

● Deep Learning Reconstructionと低管電圧撮影を用いた腹部末梢血管描出能の検討

長野中央病院 放射線科 | 竹内和幸

腹部造影ルーチン検査の末梢血管描出能について80kVp+deep learning reconstruction (DLR) 撮影と100kVp+hybrid iterative reconstruction (IR) 撮影を比較した。物理評価ではDLRを用いた方が空間分解能は高く、ノイズも少なかった。臨床画像で比較したら80kVp+DLR撮影の方が末梢血管のCT値が高く、volume rendering (VR) 画像での視覚評価も高い結果となった。腹部造影ルーチン検査において、80kVp+DLRの方が腹部末梢血管の描出能は優れていた。

Peripheral vascular imaging performance of a routine abdominal contrast scan was compared between 80kVp+ deep learning reconstruction (DLR) imaging and 100kVp+ hybrid iterative reconstruction (IR) imaging.

In the physical evaluation, spatial resolution was higher and noise was lower with DLR.

When compared in clinical imaging, 80kVp+DLR imaging resulted in higher CT values of peripheral vessels and higher visual evaluation in VR images.

In the routine abdominal contrast-enhanced examination, 80kVp+ DLR had better ability to depict abdominal peripheral vessels.

● 目的

当院において、computed tomography (CT) 装置の更新によりdeep learning reconstruction(以下：DLR)であるPrecise Image(Philips社製 以下：PI)を使用できるようになった。DLRは空間分解能の向上やノイズ低減が期待できる^{1,2)}。腹部造影ルーチン検査において、100kVp+ hybrid iterative reconstruction(i Dose⁴)の条件としているが、PIが使用できる装

置では80kVp+PIで行っている。今回、両条件において腹部末梢血管の描出能に違いがあるか評価したので報告する。

● 方法

1. 使用機器

CT装置はIncisive CT Premium (Philips社製、DRL搭載)とIngenuity Elite(Philips社製)、自動注入器はDual Shot GX7(根本杏林堂社製)、3DWorkStationはIntelliSpace

Portal(Philips社製)、造影剤はイオパミドール300および370を用いた。

2. 撮影条件および造影剤注入条件

両装置における撮影条件を表1に示す。Incisive CT Premiumで80kVpとPIを使用し、Ingenuity Eliteで100kVpとiDose⁴を使用した。Kernelは両装置とも軟部条件であるTissueおよびStandard(B)を用いた。LevelはPIが5段階の真ん中であるStandardを使用し、iDose⁴ではLevel4を使用した。

造影剤注入条件は表1に示すように、

表1 両装置における撮影条件と造影剤注入条件

	Incisive CT Premium	Ingenuity Elite
kVp	80	100
Reconstruction Kernel	Precise Image Tissue	iDose ⁴ Standard (B)
Level	Standard	4
Rotation Time (s)		0.5
Pitch		0.8
DRI (Dose Right Index)	15	20
Thickness/Increment (mm)		1.0/0.5
Field of view (mm)		350
Iodine(mgI/kg)	360	480
Injection		33s
Scan timing		40s、120s

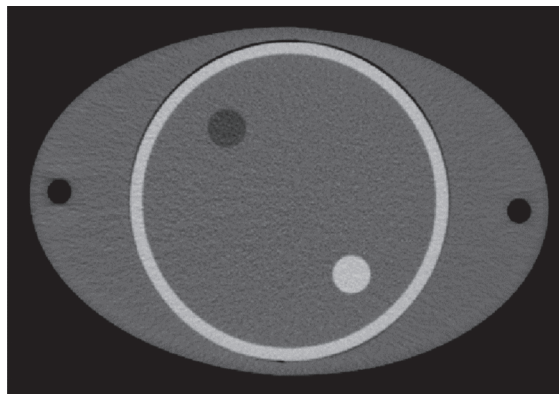


図1 ファントム

直径20cmのシステムパフォーマンスファントム(Philips社製)を楕円吸収体ファントム(京都科学社製)内に設置し、長径を30cmとし成人腹部の体形を模擬した。システムパフォーマンスファントム内には直径25mmのアクリル(130HU)の円柱モジュールが配置されており、周囲が水で満たされている。

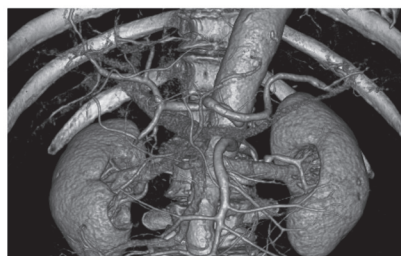
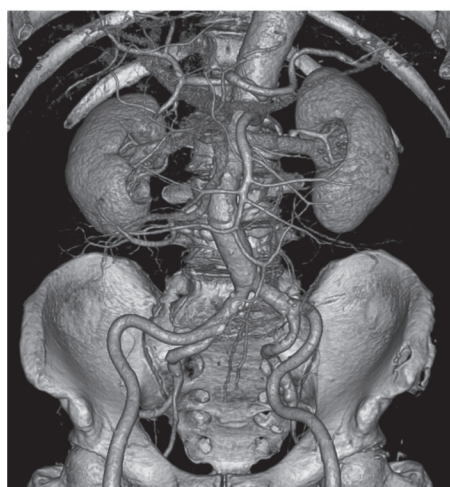


図2 視覚評価の方法

①画像を読み込む ②拡大率を2.0倍にして ③上腹部と下腹部に分けて視覚評価する (カラーテンプレートは同じものを使用し調整はしない、上腹部と下腹部は別のテンプレートを使用)

- 4点: 構造物の辺縁明瞭
- 3点: やや血管の辺縁の不整はあるがほぼすべての構造が描出されている
- 2点: 一部の血管の認識が難しい
- 1点: 血管の認識が難しい

▶巻頭カラー参照

造影剤使用量は80kVp+PIは360mgI/kg、100kVp+iDose⁴は480mgI/kgである。それを33秒で注入し造影剤注入40秒後と120秒後に撮影した。今回は動脈相である40秒後で評価を行った。

3. 検討①(物理評価)

線量を変化させ(CTDIvol: 9.6、7.2、4.8mGy)、ファントム(図1)を5回撮影した。得られた画像を加算平均し、アクリル(130HU)の円柱モジュールにてtask-based transfer function(TTF)を測定し、空間分解能を評価した。同様に、ファントム内の水の部分でnoise power spectrum(NPS)を測定し周波数毎のノイズ強度を評価した。画像解析および計測には、imQuest(Duke university)を使用した。

4. 検討②(臨床画像評価)

対象は、2023年1~4月にIncisive CTとIngenuityで撮影した患者各15名とした。患者背景に関してt検定で比較した。

①: 各血管におけるCT値評価

上腹部4点(腹部大動脈、腹腔動脈、固有肝動脈、右肝動脈)、下腹部3点(腹部大動脈、下腸間膜動脈、直腸動脈)でCT値を計測、比較し、マン・ホイットニーのU検定で有意差検定を行った。また、Celiacレベルの左右の脊柱起立筋、腹部大動脈分岐部レベルの左右腸腰筋で画像SDを計測しマン・ホイットニーのU検定を用いて比較した。

②: 視覚評価

VR画像を作成し、上腹部1点(右肝動脈の分岐)、下腹部3点(左結腸動脈、S状結腸動脈、直腸動脈)を診療放射線技師2名にて4段階で視覚評価を行い(図2)、計測、比較し、マン・ホイットニーのU検定で有意差検定を行った。統計ソフトはEZ^R Version1.61を用いた。

結果

1. 物理評価

それぞれのTTFのグラフと50% TTF、10% TTFの値を図3に示す。各線量において80kVp+PIの方が50% TTF、10% TTFともに高かった。それぞれのNPSのグラフとnoise magnitude、NPS peakの値を図4に示す。各線量において80kVp+PIの方がnoise magnitudeは小さかった(100kVp+iDose⁴の7.2mGyと80kVp+PIの4.8mGyが同じ値だった)。NPS peakは100kVp+iDose⁴の方が低周波側にシフ

トしていた。

2. 臨床画像評価

①患者背景

患者背景において統計学的な有意差は認められなかった。造影剤注入速度に関しては有意差が認められた(表2)。

②血管のCT値および筋肉のSD

上下腹部の腹部大動脈(上腹部の大動脈 80kVp+PI vs 100kVp+iDose⁴ 377 ± 61HU vs 341 ± 52HU p=0.11、下腹部の大動脈 385 ± 59HU vs 351 ± 56HU p=0.232)、腹腔動脈(371 ± 62HU vs 326 ± 49HU p=0.717)のCT値において統計学的有意差は認められなかったが、固有肝動脈 (359 ± 60HU vs 309 ± 53HU p<

0.05)、右肝動脈 (339 ± 66HU vs 268 ± 40HU P<0.001)、下腸間膜動脈(336 ± 61 HU vs 253 ± 50HU P<0.001)、直腸動脈 (298 ± 65HU vs 208 ± 61HU p<0.001)と末梢にいくにつれて統計学的有意差が認められた(図5,6)。

線量設定を25%低減しているにもかかわらず脊柱起立筋の画像SDは(15.9 ± 3.0 vs 18.6 ± 2.4 P<0.01)、腸腰筋のSDは(18.3 ± 4.9 vs 21.1 ± 3.4 p<0.01)と統計学的有意差が認められた。BMIで正規化しても同様の結果が得られた(図7)。

③視覚評価

右肝動脈(3.1 ± 1.0 vs 2.1 ± 1.1 p<0.01)、左結腸動脈(3.4 ± 1.0 vs 2.5 ± 1.2 p<0.05)、S状結腸動脈 (3.4 ± 0.9 vs 2.1 ±

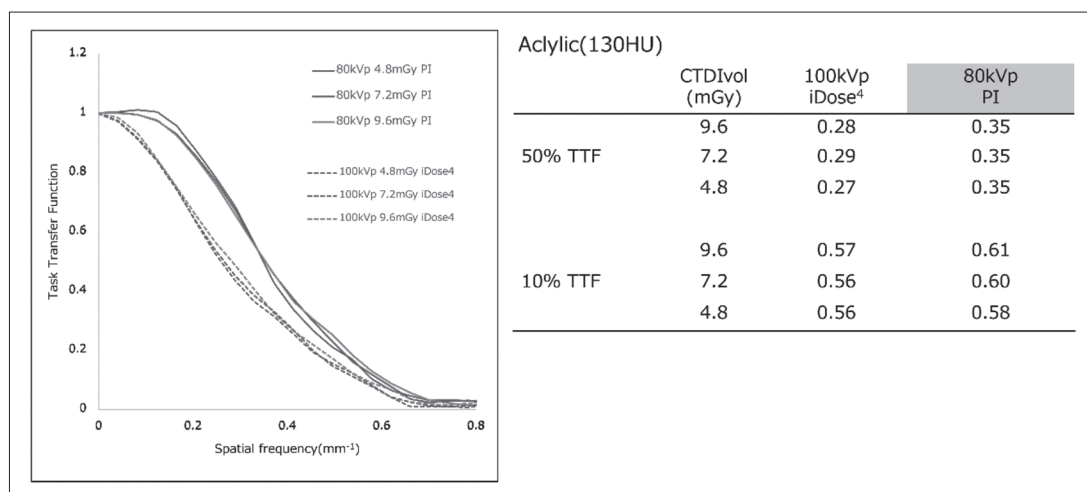


図3 TTFの結果

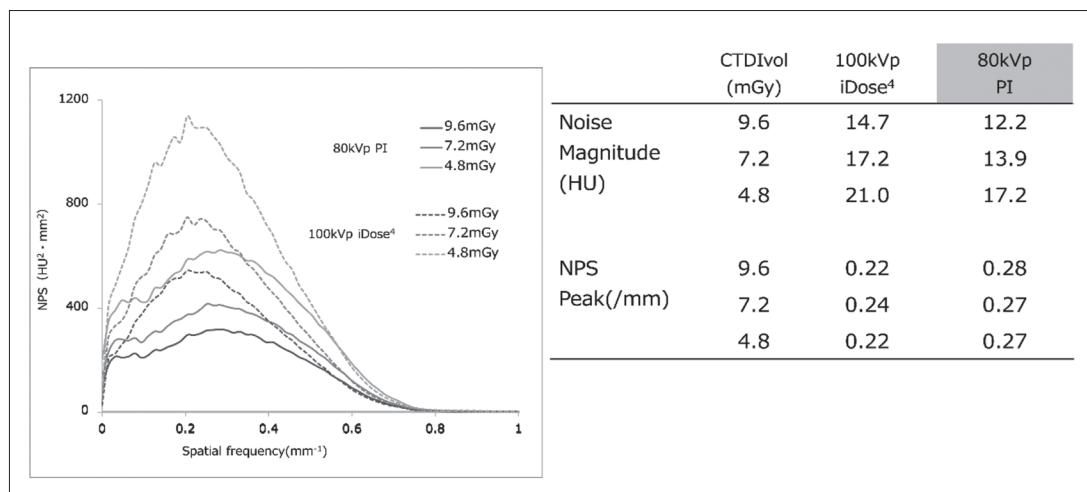


図4 NPSの結果

表2 患者背景

	100kVp iDose ⁴	80kVp PI	p-value
N数 (男性、女性)	15(10,5)	15(13,2)	
年齢 (歳)	66.8(37-88)	72.9(28-92)	n.s.(0.258)
体重 (kg)	57.6(32-90)	58.4(35-94)	n.s.(0.883)
身長 (cm)	161.8(136-173)	161.4(132-175)	n.s.(0.911)
BMI	22.3(11.8-30.1)	22.1(17.1-34.1)	n.s.(0.941)
注入速度	2.7(1.6-4.4)	2.0(1.3-2.8)	P<0.05

1.1 p<0.001)、直腸動脈(3.8±0.6 vs 3.1±1.0 p<0.05)と全ての部位において統計学的有意差が認められ、末梢動脈ほど顕著であった(図8)。

臨床画像

2例とも体格はほぼ同じ患者を比較した。①は体格の良い症例(図9)、②は標準体型の症例(図10)である。

上腹部では肝動脈と門脈がPIではシャープに描出されているが、iDose⁴だとぼやけた印象である。肝臓や骨盤腔内の臓器

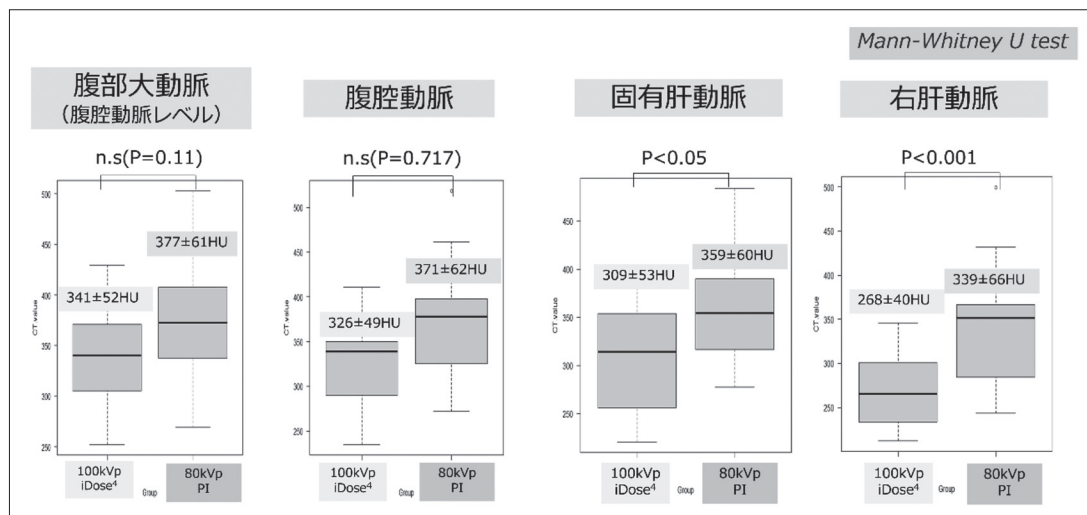


図5 上腹部における各血管のCT値

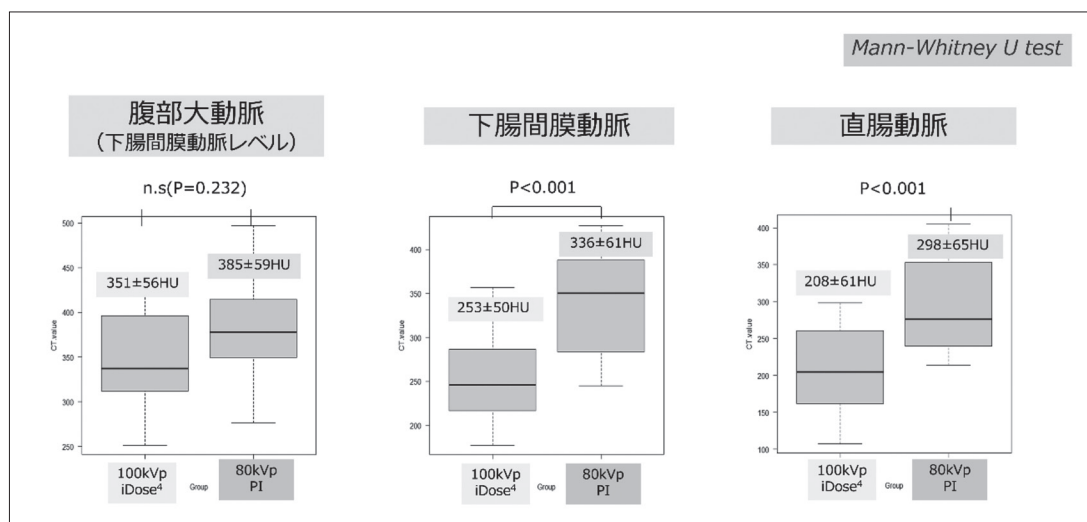


図6 下腹部における各血管のCT値

もPIはノイズも少なくfiltered back projection (FBP)に近い自然な画像であるが、iDose⁴はPIと比べるとノイズも多くオイルペインティング様な印象がある。末梢にいくほど80kVp+PIの方が血管のCT値が高いので、VR画像では末梢血管もしっかり描出されているが、100kVp+iDose⁴ではCT値が低いいため末梢血管の描出が乏しい。

考察

80kVp+PIの方が末梢動脈の描出能が向上した。その理由として、物理評価の

結果からもわかる通り、空間分解能が向上していること、ノイズが低減されている事が寄与していると考える。特に末梢動脈に関しては画像を見てもわかる通り、100kVp+iDose⁴と比べ80kVp+PIの方が、血管がシャープに見えボケの少ない画像になっている。CT値に差が出た原因の1つであると考え。また、画像の質感に関してはFBPの標準的線量で撮影された画像を「教師画像」としているため、ノイズの質感をより一般的なFBP画像に近づけ、かつノイズを低減した画像再構成が可能というPIの特徴が反映している⁴⁾と考える。

結語

腹部造影ルーチン検査において、80kVp+PIの方が腹部末梢血管の描出能は優れていた。

<文献>

- 1) Greffier J et al: Image quality and dose reduction opportunity of deep learning image reconstruction algorithm for CT: a phantom study. Eur Radiol 30(7): 3951-3959, 2022
- 2) 竹内和幸: Precise Imageを用いた被ばく低減の可能性. 映像情報Medical54(13): 90-97, 2022
- 3) Kaneda Y: Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZ R' for medical statistics. Bone Marrow Transplantation 48(3): 452-458, 2013
- 4) Koninklijke et al: AI for significantly lower dose and improved image quality. White Paper. Accessed February 20, 2022

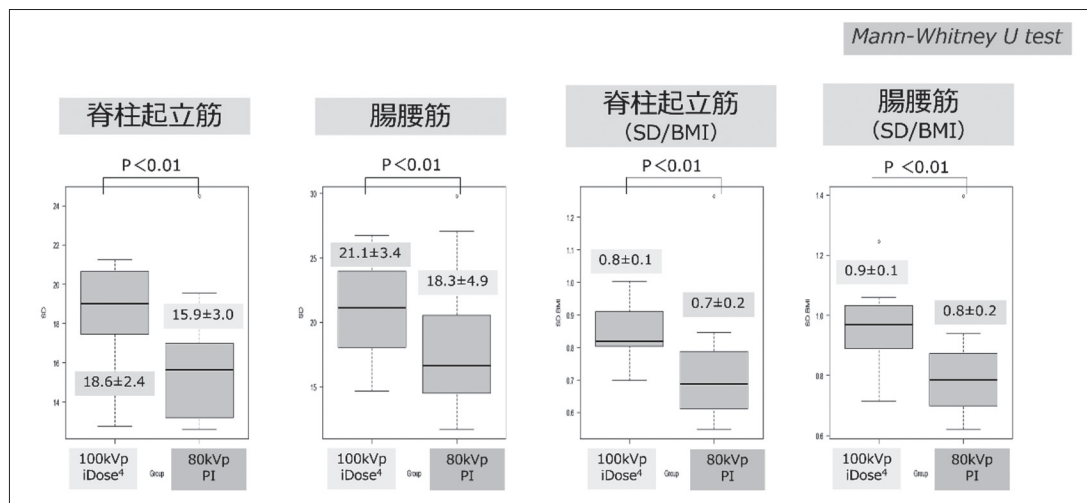


図7 筋肉のSD値

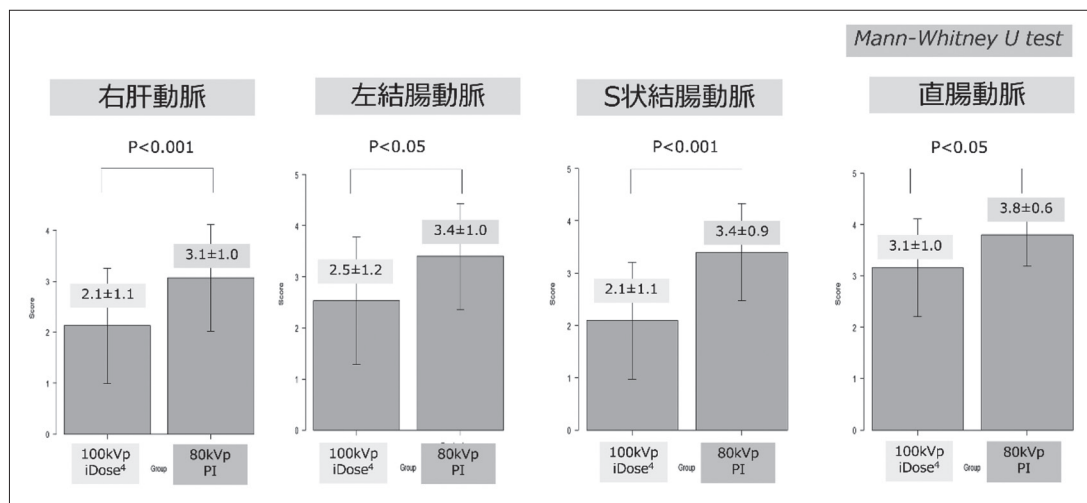


図8 視覚評価の結果

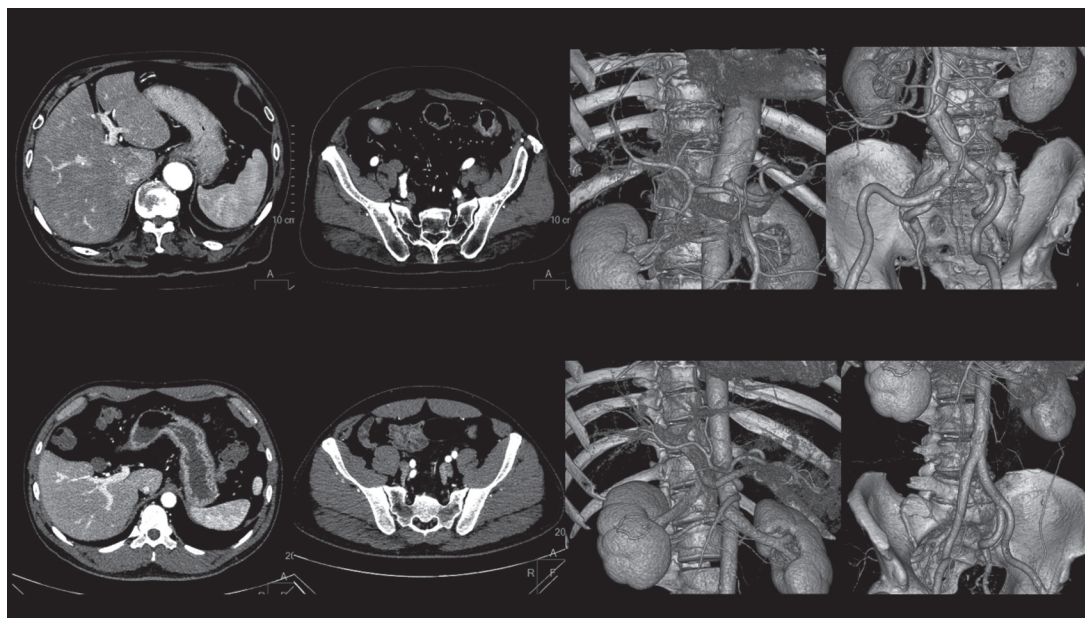


図9 臨床画像①

→巻頭カラー参照

上段: 80kVp+PI	163cm 73kg 2.8mL/s 91mL(370製剤)
Aorta: 418.6HU	右肝動脈: 372.4HU 脊柱起立筋: 17.0HU
Aorta: 405.8HU	直腸動脈: 380.0HU 腸腰筋: 21.0HU
下段: 100kVp+iDose ⁴	170cm 80kg 3.9mL/s 128mL(300製剤)
Aorta: 343.9HU	右肝動脈: 332.4HU 脊柱起立筋: 20.6HU
Aorta: 302.9HU	直腸動脈: 217.0HU 腸腰筋: 24.3HU

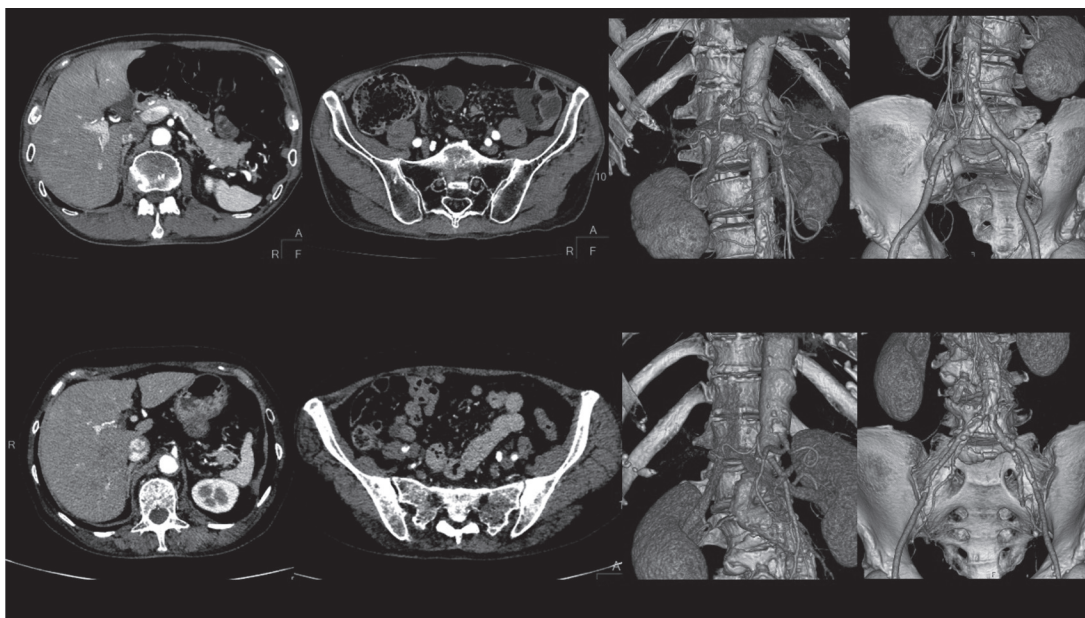


図10 臨床画像②

→巻頭カラー参照

上段: 80kVp+PI	164cm 54kg 2.0mL/s 65mL(300製剤)
Aorta: 325.4HU	右肝動脈: 286.2HU 脊柱起立筋: 12.6HU
Aorta: 333.8HU	直腸動脈: 213.5HU 腸腰筋: 14.1HU
下段: 100kVp+iDose ⁴	160cm 48kg 2.3mL/s 77mL(300製剤)
Aorta: 324.2HU	右肝動脈: 215.4HU 脊柱起立筋: 20.7HU
Aorta: 337.9HU	直腸動脈: 177.3HU 腸腰筋: 23.8HU