

ナトリウムとカリウムチャンネル

第3回内部被曝問題勉強会資料2

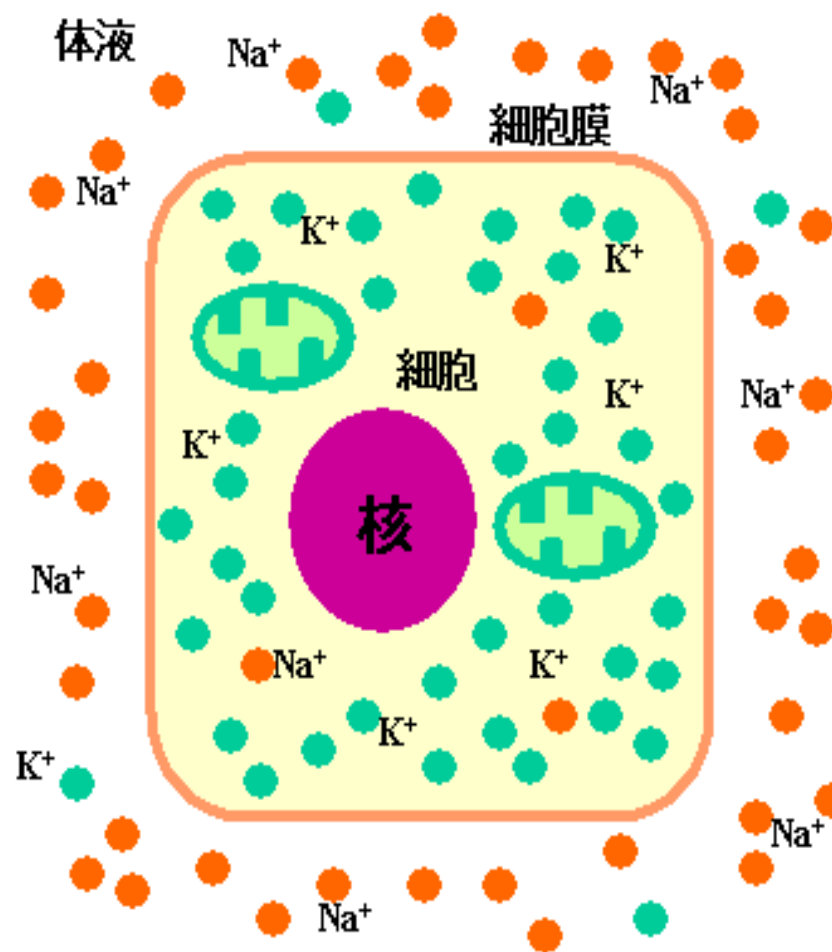
7月11日

体液と細胞内液

- ナトリウムと塩素NaClは血液・リンパ・組織液などの体液の主成分で、他にマグネシウム、カルシウム、カリウムなどのいろいろなミネラルが体液にイオンとして溶けており、細胞の周囲を満たしています。これらのミネラルの濃度は細胞が正常に活動するための範囲があり、身体は腎臓で余分なミネラルを除去したり、排泄する水分量を調節して体液のミネラル成分の濃度を一定に保つしくみが備わっています。
- ヒトの体液はちょうど海水を薄めたようなミネラルの組成になっています。主成分は食塩(塩化ナトリウム)が水に溶けた成分即ちナトリウムイオンと塩素イオンで、他にマグネシウムイオン、カルシウムイオン、カリウムイオンなどが存在します。最初の生命は海の中で生まれた単細胞生物(源核生物)だといわれています。体液の成分が海水に似ているのは、生命の進化の過程で海水の環境をそのまま体内に取り込んだものと考えられています。脊椎動物においては、最初の魚類が誕生した今から約5.5億年前の海水組成の体液を持ったまま、哺乳類まで進化したと考えられています。当時の海水の塩分濃度は現在の海水の塩分濃度よりも低く体液と同等だそうです。
- 体内で体液の塩分やその他のミネラルの濃度は主に腎臓の働きで厳密に調整されています。これらの濃度が少しでも変化すると直ちに生命維持が困難な状況に陥ることになります

NaとKの細胞内、体液濃度

- ナトリウムイオン
細胞内液(g/l): 0.3
細胞外液 3.3
- カリウムイオン
細胞内液 5.5
細胞外液 0.2

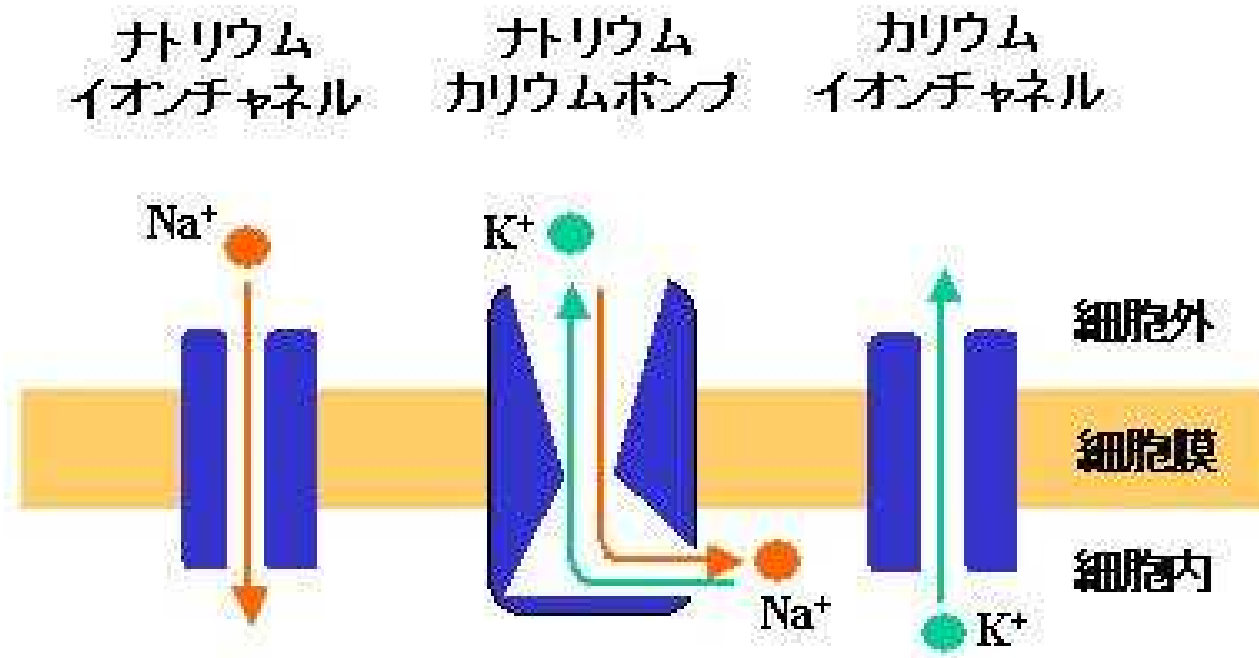


ナトリウムNaとカリウムKの働き

- **細胞膜浸透圧の維持**：細胞の大きさ、機能を維持します。
- **酸塩基平衡の調節**：弱アルカリ性を維持
- **神経伝達に関与**：神経細胞の外部の Na^+ と内部の K^+ の両者の働きにより電流が生じ、刺激が伝達されます。細胞膜内外の Na^+ と K^+ により膜電位が生じ、刺激により活動電位が発生し刺激が伝達されます。
- **筋肉の収縮に関与**：筋収縮は、 Na^+ 、 K^+ の筋肉細胞への作用により開始されます筋収縮は神経伝達物質であるアセチルコリンが、筋肉細胞と神経末端の間にあるシナプス間隙に放出され、筋肉細胞がアセチルコリンを受け取ると、 Na^+ と K^+ による電位変化が発生し、 Na^+ チャネルが開き、 Na^+ が流れ込みます。すると筋活動電位が発生し、筋肉が収縮します。
- **細胞の栄養分の吸収に関与**：ブドウ糖、アミノ酸などの栄養素はナトリウムが細胞内に流入するエネルギーを利用して、細胞が吸収することができます。

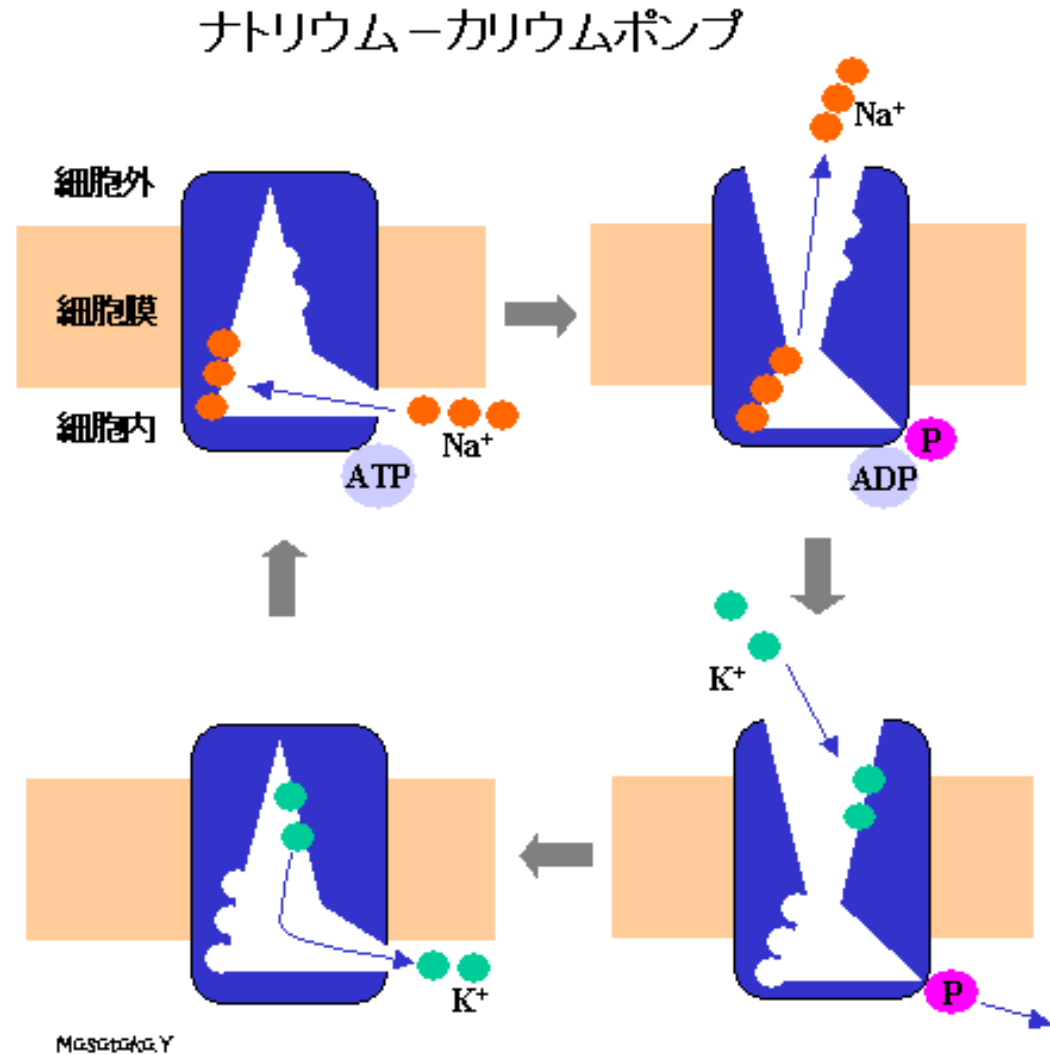
ナトリウム-カリウムイオンポンプ

細胞が正常に機能する為には、細胞内外の K^+ と Na^+ の濃度は一定に保たれる必要があります。しかし、 Na^+ は濃度の高い細胞外(体液)から細胞膜のナトリウムチャンネルを通して濃度の低い細胞内に流入し、 K^+ は逆に濃度の高い細胞内から細胞膜のカリウムチャンネルを通して濃度の低い細胞外へ流出します。イオンチャンネルとは細胞膜に存在するタンパク質(膜タンパク質)の一種で物質を選択的に細胞内外に出し入れします。 Na^+ チャンネルは Na^+ を細胞内に取り込み、 K^+ チャンネルは K^+ を細胞外に放出します。



ナトリウム-カリウムポンプ

- ナトリウム-カリウムポンプはATPによりエネルギーが供給され駆動します。似たようなしくみとして細胞内から細胞外へカルシウムをくみ出すカルシウムイオンポンプがあります。このようにミネラルイオンを細胞内外で一定の濃度に保つしくみをイオンポンプといい、身体全体で全ATPの25%も使用するといわれています。
- 腎機能が低下したり、ナトリウムとカリウムの摂取バランスが大きく崩れるとナトリウム-カリウムポンプの働きだけでは、細胞内外のナトリウムとカリウムの濃度が一定に保てません。身体は他の方法で一定に保とうとします。例えばナトリウムイオンが細胞内に溜まり過ぎると濃度を一定に保つために細胞が膨張し細胞浮腫(むくみ)や高血圧などを引き起こしたりします。

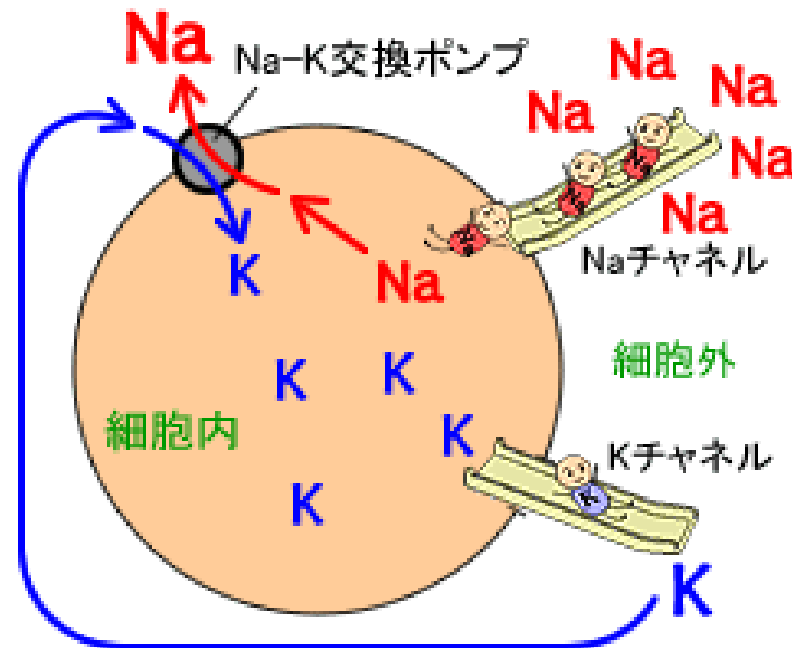


心臓のNa・Kチャンネル

- なぜ心臓は収縮するのか。そのすべての出発点が心電図です。心筋では細胞において、「自然に」電気が発生し、その力によって心筋は収縮していますが、この電気が心臓の外にも伝わってきて波形として見えるものが心電図です。つまり、心電図こそが、すべての循環器系の現象を起こす元であるといっているでしょう。
- では、そもそもなぜ心臓の細胞で「自然に」電気が発生するのか。まずこれを知ることが、心電図を理解する出発点になります。

細胞の中と外の電解質の作用

- 1-1. 電解質とは細胞の中と外に分かれているNa、K、Ca等
- 1-2. 細胞膜にある出入り口、チャネルとポンプ。



各イオンの
平均的濃度 (mM)

細胞内 : 細胞外

Na 7 : 140

K 140 : 4

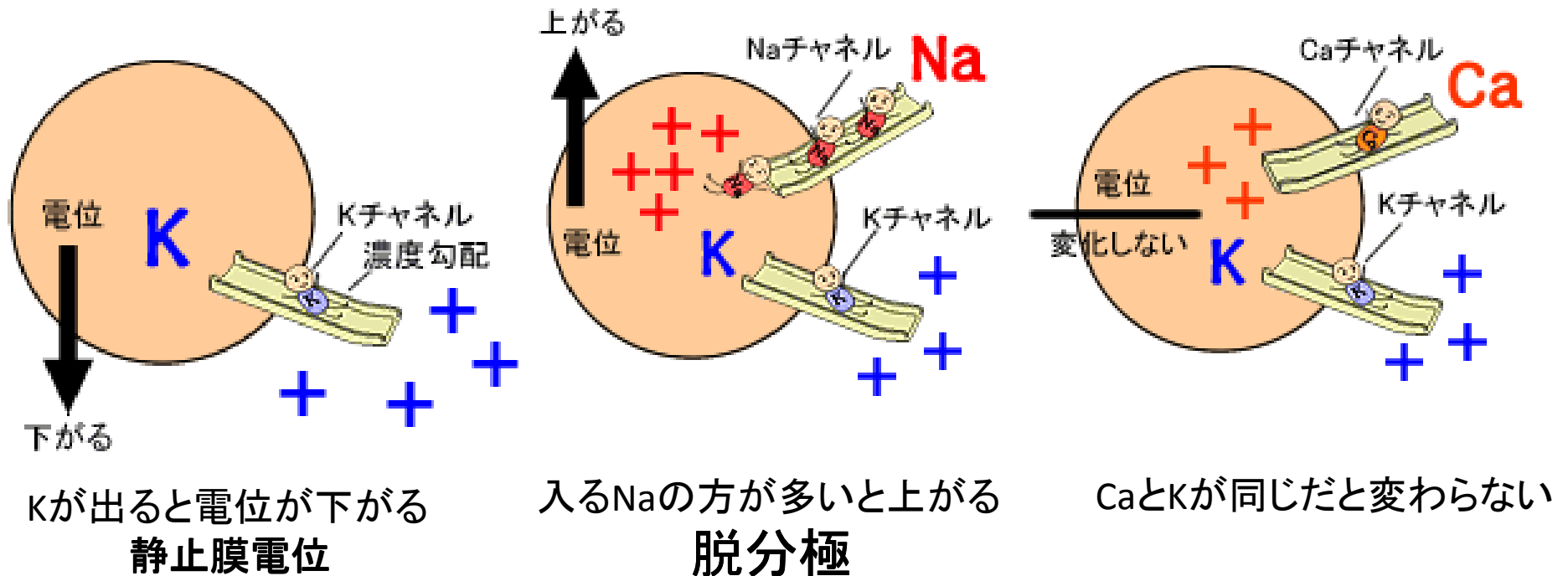
Ca ほぼ0 : 2.5

1-3. カリウムはいつでも出ていて 電位を下げている

- 何種類かあるKチャンネルの中に常に開いているものがあります。したがってKイオンだけはこの孔を通っていつでも一定のペースで出続けています。Kはプラスイオンなので、出て行くことによって細胞内のプラスの個数は減り、電位が下がって、細胞外に対して約 $80\text{mV}=0.08\text{V}$ ほど低い電位で安定しています。
- この細胞内の電位が外よりも低くなっている状態を分極といい、この時の細胞内の電位を静止膜電位といいます。

1-4. ナトリウムは一気に入って電位を上げる。

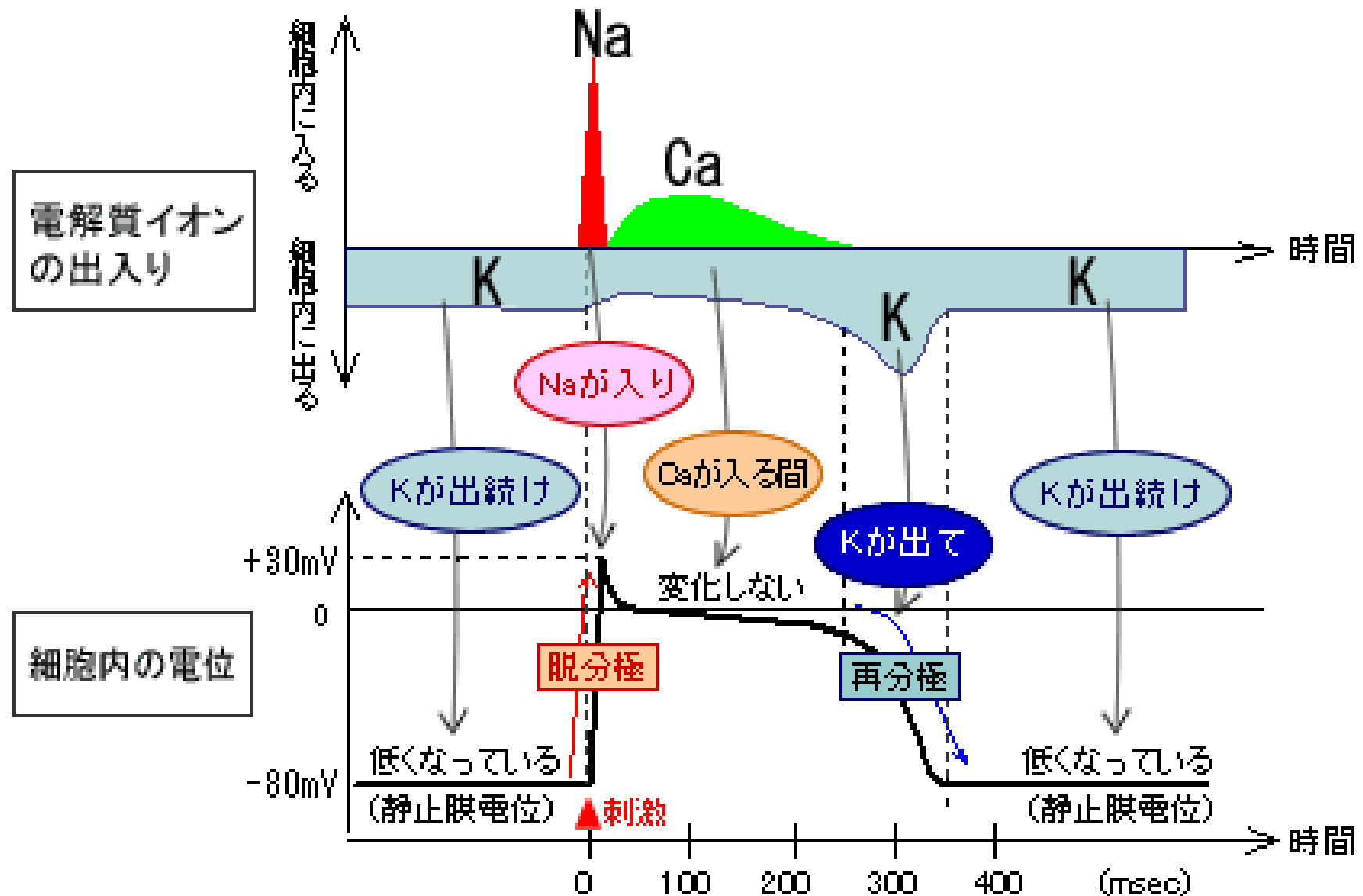
- この状態で細胞膜に刺激が加わると普段は閉じているNaチャンネルが開きます。するとNaイオンは、濃度の差と中のマイナスの電位に引っ張られる形で一気に入っていきます。出るKより入るNaの方が多いので、細胞内の電気は急速に高くなって逆転し、中の方がプラスの電位になります。これを脱分極といいます



1-5. カルシウムが実際の収縮時間を決める

- Naチャンネルは細胞内の電位が低い分極状態でないと開かない性質のため、いったん脱分極したとたんに閉じてしまい、Naイオンは一瞬しか入りません。しかし、Caチャンネルは逆に細胞内が高い電位の時に自動的に開く性質なので、Naチャンネルが閉じたあと交代にしばらく開いていてCaイオンが入り続けます。この時、出続けるKとほぼ同じくらいの入り方なので、電位は変化せず高い電位を保ちます。心筋は細胞内が脱分極して高い電位の状態で収縮しますから、このCaが入っている間が収縮期間になります。
- その後、Caが次第に入らなくなると同時にKが一次的にたくさん出ていく時間があるって電位が下がり(再分極という)、この時収縮が終わり心筋は拡張します。なお、なお、チャンネルを通して出入りしたイオンは、一方でポンプで戻されていますから、濃度が変わってしまうというようなことは起きません。

心臓細胞のイオンと電位の関係



1-6.Naが電位を上げ、Caが持続させ、Kが下げる

結局、この3つの電解質イオンが出入りすることで心筋細胞での電位が変化しています。Naが一瞬の脱分極と収縮を起こし、その後Caが高い電位を維持して実際の収縮時間を決めています。Kは電位を下げて拡張させるとともに、普段の状態も決めています。これが、心臓で「自然に」電気が起きるしくみです。

