

原著

Dual energy CT 解析によりシスチン結石の判別は可能か

辻口美奈子¹⁾ 三味篤¹⁾ 川村研二²⁾ 延田宗久¹⁾ 林圭子¹⁾ 森下毅¹⁾

¹⁾恵寿総合病院 放射線課 ²⁾恵寿総合病院 泌尿器科

【要約】

Dual-energy computed tomograph は 2 種類の X 線管球と検出器を搭載しており、高電圧と低電圧の CT 値を用いて尿酸結石を他の成分の結石と判別できると報告されている。Dual-energy computed tomography(DECT)解析を用いてシスチン結石がシュウ酸カルシウム結石と判別可能かを検討した。

対象は 2 症例から採取した尿路結石で、シスチン結石の 1 症例 4 検体、シュウ酸カルシウム結石の 1 症例 8 検体であった。100kV と 140kV の管電圧で CT 値を計測した。Dual-energy ratio(DER)は 100kV で測定した CT 値を 140kV で測定した CT 値で除した比と定義した。

DER はシスチン結石が平均値 1.37(範囲, 1.31–1.46)、シュウ酸カルシウム結石が平均値 1.51(範囲, 1.45–1.54)であった。独立 2 群の比較でシスチン結石とシュウ酸カルシウム結石の DER に有意差を認めた($P<0.01$)。

DECT 解析で DER を測定することにより、DER の分割点 1.45 で Cys 結石と CaOx 結石の判別が可能である。

Key Words : Dual-energy computed tomography(DECT), シスチン結石, Dual-energy ratio(DER)

【はじめに】

尿路結石には、尿酸(uric acid : UA)結石、シュウ酸カルシウム(calcium oxalate : CaOx)結石、シスチン(cystin:Cys)結石、リン酸マグネシウムアンモニウム結石などの種類がある¹⁾。Dual-energy computed tomograph は 2 種類の X 線管球と検出器を搭載しており、高電圧と低電圧の CT 値を用いて UA 結石を他の成分の結石と判別できると報告されている^{2,3)}。Dual-energy computed tomography (DECT)解析による UA 結石の判別は、薬物療法など治療方針の決定に有用であるが、最近、DECT 解析による Cys 結石の判別が可能であるとの報告が散見されるようになった^{4,5)}。Cys 尿症は薬物療法が必要であるため、その判別は重要である。

今回、当院の DECT 解析を用いて Cys 結石が CaOx 結石と判別可能かどうかを検討したので報告する。

【対象と方法】

対象は 2014 年 7 月から 2016 年 5 月までに当院泌尿器科で 2 症例から採取した尿路結石である。一方の症例の赤外線分光分析結果は Cys 結石で、採取日が異なる計 4 検体であった。もう一方の症例は CaOx 結石で、採取日が異なる計 8 検体であった。結石を蒸留水で満たしたプラスチック試験管に入れ、さらにその試験管をプラスチックビーカーに満たした水 500ml へ沈めた環境下にて DECT 解析を行った。

撮影装置は Siemens 社製 CT 撮影装置 (SOMATOM Definition Flash[®]) であり、撮影条件は管電圧 100kV と 140kV、管電流は測定物体厚に合わせて自動調節され、画質を担保する基準 mAs 値 (quality reference) は 210mAs と 162mAs、スキャン検出器幅 (detector coverage) は 24.0mm、X 線管回転時間 (rotation Time) は 0.5sec、検出器幅に対する寝台移動量 (beam pitch) は 1.2 とした。

1つの結石に対し5箇所に関心領域 (region of interest : ROI) を設定し, 100kV と 140kV の管電圧で CT 値を計測した。CT 値の単位は Hounsfield unit(HU) を使用して, ROI 内の平均値を CT 値として用いた。Dual-energy ratio(DER)は 100kV で測定した CT 値を 140kV で測定した CT 値で除した比と定義した²⁻⁵⁾。

Cys 結石と CaOx 結石の 2 群それぞれに正規性の検定を行ったのち有意差検定を行い, $P < 0.05$ を有意とした。

【結果】

図1に Cys 結石, CaOx 結石の 100kV と 140kV で測定した CT 値を示した。Cys 結石の 140kV 平均値は 454.6(範囲, 279-561), CaOx 結石の 140kV 平均値は 731.2 (範囲, 540-1016)であった。Cys 結石の 100kV 平均値は 624.2(範囲, 371-799), CaOx 結石の 100kV 平均値は 1102.1 (範囲, 826-1569)であった。Cys 結石ならびに CaOx 結石の低管電圧と高管電圧による CT 値は, それぞれ固有の傾きを持つ直線に回帰した。これらの直線の傾きは低管電圧と高管電圧による CT 値の比であるため, DER そのものである。

図2に DER における Cys 結石, CaOx 結石の比較を箱ひげ図で示した。Cys 結石の DER は平均値 1.37(範囲が 1.31-1.46, 標準偏差が 0.03), CaOx 結石の DER は平均値 1.51(範囲が 1.45-1.61, 標準偏差が 0.05)であった。

Cys 結石と CaOx 結石の DER に正規性の検定 (Shapiro—Wilk 検定) を行ったところ, 2 群のデータは正規分布に従うと考えられた ($P > 0.05$)。さらに 2 群に F 検定を行い, 等分散であった ($P > 0.05$)。Cys 結石と CaOx 結石の DER に t 検定を行ったところ, 有意差があると判定された ($P < 0.01$)。

図3に受信者動作特性曲線 (ROC 曲線) を示した。これは DER を 1.00 から 1.70 まで変化させたとき, CaOx 結石に対する Cys 結石を判別する際の感度である真陽性率 (true positive) と偽陽性率 (false positive) をプロットしたものである。得られた ROC 曲線上で true positive が 1, false positive

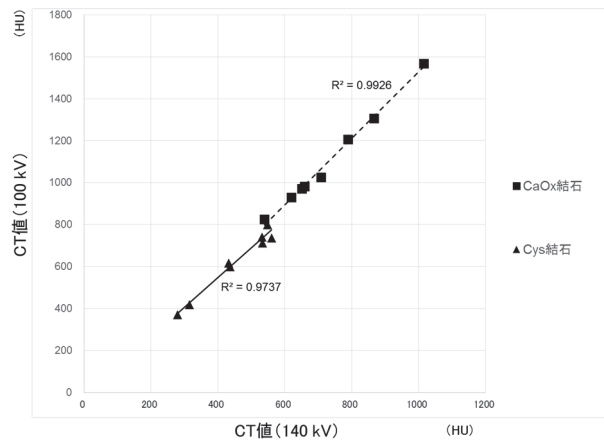
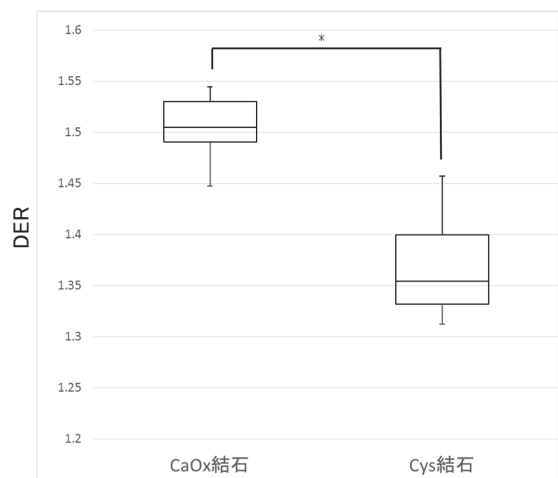


図1 DECT による解析結果



*: $P < 0.01$ (t 検定)

図2 Dual energy ratio(DER)の箱ひげ図による比較
箱ひげ図では, 最小値, 第1四分位数, 中央値, 第3四分位数, 最大値を示した。

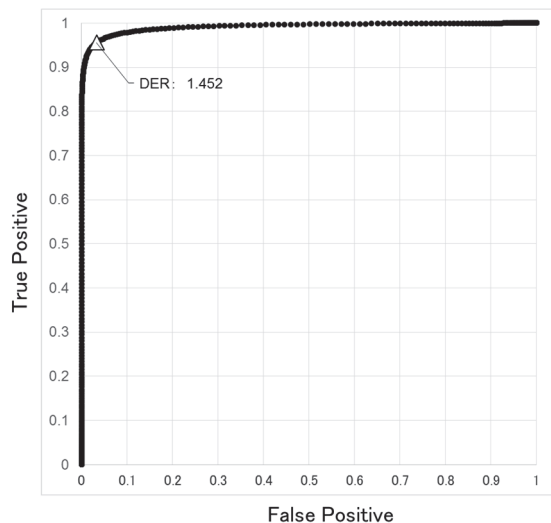


図3 CaOx 結石に対する Cys 結石判別における ROC 曲線

が0の点に最も近い点を求めたところ, DERが1.45であった。

【考察】

現在までの single-energy computed tomography (SECT)を用いた CT 値による結石成分の判別が報告されており, UA 結石の CT 値は 400–500HU, Cys 結石の CT 値は 600–800HU, CaOx 結石の CT 値は 1000–1700HU とされている^{6,7)}。UA 結石と他の成分の結石の判別に関して, Wisenbaugh らは, SECT の正診率は 40%, DECT の正診率は 93%であり, DECT 解析がより正確であると報告している⁷⁾。Hidas らは DECT 解析の UA 結石, Cys 結石, CaOx 結石各々の判別の正診率は 82%と良好であったことを報告している⁵⁾。DECT 解析とは, 異なったエネルギーで撮影されたデータから, 各組織の X 線吸収係数の違いに基づいて組織性状の推定を行う方法である²⁻⁵⁾。尿路結石においては, UA 結石とそれ以外の結石をスキャンしたものを高管電圧と低管電圧での CT 値でプロットした時, UA 結石とそれ以外の結石では固有の傾きをもつ直線に近づき, 判別することが可能とされる²⁻⁵⁾。今回の解析では, Cys 結石と CaOx 結石の低管電圧と高管電圧の CT 値に差異を認め, それぞれの CT 値が固有の傾きを持つ直線に回帰したことから, Cys 結石と CaOx 結石は異なる DER をもつと考えられた。

DECT による Cys 結石の判別に関して Thomas ら⁴⁾は, Cys の DER 平均値は 1.36 (範囲が 1.27–1.39)であり, CaOx monohydrate の DER 平均値は 1.50 (範囲が 1.42–1.77)であり, Cys 結石はカルシウム結石と判別可能と報告している。Hidas ら⁵⁾も, UA 結石の DER は 1.1 未満, Cys 結石の DER は 1.1–1.24, 1.24 以上は CaOx 結石およびカルシウム含有結石であり, DECT により Cys 結石は判別が可能としている。今回の検討では Cys 結石の DER 平均値は 1.37(範囲が 1.31–1.46), CaOx 結石の DER 平均値は 1.51(範囲が 1.45–1.54)であり, 先行研究^{4,5)}を裏付けた。ROC 曲線より得た DER が 1.45 という値は false positive が低い領域の中で true positive が最も高く, CaOx 結石の DER の分布にお

ける 95%区間外にある値であることから, これを Cys 結石と CaOx 結石の分割点と定めることができる。

Cys 尿症は, アミノ酸の一種である Cys が尿中に排出される常染色体劣性の遺伝形式をとる疾病で, しばしば尿路内に Cys 結石が形成される。薬物療法 (尿アルカリ化, チオプロニン等の内服) が必要な疾患であり, 稀な疾病ではあるが Cys 結石と診断することは重要であり, 今後は DECT 解析による DER を判別の指標としたいと考えている。

得られた DER が 1.45 という値を Cys 結石と CaOx 結石の分割点とすることの妥当性は, さらに多数の症例での検討が必要である。

【結語】

DECT 解析で DER を測定することにより, DER の分割点 1.45 で Cys 結石と CaOx 結石の判別が可能である。

【文献】

- 1) Su CM, 鈴木孝治, 川村研二, 他: ESWL 患者の集計と結石の赤外線分光分析. 金沢医大誌 15: 327-332, 1990
- 2) 高橋哲: Dual-energy CT の臨床—腎・泌尿器領域を中心に—. 日放線技会誌 68:320-328, 2012
- 3) Primak AN, Fletcher JG, Vrtiska TJ, et al: Noninvasive differentiation of uric acid versus non-uric acid kidney stones using dual-energy CT. Acad Radiol 14: 1441-1447, 2007
- 4) Thomas C, Heuschmid M, Schilling D, et al: Urinary calculi composed of uric acid, cystine, and mineral salts: differentiation with dual-energy CT at a radiation dose comparable to that of intravenous pyelography. Radiology 257: 402-409, 2010
- 5) Hidas G, Eliahou R, Duvdevani M, et al: Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. Radiology 257: 394-401, 2010

6) 景山鎮一, 桑原正明, 黒須清一, 他 : 尿路結石患者における CT 撮影の有用性 第2報 : CT 値による結石成分の推定. 日泌会誌 77: 289-294, 1986

7) Wisenbaugh ES, Paden RG, Silva AC, et al: Dual-energy vs conventional computed tomography in determining stone composition. Urology 83: 1243-1247, 2014