

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：22701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16K10286

研究課題名（和文）心臓弁膜症がもたらす心筋壁運動と血流異常に関するCTベクトル機能解析と臨床応用

研究課題名（英文）Vector functional analysis of myocardial wall motion and blood flow

研究代表者

宇都宮 大輔（UTSUNOMIYA, Daisuke）

横浜市立大学・医学研究科・教授

研究者番号：30571046

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：心臓の4D-CTを用いた心筋壁運動のベクトル解析（i-ME法）について、画質向上、ノイズ低減に関する冠動脈再構成法の基礎的検討、心臓の微細構造も含めて、定量的・定性的検証、心臓の全体の動きを各ピクセルの動きの総和として算出する指標の策定に取り組んだ。心電図R-R間隔の時相範囲内での動きベクトル量の総和（MAPM）をカラー表示することに成功した。これにより特に動きの変化量が大きい収縮期と緩やかになる拡張期の様子、心筋運動の状態を明瞭に表現できるようになった。MAPMはLVEFと相関、BNP値および心筋拡張能と逆相関の関係にあることが分かった。局所の壁運動をベクトル表示も可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では心筋壁の動きを心電図のフェーズごとの画像ピクセルの変化を可視化した。従来の心筋壁運動の評価は全体を左室駆出率（LVEF）のような全体を単一の指標で表現するものが主体であった。また、心臓超音波検査も施行者に依存する部分が多く、解釈の共有も難しい。一方、本研究での手法は再現性があること、ベクトルという一般にも理解しやすい形で図示できることは、心臓疾患の患者が自らの病態を視覚的に理解しやすいという点で社会的にも意義が高いと考える。

研究成果の概要（英文）：The following evaluations were performed on the vector analysis (i-ME method) of myocardial wall motion: 1) the effects of image reconstruction on the image quality improvement and noise reduction; 2) cardiac structure; 3) sum of the pixel-to-pixel myocardial wall motion factors (maximum amount of pixel movement).

We visualized the total cardiac motion by the sum of the motion vectors with color mapping, leading to clear demonstration of change of vector motion. The maximum amount of pixel movement correlated with LVEF and reversely correlated with BNP and cardiac diastolic function.

研究分野：放射線診断学

キーワード：CT 心臓 心筋壁運動

## 1. 研究開始当初の背景

心筋壁運動の評価は一般には左室駆出率 (LVEF) のような全体をひとまとめにした指標が中心的に用いられていた。心筋の走行は非常に複雑であり、部位ごとに心筋の動きを評価することが望ましい。特に LVEF が正常な心不全 (Heart failure with preserved ejection fraction: HFpEF) のような病態が医療的、社会的にも重要な課題となってきた。

心臓超音波検査はダイナミックな心筋の壁運動を評価するうえで重要かつスタンダードな手法であるが、施行者に依存する部分があり、再現性にやや問題がある。体格による検査精度の問題もある。また、病態の患者への説明においても医療者との間に理解や解釈の壁が大きいことも無視できない問題であった。

心臓 CT では経時的な心筋のダイナミックな情報 (4次元情報) を得ることができる。しかし、心臓 CT のもつ 4次元情報 (3次元 CT の経時変化) に注目した画像利用は限られている状況であった。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は心拍内での心筋の経時変化をクリアに描出し、心筋壁の運動を画像ピクセルベースで解析し、その移動量と方向をベクトル指標で表現する手法を確立することである。

具体的な研究目的は以下のごとくである。

- (1) モデル型逐次近似画像再構成法 (MBIR) の有用性について構造の視認性、空間分解能への影響を定量的、定性的に評価を行うこと
- (2) 心筋の壁運動における方向と距離を CT 画像のピクセルごとに割り出し、それを画像上に表示することで心筋壁運動の精密な評価を可能とすること

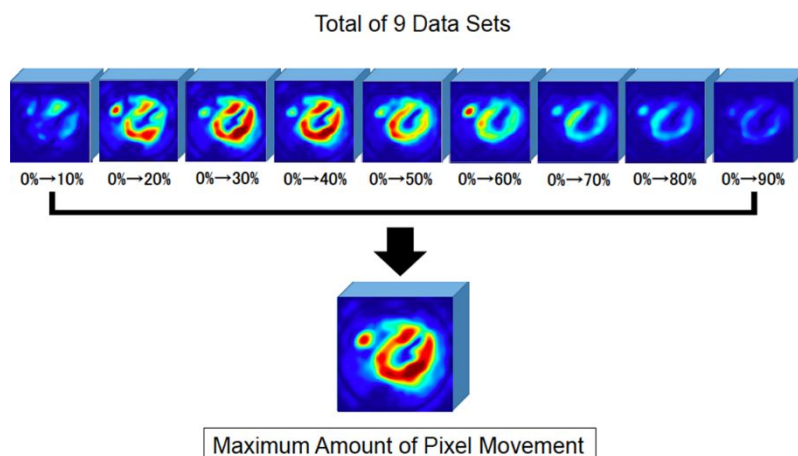
## 3. 研究の方法

### (1) 画質検討

画像再構成法が画質に与える影響に関して、30名の冠動脈疾患を疑われた患者 (男性 19名、女性 11名) の心臓 CT において 4種類の画像再構成を行った (フィルタ型逆投影法 (FBP); ハイブリッド型逐次近似法 (HIR); モデル型逐次近似画像再構成法 (MBIR))。MBIR に関しては体幹部用 (B) と心臓用 (CS) の 2タイプの再構成を行った。それぞれにおいて微細構造 (冠動脈近位部、遠位部、中隔枝、冠動脈ブランク) のコントラストノイズ比 (CNR) を算出し、比較した。また、4段階の視覚評価 (1 = worst; 4 = best) を行った。

### (2) ピクセルベースの心筋壁運動のベクトル解析

i) 心筋の移動量を iME アルゴリズムで解析した。iME アルゴリズムは非剛体位置合わせの手法を用いて 4D 画像のリファレンスフェーズ (R-R, 0%) と他の心電図フェーズ (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, and 90%) を合成し、ピクセルごとの位置移動を定量するものであり、3D speckle tracking の手法と類似するものである。



各ピクセルの最大移動量 (maximum amount of pixel movement: MAPM) を算出し、カラーマップ化した。

ii) iME アルゴリズムにおけるピクセルの移動方向を表示し、上記の移動量を線の長さとして表現する (ベクトル化) した。さらにそのベクトルを CT リファレンス画像とフュージョンした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 画質検討 (表 1)

FBP、HIR、MBIR-B、MBIR-CS において、MBIR-B が統計学的に有意に高い CNR が得られた。一方で、心臓構造の把握に関する視覚評価スコアにおいては MBIR-CS の方が優れていた。したがって MBIR の使用が望ましいと考えられた。冠動脈のような微細構造の評価においては MBIR-CS がよいと考えられたが、今回のように心筋が対象の場合には MBIR-B のように定量的に優れた再構成法が適切と考えられた。

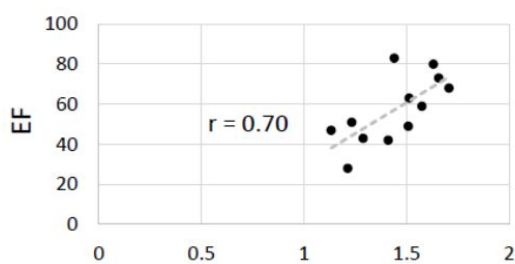
表 1 : 画像再構成法と定量的画質の比較

	FBP	HIR	MBIR-B	MBIR-CS	P値
冠動脈近位					
CT値	425.2±63.4	416.6±60	424.9±67.2	432.7±63.9	.78
CNR	10.5±2.3	17.8±4.7	46.3±18.6	22.3±4.3	<.01
冠動脈遠位					
CT値	323.3±59.5	284.5±86.5	293.5±100.0	328.1±92.4	.16
CNR	4.7±1.9	7.2±3.7	20.0±11.9	11.5±5.3	<.01
中隔枝					
CT値	281.7±82.0	256.4±58.0	236.2±68.3	271.0±67.1	.04
CNR	4.0±1.3	6.1±2.5	13.5±7.8	7.8±5.6	<.01
プラーク					
CT値	111.0±68.1	106.8±66.0	114.4±67.0	106.3±57.0	.95
CNR	3.9±1.5	6.8±2.9	17.2±11.1	8.0±3.0	<.01

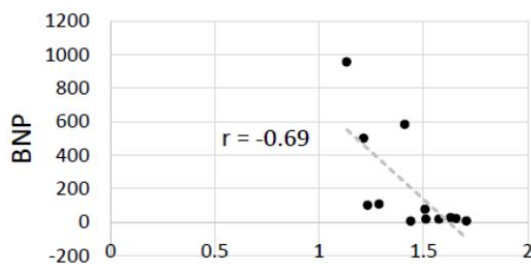
##### (2) ピクセルベースの心筋壁運動のベクトル解析

MAPM は下グラフのごとく LVEF と正の相関、BNP、E/e' と負の相関が見られた。

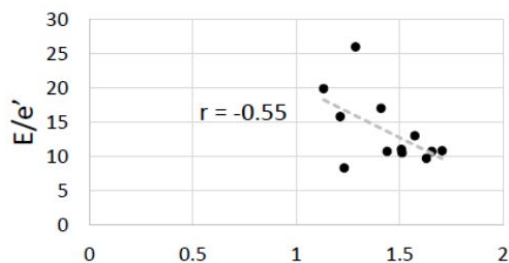
MAPM は左室心筋の収縮能、拡張能および心不全のいずれの指標の要素も含み、総合的な心機能の評価に適したモデルを提供すると考えられた。



ピクセル移動量の総和 (total cardiac function)

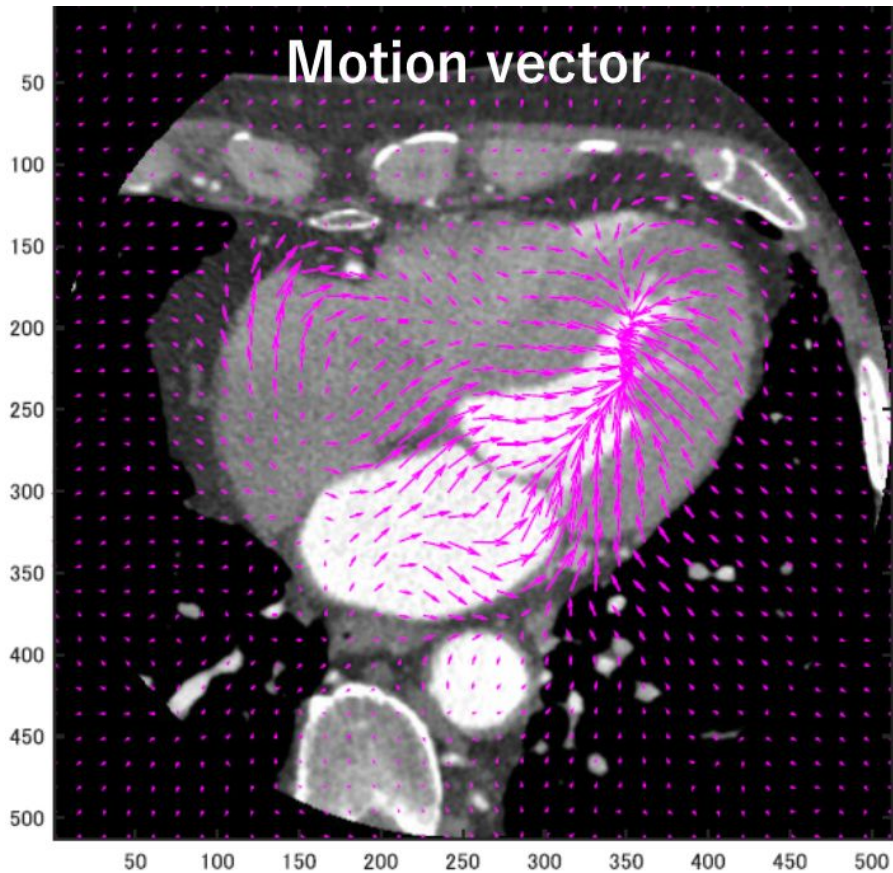


ピクセル移動量の総和 (total cardiac function)

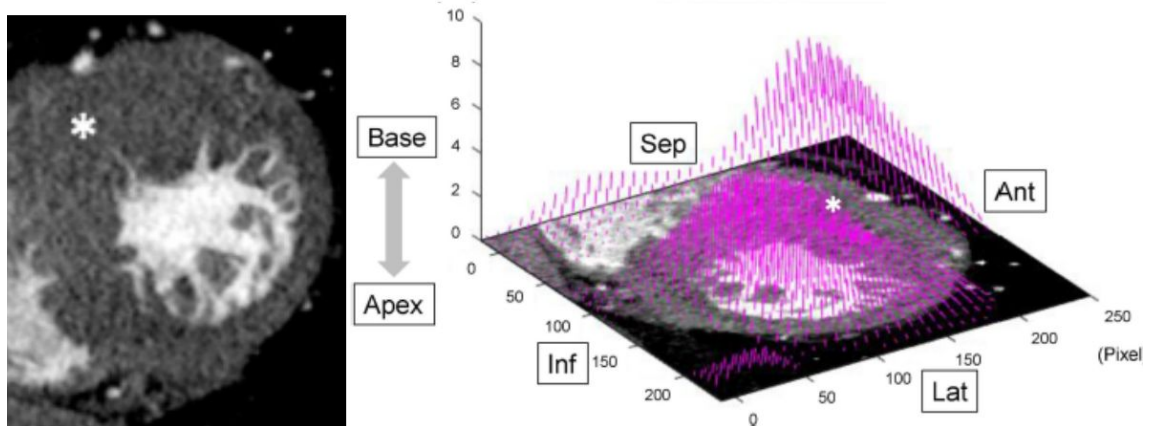


ピクセル移動量の総和 (total cardiac function)

下図に左室ピクセルの動きのベクトル (motion vector) を示す。左室の心筋が右室心筋に比べてかなりダイナミックな動きをしていることが分かる。また、左室の「ねじれる」ような複雑な動きが左室の中央部に集まるように動いている様子が各ピクセルのベクトルから理解できる。



下図は潜在的な弁膜障害を有する肥大型心筋症患者の 4D-CT におけるベクトル解析において 3 次元的にベクトルをマッピングした画像である。これにより心筋壁の領域ごとの動きがピクセルの集まりとして理解される。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Oda S, Emoto T, Nakaura T, Kidoh M, Utsunomiya D et al.	4. 巻 1
2. 論文標題 Myocardial Late Iodine Enhancement and Extracellular Volume Quantification with Dual-Layer Spectral Detector Dual-Energy Cardiac CT	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiology: Cardiothoracic Imaging	6. 最初と最後の頁 e180003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1148/ryct.2019180003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kidoh M, Utsunomiya D, Funama Y, et al.	4. 巻 11
2. 論文標題 Vectors through a cross-sectional image (VCI): A visualization method for four-dimensional motion analysis for cardiac computed tomography.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cardiovascular Computed Tomography	6. 最初と最後の頁 468-473
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcct.2017.09.010.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kenichiro Hirata, Daisuke Utsunomiya, Masafumi Kidoh et al.	4. 巻 97
2. 論文標題 Tradeoff between noise reduction and inartificial visualization in a model-based iterative reconstruction algorithm on coronary computed tomography angiography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Medicine (Baltimore)	6. 最初と最後の頁 e10810
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/MD.0000000000010810	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Funama Y, Utsunomiya D, Hirata K, Taguchi K, Nakaura T, Oda S, Kidoh M, Yuki H, Yamashita Y	4. 巻 24
2. 論文標題 Improved Estimation of Coronary Plaque and Luminal Attenuation Using a Vendor-specific Model-based Iterative Reconstruction Algorithm in Contrast-enhanced CT Coronary Angiography	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Academic Radiology	6. 最初と最後の頁 1070-1078
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.acra.2017.02.006.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 宇都宮大輔
2. 発表標題 循環器疾患の おさえておきたい疾患やテクニック
3. 学会等名 第189回 日本医学放射線学会九州地方会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宇都宮大輔
2. 発表標題 放射線科医の冠疾患へのかかわり
3. 学会等名 第32回 日本冠疾患学会学術集会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenichiro Hirata, Daisuke Utsunomiya
2. 発表標題 Tradeoff between noise reduction and inartificial visualization in a model-based iterative reconstruction algorithm on coronary computed tomography angiography
3. 学会等名 Society of Cardiovascular Computed Tomography（国際学会）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	福井 寿啓  (FUKUI Toshihiro)  (50445045)	熊本大学・大学院生命科学研究部（医）・教授    (17401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	船間 芳憲  (FUNAMA Yoshinori)  (30380992)	熊本大学・大学院生命科学研究部（保）・教授    (17401)	
研究分担者	尾田 済太郎  (ODA Seitaro)  (80571041)	熊本大学・大学院生命科学研究部（医）・特任講師    (17401)	
研究分担者	木藤 雅文  (KIDOH Masafumi)  (40744909)	熊本大学・病院・特任助教    (17401)	
研究分担者	中浦 猛  (NAKAURA Takeshi)  (90437913)	熊本大学・病院・准教授    (17401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関