

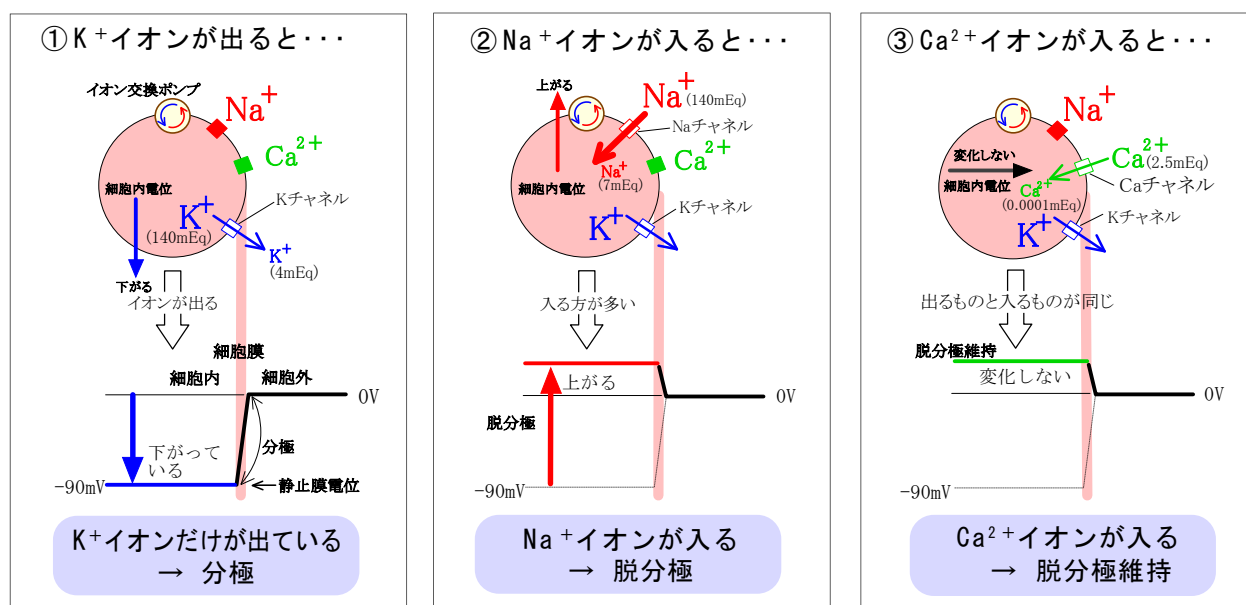
## 高 K血症でテント状T波になるのはなぜ？

### 【心電図の発生と電解質の関係、およびその異常】

#### 1. 電解質イオンとその移動

生体内にある多くの電解質のなかで、 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ の3種類の陽(ポジティブ)イオンが心電図の発生におもに関わっています。

細胞膜には、アデノシン三リン酸(ATP)をエネルギー源として動くイオン交換ポンプが何種類もあり、そのもっとも主要なものは、 $K^+$ イオンを内側に $Na^+$ イオンを外側に輸送する $Na-K$ 交換ポンプです。このポンプが常に動いていて、細胞膜の外側に $Na^+$ が、内側に $K^+$ が多く存在する状態が保たれています。また、細胞膜には特定のイオンのみを通過させるイオンチャネルがあり、これらが開くとそれに対応した種類のイオンが濃度差によって移動します。 $K$ チャネルが開いていると $K^+$ イオンは外に出ていき、 $Na^+$ と $Ca^{2+}$ イオンはチャネルが開いていると中に入っていきます。このイオンの移動をイオン電流といい、抵抗値の高い細胞膜をこの電流が流れることで細胞膜電位という電位差が生じます。



#### 電解質イオンの移動による電位の変化

① 複数ある $K$ チャネルの中に常に開いているものがあり、そこを通過して $K^+$ イオンがいつでも出続けているため細胞内の電位は普段は低く保たれており(静止膜電位)、この状態を分極といいます。この時、 $Na^+$ および $Ca^{2+}$ イオンはチャネルが閉じていて移動していないので、細胞の普段の正常状態は、 $K^+$ イオンの濃度差だけで決まっていることとなります。

②  $Na$ チャネルが開くと $Na^+$ イオンが中に入ります。この時 $K^+$ イオンは常に出続けていますが、 $Na^+$ イオンの方が何倍も大量に入るので、これによって細胞内の電位が高く上がります。このように、細胞内の電位が高く上がることを脱分極といいます。

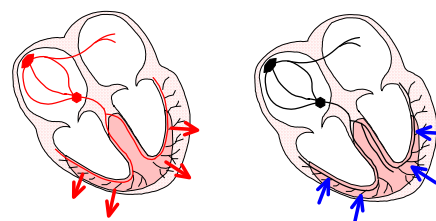
③  $Ca$ チャネルが開くと $Ca^{2+}$ イオンが中に入ります。しかし、 $Ca$ は出続けている $K^+$ イオンと同じくらいの量しか入らないので、この時電位は変化せず脱分極状態が維持されます。

## 2. 心電図波形は心筋で起きる“電流”をとらえている

### 心室での電気の起き方と電流の発生

#### 心室の脱分極は内側から外側に向かう

心室筋では刺激伝導系（左脚、右脚）が心筋内膜側に沿って走行しているため、脱分極は内側から始まり外膜側に向かって拡がって行くので、収縮は内側から始まります。



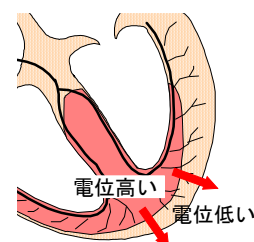
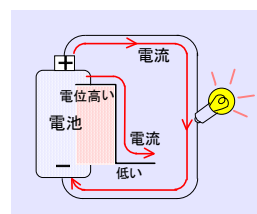
脱分極は内側から外側へ向かう  
再分極は外側から内側へ向かう

#### 再分極は外側から内側に向かう

再分極は外膜側の細胞が早く始まり、内側に向かって進んで行くので、拡張は外側から始まります。

#### 電流は内側から外側に向かって流れる

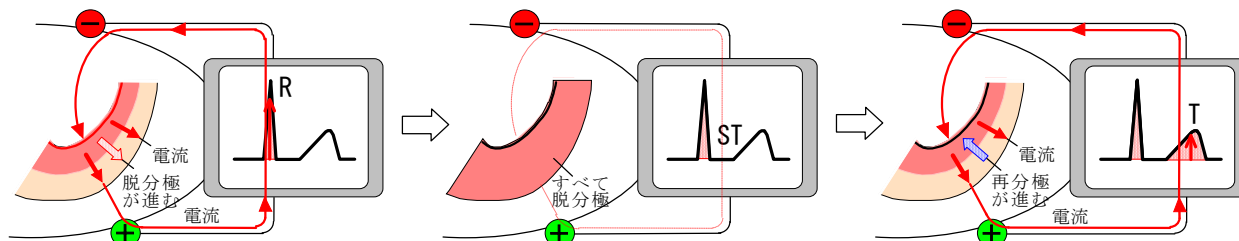
脱分極している部分全体の細胞内は電位が高く（+）、そうでない部分全体は電位が低く（-）になっています。電流は電位差があると高い方から低い方へ向かって流れるので（電池から流れる電流のように）、脱分極が進む時も、再分極が進む時も、**電流は心室筋の内側から外側に向かって**発生し、流れていきます。



電流の向き

電流は内側から外側へ向かう

### 心室筋での波形の見え方



#### (1) 脱分極が進む時

外側に向かって流れてくる電流は、心室筋の外側にある（+）電極から装置に流れ込んでくるので、**上向き**のR波になります。

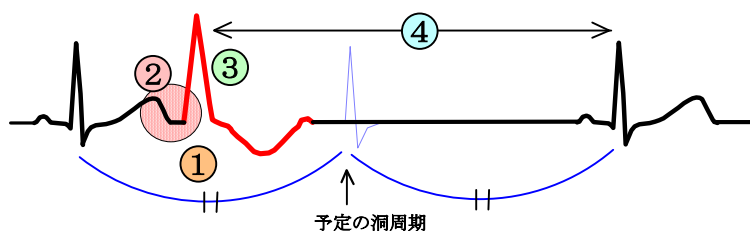
#### (2) 心室全体が脱分極している時

心室筋内のどこにも電位差はなく電流は発生しないので、**基線と同じレベルのST区間**となります。

#### (3) 再分極が進む時

外側から先に電位が低くなるので、境界面に発生する電流はやはり外側の（+）電極に向かって流れ、**上向き**のT波になります。

#### 4. その期外収縮は心室性か、心房性か？



#### 心室期外収縮 (Premature Ventricular Contraction) の特徴

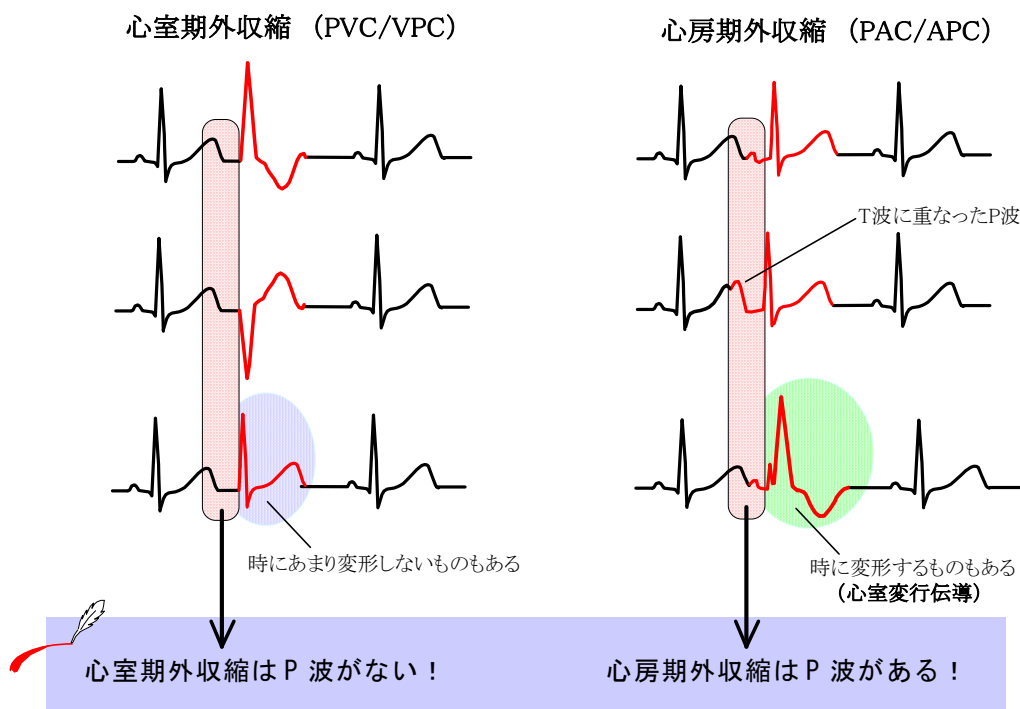
必ず・・・

- ① QRS と T 波が洞調律よりも **早く** (Premature) 発生する。
- ② **P 波はない**。

多くの場合・・・

- ③ QRS と T 波が **変形** する。
- ④ 後ろが広くあく (**代償性休止期**)。

#### 心室期外収縮と心房期外収縮の見分け方



#### 心室変行伝導

元々、左脚に比べて右脚の伝導性はやや遅くなっています。これがかなり遅い場合、**心房期外収縮**や**心房細動**で連結期が短くなると右脚側だけ刺激が伝わっていかずに起きる現象で、**右脚ブロック型波形**になります。

---

---

---

---

---

---

---

---

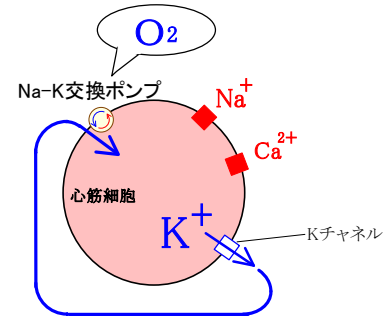
---

---

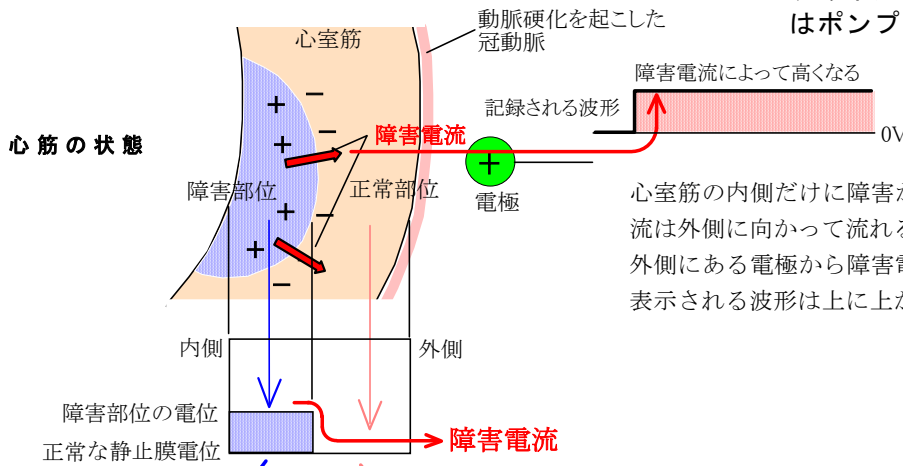
### 4. 心筋障害が起きるとどうなるのか？

虚血が悪化して心筋障害といわれる状態では、細胞膜のイオン交換ポンプの機能が阻害されます。そのため、普段の細胞の分極状態を決めている $K^+$ イオンの濃度差が減少して $K^+$ イオンが出にくくなるため、分極が不十分になって静止膜電位が上昇します。

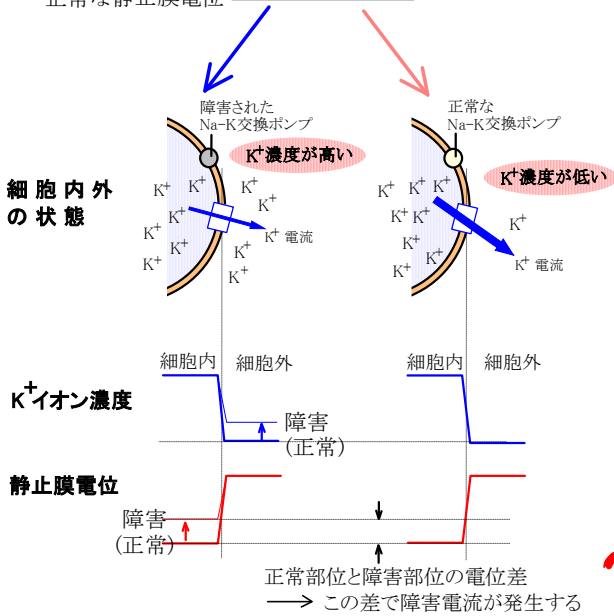
その結果、電位が高くなっている障害部分から、十分に分極していて電位の低い正常部分の方へ電流（障害電流）が流れ出していきます。



チャンネルから出ている $K^+$ イオンはポンプで戻されている



心室筋の内側だけに障害が起きている場合は、障害電流は外側に向かって流れる。外側にある電極から障害電流が流れ込んでくるため、表示される波形は上に上がる。



心筋障害と細胞膜電位の関係

心筋障害とは、イオン交換ポンプの障害。障害したポンプは、濃度差を正常に保てず、障害電流が常に発生している。