for direct flow, DF) と駆出に関与せずに消失したもの (KE for retained flow, RF) にわけて測定した。

【結果】KE for DF は正常群、拡張型心筋症(心不全イベントなし)、拡張型心筋症(心不全イベントあり)の順に小さくなった。KE for RF はその逆であった。拡張型心筋症の患者で検証したところ、いずれの時相も KE for DF と KE for RF は心不全の予後予測因子にはならず、等容収縮期での KE for DF と KE for RF の比 (DF/RF ratio) のみ心不全の予後を相関していたことがわかった。

【結果】等容収縮期でのエネルギー使用の効率性は心不全予後に関係した。

MEMO

MEMO

## 右室ペーシング誘発性左室内同期不全における左室内渦動態の特徴

飯野貴子、佐藤和奏、渡邊博之

秋田大学大学院医学系研究科 循環器内科

【背景】右室ペーシング（RVP）に起因する左室内同期不全では、左室収縮、拡張機能ともに障害されることが知られている。しかし、その際の左室内血流、特に渦動態の詳細は明らかとなっていない。

【目的】RVP 誘発性左室内同期不全症例における左室内渦動態の特徴を明らかにすること。

【方法】ペースメーカー植込み後の 33 例を対象に、同心拍数の AAI 及び DDD モードで Vector Flow Mapping を用いて左室内渦動態を解析した。Longitudinal strain の各部位の収縮期ピークまでの時間の標準偏差を LS index とし、同期不全の指標とした。

【結果】DDD では AAI に比して QRS 幅 ( $158 \pm 26$  vs.  $99 \pm 6.8$  ms,  $p < 0.0001$ )、LS index ( $91 \pm 17$  vs.  $54 \pm 12$  ms,  $p < 0.001$ ) とも有意に大であり、DDD で同期不全の存在を確認した。AAI、DDD とも、充満期から駆出期までは同様の渦動態を示した。等容弛緩期における渦 (Vo-IVR) 検出率は DDD で有意に高値であり ( $82\%$  vs  $19\%$ ,  $p < 0.0001$ )、左室内同期不全による後壁の収縮の遅れが Vo-IVR の発生に関与していると考えられた。Vo-IVR の局在を検討すると、DDD では左室基部に多く検出されたのに対し（基部での検出率 70%）、AAI では基部での検出率は低かった（14%） ( $p < 0.01$ )。Vo-IVR の強さは、QRS 幅 ( $r = 0.48$ ,  $p < 0.05$ )、LS index ( $r = 0.42$ ,  $p < 0.05$ ) と有意に相関した。左室充満に関しては、DDD で AAI に比して 1 心拍当たりの充満時間の割合 (%FT) が有意に短縮しており、同期不全による充満障害が確認された。充満障害の程度 (%FT 変化率) と Vo-IVR の強さが有意に相関した ( $r = -0.44$ ,  $p < 0.05$ )。

【結語】RVP 誘発性左室内同期不全では、等容弛緩期に左室基部で渦が検出され、左室非同期性の新規指標となる可能性がある。

## IVPD による LVAD ポンプスピードの最適化

秋山浩一

淀川キリスト教病院麻酔科

### <Background>

左室補助人工心臓 (LVAD) の送血量は impeller の回転速度と LVAD 前後の圧較差に依存する (HQ relationship)。脱血管側の圧は左室圧であり、IVPD によって評価できると考えられる。

### <Methods>

我々は経食道心エコー (TEE) を用いた IVPD の解析方法を開発し (Matlab を用いて次元非圧縮性オイラーの式を解く)、LVAD 埋込術中 (HM3) の ramp test 中における IVPD の値を算出した。13 例の LVAD 埋込術中に 3 段階 (low、optimal、high) の ramp test を行い、color M-mode image を解析した。

### <Results>

IVPD の中央値は、術前 0.91 [0.79 ? 1.01]、low 1.58 [1.23 ? 2.11]、optimal 1.94 [1.69 ? 2.56]、high 1.78 [1.31 ? 2.17] mmHg であった。有意に optimal で最も高く、high では optimal に比べ有意に低下した ( $p < 0.005$ )。

### <Conclusion>

LVAD ポンプの回転数が最適な時の IVPD が最も高い結果となったが、これはポンプの回転数を上げすぎるとポンプと左室を合わせた sucking force が低下するためであると考えられる。IVPD を解析することで ramp test で LVAD の回転数を最適化できる可能性がある。

## ドキシソルビシン投与犬における長期慢性心毒性による心機能低下の評価法の検討

白石健士郎<sup>1)</sup>、松浦功泰<sup>1)</sup>、佐藤琴美<sup>1)</sup>、吉田智彦<sup>1)</sup>、島田香寿美<sup>1)</sup>、合屋征二郎<sup>1)</sup>、高橋健<sup>2)</sup> 田中綾<sup>1)</sup>

1) 東京農工大学獣医外科学研究室

2) 順天堂大学 小児科学教室

背景: ドキシソルビシン (DXR)は累積投与量依存性に心筋毒性をもたらすリスクが高くなることで知られている抗がん剤である。この心筋毒性には投与中あるいは投与後短時間のうちに出現する急性心毒性と投与後1年以上が経過してから現れる慢性の心毒性に分類され、特に慢性心毒性では左室機能不全を引き起こし、深刻なうっ血性心不全を呈することが問題とされている。DXRによる心機能低下の検出は心エコーを用いて検出することが一般的であるが、DXR心筋症は早期検出により予後の改善が期待できるため、従来法よりも早期に心機能の低下を検出できる方法が求められている。DXRによる心機能障害は収縮能に先行して拡張能に起こるという報告があり、我々は弛緩能と相関するVFMの拡張早期渦度と心室内圧較差に着目して研究を行ってきた。しかし、これらの血行動態の評価ではDXR投与中の心機能低下を検出することはできなかった(第10回血流会)。その時点において、直接心機能の評価するカテーテル法においても顕著な心機能の低下は認められず、新たな指標の有用性について検討するには観察期間が不十分であった可能性が考えられた。そのため、我々は投与終了から観察期間を延長し、心機能の評価を再度行い各血行動態評価法の有用性について再検討することとした。

方法: ビーグル犬6頭にDXRを30 mg/m<sup>2</sup>で3週間毎に計6回投与した。この投与量は犬においてDXR心筋症を避けるために設定されている臨床的な投与量の上限量である。投与前 (Pre)、投与終了後 (Post)、終了後から1年半後 (Post2)の計3回、麻酔下で左心室内に圧容量カテーテルを留置して、心機能の計測を行った。同時期に、従来法 (LVIDd, E波, E/A, e', EF, FS)、2 DTT (GLS, 拡張早期SR, TWIST)、VFM (拡張早期渦度, EL)、カラーMモードで得られた心室内圧較差の測定を行った。間もなく1年半後の計測が完了するため、当日に結果と考察を報告する予定である。

## 肺動静脈奇形における流体力学的考察について

馬場康貴、三谷英範、帖佐啓吾、粟井和夫

広島大学病院放射線診断科

【目的】肺動静脈奇形(PAVM)における流体力学的なアプローチを介して①sporadic type と HHT、②脳塞栓 (PAVM が原因と考えられた) の既往有無の間に差がないかを検証する。

【方法】症例は8例13病変(男性1例、女性7例、平均年齢62才、28~80才)。HHT(Hereditary Hemorrhagic Telangiectasia)3例、Sporadic type5例である。Thin-slice CT から得られた STL 画像を用いて CFD(Computational Fluid Dynamics)解析を行った。方法は陰解法非定常解析で行い、アルゴリズムは層流・分離型流れであり、パラメーターは血液密度 1056kg/m<sup>3</sup>、血液粘性 0.0035 Pa・s で行った。解析は肺動(静)脈の流速サイクルを最低2サイクルは計算を繰り返し、1サイクル分の TAWSS(Time arranged wall shear stress)と OSI(oscillatory shear index)を求め、上記の二群間での比較対比を行った。

【結果】① TAWSS : Sporadic(n=5) 1.03 Pa vs HHT(n=8) 1.13 Pa, OSI: Sporadic(n=5) 0.0963 vs HHT(n=8) 0.103 ②TAWSS:脳塞栓既往(+)(n=8) 1.2850 Pa vs 脳塞栓既往(-)(n=5) 0.5360 (P=0.0404) OSI: 脳塞栓既往(+)(n=8) 0.09965 vs 脳塞栓既往(-)(n=5) 0.1030 であった。

【結論】HHT と Sporadic Type の PAVM の流体力学的差違は認めなかったが、脳塞栓の有無において TAWSS が脳塞栓例において高い傾向にあった。

## 犬における心エコードプラ法を用いた新たな肺高血圧の評価法についての検討

吉田智彦<sup>1)</sup>、松浦功泰<sup>1)</sup>、合屋征二郎<sup>1)</sup>、島田香寿美<sup>1)</sup>、馬丹夫<sup>1)</sup>、竹内亜樹<sup>1)</sup>、  
Pitipat Kitpipatkun<sup>1)</sup>、葉山 裕真<sup>2)</sup>、上嶋 徳久<sup>2)</sup>、田中綾<sup>1)</sup>

- 1) 東京農工大学外科学教室
- 2) 心臓血管研究所

【背景・目的】肺動脈圧は、右室からの駆出により発生する前進波と、肺に送り出された後肺血管床などの末梢で反射して発生する反射波から成り立っている。反射波は、右室の直接的な後負荷であり、肺高血圧症の予後を規定すると想定される。

反射波を推定するには本来、特殊なカテーテルを用いて圧と流速を同時に計測する必要がある。本研究では、実臨床への応用性を考え反射波形を非侵襲的に計測する方法を考案した。そして、肺高血圧症の病因分類（ニース分類）別に反射波形の比較を行い、反射波の有用性を検討した。

【方法】心エコードプラ法を用いて三尖弁逆流速度波形および右室流出路波形を測定し、wave intensity の概念を応用することにより反射波形を非侵襲的に抽出した。

【結果および考察】血栓塞栓性 PH(第 4 群)および犬糸状虫症性 PH(犬において、蚊によって媒介され肺動脈内に寄生する線虫)の反射波の出現が早期に認められた(図 1)。おそらくこれは脈波速度の影響だけではなく、血栓や虫体が肺動脈の比較的太い血管、中枢側に病変があることにより反射が早く出現したと考えられる。また臨床的にほとんど症状がなく肺高血圧症が軽度である症例の反射波圧は、ほとんど上昇していなかった(図 2)。

現在、その他の病因群の反射波形の特徴や予後との関連性を調査している。

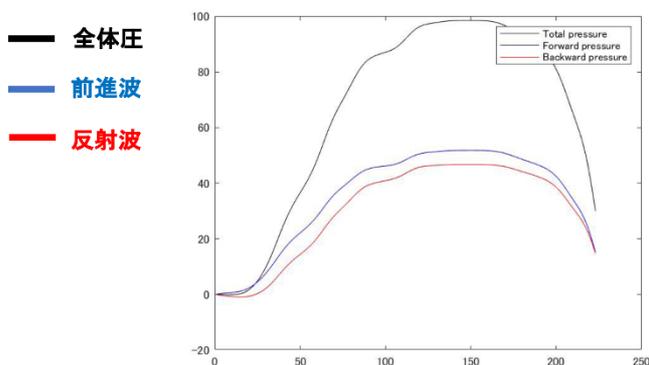


図1 肺血栓性PHおよび犬糸状虫症性PH

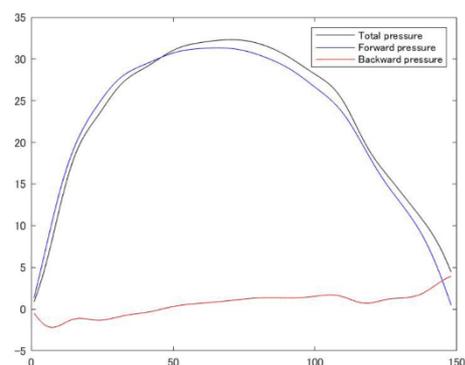


図2 軽度肺高血圧症

## 成人先天性心疾患における肺動脈弁再手術前後での血行動態評価

東谷紀香<sup>1)</sup>、板谷慶一<sup>1)</sup>、山岸正明<sup>2)</sup>、前田吉宣<sup>2)</sup>、藤田周平<sup>2)</sup>、本宮久之<sup>2)</sup>、高柳佑士<sup>2)</sup>、中辻拓興<sup>2)</sup>、久保俊裕<sup>2)</sup>、森地裕子<sup>1)</sup>、西元真由<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 心臓血管外科・心臓血管血流解析学講座

2) 京都府立医科大学 小児心臓血管外科

3) 京都府立医科大学 放射線科

4) Cardio Flow Design Inc.

【背景】先天性心疾患では肺動脈弁や右室流出路の狭窄を解除する手技が多く、成人期には肺動脈弁に対して再手術介入が必要となる症例が少なくないが、再手術介入がもたらす血行動態の変化は明確にされておらず、心機能予後の観点から見た治療介入の利点などはまだ不明な点が多い。また肺動脈弁疾患に伴う右室拡大例では三尖弁の逆流をきたし、同時手術を要する症例は少なくない。本研究では4D flow MRIを用いて肺動脈弁・右室流出路疾患の再手術前の血行動態と、肺動脈弁に対して再手術介入を行った症例の術前後の血行動態の変化について明らかにする。

【方法】肺動脈弁・右室流出路への治療介入を検討した34例に4D flow MRIを施行した。診断はファロー四徴症類縁疾患心内修復後23例、Ross/Ross-Konno 7例、完全大血管転位術後2例、その他2例。うち9例では再手術前後で4D flow MRIを施行し血行動態の変化を検討した。右室収縮/拡張末期容積 (ESV/EDV)、駆出率 (EF)、心拍出量 (CO)、逆流量 (RV)、逆流率 (RF)、エネルギー損失 (EL) について検討した。ELは心周期平均EL、収縮期EL (ELsys) 拡張期EL (ELdia) および各々をCOで除した値を検討した。

【結果】再手術前の症例34例のうち肺動脈弁狭窄症 (PS) 8例、肺動脈弁逆流症 (PR) 7例、肺動脈弁狭窄及び逆流症 (PSR) 19例であった。再手術前症例のPR+PSR群 (25例) ではELdia/COとEDV ( $R=0.518$ ,  $p=0.014$ )、ESV ( $R=0.454$ ,  $p=0.034$ )、EDVI ( $R=0.442$ ,  $p=0.40$ )、RF ( $R=0.626$ ,  $p=0.01$ )は相関を認め、PS+PSR群 (27例) ではELsys/COと圧較差 ( $R=0.528$ ,  $p<0.01$ )に相関を認めた。また再手術前後ではEDV ( $R=-2.53$ ,  $p=0.035$ )、EDVI ( $R=-2.439$ ,  $p=0.041$ )、ESV ( $R=-2.497$ ,  $p=0.037$ )、ESVI ( $R=-2.427$ ,  $p=0.041$ )、SV ( $R=2.436$ ,  $t=0.041$ )で有意に上昇しており、右心全体のEL ( $R=-8.58$ ,  $p<0.01$ )、ELsys/CO ( $R=-6.35$ ,  $p<0.01$ )、ELdia/CO ( $R=-3.59$ ,  $p<0.01$ )、EL/体表面積 (BSA) ( $R=-6.76$ ,  $p<0.01$ ) が再手術前と比べ有意に減少していることが認められた。

【結論】収縮期、拡張期のELは肺動脈弁の狭窄および逆流の重症度をよく反映していた。再手術後には右室容積や心拍出量は改善するが、EL、ELsys/CO、ELdia/CO、EL/BSA等がより鋭敏な指標であることが示された。

## ファロー四徴症の右心系・左心系の血行動態における評価

西元真由<sup>1)</sup>、板谷慶一<sup>1)</sup>、山岸正明<sup>2)</sup>、前田吉宣<sup>2)</sup>、藤田周平<sup>2)</sup>、本宮久之<sup>2)</sup>、高柳佑士<sup>2)</sup>、中辻拓興<sup>2)</sup>、久保俊裕<sup>2)</sup>、森地裕子<sup>1)</sup>、東谷紀香<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 心臓血管外科・心臓血管血流解析学講座

2) 京都府立医科大学 小児心臓血管外科

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】ファロー四徴症根治術後の長期遠隔期の生存成績は良好であるが、術後遠隔期には肺動脈弁逆流(PR)に伴う右心不全や上行大動脈拡大に伴う大動脈弁閉鎖不全等の新たな問題を抱える患者は少なくない。ファロー四徴症術後の右心系における血行動態に対する再手術介入基準は現状では右室容積を主体としているが、右心系と左心系における心室間相互作用や血行動態の詳細と病態の進行の関係は明らかではない。本研究は4D flow MRIを用いて心室容積や駆出率に加え、血流情報から弁逆流、エネルギー損失などを定量化し、ファロー四徴症遠隔期における病態を把握することで長期予後を規定する因子を明確にすることを目的とする。

【方法】ファロー四徴症術後遠隔期に再治療介入を検討された症例23例(PR 8例, PS 2例, PSR 13例)に4D-flow MRIを施行した。男12例, 女11例で撮影時年齢は12歳から69歳, 平均 $32.7 \pm 13.7$ 歳であった。

4D-flow MRIによる右室、左室各々における収縮末期容積(ESV)、拡張末期容積(EDV)、駆出率(EF)、心拍出量(CO)、エネルギー損失(EL)、弁逆流量(ARF, PRF)、運動エネルギー(KE)を定量化し、撮影時年齢、撮影時の心拍数(HR)、QRS幅、CTR、およびこれらの変化率(HR prog, QRS prog, CTR prog)、心臓カテーテル検査での肺動脈-右室間の圧較差、大動脈弁輪径、バルサルバ径、STJ径、上行大動脈径を測定し、相関関係を比較検討した。

【結果】QRS progは、RVESV、RVESVI、CTRと正の相関、RVEFと負の相関を認めた。RVEFとLVEFは相互に相関した肺動脈弁逆流量は右室容積と正の相関を認め、HRと負の相関を認めた。大動脈弁輪系は年齢との相関を認めたが、大動脈弁逆流量との関連は認められなかった。右心系エネルギー損失は、RVEL/COはRVEFと相関し、RVELIは圧較差と相関した。左心系エネルギー損失は、LVEL/COがCTRおよびCTR progと正の相関を認めた。

【結論】ファロー四徴症遠隔期において、右室の荒廃はEDVではなくESVの拡大が問題であることが示唆された。基部拡大と大動脈弁逆流には相関はなく、独立した病態である可能性が示唆された。またRVEFはLVEFと連動して悪化し、右心機能低下は左心機能にも影響している可能性が示唆された。