

● ワークショップ

Alternative Pacing の実際と解剖学的知識

鳥取大学医学部附属病院循環器内 井川 修

はじめに

房室同期性に加え、さらに心機能を考慮したペーシングスタイルを確立すべく至適ペーシング部位について検討されるようになってから久しい。

比較的長くその議論がなされてきたにもかかわらず、いまだ右心耳に代わる心房ペーシング部位や、右室心尖部に代わる心室ペーシング部位はどこか、結論は得られていない。たしかに alternative pacing site として心房中隔、心室中隔が提唱されてはいるもの¹⁾、ペーシングリード留置部位は報告者によって大きく異なり、その妥当性を検証する際の問題となっている^{2,3)}。したがって、それらの報告をもとに中隔ペーシングの有効性を判断することは大変難しい。さらに厄介なことは、報告者ごとに中隔の構造認識が異なっていることである。中隔といつてもどこをペーシングしているのか客観性に乏しく、これがペーシングの有効性評価の問題をさらに大きくしている。

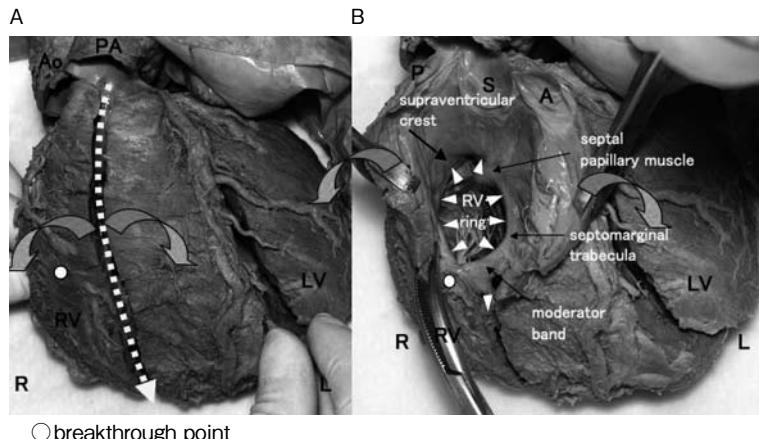
本稿ではペーシングリードを挿入する右房、右室の構造を確認しつつ、心房および心室中隔の解剖を解説する。また、ペーシングリード留置部位として心房および心室中隔が適当であるか、あえて留置するとすればどの点が最適であるか、合併症を避けるためにはどこに注意を払うべきかを考える。

1 心室中隔の解剖

右室中隔を考えるにあたり、まずは右室全体の構造を認識したうえで中隔構造を確認すると理解しやすい。

1) 右室流入路・流出路について

肺動脈幹を肺動脈弁直上で肺動脈前尖(anterior pulmonary cusp, 別名: 前半月弁 anterior semilunar cusp)・後尖(posterior pulmonary cusp, 別名: 右半月弁 right semilunarcusp)交連部を切開し、右室前壁へその切開を伸ばす。さらに右室流出路内腔を観察しながら右室前壁の切開線を右室心尖部方向へ徐々に延長していく(図1A)。右室流出路基部と右室心尖部の間、約2/3のレベルで切開された右室前壁を左右に展開すると右室流出路内腔の全体像が観察できる(図1B)。図1Bは心臓を左前斜位45度や上方より見たものである。内腔は表面平滑な中隔部分と粗い肉柱の存在する自由壁部分がある。意外に中隔部分の面積が小さいことに気づく。内腔でまず目につくのは中隔壁より突出し弧を描くように走行し右室前壁に付着する太い筋肉束、中隔縁柱(septomarginal trabecula)である。この中隔縁柱は調節帶(moderator band)として右室前壁に続くが、この調節帶の中を右脚が走行している。洞房結節に起こり心房、房室結節からヒス束、右脚を下行してきた電気的興奮は調節帶の前壁付着点で心室筋にbreakthroughするといわれている(breakthrough point)。つまり、このbreakthrough pointより右室心筋全体への興奮伝播が始まるわけである。また、調節帶の右室前壁付着部位直下には前乳頭筋(anterior papillary muscle)が存在し、三尖弁前尖および後尖(anterior/posterior tricuspid leaflet)の腱索を支持している。この中隔縁柱の基部には小さな中隔乳頭筋(septal papillary muscle)が存在し、主に三尖弁中隔尖(septal



○ breakthrough point
図1 A : 右室流出路切開線と展開方向
B : 展開後、左前斜位頭尾方向より観察した右室流出路内腔の様相

tricuspid leaflet), 一部前尖へ腱索を数本、伸ばしている。この乳頭筋は決して大きいものではなく、その形状にも個人差があり、明瞭に確認できる棒状のものから痕跡的なものまでその大きさはさまざまである。また、この中隔縁柱基部より自由壁側を見ると、それに続く筋肉束が認められる。これは室上稜(supraventricular crest)と呼ばれ、その分枝(parietal limb)が右室自由壁前壁で突出した形態を保ちながら、前述した調節帯の前壁付着点に向かって走行している。これより、右室内腔では中隔縁柱、調節帯および室上稜よりなる一つのリング状筋肉束(われわれはこの構造物を右室リング: RV ringと呼ぶことを提唱している)をイメージできる。この右室リングにより右室は構造的に右室流入路(RV inflow tract: RVIT)と流出路(RV outflow tract: RVOT)の二つの領域に分けることができる。さらにRVITとRVOTにはそれぞれ中隔(septum)と自由壁(free wall)があることより、右室は右室流入路中隔と自由壁、右室流出路中隔と自由壁の四つの領域に分類される(図2)。なお、右室心尖部領域は右室流入路に分類されるが、この領域にも右室心尖部中隔と自由壁がある。中隔縁柱は上記した太い筋肉束部分だけではなく、右室流出路方向の肺動脈弁中隔尖(septal cusp, 別名: 左半月弁 left semilunar

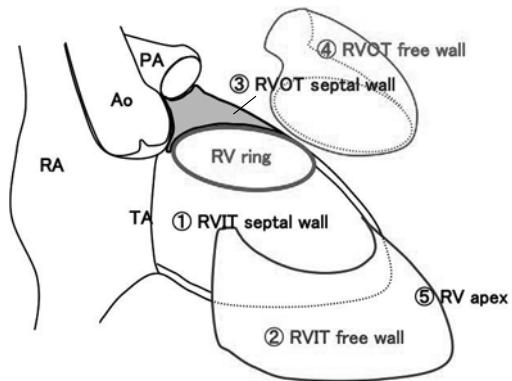


図2 右室流出路、流入路の模式図

cusp)直下まで伸展している。その表面は明らかに平滑である。発生学的に肺動脈弁中隔尖直下の心筋は、前述した中隔縁柱の心筋とは別な起源といわれている。しかしながら、この内容について少々あやふやな側面もあり、その境界についても明確な記載がないことより、ここでは混乱を避ける意味で臨床的には同一、つまり、肺動脈弁中隔尖直下までも中隔縁柱と同一心筋組織として取り扱い、全体構造を理解することにする。

さらに、右室流出路自由壁外側、すなわち肺動脈弁前尖の下方の心内膜面には多くの肉柱が存在しているが、この部位にある肉柱は

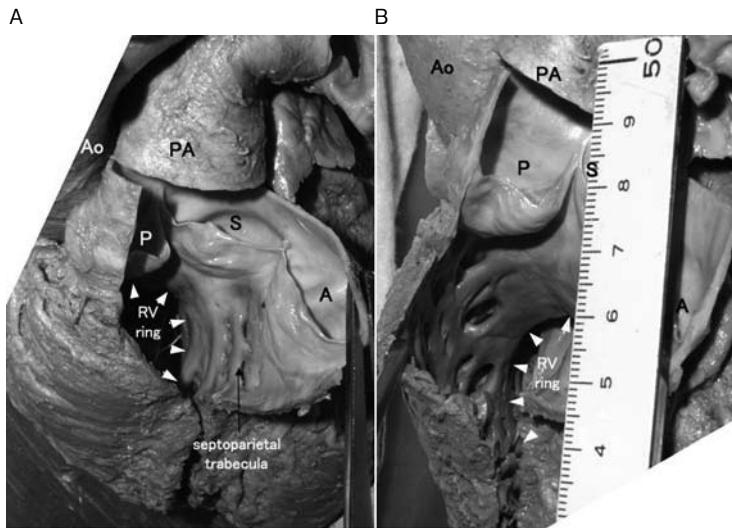


図3 A:右室流出路に存在するseptoparietal trabecula
B:右室流出路前壁の様相

症例を問わずすべて一定の方向(上方より下方へ斜め方向)に走行している。この肉柱群を septoparietal trabecula という(図3)。以上の右室構造は図4のような模式図として描くことができる。

図4には描かれていないが、注目すべきは中隔縁柱の上方領域、つまり右室流出路中隔領域の心内膜面は平面ではなく凸面なことである。さらにはその面も一定の方向を向いているわけではなく、高さが増すにつれその面が徐々に右前方から右側方へ向いていく(捻じれていく)様相を呈している。

また、右室流入路内面は中隔、自由壁を問わず肉柱が発達している。

2) 正常刺激伝導系との関係

房室結節に続くヒス束以下の刺激伝導系は、心房レベルでヒス束が中心線維体(central fibrous body: CFB)を貫きながら走行し(penetrating His bundle), 貫通直後、膜性中隔(membranous septum: MS)下縁に到達する。この膜性中隔は三尖弁中隔尖により心房側(房室膜性中隔)と心室側(心室中隔膜様部)の二つの領域に分けられるため、心房側膜性中隔下縁に到達するといったほうが正確である。ヒス束

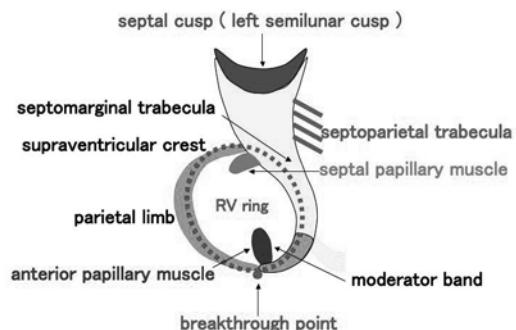


図4 右室リングを構成する構造物と右室流出路の関係をみた模式図

は、心房側および心室側膜性中隔下縁(言い換えれば心室中隔筋性部上縁)に沿って走行するが、この間、左室側へ左脚をすだれ状に分枝し続ける(branching His bundle)。その後、膜性中隔から離れたヒス束は右室に入り右脚となる。右脚は分枝することなく右室側心室中隔を走行し、末梢で調節帶に入りその右室前壁付着点(breakthrough point)で Purkinje 線維に移行し右室心筋に接続する。

3) 右室流出路中隔へのリード留置は可能か

これまで多くの右室流出路中隔ペーシング症例が報告されているが、そこに提示されてい

る透視画像を見ると、「右室流出路中隔」として右室流出路のかなり高い位置が選択され、ペーシングリードが留置されている。しかしながら、「その部位がなぜ、中隔であるか」についての解剖学的根拠は何も示されていない。ただ、感覚的にそのあたりに右室流出路中隔が存在するであろうと推測をしているに過ぎないようである。ペーシングを行ったときの心電図上のQRS群波形を検討して右室流出路中隔であることの根拠としている場合もあるが、それも解剖学的根拠に乏しいといわざるを得ない。さまざまの報告で提示されている例では、本当に心室中隔へスクリューを入れることに成功しているのであろうか。構造学の立場からいえば、極めて疑問である。

前記したとおり、右室流出路領域中隔面は凸面をなし、さらにその面は捻じれの様相を呈している。とてもスクリューインリードが留置できる構造ではない。この領域にリードを留置できたとすれば、右室流出路中隔と自由壁の境界(hinge)，あるいは自由壁に留置・固定されていると考えるのが妥当である。すなわち、前記した構造物の一つ、自由壁にある肉柱群のseptoparietal trabeculaにリード先端が挿入、固定されていると考えるのが自然である。したがって、この領域へのリード挿入、留置は一步間違えば、スクリューインリードによる自由壁穿孔が起こりかねないことは容易に推測される。この中隔の様相が、前記した中隔縁柱より上方でのイメージである。では、安全に右室中隔にリードを挿入・留置し中隔ペーシングを施行しようとすれば、どの部位を選択すべきであろうか。

4) 右室中隔ペーシングリード留置部位をどこに求めるか

上記したとおり、中隔縁柱上方の右室流出路中隔にリードを留置することは、構造的に無理がありそうである。ではその下方、とりわけ直下方(分類上は右室流入路)の中隔へのリード留置は可能であろうか。構造からいえば、中隔縁柱上方の中隔と同様、表面は平滑であるが、リード留置面はその上方に比べ明らかに凹であり、突起物である中隔縁柱の構造も利用可能であることよりリード留置には有利である。また、中隔縁柱下方には右脚が走行していることから、もし中隔心筋ばかりでなく右脚も同時にペーシング捕捉できたとすれば、比較的幅の狭いQRS群波形が得られ電気生理学的、血行動態的にも(ここではあえて理想的なモデルを想定するが)有利と考えられる。したがって、中隔縁柱の下方で右脚・右室心筋同時捕捉を狙い、できるだけ中枢側をペーシングするということになるかもしれない。非典型的なリード走行が三尖弁弁尖・弁下組織へ影響を及ぼす可能性を考慮すると、あまりにも中枢側でのリード留置は不適切であろう。現実的には、「中隔縁柱の下方の可能な限り中枢側の部位で右脚・右室心筋同時ペーシング」を目標とするのが適当と考える。

5) 中隔ペーシングの実際

この部位は、右室中部中隔(midseptum)として盛んにペーシングリード留置部位として選択されるようになっているが、重要な点は先に示した右室リングをどのようにイメージし、実際の手技に反映させていくかである。幸い、中隔縁柱は突出した構造物であるため、リード先端を右室流出路中隔側で上方より下方へ移動させると、この部位でリードのジャンプが認められる。これにより中隔縁柱の位置をイメージすることが可能となる。リードのジャンプなどの目安がない場合、構造物の高さの認識を誤るとリード先端が自由壁方向へ向かうこともあり、注意が必要である。

2 心房中隔の解剖

心房中隔は心室中隔と同様、広い領域であるばかりでなく部位により解剖学的構造が異なる。ここでは心房中隔ペーシングを考えるにあたり、同部位を便宜的に高位心房中隔と低位心房中隔に分けて解説を行うが、この分類は厳密な解剖学的定義に基づいて設定された領域ではない。今後、正確に心房中隔の解剖学的な定義により詳細な部位別分類がなされ、それに基

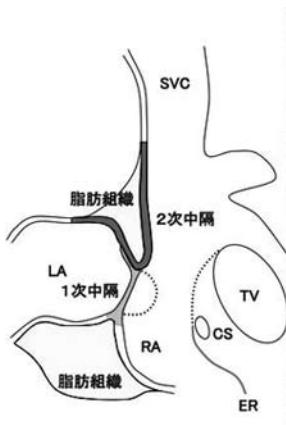


図5 心房間中隔の断面

卵円窓を通る平面で心房を切開している。



図6 経胸壁心臓超音波検査における4腔断面像

房室中隔と心房中隔が確認できる。

づいてペーシング部位を議論することが望まれる。

1) 発生からみた心房中隔構造の概略

心房中隔は原始心房に由来する組織として認識できる。その発生の詳細は発生学書に譲るが、心房中隔は複雑な発生過程をたどり、図5に示すような1次中隔と2次中隔が貼り合った構造となる。右房側から心房中隔を見ると2次中隔と1次中隔の卵円窓が確認できる。一方、左房側からは1次中隔が観察されるだけであり、卵円窓を認識することはできない。2次中隔は図5のように折り返しのある2重心房筋構造であり、その2重心房筋の間には脂肪組織が認められる。

2) 真の心房中隔とは

真の心房中隔についての議論がある。心房中隔の定義を論じる場合、①2重心房筋構造部分と折り返し部の両方を心房中隔とする場合もあれば、②2重心房筋構造は心房中隔とみなさず折り返し部のみを心房中隔とする場合もある。構造的に心房中隔を左房と右房を境する構造として定義すると、2重心房筋構造部と折り返し部、その間を埋める脂肪組織を含めた全体を心房中隔とするのが妥当と考えられる。この意味で本稿では心房中隔の定義として前者①を採用し解説を進める。

図6は心臓超音波検査における4腔断面像である。図中の中隔部分を追ってみると、右室と左室を境する心室中隔(interventricular septum : IVS)、右房と左室を境する房室中隔(atrivoventricular septum : AVS)、右房と左房を境する心房中隔(interatrial septum : IAS)が認識できる。左右房室弁輪の中隔部付着点の高さを比較すると、三尖弁中隔尖が僧房弁前尖に比し低位となっている。

この図において中隔面での右房は心房中隔IASと房室中隔AVSを介し、ほとんどの部分が左房に面しているが、ごく一部は左室に面している。

図7は、一部の腹腔臓器を付けた胸郭を矢状断しその断面を右から左へ観察したものである。右房と左房を分ける心房中隔(IAS)が容易に認識できる。さらに、房室中隔(AVS)は三尖弁中隔尖が付着している三尖弁輪の右房側で、その対側は左室(さらに正確にいえば、僧房弁前尖の弁下)である。この白線で囲った領域がKochの三角であり、心臓超音波検査の4腔断面で見られた三尖弁中隔尖 - 僧房弁前尖付着部間の領域である。したがって、この房室中隔(AVS)右房側に房室結節が存在する。

3) 便宜的な高位・低位心房中隔領域の定義

ここでは卵円窓中央を通過する水平線を基

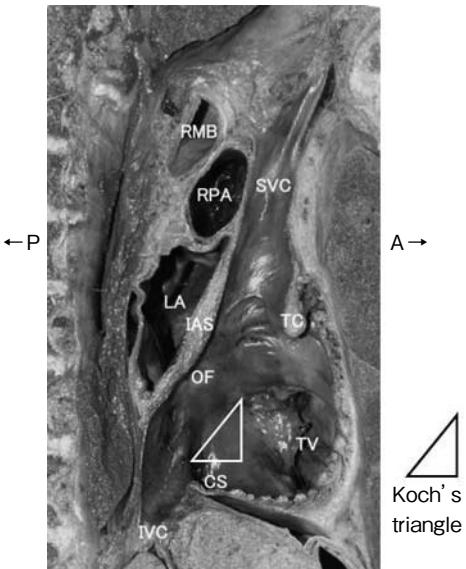


図7 ヒト胸部の矢状断面を右から左方向へ観察した像
Kochの三角が確認できる。

準とし、それより上方の心房中隔を高位心房中隔、下方のそれを低位心房中隔と定義したいが、そのマーカーに乏しいため難しい。そこでこの基準に近似する分類として三尖弁輪の最高点(三尖弁中隔尖-前尖交連部でヒス束電位記録部位近傍)を通過する水平線を基準線とした。つまり、その上方を高位、その下方を低位心房中隔として定義したわけである。また、低位心房中隔の下縁は冠静脈洞開口部上縁と便宜的に定義する。

この分類方法といえば、高位心房中隔はまさに心房中隔であるが、低位心房中隔は心房中隔構造の領域と房室中隔構造の領域に分けられる。

4) 高位・低位心房中隔、その構造認識の混乱とは

高位・低位心房中隔は臨床用語に過ぎず、解剖学的定義により正確に定義された心房中隔の部位を示す用語ではない。リード挿入・留置部位を検討するにあたり、右房側より見て心房中隔上方、下方を便宜的にこのように呼んでいるようである。しかし、これも術者、報告者によってそのイメージが全く異なり、議論がかみあつ

ていない場面もよく見られる。

また、高位右房に心房リードを留置したとする報告を見てもリード先端は高位心房中隔、つまり心房中隔上方に留置されているのではなく、分界稜基部右心耳側(正確にいえば、分界稜基部と右心耳内を走行する筋肉束のsagittal bundleとの合流点近傍)へ挿入・留置されている像となっている。構造的にいって、高位心房中隔ヘリードを留置することはかなり難しいと推測される。

一方、低位右房中隔のイメージも一定していないようである。ある報告では冠静脈洞の直上方を指し、別の報告ではKochの三角内(房室結節存在部位をイメージ)を、また極端な報告では膜性中隔近傍(ヒス束存在部位をイメージ)を指しているようである。低位中隔右房はこのように手術者の定義の仕方によってどうにでも解釈され、同部位にペーシングリードが留置されている。低位中隔右房の有効性を評価するにあたり、これほどに違いのあるものを一括して捉え、一つのペーシングスタイルとして取り扱つてもよいものであろうか。

たしかに、高位心房中隔ペーシングでは右心耳ペーシングに比しP波幅に反映される心房興奮伝導時間の短縮が得られるかもしれない。そして、低位心房中隔ペーシングでは房室伝導時間に相当するペーシング-QRS時間の短縮が得られるかもしれない。しかし、これまで行われてきた右心耳ペーシングで良好な管理が得られている例も決して少なくなく、右心耳ペーシングがなぜ悪いのか、どのような例に右心耳ペーシングを避けるべきか、はつきりしていない。また、構造から考えても、右心耳では櫛状筋が存在するため同部位でのペーシングリード留置・固定は容易であり、その良好な安定性が得られるのに対し、ターゲットとしている心房中隔は良好なリード固定・留置が得られる部位ではない。

さらに、高位心房中隔としている部位が、上記のとおりの誤った認識のもとにスクリューアンリードの留置・固定が施行されていたと

仮定すれば、右房内でも極めて壁が薄く、弱い部位と考えられる部位にリードを留置・固定していることになる。ちなみに、この部位で右房穿孔が生じるとリード線は心膜横洞(transverse pericardial sinus: TPS)へ逸脱し、最悪の場合、スクリューが上行大動脈へ到達する。

5) Bachmann束について

Bachmann束ペーシングという用語を今でも聞くことがある。実に、首をかしげる用語である。Bachmann束自体は、左房と右房が大動脈に面する面、つまり左房でいえば前壁、右房ではanteromedial free wallの間に位置する心房間溝を結ぶ筋肉束であり、心外側膜下の脂肪組織内に存在する。したがって、この部位を心内膜側からのペーシングで捕捉しようとしても構造的に不可能であろう。これまでの報告を見ると上記、高位心房中隔とされている部位でのペーシングをこのBachmann束ペーシングとして取り扱っている場合もあり、少々混乱しているようである。いずれにしても、この用語は解剖学

的にはあり得ない内容を含んでおり、用いないほうがよいものと考えられる。

以上、心房中隔ペーシングについて構造学的側面より考えてみた。今後、これまでの右室心尖部、右心耳でのペーシングについての総合的な再検討が行われ、至適ペーシング部位の選択についてバランスの取れた議論がなされることが望まれる。

文 献

- 1) McGavigan AD, Roberts-Thomson KC, Hillock RJ, et al. Right ventricular outflow tract pacing: radiographic and electrocardiographic correlates of lead position. *Pacing Clin Electrophysiol* 2006;29: 1063-8.
- 2) Ho SY, Nihoyannopoulos P. Anatomy, echocardiography, and normal right ventricular dimensions. *Heart* 2006;92(Suppl I): i2-i13.
- 3) Victor F, Mabo P, Mansour H, et al. A randomized comparison of permanent septal versus apical right ventricular pacing: short-term results. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2006;17:238-42.