

低エネルギー仮想単色X線CT画像の性能評価： contrast-to-noise ratioと detectability indexによる比較

宮崎県立宮崎病院

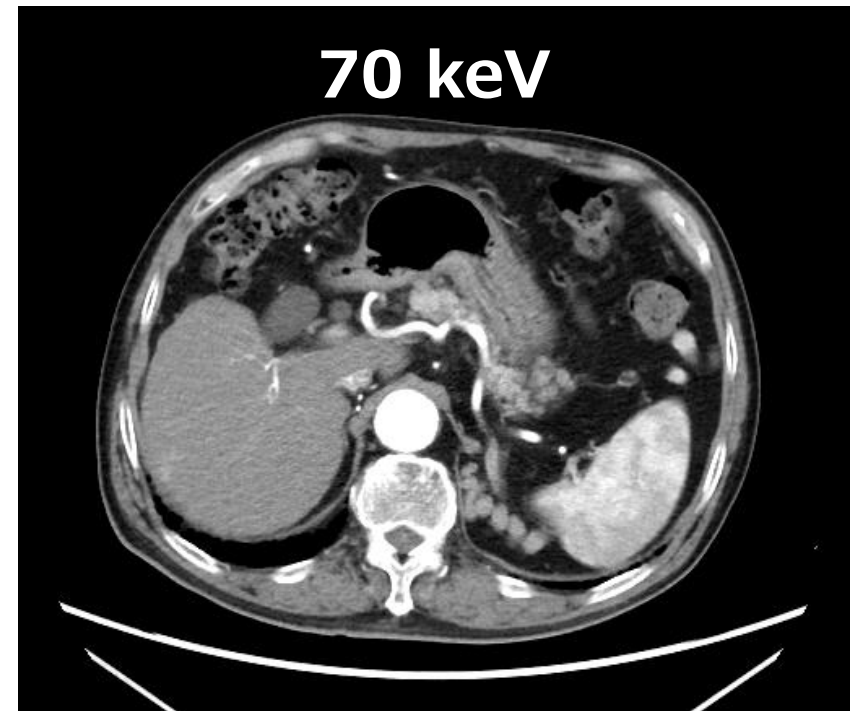
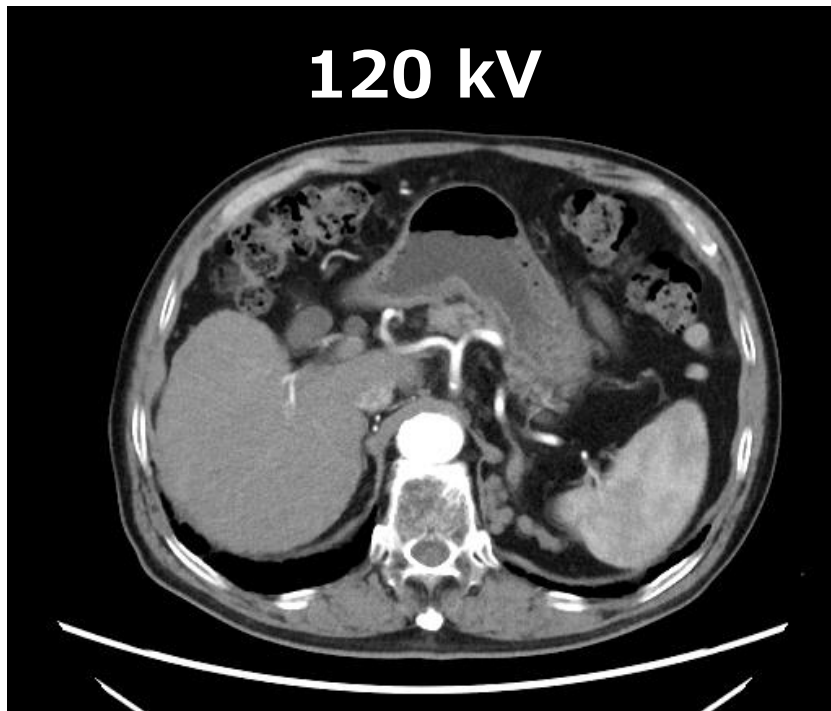
藤本一真

仮想単色X線CT画像

●70 keV程度のエネルギー画像

- 従来の120 kV画像と同程度のコントラスト
- 臨床では代用画像として使用

➤ *Bhosale P, J Comput Assist Tomogr. 2015*



低エネルギー仮想単色X線CT画像

●ヨード造影剤のコントラストを強調

→ 病変部の検出能改善

➤ *Noda Y, Clin Radiol. 2020*

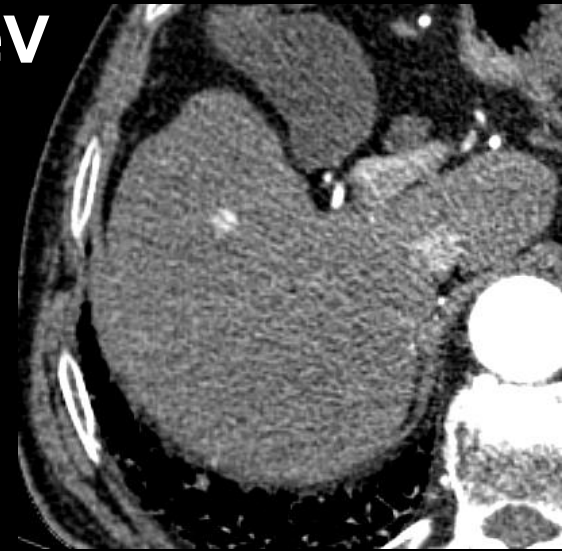
●単純CT検査

- 軟部組織においても多少のCT値増加
- 脳梗塞や腫瘍など低コントラスト検出能の向上に期待？
→ 十分な検証は行われていない

70 keV



40 keV



Motivation

●仮想単色X線CT画像の画質評価

- Contrast-to-noise ratio (CNR) を使用した評価
- ヨードに対する低エネルギー（低keV）画像の優位性
 - *Noda Y. Clin Radiol. 2020*
 - *Darras KE. Abdominal Radiology. 2019*
- 当院では、画像ノイズの影響を考慮して、40 keV画像よりも造影効果の低い50 keV程度の画像を使用

●CNRの結果と視覚的な印象の不一致

●総合的な画質評価指標である **detectability index (d')** を用いて評価

Purpose

- 仮想単色X線CT画像のヨードおよび軟部組織の描出において、低keV画像の有用性を検証すること
- CNRとdetectability indexによる画質評価を比較し、より視覚的な印象と合う指標を検討すること

画像データの取得

●CT装置

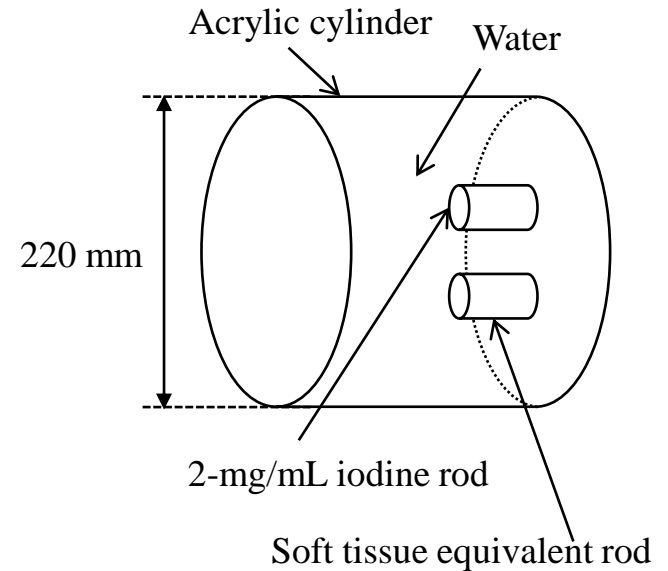
- Revolution CT (GE healthcare)

●ファントム

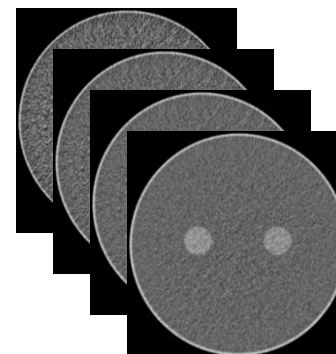
- 22 cm径円柱水ファントム
- ヨード, 軟部組織等価ロッド (GAMMEX ; 2 mg/mL, liver)

●撮像条件 (小児腹部を想定)

- 管電圧 Dual energy = 80/140 kV
- 画像再構成法 = FBP
- 再構成関数 = Standard
- スライス厚 = 0.625 mm
- S-FOV = 256 mm
- $CTDI_{vol} = 7.9$ mGy
- Pitch = 0.992
- Rotation time = 0.5 s
- Coverage = 80 mm



仮想単色X線CT画像



- 40 keV
- 50 keV
- 60 keV
- 70 keV

物理的画質評価

● Contrast-to-noise ratio (CNR)

- ヨード等価ロッド
 - 2 mg/mL = 57 HU@120 kV
- 軟部組織等価ロッド
 - Liver = 62 HU@120 kV
- ROI = 30×30 pixels

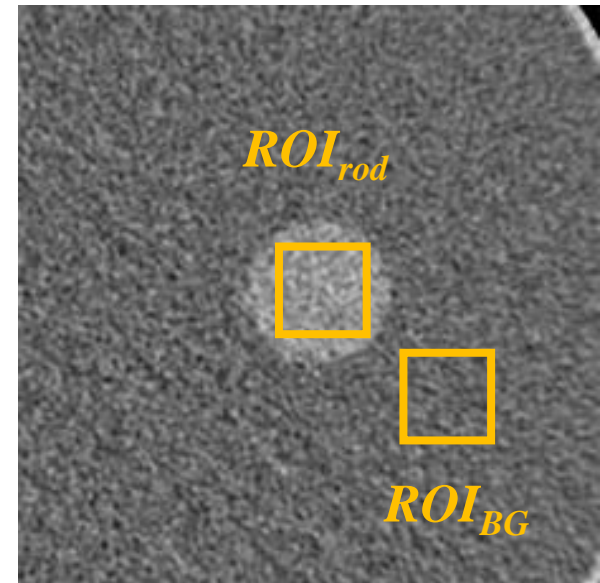
Contrast

$$CNR = \frac{ROI_{rod} - ROI_{BG}}{SD_{BG}}$$

ROI_{rod} : ロッド内部の平均CT値

ROI_{BG} : バックグラウンドの平均CT値

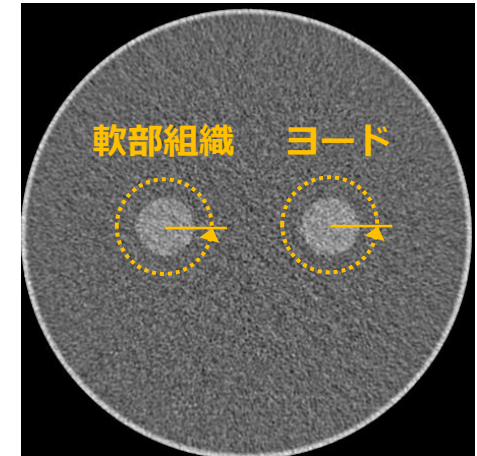
SD_{BG} : バックグラウンドの標準偏差



物理的画質評価

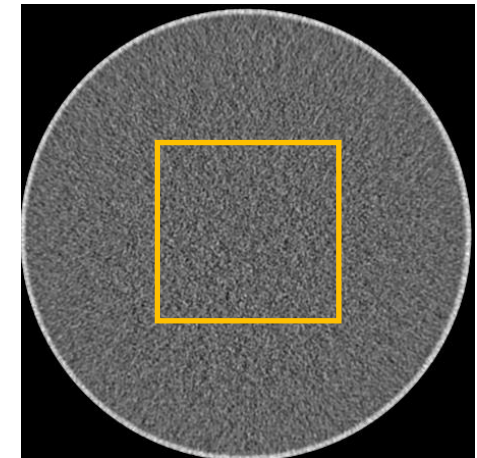
●TTF (task transfer function)

- Circular edge法
- ヨード等価ロッド
 - 2 mg/mL = 57 HU@120 kV
- 軟部組織等価ロッド
 - Liver = 62 HU@120 kV



●NPS (noise power spectrum)

- Radial frequency法
- ROI = 256×256 pixels
- 連続した100画像から解析



物理的画質評価

● Detectability index (d')

- 総合的な画質評価指標
- 信号の大きさ : 5 mm
- 造影, 非造影の腫瘍を想定し, ヨード, 軟部組織の結果より算出

$$d'^2 = 2\pi \int f \frac{W_{task}^2(f) TTF^2(f)}{NPS(f)} df$$

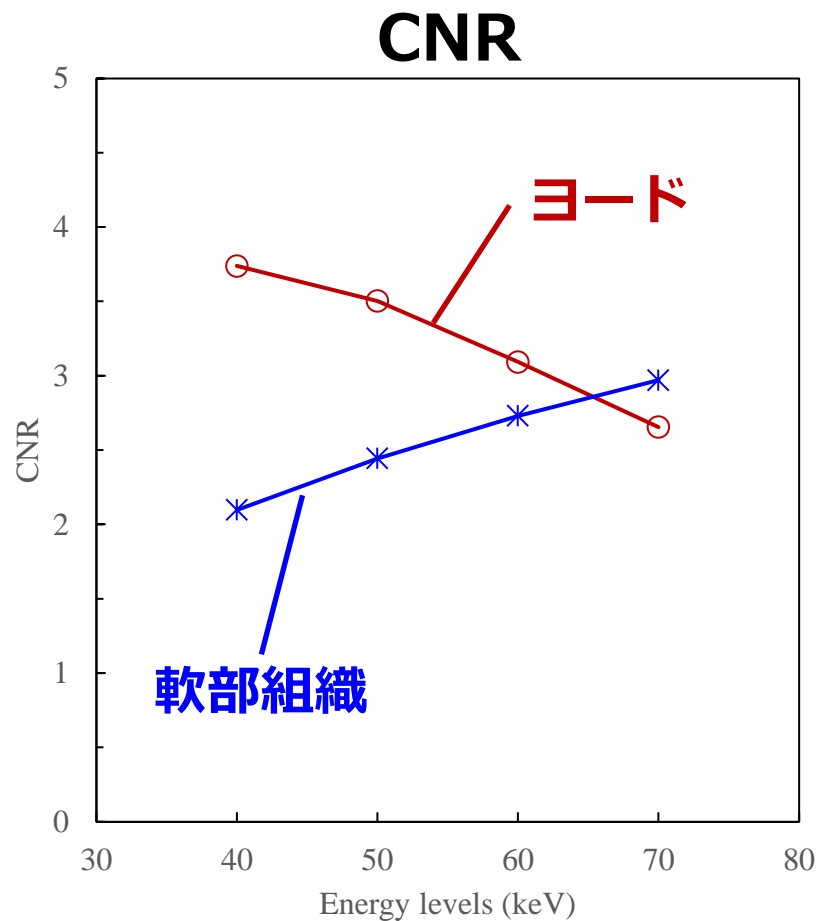
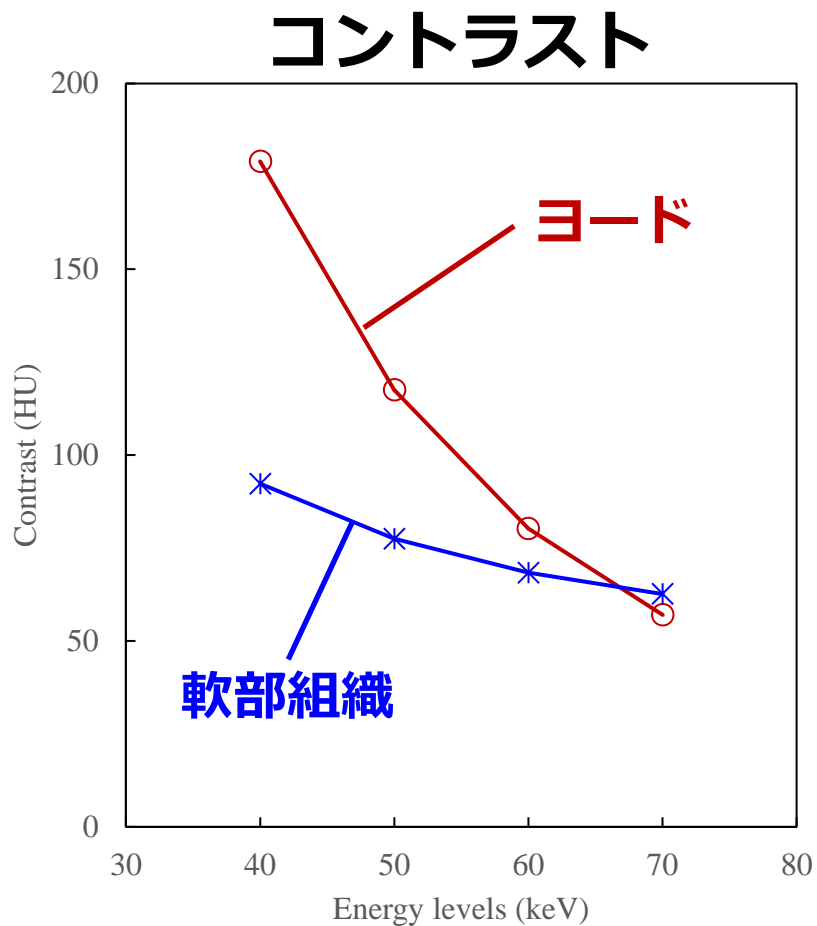
➤ *Kawashima H, Med Phys. 2020*

$$W_{task}(f) = C \frac{2J_1(\pi\phi f)}{\pi\phi f}$$

C : 想定するコントラスト
 ϕ : 想定するタスクサイズ
 J_1 : 一次のBessel関数

Results CNR

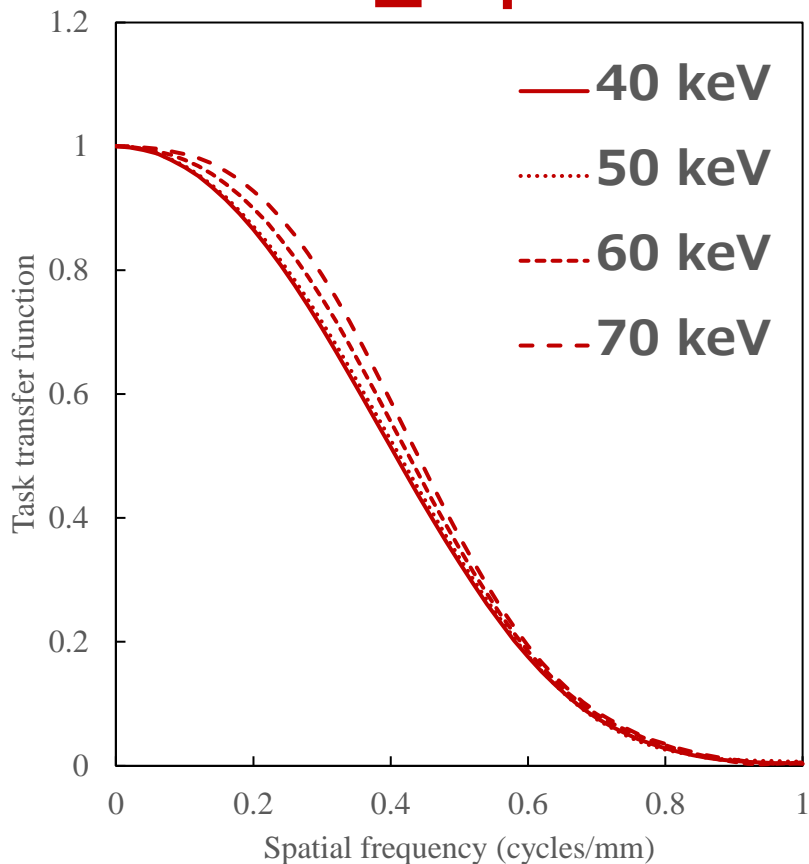
- コントラスト：低keVほど増加
- CNR：低keVにおいてヨードで増加，軟部組織は低下



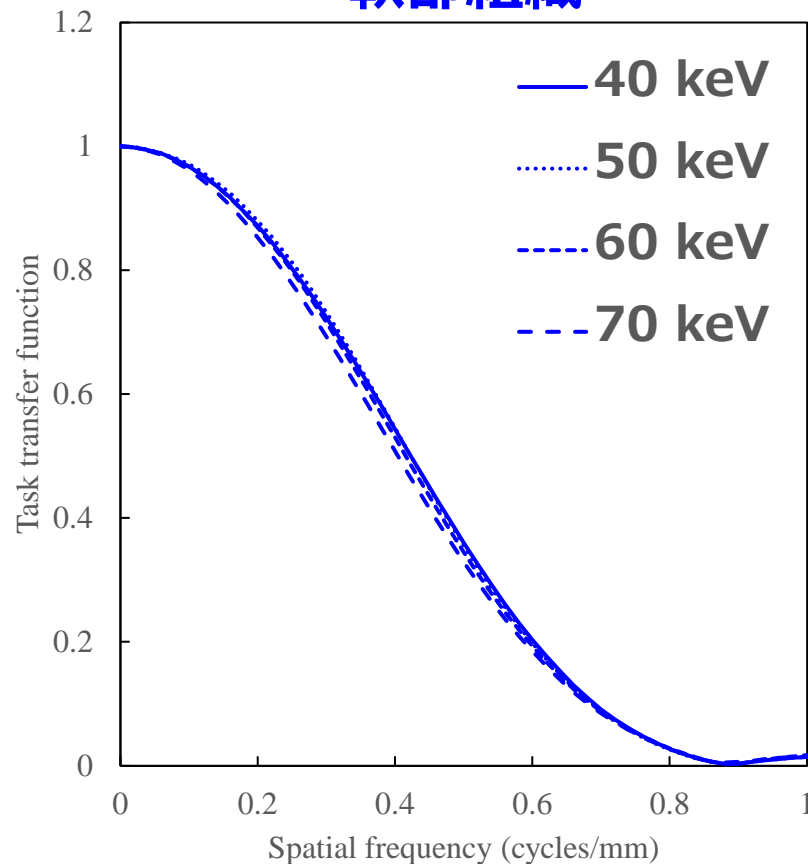
Results TTF

- ヨード：低keVほどわずかに低下する傾向
- 軟部組織：エネルギーによる影響はない

ヨード

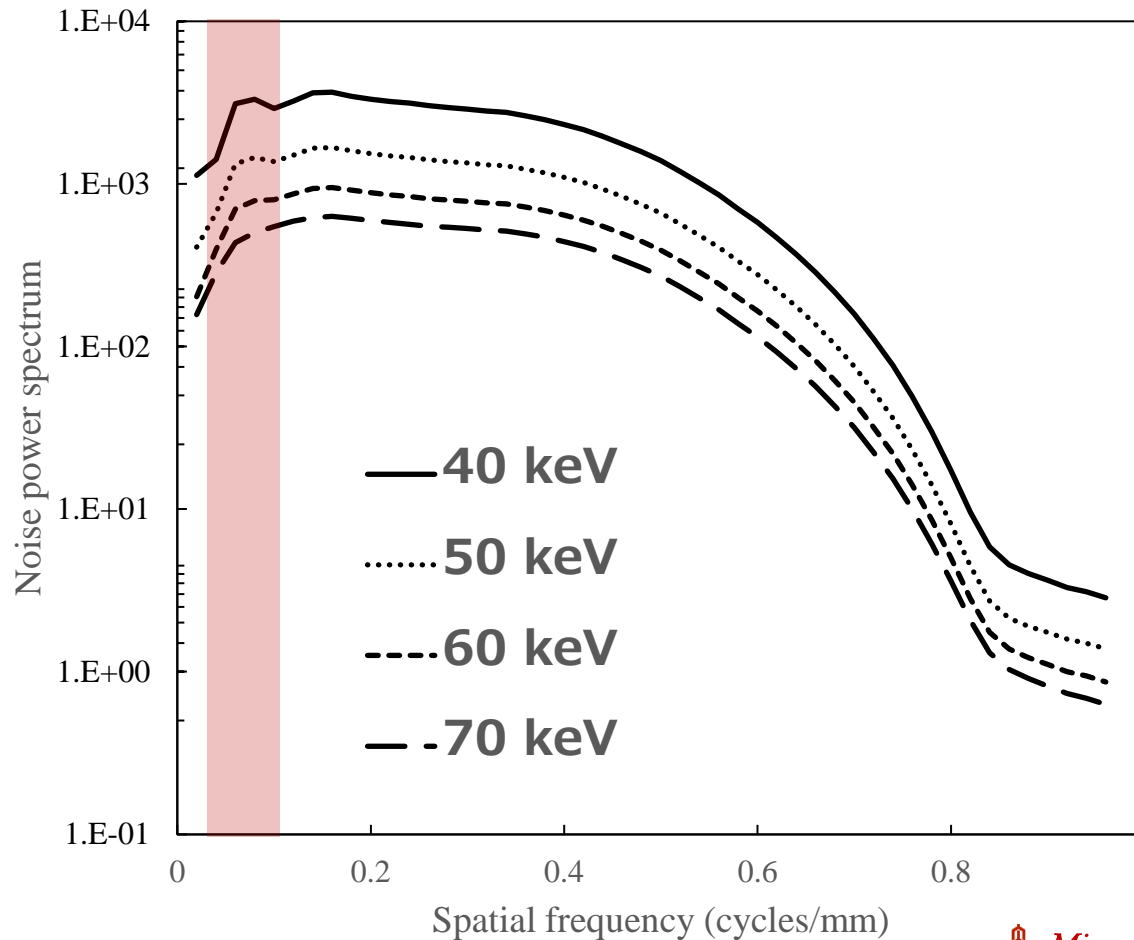


軟部組織



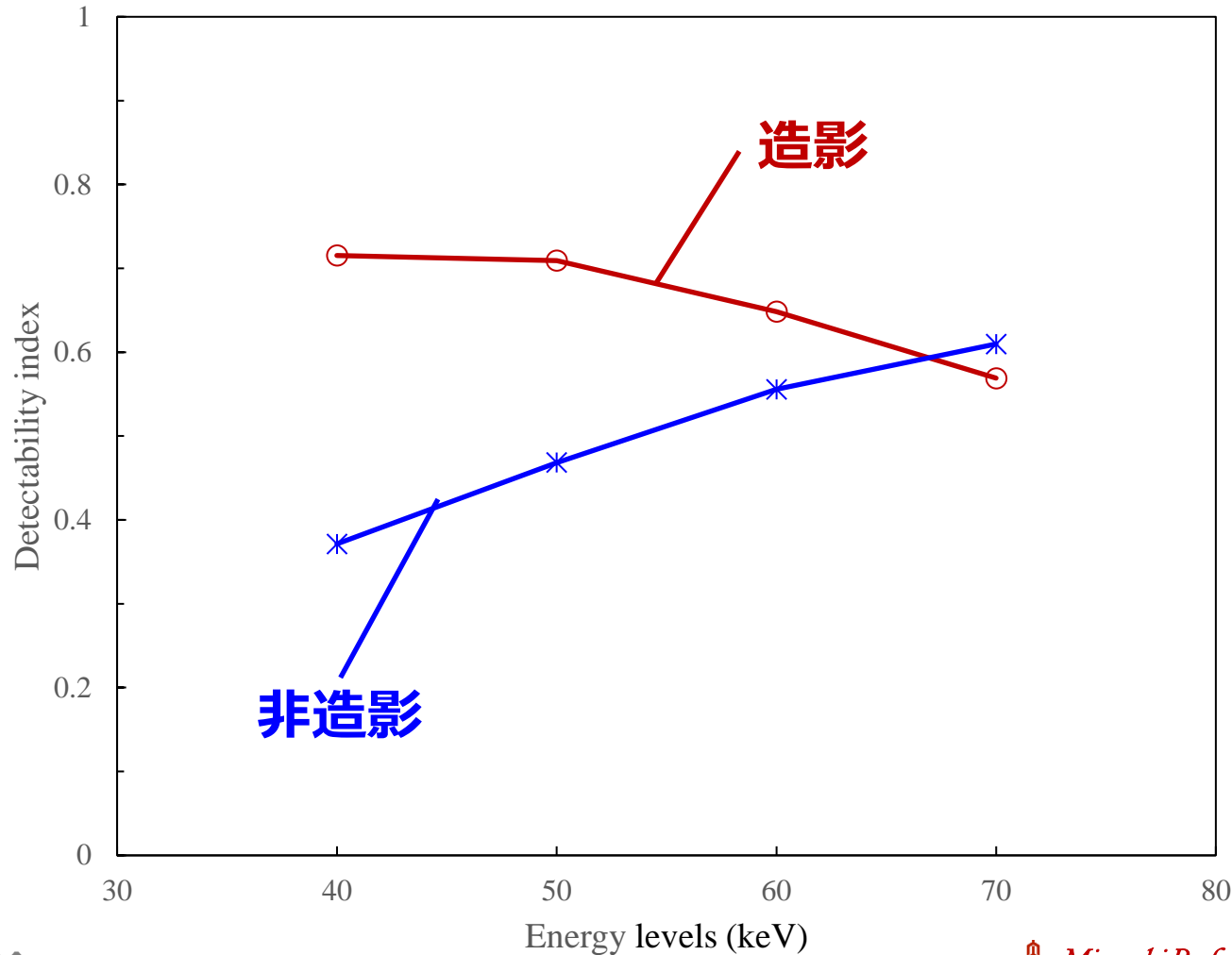
Results NPS

- 低keVほどノイズは増加
- 40,50 keVでは, 0.1 cycles/mm以下の低周波領域においてNPS値が特異的に増加



Results Detectability index

- CNRと同様の傾向
- 造影では40 keVと50 keVは同程度



Discussion

●CNRを用いた低keV画像の評価

- ヨードは低keVほど増加し，描出は改善

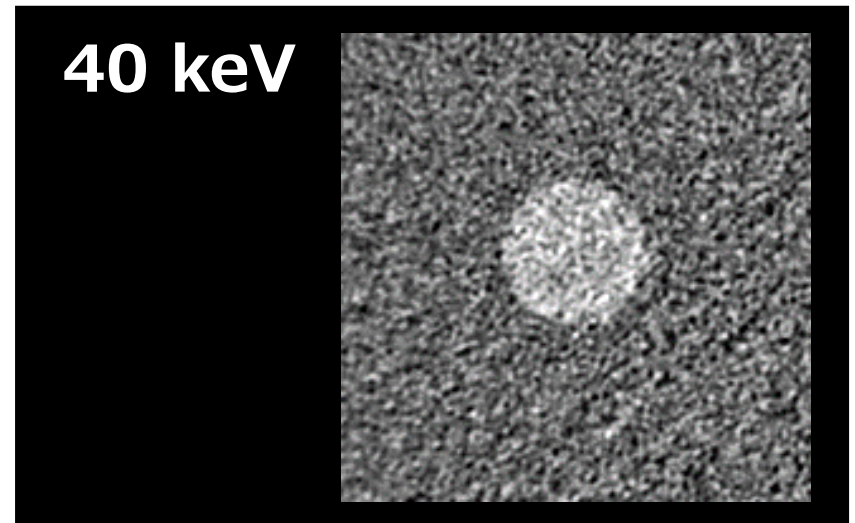
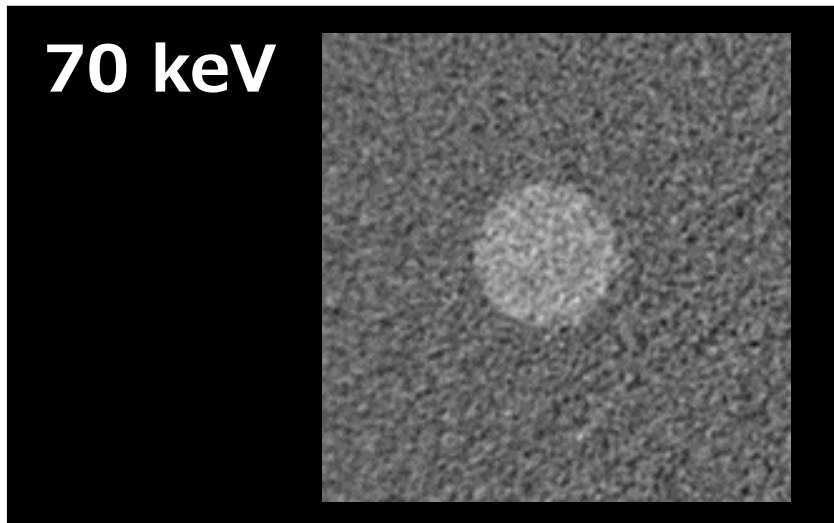
→ 過去の報告と一致

➤ *Noda Y. Clin Radiol. 2020*

- 軟部組織では劣化

→ 低エネルギー設定によるコントラストの改善よりも，画像ノイズの増加が上回ることに起因

軟部組織等価ロッド

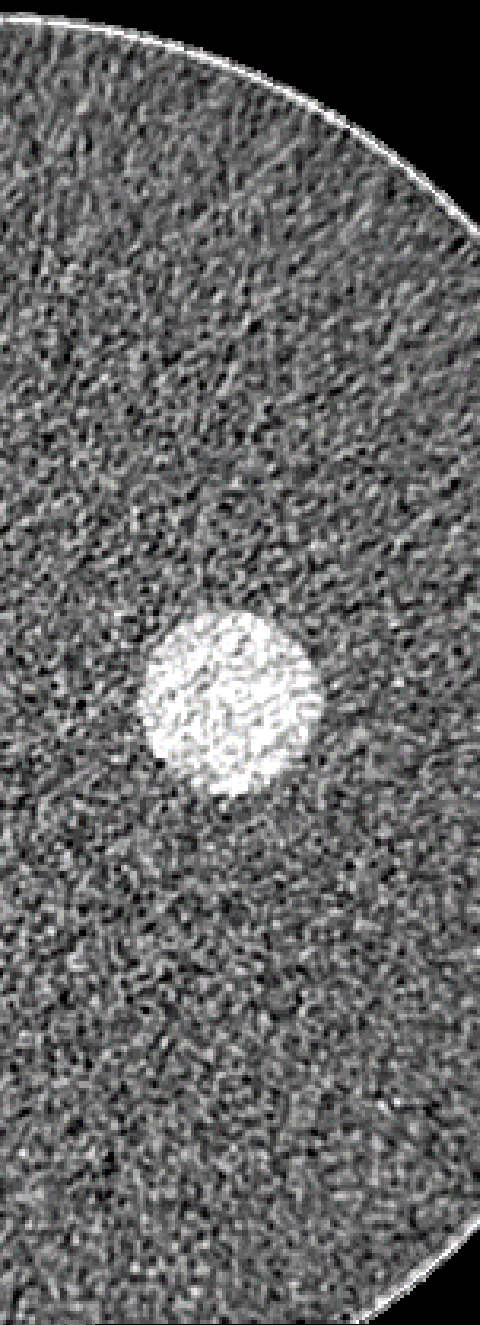


Discussion

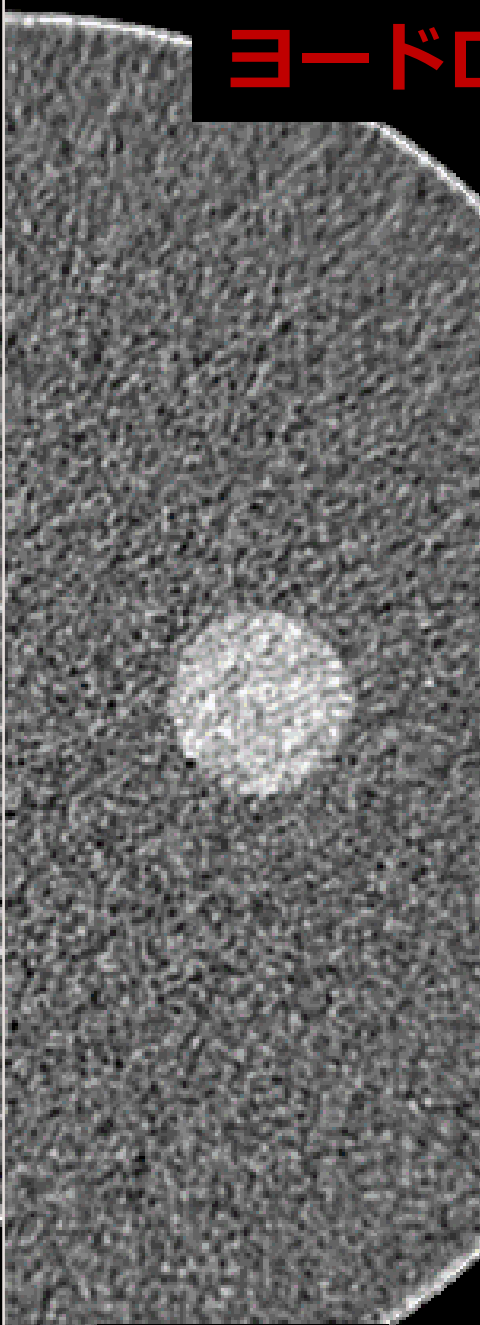
● Detectability indexを用いた低keV画像の評価

- 造影では, 70 keV画像比較して顕著に増加
- CNRの結果とは異なり, 40 keVと50 keVの結果は同程度
- これは低周波領域におけるノイズ特性の劣化に起因するもの
- 画像の生成過程で発生する特有の影響
- 低keV画像の臨床使用における主な問題点

ヨードロッド像



40keV



50keV



60keV



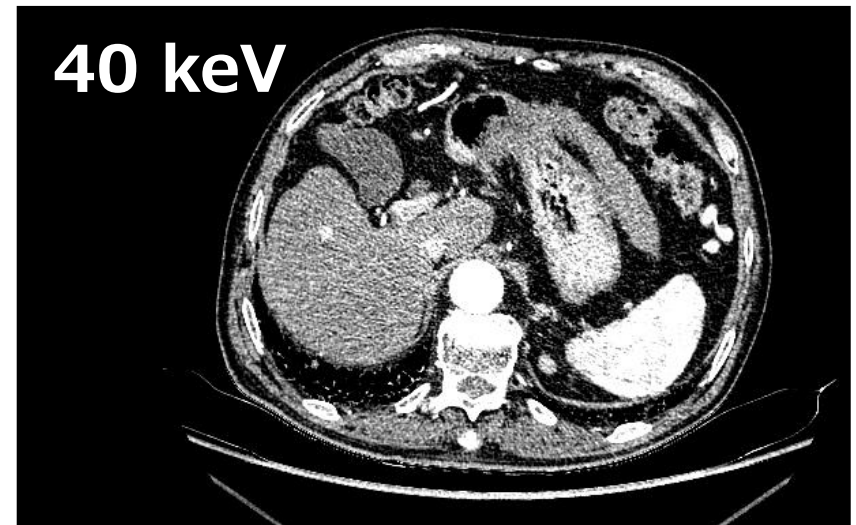
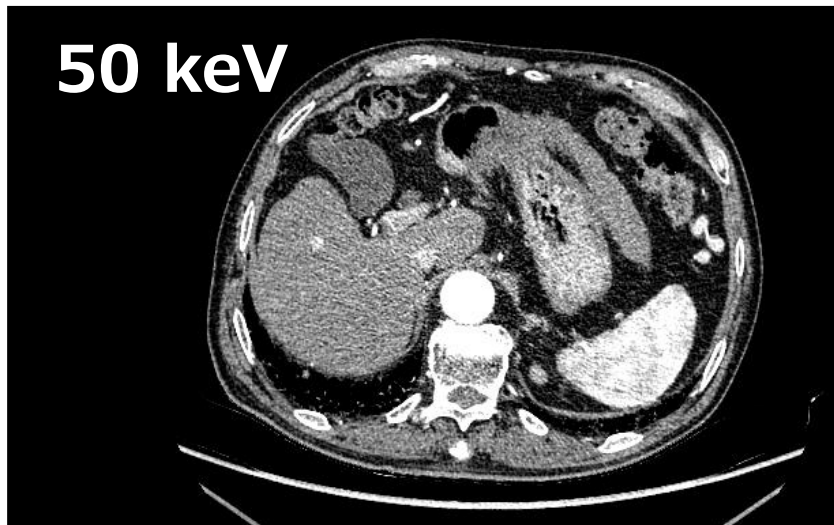
70keV

Discussion

- 先行研究では、40 keV画像で最も高いCNRを示すが、画像ノイズ増加により、視覚評価では50 keV画像が最適

➤ *De Cecco CN. Eur Radiol. 2018*

- この傾向は本研究の結果と一致
- 50 keV画像が、40 keV画像に比べCT値増強効果が低いものの、画像ノイズやテクスチャの変化が視認性に与える影響が少ない



Conclusion

- 低keV画像の優位性は、画像ノイズの増加よりもコントラスト増強効果が得られた場合にある。
- CNR測定では、周波数特性が含まれず、低周波ノイズに起因する画質劣化を評価することができない。
- d' 測定では、仮想単色X線CT画像で問題となる低周波ノイズの影響も含めた評価が可能であり、より視覚的な印象と一致した結果が得られる可能性がある。