

健康文化

## 放射線技師の皆さんに役立つ心電図の知識

平井 真理

### I. はじめに

心電図は、心カテ室等の各種血管造影やアイソトープ室等においては放射線技師の皆さんに比較的身近な医療機器ですが、日頃接する機会の少ない方には親しみの湧かない医療機器の一つかもしれません。しかし、高齢社会で心血管系疾患を有する患者数が増加しているため放射線技師の皆さんが活躍される臨床現場でも心電情報や不整脈の理解がより重要になる可能性が高いと考えられます。心電図モニターによる不整脈もパターン認識である程度診断ができますが、心臓の解剖やその電気生理が理解できていると不整脈の裏にある世界が大きく開け心電図がもっともっとフレンドリーで興味深いものになると思います。本稿では、これまでの医学的あるいは技術的検討により心電図研究者の間では比較的よく知られた事実等であっても教科書にはあまり明記されていないことを含め放射線技師の皆さんに有用と考えられる点を中心に標準12誘導心電図や不整脈に関する注意点や診断の糸口として役立つと考えられる心電図に関する基礎的情報をご紹介します。概説させていただきます。

### II. 心電図や不整脈を理解しやすくする知識

#### 1. 解剖・生理学的知識

1) 心電図や不整脈をさらに詳細に理解頂くためには一般的な解剖・生理学的知識が役に立つことは言うまでもありませんが、心臓の冠動脈や特殊伝導系等の解剖・生理学的知識があるとより一層理解が進みます。

2) 房室結節は約90%のヒトで右冠動脈から血流を供給されています。従いまして、右冠動脈の起始部や中節部の閉塞に起因する下壁梗塞では房室結節の虚血が惹起され房室ブロックが生じやすいことが理解できます。

3) 心房と心室は隣り合っていますが線維組織によって電氣的に互いに絶縁されており房室結節下部 His 束部分でのみ心房の電氣的興奮は心室に伝導されています。従って、房室結節や His 束等に障害があれば房室ブロックが惹起されます。また、この部分以外に Kent 束等の副伝導路があるとそこから心房の興奮が心室へ伝導され Wolff-Parkinson-White (WPW) 症候群等になります。

4) 洞結節は右房にあるため、P波の前方成分約2/3は右房の影響が強く後方約2/3は左房の影響が強く出ます。従って、呼吸器疾患等で右房負荷があるとP波の幅より波高増大が強く現れ(肺性P)、僧帽弁疾患等で左房に負荷が強い場合はP波の幅が大きくなります(僧帽性P)。

5) 特殊伝導系のうち、房室結節の興奮伝導は遅く(毎秒数cm)、Purkinje線維は速い興奮伝導速度(毎秒数m)を有しています。この房室結節における遅い伝導はPR(PQ)時間を形成し心房から心室に血液が十分移動する時間的ゆとりを与えています。これに対し、Purkinje線維の速い伝導は心室が比較的均一に同期して収縮することに寄与しています。

6) 心室への興奮はHis束からPurkinje線維を経て心基部から心尖部へ伝導されますが、その興奮が心室筋に伝導され心室筋が最初に興奮するのは心基部ではなく心室中隔の左室側で心尖部よりであることが分かっています<sup>1)</sup>。従いまして、心室興奮の初期には興奮が心室中隔の左から右へ伝わることを反映して、興奮を見迎えるV<sub>1</sub>誘導ではr波が形成されこの興奮を見送るV<sub>5,6</sub>誘導ではq波が形成されます(septal Q波)。心室中隔に梗塞が生じるとこのV<sub>1</sub>誘導のr波が消失することがあります。

### Ⅲ. 標準12誘導心電図

#### 1. 心電図記録での注意

1) 標準12誘導心電図は電極の装着部位が国際的に決まっています。標準12誘導心電図では自動診断が実用化されていますが、この自動診断は電極が正しい位置に装着されていることが大前提です。従いまして、電極が正しい位置に装着されて記録された心電図でなければ自動診断はもとよりどんなベテラン循環器医でも正しい診断はできません。

2) 標準12誘導心電図には、四肢誘導心電図と胸部単極誘導心電図があります。例えば、第I誘導は双極四肢誘導で心起電力に起因する右手と左手の電位差を表したものです。これは2点間の電位差ですから理解しやすいと思います。では、胸部単極誘導であるV<sub>1</sub>やV<sub>2</sub>誘導は単極であるのに電位差を表現する心電図がどうして記録できるのでしょうか? これはあまり教科書等に明確に書かれていることが少ないのですが、胸部単極誘導心電図は四肢誘導から作成されたWilsonの中心電極(これを不関電極とします)と例えばV<sub>2</sub>誘導の電極(これを関電極ともいいます)の2点間の電位差を心電図として表現しています<sup>2)</sup>。従いまして、四肢誘導心電図は胸部誘導が装着されていなくても正しく記録できますが、胸部単極誘導心電図は四肢誘導が装着されていないと正しく記録されません。

3) 単極肢誘導も教科書では前述の中心電極（この場合 Goldberger 電極）と肢誘導の電位差を記録すると記載されています。しかし、実際には、Einthoven の三角形を正三角形と近似しうるため最近の心電計では第 I 誘導と第 II 誘導から計算で算出された波形が表示されています。実際にデジタルデータとして保存されるのは、通常、四肢誘導 2 誘導（I 誘導と II 誘導）と胸部 6 誘導の計 8 誘導のみです。

4) 不整脈が時々出現する場合には、標準 12 誘導心電図の液晶モニターで不整脈が出現した際に画面をフリーズし記録に残すことが出来ます。また、心室期外収縮の場合には、心室期外収縮が四肢誘導と胸部誘導で記録されているとその起源の推定に役立ちます。例えば、四肢誘導で下方軸（電気軸が $+90^\circ$  方向）、胸部誘導で左脚ブロック型の心室期外収縮は、左脚ブロック型を呈することから右室起源（左室に比し右室が早く興奮するために左脚ブロック型を呈する）で、下方軸すなわち興奮が心基部から心尖部へ向かっているため右室流出路起源の心室期外収縮である可能性が示唆されます。

## 2. 心電図解析時の注意

1) まず、心電図解析のために知っておくと役に立つ心電計の知識について簡単に触れておきます。最近の標準 12 誘導心電図を記録する心電計はほとんどデジタル記録をしています。そのサンプリング間隔は 8kHz にもなります（1秒間に 8000 回、すなわち 0.125msec 毎に心電図の電位をデジタル化しています）。しかしながら、これらのデータを保存する際は、データ量を減少させるため 2msec 毎程度のデータに圧縮して保存されています。通常的心電図記録では 1mm が 40msec ですから、記録時は心電図 1mm に 320 データが、保存時は 1mm に 20 データが存在します。このように、現在のデジタル標準 12 誘導心電計は十分な時間分解能を有しています。しかし、ホルター心電図や携帯型心電図ではサンプリング間隔が 4msec 以上のものもあり、ペースメーカーの刺激パルス幅は 1msec 未満が多いためこの検出に工夫がされています。

2) 標準 12 誘導心電図では自動診断が可能な機種が多くなっています。最近の自動診断の精度は向上しており、自動診断で正常範囲とされた心電図は専門医が診断しても正常範囲である正診率は 100%近いと考えられます。ただし、心電図で正常範囲であってもそれはあくまで記録された心電図が正常範囲であり心疾患が無いことを示しているものではありません。例えば、心筋梗塞でも時間が経過するとその特徴的な心電図変化が消失して心電図は正常化し陳旧性心筋梗塞の診断が心電図ではできなくなることもしばしば経験されます。また、不整脈や虚血発作はその出現時や発作時の心電図が記録されないと異常が認めら

れず非発作時の心電図は正常範囲になることがあります。

3) 心室の興奮伝播異常を有する場合は合併する心電図異常がマスクされその診断が困難になることがあります。例えば、左脚ブロックや顕性 WPW 症候群が存在すると心室の興奮伝播過程が正常と全く異なるため、心電図では合併するその他の異常（陳旧性心筋梗塞、左室肥大や心筋虚血等）を診断できなくなります。心電図では QRS 波が変化すると ST-T 波は変化するため（二次性 T 波変化）、興奮伝播過程の変化に惹起された QRS 波の変化があると ST-T 波の変化に基づいた心筋虚血等の診断も困難になります<sup>3)</sup>。

4) Brugada 症候群は日本をはじめとする東アジアの中年男性（40 歳前後）に好発する特徴的心電図所見と torsade(s) de pointes や心室細動を合併する症候群です<sup>4)</sup>。心電図は V<sub>1</sub> 誘導で右脚ブロック様 QRS 波に ST 上昇を認め陰性 T を伴うこともあります。心電図所見は日差変動があるため繰り返し記録することが重要であり、標準 12 誘導心電図の胸部誘導で 1 肋間上でも記録すると典型的な心電図が記録されやすいことが報告されています。わが国でも治療方針のガイドラインが提唱されています<sup>5)</sup>。

#### IV. 心電図モニターと不整脈

##### 1. 心電図モニター使用上の注意点

1) 標準 12 誘導心電図が 12 誘導を用いて心臓を多方向から観察し記録に残すのに対し、心電図モニターは通常一つの誘導を用いて心電図を長時間観察しますが機器の記憶容量等にも依存し記録保存されない場合もあります。標準 12 誘導心電図とは周波数特性やフィルターが異なる場合があります。標準 12 誘導心電図と定量的な比較は困難な場合もあります。これらの特性のため、心電図モニターは不整脈の監視・検出に有用ですが、心筋虚血等を反映する ST-T 波については体位の影響を受けることや電極を張り替えた場合にその前後の比較が難しくなることがあります。モニター心電図は不整脈や虚血等の心臓電気生理現象の変化を早期に発見することが大きな目的です。

2) 時定数と周波数特性：標準 12 誘導心電図では JIS 規格により時定数は 3.2 秒以上と定められています。時定数 ( $\tau$ ) と低周波遮断周波数 ( $f$  (Hz)) (low-cut filter、hi-pass filter) の関係は、低周波遮断周波数 (Hz) =  $1 / 2 \pi \tau$  であり  $\tau$  が 3.2 秒だと  $f = 0.05$  Hz となります。通常の標準 12 誘導心電図の周波数特性は 0.05~150Hz 程度、Holter 心電図やモニター心電図では 0.3~40Hz 程度への切り替えが可能なものが多くなっています。同一患者さんの心電図も心電計の時定数が異なると若干変化を生じる可能性があります。注意が必要です。

3) 無線を用いて心電図モニターを行う場合は、電波の到達範囲の周知・子機番号等の確認・電池の適切な交換管理が大切です。

4) アラームの適正な設定も必要で、個々の患者で調整を要することもあります。頻脈あるいは徐脈の際は、それが心臓に原因があるのか心外性の原因により惹起されたものかのアセスメントが重要です。

## 2. 不整脈診断

1) 不整脈の診断は、難しい場合がありますが苦手な方も多いと思います。不整脈の診断も心臓の解剖と生理を理解したうえで、当初は間違えることを恐れずに不整脈の心電図を少しでも多く読影して適切な指導解説を受けることを繰り返すと読影の精度も上がり親しみも湧いてきます。

2) 心電図モニターではノイズも多く、ノイズと不整脈の鑑別も大切になります。この鑑別には次のような視点も役立ちます。心室筋の興奮（脱分極）を表すQRS波と心室筋の再分極を表すT波は常に一体で存在します。脱分極したが再分極しない、あるいは、脱分極しないで再分極することはありません。QRS波が小さく見にくかったりT波が平坦で見にくかったりすることはありますが、QRS波かT波の一方しか存在しないことはありませんので、このことはノイズとの鑑別に役立ちます。

3) P波に関しましては、モニターでは見にくいこともありますが、①P波が存在するか否か、②P波の頻度と規則性、③P波とQRS波の関係、すなわち、1対1の対応があるか（QRS波とT波の関係と異なりP波とQRS波は独立して出現する可能性があります）やPR時間の検討、④f波（心房細動の細動波）や鋸歯状波（心房粗動）の有無等を検討します。

4) QRS波に関しましては、①その頻度と規則性、②QRS幅（期外収縮の場合は心室期外収縮と上室性期外収縮の鑑別に有用（変行伝導は例外）、③P波との関係、すなわち、先行するP波の有無あるいはQRS波とP波の重なりの有無とそのタイミング等を検討します。

5) ペースメーカーを植え込んだ患者の心電図モニターにおいては、ペースメーカーの種類、例えば、ペーシングしているのは心房あるいは心室のみか心房と心室の両者か、センシング（心筋に興奮が発生しているか否か監視している）は心房あるいは心室のみかその両者か、ペーシングレートの設定はいくつか等を理解して、ペーシング不全やセンシング不全に留意することが大切です。

## V. おわりに

放射線技師の皆さんに有用と考えられる心電図に関する解剖生理と機器について

て概説しました。この中には一般的な教科書に記載されていない心電計に関する情報も含んだつもりです。心電図を親しみを持って学習いただくには、心電図そのものばかりでなく周辺知識の充実が大切だと考えられます。最近では、数々の良書が出版されていますしインターネットで最新の情報を容易に入手することも可能です。著者も心電図 e-Learning をアップ致しました ([http://user.media.nagoya-u.ac.jp/people/fw9711075/ECG-2\\_skin.swf](http://user.media.nagoya-u.ac.jp/people/fw9711075/ECG-2_skin.swf)) のでご笑覧を賜りご批判を頂戴できれば幸甚です。意欲があれば自己学習できる環境は以前に比し整っています。本稿は成書の隙間を埋めるような部分にスペースを割きましたので成書を是非再度熟読されることも御願います。放射線技師の皆さんにとって心電図のよりよい理解に少しでもお役に立てれば望外の喜びです。最後に今回掲載の機会をお与え頂いた編集委員会の先生方に深謝申し上げます。

## VII. 文 献

- 1) Durrer D, van Dam R Th, Freud GE, et al: Total excitation of the isolated human heart. Circulation 1970;41:899-912
- 2) 山田和生: 心電図とベクトル心電図の誘導法、pp80-102、最新心電図・ベクトル心電図学 (山田和生、監修)、メディカル出版、東京、1978.
- 3) 平井真理, 外山淳治: 体表面電位図、医学のあゆみ、163、pp463~467, 1992.
- 4) 循環器学用語集、日本循環器学会。  
<http://www.j-circ.or.jp/yougoshu/yougoshu.htm>
- 5) 大江 透 他: QT 延長症候群と Brugada 症候群の診療に関するガイドライン、Circ J 2007;171:1205-1253

(名古屋大学医学部教授、保健学科看護学専攻)