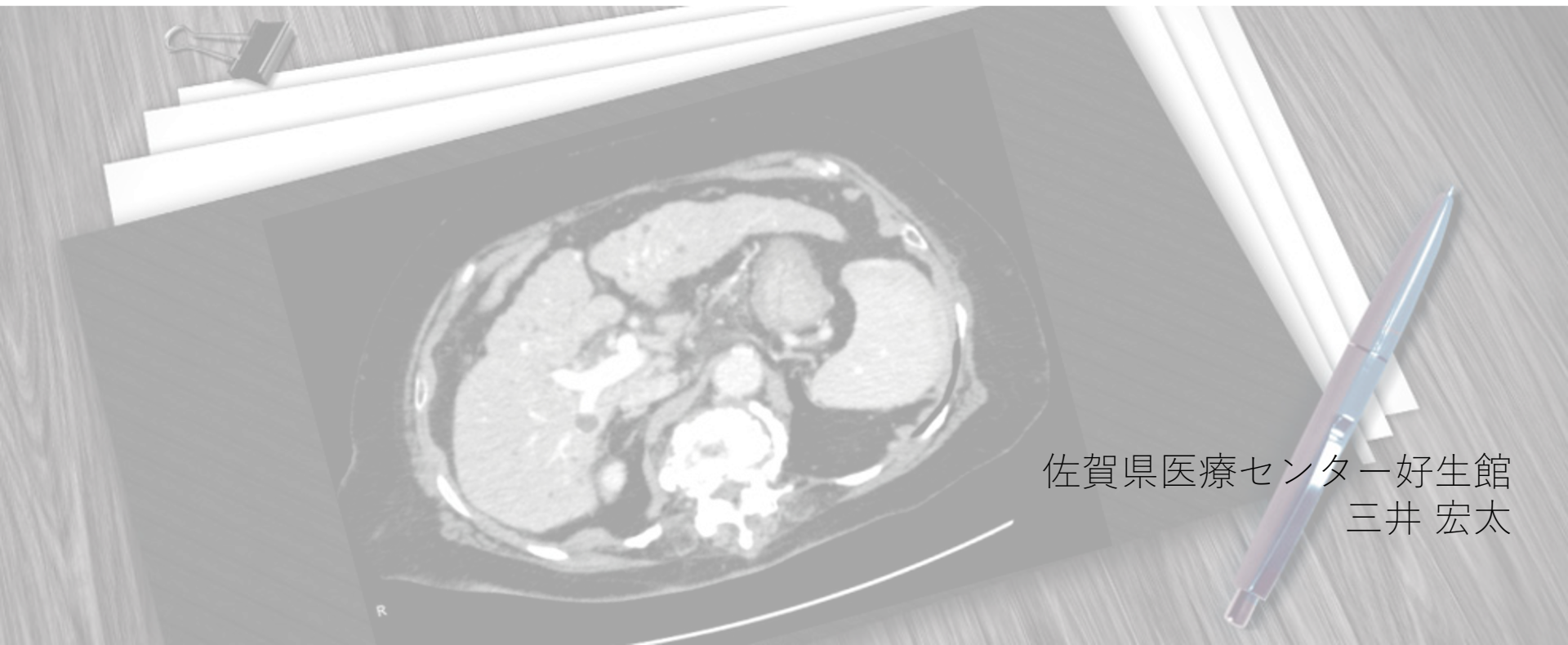


2020年5月8日(土)  
第11回九州CT研究会

# 造影検査の現状と未来 ~ 「平成」 から「令和」へ

基礎講演

## 造影検査の現状と課題



佐賀県医療センター好生館  
三井 宏太

造影

主役は CT検査 (客観的情報)

超音波画像

臨床所見

X線画像

血液検査



「急性腹症」

単純CT画像

造影

# 主役は CT検査 (客観的情報)

## 1. 病変検出能の向上

単純CT画像より 見やすい画像 を提供

## 2. 血流動態の把握

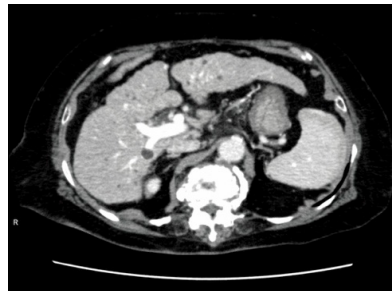
血行障害の評価

病変の質的診断

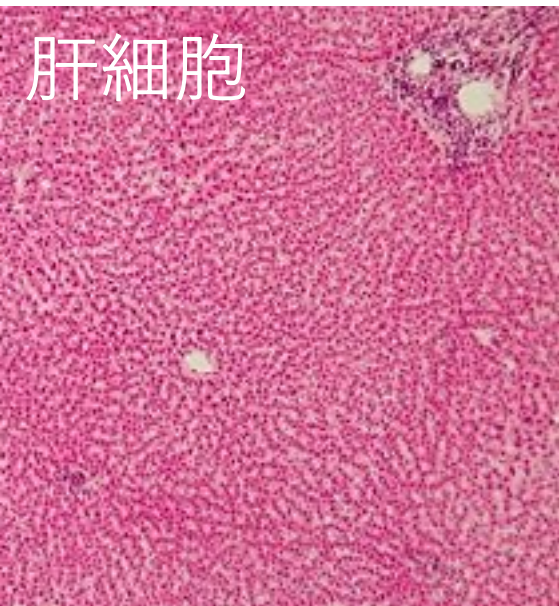
造影効果

# 造影CT検査の現状 → 造影のみ考えていませんか？

本来, ヨード量 の評価をしないといけないものを  
CT値 で評価している



画像 を介して観察する  
(CT値)



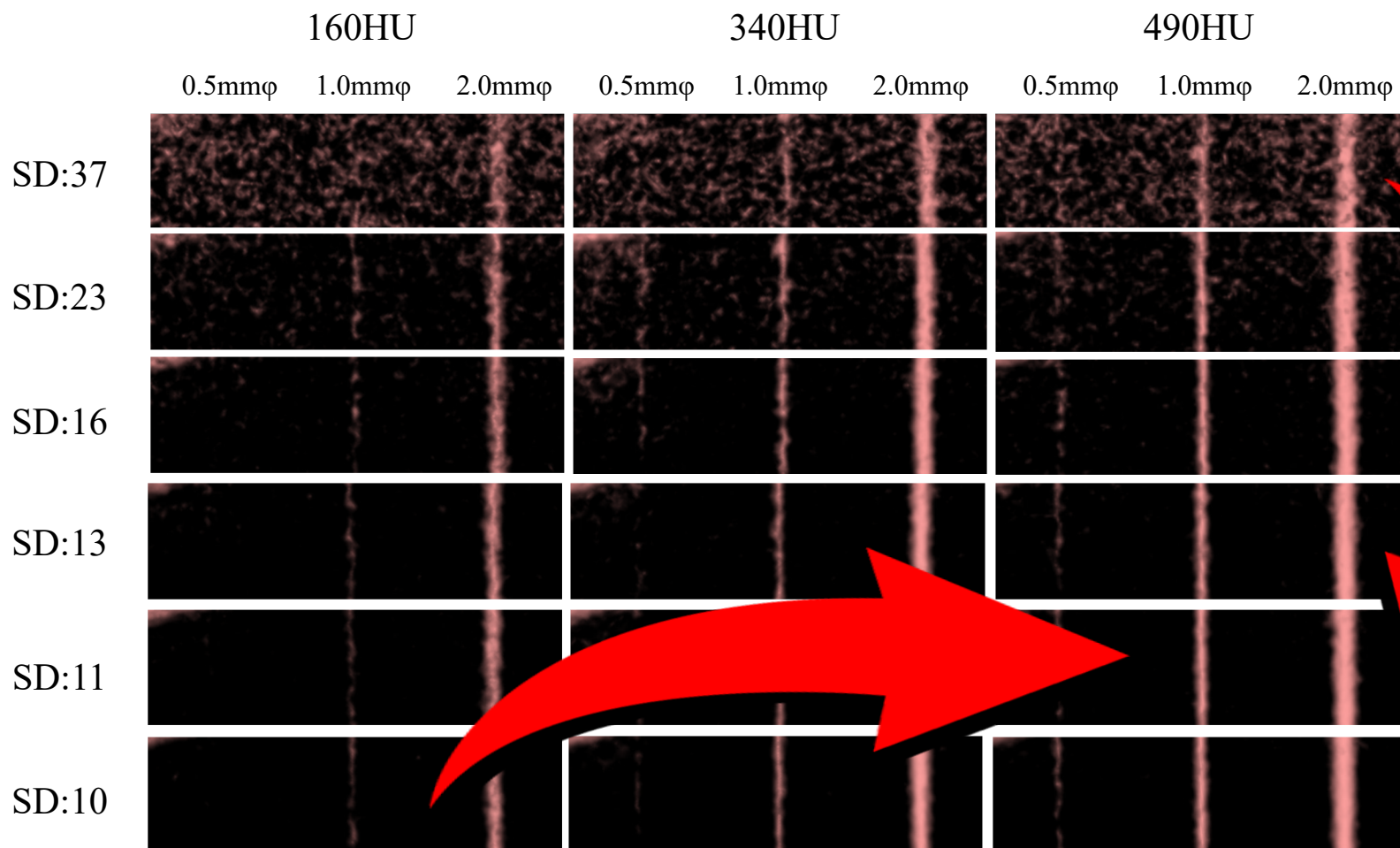
肝細胞



分布した造影剤 を直接見していない  
(ヨード量)



画像の良し悪しは、①造影技術と②画質で決定



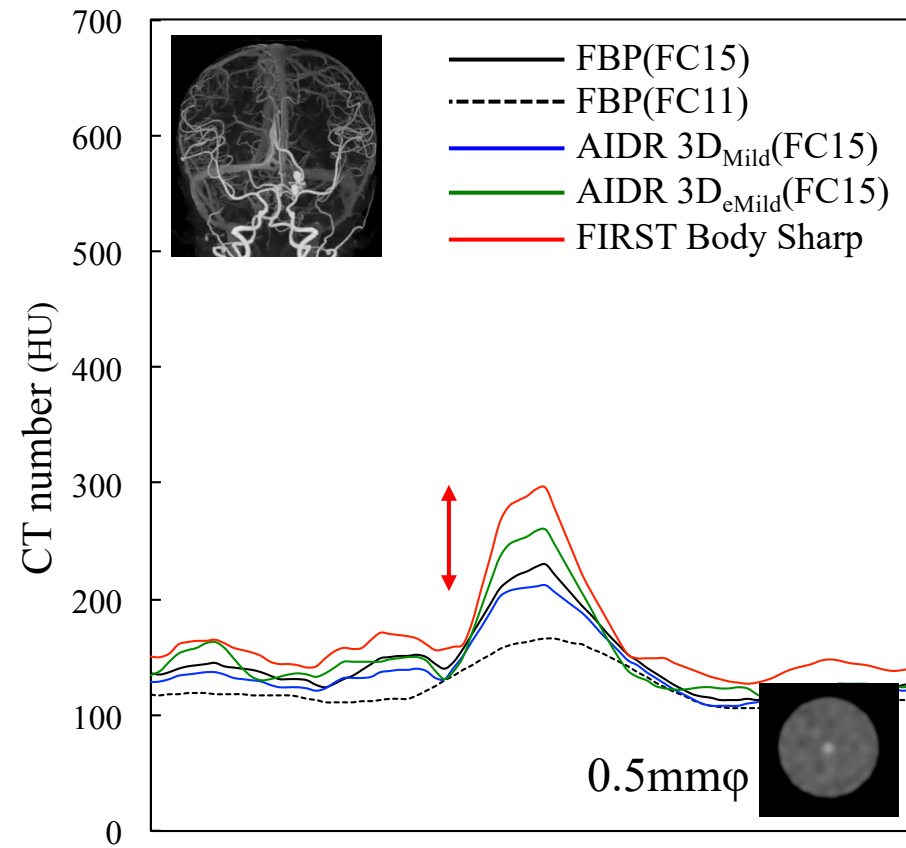
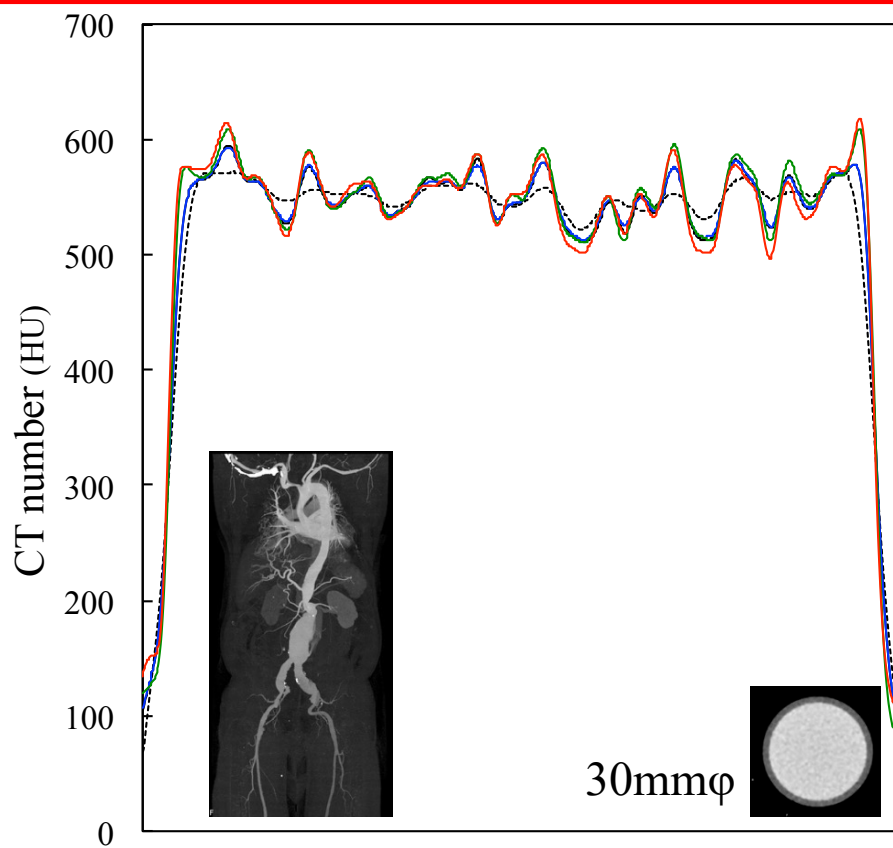
※FBP

必要ヨード量は, 画質 (分解能) によって変化する

血管が太い場合は, どの再構成方法でも **ヨード量は同等**で良い



血管が細い場合は, 径および再構成方法によって **ヨード量は異なる**

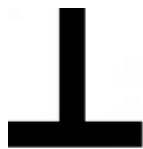


# 造影CT検査で考えていく項目 (造影方法だけ考える訳ではない)

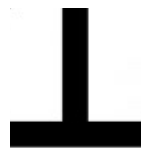
## ①検査目的



## ②画像 (撮影, 再構成条件)



## ③造影方法



## ④腎機能



- ターゲットは？
- 血流情報は？

- 解像度は？
- ノイズは？
- 被曝線量は？
- 撮影タイミングは？

- 造影剤量は？
- 注入条件は？
- 注入方法は？

- 腎機能は？

低管電圧CT？  
Dual energy CT？

造影剤量低減？

~~造影効果~~に影響を及ぼす因子は、様々 → 揃える所は揃えましょう！

コントラスト

## 1. 画像条件

- 1-1. 設定管電圧 (Dual energy含む)
- 1-2. 撮影線量
- 1-3. 撮影タイミング
- 1-4. 再構成関数
- 1-5. FOV (撮影, 再構成)
- 1-6. 逐次近似法

## 2. 造影剤注入条件

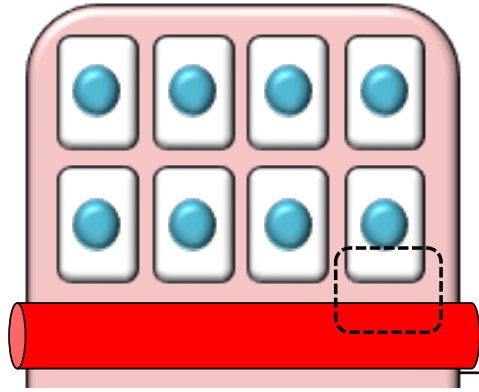
- 2-1. 造影剤の種類 (粘稠度等)
- 2-2. ヨード量
- 2-3. 注入速度
- 2-4. 注入時間
- 2-5. 造影方法
- 2-6. 穿刺部位

## 3. 患者因子

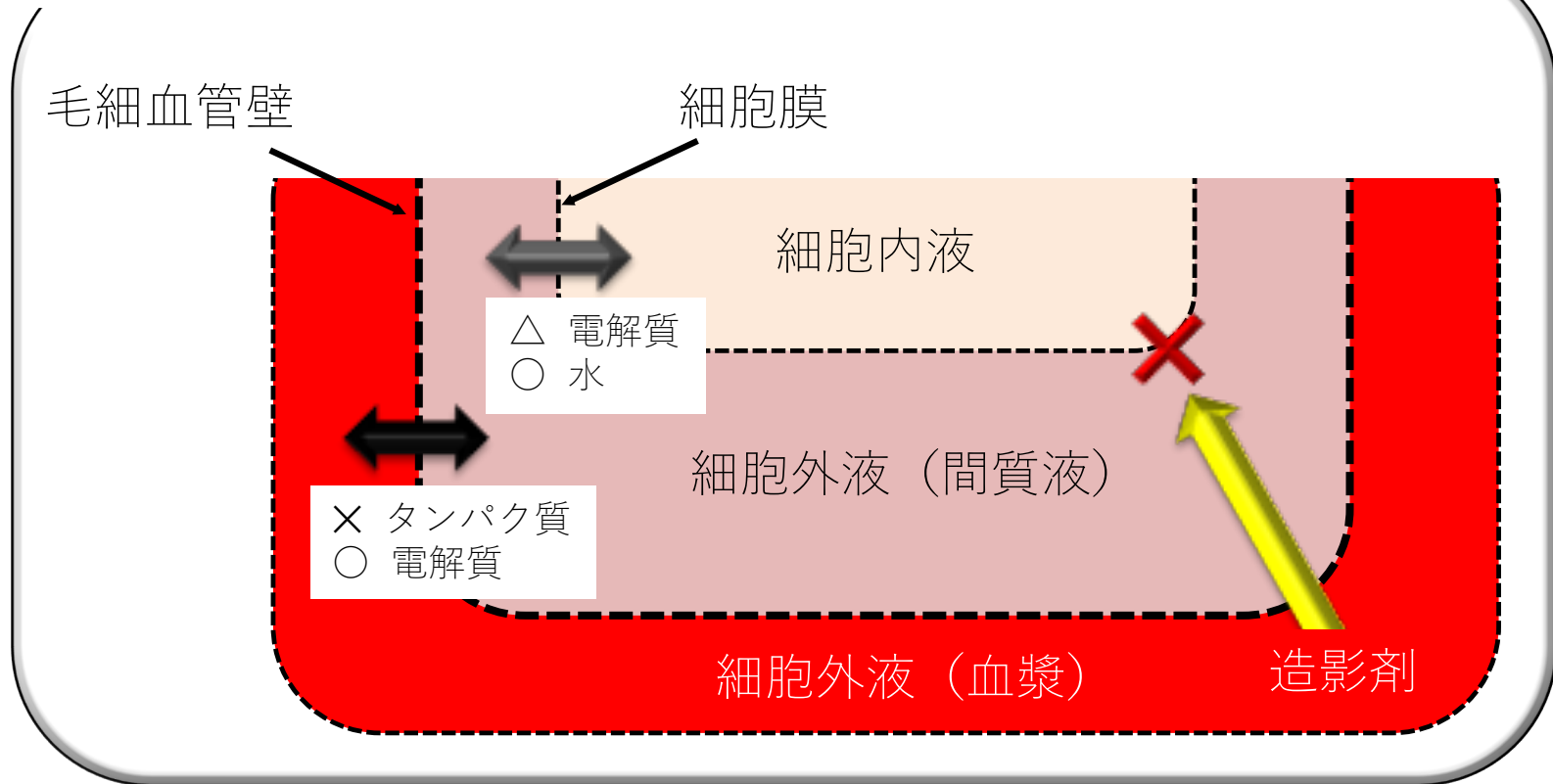
- 3-1. 細胞外液量
- 3-2. 心拍出量
- 3-4. 心疾患の影響
- 3-5. 造影剤の残留
- 3-6. 被写体サイズ
- 3-7. 対象物質サイズ



# ヨード造影剤はどこに分布する？



ヨード造影剤は、細胞外液性 造影剤



# 細胞外液性ヨード造影剤を考える

血漿

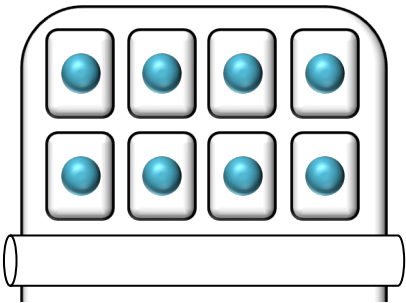
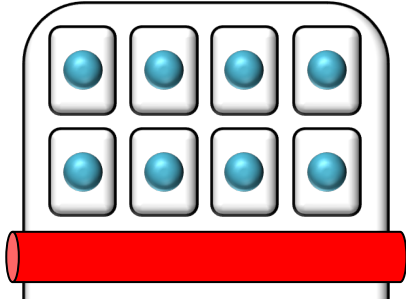
造影効果

間質液

動脈優位

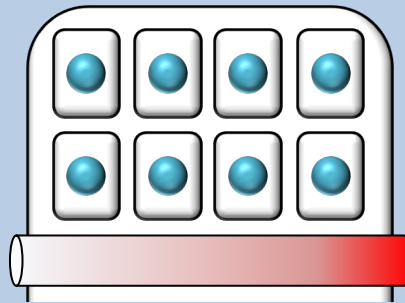
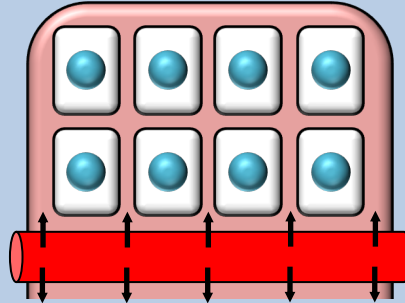
門脈優位

CT-angiography



形態診断  
(3D-CTA)

動脈優位相

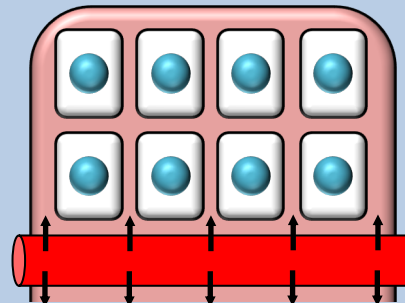
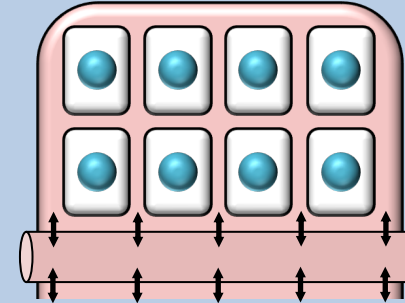


質的診断  
(Dynamic-CT)

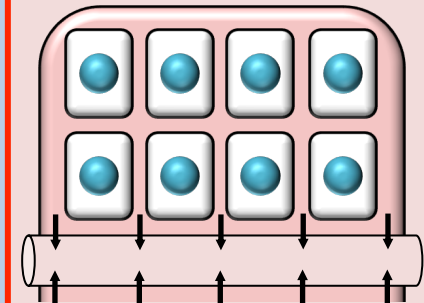
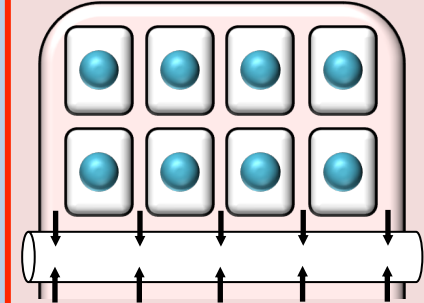


血流情報

門脈優位相



平衡相



存在診断  
(Screening-CT)

機能診断  
(4D-CT)



血流情報

# 必要な造影剤量は診断法で変化する

※細胞内液 (体重の40%)

区分分けして考える

1. 間質液 (体重の15%)

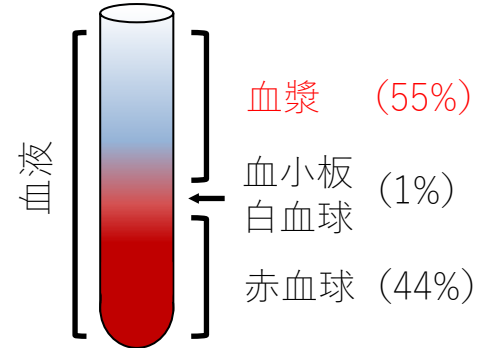
質的診断  
(Dynamic-CT)

存在診断  
(Screening-CT)

2. 血漿 (体重の5%)

形態診断  
(3D-CTA)

機能診断  
(4D-CT)



臓器毎に細胞外液量 (間質液, 血漿) は様々 → 対象臓器の細胞外液量を把握

# 細胞外液量を知ろう

## 1. 体格で考える

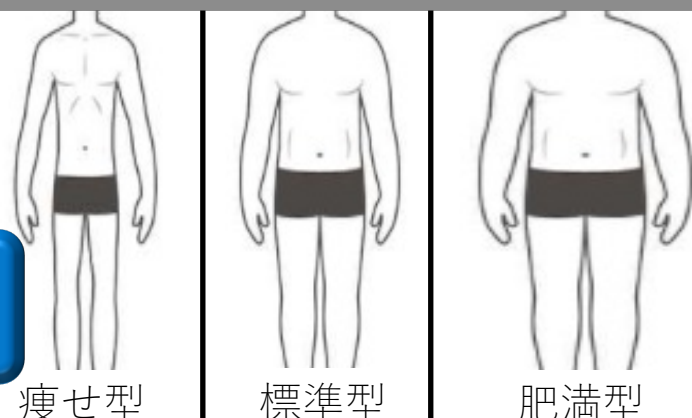
※ 体重に対する割合

## 2. 臓器別で考える

※ 細胞外液量の割合

全てを網羅できる造影剤のコントロールは**不可**

- 除脂肪体重
- COを考慮



痩せ型      標準型      肥満型



頭部 (15%)  
 心臓 (5%)  
 肝臓消化管 (30%)

↑ 体重と非線形の関係 ↓

	小児	40%	30%	25%
	成人	25%	20%	15%
	高齢者	30%	25%	20%

← 体重と非線形の関係 →

# 実は体重換算はあやしい

どの容器でも同一の色（濃度）にしたい！

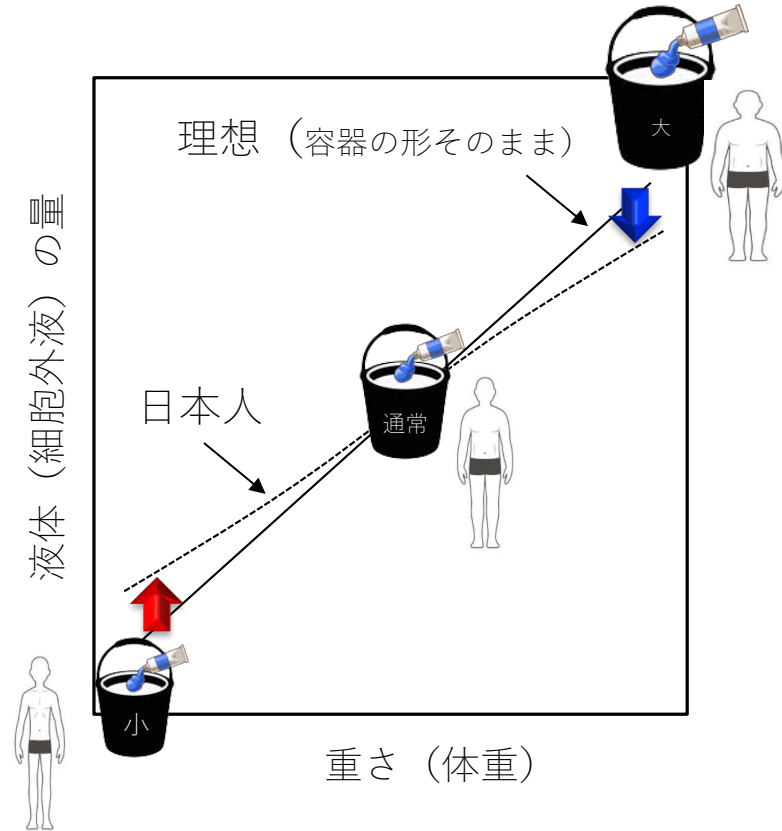


液体の量が知りたいけど..

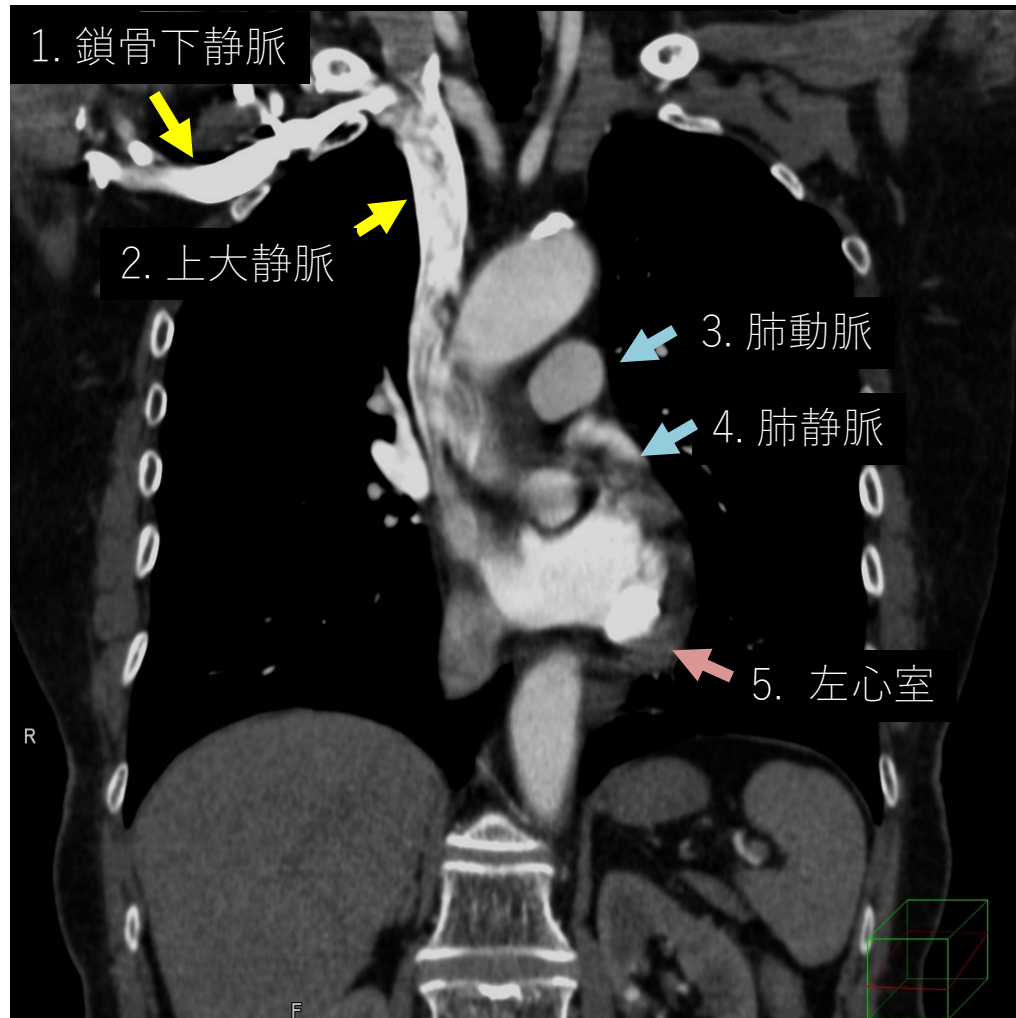
外から計測できるものは 重さ のみ



容器の形状が変わらなければ良いけど..



体循環を考える上で造影剤のスタート地点は左心室



# 造影剤が流れる道を知ろう

## 1. 穿刺部位を考える

- 1-1. **上肢**, 下肢? → 希釈率, ルートの長さ
- 1-2. **右**, 左? → ルートの長さ (腕頭静脈)
- 1-3. **正中**, 末梢? → 希釈率 (静脈の解剖)

## 2. 心臓への血流を考える

注入量が少ないと?

➡ 下大静脈の血流で希釈される  
(ボリューム効果)

※ Su Yeon You, et al. Effects of Right- Versus Left-Arm Injections of Contrast Material on Computed tomography of the Head and Neck. J Comput Assist Tomogr 2007; 31(5): 677-681.

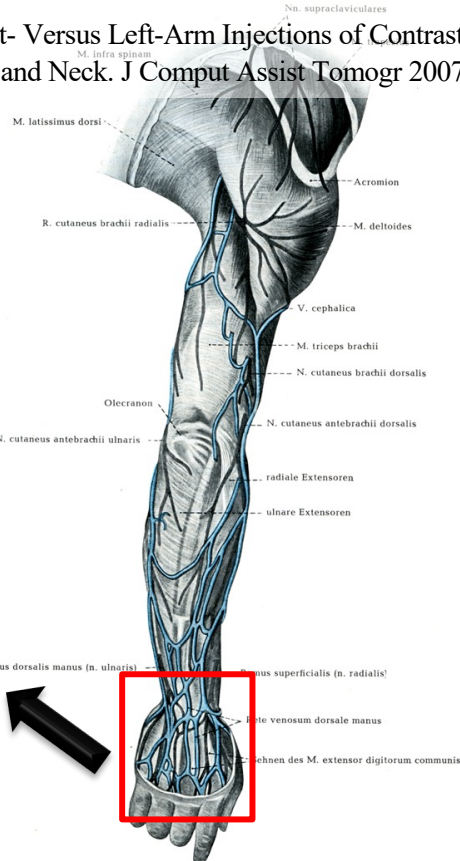
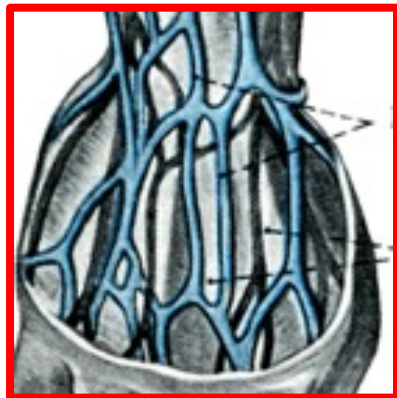
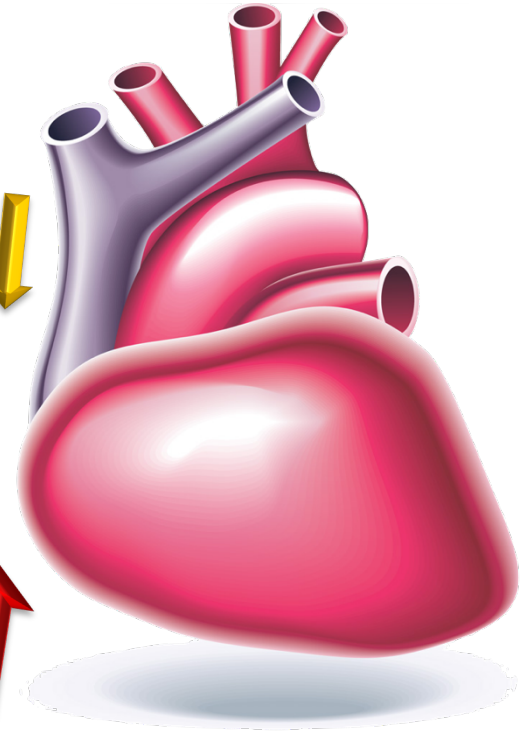


Abb. 689. Hautvenen der rechten oberen Extremität (Streckseite)  
(nach CORNING, topogr. Anatomie).

上大静脈  
(40%)



下大静脈  
(60%)

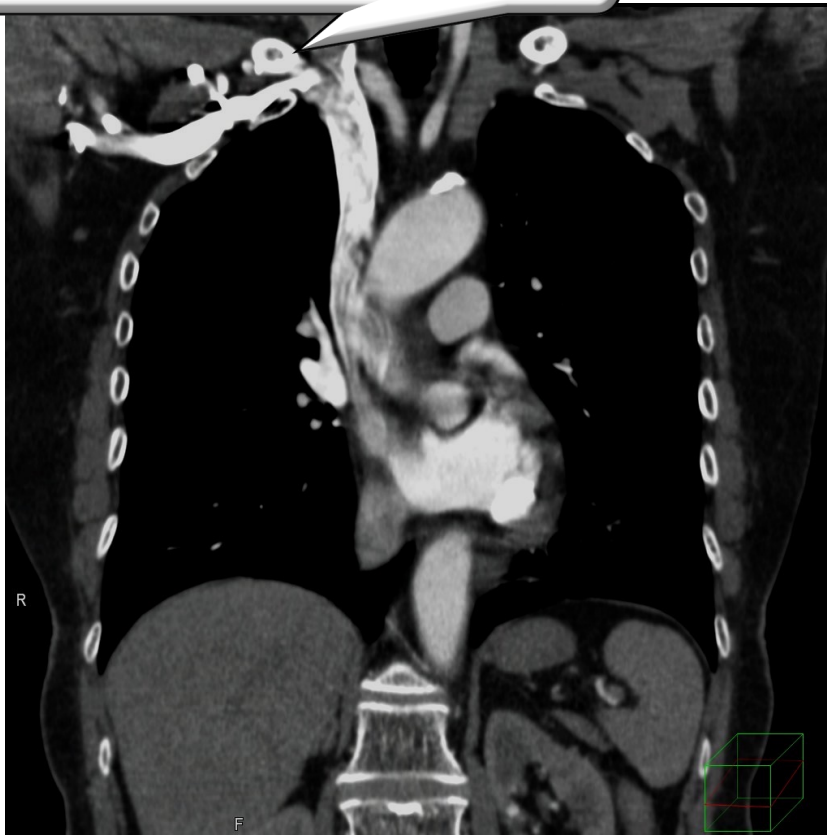
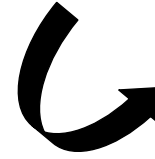


造影剤のルート内の残留を考える → 投与された全てが有用に利用されていない

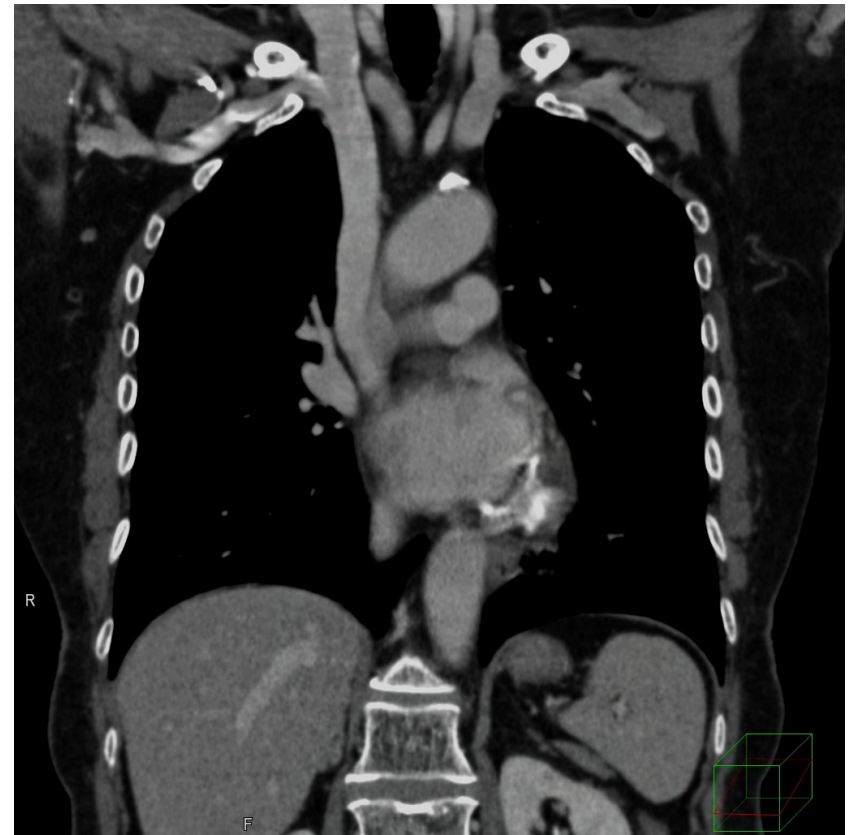
特に初期循環を捉える撮影では、鎖骨下静脈の残留量は無視できない

正中～鎖骨下静脈の「Dead space」  
15~30mL

生食後押し, クロス注入等



初期循環(CTA)

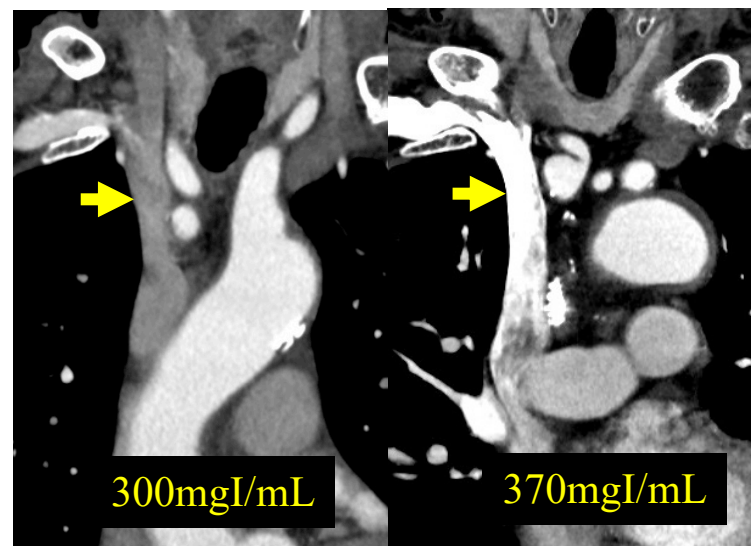
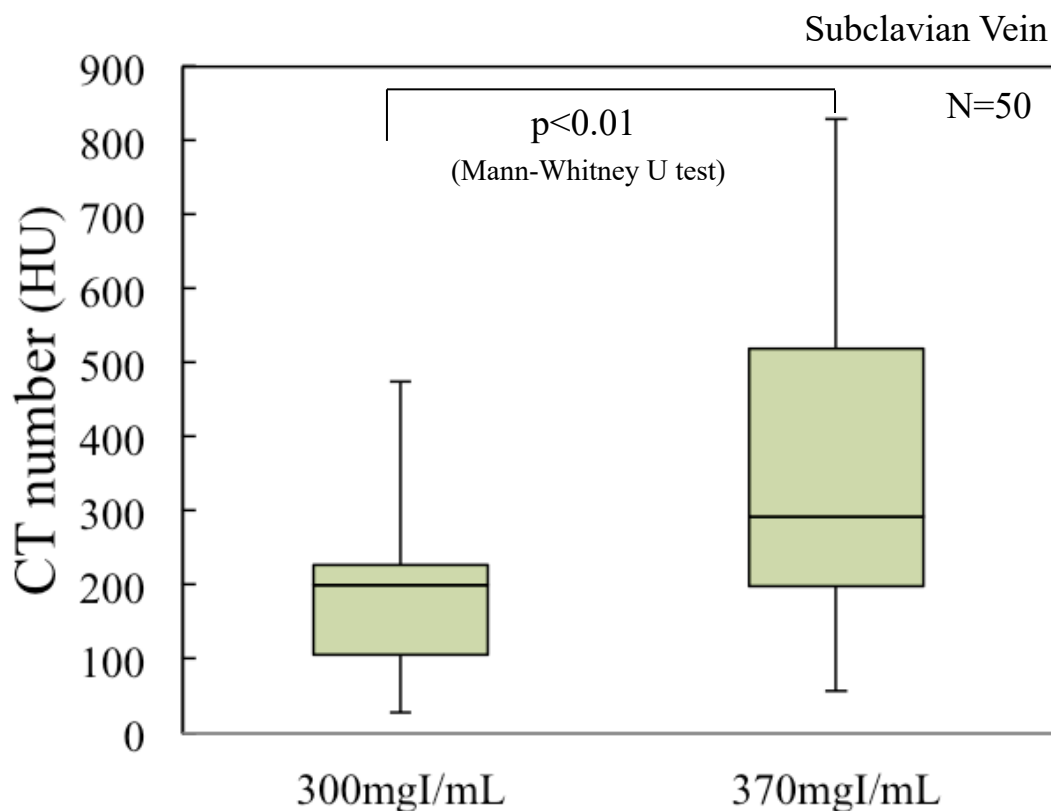


再循環後(平衡相)



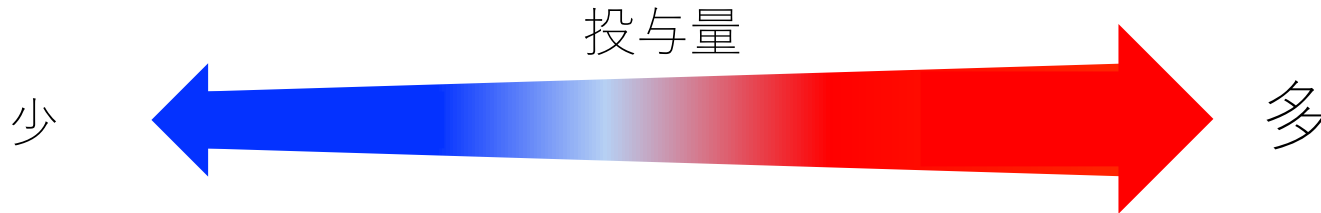
造影剤のルート内の残留を考える → 投与された全てが有用に利用されていない

注入レートが確保できるのであれば, 低粘稠度のものが望ましい

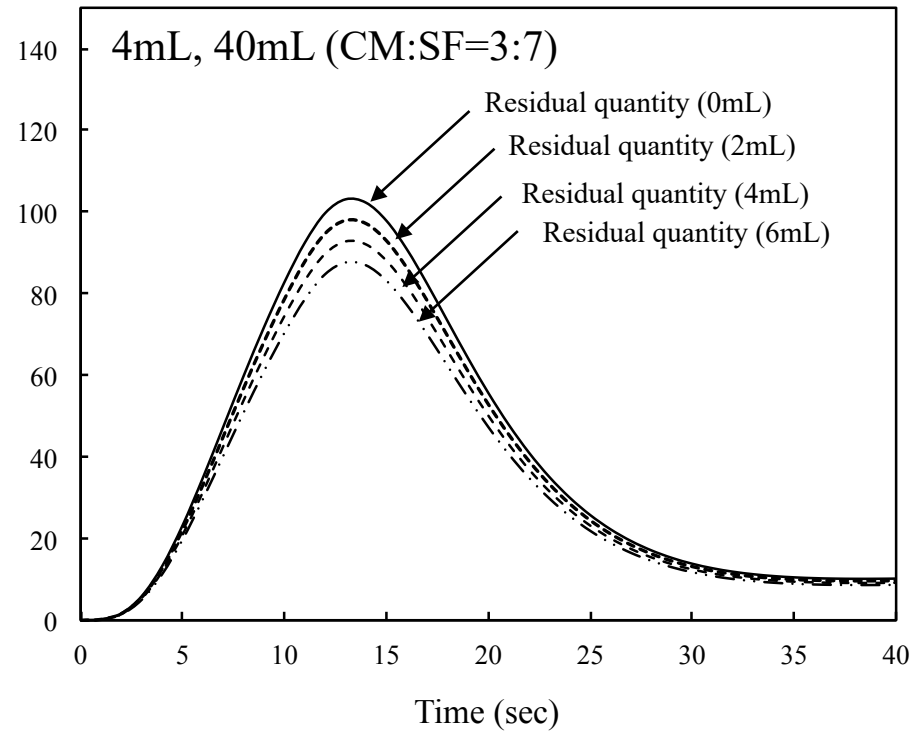
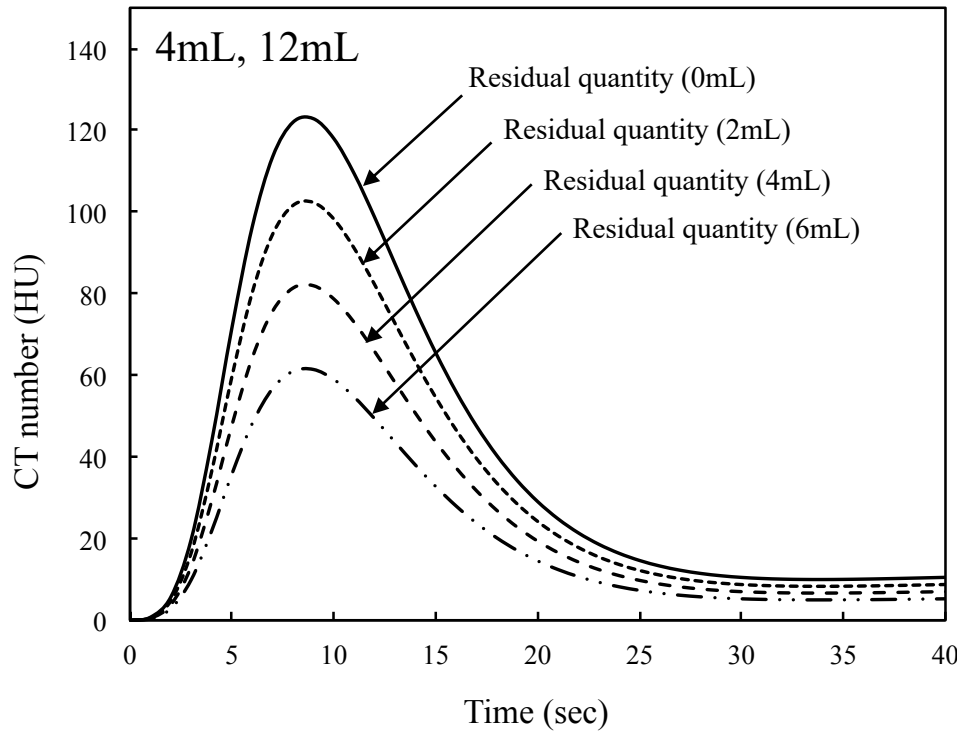


# 全体の投与量が少なくなればヨードのルート内残留の影響が大きい

※ヨード量は同じ

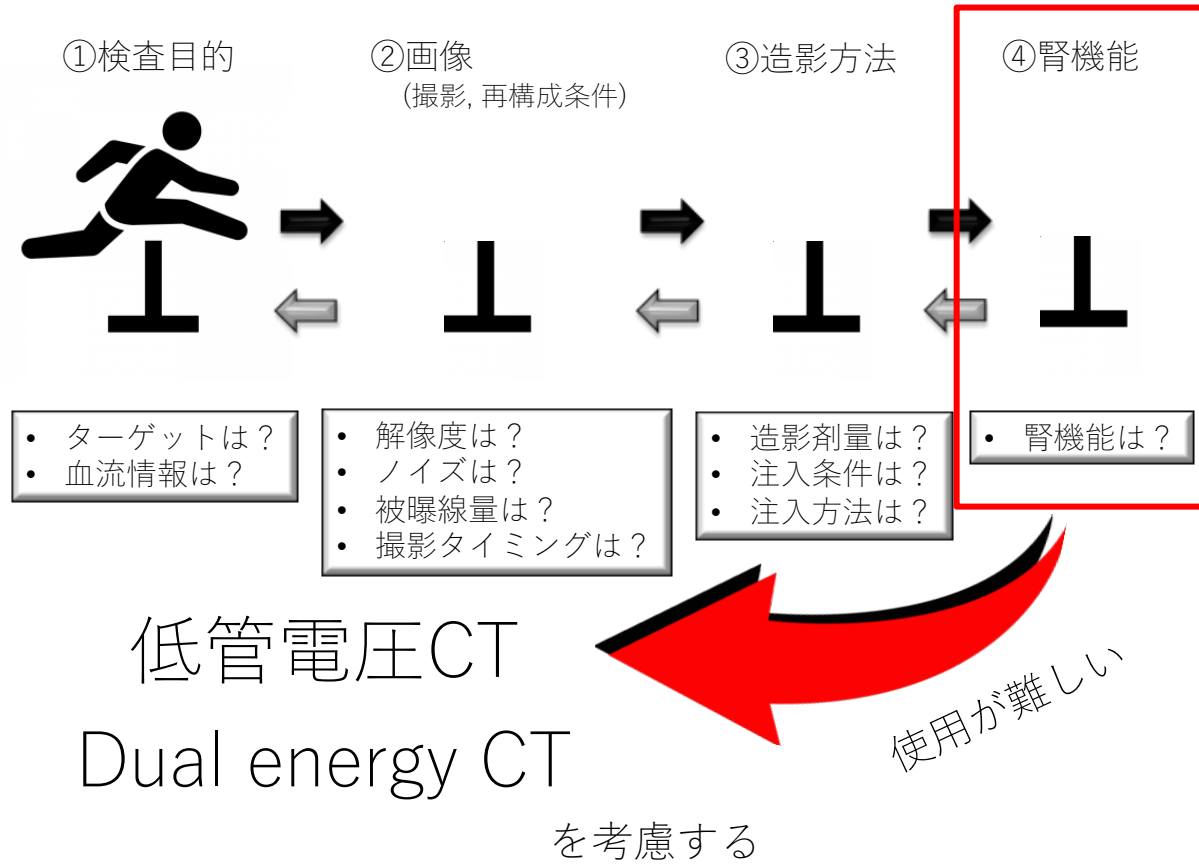


PC-simulation



# 造影剤は安全ではない！投与する前に考えて！

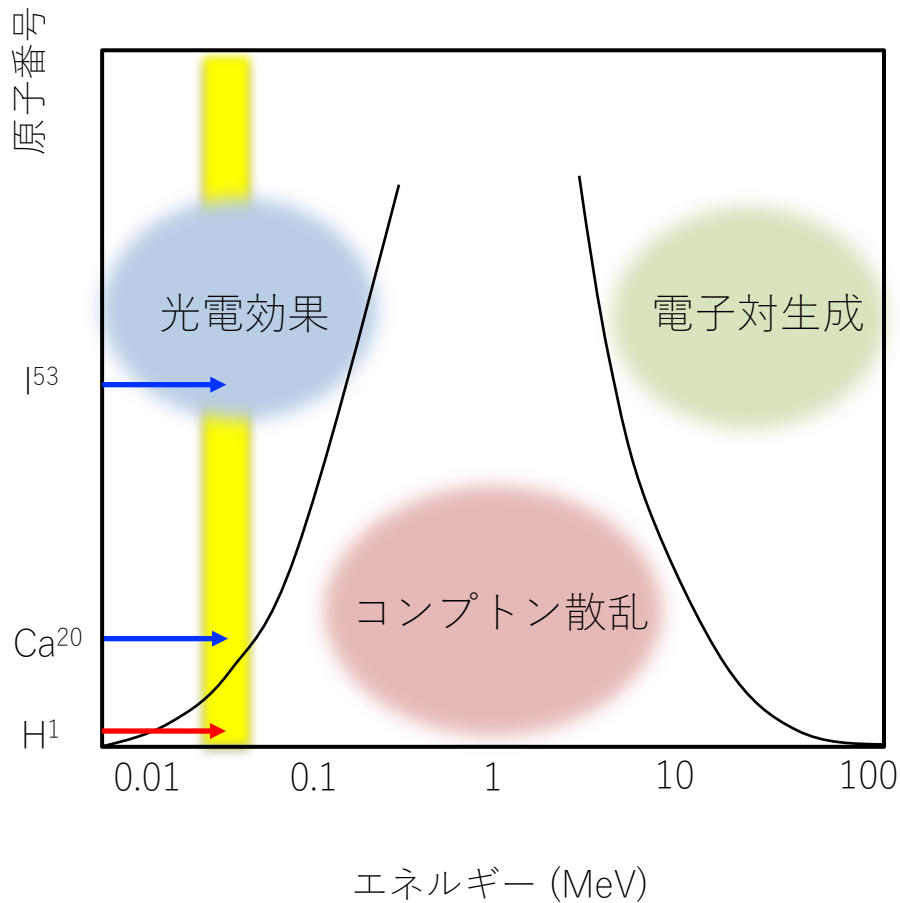
腎機能や副作用などを考慮して，“考えている撮影・造影条件”が使えるか？



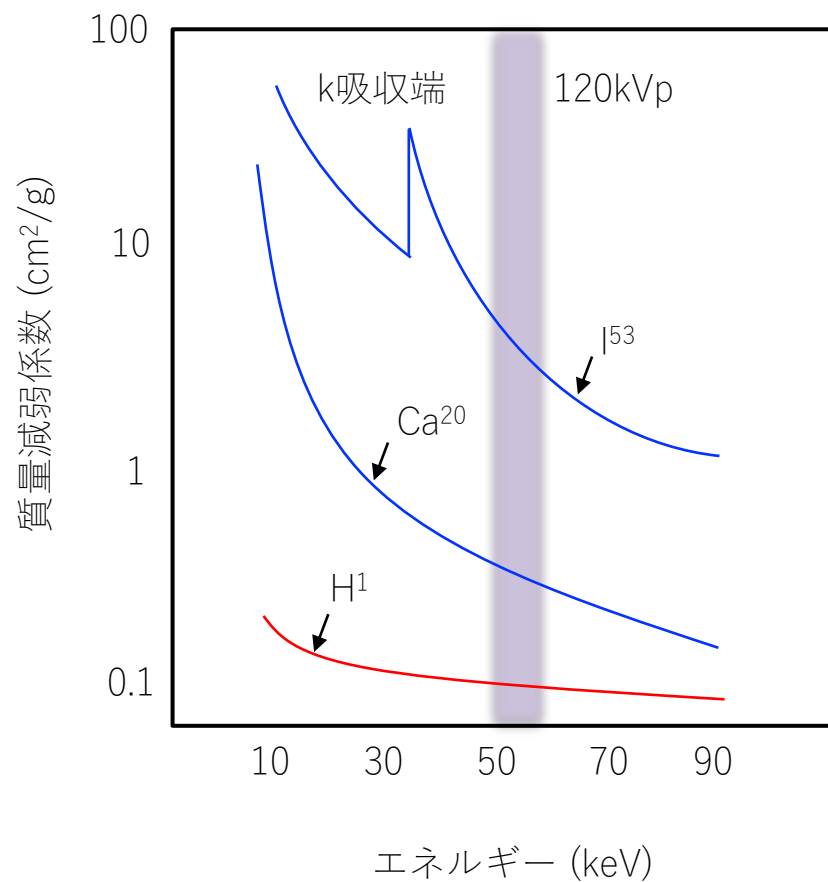
# なぜ、低管電圧CT・Dual energy CTを考慮するのか？

CT検査で用いるエネルギー帯は？

- 光電効果
- コンプトン散乱



CT検査で用いられる質量減弱係数は、  
【光電効果 と コンプトン散乱の和】

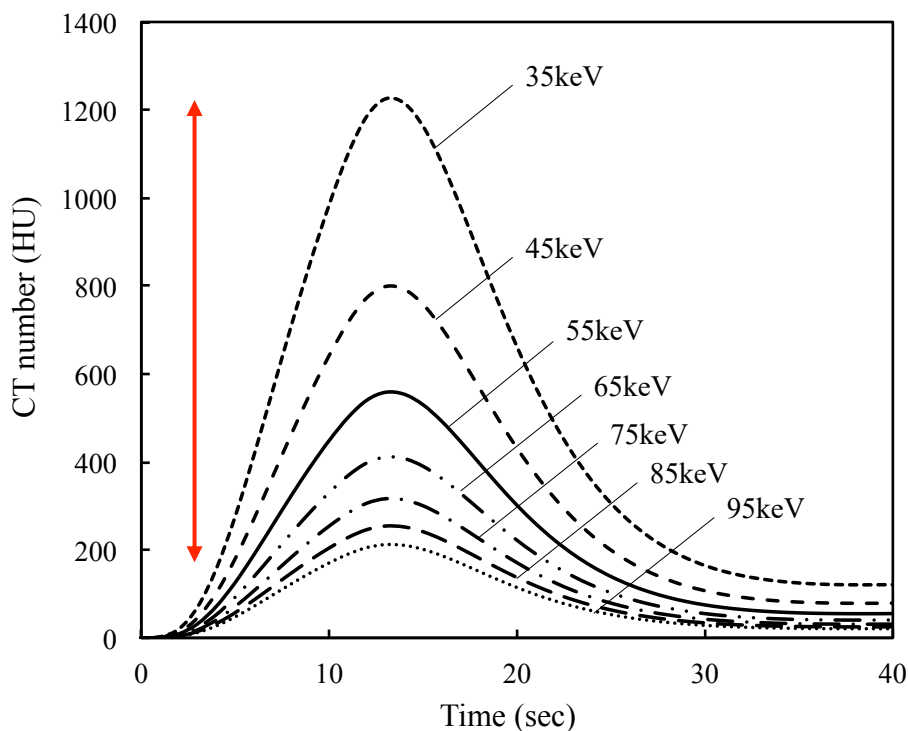
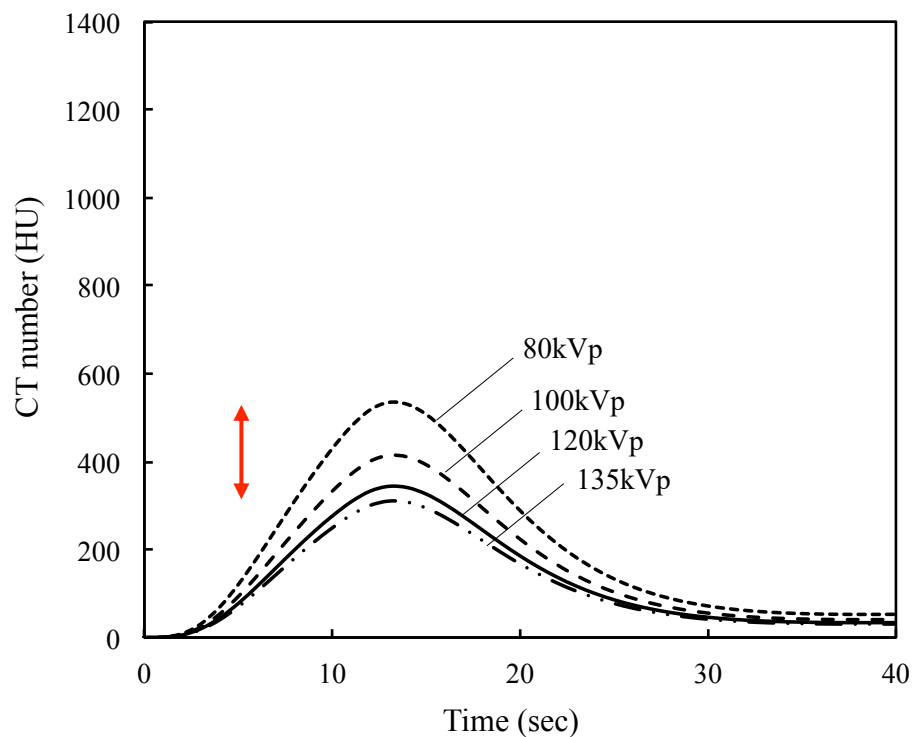


# なぜ、低管電圧CT・Dual energy CTを考慮するのか？

同一のヨード量でも、使用するエネルギーによりCT値は変化する



同一の造影効果で良ければ、使用する造影剤を変化できる



# 造影剤低減をするメリット

腎障害患者におけるヨード造影剤使用に関するガイドライン2018: 日本腎臓学会, 日本医学放射線学会, 日本循環器学会



慢性腎臓病患者には, 診断能を保つことが可能な範囲内で造影剤量低減 (造影剤腎症の発症リスクは, 造影剤量と腎機能に依存する)

Eike I. Piechowiak et al: Intravenous Iodinated Contrast Agents Amplify NA Radiation Damage at CT: radiology. rsna. org 692-697 Radiology: Volume 275: Number 3-June 2015



造影CTは単純CTより, DNA損傷のリスクが高い (血管内のヨードがX線との相互作用により損傷を誘発)



- ❑ Karmazyn B et al: Effect of Tube Voltage on CT noise levels in different phantom sizes. AJR Am J Roentgenol 200(5): 1001-1005. 2013
- ❑ Shimonobo T et al: Low-tube-voltage selection for non-contrast-enhanced CT: Comparison of the radiation dose in pediatric and adult phantoms. Phys Med 32(1): 197-201. 2016
- ❑ Masuda T et al: Protection of aortic enhancement on coronary CTA images using a test bolus of diluted contrast material: Acad Radiol 21(12): 1542-1546. 2014
- ❑ Yu L et al: Automatic selection of tube potential for radiation dose reduction in CT: a general strategy. Med Phys 37(1): 234-243. 2010

# 造影剤低減を行う際に気をつけること

造影剤低減 = 投与する造影剂量 低減



注入レートが極端に低下する



問題点

- ボリューム効果
- ルート内残留の影響

“低濃度の造影剤”を使用する（剤形がない場合は希釈を考慮）



注入レートの担保

“造影剤の注入時間”は変えない



撮影の再現性（撮影タイミングの維持）

# 低電圧CTを行う際に気をつけること

$$\text{X線強度分布} = K \times V^2 \times I \times Z$$

$$\text{X線発生効率} = C \times V \times Z$$

K, C : 定数

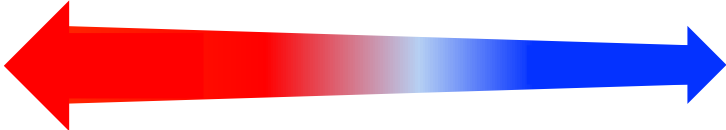
V : 管電圧

I : 管電流

Z : ターゲット原子番号

※120kVpを基準

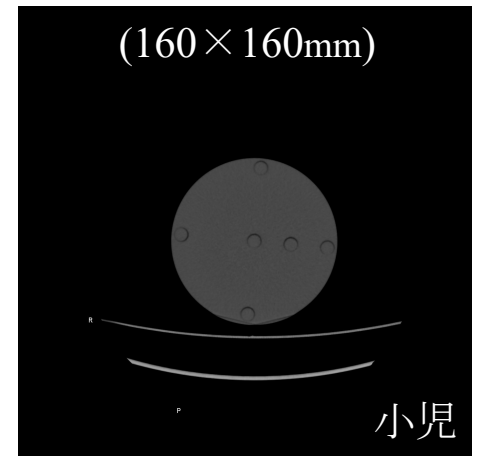
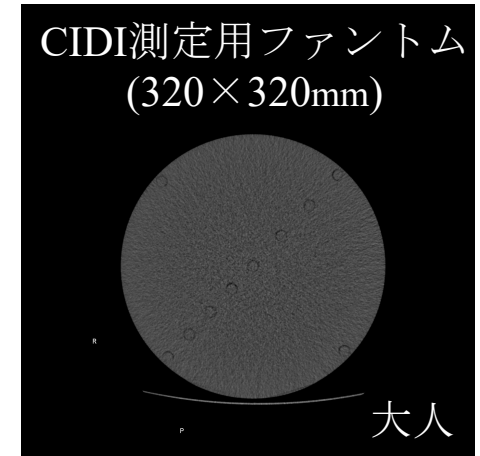
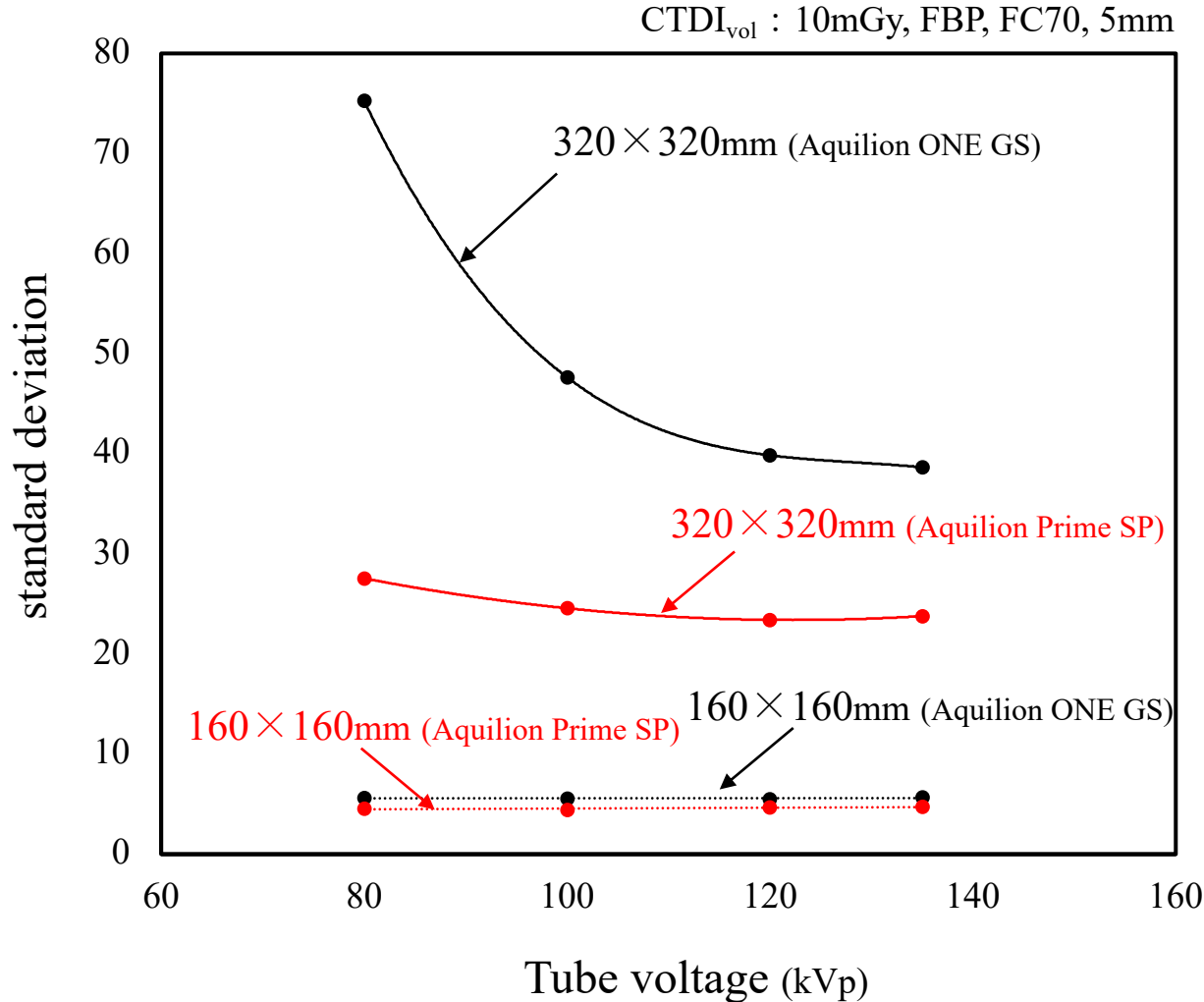
	80kVp	100kVp	120kVp	135kVp
X線強度分布	44%	69%	100%	127%
X線発生効率	67%	83%	100%	113%

線量 多く ←  → 線量 少なく



# 低電圧撮影の場合は、被ばく線量と画像ノイズに気をつける

低管電圧になると、被写体サイズが大きい場合にノイズが増加  
(また、低管電圧ほど管電流の変化に伴う焦点のブルーミングが大きい)



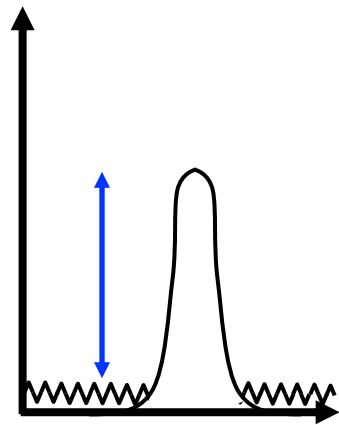
# 造影CT検査は、造影効果でなくコントラストが重要

低電圧CTは、同一の画質(ノイズレベル)にすると線量増加

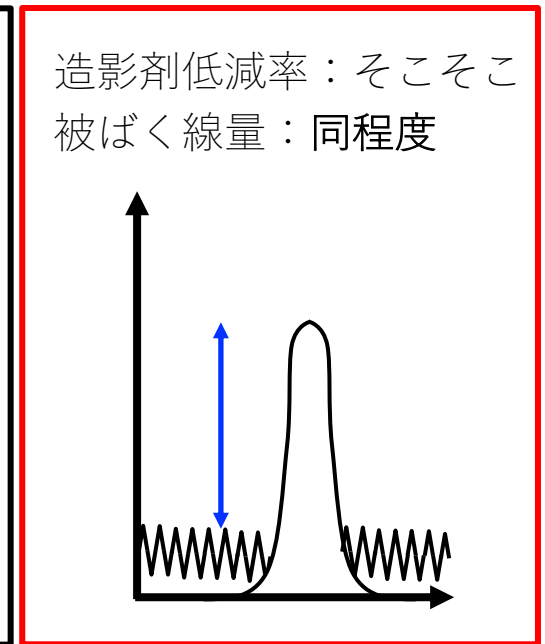
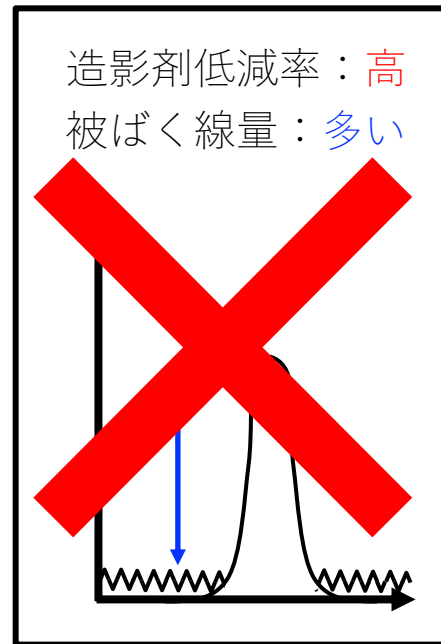
※対象サイズによって違います



コントラスト (CNR) で考える



120kVp



80kVp

- 造影CT検査は，“画質”と“造影”の両立のもと成り立つ
- 造影剤の挙動は，個人個人で異なる



- 揃えるところは揃える（再現性）
- 現状，個別化することは困難

- 低管電圧CT = コントラスト上昇ではない  
(被ばく線量や造影方法についても考える)



- 管電圧だけの変更ではダメ

- “標準化”が進まない



- 検査に対する対価は同じなのに提供されるものが異なる

本来，ヨード量 の評価をしないといけないものを  
CT値 で評価している