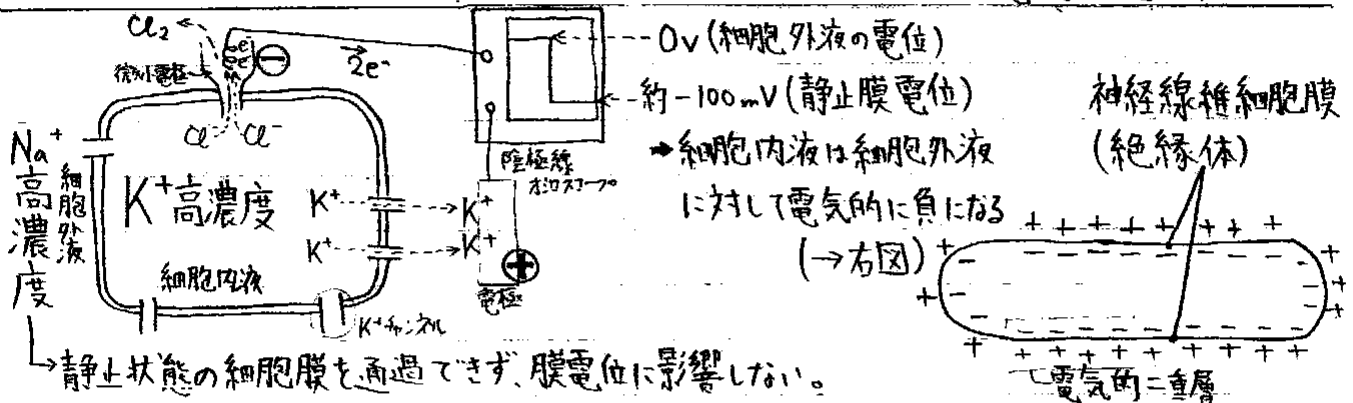


テーマ：興奮は細胞膜の外向き電流により伝わる。

＜内容＞ ニーロン 軸索 樹状突起 細胞体 軸索 (神経線維) 有髄神経では、シュワン細胞が何重にも巻きついてきた 有髄鞘が神経線維を包んでいる。 → 電気抵抗が大きい



有髄神経 (N1, N2はラビエ絞輪を示している) → 興奮は絞輪から絞輪へと跳躍して伝わる (=跳躍伝導)

自然な状態 (前述)。N1, N2に電気的=重層。



N1が興奮 (電気的=重層消失)と同時に……

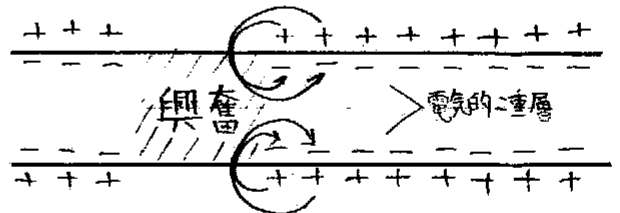


N1はN2に対し電気的に負になり、N2の細胞膜がN1に向かう外向き電流が流れる。これがN2に興奮を起こす引き金となる。

有髄神経をもつ脊椎動物に於ける利点

- ① 興奮の伝わる速度の増大
- ② 神経系を維持するエネルギーの節約

例) 無脊椎動物の巨大神経線維の場合

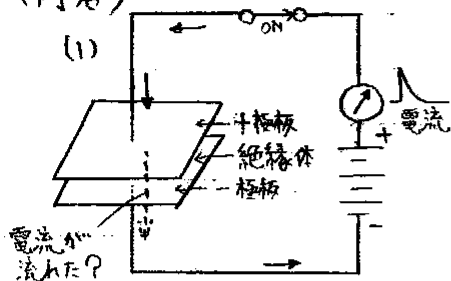


じわじわ伝わる興奮は、神経線維が太いほど、より速く伝わっている (跳躍伝導の方が速い)。

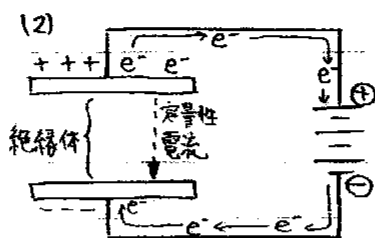
→ 神経系維持のための過大なエネルギーの負担。

テーマ：興奮を伝える外向き電流の正体は容量性電流である。

<内容>



図のように、コンデンサーを通して流れる電流が短時間測定される。ただし、極板の間には電氣的絶縁体がある。



Q : コンデンサーが蓄える荷電の量
 V : コンデンサーにかかる電圧
 C : コンデンサーの容量
 $Q = C \times V$ が成立する。

① $Q < C \times V$ のとき

e^- : +極板 $\rightarrow$ +電源
 電流: +電源 $\rightarrow$ +極板 (正に帯電)
 e^- : -電源 $\rightarrow$ -極板 (負に帯電)
 電流: -極板 $\rightarrow$ -電源

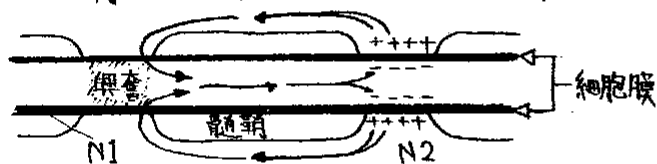
よって、あたかも極板間の絶縁体を

電流が流れたのと同様な現象が起る。→ 容量性電流といふ。

② $Q = C \times V$ のとき

測定される電流ゼロ

有髄神経線維(N1, N2はラビエ絞輪を示す)

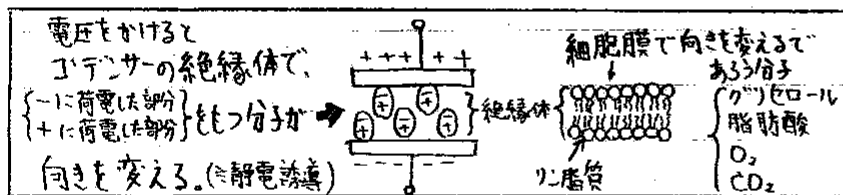


N2外側プラス荷電 $\rightarrow$ N1に移動 (局所電流)

N2内側マイナス荷電 $\rightarrow$ N1に移動 (電流は逆向向)

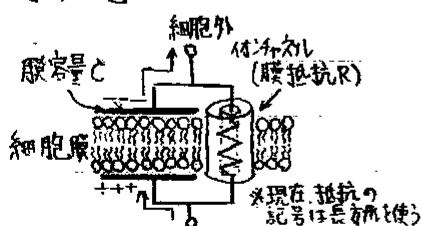
$\therefore$ N2の細胞膜を容量性外向き電流がよぎる

$\rightarrow$ N2の膜電位が脱分極



発火の引き金
 膜電位
 脱分極
 過分極
 あくまでこれは
 {興奮(活動電位)発生}
 = 発火の引き金

発火前の細胞膜の性質を示す電気回路



・外向き電流を流す

① 膜容量に容量性電流が流れ ($Q < C \times V$, 図)

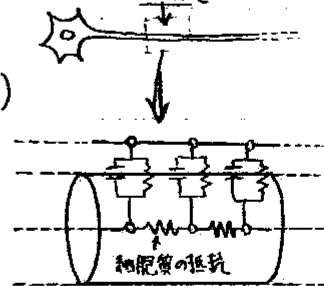
② 膜容量に荷電の蓄積完了 ($Q = C \times V$, 膜電位の脱分極)

③ 膜抵抗を電流が流れる ($\leftarrow K^+$ による, $V = I \times R$)

・電流を止める ($V = 0$)

④ 膜容量の荷電が膜抵抗を通して放電 ($Q = 0$ になる)

ニールセンの軸索を考えると

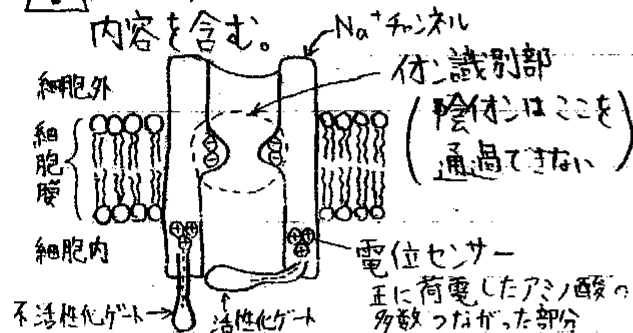


テーマ:細胞膜の発火レベルの脱分極が、 Na^+ 透過性を急激に増大させる。

<内容>

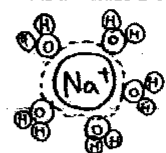
Na^+ チャンネルの構造とはたらき。

⚠ たゞし実験的に裏付けられていない内容を含む。



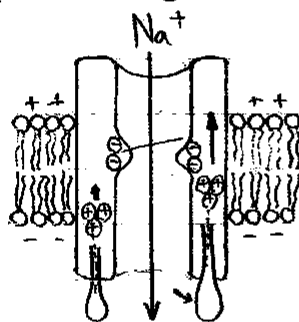
< Na^+ と K^+ の識別>

Na^+ は水和状態になり、 K^+ よりも大きくなる。

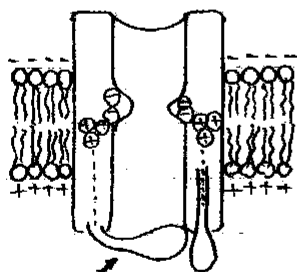


- 活性化ゲート、不活性化ゲートいずれも機械的に異なる電位センサーと連絡している。
- 静止膜電位 (細胞外が電氣的に正)
 - 電位センサーは正電荷同士の反発力で、細胞膜表面から離れたところに押し込まれている。

容量性外向き電流により膜電位が発火レベルまで脱分極



- 細胞膜表面の正荷電が減少
 - 正電荷同士の反発力の減少により、電位センサーが細胞膜表面に向かって移動
 - 電位センサーが活性化ゲートを動かし、 Na^+ チャンネルを開く
 - Na^+ 細胞内へ流入
 - 活動電位発生
- 隣接する細胞膜に容量性外向き電流

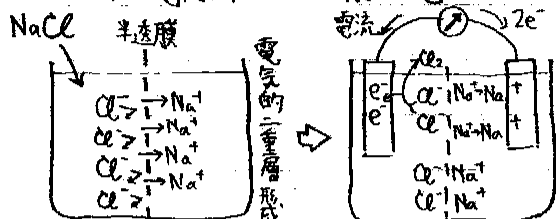


活性化ゲートが開いた後、わずかな時間差で不活性化ゲートが開じる (電位センサーが引き張った)。膜電位の符号が逆転、正電荷同士が反発。

※細胞内の Na^+ は、ナトリウムポンプによって細胞外に組み出される。

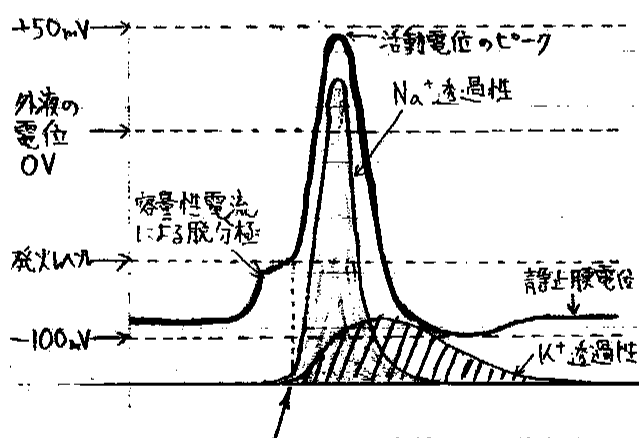
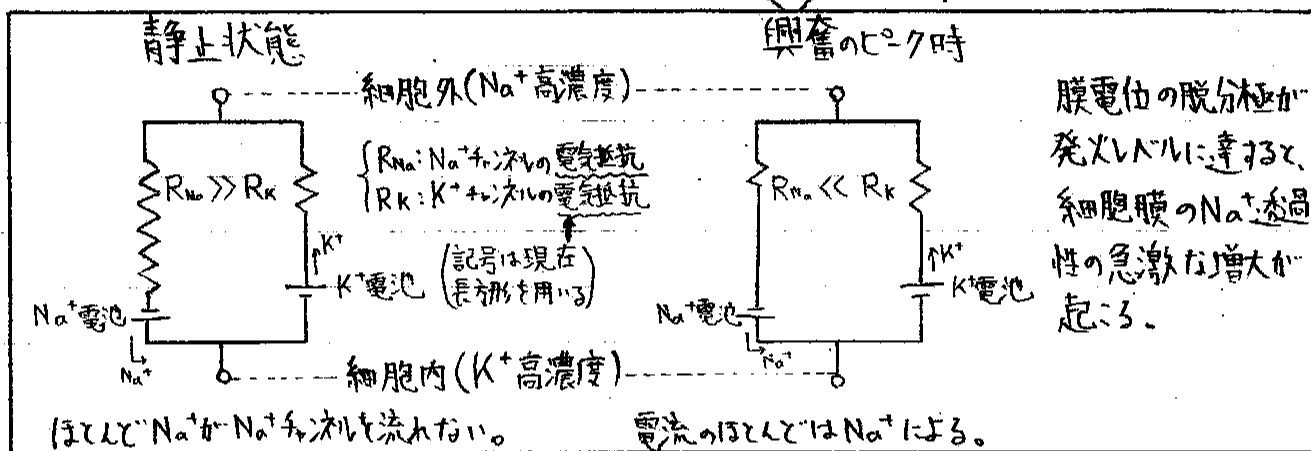
テーマ: Na^+ 内向き電流により活動電位が発生する。

<内容> 電解質付の濃淡電池……電圧は半透膜を通過するイオン濃度の違いで決まる。



静止膜電位…約 -100mV
 $\uparrow$ K^+ の濃淡電池の電圧の値
 興奮中の膜電位…約 $+50\text{mV}$
 $\uparrow$ Na^+ の濃淡電池の電圧の値

なぜか?



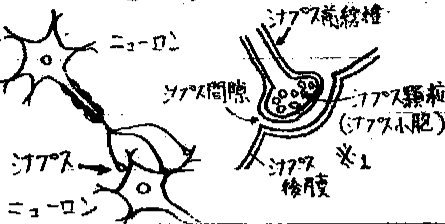
※このときはじめて、隣接する細胞膜の膜電位の脱分極が始まる。

- ① 容量性外向き電流により膜電位が脱分極。
 - ② 細胞膜の Na^+ 透過性の急激な増大。
 - ③ 活動電位 (スパイク電位) の発生 (= 発火)。
これが興奮の正体である。
 - ④ 遅れて K^+ 透過性が増大
 - ⑤ K^+ 外向き電流により短時間 (約1ミリ秒) で活動電位が静止膜電位へ回復
- ※刺激の強さに関わらず、活動電位の大きさは常に一定 (全か無かの法則)
- ∴ 活動電位はデジタル信号

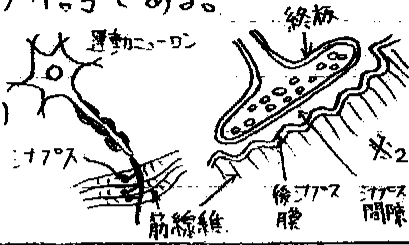
テーマ: シナプス電位, 終板電位はアナログ信号である。

<内容>

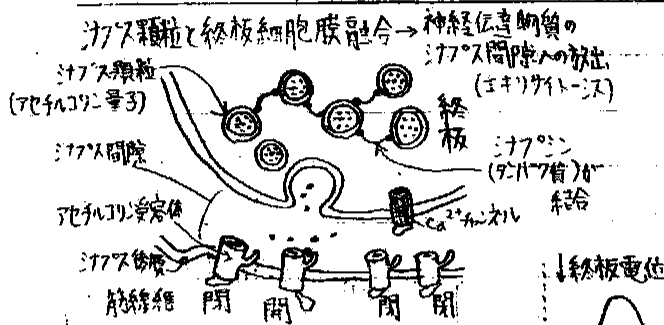
(1)



(2)



シナプス後膜内の細胞外液に対する電位の呼び方
図中※1 ⇒ シナプス電位
図中※2 ⇒ 終板電位



微小終板電位の記録

・終板中のアセチルコリンは量子(ここではある一定量のAChがまとまる)として存在
∴ 微小終板電位の振幅は振幅の最小値の整数倍

① シナプシンによるシナプス顆粒の熱運動の制限

∴ 微小終板電位は散発的に発生

② 終板に活動電位が到達

→ 終板の Ca^{2+} チャネル開口

→ 終板に Ca^{2+} 流入

→ Ca^{2+} によりシナプシンとシナプス顆粒間の結合を切断

→ 熱運動により終板から放出されるアセチルコリン量子が飛躍的に増加

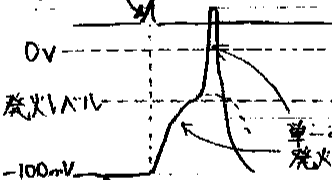
→ 大量のアセチルコリン受容体がアセチルコリンの結合により開口

→ 後シナプス膜内に陽イオン流入

→ 終板電位発生

発火するか否か

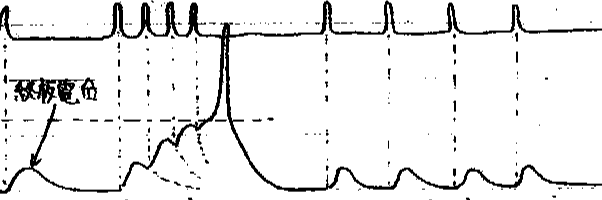
(i) 運動神経の活動電位



クラーレで伝達も阻害

終板電位は互いに重なり合い (= 加重), いい値をとる

(→ アナログ信号, 下図)

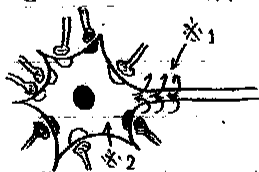


終板部の筋繊維の膜電位

活動電位はシナプスを高頻度の入力として通過し, 低頻度の入力として通過しない (上図).

(ii)

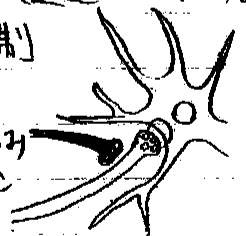
	シナプス電位	軸索始起部	絵
興奮性シナプス	脱分極	外向電流発生	↑
抑制性シナプス	過分極	内向電流発生	↓



外向電流と内向電流が競合し, 発火するか否か決まる。

シナプス前抑制

図のように特定のシナプスのみ抑制するパターン



※1 軸索始起部: 活動電位のスタートする部分

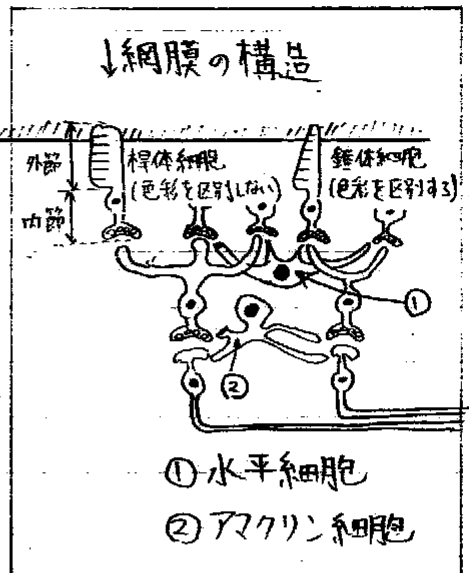
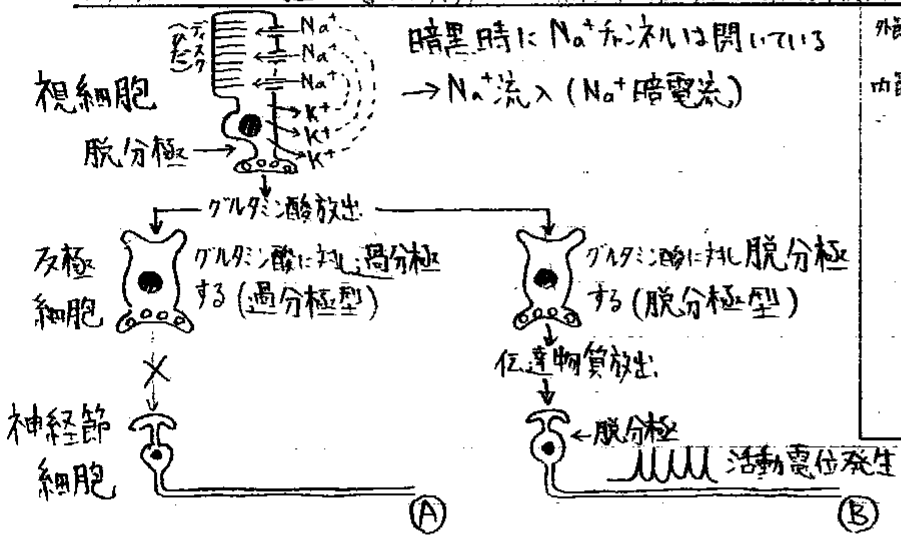
※2 細胞体には Na^{+} チャネルがなく, 活動電位を発生しない。

テーマ: 視細胞は刺激のあるときに活動を弱める。

<内容>

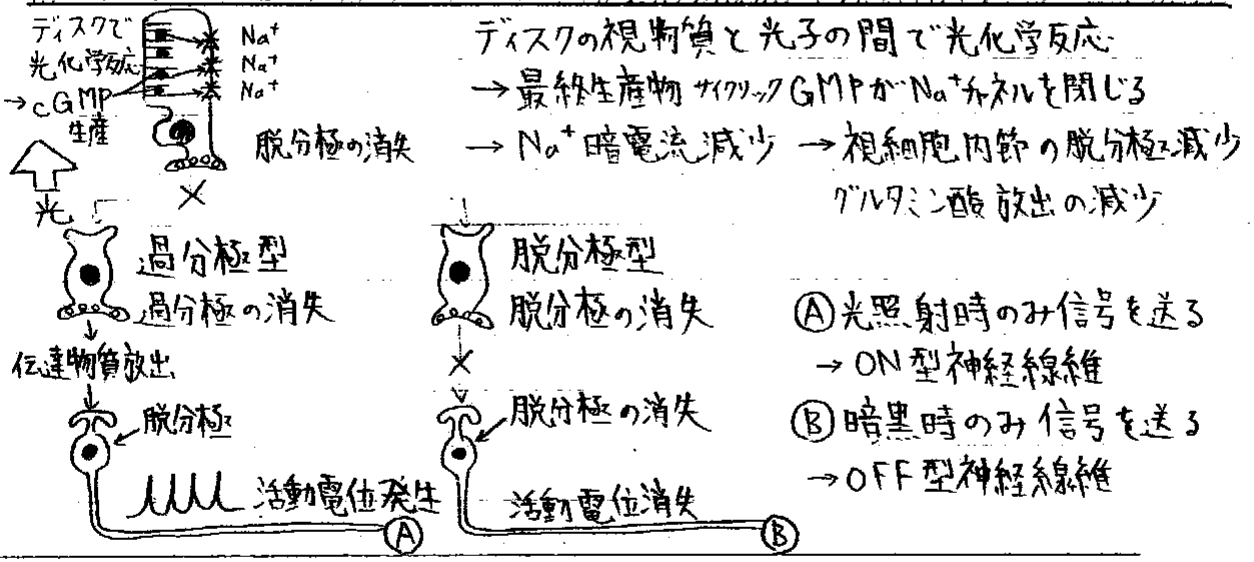
(1) 暗黒時

色素上皮細胞の層



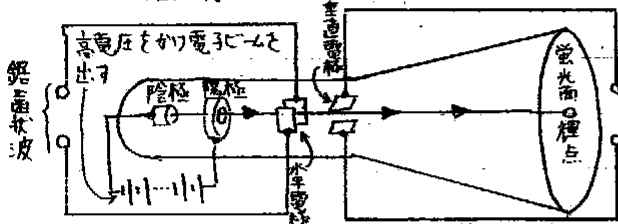
(2) 光照射時

光色素上皮細胞の層



- ① 電気的中性条件……電解質溶液あるいはその中にある物体のどの部分をとっても、その中のプラスとマイナスの価電は等しく電氣的に釣り合っていること。
- ② 電氣的二重層……静電氣的な力によりプラスとマイナスの荷電が向き合って並んで、電氣的中性条件が成立する場合。

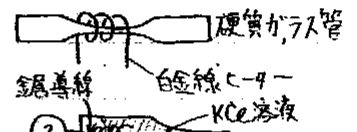
- ③ 陰極線オシロスコープ……研究対象の電圧変化を測定する道具（電圧＝電位差）。



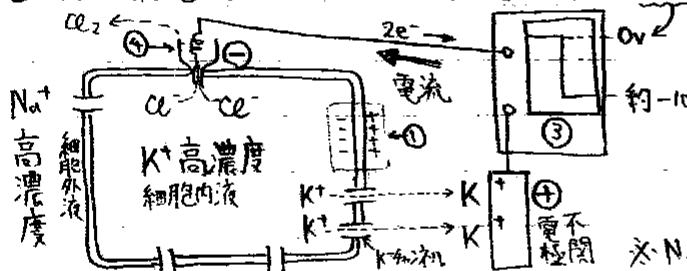
1. 陰極線管の電子ビームが蛍光面に輝点を生じる。
2. 水平電極に輝点が蛍光面水平方向に時間経過を描くように電圧をかける(→鋸歯状波)。
3. 増幅した測定対象の電圧を垂直電極に加える。

※電子ビームの上下の動きは電圧変化に比例するため、蛍光面の上下方向には測定対象の電圧変化が描かれる。

- ④ 細胞内微小電極法……先端直径0.5 μ mのガラス細管中に高濃度電解質溶液を満たし、金属導線で陰極線オシロスコープに接続したもの。→大型の神経細胞、筋線維は刺されても長時間生ずる。



- ⑤ 静止膜電位……細胞外液の電位（便宜上0Vとみなす）に対する細胞内液の電位。約-100mV



静止状態で K^+ は細胞外へ出される。

∴図のように電流の流れる順は
細胞外液→不閉電極→②→④→細胞内液
∴細胞内液は細胞外液に対して電氣的に負

※ Na^+ は細胞膜を通過できず、電流に寄与しない。

- ⑥ 脱分極……細胞膜をよぎる外向き電流により、静止膜電位を0Vに近づけること。

- ⑦ 過分極……細胞膜をよぎる内向き電流により、静止膜電位を0Vから遠ざけること。

- ⑧ 細胞膜の活動電位(スパイク電位)……容量性外向き電流により引き起こされる、全か無かの法則に従う自動的な膜電位変化。

- ⑨ 刺激の閾値……運動神経を刺激して筋肉が収縮を起こす(興奮)のに必要な長方形刺激電流(縦:強さ、横:持続時間)の強さ。

