

**FISIOLOGI GERAK
DAN
KONTRAKSI OTOT**

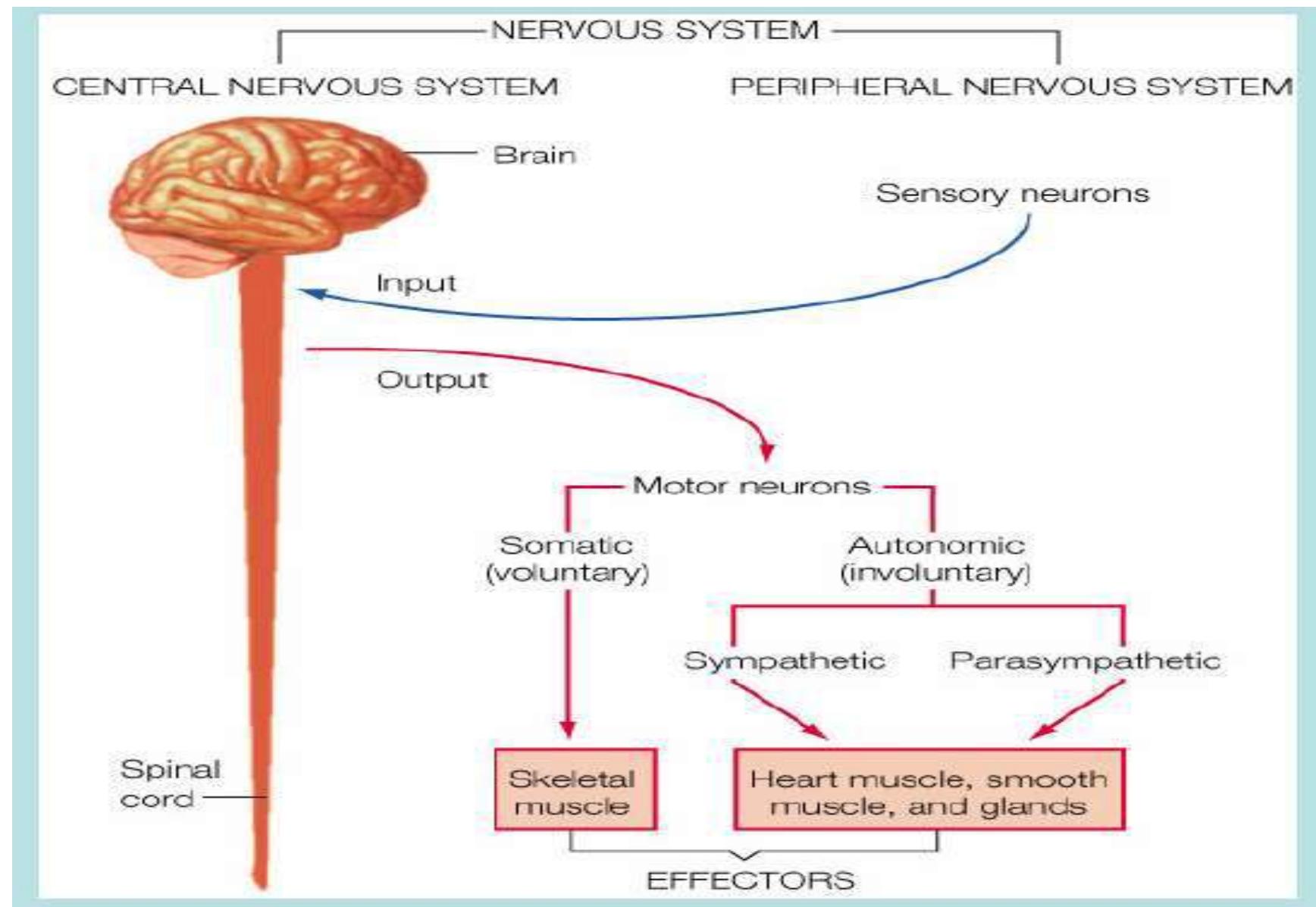
SI STEM GERAK DAN LOKOMOSI

- ***SISTEM SARAF MOTORK***
- ***OTOT IURIK/OTOT RANGKA***
- **TULANG**
- **PERSENDIAN**

NERVOUS SYSTEM/SISTEM SARAF

- **Central nervous system (CNS)/Sistem Saraf Pusat (SSP) :** otak & med spinalis, dan
- **Peripheral nervous system (PNS)** 12 ps s. cranial & 31 ps s.spinal
- **PNS : Afferent division (sensorik dan “*Panca indera*”) & Efferen Division (motorik)**
- **SS Sensorik:** mendekripsi perubahan lingk dalam dan luar tubuh, mengirimkan informasi ke SSP untuk diinterpretasi
- **SS Motorik:** mengontrol/mengendalikan fungsi berbagai sistem dalam tubuh dengan cara mengirim perintah melalui serabut saraf motorik ke efektor (organ : otot, jantung, kelenjar dll)
- **Sistem saraf bersama sistem endokrin, sebagai sistem kontrol dan komunikasi dalam rangka mempertahankan homeostasis.**

Organization of the human nervous system



Divisions of the Peripheral Nervous System

I. Afferent division

II. Efferent division

- A. Somatic nervous system
- B. Autonomic nervous system
 - 1. Sympathetic division
 - 2. Parasympathetic division
 - 3. Enteric division

Peripheral Nervous System: Somatic and Autonomic Divisions

Somatic

1. Consists of a single neuron between central nervous system and skeletal-muscle cells
2. Innervates skeletal muscle
3. Can lead only to muscle excitation

Autonomic

1. Has two-neuron chain (connected by a synapse) between central nervous system and effector organ
2. Innervates smooth and cardiac muscle, glands, and GI neurons
3. Can be either excitatory or inhibitory

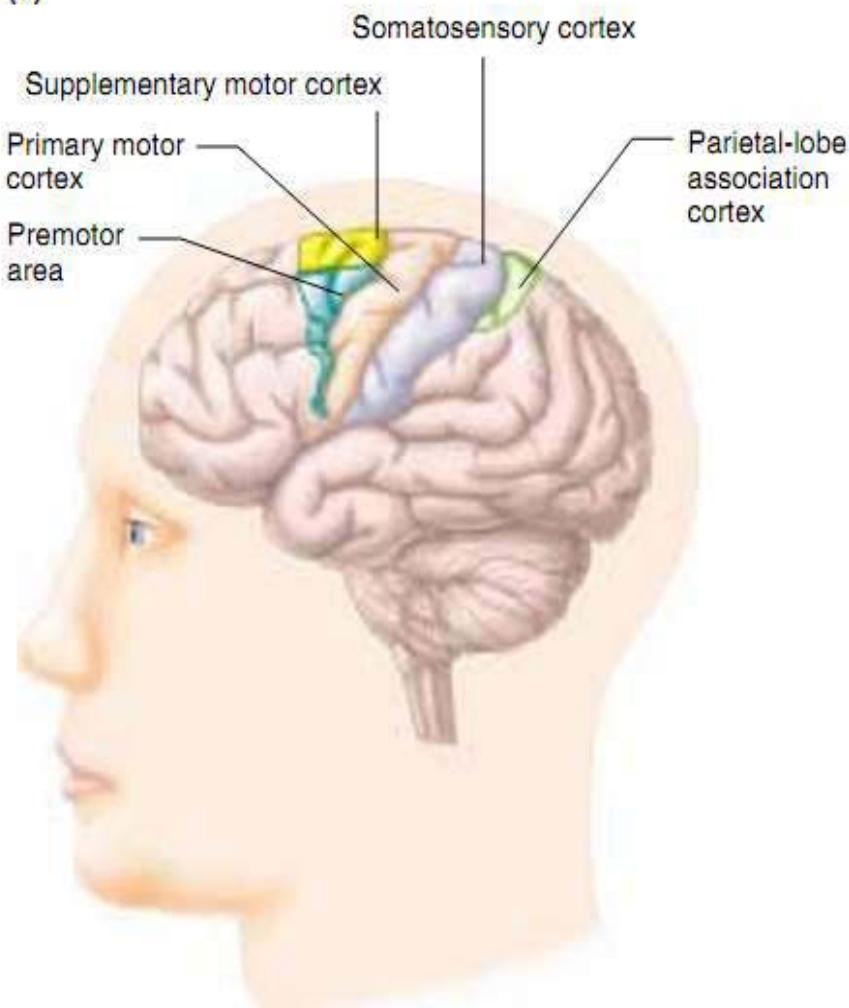
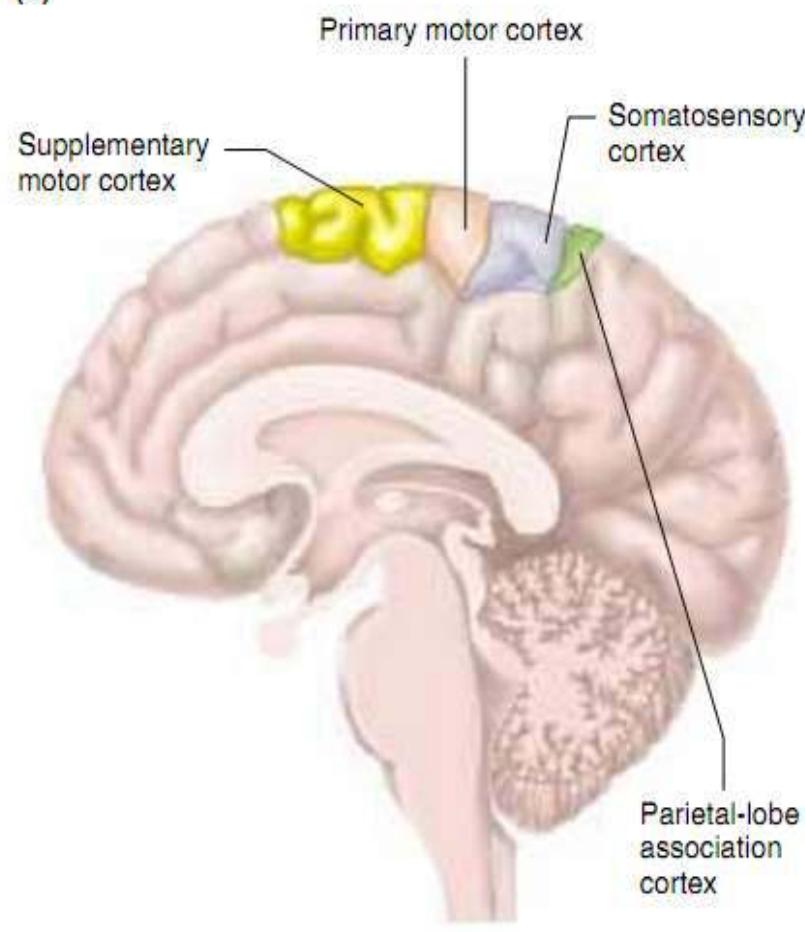
(a)**(b)**

FIGURE 12–10

(a) The major motor areas of cerebral cortex. (b) Midline view of the brain showing the supplementary motor cortex, which lies in the part of the cerebral cortex that is folded down between the two cerebral hemispheres. Other cortical motor areas also extend onto this area. The premotor, supplementary motor, primary motor, somatosensory, and parietal-lobe association cortices together make up the sensorimotor cortex.

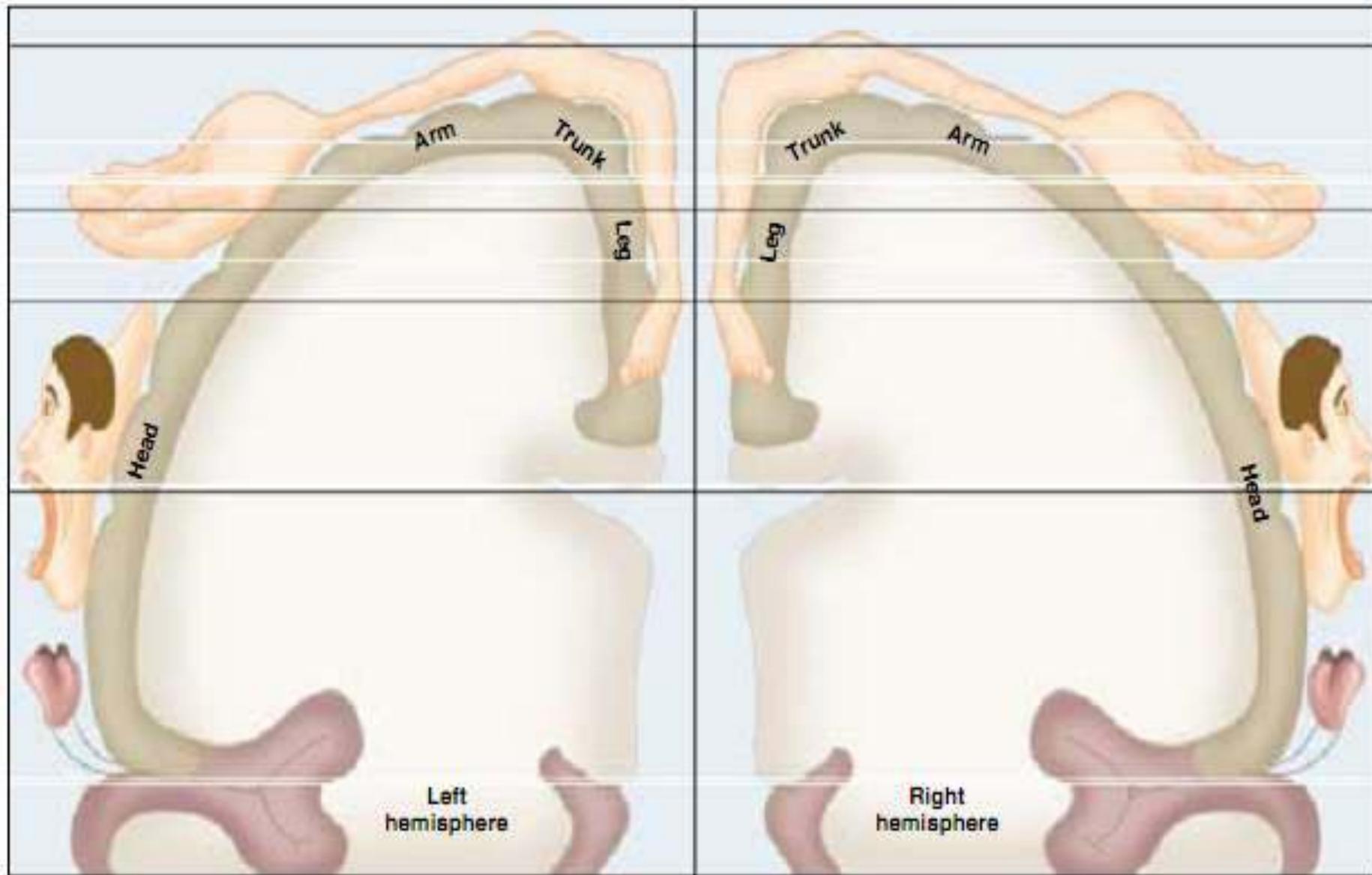


FIGURE 12-11

Representation of major body areas in primary motor cortex. Within the broad areas, however, no one area exclusively controls the movement of a single body region, and there is much overlap and duplication of cortical representation.

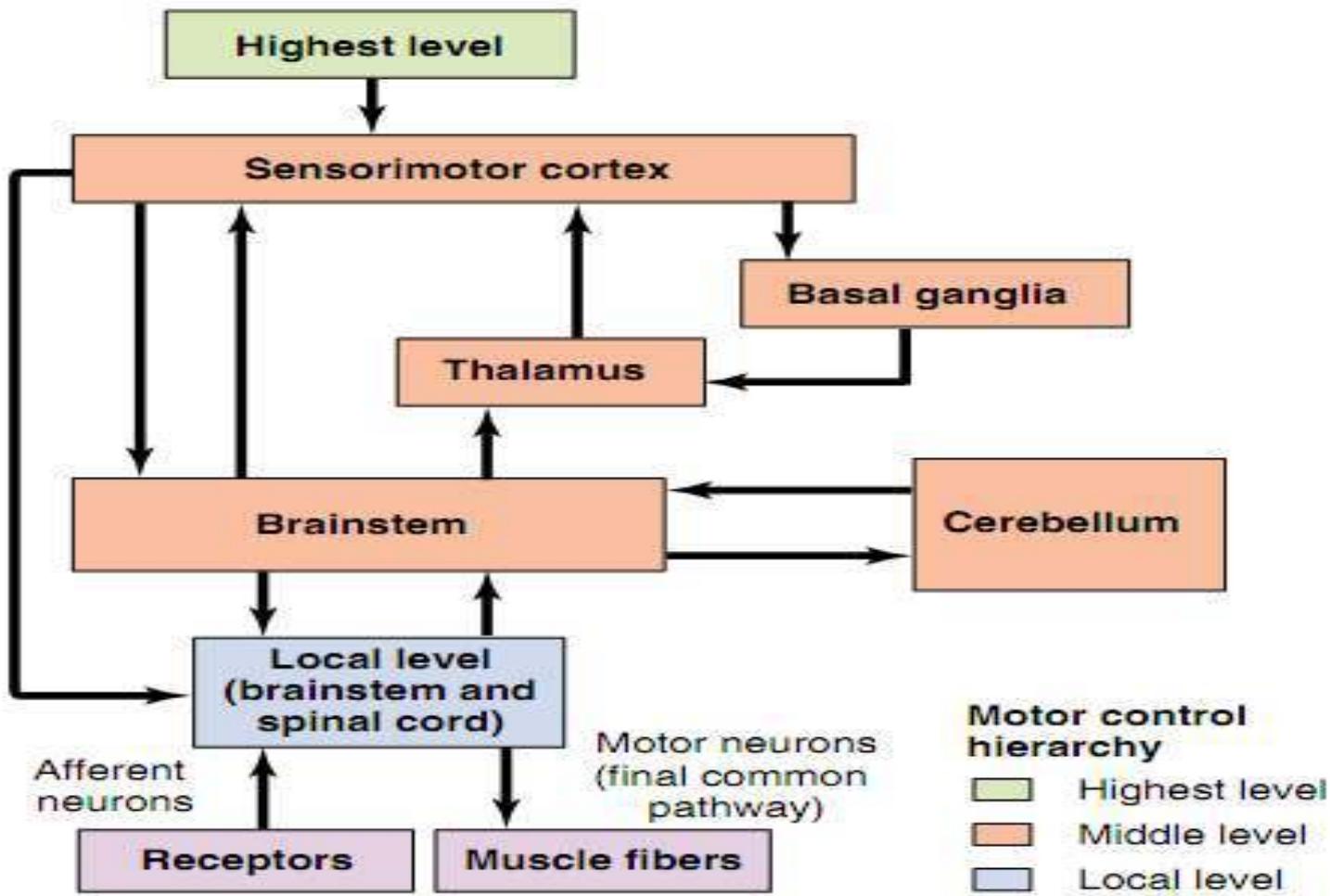
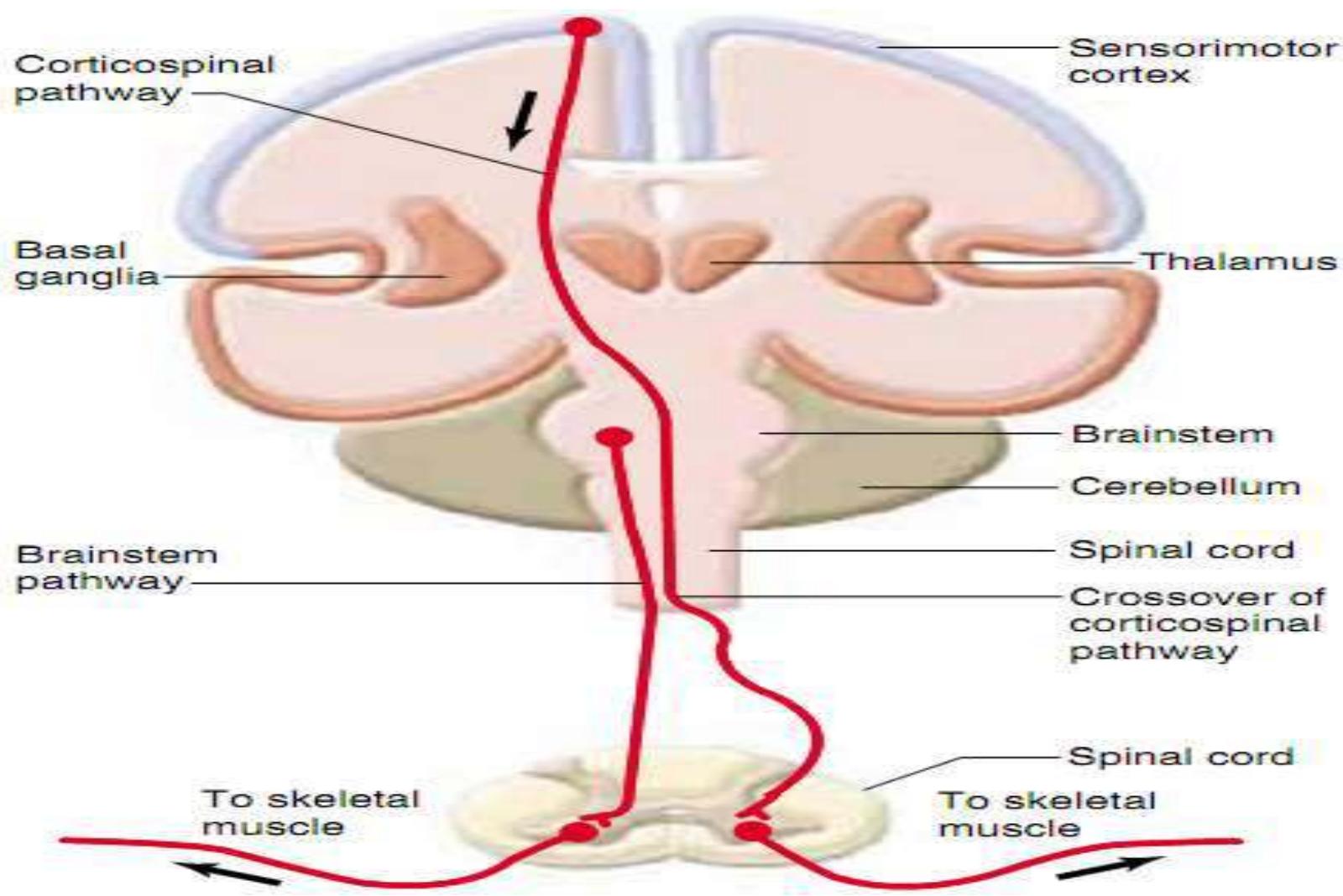


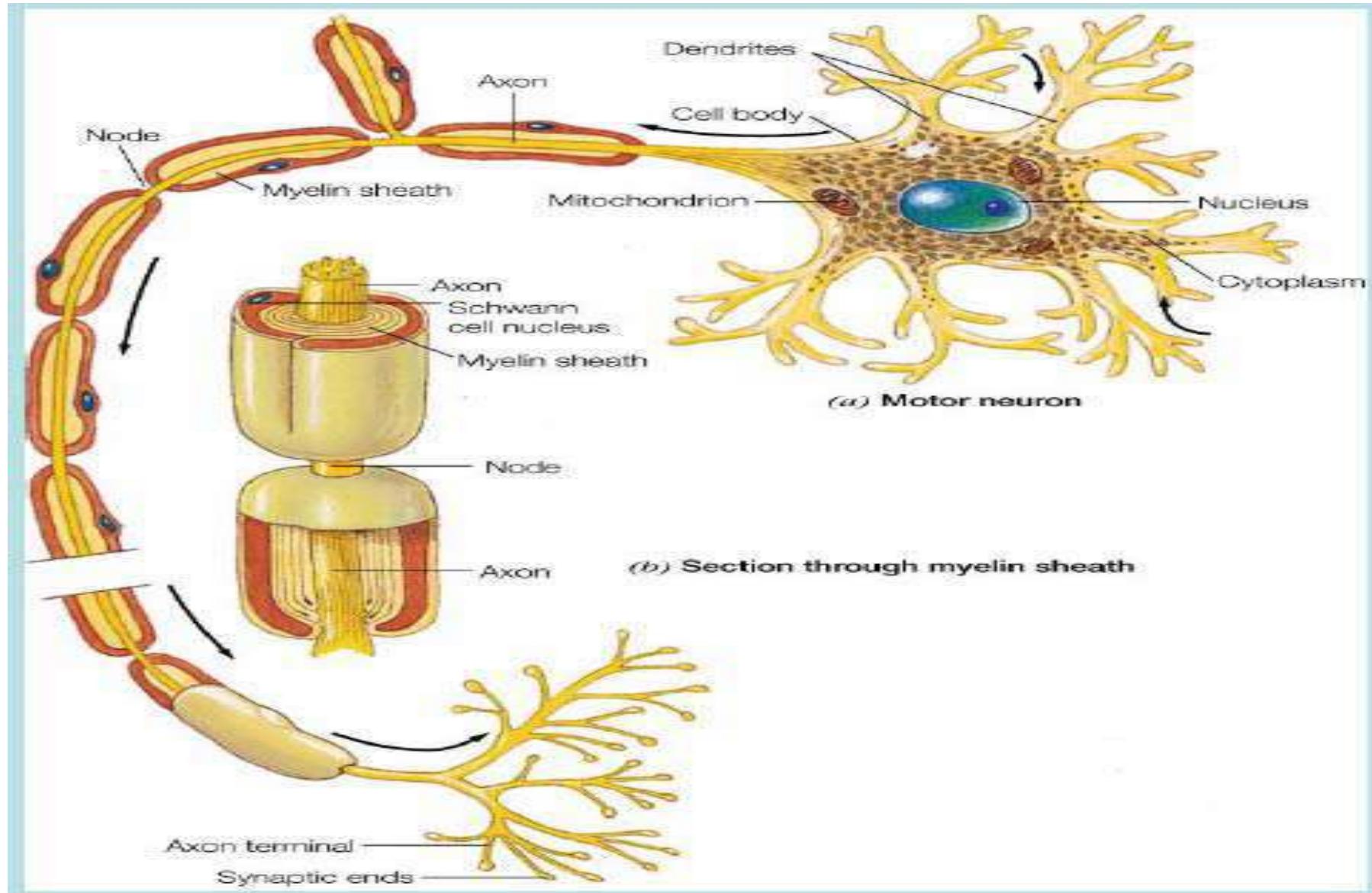
FIGURE 12–1

The conceptual hierarchical organization of the neural systems controlling body movement. All the skeletal muscles of the body are controlled by motor neurons. Sensorimotor cortex includes those parts of the cerebral cortex that act together to control skeletal-muscle activity. The middle level of the hierarchy also receives input from the vestibular apparatus and eyes (not shown in the figure).

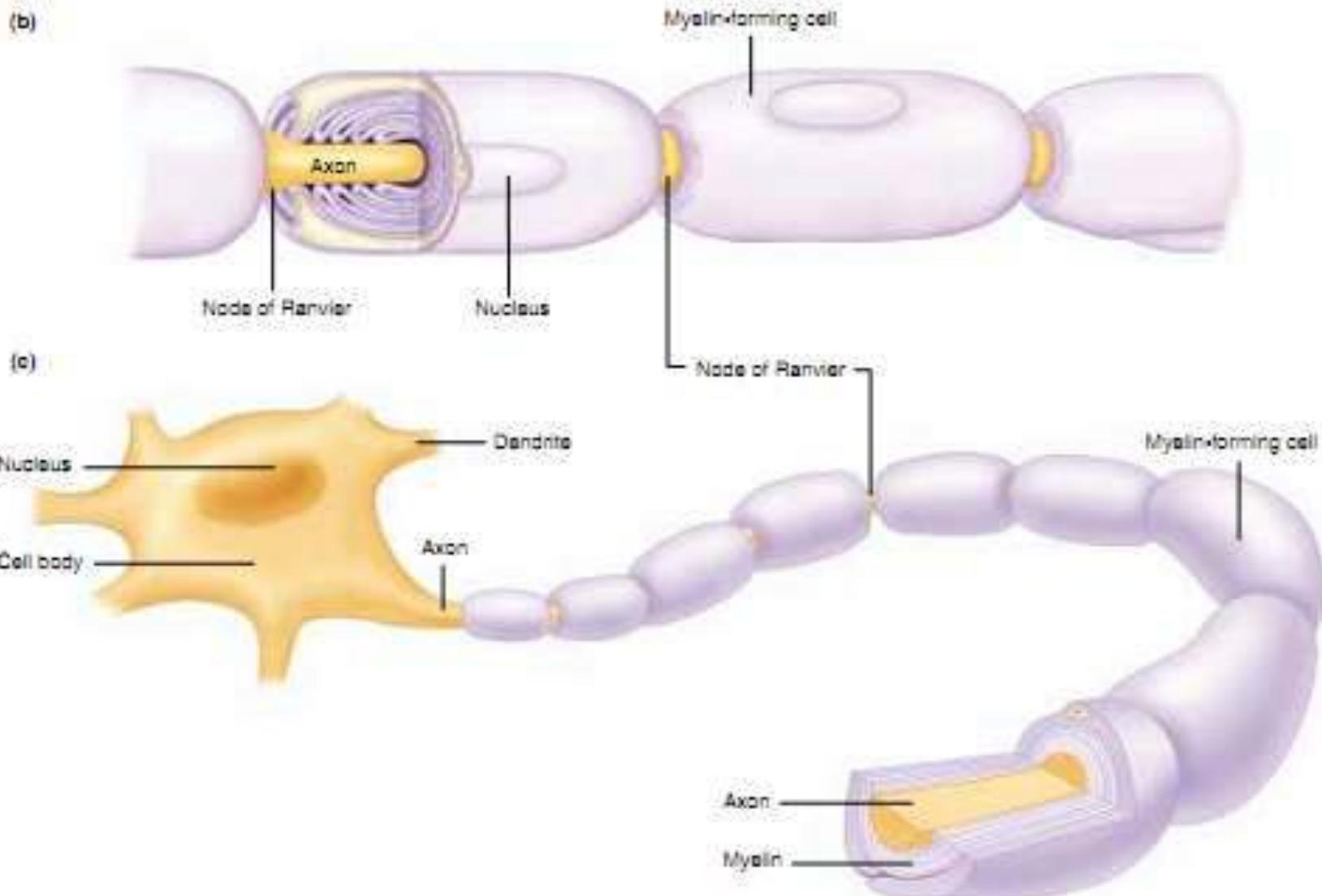


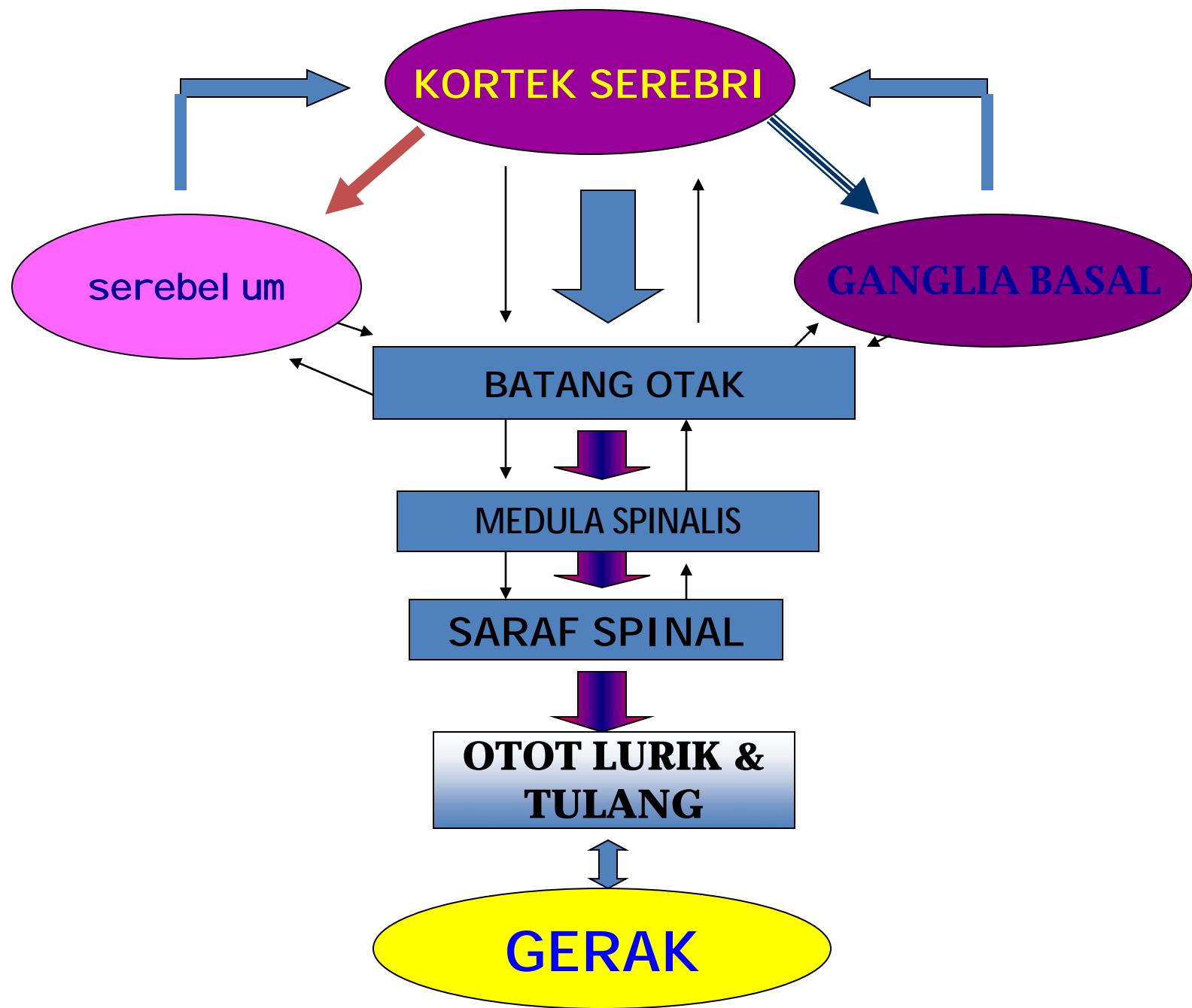
The **corticospinal** and **brainstem** pathways. Most of the corticospinal fibers cross in the brainstem to descend in the opposite side of the spinal cord, but the brainstem pathways are mostly uncrossed. Arrows indicate direction of action-potential propagation.

Generalized structure of a motor neuron



Neuron dan axon bermyelin





PENGATURAN GERAK PADA OTOT

- OTOT KELOMPOK FLEKSOR
- OTOT KELOMPOK EKSRENSOR
- NEURO TRANSMITER INHIBITORIK
- NEURO TRANSMITER EKSITATORIK

- KEDUA KELOMPOK SALING BEKERJA SECARA BEKERJA SECARA BERGANTIAN

SISTEM SARAF MOTORIK

- **KORTEK SEREBRI** : pusat saraf penggerak (mengatur kekuatan gerak)
- **GANGLIA BASALIS** (mengatur kecepatan gerak)
- **SEREBELUM** (mengatur keteraturan / akurasi gerak)
- **MEDULA SPINALIS** (mengatur tonus otot skelet)
- **SARAF SPINAL** (saraf perifer) (meneruskan/menghubungkan SSP (motorik) dengan efektor (otot skelet))

MOTOR CONTROL SYSTEM

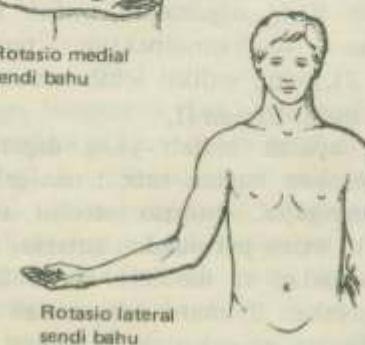
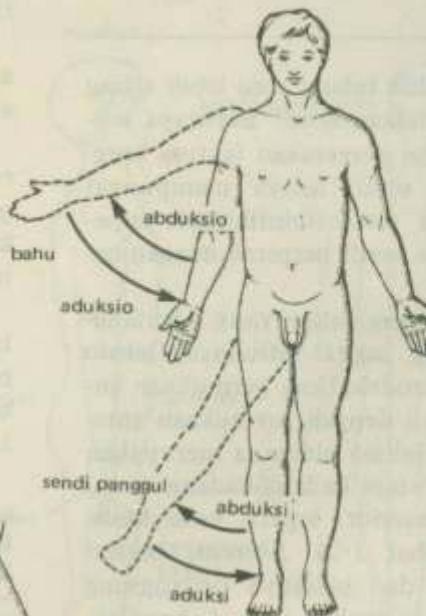
- Cerebral cortex
- Subcortical centers :
 - basal ganglia
 - cerebellum
 - mid brain
- Spinal cord
- Reseptor

Macam macam gerak

- **FLEKSI**
- **EKSTENSI**
- **ADDUKSI**
- **ABDUKSI**
- **ENDOROTASI**
- **EKSOROTASI**
- **SUPINASI**
- **PRONASI**

Macam macam gerak kolumna vertebralis

- **Antefleksi**
- **Retrofleksi**
- **Laterofleksi kanan – kiri**
 - **Rotasi kanan - kiri**



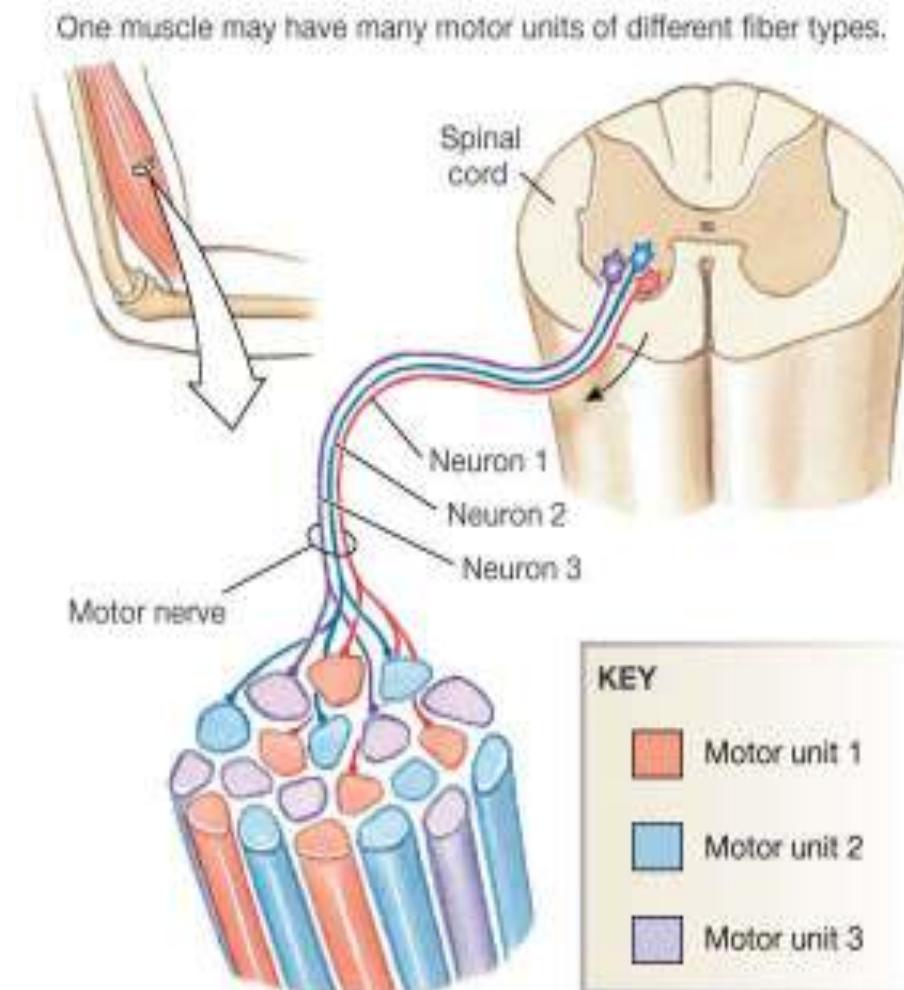
MOTOR UNIT

unit fungsional yang dikendalikan oleh sistem saraf motorik untuk menghasilkan gerakan

- **Alpha motoneurons**
serabut saraf tertentu yang mensarafi sekelompok otot tertentu (fleksor dan ekstensor)
- **Muscle fiber**
otot cepat
otot lambat

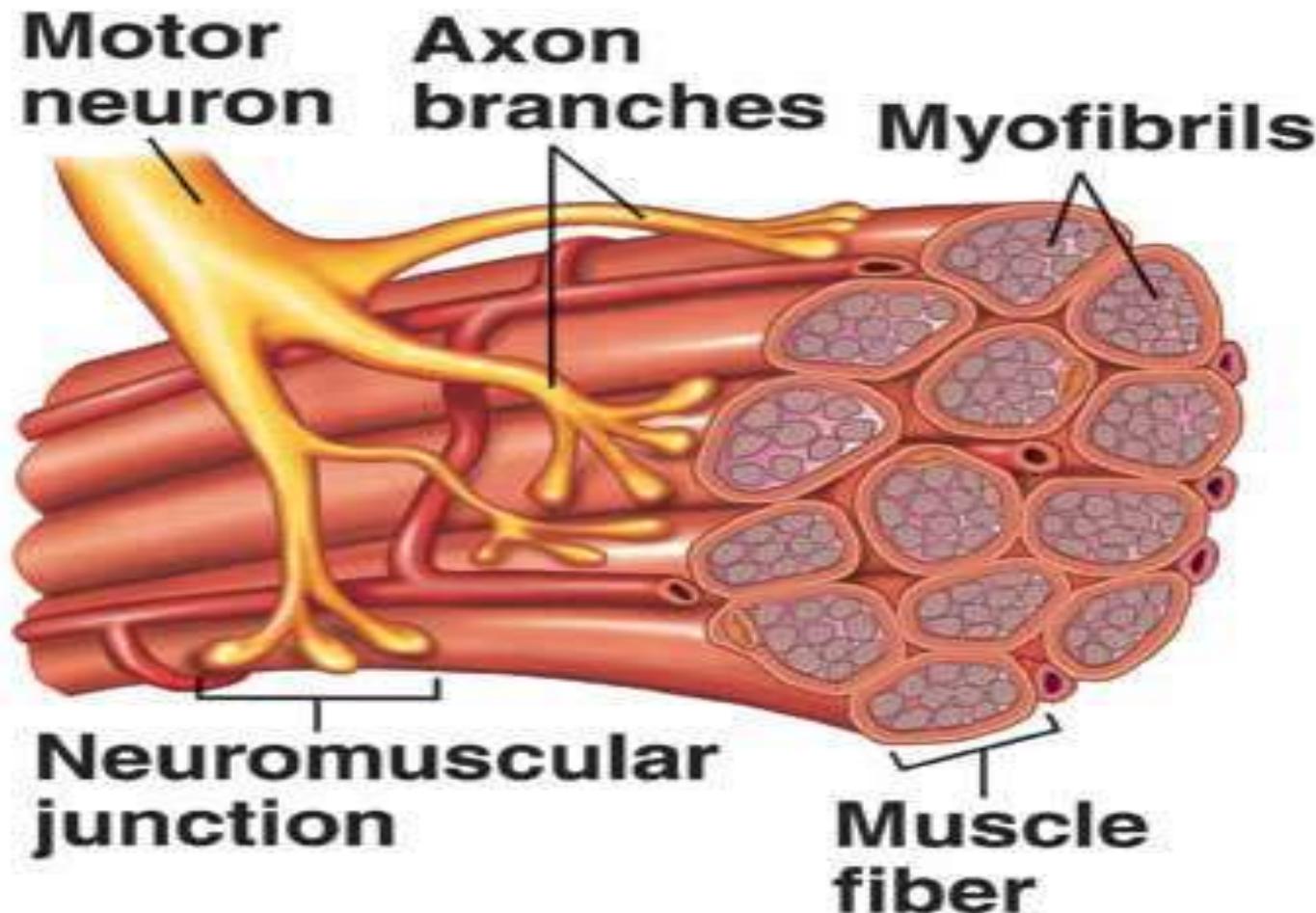
Motor Unit: Fibers Innervated from 1 neuron

- "All or none" within each motor unit
- Fine touch
1:1 nerve to fiber
Finger tips
- Big muscles
1: 2000
Leg muscles



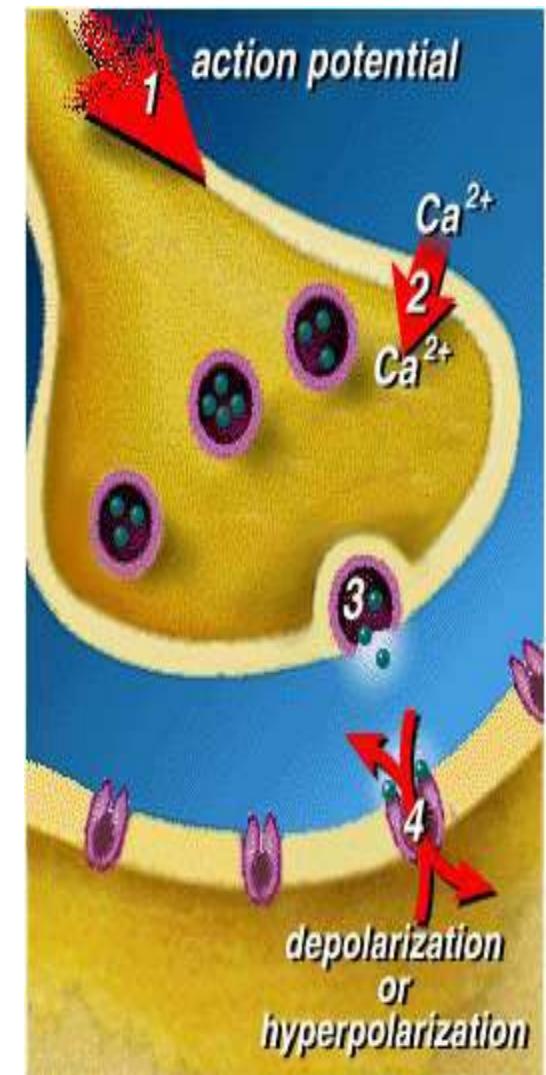
Neuromuscular junction

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

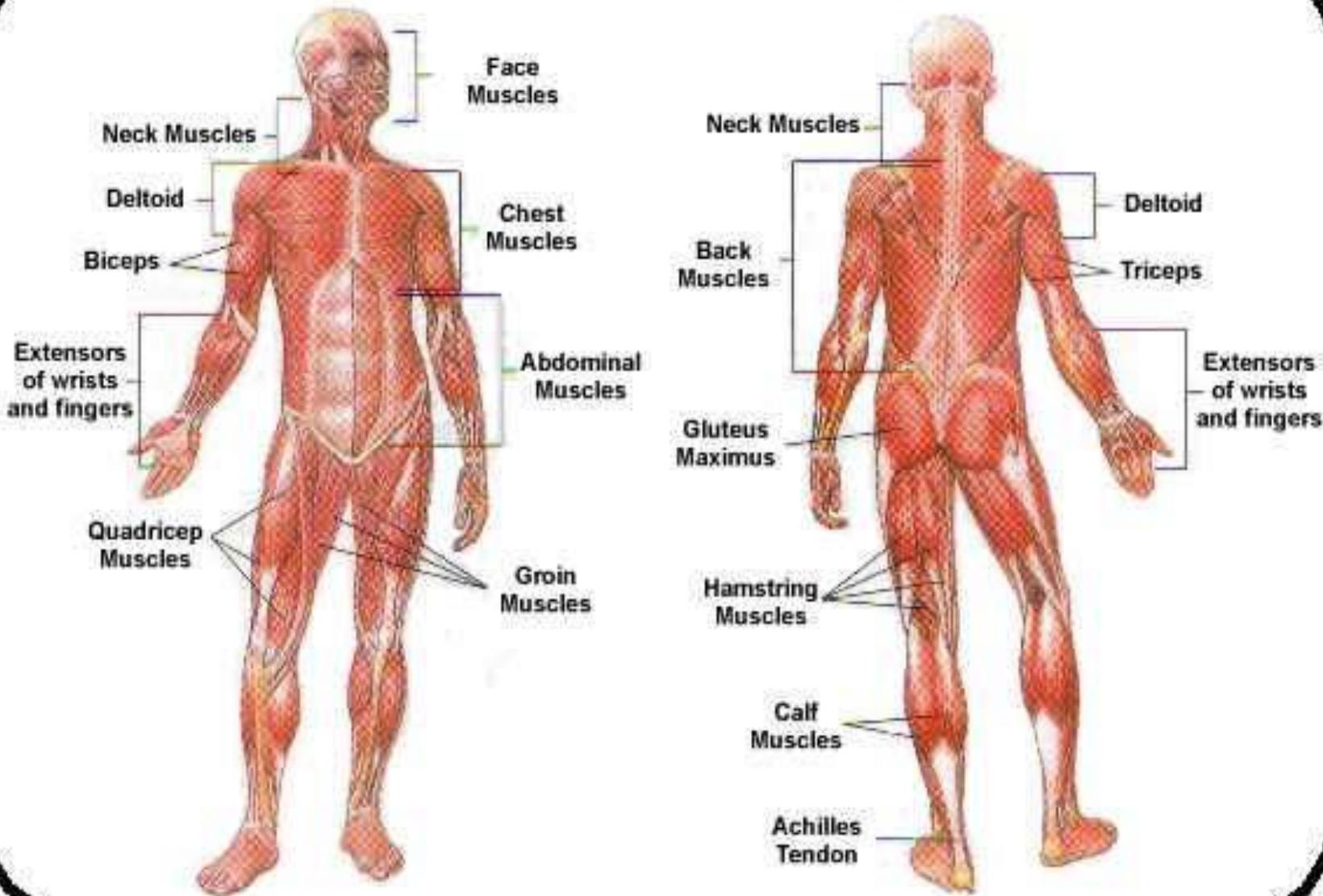


Hubungan saraf-otot (Myoneural junction)

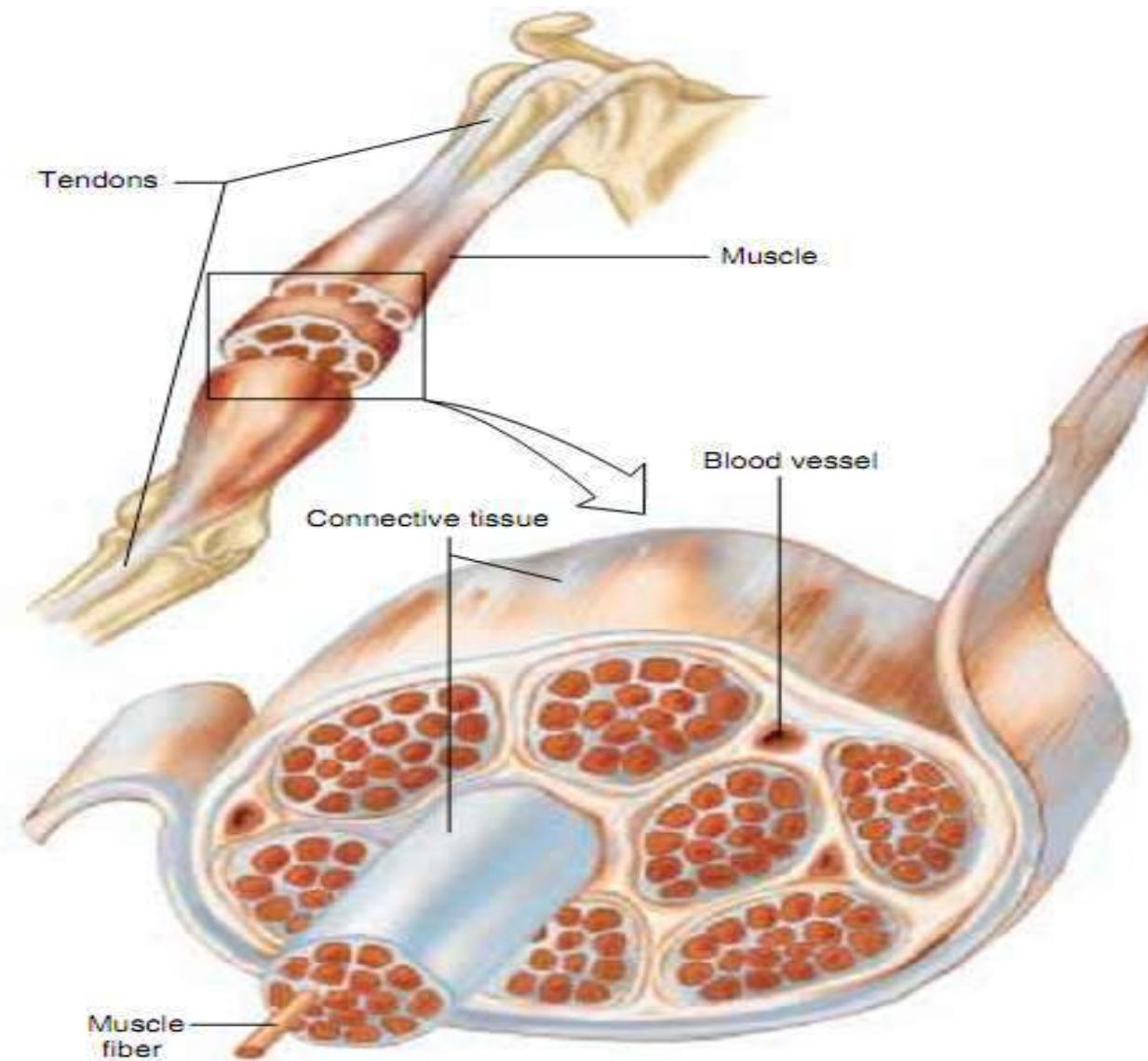
- ujung saraf mototik berhadapan dg memb sel otot
- Ujung saraf (motor end plate) tersebut mengandung neurotransmiter acetil kolin (AC) yang tersimpan dalam vesikel2
- Bila ada impuls mencapai ujung saraf, AC akan dilepaskan dari vesikel, selanjutnya berikatan dengan reseptor pada membran sel otot, menyebabkan peningkatan permeabilitas membran terhadap Na ---- depolarisasi -----potensial aksi lempeng ujung ----- kontraksi otot.



THE MUSCULAR SYSTEM



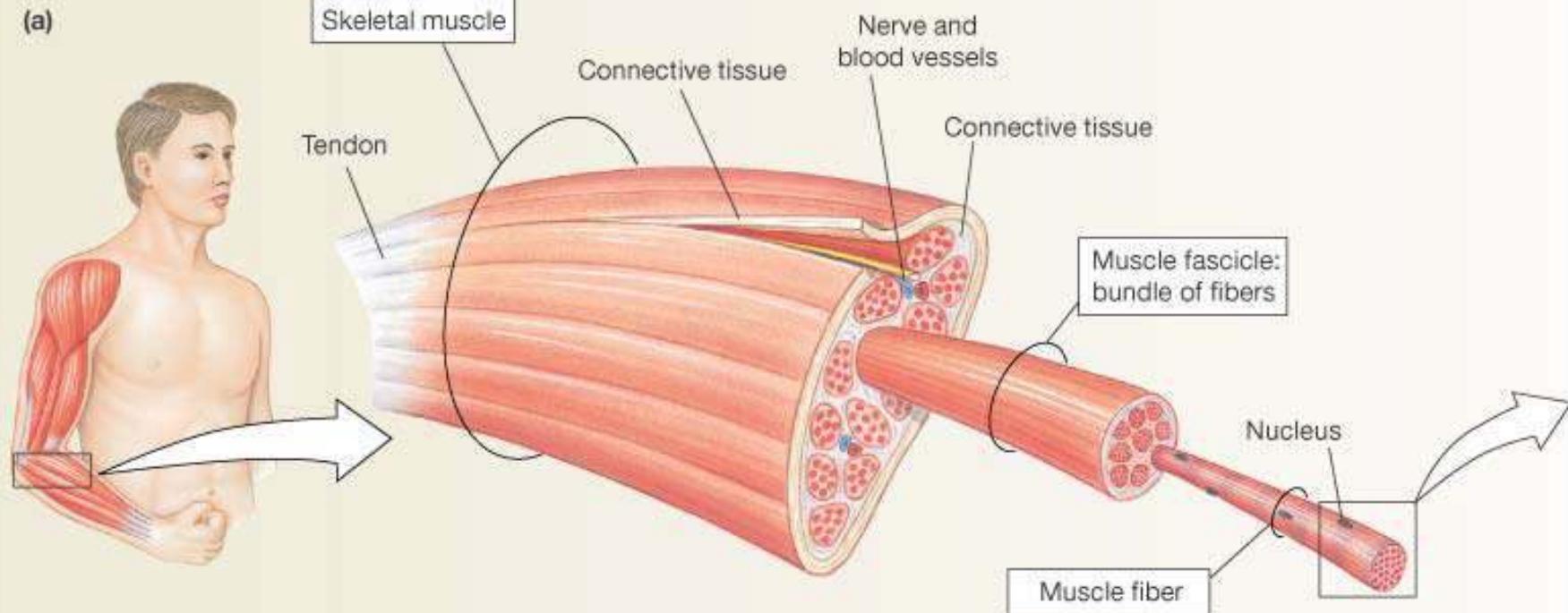
Skeletal – muscle fibre



In skeletal muscle, long multinucleated cells ("fibers") are surrounded by thin connective tissue and bundled into fascicles, which are in turn bundled, with thicker connective tissue, into a complete muscle. Muscle fibers terminate before ends of muscle, where connective tissue continues to form tendons. Nerves and blood vessels run throughout the muscle.

ORGANIZATION OF SKELETAL MUSCLE

(a)



Skeletal Muscle

- During development, many skeletal muscle cells fuse to form long multinucleated cells, which are incapable of mitosis to regenerate more muscle cells.
- Contraction is controlled by motor nerves, mostly under conscious control. Although often called "voluntary muscle," skeletal muscles sometimes function involuntarily.
- Skeletal muscles involved in restraining urination and defecation can be "conditioned" to function without conscious control. Postural muscles can function through spinal reflexes.
- Each motor nerve branches to innervate many fibers, constituting a "motor unit" which contracts together, although muscle fibers within this unit do not communicate directly with each other (no gap junctions).

Muskuler

- **Satu otot terdiri dari banyak sel otot dan setiap otot memiliki nilai ambang rangsang yang berbeda.**
- **Semakin besar rangsang maka semakin banyak sel otot berkontraksi, sehingga kuat kontraksinya semakin besar.**
- **Otot dapat membesar yang disebut dengan Hypertrophy.**

Muskuler

- Ada dua jenis otot lurik :
Fast twitch (ototputih) dan
Slow twitch (ototmerah)
- Otot diberi rangsang oleh banyak serabut saraf dan satu serabut saraf memerintah beberapa serabut otot.
- 1 serabut saraf memerintah kira-kira 150 serabut otot yang disebut dengan motor unit
- Makin banyak motor unit maka makin bagus gradasi kekuatan otot.

Fungsi Receptor yang erat dengan gerak

- ***Proprioceptif;***
kinestesi yang adadi sendi, otot, dan tendo
- ***Labyrinth :***
indra keseimbangan (otolith) dapat merasakan persepsi posisi tegak (berdiri) di atas bumi
- ***Penglihatan;***
berguna untuk lebih memantapkan berdiri tegak

EXITABLE CELL

- NERVE AND MUSCLE SELL
(skeletal, smooth & myocard)
- Capable to producing electrical signals when stimulated (kimia, fisika, suara, cahaya)
- Stimulasi → proses (perubahan permeabilitas membran)
→ output (kontraksi otot/impuls saraf)

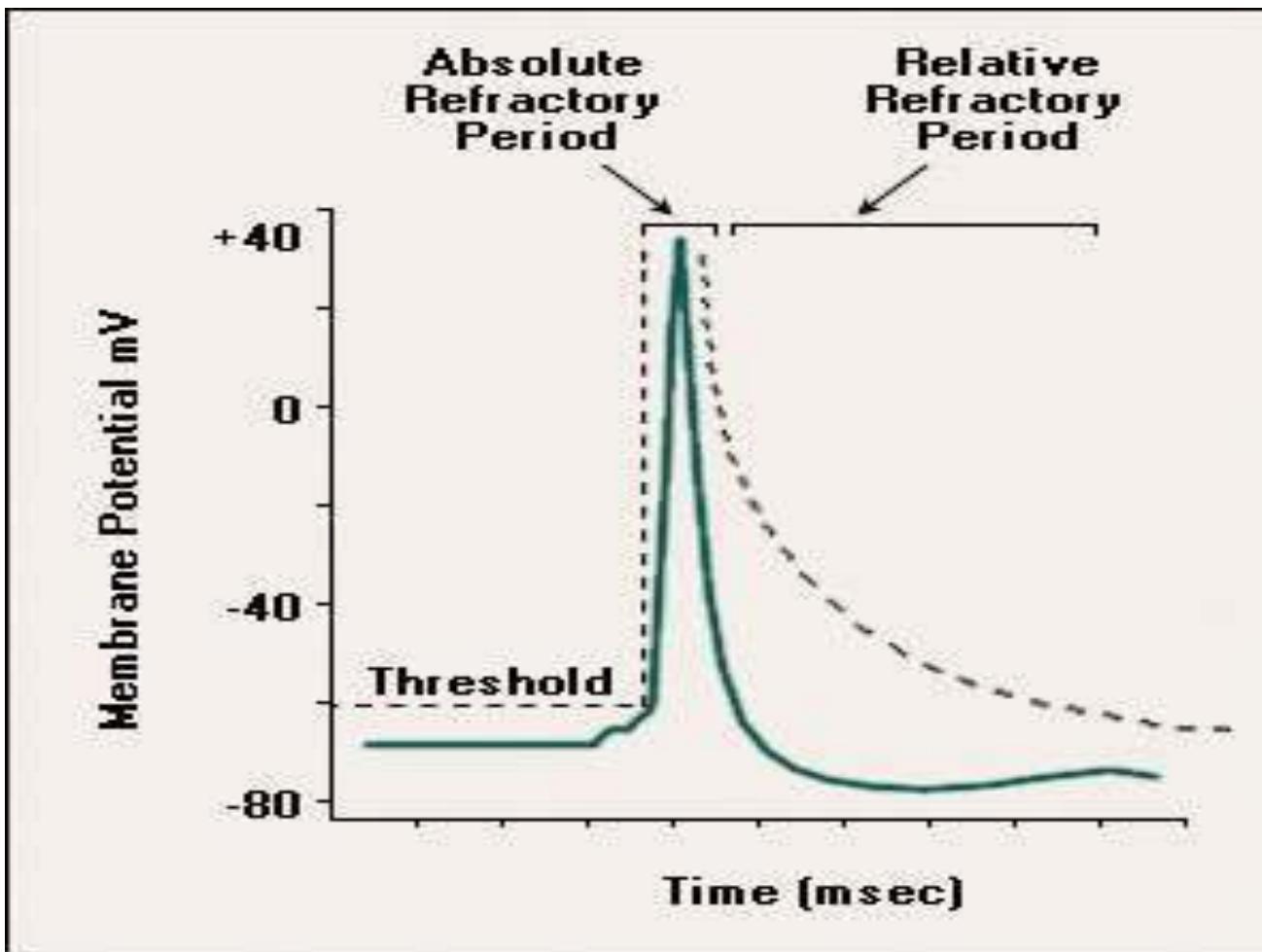
POTENSIAL MEMBRAN(PM)

- Perbedaan potensial listrik intra—ekstra sel
- P. M. Istirahat : potensial membran pada sel yang tdk aktif/rest/steady state (ekstrasel positif, intrasel negatif)
- Stimulasi → permeabilitas membran sel saraf berbah. Na^+ berdifusi masuk (depolarisasi) diikuti keluarnya K^+ secara difusi(repolarisasi)
→ impuls saraf (potensial aksi) yang akan diteruskan oleh akson

POTENSIAL AKSI

- T.A : fase laten---depolarisasi----spike---repolarisasi
- Fase laten : waktu sesaat setelah terjadi rangs---sampai terjadi depolarisasi
- Masa refrakter : periode dimana sel tdk mampu menjawab rangsangan berikutnya.
- Masa refarakter : absolut dan relatif
- Potensial aksi hanya akan timbul bila rangsangan tepat guna (mencapai ambang rangsang) sesuai hk. Gagal dan tuntas/all-or-none
- Dalam keadaan ttt. Rangsangan tdk akan diikuti depolarisasi tetapi berupa hiperpolarisasi (perubahan permeabilitas terhadap Clorida).

Siklus potensial aksi



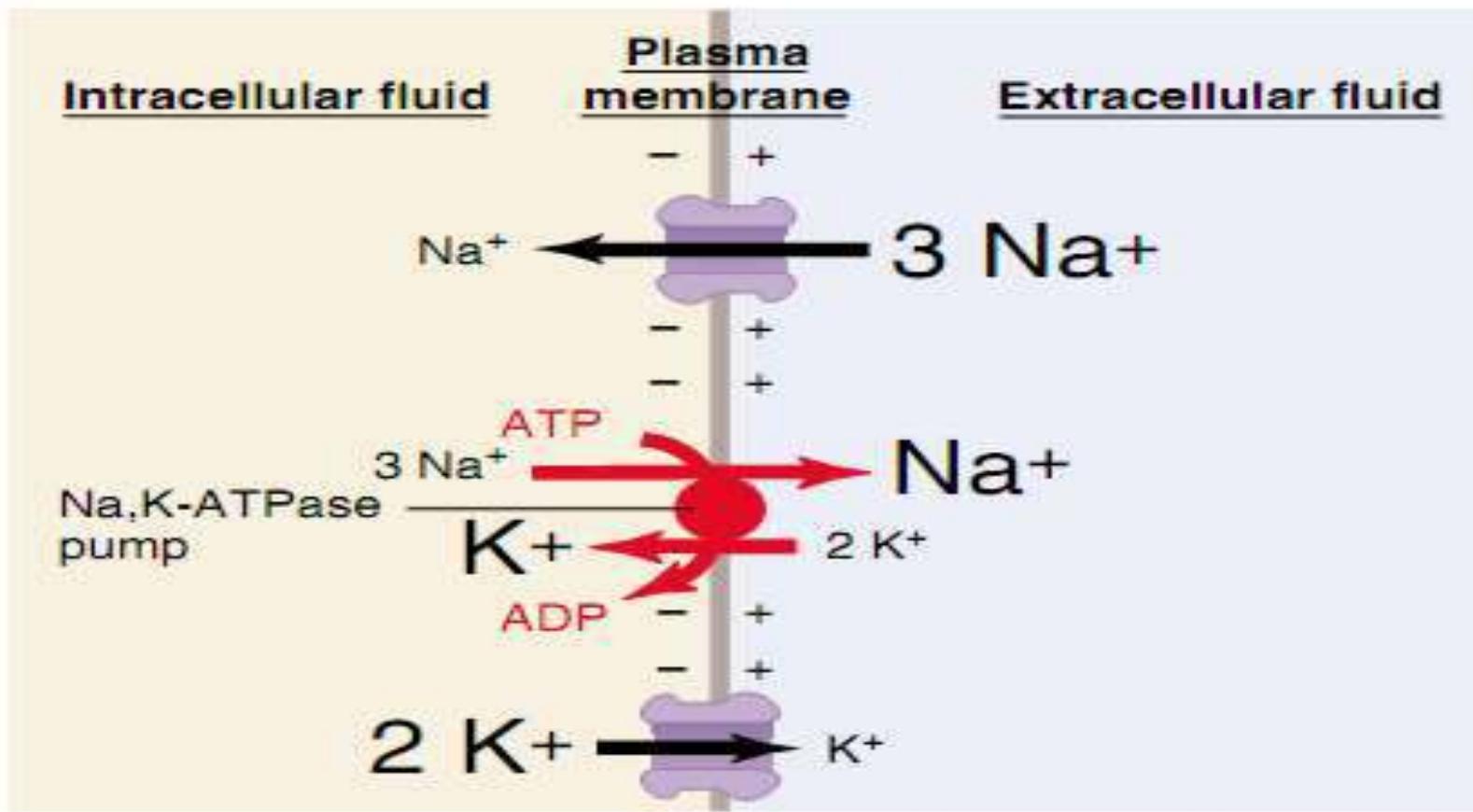


FIGURE 8–13

Movements of sodium and potassium ions across the plasma membrane of a resting neuron in the steady state. The passive movements (black arrows) are exactly balanced by the active transport (red arrows) of the ions in the opposite direction.

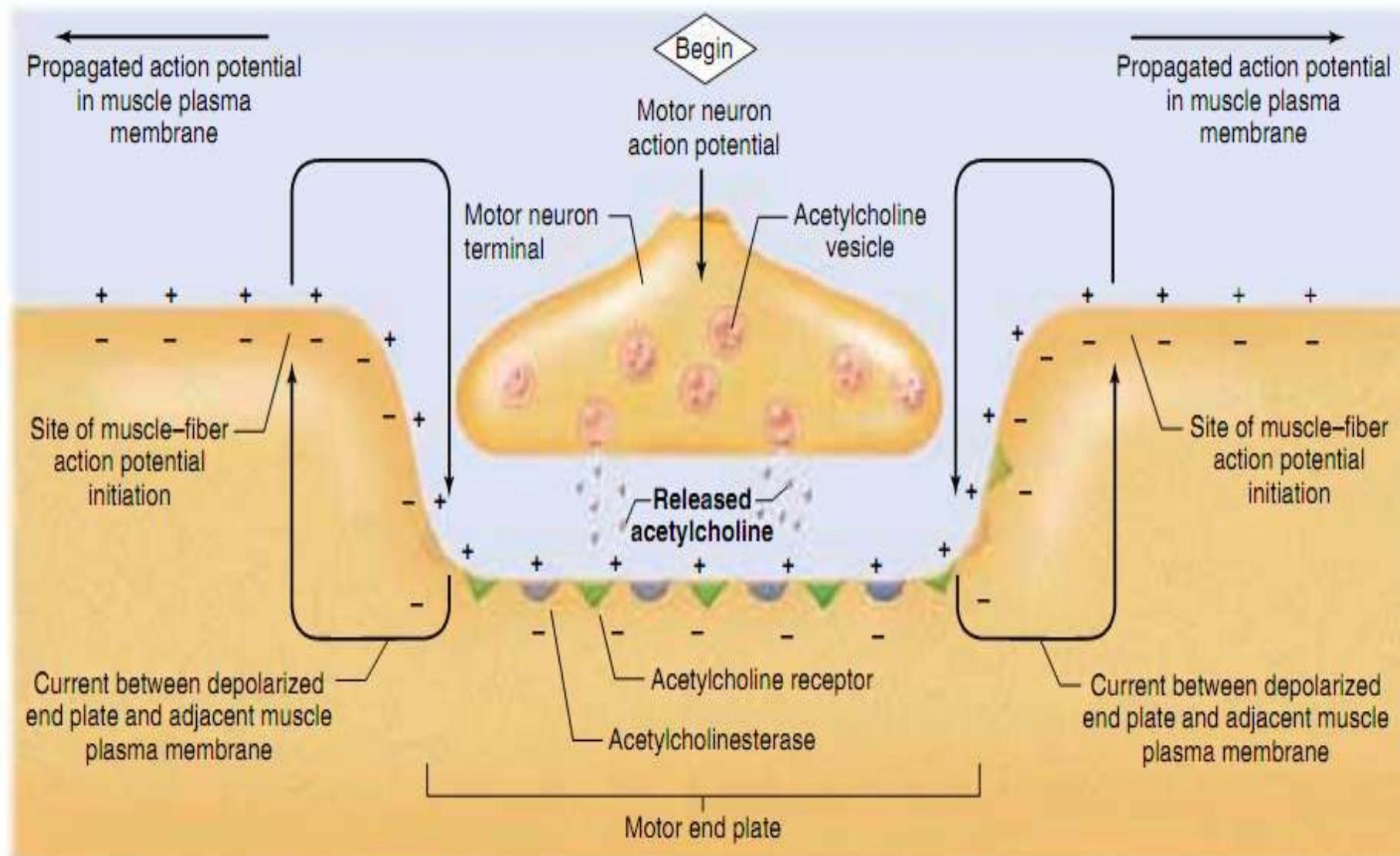
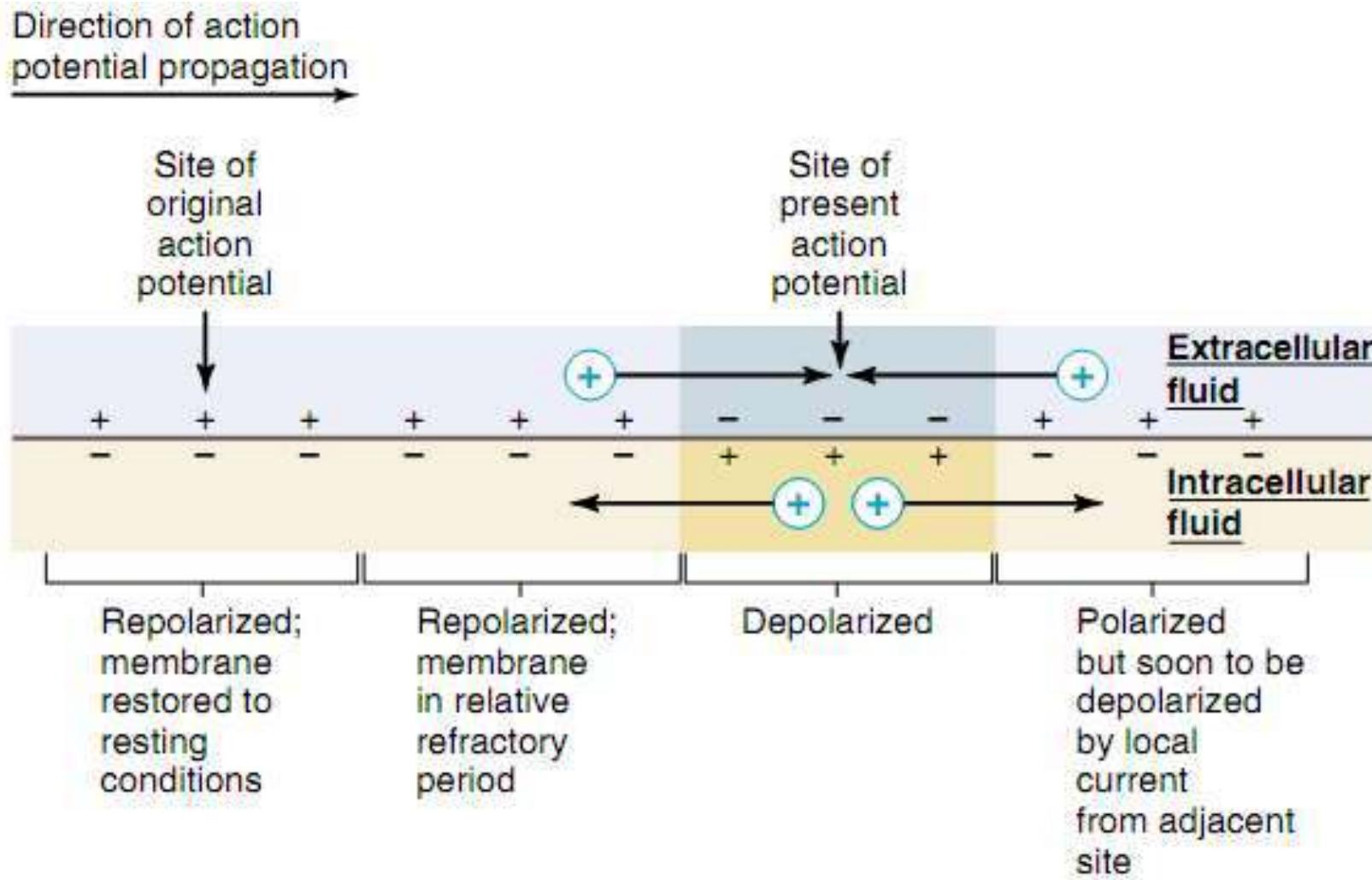
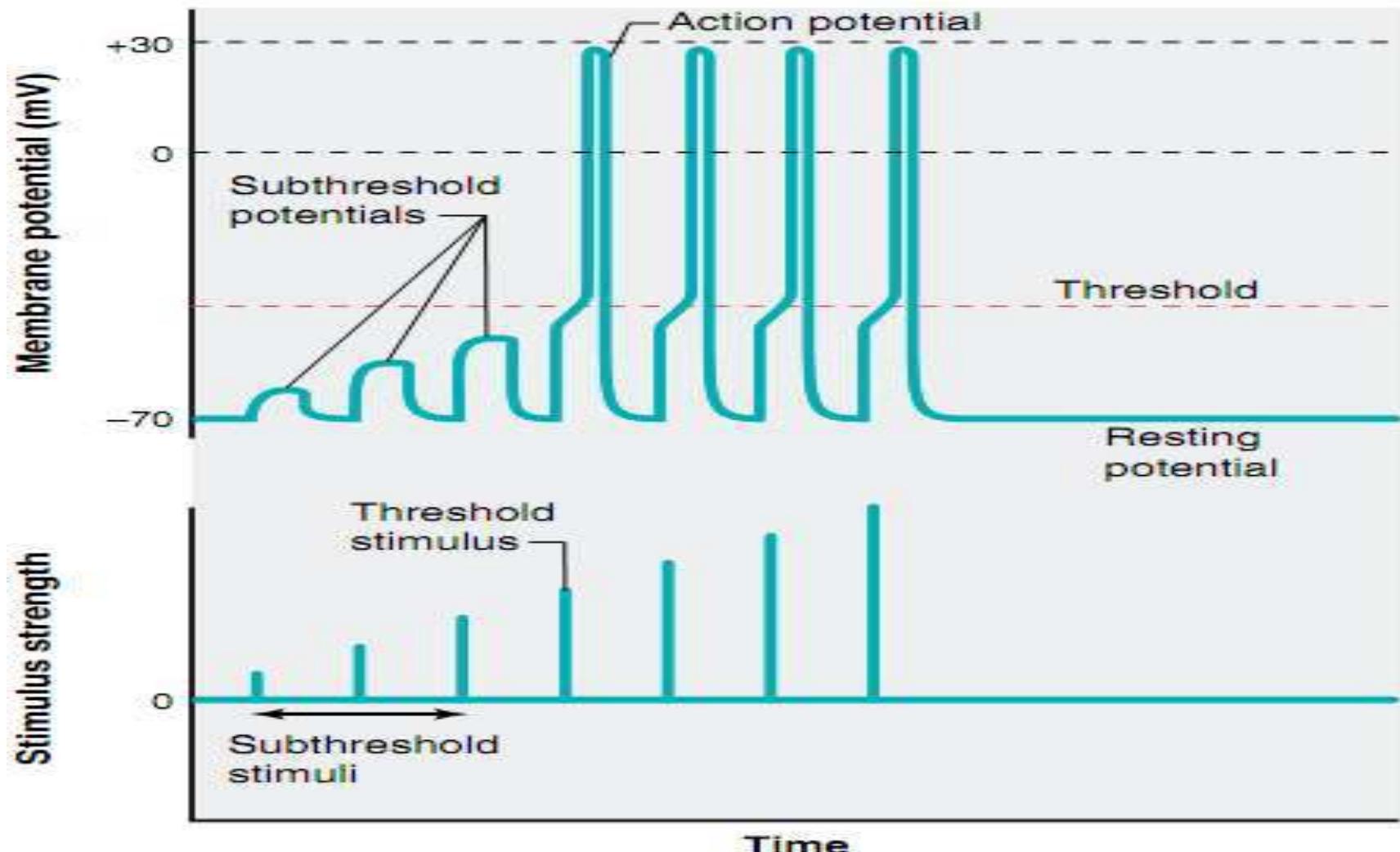


FIGURE 11–19

Events at a neuromuscular junction that lead to an action potential in the muscle-fiber plasma membrane. 

Propagation of an action potential along a plasma membrane.





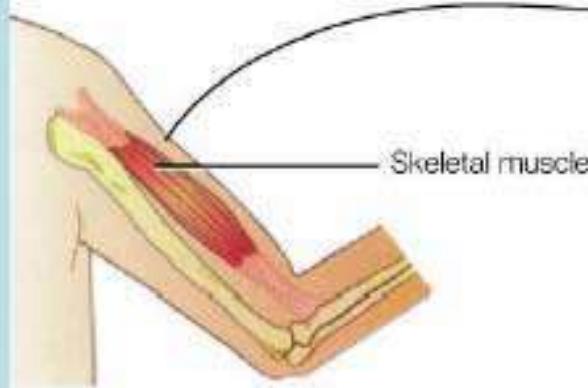
Changes in the membrane potential with increasing strength of depolarizing stimulus. When the membrane potential reaches threshold, action potentials are generated. Increasing the stimulus strength above threshold level does not cause larger action potentials. (The afterhyperpolarization has been omitted from this figure for clarity, and the absolute value of threshold is not indicated because it varies from cell to cell.)

OTOT RANGKA/OTOT LURIK/SERAN LINTANG

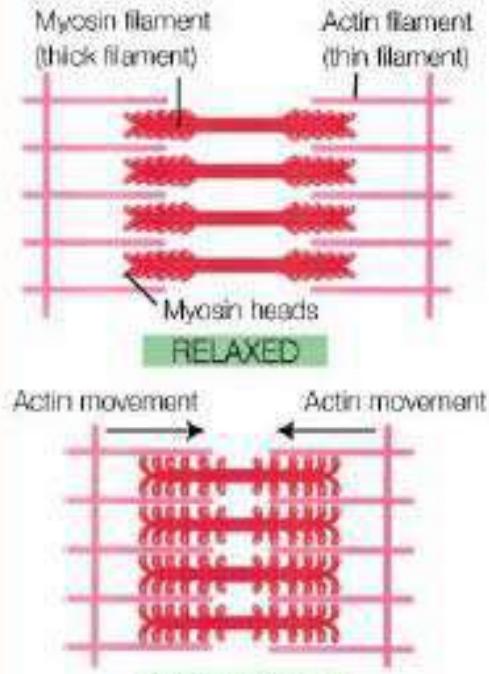
- Tersusun sejajar, panjang, silindrik, berinti banyak
- Membran sel tdk saling berhubungan satu dengan yang lainnya (tdk terdapat jembatan sinsitium antar sel)
- Tiap serabut otot tersusun atas myofibril yang terbagi atas sistem tubuler
- Tiap myofibril scr fungsional terbagi menjadi filamen tebal dan filamen halus yang mengandung protein kontarktil (aktin, myosin, troponin dan tropomyosin)

Ianjutan

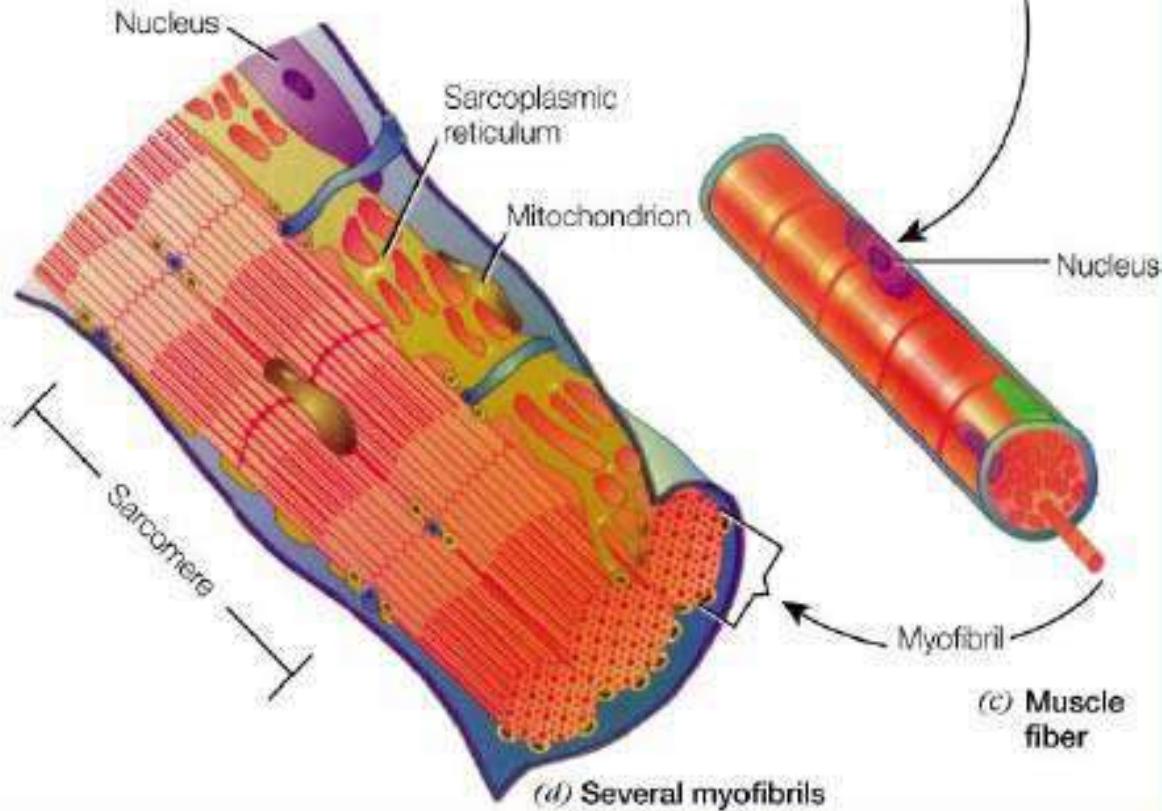
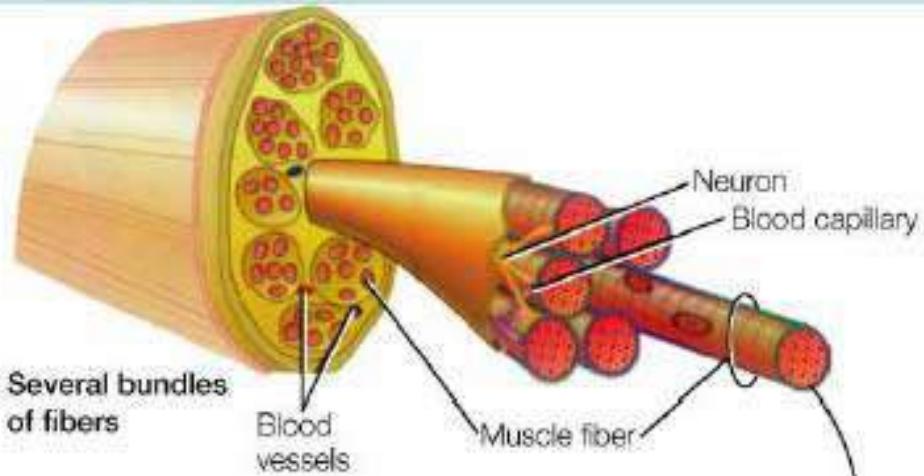
- Filamen tebal/Filamen myosin (terbentang sepanjang PITA A) : tersusun oleh myosin. Ditengahnya ada pita H
- Filamen tipis/fil aktin (PITA I) : tersusun oleh aktin, troponin dan tropomyosin. Ditengahnya ada garis Z. Bangunan beruntai ganda, melekat pada garis Z. Berselang seling dengan fil tebal.
- Antara garis Z sampai Z lainnya disebut sarkomer



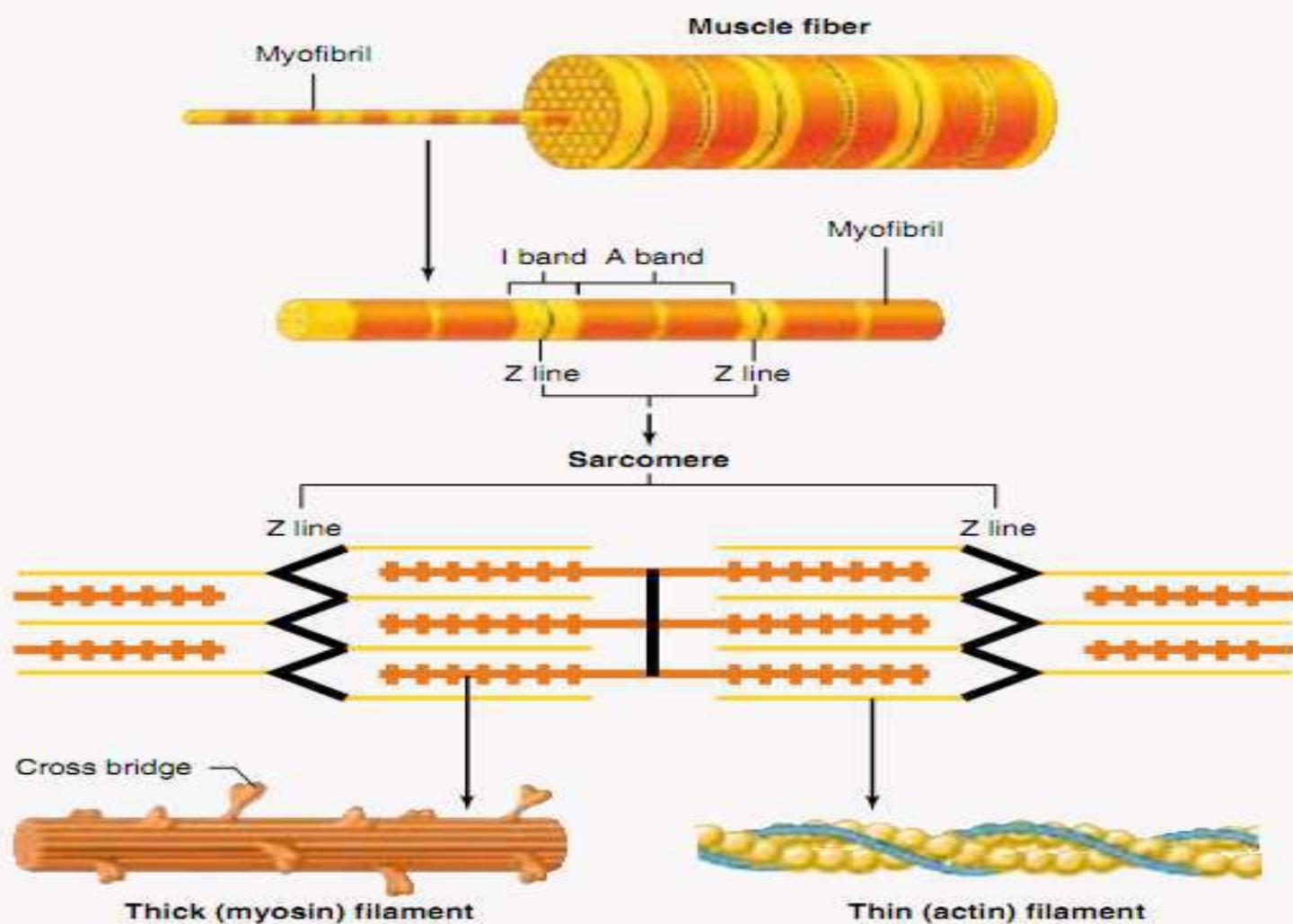
(a) Entire skeletal muscle



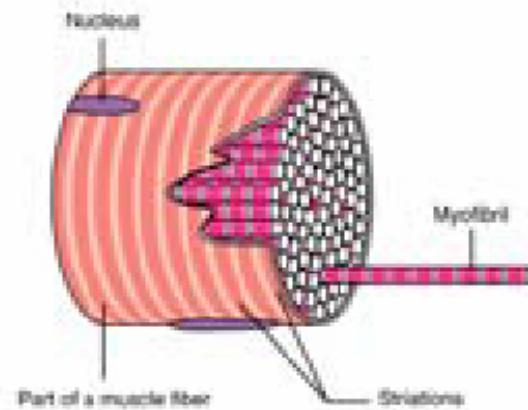
(e) Thin and thick filaments



Arrangement of filaments in skeletal muscle fibre



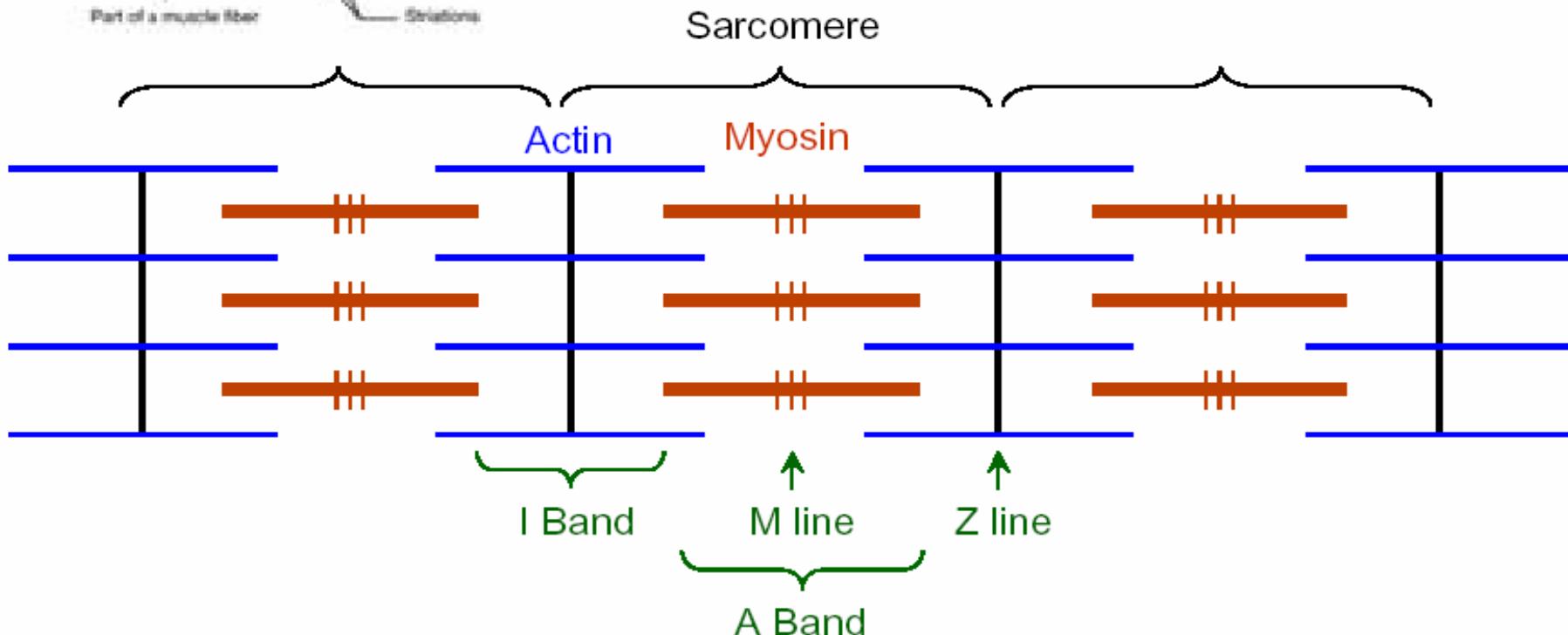
Microanatomy of Muscle:



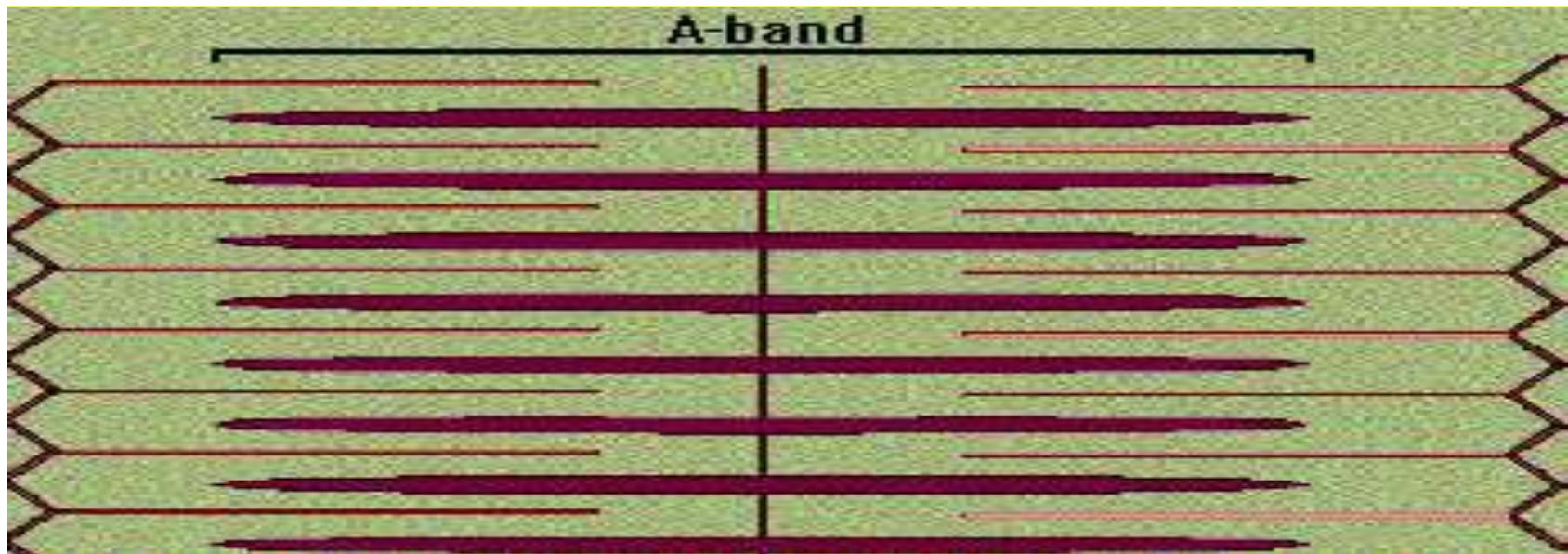
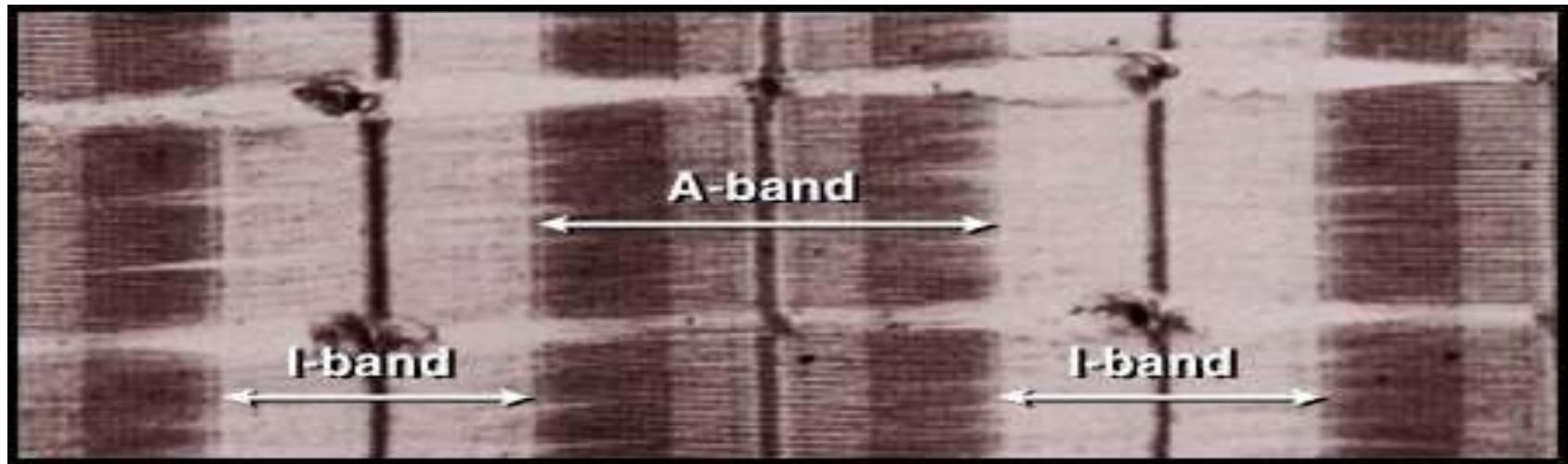
Myofibrils contain myofilaments (protein):

- 1) **Actin** (Thin filament)
- 2) **Myosin** (Thick filament)

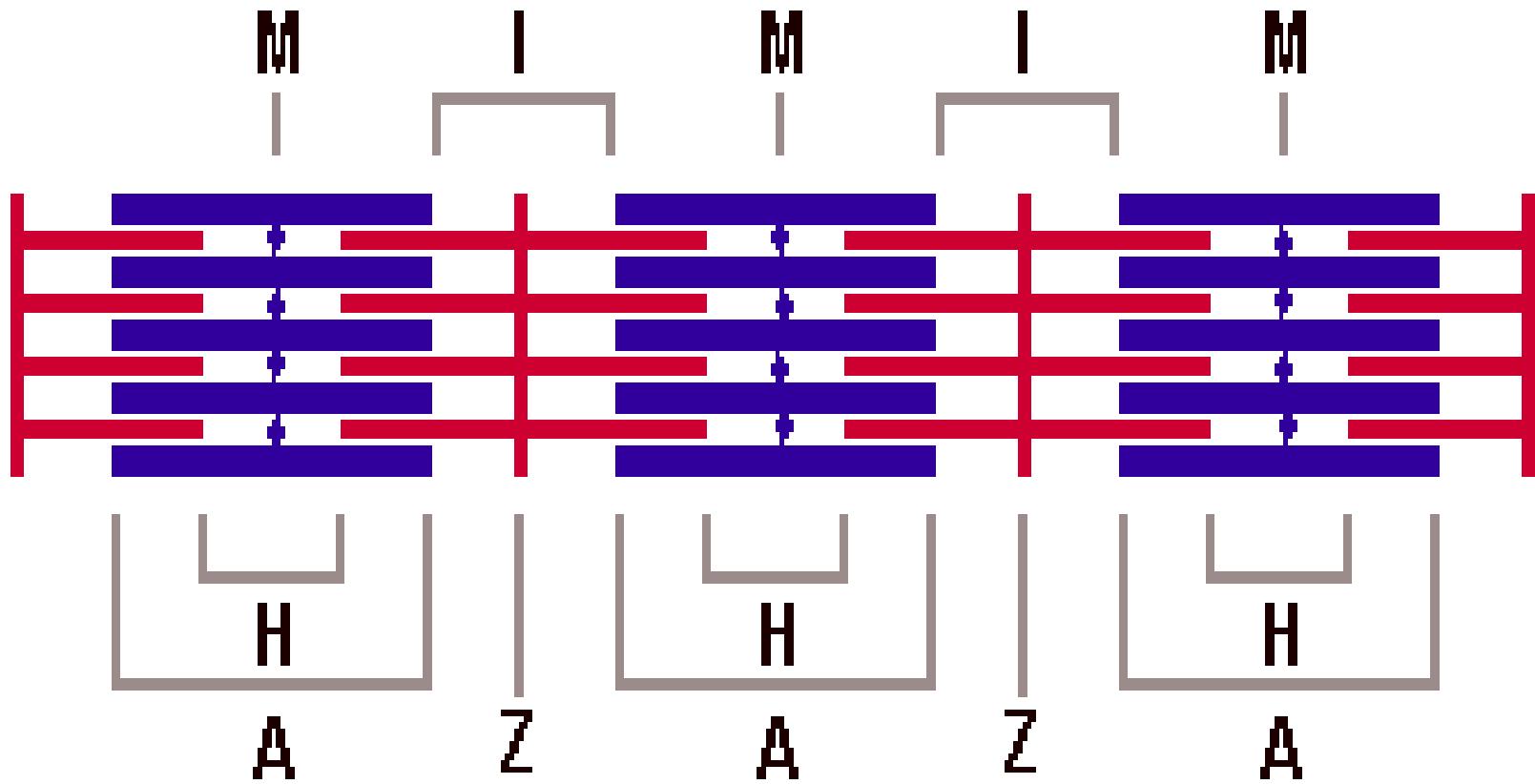
Sarcomere: Repeating units of myofilaments (~ 10,000 / cell)



Gambar sarkomer

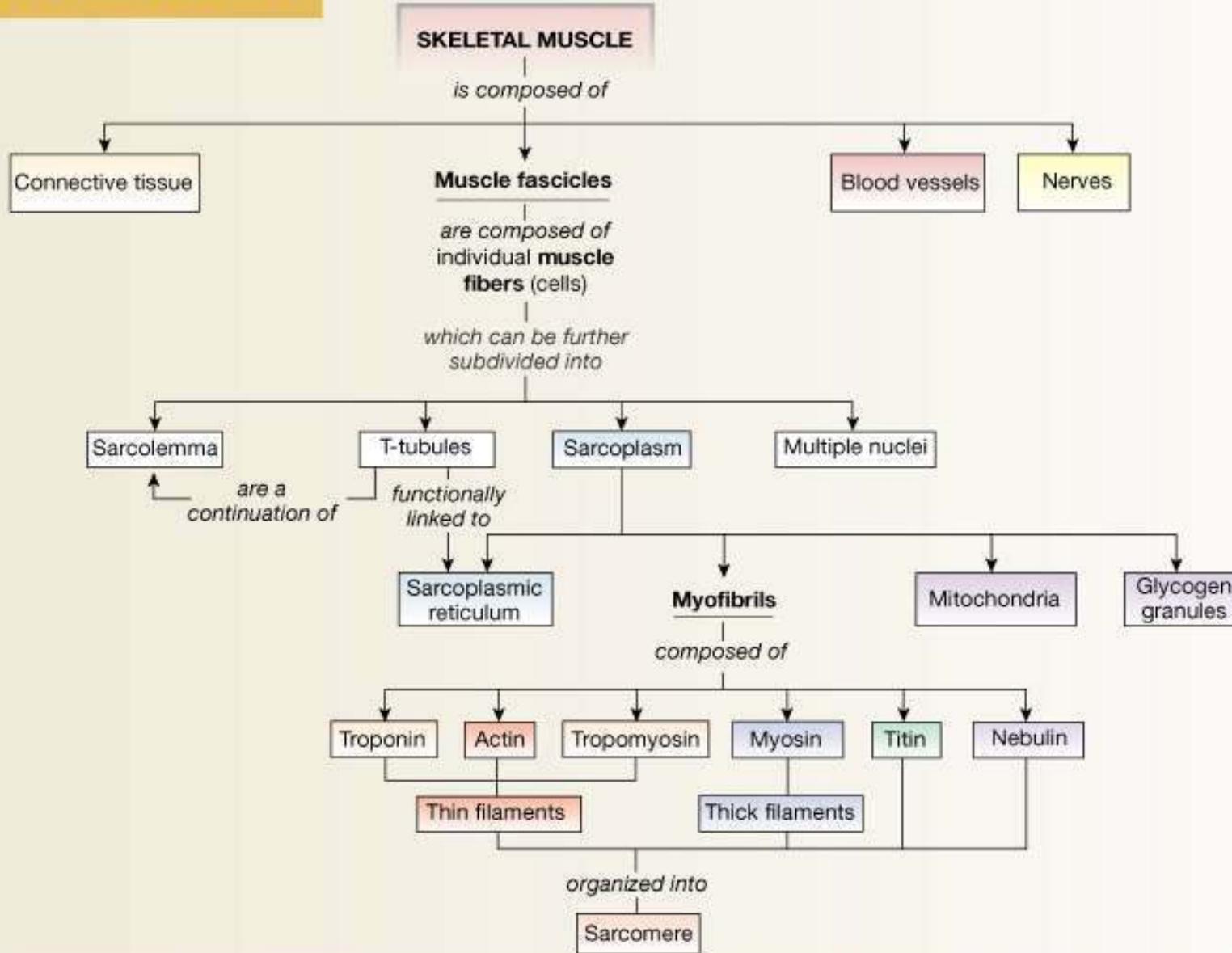


 myosin  actin



Bands and lines in the contractile
apparatus of skeletal muscle

ORGANIZATION OF SKELETAL MUSCLE



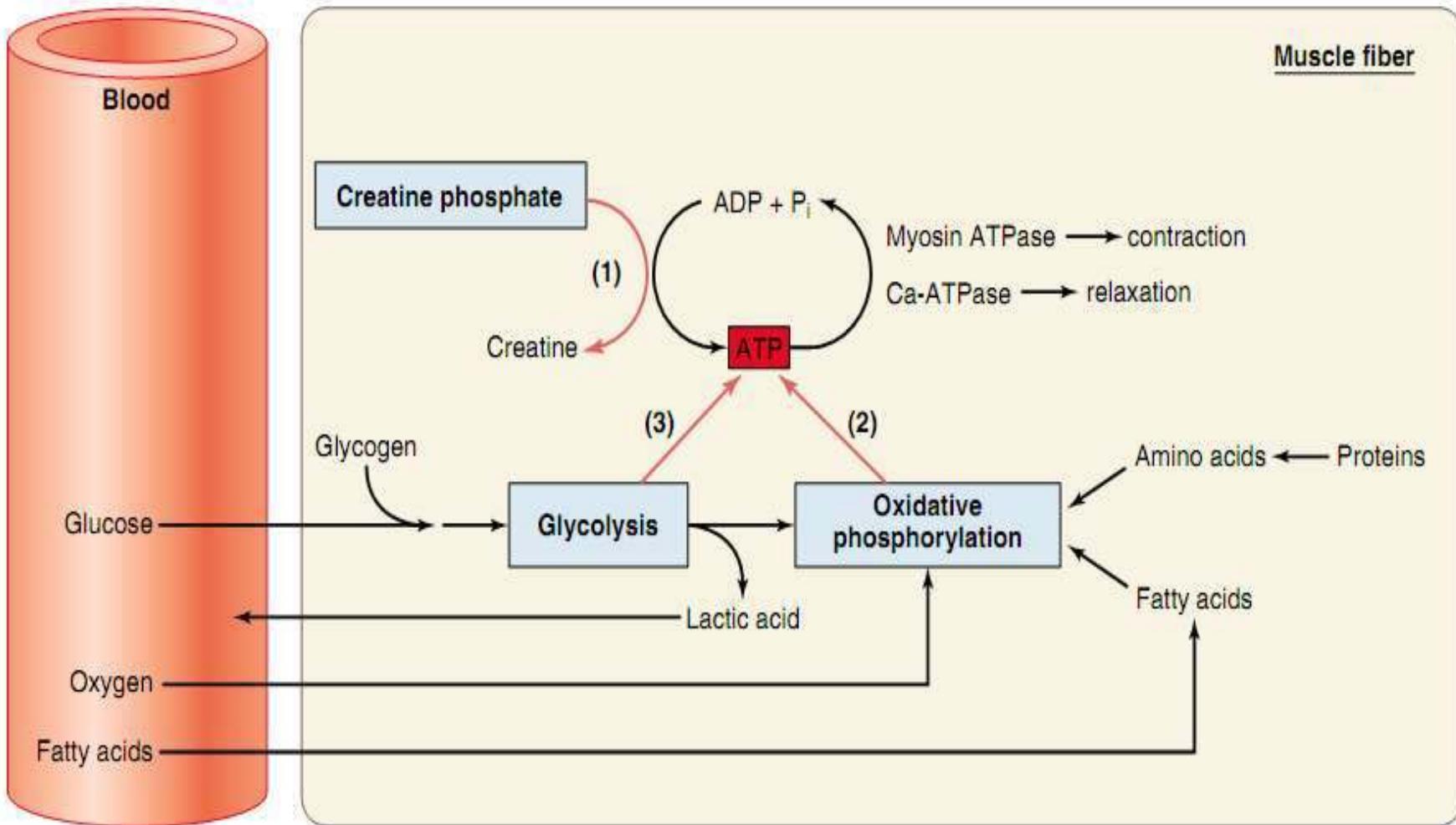
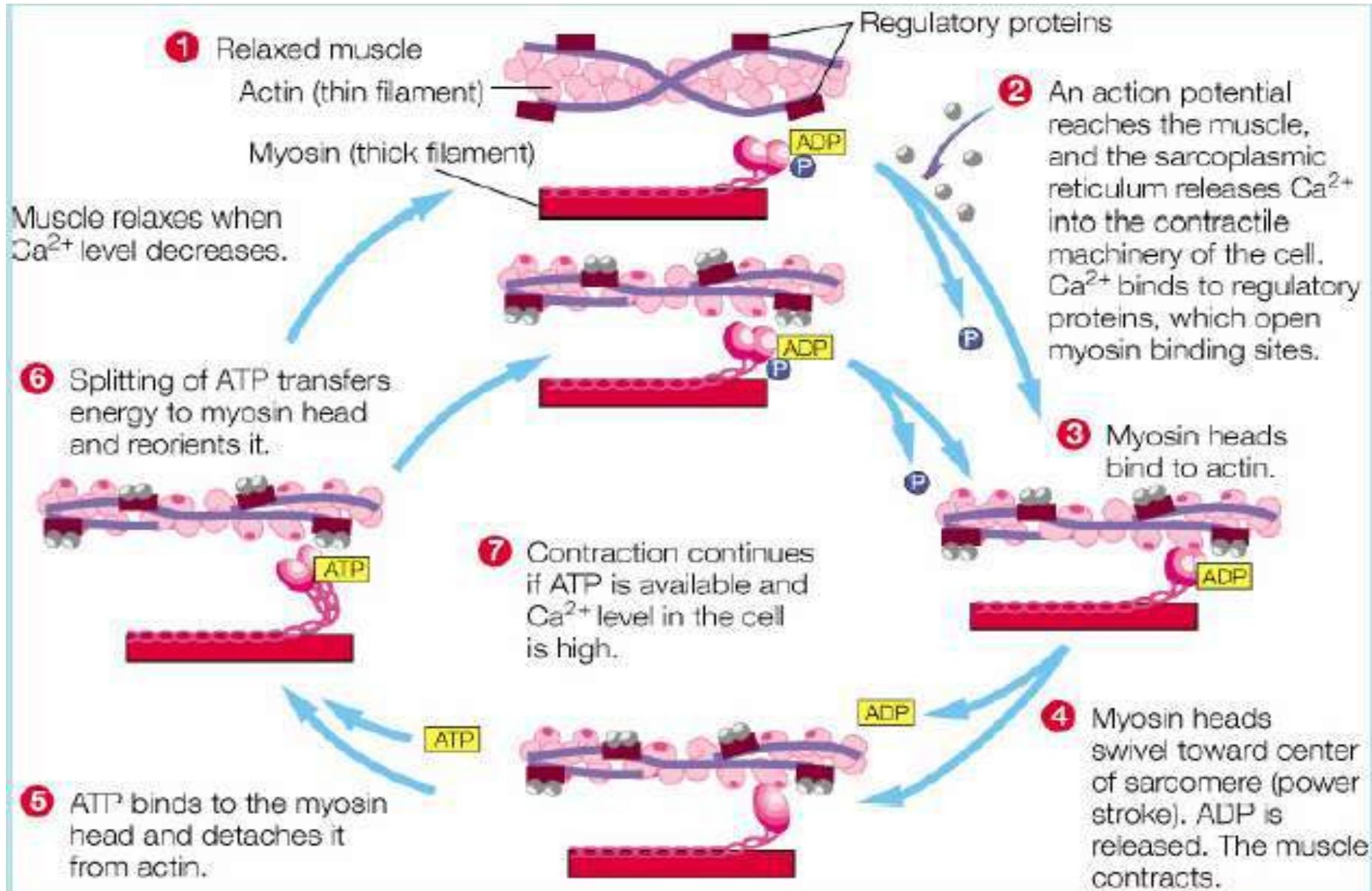


FIGURE 11–26

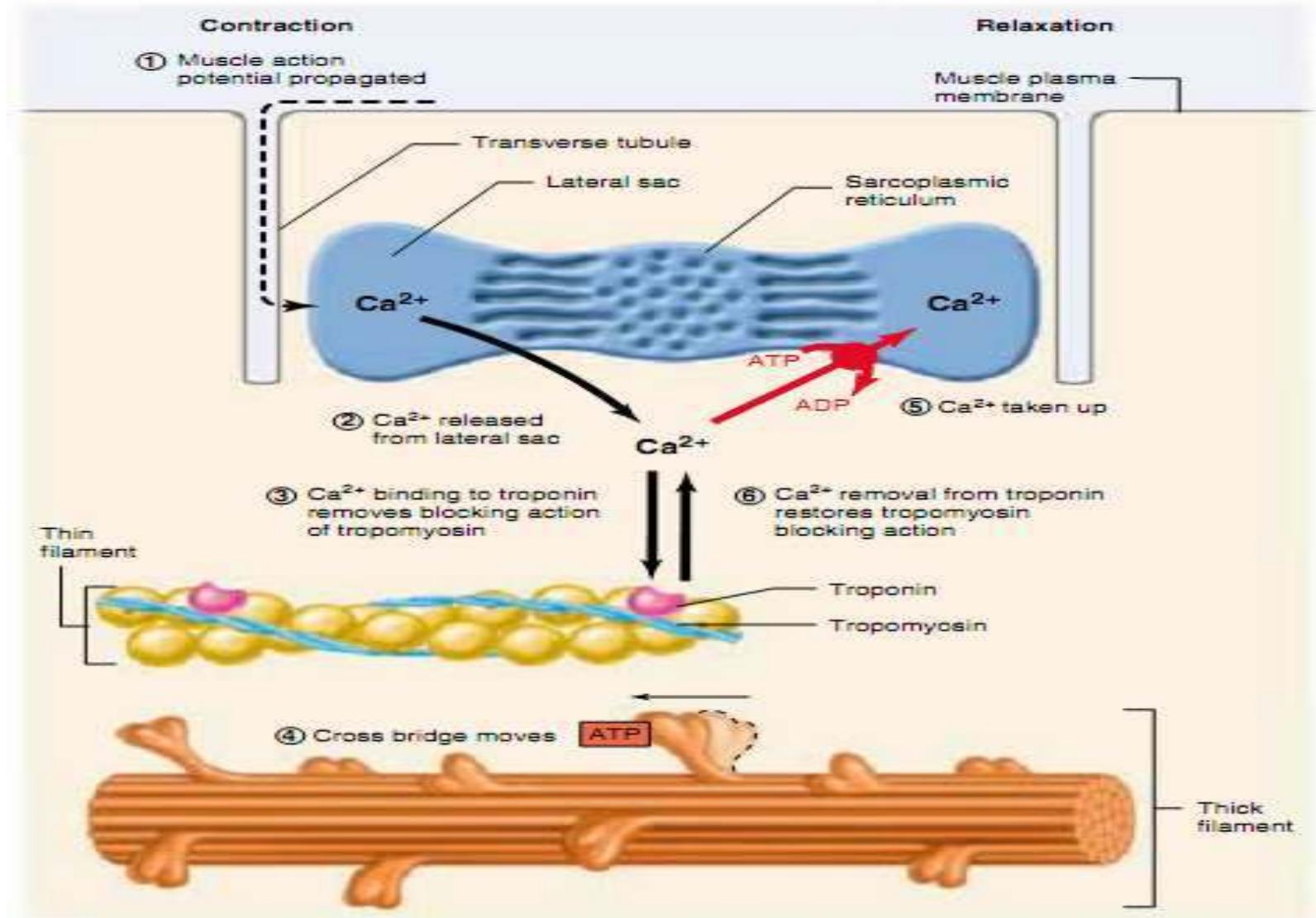
The three sources of ATP production during muscle contraction: (1) creatine phosphate, (2) oxidative phosphorylation, and (3) glycolysis.

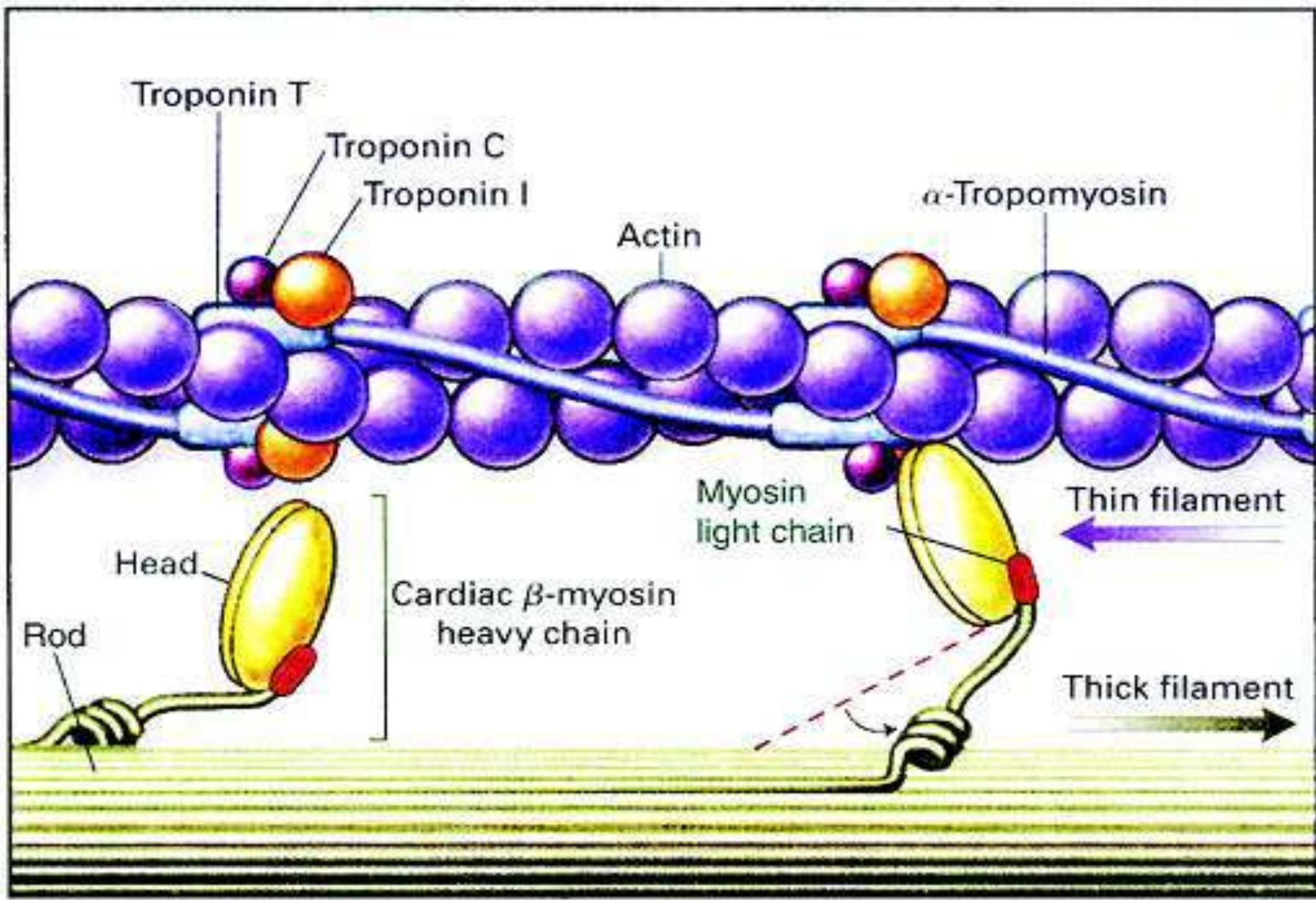


MEKANISME KONTRAKSI OTOT



Release and uptake of calcium by the sarcoplasmic reticulum during contraction and relaxation of a skeletal-muscle fiber.





Langkah langkah kontraksi(1)

- Pelepasan vesikel dari motor end plate
- Pemmbangkitan potensial aksi pada membran sel otot
- Pelepasan Ca dari retikulum sarkoplasma, berdifusi ke fil tebal – tipis

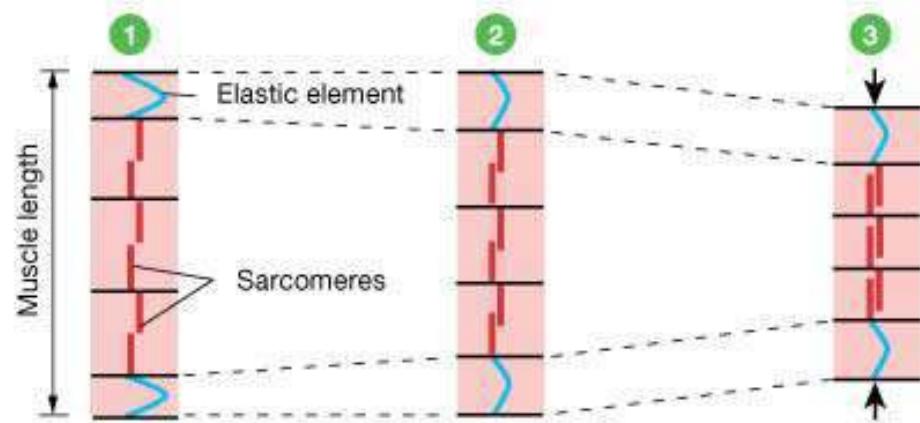
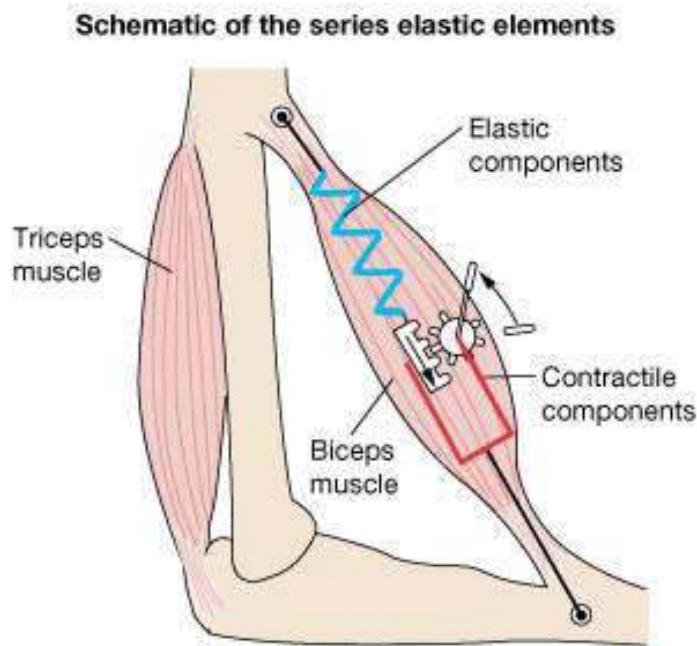
Langkah langkah kontraksi(2)

- Pengikatan Ca oleh troponin C, -- membebaskan ikatan aktin-myosin
- Pergeseran fil halus thd fil tebal, mendekati pusat sarkomer
- Pita I menyempit, pita A tetep—tjd pemendekan otot—kontraksi otot :terjadi perubahan gaya

Langkah relaksasi otot

- Pembebasan ion Ca dari troponin C
- Ion Ca dipompa (transpor aktif) kembali menuju ret sarkoplasma
- Penghentian interaksi antara aktin – myosin
- Filamen tipis bergeser menjauhi filamen tebal (garis Z saling menjauh), terjadi pemanjangan otot – relaksasi.

Time is required for maximal twitch force to develop, because some shortening of sarcomeres must occur to stretch elastic elements of muscle before force can be transmitted through tendons.



1 Muscle at rest

2 Isometric contraction:
Muscle has not shortened, Sarcomeres shorten, generating force, but elastic elements stretch, allowing muscle length to remain the same.

3 Isotonic contraction:
Sarcomeres shorten more but, because elastic elements are already stretched, the entire muscle must shorten.

Jenis kontraksi otot

- Kontraksi isometrik (statis) : panjang otot tetap/tdk terjadi pengurangan panjang otot/ujung ujung saling terfiksasi – otot hanya ditegangkan
- Kontraksi isotonik/konsentris (dinamis): terjadi pemendekan otot/panjang otot berubah

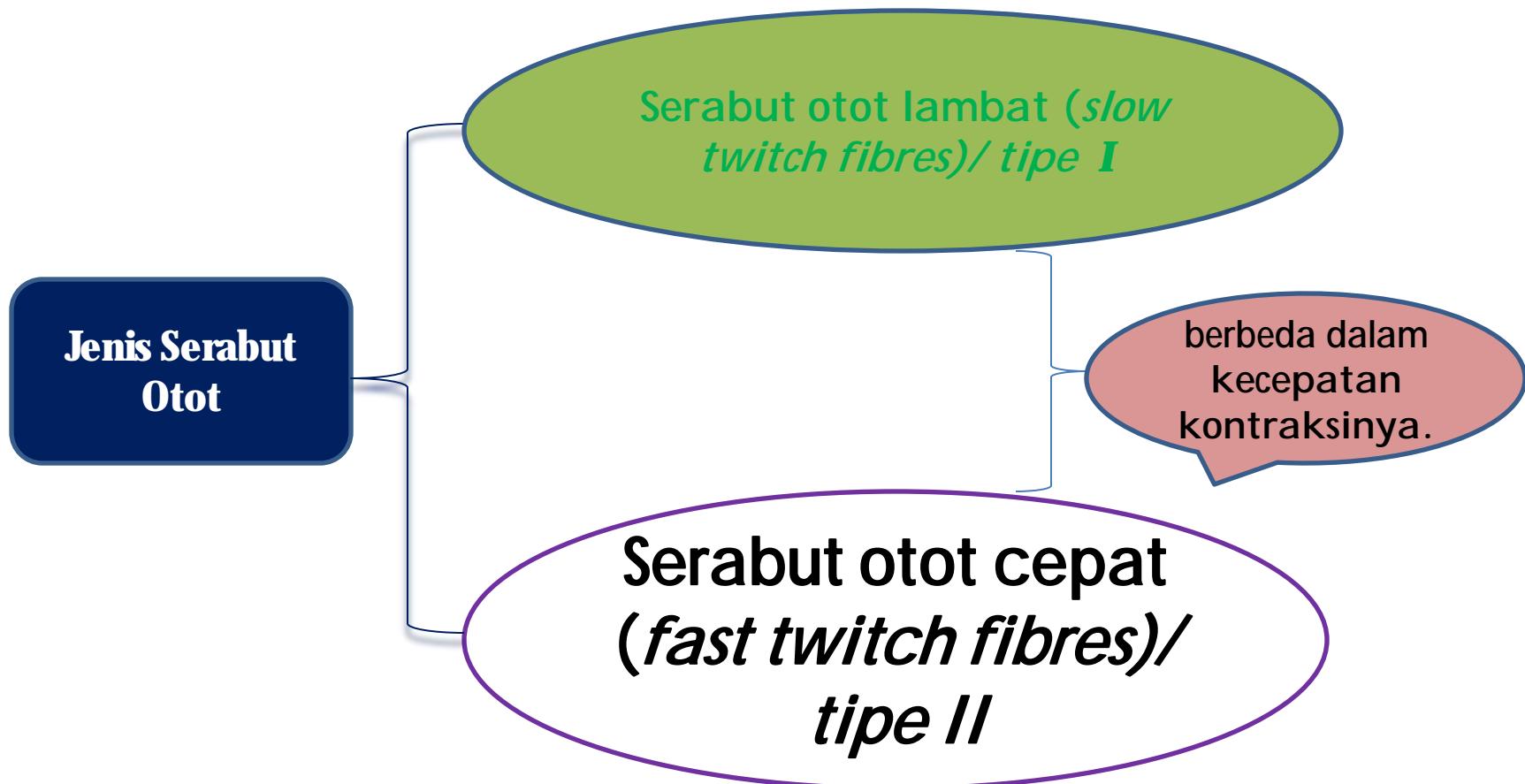
Jenis kontraksi otot

- Kekuatan kontraksi otot tgt :
 1. Derajad penggiatan;
 2. Panjang otot;
 3. Derajad pemendekan;
 4. Jumlah serat paralel
- Kontraksi tetani (tertahan) : terjadi peristiwa kontraksi yang berulang-ulang tanpa ada fase relaksasi, akibat rangsangan yang cepat dan berulang ulang.

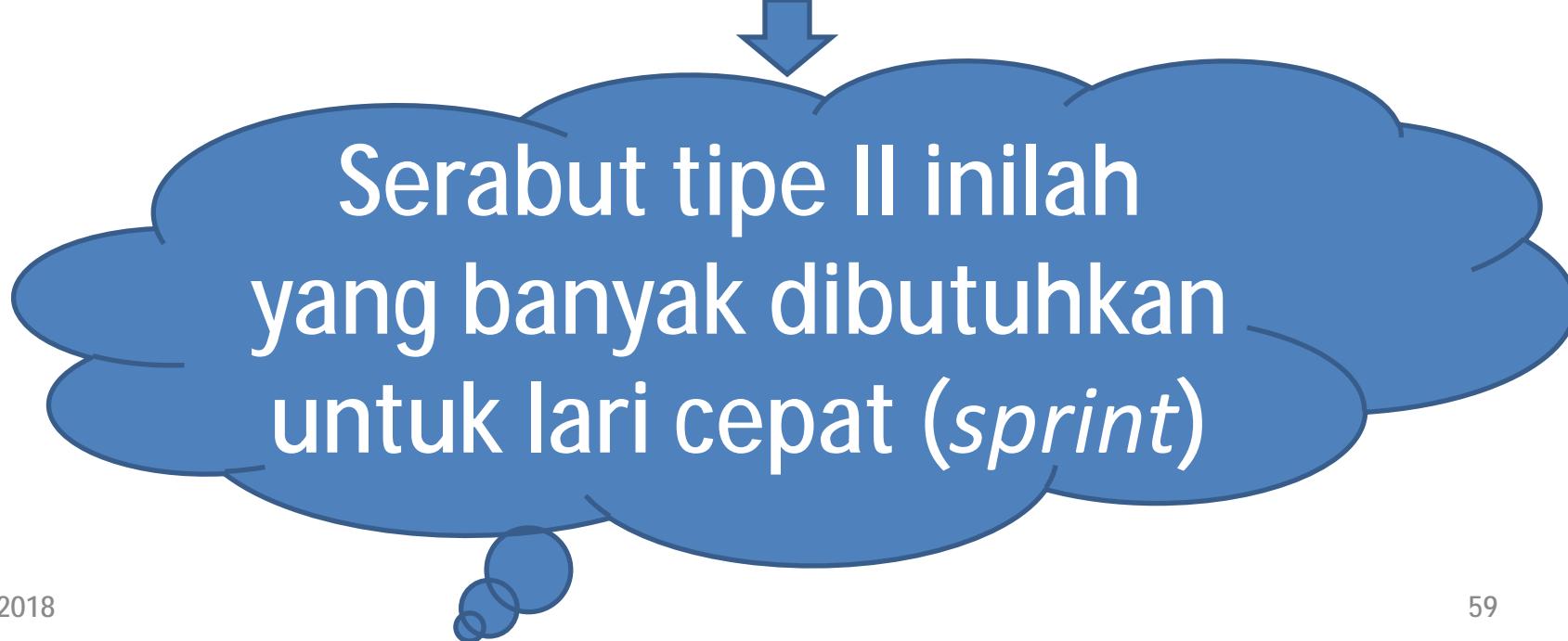
Siklus kontraksi otot

- Terjadi perubahan muatanlistrik pada membran sel otot selama kontraksi yang dpt direkam dg EMG
- T.a : fase laten – fase kontrksi – fase relaks
- Masa refrakter : suatu fase dimana otot tdk menjawab rangsangan yang diberikan/dtg, yg terdiri atas : masa refrakter Absolut (fase laten) dan m. refrakter relatif (fase Kontrksi dan relaks.)
- Pada otot rangka masa refrakter relatif masih dapat menerima rangsang yang datang berikutnya bila melampaui ambang rangsang, sehingga dapat terjadi kontraksi TETANI

- Kecepatan kontraksi otot berkaitan dengan **jenis serabut otot**, yaitu



- **tipe I atau serabut otot merah atau serabut otot lambat** → lebih kuat untuk bekerja secara **aerobik**.
- **tipe II atau serabut otot putih atau serabut otot cepat** → lebih kuat untuk bekerja secara **anaerobik**.



Serabut tipe II inilah yang banyak dibutuhkan untuk lari cepat (*sprint*)

Variasi jumlah tipe otot tersebut dalam tiap individu ditentukan oleh:

faktor genetik

Aktivitas otot

- otot-otot yang aktivitasnya mempertahankan kontraksi intensitas rendah dalam waktu lama tanpa mengalami kelelahan, misalnya: **otot-otot punggung → dominan otot tipe lambat.**
- otot-otot yang banyak melakukan gerakan yang kuat dan cepat, misalnya: otot lengan → **dominan otot tipe cepat.** (Sherwood, 2011)

Sifat	Otot Lambat	Otot Cepat
Kecepatan aktifitas ATPase miosin	Rendah	Tinggi
Kadar mioglobin	Tinggi	Rendah
Kecepatan kontraksi	Lambat	Cepat
Cadangan lemak	Tinggi	Rendah
Kandungan glikogen	Rendah	Tinggi
Kepadatan mitokondria	Tinggi	Rendah
Enzim oksidasi	Tinggi	Rendah
Jumlah kapiler darah	Tinggi	Rendah
Jaringan PC	Rendah	Tinggi
Enzim untuk glikolisis anaerobik	Rendah	Tinggi
Daya tahan terhadap kelelahan	Tinggi	Rendah
Warna serat	Merah	Putih

Persentase serabut otot cepat dan lambat pada otot kuadriseps pada atlet (Guyton dan Hall, 2007)

	Serabut Otot Cepat	Serabut Otot Lambat
Pelari Maraton	18 %	82 %
Perenang	26 %	74 %
Pria rata-rata	55 %	45 %
Atlet angkat berat	55 %	45 %
Pelari cepat	63 %	37 %
Pelompat	63 %	37 %

Kelelahan otot

- Central fatique : (fisiologis) tdk ada impuls yang cukup untuk kontraksi otot.
- Muscle fatique : tdk mampu menjawab rangsangan yang ada o/k akumulasi asam laktat, kehabisan cadanga energi
- Neuromuscular fatique : motor neuron tdk mampu menghasilkan neurotransmitter yang cukup

Fatigue:

Central : involving central nervous system

- may involve such factors as dehydration,
 \uparrow osmolarity,
- low blood sugar, and may precede physiological
- fatigue of actual muscles.

Peripheral : in or near muscles

- accumulation of lactate and \downarrow pH, especially in
- fast-twitch fibers
- \uparrow inorganic phosphate — may increasingly inhibit
- cleavage of ATP in the crossbridgecycle or in
- the sequestering of Ca^{2+} .

Fatigue:

ASAM LAKTAT

- **Lelah;**
- **Nyeri;**
- **Blokade rangsang ke motor and plate**

Terjadinya:

1. **Tak sempat dioksidasi/ oksigen ↓**
2. **Cadangan alkali (NaHCO_3) << fungsi: mengikat as laktat pada dehidrasi**