

# 生体情報工学 2025

Biological Information Engineering 2025

生産システム分野 生体医工学  
Production Systems, Biomedical Engineering

高橋 淳子  
Junko Takahashi

第1回	はじめに / Introduction	生体とは、生体の情報とは / What is a living body information?	4月16日	
第2回	生体情報の基礎(I) / Biological information Primer (I)	生体情報の種類と検出について / Types of biological information and detection	4月23日	
第3回	生体情報の基礎(II) / Biological information Primer (II)	センサ、トランスデューサーの原理と構造 / Sensors and transducers	4月30日	
第4回	生体情報計測(I) / Biological information measurement (I)	脳・神経・シナプス / Brain / nerve / synapse	5月7日	On Demand
第5回	<b>生体情報計測(II) / Biological information measurement (II)</b>	<b>運動制御 / Motion control</b>	<b>5月14日</b>	
第6回	生体情報計測(III) / Biological information measurement (III)	視覚情報処理 / Visual information processing	5月21日	
第7回	生体情報計測(IV) / Biological information measurement (IV)	聴覚の生理学,心理音響 / Auditory physiology, psychoacoustics	5月28日	
第8回	生体情報計測(V) / Biological information measurement (V)	体性感覚の情報処理 / Information processing of somatosensory	6月4日	
第9回	生体情報の網羅的解析-概要 / Cyclopedic studies in biological information – overview	生体情報の網羅的解析-概要 / Cyclopedic studies in biological information	6月11日	
第10回	生体情報の網羅的解析 - トランスクリプトミクス / Cyclopedic studies in biological information – transcriptomics	トランスクリプトミクス / Transcriptomics	6月18日	
第11回	生体情報の網羅的解析 - プロテオミクス,メタボロミクス / Cyclopedic studies in biological information - proteomics, metabolomics	プロテオミクス,メタボロミクス / Proteomics, metabolomics	6月25日	
第12回	生体情報の網羅的解析 - 次世代シーケンス / Cyclopedic studies in biological information - next-generation sequencing	次世代シーケンス / Next-generation sequencing	7月2日	
第13回	生体情報の網羅的解析 - データ解析 / Cyclopedic studies in biological information - data analysis	データ解析 / Data analysis	7月9日	
第14回	まとめ / Summary		7月16日	

# The 5<sup>th</sup> Lecture

生体情報計測(II) / Biological information measurement (II)  
運動制御 / Motion control

**Part 1. Nervous system**

**Part 2. Muscle and neuro junction**

**Part 3. Neural circuit**

参考図書: 生体情報工学 (バイオメカニズム・ライブラリー) 赤沢 堅造 (著), バイオメカニズム学会 (編集)  
Reference books: Biomechanism Library, Biological Information Engineering. Akazawa Kenzo

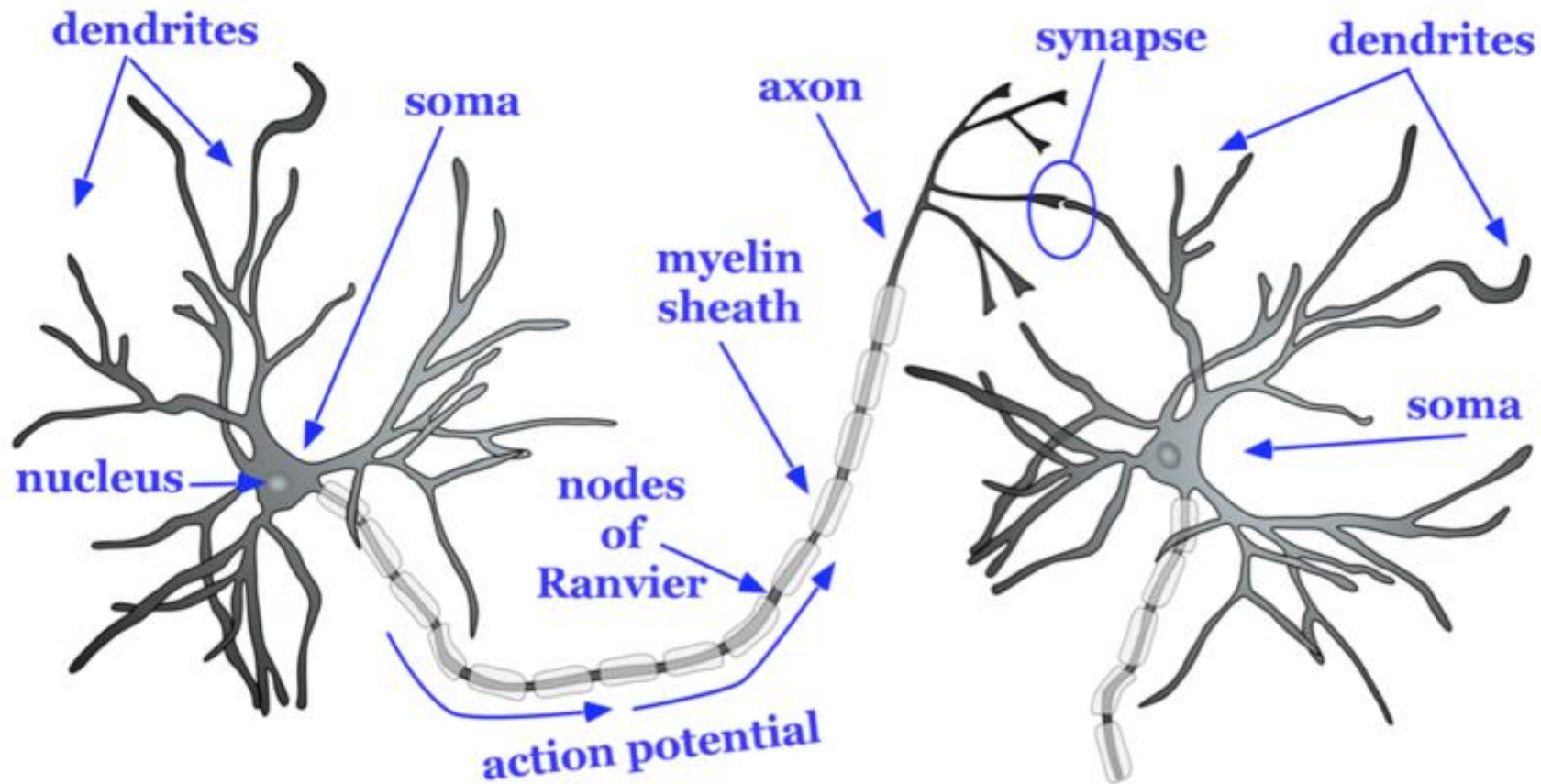
# ***Part 1. Nervous system***

## **神經系**

# Neuron

1. Receiving incoming information
2. Processing incoming information
3. Communicating information to target cell

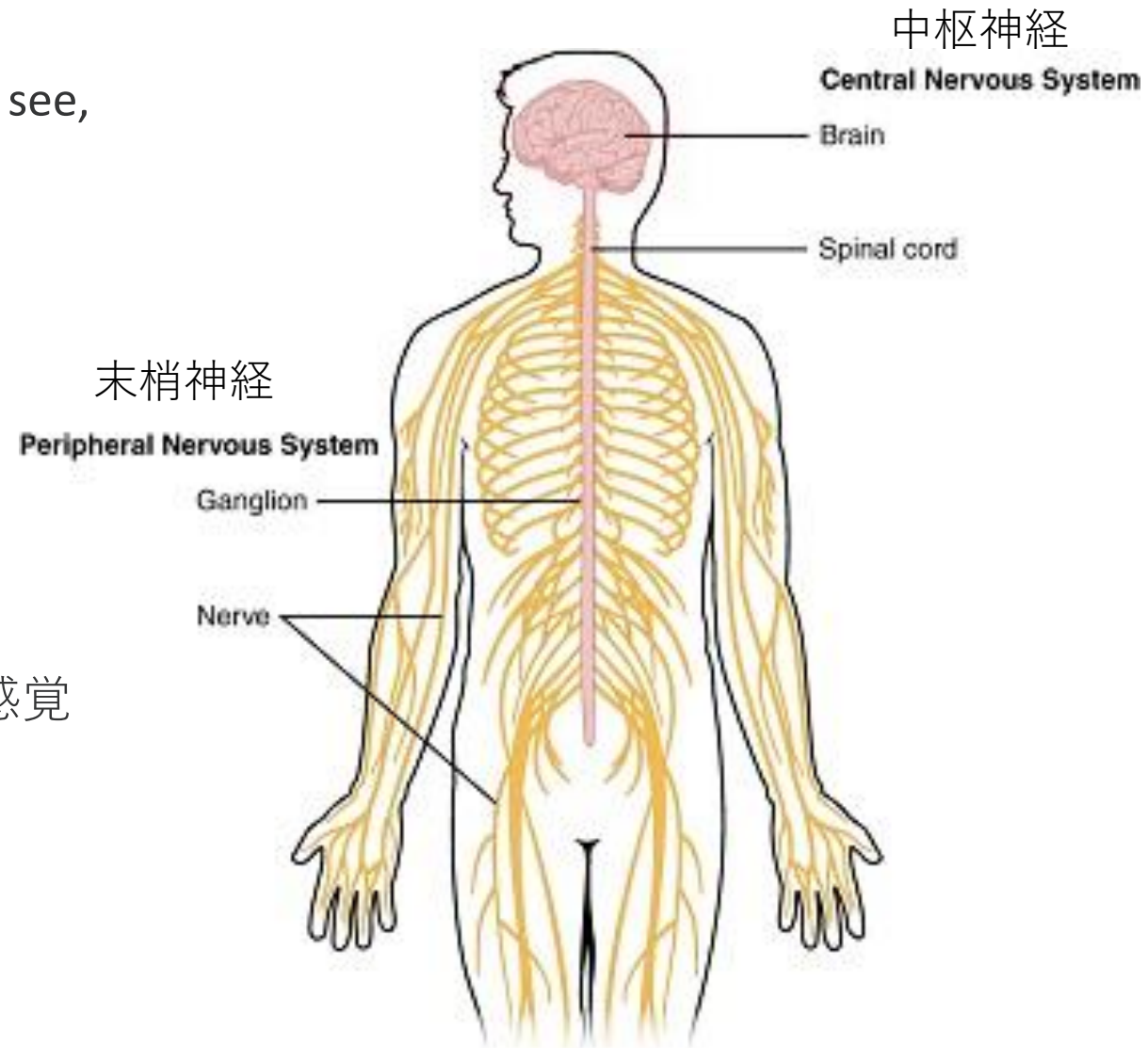
1. 入ってくる情報の受信
2. 入ってくる情報の処理
3. 標的細胞への情報の伝達



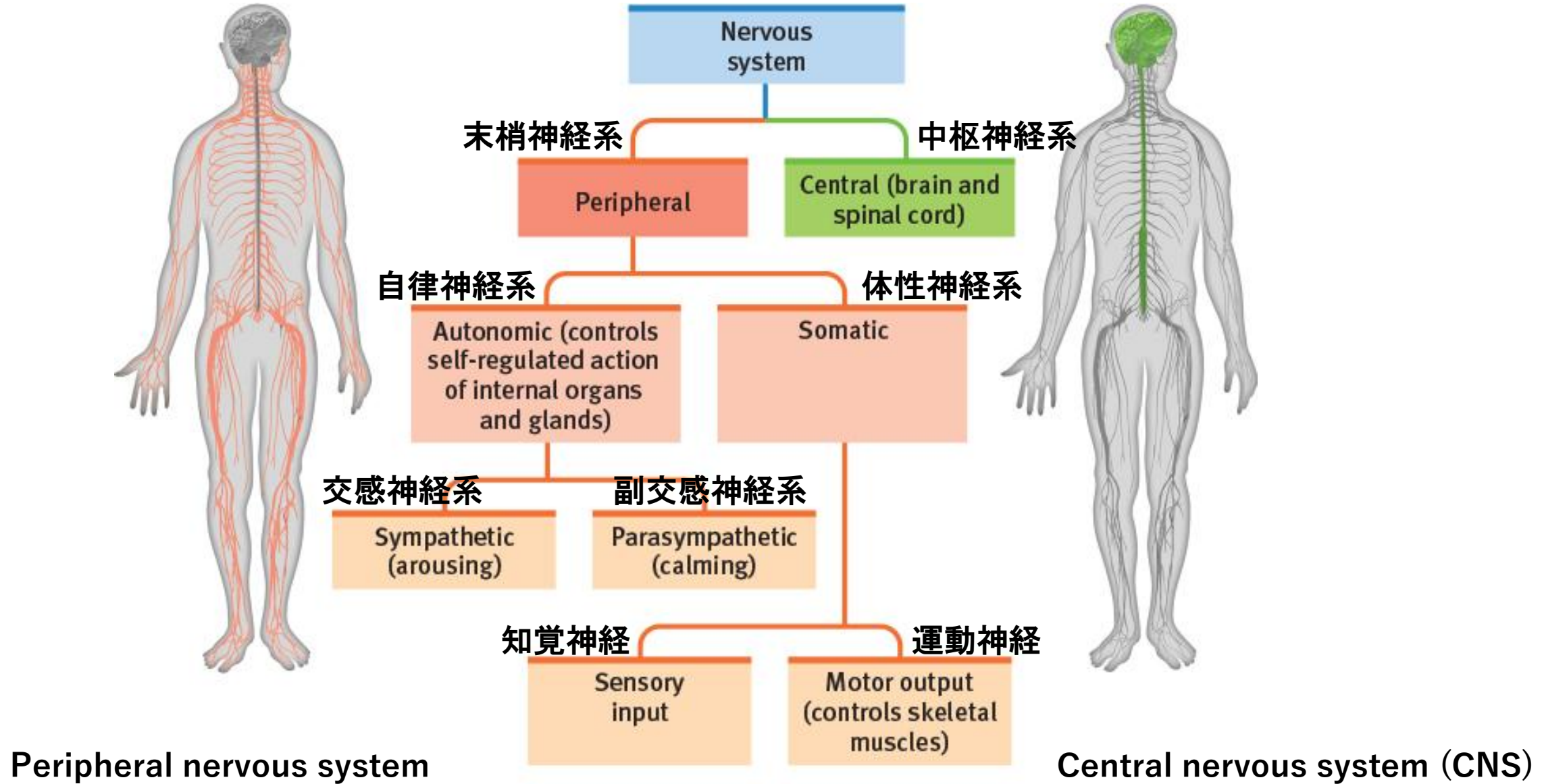
# Nervous system – overview 神経系 – 概要

- Thoughts, memory, learning, and feelings.
- Movements, such as balance and coordination.
- Senses, including how your brain interprets what you see, hear, taste, touch and feel.
- Sleep, healing and aging.
- Heartbeat and breathing patterns.
- Response to stressful situations.
- Digestion, as well as how hungry and thirsty you feel.
- Body processes, such as puberty.

- 思考、記憶、学習、感情
- バランスや調整などの動き
- 視覚、聴覚、味覚、触覚などの脳の認知を含む感覚
- 睡眠、治癒、老化
- 心拍と呼吸のパターン
- ストレスの多い状況への反応
- 消化、および空腹感と喉の渇きの程度
- 思春期などの体のプロセス



# Nervous system – Anatomy 神經系 – 解剖学

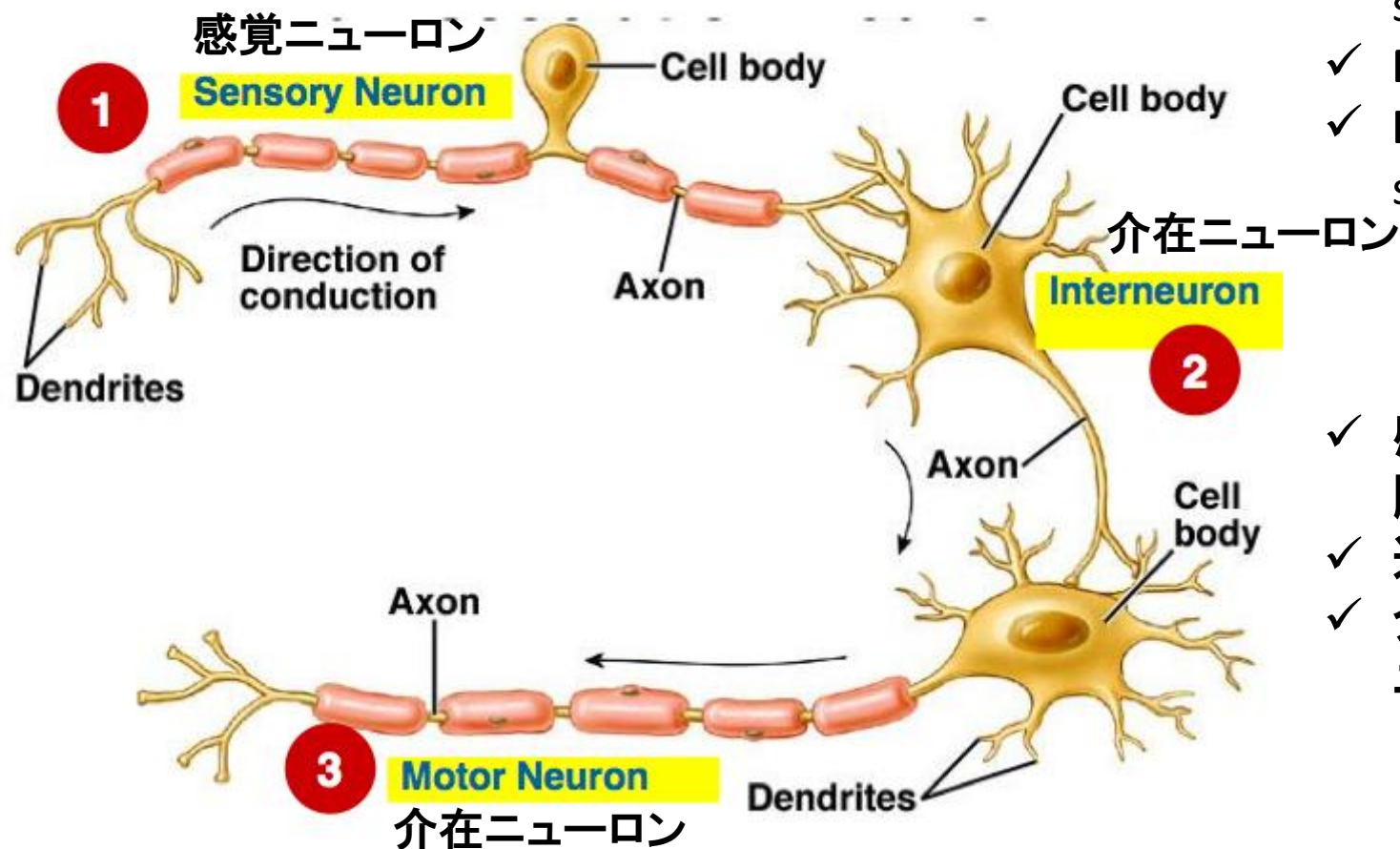




# Nervous system 神経系

## - What does the nervous system do?

### Three Types of Neurons

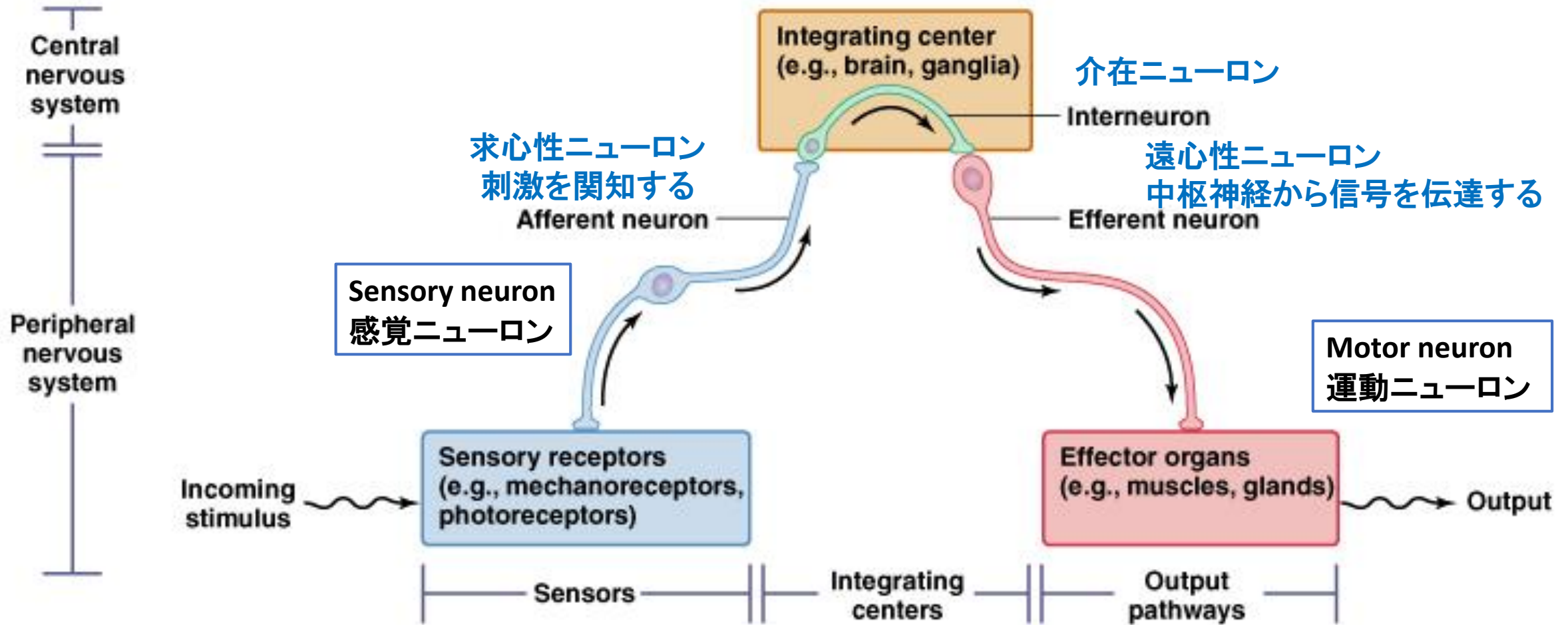


- ✓ **Sensory neuron** take information from your senses and send signals to your brain
- ✓ **Motor neurons** tell your muscles to move
- ✓ **Interneurons** connect motor neurons and sensory neurons

- ✓ 感覚ニューロンは感覚から情報を取得し、脳に信号を送る
- ✓ 運動ニューロンは筋肉に動くように指示。
- ✓ 介在ニューロンは運動ニューロンと感覚ニューロンに連結

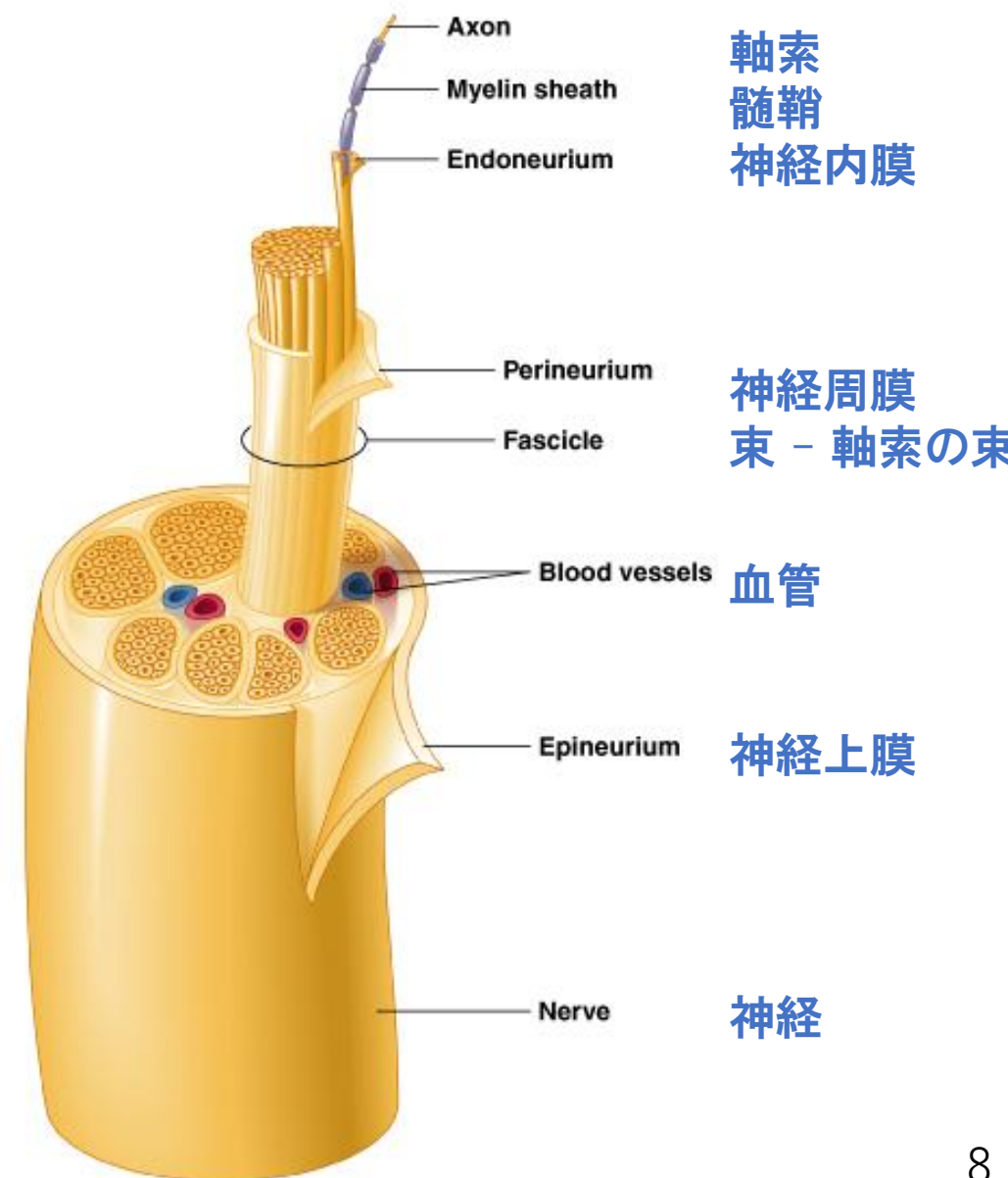


# Nervous system 神経系

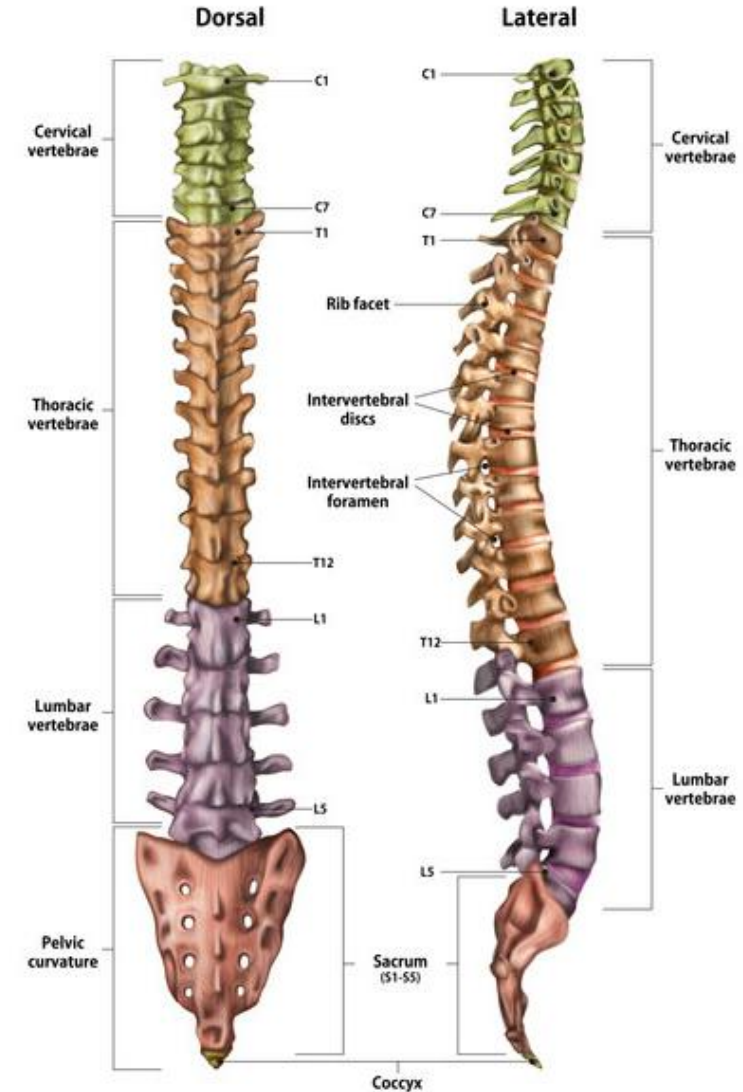
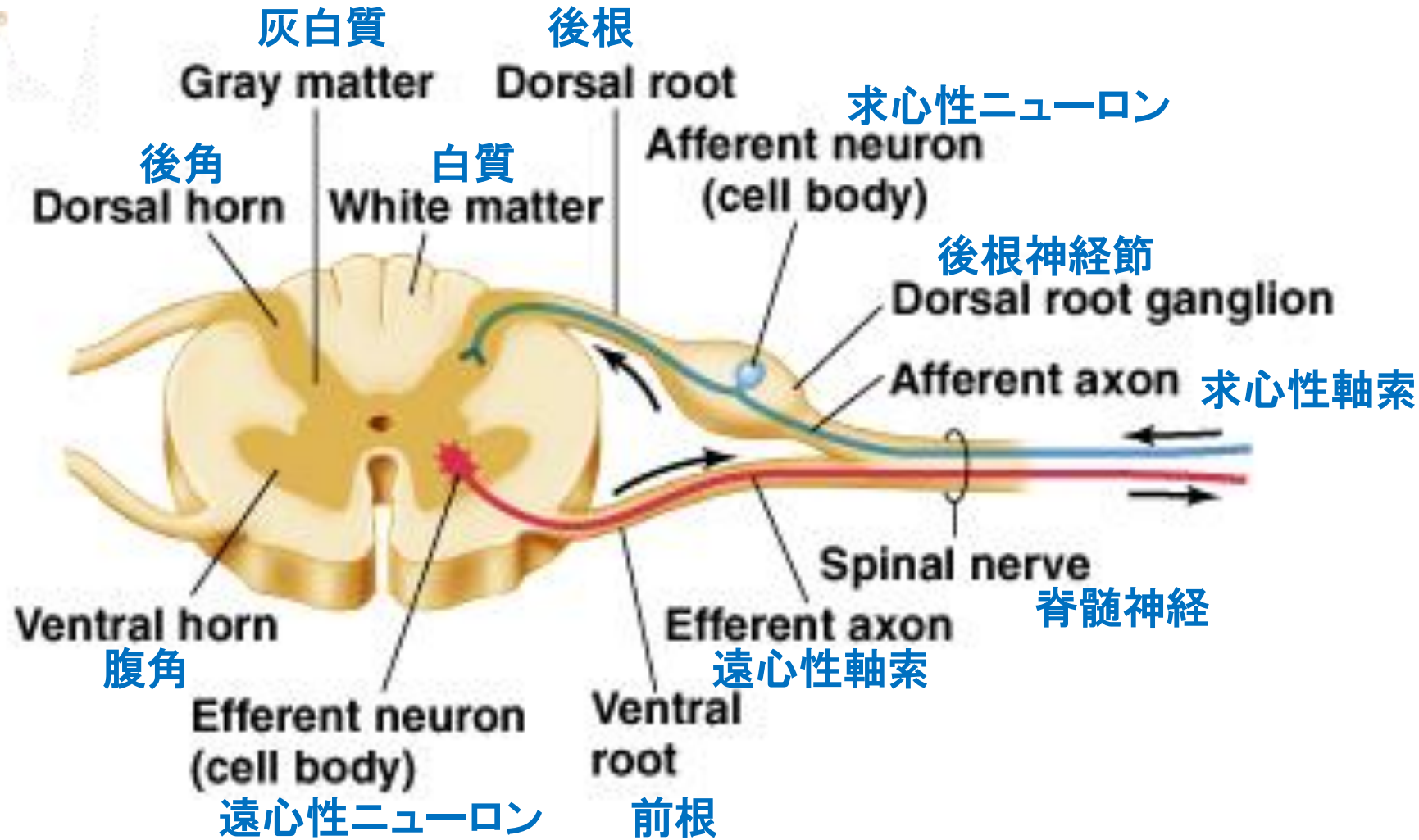


# Arm nerve structure 腕の神経の構造

- Parallel bundles of myelinated and unmyelinated axons enclosed several layers of connective tissue
  - *Endoneurium*
  - *Perineurium*
  - *Epineurium*
- *Fasicles* – bundle of axons
- *Mixed nerves* – contain both afferent and efferent neurons
- 有髄軸索と無髄軸索
  - 神経内膜
  - 神経周膜
  - 神経上膜
- 束 – 軸索の束
- 混合神経 – 求心性ニューロンと遠心性ニューロンの両方を含む



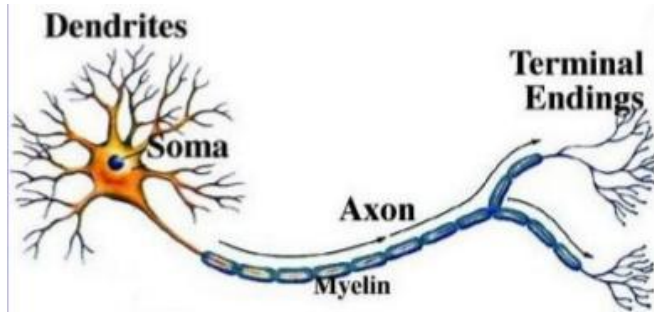
# Cross section of spinal cord



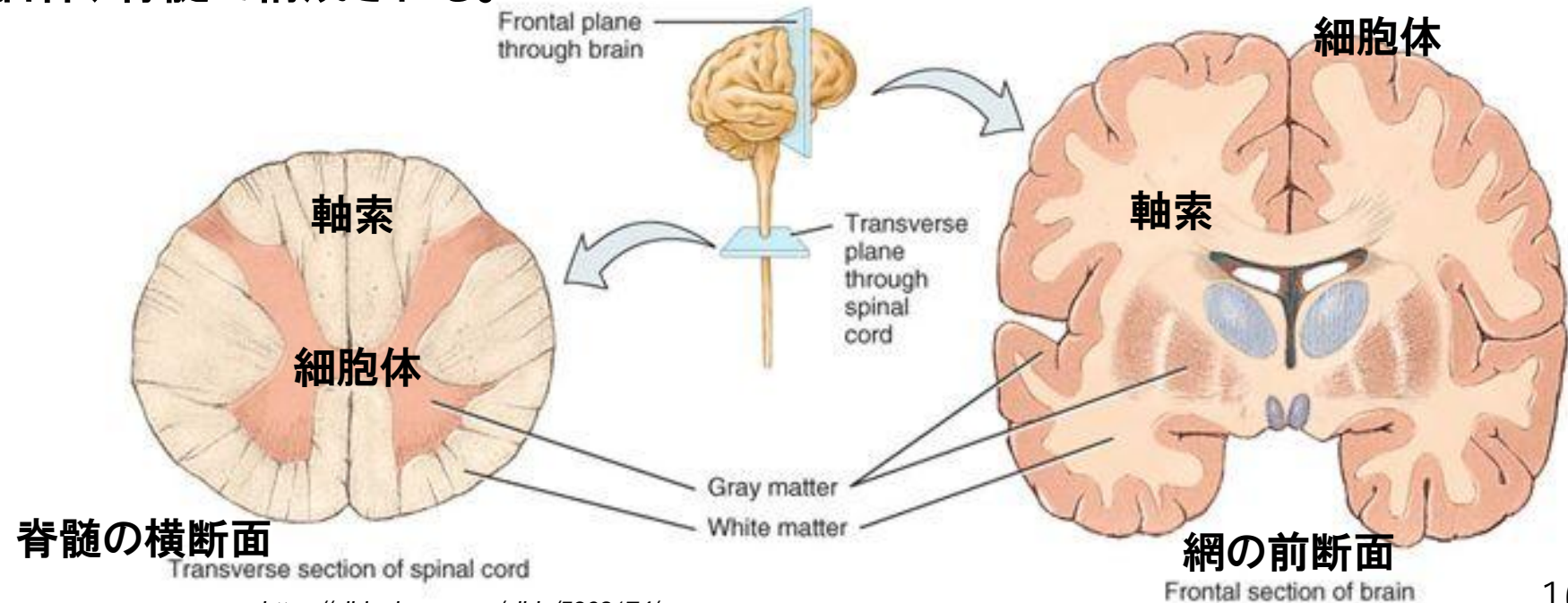


# Central nervous system (CNS) histology 中枢神経系の組織学

- Brain and spinal cord contain two types of tissue
  - **Gray matter** – neuronal cell bodies
  - **White matter** – bundles of axons and their myelin sheaths
- Spinal cord white matter is on the surface and gray matter is inside (opposite for cerebral cortex)
- The central nervous system consists of the cerebellum, cerebrum, brainstem, and spinal cord.
- 脳と脊髄には 2 種類の組織が含まれる
  - **灰白質** - 神経細胞体
  - **白質** - 軸索の束とその髄鞘
- 脊髄の白質は表面にあり、灰白質は内部(大脳皮質の反対)。
- 中枢神経系は、小脳、大脳、脳幹、脊髄で構成される。



Structure of neuron



脊髄の横断面

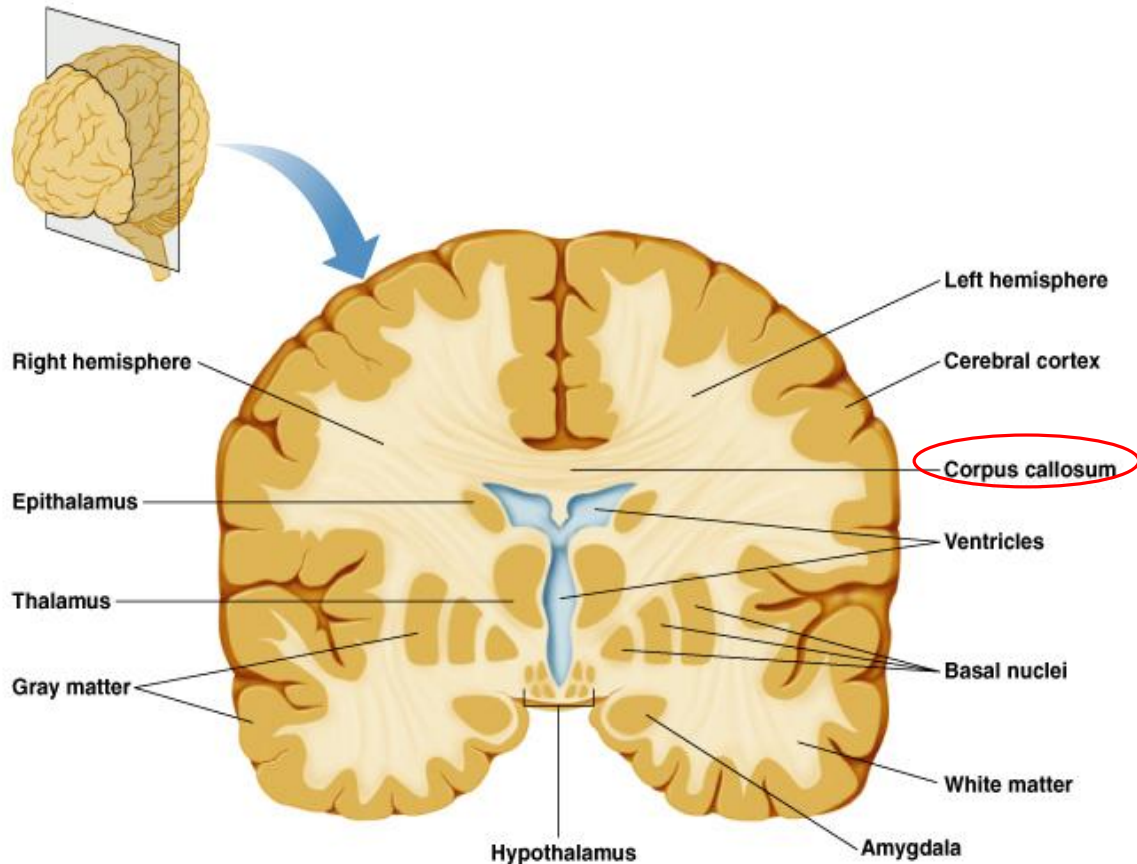
Transverse section of spinal cord

網の前断面

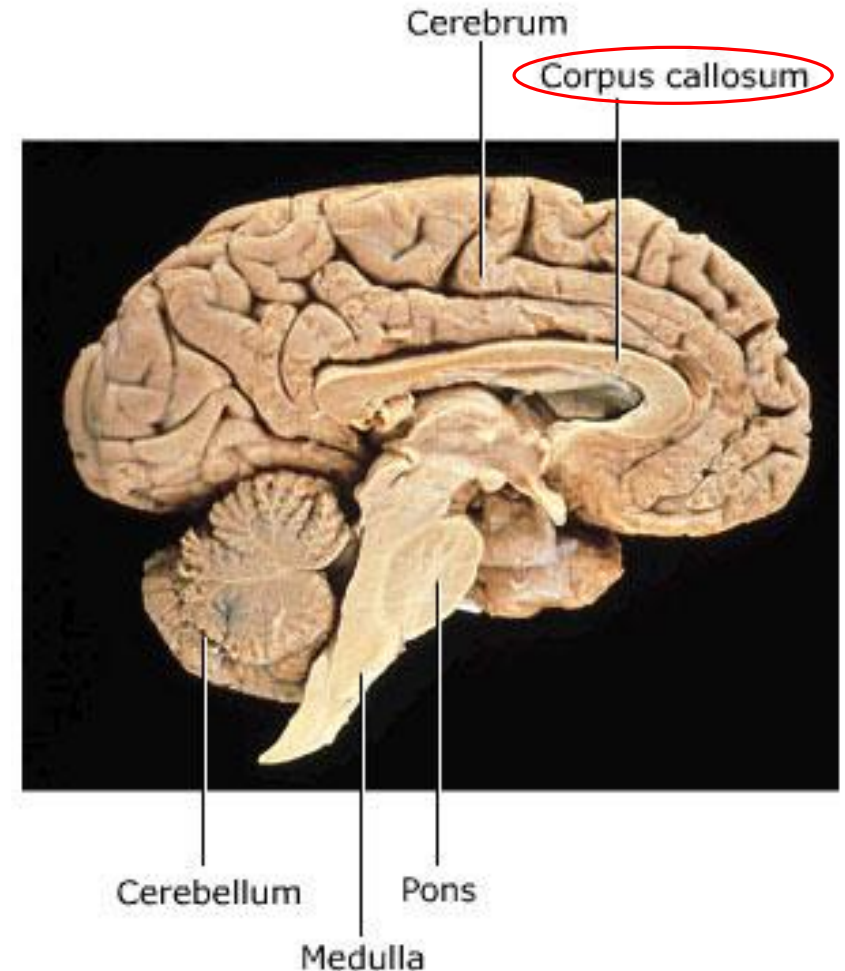
Frontal section of brain

# Cerebrum 大脳

- Outer layer is the cerebral cortex
- Divided into **two cerebral hemispheres**
  - left hemisphere controls the right side of the body
  - right hemisphere controls the left side of the body
- Connected by the **corpus callosum**



- 外層は大脳皮質
- 2つの**大脳半球**に分割
  - 左半球が体の右側を制御
  - 右半球は体の左側を制御
- **脳梁**でつながっている



## ***Part 2. Muscle and neuromuscular junction***

### **筋肉と神経筋接合部**

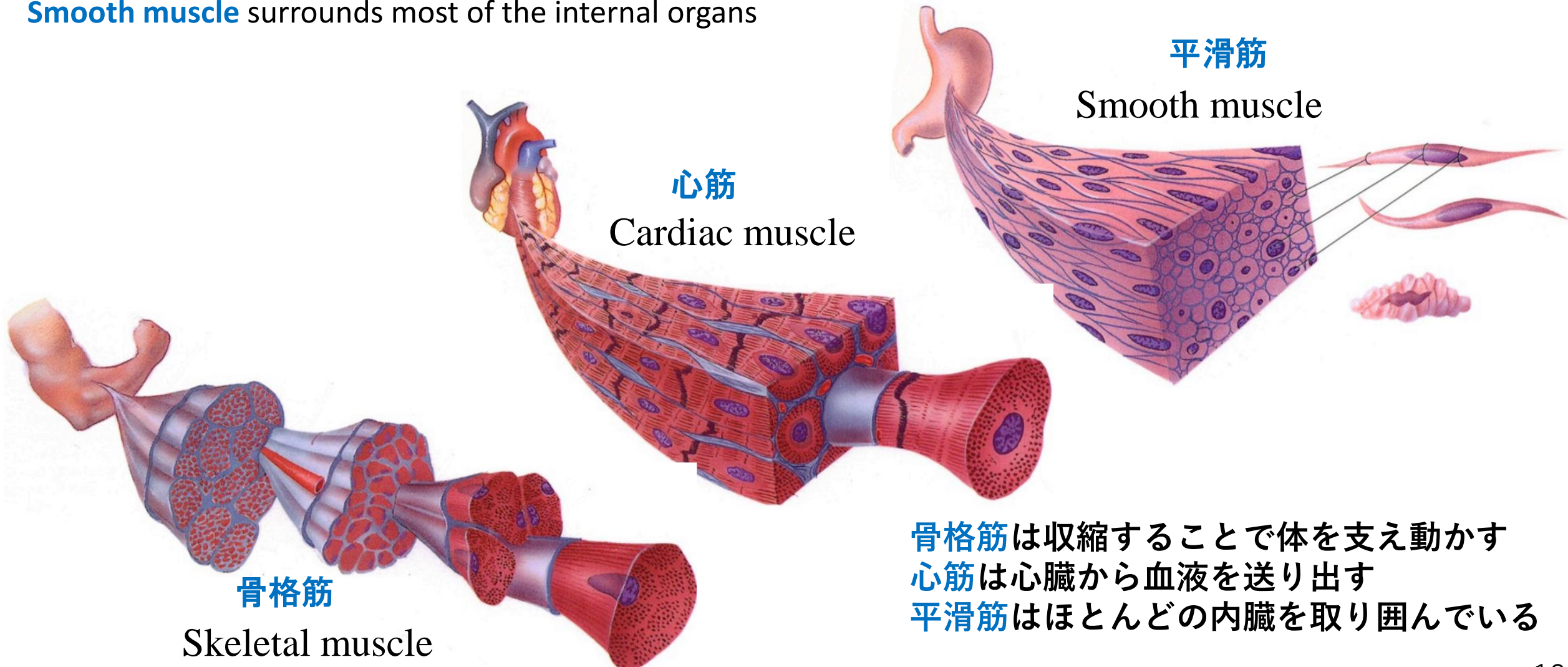


# Types of muscle 筋肉の種類

**Skeletal muscles** support and move the body by contracting

**Cardiac muscle** pump blood from the heart

**Smooth muscle** surrounds most of the internal organs

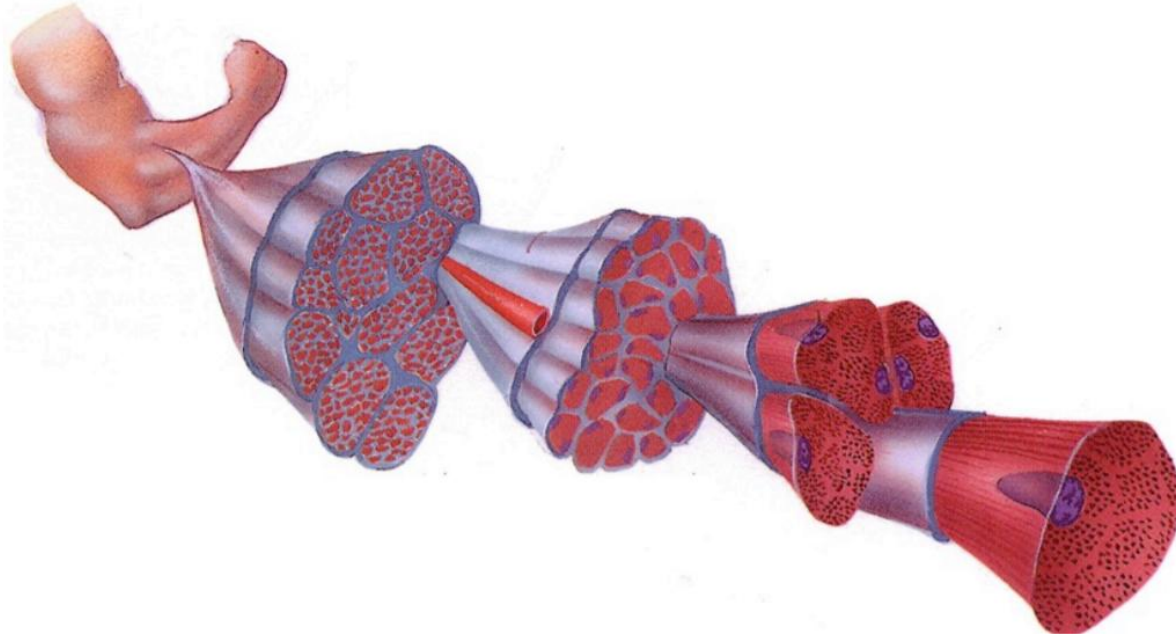
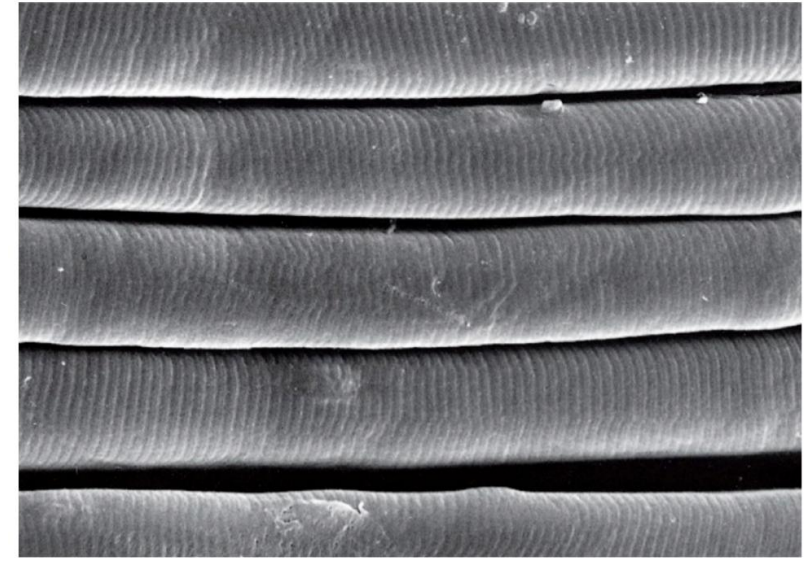


骨格筋は収縮することで体を支え動かす  
心筋は心臓から血液を送り出す  
平滑筋はほとんどの内臓を取り囲んでいる

# Skeletal muscle 骨格筋

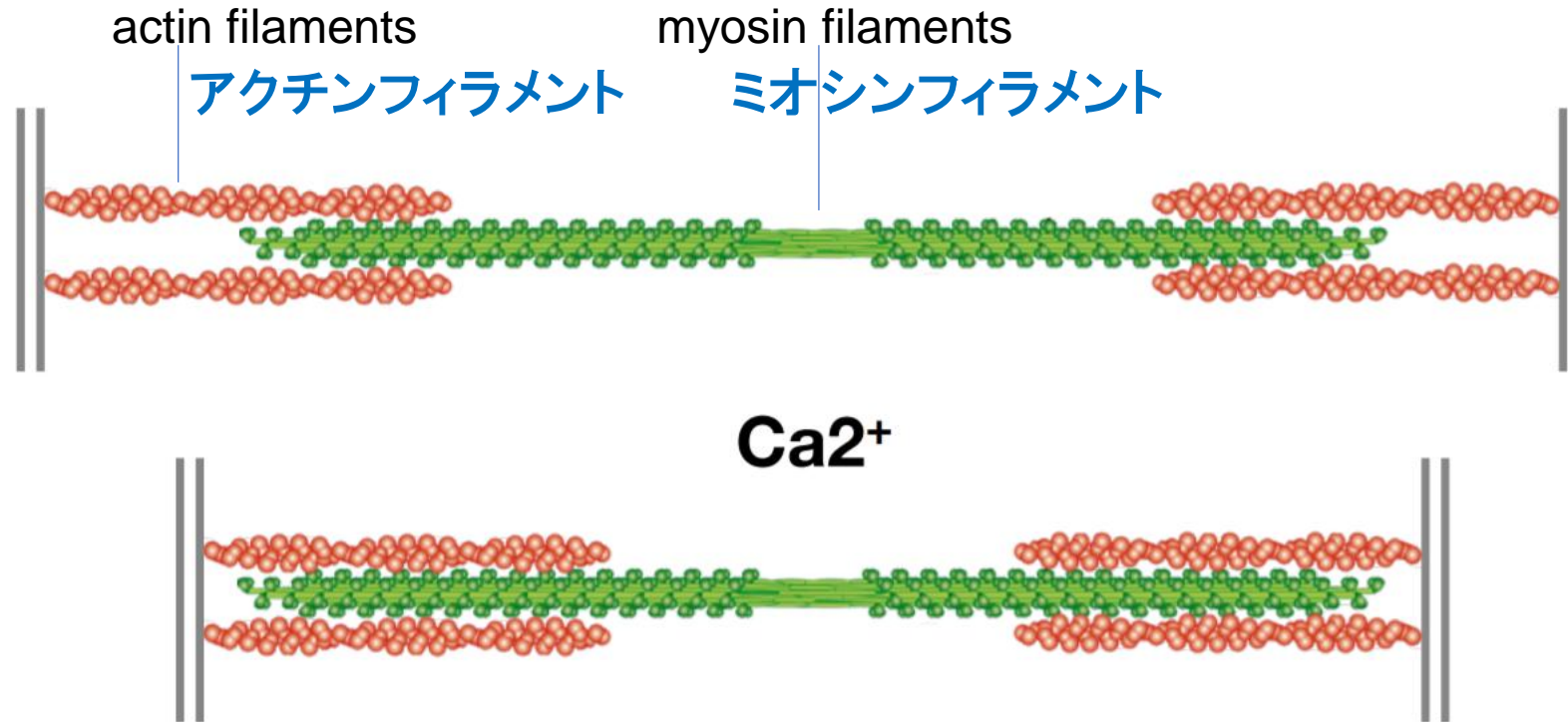
Skeletal muscle consists of bundles of long, multinucleated cells

骨格筋は長く伸びた筋の束で構成される多核細胞



- ✓ Activated by voluntary and reflex signals
- ✓ Multinuclear
- ✓ Myofibers
- ✓ Arranged in parallel arrays
- ✓ 随意信号と反射信号によって活性化される
- ✓ 多核
- ✓ 筋線維
- ✓ 並列アレイに配置

# Contraction of muscle cells 筋細胞の収縮



- Muscle cells generate movement through contraction.
- Use force from myosin pulling on actin filaments to generate force for contraction.
- Use calcium as trigger for contraction.
- 筋細胞は、収縮によって動きを生み出します。
- アクチンフィラメントを引っ張るミオシンからの力を利用して、収縮のための力を生成
- 収縮の引き金としてカルシウムを使用します。

# Different types of muscle have different myosin

## 筋肉の種類はミオシンの違い

Muscle Type	Protein Name	Gene Name	Properties
Skeletal Slow-twitch	MHC- $\beta$	MYH7	Slow
Skeletal Type IIa	Myosin IIa	MYH2	Moderately Fast
Skeletal Type IIx	Myosin IIx/d	MYH1	Fast
Skeletal Type IIb	Myosin IIb	MYH4	Very Fast
Cardiac	MHC- $\alpha$	MYH6	Fast
Cardiac	MHC- $\beta$	MYH7	Slow
Smooth	Smooth muscle myosin II	MYH11	Very Slow



# Structure of skeletal muscle 骨格筋の構造

筋  
Muscle



筋細胞  
Muscle cell



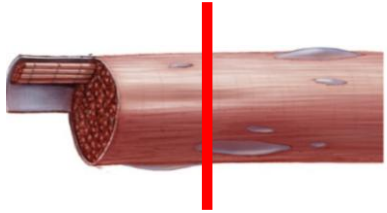
筋原線維  
Myofibril



- Muscles are bundles of muscle cells
- Skeletal muscle cells are bundles of myofibrils
- muscle cells span the length of the muscle
- When cells contract, muscles become shorter.
- Muscle cells consist of long myofibrils
- Myofibrils are bundles of actin and myosin filaments
- 筋は筋細胞の束
- 骨格筋細胞は筋原線維の束
- 筋細胞は筋肉の長さにまたがる
- 細胞が収縮すると筋肉が短くなる。
- 筋細胞は細胞の長の筋原線維から成る
- 筋原線維はアクチンおよびミオシン フィラメントの束

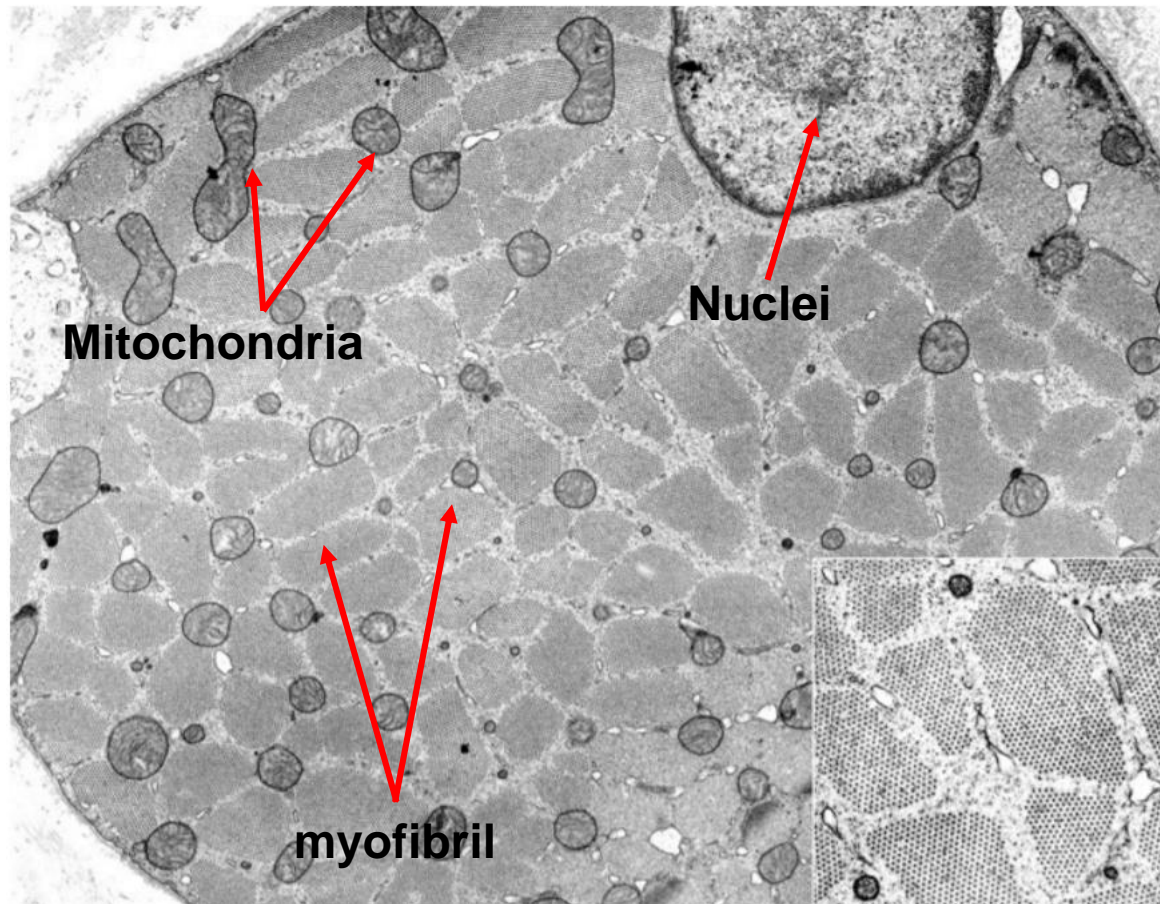
# Structure of skeletal muscle – electron micrograph –

## 骨格筋の構造 電子顕微鏡写真



骨格筋の断面図

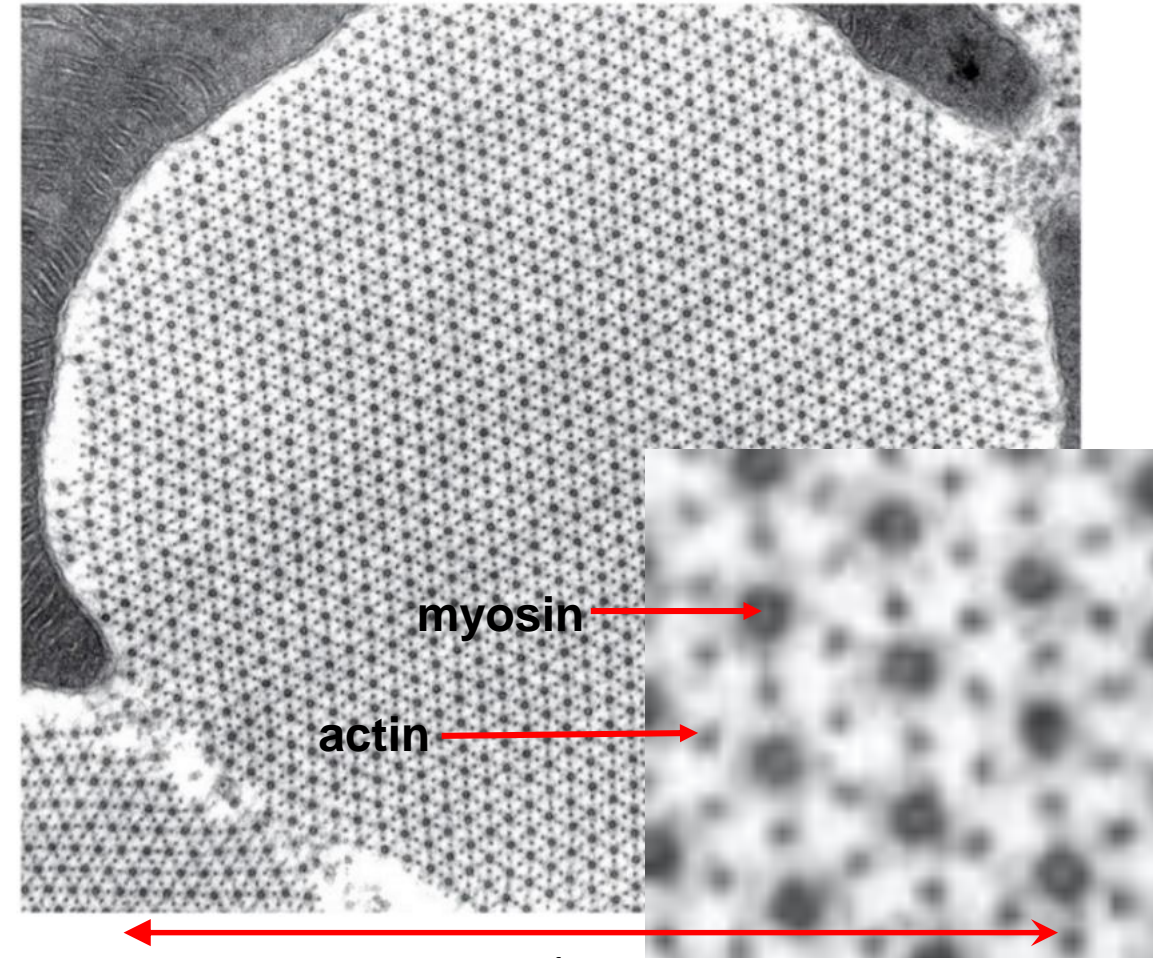
Transverse cross section of skeletal muscle cell



10 $\mu$ m

筋原線維の断面図

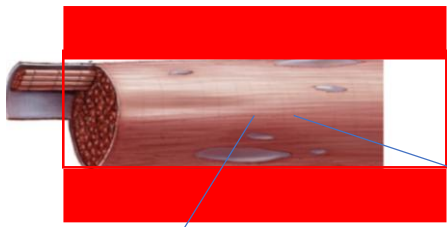
Transverse cross section of myofibril



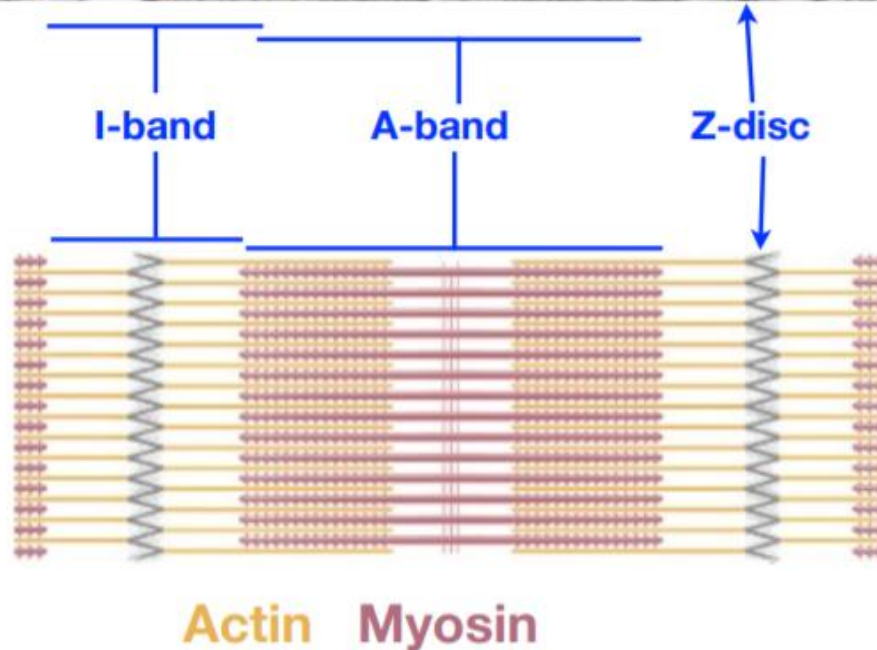
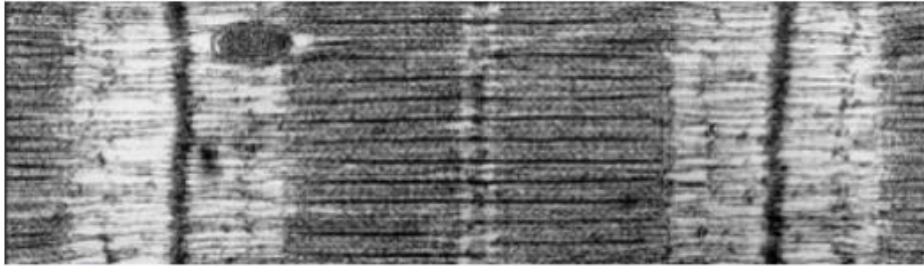
1 $\mu$ m



# Sarcomeres サルコメア



2.4 $\mu$ m

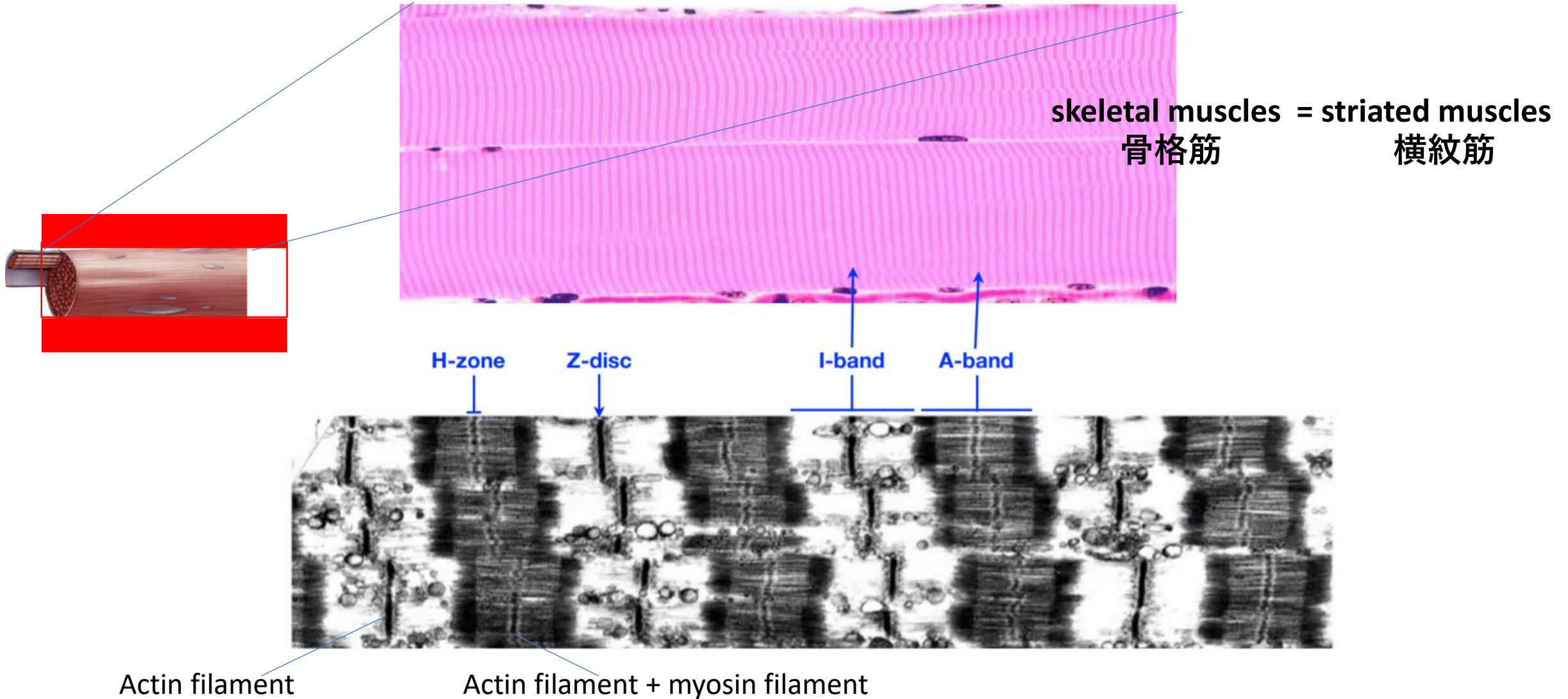


- ✓ Contractile apparatus in cardiomyocytes, the smallest unit that constitutes the contractile system
- ✓ Myofibrils are serially connected sarcomere
- ✓ A bundle of myofibrils is a muscle fiber

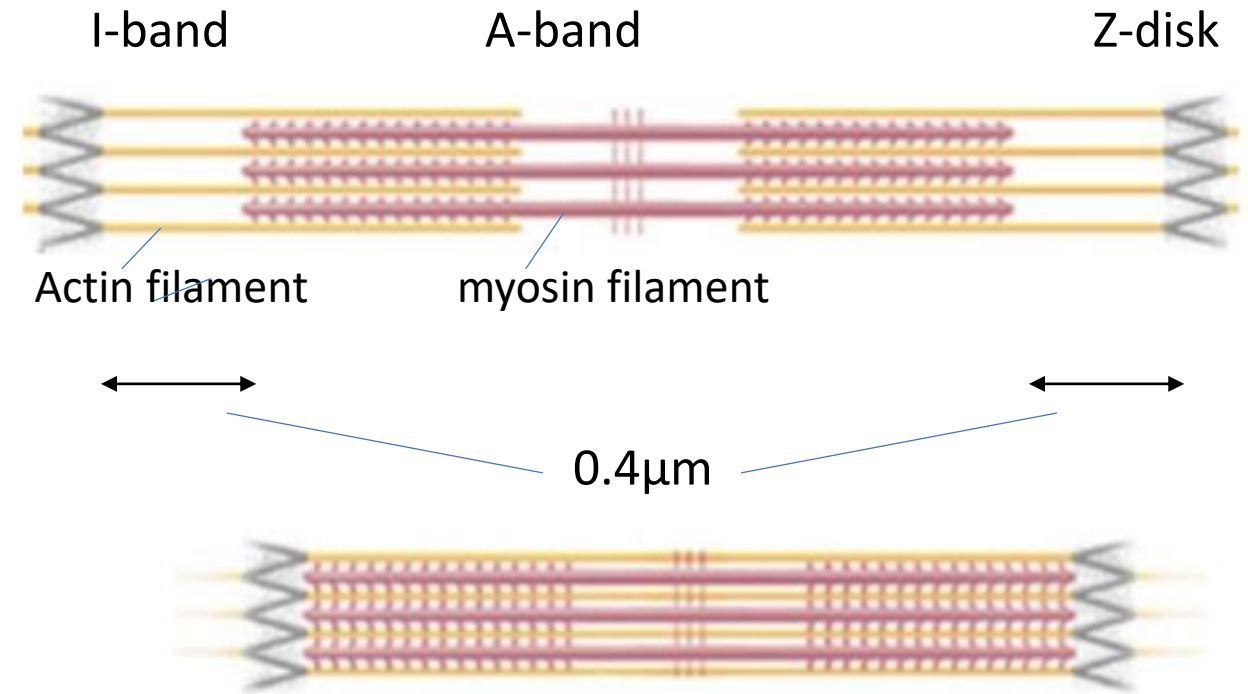
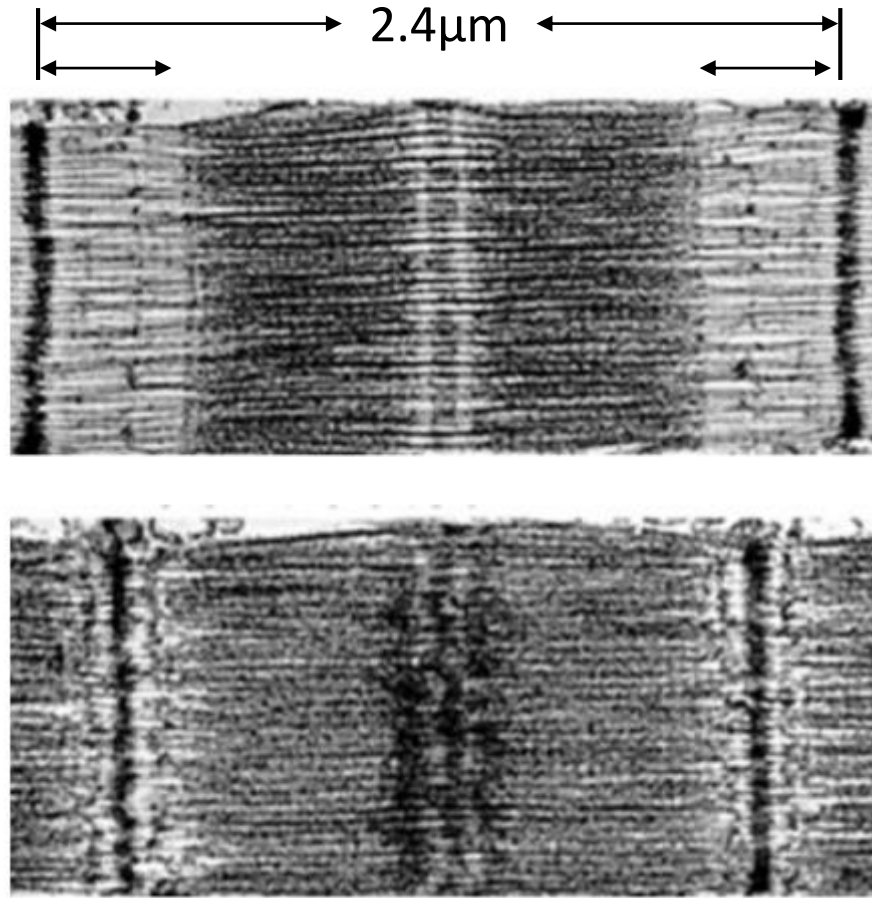
- ✓ 心筋細胞内の収縮装置、収縮系を構成する最小ユニット
- ✓ サルコメアが直列につながったものが筋原線維
- ✓ 筋原線維の束が筋線維

# Myofibrils 筋原線維

Sarcomeres are connected サルコメアの連結



# Contraction of skeletal muscle 骨格筋の収縮



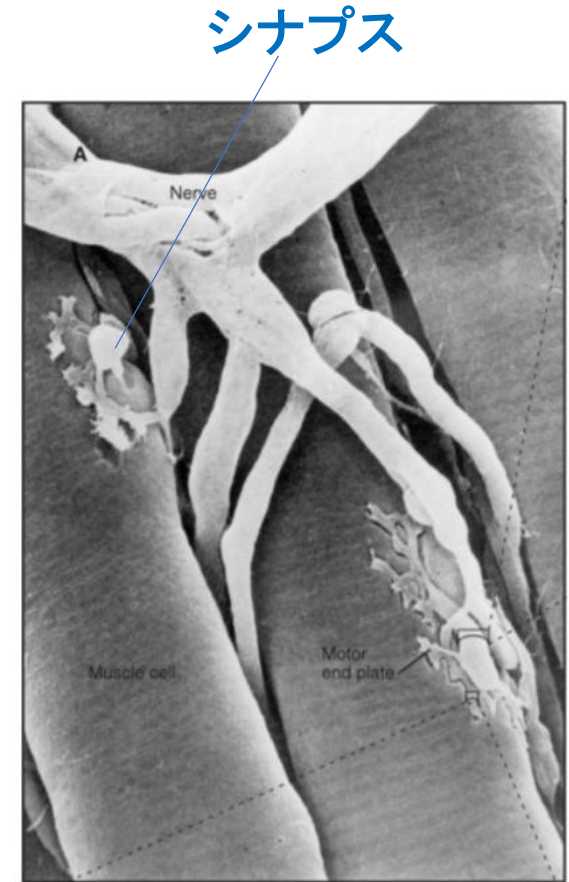
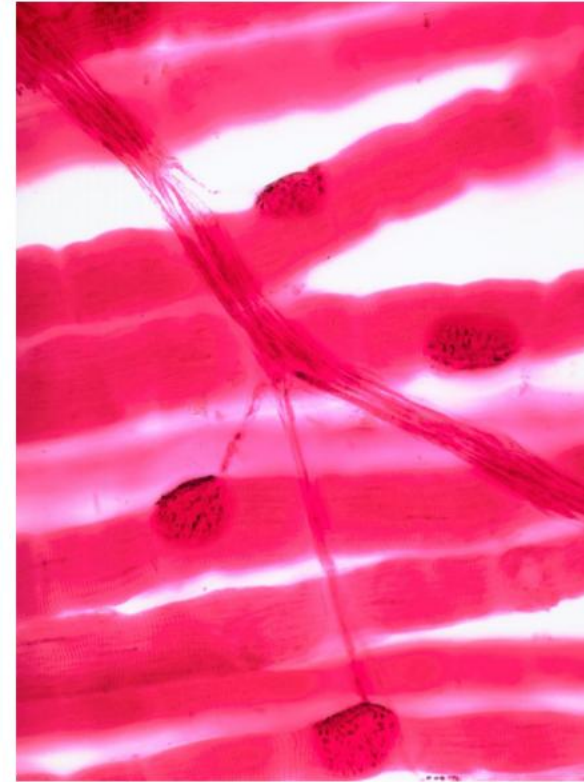
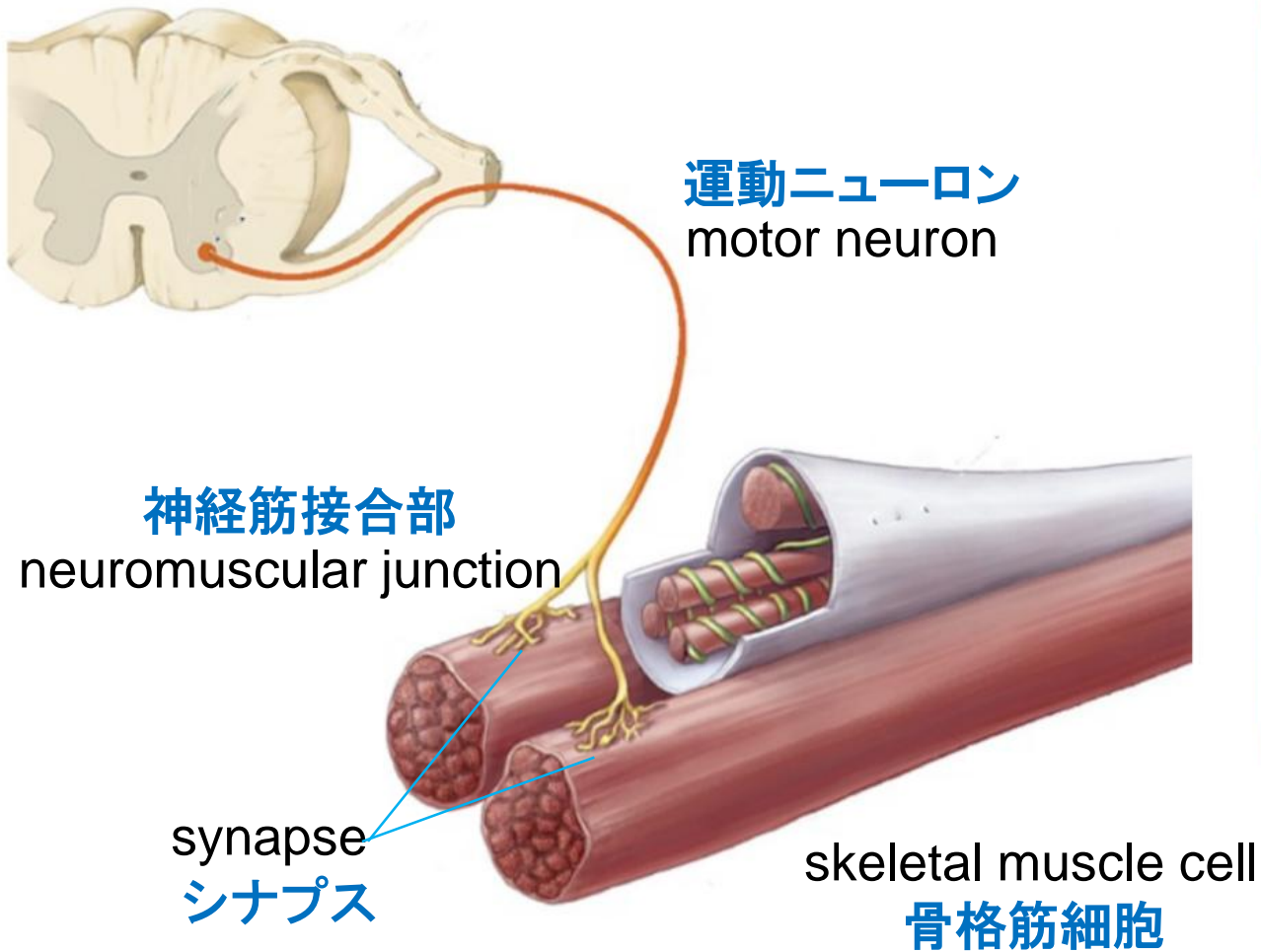
20cm muscle =  $2.4\mu\text{m} \times 83,333$  sarcomeres

$83,333 \text{ sarcomeres} \times 0.4 \mu\text{m} / \text{one sarcomere contraction} = \text{total } 3.3 \text{ cm contraction.}$



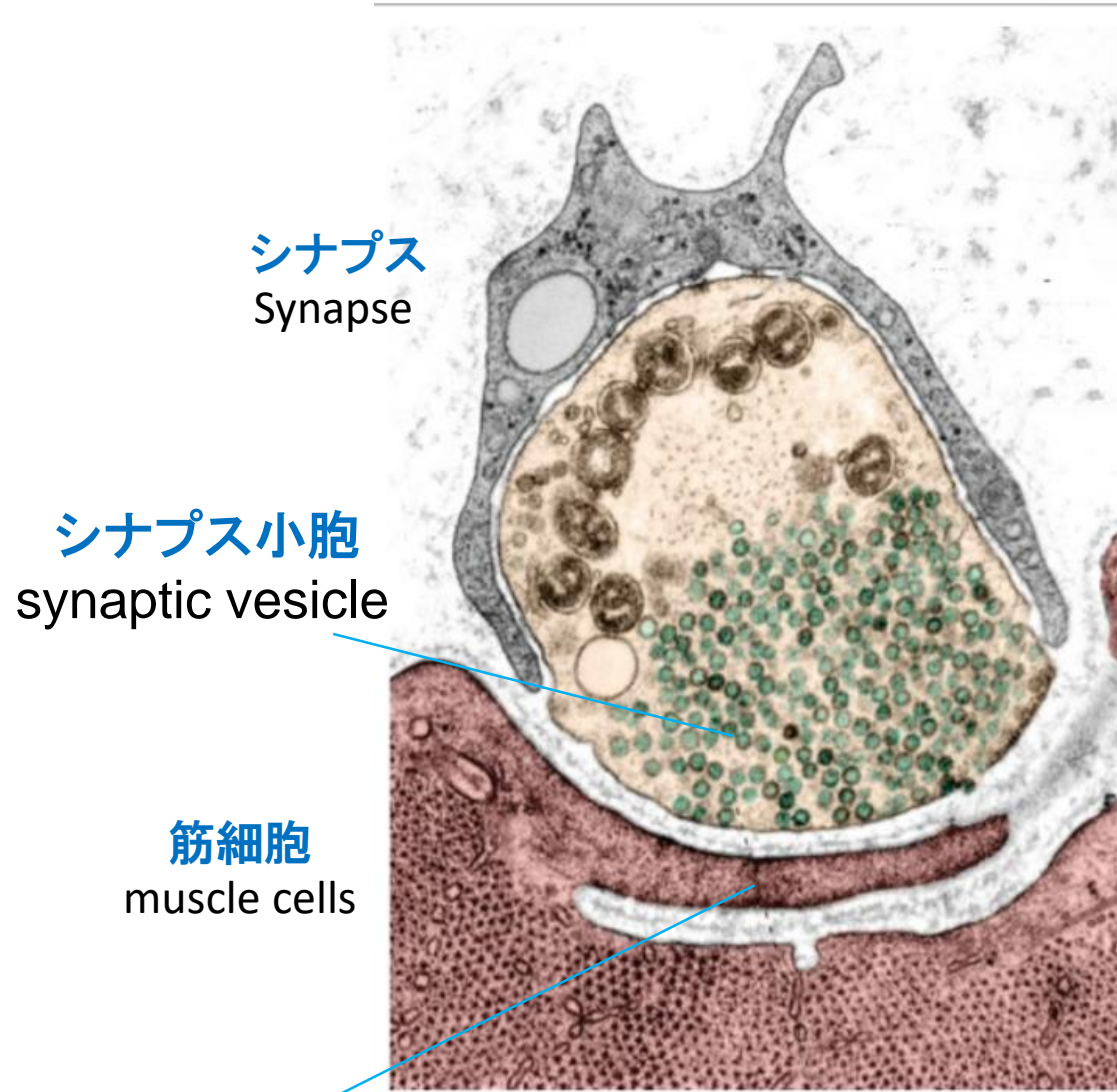
# Triggering skeletal muscle contraction

## 骨格筋の収縮のトリガー

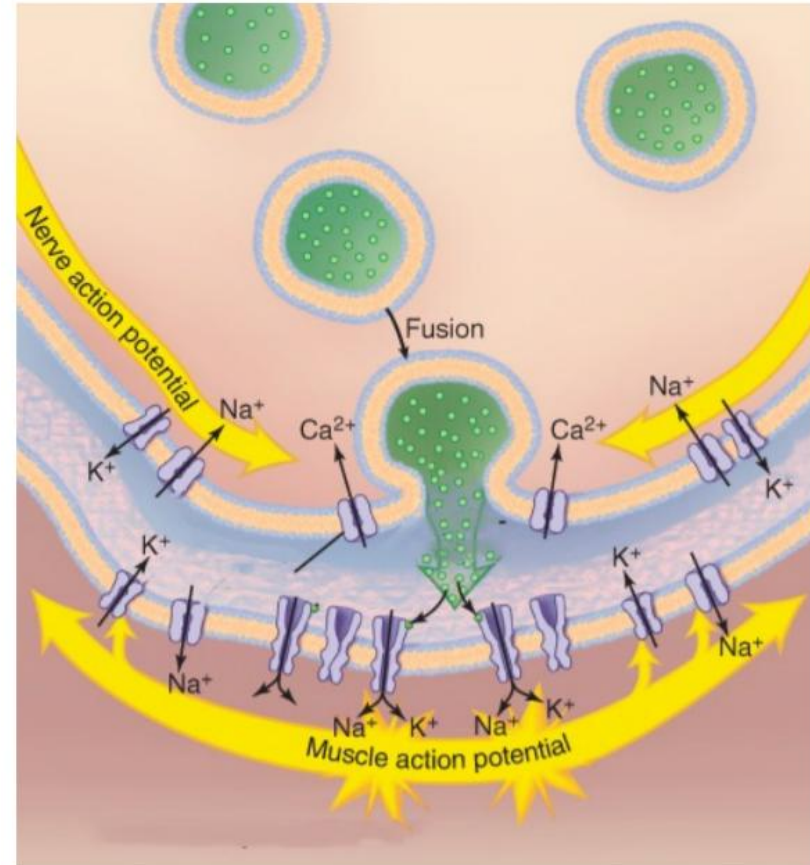


骨格筋細胞

# Synapse of motor neuron 運動ニューロンのシナプス

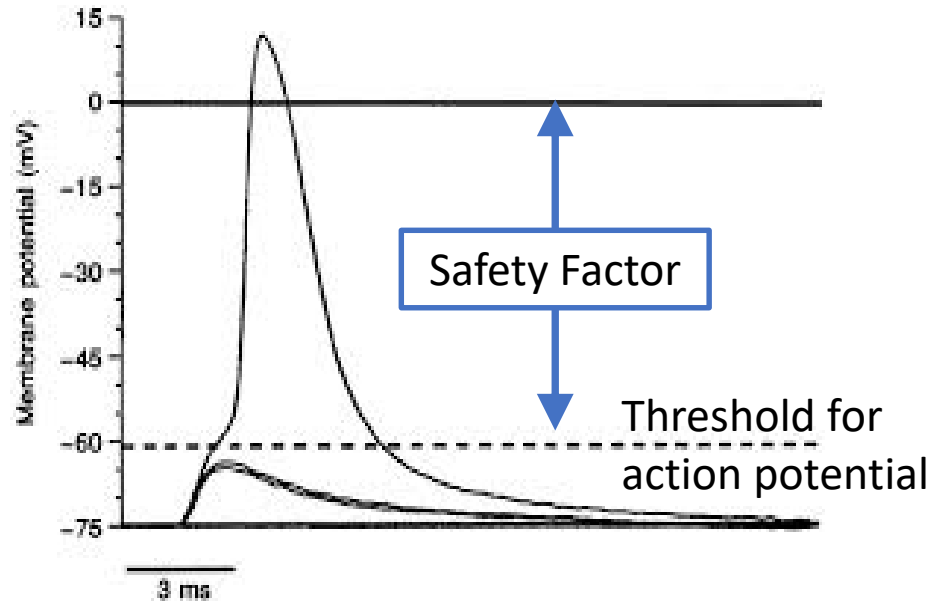


折りたたまれることで接触表面積を広くする  
Folds up to increase contact surface area



motor neurons	運動ニューロン
synaptic vesicle	シナプス小胞
acetylcholine	アセチルコリン
neurotransmitter	神経伝達物質

# Action potential of skeletal muscle 骨格筋の活動電位



## Safety factor

The difference between the depolarization caused by acetylcholine and the threshold level needed to trigger an action potential

**muscles continue to contract** responds to repeated stimuli

Single contraction

(a) 単収縮

(b) 収縮の加重

Tetanic contraction

(c) 不完全強収縮

(d) 完全強収縮

Tension  
張力 (g)

stimulation

(刺激) ↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

↑

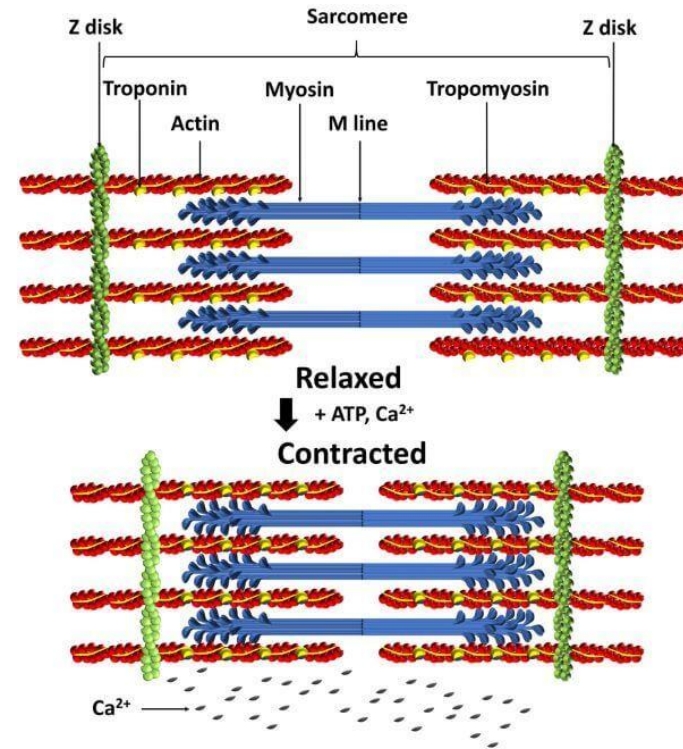
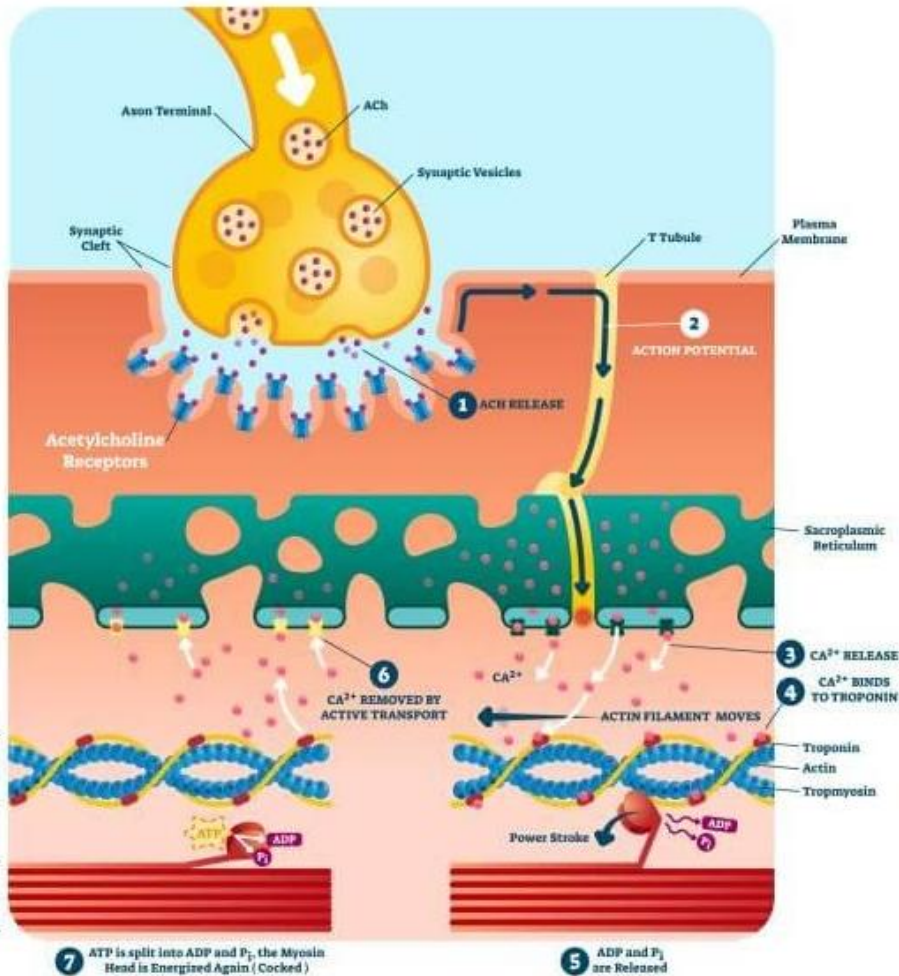
↑



# Cytosolic calcium 細胞質カルシウム

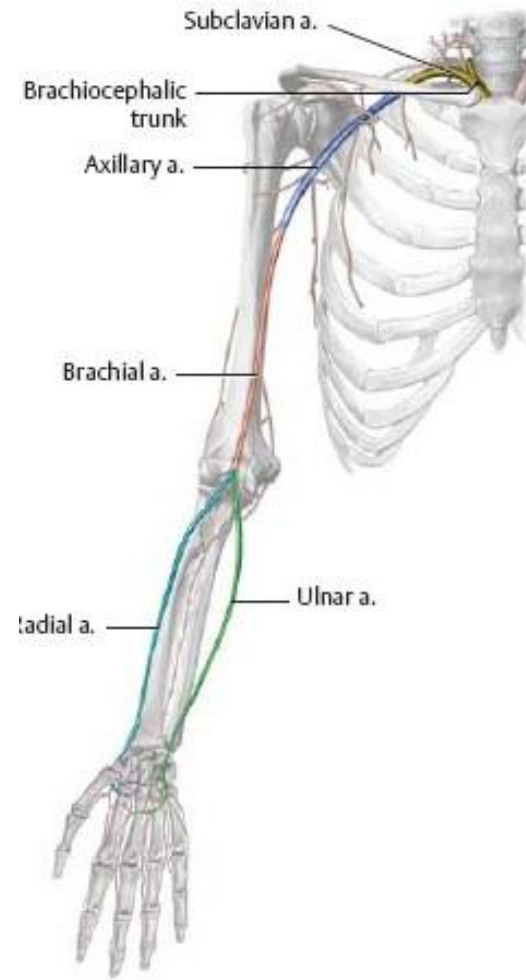
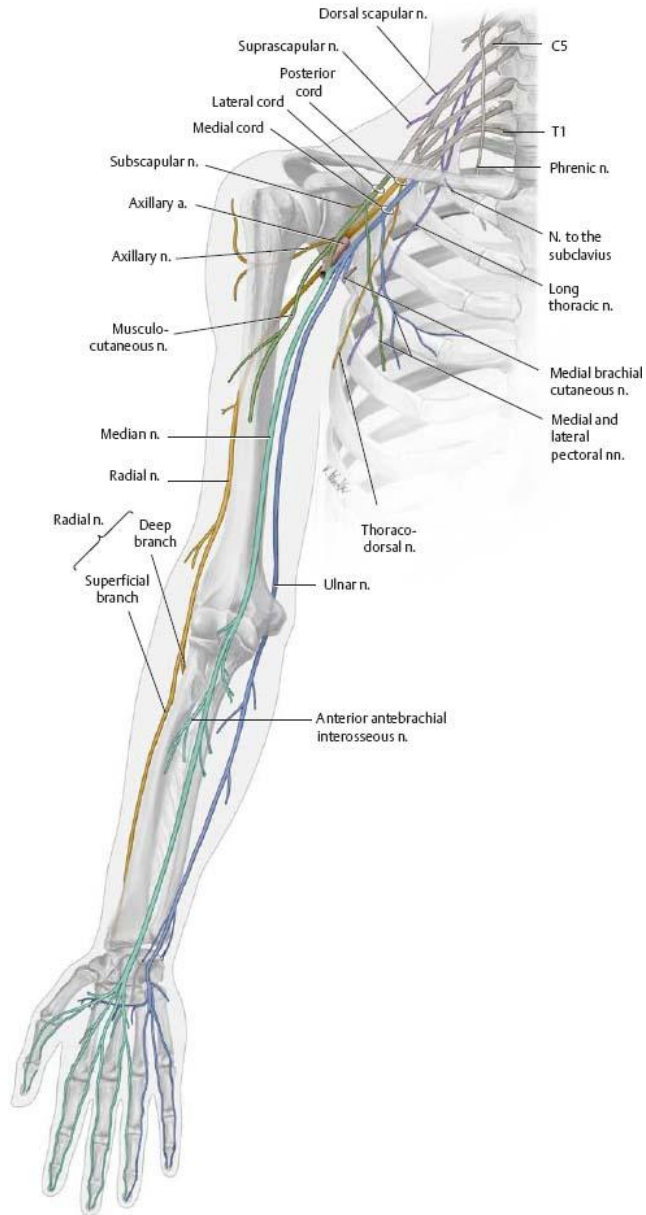
## -trigger contraction of skeletal muscle

### Contraction Synapse

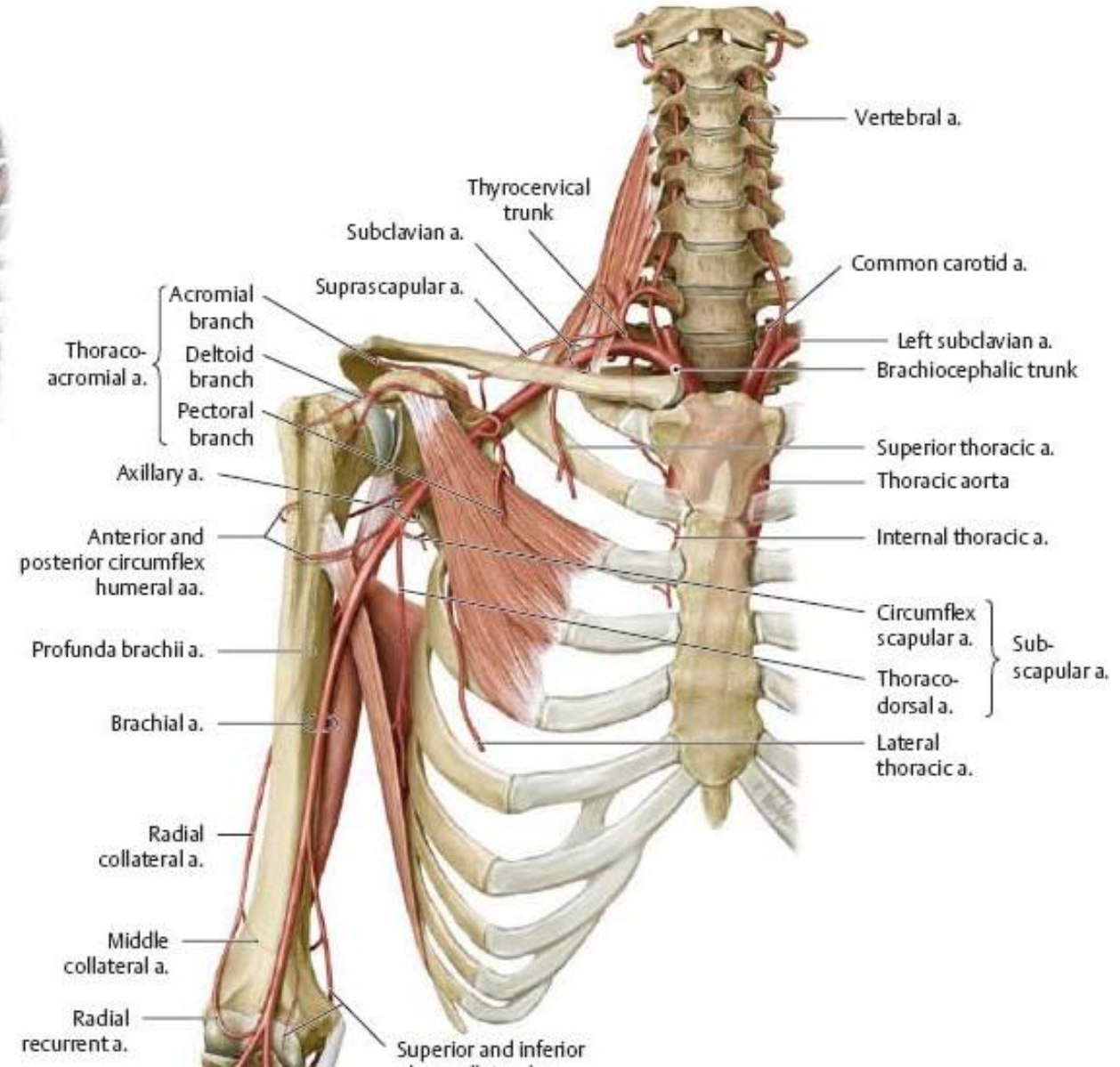


- ✓ Action potentials lead to increases cytosolic calcium in muscle cells.
- ✓ Calcium causes tropomyosin to shift, exposing myosin-binding site.
- ✓ Actin filaments with exposed myosin binding sites bind to myosin filaments, resulting in contraction.
- ✓ 活動電位により筋細胞の細胞質カルシウムが増加
- ✓ カルシウムはトロポミオシンのミオシン結合部位を露出
- ✓ ミオシン結合部位が露出したアクチンとミオシンフィラメントが結合  
⇒ 収縮

# Neurovascular system and muscles 神経血管系と筋肉

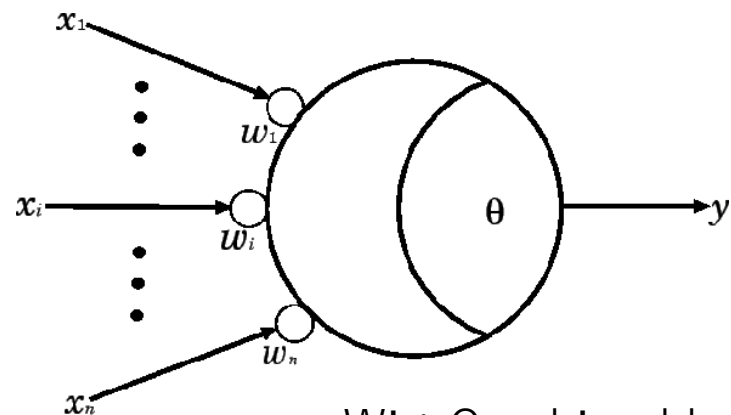
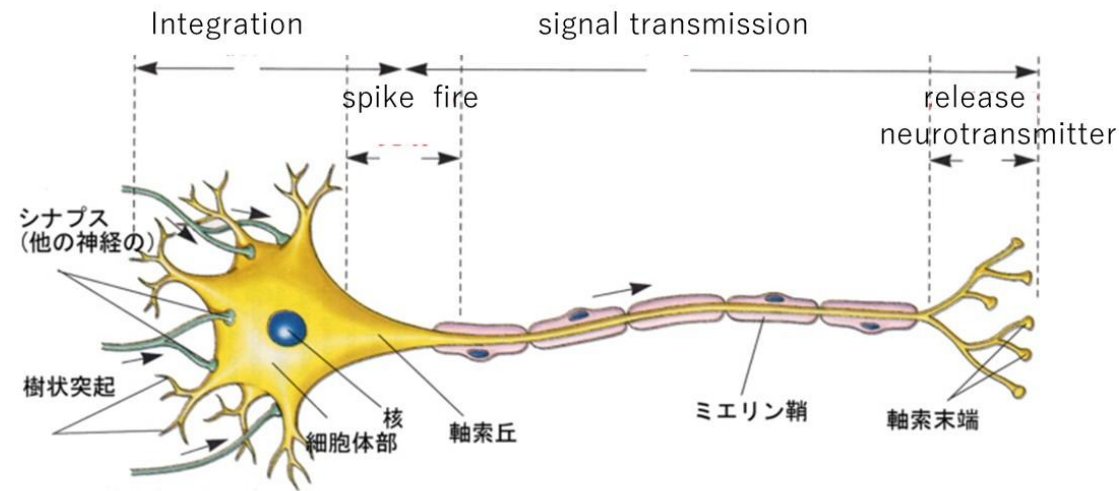


Main arterial segments.



## ***Part 3. Neural circuits***

# Neuron model ニューロンモデル



$w_i$  : Combined load

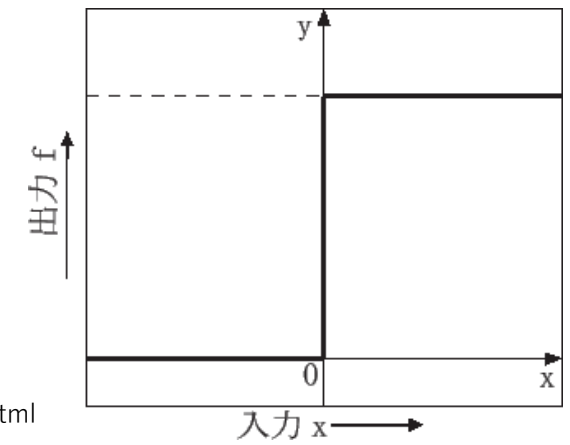
$$x = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

$$y = f(x)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 & (x > 0) \\ 0 & (x \leq 0) \end{cases}$$

<http://www.gifu-nct.ac.jp/elec/deguchi/sotsuron/oguri/node5.html>

Heaviside step function





# Neural network motifs ニューラルネットワークのモチーフ

フィードフォワード励起

A. Feedforward excitation



フィードフォワード抑制

B. Feedforward inhibition



収束/発散

C. Convergence/divergence



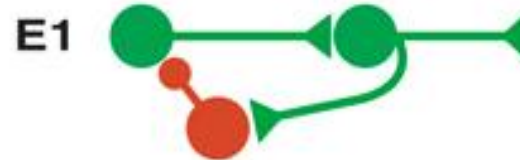
側方抑制

D. Lateral inhibition

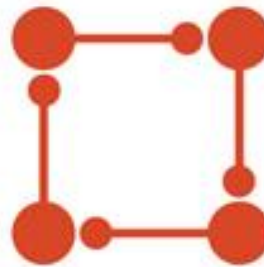


フィードバック/再発抑制

E. Feedback/Recurrent inhibition



E2

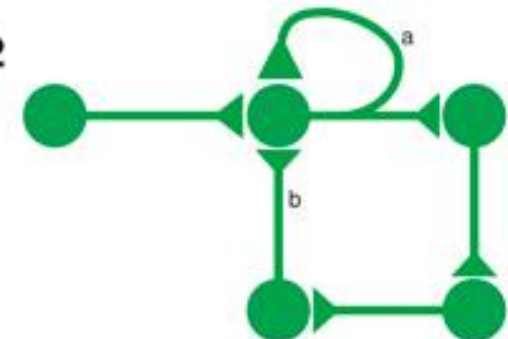


フィードバック/反復励起

F. Feedback/Recurrent excitation



F2



# Reflex arcs 反射弧

Autonomic reflex arc : effecting inner organs

Receptor  $\Rightarrow$  effector organs

Somatic reflex arc : affecting muscles

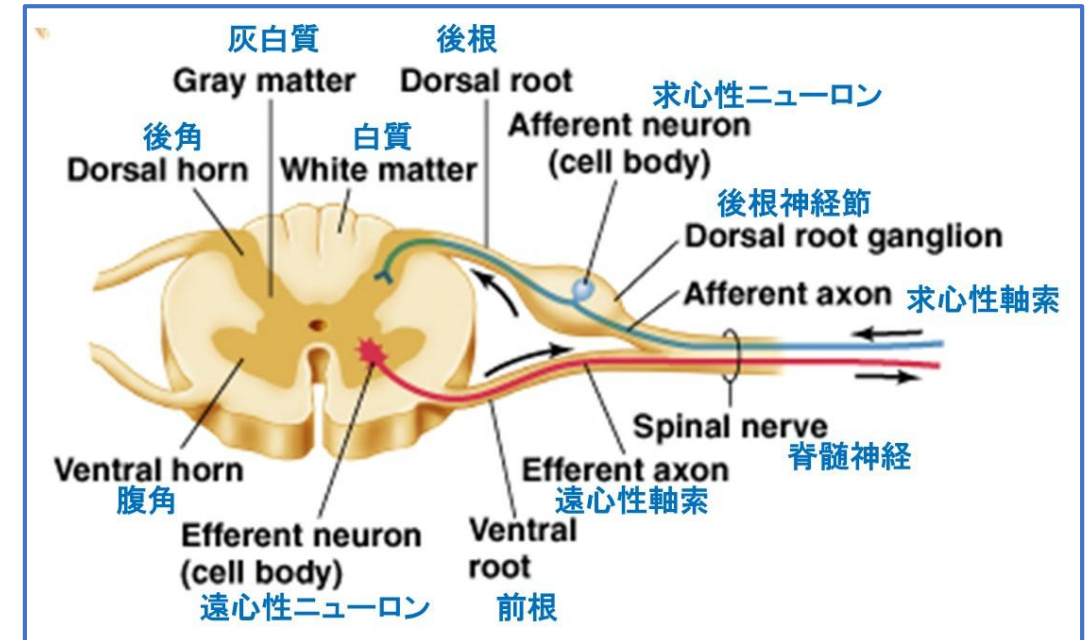
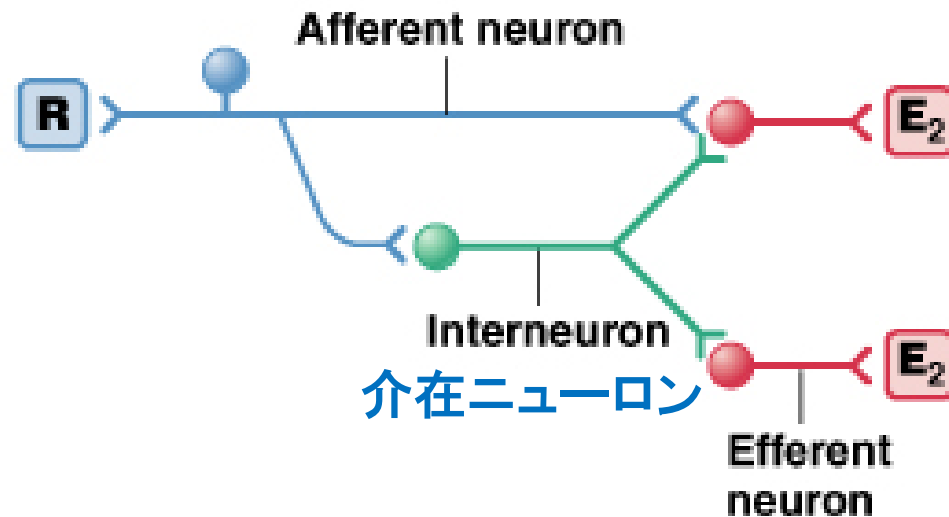
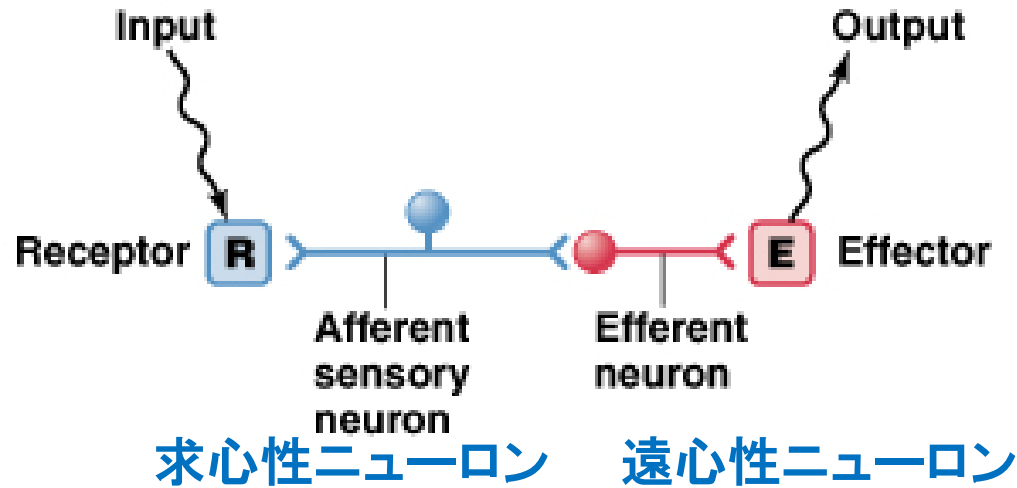
Receptor  $\Rightarrow$  brain  $\Rightarrow$  muscles

自律神経反射弧: 内臓に影響を与える

受容体  $\Rightarrow$  内臓器官

体性反射弧: 筋肉に影響を与える

受容体  $\Rightarrow$  脳  $\Rightarrow$  筋肉

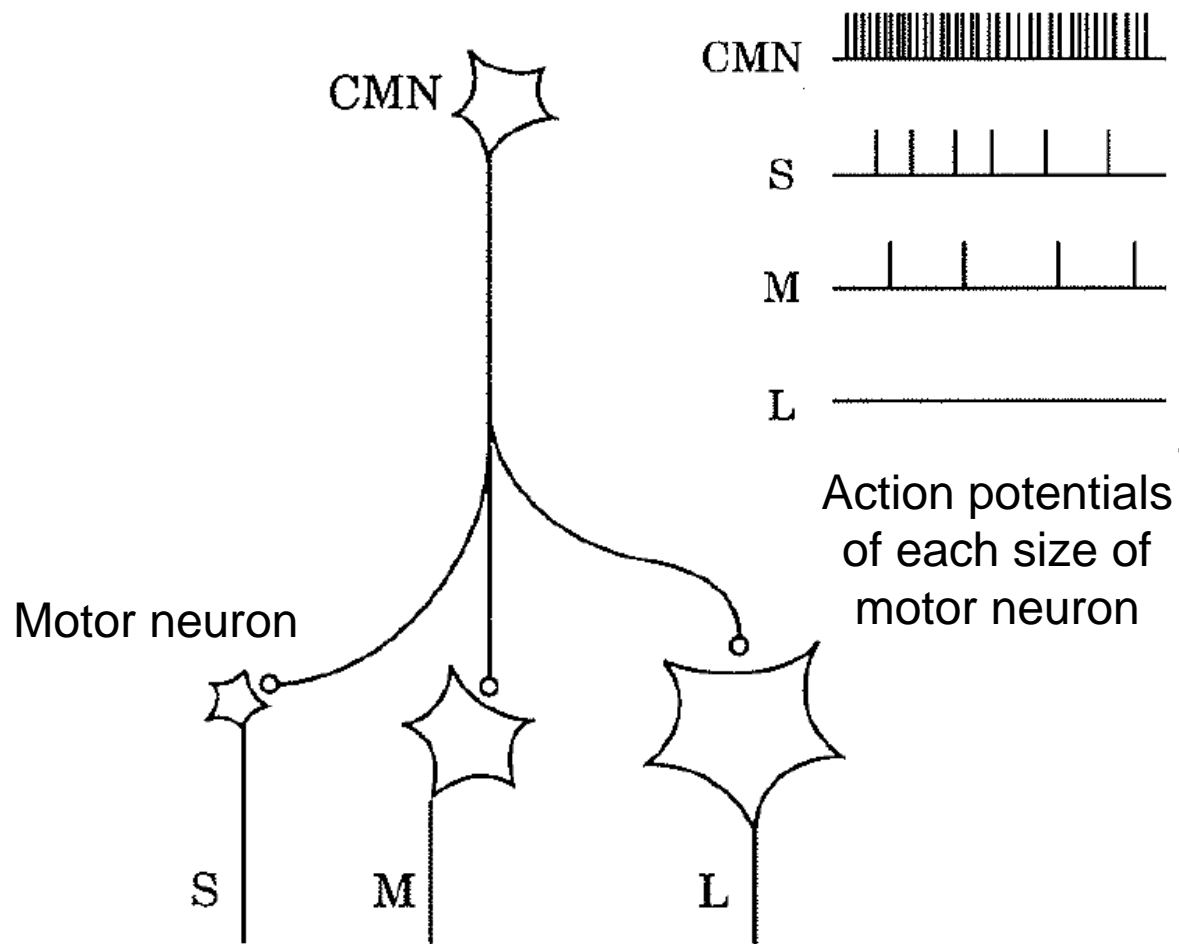




# Motor neuron responses of different sizes

## さまざまなサイズの運動ニューロンの応答

Motor neuron of cerebral cortex



**Small-sized neuron** The synaptic coupling load is large. When pulses arrive from the CNS at a certain frequency, the membrane potential increases rapidly, reaches a threshold quickly and fires,

**Large-sized neuron** The synaptic coupling load is small. It is difficult to fire.

### 小型ニューロン

シナプス結合負荷が大きい。  
パルスがCNSから特定の周波数で到着すると、膜電位が急速に増加し、すぐに閾値に達して興奮

### 大型ニューロン

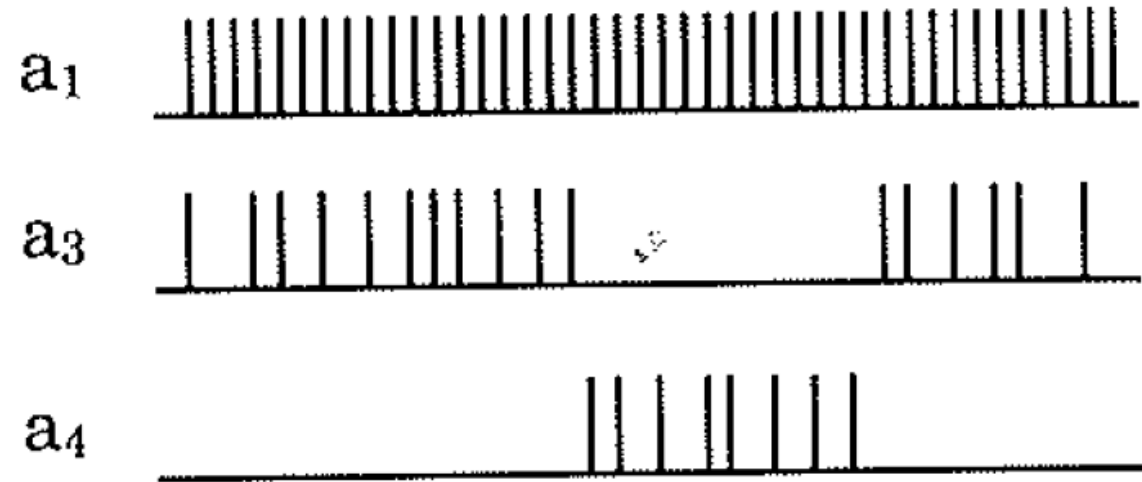
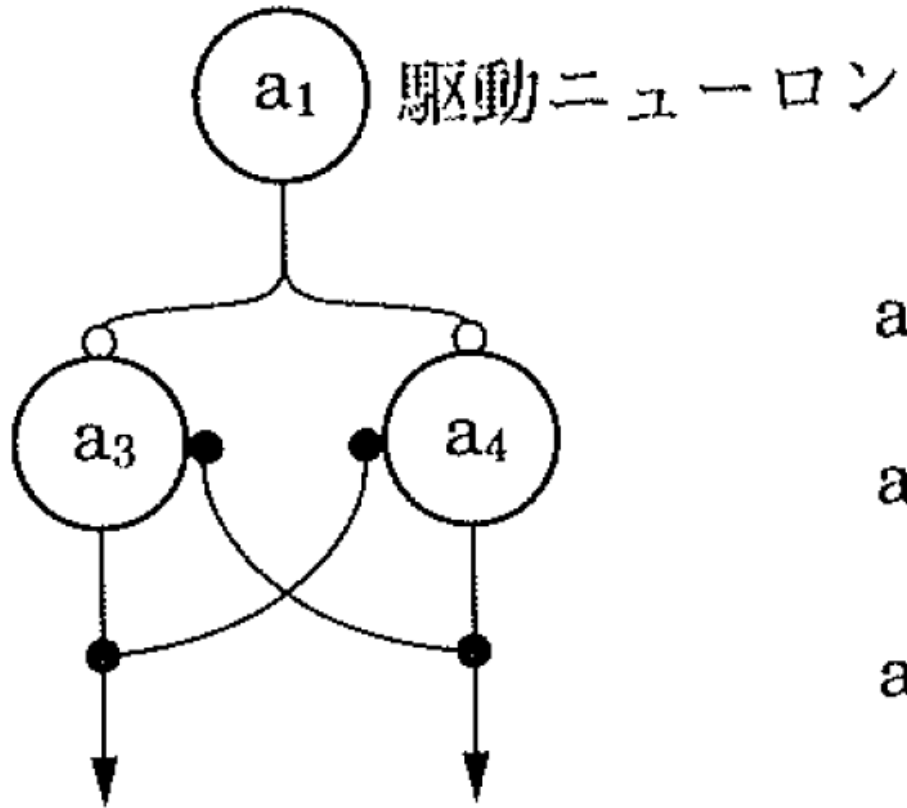
シナプス結合荷重が小さい。興奮しにくい。

# Reciprocal inhibition circuit 相反抑制回路

Vibration phenomena  
振動現象

walking, flight motion  
歩行, 飛行動作

Driving neurons



Reiss, 1962

***Part 1. Nervous system***

***Part 2. Muscle and neuro junction***

***Part 3. Neural circuit***

参考図書: 生体情報工学 (バイオメカニズム・ライブラリー) 赤沢 堅造 (著), バイオメカニズム学会 (編集)

Reference books: Biomechanism Library, Biological Information Engineering. Akazawa Kenzo