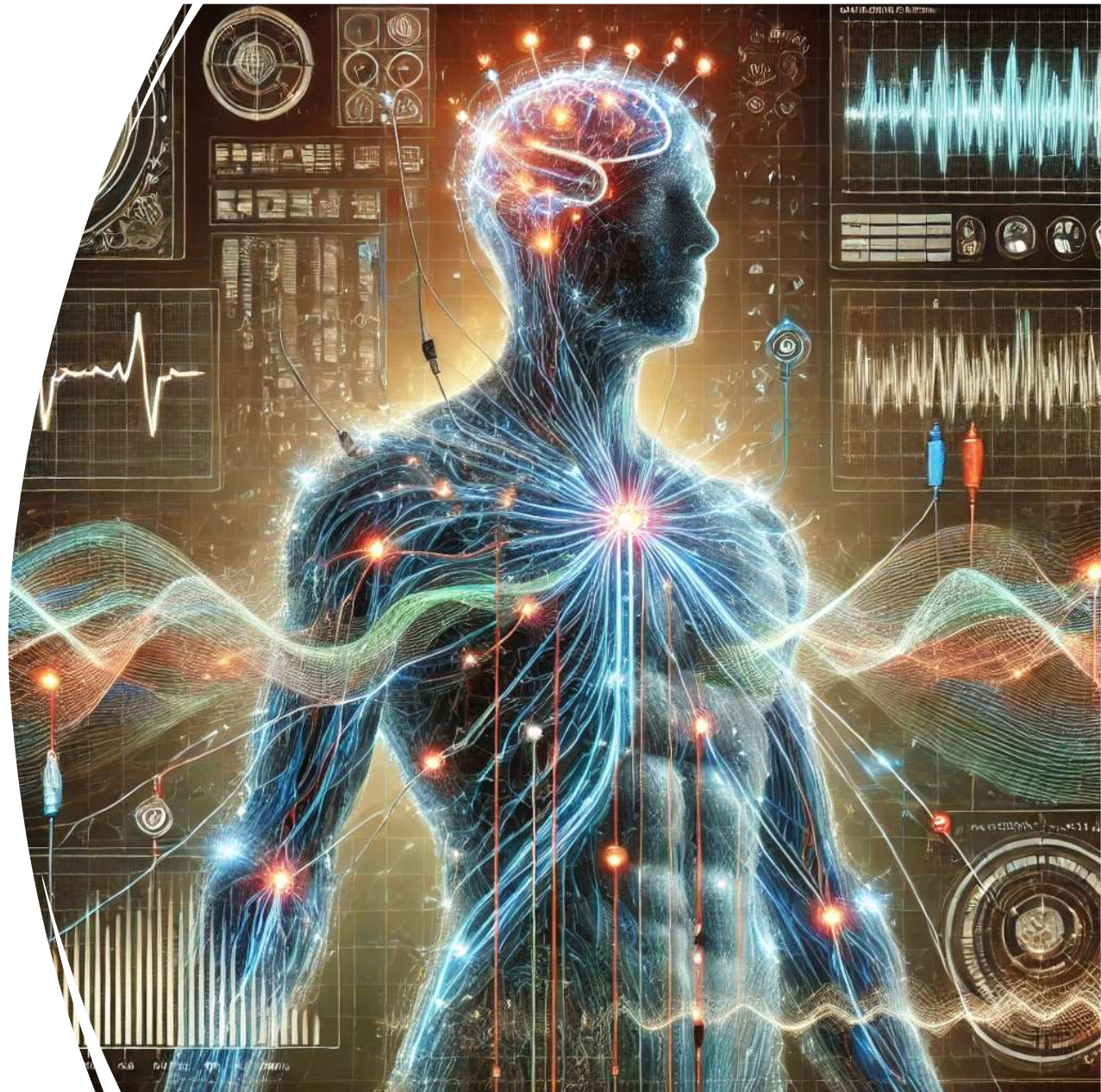


# 主専攻実験第4週

## 生体信号

---

- 生体信号とは？
  - 信号と電位
- 脳波・眼電位・筋電位・心電
  - 発生機序と計測方法
- その他の生体信号
  - 体動，呼吸，SpO2



# 生体信号の定義



生物（主にヒト）の  
**生体現象によって発せられる様々な信号**

例）脳波，眼電位，筋電位，心電  
体動記録，呼吸の変化，血中酸素飽和濃度変化など

生体現象：生物全体に関わる現象。  
**呼吸，代謝，体温維持といった生理現象や  
身体運動といった意識的・無意識的な活動**も含む

信号：時間や空間に伴って変化する任意の量

シグナル：生体内における細胞間の伝達情報とその伝搬方法  
本授業では「信号 ≠ シグナル」であることに注意

# 生体信号の分類

## 1. 生体電位の変化

- 脳波
- 眼電位
- 筋電位
- 心電

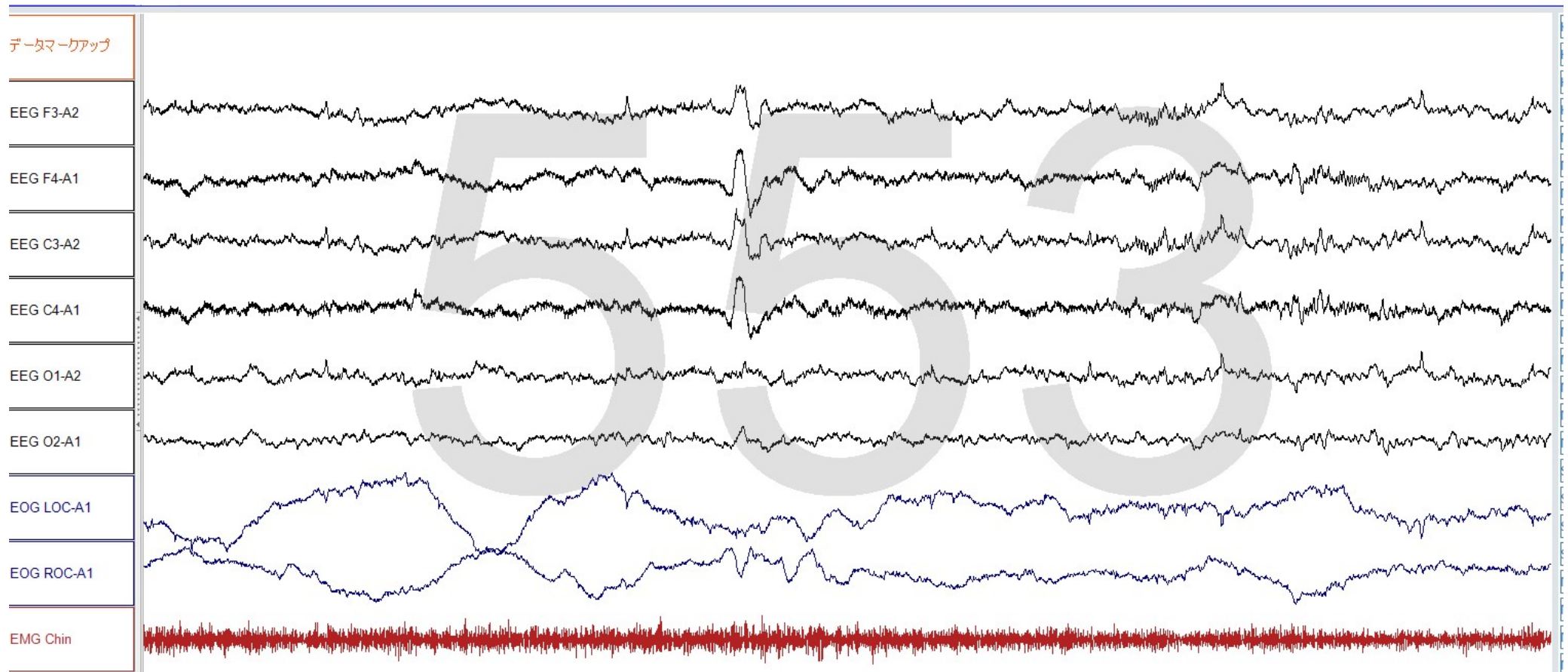
本実験科目ではこちらに焦点  
計測対象はすべて「電位」なので  
同じ構造の機器で計測可能

## 2. その他の物理量

- 身体の加速度：体動
- 空気の流量：呼吸の変化
- 血中酸素飽和濃度変化



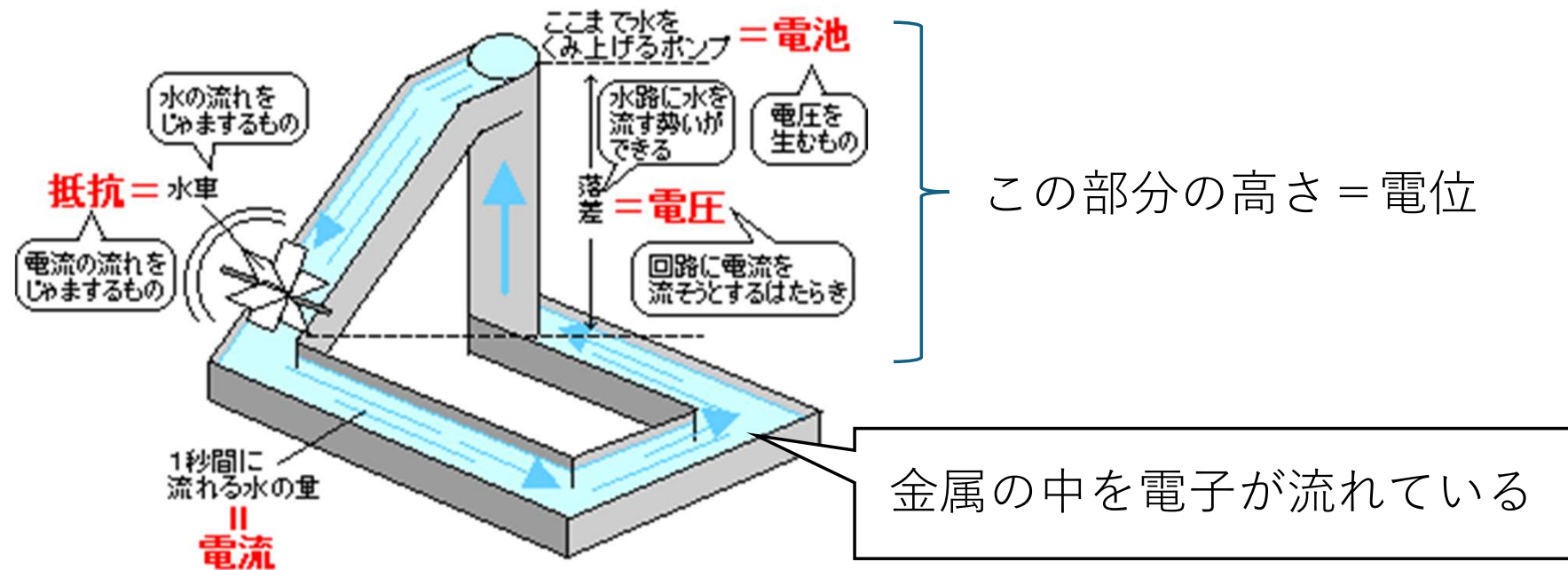
# 実際の計測例（睡眠計測）



生体電位とは何か？

# そもそも電位とは？

高校物理，工学・情報学向け大学物理でのイメージ



# そもそも電位とは？

高校物理，工学・情報学向け大学物理でのイメージ

生体電位を語る場合には，  
イメージとしてふさわしくない！  
前提が違い過ぎる！

水の流れる  
じょうみ

抵抗 = 水車

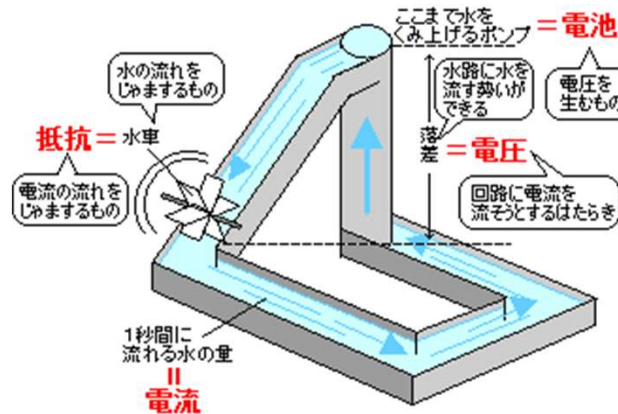
電流の流れを  
じやますもの

1秒間に  
流れる水の量  
||  
電流

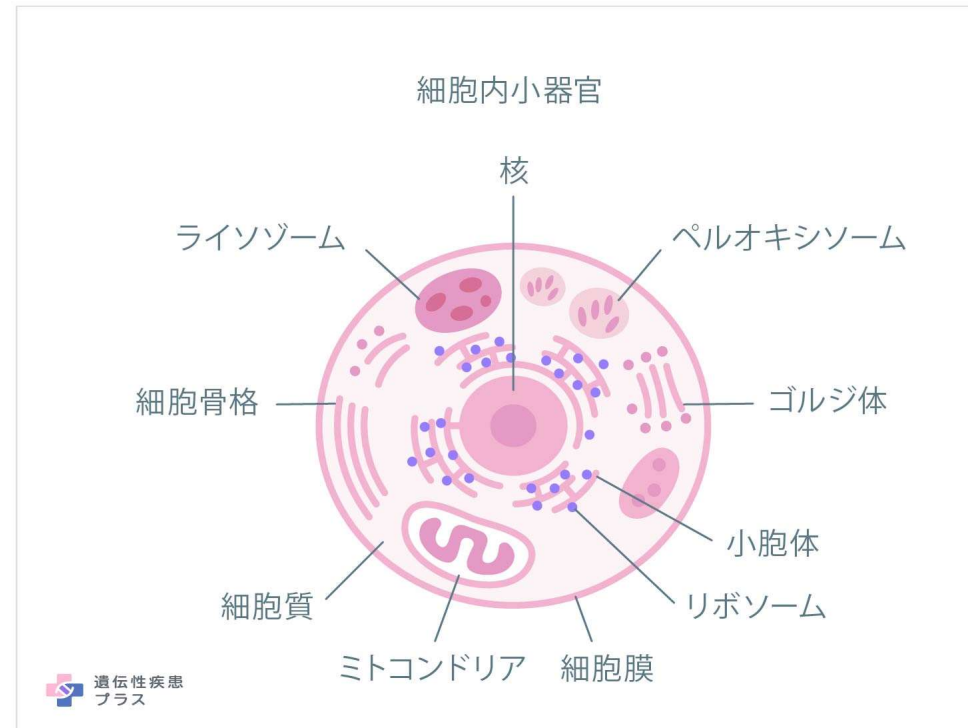
高さ = 電位

中を電子が流れている

# 何が違う？



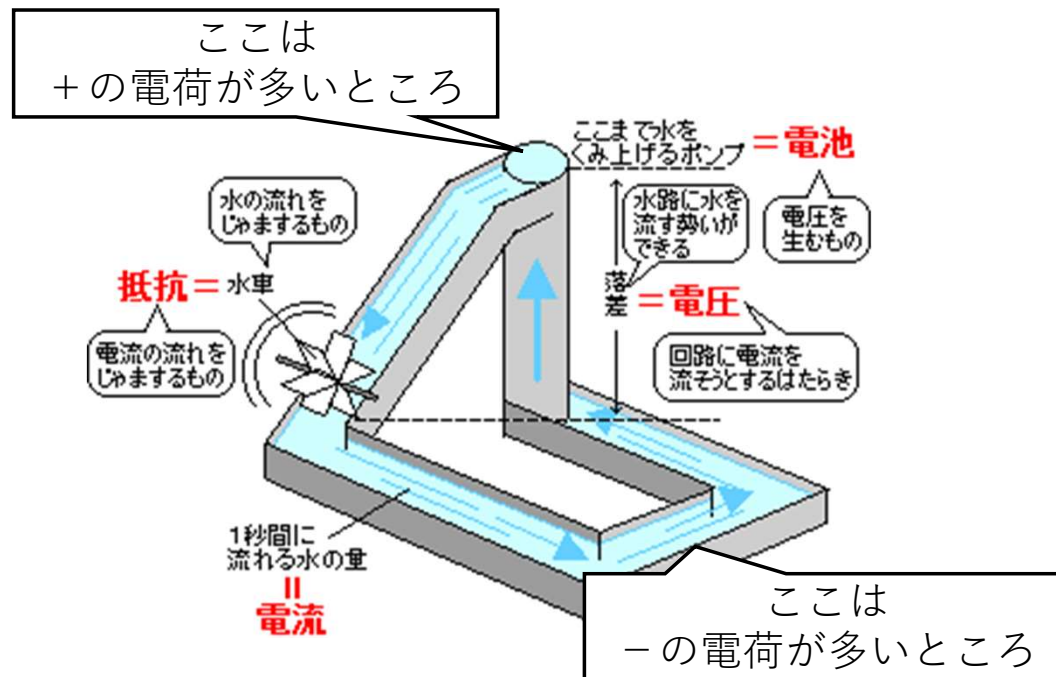
1. 生体は金属製じゃない  
= 自由電子は存在しない  
→ 🗨️ 水路 (= 電線) の中を、  
水 (= 自由電子) が動く
2. 生体はそもそも「固体」ですらない  
→ 細胞の中身はドロドロした液体  
たくさんの水風船を集めた物  
細胞の間にも液体が  
血液, リンパ液, 脳髄も液体  
あえて例えるなら「塩水をまとめた物」





# 電位の認識をアップデート

電位とは  
「ある地点とその近傍における  
+と-それぞれの電荷のバランスがどれだけ崩れているか」



電池は、  
「自由電子」という  
-の電荷を  
+極から-極に  
送り込むポンプ  
とみなせる

# 電位の認識をアップデート

電位とは

**「ある地点とその近傍における  
＋と－それぞれの電荷のバランスがどれだけ崩れているか」**

電子回路の場合,

＋の電荷：電線を構成する金属の原子核（陽子）

－の電荷：金属の自由電子

生体の場合,

＋の電荷：陽イオン（ $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ など）

－の電荷：陰イオン（ $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ）

# 生体電位とは何か？

身体のある部位に、  
**陽イオンと陰イオンがどれだけ偏って存在しているかを**  
金属電極を通じて計測したもの

## ではなぜイオンが偏るのか？

細胞には、

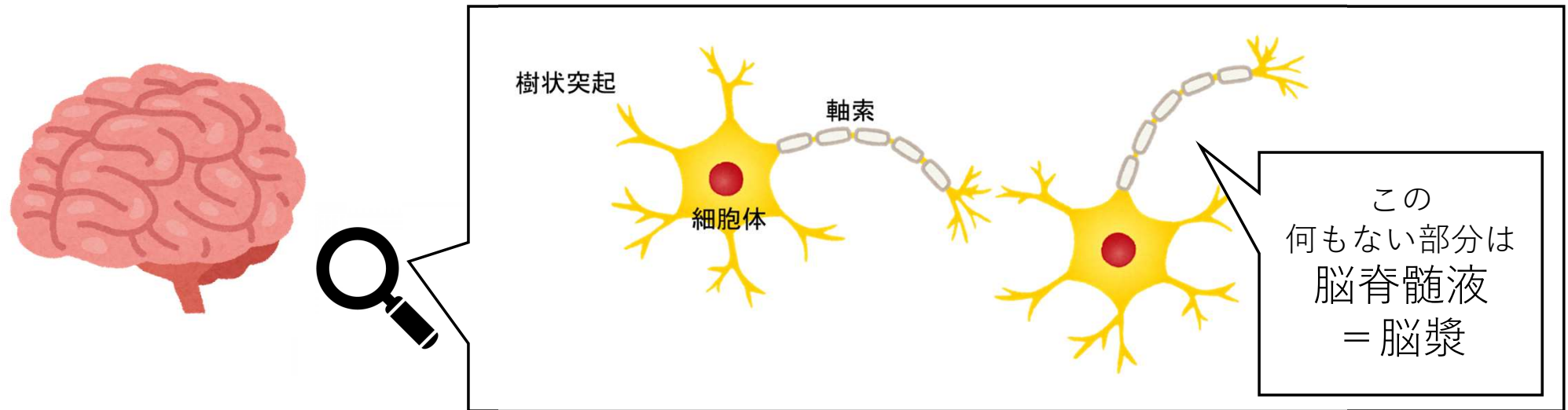
1. **細胞外部にある特定のイオンを回収**
2. **内部の特定のイオンを外に排出**

する仕組みを持っており、  
細胞内の情報処理などに利用しているから

# 脳波とは

脳の構成要素であるニューロンの活動によって引き起こされる  
電位の変化を計測したもの

# ニューロンは脳活動の最小単位



**細胞体**

実際に情報処理をする箇所

**軸索**

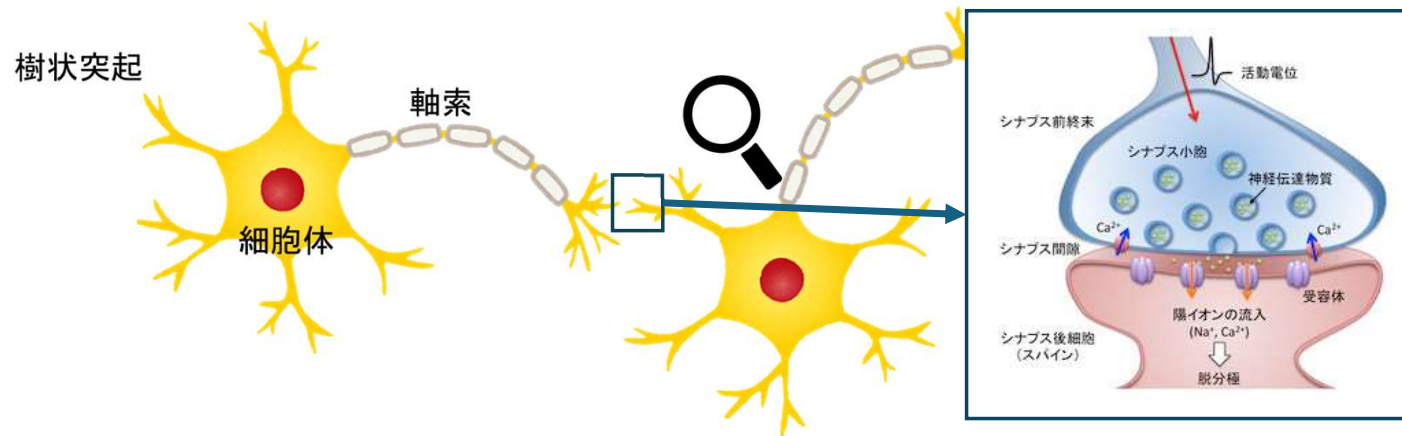
出力担当，各ニューロン一本持つ，先端にシナプス

**樹状突起**

入力担当，1ニューロンに数多く存在



# ニューロン間の情報伝達

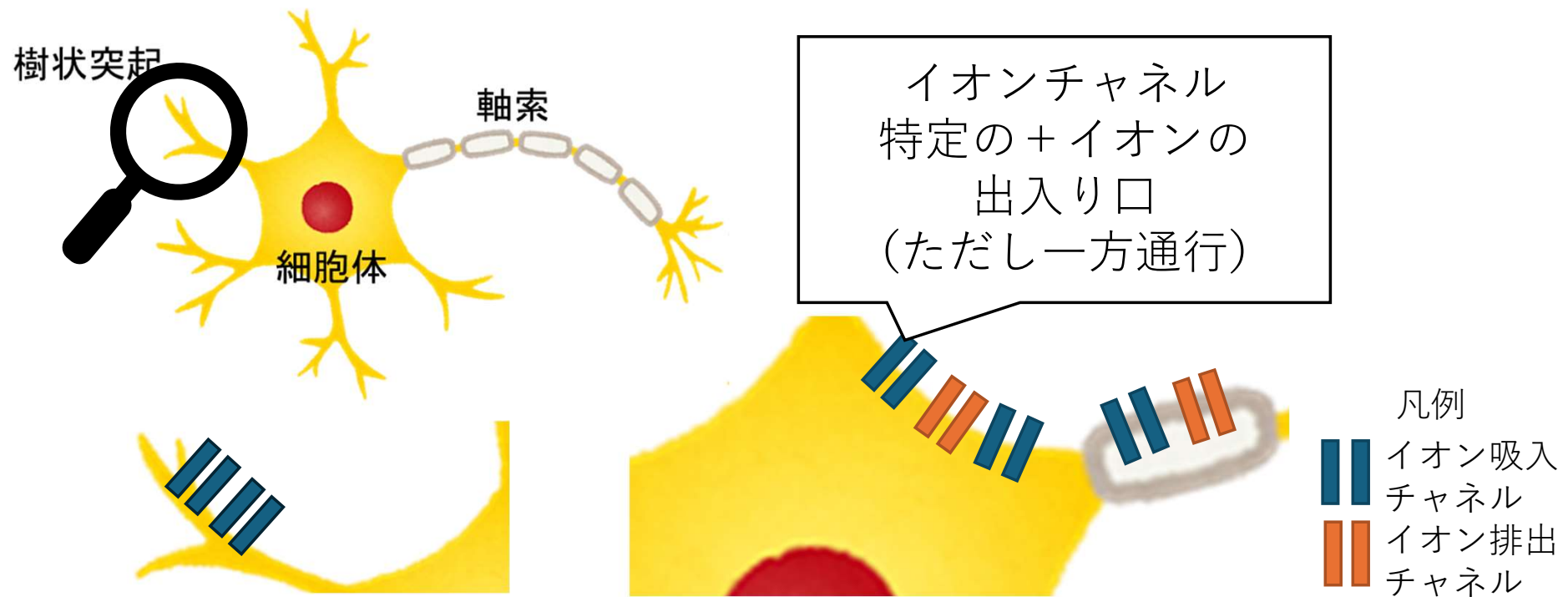


軸索－樹状突起間で「接続」

(注) 距離的に非常に近いけど、接触はしていない  
神経伝達物質をやり取りして情報を伝達

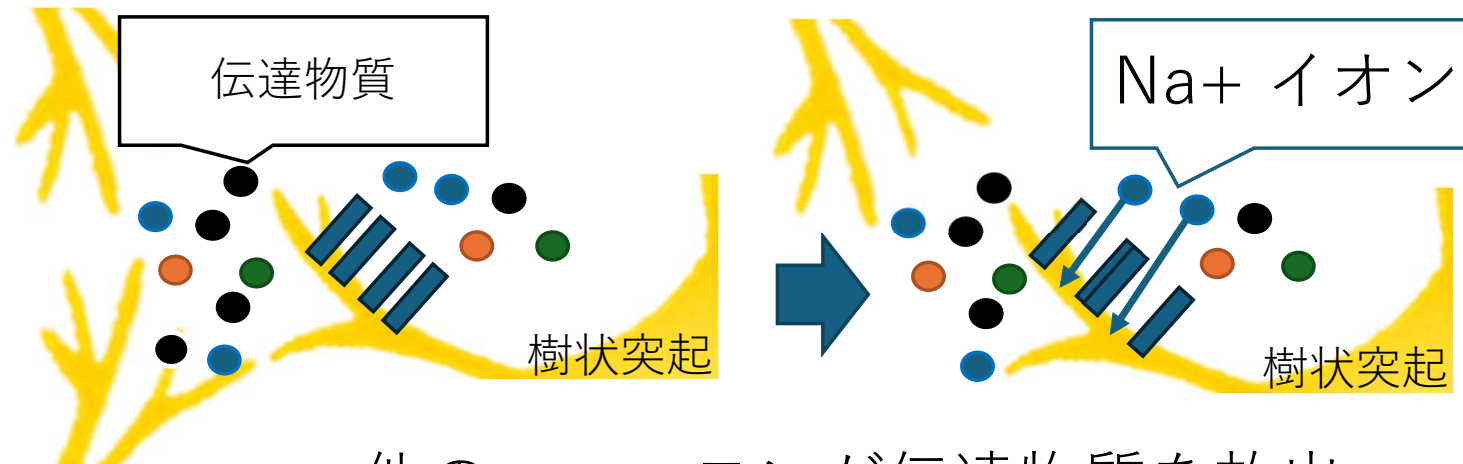
例) ドーパミン・ヒスタミンなどの神経ペプチド

# ニューロンとイオンチャネル



イオンチャネル：脳髄とのイオンのやり取りを担当  
門番みたいなもの  
細胞内外の状態に合わせてやり取り

# 樹状突起内のイオンのやり取り



他のニューロンが伝達物質を放出

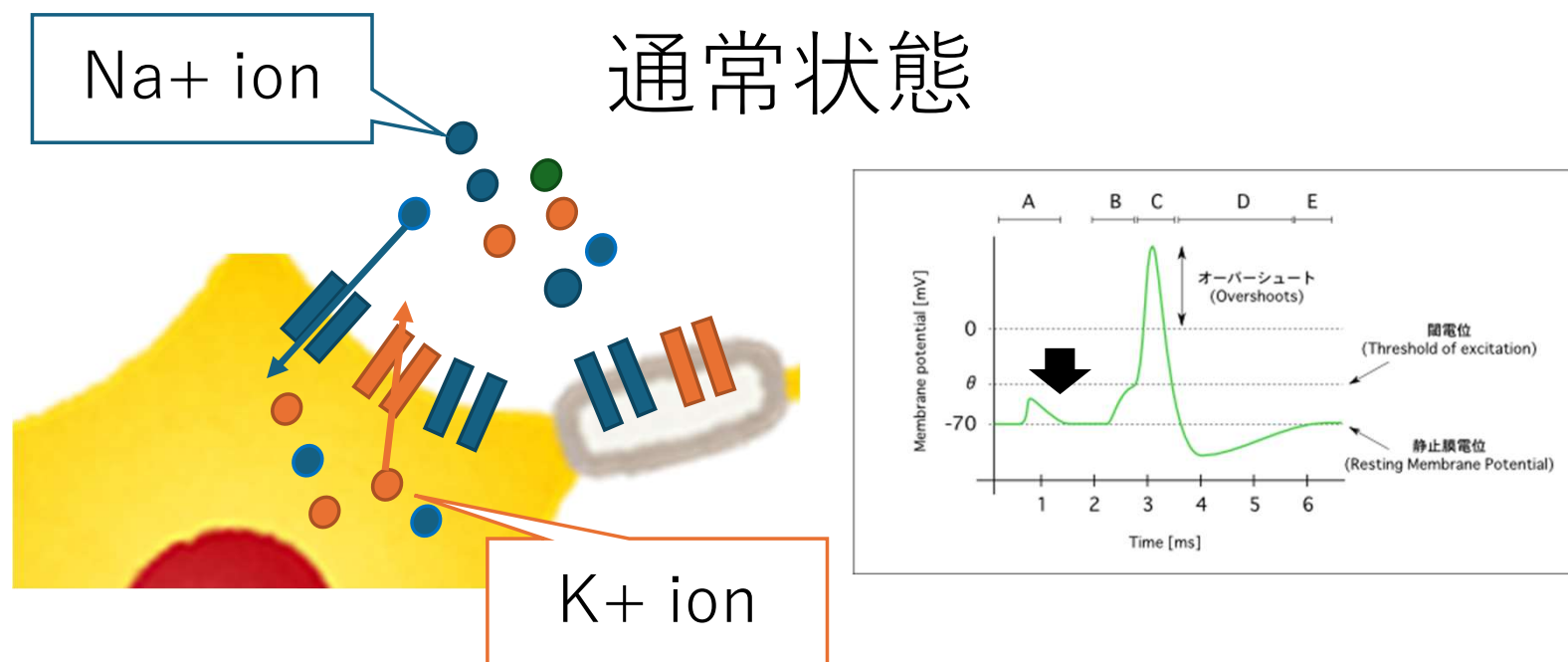


樹状突起近くの伝達物質濃度UP



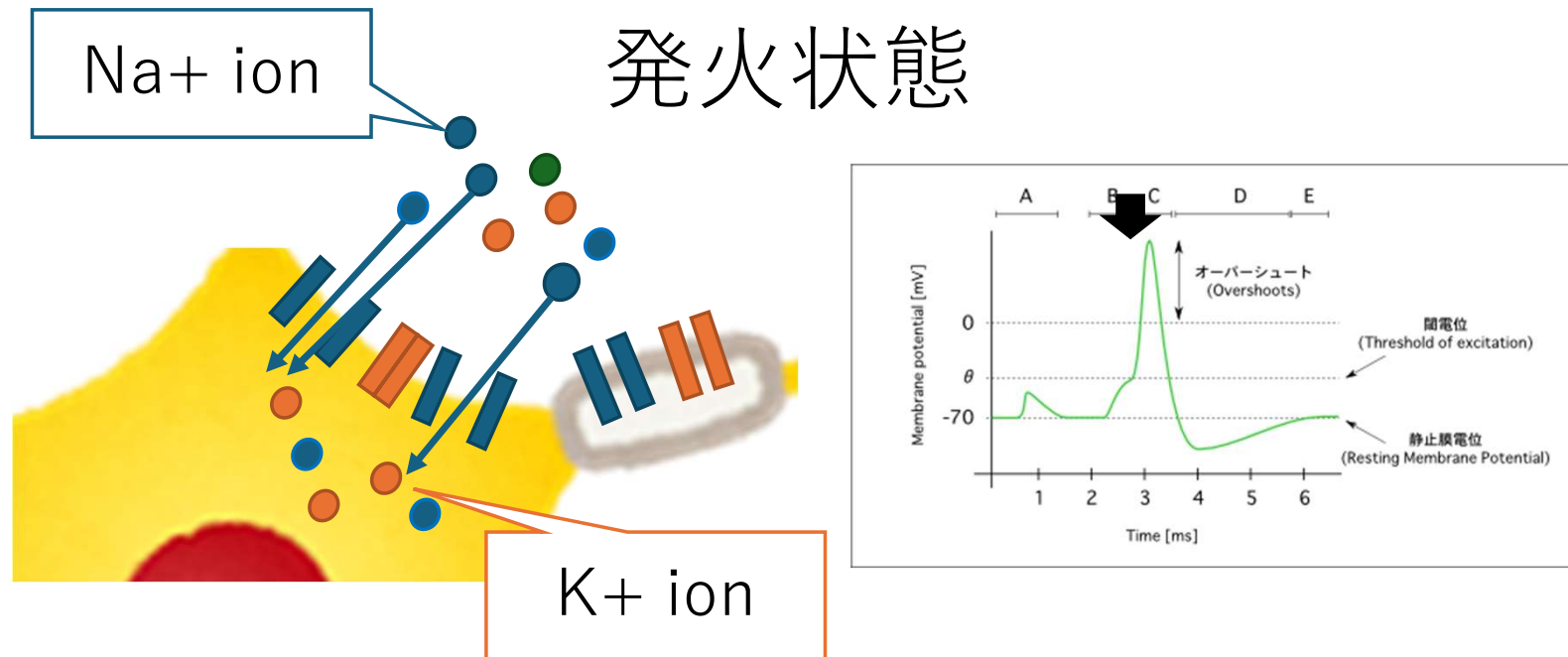
Na<sup>+</sup> 吸入チャネルが開放, 細胞内のNa<sup>+</sup>が増加  
→細胞内の電位が向上

# 細胞体内のイオンのやり取り，情報処理



通常状態では，チャネルを操作して  
細胞内のイオン濃度を一定に保つ  
＝細胞内外の電位は安定

# 細胞体内のイオンのやり取り， 情報処理

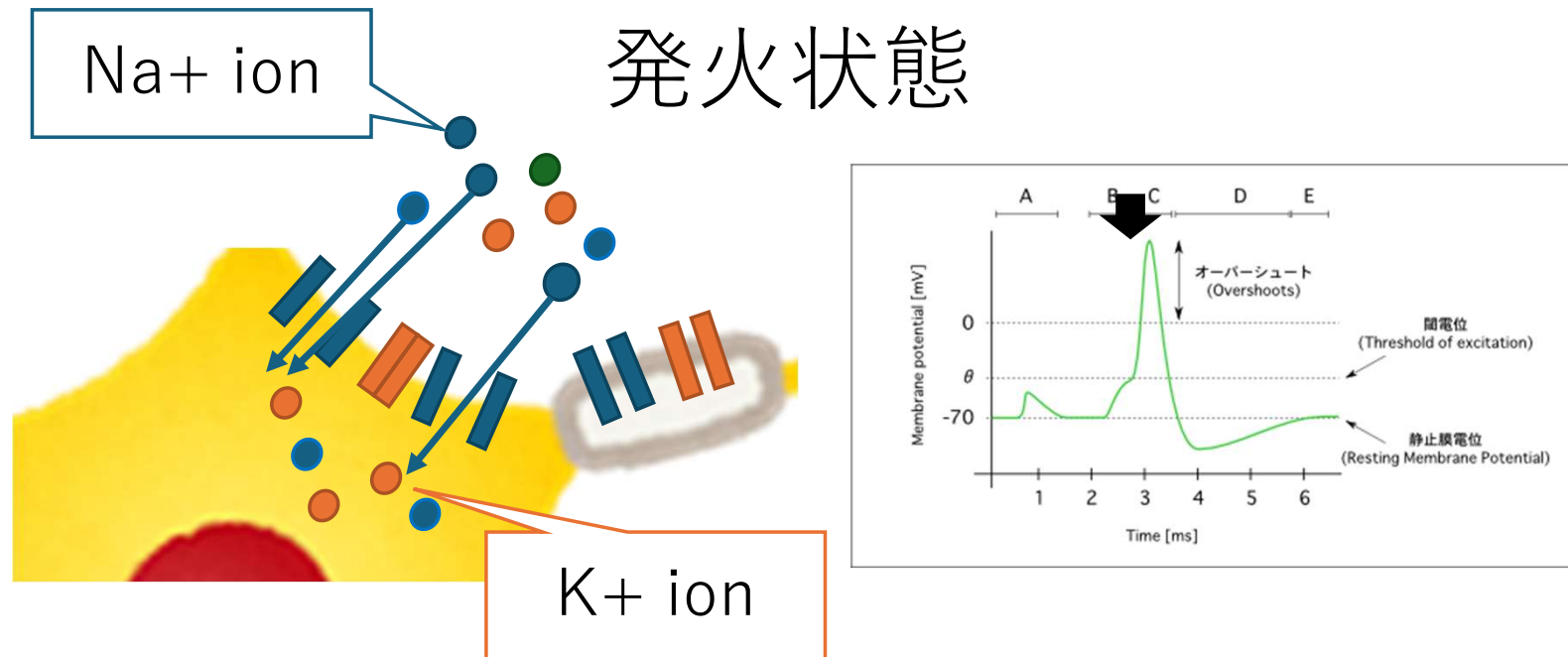


樹状突起のイオンのやり取りがあると，内部電位（陽イオン濃度）が高まっていく

内部電位が一定の値を超える（陽イオン濃度が一定水準を上回る）と「**発火状態**」に

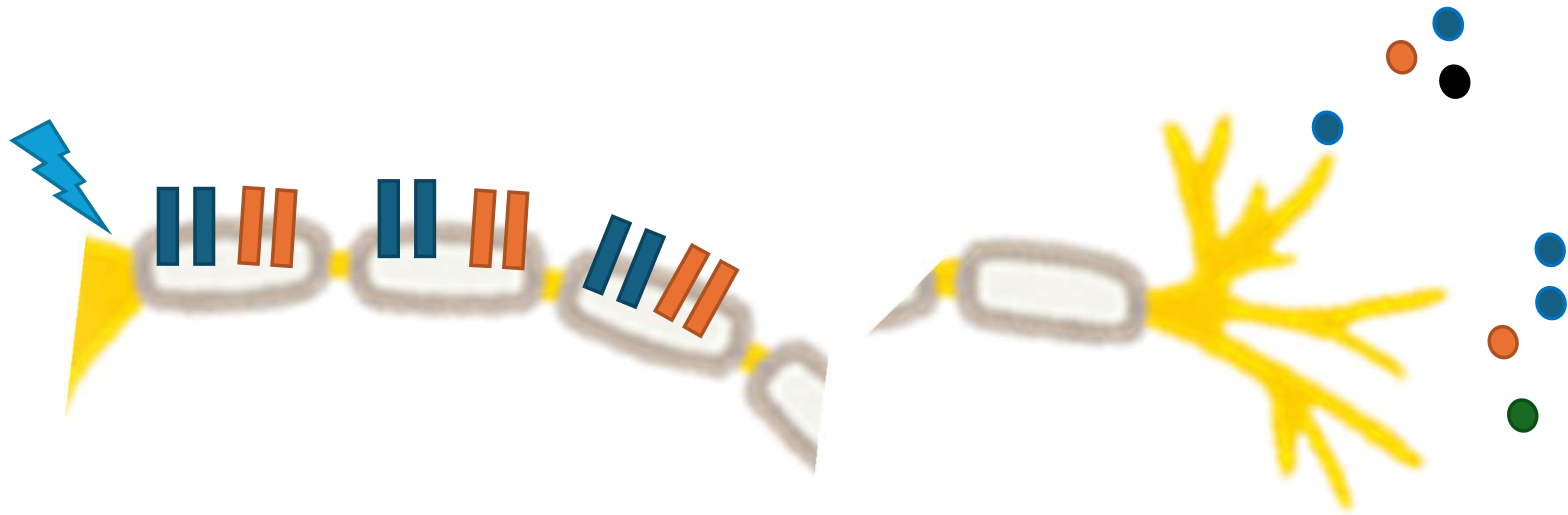


# 細胞体内のイオンのやり取り，情報処理



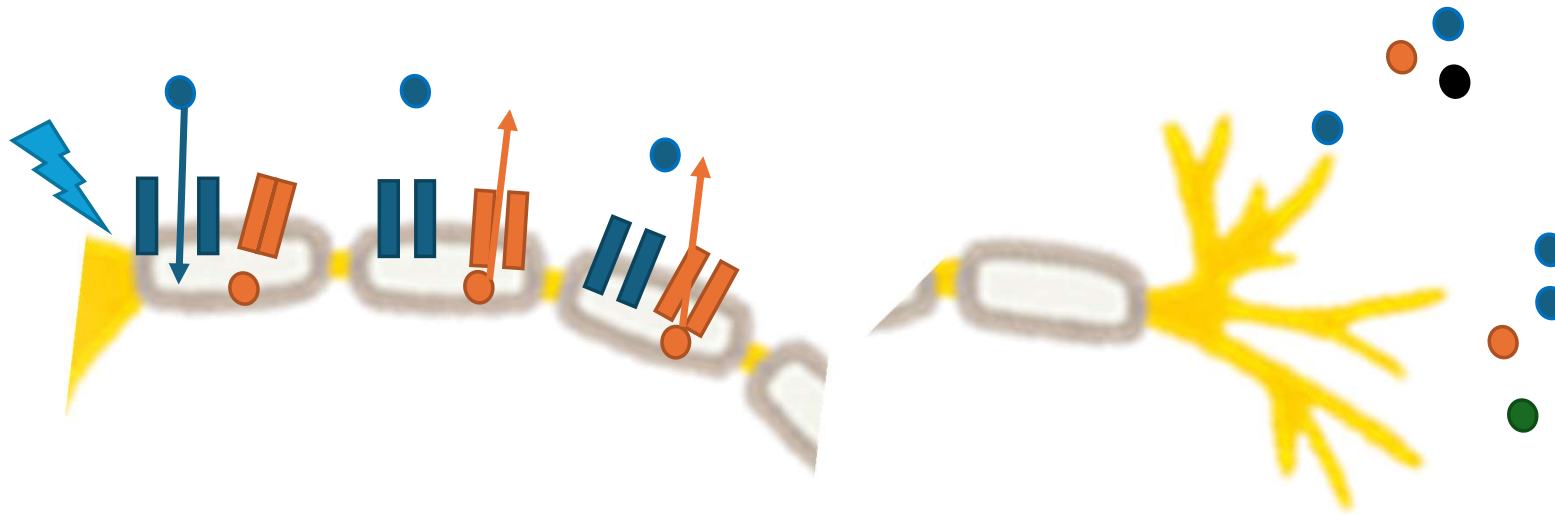
「発火状態」になると，  
Na<sup>+</sup>吸入チャンネルが全開 & K<sup>+</sup>イオン排出チャンネルが閉鎖  
→ 内部の陽イオン濃度が急激に高まっていく

# 軸索のイオンのやり取り，情報処理



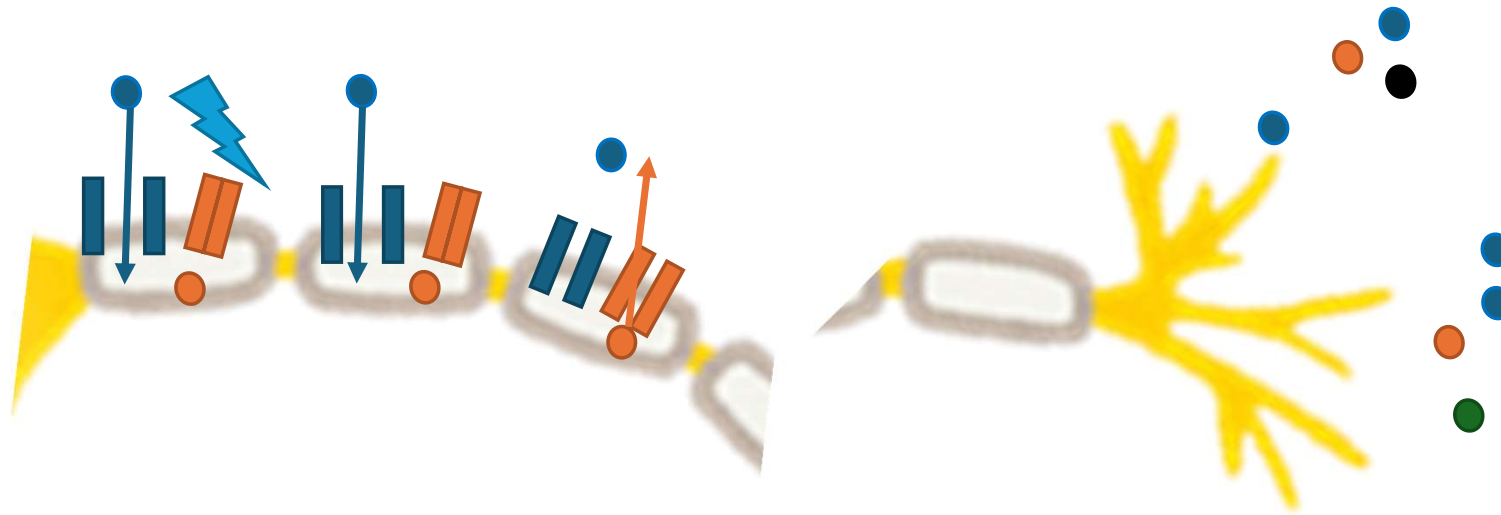
軸索もイオンチャンネルを持つ，  
& 細胞内と同様に，付近の陽イオン濃度が  
一定以上になると「発火」状態に遷移  
→ 軸索の根元に近いところから先端まで  
「発火」状態が伝達

# 軸索のイオンのやり取り，情報処理



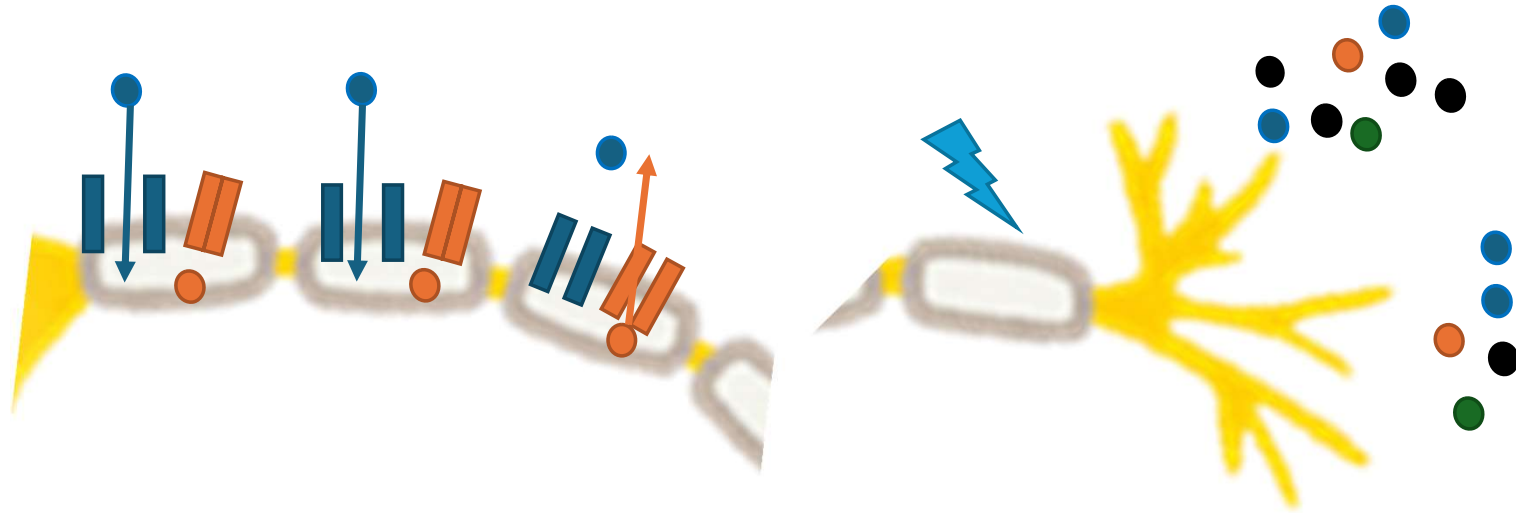
軸索もイオンチャンネルを持つ，  
& 細胞内と同様に，付近の陽イオン濃度が  
一定以上になると「発火」状態に遷移  
→ 軸索の根元に近いところから先端まで  
「発火」状態が伝達

# 軸索のイオンのやり取り，情報処理



軸索もイオンチャンネルを持つ，  
& 細胞内と同様に，付近の陽イオン濃度が  
一定以上になると「発火」状態に遷移  
→軸索の根元に近いところから先端まで  
「発火」状態が伝達

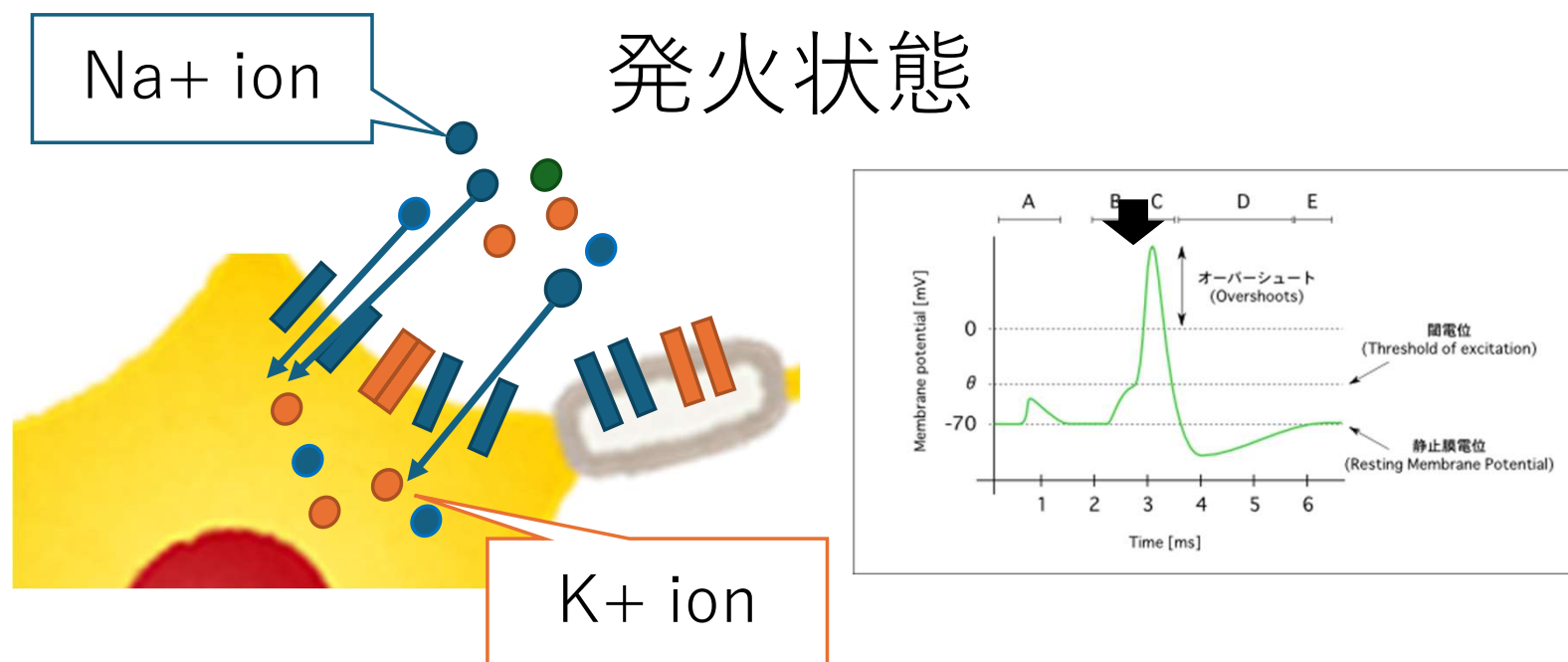
# 軸索のイオンのやり取り，情報処理



シナプスは内部電位が高いと情報伝達物質を細胞の外に放出する仕組みになっている



# 細胞体内のイオンのやり取り，情報処理



この「**発火**」を電極で計測したものが「脳波」

# 脳波の計測 システム構成イメージ

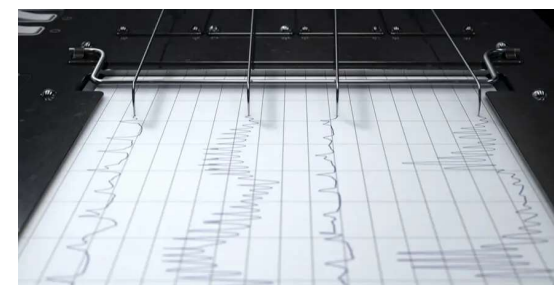
ArtiseBiomedical 



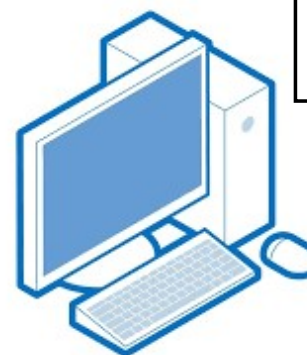
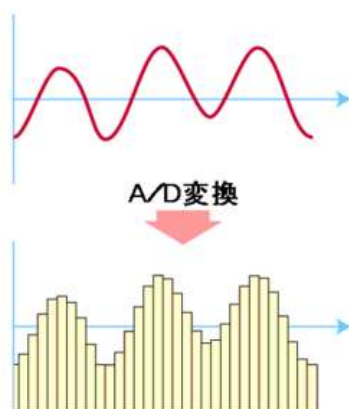
計測電極



アンプ<sup>o</sup>



ポリグラフ



記録用PC

最近はほぼ  
PCでの記録に

# 脳波の計測電極

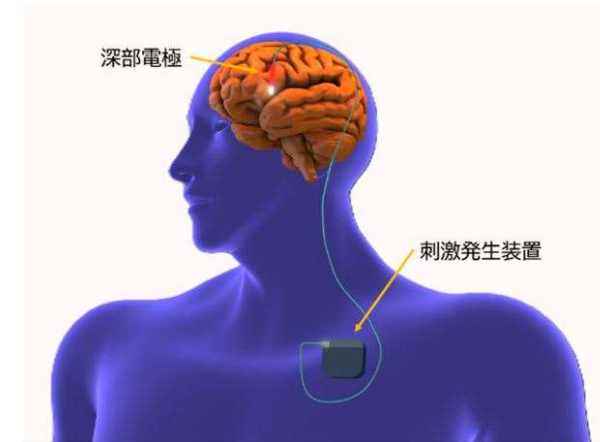
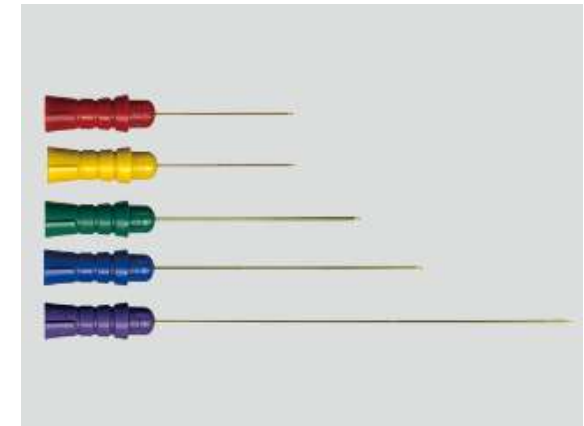
## 1. 皮膚電極

脳に直接針を刺すことで、

計測対象のニューロン付近の電位を直接測る方法

針電極の例（日本光電）

- 侵襲的な計測なので安全性に難あり
- 健康な被験者に対してこれを使うことはほぼない  
# 倫理問題
- ヒトよりはマカクザル，マウス，ラットなどの動物に使うことが多い。
- 一部脳関連疾患の治療として電気刺激を兼ねたモニタリング電極を入れるケースもある



# 脳波の計測電極

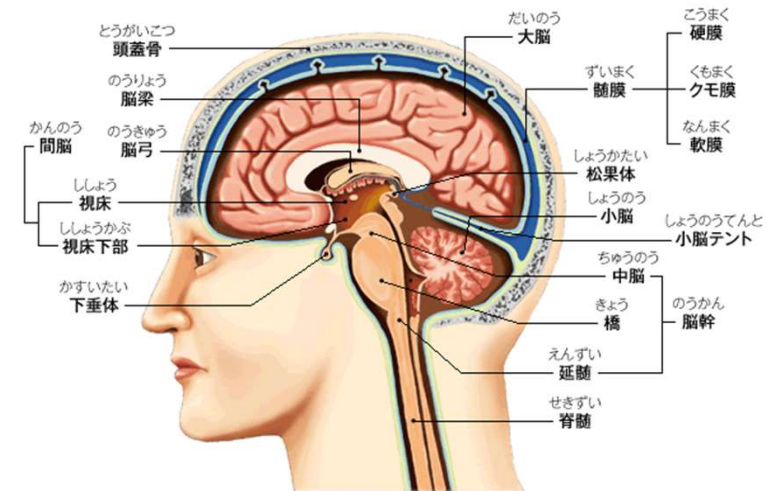
## 2. 皮膚表面電極

頭皮の表面に電極を張り付けて皮膚表面の  
電位変化を計測する方法

- ニューロン1個ではなく  
ニューロン群の発火を計測
- ニューロンと皮膚表面の間にある  
頭蓋骨や髄膜等の影響を受けやすい
- 脳委縮の影響を受けるケースも
- ノイズや計測の問題はあるが**安全**

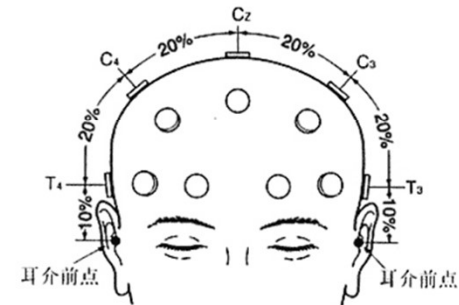
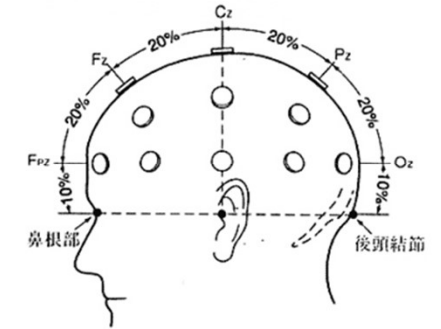
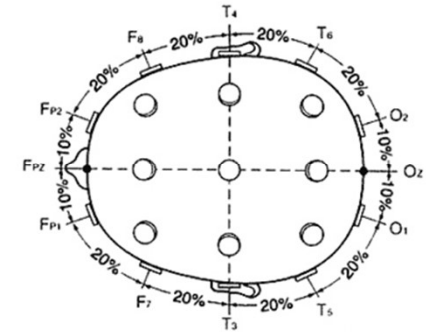
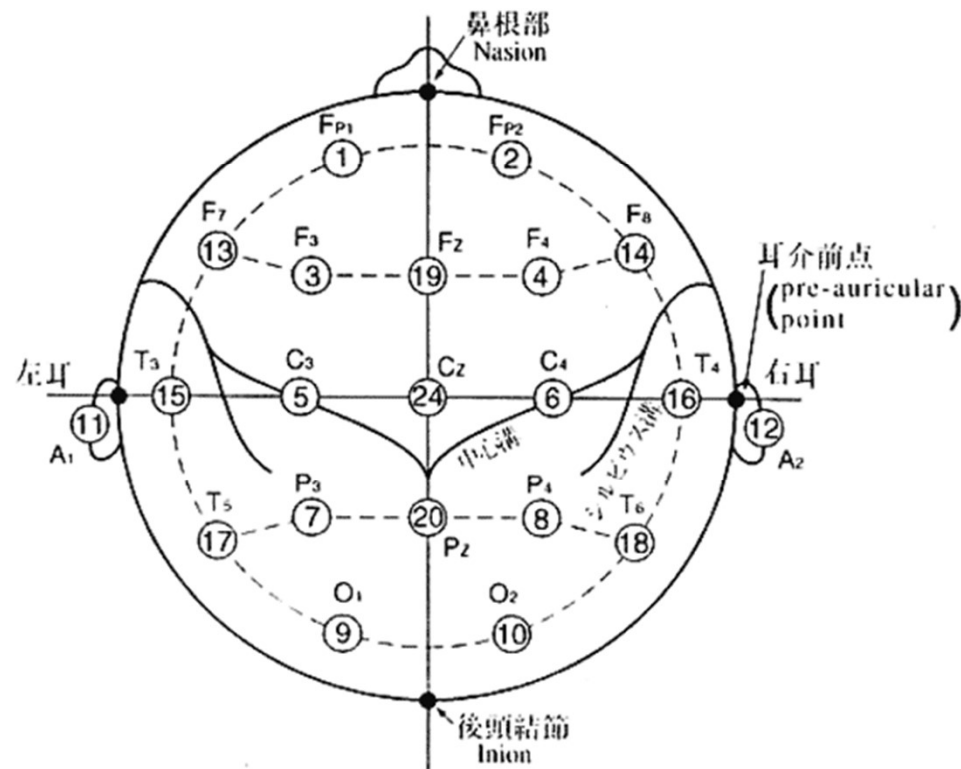


表面電極の例（メッツ）



# 脳波の計測位置の例

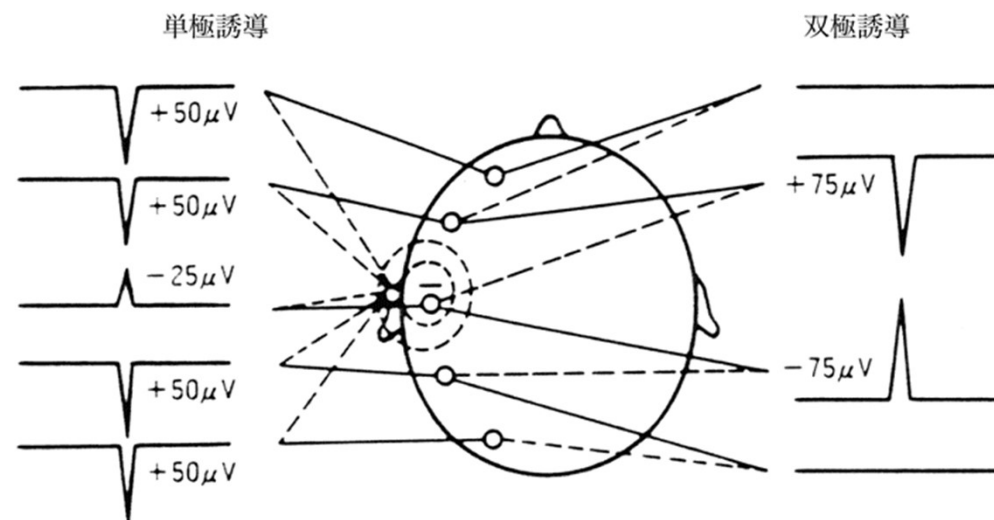
電極の配置 (10-20 法)



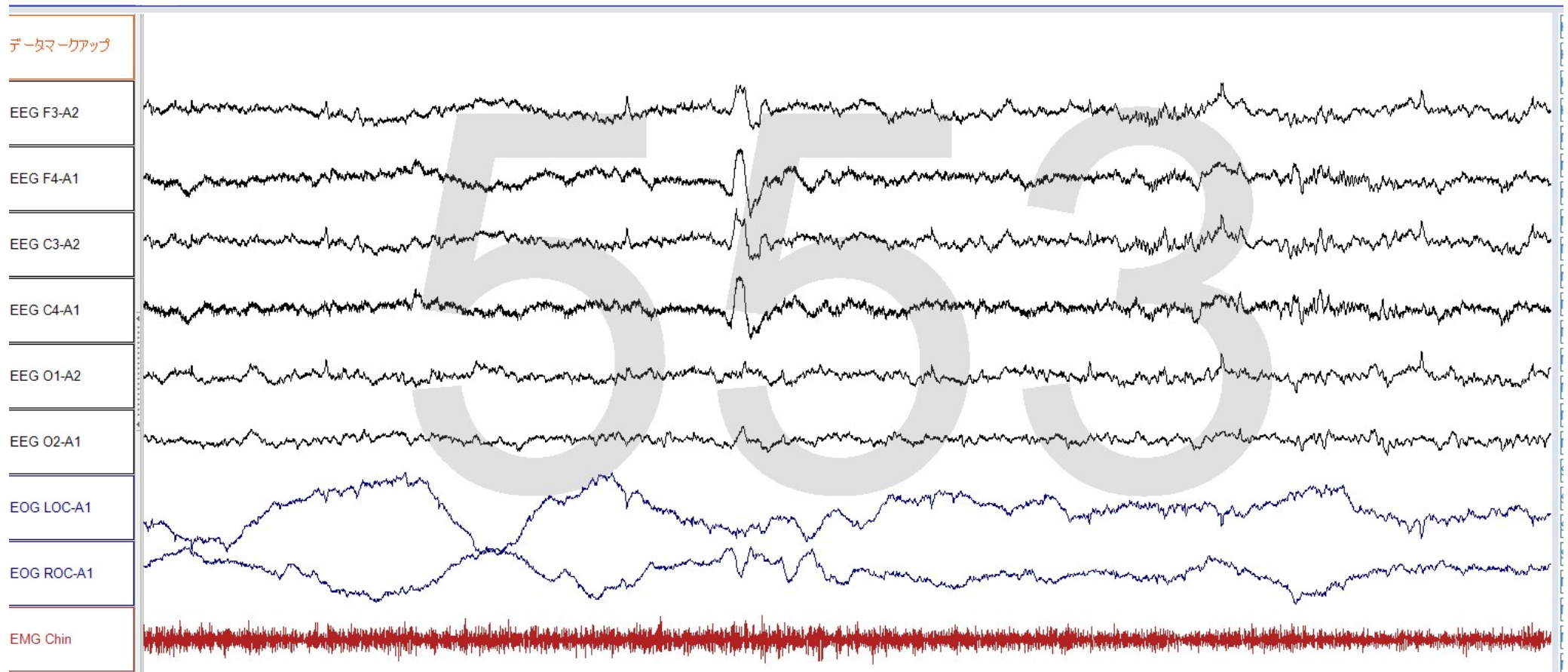


# 脳波の「誘導」

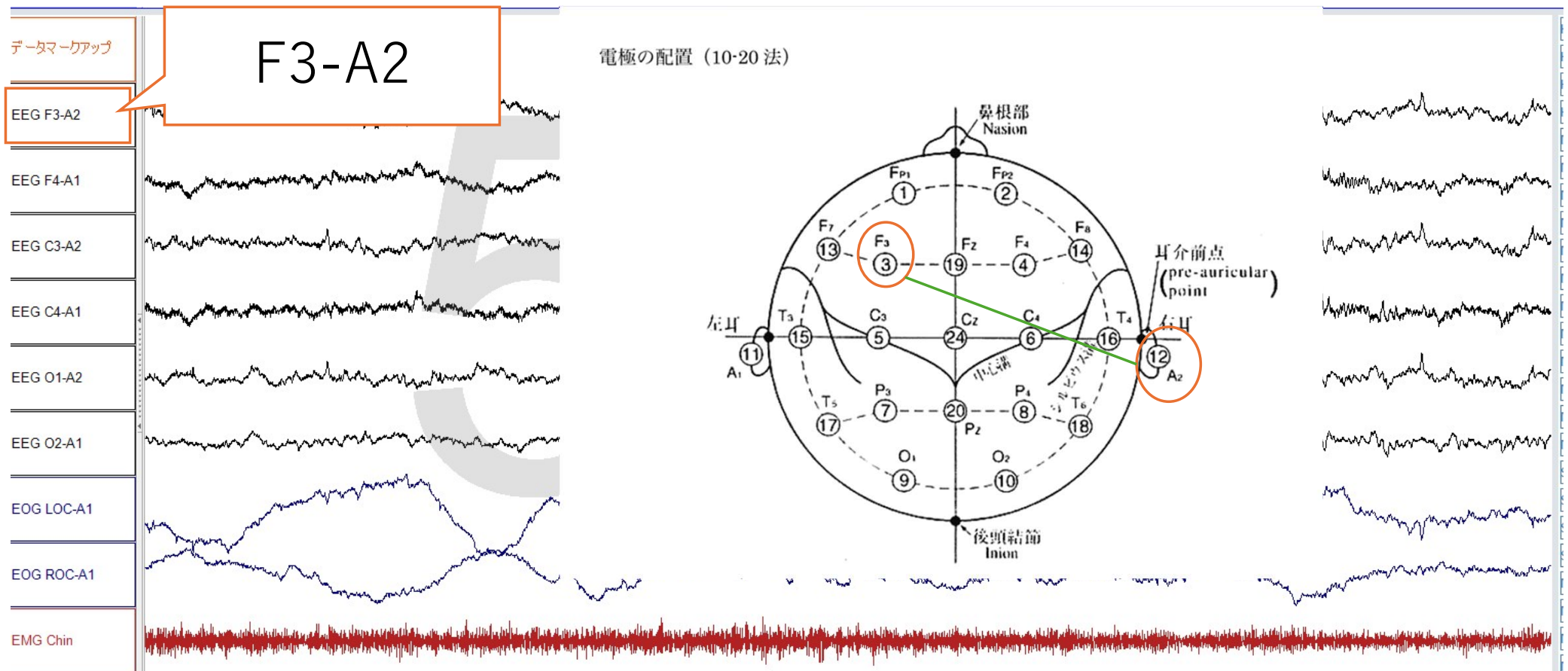
「電位」自体は計測できない→2電極間の「電位差」を計測  
どの2極間の電位差を計測するか＝「誘導」



# 実際の計測例（誘導）



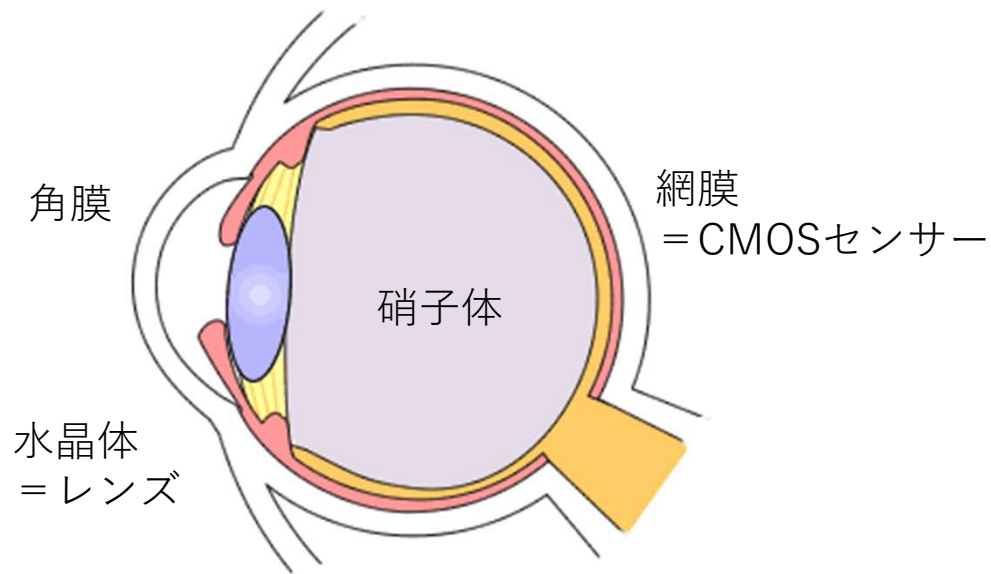
# 実際の計測例（誘導）



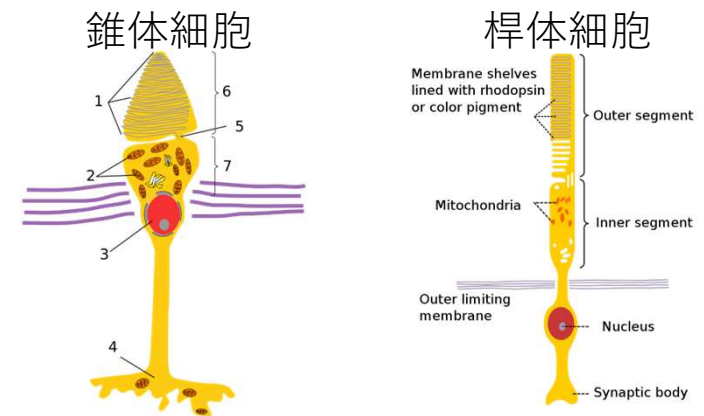
# 眼電位

眼球の動きに伴って変化する目周辺の電位変化を計測したもの

# 眼の構造

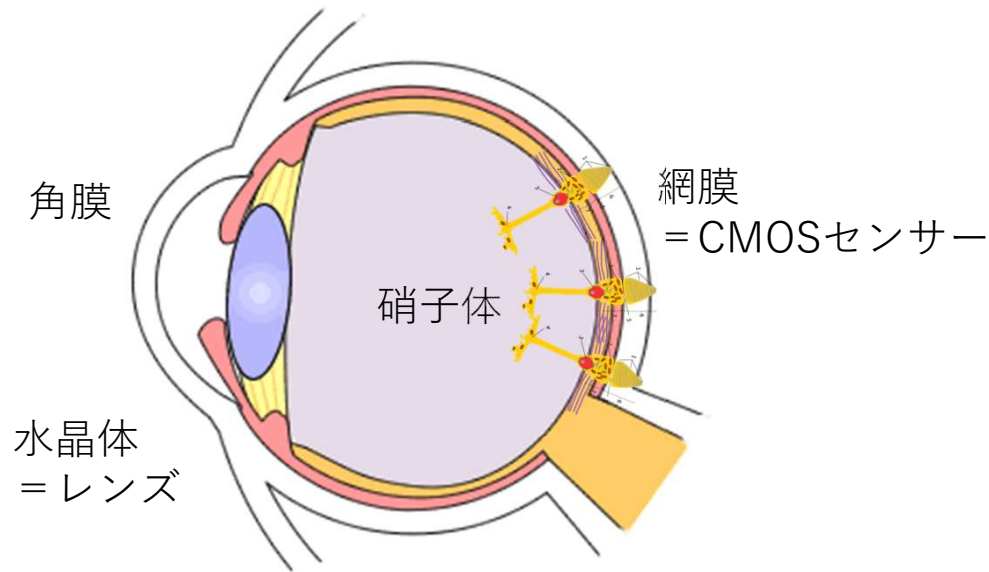


網膜は,



の2つの細胞 (=ニューロン) で主に構成  
「特定の光」が当たると発火する  
特殊なニューロン

# 眼の構造

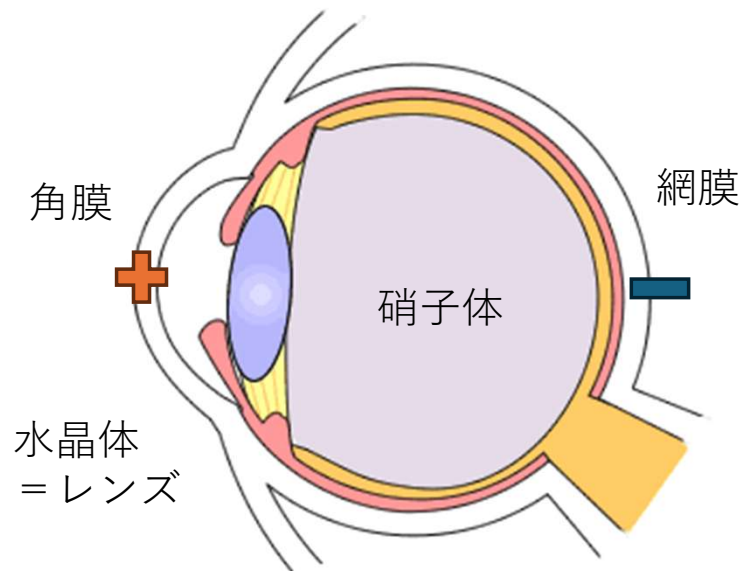


網膜の奥側（頭蓋骨より側）に  
感光部が並ぶ形でニューロンが配置される

# 水晶体側は硝子体＝液体なので、  
そちらに感光部を向けると  
感光部の位置ずれにつながる可能性

近傍のニューロン出力の情報統合の後、  
視神経を經由して脳に

# 眼電位の発生機序



網膜側はニューロンが情報処理  
→全体としては陰イオンの方が多くなる

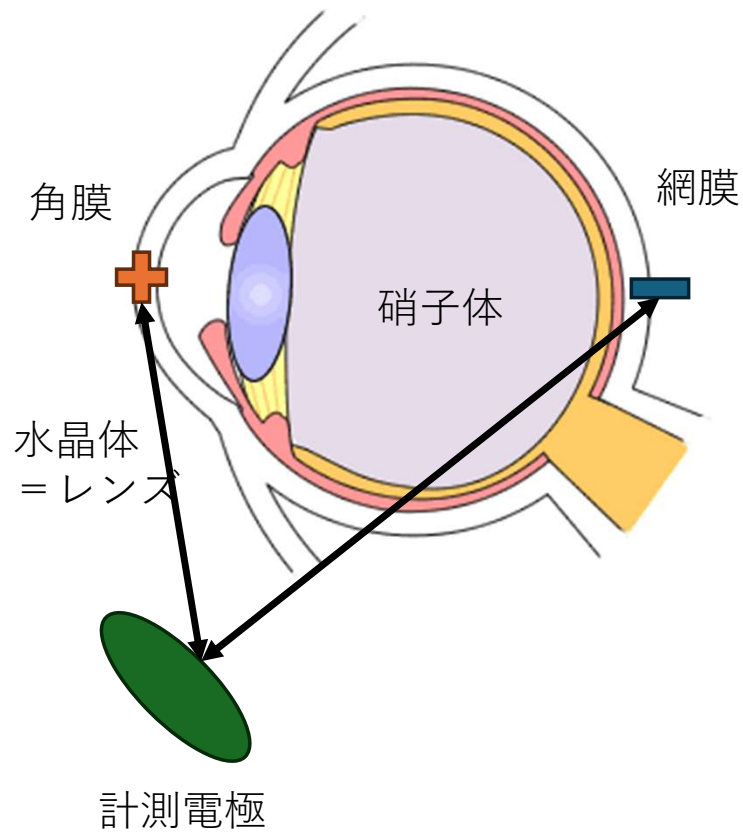
角膜側は外界と接しており、新陳代謝が活発  
→細胞の増殖過程で陽イオンの方が多くなる

．．．らしい．

**眼球の前後で電位が異なる** のがポイント



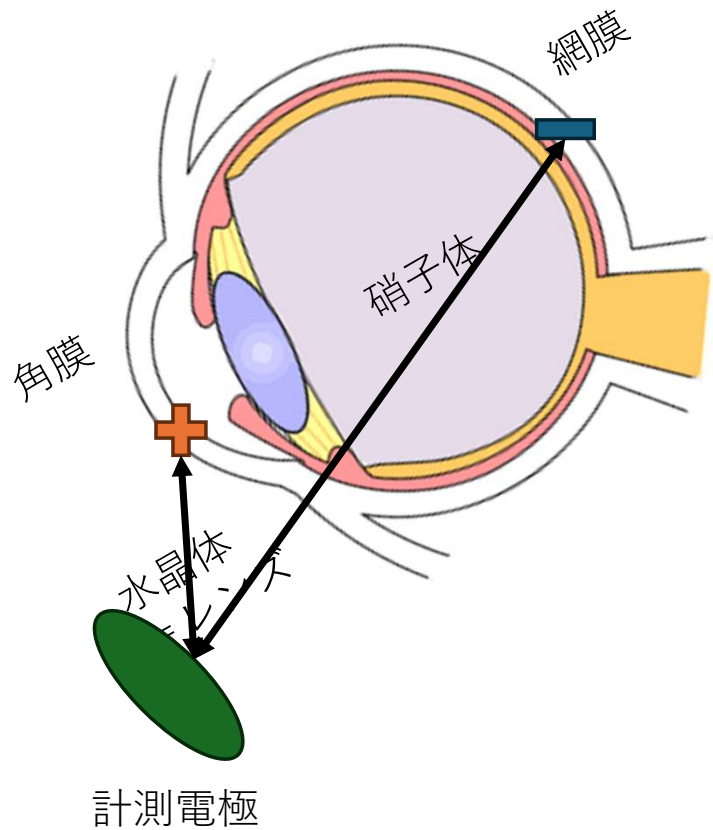
# 眼電位の発生機序



眼の下に電極を取り付けた場合、  
電極の電位は、角膜&網膜との距離で決まる。

この状態を電位0とすると、

# 眼電位の発生機序



眼が下を向けば電位は+になる  
→眼球の動きを、  
電位の変化として計測できる  
＝眼電位信号

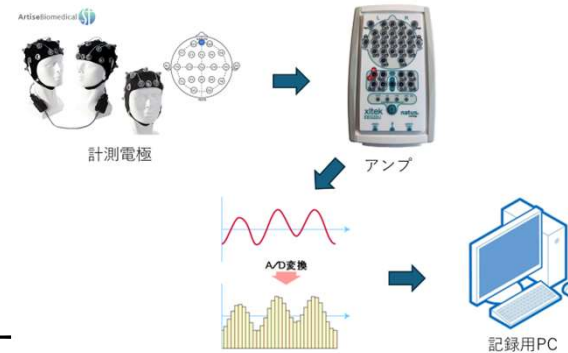
# 眼電位の計測方法

システム構成は脳波とほぼ同一。

- そもそも電位が大きい → アンプは低倍率
- 目の動きはさほど急峻ではない → サンプリング周波数低

皮膚表面電極で計測

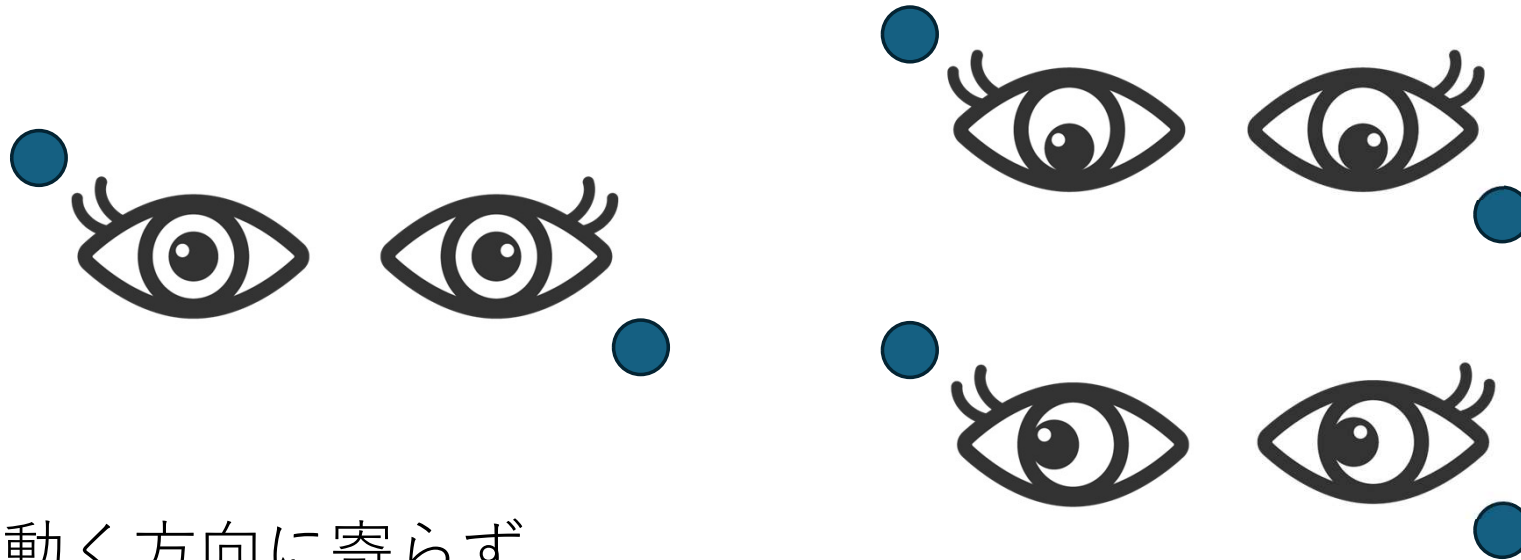
(眼球という大きな物体の動作・変化なので針電極が無意味)



# 眼電位の計測位置

ノイズ対策をしたいとき

→ 2 か所，両目に対して斜めに挟むように計測

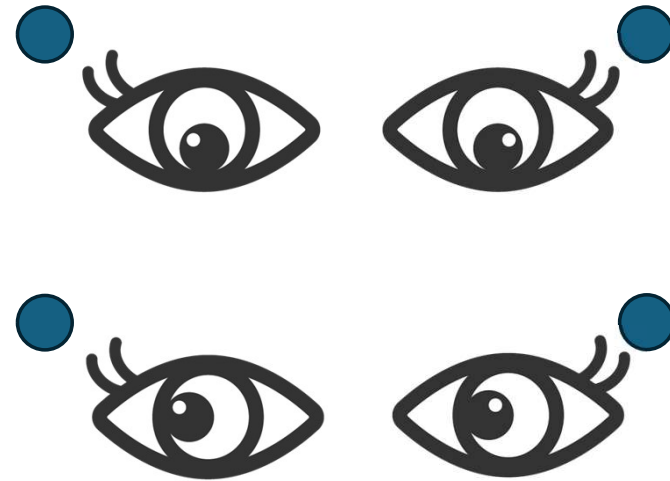
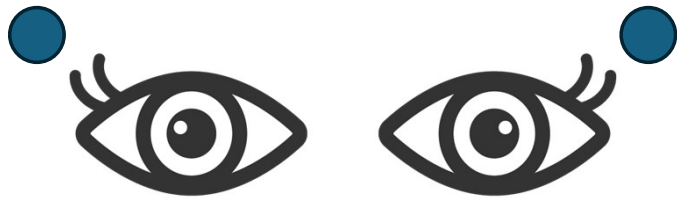


目の動く方向に寄らず，  
右目電極と左目電極は逆に振れる

# 眼電位の計測位置

上下左右を見分けたいとき

→ 2 か所、両目の少し上の方に計測



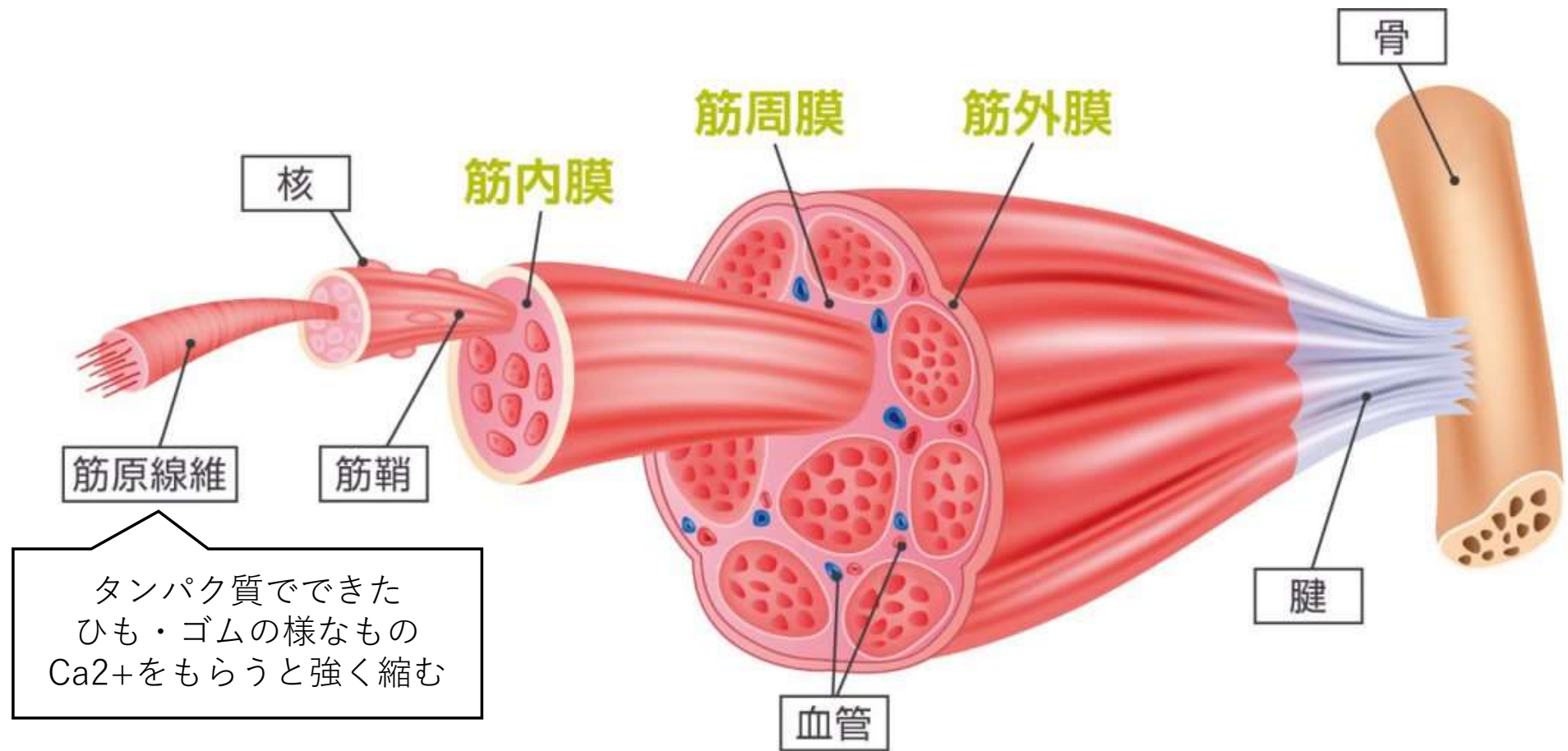
上下に動かす→両極同じ方向に、  
左右に動かす→両極逆方向に

それぞれ電位が変化する

# 筋電位

筋肉の収縮に必要な電位の変化を電極でとらえた物

# 筋肉の構造と収縮

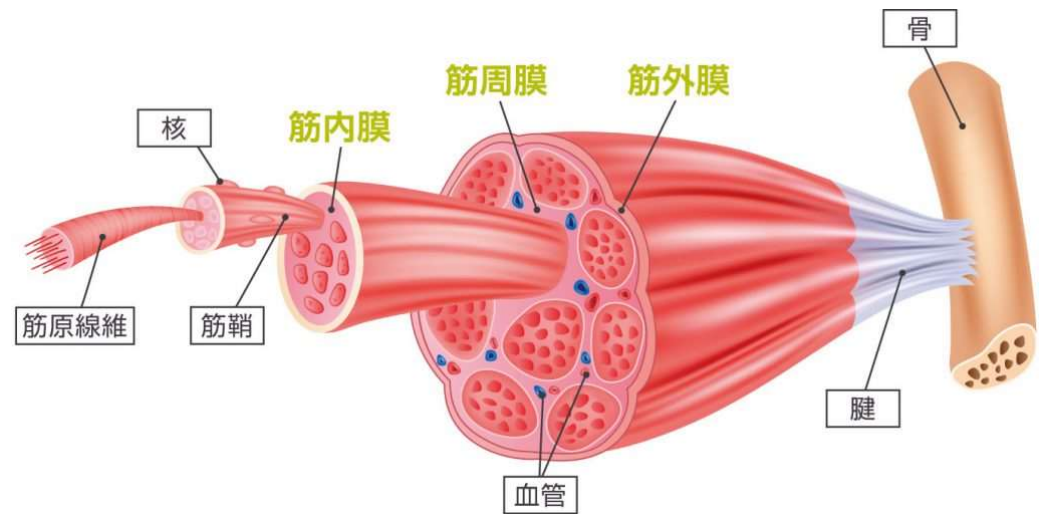


# 筋肉の構造と収縮

筋原線維：

タンパク質でできたひも  
 $\text{Ca}^{2+}$ を受け取ると縮む

→電位が変化！



神経活動よりも大量の $\text{Ca}^{2+}$ を利用する

→ + 電荷が大量に移動

→ 脳波に比べると振幅がとても大きい（1000倍くらい）



# 筋電位の計測方法

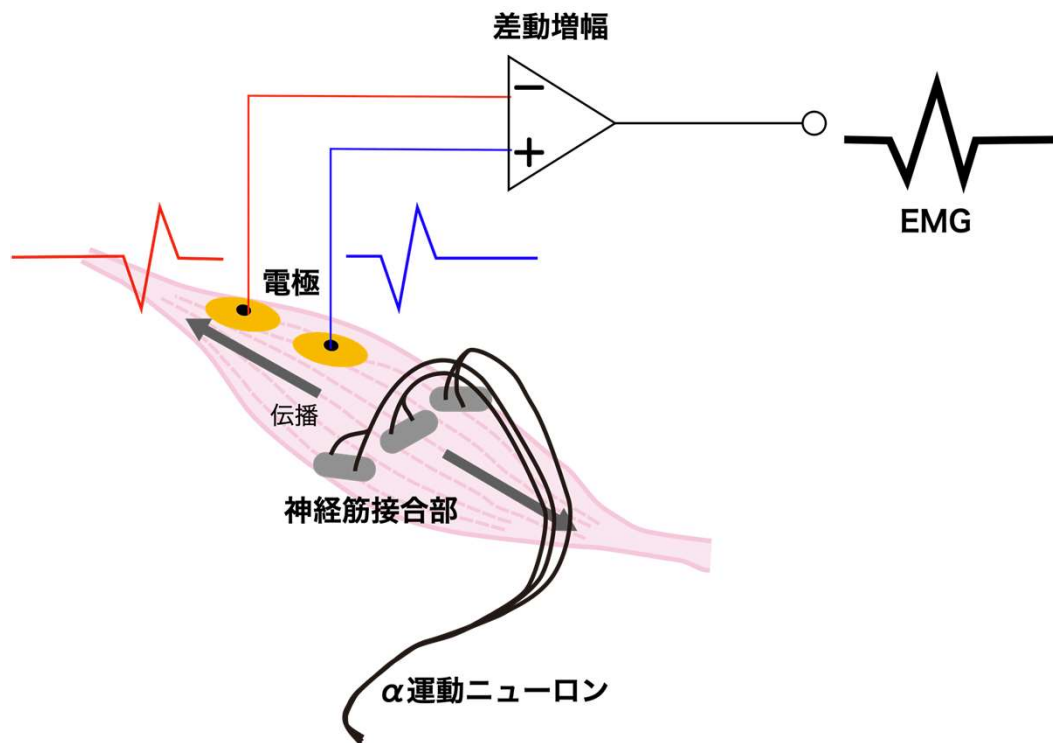


システム構成は脳波とほぼ同一.

- やっぱり電位が大きい → アンプは低倍率
- とても多くの繊維がバラバラのタイミングで収縮  
→ 信号の周波数が眼電や脳波に比べて高い  
→ サンプリング周波数高め
- 筋肉の種類によってピーク周波数が異なる.  
小さい筋肉は高周波 & 低振幅

安全性の観点から皮膚表面電極を使うケースが多いが、  
医師同伴の上、針電極を使う例もそこそこ見る.

# 筋電位の計測位置



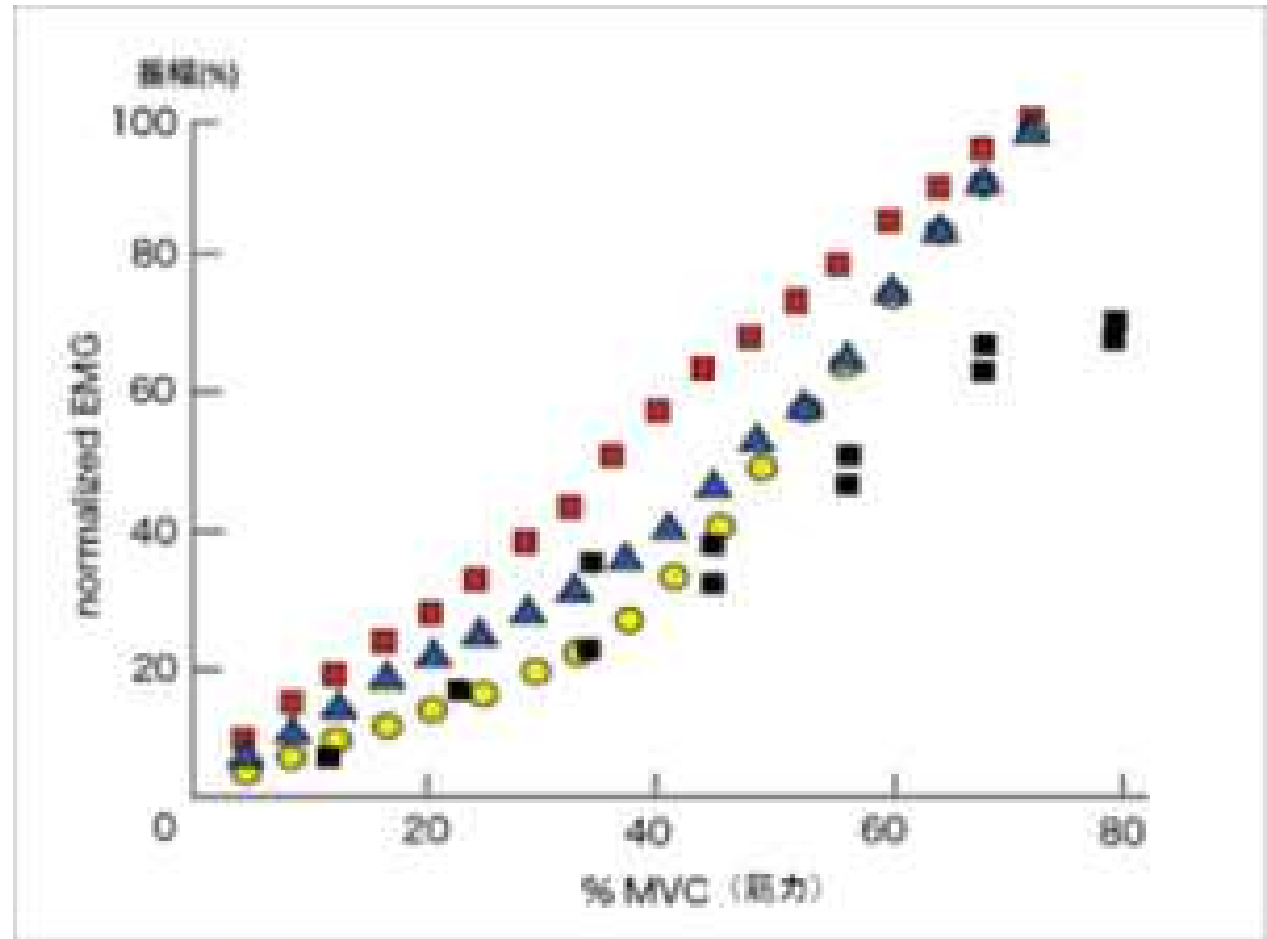
2つの電極を、  
筋肉に沿う形で設置、  
2極間の電位差を計測

神経筋接合部から  
両側の腱に向かって電位変化

神経筋接合部から  
非対称の位置に設置

# 筋電位の 特徴

1. 振幅が大きい
  - 筋張力に比例して増加
2. ピーク周波数が高い
  - 筋肉の種類・大きさによってピーク周波数が異なる.
  - 小さい筋肉は高周波・低振幅筋電位になる.



● 図1 筋力と筋電図振幅との関係

# 心電図

心筋の筋活動を計測したものの  
発生機序や計測方法は筋電位とほぼ同じ、  
# ちょっと違うけど、省略。

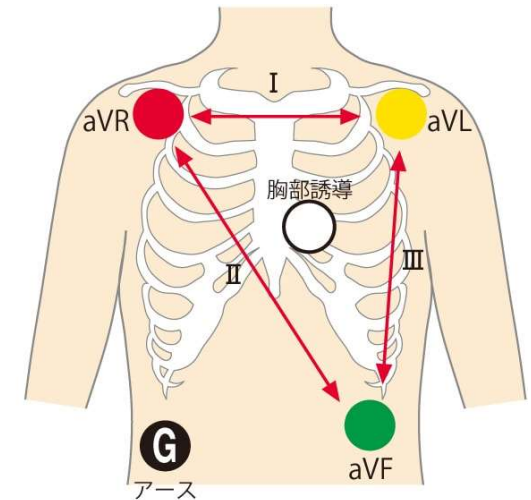
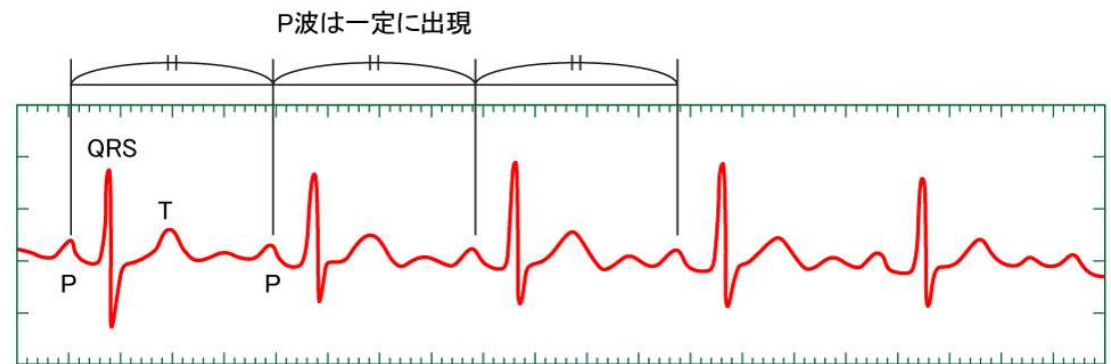
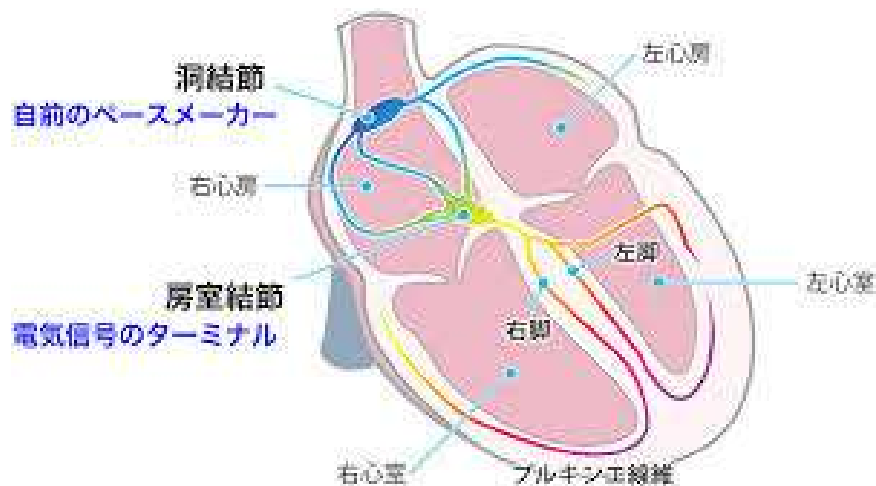


図2 5点誘導法



※この波形は心拍数75/分

[https://www2.nhk.or.jp/school/watch/clip/?das\\_id=D0005301447\\_00000#in=8&out=77](https://www2.nhk.or.jp/school/watch/clip/?das_id=D0005301447_00000#in=8&out=77)

# 心電図

筋電位とは異なり、  
「一定のリズムで」「正しい形状の波」が  
出ているかがとても重要

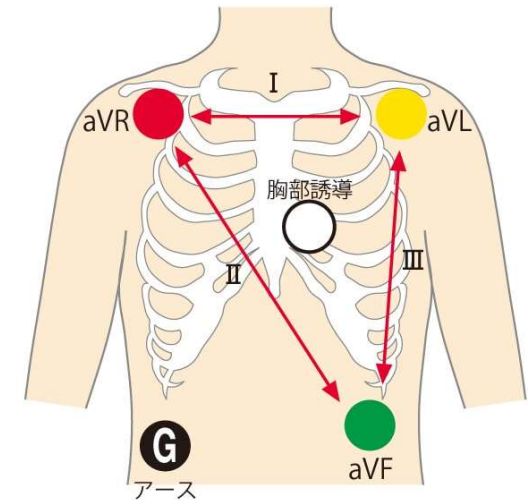
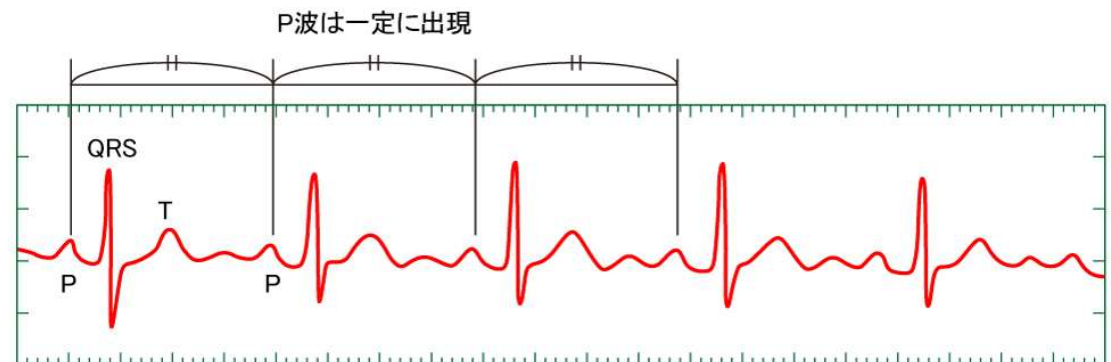
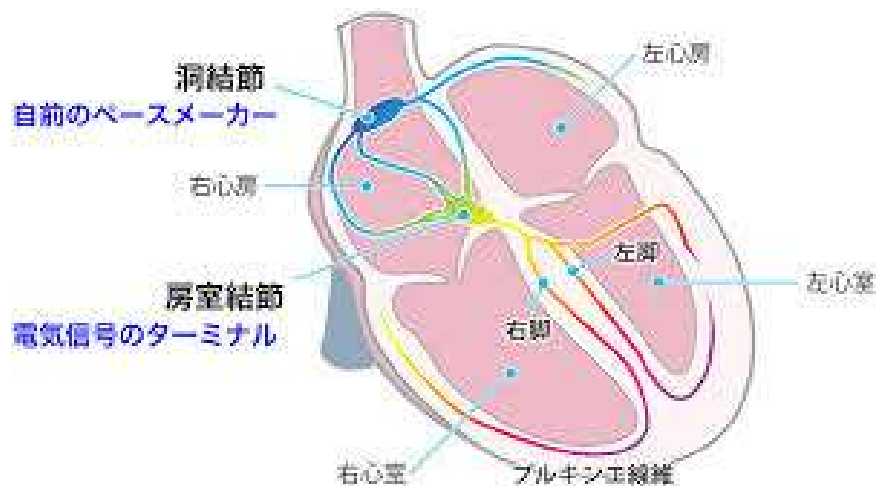


図2 5点誘導法



※この波形は心拍数75/分

[https://www2.nhk.or.jp/school/watch/clip/?das\\_id=D0005301447\\_00000#in=8&out=77](https://www2.nhk.or.jp/school/watch/clip/?das_id=D0005301447_00000#in=8&out=77)

# その他の生体信号

身体の加速度：体動

空気の流量　：呼吸の変化

血中酸素飽和濃度変化

# 体動

体の動きをジャイロセンサ・加速度センサ等で計測したものの  
どの部位の動作を見たいかによって、  
取り付け方・サンプリング周波数が異なる。

睡眠計測の場合、  
3軸加速度センサ付きの  
ベストを着て計測  
胴体の動きを取ることが  
おおい。



(注) パソコンやタブレット等の端末は構成に含まれません。

# 呼吸の計測

## <フローセンサ>

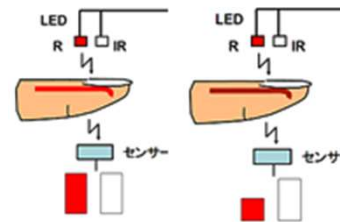
鼻の中にチューブを入れ、  
チューブ内の気圧変化を見ることで呼吸回数を計測するもの



## <SpO2センサ>

指先の血管を通る  
血が赤外線をどのくらい吸収するか  
を基に、血中のヘモグロビンがどのくらい  
酸素と結びついているか図る方法

低酸素状態 = 呼吸していない





# 呼吸の計測の課題

## <フローセンサ>

取り付けが大変，ちょっと苦しい。  
医師でないと取り付けが不可能．ただ正確



## <SpO2センサ>

簡便で誰でも使える。  
呼吸停止からセンサ値が変化するまで  
20秒近くかかる．遅延が大きい。

