

# 主 論 文

## Evaluation of Urinary Stone Composition and Differentiation between Urinary Stones and Phleboliths Using Single-source Dual-energy Computed Tomography

(Single-source Dual-energy CT を利用した尿路結石の成分分析と尿路結石と静脈石との鑑別)

### 【緒言】

尿路結石症の治療の選択において、構成成分の違いによる結石の硬度、脆弱性は重要な因子である。そのため結石の成分を画像上で区別できれば、治療選択の際の重要な指標となる。

尿路結石が疑われる場合、一般的に single-energy computed tomography (SECT) が行われるが、結石の成分分析に関しては有効性が低い。他方、日常臨床では CT 上で尿路結石と鑑別が付きにくい静脈石を経験することがある。

近年、同時に 2 種類の X 線エネルギーによる画像データを取得できる dual-energy CT (DECT) が登場し、エネルギーごとの物質 X 線吸収係数の違いから物質の弁別が可能となった。2 セットの管球・検出器を搭載した dual-source DECT (DS-DECT) に後発して、一つの管球で 80kVp と 140kVp の電圧を周期的に切替えながら撮影する single-source DECT (SS-DECT) が臨床的に利用可能となった。SS-DECT では実効原子番号 (effective-Z:  $Z_{\text{eff}}$ ) を得ることができる。 $Z_{\text{eff}}$  は CT 値と比較してよりの確な物質の情報を得ることができるが、これを利用した結石の成分分析に関する報告は僅かである。さらに我々が調べた範囲では、上記の成分分析を利用した尿路結石と静脈石の鑑別に関する報告は未だない。今回我々は、各種尿路結石間の鑑別と、尿路結石と静脈石との鑑別における SS-DECT の有用性について検討した。

### 【対象と方法】

対象は 2012 年 4 月～2014 年 10 月の間に尿路結石に対して外科的治療を行った患者のうち、治療前に DECT にて撮像し、かつ治療後に結石成分の化学的分析を行った 29 症例 39 結石 (M:F=16:13、Age  $55.7 \pm 16.7$ 、1 症例は両側の結石を治療) と、そのうちの 18 症例で撮像範囲内に認められた 19 個の静脈石である。

撮像装置は GE Healthcare 社製の SS-DECT である Discovery CT 750 HD である。対象患者に対してまず SECT (横隔膜上～鼠径部) を撮像し、続けて結石の存在するレベルに限定して dual-energy scan を追加した。

尿路内に存在する石灰化を尿路結石と診断した。尿路外に存在し、明らかに動脈の石灰化ではない、骨盤腔内の石灰化を静脈石と診断した。得られたデータをもとに GE 社の workstation である Gemstone spectral imaging viewer を使用して 70keV の仮想単色 X 線画像を再構成した。仮想単色 X 線画像上で結石と静脈石のそれぞれ最大径が描出されている横断面で、病変の中心部に  $1 \times 1\text{mm}$  の ROI を設定し、CT 値、 $Z_{\text{eff}}$  を測定した。得られた値を治療時に採取された結石の化学的分

析結果と併せて比較検討した。各成分の結石、静脈石の CT 値、 $Z_{\text{eff}}$  は、Kruskal-Wallis の検定を使用して比較した。  $p < 0.05$  で統計学的に有意と判定した。

### 【結果】

尿路結石の化学的分析結果は、カルシウム結石 32 病変、シスチン結石 6 病変、スツルバイト結石 1 病変であった。カルシウム結石、シスチン、スツルバイト、静脈石の CT 値はそれぞれ  $1151 \pm 308$ 、 $677 \pm 64$ 、 $569 \pm 63$ 、 $722 \pm 328$ 、 $Z_{\text{eff}}$  値はそれぞれ  $13.1 \pm 0.7$ 、 $11.4 \pm 0.3$ 、 $10.6 \pm 0.3$ 、 $12.0 \pm 1.3$  であった。CT 値では、カルシウム結石と他の結石、静脈石間で有意差を認めしたが、シスチン、スツルバイト、静脈石間では有意差を認めなかった。 $Z_{\text{eff}}$  でもカルシウム結石と他の結石、静脈石間で有意差を認めた。また静脈石の  $Z_{\text{eff}}$  値はシスチン、スツルバイトと比較して有意に高かった。シスチン、スツルバイト間では  $Z_{\text{eff}}$  でも有意差を認めなかった。

### 【考察】

尿路結石の治療法の選択においては成分による硬度、脆弱性が重要な因子となる。例として尿酸結石は結石溶解療法によって加療されるが、カルシウム結石は衝撃波碎石術や尿管鏡などが行われる。そのため結石の成分を CT 上で鑑別できれば、治療選択の際の重要な指標になると考えられる。

他方、日常臨床では CT 上で尿路結石と鑑別が付きにくい静脈石を認めることがある。静脈石は血栓形成の結果生じる静脈壁内の石灰化構造である。以前から tail sign や中心透瞭性といった静脈石の画像診断学的特徴はいくつか報告されているが、時に尿路結石との区別に難渋することがある。従って CT による石灰化の成分分析の有用性を評価することは意義がある。

尿路結石の診断には一般的に SECT が行われ、結石の存在と位置の診断には高い精度を誇るが、結石の成分分析に関しては有効性が低い。in vivo 研究では尿酸結石とシスチン、スツルバイト、カルシウム結石の CT 値は相当に重複していると報告されている。同時に異なるエネルギーによる画像データを取得できる dual-energy imaging により、結石の画像による成分分析がより高精度に行える可能性がある。方向が  $90^\circ$  異なる 2 管球から X 線を同時照射してデータ収集を行う DS-DECT の登場により dual-energy imaging が日常臨床で使用可能となった。これまでに DS-DECT を使用した尿路結石の成分分析について多数の in vitro、in vivo 研究が行われており、多種類の結石間において高い感度、特異度で鑑別が可能であったと報告されている。

近年、一つの管球で 80kVp と 140kVp の電圧を 0.5msec 以下の時間間隔で周期的に切替えながら撮影する SS-DECT が臨床的に利用可能となった。SS-DECT では投影データに基づきエネルギー解析を行うので画像データに基づく解析を行う DS-DECT より利便性が高く、また実効原子番号 ( $Z_{\text{eff}}$ ) も得ることができる。実効原子番号は原子番号から派生した概念であり、ある化合物または混合物に対する X 線減弱特性が既知の元素と等しければ、この元素の原子番号がその化合物または混合物の実効原子番号となる。 $Z_{\text{eff}}$  を使用した尿路結石の成分分析に関する検討はこれまでにわずかに報告されているだけである。そのうちの Kulkarni らは、phantom 実験では  $Z_{\text{eff}}$  によりスツルバイ

ト、シスチン、カルシウム結石間の分類が可能であり、in vivo でも尿酸結石は100%、カルシウム結石は83%で鑑別可能であったと報告している。今回の検討では、カルシウム結石とスツルバイトもしくはシスチン結石間では HU、 $Z_{\text{eff}}$  いずれも有意差を認めた。スツルバイトとシスチン間では HU、 $Z_{\text{eff}}$  いずれも有意差を認めなかった。今回の検討で報告したカルシウム結石、スツルバイト、シスチンの  $Z_{\text{eff}}$  値は Kulkarni らの報告した値に近似していた。

また我々の検討では静脈石とカルシウム結石の CT 値、 $Z_{\text{eff}}$  はそれぞれに有意差を認めた。CT 値では静脈石とスツルバイト、シスチンとの鑑別は困難であったが、 $Z_{\text{eff}}$  では有意差を認めた。静脈石の化学的分析を行った検討によると、静脈石は血栓を核として、カルシウムに富む、またはカルシウムに乏しい酸化物とリン酸塩の層が同心円状に重なった構造をしているとされる。静脈石の中心部は外層部よりも石灰化に乏しいことが示唆され、今回の検討で尿路結石と静脈石の  $Z_{\text{eff}}$  に有意差を認めた理由の一つとなりえる。

今回の検討の短所の一つとして被曝量の増加が挙げられる。8 症例で被曝線量が記録されており、dual-energy scan の追加により線量長さ積 (DLP) は平均 72% 増加した。

この研究にはいくつかの limitation が存在する。まず、対象結石として非カルシウム結石が少なくなっており、尿酸結石症例は無かった。しかしながら、尿酸結石の  $Z_{\text{eff}}$  が Kulkarni らの報告した値に近似するとすれば、尿酸結石と他の成分の結石、静脈石を鑑別することは可能であると思われる。また、静脈石の診断に関しては病理学的な証拠は無い。ただし静脈石と診断された全ての症例において石灰化は静脈と推定される管状構造内に存在していた。更に、今回の症例に含まれた結石もしくは静脈石の一部は非常に小さく、部分容積現象の影響を最小限にするために小さな ROI を設定したが、静脈石の構造を考慮すると、小さな ROI を病変の中心に置いたのは妥当な手法であったかもしれない。最後に今回の検討は後ろ向き研究である。

### 【結論】

SS-DECT を使用した成分分析は各種尿路結石間の鑑別、静脈石と結石の鑑別において有用である可能性が示された。静脈石と結石の鑑別において  $Z_{\text{eff}}$  は CT 値と比較してより有用である可能性がある。