

心電図

波形の正常値

移行帯

反時計方向

時計方向

P波の見方

正常P波

異常P波

右房拡大

左房拡大

両房拡大

陰性P波

S1S2S3パターン

期外収縮

上室期外収縮

心室期外収縮(PVC : Premature Ventricular Contraction)

PVCの起源

融合収縮

副収縮

多形性心室頻拍(polymorphic VT)

TdP : Torsades de Pointes(倒錯型心室頻拍)

心房細動 (AF : Atrial Fibrillation)

心房粗動(AFL : Atrial Flutter)

通常型

非通常型

Wide QRS

脚ブロック

右脚ブロック

完全左脚ブロック

WPW症候群

Wide QRS 頻拍

偽性心室頻拍(pseudo VT)

徐脈性不整脈

洞機能不全症候群(SSS : Sick Sinus Syndrome)

房室ブロック

3枝ブロック

左室高電位

左室肥大

左室圧負荷

左室容量負荷

低電位差

肢誘導のみの低電位差

胸部誘導のみの低電位差

T波の見方

增高T波
陰性T波
巨大陰性T波(GMT : Giant Negative T waves)
右側胸部誘導の高電位
QRS幅が広いとき
QRS幅が正常の時
右室肥大
右室圧負荷
右室容量負荷
異常Q波
ST上昇
下壁梗塞
側壁梗塞
後壁梗塞
急性心膜炎
急性心筋炎
たこつぼ心筋症
右胸心
左右上肢電極のつけ間違い
広範囲前壁心筋梗塞
ST低下
運動負荷試験
aVR誘導のST上昇
ブルガダ症候群
QT時間
QTc
QT延長
J波
低体温症
洞不整脈(sinus arrhythmia)

心電図

波形の正常値

波形	幅	高さ
P波	0.06~0.10秒(およそ3マス以内)	0.25mV以下(1.5マス以下)
QRS波	0.06~0.10秒(大きい1/2マス以内)	誘導により異なる
T波	0.10~0.25秒	0.5mV以下(四肢誘導) 1.0mV以下(胸部誘導)
PQ時間	0.12~0.20秒(大きい1/2マス~1マス)	-
QTc時間(補正QT時間)	0.36~0.44秒	-

移行帯

通常、R波はV1からV6にかけて增高し、S波はV2をピークにして徐々に減高していく。R波とS波の高さの比が1になるところを移行帯という。

移行帯は単独では病的意義が少なく、normal variantの場合が多い。そのほかの心電図変化から判断する必要があるが、異常を探すきっかけにはなる。

反時計方向

移行帯の変化をきたす疾患	移行帯以外の主な心電図変化
健常人	
右室肥大	右軸偏位、右房拡大 右側胸部誘導での陰性T波
完全右脚ブロック	QRS時間の延長 V1とV2誘導でのrSR'パターン
後壁梗塞	V1とV2誘導でのR波とT波の增高 下壁梗塞との合併が多いので、下壁梗塞の所見(II, III, aVFの変化)を見るのも良い

時計方向

移行帯の変化をきたす疾患	移行帯以外の主な心電図変化
健常人	
急性肺塞栓	胸部誘導での陰性T波、S1Q3T3
慢性閉塞性肺疾患(COPD)	I誘導での低電位差、肺性P波
前壁中隔心筋梗塞	V1～V3(V4)誘導での異常Q波

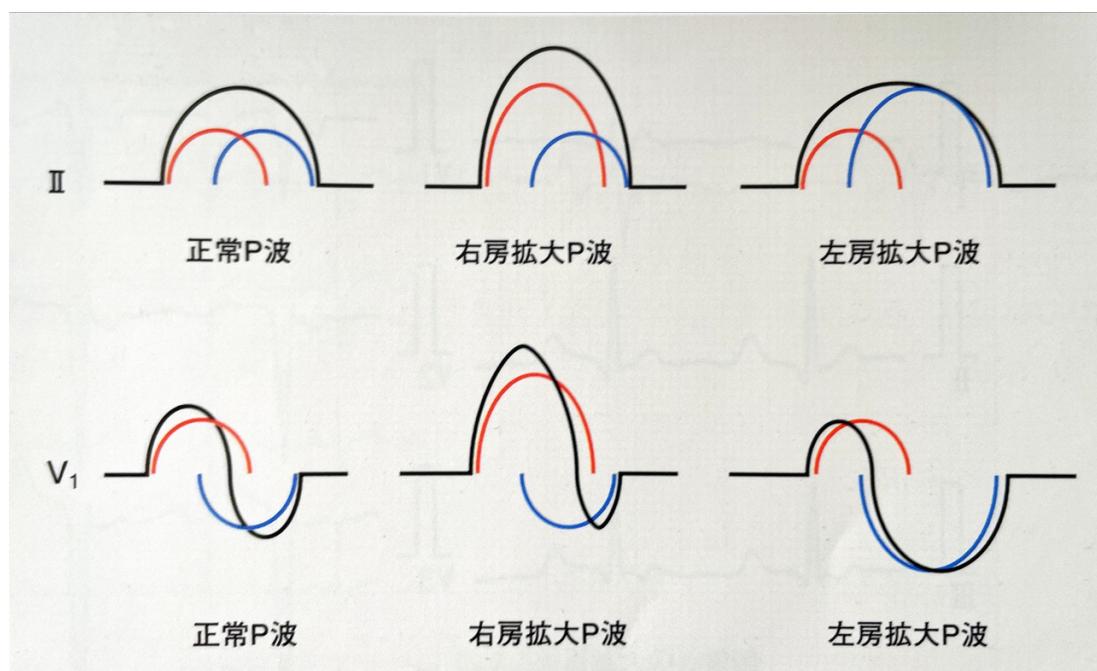
P波の見方

正常P波

P波の初め1/3は右房、終わり1/3は左房、中間の1/3は両房の興奮を表している。右房は心臓の最右側に、左房は最後方にあるので、心房の興奮は常に左下方、前半は前方、後半は後方となる。したがって、II誘導は左足から心臓を眺めているので、右房・左房の興奮は共に電極に近づき、P波は陽性となる。しかし、V1・V2誘導では左房の興奮は電極から遠ざかるので、P波は二相性になる。

異常P波

P波は右房と左房が合成されて構成されている。右房拡大では前半の右房成分は拡大するが左房成分の拡大はないので、振幅は高くなるが幅は広がらない。左房拡大では左房成分が拡大するので幅が広がる。



右房拡大

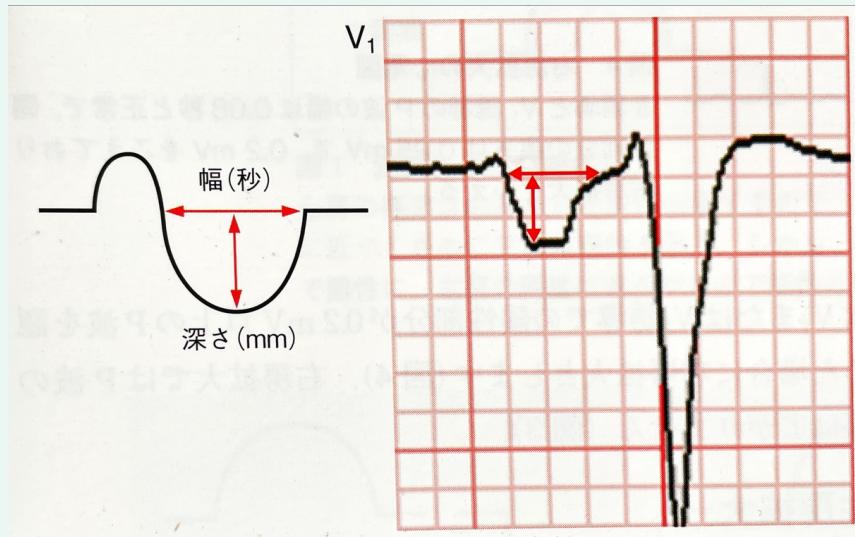
II, III, aVF誘導で0.25mV以上の先の尖った形の高いP波(尖鋭P波や肺性P波と呼ばれる)、あるいはV1またはV2誘導での陽性部分が0.2mV以上のP波を認めた場合に右房拡大とする P波の幅は広がらない

左房拡大

I, II誘導で二峰性で幅の広い0.10秒以上のP波あるいはV1誘導で二相性で陰性部分の大きいP波を認めた場合に左房拡大とする。 P-terminal force(Morris指数)で0.04秒・mm以上を左房拡大とする。

P-terminal force(Morris指数)

V1のP波の陰性部分の幅(秒)と深さ(mm)の積から算出

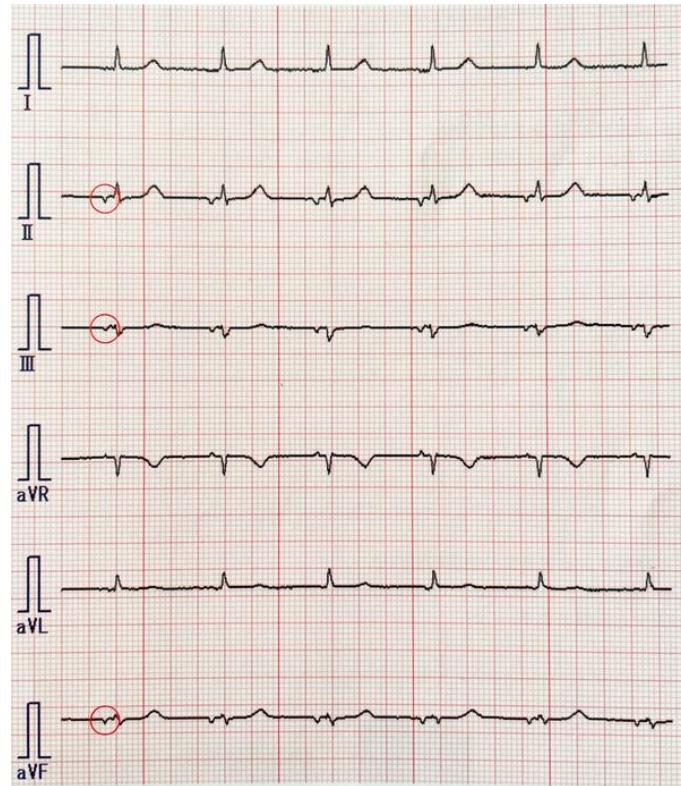


両房拡大

四肢誘導で0.25mV以上の尖鋭で、かつ0.10秒を超える幅広いP波、あるいはV1のP波が二相性で、前半の陽性部分が尖鋭化し、後半の陰性部分の振幅も大きく幅も広い場合。

陰性P波

aVRでの陰性P波は正常 II, III, aVF誘導で陰性P波を認める場合には、異所性心房調律や房室接合部調律が考えられる 一般的に異所性心房調律ではPQ時間が0.12秒以上になり、房室接合部調律では0.12秒未満になると言われているが、しばしば鑑別困難である。 房室接合部調律ではP波がQRS波の直前に見られたり、QRS波に重なってP波が見られなかったり、QRS波の直後に見られたりする。

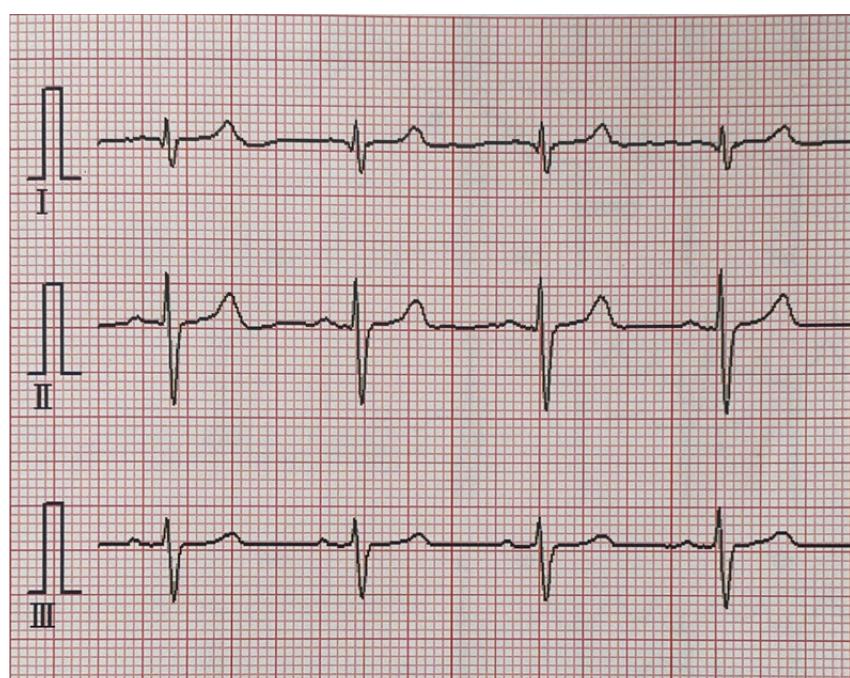


S1S2S3パターン

全ての双極肢誘導で深いS波($R \leq S$)を有する心電図。一般的に以下の3つのいずれかが考えられる

1. normal variant
2. 肺気腫
3. 右室肥大

肺気腫などの閉塞性肺疾患や右室肥大に伴う右室負荷の所見がなければ、normal variantが考えられる



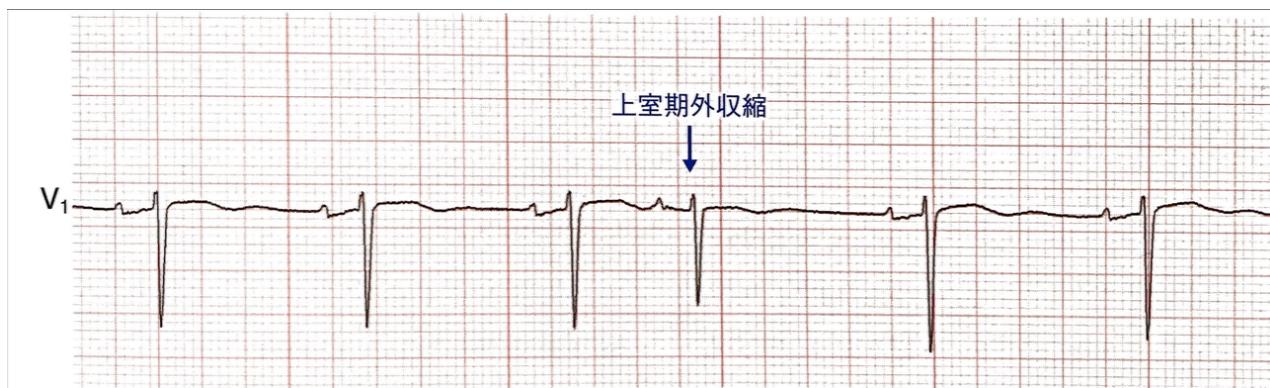
期外収縮

- 期外収縮
 - 上室期外収縮
 - 心房期外収縮
 - 房室接合部期外収縮
 - 心室期外収縮

通常の洞調律と期外収縮が交互に出現する場合を二段脈、洞調律2心拍の後に1回の期外収縮が出現することを三段脈という。

上室期外収縮

頻度が高く、加齢とともに発生率は増加。基本調律よりも早期に発生し、異所性刺激により発生するため、洞結節由来のP波と形が少し異なる(異所性P波) QRS波は通常調律とほぼ同じ。

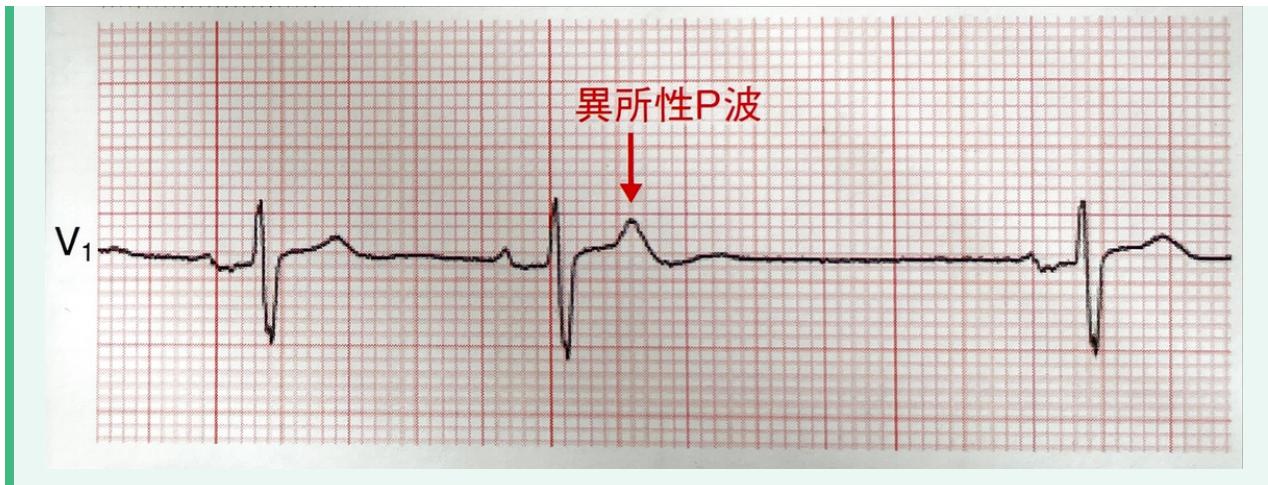


心室内変行伝導

心室の脚が完全に不応期を脱していない時期に上室から興奮が脚に達すると機能的な脚ブロックを生じ、上室期外収縮でもQRS幅が広くなることがある。右脚ブロック型を示すものが大半を占めている。これは右脚自体の長さが長い、走行が障害を受けやすい、不応期が左脚より長いなどと考えられている。

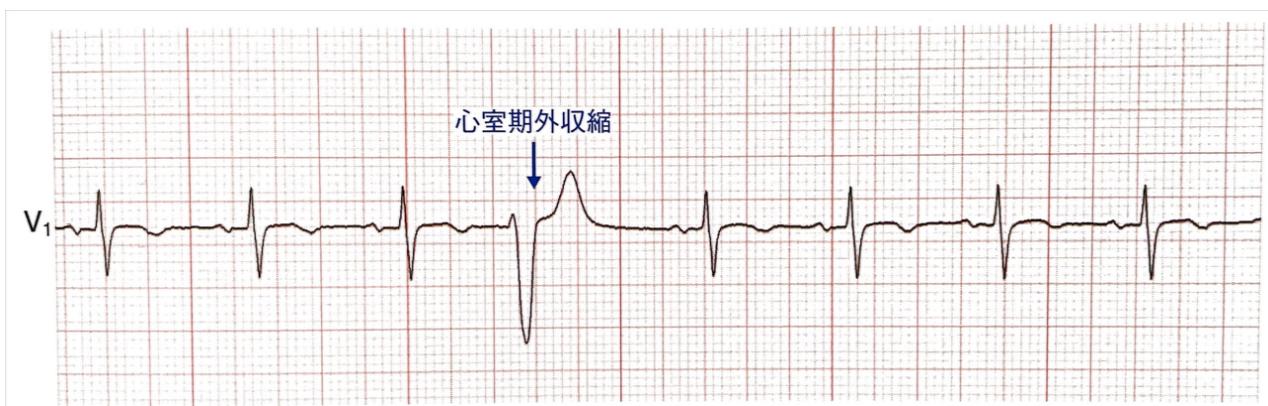
非伝導性上室期外収縮

上室期外収縮は早期に刺激が発生するために、房室結節の不応期が残っていると寝室への電動が途絶され、異所性P波だけでQRS波が脱落する場合がある。以下の例では2拍目のT波が1・3拍目と異なっており、異所性P波が重なっていることがわかる。



心室期外収縮(PVC : Premature Ventricular Contraction)

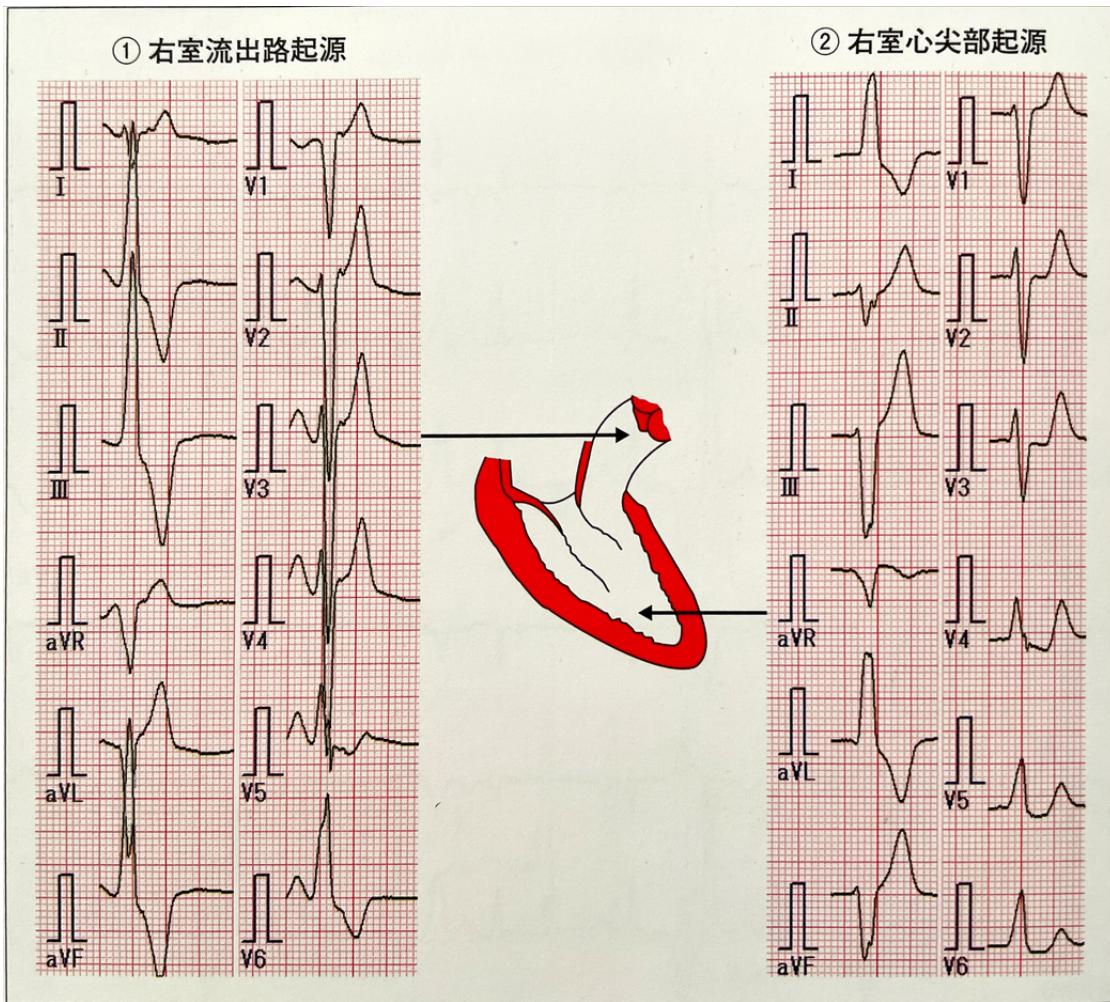
正常心拍より早期に心室より刺激が発生し、QRS波を形成する不整脈。伝導速度の遅い固有心筋を伝導して心室を興奮させるため立ち上がりは緩慢で、QRS時間は0.12秒以上と広くなり、T波はQRS波と反対の極性を有する。心室からの興奮のため、先行するP波を認めない。なお、多くの場合P-P間隔は保たれるので、心室期外収縮の波形内に本来のP波を見ることがある。



PVCの起源

PVCの起源は心電図から推定することができる。一般的には起源が左室にあれば右脚ブロック型、右室にあれば左脚ブロック型となる。ただし、左脚ブロック型の場合にはときに左室起源の時がある。次に電気軸を見る。頭側起源のPVCは電気的興奮が頭側から尾側に向かうので、下から見る誘導(II, III, aVF)で上向きの高いR波(極端な右軸偏位)を示し、これを下方軸という。尾側起源ではこれと逆になるので、下から見る誘導では下向きの深いS波(極端な左軸偏位)を示し、これを上方軸という。

	下方軸	上方軸
右脚ブロック型	左室前壁起源	左室後壁起源
左脚ブロック型	右室流出路起源	右室尖部起源



左室起源の時は、さらに側壁誘導であるIとaVL誘導から起源を推定する。IとaVL誘導が下向きであれば、側壁起源、上向きであれば側壁と対側の中隔起源と考えられる。

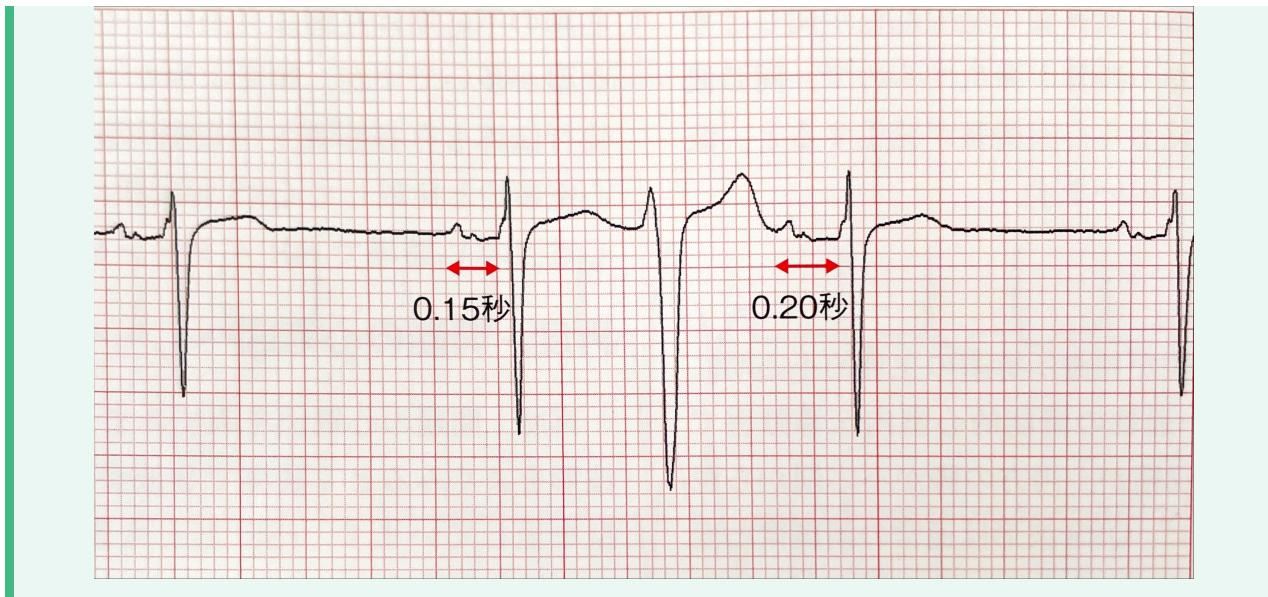
心室頻拍(VT : Ventricular tachycardia)

心室比その興奮起源を有する頻拍で、脈拍が100/分以上と定義される。心電図上はQRS幅が0.12秒以上のwide QRS頻拍を示す。PVCと同様に起源を心電図から推察することが可能で、もっとも頻度が高いのは右室流出路起源と言われている。

間入性心室期外収縮

基本調律のR-Rの間に心室期外収縮が入り込んでみられ、前後の波形は洞調律の波形と同じである。

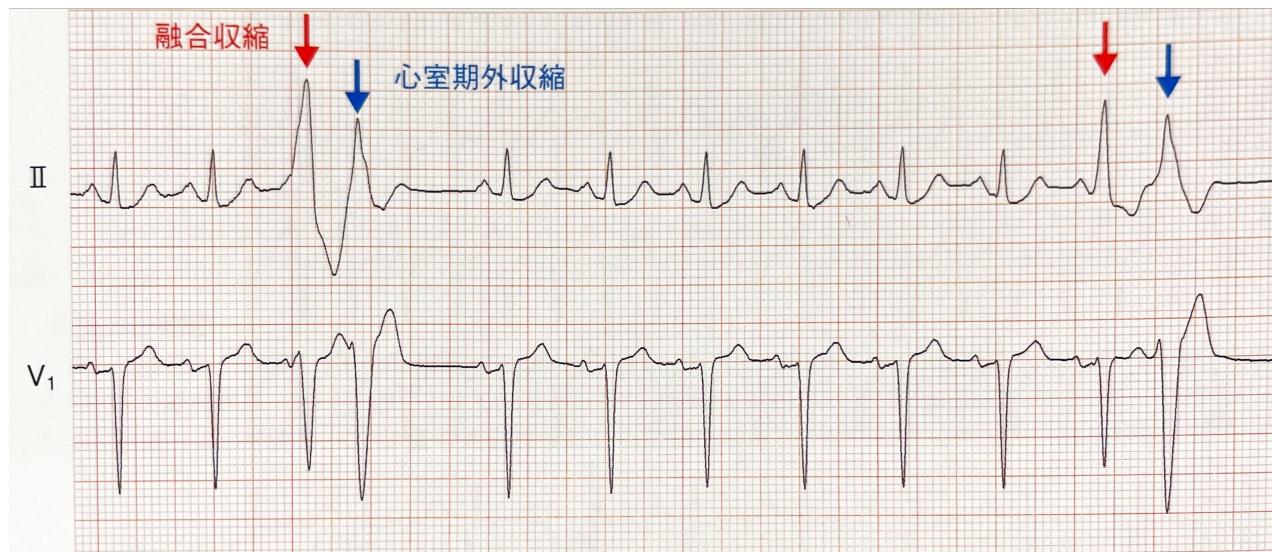
間入性心室期外収縮の後のPQ時間は延長していることがある。これは心室期外収縮による興奮が逆行性に房室結節に伝導し、相対不応期が残っている(潜行伝導 : concealed conduction)ために、房室結節内での伝導が遅くなる事による現象。



融合収縮

刺激伝導系を介した正常調律と異所性調律が同時か、または極めて短い時間差で心房または心室を興奮させる現象。

融合収縮には心房融合収縮と心室融合収縮がある。洞結節からの刺激が心室に入るときに心室期外収縮が発生した場合にはQRS波は洞調律の波形と心室期外収縮の波形が合成された中間の形を示す。波形の形はタイミングにより異なり、一定の波形を示さない。人口ペースメーカーや心室頻拍においても融合収縮はみられる。

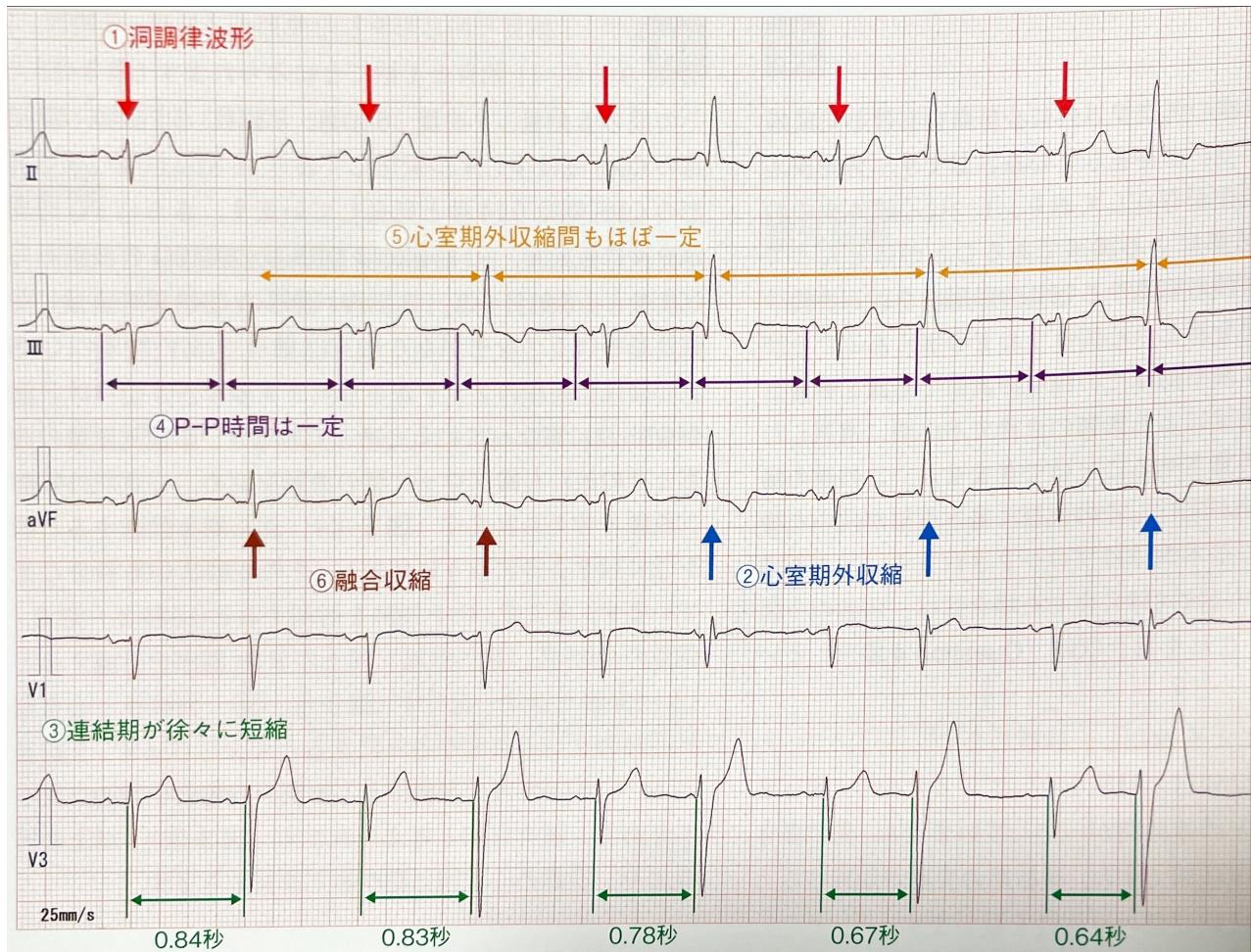


副収縮

基本の洞調律以外に心房ないしは心室に異所性のペースメーカーが存在している状態。周囲の組織から電気的に隔離され、自動中枢が独立した周期を示す。心室にあることが多い。以下の様な特徴がある。

1. 先行する正常収縮との連結期が一定でない(変動連結期)。変動が0.06秒以上の時には副収縮が疑われる。
2. 調律が独立しているので、期外収縮同士のR-R間隔は一定
3. 2つの調律中枢の同時興奮により融合収縮が生じることもある

4. 心電図上最も短い副収縮同士のR-R間隔を興奮頻度とし、それぞれの副収縮同士のR-R間隔が整数倍である



連結期

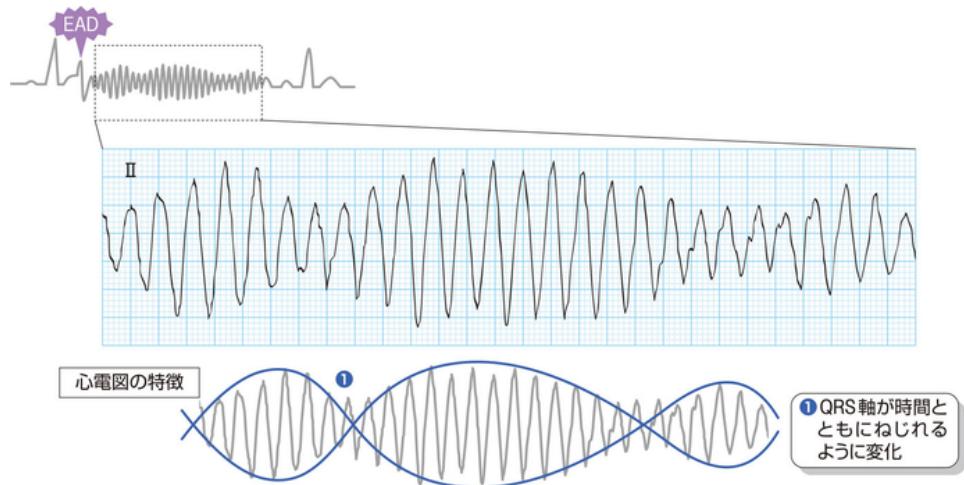
洞調律のQRS波と心室期外収縮のQRS波との間隔。(上室期外収縮では洞調律のP波と期外収縮のP'波の間隔) 期外収縮では同じ形のものが多数出現していても連結期は一定しており、固定連結期という。連結期が一定でないものは変動連結期といい、副収縮を疑う。

多形性心室頻拍(polymorphic VT)

心室頻拍は、発作時のQRS波形が一定である単形性心室頻拍と、QRS波形が変化する多形性心室頻拍に分けられる。多形性心室頻拍はいくつかの異なる起源または伝導路に起因し、不規則で多様な形のQRS波を伴う。

TdP : Torsades de Pointes(倒錯型心室頻拍)

多形性心室頻拍の中でQT延長を伴う場合を呼ぶ。QT延長が見られ、QRS波の極性と振幅が基線を軸としてねじれるように刻々と変化する多形性頻拍が記録されれば診断できる。自然停止が多いとされているが、ときに心室細動に移行することがあり、注意を要する。

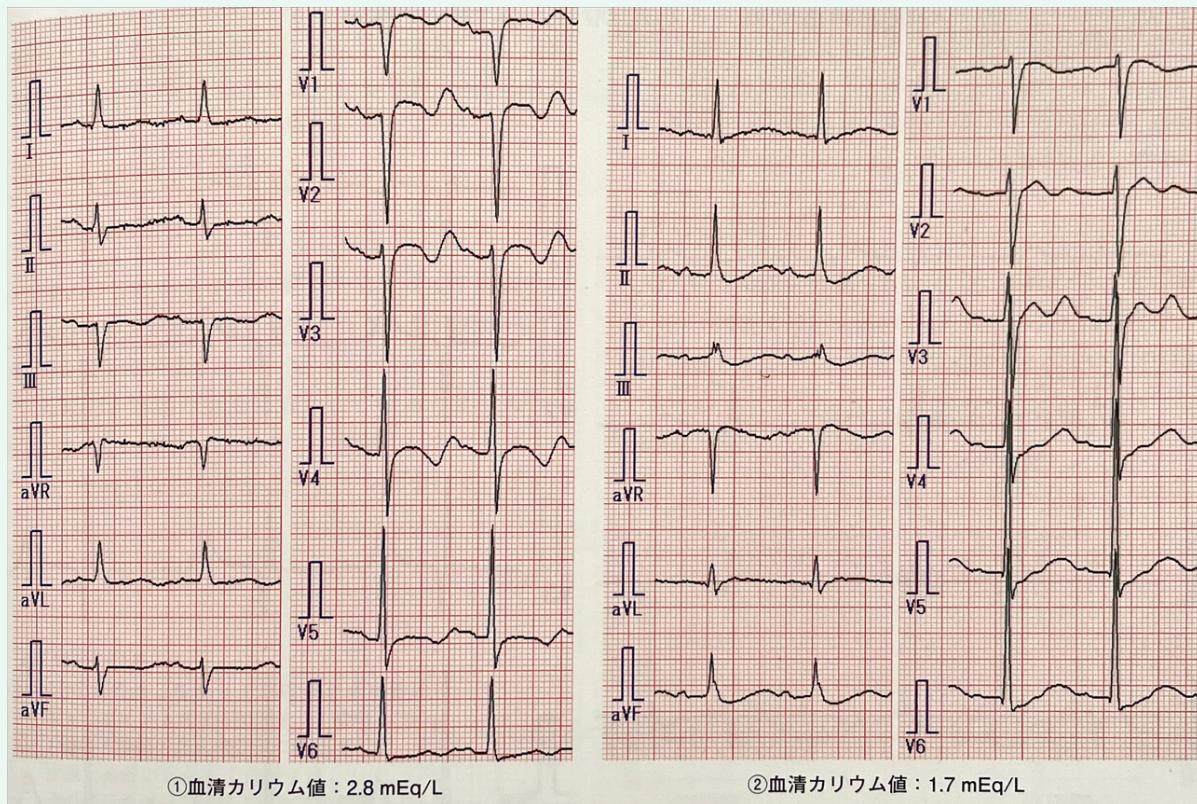


QT延長症候群

先天性と後天性のものがある。先天性は遺伝子異常に基づく心筋イオンチャネルの異常で、頻度は少ないとされている。後天性は薬剤、徐脈、電解質異常(低カリウム血症、低マグネシウム血症、低カルシウム血症)などの二次的要因が原因でQT延長を生じ、TdPを生じるものを使う。

低カリウム血症

主な心電図変化は、U波の增高とST-T変化。低カリウムの程度が強くなるに従い、U波は増高し、ST-Tは低下する。U波の增高につれてT波との区別がつきにくくなるので、「QT時間」ではなく、「QU時間」と表現されることもある。



心房細動 (AF : Atrial Fibrillation)

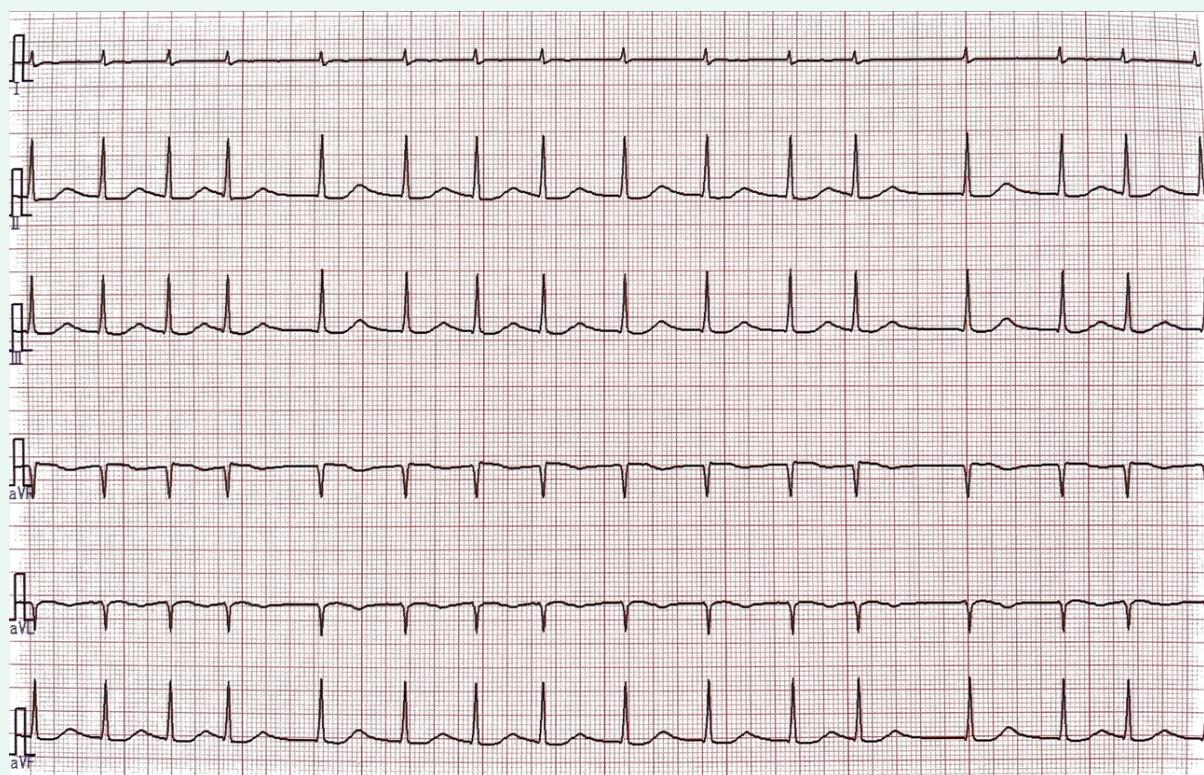
- 初発心房細動 - 心電図で初めて確認されたもの
- 発作性心房細動 - 7日間以内(24時間以内に自然停止することが多い)に自然停止するもの
- 持続性心房細動 - 7日以上続き薬剤や電気的除細動で停止するもの
- 永続性心房細動 - 停止しないもの

心電図の特徴としては

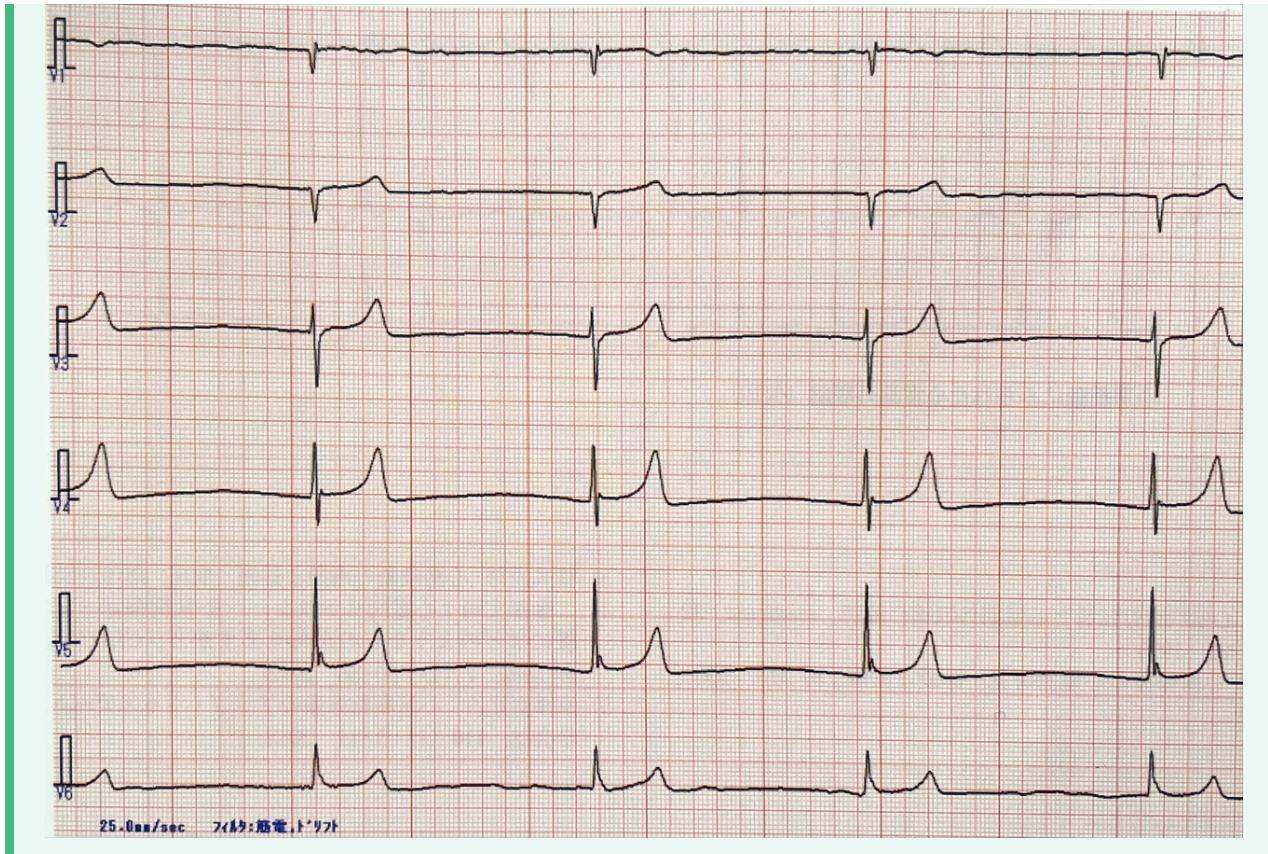
1. P波の消失
2. 細動波(f波)
3. 絶対性不整脈(QRS波が不規則に出現)

特殊な心房細動

細動波の不明瞭な例 心房細動の病歴が長くなるとf波は徐々に減高する。細動波がはっきりしない場合には洞停止や接合部調律との鑑別を要するが、絶対性不整脈を呈することから診断可能。



R-R間に不整を認めない例 心房細動に完全房室ブロックを合併すると生じる。徐脈になる。

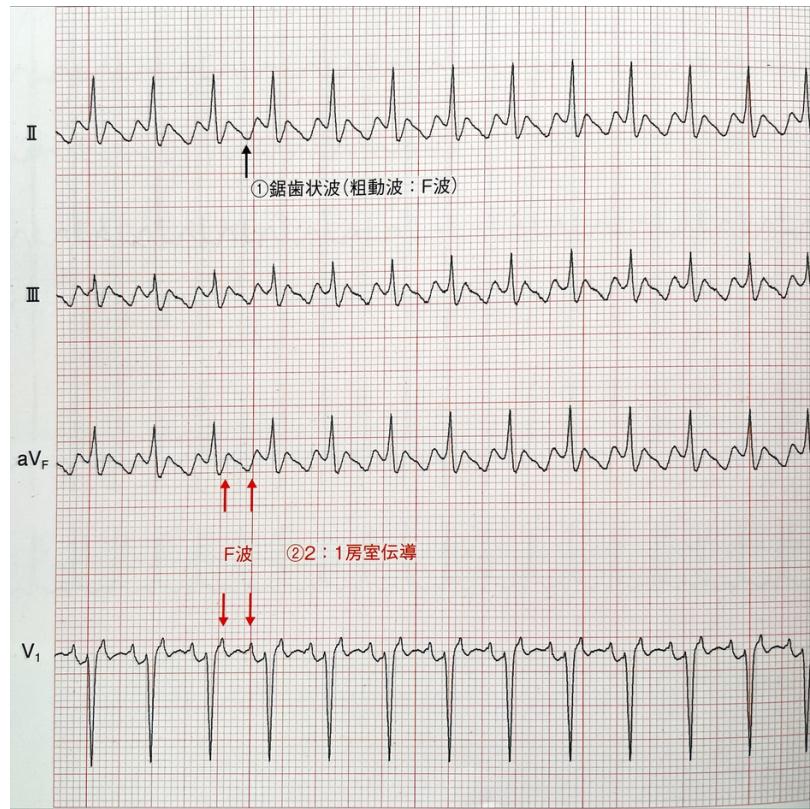


心房粗動(AFL : Atrial Flutter)

未治療例では2：1伝導が多いと言われている。1：1や2：1ではF波がQRS波に重なって発作性上室頻拍との鑑別がしばしば困難である。その場合には頸動脈洞マッサージや薬剤(ペラパミルやATP)で房室伝導比を低下させると鑑別が容易になる。また、伝導比率が混在し、R-R間隔が不規則となることもある。

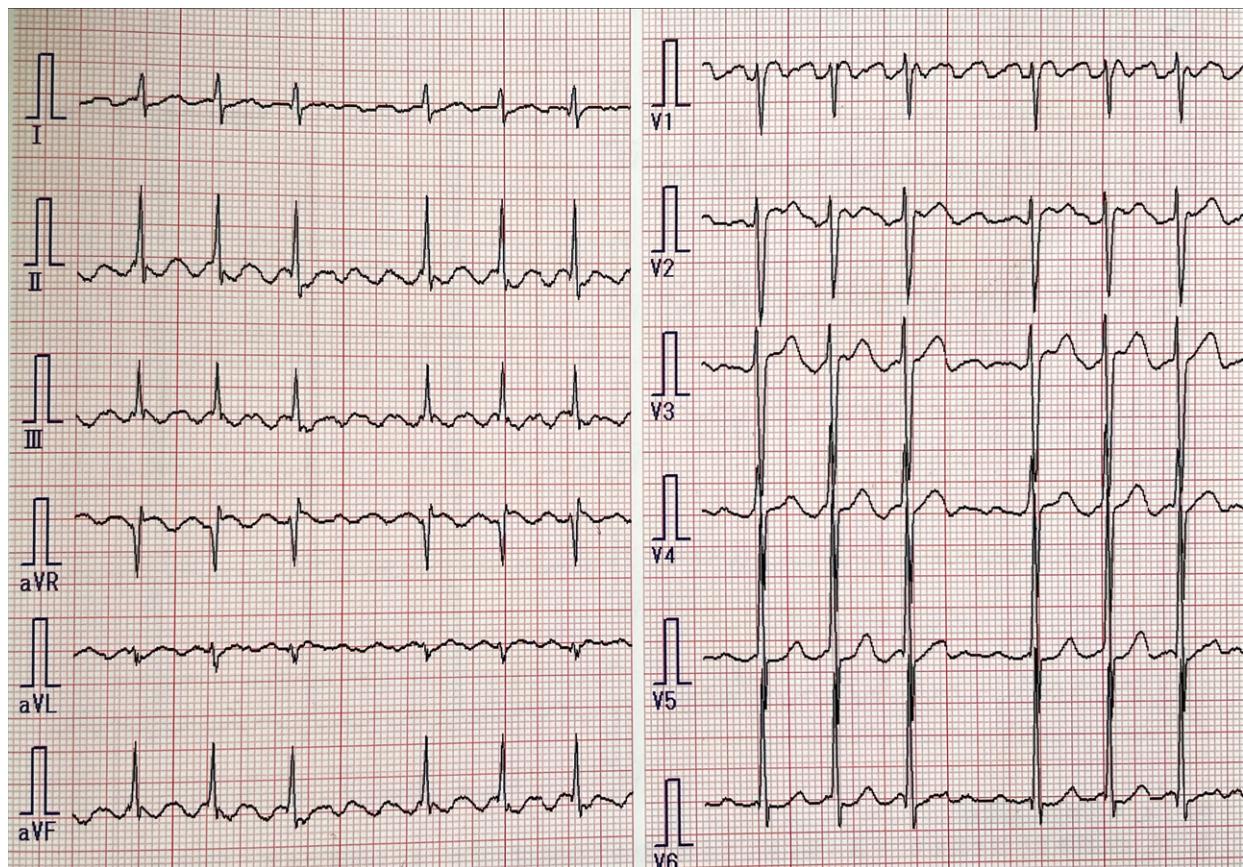
通常型

心房中隔を下から上、左房自由壁を上から下に反時計回りに興奮が旋回する。鋸歯状波(F波)は上行脚が急峻で下降脚が緩徐な陰性(下向き)波がII, III, aVF誘導で見られる。



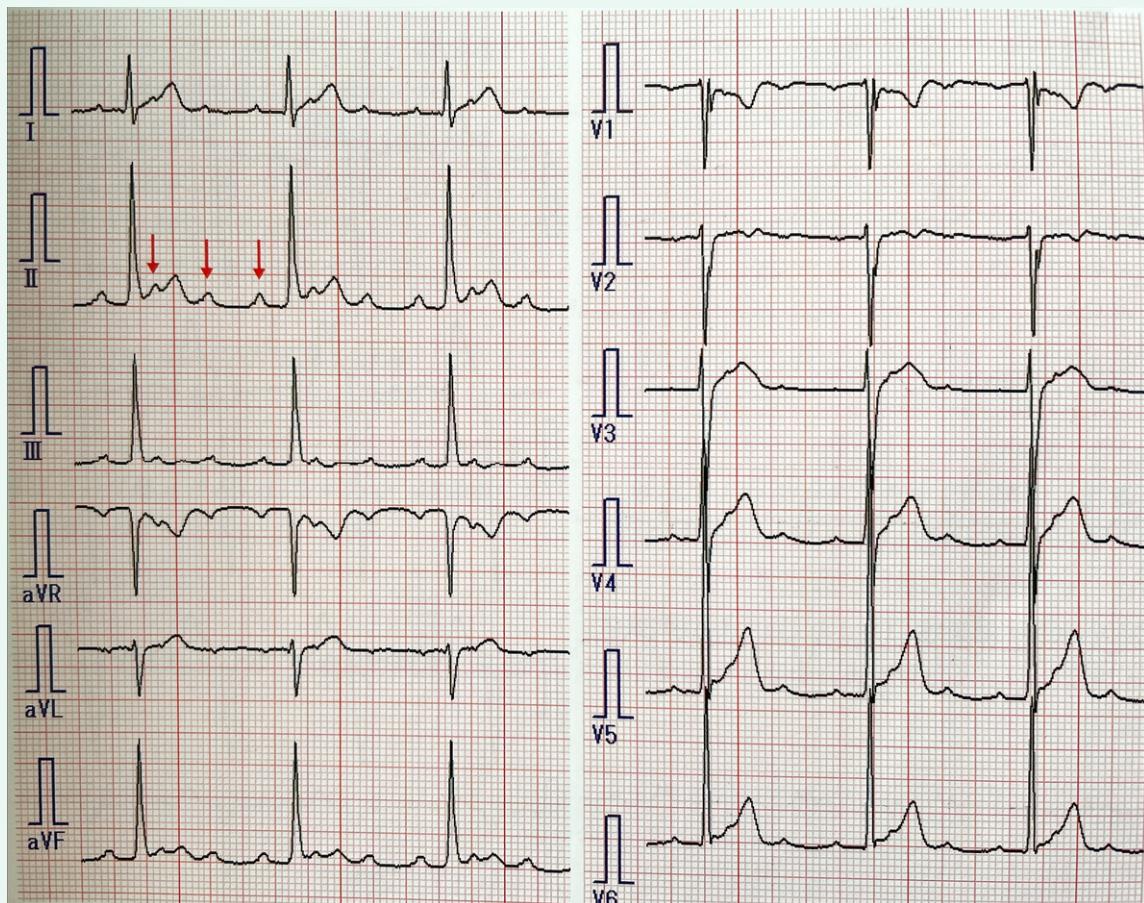
非通常型

時計方向に興奮が旋回し、II, III, aVF誘導で陽性(上向き)のF波が見られる。しかし、典型的な波形を呈さない場合もあり、F波の向きだけでは診断困難。F波が陽性、あるいは極性を判断しにくい場合には非通常型の可能性がある。



心房頻拍(attrial tachycardia)

等電位線がなく鋸歯状波を形成し、心房の興奮頻度が240/min以上のものを心房粗動、形態が一定のP波が一定の間隔の等電位線を挟んで連続し、興奮頻度が240/min以下のものを心房頻拍という。「等電位線がないのが心房粗動、あるのが心房頻拍」と覚えるのが簡単。



等電位線(基線)

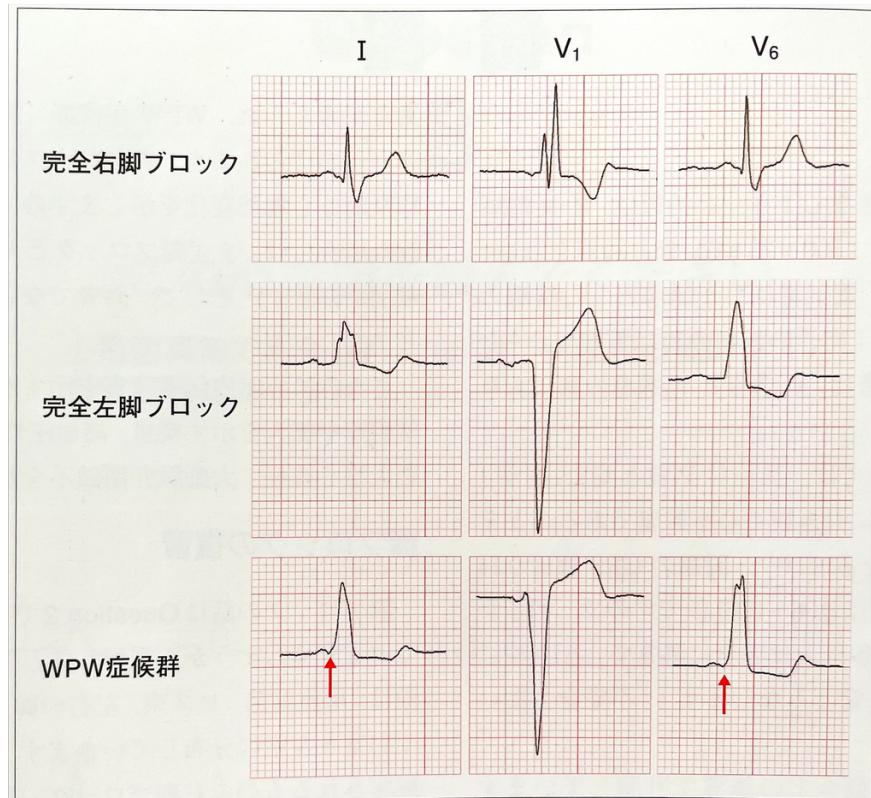
連続するP波の立ち上がり部分を結んだ線。

Wide QRS

QRS波の延長をきたす場合には、心室内の刺激伝導系の以上が考えられ、以下のような疾患があげられる

- 脚ブロック
- WPW症候群
- 心室内伝導障害 ←WPWと脚ブロックの特徴的な波形が見られない場合に考える
 - 心筋梗塞や左室肥大をきたす疾患
 - 高血圧性心疾患
 - 大動脈弁狭窄
 - 肥大型心筋症

- 大動脈弁閉鎖不全症 など



脚ブロック

I, V₁, V₆誘導のみで診断可能

右脚ブロック

1. V₁誘導での三相波(rSR'あるいはrsR'型)
2. I, V₆誘導での幅広いS波

QRS幅が0.10秒以上0.12秒未満を不完全右脚ブロック、0.12秒以上を完全右脚ブロックという。

完全左脚ブロック

1. V₁誘導でのrSまたはQS型
2. I, V₆誘導での幅広く分裂または結節を認める陽性R波
3. V₁～V₃誘導での陽性T波とST上昇、V₄～V₆誘導でのST下降・陰性T波

左脚ブロックの興奮開始は、右室中隔部分と右室心尖部部分から始まり、次いで右室側及び中隔左室へ伝えられますが、左室の筋量が多いために右室側の興奮は打ち消され、左室に向かうベクトルのみ残る。そのため、V₁誘導では遠ざかるS波となる。興奮の開始・広がりが正常と大きく異なるために回復過程であるT波も正常とは大きく異なり、二次的なST-T変化として現れる。

不完全左脚ブロック

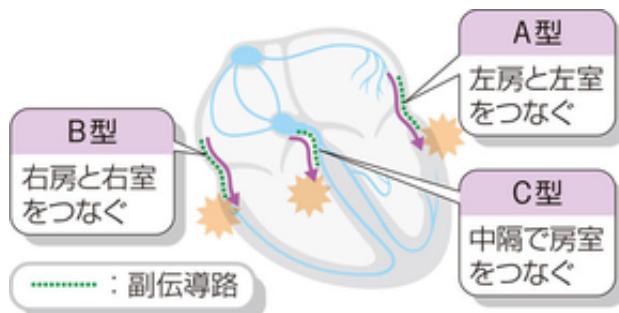
左室肥大症例に多く、肥大によるQRS波延長との区別がつきにくいとの見解や、存在自体を疑問視する声もある

WPW症候群

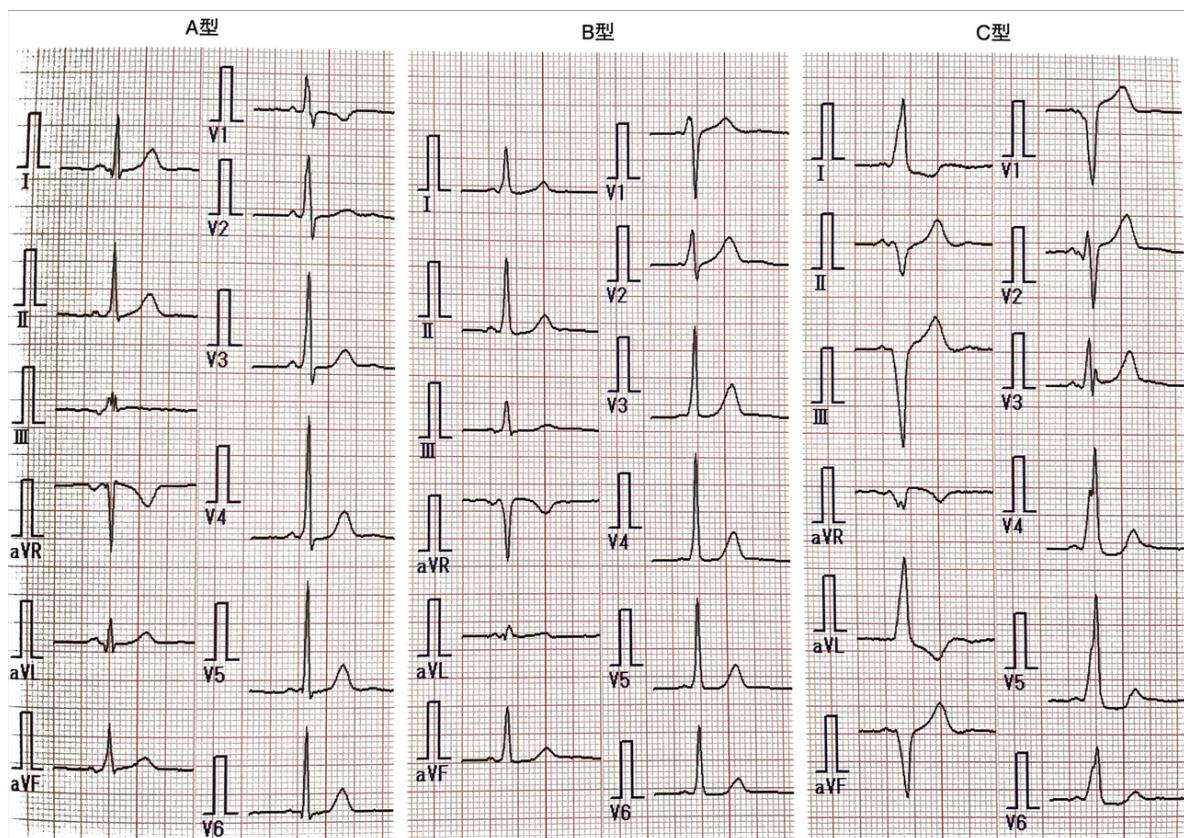
心房と心室間に副伝導路(ケント束)が存在し、ケント束を通って早期に興奮が心室に伝わる。心電図の特徴は、

1. PQ時間の短縮
2. Δ波の存在
3. QRS幅の延長

ケント束の位置によってA, B, C型に分けられ、特徴的な心電図所見を示す。



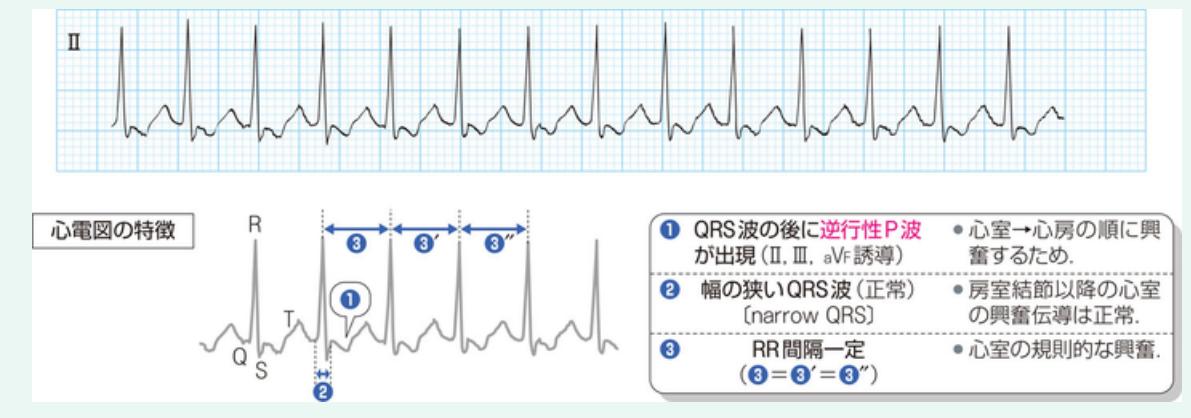
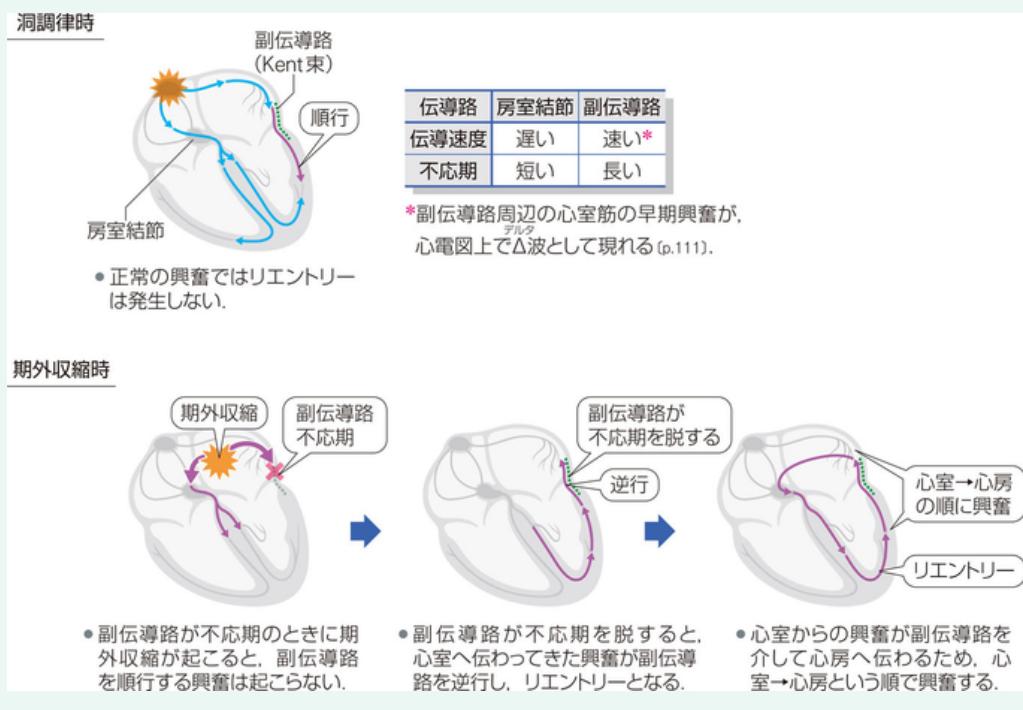
- A型 : V1誘導で上向きのΔ波を伴った高いR波
- B型 : V1誘導でrS型
- C型 : V1誘導でQS型あるいはQr型



実臨床ではさらに前後方向の情報を加えることが必要で、II, III, aVF誘導のうちの2つの誘導でΔ波が陽性であれば前壁、陰性であれば後壁、いずれでもない場合には側壁または中中隔の副伝導路が疑われる。

房室回帰性頻拍(AVRT : Atrioventricular Reentrant Tachycardia)

心房と心室を連結する副伝導路が存在する疾患に期外収縮が起った時に起こるリエントリー性頻拍 WPW症候群の10~30%に頻拍発作が認められ、AVRTはその80%ほどを占める



Wide QRS 頻拍

QRS幅が0.12秒を超える頻拍のこと。原因疾患として以下のようなものがある。

- 心室頻拍
- 脚ブロックや変形伝導を伴う心房細動・心房粗動・上室頻拍
- WPW症候群における心房細動(pseudo VT)

偽性心室頻拍(pseudo VT)

WPW症候群に心房細動を伴うもので、幅広いQRS波形を示し、一見心室頻拍ににていることからこう呼ばれる。WPW症候群に心房細動が合併すると、副伝導路を経て頻回に心房興奮が心室に伝わるために、立ち上がりの緩やかなwide QRS頻拍となる。QRS波形の初期に洞調律時の△波と極性が類似する△波様波形を認める。

徐脈性不整脈

最も重要な症状として、めまいや眼前暗黒感、さらには失神発作などの脳虚血症状がある。緊急治療を必要とする徐脈性不整脈として、洞機能不全症候群と房室ブロックがある

Adams-Stokes症候群

心停止や頻脈発作などの不整脈のために脳への血流が低下または停止し、その結果、意識障害(失神)発作を起こすもの。徐脈性不整脈のみならず、心室頻拍や心室細動などの頻脈性不整脈による意識障害全般も含む。

洞機能不全症候群(SSS : Sick Sinus Syndrome)

洞結節の自動能あるいは洞房伝導の一過性または持続的な低下により生じ、失神や心不全などの臨床症状を呈する。心電図所見から、

1. 持続性洞徐脈
2. 洞停止あるいは洞房ブロック
3. 徐脈頻脈症候群

の3つに分けられる。

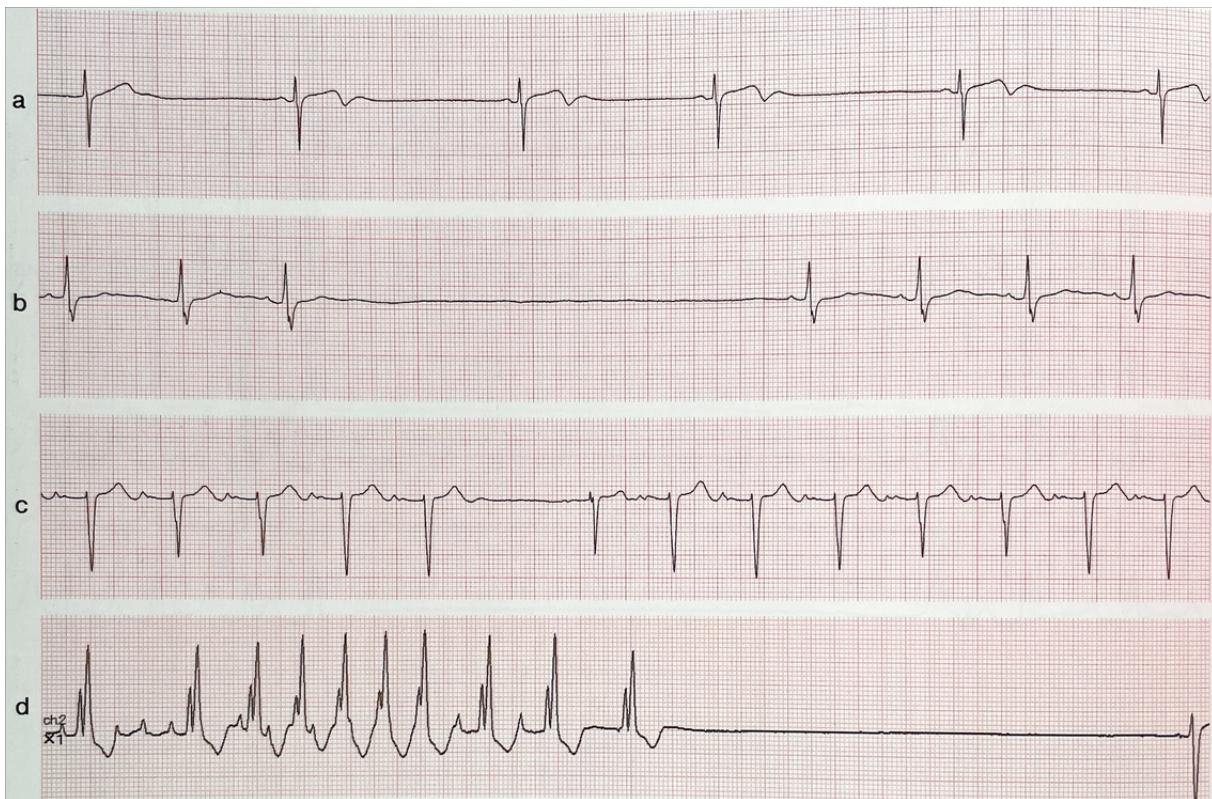


図 1 洞機能不全症候群の心電図

- a : 持続性洞徐脈……心拍数は 31/分と徐脈を認め、P 波と QRS 波は 1 対 1 の関係にある。
b : 洞停止……約 4.5 秒の心停止がみられる。洞停止では、延長した P-P 間隔が正常の P-P 間隔の整数倍とはならない。
c : 洞房ブロック……5 拍目と 6 拍目に P-QRS の脱落がみられる。延長した P-P 間隔は正常の P-P 間隔のほぼ整数倍となる。
d : 徐脈頻脈症候群……頻拍発作停止直後に洞結節の興奮が出ず、心停止がみられる。

房室ブロック

房室ブロックはI～III度に分けられ、I度房室ブロックはQRS波の脱落はなく、PQ時間が0.21秒以上に延長したものをいう。I度房室ブロックは多くは経過観察で良いが、3枝ブロックなどで幅広いQRS波を伴っている場合は房室結節より下位のヒス束やプルキンエ線維の伝導障害で起こっていることがあり、II度房室ブロックや完全房室ブロックに進行する可能性が高いとされる。

II度房室ブロックの中で、房室伝導比が2対1伝導より低い場合を高度房室ブロックという。II度房室ブロックはWenckebach型とMobitz II型に分けられるが、P波の1つおきにQRS波が脱落する場合には区別ができないので、2対1房室ブロックと呼ばれる。

3枝ブロック

3つのブロックが合併している状態。心電図上判別可能なものには以下のようなものがある。

1. 完全右脚ブロック+左脚前枝ブロック+房室ブロック
2. 完全右脚ブロック+左脚後枝ブロック+房室ブロック
3. 完全左脚ブロック+房室ブロック

左脚後枝は障害を受けにくいため、実際には1の組み合わせがほとんど

左室高電位

ミネソタコードでは左室高電位の基準を以下のようにしている

1. V5あるいはV6誘導のR波の高さ $\geq 2.6\text{mV}$
2. I, II, III, aVF誘導のいずれかのR波の高さ $\geq 2.0\text{mV}$ またはaVL誘導のR波の高さ $\geq 1.2\text{mV}$
3. SV1+RV5(RV6) $\geq 3.5\text{mV}$

左室電位は胸壁の厚さや胸水、浮腫などの影響を受けるために偽陽性・偽陰性が多いと言われている。特に痩せ型体型の日本人の若年男性などでは高電位となりがち。「左室高電位=左室肥大」ではないと覚えておく。

左室肥大

- 左室高電位
- 心室興奮時間(VAT)の延長(QRS幅の延長)
- ST-T変化

その他、左軸偏位、左房負荷、陰性U波などを伴うこともある

左室肥大は左室圧負荷と左室容量負荷の二種類があり、それぞれ以下の特徴を持つが、病態の進行に伴い圧負荷と同様の心電図変化となり、心電図での鑑別には限界があるとされる。また、圧負荷による左室肥大でも軽度であれば、陽性T波を示すとされる。

心室興奮時間(VAT : Ventricular Activation Time)

QRS波の開始からR波の頂点までの時間を指し、心室の興奮開始から胸壁電極直下の心筋に興奮が達するまでの時間と考えられている。通常の12誘導心電図ではVATの正確な計測は困難であることが多い、VATで左室肥大を判別するのは難しい。

左室圧負荷

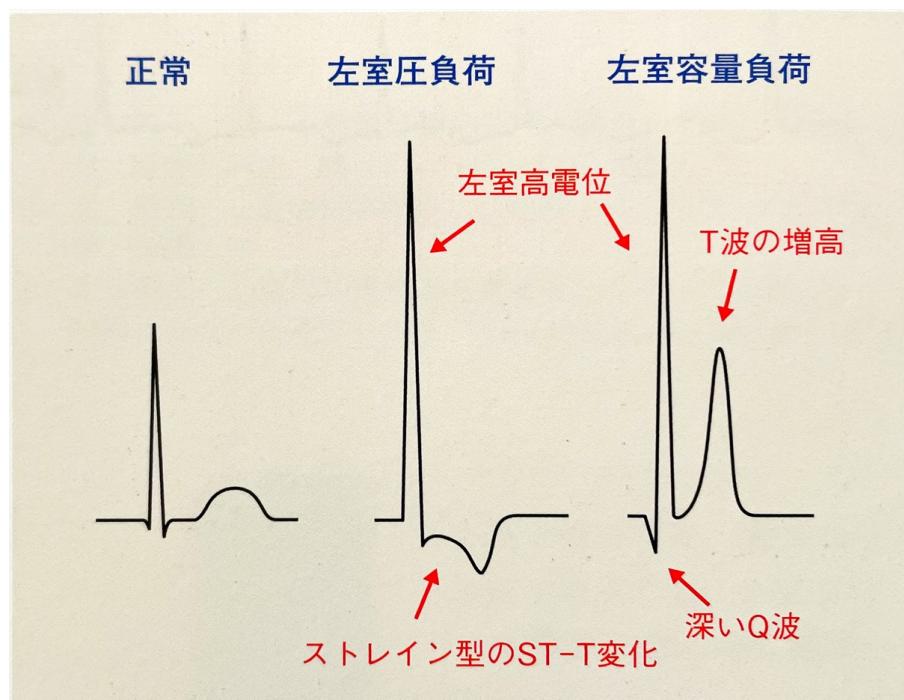
- 左室高電位
- QRS幅の軽度延長
- ストレイン型ST-T変化(V5, V6で見られる)

ストレイン型ST-T変化

下降脚は上に凸の緩やかな下降、上行脚が急峻な不等辺三角形型の陰性T波のこと

左室容量負荷

- 左室高電位
- 左側胸部誘導での增高あるいは尖鋭化したT波と深いQ波



低電位差

QRS波の振幅が以上に低下している状態

- 肢誘導の低電位差 - 肢誘導の全ての誘導で0.5mV未満
- 胸部誘導の低電位差 - 胸部誘導の全ての誘導で1.0mV未満

原因として、広範囲の心筋梗塞や心筋障害により心臓の起電力が低下している場合、粘液水腫、心膜液貯留、肺気腫、肥満などがある。実際にはこの判定基準を満たす症例は少なく、QRS波の振幅の低電位の進行または改善を見ることで病態の変化を知る。

QRS波の振幅が小さいときには、まずどの誘導が低電位差であるかを見る。全誘導で基準に達している場合は上記の疾患が考えられる。

肢誘導のみの低電位差

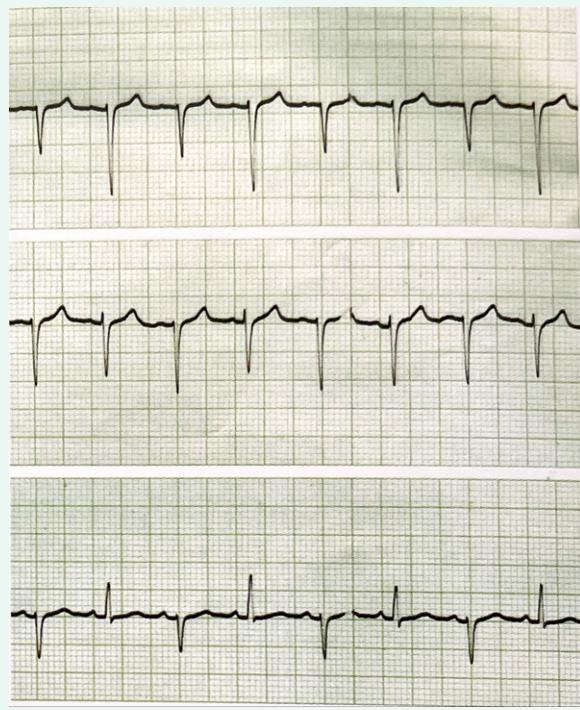
心臓の位置、特に起電力の主ベクトルが前後方向に向いていて、左右上下方向のベクトルが小さい場合が多く、健常人にも見られる

胸部誘導のみの低電位差

胸部誘導のみに低電位差が見られることは滅多にない。左胸部誘導(V4~V5)に低電位差が見られる場合には、左室側壁に何らかの異常がある、あるいは左胸水貯留、肺気腫、左侧気胸などの異常があることがわかる。

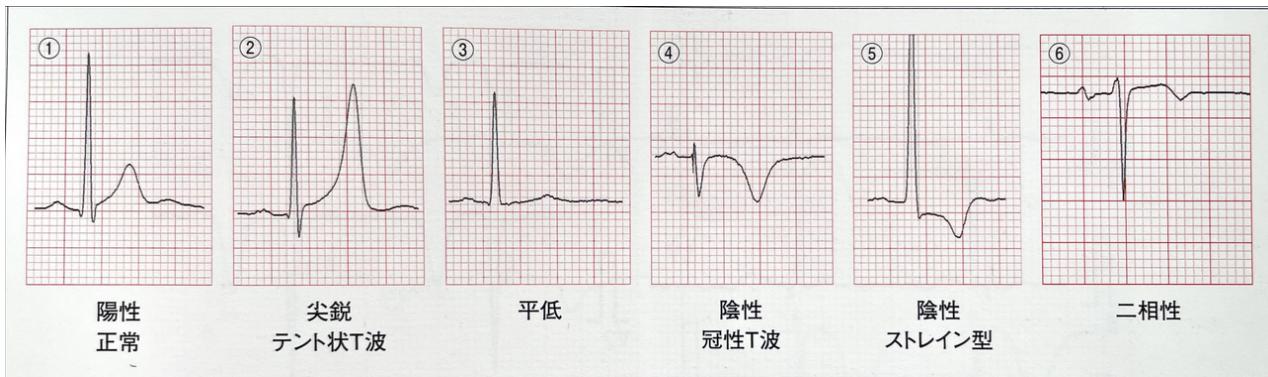
電気的交互脈

QRS波やT波あるいはU波が一拍ごとにその大きさや極性を交互に変化させる現象のこと。心膜液貯留患者に見られることがあり、心膜液の貯留により心臓の位置が一心拍ごとに変化するためと考えられている。



T波の見方

T波の高さは基線からT波の頂点までの高さを計測する。正常値は、四肢誘導で0.5mV以下、胸部誘導で1.0mV以下となっている。



增高T波

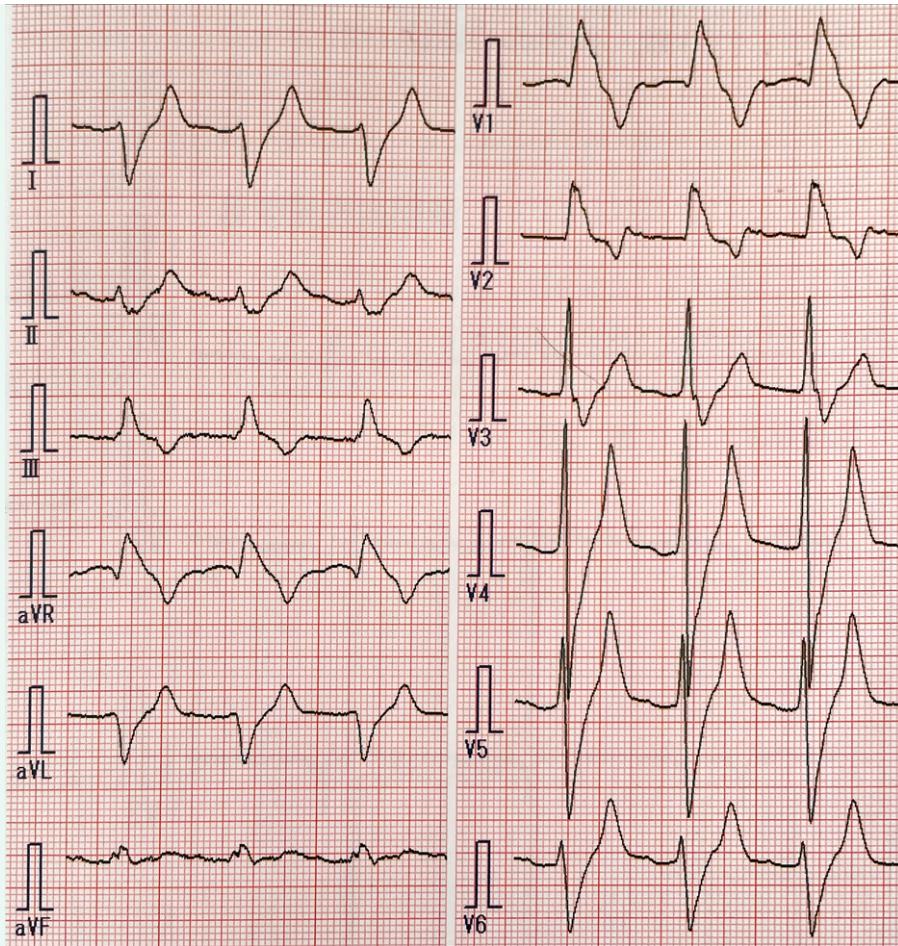
T波が1.2mVを超える場合、または経過で前回よりも高くなったものをいう。

以下のような疾患で見られる。

- 完全左脚ブロック - QRS幅の延長、V1誘導でのrSまたはQS型、IとV6誘導での幅広い陽性R波
- 左室肥大(容量負荷) - 左室高電位、左側胸部誘導での増高あるいは尖鋭化したT波と深いq波
- 急性心筋梗塞の早期 - 多くはST上昇を伴う。胸痛のみの場合は時間をおいて再度心電図
- 異型狭心症の発作時
- 高カリウム血症 - 幅が狭く左右対称の尖鋭化したT波(テント状T波)

洞室調律(sinoventricular rhythm)

血清カリウム値が8.0mEq/Lを超えるとP波は消失する。洞結節は血清カリウム値の影響を受けにくいために、洞結節の自動能は維持され、洞結節からの興奮が結節間経路を通って心室へ伝導する。このような現象を洞室調律という。テント状T波、QRS幅の延長、心拍数が正常もしくはほぼ正常に保たれている点が心室調律とは異なる。



陰性T波

aVRは陰性T波が正常。 III, aVL, aVF誘導では正常でも陰性T波が見られることがある。また、V1, V2誘導では、若年者や女性で軽度の陰性T波を見ることがある。

陰性T波には対称性と非対称性の陰性T波があり、急性心筋梗塞や心筋虚血で見られる左右対称性の陰性T波は、冠性T波と呼ばれる。脚ブロックやWPW症候群などの心室内伝導異常においても陰性T波が見られることがある。また、心疾患がなくても、貧血、低蛋白血症、電解質異常、内分泌疾患、感染症などでT波の平低下や陰性T波を見ることがある。

巨大陰性T波(GMT : Giant Negative T waves)

陰性T波の振幅が1mV以上のもの。

原因疾患には以下のようなものがあり、それぞれに鑑別ポイントがある。どれにせよ心電図だけの判断ではなく、心エコーは必要。

- 心尖部肥大型心筋症 - 左室高電位を伴い、GNTはV4誘導を中心に出現
- 急性心筋梗塞 - ST上昇やR波の減高、異常Q波などがあり、時間経過でGNTが見られる
- たこつぼ心筋症 - 発症直後にはST上昇を認め、数日後にGNTとQT延長を示す。鏡像変化や異常Q波は伴わない

そのほかにもQT延長症候群、肺塞栓、中枢神経疾患などさまざまな病態で見られると言われている。

右側胸部誘導の高電位

V1誘導のR波が0.7mV以上の場合のことを言う。

V1誘導の高電位あるいはR波高>S波高のとき、QRS幅によって以下のような鑑別が考えられる。

QRS幅が広いとき

- 右脚ブロック - IとV6誘導での幅広いS波、V1誘導でrsR'型
- A型WPW症候群 - Δ波

QRS幅が正常の時

- 右室肥大 - 高いR波にST低下や陰性T波
- 後壁梗塞 - 高いR波と高い陽性T波
- 反時計方向回転 - R/S比>1に陽性T波

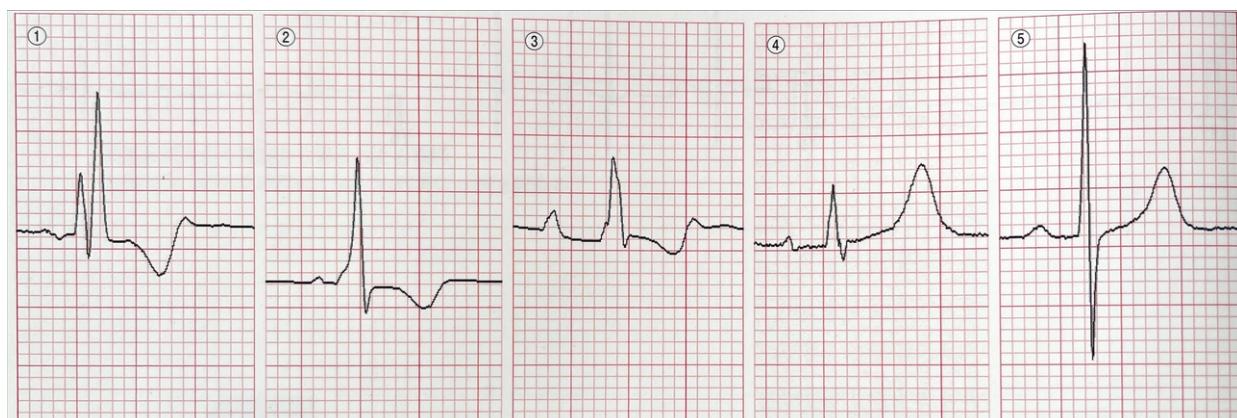


図 1 V₁誘導で高い R 波を示す心電図

- ① 完全右脚ブロック……V₁誘導の rsR' 型 ② A 型 WPW 症候群……デルタ波
④ 後壁梗塞……増高 T 波 ⑤ 反時計方向回転……陽性 T 波

右室肥大

右室圧負荷

- 肺動脈弁狭窄症
- ファロー四徴症
- 肺動脈性肺高血圧症

判定の目安として、以下のようなものがある。

- 110°を超える右軸偏位
- V1誘導のR/S比 ≥ 1
- V1誘導のR波高 $\geq 0.7\text{mV}$
- V6誘導のR/S比 ≤ 1
- V1とV2誘導でのストレイン型のST-T低下
- V1誘導でのrsR'型

右室容量負荷

- 心房中隔欠損症
- 三尖弁閉鎖不全

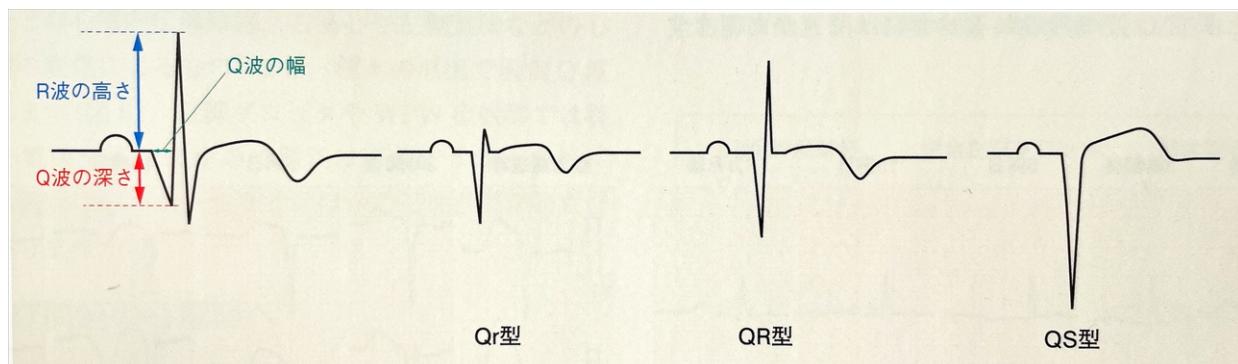
右室拡大を伴うような場合には、右脚の伸展により右脚ブロックとなることがある。判定の目安として、

- 不完全右脚ブロック
- R'波高 > 0.5mV
- 右軸偏位
- V5とV6誘導の深いS波

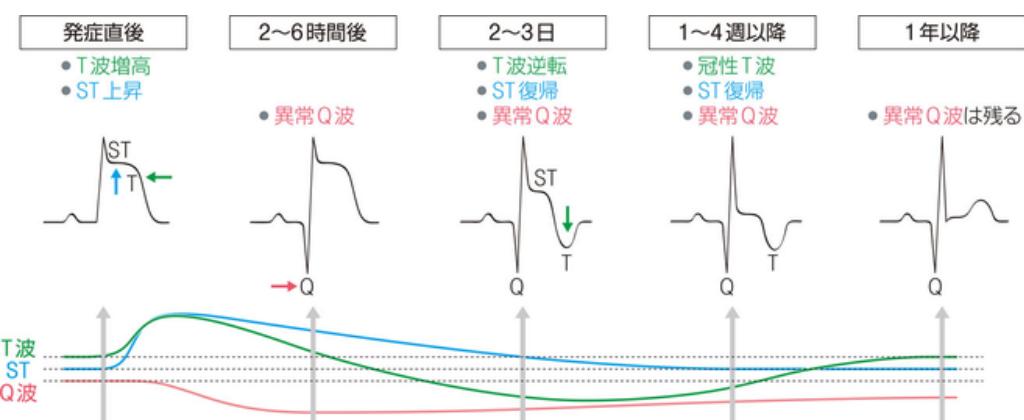
などがある。

異常Q波

幅が0.04秒以上、深さがR波の1/4以上のQ波と定義される。



典型的な心筋梗塞では、T波の增高とST上昇に引き続いて異常Q波が出現する。次にT波は減高し、ST上昇も改善し、やがて冠性T波が出現する。異常Q波と同一誘導でST-T変化を伴うことが多いので、ST-T変化にも注目する。



異常Q波は心筋梗塞以外にも以下のような疾患で見られる。

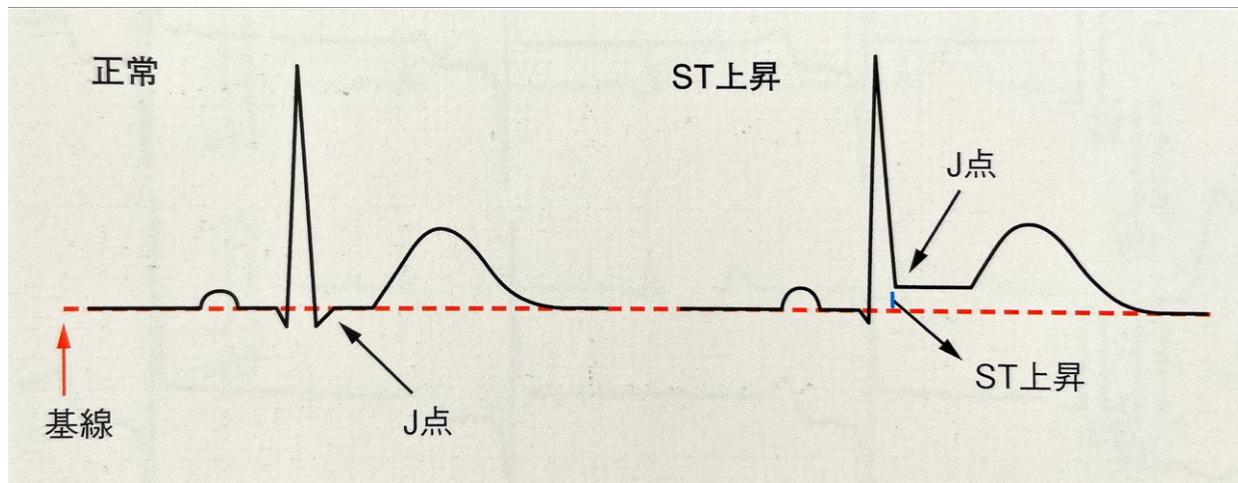
- 肥大型心筋症
- 拡張型心筋症
- 左脚ブロック
- WPW症候群

- 右胸心
- 左側気胸

疾患によっては心エコーなど他の追加検査が必要な場合もある。

ST上昇

ST部分とはQRS波の終了部分(J点)からT波の開始までをいい、通常は基線に一致する。ST部分の高さは一般的にJ点で見る。正常範囲は、I, II, III, aVL, aVF, V5, V6誘導で0.1mV未満、V1～V4誘導で0.2mV未満とされる。



ST上昇をきたす疾患には以下のようなものがある。

- 急性心筋梗塞
- 急性心膜炎
- 急性心筋炎
- たこつぼ心筋症
- 心筋疾患
- 心室内伝導障害

など

梗塞部位	梗塞波形が出現する誘導												主な閉塞枝	
	I	II	III	aVR	aVL	aVF	V1	V2	V3	V4	V5	V6		
前壁中隔							○	○	○	○				• 左前下行枝 (LAD)
広範前壁	○			○			○	○	○	○	○	△		• 左前下行枝
側壁	○			○						○	○			• 左前下行枝 • 左回旋枝 (LCX)
純後壁							*	*						• 左回旋枝 • 右冠動脈 (RCA)
高位側壁	○			○										• 左前下行枝 • 左回旋枝
下壁		○	○		○									• 右冠動脈

○: 梗塞波形がみられる △: ときにみられる *: mirror image (p.82)によるST下降, R波増高, T波增高

心筋梗塞後の不整脈

心筋梗塞後には様々な種類の不整脈が見られ、急性期と慢性期では多少異なる。急性期には心室頻拍が多く、次いで、心室期外収縮、心房細動や房室伝導障害がよくみられる。

心室細動：急性心筋梗塞発症4時間以内に生じることが多く、出現頻度は2.1～4.9%とされている。

心室頻拍：心筋梗塞発症後48時間以内に見られることが多く、出現頻度は10～40%とされる。

心房細動：STEMIにみられる上室不整脈の中で最も多く、急性心筋梗塞の5～18%にみられると言われる。

洞徐脈：急性心筋梗塞の15～25%にみられ、急性心筋梗塞発症1時間以内あるいは、右冠動脈の再灌流後に認められることが多い。

房室ブロック：STEMIに関連する不整脈の6～14%にみられる。

下壁梗塞

下壁梗塞の20～30%に右室梗塞が合併すると言われており、V1～V2誘導でST上昇が見られることがある。また、右室梗塞を合併した下壁梗塞では、洞徐脈や房室結節動脈の閉塞による房室結節での伝導障害が生じ、I～III度の房室ブロックが見られる。

側壁梗塞

回旋枝の閉塞により起こることが多く、心電図ではI, aVL, V5, V6誘導に心筋梗塞に特徴的な心電図変化が見られるとされているが、実際にはST上昇が軽微な例も多く、全く心電図変化を認めないこともある。

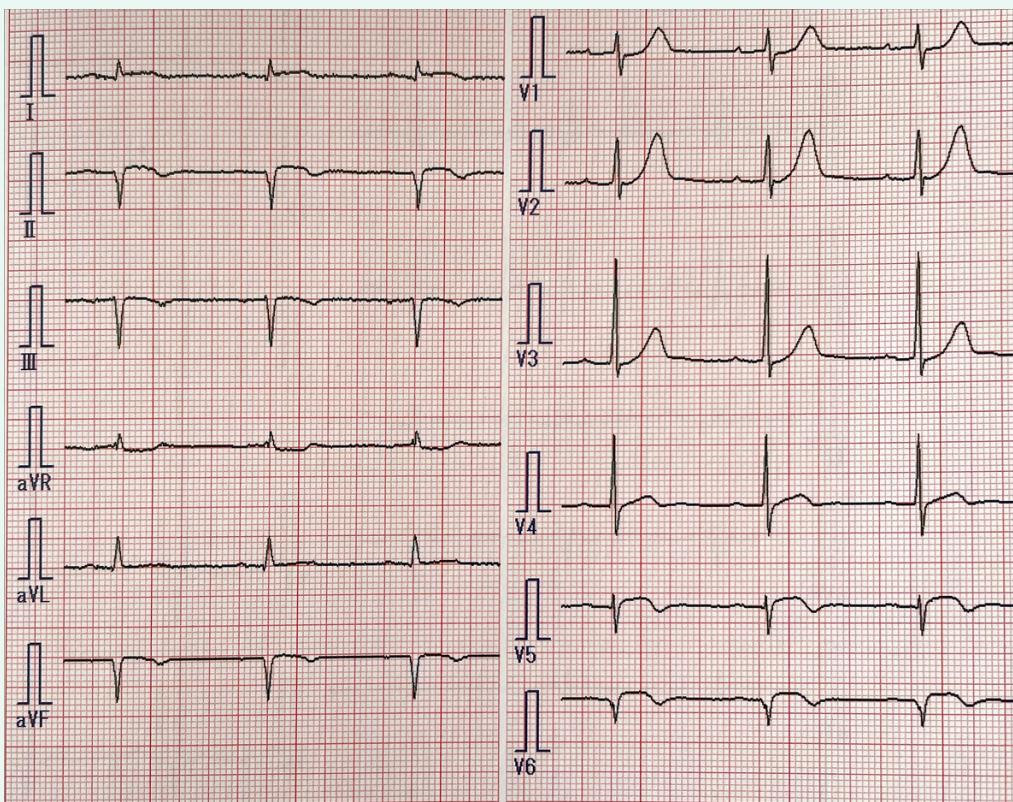
高位側壁枝

通常、左冠動脈主幹部(LMT)から左前下行枝(LAD)と左回旋枝(LCX)の2つに分岐するが、まれにLADとLCXの間にもう一本の枝が見られることがある。これが高位側壁枝で、左室側壁を栄養する。

後壁梗塞

胸部誘導電極を背中(V7やV8誘導)に付け替えることでST上昇や異常Q波を見ることができるが、現実的には厳しいので、その鏡像変化をV1, V2誘導で読むことができる。異常Q波の鏡像変化がR波の增高として、冠性T波の鏡像変化が陽性T波として現れる。後壁梗塞は下壁梗塞や側壁梗塞に合併することが多く、これらが見つかれば診断特異度が高まる。慢性的にはR波が減高するので、健常人に見られる反時計方向回転との鑑別は難しくなる。

下壁、側壁、後壁心筋梗塞患者の心電図



I, V5, V6誘導でのST上昇とV6誘導での異常Q波を認め、側壁心筋梗塞が疑われる。II, III, aVF誘導はQS型を示し、下壁心筋梗塞が疑われる。V1とV2誘導のR/S比>1、V1誘導の陽性T波、V2誘導の尖鋭T波から後壁心筋梗塞が疑われる。

急性心膜炎

心筋梗塞と同様に胸痛とST上昇をきたす。急性心膜炎ではaVRを除く広範囲な**凹型**のST上昇が見られる。←心筋梗塞は**凸型** さらに、心房に炎症が波及した場合にはPR部分が低下する。

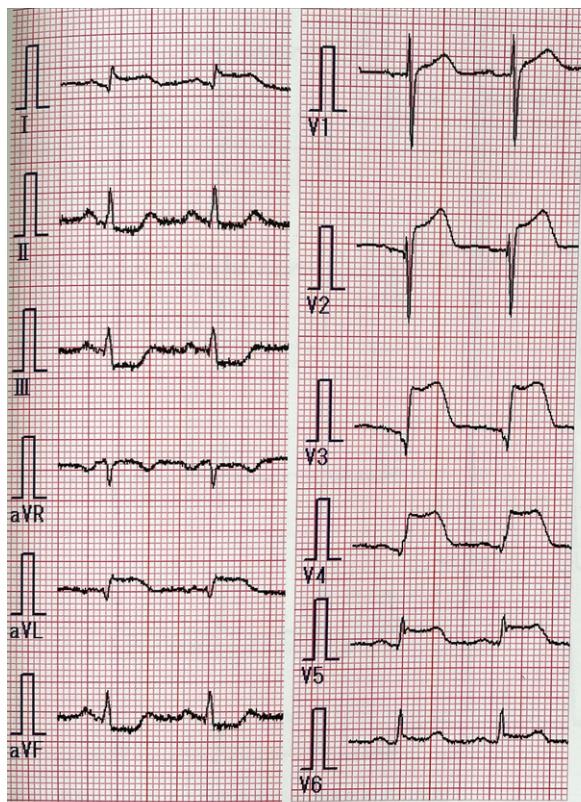


図3 急性前壁側壁心筋梗塞
I, aVL, V₂～V₅誘導のST上昇を認める。II, III, aVF誘導でのST低下は対側性ST下降である。

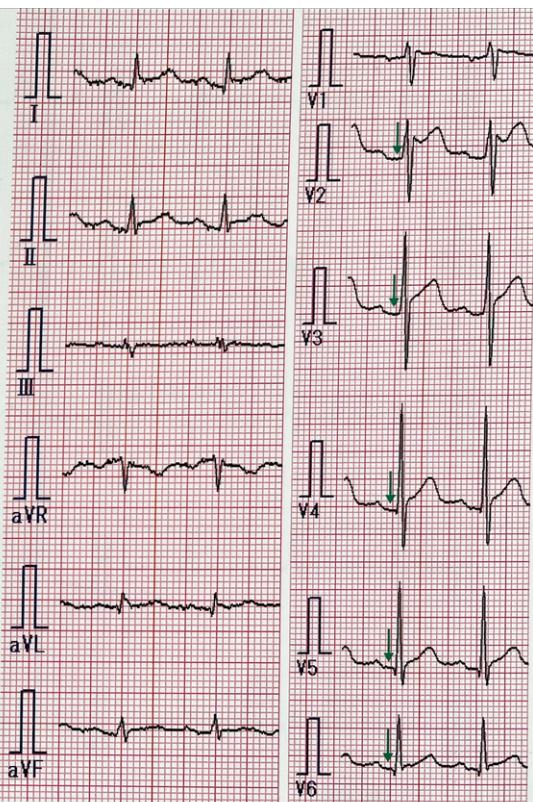
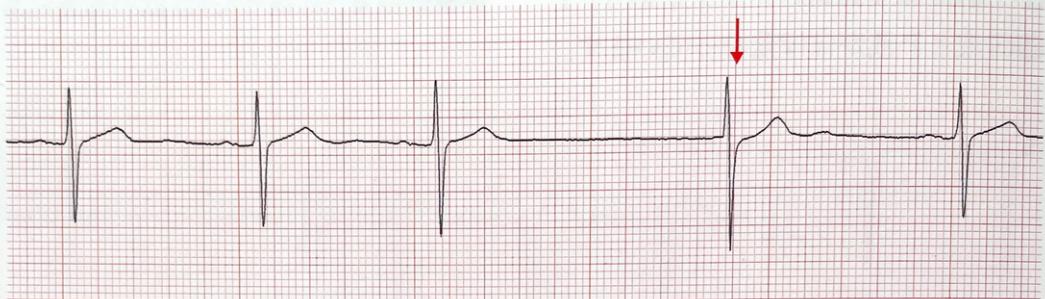


図4 急性心膜炎の心電図
I, II, V₁～V₆誘導でST上昇を認める。胸部誘導でPR部分の低下(矢印)がみられる。

補充収縮と補充調律

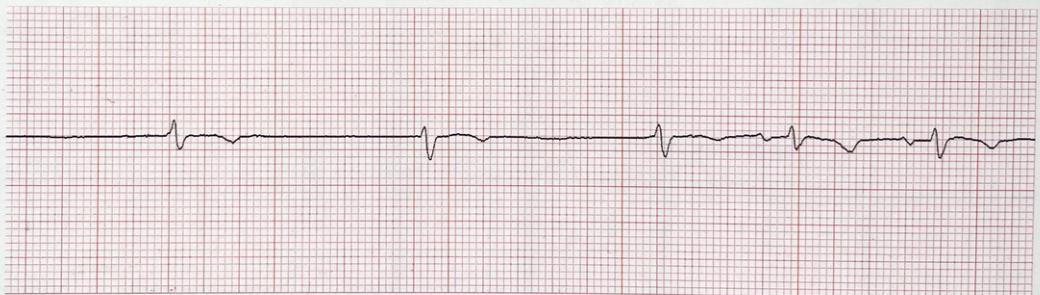
洞結節から刺激が出ない場合、あるいは何らかの機序で洞結節の興奮が心室に伝わらない場合などに、洞結節のかわりに房室接合部あるいは心室から刺激が出る場合を補充収縮(escape beat)という。補充収縮は一心拍だけ出現したものをいい、連続して出現する場合は補充調律(escape rhythm)と呼ぶ。また、房室接合部から出る補充収縮を房室接合部補充収縮、心室から出るものを中心補充収縮と呼ぶ。

房室接合部補充収縮



洞結節からの刺激（P波）が出ないために房室接合部から刺激（矢印）が出ている。QRS波の前にP波がなく、QRS幅も洞調律と同じで、房室接合部補充収縮であることがわかる。

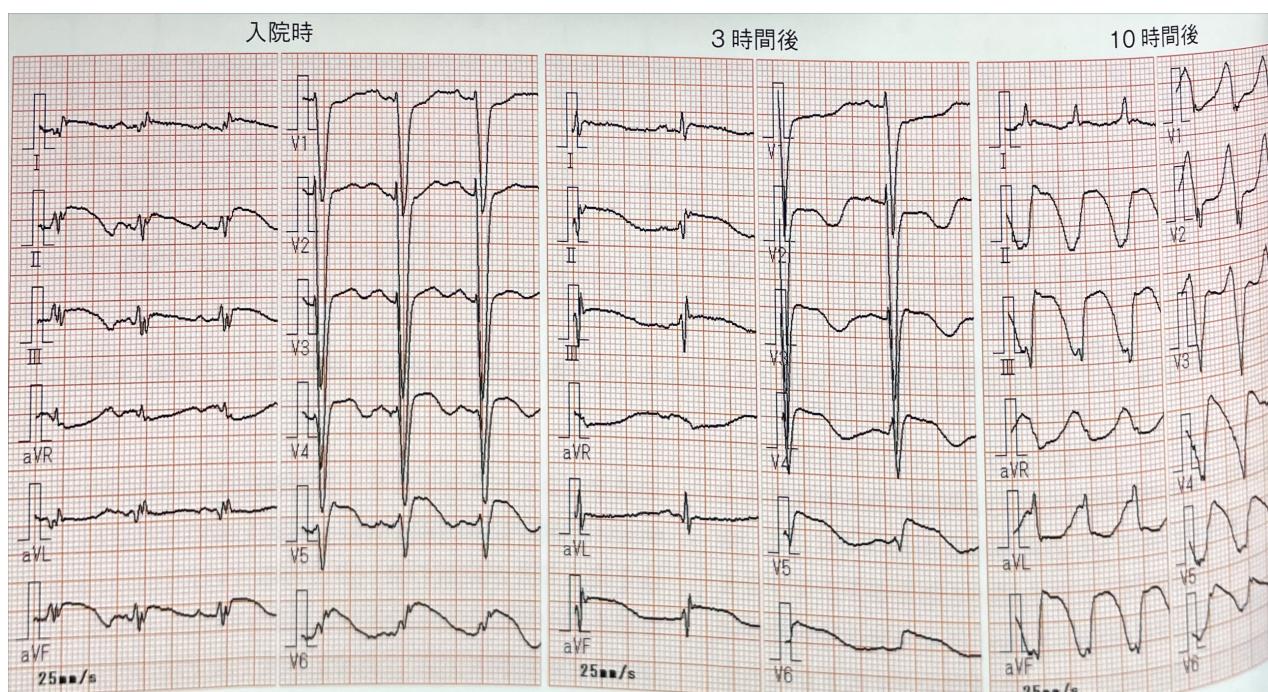
房室接合部補充調律



4拍目と5拍目は洞調律であるが、1～3拍目にはP波ははっきりせず、房室接合部補充調律である。

急性心筋炎

心筋の炎症性疾患で、細菌やウイルスなどの感染によって発症する。感冒用症状や消化器症状が先行し、胸痛や呼吸困難などの心症状を認めた場合に疑う。心電図変化は特異性に乏しいとされるが、ほとんどの症例でST上昇やST低下などのST-T変化、心室内伝導障害を反映するQRS幅の延長、異常Q波、低電位差、房室ブロックや期外収縮などの不整脈など何らかの心電図異常が認められる。また、炎症の経時的变化とともに心電図が多彩に変化することが特徴で、心筋炎の診断のためには心電図検査を繰り返し行うことが重要であると言われている。



たこつぼ心筋症

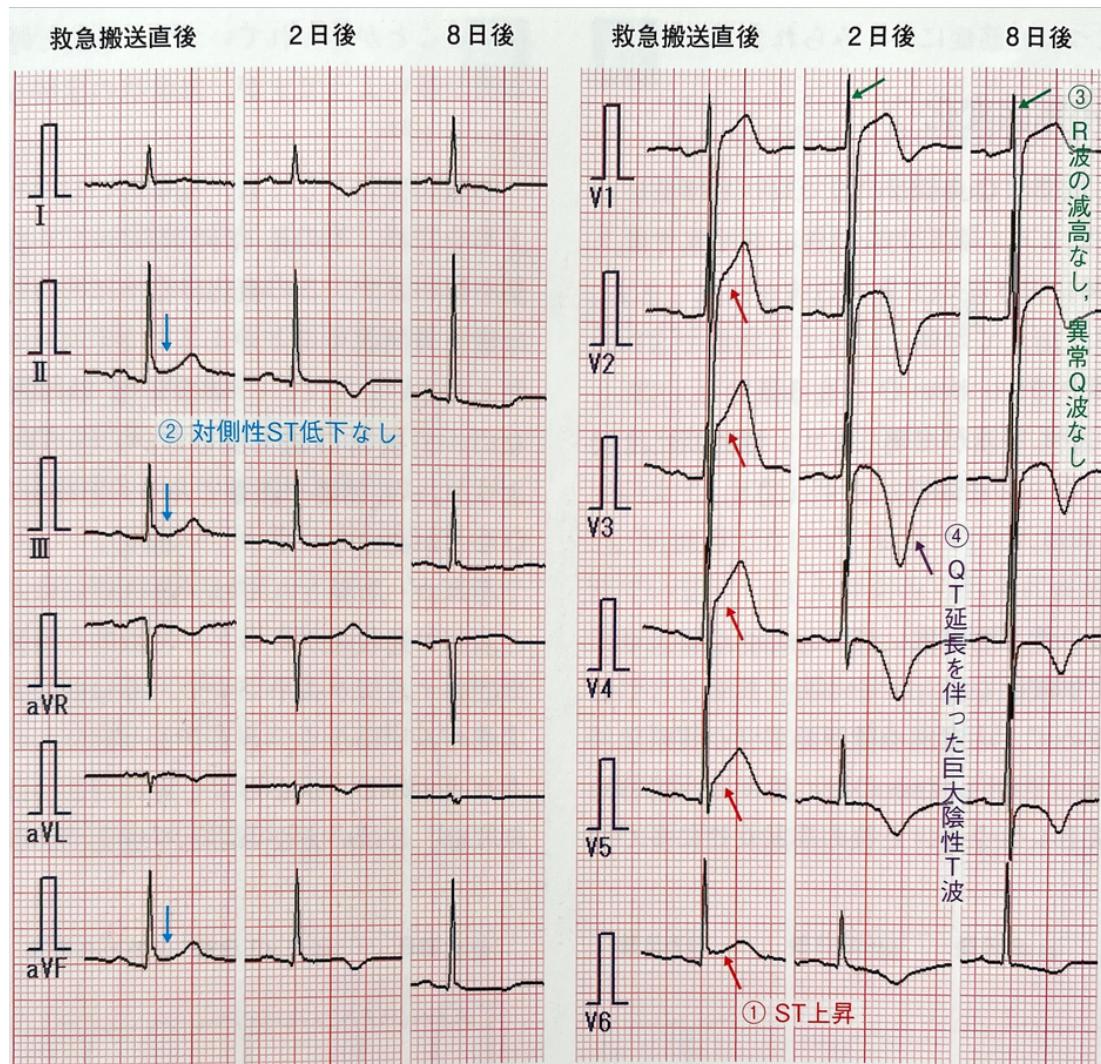
急性心筋梗塞に類似した発症経過で、左室心尖部を中心に無収縮を呈し、その責任病変として妥当な冠動脈病変を認めず、心電図や壁運動異常が短期間に正常化するものをさす。 収縮異常は心尖部のみではなく、さまざまな部位での収縮異常の報告がある。

心電図変化として、発症時には90%以上の症例でST上昇を認め、その後48時間以内にT波の陰転化やQT延長を伴う。 この変化は徐々に回復するが、陰性T波は数ヶ月続くことがあるとされている。

前壁心筋梗塞との違いとして、

- 鏡像変化(対側性ST低下)を認めない
- 異常Q波を認めない
- ST上昇がV1～V3誘導よりV4～V6誘導で顕著である
- aVRでST上昇を認めない

などが挙げられる。



右胸心

心臓が右胸郭内に位置異常をきたす場合を言う。 全内臓が通常と左右反対の鏡面像逆位の関係にある右胸心を鏡像右胸心といい、先天精神疾患を伴わない場合が多いとされる。

左右関係が正常と正反対になるため、心電図ではI, aVL誘導で陰性P波、aVR誘導で陽性P波となる。左胸部誘導ではV5, V6誘導に向かうに従って心臓から遠ざかるため、R波が小さくなり、QRS波形も小さくなる。

心房細動を合併していてP波の極性がわからない場合も胸部誘導の心電図変化から疑うことができる。

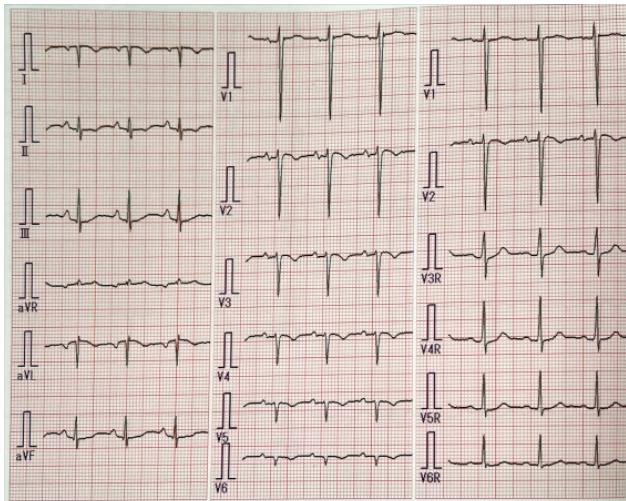


図1 右胸心の心電図

I, aVL誘導での陰性のP波と、V₁誘導からV₆誘導へ向かうに従ってR波の減高とQRS波の振幅の減高がみられる。右側胸部誘導では移行帯がV_{5R}であり、T波の変化もなく、異常を認めない。

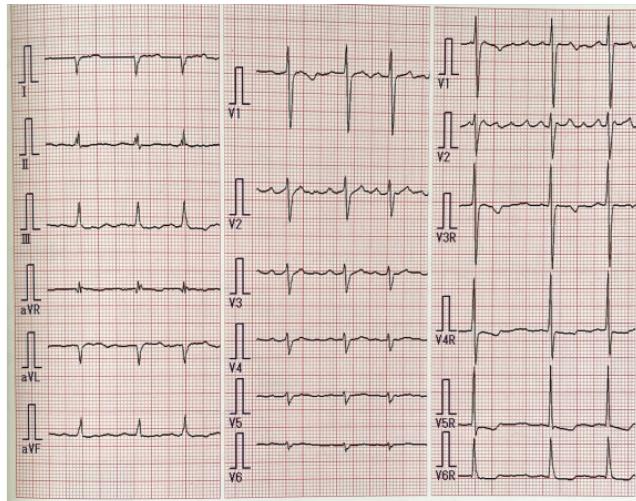
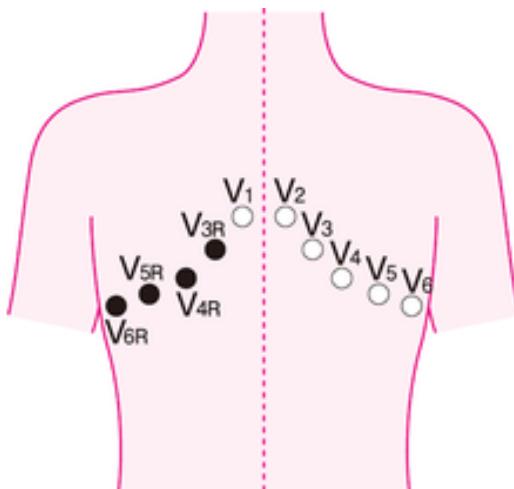


図2 右胸心と心房細動の合併例

R-R間隔はばらばらで基線に不規則な細かい揺れを認め、心房細動である。胸部誘導のR波高とQRS波の振幅はV₆誘導に向かって減高を認める。右側胸部誘導をみると右胸心であることがわかる。

右胸心が疑われる場合には、右側胸部誘導(V3R～V6R)を記録する必要がある。



右胸心との鑑別が必要なものには、左右上肢電極のつけ間違いや、広範囲前壁心筋梗塞などがある。

左右上肢電極のつけ間違い

右胸心との鑑別を有するものに左右の上肢誘導電極のつけ間違いがある。肢誘導は右胸心と同じになるが、胸部誘導の波形は変化しないため、鑑別可能。

広範囲前壁心筋梗塞

I, aVL, V1～V6誘導に心筋梗塞の特徴的心電図変化を認める。陳旧性広範囲前壁心筋梗塞の場合にはI, aVL, V1～V6誘導に異常Q波が見られるので、右胸心と間違えないようにする。aVL誘導で陽性P波、aVR誘導で陰性P波を認めるので鑑別可能。

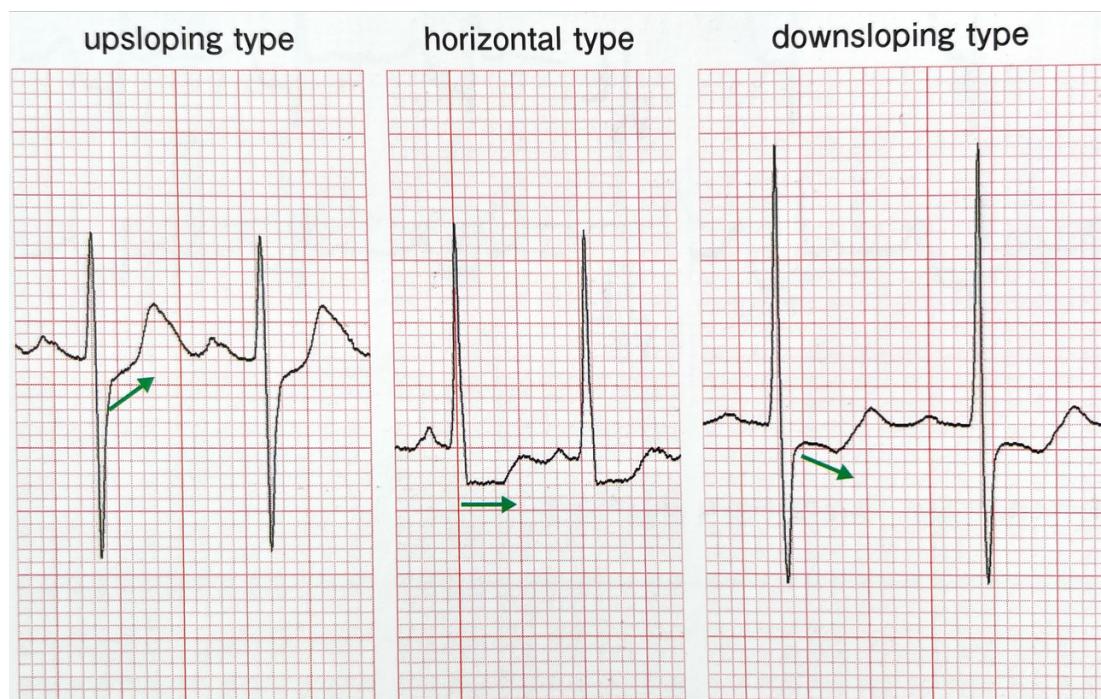
左房調律

左房筋の一部にペースメーカーを担う細胞が移動した場合をいう。興奮が左房から右房に向かうが、I誘導で陰性P波を認めるることは少ない。左房調律の診断にはI誘導よりもV6誘導での陰性P波が重要であると言われている。

ST低下

ST部分が基線から低下している状態をST低下といい、基線からJ点まで何mV低下しているかを測定する。

ST低下には、右上がりの上行傾斜型(upsloping type)、基線に水平の水平型(horizontal type)、右下がりの下降傾斜型(downsloping type)があり、心筋虚血に伴うST低下は、水平型・下降傾斜型が多いと言われている。

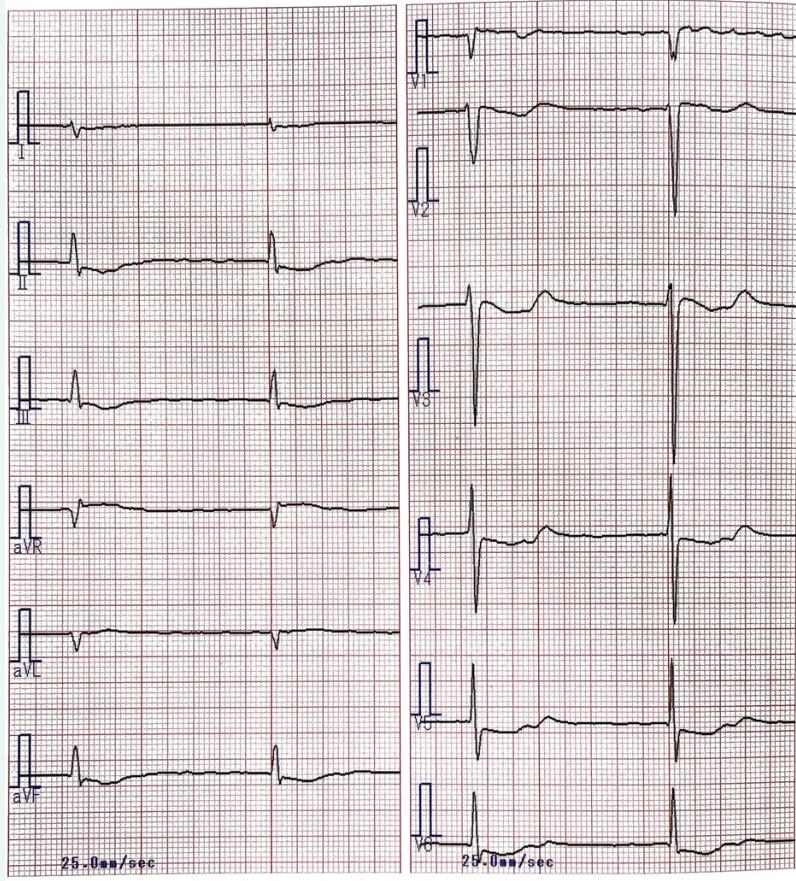


ST上昇では梗塞部位を特定できたが、ST低下では部位を推定することは困難。

ST低下は心筋虚血以外にも見られることがある。左脚ブロックやWPW症候群などの心室内伝導障害による二次性のST-T変化としてST低下があるので、QRS幅の延長が見られるときにはこれらの疾患を疑う。また、左室肥大でもストレイン型のST-T変化を認めるので、QRS波の高さにも注目する。

ジギタリス効果

ジギタリスは心不全、頻脈性上室性不整脈のレートコントロールに使用される薬剤で、T波の平低化や陰転化、盆状変化が約半数に見られる。この変化は血中ジギタリス濃度とは相関しないため、ジギタリス中毒になってもST変化を示さないこともある。

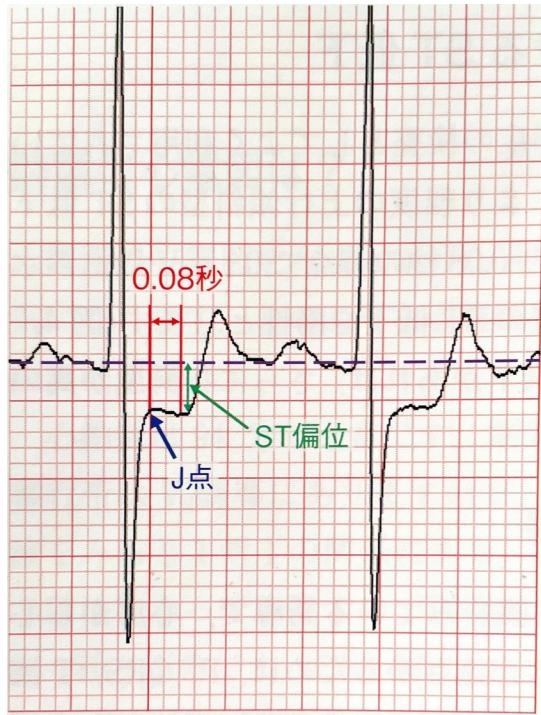


ジギタリス中毒でみられたST低下
J点は基線よりわずかに下押しし、ST部分は丸みを帯びてお盆のように見える。

運動負荷試験

狭心症の検査としてよく利用される。健常人でも運動により軽度の上行傾斜型のST低下を生じるので、J点より0.08秒時点で0.1mV以上の水平型あるいは下降傾斜型のST低下を陽性とする。

なお、運動負荷でST上昇を認めた場合、より高度の心筋虚血を反映すると言われており、要注意。また、運動負荷に出現する陰性U波は、左主幹部あるいは左前下行枝の高度狭窄病変の存在が示唆される。

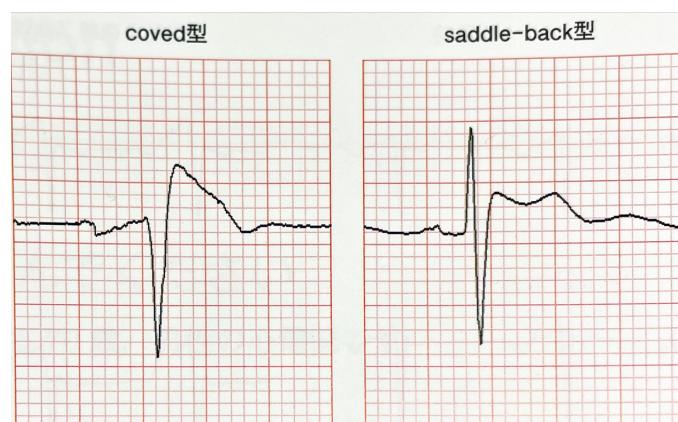


aVR誘導のST上昇

aVR誘導は通常はP, QRS, T波の全てが下向きの波形になる。しかし、左冠動脈主幹部の急性心筋梗塞では左室に広範囲に虚血が生じるために多くの誘導でST低下を認め、その虚血の総和として「aVR誘導でのST上昇」が現れる。著名なST低下とaVR誘導でのST上昇を認めたときには、左主幹部の心筋梗塞を考える。また、左主幹部の心筋梗塞では、上記以外にaVL誘導のST上昇や左軸偏位を伴った右脚ブロックなどの心電図変化が見られることもある。

ブルガダ症候群

右側胸部誘導(V1～V3)に特徴的なST上昇を認め、心室細動による突然死をきたす疾患。特徴的なST上昇は、J点から徐々に下降し陰性T波に至る形をしているcoved型と、J点から一過性にSTが低下し、再上昇する形をしているsaddle-back型の2つで、これらのいずれかを認める場合をブルガダ型心電図という。coved型がsaddle-back型に比べ、心室細動及び突然死の発生に密接に関連すると考えられている



coved型のST上昇は常に現れているとは限らず、日内変動や日差変動がある。期間を空けて心電図を記録する、1~2肋間上で記録する、薬物負荷試験や運動負荷試験などを行ってcoved型ST上昇へ変化することを調べる。

さらに、

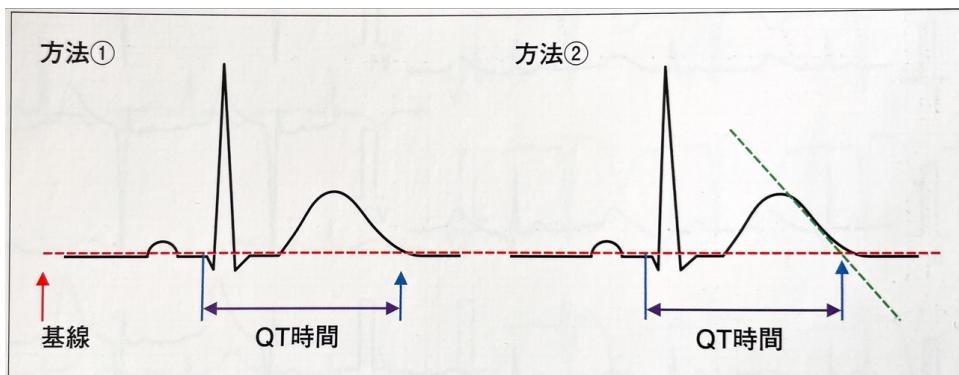
1. 多形性心室頻拍または心室細動の記録がある
2. 若年の突然死家族歴がある
3. 家族にcoved型ST上昇心電図を認める
4. 多形性心室頻拍または心室細動が電気生理学的検査で誘発される
5. 失神や夜間の瀕死期呼吸を認める

のうち1つ以上を認めた場合にはブルガダ症候群と診断される。

QT時間

QRS波の初めからT波の終わりまでをQT時間といい、心室の興奮開始から終了まで、つまり脱分極から再分極の時間を表している。QT時間は12誘導のうちでもっとも広い誘導を選んで計測するのがよく、一般的にはII誘導とV5誘導が計測しやすい。

QT時間の計測には2種類の方法があり、1つはQRS波の初めからT波の終末部が基線に戻ったポイントまでの時間をQT時間とする方法と、2つ目はT波の下降脚の最大傾斜部に接線を引き、その接線と基線の交点をT波終了点としてQT時間を計測する方法がある。



QTc

QT時間は通常徐脈の時に長く、頻脈の時に短くなるため、R-R間隔で補正する補正QT時間(QTc)が使われる。

Bazettの式

$$QTc = \frac{\text{実測した} QT\text{時間}}{\sqrt{R - R\text{時間}}}$$

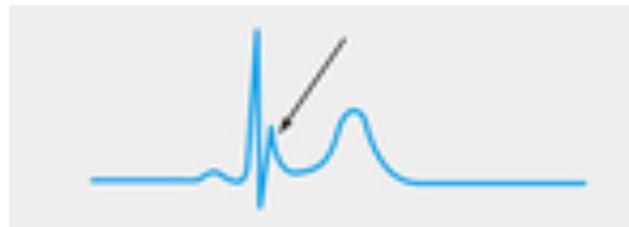
QTcの正常範囲は、0.36~0.44秒。実際には見た目でQT時間がR-R間隔の半分以下、あるいは0.5秒以下を正常とするのが簡単。

QT延長

- 先天性
- 後天性：
 - 抗不整脈薬や向精神薬などの薬剤性
 - 完全房室ブロックや洞不全症候群などの徐脈
 - 低カリウム血症 - U波の增高
 - 低カルシウム血症 - ST部分及びQT時間の延長
 - 低マグネシウム血症
 - 急性心筋梗塞やたこつぼ心筋症などによる巨大陰性T波

J波

Osborn波とも呼ばれ、心筋の脱分極の終了であるQRS波と再分極の始まりであるST segmentの境目にあるJ点が基線より隆起する波形を指す。



J波がみられる疾患には以下の様なものがある。

- 低体温症
- 高カルシウム血症
- 高カリウム血症
- 脳血管障害
- コカイン中毒
- 心筋虚血
- 一部の特発性心室細動

低体温症

一般的には直腸温が 35°C 以下に低下した場合を指す。低体温症は偶発性と二次性に分類され、偶発性低体温症は一次性低体温症とも呼ばれ、基礎疾患によらず純粋に寒冷曝露を原因として中心体温が 35°C 以下に低下した状態をいう。二次性低体温症とは、甲状腺機能低下症、下垂体機能低下症、糖尿病、低血糖、薬物作用、精神疾患などにより、通常では低体温症にならないレベルでの寒冷曝露で体温が下がる状態をいう。

初期には頻脈となるが、徐々に脱分極速度の低下や刺激伝導系の伝導遅延により徐脈となり、PQ時間・QRS幅・QT時間が延長する。J波は低体温患者の80%に認められ、体温が 32°C 以下でみられる様になる。下壁誘導や左側胸部誘導で出現しやすく、体温が低下するほどに増高すると言われている。また体温が 32°C 未満の時にはしばしば心房細動がみられる。これらは体温が正常に復する過程で解消していく。

洞不整脈(sinus arrhythmia)

刺激伝導系が正常であるにもかかわらず、洞結節における電気的刺激の発生が不規則な場合をいう。洞不整脈は呼吸の周期によって洞周期が変動する呼吸性と、呼吸周期に関係しない非呼吸性に分かれます。

呼吸性は健常者にもよくみられ、特に小児に多く、吸気によりR-R間隔が短縮し、呼気とともに延長する。非呼吸性は本来の洞周期長より長い休止期が洞調律時に出現し、洞周期が不規則で、長い休止期が洞停止によるものか洞房ブロックによるものかは心電図では鑑別できることもある。心疾患、重症感染症、脳圧亢進時、ジギタリスや塩酸モルヒネなどの薬剤の影響などでみられる。

上室期外収縮や非伝導性上室期外収縮、洞房ブロックなどを鑑別する必要がある。上室期外収縮は予想される次のQRS波より早いタイミングで洞調律と同じ形のQRS波が出る。非伝導性上室期外収縮はT波上にみられるP波、洞房ブロックは次のP波が出現するタイミングがP-P間隔の整数倍などの特徴がある。

