

## 造影理論を再考

- 心臓編 -

座長 秋田県立脳血管研究センター 放射線科診療部 佐々木 文昭(Sasaki Fumiaki)

### 【座長集約】

本年のテクニカルミーティングCT分野は造影理論の再考をテーマにCT-Angio(CTA)の撮影タイミング、造影効果の適正化に対して検討しました。造影剤の初回循環を捉えるCTAでは肝臓など実質臓器の造影法とはまた違った問題を抱えています。特に近年装置の多列化が進み、CTAの撮影時間は非常に短くなっており、それに伴い短くなった造影剤注入時間にタイミングを合わせることの重要性が増しています。撮影タイミングの決定法は従来行われていたBolus Tracking法(BT法)、Test Injection法(TI法)に加え、近年Test Bolus Tracking法(TBT法)が開発され普及してきています。また、造影効果の適正化に関しては体重当たりの注入レートを規定するFractional Dose法が一般的ですがCTAでは体格指標だけではなく心機能など循環動態の影響を大きく受け造影効果の変動を抑えることはなかなか困難です。

今回は撮影タイミングに関して青森県立中央病院放射線部の山本隆史さんより「TBT法における撮影タイミングの適正化」のタイトルで報告いただきました。TBT法の概要、TBT法とTI法での造影効果、検査所要時間の比較などを検討いただき、TBT法はスループットに優れ検査所要時間は短く、冠動脈の近位部から遠位部まで造影効果の均一性が保たれ、的確な

タイミングで撮影されていることが示されました。

造影効果の適正化に関してはみやぎ県南中核病院 放射線部の木村弘樹さんより「希釈Test Injection法による造影効果均一化の試み」のタイトルで報告していただきました。希釈TI法は混合注入による希釈造影剤をMain Bolusと同じ時間注入したTest Injectionから撮影タイミングを決定するものでMain Bolusのピーク時間を的確にとらえられる利点があります。この希釈TIのTECパラメータからMain Bolusの造影剤注入レートを設定することでFractional Dose法に比べ造影効果のばらつきを抑えられ、患者個々の循環動態を考慮した造影剤注入レート設定の可能性が示されました。

今回、お二人の演者に冠動脈CTAにおける撮影タイミング、造影効果の適正化について検討していただきました。対象を冠動脈として検討していますがCTA全般に応用できる内容であったと考えます。この場を借りて演者のお二人に感謝申し上げます。

2年間に渡り造影理論をメインテーマにテクニカルミーティングを企画させていただきました。私自身非常に勉強になりましたし、造影の難しさ、奥深さ、そして面白さを感じる事ができました。ご参加いただきました皆様に少しでも役立つ情報を提供できていましたら幸いです。

## TBT 法における撮影タイミングの適正化

青森県立中央病院 放射線部 山本 隆史(Yamamoto Takafumi)

### 【はじめに】

冠動脈等の血管系の撮影タイミングとしてBolus Tracking(BT)法やTest Injection(TI)法及びTest Bolus Tracking(TBT)法がある。当院の心臓CTはテスト注入のTime Enhancement Curveのピーク(テストピーク)を用いた造影剤手技が2回のTI法を使用していたが、2012年7月からは造影剤手技が1回のTBT法を使用している。今回、TBT法に関する検討としてTI法との比較及びTBT法における撮影タイミングの検討を行ったので報告する。

### 【装置】

使用装置はDiscovery CT 750HD(GEヘルスケア・

ジャパン)、造影剤自動注入器はDual Shot GX V(根本杏林堂)である。

### 【検討項目】

#### 1.TBT法とTI法の比較

##### 1-1.CT値と造影効果の均一性

TBT法及びTI法から得られた冠動脈のCT値を計測した。CT値は冠動脈ACA/AHA分類におけるセグメント#1・#3・#5・#8から計測したCT値の平均とした。均一性は冠動脈の計測セグメント間における造影効果の均一性を変動係数としてcoefficient of variation in measured segments(Seg.CV)で評価した。Seg.CVは冠動脈の計測セグメ

Table 1 撮影及び注入条件

	TBT法	TI法
注入速度	25.9 mgI/kg/sec	
テスト注入時間	2~3 sec	15 ml/本番の速度
本番注入時間	12 sec	
テストScan間隔	1 sec	2 sec
モニタリング位置	上行大動脈起始部	
撮影タイミング	ピーク +15 sec	ピーク +3 sec
本番撮影時間	8 ~ 10 sec	

Table 3 方法 2-1 の患者背

	1 秒後	2 秒後	3 秒後
年齢 (歳)	72.1 ± 8.1	65.6 ± 10.4	70.6 ± 10.1
人数 (n)	38	24	23
男性	31	18	19
女性	7	6	4
体重 (kg)	62.1 ± 11.8	63.7 ± 15.7	60.4 ± 13.0
心拍数 (bpm)	64.7 ± 7.4	61.7 ± 7.4	67.7 ± 15.1

ント間におけるCT値の平均を標準偏差で除した値とし百分率で表した。

#### 1-2. 上行大動脈と下行大動脈のCT値

上行大動脈起始部のCT値と同じアキシャル断面の下行大動脈のCT値を計測した。

#### 1-3. 検査時間

位置決め画像から本スキャンまでの検査時間を計測した。計測時間にはβブロッカー投与や血管確保などの時間は含まれないとする。

撮影および注入条件はTable 1、患者背景をTable 2に示す。

#### 2. 撮影タイミングの検討

##### 2-1. テストピークからトリガーのタイミングと本スキャンのCT値

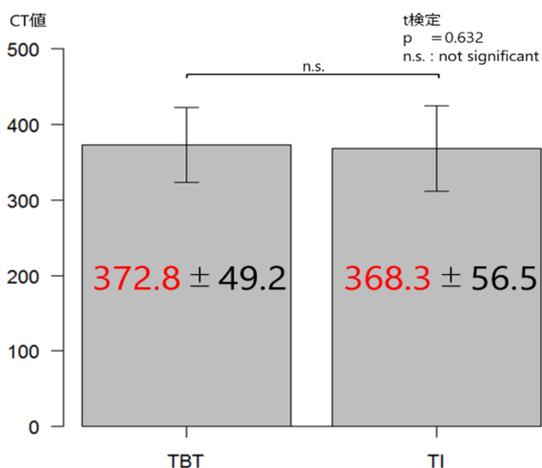


Fig.1 CT 値の比較

Table 2 方法 1 の患者背景

	TBT法	TI法
年齢 (歳)	69.1 ± 10.2	72 ± 9.7
人数 (n)	91	49
男性	74	25
女性	17	24
体重 (kg)	63.0 ± 14.4	60 ± 10.8
心拍数 (bpm)	64.0 ± 10.8	62 ± 9.2

Table 4 方法 2-2 の患者背景

	2 秒群	3 秒群
年齢 (歳)	70.9 ± 9.4	67.7 ± 10.2
人数 (n)	45	43
男性	35	36
女性	10	7
体重 (kg)	62.9 ± 13.1	63.4 ± 15.3
心拍数 (bpm)	63.8 ± 9.7	64.7 ± 12.0

テストピークからトリガーまで1秒後・2秒後・3秒後のタイミングで得られた本スキャンのCT値を検討項目1-1と同様に計測した。患者背景をTable 3に示す。

##### 2-2. テスト注入時間とテストピークまでの時間

テスト注入時間2秒群と3秒群の造影剤が到達してからテストピークまでの時間を計測した。患者背景をTable 4に示す。

##### 2-3. テスト注入時間とテストピークのCT値及び本スキャンのCT値

テスト注入時間2秒群と3秒群におけるテストピークのCT値を計測した。同時に本スキャンの冠状動脈のCT値を1-1と同様に計測した。患者背景は方法2-2と同じである。

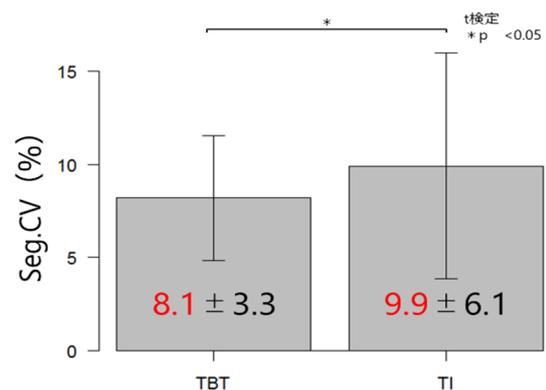


Fig.2 Seg.CV

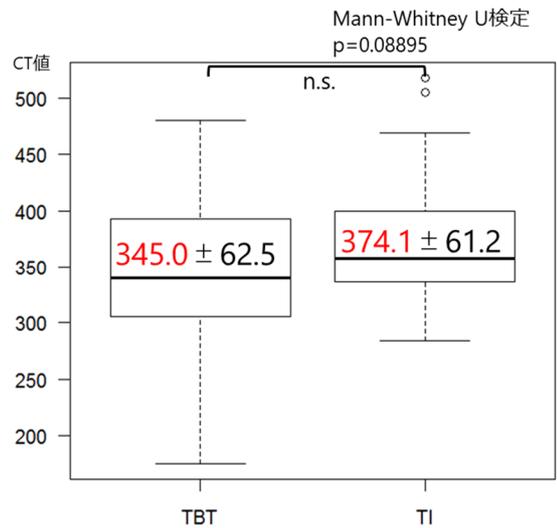
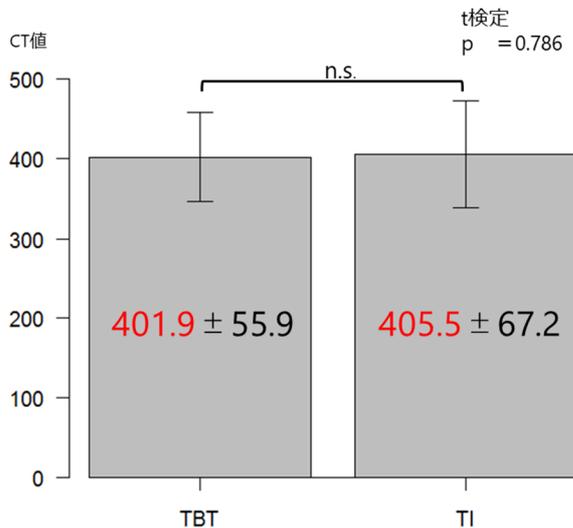


Fig.3 上行大動脈(左図)と下行大動脈(右図)に対する各方法のCT値

【結果】

1-1. CT値と造影効果の均一性

冠状動脈のCT値計測ではTBT法は372.8 ± 49.2、TI法は368.3 ± 56.5であり両方法に有意差は無かった (Fig.1)。造影効果の均一性としてのSeg.CVではTBT法は8.1 ± 3.3%、TI法は9.9 ± 6.1%であり、TBT法のSeg.CVが有意に低い値(p<0.05)を示し造影効果の均一性が良い結果となった (Fig.2)。TI法に比べTBT法が撮影タイミングの精度が良いと考えられる。

1-2. 上行大動脈と下行大動脈のCT値の比較

上行大動脈のCT値はTBT法が401.9 ± 55.9、TI法が405.5 ± 67.2であり有意差は無かった。下行大動脈のCT値は345.0 ± 62.5、TI法は374.1 ± 61.2であり有意差は無かったが、TI法に比べTBT法がCT値30程低くバラつきが大きかった (Fig.3)。この原因として上行大動脈のピークでタイミングを合わせているためだと考えられる。

1-3. 検査時間の比較

TBT法の検査時間は297.1 ± 51.4秒、TI法の検査時間は514.8 ± 122.5秒であり、TBT法の検査時

間が有意に低い値(p<0.01)を示しTI法の検査時間に比べ約40%検査時間が短縮した (Fig.4)。

2-1. テストピークからトリガーのタイミングと本スキンのCT値

テストピークからトリガーまで1秒後の本スキンのCT値は377.9 ± 46.8、2秒後は374.3 ± 47.6、3秒後では374.8 ± 48.1であり有意差は無かった (Fig.5)。

2-2. テスト注入時間とテストピークまでの時間

2秒群は4.4 ± 1.5秒、3秒群は4.9 ± 2.5秒で有意差は無かった (Fig.6)。

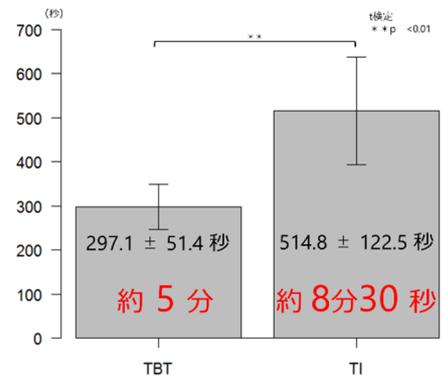


Fig.4 検査時間

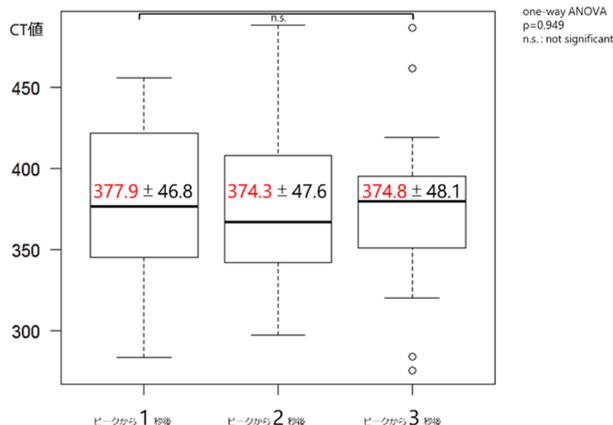


Fig.5 ピークからトリガーのタイミング

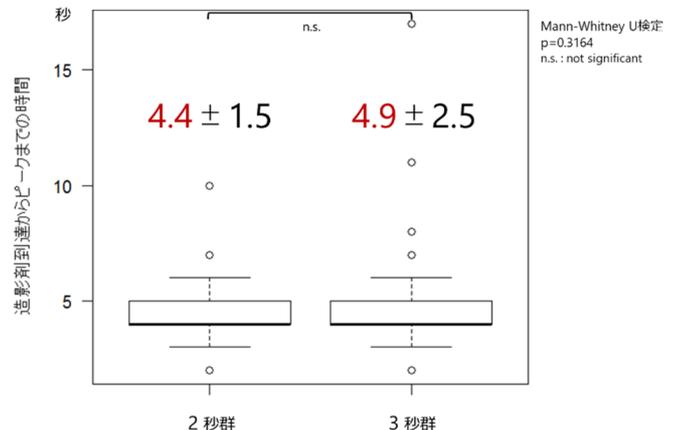


Fig.6 テスト注入時間とテストピークまでの時間

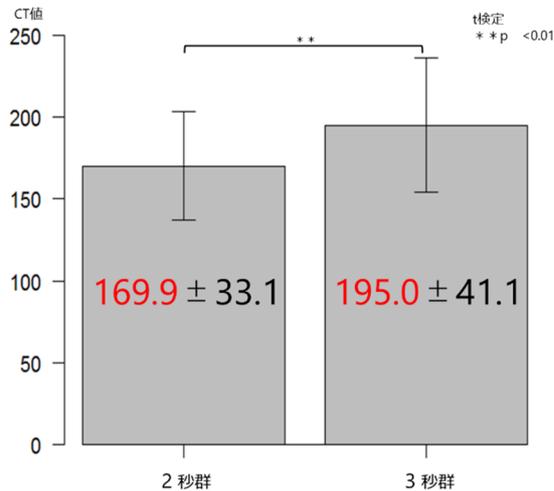


Fig.7 テスト注入時間とテストピークの CT 値

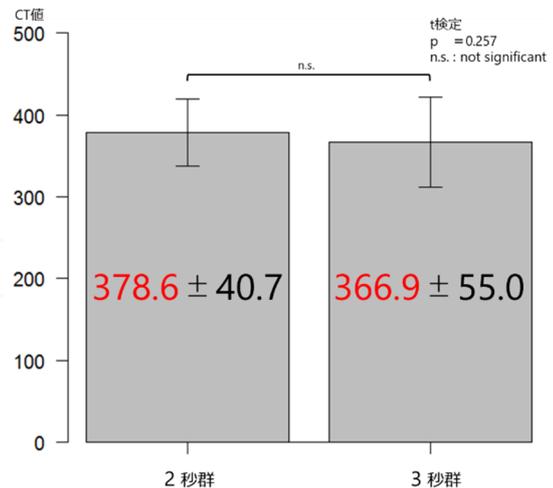


Fig.8 テスト注入時間と本スキャンの CT 値

### 2-3. テスト注入時間とテストピークのCT値及び本スキャンのCT値

2秒群は $169.9 \pm 33.1$ 、3秒群では $195.0 \pm 41.1$ で3秒群が有意に高い値 ( $p < 0.01$ ) を示した (Fig.7)。テスト注入時間と本スキャンのCT値では2秒群は $378.6 \pm 40.7$ 、TI法は $366.9 \pm 55.0$ で有意差は無かった (Fig.8)。

### 【まとめ】

TBT法はTI法に比べ簡便で検査時間も短く、同等のCT値が得られる。また、冠状動脈近位部から遠位部まで造影効果の均一性に優れた撮影が可能である。

### 【参考文献・図書】

- 1) 山口隆義 他: 超実践マニュアル心臓CT 医療科学社
- 2) 寺沢和晶 他: CT造影技術 メディカルアイ
- 3) 山口隆義; 高橋大地. 新しい造影方法である test bolus tracking 法の開発と、冠状動脈 CT 造影検査における有用性について. 日本放射線技術学会雑誌, 2009, 65:8: 1032-1040.

## 希釈 Test Injection 法による造影効果均一化の試み

みやぎ県南中核病院 放射線部 木村 弘樹(Kimura Hiroki)

### 【はじめに】

冠動脈CTの撮影タイミングに関しては従来Bolus Tracking法 (BT法) やTest Injection法 (TI法) が使用されているが、近年BT法とTI法のメリットを組み合わせたTest Bolus Tracking法が普及している。当院では希釈した造影剤を用いMain Bolusと同時間の注入でTest Injectionを行い、Fractional DoseによりMain Bolusの注入レートを決定する希釈TI法で冠動脈CTを行っている。

しかし、造影効果に関してFractional Doseにより注入レートを決定する方法では、患者個々の循環動態などの違いによってばらつきが生じてしまう。造影効果が高すぎる場合必要以上に造影剤を注入していることとなり、また低い場合冠動脈自体の正確な評価ができていない可能性がある。さらに造影効果のばらつきは再現性も不明であり結果としてブルーミングアーチファクトよりプラーク性状の評価にも影響を与えてし

まう。

そこで今回、希釈TI法におけるTest InjectionのTime Enhancement Curve (TEC) より得られるパラメータ、および患者パラメータからMain Scanの造影効果を推測し、造影効果均一化は可能か検討したので報告する。

### 【方法】

装置はDiscovery750HD (GEヘルスケア) でインジェクターはSTELLANT (MEDRAD) を使用した。当院における希釈TI法の撮影プロトコルをTable 1に示す。当院では全体重においてTest Injectionの注入プロトコルを固定して行っている。なお、Fractional Doseによる最大注入レートを $5.0 \text{ ml/s}$ と設定しているため体重 $72 \text{ kg}$ 以上の症例は除外した。また全症例使用造影剤は370濃度、生理食塩水は $100 \text{ ml}$ を使用した。

Table 1 当院における希釈 TI 法

項目	造影剤			後押し生食	
	造影剤	注入速度 (ml/s)	注入時間 (s)	注入量 (ml)	注入速度 (ml/s)
Test Injection	造影剤40%+生食60%	2.0	10	30	4
Main Scan	造影剤100%	体重×0.07	10	30	4

## 1. 造影効果に影響を与える因子の特定

希釈TI法を使用し撮影した88例を対象に年齢、体重、平均心拍数、Testピーク大動脈上昇CT値 ( $\Delta HU(\text{test})$ )、Testピーク到達時間における重回帰分析より造影効果に影響を与える因子を特定した。

## 2. 造影効果均一化を目的とした注入レート設定法の決定

1.の結果より造影効果が目標CT値となる計算式を重回帰分析より決定し、その計算式を変換することで注入レートを算出するExcelシートを作成した。

## 3. 臨床評価

2.を用いて目標CT値を350HUと設定し、Main Bolus注入レートを算出して注入する方法を新法とする。新法において冠動脈CTを行った体重72kg未満45例における造影効果について旧法と比較した。

## 【結果】

## 1. 造影効果に影響を与える因子の特定

造影効果の指標として注入レートあたりの上行大動脈上昇CT値  $\Delta HU(\text{main})/\text{ml}/\text{sec}$ を使用した。重回帰分析の結果をTable 2に示す。また対象患者背景をTable 3に示す。重回帰分析の結果よりT境界値(2.63)に対して年齢、平均心拍、Testピーク到達時間のT値絶対値は小さかった。しかしながら、体重と  $\Delta HU(\text{test})$ のT値絶対値は大きな値を示したため、造影効果に影響を与える因子として体重と  $\Delta HU(\text{test})$ であると特定した。

Table 2 重回帰分析

項目	係数	T-値	P-値	補正R2
切片	119.39	4.38	<0.01	0.62
年齢	-0.05	-0.30	0.77	
体重 (kg)	-1.24	-6.54	<0.01	有意F
$\Delta HU(\text{test})$	0.50	6.66	<0.01	
心拍平均数	-0.14	-1.09	0.28	<0.05
Testピーク到達時間	-0.10	-0.20	0.84	

Table 3 患者背景

項目	N=88	
性別	男性	女性
症例数	49	39
年齢 (歳)	70.4±9.0	71.7±11.5
体重 (kg)	61.7±5.9	51.1±7.0

Table 4 体重と  $\Delta HU(\text{test})$ における重回帰分析

項目	係数	T-値	P-値	補正R2
切片	102.06	7.22	<0.01	0.64
体重 (kg)	-1.20	-7.30	<0.01	有意F
$\Delta HU(\text{test})$	0.51	7.50	<0.01	<0.05

## 2. 造影効果均一化を目的とした注入レート設定法の決定

1.の結果より体重と  $\Delta HU(\text{test})$ を使用し重回帰分析した結果をTable 4に示す。補正R2は0.64、 $F < 0.05$ 、それぞれ $P < 0.01$ という結果からこの係数を用い、注入レートあたりの上行大動脈上昇CT値を求める計算式は以下の通りとなる。

$$\Delta HU(\text{main})/\text{ml}/\text{sec} = -1.2 * \text{体重} + 0.51 * \Delta HU(\text{test}) + 102.1 \dots (1)$$

この計算式を変換するとMain Scanの注入レートを求める計算式は以下の通りとなる。preAAとはPlain撮影時における上行大動脈CT値である。

$$\text{ml}/\text{sec} = (\text{目標CT値} - \text{preAA}) / (-1.2 * \text{体重} + 0.51 * (\text{HU}(\text{test}) - \text{preAA}) + 102.1) \dots (2)$$

目標CT値に対する注入レートを算出するExcel作成シートをTable 5に示す。体重、preAA、 $\Delta HU(\text{test})$ を入力することで注入レートを求めることが可能となる。

## 3. 臨床評価

新法の撮影プロトコルをTable 6に示す。また、臨床評価対象患者背景をTable 7に示す。旧法88例における $\Delta HU(\text{main})$ と新法45例における $\Delta HU(\text{main})$ を比較した(Fig.1)。

新法において目標CT値は350HUと設定していたが平均368HUという値を示した。SDは旧法62.1から新法29.2と有意に低い値を示した。変動係数では旧法0.154から新法0.079とほぼ半分抑えた

Table 5 注入レート算出Excelシート

目標CT値	体重	PreAA	$\Delta HU(\text{test})$ 値	注入レート
350	60	34	154	3.5

Plainの上行大動脈CT値を入力する	切片	102.0619
	体重	-1.19774
	$\Delta HU(\text{test})$ 値	0.506323

Testピーク上行大動脈CT値を入力する

Table 6 新法

項目	造影剤			後押し生食	
	造影剤	注入速度 (ml/s)	注入時間 (s)	注入量 (ml)	注入速度 (ml/s)
Test Injection	造影剤40%+生食60%	2.0	10	30	4
Main Scan	造影剤100%	Excelシートより算出	10	30	4

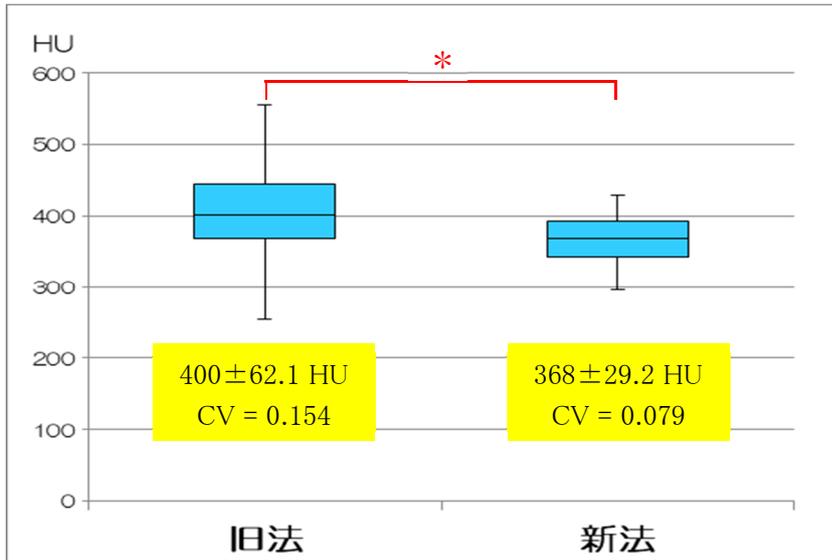


Fig. 1 旧法と新法の比較

Table 7 対象患者背景

項目	N=45	
	男性	女性
性別		
症例数	25	20
年齢 (歳)	70.8±9.2	70.8±8.4
体重 (kg)	61.9±5.8	54.3±7.6

\* : p&lt;0.01, , by Mann-Whitney's U test

Table 8 各セグメントにおける平均 CT 値

項目	#1	#3	#5	#7	#9	#11	#13
旧法	395.6	377.8	416.2	389.9	334.2	376.0	343.1
新法	354.3	344.1	357.7	328.9	299.3	331.7	302.6

結果となった。

各セグメントにおける平均CT値をTable 8に示す。新法において#1、#3、#5では約350HUという値を示したが、#9では300HUを下回るやや低い値となった。

#### 【考察】

目標CT値350HUに対してMain Scan上行大動脈CT値は368HU±29.2HUと高い精度を示した。今回の検討から、体重規定法による注入レートの設定では不可能であった個々の患者パラメータにおける影響を加味した注入方法を提示することができた。患者間の造影効果のばらつきを抑えることで冠動脈解析結果の精度を向上することが可能となるだけでなく、再現性も高い造影剤注入方法の決定ができると考えられる。

しかし、50HU低い値を示した症例も存在したため、冠動脈末梢において300HUを下回ることのないよう目標CT値を再検討する必要がある。また、元々TI法は煩雑な撮影法であるにもかかわらず、Plainにおけ

#### 【参考図書】

- 1) 城戸 輝仁 : 冠動脈CTにおける希釈造影法の有用性 INNERVISION (25・10) 2010
- 2) 三好 利治 : 生理食塩水後押し効果の基礎的検討 MDCT至適造影法を語る会 第3回学術大会 64列心臓MDCTの造影法 エーザイ

る上行大動脈CT値の測定やExcel計算シートへの入力と作業がより煩雑となることで、検査時間の増加や人為的なミスを起こす可能性がある。そのため、操作手順の見直しや撮影者の訓練を行うことも必要と考えられる。

また、今回の検討では体重72kg未満を対象としているため、それ以上の体重の場合頭打ち注入速度5.0ml/sで注入している。今後高体重群に対してどのように注入すべきか検討する必要がある。

#### 【まとめ】

今回の検討から、希釈TI法におけるTest InjectionのTECより得られた上行大動脈CT値および体重を用い、重回帰分析の結果より得られた計算式を使用することでMain Scanの造影効果を高精度で推測することができた。患者パラメータを加味した注入法となるため体重規定法による注入レートの決定よりばらつきを抑え、造影効果の均一化が可能となり、再現性の良い検査を行えることから臨床に有用であると考えられる。