

神経

20章

神経の信号はどうして遅いのか

ニューロンと膜電位

シナプス

中枢神経と末梢神経

感覚器

ニューロンと膜電位

- ニューロン(神経細胞): 細胞体、樹状突起、軸索、ミエリン鞘、
- 膜電位: Na^+ , K^+ 、ネルンストの式
イオンポンプ、イオンチャンネル、脱分極

シナプス

- 化学シナプス: シナプス前膜 > シナプス後膜
化学受容体
- 神経伝達物質
アドレナリン、ノルアドレナリン
アセチルコリン、セロトニン
ドーパミン、エンドルフィン、GABA
- 麻薬

中枢神経と末梢神経

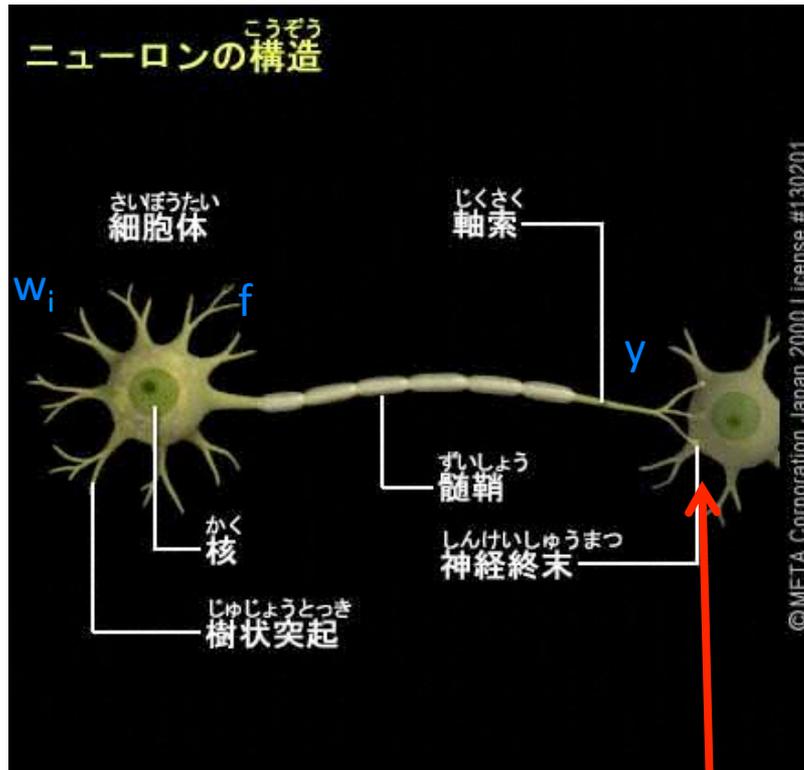
- 神経系：散在神経系、梯子状神経系、脊髄
- 末梢神経
 - 自律神経：交感神経、副交感神経
 - 体性神経：運動神経、感覚神経
- 中枢神経：脳、脊髄
 - 脳：前脳、中脳、後脳

感覚器

- 体性感覚、内臓感覚：
- 触覚：皮膚（圧、熱、冷、痛）
- 嗅覚：嗅覚細胞の膜、揮発性化学物質
- 味覚：舌の味蕾、細胞膜、可溶性化学物質
- 視覚：目、角膜、水晶体、網膜、視細胞、
視神経交叉
- 聴覚：耳、鼓膜、内耳、耳骨、蝸牛、有毛細胞
- 平衡感覚：三半規管、前庭、有毛細胞
- その他：赤外線（ヘビ）、電界（サメ）、松果体（ヒト）

五感

神経細胞 (ニューロン)



シナプス結合

神経細胞のモデル

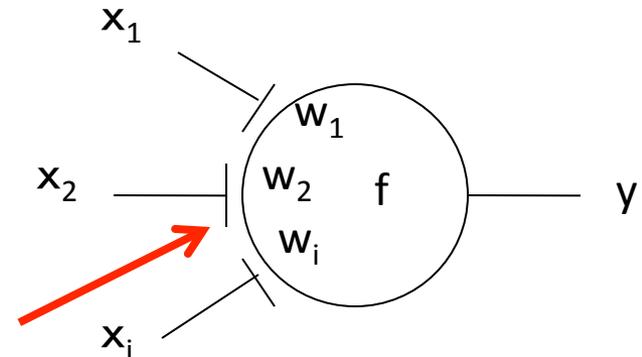
入力 x_i

重み w_i

出力 y

応答関数 f

$$y = f(\sum(w_i \cdot x_i))$$



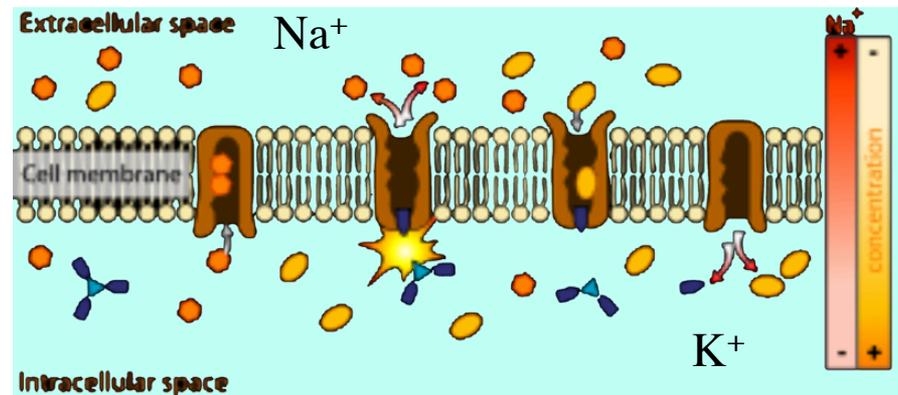
膜電位

神経細胞内外のイオン濃度
内：K>Na (400mM:50mM)
外：Na>K(440mM:20mM)
65mVほどの静止電位発生。

Na⁺- K⁺ ATPaseが
ATPのエネルギーを利用して、Na⁺を排出し、K⁺を取り込む。K⁺は
少しずつ漏れる。このため、細胞
膜の内側は外部に対して負電位に
なる。

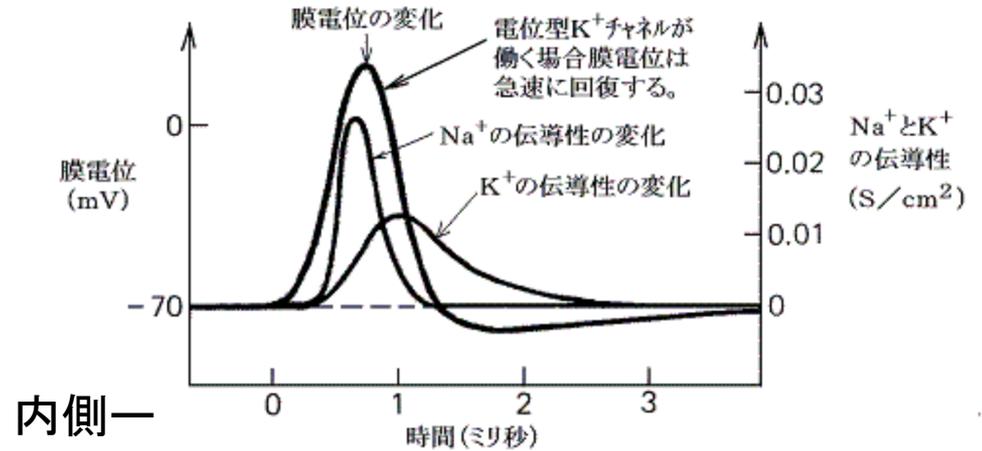
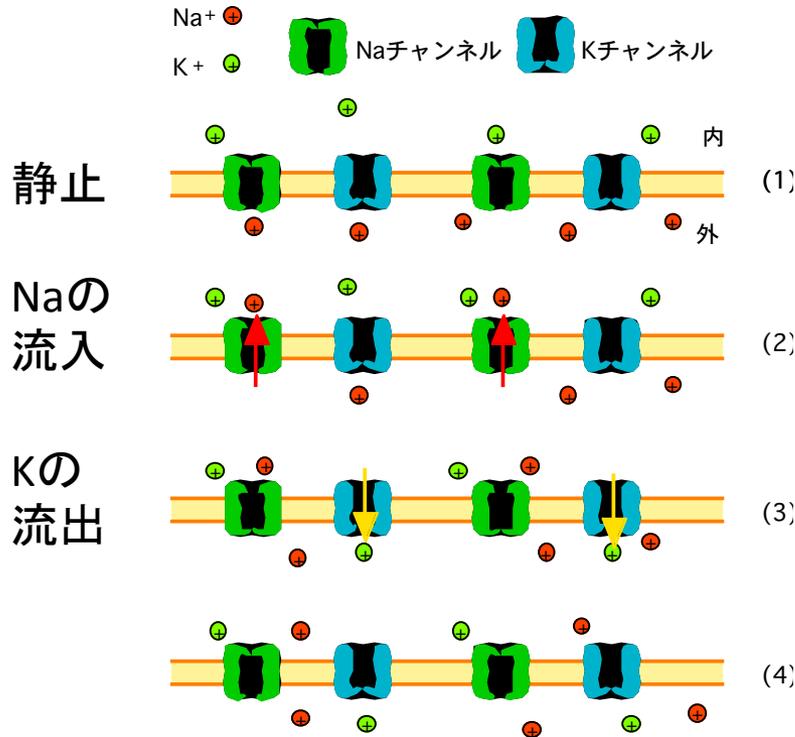
$$V = \frac{RT}{ZF} \ln \left(\frac{C_2}{C_1} \right)$$

(ネルンストの式)



神経細胞の細胞膜にはイオンの濃度差によって、定常状態では、内側が約70 mVマイナスの膜電位が発生している。

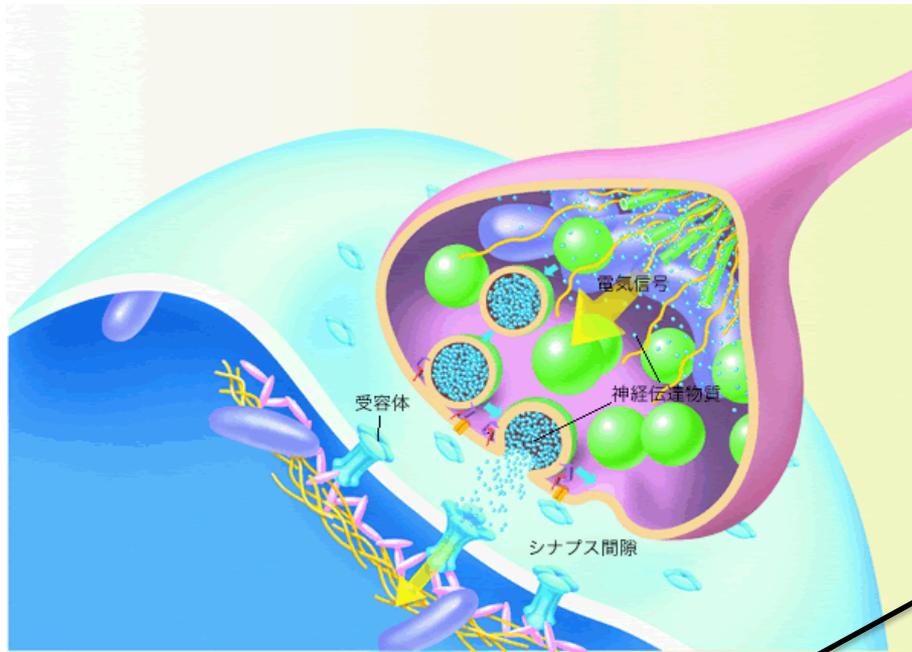
脱分極



脱分極時の電位変化
K⁺の流入で急速に電位が回復する。

刺激により細胞膜はNa⁺を通し、膜電位が0に近づく(脱分極)。直後にK⁺の透過が起こり、膜電位は約1m秒戻る。これが神経の興奮(発火)で、神経信号はパルスで伝わる。

シナプス結合



神経伝達物質が放出され、受容体が受け取ることで、細胞が興奮する。

受容体と細胞の感度が変わることによって、学習が起きる。

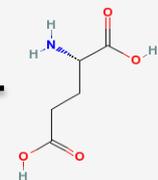
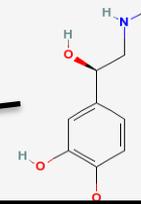
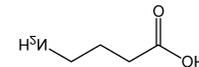
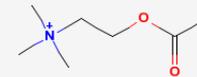
神経伝達物質

アセチルコリン：興奮性

GABA (γ アミノ酪酸)：抑制性

アドレナリン：筋肉、心臓、収縮

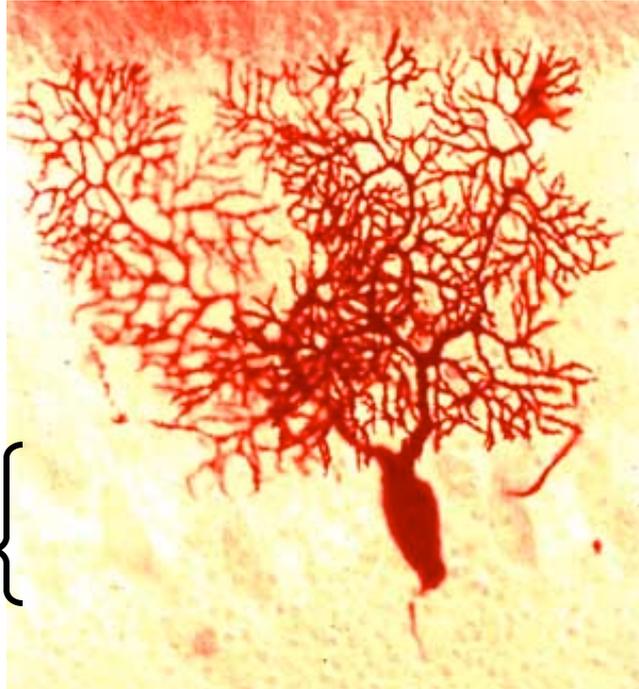
グルタミン酸、
その他のペプチド、など。



細胞コンピュータ

デンドライト
樹状突起

細胞体

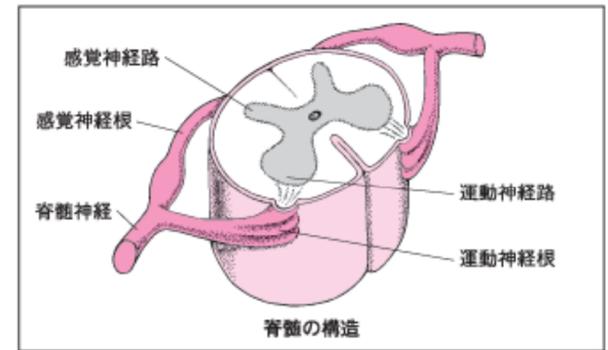
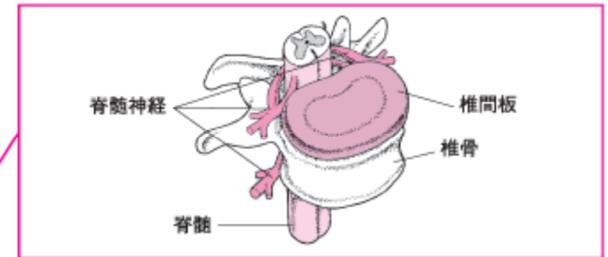
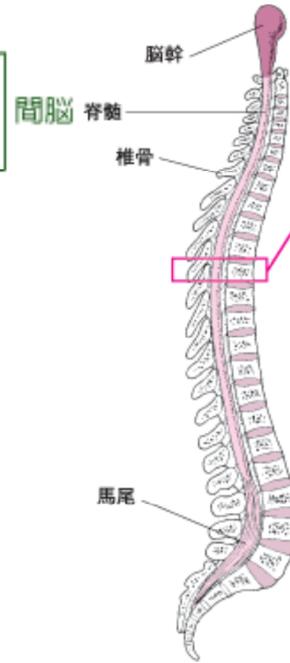
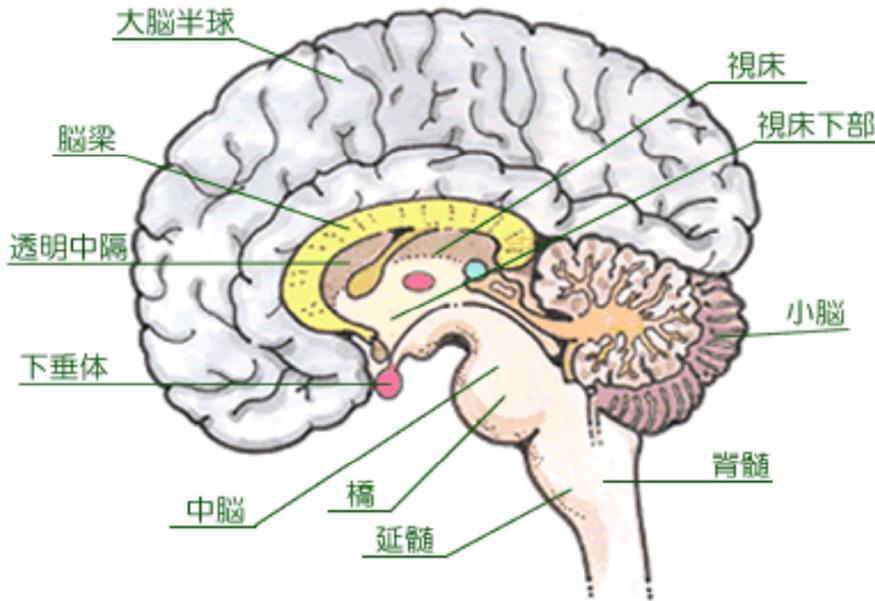


小脳のプルキンエ細胞

膨大な数の
シナプス接合(入力)
×
シナプスでの情報処理
↓
細胞体の脱分極(出力)

膨大な情報进行处理して出力を作り出す、神経細胞一つは、一種のコンピュータと考えることができる。

中枢神経



大脳：随意運動、感覚、思考など高次機能。

小脳：姿勢、運動の調節。

間脳、視床：感覚神経の中継

視床下部：体温、血圧など自律神経調節

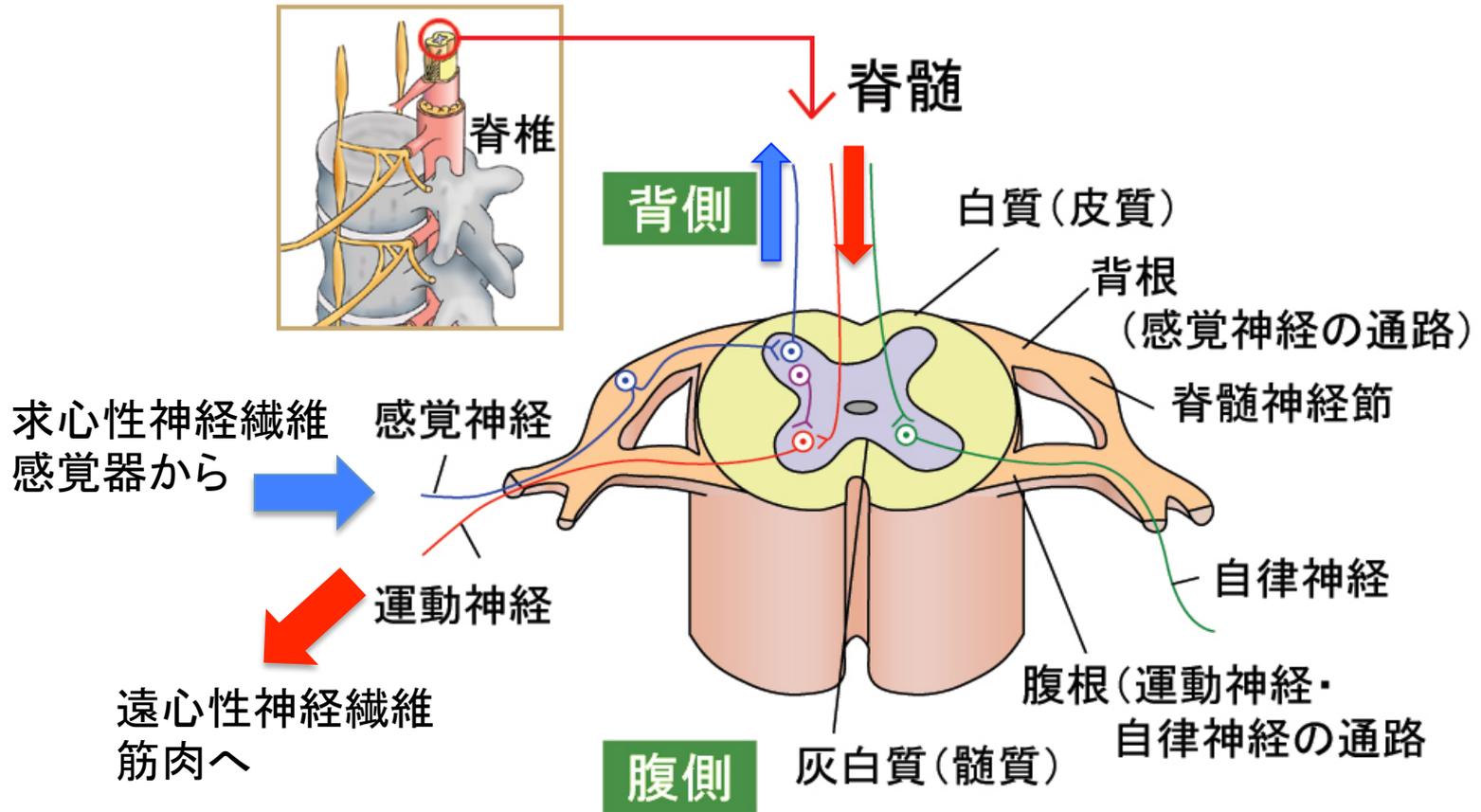
中脳：瞳孔

延髄：呼吸、心拍、唾液など低次機能

中枢神経の働き

ヒトの脳は人の知性の基幹であり、思考の中枢である。その働きがどのように実現しているのか、この問題は謎に包まれている。

末梢神経



不随意神経

活発

安静

自律神経(不随意神経)

交感神経

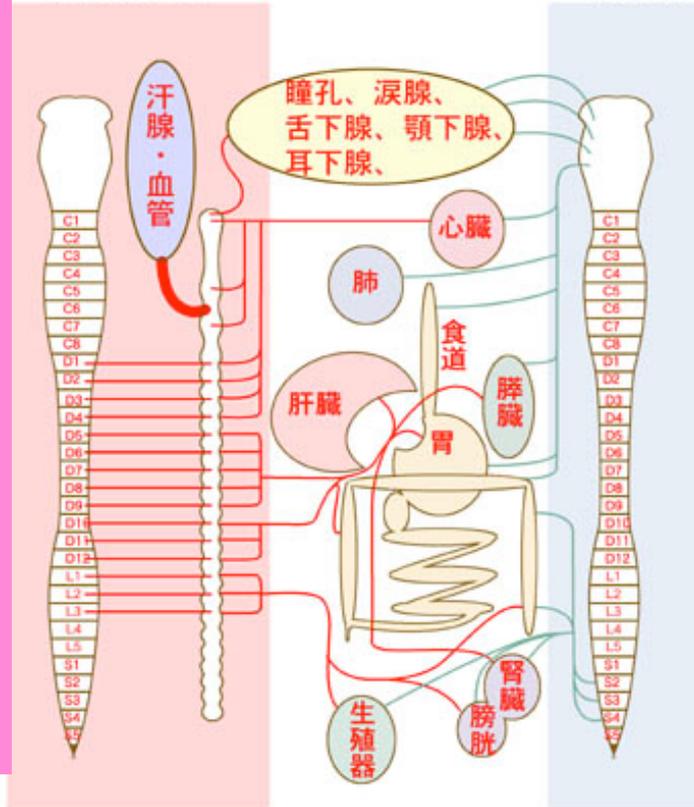
瞳孔散大
心臓の血圧・心拍数・
心収縮力↑
気管支平滑筋弛緩
肝臓グリコーゲン分解

胃腸の平滑筋弛緩、
括約筋収縮
膵臓のインスリン分泌↓

血管拡張
発汗・鳥肌

交感神経系

副交感神



副交感神経

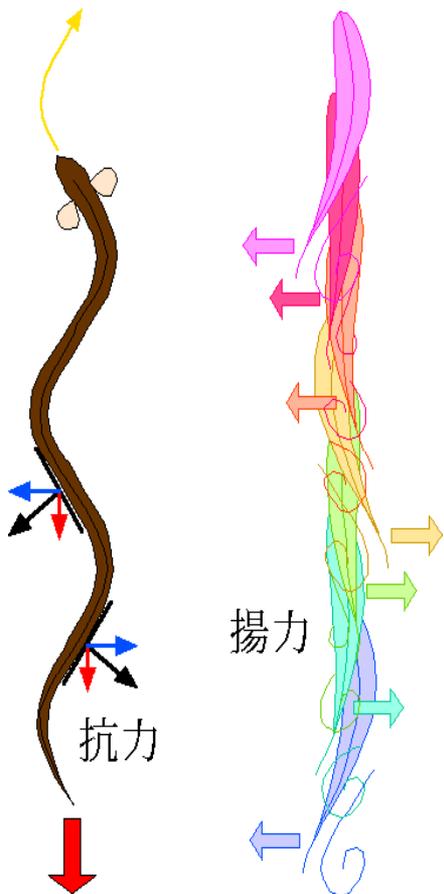
瞳孔収縮
心臓の血圧・心拍数・
心収縮力↓
気管支平滑筋収縮
肝臓グリコーゲン合成

胃腸の平滑筋収縮、
括約筋弛緩
膵臓のインスリン分泌↑

血管収縮

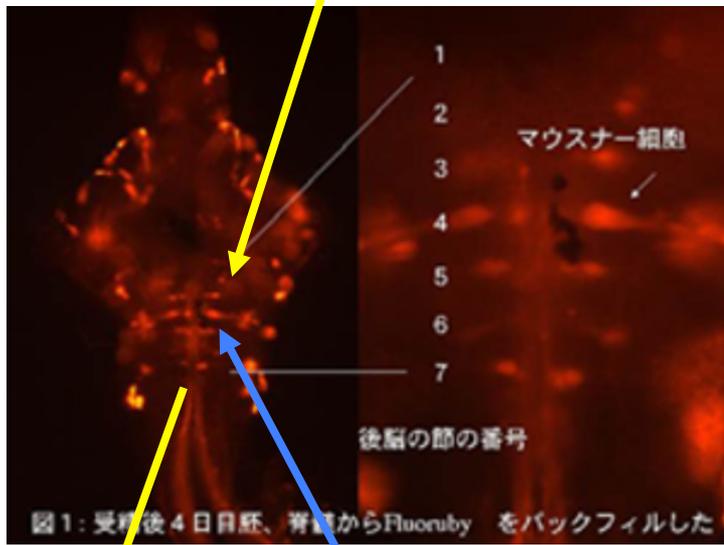
ストレス応答では脳神経(下垂体)の働きにより、ACTH(副腎皮質刺激ホルモン)が分泌され、さらに様々なホルモンの分泌が誘導される。

運動神経



魚は筋肉を正弦波状に収縮させることで泳ぐ。

視覚入力 敵！



運動出力 収縮

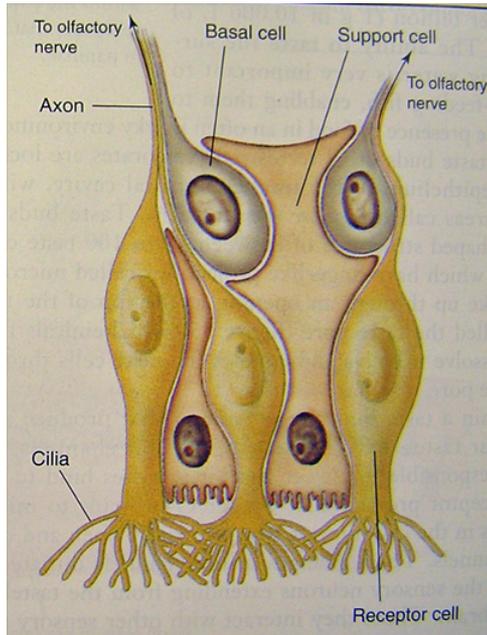
緊急時にはマウスナー細胞が、逆の側の運動神経に反射的な収縮信号を出すことで、瞬間的な回避動作ができる。

感覚神経

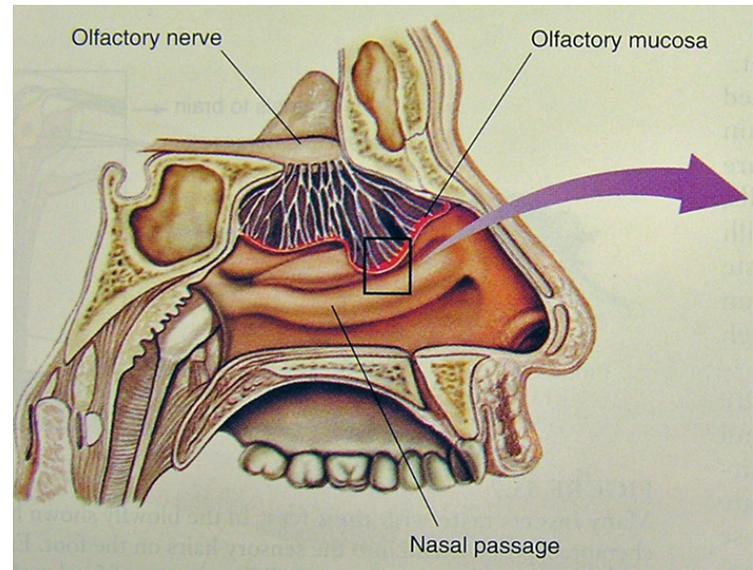
- 体性感覚、内臓感覚：筋肉の収縮、
- 触覚：物体の固さ、形、テクスタイル、温度、痛み
- 嗅覚：気体状の化学物質
- 味覚：固体、液体状の化学物質
- 視覚：光
- 聴覚：音
- 平衡感覚：重力、加速度
- その他：紫外線、赤外線、電界、

嗅覚

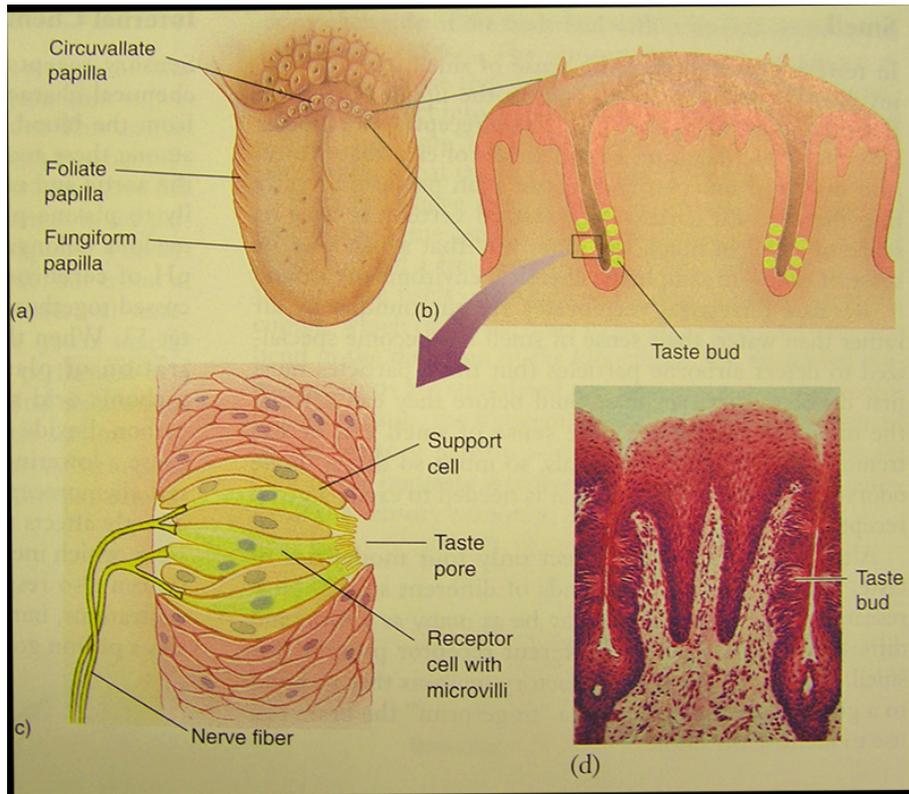
臭いは空中を拡散してきた様々な物質が鼻道の上面にある臭神経細胞の線毛にある受容体に結合して作り出される。



匂い物質

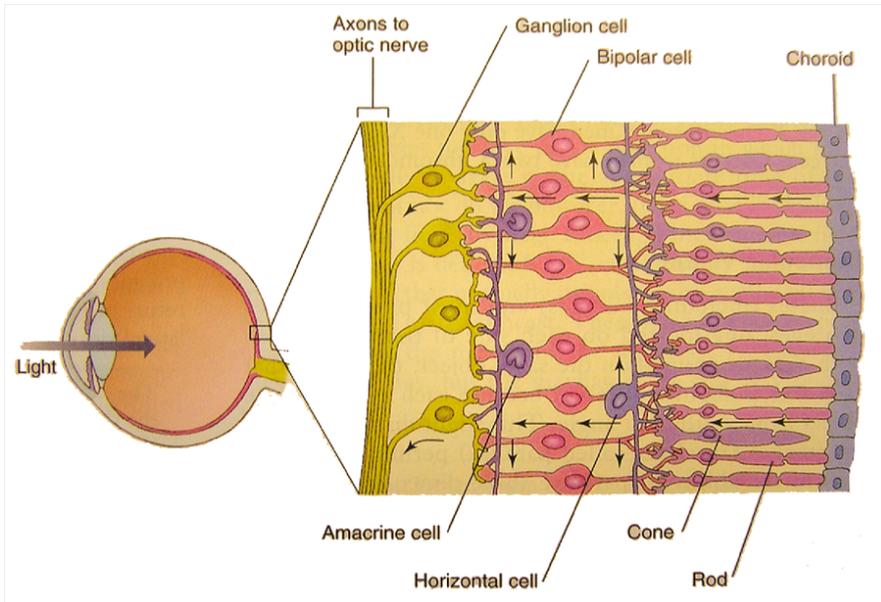


味覚



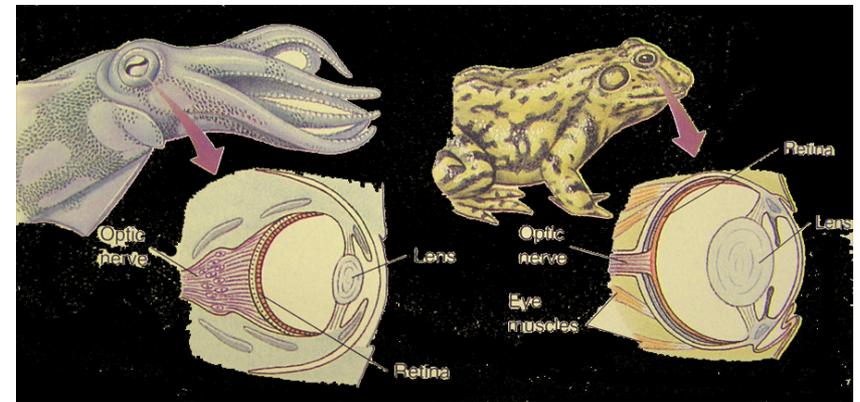
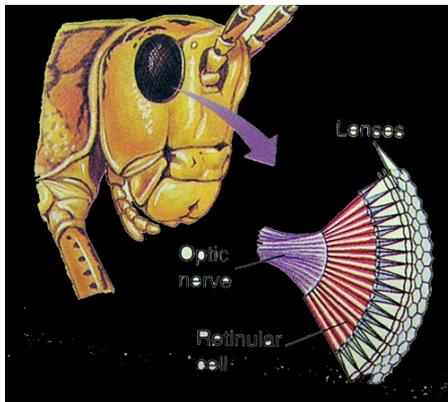
味覚細胞
水中を拡散してくる化学物質の種類を感じる。
嗅覚も味覚も、物質が細胞膜に溶け込んで膜のイオン透過性が変化することで膜電位の発火が起きると考えられる。

視覚

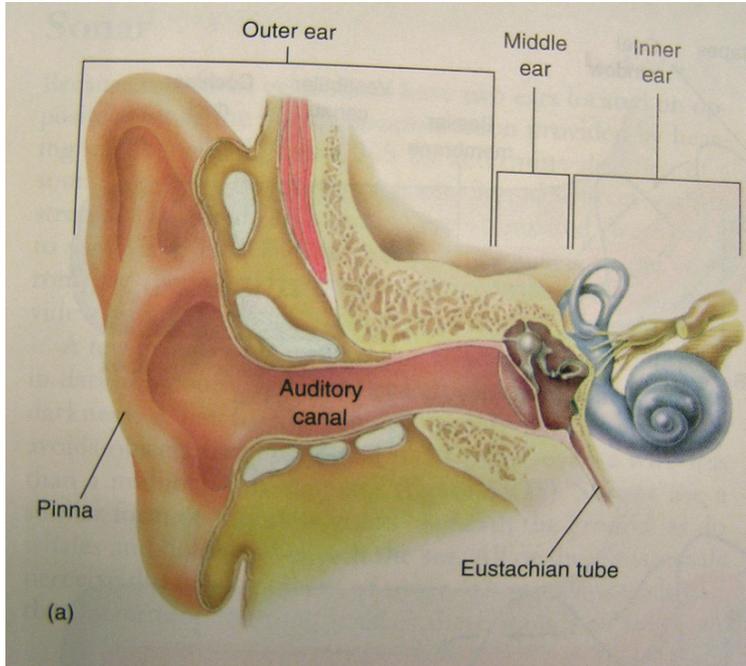


網膜: 桿体細胞／錐体細胞、光によって活性化されたロドプシンが酵素反応を経て cGMP 濃度を減少させ、 Na^+ フラックスを止めて神経を興奮させる。

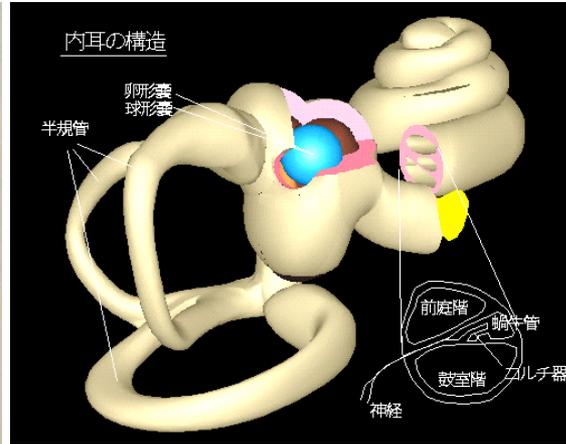
水平細胞, 双極細胞, ガングリオン細胞, 視神経束。水平細胞の側抑制でエッジが強調される



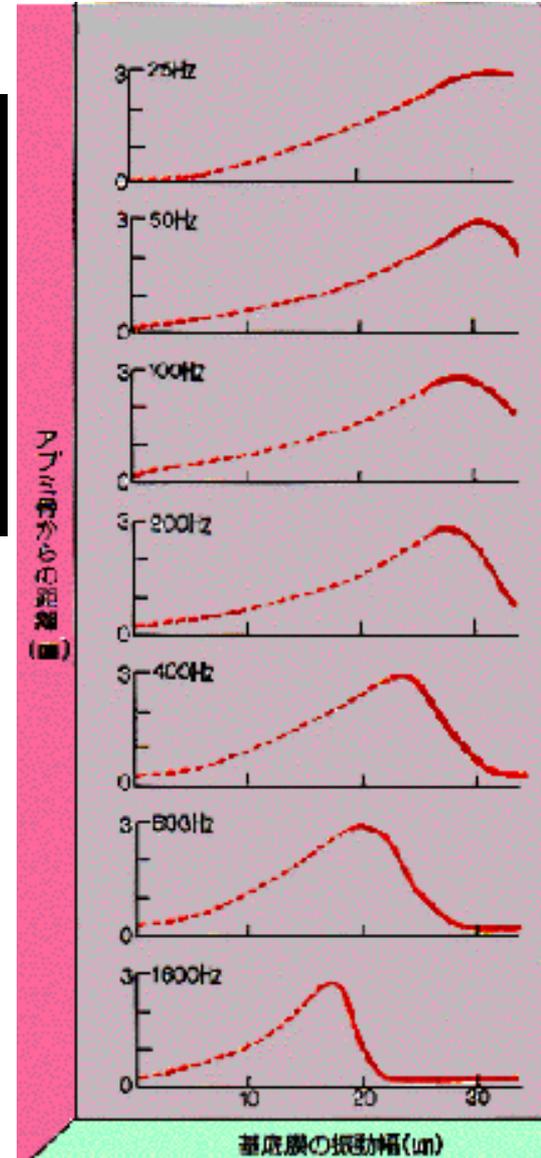
聴覚



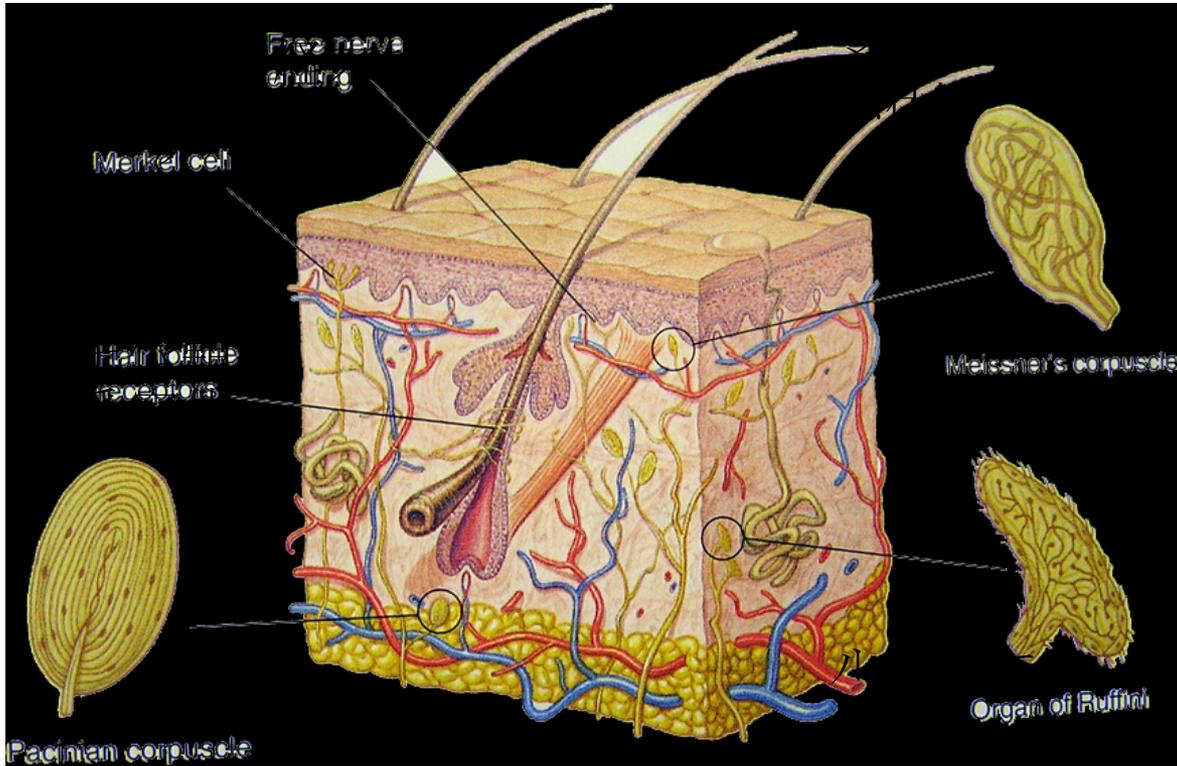
外耳 (外耳道、鼓膜)
 中耳 (槌骨、砧骨、鐙骨)
 内耳 (蝸牛、三半器官)
 有毛細胞と耳石



三半器官は先に行く低い周波数に共振する、周波数分析装置。軸方向に聴覚神経が並ぶ。



触覚



触感・痛感
(感覚器)

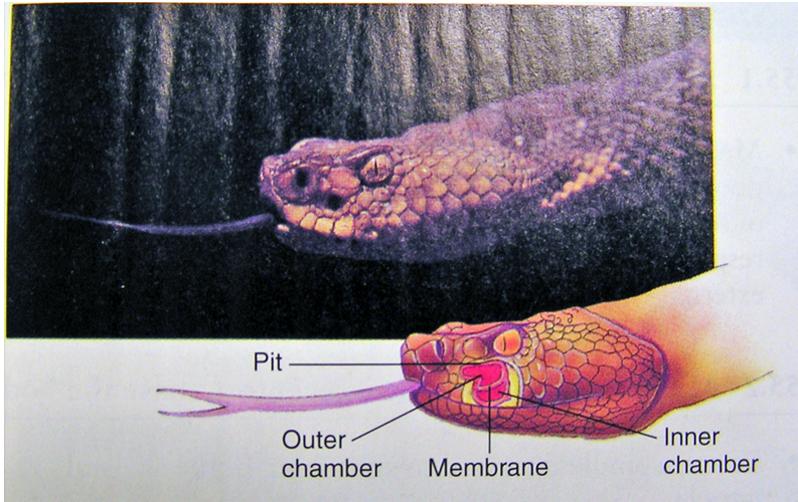
冷感・温感
(神経末端)

体制感覚
(筋紡錘)

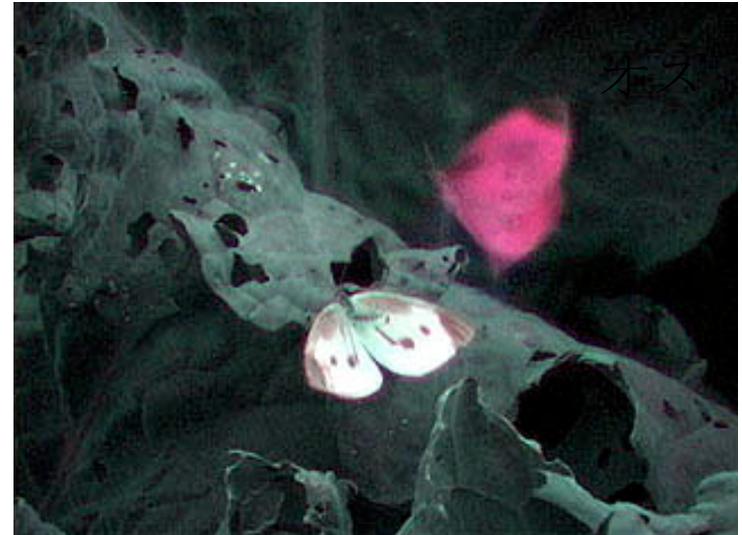
皮膚のセンサーは点状
に分布。

皮膚には電位も発生し
ている。

赤外線・紫外線

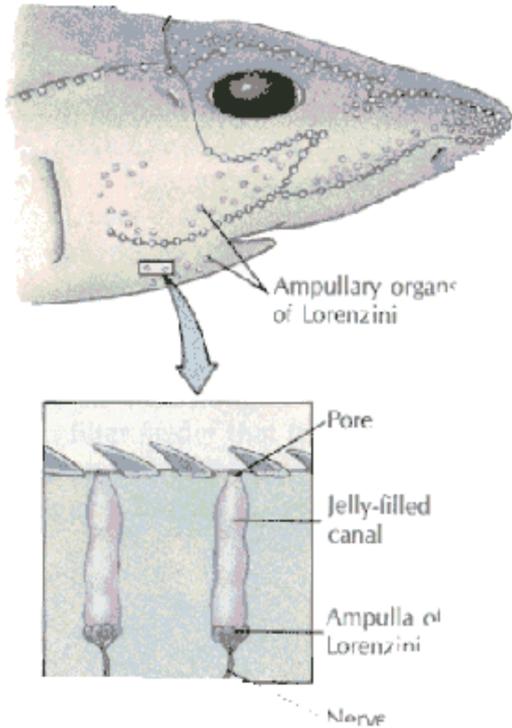


ハブのPit器官、赤外線で動物を見つけたる。



モンシロチョウの紫外線影像

電気感覚



サメの
ロレンチニ瓶



エレファントノーズの電気探査

まとめ

- 1, 神経細胞はイオン濃度差で膜電位を作る。
- 2, 神経信号は脱分極のパルス。
- 3, 神経細胞は一種のコンピュータ。
(情報処理装置)