

**第 8 回 血流会
プログラム・抄録集
“血流学”を活かす**

**当番世話人 中谷 敏
大阪大学大学院医学系研究科
保健学専攻機能診断科学講座**

**開催日：平成 29 年 6 月 17 日 (土)
会場：大阪大学吹田キャンパス 医学部 A 講堂**

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：¥ 5 0 0

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。

会場へのアクセス

吹田市山田丘2-2 大阪大学 吹田キャンパス 医学部A講堂

交通案内

交通案内	電車	阪急電車千里線「北千里駅(終点)」下車、東へ徒歩 30分
	電車	大阪モノレール「阪大病院前駅」下車、徒歩約5分
	バス	阪急バス ・千里中央発「阪大本部前行」、「茨木美穂ヶ丘 行」 ・北千里発「阪大病院線」 近鉄バス ・阪急茨木市駅発「阪大本部前行」(JR 茨木駅経由) *いずれも、阪大医学部前または阪大本部前下車 徒歩約5分

周辺地図



プログラム

12:00 – 12:30 世話人会

12:30 開会の辞

当番世話人：中谷 敏（大阪大学）

12:30 – 14:15 セッション1 心疾患に活かす

座長：中谷 敏（大阪大学） 田中 綾（東京農工大学）

僧帽弁手術後の vortex pattern と Energy Loss 変化

みどりが丘病院 秋山浩一

大動脈弁逆流ジェット方向と左室内血流の違い

京都府立医科大学 甲斐沼 篤

小休憩（5分）

大動脈弁狭窄における求心性左室肥大の拡張機能：Color-M mode に基づく左室内圧較差 (IVPD)を用いた評価

北海道循環器病院 窪田由季

半自動計測による propagation velocity を使用した Fallot 四徴症修復術後患者の拡張早期血行動態の評価

順天堂大学 磯 武史

14:30 – 16:15 セッション2 心機能・心不全に活かす

座長：安河内 聡（長野こども病院） 瀬尾由広（筑波大学）

HFpEF と HFrEF では左室サクションと運動耐容能との関連性に差はあるか？：発生機序も含めた検討

北海道大学 岩野弘幸

Vector Flow Mapping を用いた左室の非同期運動時における左室内圧較差の検討

大阪大学 南 星奈

小休憩（5分）

左室内の渦形成と拡張能の関係

東京医科大学 高橋梨沙

左室内渦流と効率的駆出の関連：2D シネ MRI の渦流マップ解析

東京女子医科大学 長尾充展

16:30 – 17:50 セッション 3 新技術に活かす

武居昌宏（千葉大学） 上嶋徳久（心臓血管研究所）

SimVascular による血流解析の紹介 – Deformable BC の検証 –

ヒューマンアイ合同会社 荒井和喜

循環流路内の血栓形成過程オンライン電気計測

千葉大学 小石まどか

特別企画 「工学と医学を血流でつなぐ」

京都府立医科大学 板谷慶一

名古屋工業大学 中村匡徳

17:50 閉会の辞

代表世話人: 板谷慶一（京都府立医科大学）

セッション1 心疾患に活かす

座長

大阪大学医学系研究科機能診断科学講座

中谷 敏 先生

東京農工大学農学部共同獣医学科

田中 綾 先生

僧帽弁手術後の vortex pattern と Energy Loss 変化

秋山浩一

みどりが丘病院 麻酔科

僧帽弁形成術後と生体弁による弁置換術後の比較で、形成術後では vortex pattern が保たれ Energy Loss も低いですが、弁置換術後は vortex pattern が逆向きになり Energy Loss も高くなる事が分かってきた。ところが形成術の一手技である Alfieri stitch を行った症例において、vortex pattern が逆向きになり、Energy Loss が増加していた。Alfieri stitch は僧帽弁前尖と後尖の中央を縫合する手技で、今後日本にも導入される MitraClip とほぼ同じ効果があると考えられ、MitraClip における vortex pattern と Energy Loss の変化について研究の余地があると考えられる。さらに、Normo 弁（自己心膜ステントレス僧帽弁置換術）による僧帽弁置換術を行った症例では、僧帽弁の生理的な形態を保つことで vortex pattern を保ち、Energy Loss も低くなると予想されたが、結果は vortex pattern は保たれていたものの、Energy Loss が高くなっていた。この原因を考察すると、僧帽弁流入血流が速く、拡張早期に心尖部に衝突しており、有効な vortex の形成が出来ていないと考えられた。

大動脈弁逆流ジェット方向と左室内血流の違い

甲斐沼 篤 秋山浩一 内藤慶史
京都府立医科大学 麻酔科

【背景】大動脈弁逆流症(AR)ジェット方向と、左室内渦流の関係は分かっていない。また VFM の周術期に関連する報告は少ない。AR のジェット方向でエナジーロス(EL)が異なると仮定し、調査した。

【方法】AR に対して大動脈弁置換術を行う 4 例の患者に対して、術中経食道心エコーを用いて VFM による解析を行った。ジェット方向は僧帽弁前尖、左室前壁、中心性が(1,1,2)例だった。人工心肺前後で左室内渦流、拡張期平均 EL(dEL)を計測した。

【結果】左室前壁、中心性ジェット方向の AR ジェットの患者で 1 例ずつ、術前拡張期、時計回りの左室内渦流を認めた。弁置換術後にすべての症例で正常の反時計回り渦流に変化した。すべての患者の術前 dEL は高値で、術後に正常範囲に低下した。時計回り左室内渦流を形成している患者群では、術後の dEL の低下率が高かった。

【結語】AR ジェットの方向により EL の大小は異なり、周術期の VFM により早期かつ容易に手術成功の可否がわかる可能性がある。

大動脈弁狭窄における求心性左室肥大の拡張機能： Color-M mode に基づく左室内圧較差(IVPD)を用いた評価

窪田由季¹ 板谷慶一³ 矢崎香奈⁴ 高橋 健⁴ 山本 匡²

1 北海道循環器病院 臨床検査科

2 北海道循環器病院 循環器内科・心血管研究センター

3 京都府立医科大学 心臓血管外科・心臓血管血流解析学

4 順天堂大学医学部附属病院 小児科

【背景】大動脈弁狭窄(AS)は求心性肥大及び拡張不全を生じるが、機序は明確ではない。

【目的】AS、高血圧心(HHD)および正常対象(Cn)における拡張能を比較し、ASにおける拡張障害のプロセスを明らかにする。

【方法】対象はAS 28例、HHD 14例およびCn 14例。IVPDは拡張早期Color-M modeを用い、全(T-IVPD)、基部側(B-IVPD)及び中間部から心尖部のIVPD(MA-IVPD)を計測した。その他心筋変形能及び各種心エコー項目も計測した。AS症状とAVR後の心機能の変化も調べた。

【結果】AS15人の患者で症状が観察され、12人がAVRを受けた。T-IVPD、MA-IVPD、E/e'はASにて有意に高値であった。NYHA classはMA-IVPD増加群にて有意に低値であり、失神患者で低かった(P=0.01)。AVR後の心機能変化はIVPDと関連しなかった。

【結語】AS症例では、E/e'が上昇し硬い心筋にも関わらず、LV心尖部吸引力であるMA-IVPDが上昇している。IVPDは、NYHA classおよび失神を含むAS症状に関連することが示唆される。AVRがLV吸引力に及ぼす影響は明確ではない。

半自動計測による propagation velocity を使用した Fallot 四徴症修復術後患者の拡張早期血行動態の評価

磯 武史
順天堂大学 小児科

Fallot 四徴症修復術後患者 (rTOF) において左室機能障害は予後に関わる。近年、Tau index と相関する Propagation velocity (V_p) の客観的な半自動計測方法が考案された。今回、我々は 38 名の rTOF と 95 名の健常者の①半自動計測 V_p ②左室内での V_p の長軸方向における減速点 (deceleration point; D_p) ③ D_p を左室長で除した減速点/左室長比 (% D_p) を測定し、年少群 (4-14 歳) と年長群 (15-38 歳) に分けて比較検討した。結果は、rTOF 年長群では従来の左室拡張能の指標では有意な差が見られなかったが、健常年長群と比較して V_p と D_p 、% D_p が低下し、rTOF 年少群と比較して % D_p が低下した。また V_p 、 D_p 、% D_p の全ての指標が、torsion や untwisting rate と有意な相関関係を示した。以上より半自動計測 V_p 及び % D_p は rTOF における左室拡張能低下の鋭敏な指標の一つと考えられる。

セッション2 心機能・心不全に活かす

座長

長野こども病院循環器小児科

安河内 聡 先生

筑波大学医学医療系循環器内科

瀬尾由広 先生

HFpEF と HFrEF では左室サクションと運動耐容能との関連性に差はあるか？：発生機序も含めた検討

岩野弘幸 辻永真吾 林 大知 更科美羽 山田 聡
北海道大学大学院 循環病態内科学

【背景】慢性心不全の主症状である運動耐容能の低下は、左室駆出率（LVEF）低下の有無にかかわらず生じ得る。運動時の心拍出量増大は運動耐容能の保持に寄与し、正常では運動時に左室心尖部の圧が下降して拡張早期左室内圧較差（IVPD）が増大して左室充満と1回拍出量が保たれるが、心不全における運動時IVPDの意義は不明である。そこで、LVEFの低下した心不全（HFrEF）と比較的保持された心不全（HFpEF）で、IVPDと運動耐容能との関連について検討した。

【方法】33例の慢性心不全患者（ 59 ± 17 歳、LVEF $39 \pm 15\%$ ）で心肺運動負荷試験と運動負荷心エコー法を行った。LVEFが40%未満に低下した22例をHFrEF、40%以上に比較的保持された11例をHFpEFとした。安静時と運動時で心尖部四腔像、二腔像と左室流入血流のカラーMモード像（CMMD）を記録した。ディスク法によりLVEFを計測し、さらに左室心尖部の面積変化率（ApFAC）を計測した。スペックルトラッキング法で長軸方向のグローバルストレイン（GLS）と心尖部局所ストレイン（ApLS）を計測した。CMMDからオイラーの運動方程式を用いてIVPDを推定した。

【結果】最大酸素摂取量（peak VO₂）はHFrEFとHFpEFで同程度に低値であった（ 17 ± 5 vs 19 ± 7 mL/kg/min、NS）。運動によりLVEFは両群で増大し（HFrEF: $30 \pm 7\% \rightarrow 33 \pm 8\%$ 、HFpEF: $57 \pm 10\% \rightarrow 68 \pm 10\%$ 、いずれも $P < 0.05$ ）、IVPDも両群で有意に増大した（HFrEF: $1.8 \pm 1.1 \rightarrow 3.5 \pm 1.8$ mmHg、HFpEF: $2.7 \pm 1.6 \rightarrow 4.8 \pm 3.1$ mmHg、いずれも $P < 0.05$ ）。全例において、安静時のIVPDはPeak VO₂と相関しなかったが、運動時のIVPDはpeak O₂と有意に正相関した（ $R = 0.69$ 、 $P < 0.01$ ）。さらに、HFrEFとHFpEFのそれぞれでも、運動時のIVPDはpeak VO₂と相関した（HFrEF: $R = 0.56$ 、HFpEF: $R = 0.77$ 、いずれも $P < 0.05$ ）。運動時のLVEFとIVPDとの間の相関性は弱かったが、運動時のApFACとIVPDとの間の相関性は中等度であった（LVEF: $R = 0.42$ 、ApFAC: $R = 0.69$ 、いずれも $P < 0.05$ ）。同様に、運動時ApLSはGLSよりも良好にIVPDと相関した（GLS: $R = 0.46$ 、ApLS: $R = 0.58$ 、いずれも $P < 0.05$ ）。

【結論】慢性心不全では、LVEF低下の有無にかかわらず運動時のIVPDは運動耐容能と関連した。さらに、運動時のIVPDは左室全体機能よりも左室心尖部の局所機能と強く関連する可能性が示唆された。

Vector Flow Mapping を用いた左室の非同期運動時における左室内圧較差の検討

南 星奈 増田佳純 Marie Stugaard 上向井敏希 足立 瞳 榊原佑紀 小妻 愛
浅沼俊彦 中谷 敏
大阪大学 医学系研究科 機能診断科学講座

【背景】近年、Vector Flow Mapping (VFM) を用いて心腔内の相対的な圧較差分布が算出可能になった。左室の非同期運動により心機能が低下することは知られているが、左室内圧較差を検討した報告はない。本研究の目的は左室の非同期運動時における左室内圧較差を VFM を用いて定量評価することである。

【方法】麻酔開胸犬 10 頭に非同期運動を呈する右室心尖ペーシングを、別の 10 頭に非同期運動を呈さない右房ペーシングを行った。ペーシング前後に取得した心尖長軸像のカラー Doppler 画像を VFM 解析することにより、心尖部一僧帽弁口部間の等容性弛緩期の最大圧較差 (ΔP_{IRT})、急速流入期の最大圧較差 (ΔP_E) を測定した。

【結果】ペーシング前と比較し、右室心尖ペーシング時に ΔP_{IRT} は有意に低下したが、 ΔP_E には変化が見られなかった (ΔP_{IRT} ; -0.72 ± 0.29 vs. -0.39 ± 0.18 mmHg, $p=0.007$ 、 ΔP_E ; -1.08 ± 0.29 vs. -0.95 ± 0.40 mmHg, $p=0.264$)。右房ペーシング時は ΔP_{IRT} 、 ΔP_E ともに変化は見られなかった。また、 $-dP/dt$ および LVEF は ΔP_{IRT} と有意な相関関係を示した ($-dP/dt$; $r=0.37$, $p=0.02$ 、LVEF; $r=-0.46$, $p=0.004$)。

【結語】等容性弛緩期の左室内圧較差が左室の非同期運動により低下すること、左室弛緩能および収縮能と関係することが示された。

左室内の渦形成と拡張能の関係

高橋梨沙¹ 西川はる香² 上嶋徳久²

1 東京医科大学 循環器内科

2 心臓血管研究所

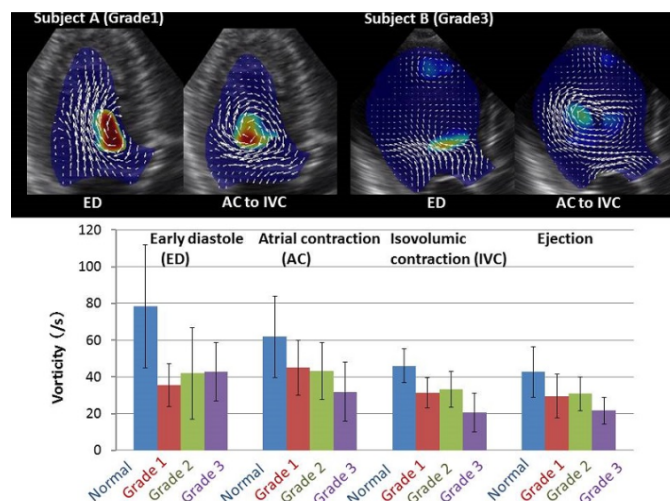
【背景】左室内の渦形成は心臓生理学の分野での興味深い現象であり、心不全の発症に関連があることが示されている。心機能と関係があると予想されるが未だに十分に検討されてはいない。

【目的】左室の渦と心臓の拡張能の関係を検討すること。

【方法】対象は228名。112名の正常群、44名の虚血性心疾患群、27名の高血圧性心筋症群、27名の拡張型心筋症、3名の肥大型心筋症、その他の心筋疾患16名で構成されている（EF 56±18%）。VFMを用いて拡張期から収縮期にかけて、時相毎に渦の強さを測定した。また、対象の228名に対して米国／欧州のガイドラインを用いて、拡張能をgrade分類した（正常例はgrade 0とした）。

【結果】grade 1の拡張障害の患者（A）とgrade 3の拡張障害の患者（B）のvorticityを比較したものを例に示す（上図）。最も渦の強い箇所を赤色で色づけした。患者Aでは患者Bと比較して心周期を通して左室内の渦がより速く回転していた。ANOVA分析ではgradeが悪くなるにつれvorticityが低下しているのがわかった（下図）。これはLVEFやLVEDVで補正したとしても結果は変わらなかった。（ $p=0.003$ vorticity_early diastole, $p=0.001$ vorticity_atrial contraction, $p<0.001$ vorticity_isovolumic contraction and vorticity_ejection）

【結論】左室拡張能と渦形成の間には関連がある。



左室内渦流と効率的駆出の関連：

2D シネ MRI の渦流マップ解析

長尾充展

東京女子医科大学 画像診断学・核医学講座

【目的】 通常の2D シネ MRI の左室内渦流を幾何学的にベクトル方向に視覚化、定量化する Vortex Flow Map (VFM)を開発した。VFM を用いて、左室短軸および長軸の円周方向と放射方向の渦流成分を解析し、左室駆出率との関連を検討した。

【方法】 58名の非虚血性心疾患患者を対象に、シネ MRI の短軸像および四腔像を用いて左心室のVFMを解析した。1心拍における最大のVFMを magnitude of vortex flow (MVF %)と定義した。対象患者を左室駆出率が15%以下(14名)、15%以上40%未満(26名)、40%以上(18名)の3群に分け Steel-Dwass 法により多重比較した。

【結果】 左室駆出率が15%未満の左室短軸における円周方向のMVFは、LVEFが40%以上に対して有意に小さかった ($8.7 \pm 5.5\%$ vs $3.1 \pm 2.8\%$)。長軸断面のMVFは3群に統計学的に有意な差はなかった。

【結論】 重症心機能低下症例では左室短軸内円周方向に大きな渦流が発生し、効率的な左室駆出を妨げている可能性がある。

セッション3 新技術に活かす

座長

千葉大学大学院 融合理工学府

武居昌宏 先生

心臓血管研究所

上嶋徳久 先生

SimVascular による血流解析の紹介 – Deformable BC の検証 –

荒井和喜

ヒューマンアイ合同会社

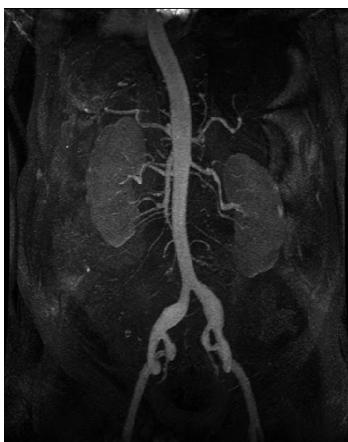
【はじめに】 SimVascular(SV)は心臓血管系の血流解析のための世界初のオープンソースである。今回は SV に備わっている Deformable BC (血管壁の変形を考慮した境界条件)を適用した計算を紹介した。今回は検証を目的として、メッシュ粗さ、血管壁の剛性を変化させたパラスタ計算を行った。また、プログラムを変更して、枝分かれする血管のうちの一つが瞬間的に詰まる(流量ゼロとなる)計算を参考的に行った。併せて直前に公開された新しい GUI を簡単に紹介する。

【計算条件と新 GUI の概要】

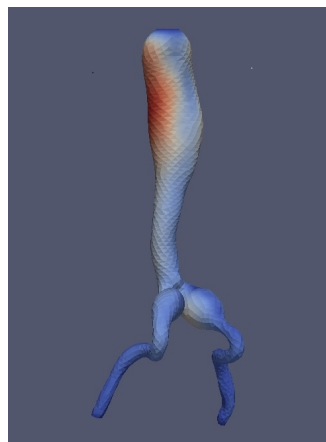
- (1) 対象形状は Aorta - Iliac artery 部、入口と出口の境界条件は SV の HP 例を参考に流量は非定常流=4.04L/min (周期 0.75 秒)、出口は RCR 境界条件、計算の時間刻みを 1m 秒、6 サイクルの脈動計算を行い最終サイクルの結果を採用した。
- (2) Deformable BC: 血管壁の厚みは一様に 2mm、パラスタ計算はメッシュ粗さを 3 種類、ヤング率を 2 種類変更した。
- (3) 流量を停止させる計算: 脈動 0.75 秒のうち、0.3 秒後に 1 つの出口面の近接抵抗値を極端に大きくした。
- (4) 新 GUI は大きく変更され、入力操作性が向上した。

【結果】

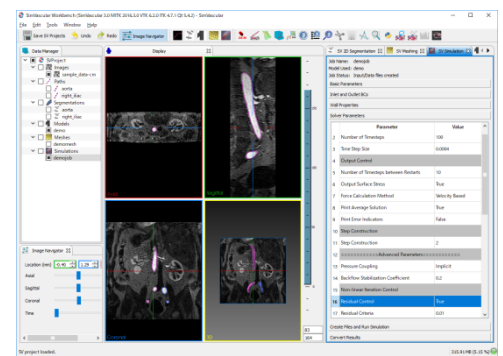
Deformable BC は今回のモデルではメッシュ粗さの違いで差異はほとんど無く、血管壁の剛性が影響を及ぼす結果となった。流量を停止させる計算は、停止させた瞬間に該当部の圧力が大きく上昇した、他面には大きな変化が生じなかった。新 GUI は操作性が向上したが、バグが散見された。



(1)元 MR データ



(2)変形図(5 倍スケール)



(3)新 GUI

循環流路内の血栓形成過程オンライン電気計測

小石まどか 菊地大輔 Li Jianping 武居昌宏
千葉大学大学院 融合理工学府

【背景】循環器系疾患に対して人工臓器を用いた治療法が注目されているが、人工臓器の問題点として、人工臓器を装着した患者が血栓症を発症する確率が増加することがあげられる。また、血液凝固能の検査は採血を必要とするため、短周期での血液凝固能の検査と制御を行うことが難しく、患者への負担も大きい。そこで本研究室では、電気計測によるオンライン血栓モニタリングシステムの開発を行っている。

【方法】実験においてはヘパリンコーティングされた閉流路をブタ新鮮血で満たし、適量の塩化カルシウム溶液を添加することで血栓形成を促した。流路に組み込んだセンサを用いてキャパシタンス計測を行うと共に、ACT（Activated Clotting Time：活性化全血凝固時間）、Hct（Hematocrit：ヘマトクリット、赤血球の体積分率）を計測した。また、顕微鏡等を用いて管内を流れる微小血栓の量を評価し、電気計測との比較検討を行った。

特別企画 「工学と医学を血流でつなぐ」

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

名古屋工業大学 生体医工学研究室 中村 匡徳 先生

「血流学」におけるこの10数年間の進歩は極めて目覚ましく、種々のモダリティに基づく方法論の提言から始まり臨床例で解析データが蓄積されるに至るまで、急速に駆け抜けた感がある。臨床医と工学者が顔を突き合わせ新たな医療技術の開発から医療現場への応用に至るまでを目指す医工連携という言葉が時流に乗り始めたのもちょうど10数年前のことである。本研究会「血流会」はそのような時代背景を受け、多分野での学際的な交流および研究の萌芽を熟成させることを目的として設立されたが、すでに4年の歳月が経過した。一方で多くの医工連携が「モノづくり技術の医療応用」を目指して進んできた中で、血流学における発展は「血流という現象が心臓に与える影響」を相手に行っているため、独特の道を歩んだともいえる。

そして急速な時代の進歩を遂げた今日血流学にまつわる連携研究の在り方や社会的使命も急速に様変わりしつつあるともいえる。本稿では血流学を中心として工学と医学のチームの作り方、次世代に即した若手研究者の教育の在り方、産業との連携における役割分担、新技術の品質管理の在り方、医療の姿をいかにして変えるべきかなど多岐にわたる議論を本研究会における主力メンバーである工学者と医学者により対談形式で行うことを予定している。