

臨床技術

320 列面検出器 CT を用いた心電図同期心臓 CT における
左室収縮能および拡張能評価：心エコー法との比較論文受付
2015 年 3 月 16 日論文受理
2015 年 6 月 17 日Code Nos. 251
262蝶野大樹¹ 小倉圭史¹ 橋本暁佳²¹札幌医科大学附属病院放射線部²札幌医科大学循環器・腎臓・代謝内分泌内科学講座

緒言

左室収縮能および拡張能を評価することは、心疾患を有する患者の治療方針を決定する、あるいは患者の予後予測を行ううえで非常に重要な因子である^{1,2)}。これら进行评估するためにいくつかの非侵襲的検査法(心臓超音波検査：心エコー、single photon emission computed tomography: SPECT, magnetic resonance imaging: MRI など)が存在し検査の目的に応じて使い分けられている。320 列 area detector computed tomography (ADCT) は、1 心拍で心臓全体を撮影可能

であり、electrocardiogram (ECG) dose modulation や逐次近似再構成を併用し撮影を行うことで被ばくを低減し、冠動脈解析と同時に心機能解析が可能である³⁾。ADCT は心エコーに比べ三次元データであることから計測値の信頼性および再現性が高い。更に患者の状態(肥満、呼吸性疾患など)で評価困難⁴⁾となることが少ない。また、MRI 禁忌の患者⁵⁾に対しても検査可能であり、MRI よりも撮影時間が短いため息止め時間の負担が少ない。SPECT と比較しても空間分解能が高いため small heart 症例⁶⁾においても正確な心

Assessment of Left Ventricular Systolic and Diastolic Function with Retrospective Electrocardiogram Triggered 320-row Area Detector Computed Tomography: A Comparison with Ultrasound Echocardiography

Taiki Chono,^{1*} Keishi Ogura,¹ and Akiyoshi Hashimoto²¹ Division of Radiology and Nuclear Medicine, Sapporo Medical University Hospital² Department of Cardiovascular, Renal and Metabolic Medicine, Sapporo Medical University

Received March 16, 2015; Revision accepted June 17, 2015

Code Nos. 251, 262

Summary

Background: The 320-row area detector computed tomography (ADCT) for the evaluation of left ventricular (LV) systolic function has been reported, but reporting of ADCT for the evaluation of LV diastolic function (LVDF) cannot be found. The purpose of this study was to examine the usefulness of ADCT in the assessment of LV systolic and diastolic function compared to ultrasound echocardiography (Echo) as the standard of reference. **Materials and methods:** We evaluated 60 consecutive patients (mean age 62.4 ± 13.2 years, male/female 36/24) who underwent ADCT (retrospective electrocardiogram triggered) and Echo. All patients were classified into three groups (A, B, C) according to LVDF evaluated by Echo. We examined peak filling rate (PFR) and time to peak filling (TPF) as indicator of LVDF using ADCT. **Results:** Good correlations between ADCT and Echo were demonstrated for the assessment of LVSF. PFR of group B (mild diastolic dysfunction) patients (1.92 ± 0.69) and group C (moderate severe diastolic dysfunction) patients (1.90 ± 0.75) were significantly lower than that of group A (normal diastolic function) patients (2.50 ± 0.43). TPF of group B (191.6 ± 54.4 ms) and group C patients (197.5 ± 64.0 ms) were significantly higher than that of group A patients (149.5 ± 34.1 ms). **Conclusions:** ADCT is useful method for the evaluation of LVSF and LV diastolic dysfunction.

Key words: 320-row area detector computed tomography, ultrasound echocardiography, left ventricular diastolic function, left ventricular systolic function

*Proceeding author

機能評価が可能である。これまで ADCT を用いて左室収縮能を評価した報告は散見される^{3,7)}が、左室拡張能を評価した報告は見当たらない。本研究の目的は心エコーをリファレンス³⁾として、左室収縮能および拡張能を ADCT と比較し、ADCT の有用性を評価することである。

1. 方 法

1-1 対 象

2014 年 2 月から 2015 年 2 月までに ADCT と心エコーの両方を 3 カ月以内³⁾に行った連続 60 症例を対象とした(平均年齢 62.4 ± 13.2 歳, 男性/女性 36/24)。対象を Table 1 に示す。心房細動、心室性頻拍などの不整脈を認めた症例や観察期間中に著明な病態変化を認めた症例は除外した。本研究プロトコルは当施設の倫理委員会によって承認され、事前に対象患者から文書で同意を得た。

1-2 使用機器

CT 装置は東芝メディカルシステムズ社製 Aquilion ONE を使用し、心エコー装置は General Electric (GE) 社製 vivid E9、日立アロカ社製 prosound $\alpha 7$ を使用した。CT における左室収縮能および拡張能の解析には富士フィルム社製 SYNAPSE VINCENT を使用した。

1-3 β ブロッカ投与法

来院時心拍数が 65 beats per minute (bpm) 以上の患者には、CT 撮影 1 時間前に経口 β ブロッカを 20 mg 服用した。また検査時に心拍数が十分低下していない場合は更に β ブロッカを追加静注した。

1-4 CT 撮影方法および被ばく線量

造影剤注入条件は 25.9 mgI/kg/s で注入時間 10 秒、

後押しで生理食塩水を注入した。撮影タイミングは冠動脈起始部レベルの上行大動脈に region of interest (ROI) を置き、ボーラストラッキング法を用いた。造影剤注入開始 10 秒後から連続プレッスキャンを行い、造影剤が流入し 100 hounsfield unit (HU) に達した時点で息止め音声が発せられ、300 HU に達した 3 秒後に本スキャンを開始した。撮影条件は、管電圧 120 kV、管電流の設定は automatic exposure control (AEC) 機能によって standard deviation (SD) 25 で算出した。ガントリ回転速度は 0.35 s/rot. を使用した。Retrospective 撮影において ECG dose modulation を使用し、X 線曝射範囲は 65 bpm 以下では RR の 65~80% の位相で最大管電流となるように設定し 1 心拍撮影とした。また、66~80 bpm では RR の 30~80% の位相で最大管電流となるように設定し 2 心拍撮影とした。81 bpm 以上では RR の 30~80% の位相で最大管電流となるように設定し 3 心拍撮影とした。撮影スライス厚は 0.5 mm、画像スライス厚は 1.0 mm とした。撮影範囲はカルシウムスコア測定用単純 CT 画像を参照し、冠動脈全体が含まれる最小限の範囲で設定した。また、被ばく線量として実効線量を算出した。実効線量は dose report に記載されている dose-length product (DLP) に胸部の変換係数 κ ($\kappa = 0.014 \text{ mSv/mGy}$) を乗じて求めた。

1-5 CT における心機能解析

画像スライス厚 1.0 mm、再構成間隔 1.0 mm とし、逐次近似応用再構成である adaptive iterative dose reduction using three dimensional processing (AIDR3D)⁸⁾ は Strong を使用した。

1 心拍を 2% 間隔で 50 フェーズの画像を再構築し左室時間容量曲線を算出した。そこから左室収縮能の指標として、左室拡張末期容積 (left ventricular end-diastolic volume: LVEDV)、左室収縮末期容積 (left ventricular end-systolic volume: LVESV) および左室駆出率 (left ventricular ejection fraction: LVEF) を算出した。また左室拡張能の指標として、得られた左室時間容量曲線の微分曲線から最大充填速度 (peak filling rate: PFR) および最大収縮から PFR となるまでの時間 (time to peak filling: TPF) を算出した (Fig. 1)。

1-6 心エコープロトコル

経験年数 5 年以上の循環器内科医 2 名によって、心尖部四腔断層像と二腔断層像から Modified-Simpson 法⁹⁾を用いて LVEDV, LVESV および LVEF を算出した。また左室拡張能の指標として、ドップラ法を用い

Table 1 Patient characteristics

Characteristic	Value
Number	60
Age (mean \pm SD)	62.4 ± 13.2
Male/Female	36/24
Weight (kg), mean \pm SD	62.5 ± 13.0
Clinical diagnosis	
Old myocardial infarction	16 (26.7%)
Angina pectoris (suspected)	19 (31.7%)
Heart failure	2 (3.3%)
Cardiomyopathy	3 (5.0%)
Screening	20 (33.3%)

SD=standard deviation

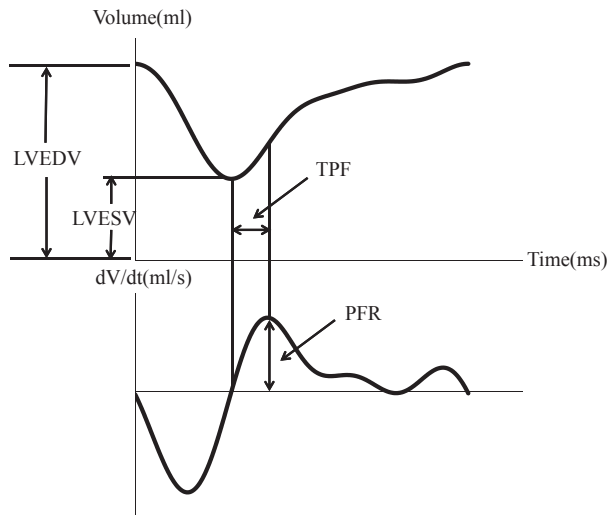


Fig. 1 Schema of time-volume curve and its differentiation curve obtained by 320-row area detector CT. LVEDV=left ventricular end-diastolic volume; LVESV=left ventricular end-systolic volume; PFR=peak filling rate; TPF=time to peak filling

以下の六つの値を算出した。1)中隔側の僧帽弁輪拡張早期速度(septal e')、2)側壁側の僧帽弁輪拡張早期速度(lateral e')、3)左房容積係数(left atrial volume index: LAVI)、4)拡張早期波(E波)と心房収縮期波(A波)の比(E/A)、5)E波と e' の比(E/e')、6)E波減速時間(E deceleration time: Edct)。 e' とは僧帽弁輪拡張早期速度のことであり、僧帽弁輪部にサンプルボリュームを設定し、同部位の長軸方向における運動速度波形を記録し算出した。LAVIとは左房容積を体表面積で除した値であり、E波とA波およびEdctはサンプルボリュームを僧帽弁先端に置き掃引速度100 mm/sで記録することによって得られた左室流入血流速度波形から算出した。これらの値を算出するために得られた波形の図をFig. 2に示す。更に算出した六つの値から循環器超音波検査の適応と判読ガイドライン¹⁰⁾を参考にして、左室拡張能を3グループ(A:正常, B:軽度拡張能障害, C:中～高度拡張能障害)に分類した(Fig. 3)。

1-7 検討項目

1-7-1 左室収縮能評価

心エコーをリファレンスとして、ADCTから得られたLVEDV, LVESVおよびLVEFを心エコーから得られたLVEDV, LVESVおよびLVEFと比較した。

1-7-2 左室拡張能評価

Fig. 2に基づき全60症例を3グループに分類し、グループ間のPFR, TPFを比較した。

また、 β ブロッカ使用群と未使用群におけるグルー

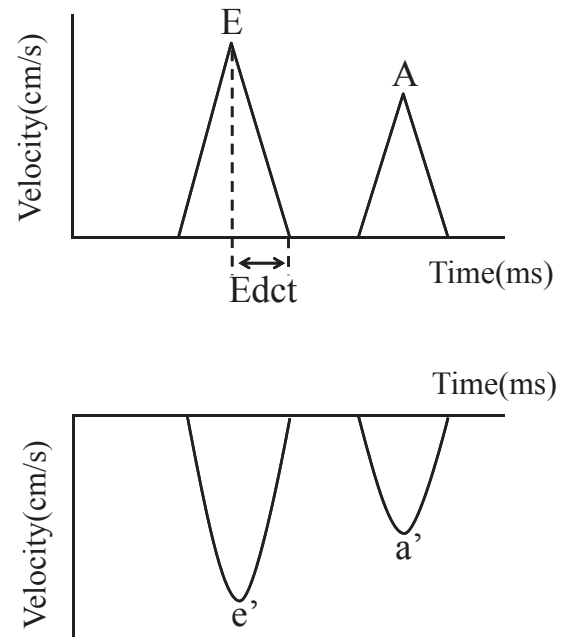


Fig. 2 Schema of left ventricular inflow velocity pattern (a) and mitral annular motion velocity pattern (b) obtained by ultrasound echocardiography.

E=peak early filling velocity; A=velocity at atrial contraction; Edct=E deceleration time; e' =velocity of mitral annulus early diastolic motion; a' =velocity at atrial contraction.

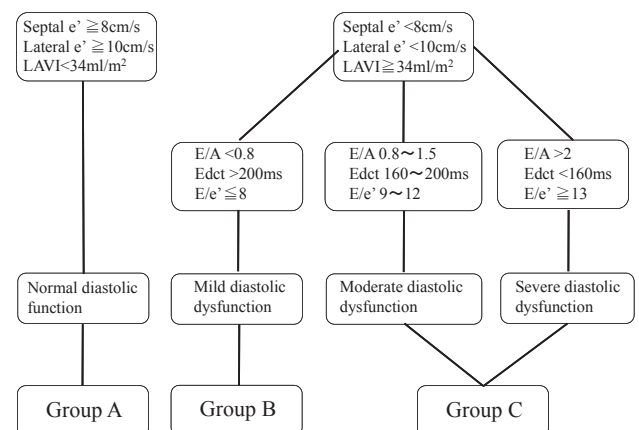


Fig. 3 Group classified using indicators of left ventricular diastolic function obtained by ultrasound echocardiography. LAVI=left atrial volume index

プ間のPFR, TPFを比較した。

1-8 統計学的検討

数値データはmean±SDで記載し、左室収縮能評価にはピアソンの相関係数を用い、左室拡張能評価にはScheffe's F testを用い、 $P < 0.05$ を統計的に有意とした。

Table 2 ADCT Scan Characteristics

Characteristic	Value
Heart rate (beats/min)*	60.7±11.7
β-blocker dose (mg), n=35	22.6±3.8
R-R intervals required for image acquisition	
1	43 (71.7%)
2	12 (20.0%)
3	5 (8.3%)
Radiation exposure (mSv)	11.1±6.1

*At time of image acquisition

2. 結果

2-1 CT撮影時の心拍数, βブロッカ投与, 撮影ビート数, 被ばく線量

CT撮影時の心拍数, βブロッカ投与人数および投与量, 撮影ビート数, 被ばく線量を Table 2 に示す. 撮影時心拍数は平均 60.7±11.7 bpm, βブロッカを投与した症例は全 60 例中 35 例, 投与量は 22.6±3.8 mg, 撮影ビート数は 1 ビートが 43 例 (71.7%), 2 ビートが 12 例 (20%), 3 ビートが 5 例 (8.3%), 被ばく線量は 11.1±6.1 mSv であった.

2-2 左室収縮能評価

ADCT から得られた LVEDV, LVESV および LVEF は心エコーで得られた値と有意な正の相関を認めた (Fig. 4).

2-3 左室拡張能評価

全 60 症例を 3 グループに分類した時の左室収縮能および拡張能指標を Table 3 に示す. LVEDV, LVESV および LVEF はすべてにおいて, ADCT, 心エコーともにグループ間に有意差は認められなかった. グループ B とグループ C の PFR (B; 1.92±0.69 C; 1.90±0.75) はグループ A の PFR (2.50±0.43) と比べ有意に低かった. また, グループ B と C の TPF (B; 191.6±54.4 ms C; 197.5±64.0 ms) はグループ A の TPF (149.5±34.1 ms) と比べ有意に高かった.

また, βブロッカ使用群と未使用群におけるグループ間の PFR, TPF を Table 4 に示す. βブロッカ使用群では PFR, TPF ともにグループ間に有意差を認めなかったが, βブロッカ未使用群ではグループ B の PFR (1.83±0.36) はグループ A の PFR (2.91±0.35) より有意に低かった. また, グループ C の PFR (1.17±0.51) はグループ A と B の PFR より有意に低かった. 更にグループ B の TPF (166.4±17.8 ms) はグループ A の TPF (133.5±23.0 ms) よりも有意に高かった. また, グループ C の TPF (202.3±25.5 ms) はグループ

A と B の TPF より有意に高かった.

3. 考察

左室収縮能評価では, ADCT から得られた LVEDV, LVESV および LVEF は心エコーで得られた値と有意な正の相関を認めた. この結果は先行研究とも一致しており^{3,11)}, ADCT は左室収縮能を評価するのに有用であると考ええる.

左室拡張能評価においては, 収縮機能が正常であるが, 拡張機能が障害されている心不全の病態が報告され, 臨床上重要視されるようになってきている. また, 拡張能障害は, うっ血性心不全の原因の約 50% を占めていると報告されている^{12,13)}. 心エコーは非侵襲的な拡張能評価法としての有効性が認められており^{14,15)}, 心電図同期心筋 SPECT から得られる拡張能指標は心エコーにおける拡張能分類との相関を認めるという報告¹⁶⁾があることから, 今回心エコーをリファレンスとして ADCT との比較を行い, ADCT における拡張能評価の有用性を検討した. 本検討では ADCT において詳細な拡張能評価が可能となるよう, 1 心拍を 2% 間隔で 50 フェーズの画像を再構築し左室時間容量曲線を算出した¹⁷⁾. 全 60 症例における PFR と TPF の比較では, PFR, TPF ともにグループ A とグループ B, C の間に有意差を認めたものの, グループ B と C の間には有意差を認めなかった. しかし, βブロッカ使用群 (n=35) と未使用群 (n=25) に分けて PFR と TPF の比較を行った結果, βブロッカ使用群ではグループ間に有意差を認めなかったが, 未使用群では PFR と TPF ともにすべてのグループ間で有意差を認めた. この結果から ADCT における拡張能評価は可能であるが, βブロッカの使用は PFR と TPF の値に影響を与えることが示唆されるため, 拡張能障害を評価する際は βブロッカの使用は避けるべきであると考ええる. 現在, ADCT の時間分解能は向上し, 0.275 s/rot. の機種¹⁸⁾が登場していることから, βブロッカを使用しなくても撮影可能な症例が増加することが考えられるため, 心エコーにおいて患者の状態 (肥満, 呼吸性疾患など) によって評価困難となる症例では, ADCT を用いて冠動脈評価と心機能評価を同時に行うことは有用であると考ええる. また, ADCT の volume データを用いた四次元イメージによる心臓疾患の動態評価¹⁹⁾も増えてきているため, 動態評価と同時に心機能評価を行うことも有用であると考ええる.

本検討のリミテーションは, 検討症例数が少なかったこと (βブロッカ使用群でグループ A : 9 例, B : 12 例, C : 14 例, 未使用群でグループ A : 6 例, B : 15

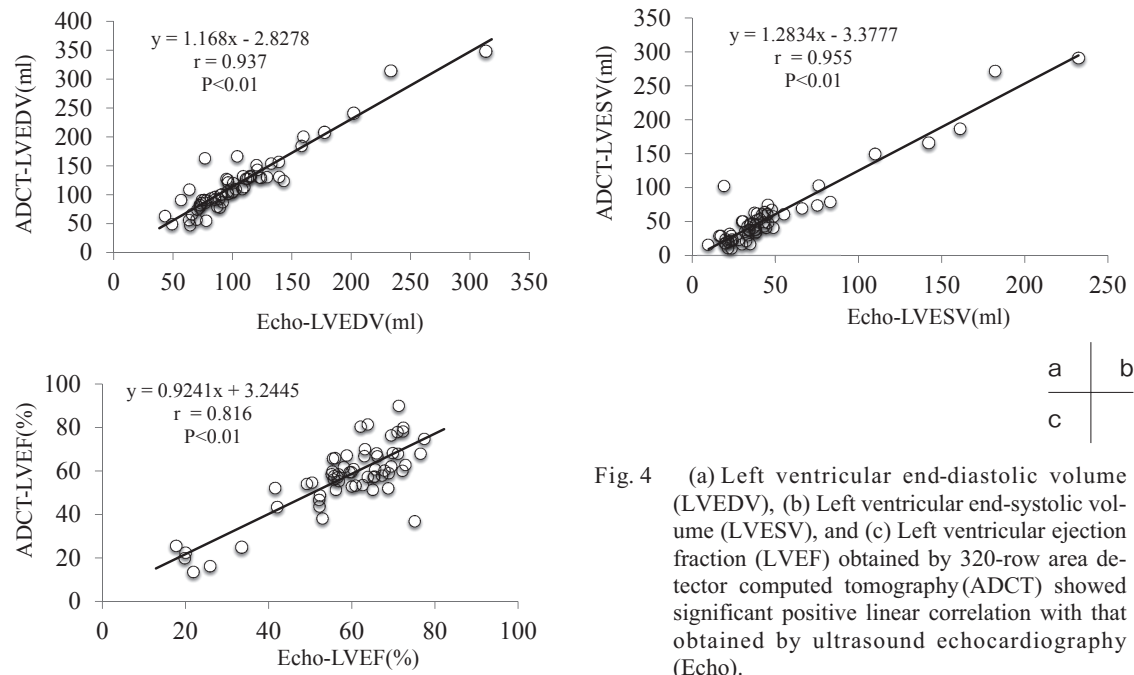


Fig. 4 (a) Left ventricular end-diastolic volume (LVEDV), (b) Left ventricular end-systolic volume (LVESV), and (c) Left ventricular ejection fraction (LVEF) obtained by 320-row area detector computed tomography (ADCT) showed significant positive linear correlation with that obtained by ultrasound echocardiography (Echo).

Table 3 Peak filling rate and time to peak filling according to diastolic function obtained by Echo

		Group A (n=15)	Group B (n=27)	Group C (n=18)
Echo	LVEF (%)	63.5 ± 6.8	60.4 ± 9.7	50.2 ± 20.4
	LVEDV (ml)	100.2 ± 20.9	99.9 ± 48.5	115.2 ± 52.6
	LVESV (ml)	36.8 ± 11.6	42.8 ± 40.0	62.9 ± 52.1
	Septal e' (cm/s)	9.57 ± 2.22	5.56 ± 1.55*	5.11 ± 2.01*
	Lateral e' (cm/s)	12.76 ± 3.72	8.04 ± 2.52*	7.39 ± 2.32*
	LAVI (ml/m ²)	27.7 ± 8.2	35.8 ± 11.8	52.2 ± 22.7
	E/A	1.46 ± 0.43	0.7 ± 0.14*	1.35 ± 0.53†
	E/e'	7.38 ± 1.90	10.17 ± 5.00	13.67 ± 6.10*
ADCT	Edct (ms)	189 ± 28.2	246.2 ± 55.2*	171.4 ± 48.3†
	LVEF (%)	60.1 ± 5.7	58.3 ± 14.5	52.4 ± 22.7
	LVEDV (ml)	115.3 ± 23.3	110 ± 58.5	136.7 ± 67.1
	LVESV (ml)	46 ± 14.5	52 ± 53.7	74.9 ± 71.8
	PFR	2.50 ± 0.43	1.92 ± 0.69*	1.90 ± 0.75*
	TPF (ms)	149.5 ± 34.1	191.6 ± 54.4*	197.5 ± 64.0*

*P < 0.05 versus Group A, †P < 0.05 versus Group B

Table 4 Comparison of peak filling rate and time to peak filling obtained by ADCT (with and without β-blocker)

	(a) β-blocker			(b) Non β-blocker		
	Group A (n=9)	Group B (n=12)	Group C (n=14)	Group A (n=6)	Group B (n=15)	Group C (n=4)
PFR	2.23 ± 0.20	2.06 ± 0.94	2.11 ± 0.68	2.91 ± 0.35	1.83 ± 0.36*	1.17 ± 0.51*†
TPF (ms)	160.2 ± 37.2	215.5 ± 74.9	196.1 ± 72.1	133.5 ± 23.0	166.4 ± 17.8*	202.3 ± 25.5*†

*P < 0.05 versus Group A, †P < 0.05 versus Group B

例, C : 4 例)。また, ADCT での心機能評価は冠動脈撮影のみに比べ高被ばくとなることが挙げられる。但し, 現在は full iterative reconstruction (Full IR) の技術によって, 更なる大幅な被ばく線量の低減が可能である^{20,21)} ため, 技術の普及が待たれる。

本研究における実験系の被ばく線量は 11.1 ± 6.1 mSv であり, 同様の実験系での被ばく線量はおおよそ 10~14 mSv²²⁾ であるため, 本研究の被ばく線量は妥当と考えられる。

4. 結 語

心エコーをリファレンスとして左室収縮能および拡張能を ADCT と比較した。ADCT は左室収縮能および拡張能障害を評価するのに有用である。

参考文献

- 1) Emond M, Mock MB, Davis KB, et al. Long-term survival of medically treated patients in the Coronary Artery Surgery Study (CASS) Registry. *Circulation* 1994; 90(6): 2645-2657.
- 2) Schwammenthal E, Adler Y, Amichai K, et al. Prognostic value of global myocardial performance indices in acute myocardial infarction: comparison to measures of systolic and diastolic left ventricular function. *Chest* 2003; 124(5): 1645-1651.
- 3) de Graaf FR, Schuijff JD, van Velzen JE, et al. Assessment of global left ventricular function and volumes with 320-row multidetector computed tomography: A comparison with 2D-echocardiography. *J Nucl Cardiol* 2010; 17(2): 225-231.
- 4) Starling MR, Crawford MH, Sorensen SG, et al. Comparative accuracy of apical biplane cross-sectional echocardiography and gated equilibrium radionuclide angiography for estimating left ventricular size and performance. *Circulation* 1981; 63(5): 1075-1084.
- 5) 小倉明夫, 土橋俊夫, 宮地利明, 他. 超実践マニュアル MRI. 医療科学社, 東京, 2007: 22-27.
- 6) Feng B, Sitek A, Gullberg GT. Calculation of the left ventricular ejection fraction without edge detection: application to small hearts. *J Nucl Med* 2002; 43(6): 786-794.
- 7) Nasir A, Moir S, Seneviratne SK, et al. Assessment of left ventricular volumes, ejection fraction and regional wall motion with retrospective electrocardiogram triggered 320-detector computed tomography: a comparison with 2D-echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2012; 28(4): 955-963.
- 8) 山崎暁夫, 永澤直樹. CT における逐次近似再構成の基礎検討と臨床応用. *日放技学誌* 2012; 68(6): 767-774.
- 9) Schiller NB, Shah PM, Crawford M, et al. Recommendations for quantitation of the left ventricle by two-dimensional echocardiography. American Society of Echocardiography Committee on Standards, Subcommittee on Quantitation of Two-Dimensional Echocardiograms. *J Am Soc Echocardiogr* 1989; 2(5): 358-367.
- 10) Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2009; 22(2): 107-133.
- 11) Wu YW, Tadamura E, Yamamuro M, et al. Estimation of global and regional cardiac function using 64-slice computed tomography: a comparison study with echocardiography, gated-SPECT and cardiovascular magnetic resonance. *Int J Cardiol* 2008; 128(1): 69-76.
- 12) Persson H, Lonn E, Edner M, et al. Diastolic dysfunction in heart failure with preserved systolic function: need for objective evidence: results from the CHARM Echocardiographic Substudy-CHARMES. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49(6): 687-694.
- 13) Bhatia RS, Tu JV, Lee DS, et al. Outcome of heart failure with preserved ejection fraction in a population-based study. *N Engl J Med* 2006; 355(3): 260-269.
- 14) Bella JN, Palmieri V, Roman MJ, et al. Mitral ratio of peak early to late diastolic filling velocity as a predictor of mortality in middle-aged and elderly adults: the Strong Heart Study. *Circulation* 2002; 105(16): 1928-1933.
- 15) Redfield MM, Jacobsen SJ, Burnett JC, et al. Burden of systolic and diastolic ventricular dysfunction in the community: appreciating the scope of the heart failure epidemic. *JAMA* 2003; 289(2): 194-202.
- 16) Mizunobu M, Sakai J, Sasao H, et al. Assessment of left ventricular systolic and diastolic function using ECG-gated technetium-99m tetrofosmin myocardial perfusion SPECT. *Int Heart J* 2013; 54(4): 212-215.
- 17) Kuroiwa Y, Nagamachi S, Miyati T, et al. The agreement of left ventricular function parameters between (99m) Tc-tetrofosmin gated myocardial SPECT and gated myocardial MRI. *Ann Nucl Med* 2012; 26(2): 147-163.
- 18) 高柳知也, 佐野始也, 近藤 武, 他. 320 列面検出器 CT (0.275 s/rot.) を用いた冠動脈 CT 血管造影における低管電流撮影フル再構成および体動補正ソフト (APMC) の実臨床における有用性. *日放技学誌* 2015; 71(3): 237-245.
- 19) 井口信雄. 循環器画像診断における PhyZiodynamics の臨床応用. *インナービジョン* 2014; 29(7): 1.
- 20) Khawaja RD, Singh S, Blake M, et al. Ultra-low dose abdominal MDCT: using a knowledge-based Iterative Model Reconstruction technique for substantial dose reduction in a prospective clinical study. *Eur J Radiol* 2015; 84(1): 2-10.
- 21) Li K, Tang J, Chen GH. Statistical model based iterative reconstruction (MBIR) in clinical CT systems: experimental assessment of noise performance. *Med Phys* 2014; 41(4): 041906.
- 22) Bluemke DA, Achenbach S, Budoff M, et al. Noninvasive coronary artery imaging: magnetic resonance angiography and multidetector computed tomography angiography: a scientific statement from the American heart association committee on cardiovascular imaging and intervention of the council on cardiovascular radiology and intervention, and the councils on clinical cardiology and cardiovascular disease in the young. *Circulation* 2008; 118(5): 586-606.

問合先

〒060-8543 札幌市中央区南1条西16丁目
札幌医科大学附属病院放射線部 蝶野大樹