

## 4

## 心室頻拍の診断と治療に役立つイメージング

## はじめに

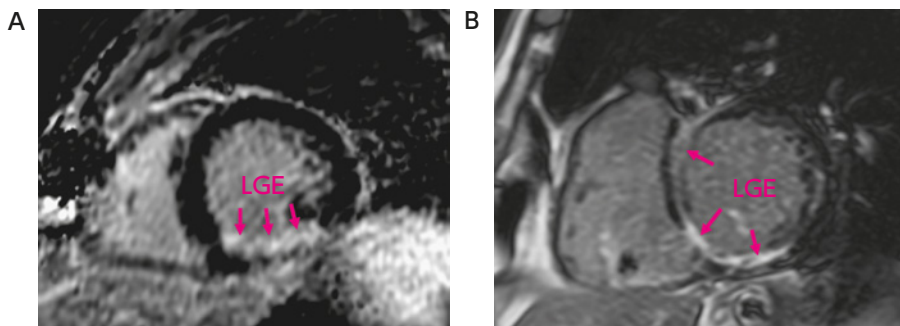
心室頻拍（VT）は心臓突然死の最重要な原因の一つであり、ほとんどは何らかの基礎心疾患を有する症例で生じる。心エコー、心臓MRI（CMR）、マルチスライスCT（MDCT）、核医学検査などのイメージングモダリティは、基礎心疾患の診断、VT・突然死発症のリスク層別化、アブレーションなどのインターベンションにおける補助的使用など、さまざまな形で用いられている。本節では、各種画像検査がどのようにVTの診療に役立つかという観点からまとめる。

## 1 基礎心疾患の診断

基礎心疾患の診断と心不全の評価が、VTのマネージメントで最も重要である。近年のガイドラインでも、VTを発症した患者でまず考慮すべき画像検査は、冠動脈の評価（冠動脈造影やCT）と経胸壁心エコー（TTE）にあることは変わらないが、TTEで心機能の評価が不十分であったり、病変の進行が疑われる場合はCMRも併せて行うことが推奨される<sup>1)</sup>。これまで、最大50%の患者で基礎心疾患の診断結果がCMR施行前後で変わったという報告や、当初「明らかな基礎心疾患なし」とされた患者の約4分の1において、CMRによって新たに何らかの異常が見つかったなどとの報告もあり、実臨床ではCMRは可能な限り施行すべき検査であると言える<sup>2)</sup>。また、MDCTや核医学検査も状況に応じて考慮する。

## 1-1 ▶ CMR

ガドリニウム遅延造影（LGE）の診断における有用性が確立している（**図1**）。LGEの分布、transmurality（貫壁性）から、虚血性・非虚血性であるかの診断が可能となり、また非虚血性心疾患のなかで



【図1】 ガドリニウム遅延造影

- A) 虚血性心筋症。左室下壁、心内膜下優位にLGEを認める（矢印）。  
 B) 拡張型心筋症。左室中隔から下壁の心筋中層にLGEを認める（矢印）。  
 （自験例）

も、それぞれに特徴的な形態やLGEの分布から、肥大型心筋症、拡張型心筋症、不整脈原性右室心筋症、心筋炎、サルコイドーシス、アミロイドーシスなどが、ある程度判別可能である。また、シネモードは一心拍当たり数十コマの動画で心拍動を描出し、右室の心筋容積と局所壁運動異常の評価をTTEより正確に行えるため、特にサルコイドーシスや不整脈原性右室心筋症の診断に有用性がある。

一方で、個々の症例においてLGEを評価する際に気にとめておくべき点が二つある。一点目として、LGEの高信号域(=瘢痕領域)のカットオフの決め方として、最強信号強度(maximal signal intensity)に基づくmaximal SI法と、健常心筋の平均SIからどの程度離れているかに基づくSD法があるが、どちらの方法が優れているかについてのコンセンサスは(特に非虚血性心筋症において)まだない。また同一の方法内でも、用いられているカットオフはさまざまであり(>2SD~>6SDなど)、これらはLGEの描出に大きく影響し、LGEの領域や貫壁性の評価が変わりうる<sup>3)</sup>(Chapter 5-6 図3を参照)。二点目として、線維化がびまん性にひろがる病態の場合、「健常」心筋と線維化部位のSIのコントラストがはっきりとせず、LGEの評価にあまり適していない<sup>4)</sup>。実際、拡張型心筋症ではびまん性の線維化が特徴的であり、50~60%の症例ではLGEが認められなかったという報告もある。

このびまん性病変に対する評価に優れているのは、ネイティブT1マッピングと細胞外容積(extracellular volume fraction: ECV)マッピングであり、日常臨床でCMRのプロトコルに組み入れられている場合も多い。ネイティブT1マッピングは、非造影時に得られるT1値が、心筋肥大、線維化、梗塞病変、浮腫、アミロイドーシスなどで上昇し、脂質異常や鉄沈着では低下することを踏まえ、アミロイドーシス、Fabry病、タコつぼ型心筋症などの診断や、拡張型心筋症におけるびまん性線維化の評価に有用である。ECVマッピングでは、造影前後のT1マッピングデータを差分し、血液と心筋におけるT1値の変化率を予め患者の血液検査で得ていたヘマトクリット値で補正して算出する。この値が細胞外腔の拡張(つまり線維化、アミロイド、浮腫など)に特異的なことが検証されている。

## 1-2 ▶ MDCT

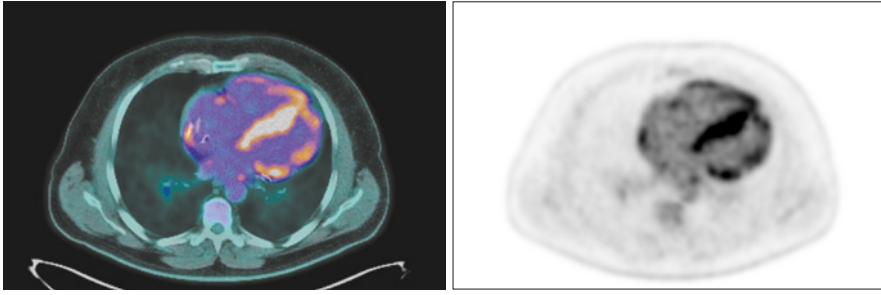
MDCTはCMRよりもはるかに高い空間分解能が特徴である。しかし、VTをきたした患者の基礎心疾患の診断において、MDCTが活躍する機会はそのままで多くない。最も多いのは冠動脈CTであろう。また、MDCTでも線維化の描出ができるが、正確性やエビデンスの蓄積という点においてLGE-CMRのほうが優れている。したがって、MDCTは診断目的というよりもアブレーションの補助的ツールとしての有用性が高い。

## 1-3 ▶ 核医学検査

診断という点においてはFDG-PETが最も重要で、サルコイドーシスを見逃さないことが大事である(図2)。心室不整脈のアブレーションを受けた患者のなかで、明らかな基礎心疾患が不明であった患者の約50%において、FDG-PETの心臓への局所的な高集積が認められたとの報告がある<sup>5)</sup>。

## 2 VT・突然死のリスク層別化

各種の大規模ランダム化比較試験はTTEでの左室駆出率35%未満の患者を対象にしている。しかし、左室駆出率の低下は突然死のリスク上昇と相関するものの、実数でみると、突然死または致死性不整脈を



【図2】 FDG-PET

心サルコイドーシスの一例。心室中隔優位に高集積を認める。  
(自験例)

きたした人の大半では、イベント直近の左室駆出率はそれほど低下していない。実際、本邦からの報告も含め、突然死をきたした患者の60~70%以上は左室駆出率35%以上であった<sup>6,7)</sup>。

これまで、LGE-CMRを用いた突然死あるいは致死性心室不整脈の予測に関連する数多くの報告が、虚血性心筋症・非虚血性心筋症の両方でなされている(表1)。表1からわかるように、線維化(LGE)の評価方法は統一されていない。大まかに言うと、LGEの定性評価や定量評価のどちらも致死的不整脈の発症と相関があり、また瘢痕部位の中心(core)より境界域(border zone)のほうが関連性が高い。

興味深い報告としては、非虚血性心筋症においてLGEは単形性のVTの発症は予測できたが、多形性VTは予測できなかった<sup>8)</sup>。これは非虚血性心筋症において、リエントリー性のVTの素地となる不整脈基質はLGEとして描出されやすいものの、非リエントリー性の心室不整脈と関連する不整脈基質は、LGEとして描出しにくいことを示唆する。

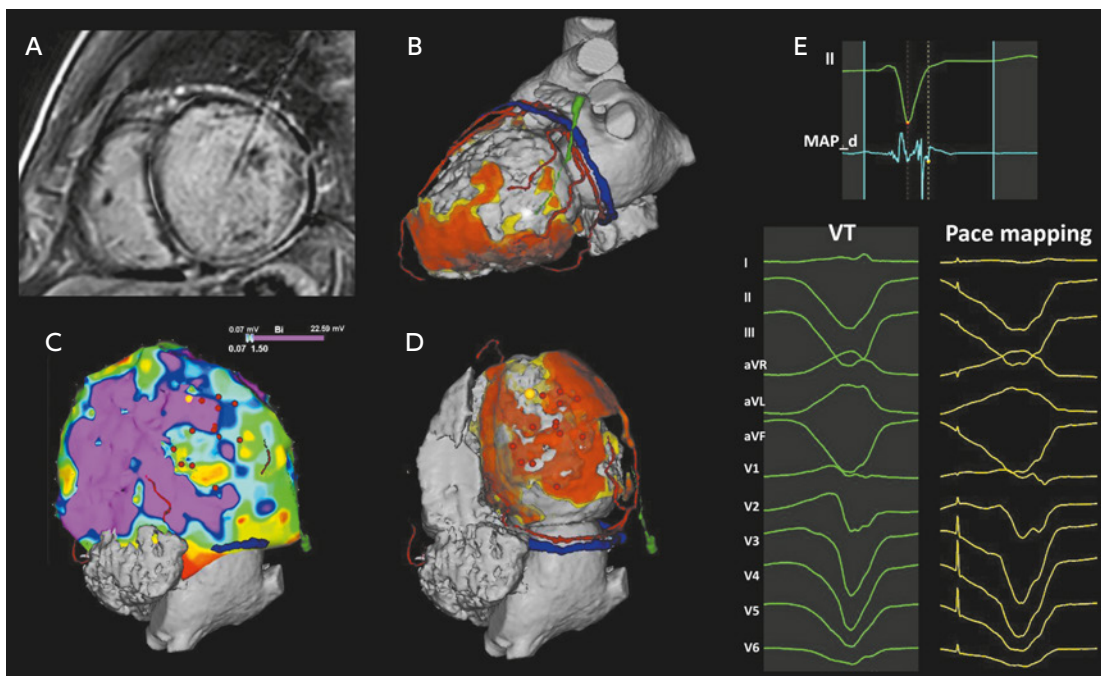
T1マッピングは、特に非虚血性心筋症において、LGEや左室駆出率とは独立して全死亡や心不全イベントと関連することがわかっている<sup>9)</sup>。特に、左室駆出率正常でLGEを認めなくてもT1値の上昇は認めうる。すなわち、非虚血性心筋症の病初期からびまん性の線維化が進行しているケースがある。しかし、T1マッピング(ネイティブT1あるいはECV)が致死性不整脈の予測に有用かどうかの報告は極めて少なく、今後知見が集積していくものと考えられる<sup>10)</sup>。

### 3 アブレーションの補助的使用

近年のVTアブレーションでは、術前の画像検査によってアブレーションの安全性を高める工夫や、得られた画像をアブレーション中の焼灼部位の参考として使う機会も増えている。以下、目的別に分けて説明していく。

#### 3-1 ▶ アブレーションのアクセス方法の決定

VTアブレーションのアプローチ方法として、左室の病変の場合、Brockenbrough法による経心房中隔アプローチと大動脈からの逆行性アプローチがある。左室内腔がそれほど大きくない症例では大動脈アプローチのみで以降の手技が可能な場合が多いが、左室内腔が高度に拡大していたり、左室の特定の部位の焼灼が想定される場合や、大動脈の石灰化や蛇行が高度であったりする場合は経心房中隔アプローチのみ、あるいは両アプローチの併用をすることで、カテーテル操作がしやすくなり心筋へのコンタクトも容



【図3】 拡張型心筋症の心外膜アブレーションの一例

- A) LGE-CMR. 左室の中隔，下壁から後側壁の広範囲に，心筋中層のLGEを認める。  
 B) MDCTとLGEの重ね合わせ画像。黄色はscar border zone，赤色はscar coreをそれぞれ示す。また冠動脈（赤），冠静脈（青），横隔神経（緑）がそれぞれ表示されている。  
 C) 心外膜のvoltage map。左室下壁にアブレーションを施行した。  
 D) MDCTとLGEの重ね合わせ画像。左室下壁の主にscar border zoneを中心にアブレーションが施行されていることがわかる。  
 E) 上段はC,D中の黄色の点で得られた局所電位。同部位からのペースマッピングで，誘発されたVT（下段左）に比較的近い波形（下段右）が得られた。（自験例）

部位を描出し，同部位への焼灼するCMRガイド下アブレーションを提唱している。つまり，CMRガイド下のdechannelingである。しかし，基礎心疾患により組織学的な線維化の特徴が異なることを考慮すると，基礎心疾患の違いにかかわらず同一のアルゴリズムでisthmusの描出を行えるかどうかはわからない。また，横径200 $\mu\text{m}$ 未満とかなり細い生存心筋束でもリエントリーをきたす遅延伝導部位となりうるが，CMRの空間分解能はあまり高くないこと（1.4mm程度）を考慮すると，CMRガイド化アブレーションのためには，CMRの空間分解能がさらなる向上が理論上必要である。

## B. MDCT

MDCTの特徴はCMRよりはるかに高い空間分解能であり，特に心外膜アプローチの際，3D構築した冠動脈とEAMとを重ね合わせることで，冠動静脈の走行の把握に有用である。一度冠動脈の近傍までカテーテルを持っていき，その場所で冠動脈造影を行って，重ね合わせのずれがないことが確認できれば，その後の焼灼はMDCTの冠動静脈からの距離を確認しながら安全に行うことができる。また，横隔神経の抽出も可能である。

## 1

## 急性冠症候群と心室不整脈

## はじめに

本節では急性冠症候群 (acute coronary syndrome: ACS) と心室不整脈について説明する。動脈硬化リスクが集簇し、比較的高齢の患者に発症する ACS の患者背景と、心筋梗塞による心機能低下は急性経過で生じた代償機転が確立していないため、心室不整脈の合併によって患者はより重篤な状態となる。一方で ACS における心室不整脈の機序の重要な部分を占める急性虚血はカテーテル治療・冠動脈バイパス術による冠血行再建術によって不整脈の原因を除去できる、治療可能な病態であるとも言える。まずは ACS の病態・疫学を確認した上で、心室不整脈、特に心室細動 (VF) と心室頻拍 (VT) を中心に述べる。

## 1 急性冠症候群の病態・疫学

ACS は、冠動脈のプラーク破綻とそれに伴う血栓形成によって冠動脈の血流途絶をきたすことで急性虚血を呈する病態である。急性心筋梗塞、不安定狭心症のほか、心臓突然死を含む。ACS の大半は動脈硬化性のプラーク破綻やびらんなどによって生じた冠動脈内の血栓を原因とするものであり、そのリスクとなるものは高血圧、糖尿病、喫煙、家族歴、高コレステロール血症があげられる。宮城心筋梗塞レジストリー研究<sup>1)</sup>を参考にすると、宮城県人口 10 万人あたりの急性心筋梗塞の年齢調整後発症率は、1979 年は 7.4 人、2008 年は 27.0 人と増加傾向にあった。男性のほうが女性より約 3 倍多く、好発年齢は男性 65 歳、女性 75 歳であった。

## 2 急性冠症候群に対する冠血行再建術

欧州心臓病学会 (ESC) のガイドラインにおける ST 上昇型心筋梗塞に対する再灌流療法の推奨を表 1 に示す<sup>2)</sup>。基本は発症 12 時間以内の患者が primary PCI (経皮的冠動脈インターベンション) の適応となるが、発症 12 時間から 48 時間以内の患者も効果は限定的であるが primary PCI を考慮してもよい。発症 48 時間以上を過ぎた患者に関しては血行動態および電気生理的に安定しており、症状が消失している患者に対しては primary PCI は推奨されない。一方で血行動態や電気生理的に不安定な状態の患者に対しては primary PCI の適応となる。日本循環器学会のガイドラインでの推奨においても、発症から 12 時間以上経過した場合の推奨は多少異なるが不安定な血行動態や致死性不整脈、すなわち VT/VF を認める患者は primary PCI が強く推奨される点は同じである<sup>3)</sup>。

また、非 ST 上昇型 ACS における冠血行再建の治療戦略とタイミングについては、日本循環器学会のガイドラインでは、リスク層別を行った上で即時侵襲的治療戦略 (2 時間以内)、早期侵襲的治療戦略 (24 時間以内)、後期侵襲的治療戦略 (72 時間以内)、初期保存的治療戦略に分けられる<sup>3)</sup>。VT/VF を認める患者については 2 時間以内に血行再建を行う即時侵襲的治療戦略の適応となる。その他、即時戦略の適応となるものは、薬物治療抵抗性の胸痛持続または再発、心不全合併、血行動態不安定、心停止、機

[表 1] ESC ガイドラインにおける primary PCI の適応

	Class	Level
虚血症状<12時間以内, かつ ST 上昇が持続	I	A
ST 上昇が認められなくても持続性の虚血症状があり, 下記の少なくとも 1 つを満たす <ul style="list-style-type: none"> <li>• 血行動態不安定・心原性ショック</li> <li>• 薬物抵抗性の再発性・持続性胸痛</li> <li>• 致死性不整脈・心停止</li> <li>• 心筋梗塞の機械的合併症</li> <li>• 急性心不全</li> <li>• 繰り返す ST や T 波の変化 (特に ST 上昇)</li> </ul>	I	C
症状出現から 12 時間以上経過しても持続する虚血所見, 血行動態不安定性, 致死性不整脈が存在する	I	C
症状出現から 12~48 時間経過した患者に対してルーチンに primary PCI を行う	IIa	B
症状から 48 時間以上経過し, 現在症状のない閉塞した梗塞責任血管にルーチンで PCI を行う	III	A
Primary PCI の際に (POBA のみではなく) スtent留置を行う	I	A
Stent は薬剤溶出性 Stent を選択する	I	A
熟練した術者によって大腿動脈ではなく橈骨動脈アプローチで PCI を行う	I	A
ルーチンの血栓吸引療法は推奨されない	III	A
ルーチンの deferred stenting (二期的に Stent 留置する方法) は推奨されない	III	B
多枝病変合併の STEMI 患者において, 退院前までに非梗塞責任血管に対する血行再建をルーチンに行う	IIa	A
心原性ショックの患者において, 非梗塞責任血管への PCI を続けて行う	IIa	C

(Ibanez B, et al. Eur Heart J. 2018; 39: 119-77<sup>2)</sup> より改変)

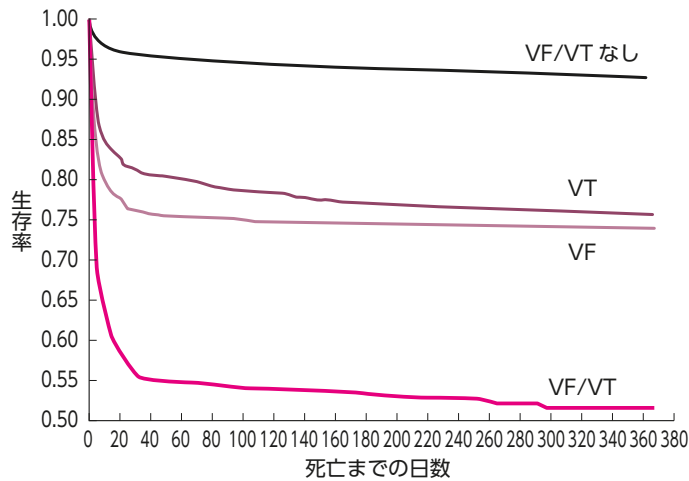
会的合併症 (急性僧帽弁逆流など), 一過性の ST 上昇, 反復性の動的 ST-T 変化である。欧米のガイドラインにおいても多少の違いはあるものの, リスク層別によって治療戦略のタイミングが異なる点は同じであり, VT/VF を合併した際の対応についても同様である。

ST 上昇の有無にかかわらず, また発症からの時間にかかわらず, ACS に合併した VT/VF は原則直ちに血行再建, 多くの場合は primary PCI の適応となると考えてよく, また血行再建自体が VT/VF のコントロールに大きく貢献することとなる。

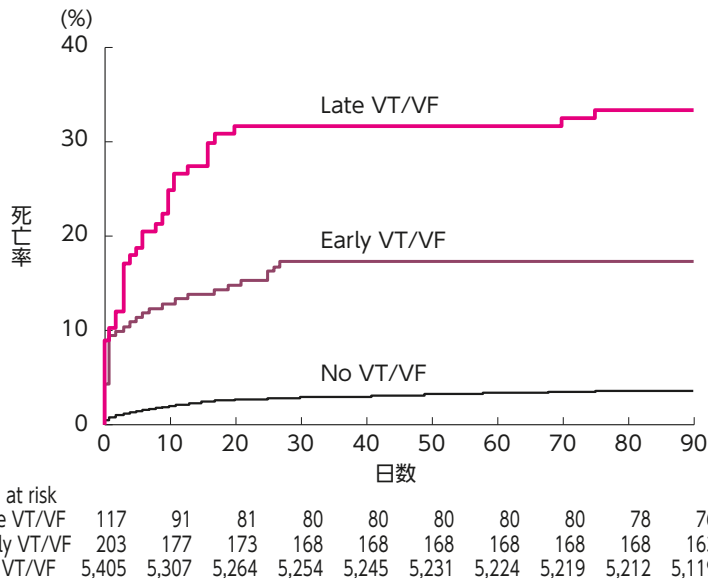
### 3 急性冠症候群における心室不整脈の頻度・予後

血栓溶解療法時代の GUSTO-I 試験では VT/VF は 40,895 例のうち 4,188 例 (10.2%) に認めた<sup>4)</sup>。VT は 450 例, VF は 1,438 例, VT と VF ともに認めたものは 933 例であり, 48 時間以内に発症したものはそれぞれ 78%, 85%, 83% であった。この 3 群と, VT/VF を認めなかった群を比較すると, VT と VF ともに認めた群が最も院内死亡・1 年死亡が多かった (図 1)。GUSTO-IIb 試験と GUSTO-III 試験の後ろ向き解析では急性心筋梗塞患者 19,190 例のうち, VT/VF は 1,126 例 (5.9%) に認めた。VT は 36.8%, VF は 48.4%, VT と VF ともに認めたものは 14.0% であった<sup>5)</sup>。

PCI 時代の APEX AMI 試験によると VT/VF は primary PCI を受けた ST 上昇心筋梗塞患者 5,745 例のうち 329 例 (5.7%) に認めた<sup>6)</sup>。64% は PCI が終わる前に発生しており, 90% が発症 48 時間以内に生じていた。同試験では PCI が終わる前に発生した VT/VF を early VT/VF, 以降を late VT/VF に分類



【図1】 GUSTO-1 試験における VF/VT の予後  
(Newby KH, et al. Circulation. 1998; 98: 2567-73<sup>4)</sup> より改変)



【図2】 APEX AMI 試験における VF/VT の予後  
(Mehta RH, et al. JAMA. 2009; 301: 1779-89<sup>6)</sup> より改変)

したところ、late VT/VF のほうが90日死亡率が有意に高かった (図2)。Early VT/VF 発症と関連する因子はクレアチニンクリアランス、Killip 分類 $\geq 2$ 、ST 偏位、心拍数 $>70$ /分、収縮期血圧、治療前のTIMI 血流分類0、体重、下壁梗塞、発症からランダム化までの時間であり (表2)、late VT/VF 発症と関連する因子はST 偏位、心拍数 $>70$ /分、収縮期血圧、治療前のTIMI 血流分類0、治療後のTIMI 血流分類 $<3$ 、24時間以内の $\beta$ 遮断薬使用、ST 改善であった (表3)。

また非ST 上昇型ACSに限定したものとして、GUSTO-IIb、PURSUIT、PARAGON-A、PARAGON-B 試験を統合した26,416例の検証があるが、552例(2.1%)に入院中にVT/VFを認めた<sup>7)</sup>。GUSTO-1とGUSTO-IIIを統合したデータベースではST 上昇を認める患者ではVT/VF 発症が10%以上であり、ST 上昇型に比して非ST 上昇型はVT/VF の発生頻度は少ない。