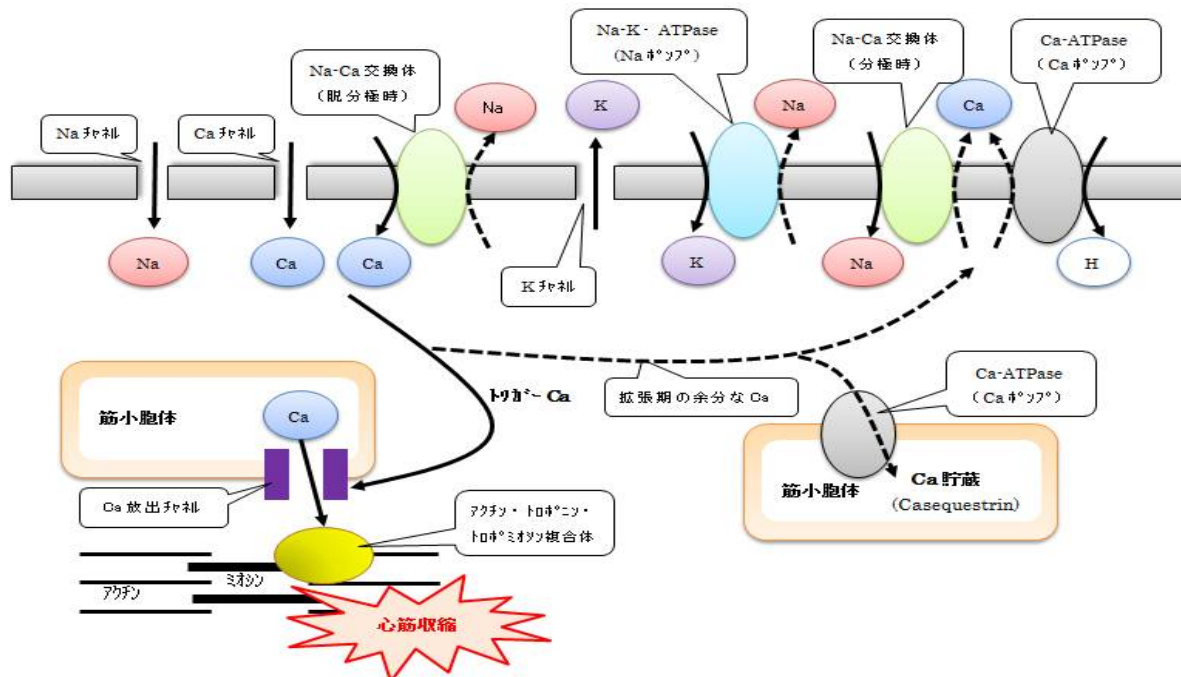


## 静止膜電位とは

“分極”という言葉は不整脈の薬の作用機序、抗てんかん薬の作用機序、神経の信号の伝達を説明する時に、よく出てくる言葉です。細胞内は、細胞の外側に対して負の電位になっています。その現象を、+の極と-の極が分かれている、つまり分極状態であるとしています。

心臓の場合は、拡張期に相当する期間がそれに当たり、“静止膜電位”と言って心室筋で $-80\sim-90\text{mV}$ と説明されています。近隣に生じた電氣的興奮により膜電位が閾値を超えると、まず Na チャンネルが開き、細胞外の正電荷の  $\text{Na}^+$  が多量に細胞内に流入して膜電位は一時的に正電位になります。つまり分極を脱する“脱分極”状態になります。

Na チャンネルは直ぐに閉じて Ca チャンネルが開口して細胞外から細胞内に  $\text{Ca}^{2+}$  が流入してきます。その際に筋肉が収縮します。同時に K チャンネルが開口して細胞内から正電荷の  $\text{K}^+$  が細胞の外へ流出して、細胞内に負の電荷が多くなり、膜電位は徐々に負に転じていきます。やがて元の負電位まで下がる“再分極”が起こり、筋の収縮は収まり、拡張に転じます。内外で入れ替わった  $\text{K}^+$  と  $\text{Na}^+$  と  $\text{Ca}^{2+}$  は Na/K ポンプや Na/Ca 交換体によって、元の分布状態に戻って行きます（下図）。



このような理解で、心筋の収縮とイオンの流れや電氣的な関連性は概ね合っていると思うのですが、では何故、細胞膜を挟んで細胞内は細胞外に対して負電位なのでしょう？つまり、何故、静止膜電位は負の電位なのでしょう？

私も元々の勉強不足もあり良く理解できていませんでした。今も対して変わらないのですが、次のように考えてはどうでしょうか？というお話です。つまり、この辺りに詳しい人にとっては読んでも面白くない話になります……。

### ①細胞の内外を区切る細胞膜に一切、孔が開いていないとどうなるか？

話を簡単にするため  $\text{K}^+$  のみで説明します。細胞内の  $\text{K}^+$  濃度は濃く、細胞外の  $\text{K}^+$  濃度は薄いので次図(上)のようにします。また、 $\text{K}^+$  にはそれを中和するための陰イオン分子が内外に存在します。内側

は主にリン酸イオンや蛋白質(負電荷を帯びる蛋白質もある)、外側は主に塩素イオンが存在します。つまり、外側と内側とも独立した状態であれば、共に電氣的に±0状態ですから、外側に対する内側の電位差は0mVになります。

つまり細胞膜に孔が無いなら膜電位は生じない訳です。

### ②細胞膜に孔があったらどうなるか？

実際には、細胞膜には K<sup>+</sup>リークチャネルというほぼ K<sup>+</sup>しか通さない孔が開いています。そして、この孔は常に開いた状態になっています。ブラウン運動で勝手に動いている K<sup>+</sup>ですが、K<sup>+</sup>の数が圧倒的に多い細胞内から常に開いている孔を通して細胞外へ移動する K<sup>+</sup>が確率的に多いはずで(右図中)。

次々と K<sup>+</sup>が外へ出ていくと、今度は細胞内に負のイオンであるリン酸イオン等が見かけ上、過剰になってきます。たとえば1個の K<sup>+</sup>が外にでて、外の+を1個増やした時、外側が+1mVになると仮定すると、内側はマイナスイオンが1個増えるので-1mVになります。電圧計で外側を0mVに固定したとすると、内側は-2mVになります。これが静止膜電位が負になる正体の一歩手前の状態になります。

### ③電氣的反発力の存在

②のままですと、K<sup>+</sup>の濃度が細胞膜の内側と外側とで等しくなる迄 K<sup>+</sup>は外へ移動し続けます。しかし、実際には、外側には相対的に+が多くなり、また内側には-が多くなるため、K<sup>+</sup>は外側からは電氣的な反発力、内側からは電氣的な引力を受け、濃度差による外への力と電氣的な内への力の釣り合う点で見かけ上、K<sup>+</sup>移動が止まります。

とりあえず、右のような模式図(右図下)を作成しましたが、この場合は K<sup>+</sup>が2個外に出た時点で釣り合った図です。外を0mVと仮定すると内側の電位は-4mVで安定します。これが静止膜電位になります。つまり負電位で静止します。

実際には K<sup>+</sup>のみの移動による静止膜電位は、-90mVになるそうです。

### ④Na イオンや Cl イオンの存在

Na や Cl 等のイオンにはリークチャネルはありませんが、実際には細胞膜をある程度透過してしまうことが知られています。いずれも細胞膜の外側に多いイオンになりますが、平衡状態にあるこれらのイオンの細胞内部への透過性は

Na<sup>+</sup>は K<sup>+</sup>の 0.04 倍、Cl<sup>-</sup>では K<sup>+</sup>の 0.45 倍とされており、これらを考慮すると、静止膜電位は-73mV前後になり。更に Na/K ポンプの効果も考慮すると実際には-80mVになるそうです。

(終わり)

