Does adding a delayed phase to cardiac computed tomography for coronary artery evaluation have prognostic value?

Tetsuya Oguni, et al. European Heart Journal - Cardiovascular Imaging (2026) 00, 1–12

心臓 CT による冠動脈評価において遅延相を追加することが予後予測に有用か

【背景】心臓 CT では冠動脈の解剖学的構造を評価し、遅延相では心筋線維化の指標である細胞外容積分画（Extracellular Volume: ECV）や、限局性の心筋置換線維化を示す心筋遅延造影（Late Iodinate Enhancement: LIE）などの取得が可能である。ECV と LIE は異なる病理学的過程を反映しており、これらを組み合わせることで、臨床症状が現れる前の心筋障害（サブクリニカル心筋障害）の検出精度が向上する可能性がある。

【方法】冠動脈評価のために心臓 CT を受けた患者を対象に、LIE および ECV を評価し、それらと臨床転帰との関連を検討した。主要評価項目は、あらゆる原因による死亡および予定外の心血管入院を含む複合転帰とした。副次評価項目は、心臓死および予定外の心血管入院から構成される心血管イベントと定義した。

【結果】2020 年 1 月から 2022 年 9 月にかけて心臓 CT を受けた連続 1305 例のうち、ECV や LIE 解析がなされなかった 55 例、アーチファクトにより遅延造影の画質が不良であった 12 例、既知の非虚血性心筋症 31 例を除外した 1207 例の患者を解析、LIE の有無および ECV の上昇の有無に基づいて 4 つの群に分類し、平均 26.0 ± 19.1 か月間追跡した。心臓 CT は 320 列 CT（Aquilion One Genesis edition; Canon Medical Systems）により single energy で撮影し、造影剤はトータル 550mgI/kg 使用、遅延造影は造影剤投与後 7 分のタイミングで撮影、ECV 解析は single energy 撮影による subtraction 法で解析を行った。LIE および ECV それぞれ単独、ならびに両者を組み合わせた場合の関連性を、Cox 比例ハザードモデルを用いて評価した。LIE は少なくとも 1 セグメントで陽性であれば LIE 陽性群に分類され、ECV は ROC 曲線を用いて算出された 29.5%をカットオフとした。
Kaplan–Meier 解析では、4 群間で段階的にリスクが上昇する傾向が示され、複合転帰の累積発生率は LIE 陰性かつ ECV 正常群、LIE 陽性かつ ECV 正常群、LIE 陰性かつ ECV 上昇群、LIE 陽性かつ ECV 上昇群の順に高くなることが確認された（log-rank 検定 P＝0.027）。LIE 陽性かつ ECV 上昇群では、複合転帰のリスクが有意に高く〔ハザード比（HR）1.84、95％信頼区間（CI）1.22–2.79〕、また心血管イベントについてもリスク上昇が認められた（HR 2.67、95％CI 1.32–5.41）。

【結論】冠動脈評価のために心臓 CT を受けた患者において、LIE と ECV の上昇がともに

存在する場合、心血管イベントのリスクがより高くなることが示された。これらの指標を併せて評価することで、予後予測において相乗的な価値をもたらす可能性がある。

【コメント】LIE は、心臓 MRI で用いられる LGE（Late Gadolinium Enhancement）と同様に、心筋症の診断や心筋炎病変の同定に有用であり、局所的な心筋障害を視覚的に評価することができる。しかし LIE はびまん性の心筋障害を過小評価する可能性がある。一方、ECV は、心筋線維化、軽度の浮腫、または反応性線維化に起因するびまん性心筋障害を定量化しする。したがって、LIE と ECV はそれぞれ異なる観点から心筋障害を評価する補完的なバイオマーカーとして機能する。

CT で測定した ECV（CT-ECV）は、さまざまな心疾患において線維化の指標として注目されている。重度大動脈弁狭窄患者を対象としたメタ解析では、カットオフを 30.7%とした際の ECV 上昇が正常 ECV と比べて心血管イベントリスクを 4 倍以上高めることが報告されている(Eur Heart J Cardiovasc Imaging 2025;26:518–31)。

LIE は、CMR における LGE と同様に、虚血だけでなく心筋炎や非虚血性心筋症における心筋障害も検出できる。LGE では、遅延造影の存在と範囲が心不全や致死的不整脈と関連しており、LIE も線維化や瘢痕を反映すると考えられている。本研究では LIE を有する患者では、三枝病変や左前下行枝（LAD）の関与の頻度が高く、より広範な冠動脈疾患を有する傾向が示唆された。先行研究でも、冠動脈疾患患者における LIE の陽性例は、LIE 陰性例と比較して予後が不良であることが報告されている（JACC Cardiovasc Imaging 2021;14:1674–5)。

本研究では、非虚血性 LIE が独立して不良転帰と関連しており、LIE が強力な心筋障害マーカーであること、そして冠動脈の解剖学的特徴だけでは説明できない追加的な予後情報を提供することを示した。心臓死および予定外の心血管入院に関しては、LIE 群でイベントの発生頻度が有意に高く、一方で ECV 上昇単独ではこれらの転帰との有意な関連はみられなかった。これは、ECV が高血圧や糖尿病などの状態でも上昇する可能性があり、より早期の心筋障害を検出する指標であるためと考えられる。

本研究で最も注目すべき結果は、主要転帰および副次転帰のいずれにおいても、LIE 陽性かつ ECV 上昇群が、LIE 陰性かつ正常 ECV 群よりも有意に高いイベント率を示した点である。CMR で LGE 陽性の患者では、ECV 上昇が高い心不全リスクと関連することが報告されている（Circ Cardiovasc Imaging 2019;12:e009535）が、本研究の結果も同様に、LIE と ECV 上昇の併存が相乗的な関係を持つことを示唆した。すなわち、LIE と ECV はそれぞれ線維化および心筋構造異常の指標として予後評価に寄与し、その組み合わせによって、従来の機能的・解剖学的マーカーを補う新たなリスク層別化が可能になると考えられる。

千葉大学医学部附属病院
循環器内科　野口靖允