3

心臓ペースメーカーの
レートレスポンス設定と
心臓リハビリテーションRate Response of Cardiac Pace Maker and
Cardiac Rehabilitation

三橋武司*

Takeshi Mitsuhashi

Key words : 変時性応答不全／体動感知型センサー／分時換気量センサー／下限心拍数

要
加

心臓ペースメーカーのレートレスポンス機能は、主に運動時に心拍数が上昇しない症例に用いられる。しかし、その特異性や感度は洞結節にはかなわない。心不全を合併した患者ではレートレスポンスにより運動耐容能が上昇することもあるが、不用意に心拍数を増加させると心室性不整脈の発生や心不全の増悪をきたす可能性もある。心臓リハビリテーション時には運動の種類により心拍数の十分な増加が得られない場合があり、患者の症状やペースメーカーから得られるレートヒストグラムなどを参考に設定を考える必要がある。

はじめに

運動をすると、筋肉をはじめとする体血流量を増加させるため心拍数は増加する。(心拍出量) = (心拍数) × (一回拍出量) の計算式から予測されるように、心拍数は心拍出量を決定する大きな因子である。一方、房室ブロックや心房細動患者で発生する心房心室の非同期も心拍出量に影響する。一般的には運動レベルが低い場合は心房心室同期性が重要だといわれているが、運動レベルが高くなると心拍数上昇が重要となる。

洞不全症候群やβ遮断薬などの薬剤を使用している場合は、運動に伴って適切に心拍数を増加させることができないことが生じ得る(図1-a)。このような場合に、洞結節に代わるいくつかのセンサーを用い、ペースメーカーに運動していることを認識させ下限心拍数を増やす機能がレートレスポンスである。ペースメーカーの設定で最も基本になるのが下限心拍数である。例えば、下限心拍数を60/分と設定すると、リードを介した心臓の信号が1.0秒以上感知されない場合にペースメーカーから刺激信号が送られる。レートレスポンス機能がない場合は自身の心拍数が60/分を超えれば刺激信号は抑制されるが、逆に運動によって洞結節からの信号が60/分を超えない、あるいは十分に心拍数が上がらなくてもそれ以上は心房をペースングしない。つまり、運動に伴う心拍数増加が起こらないかあるいは低下する。一方、レートレスポンス機能を有効にすると、設定に合わせて下限心拍

* 自治医科大学附属さいたま医療センター
循環器内科
【連絡先】〒330-8503 埼玉県さいたま市大宮区天沼町 1-847 自治医科大学附属さいたま医療センター循環器内科 三橋武司
E-mail : tmihashi@jichi.ac.jp
DOI : 10.2490/jjrmc.56.984

図1 レートレスポンス機能による運動耐容能の改善

78歳男性、陈旧性心筋梗塞があり、心室頻拍が合併しているためビソプロロール（bisoprolol）とアミオダロン（amiodarone）を内服している。bがレートレスポンス機能を作動させたときである。

数を増加させ、運動に伴い心拍数を増加させることが可能となる（図1-b）。しかし、機械にどうやって人間が運動していることを認知させるのであろうか。また、生体では心拍数の増加は運動だけでなく起るのではない。交感神経の緊張や発熱なども起る。理想はそのような状態でも心拍数が増加することが望ましい。レートレスポンス機能をどのような患者に用い、どのようにペースメーカーを作動させるのかを以下に解説する。

レートレスポンスセンサーの種類と特徴

現在ペースメーカーに搭載されているレートレスポンス機能のセンサーには、大きく分けると、物理学的変化を感知する非生理的センサーと運動に伴う生体情報を感知する生理的センサーがある。

1. 非生理的センサー

非生理的センサーの代表は、体動感知型センサーである。これは機械的刺激を受けたときに電気を発生する、ある種のクリスタル（ピエゾクリスタル）を用いて、身体の振動、加速度に反応するものである。原則を説明する。図2のように安静時、歩行や運動など運動強度により、体動感知型センサーが受ける信号強度が変化する。そこで、閾値を用いて図3のように心拍数増加の程度を変化させる。このセンサーは反応が速いことが特徴であるが、振動が少ない運動（エルゴメーターなど）では反応が鈍く、階段昇降などでも下りよりも上りのほうが反応しにくい。逆に、側臥位などで本体に圧力がかかるとペーシングレートが上がることもある。最近のペースメーカーは設定が簡単になってきているが、信号があくまで振動であることに注意すべきである。

図2のようにして得られた信号強度をペースング心拍数に変換する。傾斜のきついスロープ（この場合はHigh）を選択すると強度の軽い運動でも心拍数が増加しやすくなる。

個々の症例で運動強度と分時換気量の変化は異なるが、中等度の運動強度では分時換気量の変化と運動強度はよく相関する。しかし、AT pointを超えると、分時換気量が増加するため、心拍数の増加率は鈍くなる。

2. 生理的センサー

運動に伴う生理的变化を感知するセンサーには、分時換気量を感知するものと右室の収縮能を感知するものが現在主流である。詳しいメカニズムは成書に譲るが、リードから微弱な電流を流し、胸郭インピーダンスあるいは心室内インピーダンスを計測することで胸郭の動きや右室の収縮を予測する方法である。分時換気量センサーは生理的であるが、運動開始時の反応が遅いことや運動終了後に

むしろ心拍数が増加することもある。また、図4のように一般的に嫌気性代謝閾値（AT）までは分時換気量と心拍数の増加はよい関連性をもつが、それを超えると分時換気量が増すために心拍数の増加が鈍くなる。実際にはこの現象で困ることは少ないと思われるが、心臓リハビリテーション医療を行うものとしては認識しておいてよい。分時換気量センサーの反応の遅さをカバーする目的で上記の体動感知型センサーと併用しているメーカーもある。

図5 心拍数増加に伴って生じる Wenckebach 型の房室ブロック

心拍数の増加により P-P 間隔が上限レートインターバルに達すると心室ペーシングは上限レート（この場合は 600 ms, 100/分）以上にはなれないので、房室伝導時間（A-V インターバル）が延長して、やがて房室ブロックが起こる。この設定の場合、洞調律が上限心拍数 100/分を超えると心室はそれ以上の心拍数ではペーシングされない。すると、PQ 時間が延長し（第 2 拍）、房室伝導時間と PVARP を足した不応期（TARP）が延長し、不応期内に感知される心房の信号に対してはペーシングが追従されない（第 3 拍目の P 波）。第 2 拍目の P 波から下限レートインターバルは開始しているため、その間に TARP 外に P 波が検出されない場合は心房ペーシングが行われる（第 4 拍目の P 波）。

AS: 心房感知シグナル, AR: 心房不応期感知シグナル, AP: 心房ペーシングシグナル, VP: 心室ペーシングシグナル, TARP: 全心房不応期

右室の収縮能を感知するセンサーとして、Biotronik 社が Closed Loop Stimulation (CLS) と呼ばれるシステムを提供している。非常にユニークなシステムで、心室電極とペースメーカー本体の間のインピーダンスの変化を測定している。かつては電池消費が問題になったが、現在は改良されている。心内のインピーダンスをみているため、心収縮性のみではなく心内血液量に影響を受ける。心内血液量の変化が大きい透析中の患者や一部神経調節性失神にも有効であるとの報告がある¹⁾。

交感神経の緊張度に伴う変化を感知する QT 時間感知型のセンサーもある。このセンサーでは交感神経緊張に反応するので、運動だけでなく情動の変化にも対応できる。ただし、反応が遅いことと心室ペーシングがされないと QT 時間が計測できないこと、電解質異常などの QT 時間に影響がある病態では使用しにくいという欠点がある。

どのような患者にレートレスポンス機能を考慮するか

先述のように典型的には運動によって心拍数が適切に増加しない患者に使用する。1 つは変時性応答不全 (chronotropic incompetence) であり、また図 1 の症例のように心不全治療などのため β 遮断薬を使用している患者である。このような患者では心拍数増加に伴う心拍出量増加が期待できないので、運動耐容能が低下し、レートレスポンス機能を使用すると運動耐容能が向上する (図 1-b)。しかし一方で、重症な心不全を合併した患者では、不用意に心拍数を増加させると心室性不整脈の発生や心不全の増悪をきたす可能性もある。

レートレスポンス機能のもう 1 つの適応として運動耐容能のよい房室ブロック患者に使用することがある。ペースメーカーには下限心拍数とともに上限心拍数も設定される。上限設定レートを 130/

図6 心拍数増加に伴って生じる2:1房室ブロック

図5と同様の設定でさらに洞調律が上昇し、2つのP-P間隔が下限レート（この場合は1,000 ms、60/分、つまり1つのP-P間隔は120 ms）を超えると、不応期センシング後のP波に追従してペーシングが行われる。つまり洞調律がTARP（この場合500 ms、120/分）以上になると2:1房室ブロックとなる。略語は図5と同様。

図7 DDDペースメーカーの上限レート応答

上限レートは変えずにTARPを変えた場合の運動時の心室ペーシングレートを示したグラフである。aは上限レートインターバル(500 ms、120/分)がTARPより短いため運動中に上限レートでしばらく推移してから(Wenckebach型ブロック)、2:1房室ブロックとなる。一方、bのように上限レートインターバルをTARPより短く設定してしまうと上限レートに達した後いきなり心拍数が1/2になってしまう。もしもレートレスポンス機能が作動すれば運動中に下限心拍数が上昇し、aであれば75 bpm、bであれば60 bpmより速い心拍数で心室ペーシングが行われ(青矢印)、心拍数の低下が軽減される。AVI:房室インターバル、URI:上限レートインターバル、その他の略号は図5同様。

分と設定すると、洞調律が130/分以上になると心室ペーシングは制限され、房室ブロックが出現する。上限心拍数を上げれば問題ないと思われるが、

上限心拍数は心房の不応期(total atrial refractory period:TARP)により制限を受ける(図5)。設定によっては運動中にいきなり2:1の房室ブ

ロックとなってしまうことがある (図 6, 7)。このときにレートレスポンスが設定されていると、運動中であるので下限心拍数がセンサーにより引き上げられ、突然の心拍数低下が軽減される (図 7 黒線と青線の交点矢印)。

レートレスポンス機能がついた患者の心臓リハビリテーション

以上述べたようにレートレスポンス機能がついたペースメーカー患者では、運動に伴ってペースングレートが上昇する。しかし、それはセンサーの種類、感度設定などにより異なる。最も多い体動感知型センサーを用いたペースメーカー患者はエルゴメーターでは心拍数増加が得にくいことは知っておくべきである。

分時換気量センサーを使用している患者ではこのような運動でも心拍数の増加が期待できるが、その反応が少し遅れる可能性はある。いずれにしても心拍数のみで運動強度を推定するのは好ましくない。エルゴメーターなどで運動をするのであれ

ば、当然のことながら心肺運動負荷試験 (CPX) は必須であり、その結果で運動処方をするほうがよい。

レートレスポンス機能は感度設定の変更が可能である。患者の症状と運動強度が予想に反する、あるいは変動が大きい場合などは、レートレスポンスの感度調整を考慮すべきである。しかし、感度設定の変更は、その運動に対しては有効かもしれないが、他の日常生活では好ましくない可能性もある。患者の症状を中心として、ペースメーカーから得られるレートヒストグラムなどを参考に不整脈専門医と相談して決めるべきである。

文 献

- 1) Barron-Esquivias G, Morollo CA, Moya-Mitjans A, Martinez-Alday J, Ruiz-Granell R, Lacunza-Ruiz J, Garcia-Civera R, Gutierrez-Carretero E, Romero-Garrido R : Dual-chamber pacing with closed loop stimulation in recurrent reflex vasovagal syncope : The SPAIN study. J Am Coll Cardiol 2017 ; **70** : 1720-1728