

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300189

研究課題名(和文)心室内渦流の定量評価による拡張機能評価とその臨床応用

研究課題名(英文)Assessment of Diastolic Function and Its Clinical Application Using Intracardiac Vortex

研究代表者

中谷 敏(Nakatani, Satoshi)

大阪大学・医学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80393221

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円、(間接経費) 4,350,000円

研究成果の概要(和文)：心腔内血流は心機能を反映する。血流は超音波ドプラ法で計測できるが、超音波ビーム方向の血流しか評価できないという欠点がある。本研究では超音波の新しい技術を用いて、ビーム方向によらない血流の可視化を試み、得られた血流速度情報から心機能を評価した。種々方法を試みた後、vector flow mapping法による血流計測が妥当であること、また得られた血流速度から算出されるエネルギー損失が、大動脈弁閉鎖不全症の重症度を評価しうることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Intracardiac flow reflects cardiac function. Flow velocity can be measured by Doppler echocardiography which has a limitation of Doppler angle dependency. Vector flow mapping is a new method to obtain flow velocity independent of flow direction. We calculated energy loss of intracardiac flow and clarified it reflected the severity of aortic regurgitation.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・循環器内科学

キーワード：エネルギー損失 大動脈弁閉鎖不全症

1. 研究開始当初の背景

心機能は、血液が心房から心室にいかにか効率よく流入し、また心室から大動脈系にいかにか効率よく駆出されるかを表す指標であると言える。それにもかかわらず、従来より心機能は、心室壁運動、心室内圧、心室容積変化等から評価されてきており、血流動態からみた心機能評価法はほとんどないのが現状である。心腔内血流は超音波ドプラ法で評価され、このことを利用した心室拡張機能評価法については多くの研究が行われている。しかしドプラ法は超音波ビーム方向の血流速度しか計測できず、心機能評価法としても自ずと限界があると思われる。われわれは、連続の式と心室壁運動速度を利用した全く新しい超音波技術を利用する機会を得た。この方法を用いれば血流方向によらない血流速度の評価が可能であると思われる。

2. 研究の目的

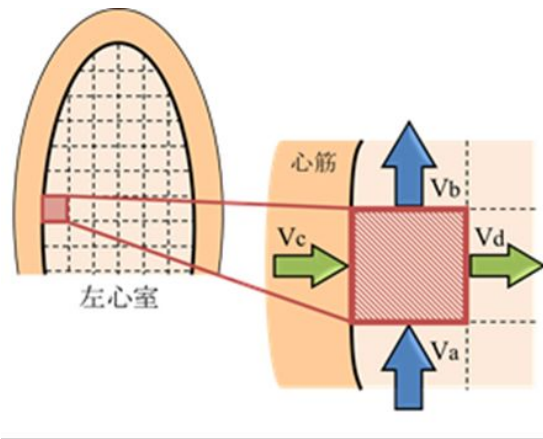
新しい超音波技術を用いた血流速度評価法を用いて、心腔内血流速を可視化し、得られた速度と心機能指標との関係、血流速度から算出されるエネルギー損失の意義について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 新しい超音波技術を用いた心腔内血流の可視化の検討

麻酔開胸犬において日立アロカ株式会社がわれわれのアドバイスを受けつつ開発しつつある Vector Flow Mapping (VFM) を用いて心腔内血流を観察する。VFM は連続の式とスペックルトラッキング法による心室壁運動評価に基づいてビーム方向によらずに血流速度を求めることのできる手法である。(図1)その精度については本研究と同時進行の形で日立アロカ株式会社によって行われ、満足すべき結果を得ている。本検討で

は血流を可視化する手法として少量のマイクロバブルを心腔内に注入してその軌跡を見るコントラストエコー法を利用し、同法で認められる心腔内血流パターンとVFMで認められる血流パターンを比較しその妥当性を検証する。



連続の式 (質量保存則) より、

$$V_a + V_c = V_b + V_d$$

V_a, V_b : ドプラ法より計測

V_c : スペックルトラッキング法より算出



$$V_d = V_a + V_c - V_b$$

図1 VFM の原理図。心腔内を格子の集合と考える。心室壁に接した格子内の血流には連続の式が成立するため V_a と V_c の和は V_b と V_d の和に等しい。 V_a, V_b は超音波ドプラ装置で求めることができ、 V_c は壁運動速度に等しいためスペックルトラッキング法で求めることができる。従って超音波ビーム方向に直交する V_d も求めることができる。

(2) 心腔内渦流と心機能との関係についての検討

遮断薬やカテコラミンを投与することにより心機能を変化させ、それに伴う心腔内渦流の変化とカテーテル法で求められる心機能指標 (左室圧、 dP/dt 、 τ) との関連を検討する。その結果として、渦流指標は血行動態の影響を受けるのか、渦流指標は

心機能指標として妥当かにつき検討する。

(3) 血流の粘性摩擦に伴うエネルギー損失の評価

血流はその粘性摩擦によってエネルギーを損失している。VFM を用いて求められる局所局所の心腔内速度ベクトルを用いてエネルギー損失を計測する。得られたエネルギー損失が実験的に作成された大動脈弁閉鎖不全症の重症度を反映するかどうかを麻酔開胸犬で検討する。

4. 研究成果

(1) 新しい超音波技術を用いた心腔内血流の可視化の検討

VFM を用いることにより心腔内において直進流（超音波ビーム方向に平行）のみならず渦流（超音波ビーム方向に平行でない）を明瞭に観察することができた（図2）。心尖部長軸像において拡張期に左室への直進流、および僧帽弁前尖側に時計回りの渦流、後尖側に反時計回りの渦流を認めた。収縮期には大動脈に向かう直進流を認めた。渦流のパターンはコントラストエコー法で観察された渦流パターンをよく反映していた。なおこのパターンはMRI等により報告されているパターンと同じであった。

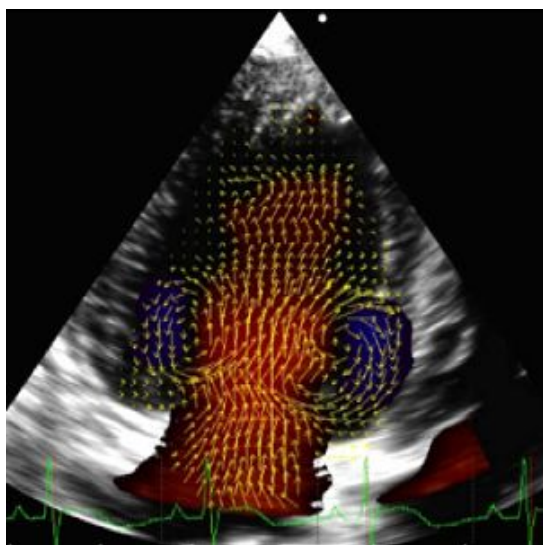


図2 拡張期心腔内血流のベクトル表示。

僧帽弁前尖側に時計方向の渦流を、また後尖側に反時計方向の渦流を認める。

(2) 心腔内渦流と心機能との関係についての検討

遮断薬やカテコラミンで収縮性を変化させると渦流の指標が変化することが確認された。僧帽弁前尖側の拡張期渦流の最大流量、渦流の半値面積は遮断薬で減少し、カテコラミンで増大した。一方、最大流量と半値面積の比として求められる渦強度は薬剤負荷によらずほぼ一定の値を示した。最大流量は拡張早期左室流入血流速と良好な相関を示したが、左室収縮期圧、拡張末期圧、 $\pm dp/dt$ 、 τ と相関がなかった。また渦の位置は負荷によって変化しなかった。以上より、渦強度は血行動態の影響を受けにくい指標であること、拡張期渦流は左室流入動態の影響を受けることが明らかになった。

(3) 血流の粘性摩擦に伴うエネルギー損失の評価

麻酔開胸犬において頸動脈から挿入したカテーテルで大動脈弁を歪ませることにより可逆的かつさまざまな重症度の大動脈弁閉鎖不全を作成した。拡張期の心腔内速度ベクトルを用いて算出されたエネルギー損失は大動脈弁閉鎖不全症が重症になるにつれて増大した（図3、4）。心腔内に逆流に伴う乱流が発生すればエネルギー損失は増大する。増えたエネルギー損失は熱として失われるのだが、逆流を有する心室としては本来の収縮拡張に関する仕事以外に、エネルギー損失で失われる仕事を余分に行わなければならない。エネルギー損失が多い逆流は心臓に対する負荷を取るために早期に手術治療で逆流を解除することが望ましいと思われる。本検討により、従来法とは全く異なった観点からの弁閉鎖不全症重症度

評価の可能性が示唆された。

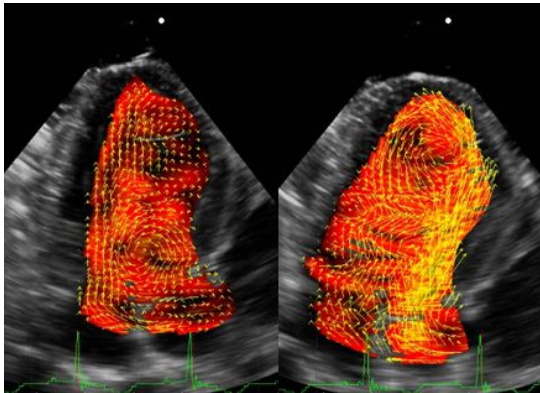


図3 左：コントロール時の血流ベクトルとエネルギー損失。右：大動脈弁閉鎖不全作成後の血流ベクトルとエネルギー損失。エネルギー損失が大きい領域は明るい黄色で色づけられている。大動脈弁逆流発生に伴って、乱流が発生し、エネルギー損失が増大していることがわかる。

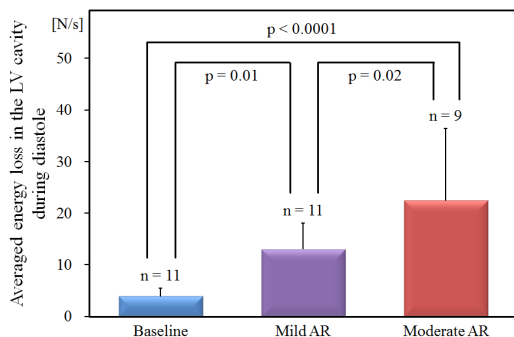


図4 逆流の重症度が増大するにつれエネルギー損失が増大している。

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 1件)

中谷 敏、和田成生、増山 理 拡張期左室内渦流に対する血行動態の影響 超音波医学 2013;40:273-281.

[学会発表](計 7件)

郡山 晃、櫻井大輔、増田佳純、浅沼俊彦、中谷 敏 Vector Flow Mapping を用いた

左室内渦流の非侵襲的評価 第60回日本心臓病学会学術集会、金沢、2012.9.15/9/15

Hikaru Koriyama, Daisuke Sakurai, Kasumi Masuda, Toshihiko Asanuma, Satoshi Nakatani. A new method to visualize and quantitate intracardiac vortex based on the continuity equation and speckle tracking echocardiography. American Heart Association 2012, Los Angeles, 2012.11.4

Haruhiko Abe, Kasumi Masuda, Toshihiko Asanuma, Hikaru Koriyama, Susumu Hattori, Yoshinori Yasuoka, Tatsuya Sasaki, Satoshi Nakatani. Blood flow and vortex formation mapped in the left ventricular short axis image by echocardiographic particle image velocimetry. American Heart Association 2013, Los Angeles, 2012.11.4

Haruhiko Abe, Kasumi Masuda, Toshihiko Asanuma, Yukihiro Koretsune, Hideo Kusuoka, Satoshi Nakatani. Visualization of blood flow in the left ventricular short axis view by echocardiographic particle image velocimetry. 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Osaka, 2013.7.6

郡山 晃、増田佳純、櫻井大輔、浅沼俊彦、板谷慶一、宮地 鑑、中谷 敏 Vector Flow Mapping による左室内血流のエネルギー損失量の評価：大動脈弁逆流モデルを用いた検討 第61回日本心臓病学会学術集会、熊本、2013.9.20

Hikaru Koriyama, Kasumi Masuda, Daisuke Sakurai, Toshihiko Asanuma, Keiichi Itatani, Kagami Miyaji, Satoshi Nakatani. Quantification of energy loss in the left ventricle using color Doppler-based vector flow mapping in a dog model of aortic regurgitation. American Heart Association 2013, Dallas, 2013.11.19

Hikaru Koriyama, Kasumi Masuda, Daisuke Sakurai, Masamichi Oka, Koichiro Kotani, Toshihiko Asanuma, Keiichi Itatani, Kagami Miyaji, Satoshi Nakatani. Quantification of energy loss in the left ventricle using vector flow mapping in a dog model of aortic regurgitation. 第78回日本循環器学会学術集会、東京、2014.3.19

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

中谷 敏 (NAKATANI SATOSHI)

大阪大学大学院医学系研究科・教授

研究者番号：80393221

(2)研究分担者

和田 成生 (WADA SHIGEO)

大阪大学大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：70240546

浅沼 俊彦 (ASANUMA TOSHIHIKO)

大阪大学大学院医学系研究科・寄附講座准教授

中村 匡徳 (NAKAMURA MASANORI)

埼玉大学理工学研究科・准教授

研究者番号：20447046

(H23年度のみ分担者として研究参画)