

慢性腎臓病患者の心筋 T1T2 値と心機能および
1 年後予後との関連
——男性患者における検討——

日本大学大学院医学研究科博士課程
内科系放射線診断学専攻

大森 裕子

修了年 2022 年

指導教員 天野康雄

慢性腎臓病患者の心筋 T1T2 値と心機能および
1 年後予後との関連
——男性患者における検討——

日本大学大学院医学研究科博士課程
内科系放射線診断学専攻

大森 裕子

修了年 2022 年

指導教員 天野康雄

目次

概要	1 ページ
緒言	2 ページ
対象と方法	5 ページ
結果	8 ページ
考察	10 ページ
まとめ	13 ページ
謝辞	14 ページ
表	15 ページ
図	18 ページ
図説	25 ページ
引用文献	27 ページ
研究業績目録	33 ページ

概要

目的：慢性腎臓病（chronic kidney disease：CKD）は、心イベントや死亡と関連する心筋の組織学的変性をもたらす。本研究の目的は、CKDの男性患者において、心筋の病的な変化を定量的に反映する心筋 T1T2 値と心機能および1年後予後の関連を評価することである。

対象と方法：38名のCKD男性患者に1.5テスラMRI（Magnetic Resonance Imaging：磁気共鳴画像）を用いて心臓MRIを撮像した。心筋 T1T2 値と年齢、腎機能、心機能パラメータおよび1年後予後の関連を評価した。

結果：心筋 T1 値は左室拡張末期容積係数（left ventricular end-diastolic volume index：LVEDVI）や左室駆出率（LV ejection fraction：LVEF）など複数の心機能パラメータと相関を認めた（ $P < 0.05$ ）。左室拡張末期容積（left ventricular end-diastolic volume：LVEDV）と LVEDVI は、心臓MRI撮像後の1年間に心イベントのあった群となかった群で有意差を認めた（ともに $P = 0.048$ ）。ROC解析では、 $LVEDVI = 75.05 \text{ mL/m}^2$ が、CKD患者の1年後予後不良のカットオフ値であった。

結論：T1T2 マッピングは、CKD患者に特異的な心筋の組織学的変性を定量的に認識し、その T1T2 値は心機能と相関している。その中で LVEDVI が CKD 男性患者の1年後予後の予測に寄与する可能性がある。

緒言

慢性腎臓病 (chronic kidney disease : CKD) は、①尿異常・画像診断・血液・病理で腎障害の存在が明らか、特に 0.15 g/gCr 以上の蛋白尿 (30 mg/gCr 以上のアルブミン尿) の存在が重要、②推算糸球体濾過量 estimated glomerular filtration rate : eGFR < 60 mL/分/1.73m² のいずれか、または両方が 3 ヶ月以上持続することで定義される [1]。CKD は、死亡や心血管疾患、入院のリスクを増加させる。Go ら [2] は、約 112 万人の成人を対象とした大規模研究で、腎機能低下に伴い、総死亡・心血管イベント・入院が増加し、CKD が心血管疾患のリスク因子であると報告している。また依田ら [3] は、1 年間の心イベント発生率は、CKD ステージの悪化に伴って増加することを示した。したがって、心イベントのリスク軽減や生存率・QOL の向上のため、CKD を病初期の段階で管理する必要がある。CKD に伴うリスクを低下させるためには、生活習慣の改善、CKD ステージに応じた食事療法、血圧・血糖・脂質の管理などの集学的治療が必要である。

わが国の慢性透析患者数は年々増加しており、日本透析医学会 (Japanese Society for Dialysis Therapy : JSDT) 透析調査報告書によると、2019 年末時点で 344,640 人に達していた。これは、日本国民 366.1 人に 1 人が透析患者であることを示している。1983~2019 年の間で、慢性透析の原因疾患の推移をみると、糖尿病性腎症が 2011 年に慢性糸球体腎炎に代わって第 1 位になって以降も持続的に上昇しているが、近年は微増から横ばいである。慢性糸球体腎炎は直線的に減少している一方、高血圧とこれに基づく動脈硬化症が原因となる腎硬化症は、透析の原因疾患として持続的に増加している。そして、慢性透析患者の死亡原因は心不全による死亡が最も多く、その割合は 1995 年以降より 25 %前後で推移している。2019 年度の心不全、脳血管障害、心筋梗塞を併せた「心血管死」の割合は、32.3 %であった。

末期腎不全で透析導入されている CKD 患者の心筋組織を病理学的に観察すると、左室肥大と細胞外マトリックスのびまん性線維化が典型的な所見である[4, 5]。心筋生検は心筋障害の種類や原因疾患の確定診断を提供するが、まれに不整脈や心室穿孔といった重大な合併症があり、サンプルエラーも伴う侵襲的検査である[6, 7]。よって、心筋生検は CKD に関連した心筋の組織学的変性を評価するには適切と言えない。

心臓 MRI は組織分解能に優れており、心筋線維化を検出する非侵襲的で有用な画像診断検査である。とくに、遅延造影 (late gadolinium enhancement : LGE) MRI は、造影剤投与後 10 分程度で撮像し、心筋梗塞の描出や肥大型心筋症・拡張型心筋症など各種心筋症の鑑別診断や重症度評価に有用である (図 1)。Inversion recovery (IR) 法を用いて正常心筋信号を抑制し、心筋線維化に伴う軽微な造影増強効果をコントラスト良く描出できる。ただし相対的な信号評価のため、びまん性線維化を過小評価することや早期病変の検出が困難なこと、定量性に欠ける点が LGE MRI のデメリットであり、それを補填する撮像法として T1T2 マッピングの臨床的な有用性が期待されている。2000 年代中盤の報告では、末期腎不全患者の心筋線維化も LGE MRI で検出されているが[8, 9]、CKD 患者や透析導入患者で MRI ガドリニウム造影剤を原因とする腎性全身性線維症 (nephrogenic systemic fibrosis : NSF) が報告されたことにより、腎不全患者へのガドリニウム造影剤投与は禁忌となった[10]。これによっても T1T2 マッピングは、LGE に代わって心筋障害を定量的に評価できる有用な撮像法として注目されている。T1T2 マッピングとは、心筋組織に固有な値である T1 値や T2 値を画像化したものである。心筋の T1 緩和時間 (ms) は、心筋浮腫や線維化、タンパク沈着にて延長し、脂質や鉄沈着にて短縮する。T1 マッピングの代表的な撮像シーケンスは modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI) 法であり、

反転 (inversion recovery : IR) パルスで縦磁化を倒してから信号が回復する過程で、反転時間 (inversion time : TI) を変化させながら複数の画像を取得し、取得したデータから T1 値をピクセル毎に算出する方法である [11]。T2 緩和時間 (ms) は、組織内の水分含有を反映し、心筋浮腫や炎症にて延長する。T2 マッピングの撮像シーケンスは、T2-preparation を用いた撮像法あるいは multi-echo 撮像法である [12]。T1 値は、病理学的にも心筋線維化と相関することが証明されている [13]。いくつかの先行研究では、CKD 患者で心筋 T1 値の増加を認めたと報告されている [14-16]。一方、健常人と末期腎不全患者の比較で、T1 値には有意差はなく、T2 値で有意差を認めたとの報告がある [17]。ただし、これまでの研究では CKD の原疾患が慢性糸球体腎炎や多発性嚢胞腎などであり、先述したような糖尿病や高血圧が主な CKD の病因である日常臨床にもはや合致しない [14-16]。したがって、日常臨床における CKD による心筋障害と T1/T2 マッピングの関連性は未だ分かっていない。さらに私の知る限り、心筋 T1/T2 値と予後の関連を評価した研究報告はない。CKD 患者において、女性よりも男性の方が心血管疾患のリスクが高く、女性では年齢の上昇とともに心筋 T1 値が減少するが、男性ではこの傾向は認められない [18, 19]。したがって、男性の CKD 患者を対象として、心筋障害評価における T1/T2 マッピング MRI の有用性を検討する意義は大きいものと考ええる。

私は、心筋 T1/T2 値が CKD 男性患者の心機能障害と予後に関連していると仮定した。本研究の目的は、CKD に関連する心筋障害を反映する心筋 T1/T2 値を決定し、CKD 男性患者における心筋 T1/T2 値と心機能パラメータおよび 1 年間予後との関係性を評価することである。

対象と方法

患者：2017年8月～2019年7月の間に心機能や冠動脈疾患を評価するために心臓MRIを施行された、38名のCKD（eGFR < 60 mL/min/1.73m²が3ヶ月間以上持続する）の男性患者を対象とした。年齢は47～86歳、平均年齢は68.5歳であった。CKDの重症度の評価には、eGFRのクラス分類によるmodified National Kidney Foundation Classificationを用いた[2]。本研究の除外基準は、心室中部レベルの中隔T1T2値に影響を及ぼす可能性が高い疾患と診断された症例であり、肥大型心筋症、サルコイドーシス、急性心筋梗塞を基礎疾患に有した3名は除外した。なお、心筋梗塞の既往があった1名は、心尖部に限局した小病変であったため除外しなかった。本研究は、全患者からインフォームドコンセントを得ており、日本大学病院倫理審査委員会の承認も得た後方視的研究である（承認番号 20181203）。

心臓MRI：1.5テスラMRI (Ingenia 1.5 T, release 3.2.3; Philips Healthcare, Best, The Netherlands)にて、28チャンネル心臓用受信コイルを用いて撮像した。心電図同期を用いた息止め下のsteady-state free-precession (SSFP)撮像法にて、二腔および四腔長軸シネ像を撮像した。その後、左室全体をカバーする短軸シネ画像を以下の撮像パラメータで撮像した；繰り返し時間 (repetition time : TR), 3.2 ms、エコー時間 (echo time : TE), 1.6 ms、フリップ角, 60°、撮像視野 (field of view : FOV), 350 × 350 mm²、面内マトリクス, 192 × 170、スライス厚, 8 mm。T1マッピングは、single-shot SSFPを収集シーケンスとする5s (3s) 3s MOLLI法で撮像した；最初のIRパルス印加後に5秒間データを収集し、3秒間あけて2回目のパルス印加後に3秒間データを収集した[20]。

この MOLLI 法では 11 秒の息止め間に 7-11 画像を取得できる (図 2)。MOLLI 法の撮像パラメータは TR, 2.7 ms、TE, 1.3 ms、フリップ角, 35°、FOV, 300 × 300 mm²、画内マトリクス, 152 × 150、スライス厚, 10 mm であった。最初の TI は 350 ms で、2 回目は 159.5 ms とした。T2 マッピングは GRASE (gradient and spin-echo) 法にて撮像した。GRASE 法の撮像条件は TR, 1 心拍 ; 実効 TE, 7.7-69.2 ms (9 エコー) 、echo train length, 5、フリップ角, 35°、FOV, 300 × 300 mm²、マトリクス, 152 × 145、スライス厚, 10 mm であった。呼吸停止が可能な撮像時間とするために、パラレルイメージング技術 (sensitivity encoding: SENSE) を全シーケンスで使用した。なお、血液透析患者では MRI は非透析日に撮像した。

画像解析：心臓画像診断の経験年数が 20 年の循環器内科医が、ワークステーション (ViewForum, Philips Healthcare) を用い、短軸シネ SSFP 画像より左室 (left ventricular: LV) 機能パラメータである、左室心筋重量 (LV mass: LVM)、左室駆出率 (LV ejection fraction: LVEF)、左室拡張末期容積 (LV end-diastolic volume: LVEDV)、左室収縮末期容積 (LV end-systolic volume: LVESV) を測定した。これらの心機能パラメータは、LVEF を除いて体表面積にて係数を算出した [左室心筋重量係数 LVM index (LVMI)、左室拡張末期容積係数 LVEDV index (LVEDVI)、左室収縮末期容積係数 LVESV index (LVESVI)]。T1T2 マッピングは、コンソール上で自動的に作成された。関心領域 (region of interest: ROI) の測定は confidence map 上にて行った。Confidence map とは、測定に不適切なピクセルをエラーピクセルとして黒点で表示した error map である [21]。3 人の診療放射線技師が、検査を担当した CKD 患者に対して、心室中部レベルの中隔心筋に、心室内腔やエラーピクセルを含まないように注意しながら、可能な限

り大きな楕円形の ROI を置いた。心臓 MRI の経験年数が 2 年の放射線科医が ROI の位置確認を行い、各患者の ROI 内の心筋 T1T2 値を決定した。なお、Rogers ら [22] は、心室中隔での ROI 測定は、観察者内、観察者間および研究間において優れた再現性を持つことを報告している。また他の研究でも、心室中隔では磁化率アーチファクトがなく、心筋線維化の検出率が高いことが示されたため、中隔に ROI を設定した [23] (図 3)。

統計分析：Shapiro-Wilk 検定を用いて全データの正規性の検定を行った。正規分布を示すデータは平均値 ± 標準偏差で示し、非正規分布を示すデータは中央値（四分位範囲）で示した。まず、CKD 患者の心筋 T1T2 値と年齢、body mass index (BMI)、eGFR、透析期間（血液透析、腹膜透析問わず）、心機能パラメータとの関連性を、ピアソンの積率相関分析やスピアマンの順位相関分析を用いて評価した。次に、心臓 MRI 撮像後の 1 年間に心イベントのあった群となかった群の間で、CKD 患者の臨床的特徴や心筋 T1T2 値、心機能パラメータに有意差がないかを評価した。本研究では、心イベントを冠動脈疾患ないしは心不全による入院もしくは死亡と定義した [3]。連続変数と名義変数のグループ間の比較は、各々 unpaired Student T 検定や Mann-Whitney U 検定、カイ二乗検定を用いた。ROC (receiver operating characteristic) 解析にて、1 年後予後としての心イベントと関連するパラメータのカットオフ値を決定した。全ての統計分析には、SPSS Statistics for Windows (version 25.0; IBM Corp, Armonk, NY, USA) を使用した。全統計で、 $P < 0.05$ を有意とした。

結果

患者の臨床的特徴：表 1 に CKD 患者 35 名の臨床学的特徴を示す。CKD ステージ 5 の患者が半数近くを占め (45.7 %)、CKD の背景疾患としては高血圧が最多であり (94.3 %)、次いで糖尿病や高脂血症が多かった (両者ともに 54.3 %)。原発性糸球体疾患を基礎疾患として有していたのは 2 名 (5.7 %) であった。糖尿病の 19 名中、インスリン導入されていたのは 7 名であった。CKD 患者 35 名中、画像診断で冠動脈病変を認めたのは 3 名 (coronary angiography : CAG ; 2 名、magnetic resonance coronary angiography : MRCA ; 1 名)、冠動脈病変が否定されたのは 26 名 (CAG ; 4 名、MRCA ; 18 名、coronary computed tomography angiography : CCTA ; 4 名)、冠動脈病変を評価しなかったのは 6 名 (MRCA で評価不能 2 名を含む) であった。また、狭心症や心筋梗塞、経皮的冠動脈インターベンション (percutaneous coronary intervention : PCI) や冠動脈バイパス術 (coronary artery bypass grafting : CABG) の既往を認めたのは 5 名であった。さらに、心臓超音波検査で高度弁膜症を認めたのは 1 名 (三尖弁閉鎖不全) で、1 名は僧帽弁逸脱症に対して僧帽弁置換術後であった。また、心房細動の既往を認めたのは 9 名であった。

心筋 T1T2 値と年齢、BMI、eGFR、透析期間、心機能との関連性：CKD 男性患者の心室中隔の T1 値は 1081 ± 43 ms、T2 値は 54 ± 4 ms であり、施設内基準値 [10 名の健常男性 (平均年齢 : 41.8 歳) の中隔 T1 値は 1049 ± 31 ms、8 名の健常男性 (平均年齢 : 39.1 歳) の中隔 T2 値は 47 ± 2 ms] より有意に高値であった (T1 ; $P = 0.035$, T2 ; $P < 0.01$)。図 3 に代表例を提示した。表 2 は、心筋 T1T2 値と患者の臨床的背景および心機能との関連を示したものである。T1 値

および T2 値のいずれも、患者の年齢や BMI、eGFR、透析期間と相関しなかった ($P > 0.05$)。心機能との関連では、T1 値は LVMI ($r = 0.376$, $P = 0.026$)、LVEDV ($r = 0.377$, $P = 0.026$)、LVEDVI ($r = 0.349$, $P = 0.04$; 図 4)、LVESV ($r = 0.431$, $P = 0.01$)、LVESVI ($r = 0.413$, $P = 0.014$)と正の相関を示し、LVEF ($r = -0.44$, $P < 0.01$; 図 5)と負の相関を示した。一方、T2 値は中隔厚とのみ負の相関を示した ($r = -0.379$, $P = 0.025$)。

心イベントと臨床的特徴、心筋 T1T2 値、心機能パラメータとの関連性：大動脈解離の術後に死亡した 2 名とフォローアップから脱落した 1 名の計 3 名は分析より除外した。表 3 は、心イベントの有無と患者の臨床的特徴および心筋 T1T2 値、心機能パラメータとの関連を示したものである。心臓 MRI 撮像後の 1 年間に心イベントが起きた症例は 32 名中 6 名 (18.8 %) であり、そのうち 4 名が冠動脈疾患、2 名が心不全による入院であった。心臓 MRI から心イベントが起きるまでの期間は、中央値 (25%tile-75%tile) = 3.5 カ月 (2.75-8.5 カ月) であった。LVEDV や LVEDVI は心イベントのなかった群と比べて、心イベントのあった群で有意に高値を示した (ともに $P = 0.048$; 図 6)。ROC 解析では、LVEDVI = 75.05 mL/m² が、CKD 患者の 1 年後予後と関連するカットオフ値であった [感度 : 0.833, 特異度 : 0.769, AUC (area under the curve) : 0.763; 図 7]。

考察

本研究では、CKD 男性患者の心筋 T1T2 値は施設内男性の正常値より有意に高く、とくに T1 値は 6 つの心機能パラメータ (LVMI, LVEDV, LVEDVI, LVESV, LVESVI, LVEF) と相関した。心臓 MRI 撮像後の 1 年間に心イベントのあった群では、なかった群と比べて LVEDV と LVEDVI が有意に高く、ROC 解析では LVEDVI = 75.05 mL/m²を超えた場合に CKD 患者の 1 年後の予後は不良であることが示唆された。

心筋 T1T2 値は、患者の年齢や BMI、eGFR、透析期間と相関を認めなかったが、施設内基準より有意に高値であった。心筋 T1 値は、拡張型心筋症を含む種々の心筋症や大動脈硬化に伴う心筋肥大、心筋炎などによるびまん性間質線維化や浮腫、炎症により高値を示す[24-26]。Bull ら[13]は、大動脈弁置換術を施行した患者の心筋生検による心筋線維化と T1 値に強い相関関係があることを示した。T2 値は、心筋の組織学的変性や高分子および水分含有量に関連するとされている[27-31]。また、拡張型心筋症では心筋生検にて炎症細胞浸潤のある症例ほど、T2 値が高値であるとの報告もある[30]。本研究と異なり、Hayer ら[32]は心筋 T1 値が CKD の重症度に応じて段階的に上昇すると報告した。しかしながら、彼らは CKD 対象群から糖尿病患者を除外している。Rutherford ら[14]は、T1 値と年齢や透析期間の関連はないと報告している。実際に緩徐に発症すると思われる CKD の発症日を確定するのは困難であり、加えて eGFR は同一の CKD 患者でさえ日間・日内変動を示す。今回の横断的研究では透析患者は 9 名と少なく、これらの因子が心筋 T1T2 値と eGFR や透析期間の関連性の欠如に関係しているのかもしれない。

心筋 T1 値は、CKD 患者において複数の心機能パラメータと相関した[14, 24]。したがって心室中隔の T1 値は、CKD 患者の心機能低下に関連する心筋障害を反

映していると考えられた。今回の検討では、LVM や LVMI は 1 年後予後との関連を認めなかったが、心筋 T1 値の異常高値は、通常 CKD 患者の心血管疾患や死亡率と関連する LVMI の増加と相関した [33-35]。心筋 T2 値は中隔厚とのみ負の相関を示した。T2 値の上昇が浮腫や炎症を反映するならば、心筋中隔は肥厚すると考えられる。慢性疾患である CKD では、心筋 T2 値の上昇は浮腫ではなく、高分子変性や心筋線維化に伴う間質拡大、細胞肥大や血管拡張を反映している可能性があると考えられた [29, 30]。また、T2 値の測定に楕円形の ROI を心室中隔に置く一方、中隔厚は心室中隔の中央で測定するといった技術的な側面も、今回の結果に影響しているかもしれない。近年 Arcari ら [36] は、心筋 T2 値の増加は、高血圧性心筋症や肥大型心筋症と比較して、CKD に特異的な心筋内水分量の病的な変化を反映していると報告しており、心筋 T2 値の上昇が CKD に関連する心筋障害に特徴的な所見である可能性が示唆され、興味深い。

LVEDV と LVEDVI は、心イベントのあった群で有意に高かった。心筋 T1 値は、LVEDV や LVEDVI と中程度の相関を認めたが、心イベントとの関連は認めなかった。心不全の既往歴や eGFR の低下、LVEF の低下、LVMI 高値は、心イベントの有無と統計学的有意差は認めなかったが、Go ら [2] は eGFR の低下が心イベントの増加と関連があり、 $eGFR < 45 \text{ mL/min/1.73m}^2$ の症例で顕著であったと報告している。Mimura ら [37] によれば、透析患者の心血管イベントは左室拡大と心筋線維化の増加と関連する。LVEDVI は、T1 マッピングで捉えられる心筋線維化だけでなく、高血圧や貧血、他の病態生理学的因子による容量過剰によっても増大する。本研究は、MRI で組織学的変性を捉える心筋 T1 値が心機能障害と関連することを示したが、1 年後予後との関連を示すことは困難であった。CKD 患者において、T1 値の上昇が LVEDV と LVEDVI の増加に先行するかどうかを決定するために、CKD 患者の対象数を増やし、さらに長期間の経過を追うことが必要である。

本研究の制限を述べる。まず、対象数が少なく、男性のみに絞っている点である。女性では年齢の上昇とともに心筋 T1 値が減少するが、男性ではこの現象が見られない[19]。よって、CKD の女性患者を対象にする、あるいは加える際には、年齢をマッチングさせた施設内基準を定める必要がある。また、患者の eGFR は低く（中央値 = 19.2 mL/min/1.73m²）、比較的重症な CKD 患者が主な対象となった。次に、心筋 T1T2 値は MRI 装置の磁場強度や撮像シーケンスの影響を受けるため、今回の結果を 3.0 テスラ MRI や saturation recovery sequences といった他の T1 マッピング技術を用いた研究に無条件に適用することはできない。三つ目に、本研究では心筋生検を施行していない。したがって、虚血性変化や尿毒症性心筋症、心筋線維化が混在し、明確に区別することが困難である。特に、対象患者の 94.3 % に高血圧を認めることから、T1 値の変化や心筋線維化には CKD の影響に加え、高血圧性心疾患による変化が加味されていることも考慮しなければならない。他方で、心筋 T2 値の増加は高血圧ではなく、CKD に特異的な心筋内水分量の病的な変化を反映しているとされている[36]。第四に、冠動脈病変の評価に、空間分解能の低い MRCA や陽性的中率が中程度の CCTA を用いることが挙げられる。しかし、CKD 患者に CAG をルーチンで行うことは侵襲的であり、腎機能保護の観点からも適切ではない。最後に上記にも示したように、横断研究であるため、CKD 患者の 1 年後予後と関連する LVEDV や LVEDVI の増加よりも、心筋 T1 値の上昇が先行するかどうか決定できなかった。以上より今後の研究の展望として、CKD 患者の対象数を増やし、さらに長期経過を追うことや対象に女性を加えること、また年齢や基礎疾患の合致した健常群との差異を検討することが挙げられる。

まとめ

心筋 T1 値が CKD 患者の複数の心機能パラメータと相関することを示したが、心筋 T1T2 値と 1 年後予後との有意な関連性は認めなかった。この心イベントは、LVEDV や LVEDVI の高い CKD 患者で有意に増加した。CKD 男性患者に焦点を当てた場合、心筋 T1T2 マッピングは心機能障害と関連する心筋障害を定量的に評価するのに有用であり、LVEDVI は CKD 男性患者の 1 年後予後に関連する。

謝辞

本研究において、懇切なご指導を賜りました日本大学医学部放射線医学系放射線医学分野 天野康雄教授、柳澤芙美先生、日本大学医学部内科学系循環器内科学分野 松本直也教授、鈴木康之助教、また多大なご助力を賜りました日本大学病院放射線部 山本弘志診療放射線技師、安藤千知診療放射線技師、篠田直樹診療放射線技師に心より感謝申し上げます。

表

表 1. 慢性腎臓病 (chronic kidney disease : CKD) 男性患者 35 名の臨床的特徴

	患者 (n = 35)
年齢 (歳)	68.5 ± 11.6
BMI (kg/m ²)	24.2 ± 4.5
Cr (mg/dL)	2.61 (1.33-6.19)
eGFR (mL/min/1.73m ²)	19.2 (8.4-42.3)
CKD ステージ	
3a	7 (20.0 %)
3b	7 (20.0 %)
4	5 (14.3 %)
5	16 (45.7 %)
血液透析/腹膜透析	9 (25.7 %)
透析期間 (ヶ月)*	20.0 (4.5-38.0)
高血圧	33 (94.3 %)
糖尿病	19 (54.3 %)
高脂血症	19 (54.3 %)
高尿酸血症	15 (42.9 %)
原発性糸球体疾患	2 (5.7 %)
内服薬	
β ブロッカー	22 (62.9 %)
Ca チャネルブロッカー	22 (62.9 %)
ARB	24 (68.6 %)
ACE 阻害薬	5 (14.3 %)
利尿薬	21 (60.0 %)
抗凝固薬	18 (51.4 %)
スタチン	9 (25.7 %)

BMI, body mass index; Cr, creatinine; eGFR, estimated glomerular filtration ratio; CKD, chronic kidney disease; ARB, angiotensin receptor blocker; ACE, angiotensin converting enzyme.

数値は平均値 ± 標準偏差ないしは中央値 (四分位範囲) で示し、%表示は患者数の割合である。 *35 例中 9 例での解析である。

表 2. 心筋 T1T2 値と年齢、BMI、eGFR、透析期間、心機能パラメータとの相関関係

	T1	T2
年齢 (歳)	r = -0.142 P = 0.416	r = 0.117 P = 0.505
BMI (kg/m ²)	r = -0.105 P = 0.549	r = -0.104 P = 0.553
eGFR (mL/min/1.73m ²)	r = -0.113 P = 0.519	r = -0.120 P = 0.494
透析期間 (ヶ月)	r = 0.549 P = 0.126	r = -0.031 P = 0.936
左室心筋重量 (g)	r = 0.327 P = 0.056	r = -0.105 P = 0.547
左室心筋重量係数 (g/m ²)	r = 0.376 P = 0.026*	r = -0.020 P = 0.911
左室拡張末期容積 (mL)	r = 0.377 P = 0.026*	r = 0.161 P = 0.355
左室拡張末期容積係数 (mL/m ²)	r = 0.349 P = 0.040*	r = 0.260 P = 0.131
左室収縮末期容積 (mL)	r = 0.431 P = 0.010*	r = 0.175 P = 0.315
左室収縮末期容積係数 (mL/m ²)	r = 0.413 P = 0.014*	r = 0.246 P = 0.154
左室駆出率 (%)	r = -0.440 P = 0.008*	r = -0.295 P = 0.085
中隔厚 (cm)	r = 0.015 P = 0.932	r = -0.379 P = 0.025**

BMI, body mass index; eGFR, estimated glomerular filtration rate

*心筋 T1 値は左室心筋重量係数と左室拡張末期容積、左室拡張末期容積係数、左室収縮末期容積、左室収縮末期容積係数と正の相関を示し、左室駆出率と負の相関を示した。

** 心筋 T2 値は中隔厚とのみ負の相関を示した。

表 3. 心イベントと臨床的特徴、心筋 T1T2 値、心機能パラメータとの関連性

	全患者 (n = 32)	CV なし (n = 26)	CV あり (n = 6)	P 値
年齢 (歳)	67.9 ± 11.7	67.5 ± 11.6	69.3 ± 13.3	0.741
BMI (kg/m ²)	24.3 ± 4.7	24.1 ± 4.9	25.0 ± 4.0	0.692
eGFR (mL/min/1.73m ²)	23.5 (8.4-43.1)	29.5 (8.5-50.6)	9.0 (5.8-24.6)	0.117
血液透析/腹膜透析	8 (25 %)	6 (23.1 %)	2 (33.3 %)	0.476
高血圧	30 (93.8 %)	24 (92.3 %)	6 (100 %)	0.655
糖尿病	18 (56.3 %)	15 (57.7 %)	3 (50 %)	0.540
高脂血症	17 (53.1 %)	14 (53.8 %)	3 (50 %)	0.608
高尿酸血症	13 (40.6 %)	11 (42.3 %)	2 (33.3 %)	0.530
心不全の既往	10 (31.3 %)	7 (26.9 %)	3 (50 %)	0.264
中隔 T1 値 (ms)	1079 ± 42	1075 ± 44	1097 ± 30	0.27
中隔 T2 値 (ms)	54 ± 4	54 ± 5	55 ± 4	0.552
左室心筋重量 (g)	108.4 ± 37.1	104.7 ± 37.6	124.1 ± 33.0	0.256
左室心筋重量係数 (g/m ²)	62.0 ± 20.2	60.1 ± 19.9	70.5 ± 21.2	0.264
左室拡張末期容積 (mL)*	122.9(90.7-162.8)	116.1(86.0-137.3)	165.6 ± 46.2	0.048*
左室拡張末期容積係数(mL/m ²)*	66.5 (55.3-88.4)	64.0 (54.5-75.4)	94.2 ± 28.9	0.048*
左室収縮末期容積 (mL)	62.5(37.0-109.0)	58.5 (35.8-73.5)	93.1 ± 38.4	0.161
左室収縮末期容積係数(mL/m ²)	32.2 (22.6-57.9)	31.2 (22.1-39.9)	53.0 ± 23.3	0.192
左室駆出率 (%)	48.2 ± 15.2	52.1 (43.0-60.9)	45.7 ± 12.3	0.662
中隔厚 (cm)	1.32 ± 0.34	1.30 ± 0.37	1.41 ± 0.21	0.484

CV, cardiac events; BMI, body mass index; eGFR, estimated glomerular filtration rate

数値は平均値 ± 標準偏差ないしは中央値（四分位範囲）で示し、%表示は患者数の割合である。

*左室拡張末期容積と左室拡張末期容積係数は、心イベントのあった群となかった群で有意差を認めた。

☒

图 1. 延迟造影 (late gadolinium enhancement : LGE) MRI

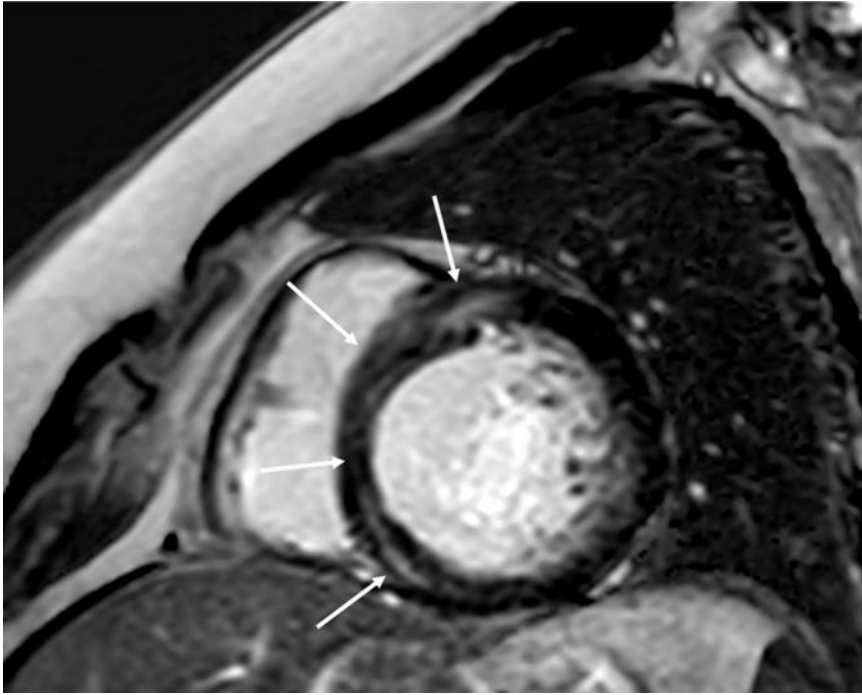
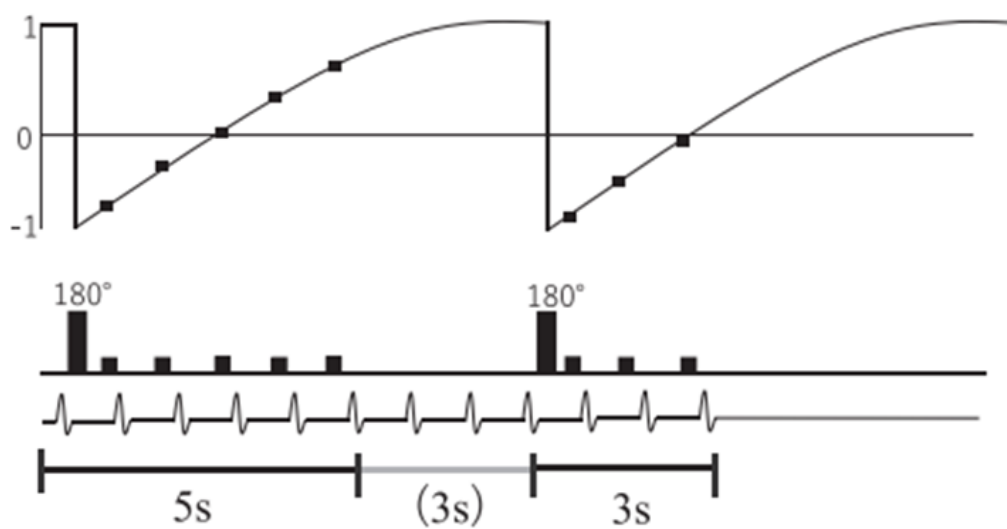


図 2. 5s (3s) 3s modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI)法



『辻川久美子ら (2018). 日本人健常者を対象とした非造影心筋 T_1 mapping による心筋 T_1 値の解析. 日本放射線技術学会雑誌 第 74 巻 11 号 p. 1329-1334』より

図 3. T1T2 マッピングのカラー表示画像と関心領域 (region of interest:ROI)

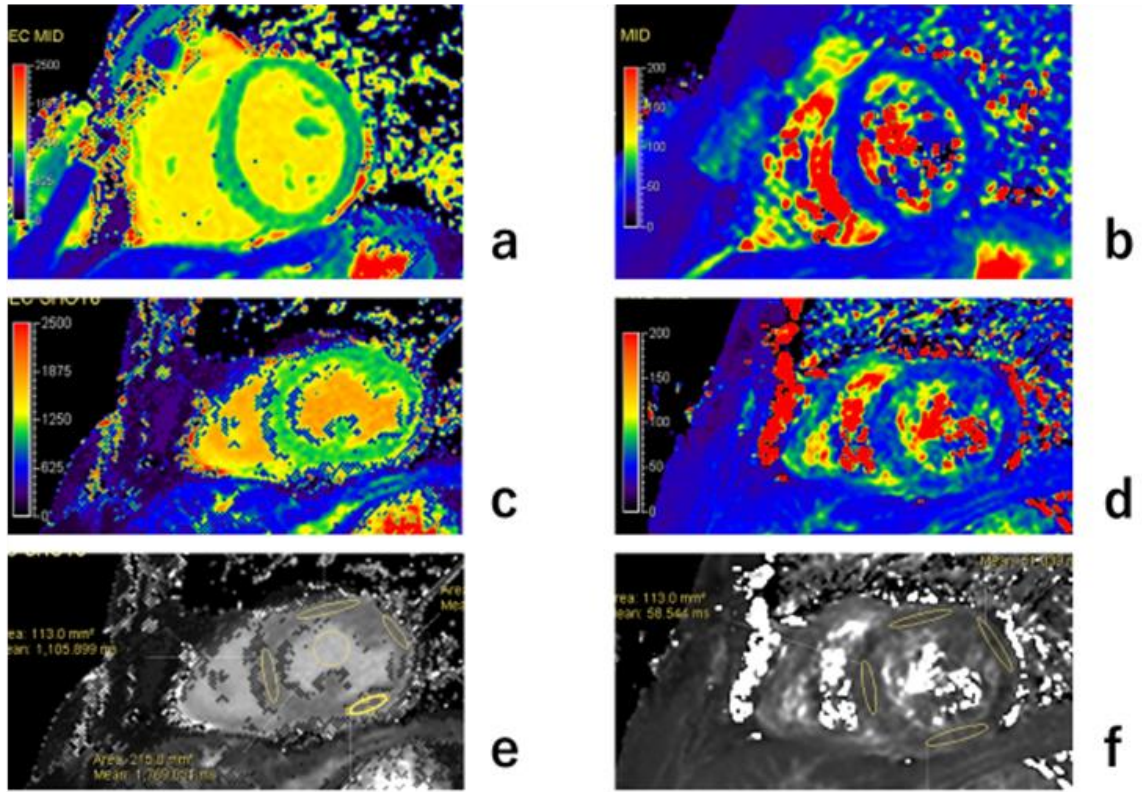


図 4. 心筋 T1 値と左室拡張末期容積係数 (left ventricular end-diastolic volume index : LVEDVI) の相関図

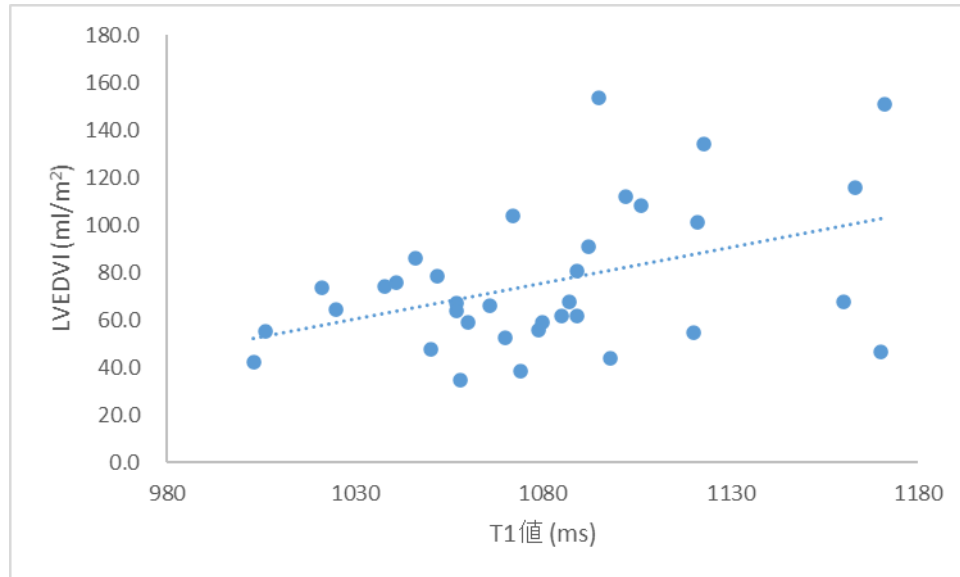


図 5. 心筋 T1 値と左室駆出率 (left ventricular ejection fraction : LVEF) の相関図

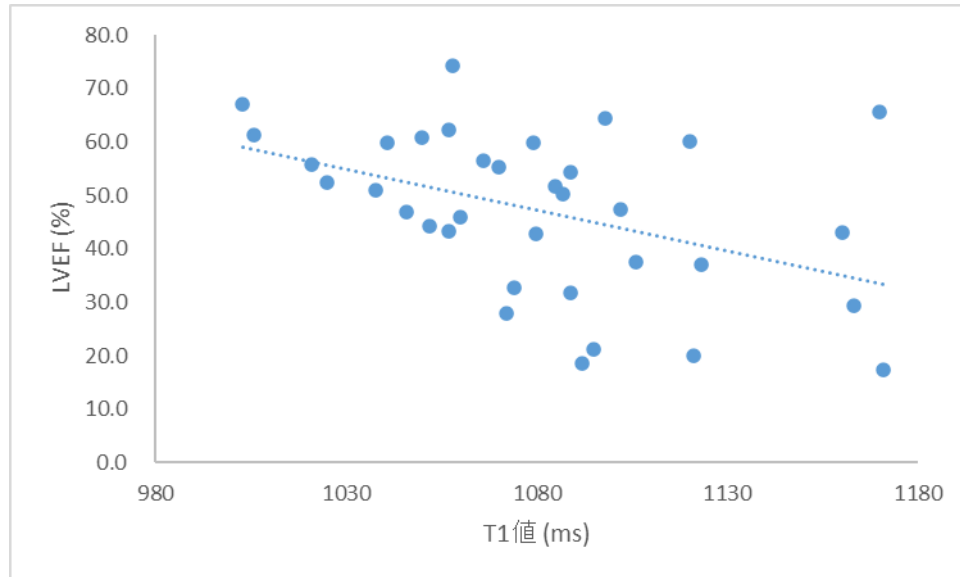


図 6. 心イベントと左室拡張末期容積係数 (left ventricular end-diastolic volume indexed to body surface area : LVEDVI) の関連

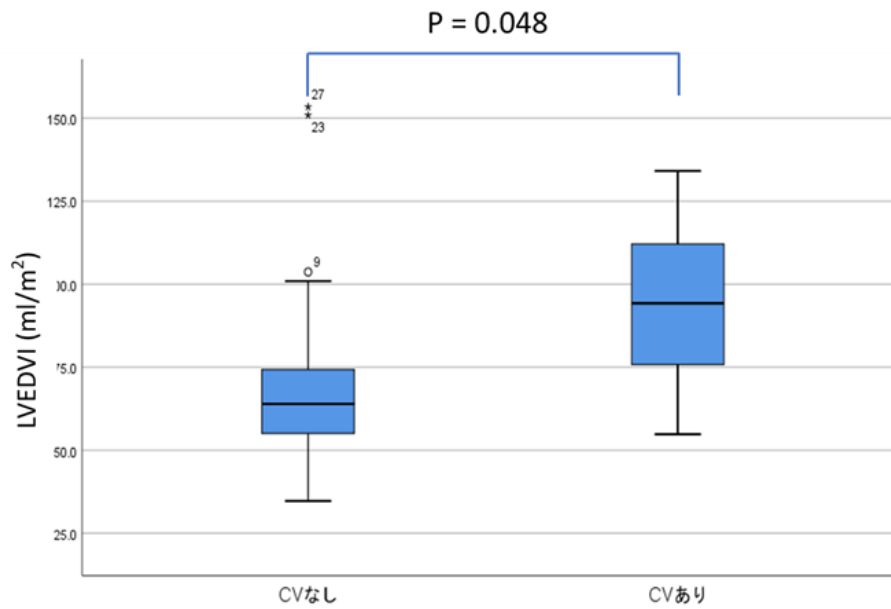
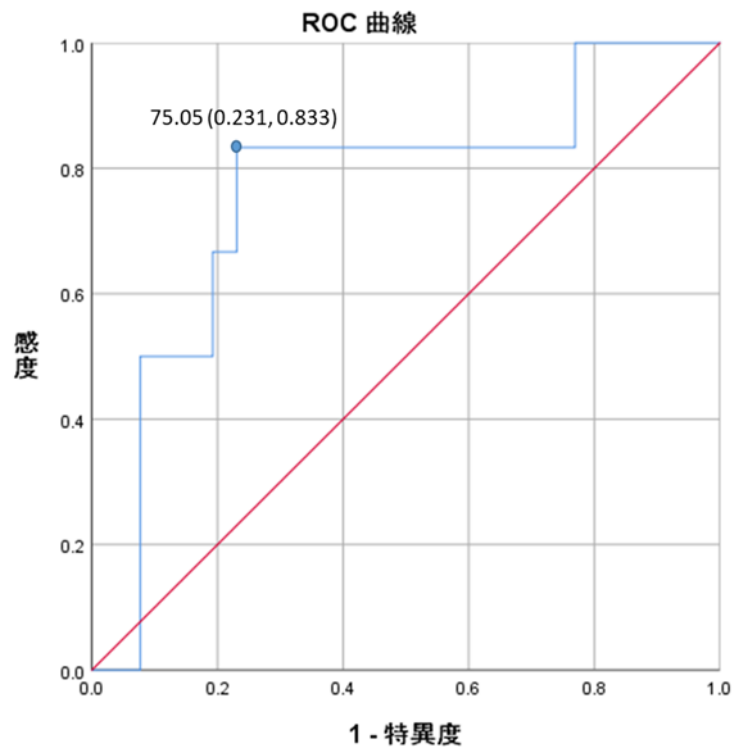


図 7. 心イベントと左室拡張末期容積係数の ROC (receiver operating characteristic) 解析



図説

図 1. 遅延造影 (late gadolinium enhancement : LGE) MRI

症例は、拡張型心筋症の 60 歳代女性。LGE MRI 短軸像で、左室心筋の中隔中層主体に線状の遅延造影を認める。

図 2. 5s (3s) 3s modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI)法

最初の反転パルス印加後に 5 秒間データを収集し、3 秒間あけて 2 回目のパルス印加後に 3 秒間データを収集する。この MOLLI 法では、11 秒の息止め間に 7-11 画像を取得できる。

図 3. T1T2 マッピングのカラー表示画像と関心領域 (region of interest : ROI)

健常男性 (a, b) と慢性腎臓病 (CKD) 男性患者 (c, d) の T1 マッピング (a, c) と T2 マッピング (b, d) のカラー表示画像および CKD 男性患者の confidence map (e, f) である。心室中隔 T1 値と T2 値は、健常男性 (T1, 1000 ms ; T2, 48 ms) より CKD 男性患者 (T1, 1106 ms ; T2, 59 ms) で高値である。この CKD 患者は、心臓 MRI 撮像後の 1 年間に狭心症を発症し、経皮的冠動脈インターベンション (percutaneous coronary intervention : PCI) を施行している。この患者の左室駆出率は 36.7 %、左室拡張末期容積係数は 108.1 mL/m²であった。ROI の測定は confidence map 上にて行い、心室中部レベルの中隔心筋に、心室内腔やエラーピクセルを含まないように注意しながら、可能な限り大きな楕円形の ROI を置いた。

図 4. 心筋 T1 値と左室拡張末期容積係数 (left ventricular end-diastolic volume index : LVEDVI) の相関図

慢性腎臓病（CKD）患者において、心筋 T1 値は左室拡張末期容積係数（left ventricular end-diastolic volume index : LVEDVI）と正の相関を示した（ $r = 0.349$, $P = 0.04$ ）。

図 5. 心筋 T1 値と左室駆出率（left ventricular ejection fraction : LVEF）の相関図

慢性腎臓病（CKD）患者において、心筋 T1 値は左室駆出率（left ventricular ejection fraction : LVEF）と負の相関を示した（ $r = -0.440$, $P < 0.01$ ）。

図 6. 心イベントと左室拡張末期容積係数（left ventricular end-diastolic volume indexed to body surface area : LVEDVI）の関連

左室拡張末期容積係数（left ventricular end-diastolic volume indexed to body surface area : LVEDVI）は、心イベントのあった群となかった群で有意差を認め（ $P = 0.048$ ）、心イベントのあった群で高値を示した。

図 7. 心イベントと左室拡張末期容積係数の ROC（receiver operating characteristic）解析

左室拡張末期容積係数（left ventricular end-diastolic volume indexed to body surface area） = 75.05 mL/m^2 が、慢性腎臓病（CKD）患者の 1 年後予後不良のカットオフ値であった〔感度 : 0.833, 特異度 : 0.769, AUC (area under the curve) : 0.763〕。

引用文献

1. エビデンスに基づく CKD 診療ガイドライン 2018 (日本腎臓学会 編) 東京医学社, 2018.
2. Go AS, Chertow GM, Fan D, McCulloch CE, Hsu CY. Chronic kidney disease and the risks of death, cardiovascular events, and hospitalization. *N Engl J Med.* 2004;351(13):1296-305. doi: 10.1056/NEJMoa041031.
3. Yoda S, Nakanishi K, Tano A, Kasamaki Y, Kunimoto S, Matsumoto N, et al. Risk stratification of cardiovascular events in patients at all stages of chronic kidney disease using myocardial perfusion SPECT. *J Cardiol.* 2012;60(5):377-82. doi: 10.1016/j.jjcc.2012.06.011.
4. Mall G, Huther W, Schneider J, Lundin P, Ritz E. Diffuse intermyocardiocytic fibrosis in uraemic patients. *Nephrol Dial Transplant.* 1990;5(1):39-44. doi: 10.1093/ndt/5.1.39.
5. Aoki J, Ikari Y, Nakajima H, Mori M, Sugimoto T, Hatori M, et al. Clinical and pathologic characteristics of dilated cardiomyopathy in hemodialysis patients. *Kidney Int.* 2005;67(1):333-40. doi: 10.1111/j.1523-1755.2005.00086.x.
6. Chimenti C, Frustaci A. Contribution and risks of left ventricular endomyocardial biopsy in patients with cardiomyopathies: a retrospective study over a 28-year period. *Circulation.* 2013;128(14):1531-41. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.13.001414.
7. Pellikka PA, Holmes DR Jr, Edwards WD, Nishimura RA, Tajik AJ, Kyle RA. Endomyocardial biopsy in 30 patients with primary amyloidosis and suspected cardiac involvement. *Arch Intern Med.* 1988;148(3):662-6. (PubMed: 3341867).
8. Mark PB, Johnston N, Groenning BA, Foster JE, Blyth KG, Martin TN, et al. Redefinition of uremic cardiomyopathy by contrast-enhanced cardiac magnetic

- resonance imaging. *Kidney Int.* 2006;69(10):1839-45. doi: 10.1038/sj.ki.5000249.
9. Schietinger BJ, Brammer GM, Wang H, Christopher JM, Kwon KW, Mangrum AJ, et al. Patterns of late gadolinium enhancement in chronic hemodialysis patients. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2008;1(4):450-6. doi: 10.1016/j.jcmg.2008.03.011.
 10. Marckmann P, Skov L, Rossen K, Dupont A, Damholt MB, Heaf JG, et al. Nephrogenic systemic fibrosis: suspected causative role of gadodiamide used for contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *J Am Soc Nephrol.* 2006;17(9):2359-62. doi: 10.1681/ASN.2006060601.
 11. Messroghli DR, Radjenovic A, Kozerke S, Higgins DM, Sivananthan MU, Ridgway JP. Modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI) for high-resolution T1 mapping of the heart. *Magn Reson Med.* 2004;52(1):141-6. doi:10.1002/mrm.20110.
 12. Baeßler B, Schaarschmidt F, Stehning C, Schnackenburg B, Maintz D, Bunck AC. Cardiac T2-mapping using a fast gradient echo spin echo sequence - first in vitro and in vivo experience. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2015;17(1):67. doi: 10.1186/s12968-015-0177-2.
 13. Bull S, White SK, Piechnik SK, Flett AS, Ferreira VM, Loudon M, et al. Human non-contrast T1 values and correlation with histology in diffuse fibrosis. *Heart.* 2013;99(13):932-7. doi: 10.1136/heartjnl-2012-303052.
 14. Rutherford E, Talle MA, Mangion K, Bell E, Rauhalampi SM, Roditi G, et al. Defining myocardial tissue abnormalities in end-stage renal failure with cardiac magnetic resonance imaging using native T1 mapping. *Kidney Int.* 2016;90(4):845-52. doi: 10.1016/j.kint.2016.06.014.
 15. Edwards NC, Moody WE, Yuan M, Hayer MK, Ferro CJ, Townsend JN, et al. Diffuse interstitial fibrosis and myocardial dysfunction in early chronic kidney

- disease. *Am J Cardiol.* 2015;115(9):1311-7. doi: 10.1016/j.amjcard.2015.02.015.
16. Hayer MK, Radhakrishnan A, Price AM, Baig S, Liu B, Ferro CJ, et al. Early effects of kidney transplantation on the heart - a cardiac magnetic resonance multi-parametric study. *Int J Cardiol.* 2019;293:272-7. doi: 10.1016/j.ijcard.2019.06.007.
17. Wang L, Yuan J, Zhang SJ, Gao M, Wang YC, Wang YX, et al. Myocardial T1rho mapping of patients with end-stage renal disease and its comparison with T1 mapping and T2 mapping: a feasibility and reproducibility study. *J Magn Reson Imaging.* 2016;44(3):723-31. doi: 10.1002/jmri.25188.
18. Nitsch D, Grams M, Sang Y, Black C, Cirillo M, Djurdjev O, et al. Associations of estimated glomerular filtration rate and albuminuria with mortality and renal failure by sex: a meta-analysis. *BMJ.* 2013;346:f324. doi: 10.1136/bmj.f324.
19. Rauhala SM, Mangion K, Barrientos PH, Carrick DJ, Clerfond G, McClure J, et al. Native myocardial longitudinal (T1) relaxation time: regional, age, and sex associations in the healthy adult heart. *J Magn Reson Imaging.* 2016;44(3):541-8. doi: 10.1002/jmri.25217.
20. Kellman P, Hansen MS. T1-mapping in the heart: accuracy and precision. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2014;16(1):2. doi: 10.1186/1532-429X-16-2.
21. Amano Y, Omori Y, Yanagisawa F, Ando C, Shinoda N, Suzuki Y, et al. Relationship between measurement errors in myocardial T1 mapping and heart rate. *Magn Reson Med Sci.* 2020;19(4):345-50. doi: 10.2463/mrms.mp.2019-0166.
22. Rogers T, Dabir D, Mahmoud I, Voigt T, Schaeffter T, Nagel E, et al. Standardization of T1 measurements with MOLLI in differentiation between health and disease – the ConSept study. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2013;15(1):78. doi: 10.1186/1532-429X-15-78.

23. Graham-Brown MP, March DS, Churchward DR, Stensel DJ, Singh A, Arnold R, et al. Novel cardiac nuclear magnetic resonance method for noninvasive assessment of myocardial fibrosis in hemodialysis patients. *Kidney Int.* 2016;90(4):835-44. doi: 10.1016/j.kint.2016.07.014.
24. Shah RV, Kato S, Roujol S, Murthy V, Bellm S, Kashem A, et al. Native myocardial T1 as a biomarker of cardiac structure in non-ischemic cardiomyopathy. *Am J Cardiol.* 2016;117(2):282-8. doi: 10.1016/j.amjcard.2015.10.046.
25. Cornicelli MD, Rigsby CK, Rychlik K, Pahl E, Robinson JD. Diagnostic performance of cardiovascular magnetic resonance native T1 and T2 mapping in pediatric patients with acute myocarditis. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2019;21(1):40. doi: 10.1186/s12968-019-0550-7.
26. Fehrmann A, Treutlein M, Rudolph T, Rudolph V, Weiss K, Giese D, et al. Myocardial T1 and T2 mapping in severe aortic stenosis: potential novel insights into the pathophysiology of myocardial remodeling. *Eur J Radiol.* 2018;107:76-83. doi: 10.1016/j.ejrad.2018.08.016.
27. Giri S, Chung YC, Merchant A, Mihai G, Rajagopalan S, Raman SV, et al. T2 quantification for improved detection of myocardial edema. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2009;11(1):56. doi: 10.1186/1532-429X-11-56.
28. Fernández-Jiménez R, García-Prieto J, Sánchez-González J, Agüero J, López-Martín GJ, Galán-Arriola C, et al. Pathophysiology underlying the bimodal edema phenomenon after myocardial ischemia/reperfusion. *J Am Coll Cardiol.* 2015;66(7):816-28. doi: 10.1016/j.jacc.2015.06.023.
29. Bruvold M, Seland JG, Brurok H, Jynge P. Dynamic water changes in excised rat myocardium assessed by continuous distribution of T1 and T2. *Magn Reson Med.*

2007;58(3):442-7. doi: 10.1002/mrm.21340.

30. Spieker M, Katsianos E, Gastl M, Behm P, Horn P, Jacoby C, et al. T2 mapping cardiovascular magnetic resonance identifies the presence of myocardial inflammation in patients with dilated cardiomyopathy as compared to endomyocardial biopsy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2018;19(5):574-82. doi: 10.1093/ehjci/jex230.
31. Kolman L, Welsh DG, Vigmond E, Joncas SX, Stirrat J, Scholl D, et al. Abnormal lymphatic channels detected by T2-weighted MR imaging as a substrate for ventricular arrhythmia in HCM. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2016;9(11):1354-6. doi: 10.1016/j.jcmg.2015.10.016.
32. Hayer MK, Radhakrishnan A, Price AM, Liu B, Baig S, Weston CJ, et al. Defining myocardial abnormalities across the stages of chronic kidney disease: a cardiac magnetic resonance imaging study. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2020;13(11):2357-67. doi: 10.1016/j.jcmg.2020.04.021.
33. Silberberg JS, Barre PE, Prichard SS, Sniderman AD. Impact of left ventricular hypertrophy on survival in end-stage renal disease. *Kidney Int*. 1989;36(2):286-90. doi: 10.1038/ki.1989.192.
34. Levin A, Thompson CR, Ethier J, Carlisle EJ, Tobe S, Mendelssohn D, et al. Left ventricular mass index increase in early renal disease: impact of decline in hemoglobin. *Am J Kidney Dis*. 1999;34(1):125-34. doi: 10.1016/s0272-6386(99)70118-6.
35. Parfrey PS, Foley RN, Harnett JD, Kent GM, Murray DC, Barre PE. Outcome and risk factors for left ventricular disorders in chronic uraemia. *Nephrol Dial Transplant* 1996;11(7):1277-85. (PubMed: 8672023).

36. Arcari L, Hinojar R, Engel J, Freiwald T, Platschek S, Zainal H, et al. Native T1 and T2 provide distinctive signatures in hypertrophic cardiac conditions - comparison of uremic, hypertensive and hypertrophic cardiomyopathy. *Int J Cardiol.* 2020;306:102-8. doi: 10.1016/j.ijcard.2020.03.002.
37. Mimura I, Nishi H, Mise N, Mori M, Sugimoto T. Left ventricular geometry and cardiovascular mortality based on haemodialysis patient autopsy analyses. *Nephrology (Carlton).* 2010;15(5):549-54. doi: 10.1111/j.1440-1797.2010.01266.x.

研究業績

大森 裕子

I	発表	①一般発表	2	
		②特別発表	なし	
II	論文	①原著論文	5	(共 5)
		②症例報告	2	(共 2)
		③総説	1	(共 1)
III	著書		4	

以上

I 発表

① 一般発表

1. 大森裕子 天野康雄 高木亮 柳澤芙美 逸見明博 唐小燕
松本直也 鈴木康之 : T1T2 mapping が有用であった好酸球増多
に伴う拡張型心筋症の一例, 第 89 回日本心臓血管放射線研究会,
東京, 2019 年 7 月
2. Yuko Omori, Yasuo Amano, Fumi Yanagisawa, Yasuyuki Suzuki,
Chisato Ando, Hiroshi Yamamoto, Ryo Takagi, Naoya Matsumoto,
Masahiro Okada : Relationship between Myocardial T1T2 Values
and Cardiac Function in Patients with Chronic Kidney Disease, 第 79 回
日本医学放射線学会総会, 神奈川, 2020 年 5 月

II 論文

①原著論文

1. Yasuo Amano, Yasuyuki Suzuki, Fumi Yanagisawa, Yuko Omori, Naoya
Matsumoto : Relationship between Extension or Texture Features of Late Gadolinium
Enhancement and Ventricular Tachyarrhythmias in Hypertrophic Cardiomyopathy,
BioMed Research International, 2018:4092469. doi: 10.1155/2018/4092469, 2018.
2. Yasuo Amano, Yuko Omori, Fumi Yanagisawa, Ryo Takagi : Glomerulocystic
kidney identified in older patients by magnetic resonance imaging: Relation to renal
function and renal corticomedullary differentiation, Medicine, 98(17):e15350. doi:
10.1097/MD.00000000000015350, 2019.
3. Yasuo Amano, Fumi Yanagisawa, Ryota Takagi, Shinsuke Harasawa, Yuko
Omori, Naoya Matsumoto : Distribution of Medial Calcification and Luminal Stenosis

in Symptomatic Patients with Hemodialysis and Peripheral Artery Disease Using 3D Computed Tomography Angiography, Iranian Journal of Radiology, 17(1):e98855. doi: 10.5812/iranradiol.98855, 2020.

4 . Yasuo Amano, Fumi Yanagisawa, Yuko Omori, Yasuyuki Suzuki, Chisato Ando, Hiroshi Yamamoto, Naoya Matsumoto : Detection of Myocardial Tissue Alterations in Hypertrophic Cardiomyopathy Using Texture Analysis of T2-Weighted Short Inversion Time Inversion Recovery Magnetic Resonance Imaging, Journal of Computer Assisted Tomography, 44(3):341-345, 2020.

5 . Yasuo Amano, Yuko Omori, Fumi Yanagisawa, Chisato Ando, Naoki Shinoda, Yasuyuki Suzuki, Hiroshi Yamamoto, Naoya Matsumoto : Relationship between Measurement Errors in Myocardial T₁ Mapping and Heart Rate, Magnetic Resonance in Medical Sciences, 19(4):345-350, 2020.

②症例報告

1 . Fumi Yanagisawa, Yasuo Amano, Yuko Omori, Ryo Takagi, Xiaoyan Tang : Epithelioid Hemangioma of Vertebra Mimicking Metastasis on FDG PET/CT in a Patient With Renal Cell Cancer, Clinical Nuclear Medicine, 46(2):148-150, 2021.

2 . Maki Amano, Yasuo Amano, Ryo Takagi, Xiaoyan Tang, Yuko Omori, Masahiro Okada : Case report of portal hepatic schwannoma: presentation of multimodality images, BMC Gastroenterology, 21(1):183. doi: 10.1186/s12876-021-01767-9, 2021.

③総説

1 . Yasuo Amano, Yuko Omori, Chisato Ando, Fumi Yanagisawa, Yasuyuki Suzuki, Xiaoyan Tang, Hiroko Kobayashi, Ryo Takagi, Naoya Matsumoto : Clinical

Importance of Myocardial T₂ Mapping and Texture Analysis, Magnetic Resonance in Medical Sciences, 20(2):139-151, 2021.

III 著書

1. 大森裕子 天野康雄 : 人工透析に関連する心血管疾患の CT, MRI (天野康雄 編), 臨床画像 Vol. 36/No. 10[10月号]透析患者の画像診断, p. 1147-1154, メジカルビュー社, 東京, 2020.
2. 天野康雄 大森裕子 柳澤芙美 : 肥大型心筋症 I (HCM) (横山健一 編), 心臓・大血管 画像診断の勘ドコロ NEO, p. 78-79, メジカルビュー社, 東京, 2021.
3. 天野康雄 大森裕子 柳澤芙美 : 肥大型心筋症 II (HOCM, 心尖部肥大型心筋症, 心中部肥大型心筋症) (横山健一 編), 心臓・大血管 画像診断の勘ドコロ NEO, p. 80-81, メジカルビュー社, 東京, 2021.
4. 大森裕子 天野康雄 : 拡張型心筋症 (DCM) (横山健一 編), 心臓・大血管 画像診断の勘ドコロ NEO, p. 82-83, メジカルビュー社, 東京, 2021.