はじめに

日本医科大学 名誉教授/東武鉄道株式会社診療所 所長
加藤貴雄

長年にわたって様々な心電図のオーバーリードに携わっていると、ときどき一筋縄ではいかない難解な心電図に遭遇する。ああでもない、こうでもないと首をひねってみても、すとんと腑に落ちる診断を短時間で下すのが難しく、無理やり診断をつけても翌日になるとやっぱり間違っているのではないかと気にかかる。

このような例に関しては、心電図のコピーを取り、後で十分な時間を取ってじっくりと考えることによって、全貌が理解できるようになることもある。

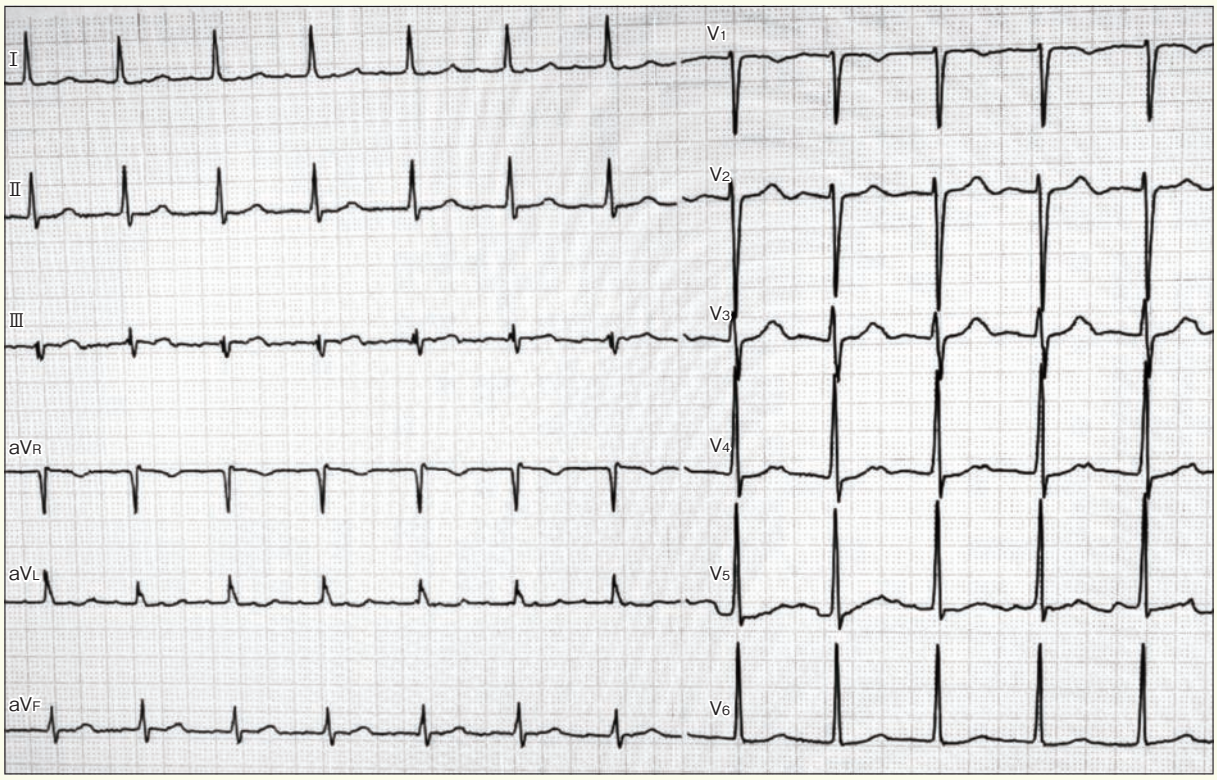
本稿では、このような難解な心電図をいくつか取り上げ、どのような思考過程でどのように結論づければよいのか、順を追って考えてみたい。なお、時間の経過した心電図も一部交ざっており、記録が鮮明でない部分があることをあらかじめお断りしておく。

心電図にあまり興味のない先生方には、なぜそんなに面倒なことを考えるのか、臨床的に問題がない所見であれば大まかに示せばよいのではないかと思われるであろうが、小生にとっては宝の山、認知症予防のための頭の体操と思って、あえて難解な心電図にチャレンジしている。心電図の解析とは案外面白いものだなと、若い方々に感じていただければ望外の喜びである。

以下に示す解析は、あくまで小生の浅薄な経験と知識に基づいたもので、あるいは大きな見落としもあるかもしれない。ともに解析に加わっていただき、お気づきの点があればぜひ指摘していただければ幸いである。

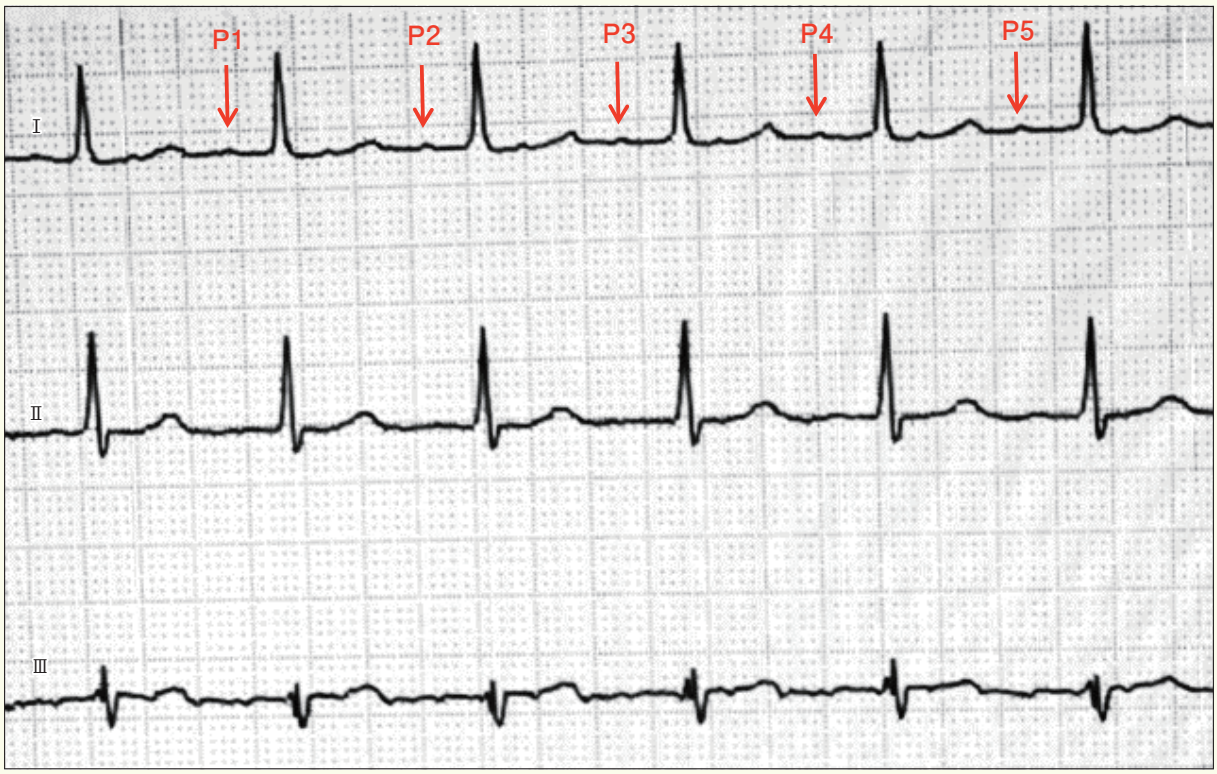
この心電図、
どこをどうみるか？

超難解 - 1　Question



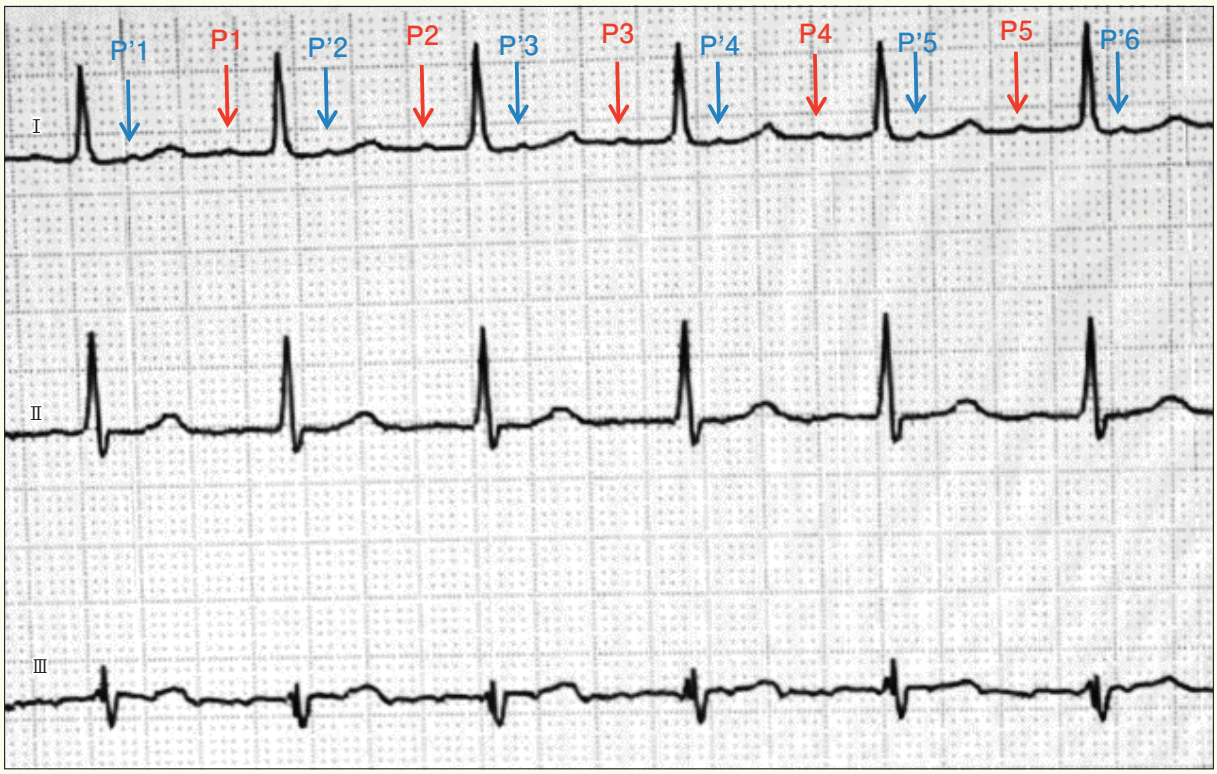
12誘導を6誘導ずつ同時記録。
54歳の女性。神経筋疾患にて神経内科通院中に記録。自動診断では「洞調律」「1度房室ブロック」と記載され、心拍数87/分、PR間隔は216 msecと自動計測されていた。一見すると、自動診断結果が妥当なように見えるが、本当にそれでよいであろうか。

超難解 - 1　Answer①



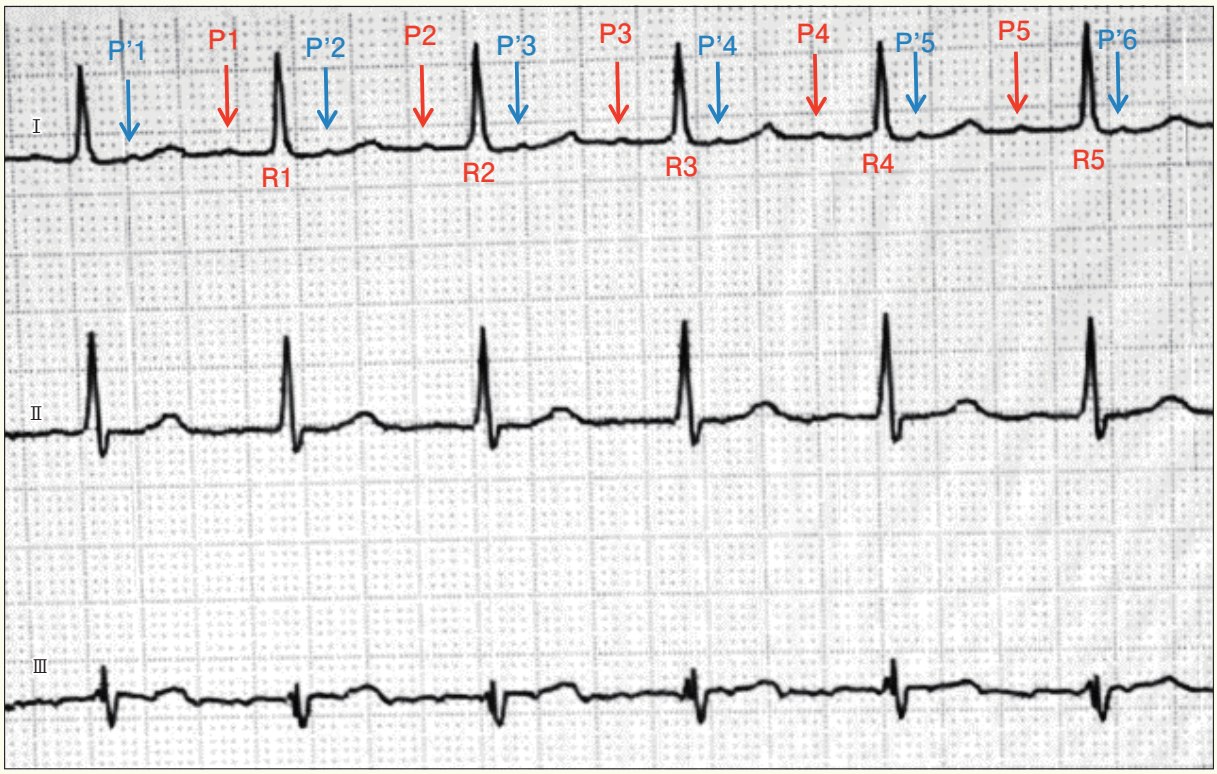
Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ誘導の一部を拡大した。特にⅠ誘導で赤矢印（↓）で示すP波らしき信号が確認でき、PP間隔は680 msec、PR間隔に多少の変動はあるが、ほぼ200 msec前後であることから、自動診断は概ね正しいように見える。

超難解 - 1　Answer②



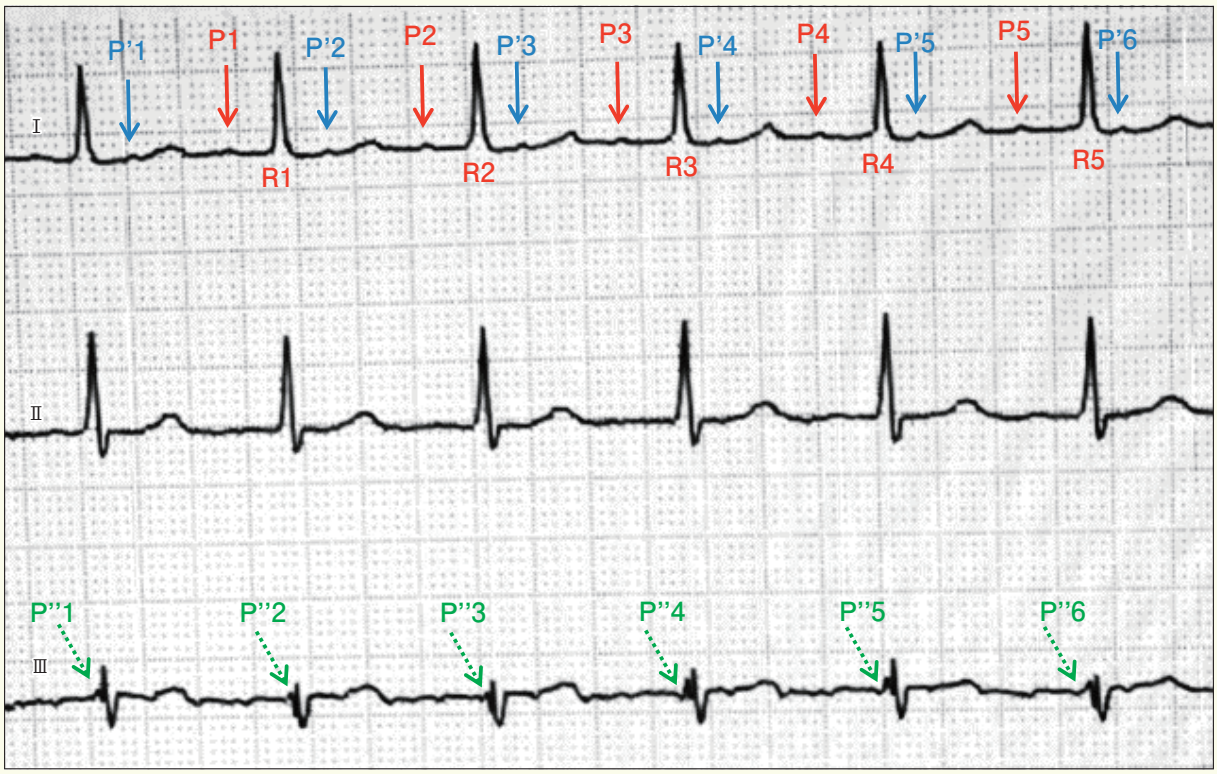
しかし、さらに細かく観察すると、青矢印（↓）部分にも小さな信号（P'）が確認され、P'P'間隔はやはり680 msecで一定、P'P間隔はその半分340 msecで一定である。ここまでを考慮すると、心房興奮頻度180/分程度の「心房頻拍」で、心室へ2対1で伝導する、いわゆる「PAT with block」を呈していると考えてよいかもしれない。

超難解 - 1　Answer③



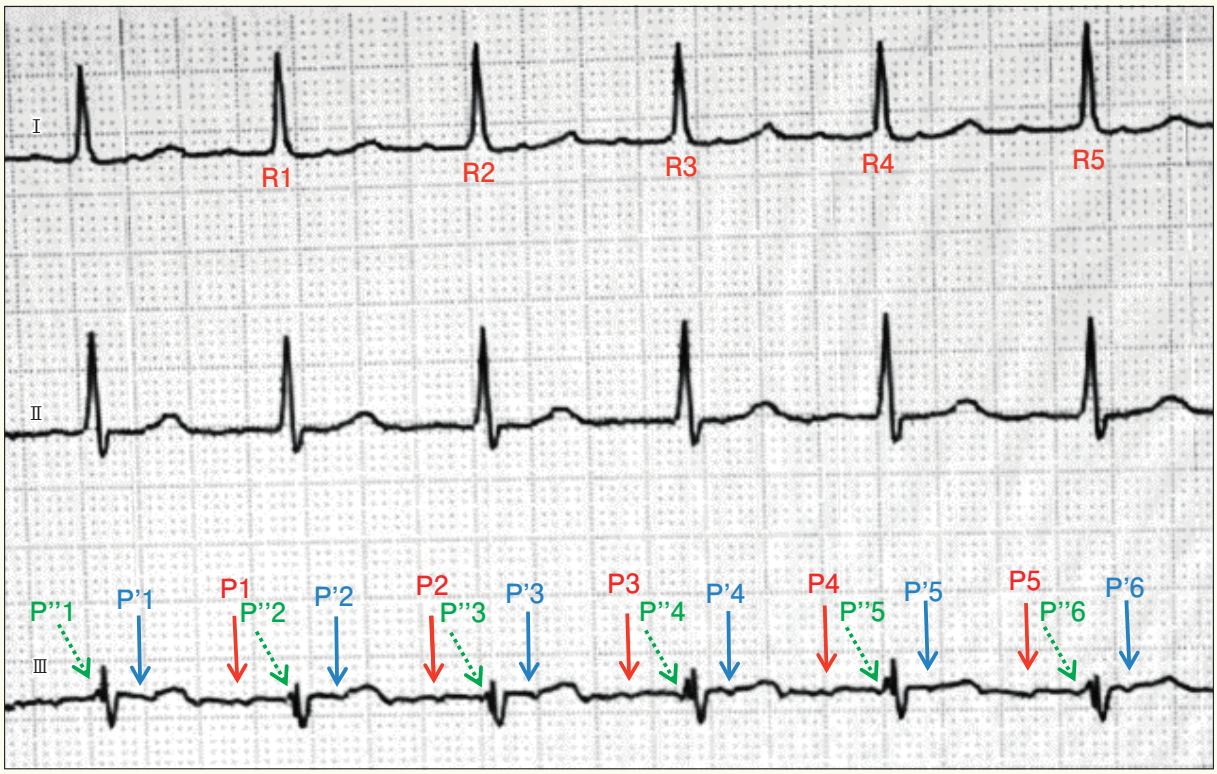
しかしそれだけで良しとするのか、気になる点がある。それはPR間隔で、P1-R1：160 msec、P2-R2：170 msec、P3-R3：185 msec、P4-R4：200 msec、P5-R5：215 msecと徐々に延長している点である。さらに、PP間隔は680 msecで一定、RR間隔は少し長めの690 msecで一定であることから、心房から心室への伝導が途絶している状態、すなわち「完全房室ブロック（完全房室解離）」であるとの結論を導き出すことができる。だとすれば、QRSは心拍数40/分程度の房室接合部補充調律を示すのが一般的であるが、本例の心拍数は87/分で、通常とは異なる「房室接合部頻拍」ないし「促進型房室接合部調律」を呈していると考えるべきであろう。すなわち、前に述べた「2対1伝導のPAT with block」ではないということになる。

超難解 - 1　Answer④



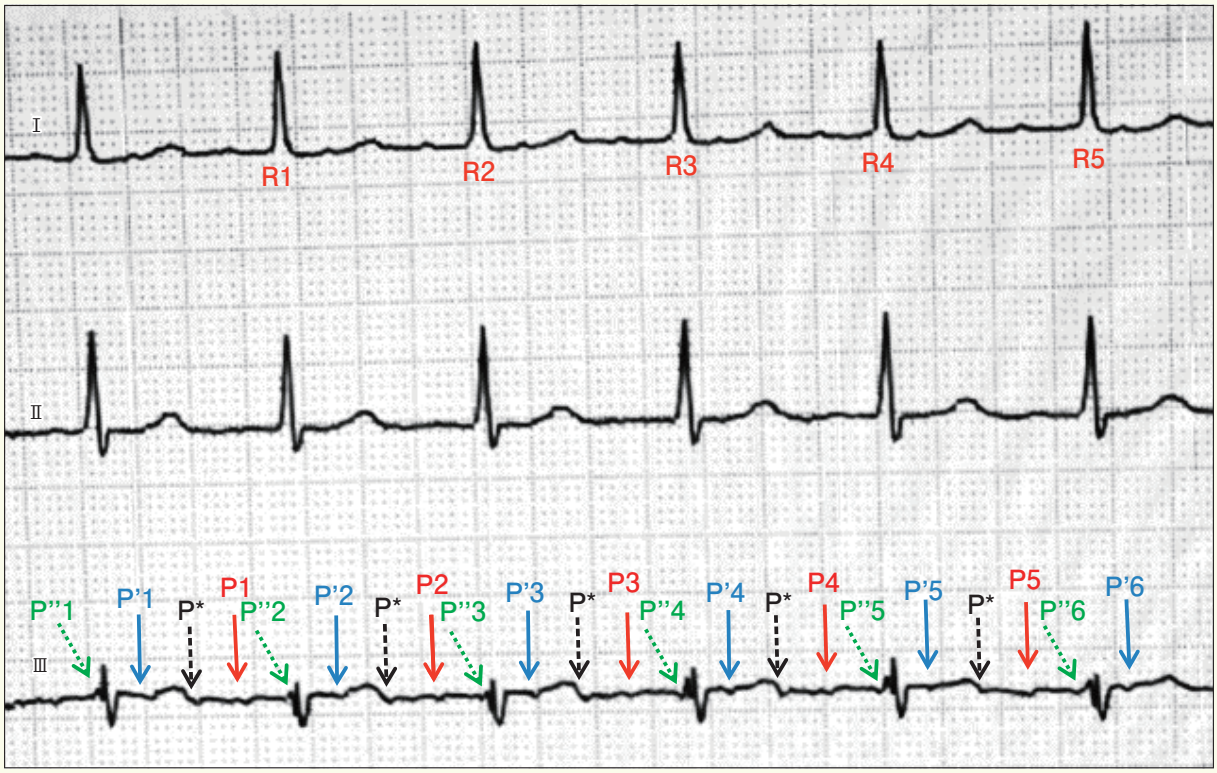
さらに、もう一点気になる箇所がある。それはⅢ誘導のQRS直前に見られる緑矢印（↘）で示す小さな陰性の波（P''）である。P''1からP''6にかけて、徐々にQRSから離れていき、波形が明確になっていく様子が観察される。P''-P''間隔は680 msecで一定である。この信号はどのように考えたらよいであろうか。

超難解 - 1　Answer⑤



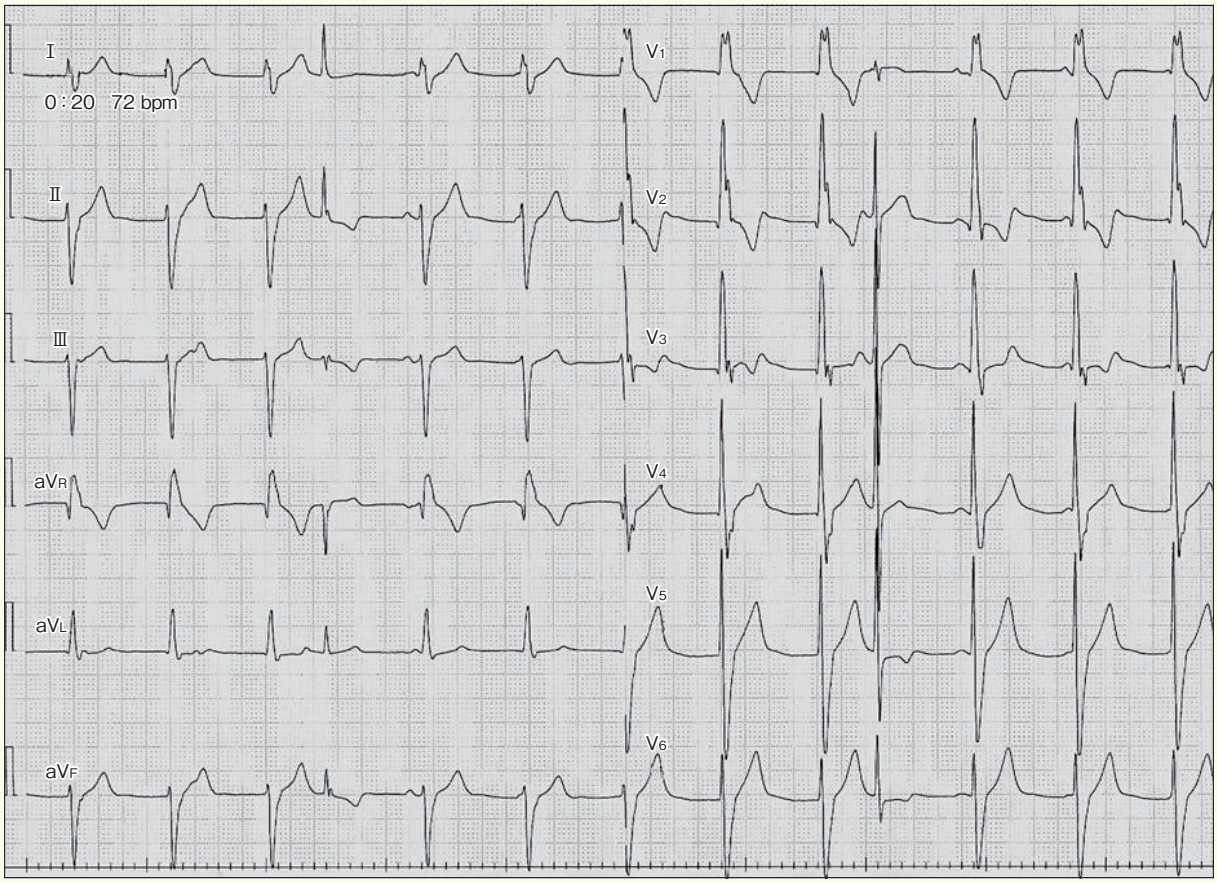
Ⅰ誘導で示したP1～P5およびP'1~P'6をそのまま下に下げてⅢ誘導に重ねてみた。すると、最も短い間隔（P''1-P'1、P1-P''2、P''2-P'2、P2-P''3、P''3-P'3、……）はいずれも170 msecで一定で、先に計測したP'-P間隔340 msecのちょうど半分であることがわかった。

超難解 - 1　Answer⑥



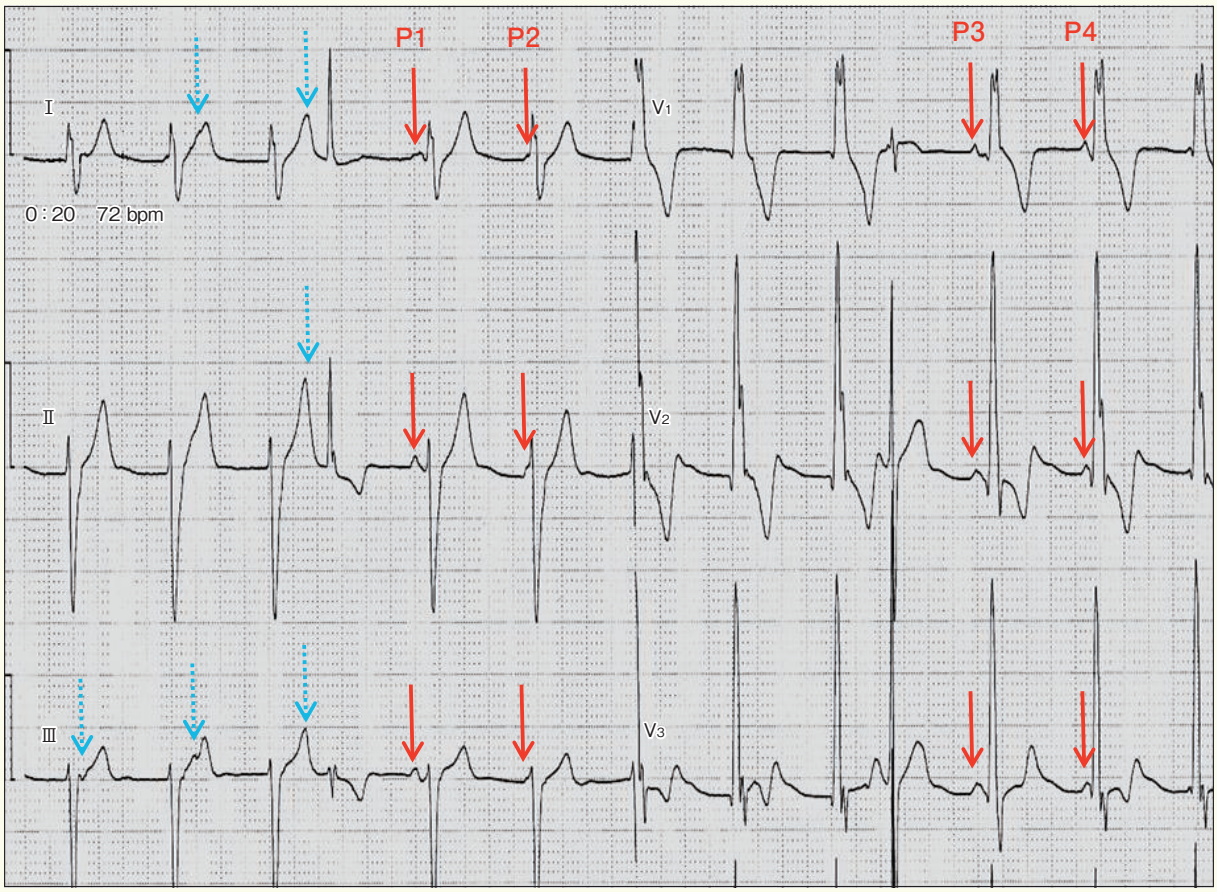
これを踏まえてⅢ誘導の基線部分をよく見ると、P'とPの中間部分でT波の終末部あたりに、やはり下向きの信号P*（↓）があるように見える。つまりP、P'、P''、P*などの心房興奮が170 msec間隔で規則的に出現しており、鋸歯状波を認めない「非通常型心房粗動」と診断することができる。これらの所見を総合して考えると、心房に関しては興奮頻度353/分の「非通常型心房粗動」、心室は興奮頻度87/分の「促進型房室接合部調律」で、「完全房室解離」の状態であると、最終的に診断することができるのではないだろうか。

超難解-2　Question



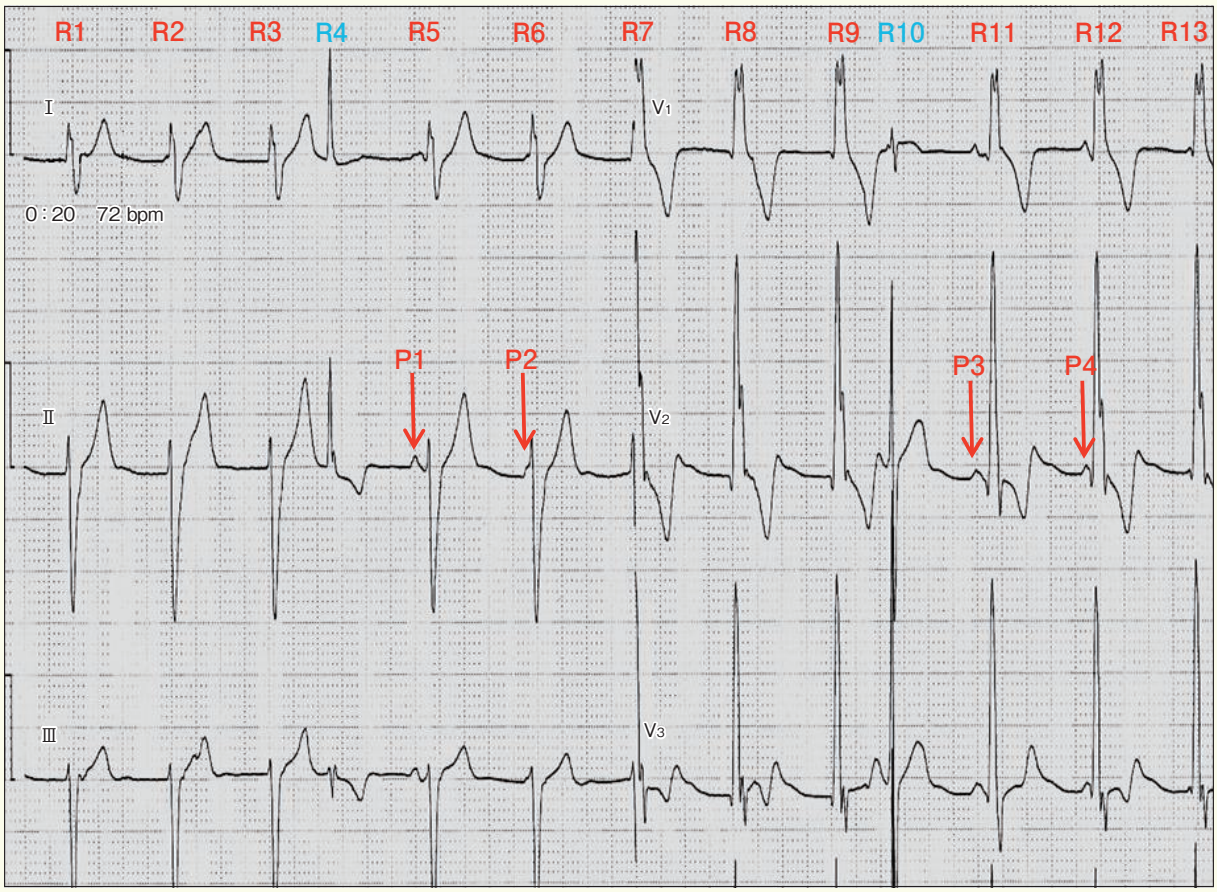
12誘導を6誘導ずつ連続記録。
80歳の男性。高血圧にて通院中に記録。自動診断では「完全右脚ブロック」「上室期外収縮」と記載されていた。この心電図をどのように考えればよいであろうか。

超難解-2　Answer①



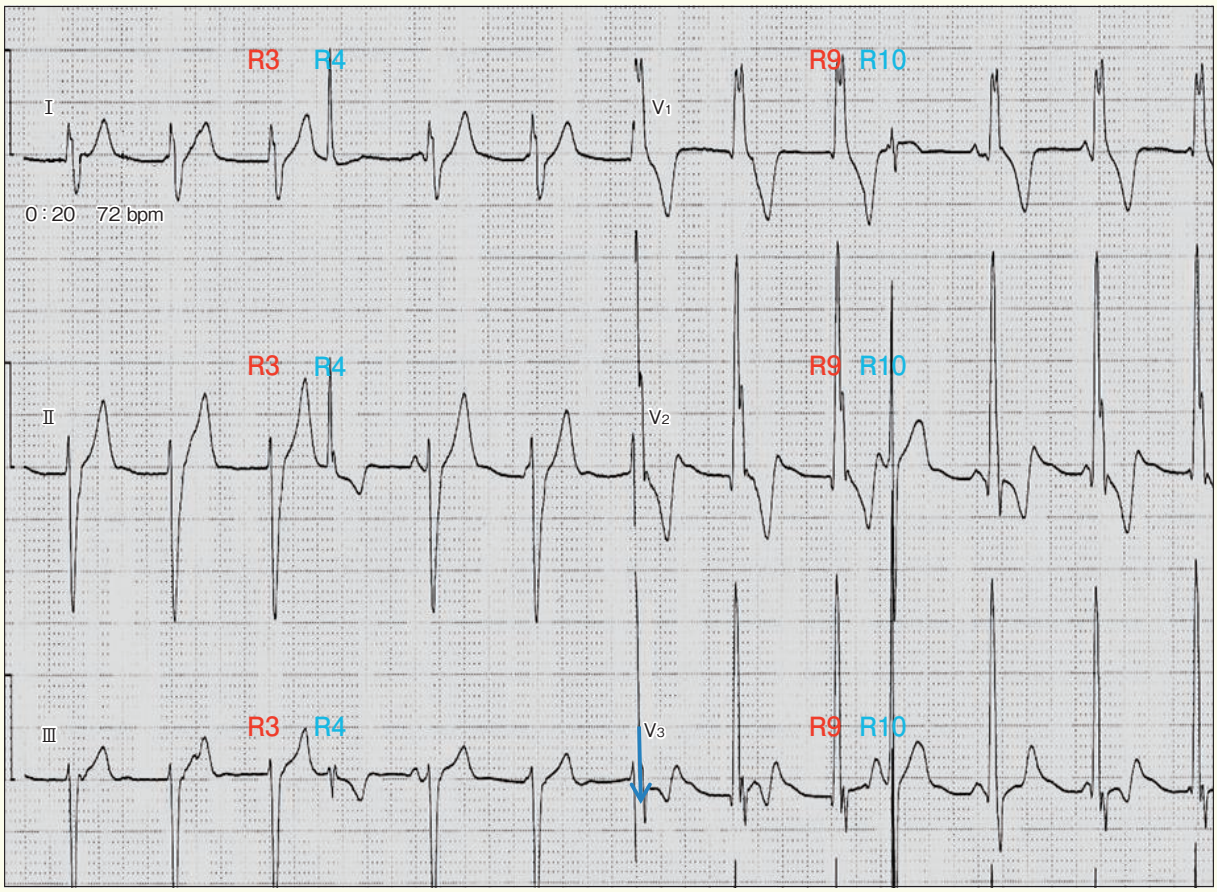
Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、V_1～V_3誘導を切り出し、振幅の小さい信号を認識しやすくするために縦方向に引き伸ばした。まず、明らかにP波と考えられる信号に赤矢印（↓）をつけてみると、P1～P4が挙げられ、P1-P2間隔とP3-P4間隔はほぼ等しく、900 msec前後である。これを「洞周期」と考え、900 msecで前後に信号を探して行くと、青矢印（⇣）部分に小さな信号が隠れているように見える。これらが洞性P波である可能性があるが、その他の部分はQRS波やT波に重畳していて視認することが難しい。

超難解-2　Answer②



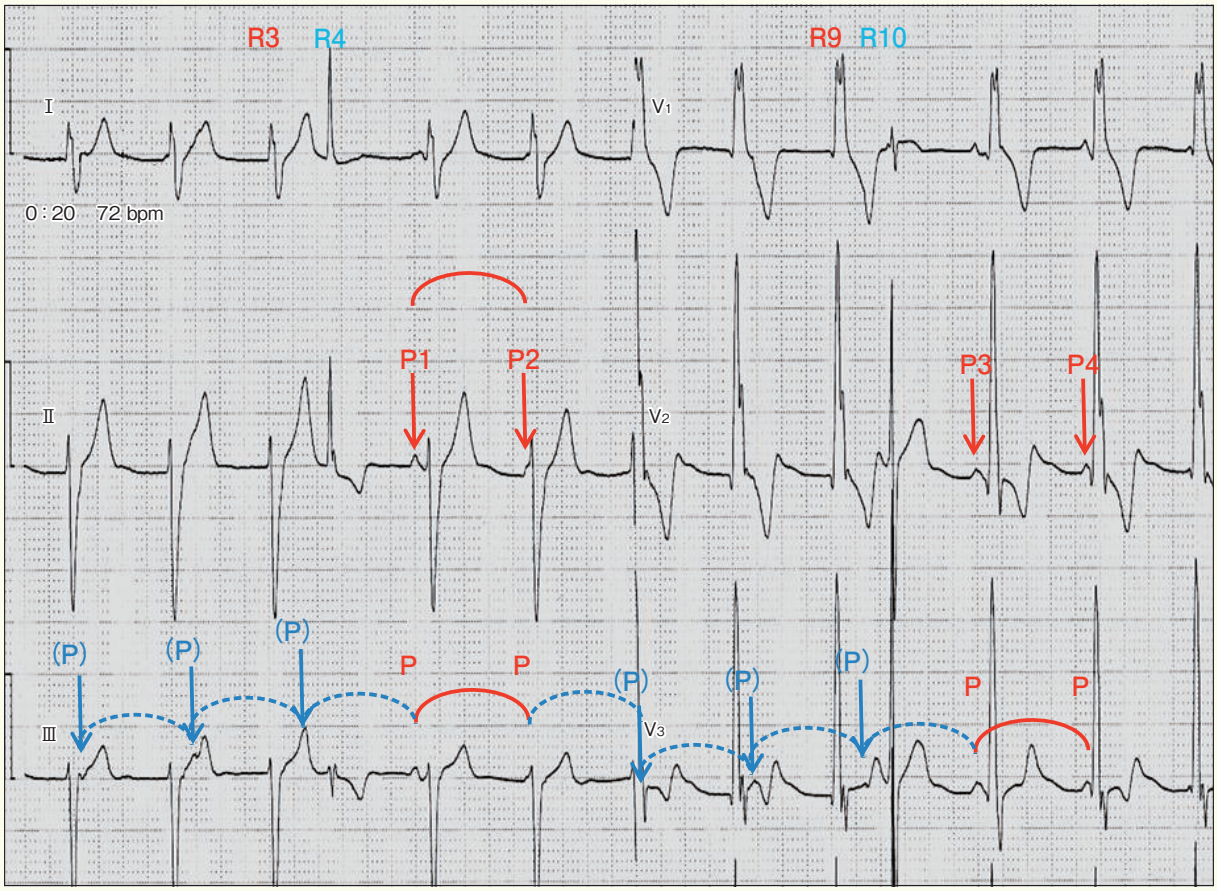
次にQRS波に注目してみると、R1からR13まで13個のQRS波が確認される。R4とR10はnarrow QRS、そのほかはwide QRSで「右脚ブロック+上方軸型」を呈している。RR間隔を計測してみると、R3-R4間隔は500 msec、R9-R10間隔は490 msecと短いが、ほかはいずれも830 msec前後でほぼ一定であることがわかる。R4、R10を除くQRS波とP波との間に一定の規則性はなく、PP間隔＞RR間隔であることから、心室調律が洞調律を凌駕したために「房室解離」の状態を呈していると考えられる。すなわち、これらのwide QRS心拍は、心房から興奮が伝導して生じる「右脚ブロック」ではなく、心拍数約72/分の「左脚後枝領域を起源とする促進型心室固有調律」と判断される。

超難解-2　Answer③



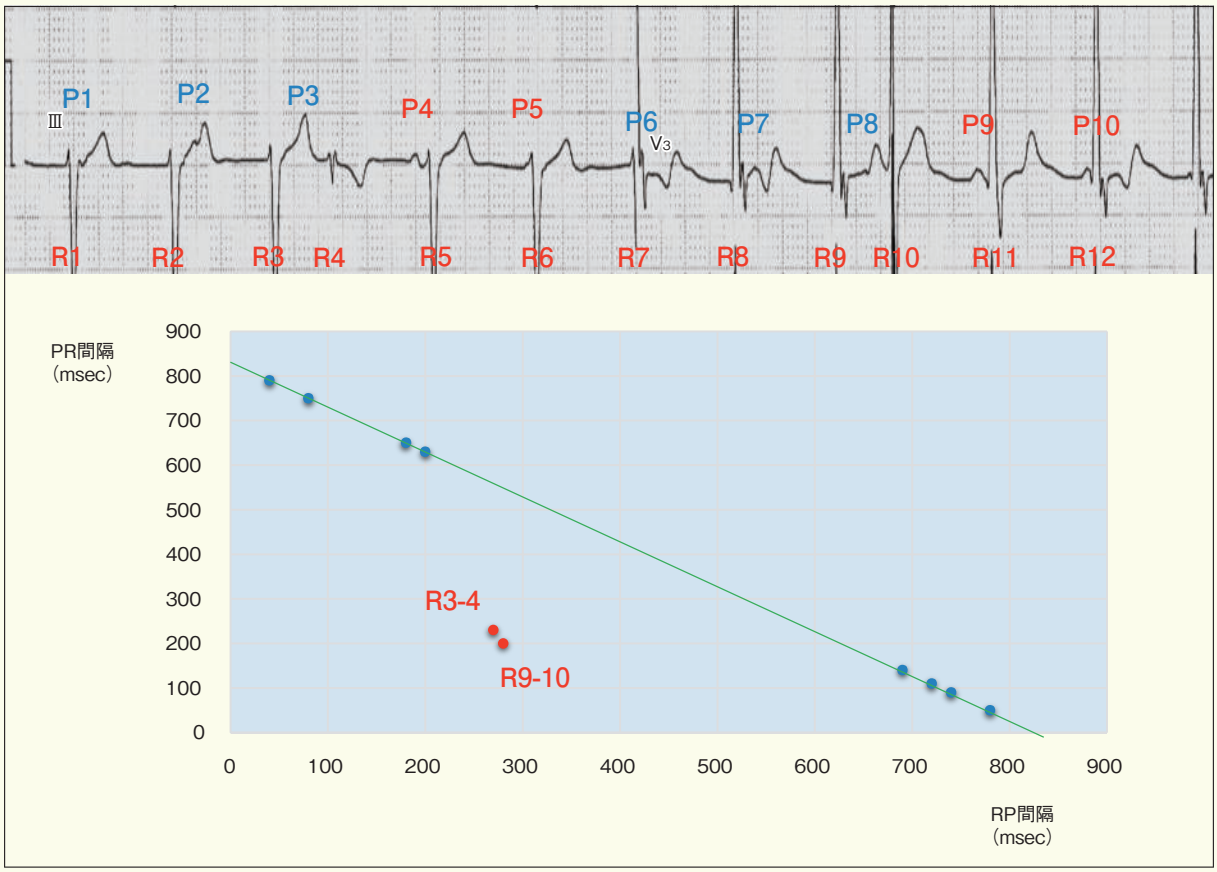
では、narrow QRS心拍のR4とR10はどのように考えたらよいのであろうか。先行心拍のR3およびR9からの連結期が短く、QRS波がnarrowで軸偏位もない点から、「上室期外収縮」であると考える方も多いかもしれない。しかし、連結期の短い上室期外収縮は、多くの場合、興奮が房室結節を過ぎて心室に入り込んだ際、右脚の相対不応期に遭遇して様々な程度の「右脚ブロックパターン（いわゆる変行伝導）」を示すのが一般的である。しかるに、本例においてはきわめて短い連結期であるにもかかわらず、変行伝導のないnarrow QRSを呈している。この必然性をもう少し考えてみよう。

超難解-2　Answer④



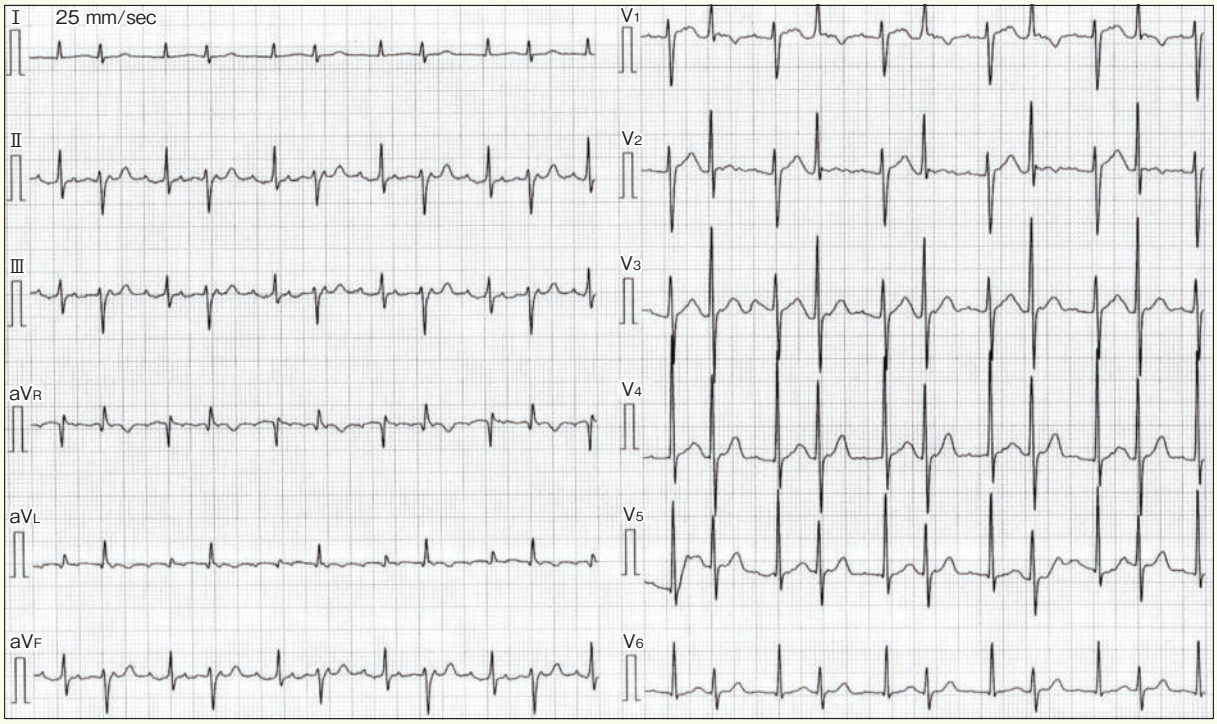
まず、P1-P2間隔（900 msec）を洞周期とし、最下段の前後の等間隔部分に注目してみる（ ）。すると、極めて小さな信号なので断定するのが難しいが、A1-①でも一部を示したように（P）の部分に小さな信号が隠れていると見なすことができる。房室解離の際に観察される典型的な現象であるが、連結期の短いR4やR10の出現とどのような関連性があるのであろうか。

超難解-2　Answer⑤



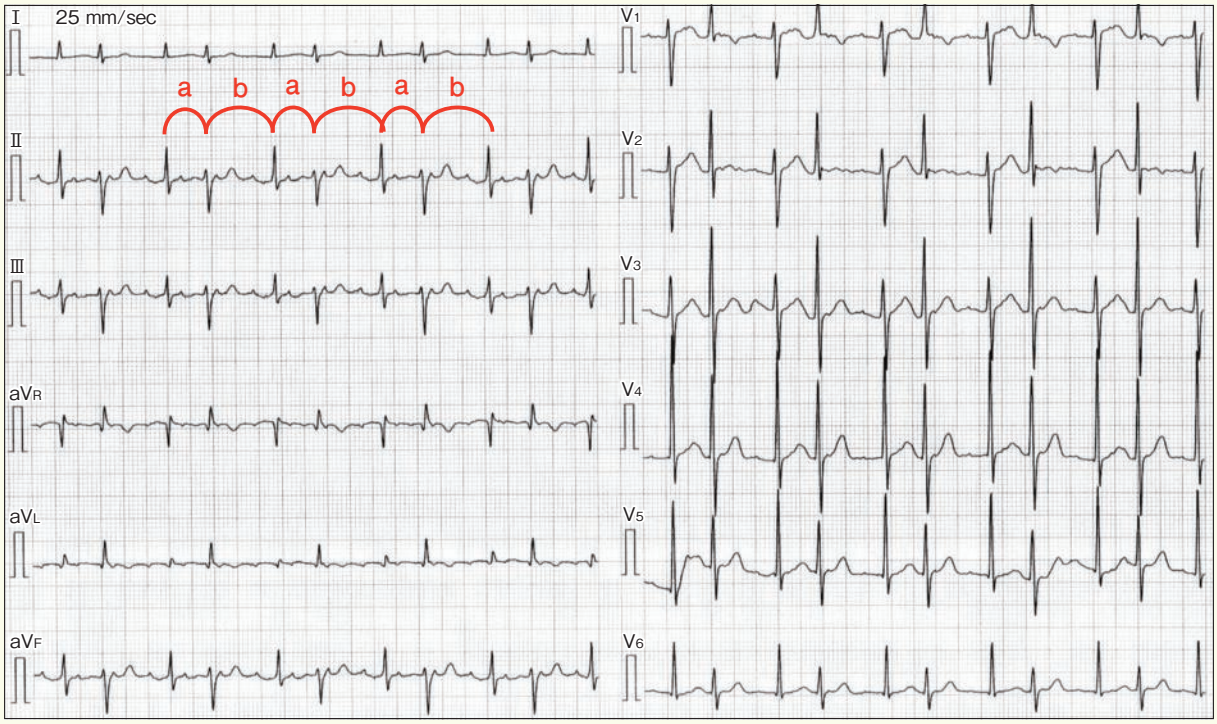
上段にⅢおよびV_3誘導のみを切り出して、連続する心拍のP波にP1～P10、QRS波にR1～R13の符号をつけた。この図を用いて、計測可能な部分のPR間隔およびRP間隔を順次計測する。計測困難な部分は無理に計測せず飛ばしながら、R1-P1：80 msec、P1-R2：750 msec；R2-P2：200 msec、P2-R3：630 msec；R3-P3：270 msec、P3-R4：230 msec；R4-P4：690 msec、P4-R5：140 msec；……、R11-PP10：770 msec、P10-R12：60 msecと計測して行き、これを下段の図のように横軸にRP間隔、縦軸にそれに続くPR間隔を取って順次プロットする。すると、ほとんどの点は−45°の直線状にプロットされるが、R3-4およびにR9-10にかかわる2点のみが赤（●）で示すように下方に離れてプロットされた。この2点のRP間隔はそれぞれ270 msec、280 msec、PR間隔はそれぞれ230 msec、200 msecであった。この解析結果を考察すると、完全房室解離の最中にP波が偶然に先行QRS波から270～280 msecのタイミングで現れた際には、PR間隔200～230 msecとほぼ正常のスピードで心室に伝導していると考えられる。P波が現れるタイミングがそれ以上でもそれ以下でも、このような現象は見られない。すなわち、房室伝導に「過常期（supernormal phase）」が存在し、そのタイミングにおいてのみ伝導が回復する「過常期伝導（supernormal conduction）」といわれる現象が起こっていると判断される。なお、この一連の心電図のみからは、右脚・左脚を含む心室内伝導の状況、何らかの伝導障害があるのか、あるいは過常期伝導があるのかの判断は難しい。全体を見返してみると、「促進型心室固有調律」で「完全房室解離」を呈している最中に、房室伝導に「過常期伝導」が起こり、房室伝導時間および心室内伝導時間がほぼ正常な心拍が現れた、大変珍しい例といえよう。

超難解-3　Question



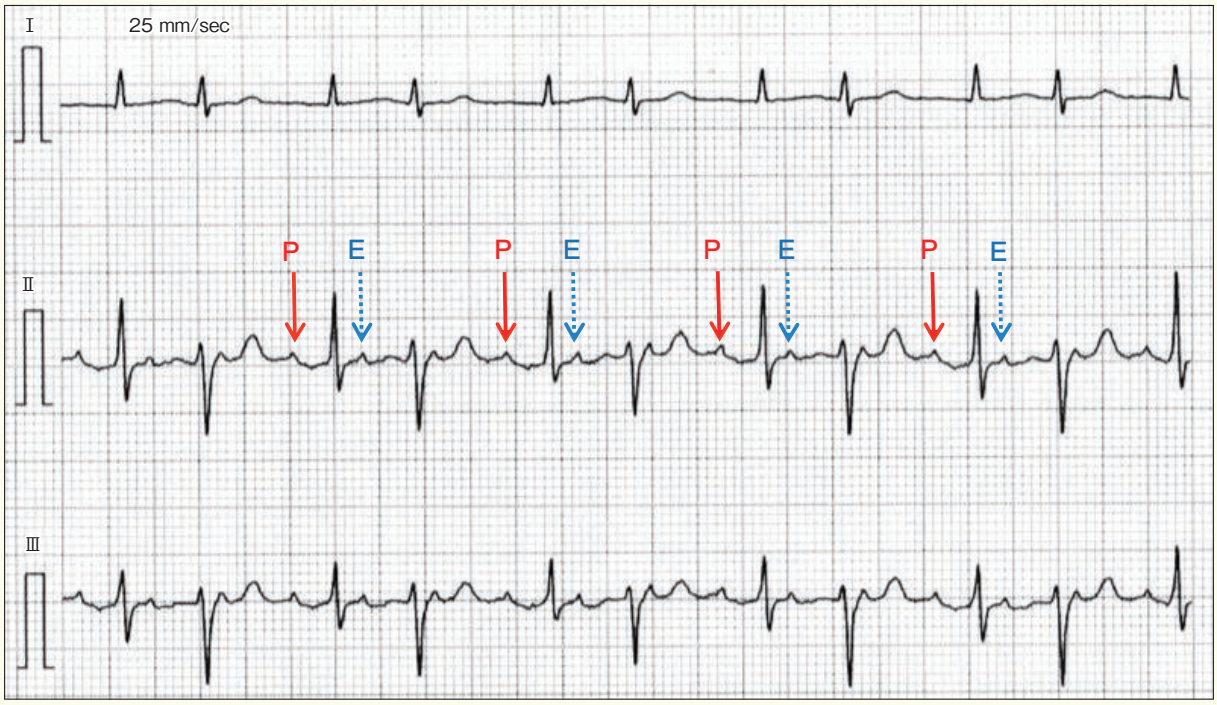
12誘導を6誘導ずつ同時記録。
35歳の男性。動悸を主訴に来院した際の記録。自動診断では「上室期外収縮2段脈」と記載されていた。一見、自動診断通りでよさそうであるが、よく見ると……。

超難解-3　Answer①



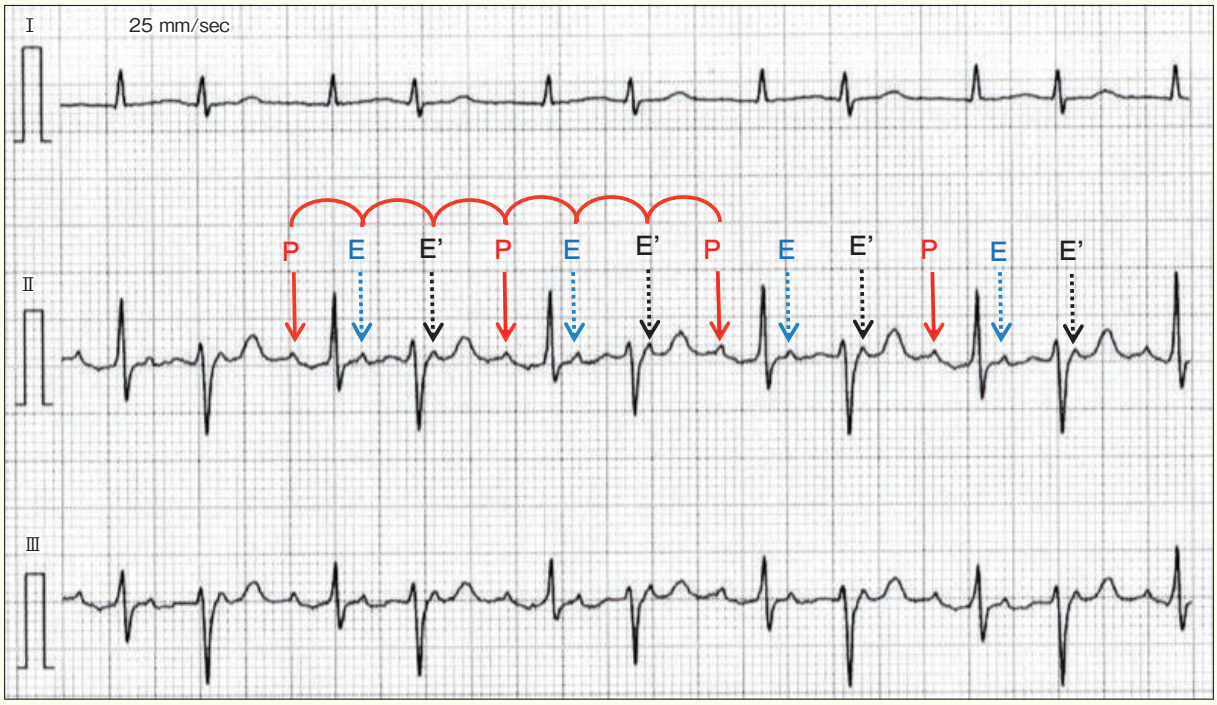
RR間隔を順次見ていくと、a、b、a、b……と短長のリズムを繰り返しており、QRSの形が交互に変わるいわゆる交互脈の様子を呈している。しかしこの所見だけで「上室期外収縮2段脈」としてよいであろうか。

超難解 - 3　Answer②



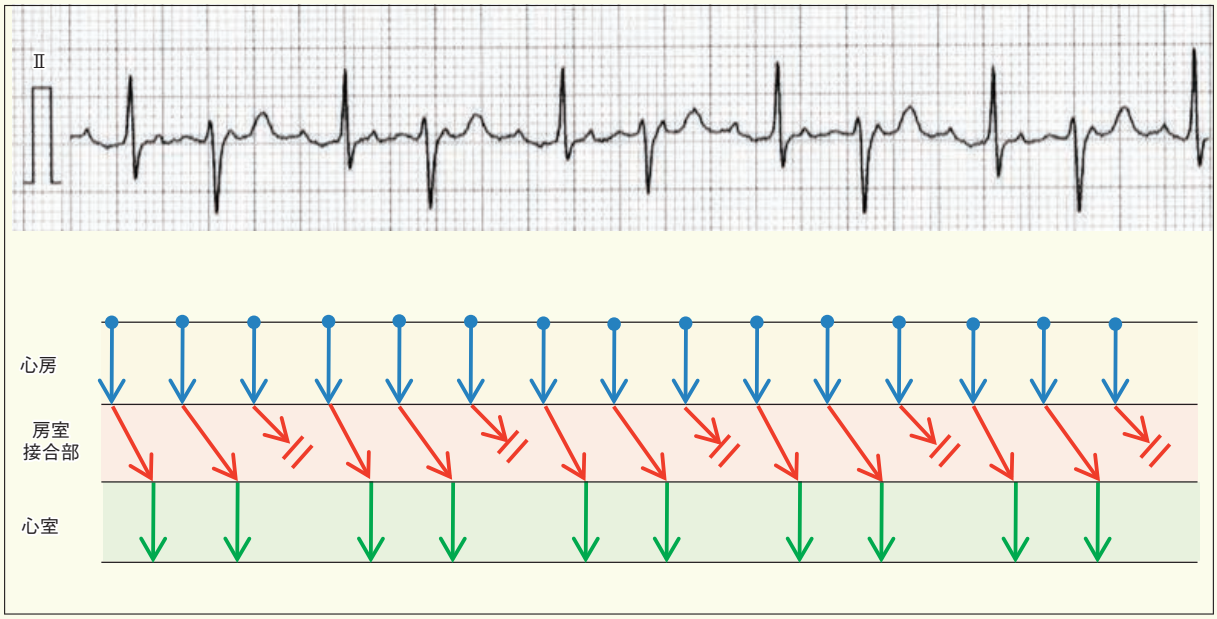
小さな信号を視認しやすくするために、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ誘導のみを拡大して表示する。「上室期外収縮」だとすれば、赤矢印（P、↓）が洞性P波、青矢印（E、⇣）が異所性心房興奮ということになる。異所性心房興奮は、先行するQRS波からの連結期が極めて短いために、房室結節を経て心室に到達した際に右脚の不応期に遭遇し、機能性の右脚ブロックを呈してQRS波が少し変形したと考えられよう。

超難解 - 3　Answer③



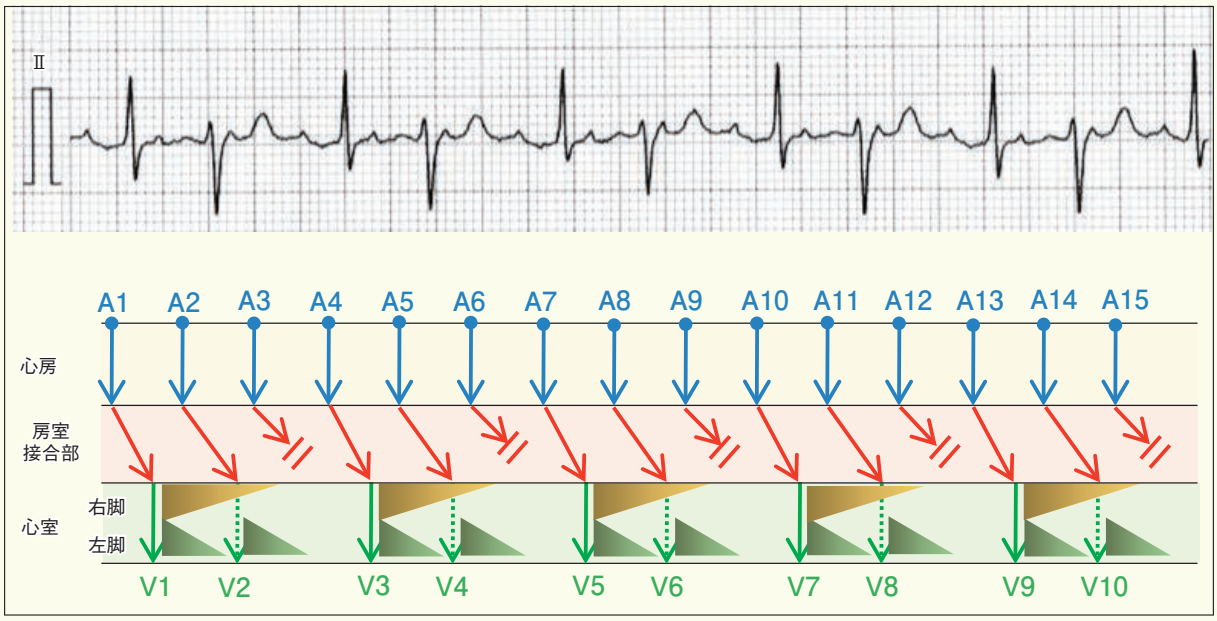
しかし、もう一度心電図をよく見ると、E-P間隔（620 msec）がP-E間隔（310 msec）の2倍であることに気が付く。EPのちょうど中間点にあたるQRS終末部に小さな信号（E'）が確認され、右脚ブロックなどQRSの変形によるものではなく、独立した信号であると考えられる。すなわち、P、E、E'いずれも同じ心房興奮を反映する信号で、それぞれの間隔は310 msecで一定であることから、「上室期外収縮」ではなく、心房拍数194/分の「心房頻拍」であると診断される。

超難解 - 3　Answer④



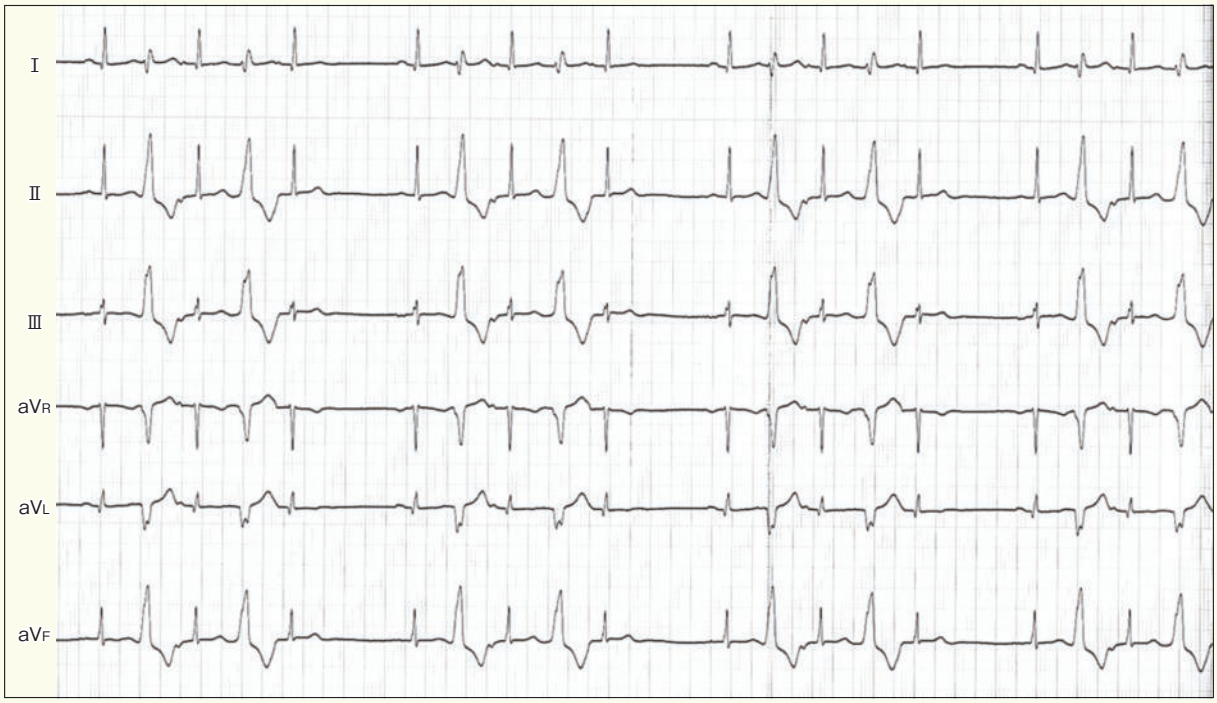
そこで、Ⅱ誘導のみを切り出してラダーダイアグラムを作成し、心房、心室間の伝導様式を解析してみる。「心房」部分に心房興奮を青矢印（↓）、「心室」部分に心室興奮を緑矢印（↓）で記し、両者をつなぐ「房室接合部」部分の伝導を考えてみると、心房興奮3個に対して心室興奮が2個形成されるというパターンを繰り返していると判断される。この際、房室接合部における伝導はウェンケバッハ周期（順次延長～脱落～短縮～順次延長～脱落～短縮）を示している。すなわち、心房拍数194/分で興奮を繰り返す「心房頻拍」が3対2伝導のウェンケバッハ周期で心室に到達し、心室拍数129/分の2段脈様のリズムを作っていると考えられ、「ウェンケバッハ周期を伴うPAT with block」であると診断される。

超難解-3　Answer⑤



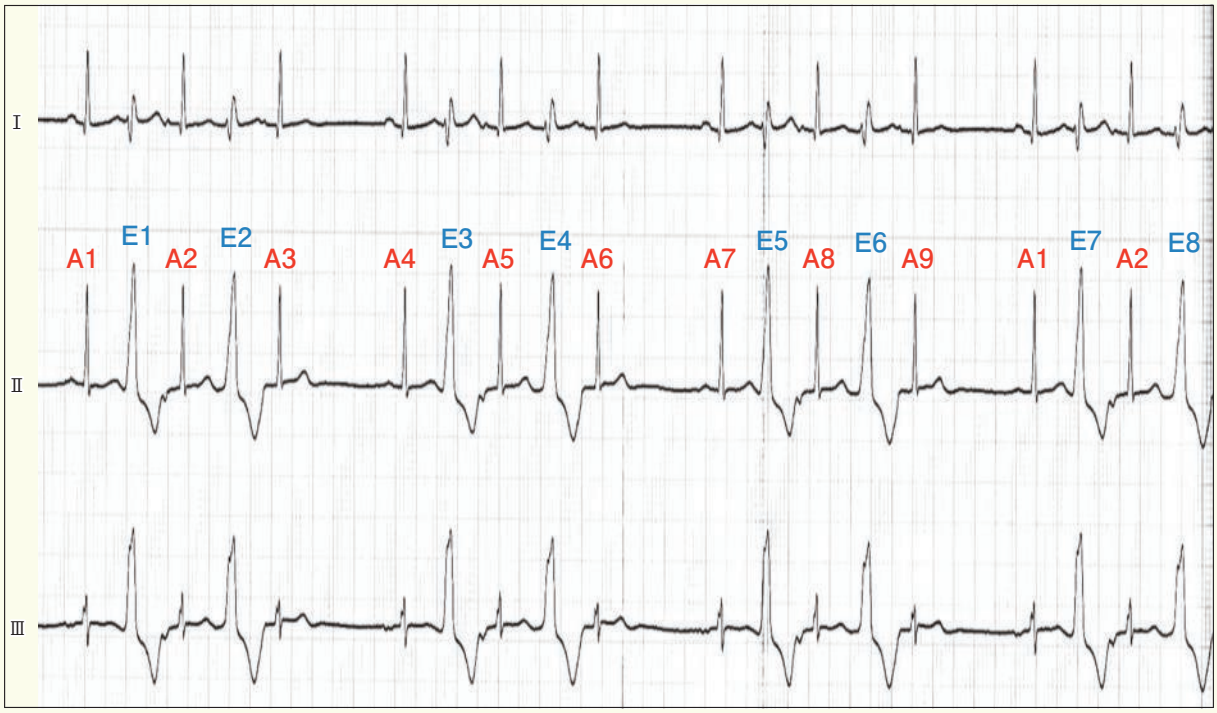
では、1拍ごとにQRS波が変形しているのはどのように説明できるであろうか。心筋細胞は一度興奮すると、そのあと一定時間は刺激に反応しない「不応期」を形成する。心室においても同様の現象が起こるが、例えばA1における心房興奮が房室接合部を経由して心室に到達し、V1という心室興奮を形成した場合にも、その後に「不応期」が形成される。この際、最下段に示すように、V1によってもたらされる右脚の不応期（ ）が左脚の不応期（ ）より少し長いと仮定すると、A1に続いてA2から伝導してきた興奮は右脚の不応期に遭遇しブロックされることになる。ただし、このタイミングで左脚はすでに不応期から脱しているため、興奮は左脚を伝導し、右脚ブロック型QRS（V2）を形成する。その後、興奮した左脚には同様に不応期が形成される。次にA3の心房興奮は房室接合部で途絶し、しばらくしてA4からの興奮が心室に到達したときには、V1で形成された右脚の不応期、V2で形成された左脚の不応期いずれも終了しており、興奮は右脚・左脚双方を通って正常型のQRS（V3）を形作り、その後に右脚・左脚にV1と同様の不応期を残す。そこへA5の興奮が到達し、再び右脚ブロック型QRS（V4）が形成されることになる。この一連の興奮伝播過程を繰り返すことによって、さらにV5～V10と次々にQRS交互脈が作り出されていくと考えることができる。「3対2伝導のPAT with block」で、正常型と右脚ブロック型のQRSを交互に繰り返す2段脈様の所見を呈した、興味深い例である。

超難解 - 4　Question



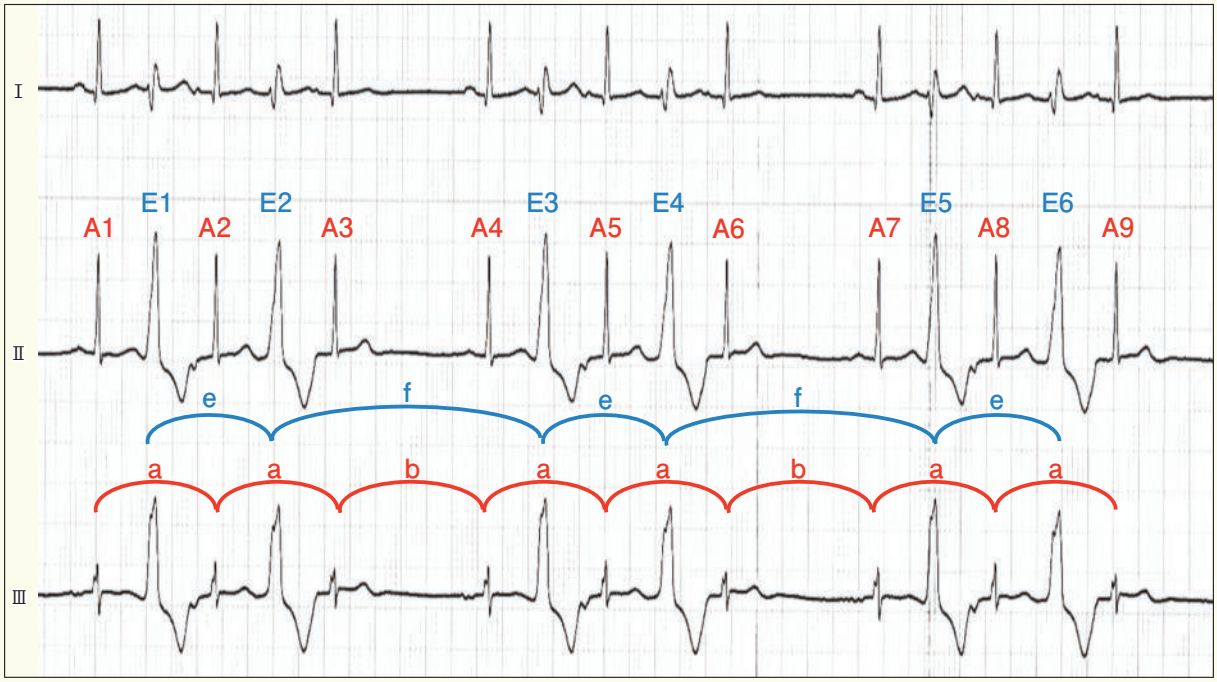
四肢6誘導を同時記録。
40歳の男性。会社の健康診断にて記録。自動診断では「心室期外収縮2段脈」と記されていたが、単純な2段脈でないことは明らかである。なお本例に関しては、本学会の電子書籍「複雑な心電図の解析編（第Ⅳ章　興奮伝導の異常・ブロック等（ブロック-6））」で一度取り上げ、簡単に解説したことがあるが、再度詳細な解析を試みたものである。以前の解説と合わせて見ていただければ幸いである。

超難解-4　Answer①



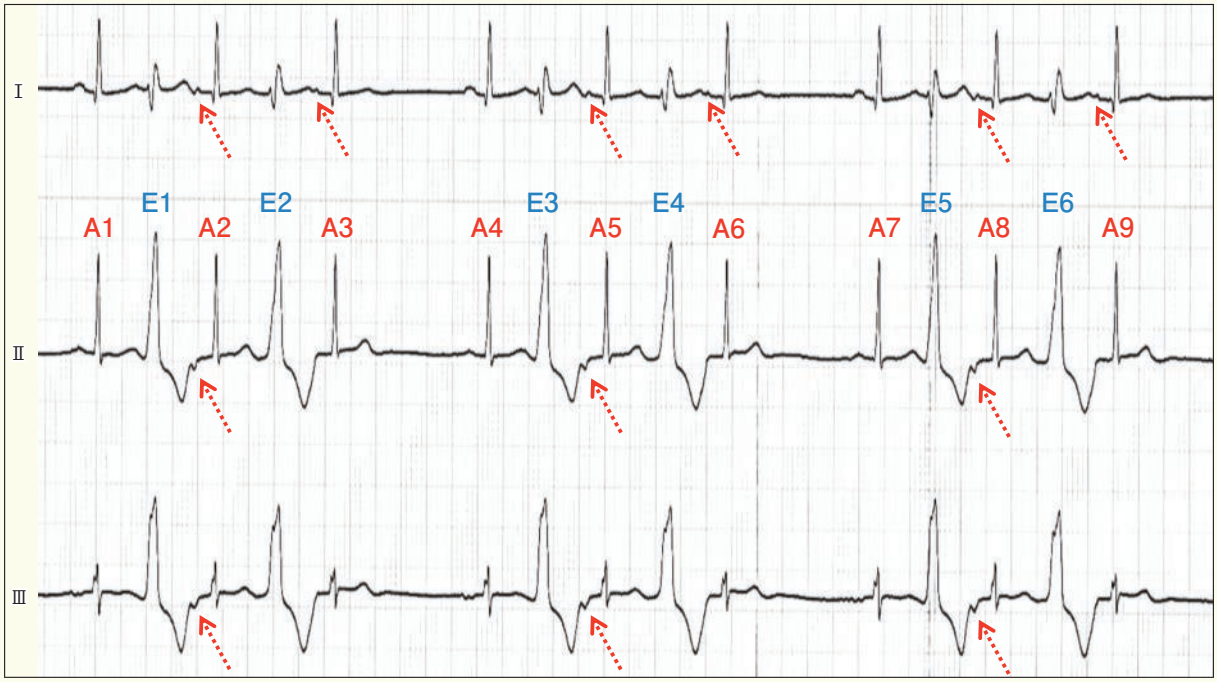
波形変化を見やすくするためにⅠ、Ⅱ、Ⅲ誘導のみを縦方向に2倍に拡大し、洞収縮ないし上室収縮と思われるnarrow QRSをA、心室期外収縮と思われるwide QRSをEで示す。するとAが3拍、Eが2拍、計5拍がひとかたまりになっており、その後同じかたまりが繰り返し出現する、いわば5段脈ともいうべき珍しい状態であることがわかる。このような特殊なリズムは、いかなる機序によってもたらされているのであろうか。

超難解-4　Answer②



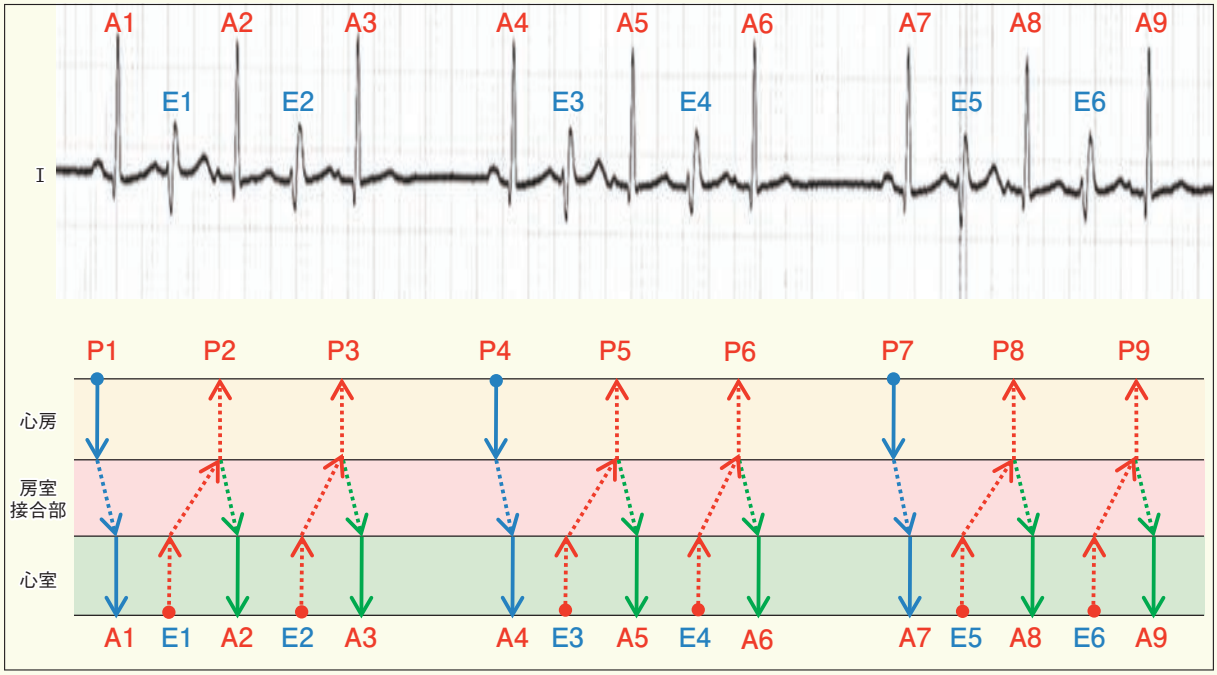
ここで横方向にも少し拡大し、A1からA9、E1からE6までのAA間隔、EE間隔を計測してみると、A1-A2、A2-A3、A4-A5、A5-A6、A7-A8、A8-A9は930 msec（a、⌒）、A3-A4、A6-A7は1200 msec（b、⌒）で、それぞれ一定、またE1-E2、E3-E4、E5-E6は980 msec（e、⌒）、E2-E3、E4-E5は2100 msec（f、⌒）で、やはりそれぞれ一定であった。これらの数値を比較してみても、aとbおよびeとfの間に洞房ブロックや心室副収縮などを示唆する特別な関係はなさそうである。

超難解 - 4　Answer③



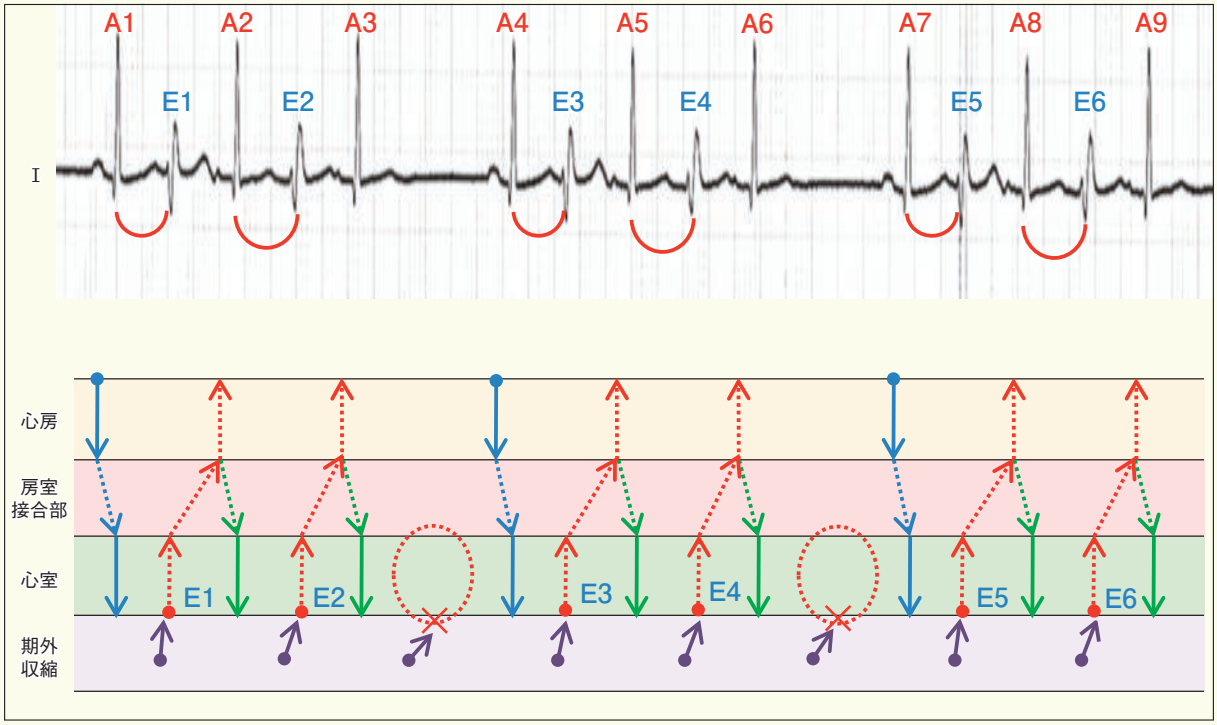
もう少し細かく波形を観察すると、小さな下向き信号があることに気づく（ ）。一部の心拍では観察しづらいが、心室期外収縮からの逆行性の心房興奮の可能性が考えられる。

超難解 - 4　Answer④



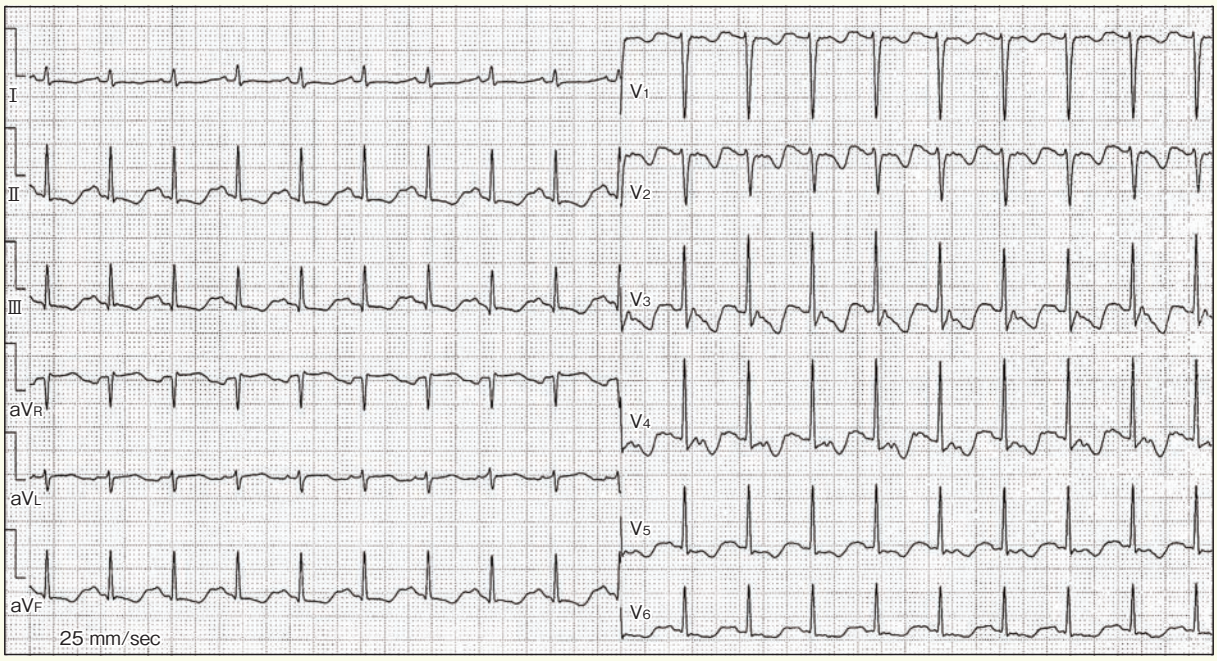
そこで、心房興奮を読み取れるⅠ誘導を切り出して、縦にさらに拡大してみた。ラダーダイアグラムで解析してみると、まず、A1、A4、A7は正常の洞結節興奮（P1、P4、P7）が順行性に房室接合部を下って心室に到達し、narrow QRSの心室興奮を形成した「正常心拍」と考えられる。次に、心室期外収縮E1～E6の興奮はそれぞれ房室接合部を上行し、逆行性に心房を興奮させ陰性のP2、P3、P5、P6、P8、P9をもたらし、一部は房室接合部のどこかで反転下行して（reflection）再び心室に到達し、順行性にnarrow QRS心拍A2、A3、A5、A6、A8、A9を生じたと分析することができる。これだけではそれほど珍しい所見ではないかもしれないが、ではA3、A6の後に心室期外収縮が現れないのはなぜだろうか。何か必然性があるのであろうか。

超難解-4　Answer⑤



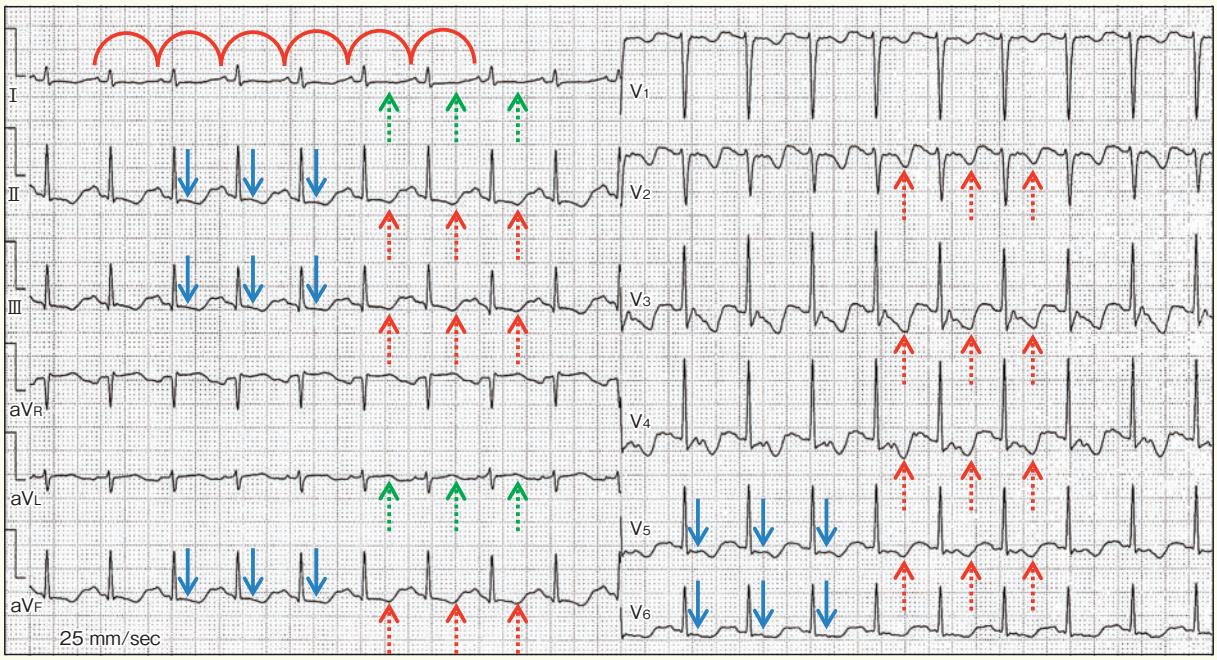
E1～E6の心室期外収縮に関して先行収縮A1、A2、A4、A5、A7、A8からの連結期をよく見ると、A1-E1＜A2-E2、A4-E3＜A5-E4、A7-E5＜A8＜E6と、一つ目より二つ目の期外収縮の連結期が長いことに気づく。これはどういうことであろうか。一つの説明としては、図下段に示すように、心室期外収縮のフォーカスから周辺の心筋組織への興奮伝播が3回に1回途切れる「3対2伝導のウェンケバッハ周期を伴う進出ブロック（exit block）」が考えられるかもしれない。3拍目の心室期外収縮が形成されなかったことにより、心房が逆行性に興奮することはなく、正常の周期に戻って洞調律が回復したと考えれば、この5段脈の機序が説明できそうである。

超難解-5　Question



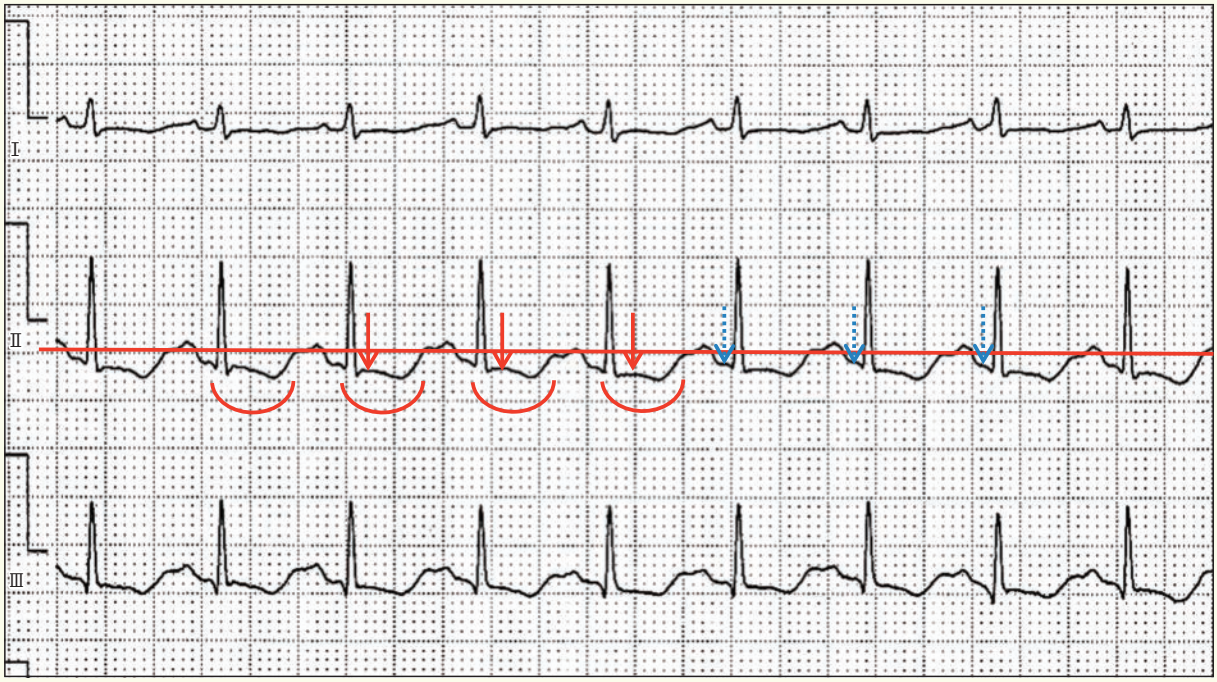
12誘導を6誘導ずつ連続記録。
31歳の女性。健康診断にて記録。前年度はまったく異常所見がなかった。
突然現れたこの所見をどのように考えたらよいのであろうか。

超難解-5　Answer①



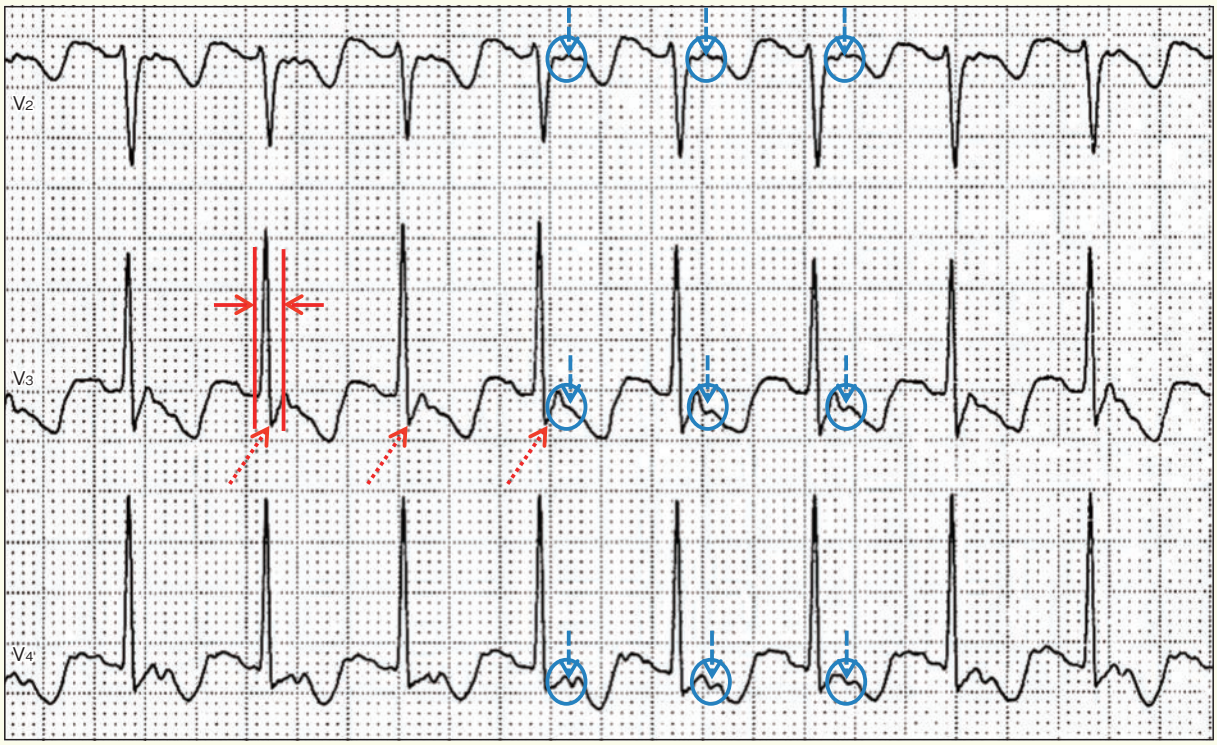
まず全体を見ると、四肢誘導で明確なP波が確認でき、心拍数110/分の「洞頻脈」である。また、Ⅰ、aV_L誘導で「平低T波」（↑）、Ⅱ、Ⅲ、aV_F、V_1～V_6誘導で「陰性T波」（↑）を認め、Ⅱ、Ⅲ、aV_F、V_5、V_6誘導などでは「ST低下」（↓）も顕著である。虚血性心疾患を想起させる所見であるが、本人は31歳の若い女性でまったく無症状、合併症もなく、虚血に結び付く要因はまったくない。

超難解-5　Answer②



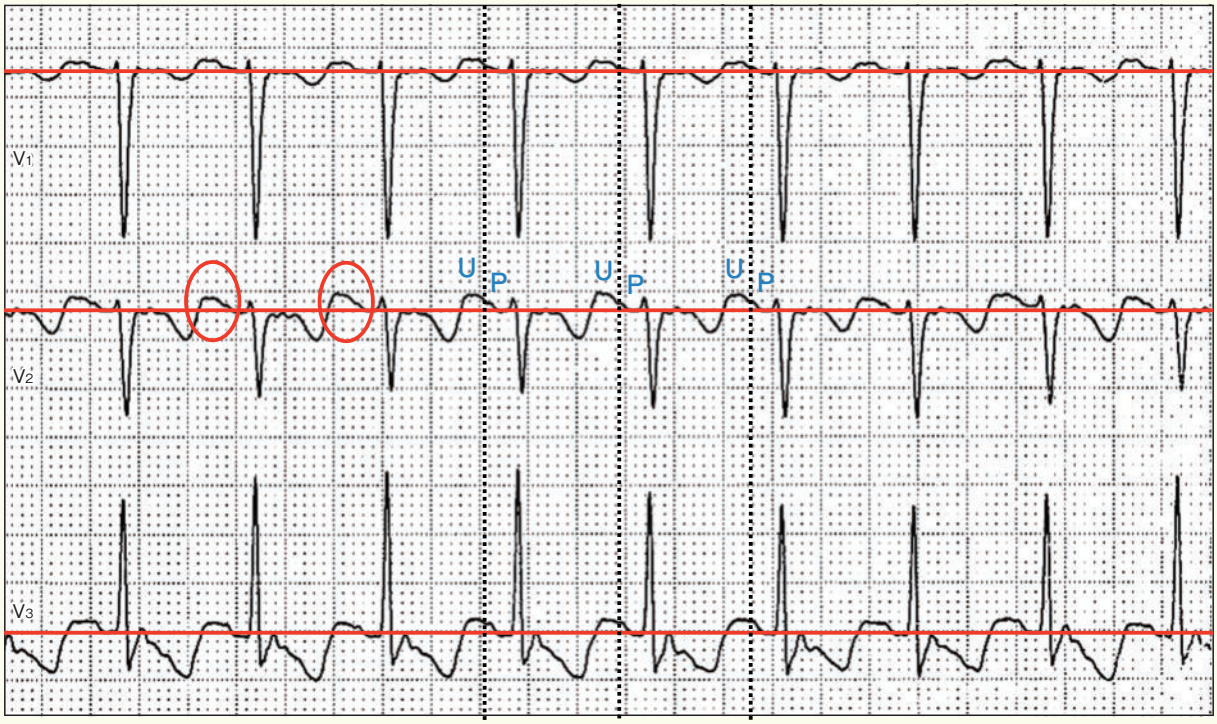
もう少し心電図所見を細かく見るために、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ誘導を切り出して拡大した。Ⅱ誘導でP波の直前の平坦な部分を基線とすると、0.2 mV程度の有意の「水平型ないし下行型ST低下」（↓）が明らかで、加えて青矢印（⇣）で示すように「Ta部分（心房筋の再分極期）も有意に低下」していることがわかる。すなわち、ST低下をもたらす再分極過程の異常は、心室筋のみならず広く心房筋にも及んでいると考えられる。またQT間隔は350 msec、QTcは0.476で、軽度ではあるが、有意の「QT延長」を伴っていると判断される。

超難解-5　Answer③



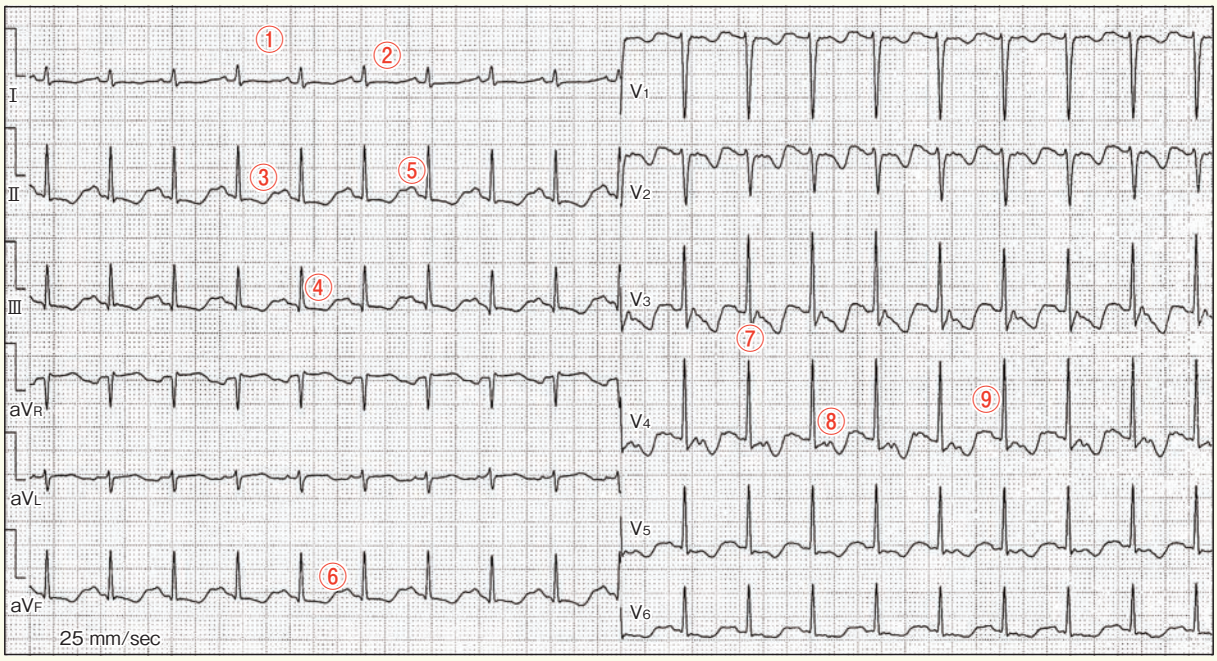
次にQRS～T波に注目し、波形が見やすいV_2、V_3、V_4誘導を切り出して拡大してみる。まず目立つのが赤矢印（↗）で示すQRS終末部の下向き成分で、このためにQRS幅は120 msec程度に拡大し、「心室内伝導遅延」があると判断される。さらにその後ろを細かく観察すると、ST部分の青丸（○）の中に見られるV_2で陽性、V_3、V_4で陰性の小さな波が確認される。これは何であろうか。四肢誘導ではまったく現れない小さな波で、P波など心房興奮を表すものではなく、比較的低周波の信号であることから典型的とはいえないが、不整脈原性右室心筋症（ARVC）でまれにみられる「イプシロン波」のような右室側の伝導遅延を表す信号と考えることはできないだろうか。

超難解-5　Answer④



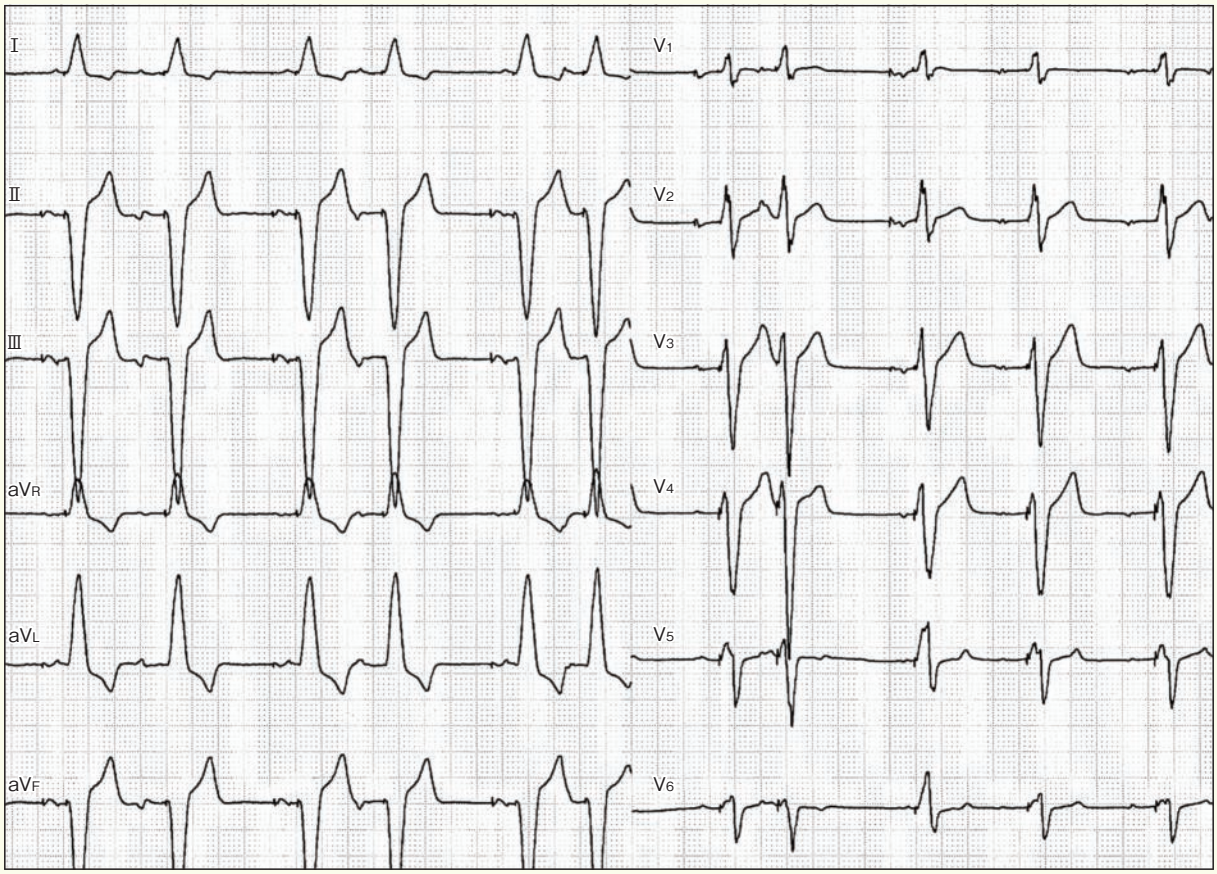
さらにT波の終末部を見ると、基線より大きく上に凸の状態（○）になっているようである。一部は次の心拍のP波に重なっているようであるが、これは「著明なU波」の可能性が高いと考えられる。

超難解-5　Answer⑤



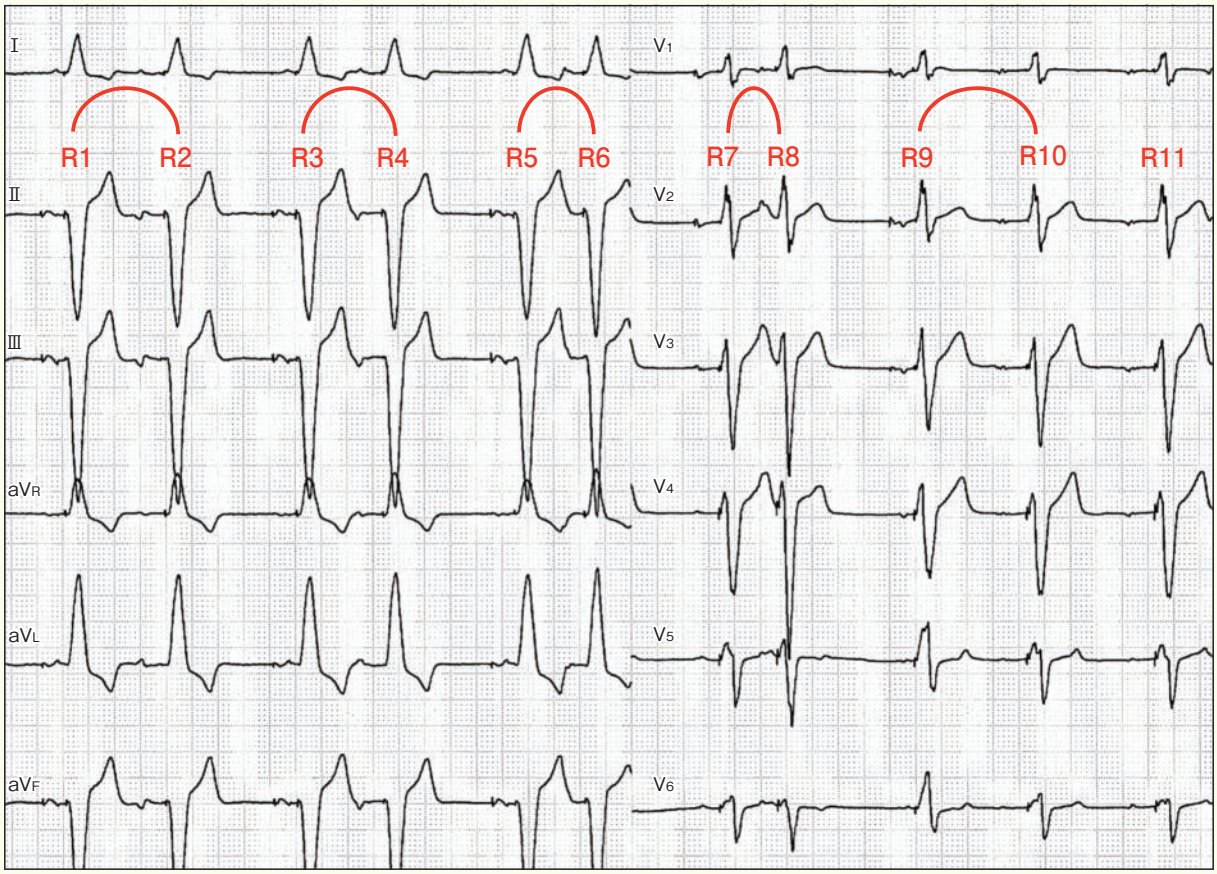
Answer①からAnswer④までの所見を整理してみると、①洞頻脈、②平低T波、③陰性T波、④ST低下、⑤Ta低下、⑥QT延長、⑦心室内伝導遅延、⑧イプシロン波、⑨著明U波、という、実に多彩な所見が見つかったことになる。生来健康で、前年度までまったく異常のなかった若い女性に、いったい何が起こったのであろうか。健診時の心電図1枚で結論を出すことは困難であることから、大学病院に紹介し精密検査を行った。賢明な読者は、上記の所見からすでにある程度診断の目途が立ってきたかもしれないが、大学病院の最終診断は「高度の低カリウム血症」であった。詳細に問診すると、ダイエットのため下剤を長期に服用しており、下痢が続いていたとのことで、血清カリウム値は2.0 mEq/Lまで低下していたとの報告であった。低カリウム血症に伴う心電図変化に関しては、半世紀以上前からBellet、Surawitz、Lepeschkin、Gettes、Helfantなど多くの著名な研究者によって詳細に検討されており、上記の所見の多くは記載されている。Ta部分の変化やイプシロン波に関する記述は見当たらないようであるが、いずれにしても、これらの心電図異常が心房細動、心房粗動、心房頻拍、心室頻拍、Torsade de pointes、心室細動などさまざまな重症不整脈を引き起こすことから、その臨床的重要性は高い。心電図のオーバーリードを行う者にとって細心の注意が必要な、大変考えさせられる症例であった。

超難解-6　Question



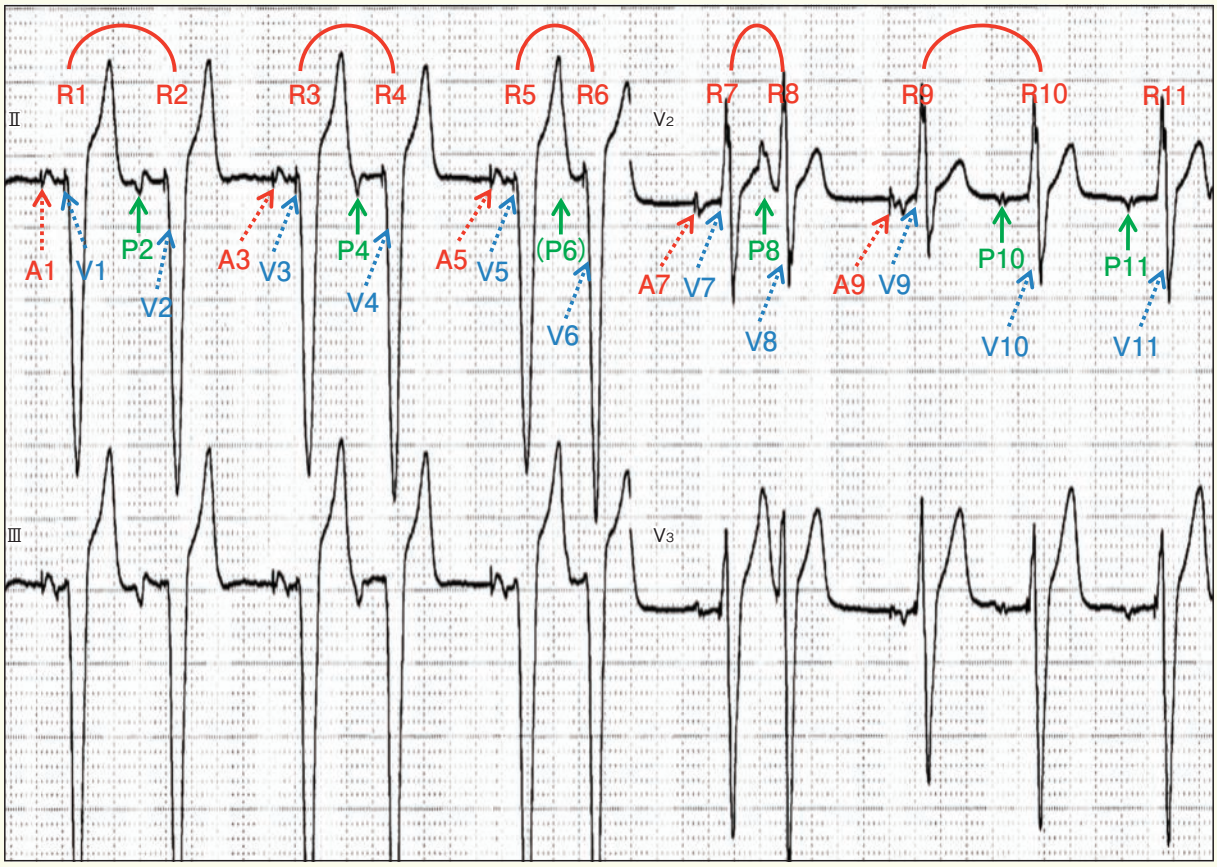
12誘導を6誘導ずつ連続記録。
76歳の男性。拡張型心筋症による房室ブロックに対してDDDペースメーカ装着。動悸を自覚し受診。ペースメーカ心電図の解析はしばしば困難で、自動診断は「ペースメーカ心拍」とのみ記載するにとどまり、ほとんどの場合詳細な解析は行われない。なお、本例に関しては、本学会の電子書籍「臨床心電図解析の実際―複雑な心電図の解析編―」で一度取り上げ、掲載したことがあるが、再度別の可能性について解析を試みたものである。以前の解析と比較していただければ幸いである。

超難解-6　Answer①



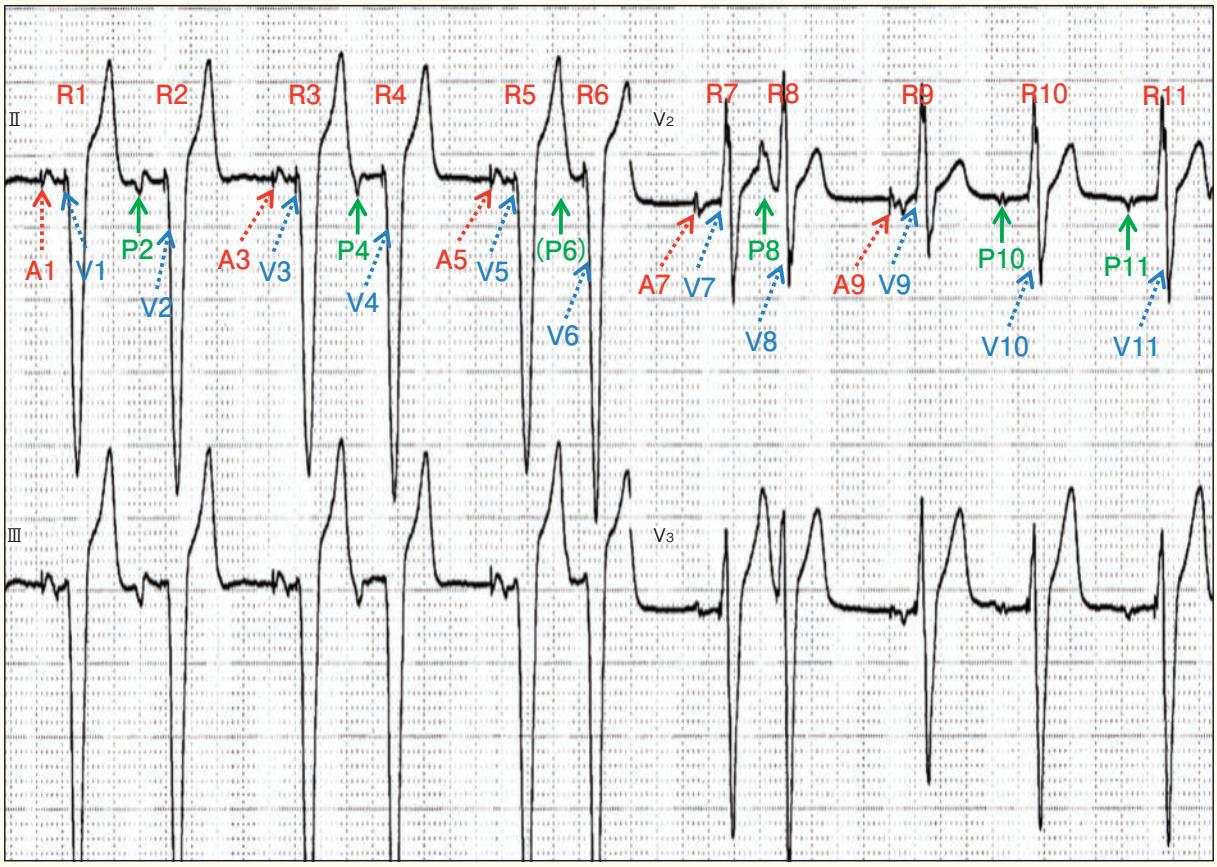
まず、QRSはR1からR11まで確認され、いずれもQRS開始部分に小さなペーシングスパイクを伴う「心室ペーシング心拍」であるが、R1からR8までをよく見ると、二段脈様の所見を呈しているようである。この部分のRR間隔を計測すると、R1-R2：800 msec>R3-R4：680 msec>R5-R6：550 msec>R7-R8：450 msecと徐々に短縮し、R9-R10：840 msecと延長するという、「逆ウェンケバッハ周期」ともいうべき不思議なリズムを呈していることがわかる。このようなリズムはいかなる機序によってもたらされているのであろうか。

超難解-6　Answer②



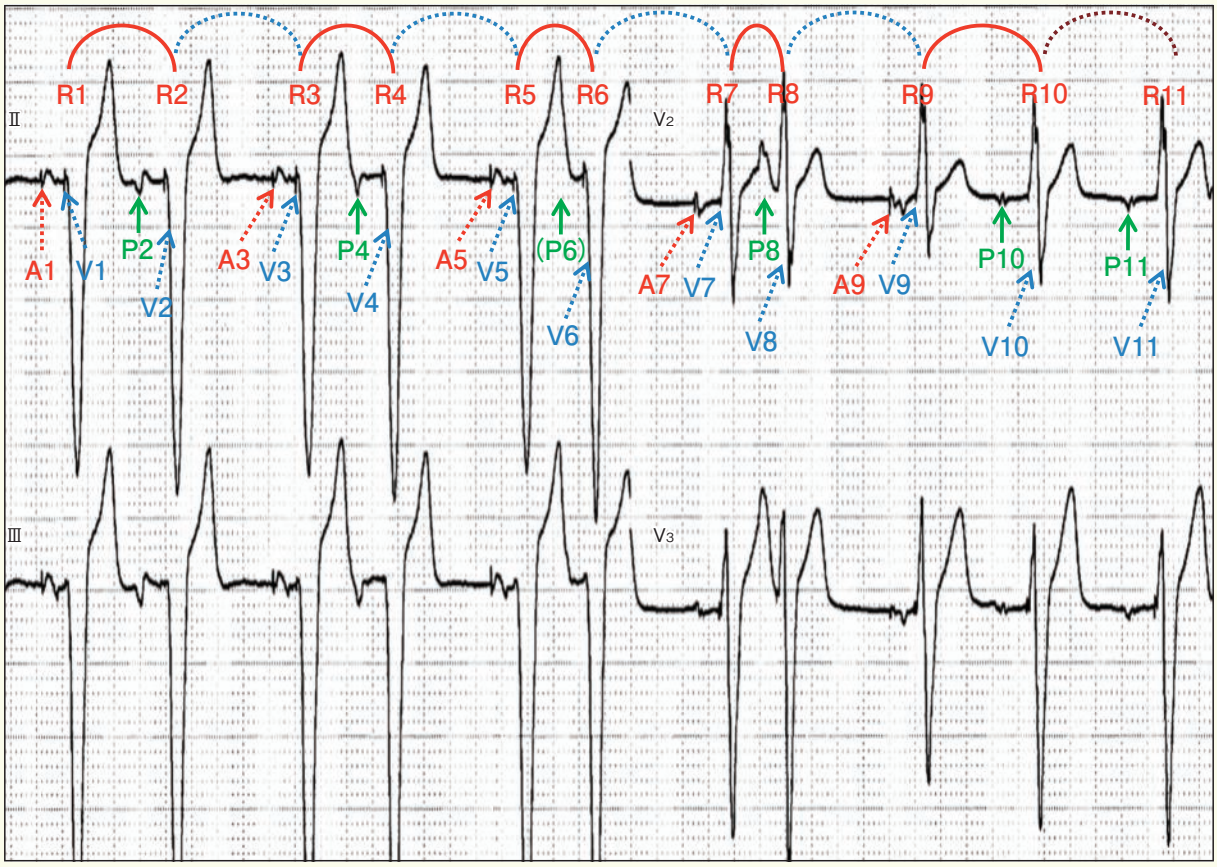
ペーシングスパイクの比較的明瞭なⅡ、Ⅲ、V_2、V_3誘導のみを切り出して拡大してみる。まず、奇数心拍のR1、R3、R5、R7、R9は、それぞれ200 msec間隔で一定のA1-V1、A3-V3、A5-V5、A7-V7、A9-V9を経て形成されており、通常の「心房心室順次DDDペーシング心拍」であると判断される。では、R2、R4、R6、R8、R10、R11の心拍はどうであろうか。P6はT波に重なってよく見えないが、それぞれの心拍の前にP2、P4、P8、P10、P11に示すようにスパイクのないP波（洞性か異所性かは区別がつかないが）が先行しており、P2-V2、P4-V4、P8-V8、P10-V10、P11-V11の間隔は240 msec程度で一定である。

超難解-6　Answer③



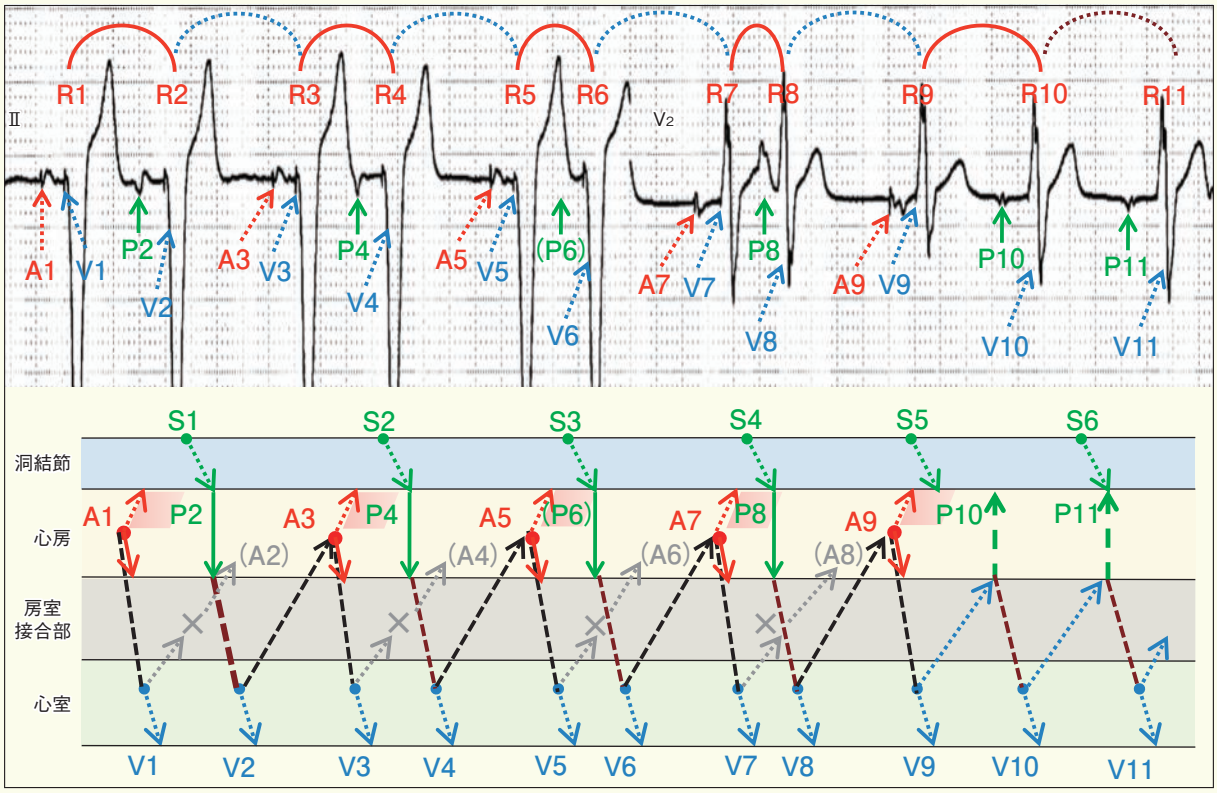
A1からV11に至る一連の心拍におけるペースメーカからの出力の様子を分析してみよう。一般的に心房や心室などの興奮が一定時間なければ、ペースメーカが刺激を出すのであるが、DDDペースメーカの特徴は、心房、心室それぞれにおいて、自発興奮あるいは電気刺激による興奮を感知した後設定されたタイミングで刺激を出すトリガー（引き金）機能と、想定外の興奮を感知した場合刺激を出すのを取りやめるインヒビション（抑制）機能とで成り立っている。この原則で考えると、R1～R9の奇数心拍は先行するA1～A9の心房刺激スパイクを感知し、設定された200 msec後に心室刺激スパイクがでていることから、正常に動作していると考えてよさそうである。また、P2～P11の自発興奮によるP波が出現した場合もペースメーカがこれを感知し、心房刺激を抑制したうえで約240 msec後にV2～V11の心室刺激スパイクが出ており、これも正常に動作しているようである。

超難解-6　Answer④



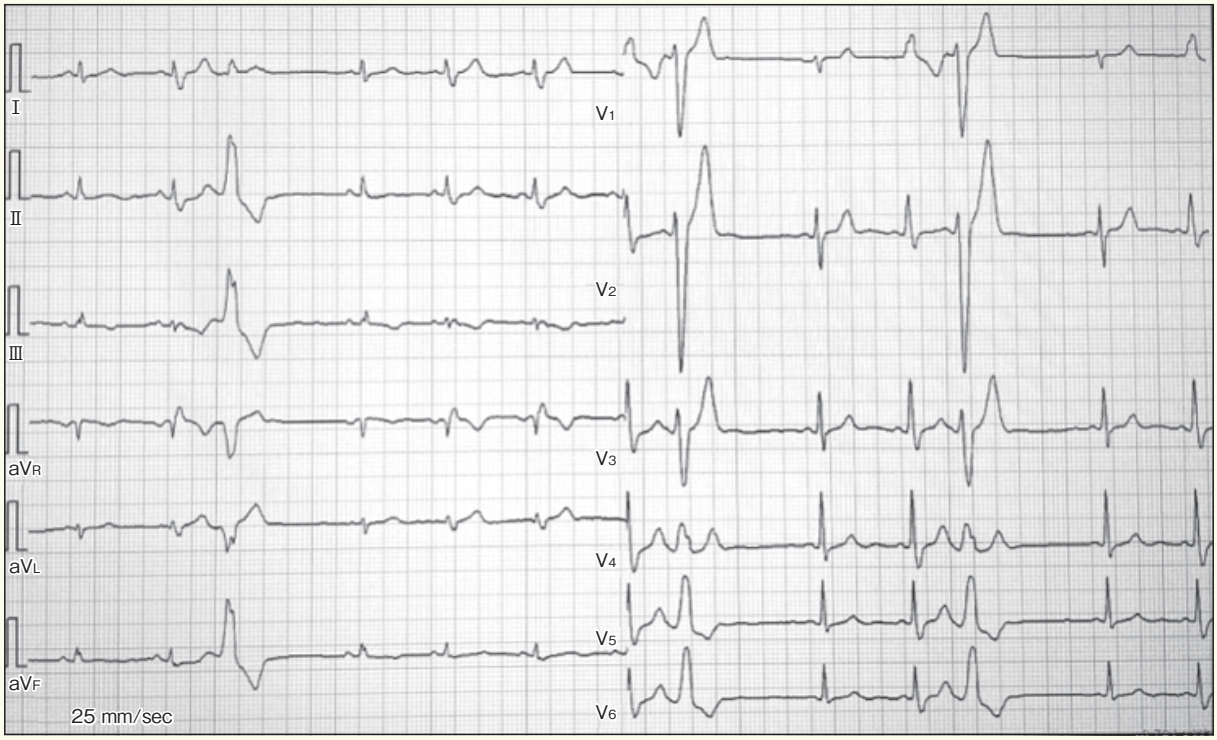
次にAnswer①で述べた「逆ウェンケバッハ周期」について分析してみよう。まずR2-R3、R4-R5、R6-R7、R8-R9間隔は約1000 msecで一定であることから（ ）、V刺激の800 msec後にA刺激を出し、その200 msec後に次のV刺激を出すという設定になっており、自発心房興奮が起こった場合にはこの設定はリセットされていると考えられる。つまり、AおよびVの刺激は設定どおりになされているが、P2、P4、P6、P8の自発心房興奮が起こるタイミングが、先行するV1、V3、V5、V7に徐々に近づいて行くことによって、逆ウェンケバッハのように見える特殊な周期を作り出していると考えられないであろうか。

超難解-6　Answer⑤



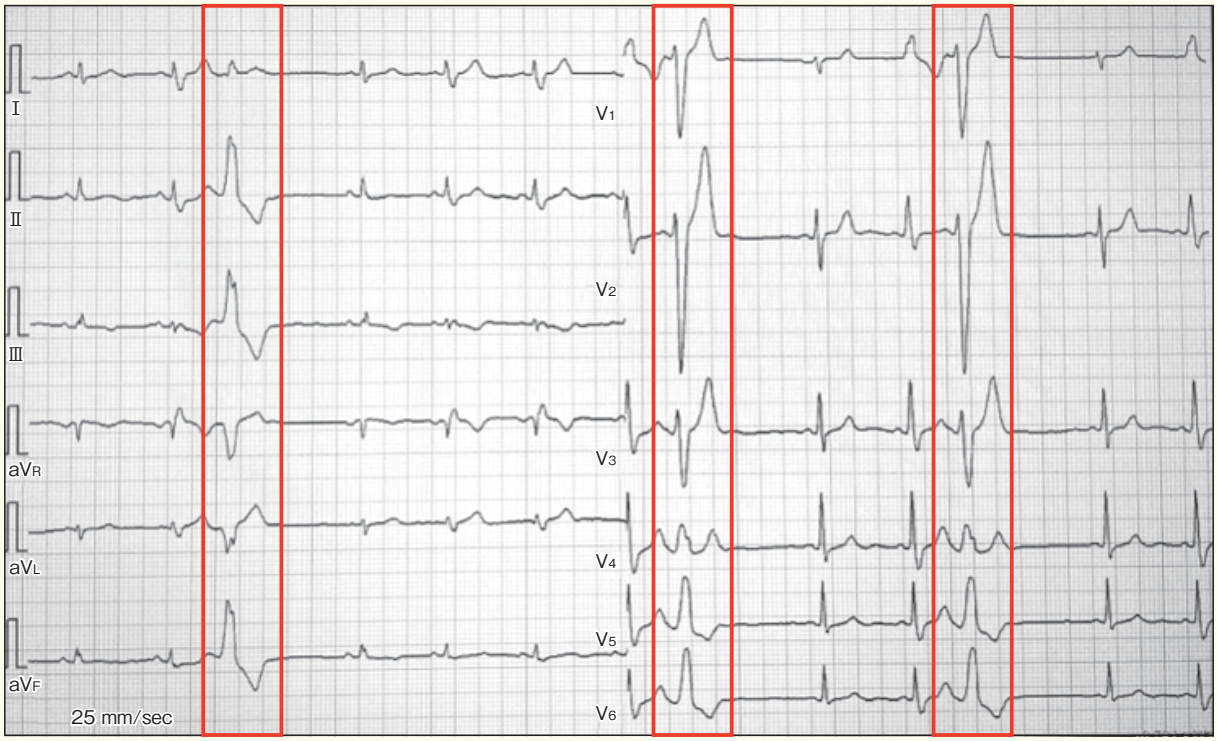
ペーシング心電図は、装着されているペースメーカの設定によって極めて複雑な態様を示すことから、言葉だけではなかなか説明しずらいので、ラダーダイアグラムを書いてみる。まず、心房興奮の状況を考えてみよう。P2、P4、P6、P8はいずれも自発興奮で、それぞれ規則的に生成されるS1、S2、S3、S4の洞結節興奮が伝播して形成されているようである。また、A1、A3、A5、A7、A9はペースメーカにより設定された心房刺激で、先行するV刺激から一定時間内に自発心房興奮がないと800 msec後に出現する。刺激後は心房組織にピンクの平行四辺形（ ）で示す不応期を残すと仮定すると、S5の洞結節興奮が心房不応期に遭遇して消失するという現象が説明できるであろう。一方、P10およびP11は、いずれも先行する心房ペーシングのスパイクがなく、V2誘導で極性が陰性である点から、異所性心房収縮と考えられる。それぞれ心室刺激V9、V10の興奮が逆行して心房を興奮させたもので、同時にペースメーカの設定によって心房興奮P10およびP11から240 msec後に心室刺激V10、V11が起こったと推測される。次に心室興奮の状況を見てみよう。R1からR11のQRSは、よく見るといずれもスパイクが先行しており、V1からV11の心室刺激によって生じたペーシング心拍である。前に述べたように青括弧（ ）で示すR2-R3、R4-R5、R6-R7、R8-R9間隔は1000 msecで一定であり、これはV刺激からA刺激までが800 msec、続くA刺激からV刺激までが200 msecとペースメーカによって設定されているため（ ）である。V1-V2>V3-V4>V5-V6>V7-V8というリズムは、800 msec後に設定されている（A2）、（A4）、（A6）、（A8）の心房刺激が生じる前に自発心房興奮P2、P4、P6、P8が起こったためで、このタイミングが徐々に早まっていったことによるとすれば説明可能である。このように、ペーシング心電図はペースメーカが設定通りに機能しているとしても解析が極めて複雑であり、ましてペースメーカが不調でペーシング不全やセンシング不全が起こると、もはやお手上げになることも珍しくない。

超難解 - 7　Question



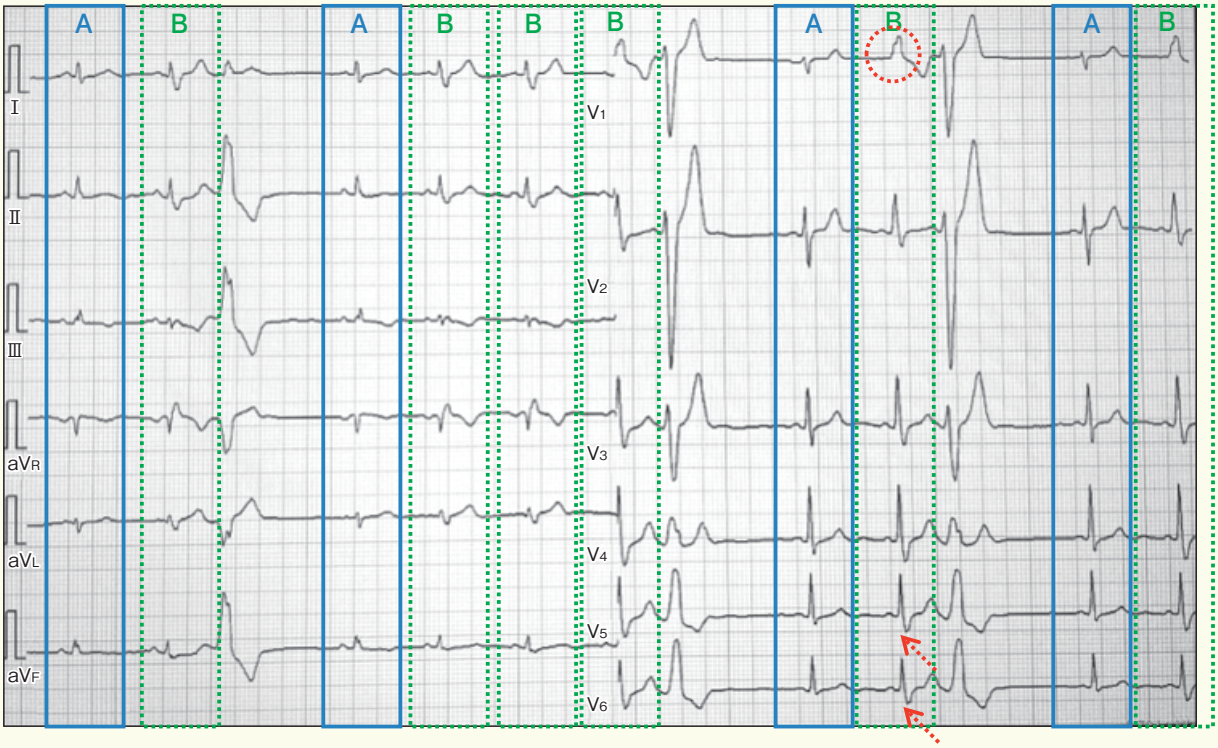
12誘導を6誘導ずつ連続記録。
43歳の女性。会社の健康診断における記録。自動診断は、「心室期外収縮（頻発）」、「完全右脚ブロック」であった。

超難解 - 7　Answer①



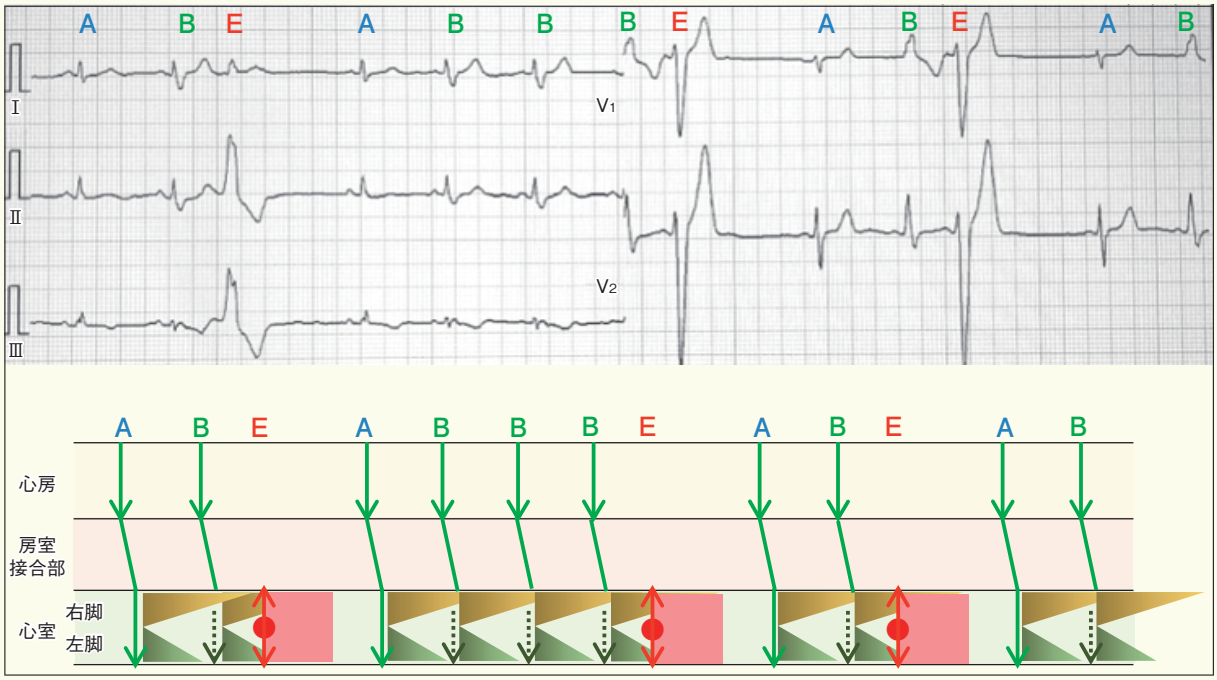
赤四角（□）で囲んだ部分にQRSが幅広く変形した早期収縮が見られ、明らかな異所性P波が先行していないことから、これらは「心室期外収縮」と判断される。その形態が左脚ブロック型で下方軸であることから、期外収縮の起源は右室流出路近辺と考えてよさそうである。ここまでは何の問題もなく、日頃よく遭遇する所見である。

超難解 - 7　Answer②



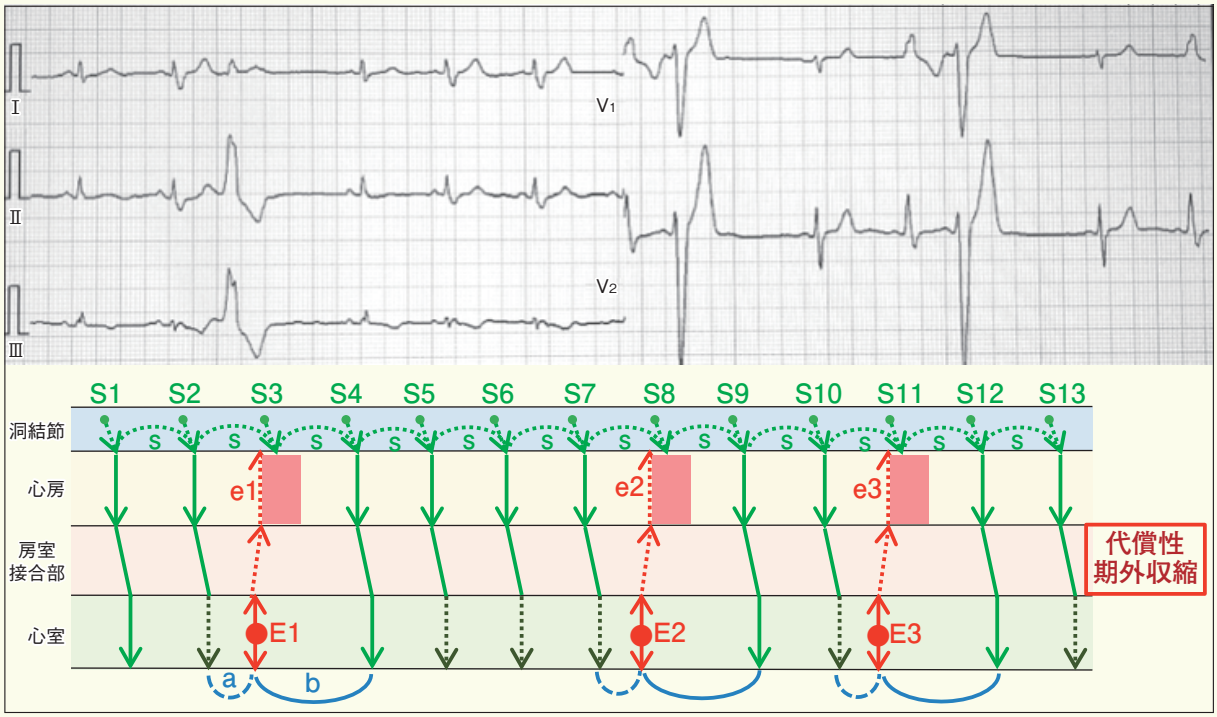
次に期外収縮以外の心拍を見てみよう。QRS幅の狭い心拍A（□）と広い心拍B（□）の2種類が確認される。いずれもP波が先行しており、PR間隔は120 msec前後で、「洞収縮心拍」と判断されるが、心拍AのQRSは「正常洞収縮型」、心拍BのQRSはV_1でrsR'型（○）、V_5、V_6で幅広いS波（↖）を認める「右脚ブロック型」を呈している。自動診断ではこれを捉えて、「完全右脚ブロック」としたのであろう。

超難解 - 7　Answer③



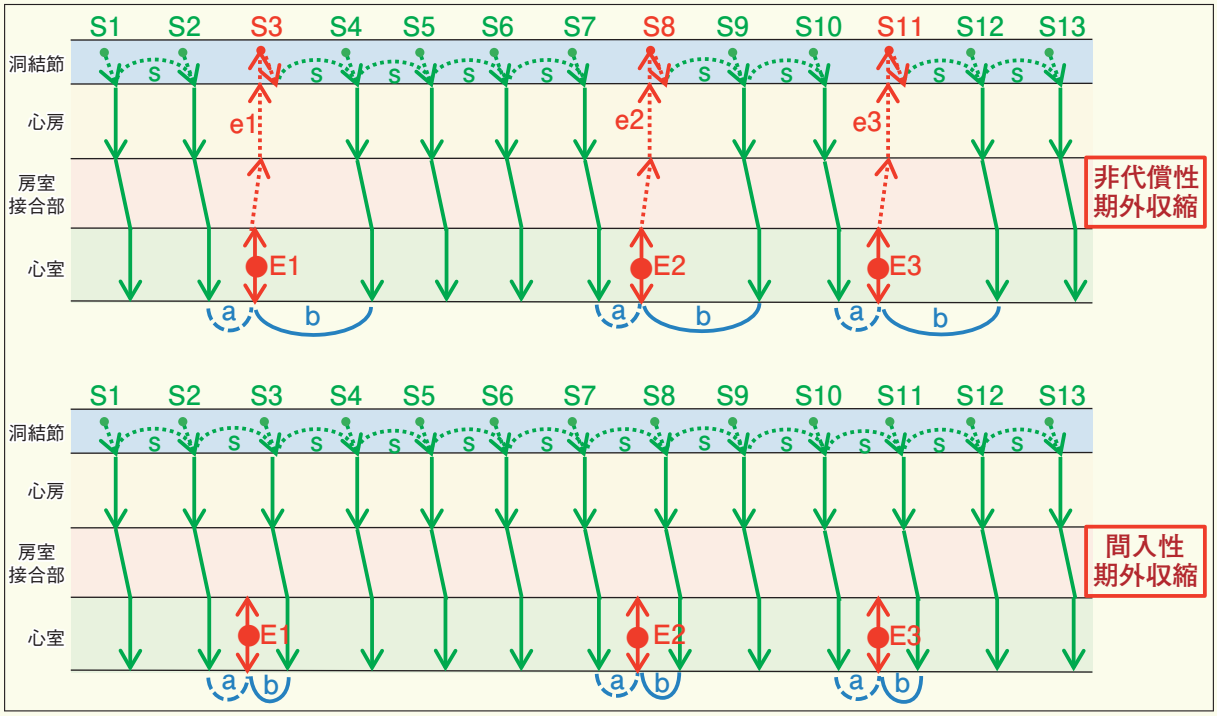
自動診断のいうように「完全右脚ブロック」だとすれば、Aの心拍はどのように考えればよいのであろうか。ラダーダイアグラムを書いてみればすぐに気がつくが、心室期外収縮Eによって心室の不応期がリセットされ、「代償性休止期」を経て洞結節からの興奮Aが心室に到達したときには右脚・左脚とも不応期を脱しており、興奮は心室内を正常に伝播して正常型のQRS波を形成したと考えられる。心拍Bに関しては、一般的に不応期は右脚が左脚よりも長いので、興奮が心室に到達した際に先行する心拍による右脚の不応期に遭遇し、不応期を脱している左脚のみを興奮が伝播して「右脚ブロック型QRS波形」を呈すると判断される。言い換えると、ある一定時間以上の休止期があれば右脚の伝導も回復することになるので、完全に右脚の伝導が途絶しているわけではない。したがって、「完全」右脚ブロックという表現は適切ではなく、右脚の不応期に遭遇した時のみに伝導遅延が起こることから、むしろ「心拍数依存性」ないし「頻脈依存性」右脚ブロックというべきではなかろうか。

超難解 - 7　Answer④



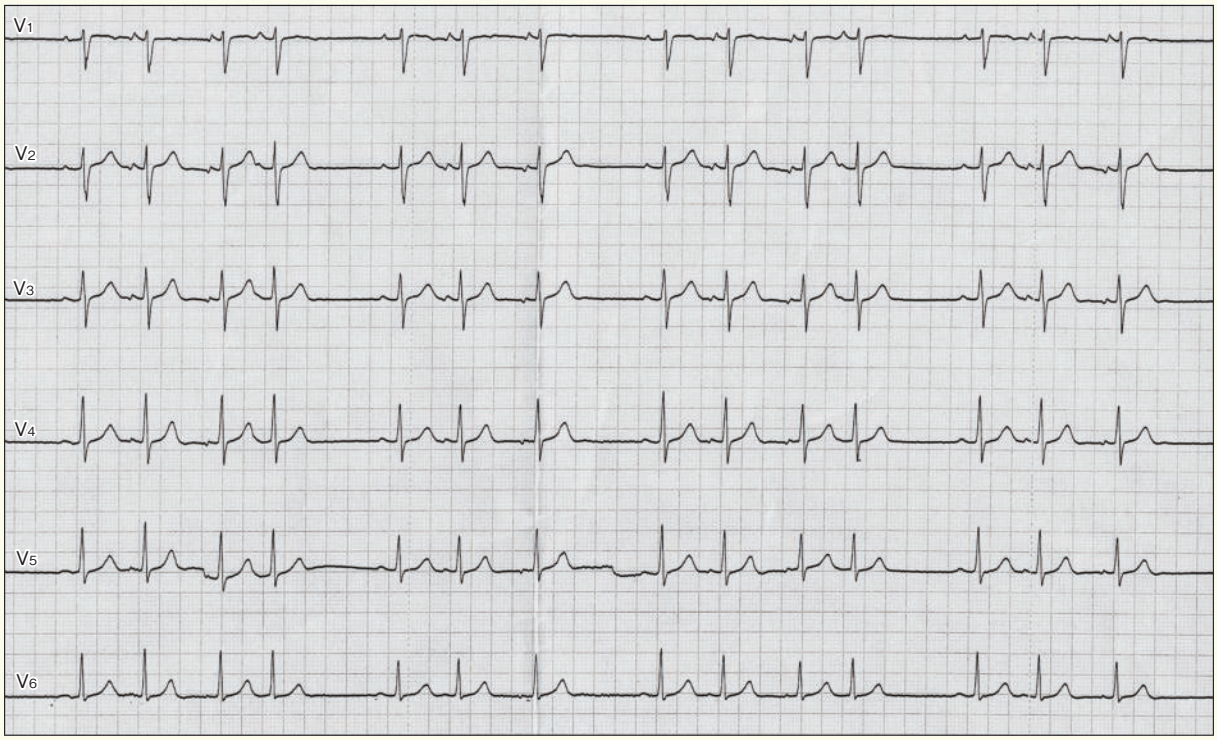
次に、上記のような所見をもたらした要因としての「代償性休止期」は、本例においてどのような機序で生じたのかを分析してみる。期外収縮の性質に関しては、一般的な教科書には①代償性、②非代償性、③間入性の3種類があるとされており、本例の心室期外収縮は代償性休止期を伴うことから「代償性期外収縮」と位置づけられる。その特徴は、上のラダーダイアグラムに示したように、連結期a（ ）で心室期外収縮Eが起こるとその興奮は房室接合部を逆行し、さらに心房を逆行性に興奮させて（e）心房筋に不応期を残すことから、S3、S8、S11から生じた洞結節興奮はそれぞれe1、e2、e3によってもたらされた心房不応期（ ）に遭遇して消滅し、次に等間隔で発生するS4、S9、S12を待つことになる。つまり心室期外収縮E1、E2、E3の興奮が、S3、S8、S11の洞結節興奮によるはずであった心拍を「代償」していると考えられる。その結果、代償性期外収縮の特徴である、a+b＝2s（連結期＋回復期＝洞周期×2）の関係が成立することになる。ただしこの説明に関しては、本例のように逆行性心房興奮が心電図で確認できない例では、あくまで推測の域を脱しない。

超難解-7　Supplement



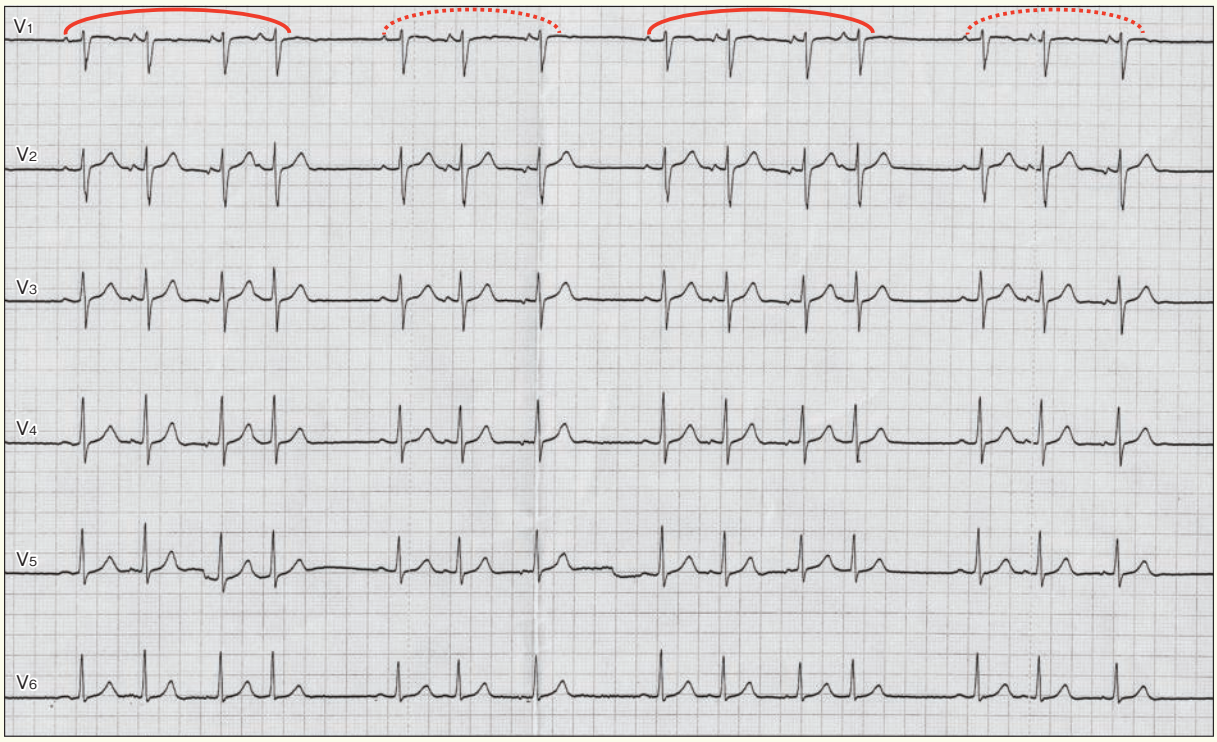
補足として、同じダイアグラムを使って、ほかの種類の期外収縮についてその機序を説明しておく。多くの教科書に記載されていることで、特に難解というわけではないが、代償性期外収縮との比較の意味で図解する。上段の「非代償性期外収縮」では、心室で発生した異所性興奮が房室接合部を心房まで逆行し、続いて洞結節を興奮させて早期にリセットし（S3、S8、S11）、そこから次の洞周期が設定されて出現することになる。その周期は代償性と異なり、s<a+b<2s（洞周期<連結期+回復期<洞周期×2）という特徴を示す。一方下段の「間入性期外収縮」では、心室の異所性興奮は心室内に留まるため、洞周期に影響を及ぼすことはなく、洞収縮が規則的に現れる。期外収縮は連続する洞収縮の間に入り込む形になり、a+b=s（連結期+回復期=洞周期）という特徴を示す。なお、一般的に上室期外収縮は非代償性が多く、心室期外収縮は代償性ないし間入性が多いとされている。

超難解-8　Question



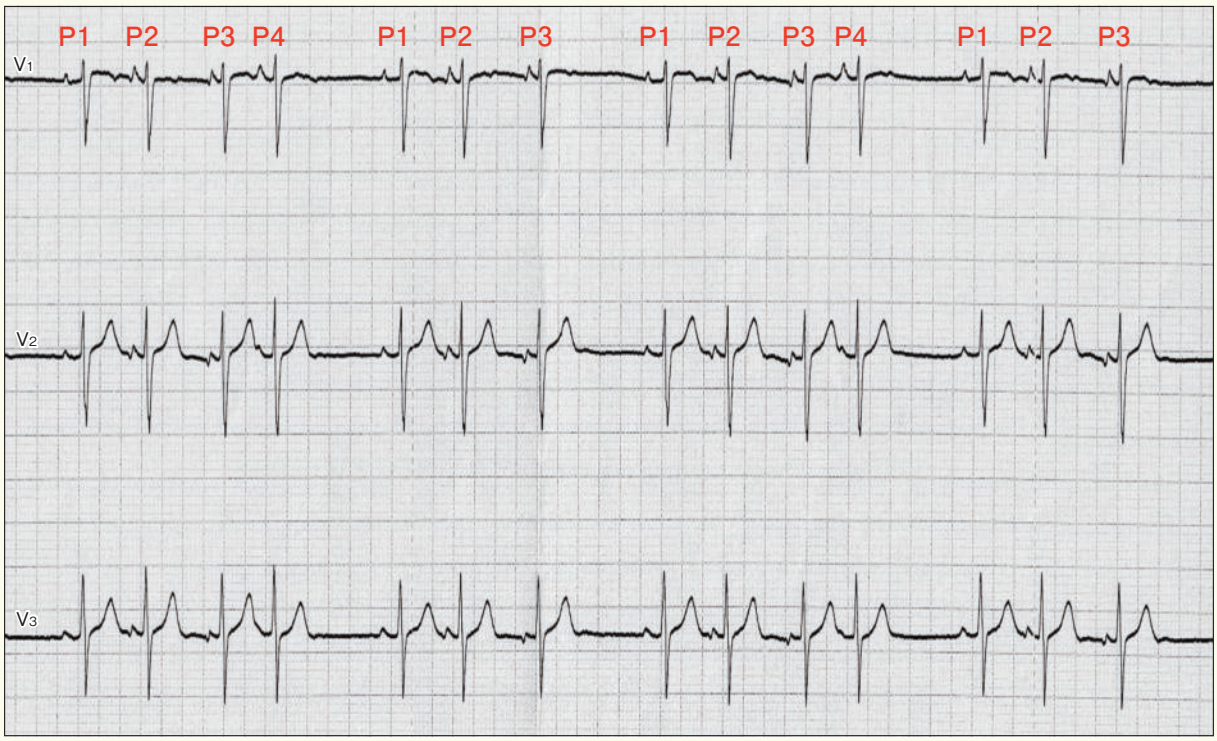
V_1〜V_6誘導を連続記録。
40歳の男性。動悸を自覚し来院。上室性と思われる期外収縮が多発している状態であるが、何か規則性がありそうに見える。

超難解-8　Answer①



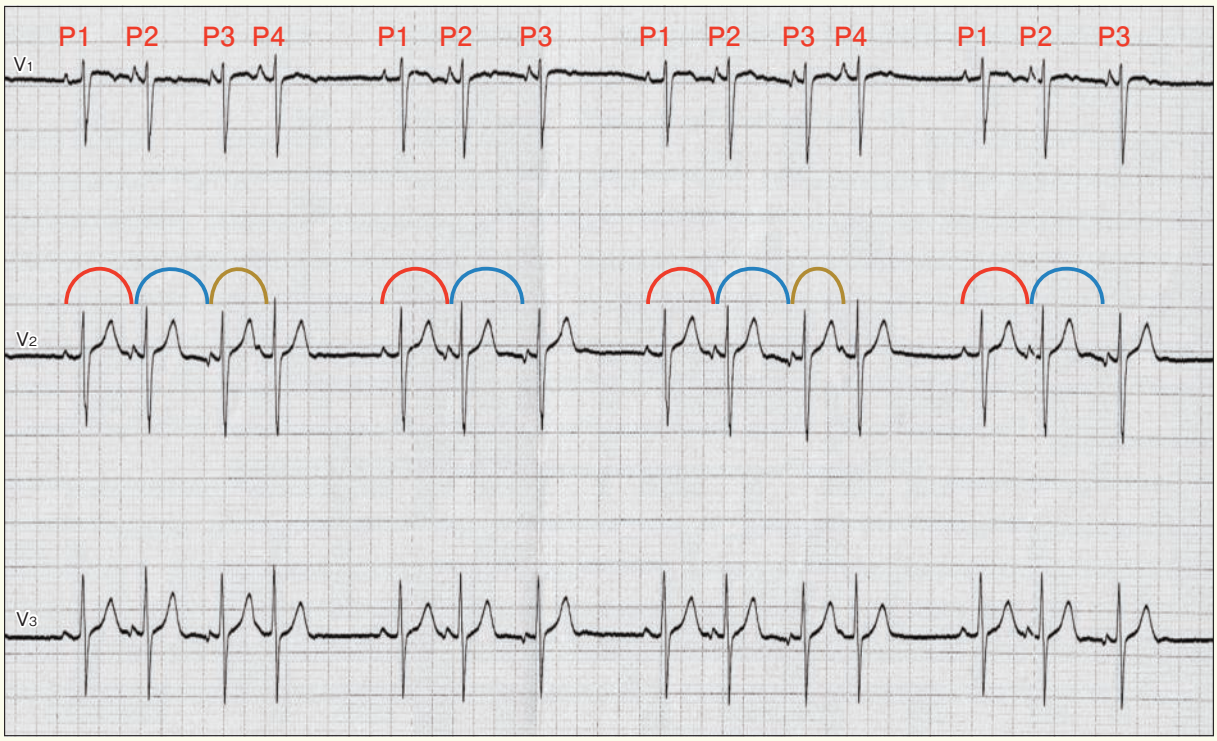
RR間隔を見ると、4段脈と3段脈を交互に繰り返す不思議なリズムを呈しているように見える。

超難解-8　Answer②



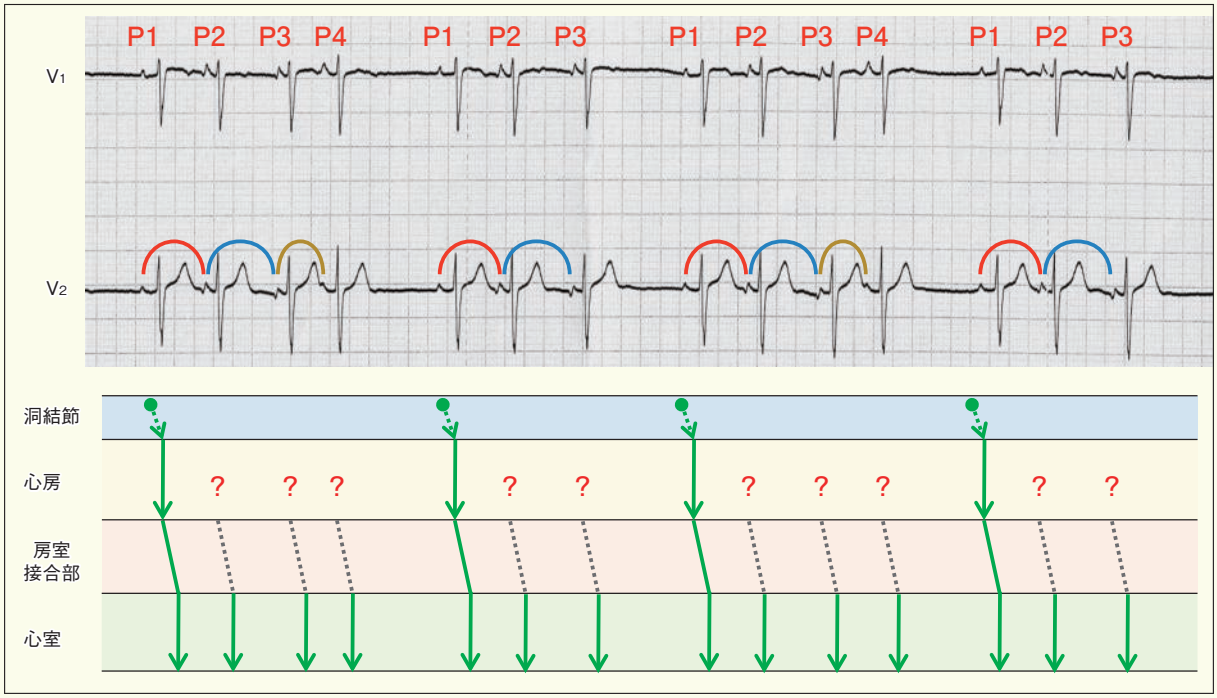
QRS波に関しては全心拍ほぼ同じ形である。そこでP波の形をよく見るために、V_1～V_3誘導を縦方向に拡大して示す。V_1～V_3のP波の形を詳細に見比べながら分類すると、P1からP4まで形の異なる4種類のP波が観察され、上記のようにP1～P4で4段脈、P1～P3で3段脈を形成しているようである。

超難解-8　Answer③



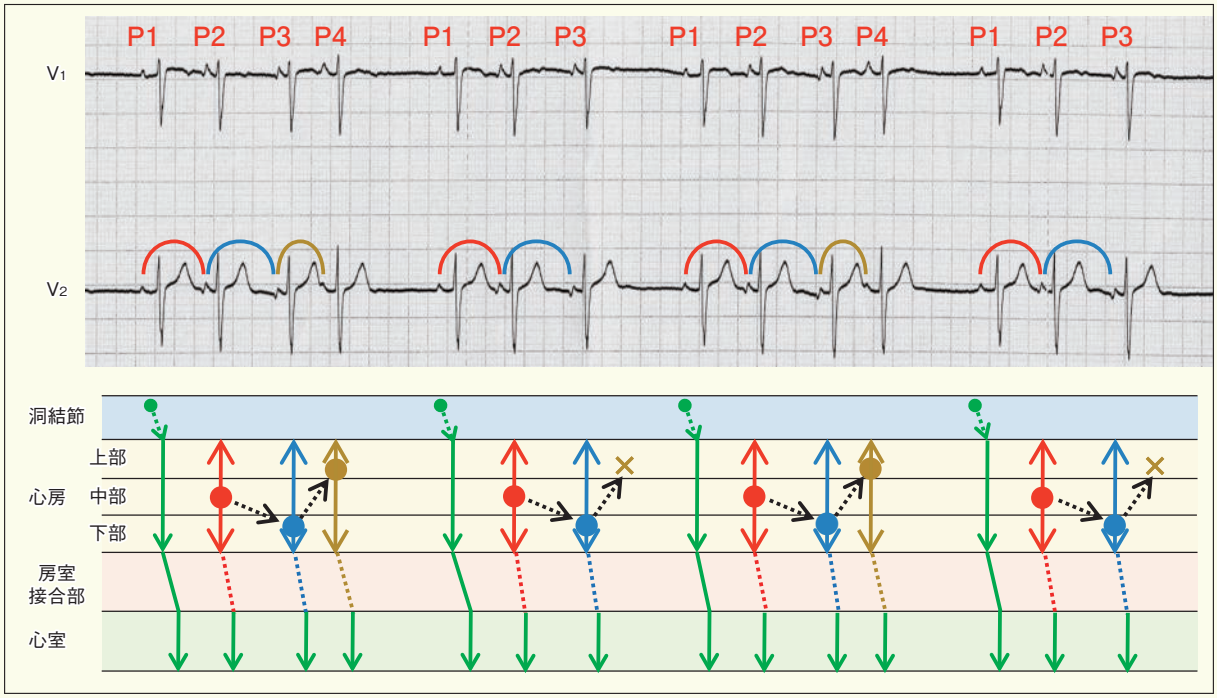
PP間隔を計測してみると、P1-P2間隔（ ）は640 msec前後、P2-P3間隔（ ）は740 msec前後、P3-P4間隔（ ）は520 msec前後で、いずれもそれぞれほぼ一定である。単純に多源性（多形性）の心房期外収縮がランダムに多発しているとするには、あまりにも規則性がある。

超難解-8　Answer④



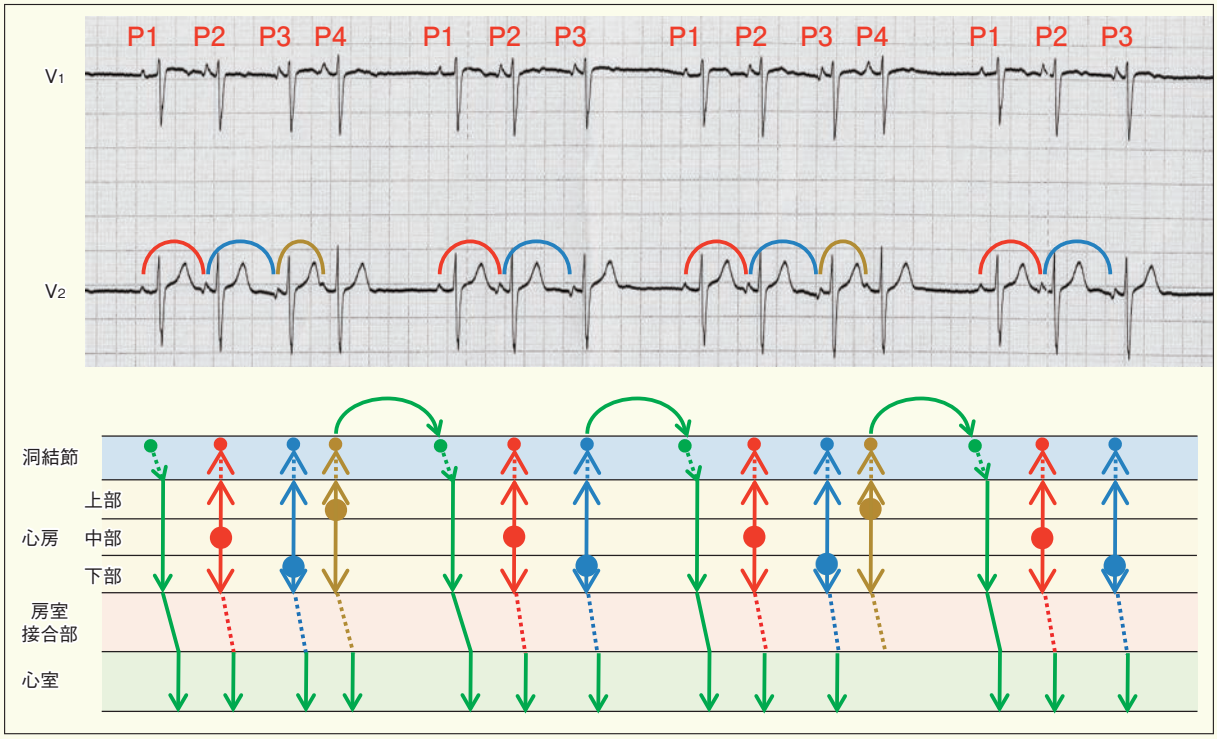
2段脈や3段脈が持続的にみられるのはよく遭遇する所見で、期外収縮の連結期と回復期の関係から説明はさほど難しくなさそうであるが、本例のように3段脈と4段脈が交互に出現するような特殊なリズムは、どのように説明したらよいのであろうか。ラダーダイアグラムを書いてみよう。まず、P1は洞結節由来の正常洞収縮、P2～P4は異所性心房収縮と考えてよさそうである。また、それらの異所性心拍も心室内は正常に伝導し、正常型のQRS波を形成しているとしてよいであろう。よくわからないのは心房内の興奮様式である。

超難解-8　Answer⑤



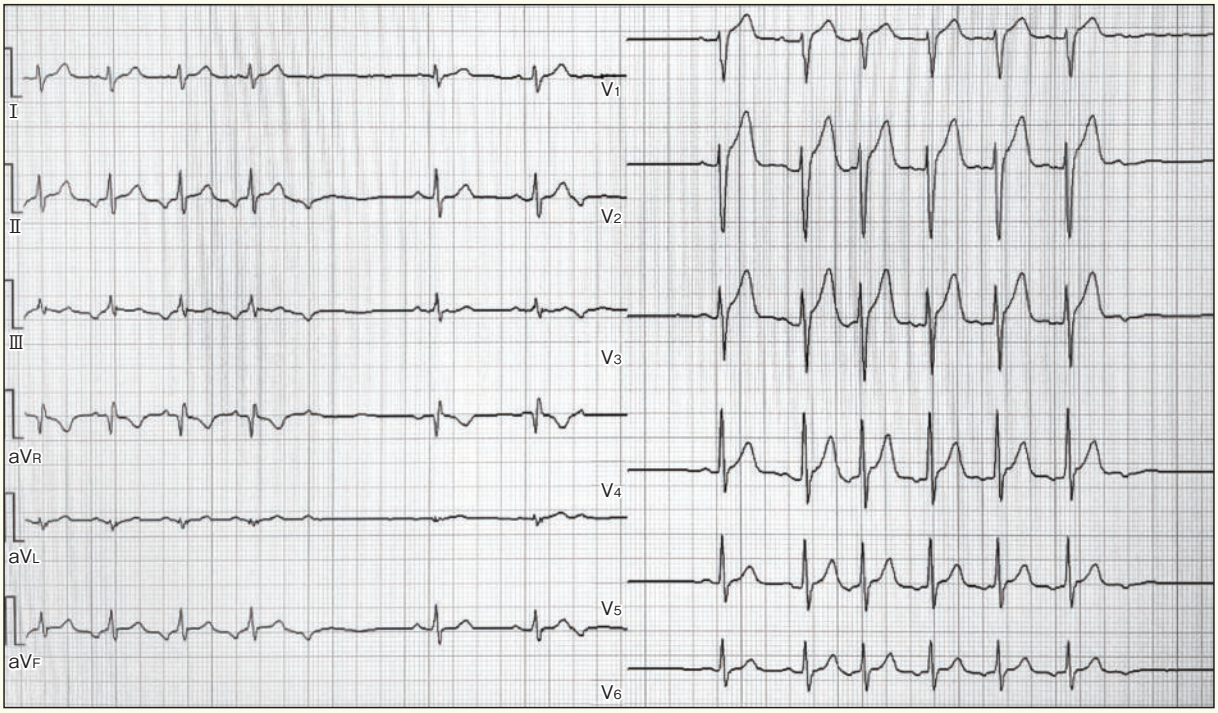
同時記録されている6誘導すべてを見比べると、P1～P4はそれぞれ少しずつ特徴が異なる。P1（↓）は6誘導すべてで陽性を示し、QRS波までのPR間隔は190 msec前後、P2（↓）はV_1～V_3でマイナスプラスの二相性、V_4～V_6は陽性で、PR間隔は140 msec前後、P3（↓）はV_1～V_5がマイナスプラスの二相性、V_6は陽性でPR間隔は120 msec前後、P4（↓）はV_1～V_3で陽性、V_4～V_6はフラットでPR間隔は180 msec前後という特徴があり、P1は「洞結節」由来、P2は「心房中部」由来、P3は「心房下部」由来、P4は「心房上部」由来と考えてよさそうである。そこで、心房部分を拡大し上部、中部、下部に分けててダイアグラムを書いてみると、心房における異所性興奮の部位によって、誘導ごとのP波形態が異なることおよびPR間隔が異なることが理解しやすくなるであろう。一方で、P2、P3がそれぞれ一定の連結期で次に現れるP3、P4の発生にどのように影響しているのか（⇣）、大変興味のあるところであるが、直接説明できるような証拠は見当たらないようである。なお、P4だけが一つ置きに出現することにより3段脈と4段脈を繰り返すという特異なリズムを呈している点に関しての説明もなかなか難しいが、P4の異所性中枢からの「2対1進出ブロック」のような機序が考えられるかもしれない。

超難解-8　Answer⑥



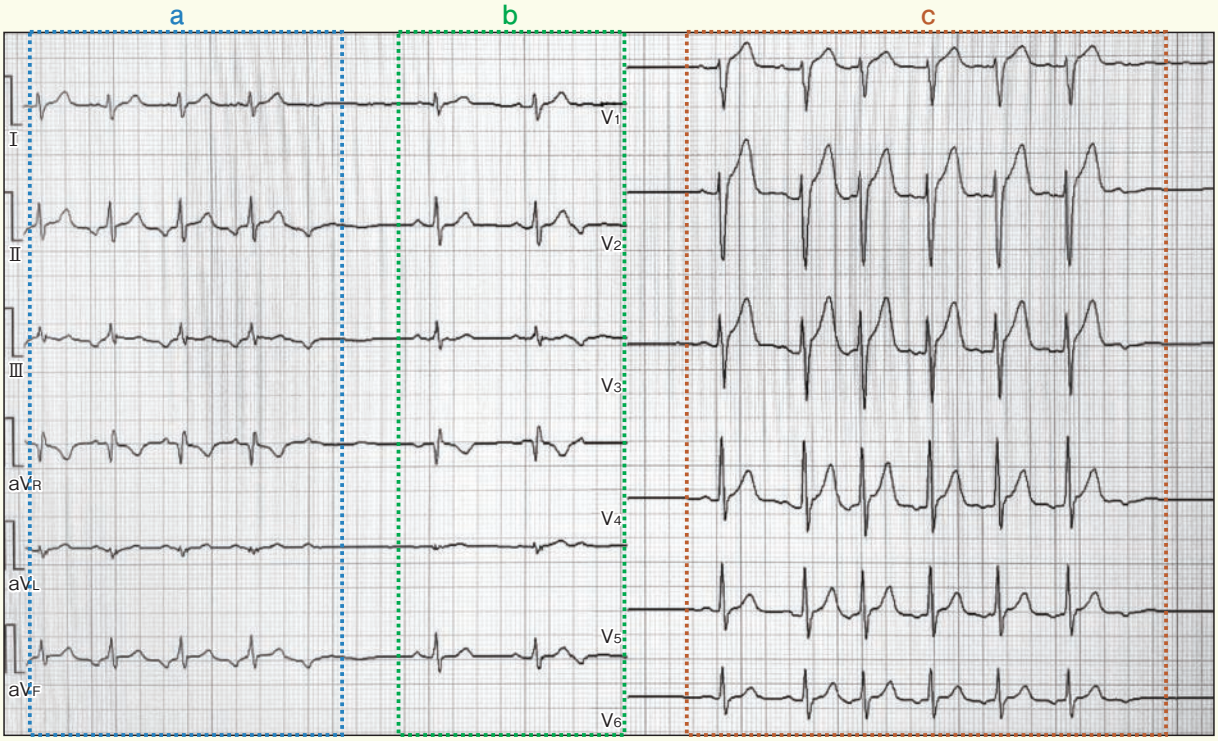
また、P4-P1間隔およびP3-P1間隔（↷）が1200 msecで一定である点も面白い所見である。ダイアグラムの洞結節部分に示すように、P2～P4の異所性興奮がいずれも逆行性に洞結節を興奮させ、その都度リセットしていると考えられ、P4が出現した場合はP4-P1間隔、P4が出なかった場合はP3-P1間隔が「洞周期」を表している可能性がある。

超難解-9　Question



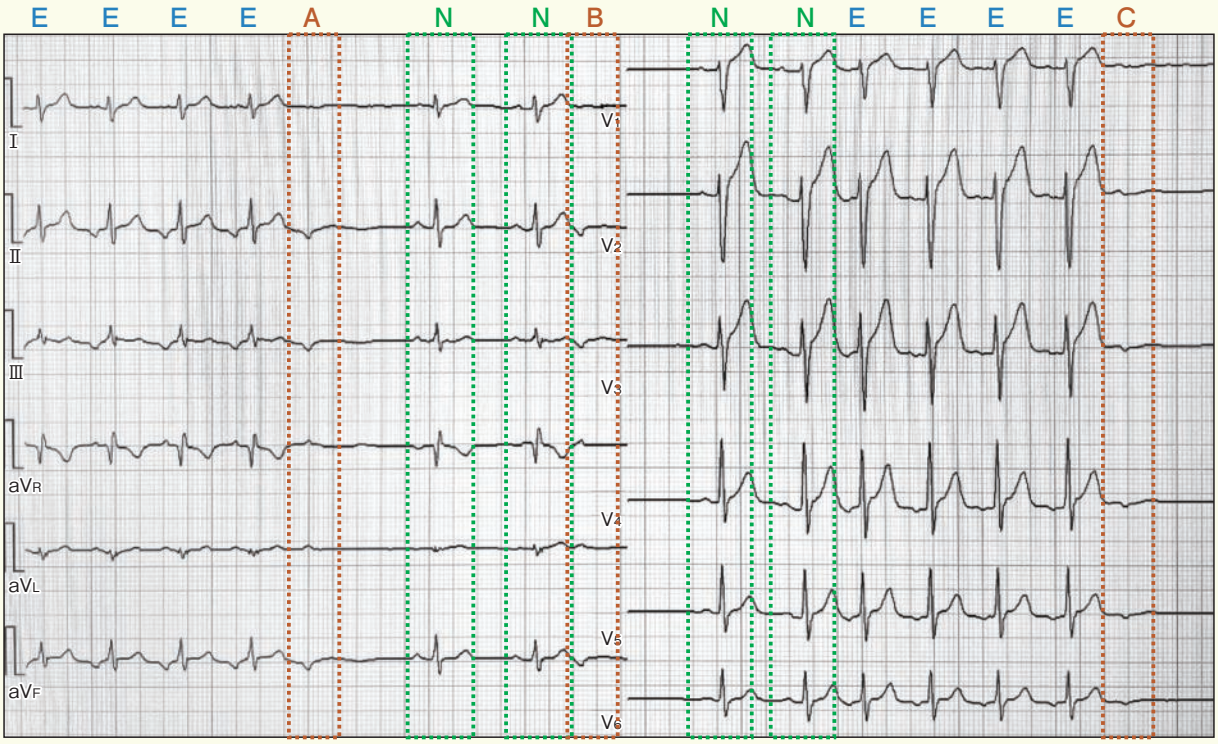
12誘導を6誘導ずつ連続記録。
25歳の男性。会社の健康診断における記録。自動診断では「確定できない不整脈」とされ、詳細な診断はなされなかった。

超難解-9　Answer①



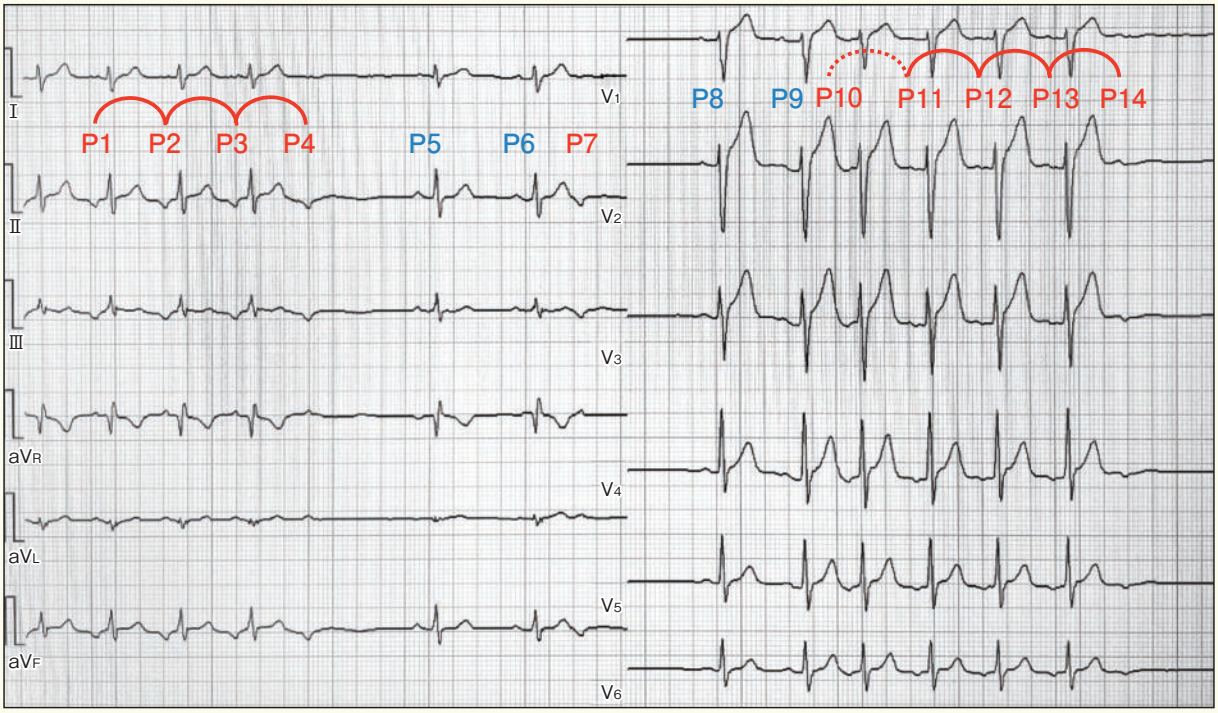
本例では12誘導を記録している間に、a→b→cとリズムが大きく変化していることがわかる。リズムが途中で大きく変わるのはコンピュータ診断が最も苦手とするところで、多くの場合、初めから診断をあきらめ、「確定できない不整脈」としてしまう。

超難解-9　Answer②



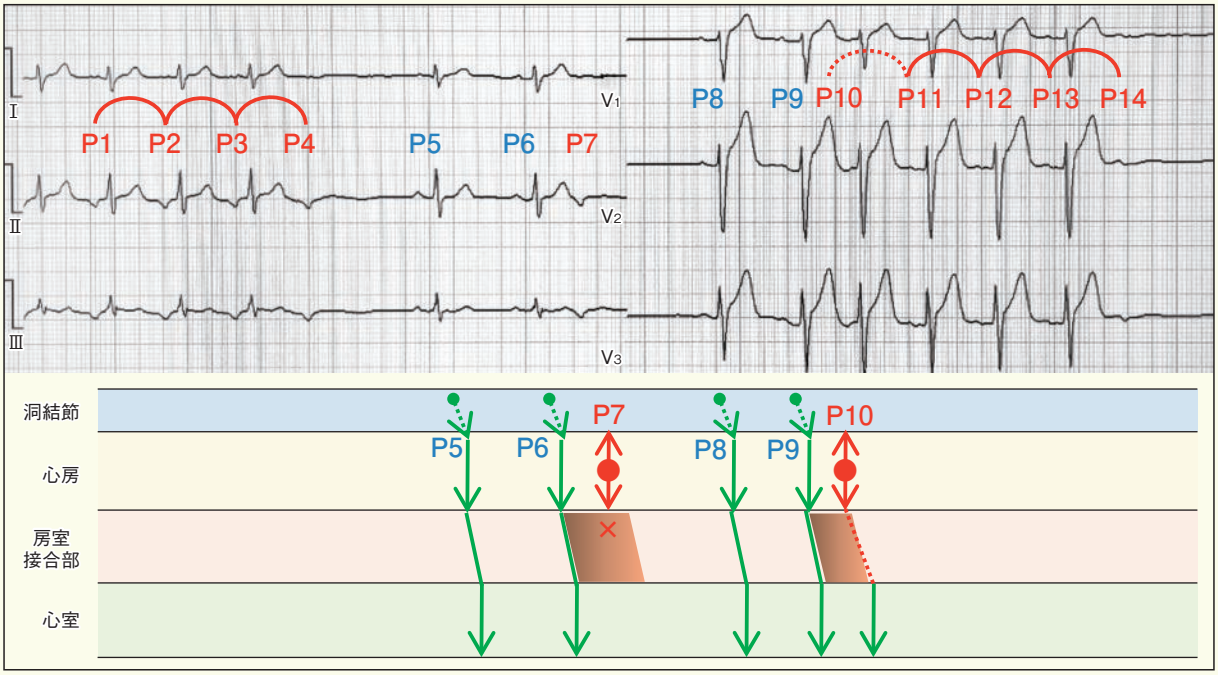
一目で区別がつく所見としてP波の形が2種類あり、aV_R誘導を除く、ほかのすべての誘導で陽性P波を示す「洞収縮」と思われる心拍（N）と、Ⅱ、Ⅲ、aV_F、V_4～V_6誘導で陰性P波の「異所性心房収縮」と思われる心拍（E）とが確認される。またA、B、Cは異所性P波のみでQRS波を伴っていない。

超難解-9　Answer③



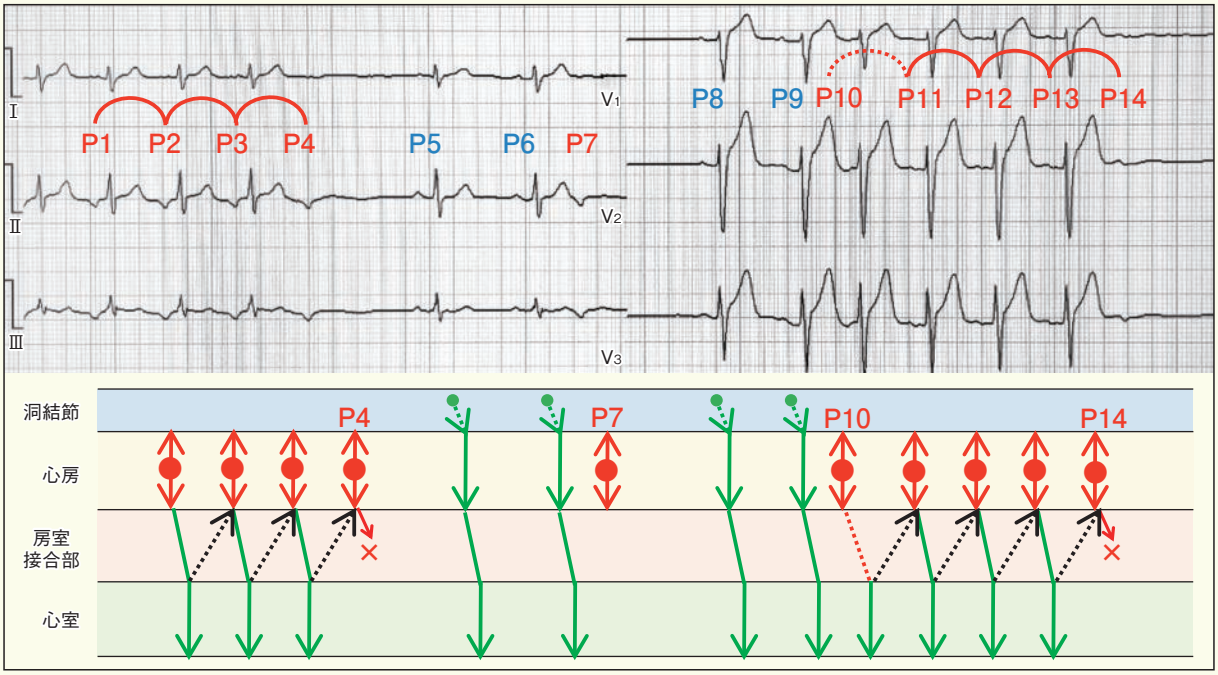
まず、P波に番号を振ってみよう。P1からP14までP波が確認され、P5、P6、P8、P9は洞性P波、P1～P4、P7、P10～P14は異所性P波のようである。洞性P波が連続する部分が洞周期であるが、P5-P6間隔は820 msec、P8-P9間隔は700 msecで、「洞不整脈」がありそうである。一方、異所性P波が連続するP1～P4およびP11～P14におけるPP間隔は、580 msecで一定であり、PR間隔＜RP間隔のlong RP'型「心房頻拍」と判断される。

超難解-9　Answer④



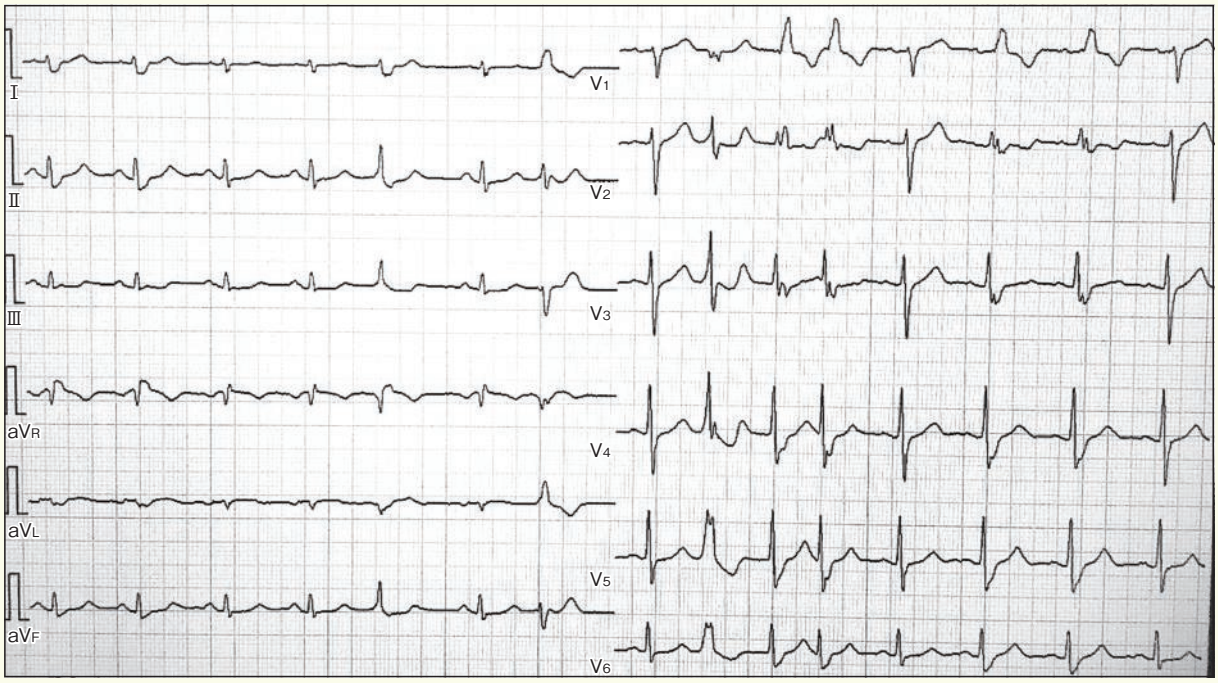
次に、P7とP10に注目してみよう。いずれも異所性P波で、先行するQRS波からの連結期はP7が360 msec、P10は先行収縮のT波に重なってよく見えないがやや短く300 msec程度のようである。ここで、P7は非伝導性期外収縮として終了しているのに対し、P10はその後に心房頻拍が起こっている。この違いはどのように説明できるであろうか。ラダーダイアグラムを書いてみよう。P7の先行周期であるP5-P6間隔は820 msecで、P10の先行周期であるP8-P9間隔の700 msecより長いことから、電気生理学的に見てP6による房室結節の不応期はP9によるそれよりも長いと考えられる（▬）。したがって、図のようにP7の興奮波は不応期に衝突して房室接合部で消滅するのに対し、P9の興奮波は短い不応期がほぼ終了しつつある房室結節に進入したのち、多少不応期の影響を受け、240 msecほどの時間をかけてゆっくりと心室に到達し、QRS波を形成したという説明が成り立つかもしれない。

超難解-9　Answer⑤



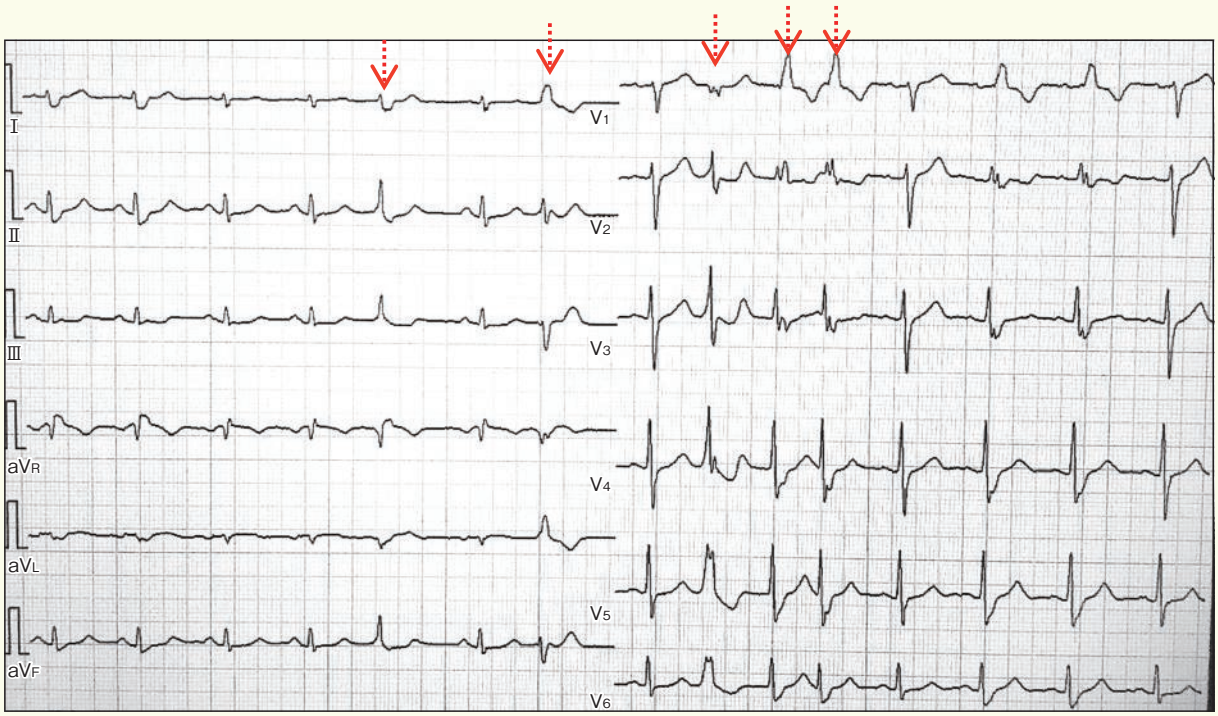
では本例における心房頻拍の機序を考えてみよう。心房頻拍の機序として「異常自動能」、「リエントリー」、「トリガードアクティビティ」などが考えられるが、頻拍中の心拍数が100/分を少し超えた程度で、さほど高度の頻拍ではない点、基本調律として洞頻脈がない点、P7のように洞周期に続く単発の期外収縮が確認される点から、「トリガードアクティビティ」は考え難いのではないだろうか。次に頻拍の始まり部分を見ると、早期収縮P10によって房室伝導が遅延し（⋱）、房室結節内にリエントリー回路が形成され、「リエントリー性long RP'頻拍」が生じたと考えてよいかもしれない。また、P4およびP14がQRS波を伴わないで終了している点から、頻拍終了時には興奮は房室結節近辺で消滅している（×）と考えられ、「異常自動能」というより、やはり房室結節内における「リエントリー」が頻拍の機序として最も可能性が高そうである。

超難解-10　Question



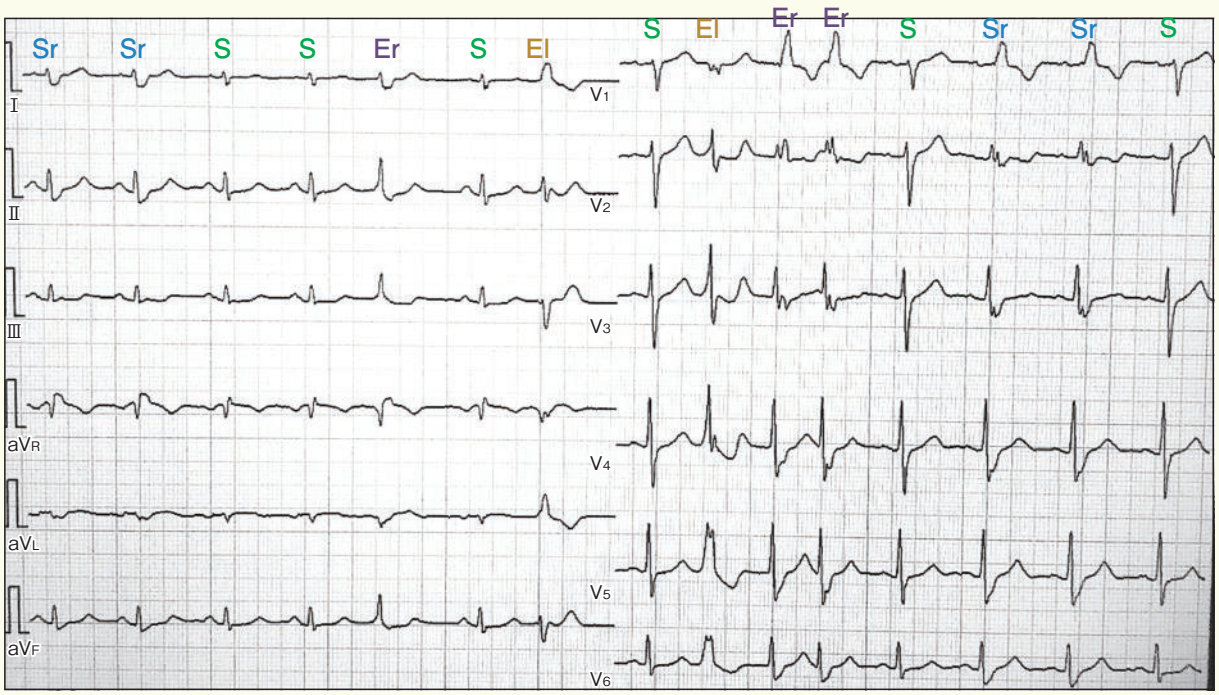
12誘導を6誘導ずつ連続記録。
71歳の男性。住民健診における記録。

超難解 - 10　Answer①



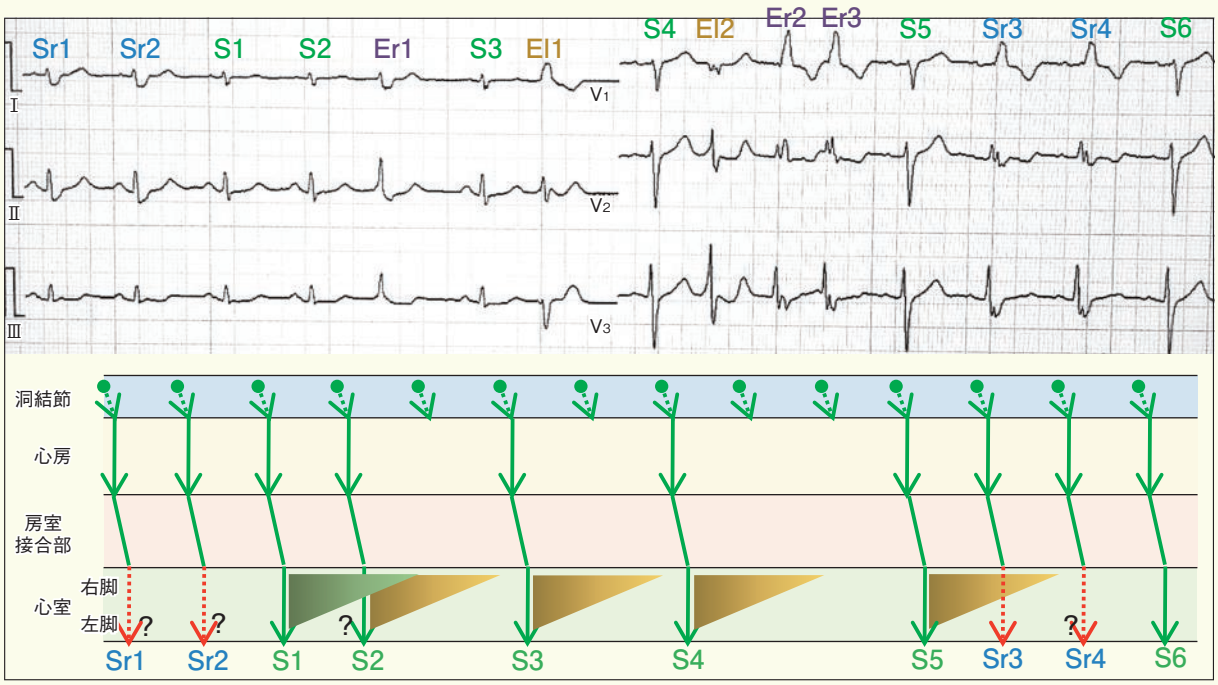
心室期外収縮が多発している（↓）ほか、一過性に右脚ブロックも出没しているようである。

超難解 - 10　Answer②



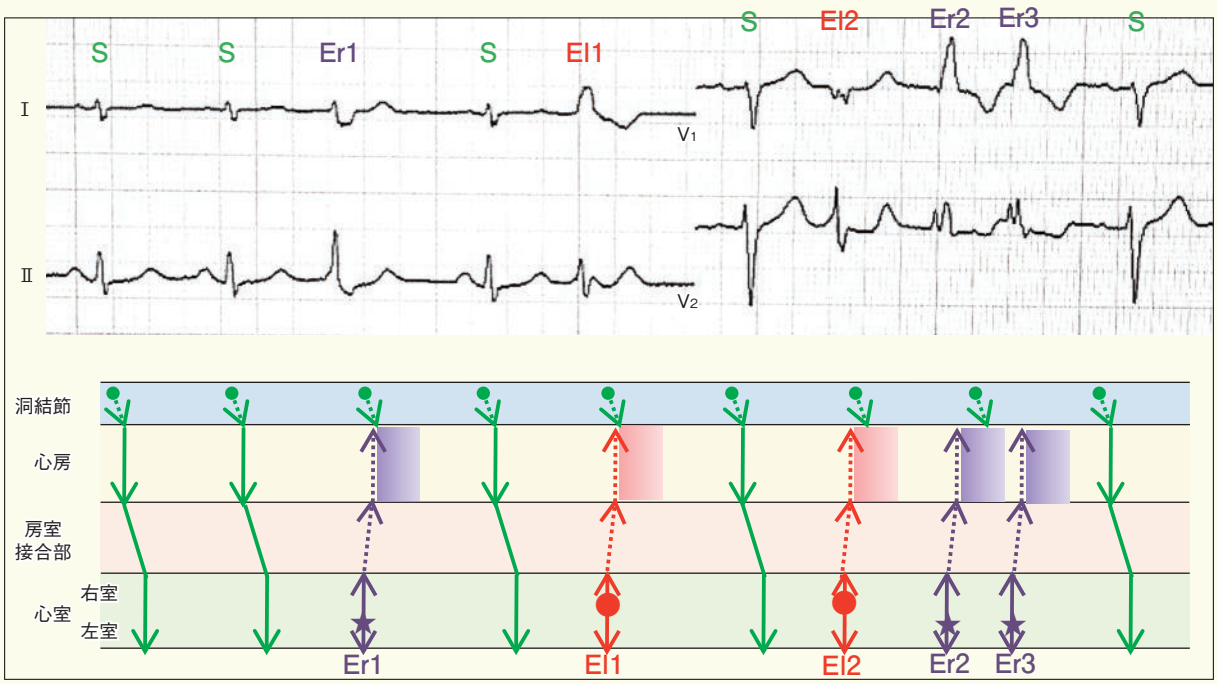
心拍を区別しやすくするために、15個のQRSに対して洞収縮にS（右脚ブロック型の場合はSr）、期外収縮にE（右脚ブロック型の場合はEr、左脚ブロック型の場合はEl）の印をつけてみた。

超難解 - 10　Answer③



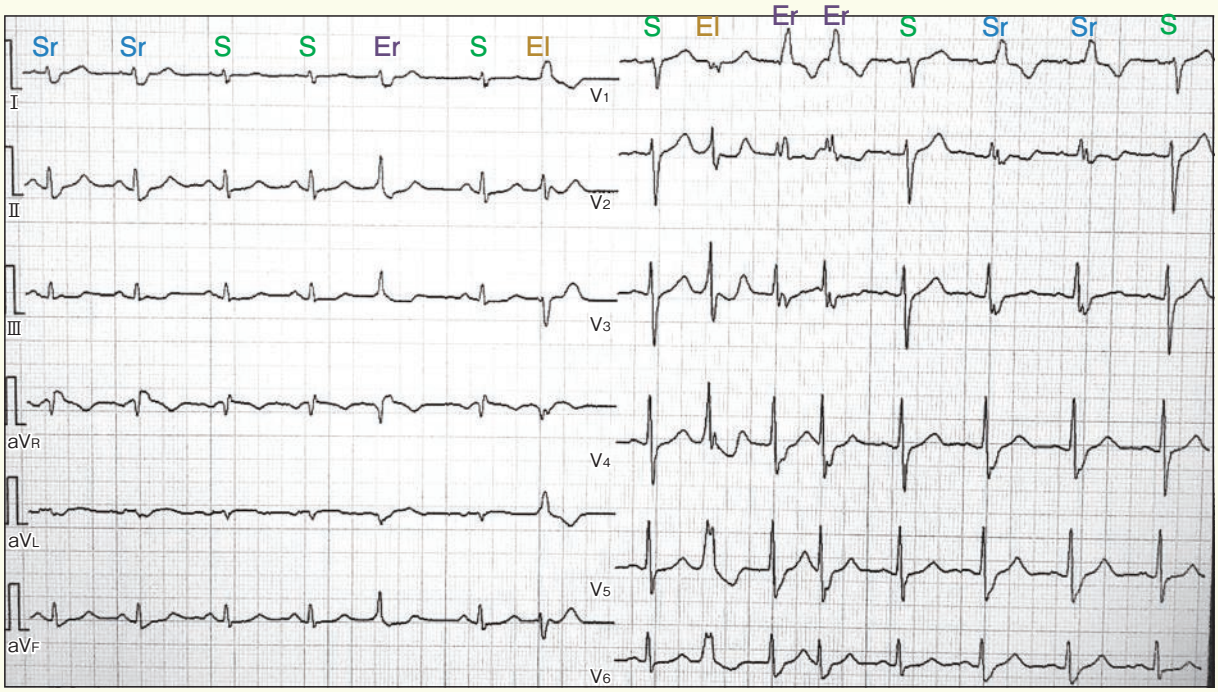
まずは、洞収縮から解析してみよう。洞結節同士の間隔、すなわちSr1-Sr2間隔、Sr2-S1間隔、S1-S2間隔、S5-Sr3間隔、Sr3-Sb4間隔、Sr4-S6間隔はいずれも720 msec前後で一定であることから、洞結節興奮は規則正しい周期で出現していると考えられる。では、なぜS1～S6のQRSは正常型で、Sr1～Sr4は右脚ブロック型なのであろうか。右脚の伝導が常時完全に途切れた状態ではないので、普通に考えれば不応期に遭遇した時はブロックが生じ、不応期を外れていれば正常に伝導するはずである。記録時間が短いので十分な情報が得られず、解析が難しいが、S3、S4、S5に関しては、先行する期外収縮による代償性ないし非代償性の休止期があるため、興奮が右脚に到達した際には不応期を脱しており（►）、通常に心室内興奮が起こったとすれば説明できそうである。またS1とS6は、先行収縮が右脚ブロックを呈したため右脚の不応期が解消され、正常に伝導したと考えられるが、S2はS1による不応期（►）に遭遇しているはずなのに、なぜ正常に伝導したのであろうか。一方、Sr3は、S5による不応期に遭遇して右脚ブロックを呈したとしてよさそうであるが、続くSr4は不応期を脱しているはずなのに、なぜ右脚ブロック型のままなのか、納得できる説明は難しい。またSr1、Sr2に関しては、先行収縮の情報がないため、解析不能である。

超難解 - 10　Answer④



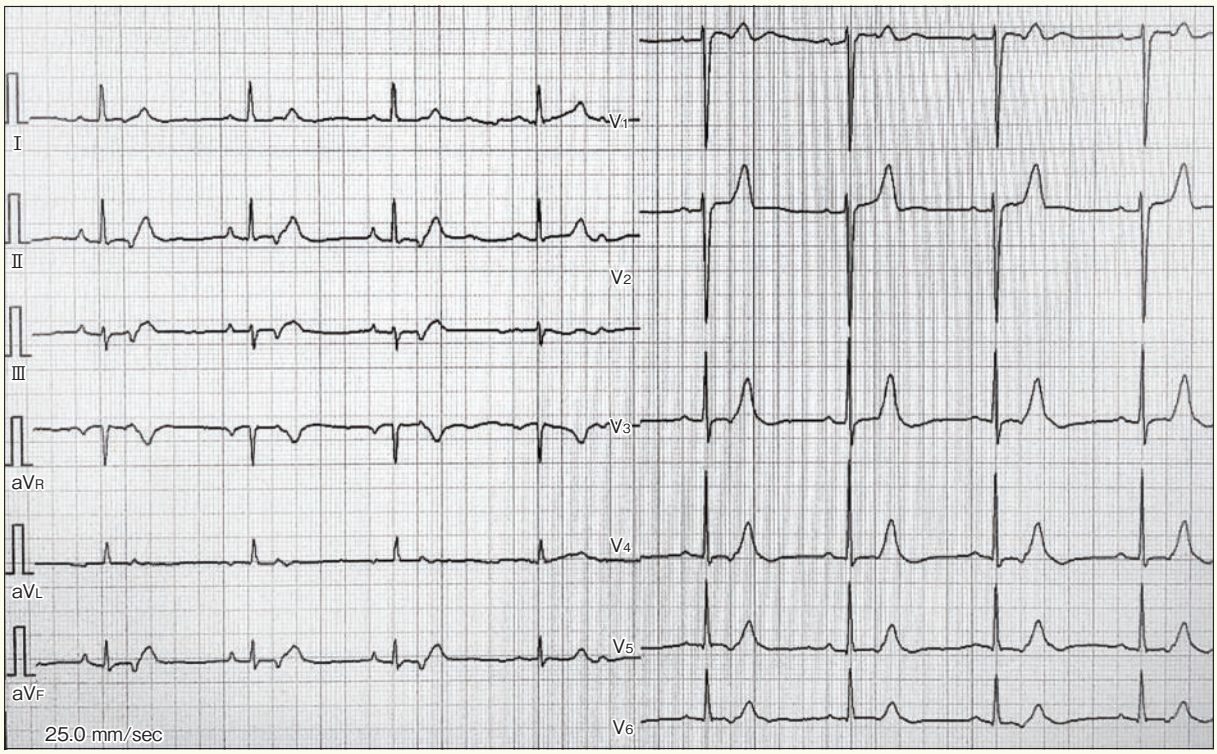
次に期外収縮を解析してみよう。Ⅰ、Ⅱ、V_1、V_2誘導の一部を切り出して拡大した。こちらはシンプルに考えて、Erは右脚ブロック下方軸型を示していることから、左室流出路起源の心室期外収縮、Elは左脚ブロック上方軸型であることから、右室心尖部起源の心室期外収縮と考えてよさそうである。なおEr1、El1はともに逆行性に心房を興奮させており、洞結節からの規則的な興奮が不応期に遭遇して消滅するため、代償性休止期をもたらしていると考えられる。El2による代償性休止期は、途中でEr2が出現したことによって、次の洞収縮まで2回連続でスキップしたと考えてよいかもしれない。なお、連発性に出現したEr3は、洞周期に影響を及ぼしていないようである。

超難解 - 10　Answer⑤



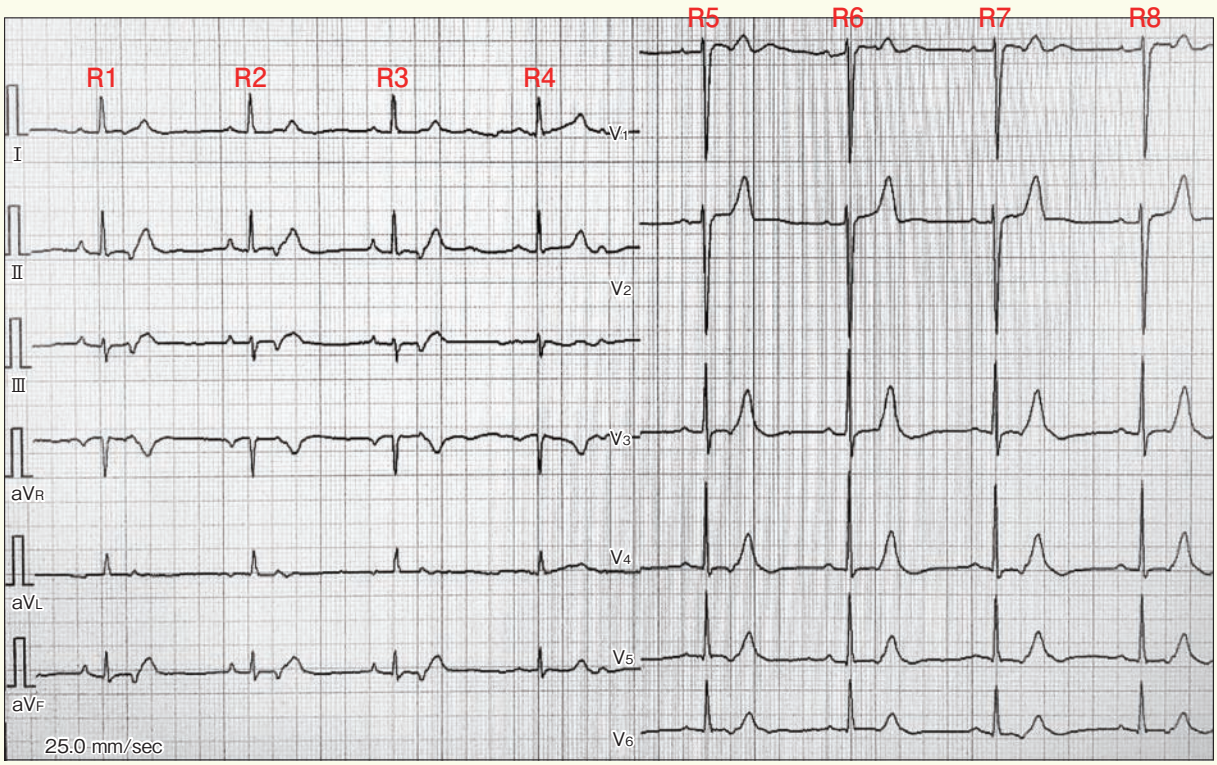
もう一度、本例の心電図全体を見直してみる。洞調律で刺激伝導系を正常に伝播した心拍S、右脚ブロックを呈した心拍Sr、左室流出路を起源とする心室期外収縮Er、右室心尖部を起源とする心室期外収縮Elの4種類の心拍が入り乱れて出現している様子を何とか解析することができたが、その詳細な機序に関しては十分な説明が困難な部分も少なくない。

超難解 - 11　Question



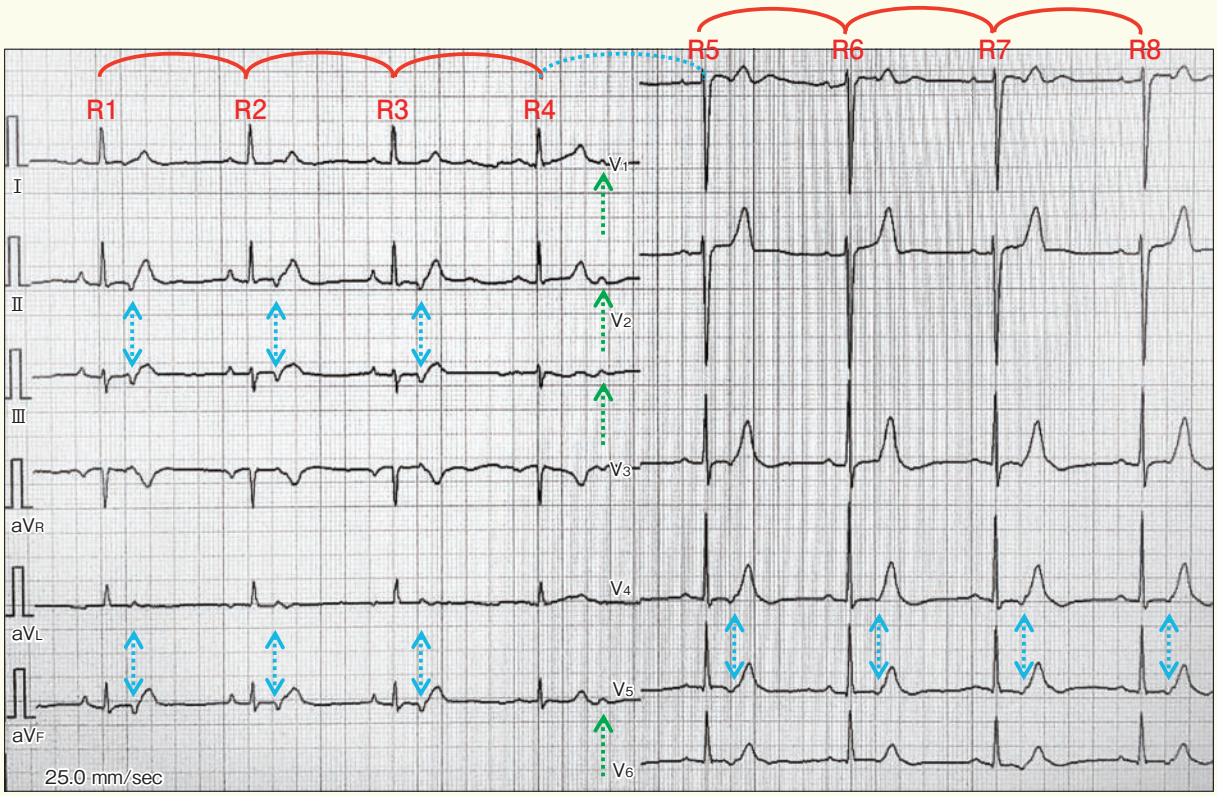
12誘導を6誘導ずつ連続記録。
86歳の女性。高齢者健診における記録。自動診断では「洞徐脈」とされていた。

超難解 - 11　Answer①



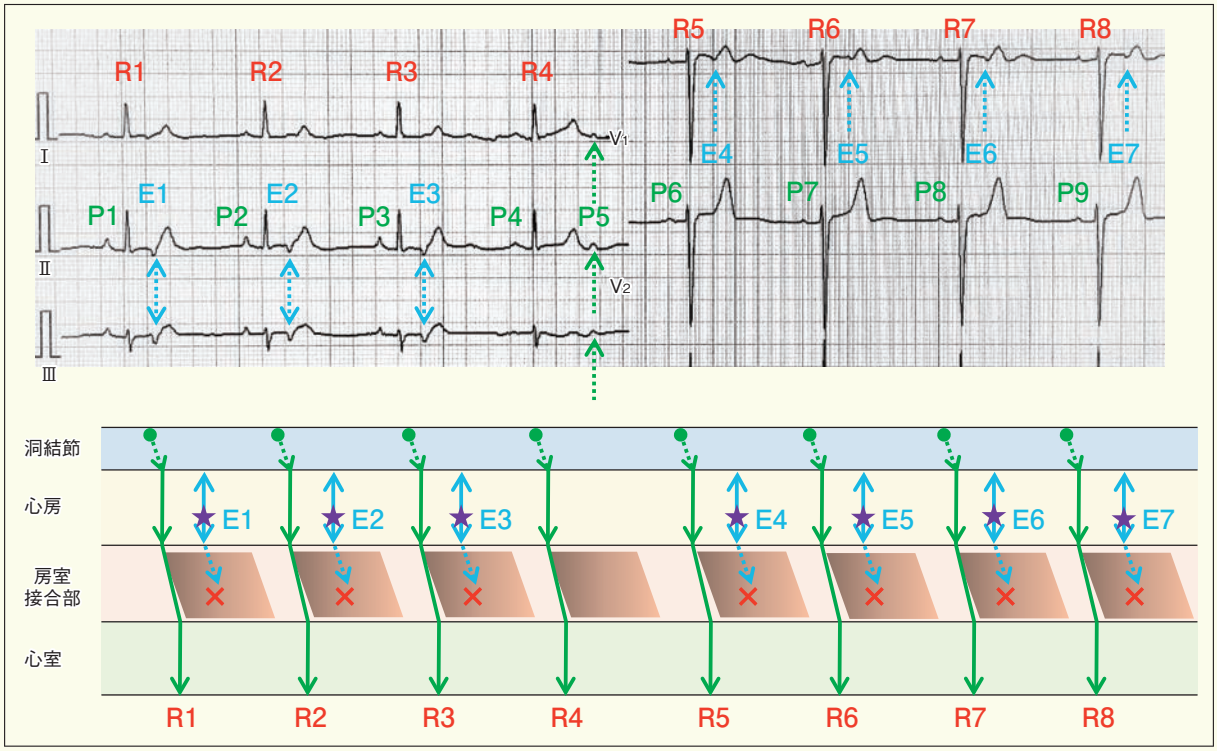
RR間隔は約1200 msecで、心拍数50/分程度の洞調律に見えるが……。

超難解 - 11　Answer②



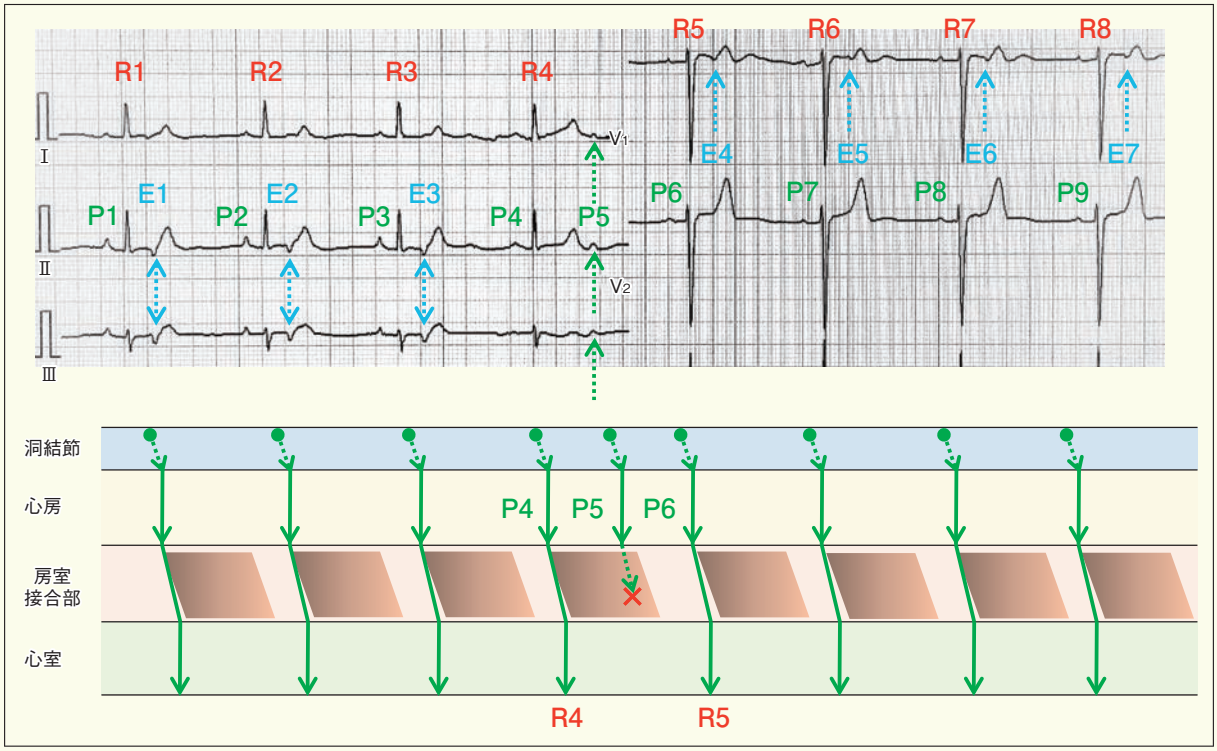
R4-R5間隔のみは1400 msecで、ほかより長い。また青矢印（↕）の小さな下向きの信号は何であろうか。よく見るとR4とR5の間には逆に小さな上向きの信号（↕）が確認される。

超難解 - 11　Answer③



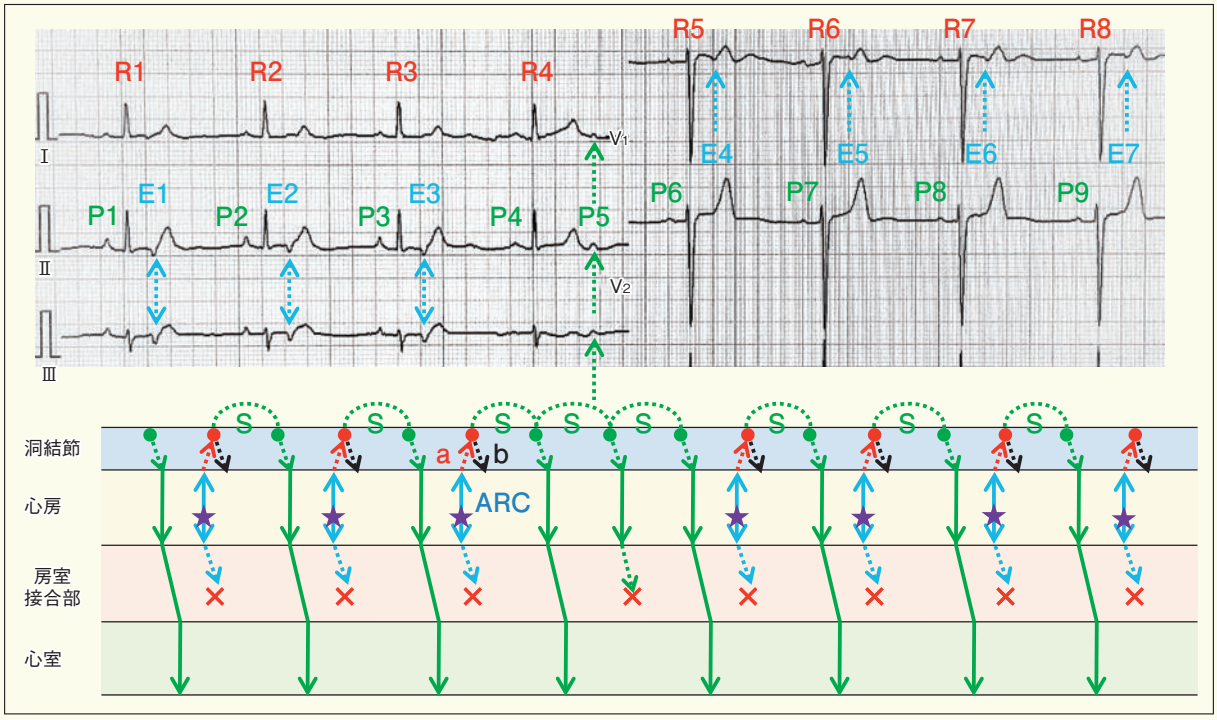
ラダーダイアグラムを書いてみよう。まずR1～R8は、陽性P波が先行しPR間隔180 msec程度で、「正常洞収縮」（↓）と判断してよさそうである。またE1～E7は心房下部に起源を有する異所性心房収縮であるが、連結期が短いため下行した興奮は早期に房室接合部に到達し、不応期に遭遇して途絶し「非伝導性心房期外収縮」の所見を呈している。

超難解 - 11　Answer④



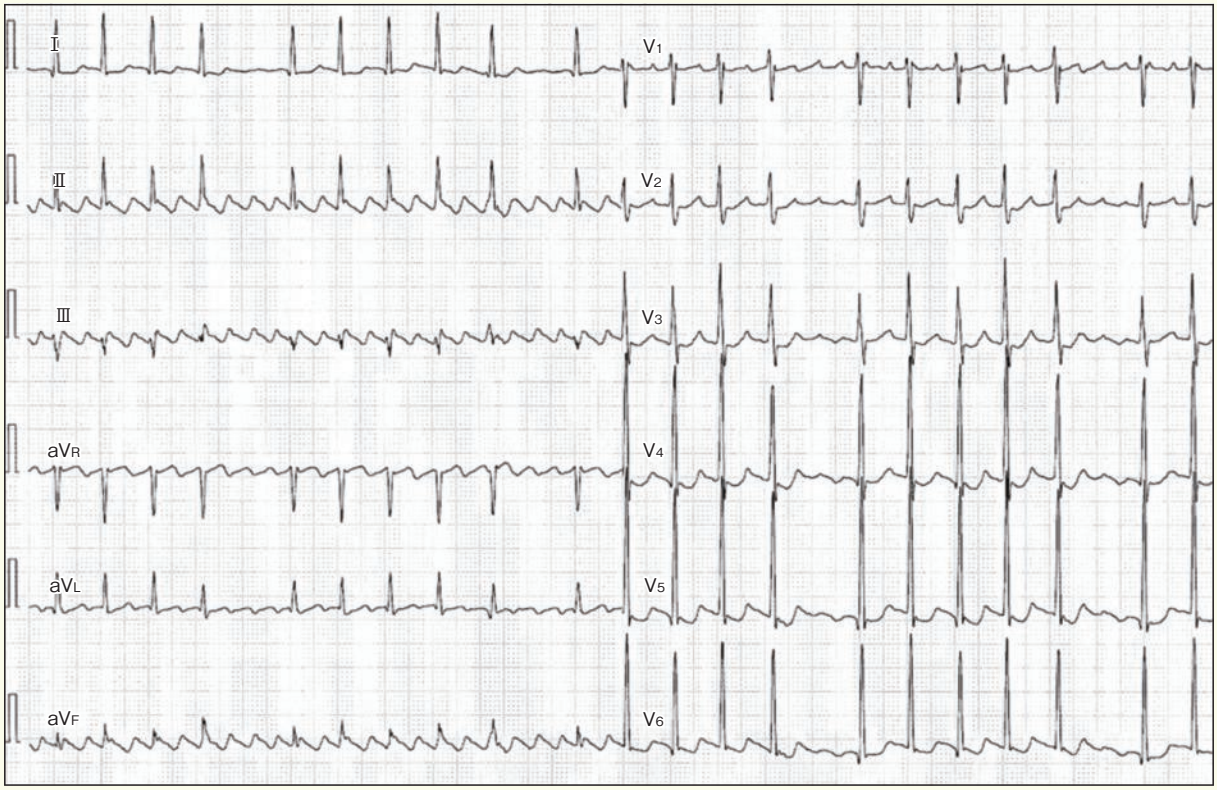
では、RR間隔が長いR4、R5部分はどのように考えたらよいであろうか。関連する部分のP波はP4、P5、P6であるが、いずれも陽性で洞結節由来と考えてよいであろう。また、P4-P5＝P6-P6＝700 msecで、これが本例の基本洞周期と判断される。なお、P5が房室接合部に到達したときには、まだP4による不応期が残存しており、ブロックが生じたと考えてよいであろう。すなわち、この部分に関しては2対1房室ブロックと判断される。

超難解 - 11　Answer⑤



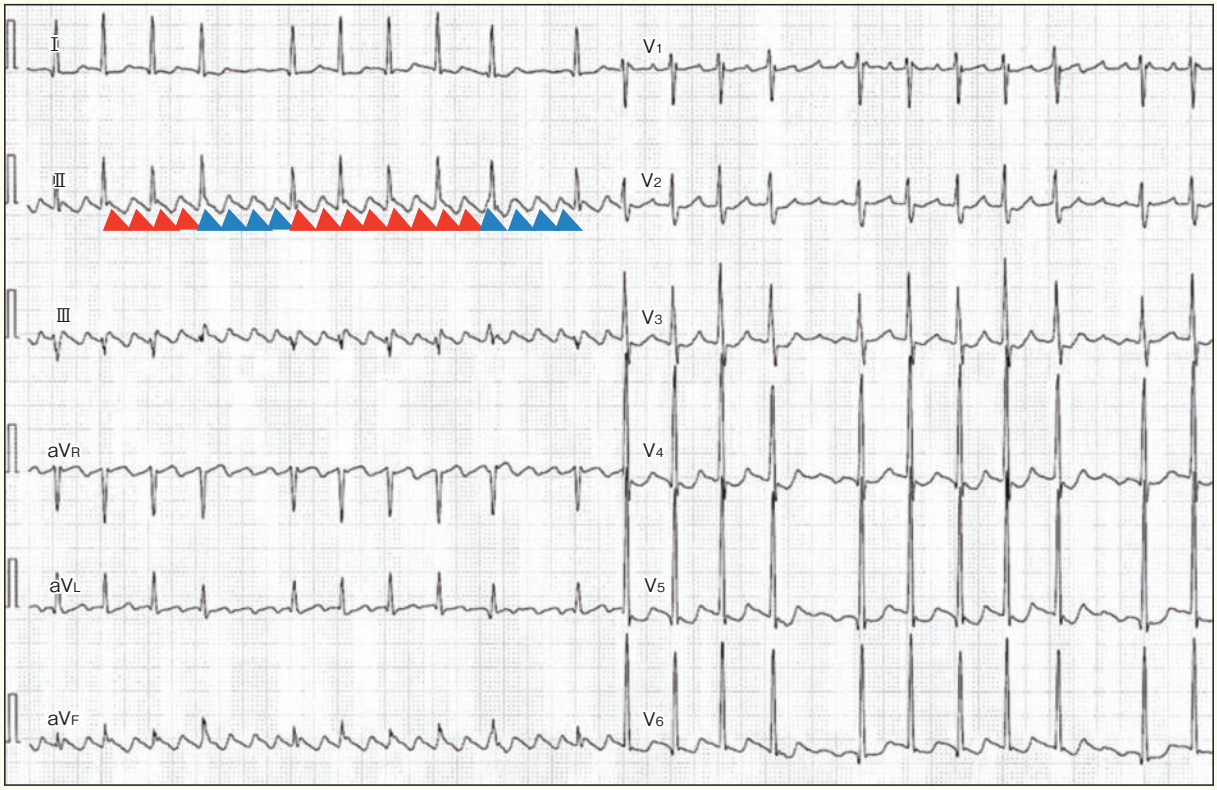
これらの解析結果を総合してみると、さらに興味深い所見を得ることができる。E1～E7の心房期外収縮による興奮が、それぞれ逆行して洞結節を興奮させてリセットしている（●）と考えると、ラダーダイアグラムに示す非代償性期外収縮の原理から、E1-P2、E2-P3などの心房回復周期（ARC）＝洞周期（S）＋心房－洞結節往復時間（a+b）であることがわかる。この関係から、心房→洞結節伝導時間と洞結節→心房伝導時間が等しいと仮定すると、洞房伝導時間（SACT）＝（ARC－S）/2の式が成り立ち、洞房伝導に要する時間を計算で求めることができる。ちなみに本例ではSACT＝（800－700）/2＝50 msecと算出される。心電図を細かく観察し、適切に解析することによって得られる情報は少なくない。

超難解 - 12　Question



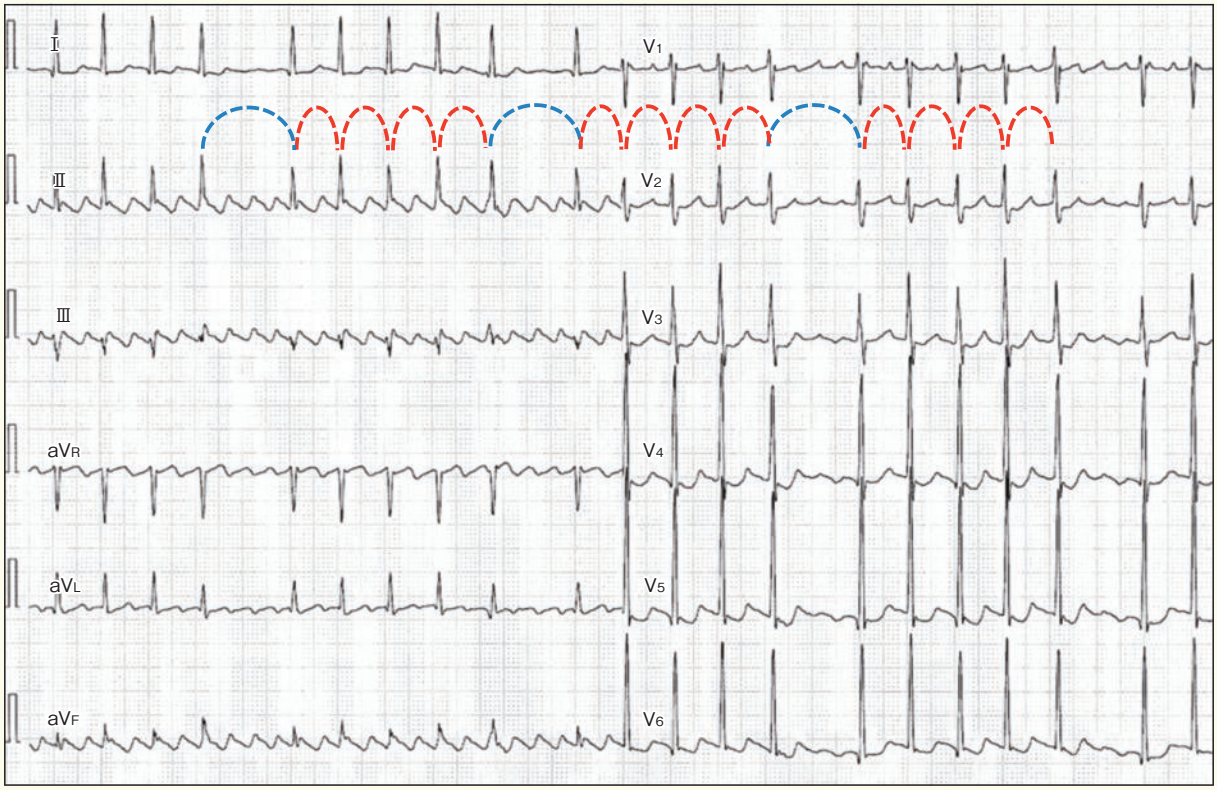
12誘導を6誘導ずつ連続記録。
75歳の男性。動悸を主訴に救急来院した際の記録。

超難解 - 12　Answer①



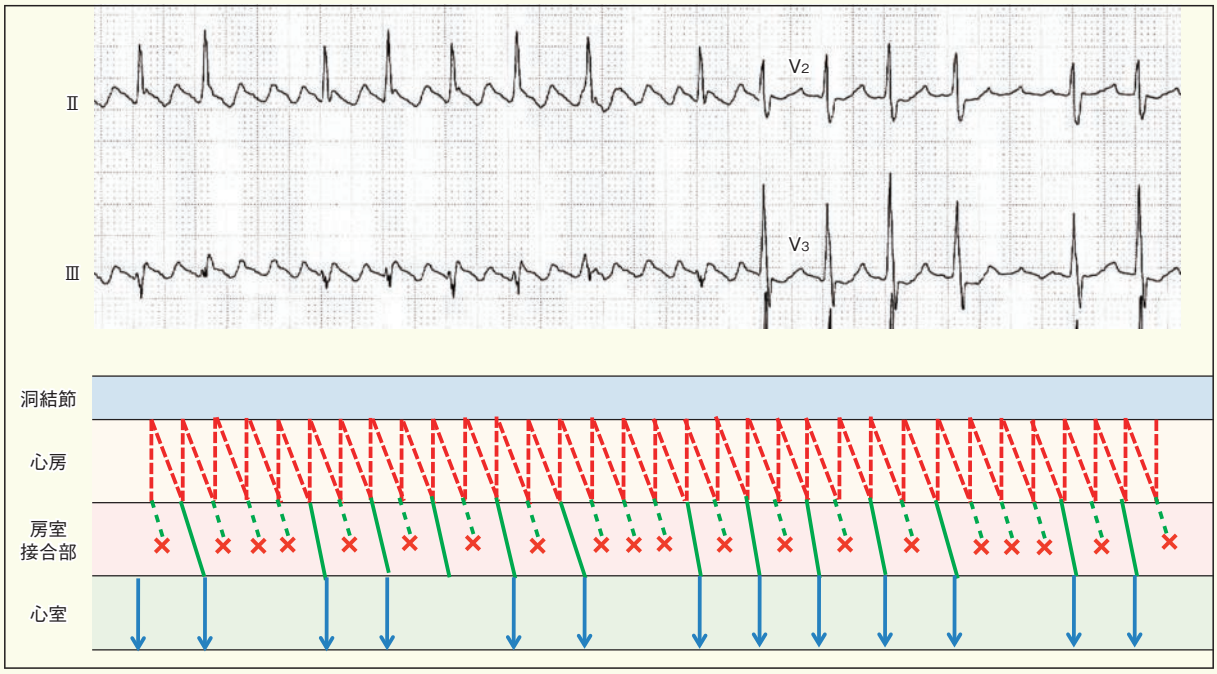
Ⅱ、Ⅲ、aVF誘導で基線上に規則的な鋸歯状波（▲▲）を認めることから、基本調律は通常型心房粗動で2対1（▲）ないし4対1伝導（▲）を示し、心拍数約140/分の頻脈を呈している。心房粗動の際には比較的よく見られる所見であるが、よく見るとほかにもいくつか面白い所見がある。

超難解 - 12　Answer②



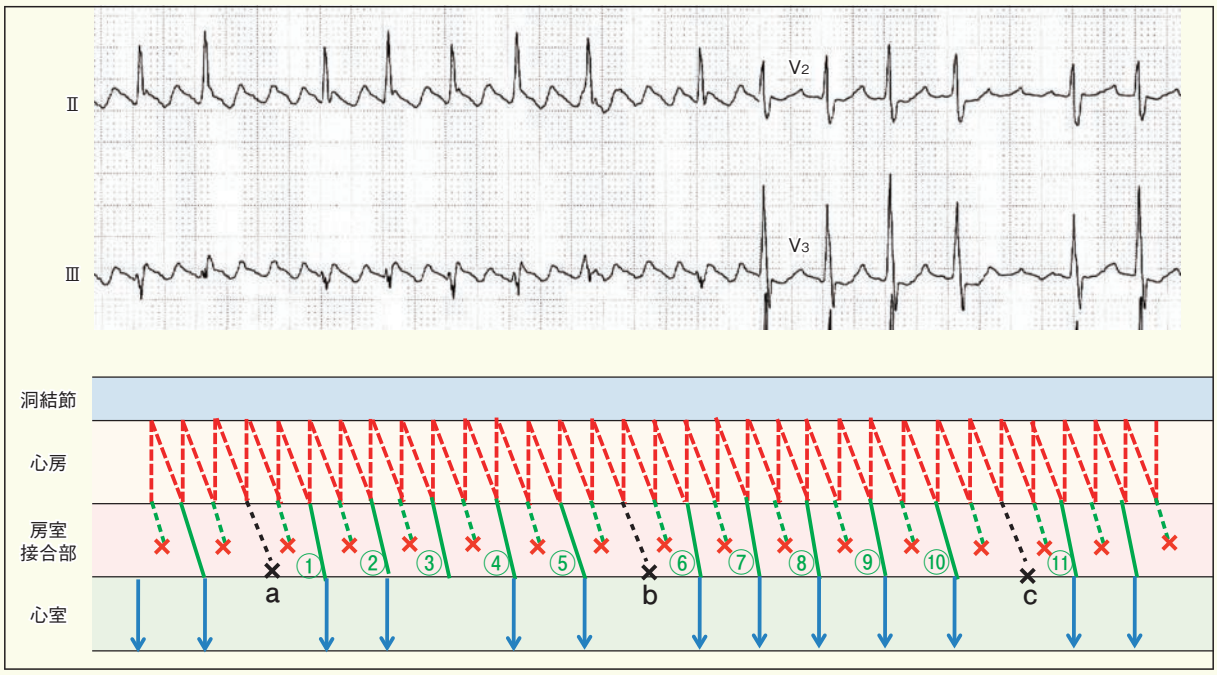
まず、粗動波の伝導パターンであるが、2対1（ ） が4回続いたのち、4対1（ ） が1回起こるというリズムを繰り返しており、結果的に上図に示すように5段脈とでもいうべき様相を呈していると判断される。このような不思議なリズムを呈する機序はどのように考えられるであろうか。

超難解 - 12　Answer③



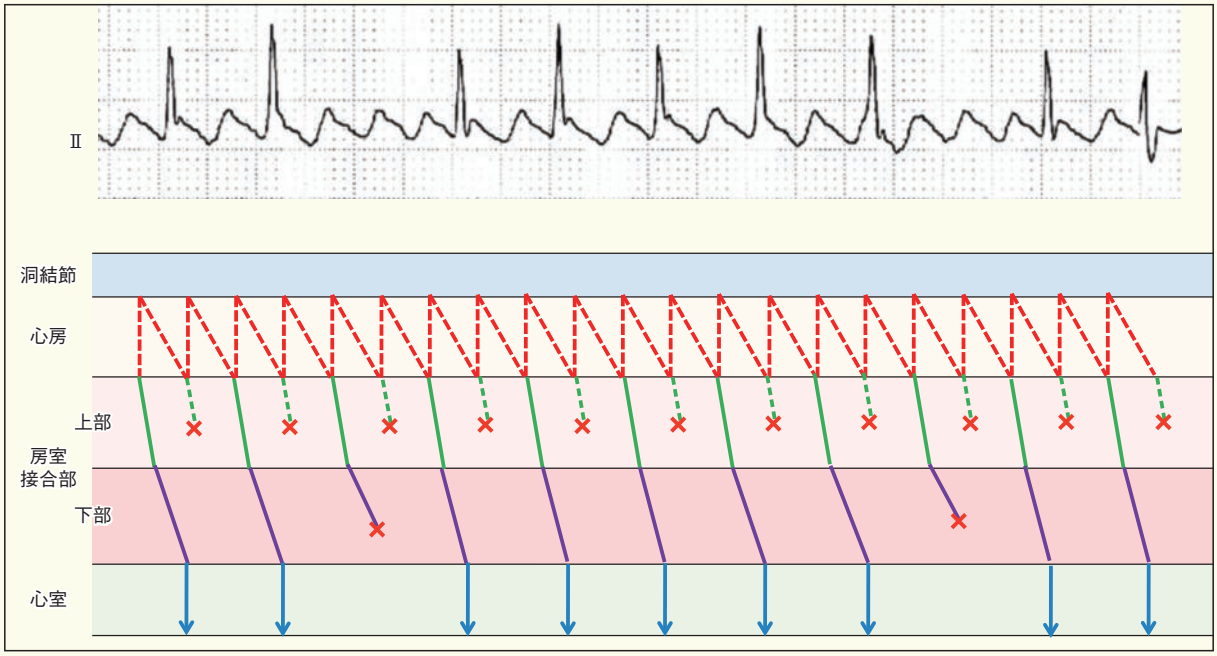
Ⅱ、Ⅲ、V_2、V_3誘導の一部を拡大して、ラダーダイアグラムを書いてみよう。心房内は、興奮が三尖弁輪を反時計方向に回転するマクロリエントリーによる通常型心房粗動で、房室接合部に入り込んだ興奮は2対1ないし4対1で伝導系を下行し、心室興奮を形成していると判断される。普通に考えれば、2対1伝導が持続してもよさそうであるが、なぜ規則的に4対1伝導が現れて5段脈様の所見を呈するのであろうか。

超難解 - 12　Answer④



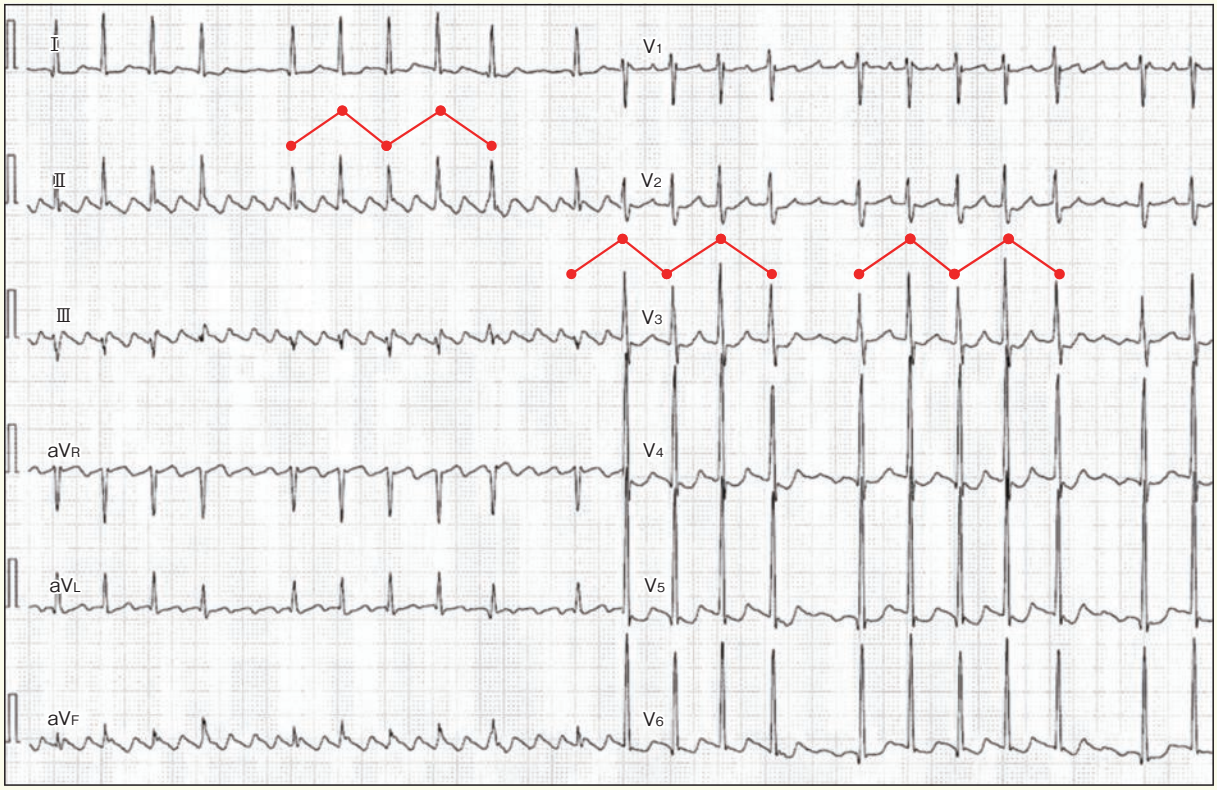
心房から心室へ興奮が伝導していると判断される心拍①～⑪に注目し、先行する粗動波のピークからR波までの時間（房室伝導時間）を細かく計測してみると、①150 msec、②155 msec、③160 msec、④180 msec、⑤220 msecと徐々に延長、⑥では150 msecに短縮し、再び⑦155 msec、⑧160 msec、⑨180 msec、⑩220 msecと延長、⑪で150 msecに短縮というリズムを作っていることがわかった。すなわち、ウェンケバッハ周期である。通常のウェンケバッハ周期は連続する心拍で起こるもので、本例のように1拍おきの心拍でこのような現象が起こることが生理学的に正しいのかどうかわからないが、このように考えることが許されるのであれば、最大延長後a、b、c部分で心室への伝導が途切れて周期的に4対1伝導をきたした結果、5段脈を呈したといえるかもしれない。

超難解 - 12　Answer⑤



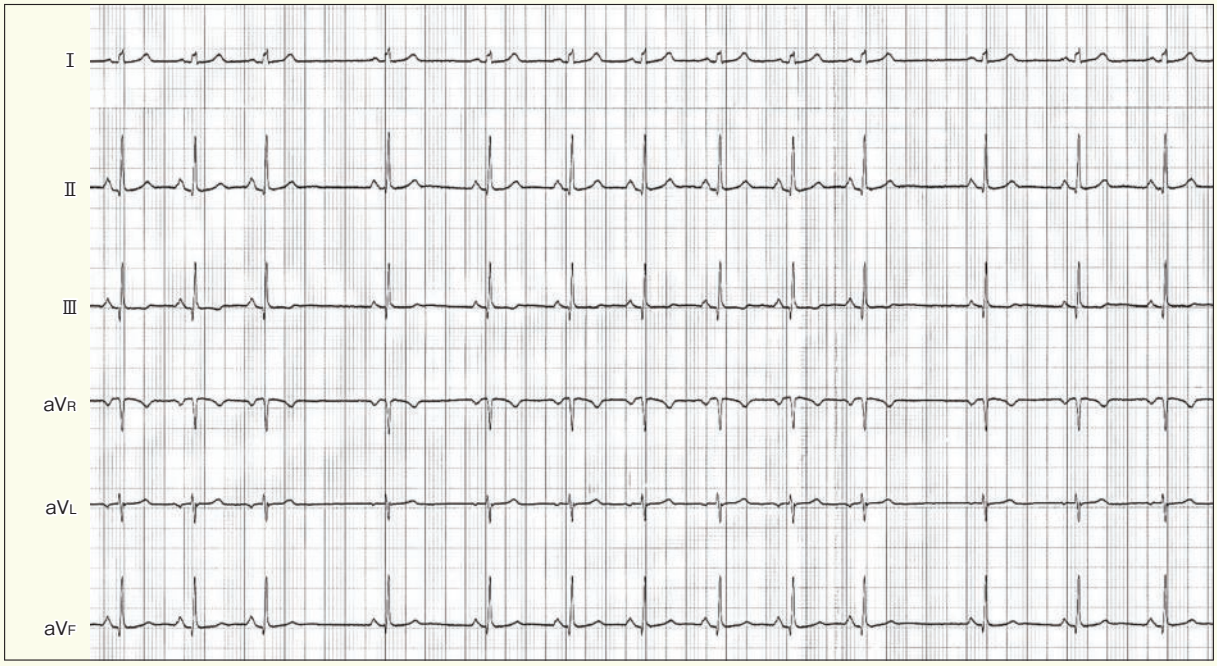
Ⅱ誘導の一部を拡大し、前述の5段脈の機序をもう少し理論的に考えてみよう。解剖学的に正しいかどうかは自信がなく、机上の空論かもしれないが、房室接合部を機能的に上部下部の二つに分け、ラダーダイアグラムに示すように電気生理学的に上部は2対1伝導、下部はウェンケバッハ周期を示す伝導特性を有すると考えることにより、心房粗動中の5段脈を説明できるかもしれない。

超難解 - 12　Answer⑥



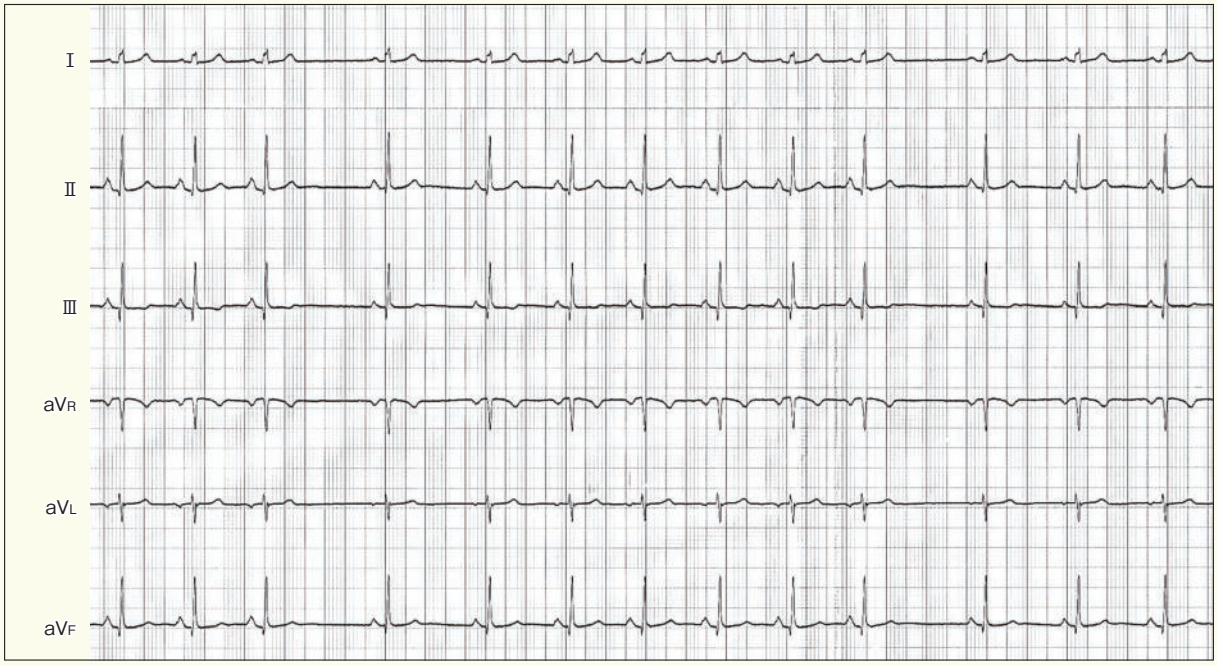
本例で観察される興味深い点のもう一つが、R波高の交互変化、すなわち交互脈（pulsus alternans）である。Ⅱ誘導およびV3誘導あたりで確認されるように、5段脈の間R波高が低→高→低→高→低と規則的に変化している（ ）。本例の交互脈を、電気的交互脈（刺激伝導系内の興奮伝導様式が1拍ごとに交互に変化することによって引き起こされる波形の交互変化）のみで説明するのは難しそうである。むしろ、心房粗動で頻脈が持続することに伴って心筋細胞内のCa動態が変化し、心収縮が1拍ごとに強弱を繰り返す機械的交互脈で、心臓の動きが交互に変化することを反映した所見といってよいかもしれない。

超難解 - 13　Question



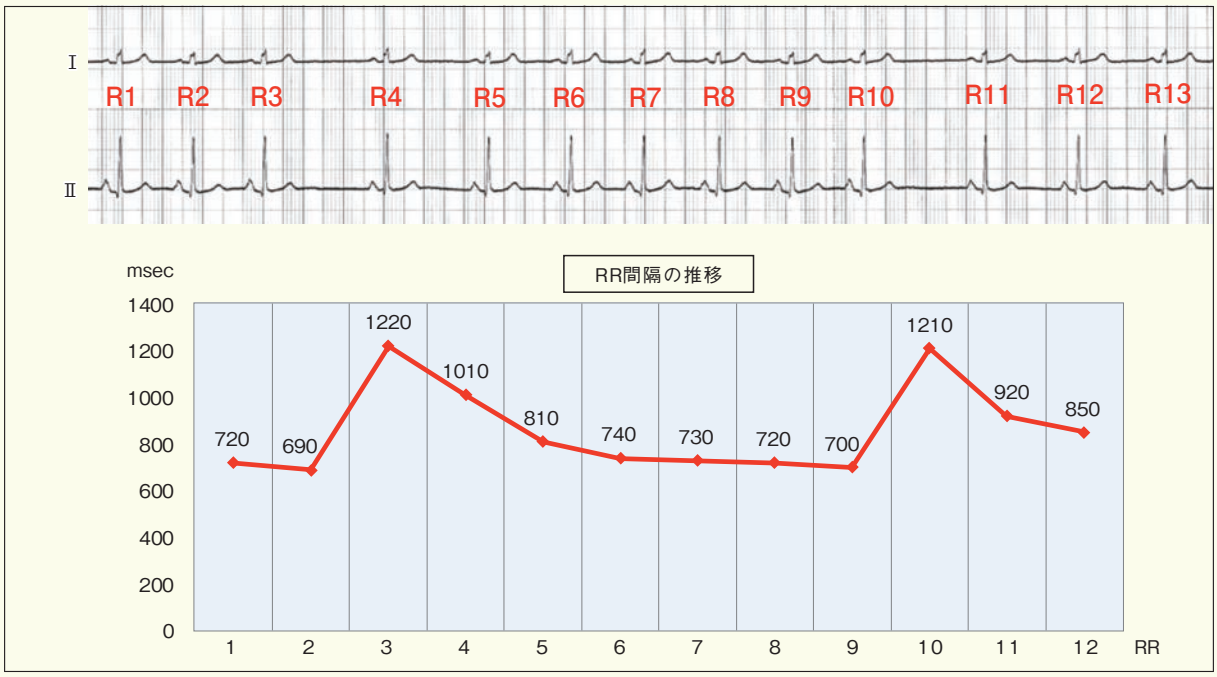
四肢6誘導の連続記録。
24歳の女性。動悸を主訴に来院した際の記録。

超難解 - 13　Answer①



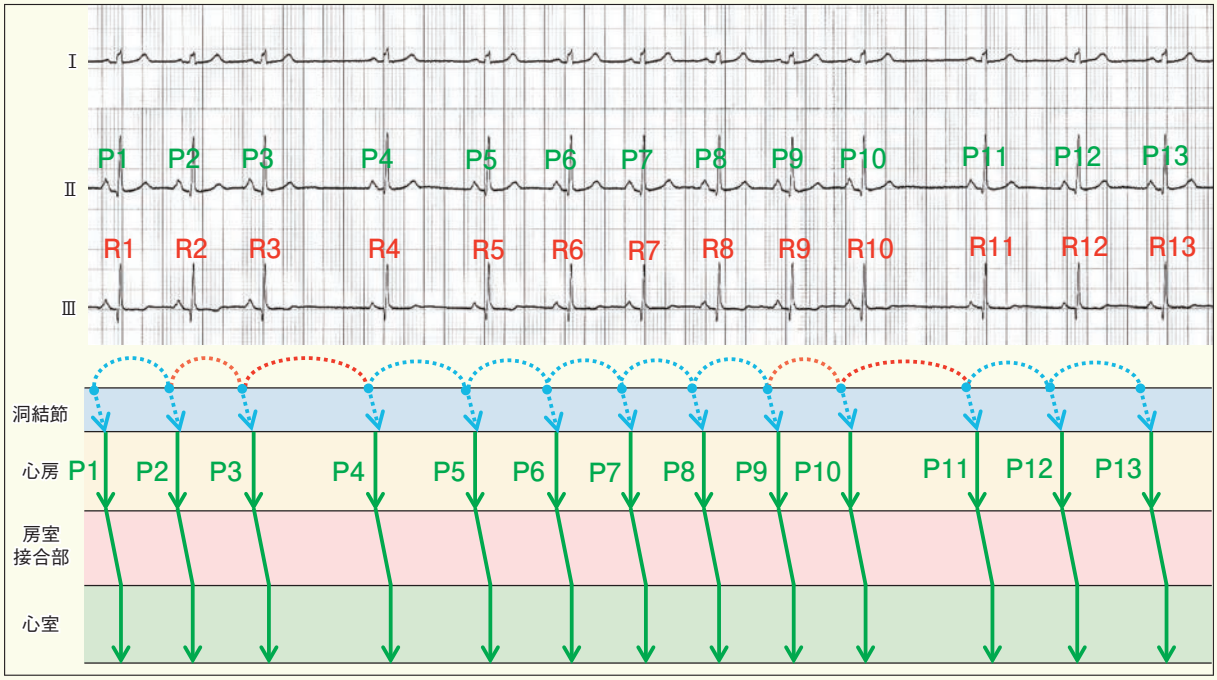
当初は単なる洞不整脈で特に臨床的意義はないと判断されていた。しかし後でよく見ると、単なる洞不整脈としては少し違和感があり、次の解析を行った。

超難解 - 13　Answer②



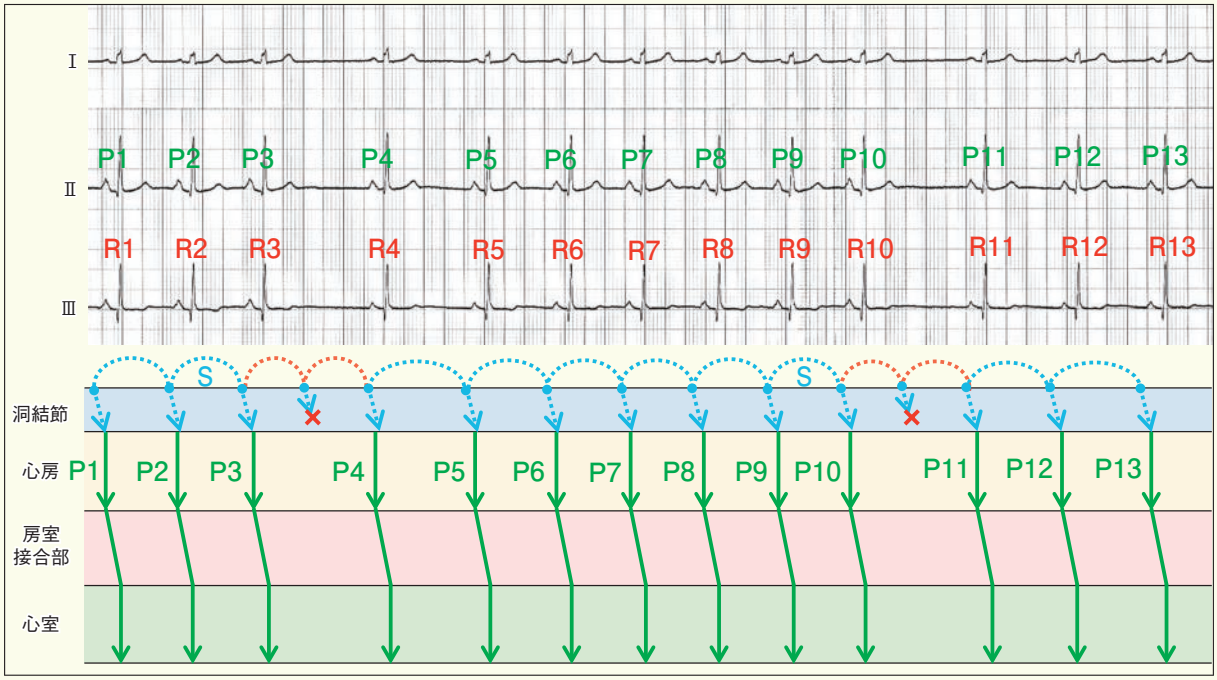
PR間隔は150 msec前後でほぼ一定であるので、RR間隔を用いて解析を試みた。R1からR13まで13個のQRSが記録されており、順次RR間隔を計測してその推移をグラフ化した。すると、漸次短縮～突然延長～漸次短縮～突然延長というリズムがあることがわかる。呼吸の影響による洞不整脈の場合は、呼吸の周期に合わせて緩やかに延長・短縮を繰り返すのが一般的で、上記のような態様を示すことはなさそうである。では、このリズムの機序をどのように考えたらよいのであろうか。

超難解 - 13　Answer③



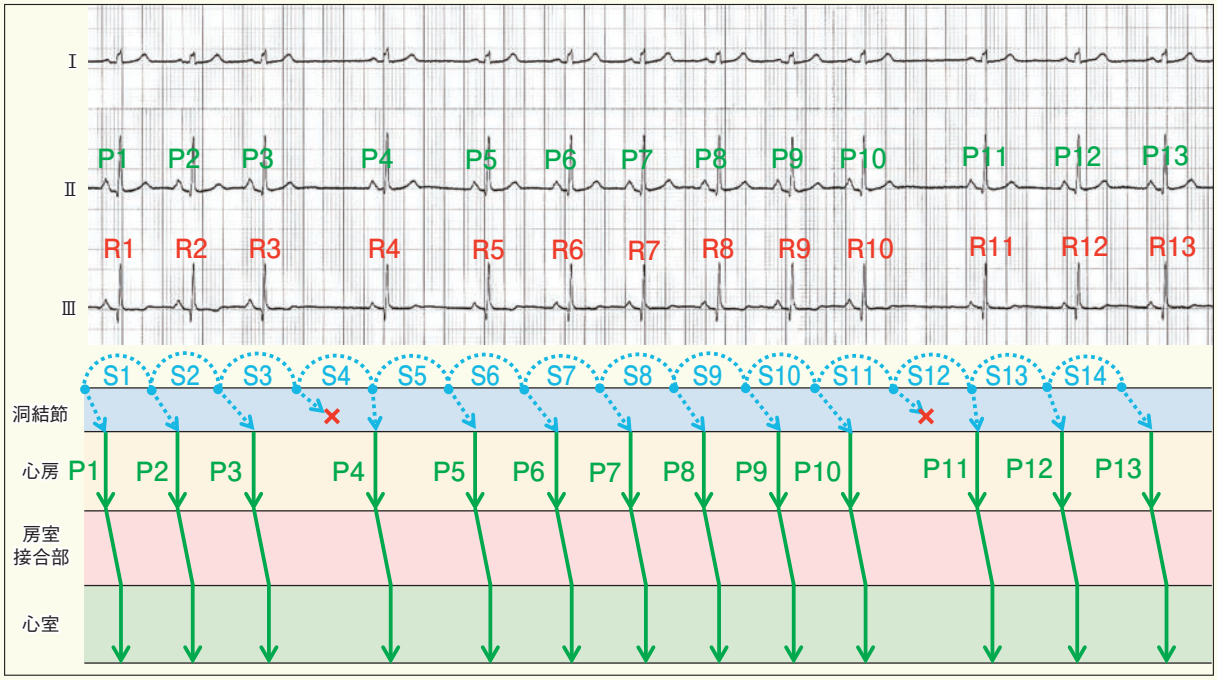
ラダーダイアグラムを書いてみよう。まず、単なる洞不整脈と考える場合を示すが、前の図でも示したようにPP間隔が最短のP2-P3から突然最長のP3-P4になる部分や、P9-P10からP10-P11になる部分の突然の変化が、呼吸の影響による迷走神経を介した生理的変動としては不自然である。

超難解 - 13　Answer④



では、上の図のように最も短いP2-P3間隔をほぼ洞周期と仮定して、P3、P4およびP10、P11の間で突然洞房ブロックが起こったとは考えられないであろうか。通常の洞房ブロックだとすれば、脱落した部分は洞周期の2倍（P3P4＝P2P3×2）になるはずであるが、本例では明らかに2倍より短い（P3P4＜P2P3×2）ことから、この考え方は否定的である。

超難解 - 13　Answer⑤

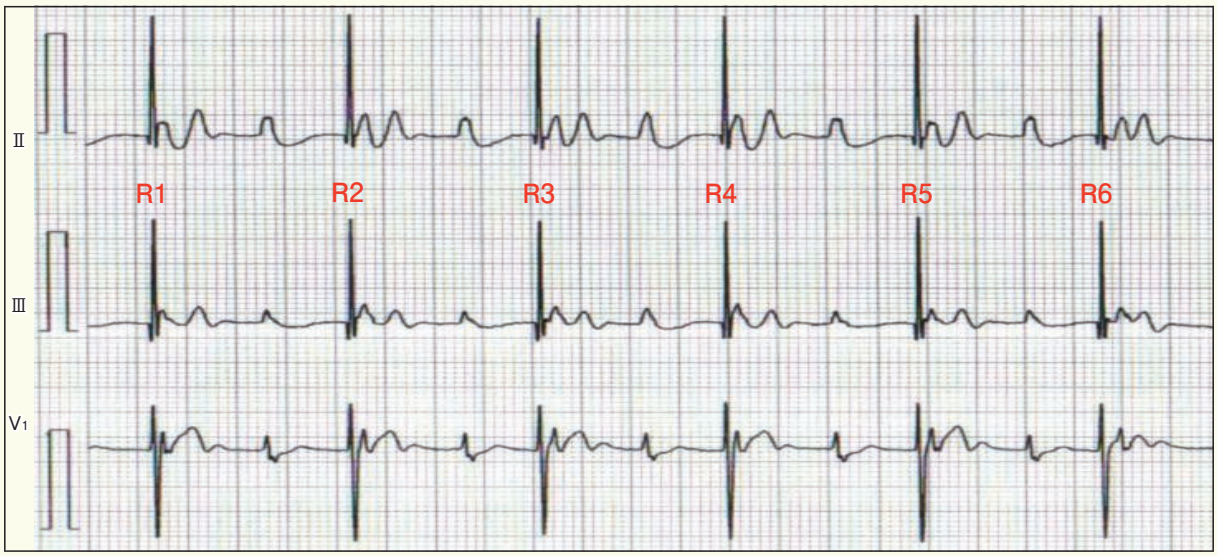


では、P2-P3間隔よりさらに洞周期が短いと仮定してみよう。S1からS14まで洞結節がほぼ規則的に興奮を繰り返す中で、上図のように洞結節から心房への伝導時間が徐々に延長し、ある一定時間を超えると、途中で洞房ブロックが起こって伝導が途絶する一種のウェンケバッハ周期を想定することができるのではないだろうか。このようなウェンケバッハ型洞房ブロックが想定される例はしばしば経験するが、その多くは3対2伝導特性を示し、一種の2段脈様の所見を呈する。本例のように長い周期（8対7伝導）の洞房ブロックが考えられる例は珍しい。

超難解 - 14　Question

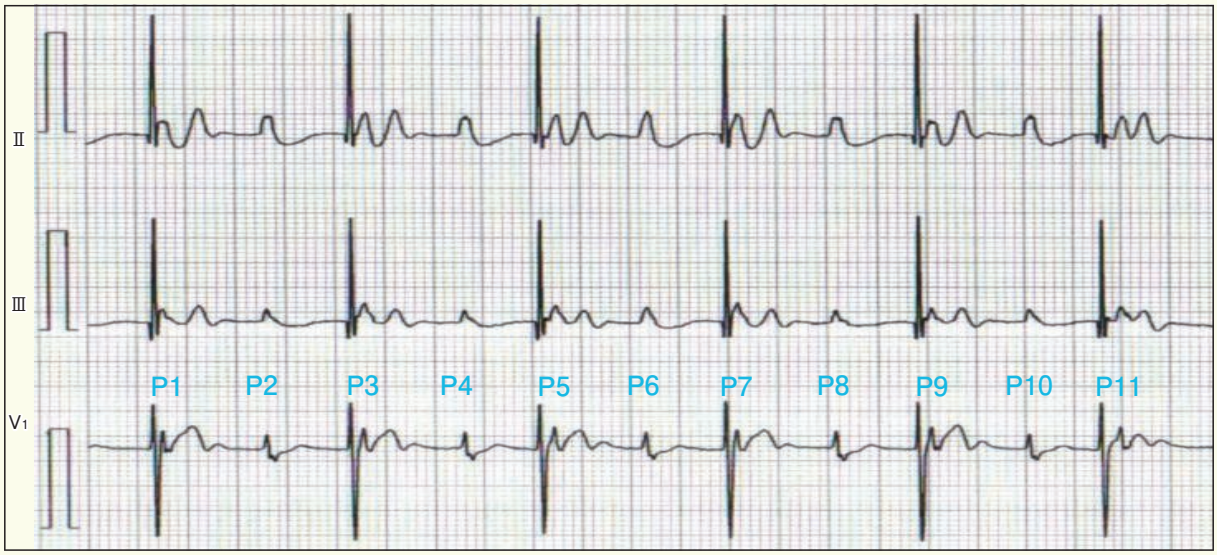
Ⅱ、Ⅲ、V_1誘導を同時連続記録。
80歳の女性。失神発作精査のため入院中。電位高：1 mV＝2 cm（通常の2倍）、記録スピード：1.25 cm/秒（通常の2分の1）と変則的な条件での記録。

超難解 - 14　Answer①



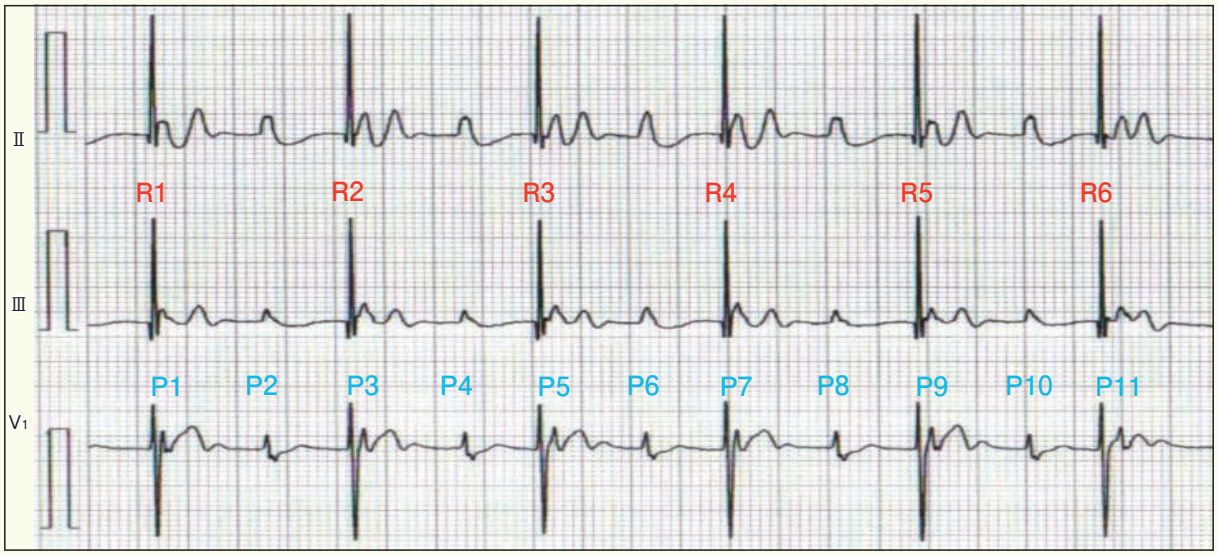
まず、一部を通常の記録スピードに戻して観察してみよう。QRS幅は80 msecで正常型、RR間隔は60 msecでほぼ一定、心拍数は79/分である。

超難解 - 14　Answer②



一方、P波はⅡ、Ⅲ誘導ではT波とよく似た形で紛らわしいが、V_1誘導では尖っていて鑑別ができ、QRSの直後にも顔を出しているようである。PP間隔は380 msecから410 msecまで少しばらつきがあるが、心房拍数は128/分から146/分と洞頻脈を呈している。

超難解 - 14　Answer③



PとRの関係を見ると、RR間隔の中にP波が2個あり、一見二つ目のP波がQRSに伝導する2対1房室ブロックのように見える。しかしよく観察すると、PP間隔がある程度ばらついているにもかかわらず、RR間隔にはほとんどばらつきがないこと、QRS直後に見られるP波のタイミングが変動していること、二つ目のP波から次のQRSまでの時間にも変動があることに気付く。言い換えると、P波とQRS波が互いに無関係に出現する完全房室解離の状態であり、完全房室ブロックと診断することができる。ここまでは臨床でよく遭遇する所見であるが、本例で興味深いのは別の点である。

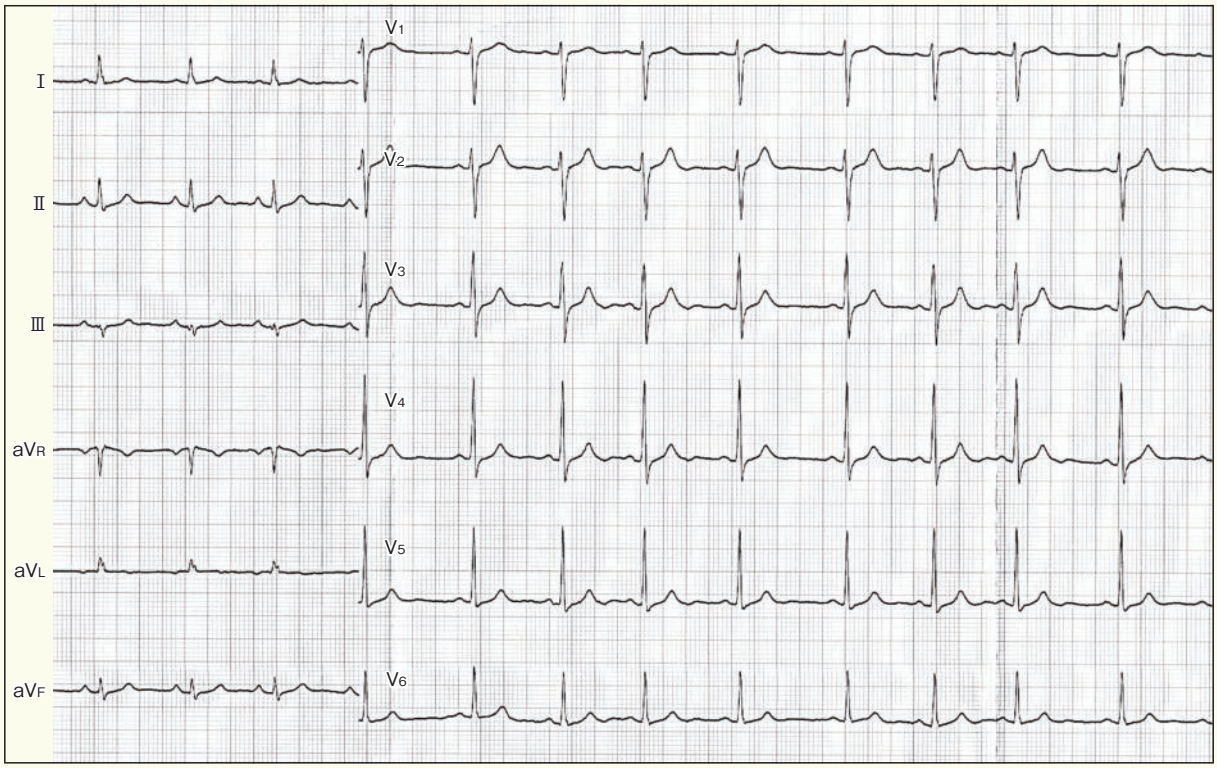
超難解 - 14　Answer④

もう一度、記録をもとに戻して細かく観察してみる。この完全房室ブロックの心電図から注目すべきは記録後半のPP間隔で、短いところでは380 msec、長いところでは500 msecと、前半に比べてばらつきが大きくなっていることに気づく。さらにこれらのPP間隔は、QRSを挟むPP間隔（a）が短く、QRSを挟まないPP間隔（b）が長いという特徴を示している。このような現象は、完全房室ブロック例などにおいてしばしば観察されるもので、心室相性洞不整脈（ventriculophasic sinus arrhythmia）と呼ばれ、古くから知られている事象である。心室収縮に伴う洞結節への血流変化などの機械的な影響、あるいはそれに関連する自律神経の関与などが考えられているが、その正確な機序に関してはいまだにいろいろと議論のあるところである。

超難解 - 14　Answer⑤

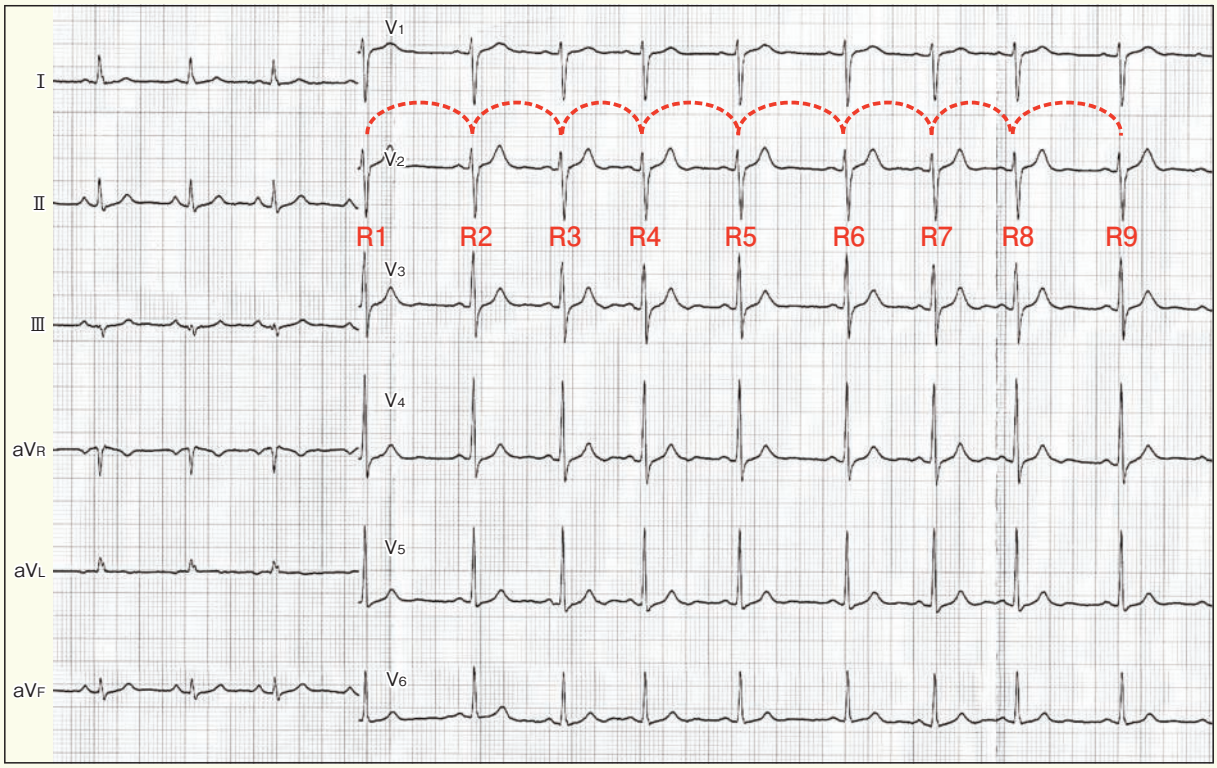
心室相性洞不整脈が起こる一つの説明として、副交感神経の関与が指摘されている。本例で注目されるのは、記録途中で突然ノイズとドリフトが現れ（⬚）、その後T波やQRS波の波高が変動し（●―●）、同時にPP間隔の変動が起こっている点である。記録の途中で患者が深呼吸をしたことがうかがえる所見で、深呼吸による副交感神経の一過性変動が一時的に心室相性洞不整脈を強めたことが心電図から推察される、大変面白い所見といえよう。

超難解 - 15　Question



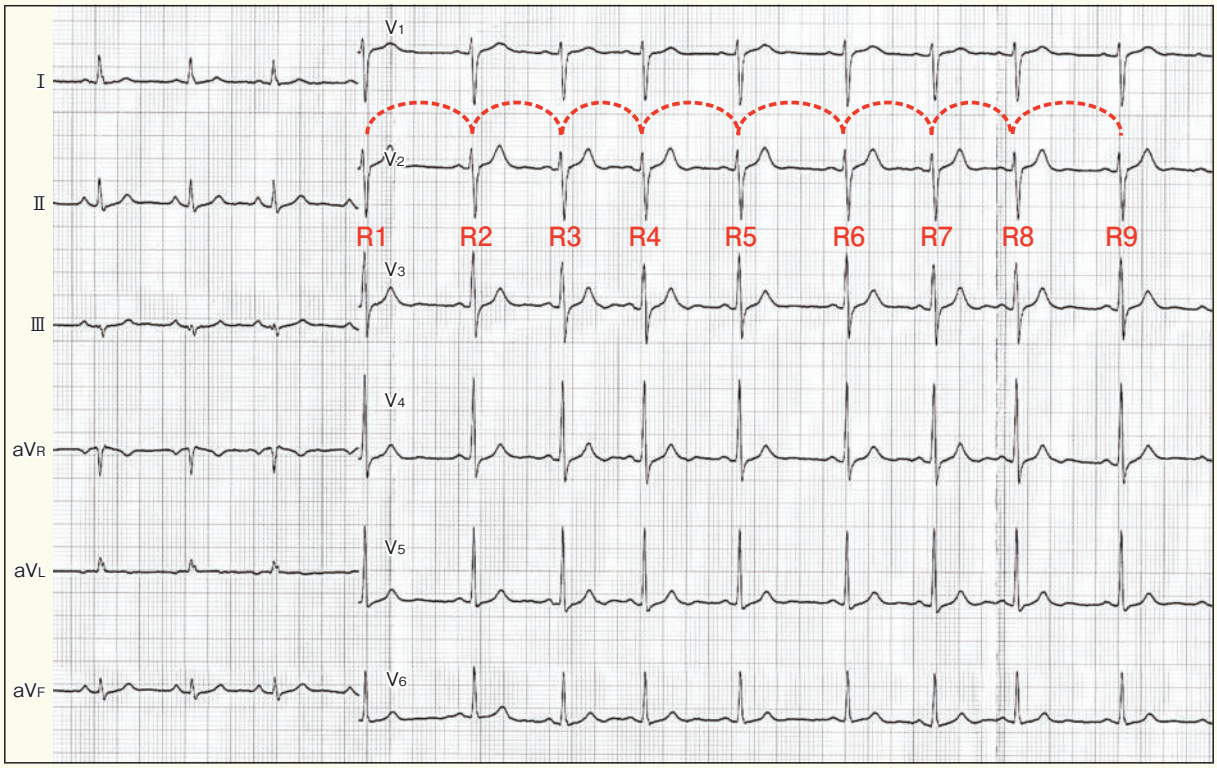
12誘導を6誘導ずつ連続記録し、胸部6誘導を長めに記録した。
50歳の女性。動悸を主訴に来院した際の記録。生来健康であった。

超難解 - 15　Answer①



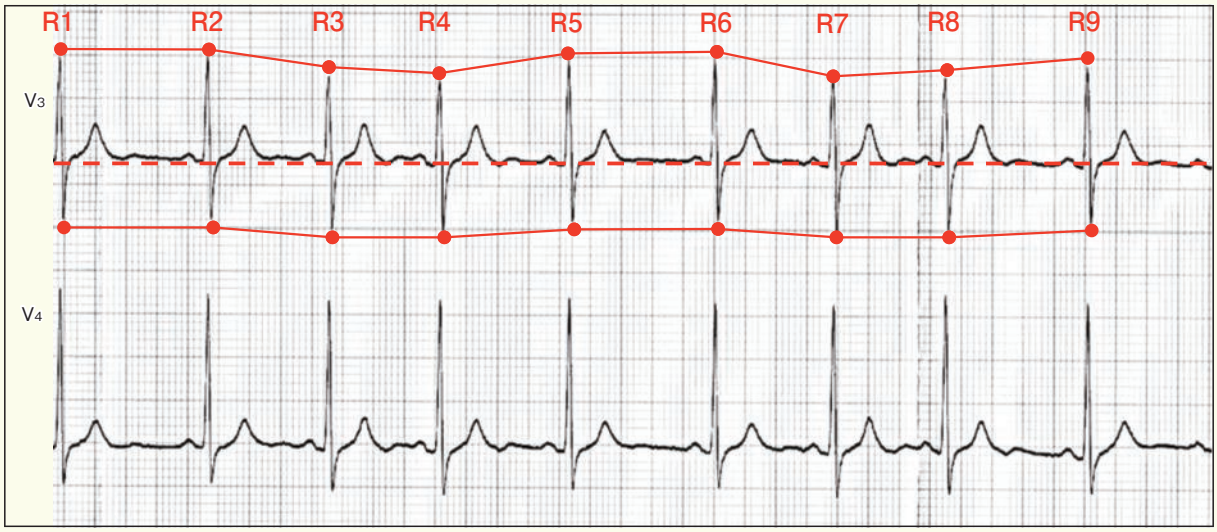
胸部誘導記録時に軽度のRR間隔変動を認め、自動診断では「洞不整脈」で、「正常範囲内」と記されていた。

超難解 - 15　Answer②



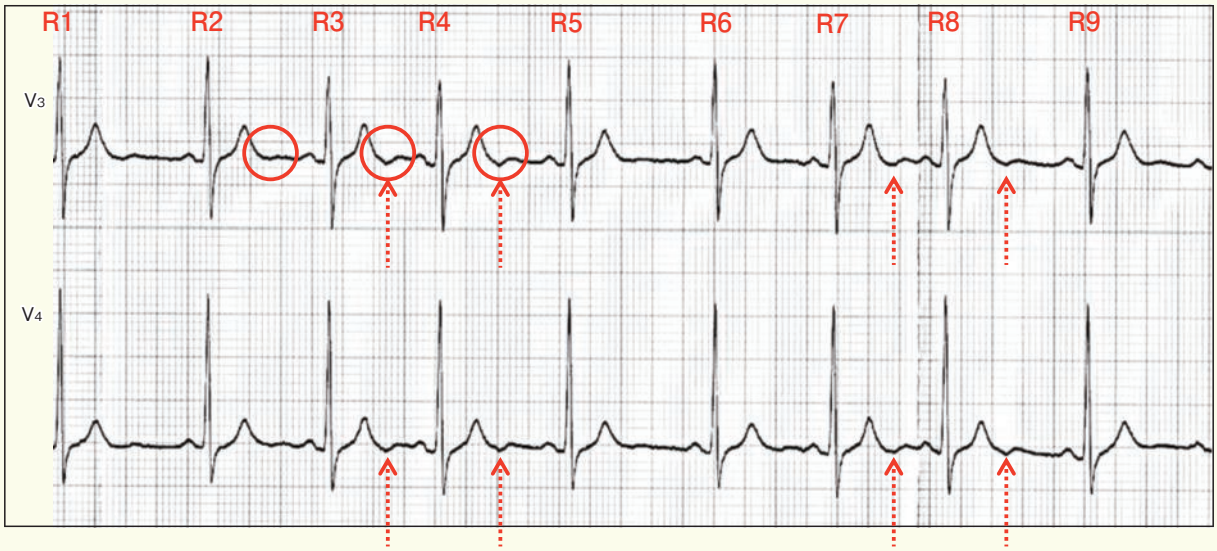
R1からR9までのRR間隔を計測すると、960-790-720-840-950-760-720-900 msecで、徐々に短縮～徐々に延長という変動を繰り返しており、1分間16回前後の呼吸の周期に一致した変化を示している。したがって「洞不整脈」という診断は妥当であると判断される。

超難解 - 15　Answer③



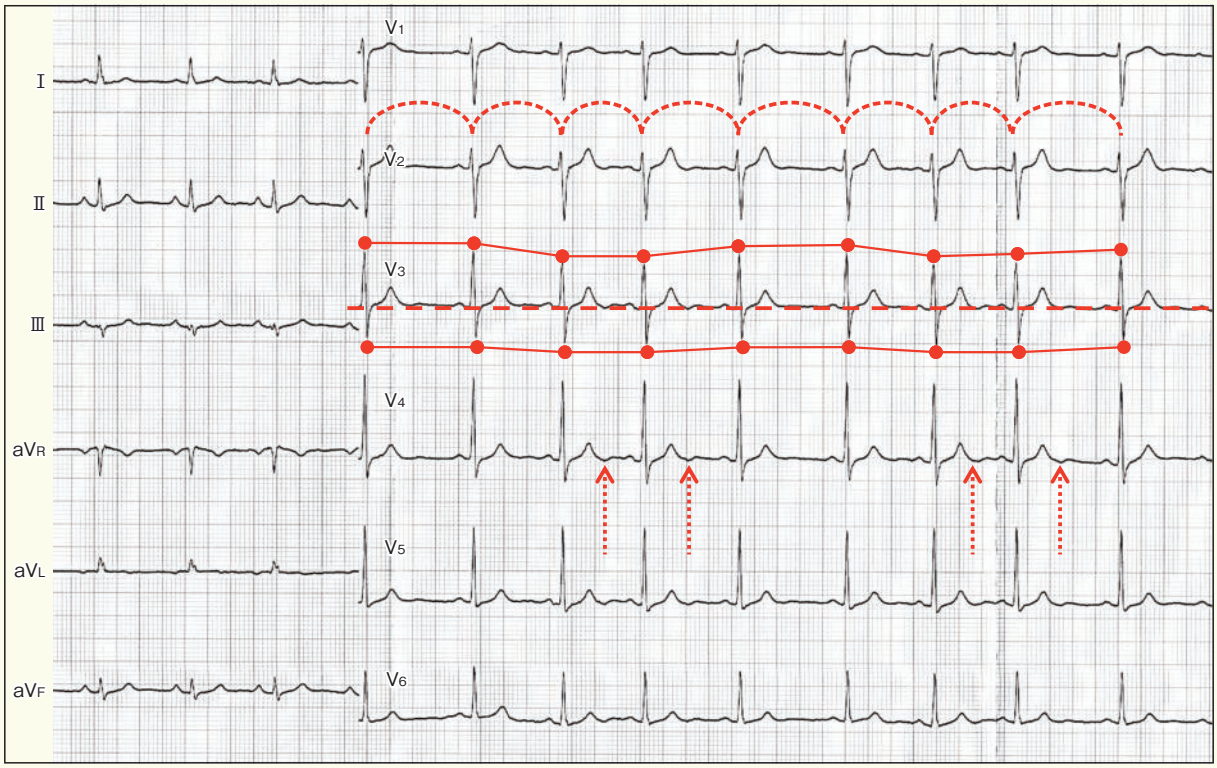
次にQRSの波形に注目してみると、V_3、V_4誘導あたりでR/S比が微妙に変動していることに気付く。そこでV_3、V_4誘導の一部を切り出して拡大し、V_3誘導でR1からR9のR/S比を計測したところ、R1 (1.5)-R2 (1.5)-R3 (1.2)-R4 (1.2)-R5 (1.5)-R6 (1.5)-R7 (1.2)-R8 (1.2)-R9 (1.5)　と、周期的に大小を繰り返すリズムがあり、R/S比の周期的変化も呼吸のリズムに一致するものであった。

超難解 - 15　Answer④



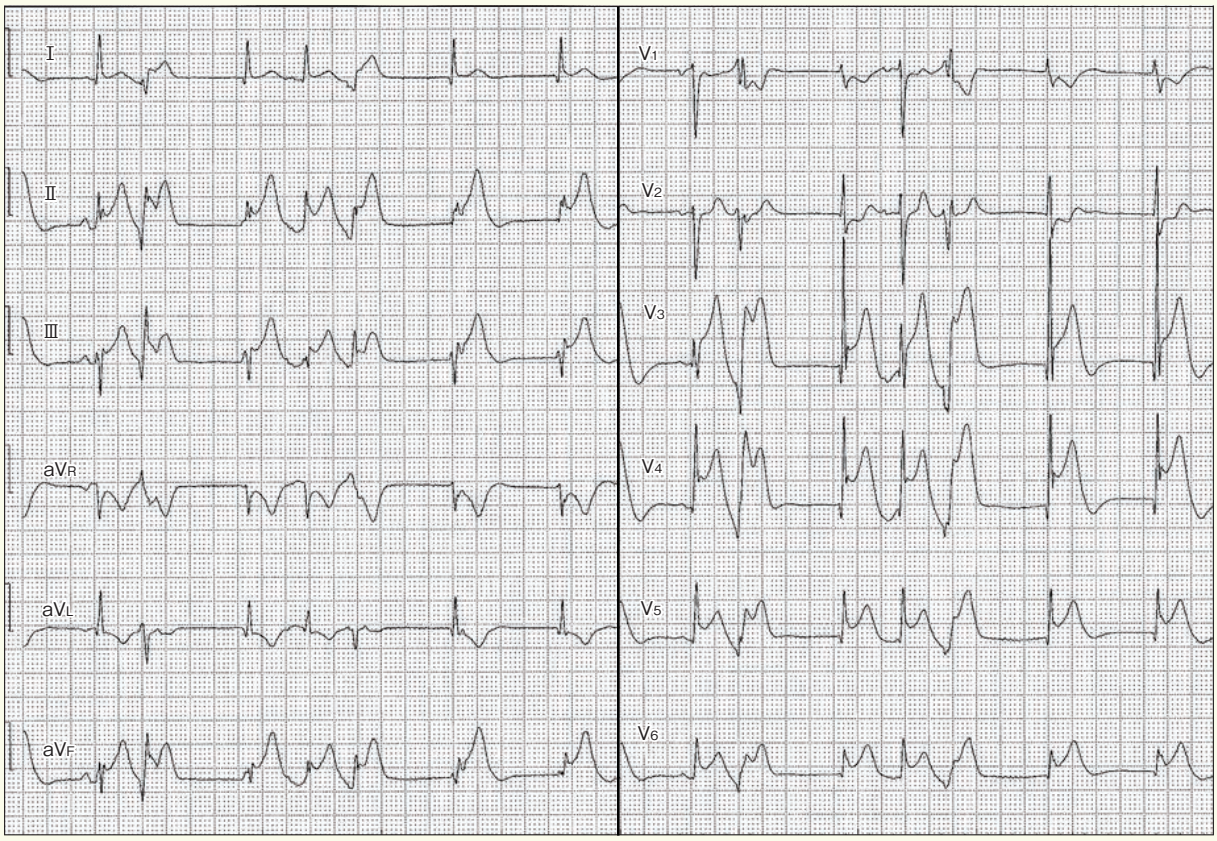
さらに細かく心電図を観察すると、R3、R4、R7、R8においてのみT波の後に赤矢印（⇡）で示すように明らかな陰性U波を認める。そのほかの心拍にはこのような陰性U波と思われる波は見られない。

超難解 - 15　Answer⑤



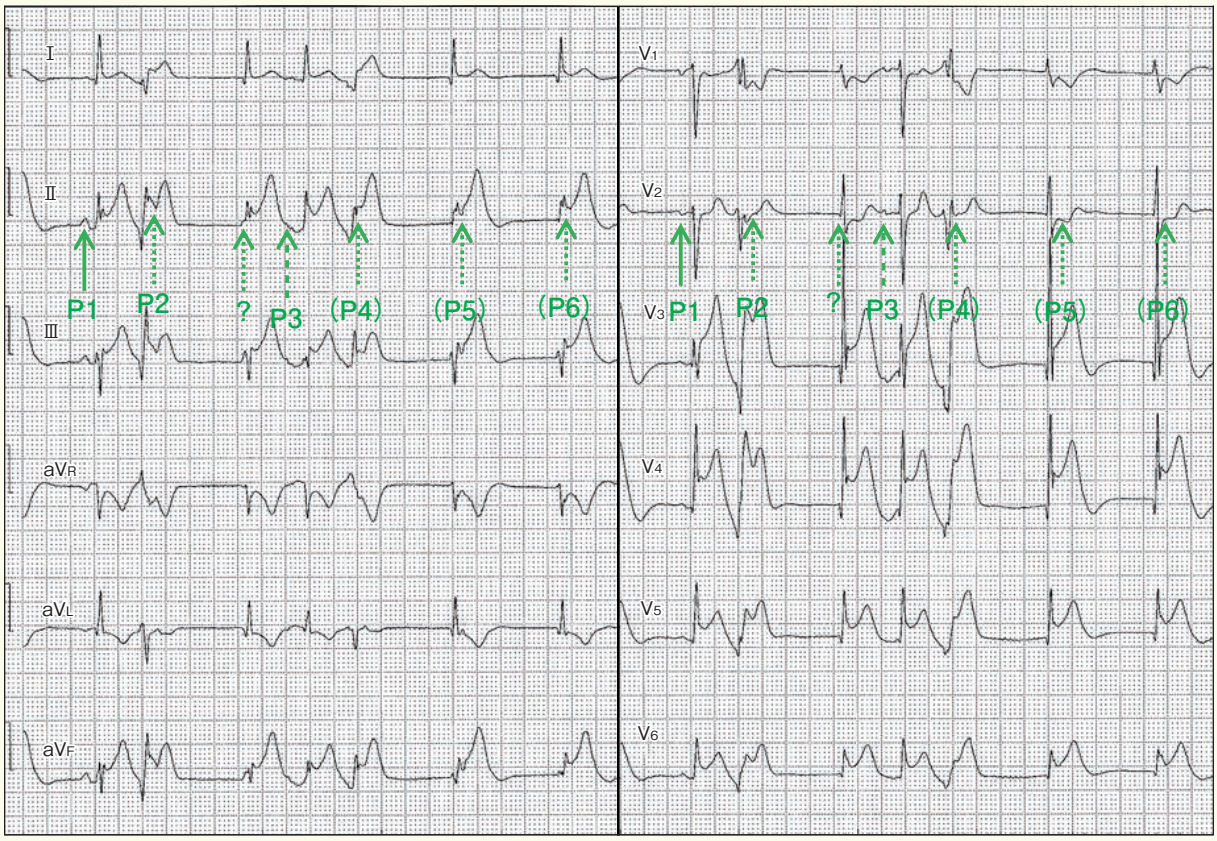
一連の心電図所見を整理すると、①洞不整脈、②R/S比の周期的変動、③陰性U波の周期的出没、という三つの所見があり、いずれも呼吸のリズムと一致する変化であった。①は呼吸に伴う副交感神経緊張度の変動に基づく洞結節自動能の電気的変動、②は呼吸による胸郭と心臓の位置関係の変化によって説明可能で、ともに生理的範囲内の変化と判断してよさそうである。では、③の陰性U波出没の機序はどのように考えたらよいのであろうか。そもそも陰性U波の成因に関しては諸説あり、心筋虚血や心筋梗塞後の壁運動異常、心筋肥大の関与、電解質異常の影響などとする報告が多いが、いずれもある一定期間持続する陰性U波を念頭に置いたもので、本例のように周期的に出没する陰性U波に関する記載はまったく見られない。1枚の心電図のみで以下の考察を行うのはかなり強引で無理があるとは思うが、本例では、この陰性U波の出没と呼吸の周期が一致している点が極めて興味深く、心筋虚血や肥大とは無関係な自律神経の関与が強く示唆されるのではないだろうか。

超難解 - 16　Question



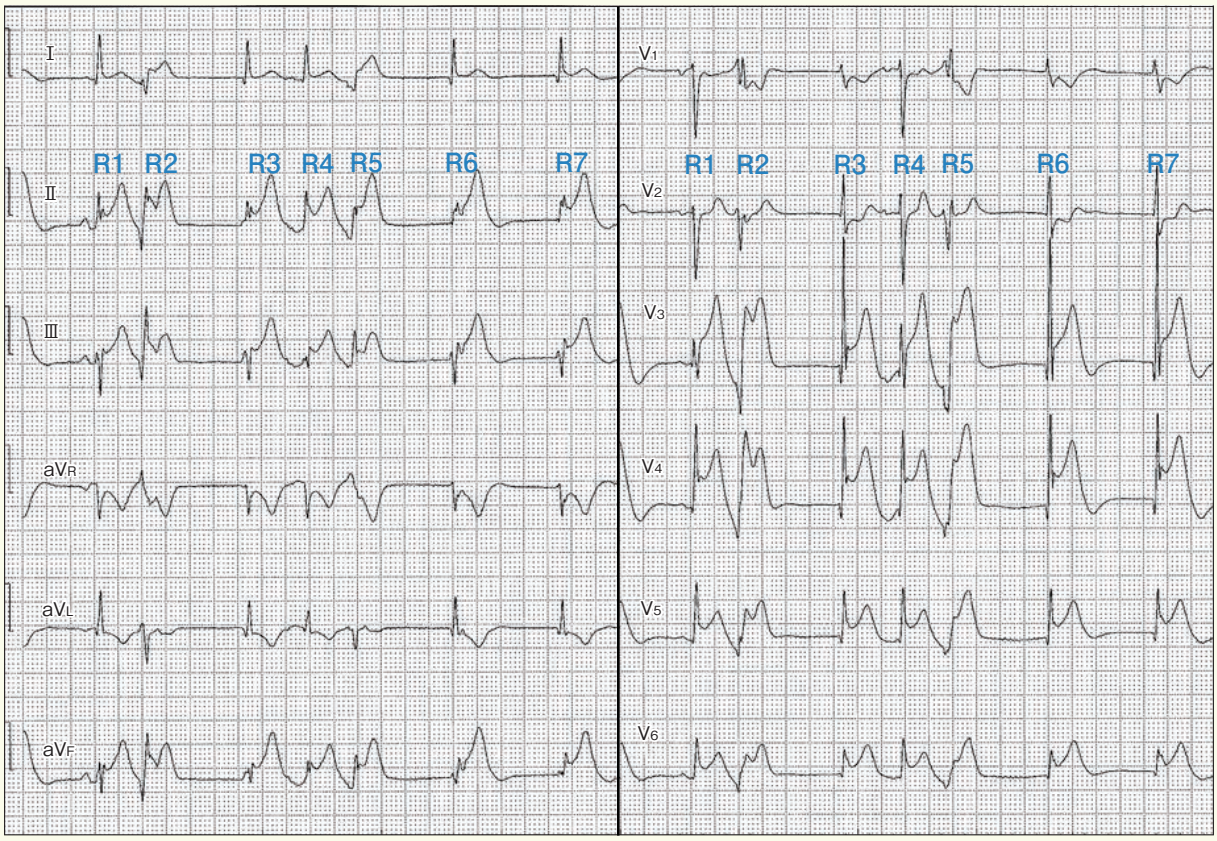
12誘導を同時記録し、四肢誘導と胸部誘導に分けて左右に示した。
83歳の女性。胸痛を訴えて受診した際の記録で、その後たこつぼ症候群（TTS）と診断された。

超難解 - 16　Answer①



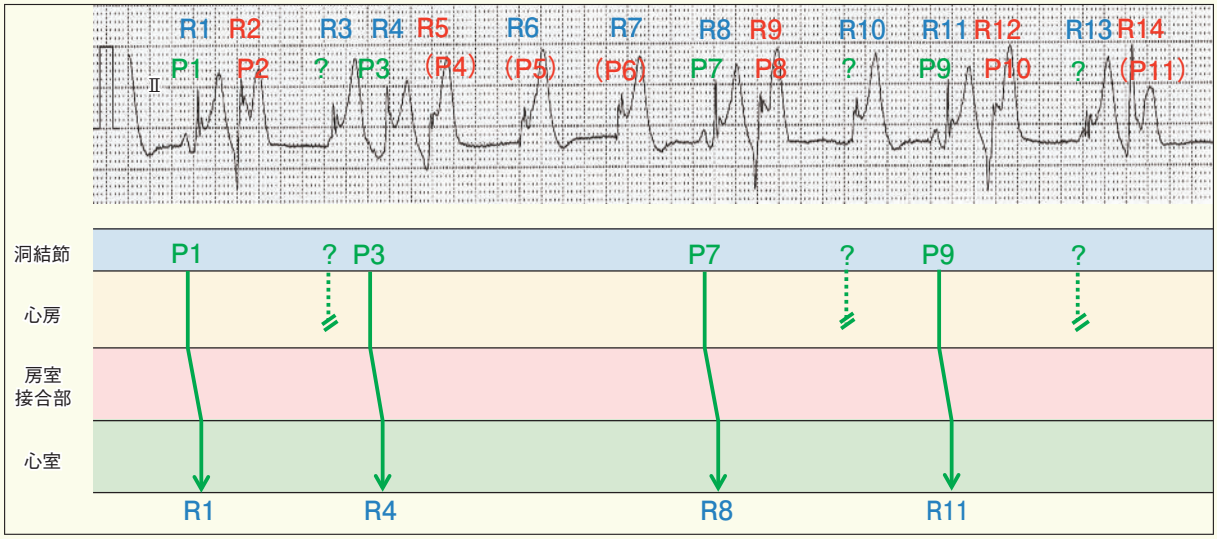
複雑な心電図所見で、どこから手をつけてよいかわからないが、まずはP波に名前を付けてみよう。P1はQRSに約120 msec先行し、Ⅱ、Ⅲ、aVF、V2～V6誘導で陽性、aVR誘導で陰性を示しており、洞性P波と考えてよさそうである。P3は先行するT波に重なってよく見えないが、後続のQRS波形から見てP1と同様、洞性P波としてよいかもしれない。一方、P2、(P4) は心室期外収縮から、(P5)、(P6) は房室接合部補充収縮からの逆行性P波とみることができる。なお四肢誘導の？部分にも信号があるようにも見えるが、胸部誘導ではほとんど認識できない。

超難解 - 16　Answer②



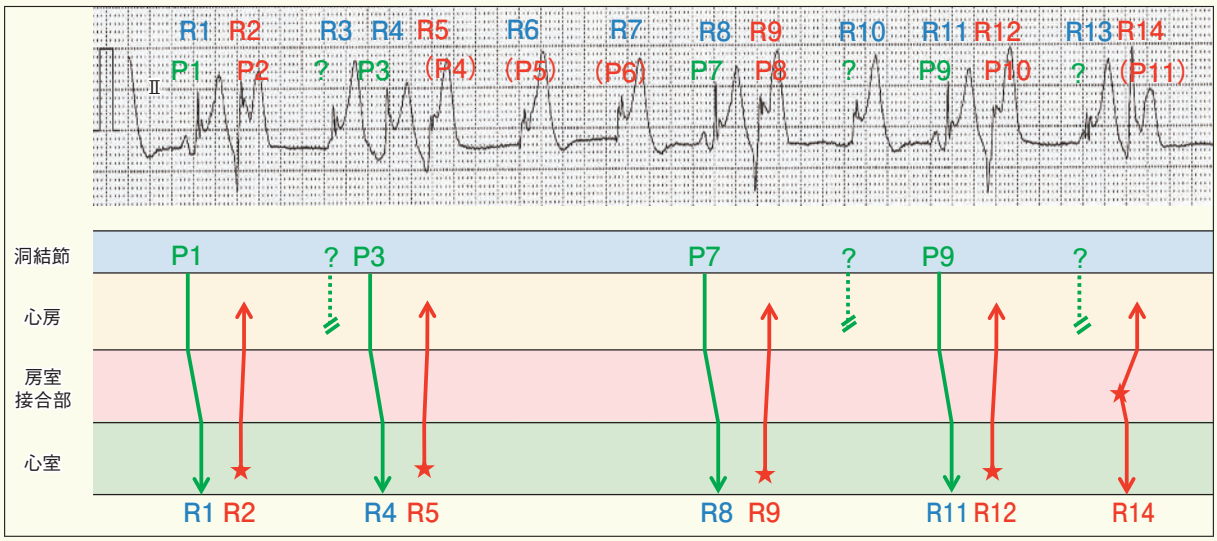
次にQRS波を見てみよう。R1からR7まで、7個のQRSが確認される。四肢誘導と胸部誘導を見比べながら大雑把に見ると、R1とR4はQRS幅の狭い洞収縮、R2とR5はQRS幅の広い期外収縮、R3、R6、R7は補充収縮のように見えるが……それでよいであろうか。

超難解 - 16　Answer③



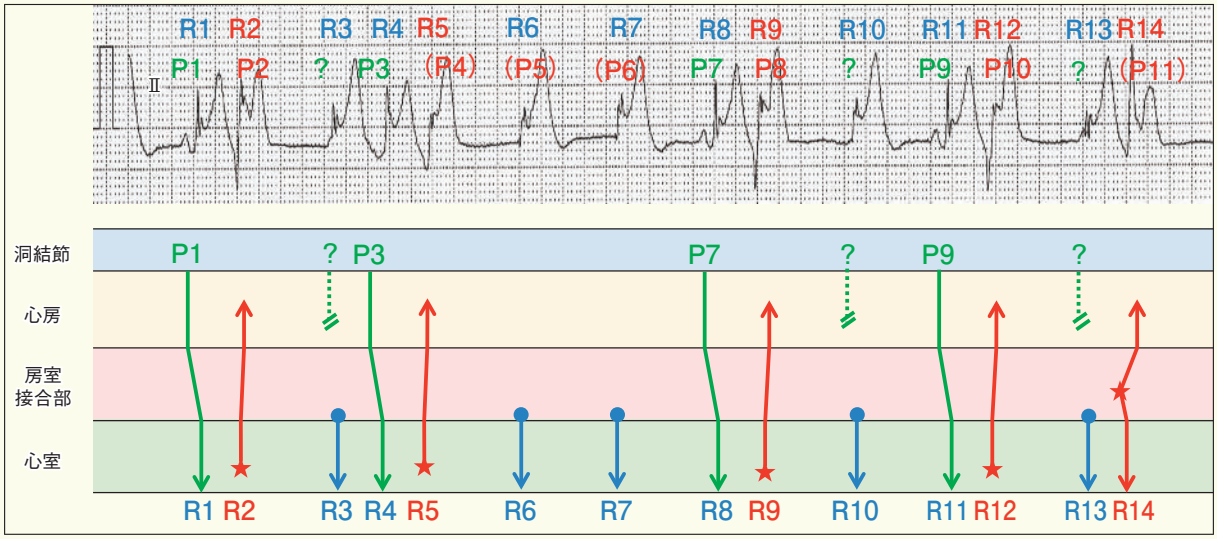
Ⅱ誘導を少し長めに連続記録した部分を、P波が認識しやすいように縦方向を2倍程度に拡大して示す。これを用いてラダーダイアグラムを書いてみる。まずは洞性P波の可能性の高いP1、P3、P7、P9からは、緑実線（↓）のように房室接合部を経由してそれぞれR1、R4、R8、R11へ順行性に刺激が伝導したと考えてよいであろう。なお？のP波と思しき信号からは、下位への興奮伝播は起こっていないようである。

超難解 - 16　Answer④



次に早期収縮（R2、R5、R9、R12、R14）（★）の機序を考えてみよう。R2、R5、R9、R12はいずれも洞収縮が先行しており、QRS幅が広く、深いQ波を認めることから心室期外収縮と考えてよさそうであるが、R14は先行収縮が洞収縮ではなく、Q波がほとんどなく高いR波を認めるなど、ほかとは異なった性質を示している。逆行性P波（P11）を認めることから房室接合部性期外収縮と判断してよいかもしれない。

超難解 - 16　Answer⑤



最後にR3、R6、R7、R10、R13はどのように考えたらよいであろうか。いずれも先行するP波がない、あるいははっきりしない心拍であるが、QRS波形は洞収縮とほぼ同じである。また、先行RR間隔はR2-R3、R5-R6、R6-R7、R0-R10、R12-R13いずれも900 mscで一定であり、ほかのすべてのRR間隔より長い。これらの所見を勘案すると、R3、R6、R7、R10、R13は房室接合部補充収縮（↓）と判断してよいのではないだろうか。電気生理学的に極めて不安定な状態にあるTTSの急性期に出現した、難解な不整脈の心電図である。