

# ダイナミックCT早期相における 大動脈造影効果改善を目的とした 推定心係数フラクショナルドーズ法有用性の検討

久場 匡<sup>1)2)</sup>徳重 明央<sup>2)3)</sup> 植田 真一郎<sup>2)3)</sup> 村山貞之<sup>4)</sup>

1) 沖縄県立中部病院

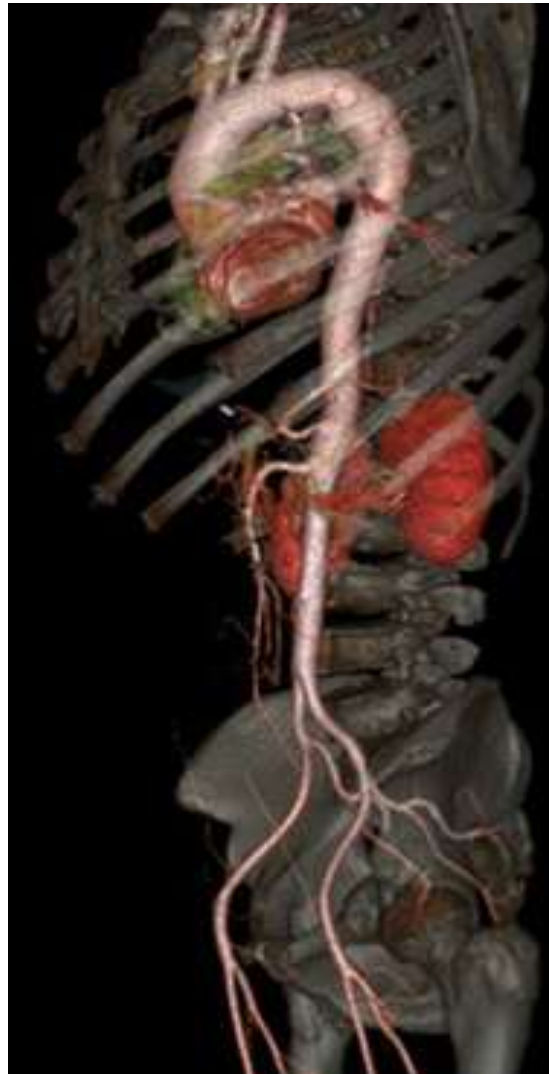
2) 琉球大学医学部大学院 医学研究科 臨床研究教育管理学講座

3) 琉球大学医学部大学院 医学研究科 臨床薬理学講座

4) 琉球大学医学部大学院 医学研究科 放射線診断治療学講座

## ダイナミックCT 早期相

Computed Tomography Angiography(CTA)などの血管3次元画像を作成でき、形状を把握しやすく臨床上有用である。



## CTA 目標CT値 300-350(HU)

K Higashigaito, et al. Radiology. 2016;280:960-968

⇒ 下回ることがある

⇒ CT値300未満 43%(128/298)

久場,et al.修士論文.2016:造影CT検査における早期相大動脈造影効果減弱に関連する影響因子の検討

## 冠動脈造影CT

患者体重に応じた造影剤投与量245mgI/kg

⇒ 上行大動脈CT値は患者間で最大300HU  
以上もばらつく

Matumoto et al. Eur Radiol. 2019;29(6):2998-3005

## 原因？

身長などのその他の**体格因子**や**心拍出量**の  
影響が無視できない

Matumoto et al. Eur Radiol. 2019;29(6):2998-3005

2016年 沖縄県立中部病院 ダイナミックCT早期相  
大動脈CT値300(HU)未満 予測因子は？

対象患者 頸部-胸腹部ダイナミックCT・造影剤1段30sec注入  
delaytime35sec・連続298例



FD: Fractional Dose(mgI/kg/sec)  
造影剤濃度  
注入量  
注入部位



身長	体重
BMI	性別
年齢	EC
心疾患既往	弁疾患既往
心拍数	血圧

## 2016年 沖縄県立中部病院 ダイナミックCT早期相 大動脈CT値 300 (HU)未満 予測因子は？

対象患者 頸部-胸腹部ダイナミックCT・造影剤1段30sec注入  
delaytime35sec・連続298例



造影剤因子

FD:17(mgI/kg/sec)

造影剤濃度

注入量

注入部位

←注入時間当たり体重当たりヨード量

名義ロジスティックス解析  
ROC解析



患者因子

身長

BMI

年齢:61(歳)

心疾患既往

心拍数

心拍出量と  
関連か

体重

性別

EC

弁疾患既往

血圧

2017年10月 CTA大動脈造影効果改善を目的

→推定心係数フラクショナルドーズ : 年齢・心機能・FDを考慮  
(eciFD:estimated cardiac index Fractional Dose)

心拍出量 高齢であるほど低下 Guyton AC, Hall JE. Text book of medical physiology.2006:232-233.

FD(mgI/kg/sec)高齢であるほど 心機能に関係なく 与  
安定した造影効果を得る

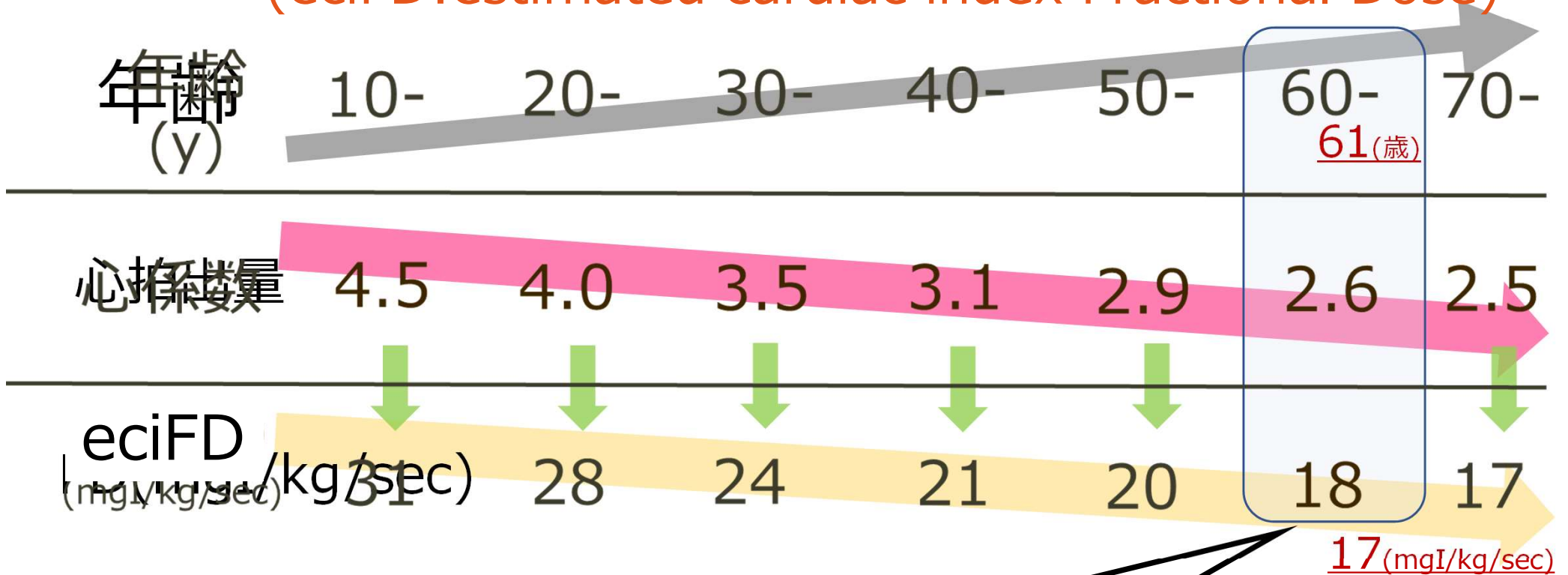
大動脈造影効果 高齢であるほど、心拍出量低下。心室内で造影剤濃度が上がる。  
TECピーク時間は延長するが、造影効果は上がる  
KT.Bae.et al.Radiology.1998;207:657-662

年齢 Low

High

2017年10月 CTA大動脈造影効果改善を目的

→推定心係数フラクショナルドーズ : 年齢・心機能・FDを考慮  
(eciFD:estimated cardiac index Fractional Dose)



大動脈CT値 **338±53**  
2016年  
「造影CT検査における  
早期相大動脈造影効果減弱に関連する  
影響因子の検討」より



推定心係数フラクショナルドーズ法 (eciFD法)がダイナミックCT早期相における大動脈造影効果改善に有用であるか検討した。

- Discovery750HD  
Light speed VCT ( GEヘルスケアジャパン)
- DUAL SHOT GX (根本杏林堂)
- 1.8ml×100cm ニプロエクステンションチューブ  
( NIPRO)
- シュアシールドサーフロー II 20G ( TERUMO)
- オイパミロン (イオパミドール) 300/370mgI  
: 50mℓ・100mℓ (富士製薬工業)
- イオベリン (イオヘキソール) 300/350mgI  
: 100mℓ シリンジ (テバ製薬)
- オムニパーク (イオヘキソール) 300mgI  
: 150mℓ シリンジ (第一三共)
- \* 37度程度に加温
- PACS (アストロステージ)
- JMP pro15.0 SAS社



# 撮影条件

•管電圧	120kvp
•管電流	AUTOmA (noise index=11.0-12.0)
•回転時間	0.5 sec/rot
•逐次近似応用再構成法	ASiR 50%
•Pitch	1.375 (1/rot)
•再構成スライス厚/スライス間隔	5mm/5mm
•再構成関数	std

# 対象患者

頸部胸部腹部ダイナミックCT

- ・eciFD法が中部病院でCTA撮影における推奨プロトコルとして認可した2017.10.1~2018.10.31
- ・造影剤一段注入
- ・スキャンディレイタイム決定法 ポーラストラッキング (BT) 腹腔動脈直上ROIトリガ180(HU)+ 6.7sec
- ・体重当たりヨード量  $600 \pm 100$  mgI/kg

N=105

末梢留置型中心静脈カテーテル特殊型	2
大動脈解離	3
大動脈ステント留置	2
大動脈瘤	2
大動脈瘤破裂	2
マルファン症候群	2

除外

N=92

投与FD  $\geq$  eciFD

eciFD group

n = 59

投与FD  $\leq$  eciFD

non-eciFD group

n = 33

## 患者背景

年齢

身長

体重

BMI(Body Mass Index)

BSA(Body Surface Area)

LBM(Lean Body Mass)

心拍出量 (Cardiac Output:CO)

心係数 (Cardiac Index:CI)

心拍数 (Heart Rate:HR)

収縮期血圧 (sBP)

拡張期血圧 (dBP)

推定糸球体濾過量 (eGFR)

脳梗塞 (非心原性)

心筋梗塞 (MI)

心不全 (HF)

冠動脈血行再建術 (CABG or PCI)

弁膜症(大動脈弁置換術 (AR) or 僧帽弁置換術 (MR) )

肺動脈性肺高血圧症

糖尿病 (DM)

高血圧症 (HT)

高脂血症 (HL)

末梢動脈疾患

肝硬変 (LC)

ECオーダー

## 造影背景

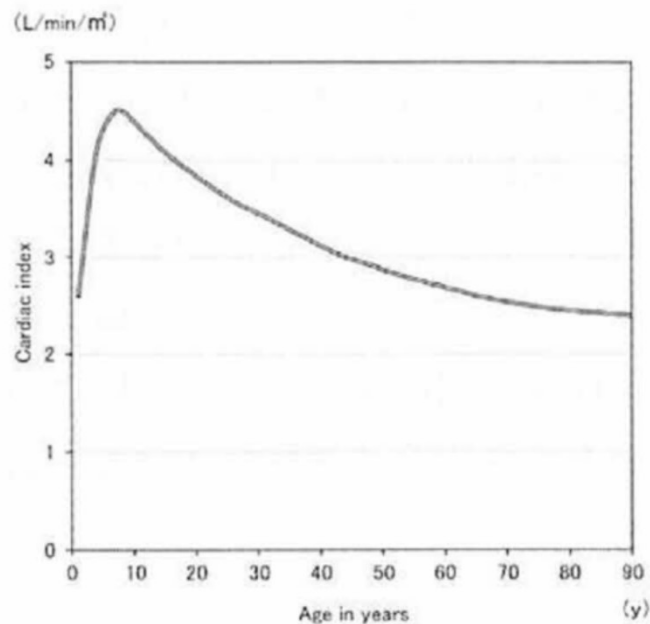
- 早期相 大動脈CT値  
肺動脈分岐部、腹腔動脈直上、大動脈分岐部 3か所平均
- 左上肢 (左IV)
- 体重当たりヨード量 (mgI/kg)
- FD (mgI/kg/sec)
- 注入時間
- Delay time
- Bolus Tracking

- BSA (Body Surface Area)

$$\text{BSA (m}^2\text{)} = \text{height}^{0.725} \times \text{weight}^{0.425} \times 0.7184$$

- CI (Cardiac Index)

年齢 → 心係数



X線撮影における標準化

～GULACTIC～(改訂2版)

Guyton AC, Hall JE. Text book of medical physiology. 11th edition. Philadelphia, Pennsylvania, Elsevier Sanders, 2006:232-233.

- LBM(Lean Body Mass)

Male

$$\text{LBM(kg)} = (1.1 \times \text{weight}) - 128 \left[ \frac{\text{weight}^2}{(100 \times \text{height})^2} \right]$$

Female

$$\text{LBM (kg)} = (1.07 \times \text{weight}) - 148 \left[ \frac{\text{weight}^2}{(100 \times \text{height})^2} \right]$$

- CO(Cardiac Output)

$$\text{CO (L/min)} = \text{CI} \times \text{BSA}$$



## ①eciFD vs non-eciFD

- ・大動脈CT値
- ・大動脈CT値 $300 \geq$

## ②名義ロジスティック解析

オッズ比(単変量・多変量)

目的変数

大動脈CT値 $300 \geq$

説明変数

- 1.eciFD
- 2.FD= $20 \pm 1$ mgI/kg/sec
- 3.男性
- 4.HR $\leq 80$ 拍/分
- 5.eGFR $\leq 40$ mL/分
- 6.心筋梗塞既往

- 連続変数

平均±標準偏差もしくは中央値と四分位値を表記

- 非連続変数

値とパーセンテージを表記

- 2群間の平均値の検定

連続変数

Studentのt検定

Wilcoxon順位和検定

Welchの検定

非連続変数

カイ2乗検定

# 患者背景

	eciFD (n=59)	non-eciFD (n=33)
年齡(y)	↑ 72(63-81)	50 (20-60)
身長(cm)	↓ 154.9±9.3	160.9±8.4
体重(kg)	↓ 54.0(47.0-61.2)	65.0(57.8-71.0)
BSA(m <sup>2</sup> )	↓ 1.49(1.39-1.68)	1.66(1.50-1.73)
LBM(kg)	↓ 40.9±4.4	43.5±5.0
心拍出量(L/min)	↓ 3.9(3.8-4.3)	4.9(4.1-6.4)
心係數(L/min/m <sup>2</sup> )	↓ 2.5(2.5-2.6)	2.8(2.6-3.3)
收縮期血壓(mmHg)	↑ 132±31	122±29
eGFR(mL/min)	↓ 67.2(53.5-86.2)	81.0(65.3-99.0)

# 患者背景

	eciFD (n=59)	non-eciFD (n=33)
年齢(y)	72(63-81)	50 (20-60)
身長(cm)	154.9±9.3	160.9±8.4
体重(kg)	54.0(47.0-61.2)	65.0(57.8-71.0)

## 有意差なし

性差

HR

脳梗塞既往\_心原性以外

冠動脈再建術

高脂血症

ECオーダ

BMI

心不全既往

弁疾患

糖尿病

末梢動脈疾患

拡張期血圧

心筋梗塞既往

肺動脈高血圧症

高血圧

肝硬変

収縮期血圧(mmHg)	132±31	122±29
-------------	--------	--------

eGFR(mL/min)	67.2(53.5-86.2)	81.0(65.3-99.0)
--------------	-----------------	-----------------

eciFD (n=59)

non-eciFD (n=33)

体重当たり

ヨード量(mgI/kg)

↑ 593±49.0

571±39.4

FD

20±1(mgI/kg/sec)

↑ 28(47.5%)

7(21.2%)

Scan

delay time(sec)

↑ 35(32-40)

32(30-35)

eciFD (n=59)

non-eciFD (n=33)

体重当  
ヨード量

有意差なし

FD (mgI/kg/sec)

20.0±1.7

19.4±3.1

1±39.4

FD

20±10

注入時間sec

30.3(30.3-30.3)

30.3(29.2-30.3)

21.2%)

左上肢IV

Scan

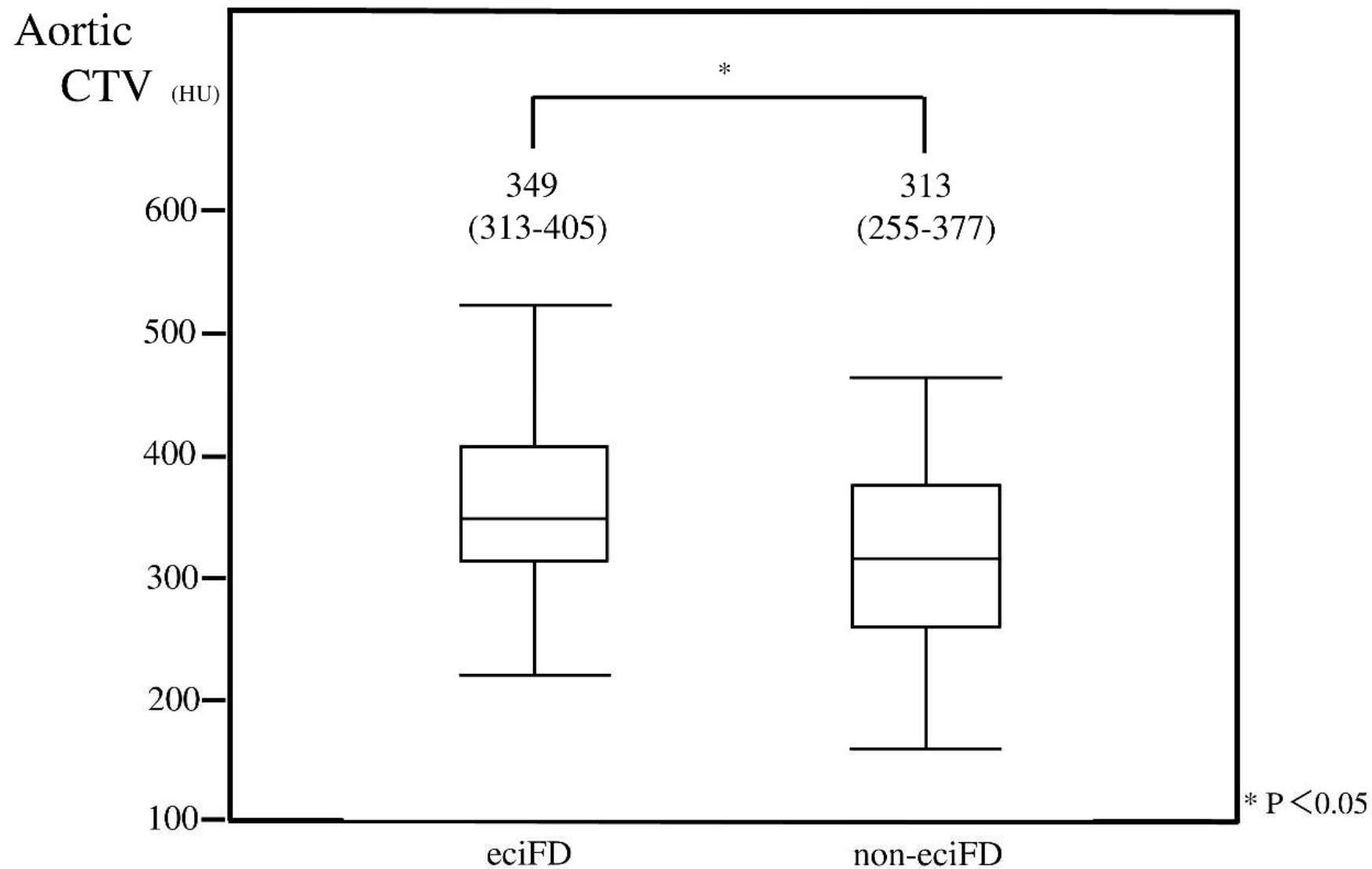
delay

19(32.2%)

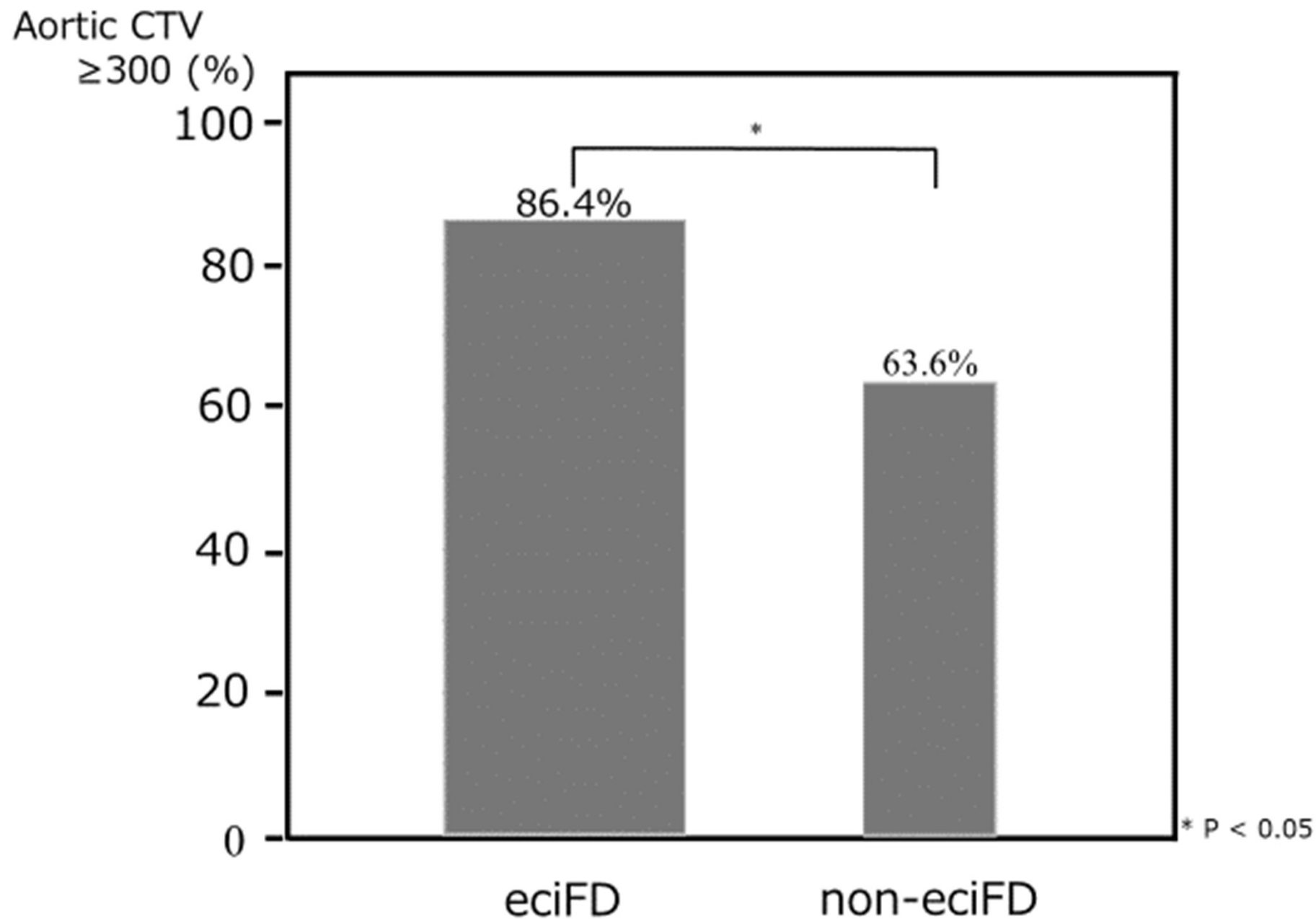
10(30.3%)

30-35)

# eciFD vs non-eciFD 大動脈CT值(HU) 比較



# eciFD vs non-eciFD 大動脈CT值 $\geq 300$ (%)比較





# 名義ロジスティック解析

	単変量	P値	多変量	P値
大動脈CTV $\geq 300$ 予測因子	OR(95%CI)		OR(95%CI)	
eciFD	3.8(1.2-12.2)	0.02	3.67(1.2-11.4)	0.02
FD=20 $\pm$ 1	1.18(0.42-3.32)	0.75	0.91(0.28-3.06)	0.91
男性	0.44(0.14-1.34)	0.15	0.47(0.14-1.54)	0.21
HR $\leq 80$	1.46(0.53-4.0)	0.46	1.45(0.49-4.33)	0.51
eGFR $\leq 40$	0.30(0.07-1.26)	0.10	0.43(0.08-2.21)	0.31
MI既往	0.5(0.13-1.87)	0.30	0.65(0.14-3.05)	0.58

# 名義ロジスティック解析

	単変量	P値	多変量	P値
大動脈CTV300 $\geq$ 予測因子	OR(95%CI)		OR(95%CI)	
eciFD	3.8(1.2-12.2)	0.02	3.67(1.2-11.4)	0.02
FD=20				0.91
男性				0.21
HR $\leq$				0.51
eGFR $\leq$				0.31
MI既往	0.5(0.13-1.87)	0.30	0.65(0.14-3.05)	0.58

eciFD 3.67(1.2-11.4) 0.02

OR(95%CI) P値

VIF(Variance Inflation Factor) > 5 なし

交互作用なし(P=0.76)

## ①eciFDプロトコル⇒大動脈CT値改善 なぜ？

⇒BTは造影剤到着からTECピークを精度よくとらえる。 KT.Bae. et al. Radiology. 2010;256:55

⇒しかし体格や心機能に対してFDが低い場合TECピーク形成がないと推測され、BTを使用してもCT値が低下する場合があると考えられる。

⇒心係数は心拍出量を体表面積で除している、体格と心機能を反映したパラメータであり、心係数によって考慮されたeciFDはTECピークの形成を補助し、BT併用CTAにおける大動脈CT値を強化している可能性が考えられた。

## ②臨床における利点

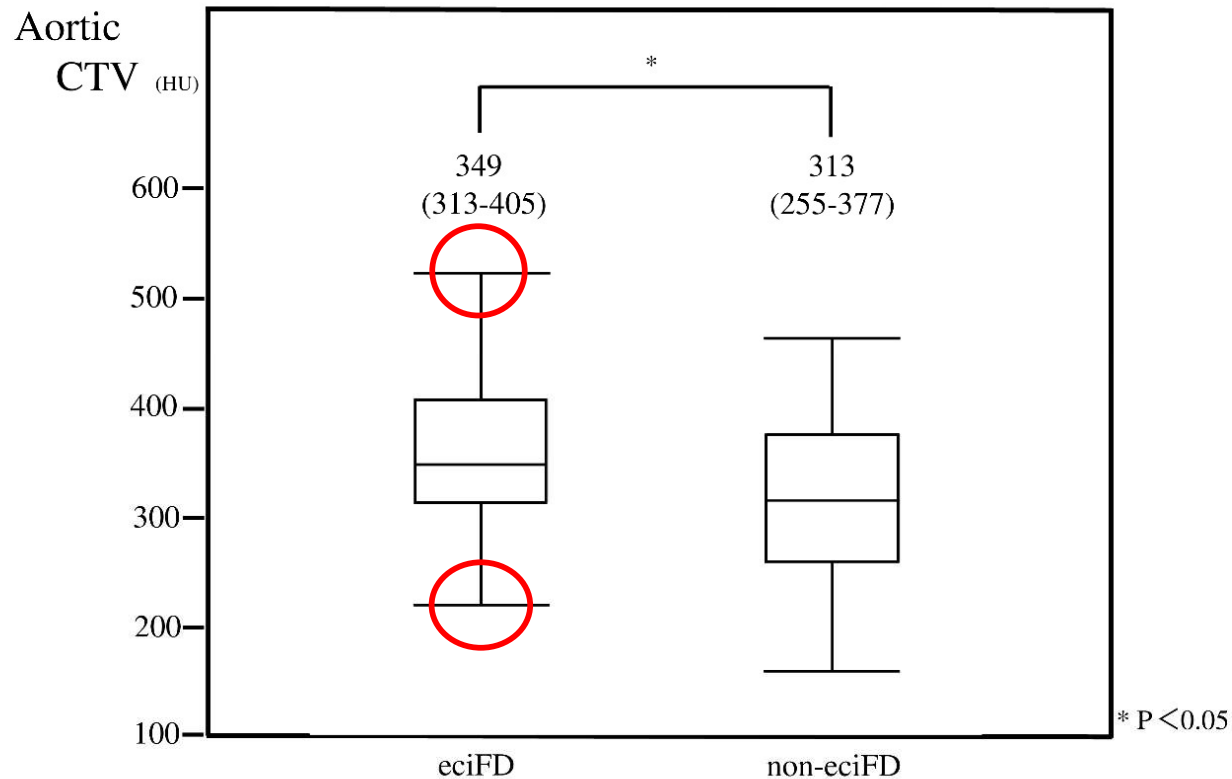
- ・ 高齢患者のCTAにおけるFDは低くてもよい。  
注入速度を落とすことができる。
  - ⇒IVラインを細くでき血管外漏出の可能性を下げることができるより非侵襲的な造影検査を行うことができる可能性がある。
- ・ 低管電圧撮影・dual energy CT・スパイラルフローチューブ
  - ⇒ 造影剤量・FD 1割～5割低減可能  
shuman WP et al. Acad Radiol. 2016;23:611-618..
  - ⇒CTAにおける造影剤量・注入速度低減の基準として利用できる。

### ③問題点

→ BTにおけるeciFD vs non-eciFD

大動脈CT値最大値～最小値差はやはり300HU程度あった。⇒ 年齢と実際の心係数との乖離

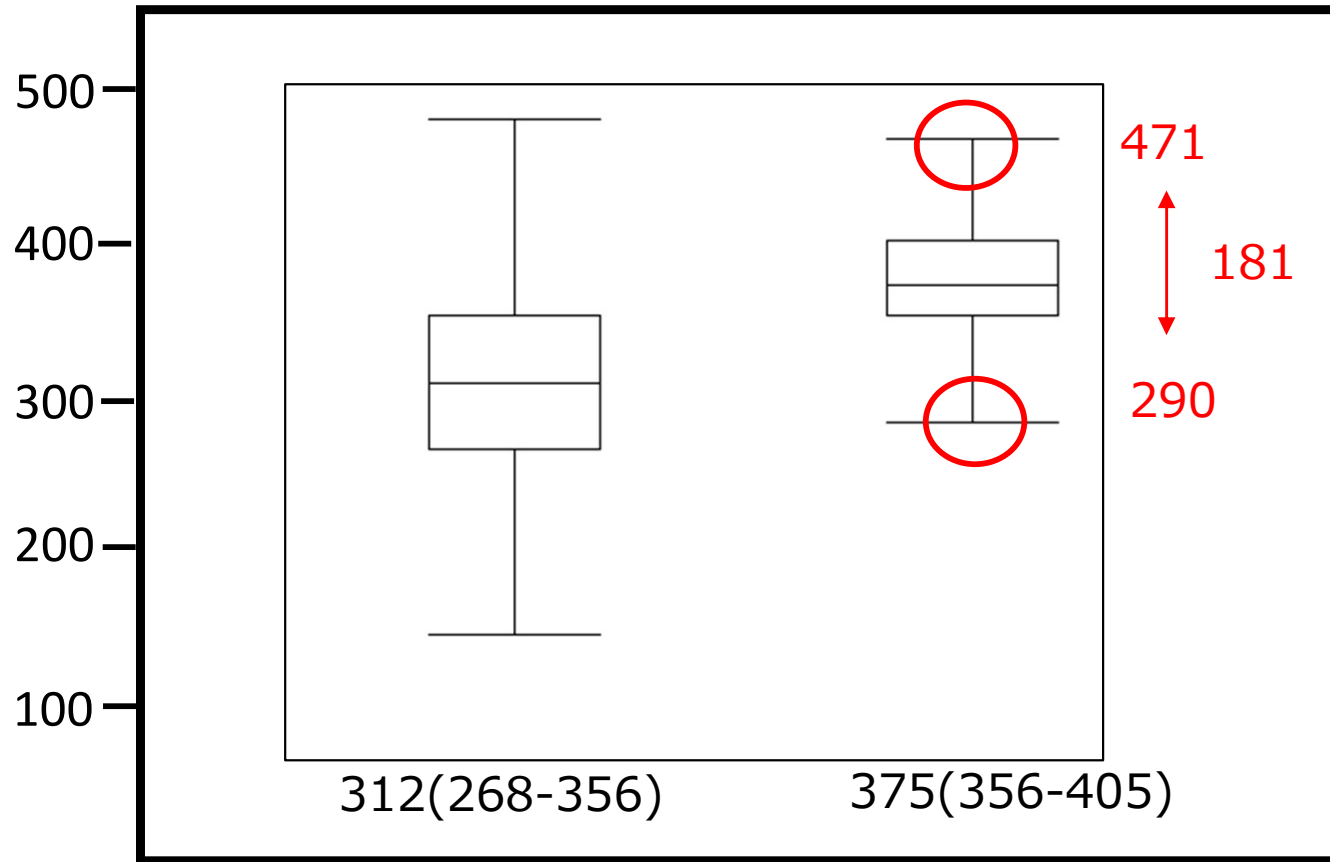
⇒ 改善策 心血管モニタによる心係数実測



### ③問題点

⇒ 改善策 心血管モニタによる心係数実測

Aortic  
CTV(HU)



デレイタイム固定35sec  
298例

心係数実測  
BT デレイタイム固定法35sec  
17例

各個人の年齢から推定した心係数を元に、ターゲットとしたCT値を得るeciFDプロトコルはボーラストラッキング法を用いたCTAにおいて大動脈造影効果の改善に有用であった。しかし、これらの知見は、無作為化比較試験で検証する必要がある。

## 造影シミュレーションソフトウェア

pCOP: patient-specific contrast enhancement optimizer

Matumoto et al. Eur Radiol. 2019;29(6):2998-3005

### 薬理学動態解析を応用

造影因子 造影剤の種類・注入量・注入速度・生食後押し

撮影因子 CT装置・管電圧

患者因子 体重・身長・心拍出量

➡ **動脈系 造影効果 最適化できる**

弱点⇒心拍出量は非侵襲的心血管モニタによって測定する必要  
があるが、装置は高額で一般的な装置ではない。

⇒そこでより精度の高い心係数を推定できる因子を生体データから探る検討

☆「心係数と関連する生体データの検討」2022年10月沖縄県放射線技師会学術大会

### 重回帰分析

心係数 =  $1.91 + 0.0008 \times (\text{腸腰筋面積}) + 0.007 \times (\text{eGFR}) + 0.09 \times (\text{女性} = 1)$   
 $- 0.07 \times (\text{高血圧あり} = 1) - 0.08 \times (\text{高脂血症あり} = 1) - 0.002 \times (\text{収縮期血圧})$



ご清聴ありがとうございました。



2024年 日本放射線医療技術学術大(JCRTM)  
第1回 in 沖縄  
10月31日～11月3日  
お待ちしております！