

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 19 日現在

機関番号：32607

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23890259

研究課題名（和文） 超音波・MRI 血流可視化に基づく新たな心負荷推定法の確立と
高齢者心疾患への適用

研究課題名（英文） Novel Cardiac Workload Evaluation System Based on Echocardiography
and MRI Flow Visualization Method and its Application to the Cardiovascular Disease in
Elderly Patients

研究代表者 板谷 慶一 (ITATANI KEIICHI)

北里大学・医学部・准教授

研究者番号：70458777

研究成果の概要（和文）：高齢者心疾患における心臓超音波、心臓 MRI を用いた心機能の評価を確立すべく、まず血流可視化方法を確立した。心臓超音波では VFM (Vector Flow Mapping) というソフトウェアを完成させ、また心臓 MRI では Phase Contrast 法に基づき血流可視化ソフトウェアを完成させた。可視化血流から血流のエネルギー損失を計測するシステムを確立した。これを大動脈弁閉鎖不全例超音波 3 例、MRI 3 例で計測し、エネルギー損失の発生がベン逆流血流と僧帽弁流入血流との衝突によって発生することが明らかにされた。

研究成果の概要（英文）：For the development of the cardiac workload evaluation system in elderly patients based on the echocardiography and cardiac MRI, we at first, developed blood flow visualization method using echocardiography and cardiac MRI. Echocardiography VFM (vector flow mapping) has been established and MRI blood flow visualization software has been also created using PC (phase contrast) MRI. From the visualized blood flow velocity vector field, we developed a system to calculate flow energy loss. Then we applied these systems to aortic valve regurgitation cases, and 3 cases were evaluated with echocardiography, and other 3 cases were evaluated with MRI. From the results, flow energy loss caused by the regurgitation jet was proven to be closely related to the flow collision with transmitral flow in the left ventricle.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：胸部外科学

キーワード：血流可視化、心負荷、大動脈弁閉鎖不全症、心臓超音波、心臓 MRI、心機能評価

1. 研究開始当初の背景

循環器画像診断領域では、コンピュータ一技術の進歩に伴い、従来の白黒静止画から

カラー動画でわかりやすく画像を提示することが可能になりつつあり、形態診断から機能診断へと画像が担う役割も変容しつつあ

った。一方心臓血管外科手術においては周術期管理、手術方法が洗練され手術そのものの成功率が高くなるにつれ、遠隔期に良好な新機能を保つ手術治療を行うことが期待されるようになってきた。

一方従来我々は工学と連携し、コンピューター流体シミュレーションで心臓血管系の血流を可視化・解析し、手術治療の評価を行うような研究を重ねてきた。

そこで今回上記のような時代背景を受け、我々は通常一般診療で使われる心臓超音波・心臓MRI画像に対して流体力学的な技術を持ち込み、血流の詳細を可視化する手法を確立することを試みた。この結果から実測に基づく患者ごとの心臓血管内血流の可視化・解析が可能であり心機能の評価方法並びに心臓血管外科手術治療戦略に新たな視点をもたらす事が期待された。

2. 研究の目的

研究の目的は下記の3点であり、この順に遂行することを計画した。

- ① 心臓超音波を用いた心内血流の可視化法を確立すること。
- ② 心臓MRIを用いた心内血流の可視化法を確立すること。
- ③ 可視化された血流から血流エネルギー損失を計測する方法を確立すること。
- ④ 高齢者心疾患、特に心臓手術を前提とする疾患において血流エネルギー損失と心負荷との関連を明確にすること。

3. 研究の方法

上記目的に沿って①～④の順で記す。

- ① カラー Doppler 画像を下に心筋壁を speckle tracking と重ね合わせ断面内で連続の式をとき、観測面内での血流速度をベクトルとして表示する。またこの方法の問題点、計測誤差などを評価しアルゴリズムを確立する。
- ② 心臓MRI phase velocity mapping を用いた血流計測を下に3次元的に血流を可視化する手法を確立すること。この際心内腔の抽出と心筋壁の追跡が通常は困難であり、SSFP法などを組み合わせることで二値化し、撮影断面を合わせた。
- ③ 粘性散逸項を下にエネルギー損失を算出しディスプレイした。また計測断面上でエネルギー損失を積分し、時間変動を確認した。
- ④ 大動脈弁閉鎖不全例をもとに解析を行ない、逆流ジェットがもたらす非効率な血流を可視化・定量評価した。

4. 研究成果

以下の成果が研究結果として得られた。

- ① 超音波による血流可視化に成功した。

これは連続の式が微分を含むため、結果がカラー Doppler ノイズに強く影響されることがよくわかった。ノイズ除去のスムージングを数通り試し、コンピューターシミュレーション、stereo PIVによる可視化実験との誤差を最も小さくするスムージング方法を定め、ベクトル算出の方法として結論づけた。

- ② 心・血管内腔抽出・拍動追跡を行う際、なめらかな内腔の抽出を全自動で行う事が困難であることが明らかになった。このため約9種類のアルゴリズムを作成し、それらを順に組み合わせ最適なアルゴリズムを決定した。結果、約2000枚の4D MRI dicom 動画をほぼ数回のクリックで拍動を含めた内腔抽出を行うことが可能となり、上行大動脈で流量を算出することで誤差評価を行ったが、約3%程度の誤差で正確に血流を再現できることが示された。
- ③ 可視化血流からエネルギー損失を算出した。この際差分に基づく誤差を抑えることが必要であることが明確になった。得られた速度情報を正規分布関数を用い、スムージングすることが必要であることがわかった。超音波では極座標場でエネルギー損失を算出し直交座標に変換する必要があることが示された。超音波とMRIではほぼ同程度の損失値を取ることが示された。
- ④ 大動脈弁逆流においては従来は逆流の程度、加速の程度、逆流率(量)が評価項目であり、心機能は左室の拡大と収縮能低下のみが評価項目とされていたが、本手法により定量的に逆流ジェットが持つエネルギー損失を評価することが可能となった。また損失を高く示した部位はいずれも僧帽弁流入血流と強く衝突流を発生し乱流を形成した部位であり、心室内での流れを正確に評価することが必要であることが再認識された。一方で心機能が低下した症例では損失も小さく算出され、過小評価される傾向を示した。エネルギー損失値の基準を確立することが臨床への有用性を高めるために必要であり、今後の検討課題であることがわかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計18件)

- ① Kumano S, Itatani K, Shiota J, Gojo S, Izumi N, Kasahara H, Homma Y, Tagawa H. Strategies for the creation and maintenance of reconstructed arteriovenous fistulas using the

- forearm basilic vein. Ther Apher Dial. In-press (2013 August) 査読 有
- ② Tomoyasu T, Oka N, Miyamoto T, Kitamura T, Itatani K, Inoue N, Ishii M, Miyaji K. Surgical strategy for severe aortic hypoplasia and aortic stenosis with ventricular septal defect and normal left ventricle. *Pediatr Cardiol.* In-press(2013) 査読 有
- ③ Itatani K, Okada T, Uejima T, Tanaka T, Ono M, Miyaji K, Takenaka K. Intraventricular flow velocity vector visualization based on the continuity equation and measurements of vorticity and wall shear stress. *Jpn J Appl Physic* in-press(2013)査読 有
- ④ Koyama S, Itatani K, Kyo S, Aoyama R, Ishiyama T, Harada K, Ono M. : Subacute presentation of right ventricular perforation after pacemaker implantation. *Ann Thoracic Cardiovasc Surg* 2013;19(1):73-5 査読 有
- ⑤ Koyama S, Itatani K, Kyo S, Aoyama R, Tubokou Y, Fujimoto H, Harada K. : Aortic valve replacement and concomitant coronary artery bypass grafting in a patient with infective endocarditis and anomalous origin of the right coronary artery from the opposite sinus of Valsalva *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2012 Nov 30 [Epub ahead of print] 査読 有
- ⑥ Itatani K, Miyaji K. Reply to the editor. : “The lower limit of the pulmonary artery index for the extracardiac Fontan circulation” *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2012;143(4):990 査読 有
- ⑦ 宮崎翔平, 板谷慶一, 劉 金龍, 錢逸, 宮地 鑑, 横田 元, 小野 稔, 梅津光生 先天性大動脈疾患の血流シミュレーションにおける反射波応答を加味した境界条件の検討 日本機械学会バイオエンジニアリング講演会 2012 査読 無
- ⑧ Miyaji K, Itatani K, Inoue N, Ishii M. : Half-turned truncal switch operation for transposition of great arteries with ventricular septal defect and pulmonary regurgitation. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2011 Aug;13(2):217-9. Epub 2011 May 30 査読 有
- ⑨ Inoue T, Nishimura T, Murakami A, Itatani K, Takaoka T, Kitahori K, Umeki A, Takezoe T, Kashiwa K, Kyo S, Ono M. : Left ventricular assist device support with a centrifugal pump for 2 months in a 5-kg child. *J Artif Organs.* 2011 査読 有
- ⑩ 宮崎翔平, 板谷慶一, 劉 金龍, 錢逸, 宮地 鑑, 横田 元, 小野 稔, 梅津光生 先天性大動脈疾患の血流シミュレーションにおける境界条件と乱流モデルの検討 日本流体力学会数値流体シンポジウム 2011 査読 無
- ⑪ Miyaji K, Miyamoto T, Kohira S, Yoshii T, Itatani K, Inoue N. The effectiveness of high-flow regional cerebral perfusion in Norwood stage I palliation. : *Eur J Cardiothorac Surg.* 2011;40(5):1215-20 査読 有
- ⑫ Itatani K, Miyaji K, Nakahata Y, Ohara K, Takamoto S, Ishii M. The lower limit of the pulmonary artery index for the extracardiac Fontan circulation. : *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2011 Jul;142(1):127-35 査読 有
- ⑬ Itatani K, Miyaji K, Qian Y, Liu JL, Miyakoshi T, Murakami A, Ono M, Umezu M. Influence of surgical arch reconstruction methods on single ventricle workload in the Norwood procedure. *J Thorac Cardiovasc Surg.* : 2011;144:130-8 査読 有
- ⑭ Liu JL, Qian Y, Itatani K, Murakami A, Shiurba R, Miyakoshi T, Miyaji K, Umezu M. : Image-based computational hemodynamics of distal aortic arch recoarctation following the Norwood procedure. *BMEI* 318-23. 2011 査読 有
- ⑮ Liu JL, Qian Y, Itatani K, Miyakoshi T, Murakami A, Ono M, Shiurba R, Miyaji K, Umezu M. An approach of computational hemodynamics for cardiovascular flow simulation. *AJK2011-03057* :pp.1449-1456. 2011 査読 有
- [学会発表] (計 14 件)
- ① 板谷慶一 (招待講演) 第 24 回日本心エコー図学会「ベクトルを用いて心臓血管内の血流を“診る”VFM (Vector Flow Mapping)」2013 年 4 月 25~27 日 東京
- ② 板谷慶一 (招待講演) 第 24 回日本心エコー図学会「VFM (Vector Flow Mapping) がもたらす循環生理学と循環器診療への新たな視点」2013 年 4 月 25~27 日 東京
- ③ Keiichi Itatani Asian Cardiovascular and Thoracic Surgery 2013 (招待講演) “Novel blood flow visualization technique with echocardiography and

- its application to the cardiovascular surgery” 2013年4月4～7日 神戸
- ④ Keiichi Itatani Asian Cardiovascular and Thoracic Surgery 2013 “A novel approach to aortic insufficiency based on quantitative cardiac workload estimation from visualized blood flow with MRI and echocardiography” 2013年4～7日 神戸
- ⑤ 板谷慶一 (招待講演) 第77回日本循環器学会 「血流速度ベクトルを測って活かす」 2013年3月15日 横浜
- ⑥ 小山紗千, 板谷慶一, 山本匡, 宮崎翔平, 朴栄光, 小野稔, 梅津光生 第65回日本胸部外科学会総会「血行動態から見た多肢病変における至適バイパスグラフトデザイン」2012年10月17～20日 福岡
- ⑦ 板谷慶一 (招待講演) 日本心エコー図学会秋の講習会 ランチョンセミナー 講演 「渦を測ってみようVFM」2012年10月7日, 東京
- ⑧ 板谷慶一 (招待講演) 第3回 相模心臓血管外科懇話会 特別講演 「ベクトルを用いて心臓血管内血流を診る: 超音波による新たな血流可視化ソフトウェアVFM(Vector Flow Mapping)」 2012年9月22日, 神奈川
- ⑨ 小山紗千, 板谷慶一, 山本匡, 宮崎翔平, 小川大輔, 朴栄光, 小野稔, 梅津光生 第17回日本冠動脈外科学会学術大会 「左冠動脈多肢病変における血流動態から見た至適なバイパスグラフトデザイン」2012年7月12日 東京
- ⑩ 板谷慶一 (招待講演) 第84回 日本超音波医学会 シンポジウム 「新たなVector Flow Mappingと臨床応用の可能性」 2011年5月27日, 東京
- ⑪ 板谷慶一 (招待講演) 第23回 日本心エコー図学会 イブニングセミナー 講演 「カラードップラで満足していますか」 2012年4月19～21日, 大阪
- ⑫ 板谷慶一 (招待講演) 第76回 日本循環器学会ランチョンセミナー 講演 「心臓血管内血流をベクトルで求める方法について」 2012年3月16日, 福岡
- ⑬ 本田崇, 板谷慶一, 木村純人, 中畑弥生, 宮地鑑, 石井正浩 第76回日本循環器学会総会 “Quantitative evaluation of the hemodynamics in Fontan circulation” 2012年3月16日 福岡
- ⑭ 宮崎翔平, 板谷慶一, 劉金龍, 銭逸, 宮地鑑, 横田元, 小野稔, 梅津光生 日本機械学会バイオエンジニアリング講演会 「先天性大動脈疾患の血流シミュレーションにおける反射波応答を加味した境界条件の検討」2012年1月7～8日 大阪

[産業財産権]
○出願状況 (計5件)

①名称: 磁気共鳴イメージング装置、画像処理装置、画像診断装置、画像解析装置、MRI画像作成方法およびプログラム
発明者: 板谷慶一 宮地鑑 宮崎翔平 高橋哲彦
権利者: 北里大学、株式会社日立メディコ
種類: 特許
番号: 特願 2013-104972
出願年月日: 2013年5月8日
国内外の別: 国内

②名称: 血流可視化診断装置
発明者: 板谷慶一 小野稔
権利者: 国立大学法人東京大学
種類: 特許
番号: PCT / JP2012/ 063484
出願年月日: 2012年5月25日
国内外の別: 国際

③名称: 流体流速検出装置及びプログラム
発明者: 板谷慶一 小野稔 岡田孝
権利者: 国立大学法人東京大学、日立アロカメディカル株式会社
種類: 特許
番号: 特願 2012-060973
出願年月日: 2012年3月16日
国内外の別: 国内

④名称: 血流可視化診断装置及びプログラム
発明者: 板谷慶一 小野稔
権利者: 国立大学法人東京大学
種類: 特許
番号: 特願 2011-258191
出願年月日: 2011年11月28日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

板谷 慶一 (ITATANI KEIICHI)
北里大学・医学部・特任准教授
研究者番号: 70458777