

# VTのアブレーションとマッピングシステムの融合

茨城県立中央病院 | 服部正幸

筑波大学付属病院 | 小松雄樹

## はじめに

器質的心疾患に合併する心室頻拍 (ventricular tachycardia: VT) のアブレーションにおいては、頻拍を持続させるメカニズムを明確にし、適切なアブレーション戦略を建てることが求められる。従来のアブレーション治療においては、entrainment mappingによる回路の推定に重きが置かれていたが、3次元マッピングシステムの発展に伴い、activation mappingによる頻拍回路の同定やpace mapping/substrate mappingによる洞調律中の不整脈基質推定の精度が飛躍的に向上した。本稿では現代の3次元マッピングシステムを用いて行われるVTアブレーションについて解説する。

## Activation mapping

器質的心疾患を有する心室頻拍の8割はマクロリエントリーを機序とし、そのモデルは1993年にStevensonらにより提唱され、今でも広く受け入れられている<sup>1)</sup>。すなわち、VT中はその拡張期にentrance→isthmus→exitの順に瘢痕組織内に残存した病的な心筋内を興奮が伝播し、exitから生じた興奮が頻拍収縮期に外側回路 (outer loop) ないし瘢痕組織の内側回路

(inner loop) を介して再度entranceに入りこむことで頻拍が持続する。しかしながら、近年の多極電極カテーテルの開発・臨床応用に伴い短時間で数千～数万のポイントが取得できるようになり、詳細な興奮伝播様式を描出することができるようになると、実臨床ではStevensonらの提唱するシンプルな回路ばかりではないことがわかってきた。一般にVTのexitは、瘢痕部組織の辺縁領域に存在し、周囲の健常心筋を興奮させることでVT中のQRS波形が形成されるとされるが、scar内部でVT回路の完結するintra-scar VTでは、entrainment pacingで同定されるexit部位が、activation mappingにおけるexitからは距離が離れていることがある<sup>2)</sup>。また、1つのVT回路に、複数のentrance/exitを有し、頻拍が持続するものもある<sup>3)</sup>。Activation mappingから得られたデータにより、VTの機序に関する報告も多数なされており、VT中の局所心筋の伝導速度は、isthmusやdead endと比較するとentrance/exitでより低下している<sup>3)</sup>、VT中のisthmusの局所心筋電位の波高は低いが、同一部位の洞調律中やペーシング中の波高と比較すると高い<sup>3)</sup>、ヒトにおけるisthmusの大きさは平均17mm×10mm程度<sup>4)</sup>、VTの頻拍周期は主にouter loopの伝導速度により規定される<sup>5)</sup>、などといった報告がされている。

## Pace mapping

Pace mappingはVT回路、とりわけexitやexit近傍のisthmusの推定に有用な手法である。一方、entrance近傍のマッピングスコアは低いとされる。これはexitやexit近傍のisthmusで行った刺激はexit方向へと興奮が伝播しVT中の波形と類似するが、entrance近傍の刺激はVT中の興奮順序とは逆行する健常心筋も興奮させるためである<sup>6)</sup>。ペーシングからQRS波形のオンセットまでに伝導遅延を伴う (stimulus to QRS  $\geq$  40ms) 場合、リエントリー回路の焼灼ターゲットとなるとされる。

Activation mapping同様、pace mappingにおいても、3次元回路の推定が可能である。CARTO システム (Biosense Webster社) を用いると、算出したpace mappingスコア (PASO™ Module) を投影したマップ=correlationスコアマップが作成される。Pace mappingスコアが $\geq 90$ でexcellent correlation、 $\leq 38\%$ でpoor correlationとされる。1つのマップ表面で完結する2次元の回路を有する場合、exitとentranceで大きくスコアが変化することから、excellent correlationとpoor correlationが近接し、マップ上でabrupt changeが認められる<sup>7)</sup>。3次元回路を有するVTになると、回路のどの部分が表層に現れているかによりマップの様相が変

わってくる。心筋深層で回路が完結する場合には、心内膜側/心外膜側いずれにおいてもexcellent correlation/poor correlationは記録されない(図1)。

## Substrate mapping

Substrate mappingはVTを誘発する前に、あるいはVTを誘発することなく、不整脈基質を特定することを目的とする。主に電位を指標としたマップ(voltage mapping)と局所伝導速度を反映したマップ(functional substrate mapping)に大別される。

### 1. Voltage mapping

Voltage mappingは、双極電極のpeak-to-peakの波高をもとに低電位領域を描出する手法が一般的である。双極電極で記録される電位波高が低い領域では、電位の断片化、分裂、遅発性電位など異常電位を認め、これらは通常健康心筋領域には認められない。Marchlinskiらは4mm tipのマッピングカテーテルを用いた検証で、1.5mVを低電位領域、0.5mVを瘢痕組織と定義した<sup>8)</sup>。同カットオフでは現在でも一般に受け入れられる指標であるが、以下の問題が存在する。1) 再灌流療法により梗塞巣にviableな心筋が多数残存する陳旧性心筋梗塞や非虚血性心筋症では、傷害心筋に介在する健康心筋のfar field potentialにより、1.5mVのカットオフ値では低電位領域が見逃される可能性がある。2) 記録される双極電極波高は、マッピングを行うカテーテルの電極の大きさ、間隔に強く影響される。電極サイズが小さいほど、また電極間隔が大きいほど異常電位は大きく記録される<sup>9)</sup>。我々の施設では、多極電極カテーテルを用いて

voltage mappingを行う際、低電位領域のカットオフを暫定1.0mVと設定し、徐々にその値を下げていくことで、より限局する低電位領域を描出するようにしている。

双極電極はその特性上far field電位を除外し、より近接する局所の波形を記録できるが、心筋中層や心外膜側に不整脈基質を有する場合、心内膜側からのsubstrateの評価は困難となる。単極電極はfar field potentialの混在が強まる分、記録可能な範囲が広い。Hutchinsonらはこの性質を利用し、左室心内膜側では健常組織(双極電位波高>1.5mV)と記録される部位で、単極電極波高が8.27mV以下の場合、心外膜側の病変が示唆されることを報告した<sup>10)</sup>。また、同時期にPolinらは、右室自由壁における心外膜側病変を示唆する短極電極波高カットオフは5.5mV以下であることを示した<sup>11)</sup>。

低電位領域の描出は、可視的に異常部

位検出に優れているが、全ての低電位領域がVTの基質となるわけではなく、VT回路の同定において感度は優れるが特異度は低い<sup>12)</sup>。Pace mappingや後述のfunctional substrate mappingと併用することで不整脈基質の推定精度が上がると考えられる。

### 2. Functional substrate mapping

洞調律中に認める不整脈基質として、前述のvoltage mappingを用いた低電位領域の検出の他に、局所電位の性状を評価する手法が着目されてきた。遅延電位(late potentials, LP)や心室異常電位(local abnormal ventricular activities, LAVA)がその筆頭に挙がるが、残念ながらこれらは取得するポイントの数やカテーテルの種類、マッピング作成時の興奮伝播の方向に大きく影響される上に、VT回路を推定する上でこれら局所電位単

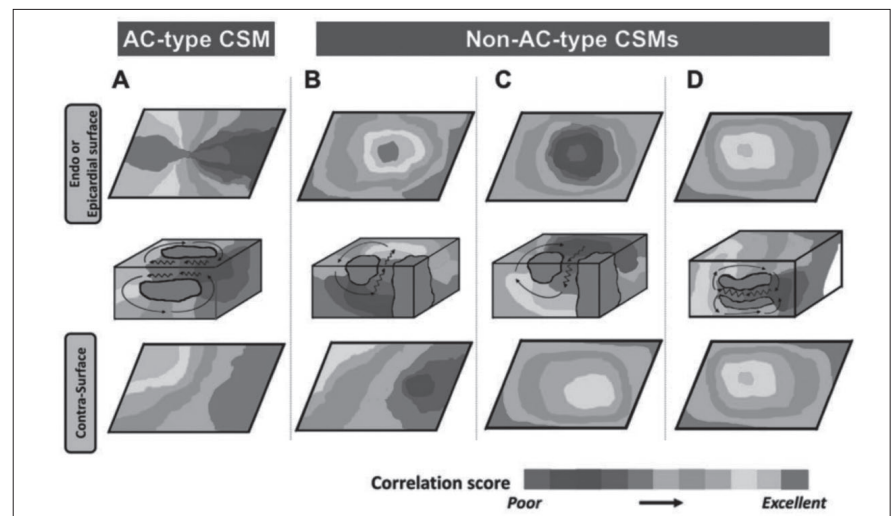


図1 Correlation score mapを用いたVT回路の推定

▶ 巻頭カラー参照

心内膜側のみ完結するVT回路では、excellent correlationとpoor correlationが隣接し、correlation score mapで急激な色調変化=abrupt changeが生じる(A)。心内膜側にexitのみ記録されるもの(B)やentranceのみ記録されるもの(C)、心筋中層で回路が完結するもの(D)では、abrupt changeは認められない。AC: abrupt change, CSM: correlation score map

(Combined endo- and epicardial pace-mapping to localize ventricular tachycardia isthmus in ischaemic and non-ischaemic cardiomyopathy. Europace. 2022 Apr 5;24(4):587-597. より転用)