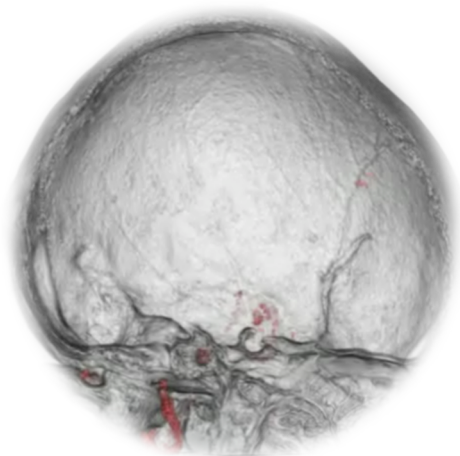
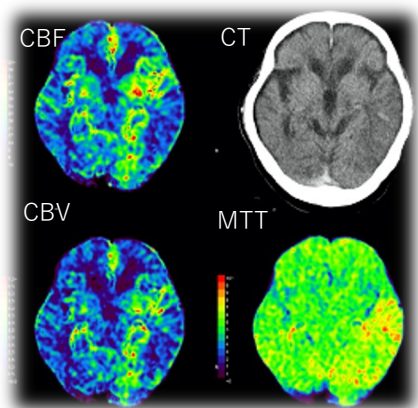


造影検査の現状と未来 ~ 「平成」 から 「令和」 へ

未来への造影技術

4D-CTAの新たな展開

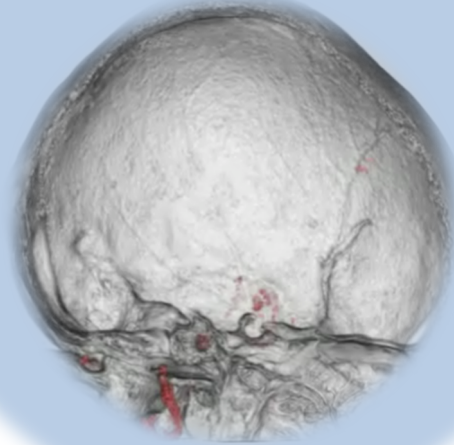


佐賀県医療センター好生館
三井 宏太

4D-CTAを考える上で被ばく線量の増加は最大の課題

※ 撮影範囲の制限もあるけど..

1. 血流評価



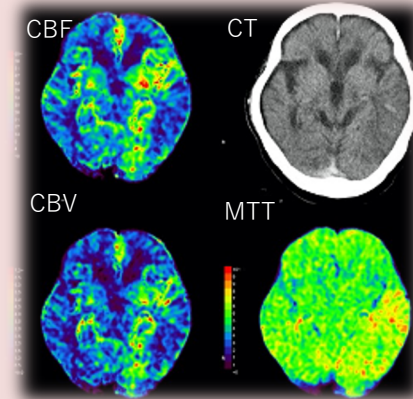
血管造影検査と比べて

- 低侵襲
- 多断面での観察に優れる
- 時間分解能・空間分解能に劣る
- 非選択的（経静脈的）造影

良い点

悪い点

2. 機能評価



核医学検査と比べて

- 簡便に行える
- 薬剤の挙動が異なる

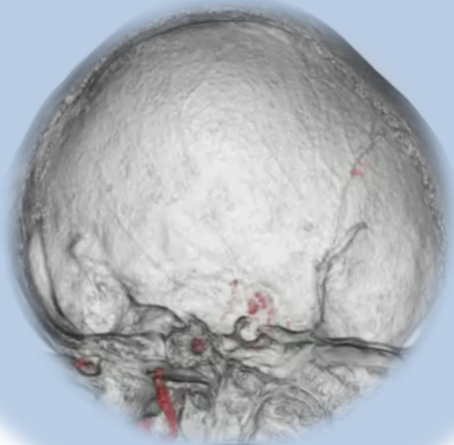
良い点

悪い点

4D-CTAを考える上で被ばく線量の増加は最大の課題

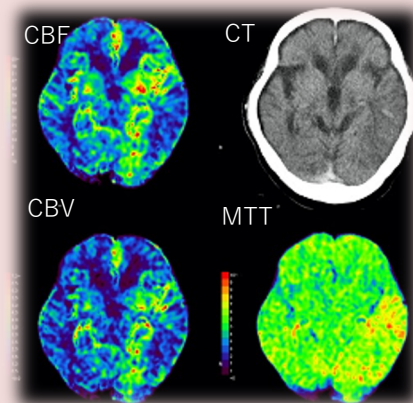
- 撮影時相の縮減（血流情報の低下）
- 低線量撮影（空間分解能の低下）

1. 血流評価



視認性の低下

2. 機能評価



各種パラメータの精度の低下

空間分解能を維持しつつ, 血流情報を付加したい

□ 撮影線量の確保



□ 多時相撮影

現状はどちらかが優先

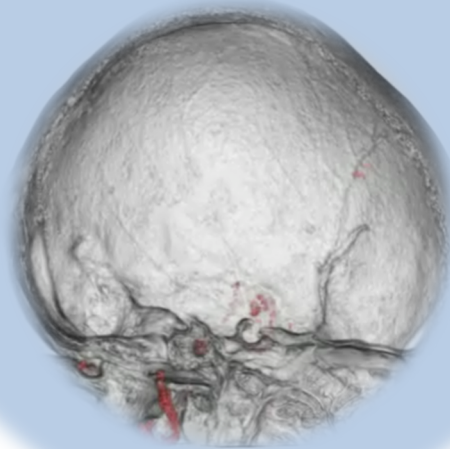
□ 再構成方法の変更

(deep learning reconstruction等)

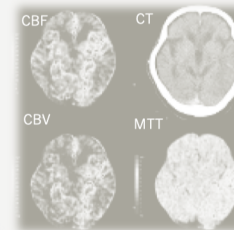
□ 時相の補間

※撮影範囲の制限がなくなる

1. 血流評価



2. 機能評価



撮影時相の補間について

アニメーション制作の分野では、フレーム補間技術が以前から用いられている

ボクセルトラッキング等の特殊な技術が必要

4D-CTAに適応できないか？

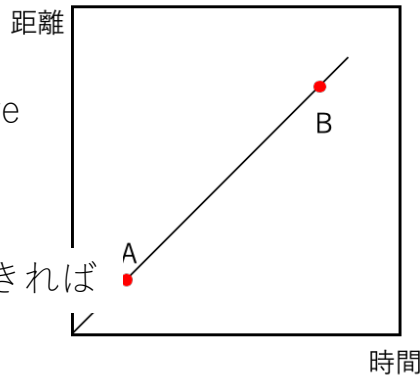
- ◆ 【物体の動きに対する補間】 → 肺, 骨など
- ◆ 【CT値変化に対する補間】 → 血管系

□ リニア補間

=Time Enhancement Curve (TEC)

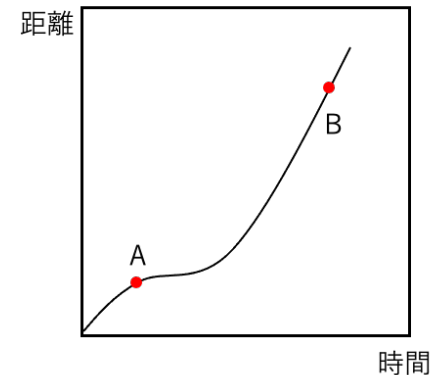


TEC上のCT値を画像化できれば



フレーム補間は等間隔

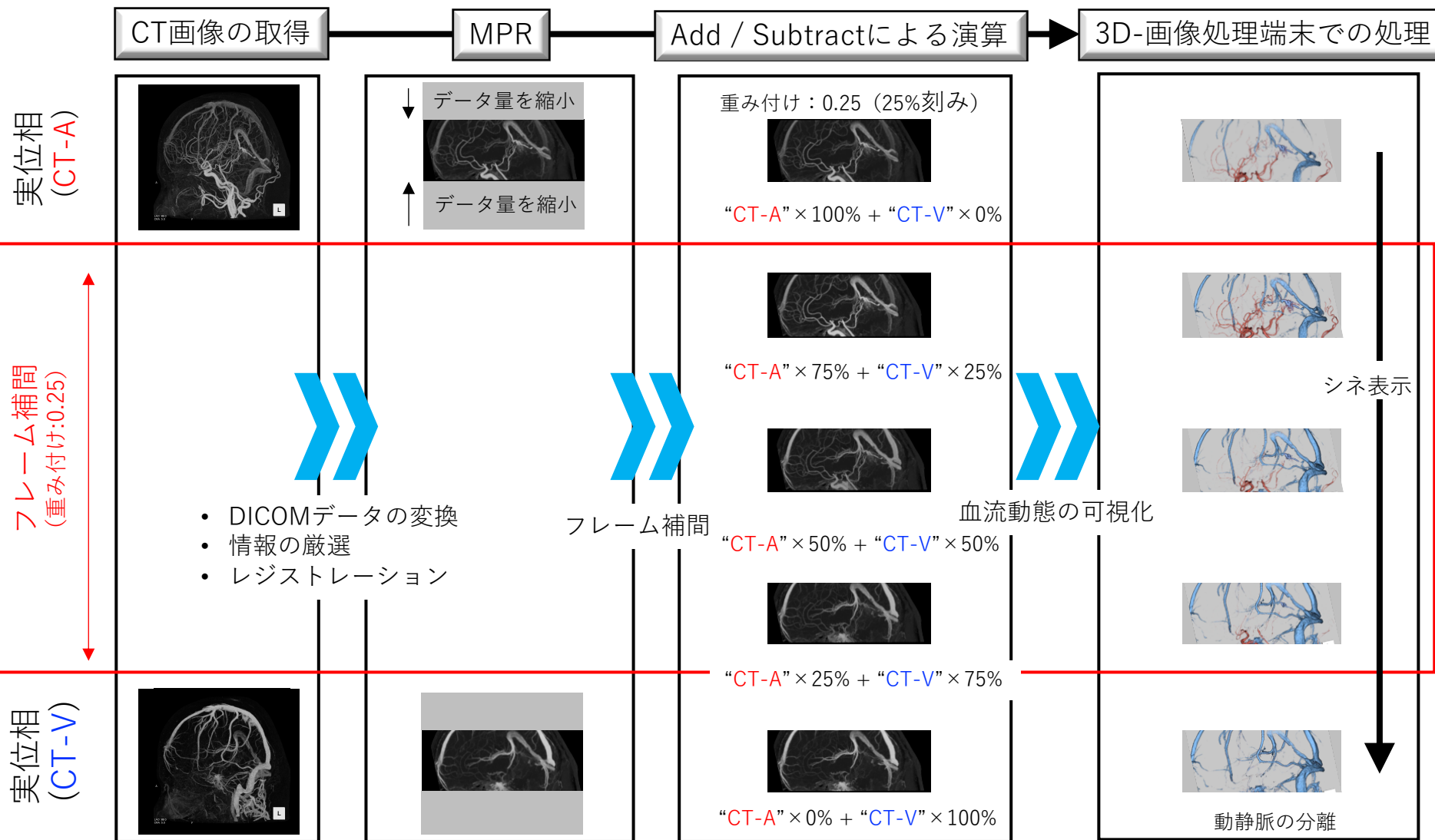
□ ベジエ補間



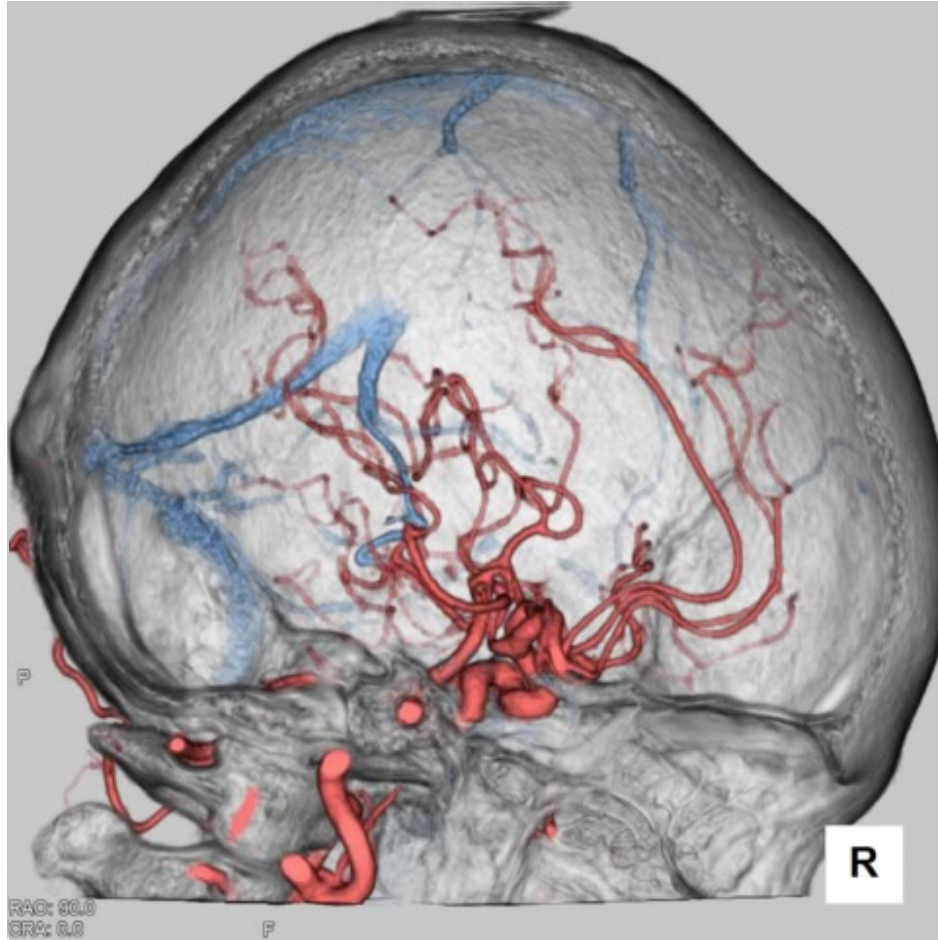
フレーム補間は非等間隔

図1：代表的なフレーム補間技術

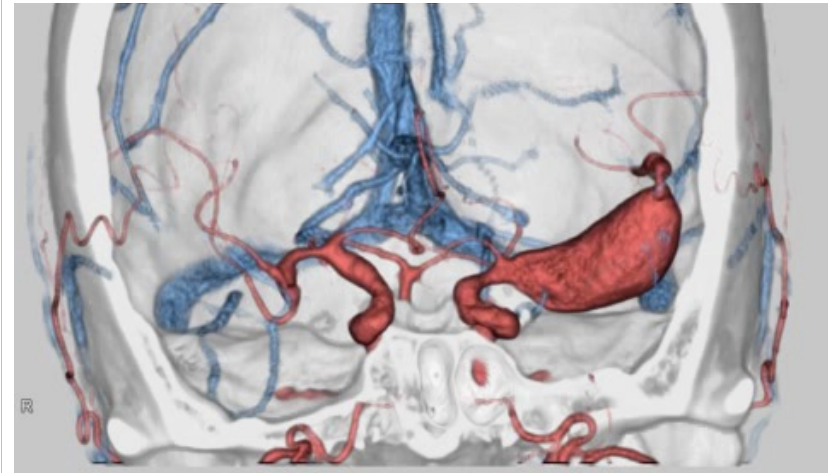
【疎】の多時相データにおけるフレーム補間の方法



フレーム補間技術の臨床応用

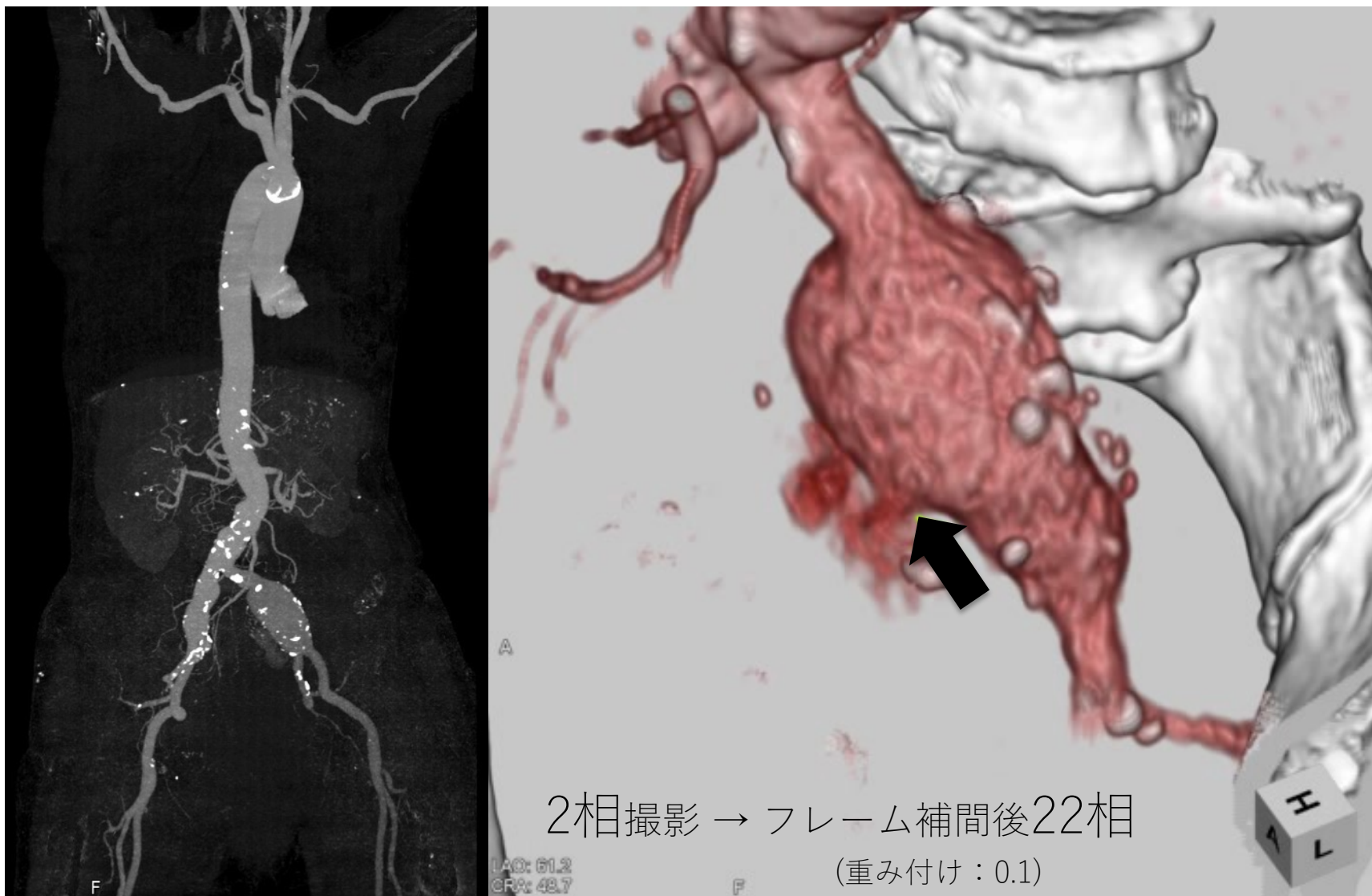


6相撮影 → フレーム補間後22相
(重み付け：0.25)



2相撮影 → フレーム補間後22相
(重み付け：0.1)

フレーム補間技術を適応できれば撮影範囲の制限がなくなる



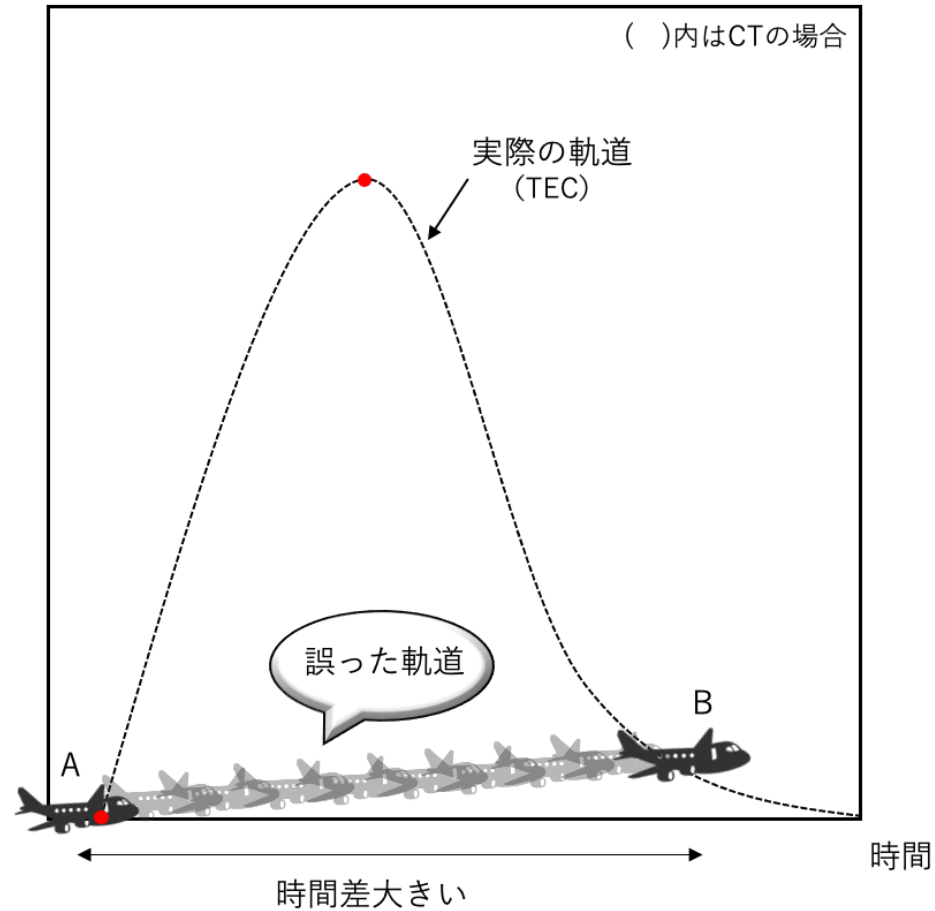
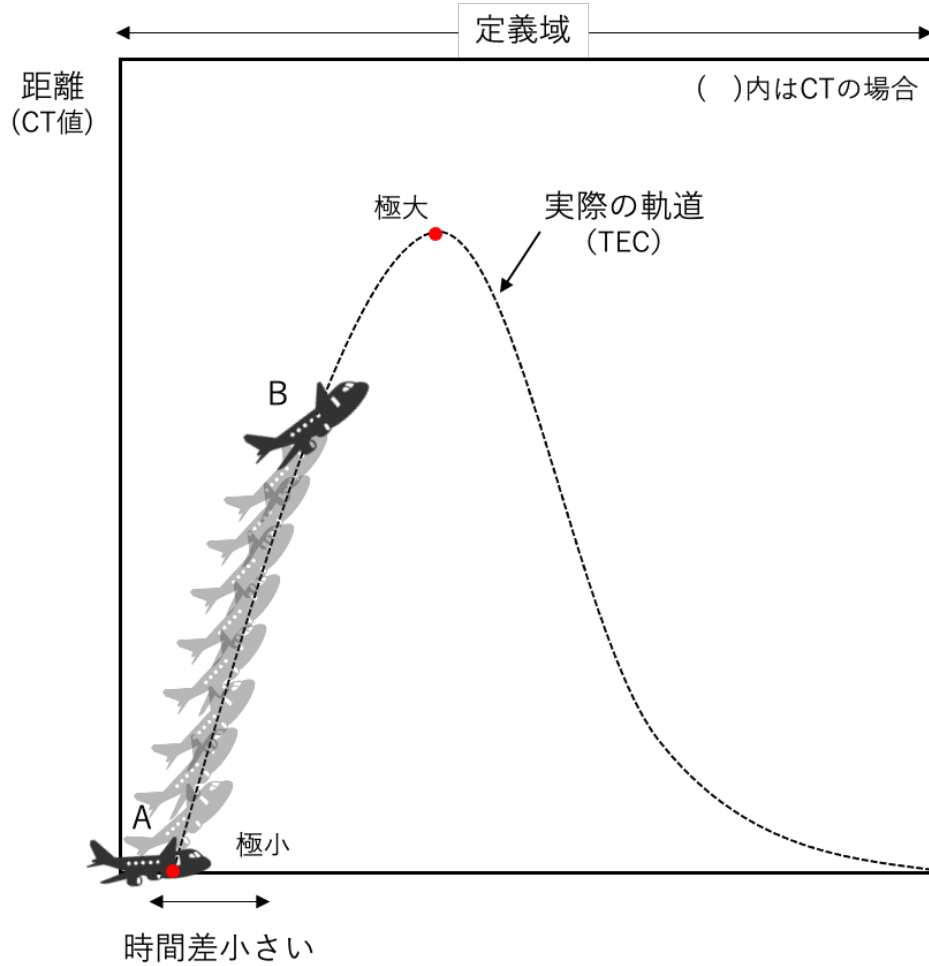
フレーム補間技術の応用は撮影タイミングが非常に重要

定義域の中の極小から極大への移行を捉えれば大まかな補間は可能

(循環時間)

(最小CT値)

(最大CT値)



灌流評価を行うことで、新たな情報を付与できる

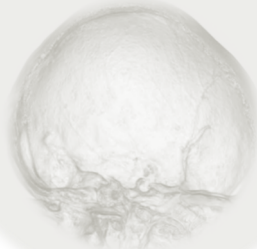
(脳, 肝臓, 脾臓, 心臓など)

(ステージング, 予後予測, 治療効果など)

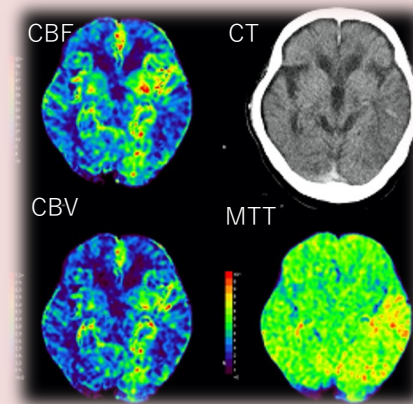


他の領域でできないか？

1. 血流評価



2. 機能評価

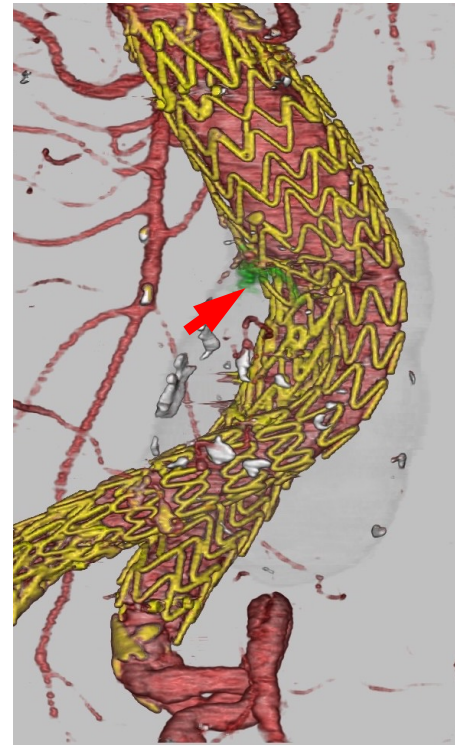
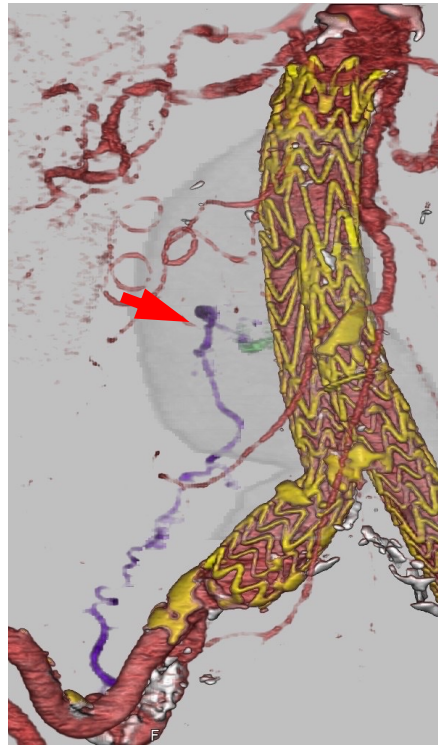
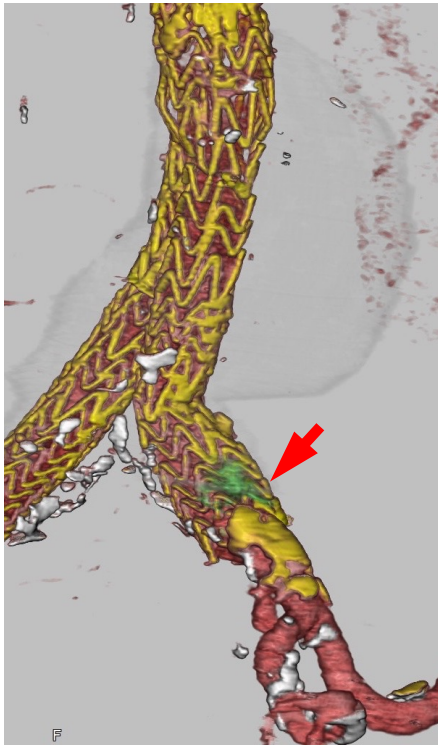


Type I

Type II

Type III

Type IV



エンドリークは血流評価 (4D-CTA, 血管造影検査) を行うことでタイプ診断が可能



血流を読み解くことで

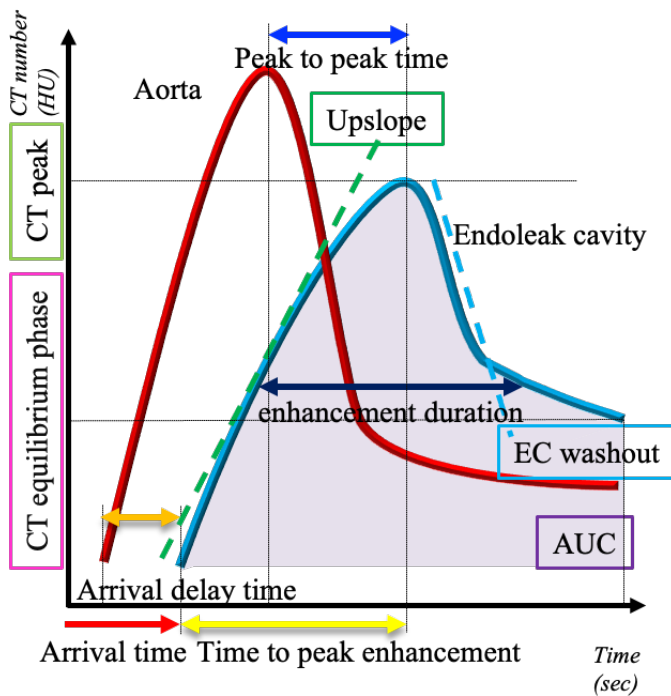
予後が様々なType IIの予後予測ができないか？

Time enhancement curveを用いたType II エンドリークの予後予測

エンドリーク内のTime enhancement curveを読み解けば瘤径の増大が予測可能

Nishihara Y, Mitsui K, et al. Time-Enhancement Curve of Four-Dimensional Computed Tomography Predicts Aneurysm Enlargement with Type-II Endoleak after Endovascular Aneurysm Repair. *AORTA* 2020;8: 29–34

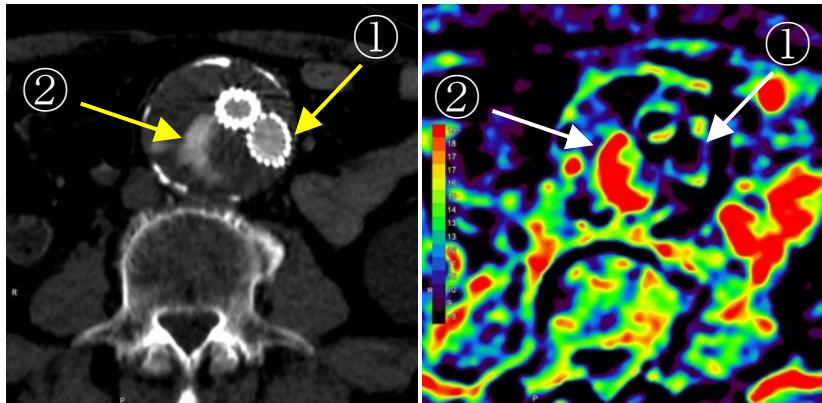
Mann – Whitney U test



	Enlargement n=4	Stable/shrunk n=6	p-value
■ Arrival time (s)	15 (13 – 22)	9 (7 – 10)	0.106
■ Arrival delay time (s)	13 (12 – 16)	7 (6 – 10)	0.133
■ Time to peak enhancement (s)	17 (14 – 19)	12 (11 – 14)	0.234
■ CT peak (HU)	192 (130 – 262)	265 (227 – 319)	0.352
■ Upslope (HU/s)	7 (7 – 8)	24 (17 – 30)	0.0247
■ EC washout (HU/s)	1.96 (1.31 – 3.38)	16.6 (14.6 – 21.2)	0.019
■ Peak to peak time (s)	17 (16 – 19)	5 (4 – 6)	0.108
■ 80% enhancement duration (s)	14.8 (13.7 – 16.1)	7.4 (6.1 – 7.4)	0.0195
■ AUC (HU × s)	11,909 (11,642 – 12, 117))	12,815 (9,766 – 15,661)	1
■ CT equilibrium phase (HU)	90 (75 – 103)	27 (22 – 39)	0.019

Perfusion-CTでもType II エンドリークの予後予測が可能か？

□ 解析方法



bMTT-index

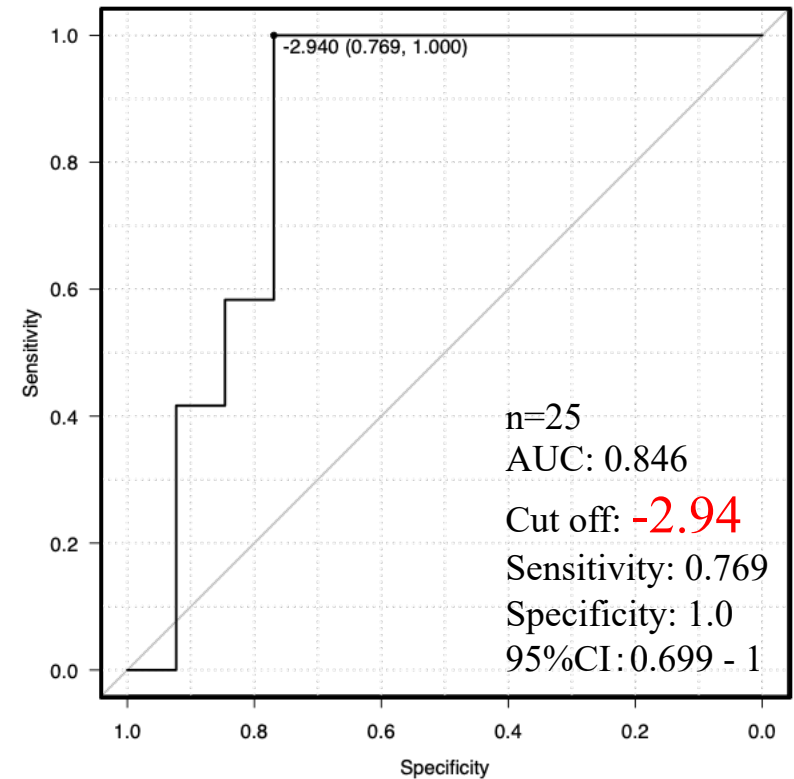
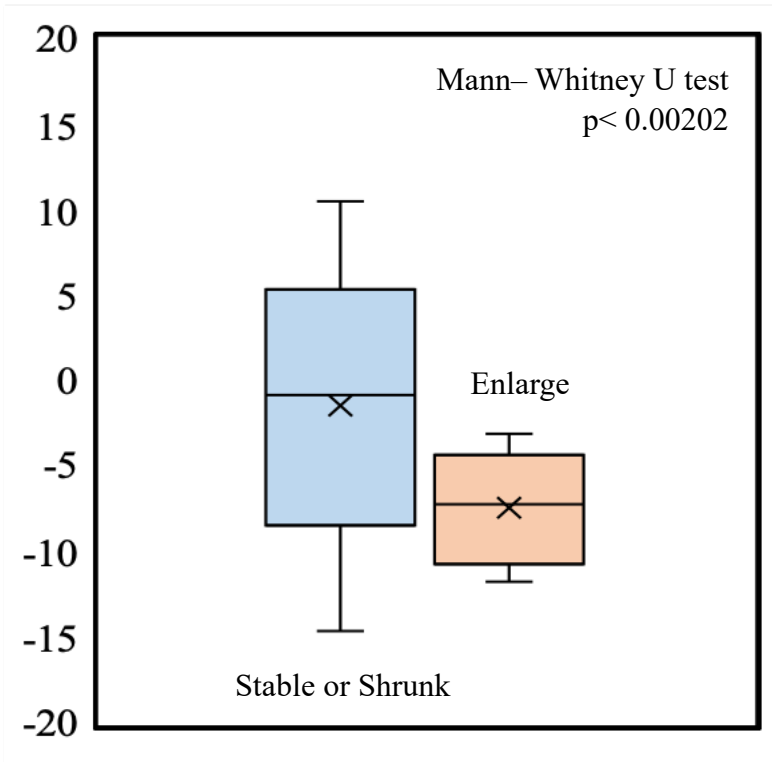
① $bMTT_{Aorta}$ — ② $bMTT_{Endoleak}$

- ✓ Arterial Input Function : feeder (lumbar artery or inferior mesenteric artery)
- ✓ parameter of perfusion CT: block-circulant SVD-mean transit time (bMTT)
- ✓ slice thickness: 5mm

□ 解析対象

	n	age (year)	height (cm)	weight (kg)	BMI (kg/m ²)
Enlarge	12	80 (69 – 88)	153 (143 – 164)	53 (42 – 57)	20.5 (19.3 – 25.3)
Stable or Shrunk	13	80 (70 – 88)	162 (151 – 171)	62 (50 – 85)	24.0 (19.2 – 29.8)

bMTT-indexを指標にすることで客観的評価が可能



Type II エンドリークの臨床例 (代表的なパターン)

1 week after EVAR

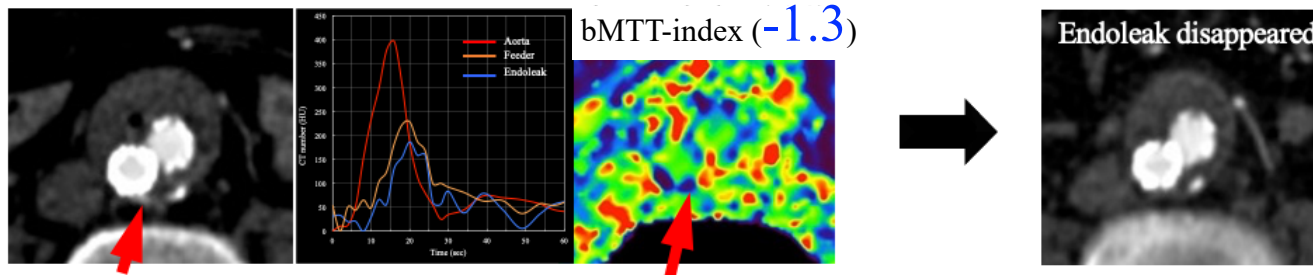
6 months after EVAR

Case 1.

a. Stable or shrunk (Rapid : TEC_{Feeder} , Rapid : $TEC_{Endoleak}$)

(Sac : 30 → 23cc)

Type II-1



3 year after EVAR

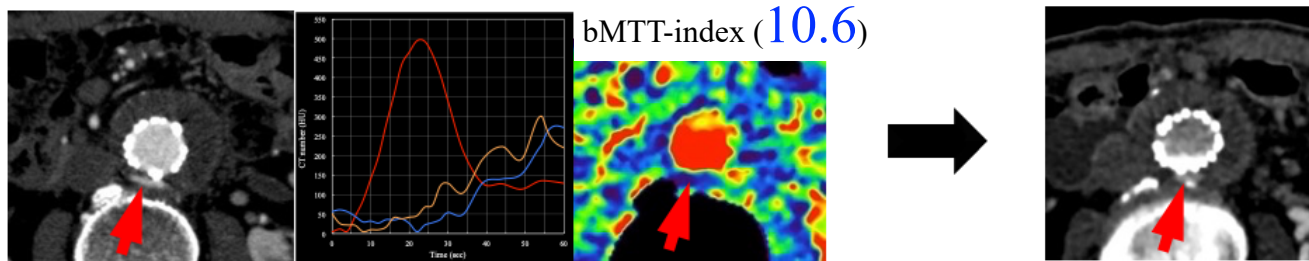
4 year after EVAR

Case 2.

c. Stable or shrunk (Slow : TEC_{Feeder} , Slow : $TEC_{Endoleak}$)

(Sac : 35 → 35cc)

Type II-2



1 week after EVAR

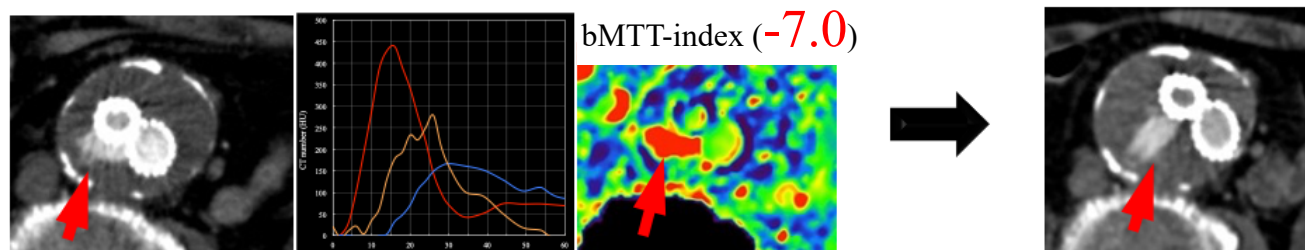
6 months after EVAR

Case 3.

b. Enlarge (Rapid : TEC_{Feeder} , Slow : $TEC_{Endoleak}$)

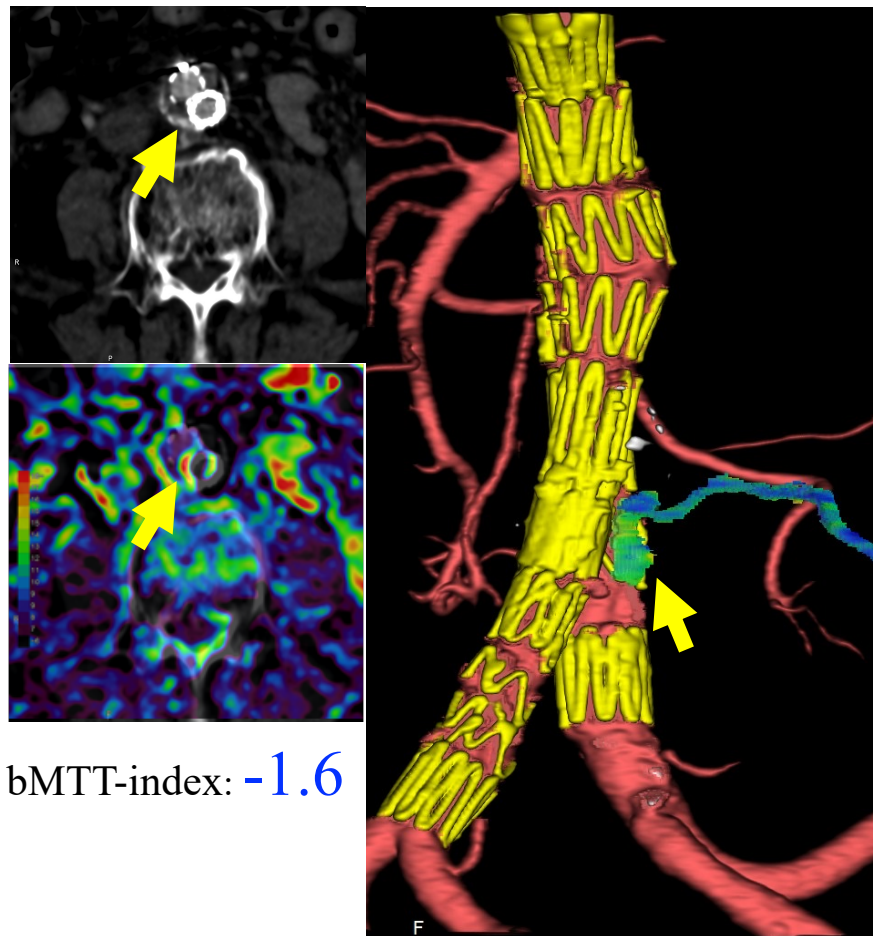
(Sac : 71 → 79cc)

Type II-3

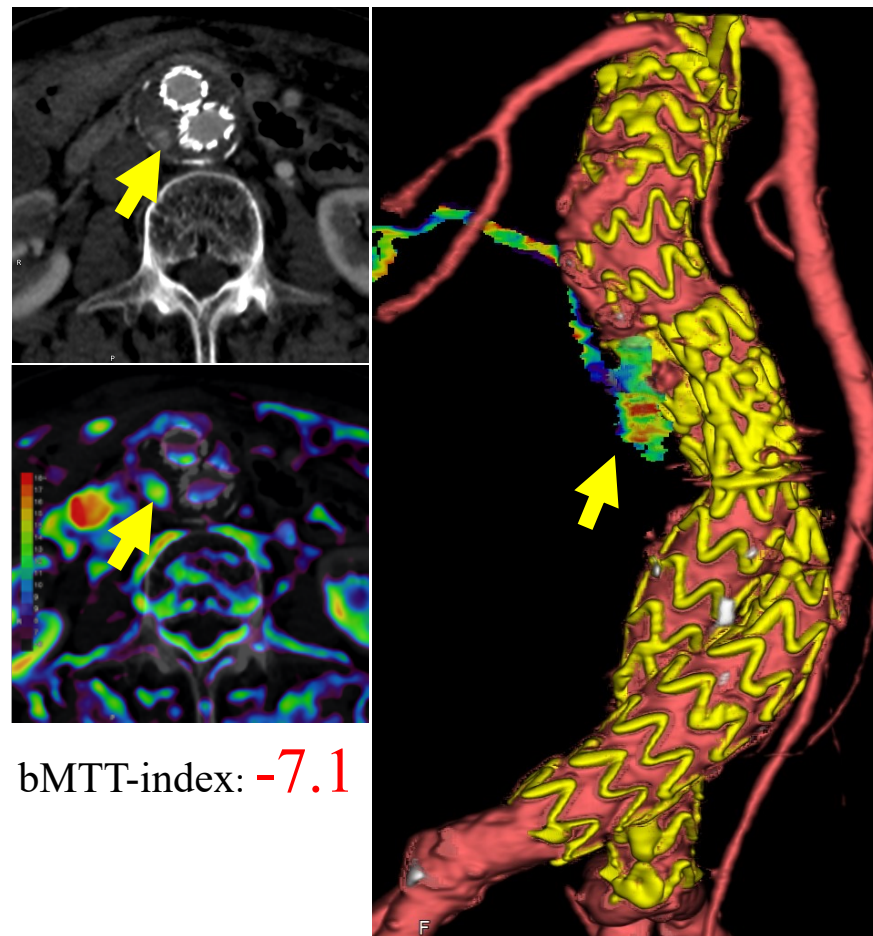


Type II エンドリークの臨床例（代表的なパターン）

Stable (Type II - 1)



Enlargement (Type II - 3)



どうして瘤径が増大するのか？

瘤径の増大 = 壁張力 の増大 → 圧力 **大** , 物体の半径 **大**

ρ : 流体密度
 g : 重力加速度
 h : 高さ
 v : 流体速度
 P : 圧力
 R : 半径
 T : 壁張力

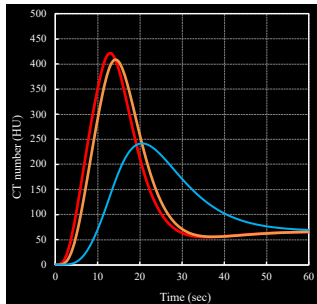
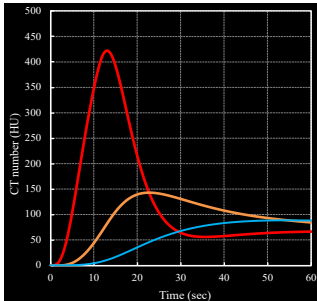
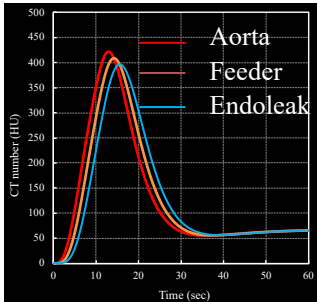
ラプラスの法則 : $T \propto P \cdot R$

ベルヌーイの定理 : $\rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 + P = Constant$

血流速度 (cm/sec) **遅** (feederと比較して)

血流量 (mL/sec = cm³/sec)

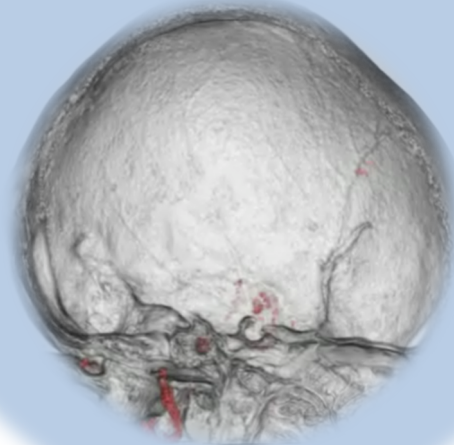
断面積 (cm²)



つまり、血流量に対して断面積が大きくなる場合に！

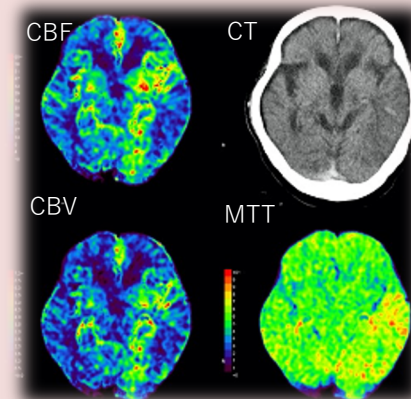
4D-CTAはまだまだ未開拓な領域が多い

1. 血流評価



- ☑ 画質の改善
- ☑ 時間分解能の改善

2. 機能評価



- ☑ 他モダリティの代用
- ☑ 新たな知見

九州発信の報告があることを期待しています