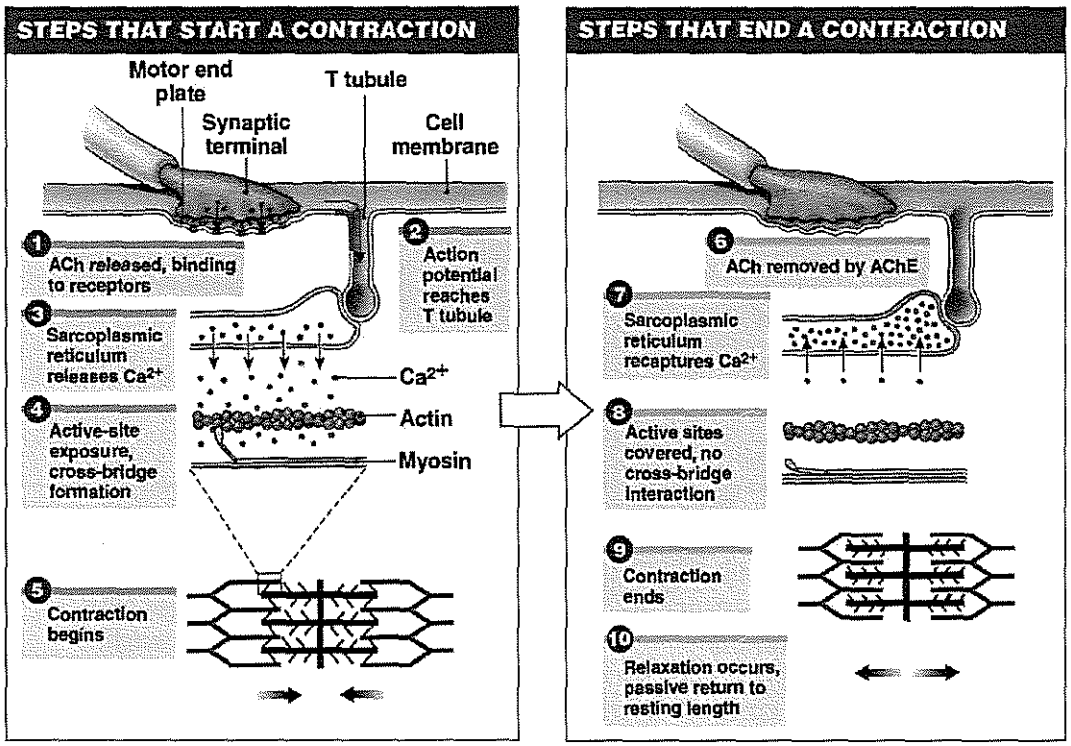
การคลายตัวของกล้ามเนื้อ (Relaxation of muscle)

- เมื่อ ACh หลั่งมาจากปลาย axon จับกับ receptor ที่ sarcolemma ทำให้เกิด action potential และทำให้กล้ามเนื้อหดตัว เมื่อมีการคลายตัวของกล้ามเนื้อ ACh จะถูกสลายด้วย AChE (acetylcholinesterase) เป็นผลให้ไม่มีการกระตุ้นให้เกิด action potential อีก
- Ca^{2+} ถูกดึงกลับไปเก็บไว้ใน SR ทำให้ไม่มี Ca^{2+} ไปจับกับ troponin
- Troponin-tropomyosin complex ปิดบัง myosin-binding sites บน actin ทำให้กล้ามเนื้อไม่เกิดการหดตัว

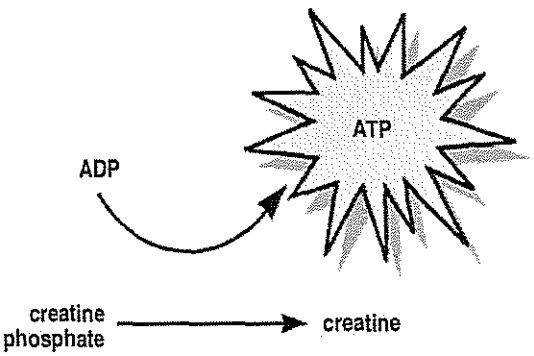


Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

แหล่งพลังงานสำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ

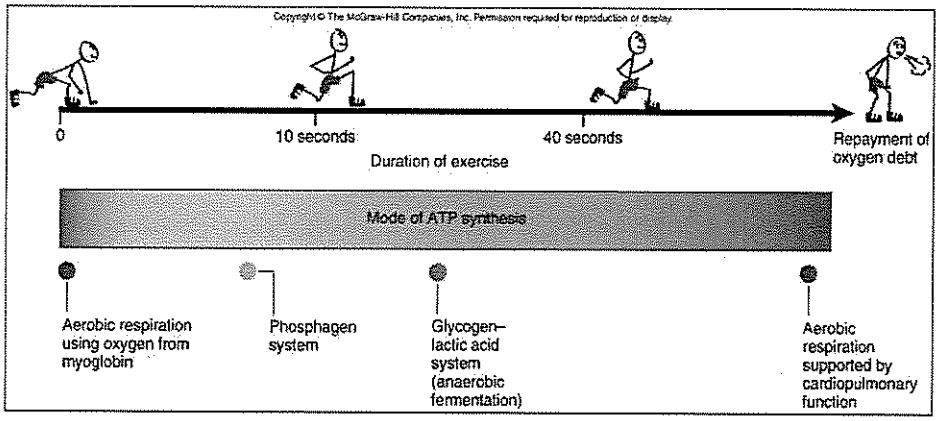
- การหดตัวของกล้ามเนื้อต้องการแคลเซียมและ ATP
- แหล่งพลังงานได้แก่ ATP, glycogen และสารให้พลังงานที่เรียกว่า phosphagen คือ creatine phosphate ซึ่งจะเป็นตัวให้หมู่ Pi แก่ ADP
- พลังงานส่วนมากที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อถูกเก็บไว้ใน creatine phosphate ซึ่งสามารถให้หมู่ Pi กับ ADP เพื่อสร้าง ATP

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



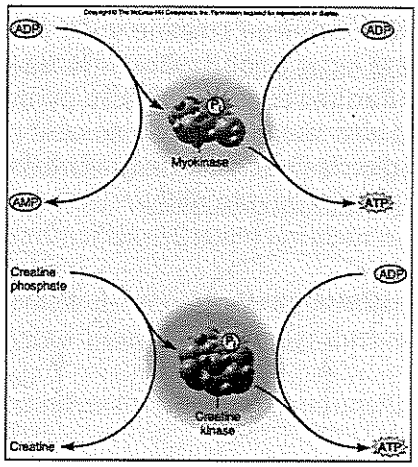
Muscle metabolism during contraction

1. aerobic
2. phosphagen
3. glycogen-lactic acid

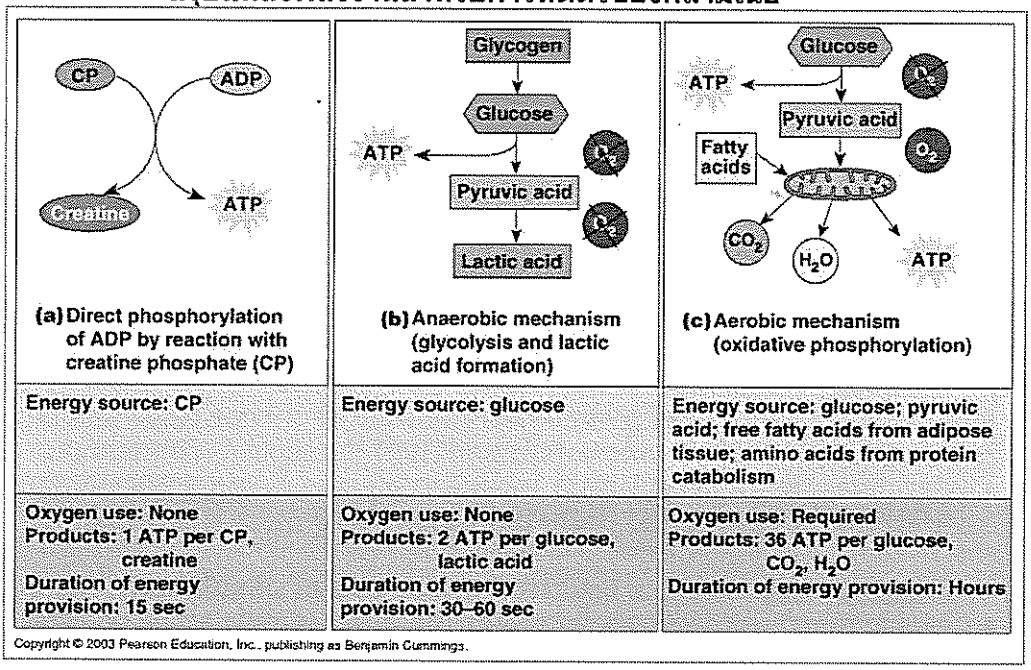


Phosphagen System

- Enzyme system ที่เกี่ยวข้อง
  - Myokinase
  - Creatine kinase

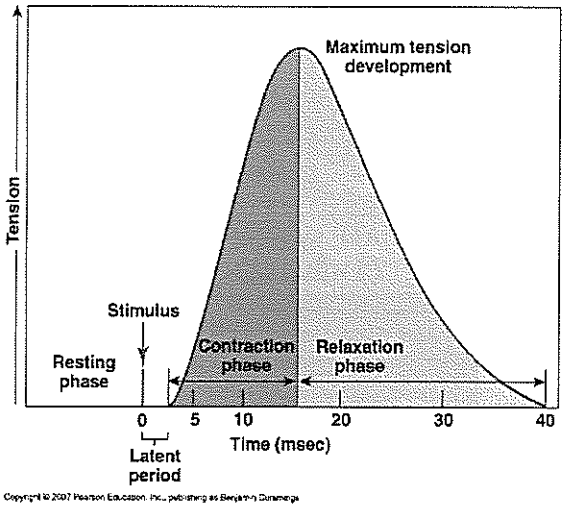


สรุปแหล่งพลังงานสำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ



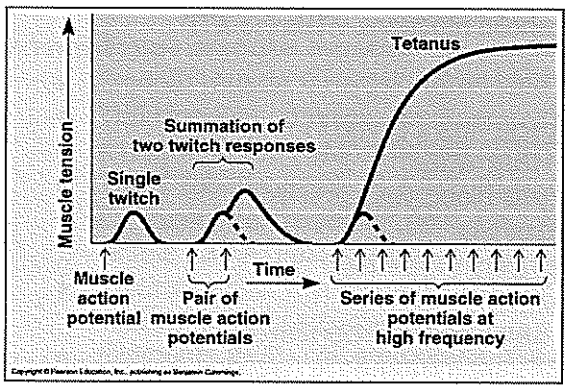
กราฟการหดตัว

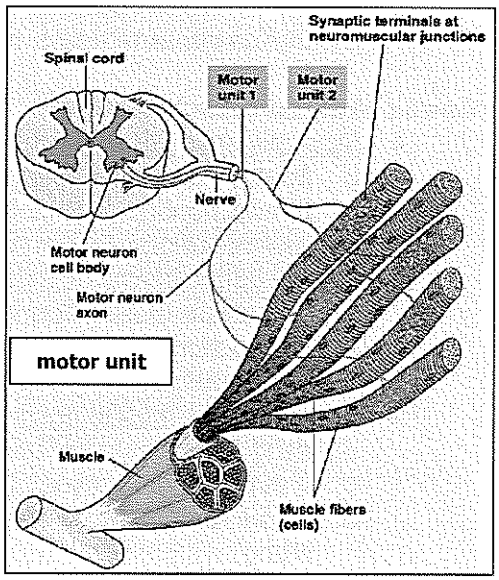
- เป็นรูประฆังคว่ำ มีเวลาที่ใช้ในการหดตัว (contraction period) และเวลาที่ใช้ในการคลายตัว (relaxation period)
- contraction period และ relaxation period เป็นตัวบอกคุณสมบัติของกล้ามเนื้อว่าเป็นชนิด slow fiber หรือ fast fiber
  - ถ้าหดตัวเร็วคลายตัวเร็ว = fast fiber
  - ถ้าหดตัวช้าคลายตัวช้า = slow fiber



ระบบประสาทควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ

- เซลล์กล้ามเนื้อ 1 เซลล์ จะตอบสนองต่อแรงกระตุ้นแบบ all or none response เช่นเดียวกับเซลล์ประสาท
- ระบบประสาทควบคุมการตอบสนองของมัดกล้ามเนื้อ 2 วิธี
  1. เพิ่มความถี่ของการกระตุ้น
     - Single twitch – กล้ามเนื้อตอบสนองต่อแรงกระตุ้น ครั้งเดียว
     - Tetanus – กล้ามเนื้อตอบสนองแบบการหด (เกร็ง)โดยไม่มีการคลายตัวของกล้ามเนื้อ จากการกระตุ้นซ้ำๆและถี่ๆ อย่างต่อเนื่อง
- ถ้ากล้ามเนื้อได้รับการกระตุ้น 2 ครั้งต่อเนื่องกันและมีระยะห่างพอเหมาะ ความแรงในการหดตัวครั้งที่ 2 จะเพิ่มขึ้น (summation)
  2. จัดเป็น motor units โดยที่ motor neuron 1 neuron อาจแตกแขนงออกไป synapse กล้ามเนื้อได้หลายเซลล์ เมื่อแรงกระตุ้นมาถึงกลุ่มเซลล์กล้ามเนื้อจะหดตัวพร้อมกัน
     - muscle cell ในสัตว์มีกระดูกสันหลัง 1 เซลล์จะถูกควบคุมโดย motor neuron 1 neuron เท่านั้น
     - แต่ motor neuron axon แต่ละแขนงสามารถควบคุมการทำงานของ muscle cell ได้หลายเซลล์
     - 1 motor neuron และ muscle fibers ทั้งหมดที่ neuron ควบคุมประกอบขึ้นเป็น 1 motor unit





Muscle fatigue (กล้ามเนื้อเมื่อยล้า)

- กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวหลังการทำกิจกรรมนานๆ
  - central fatigue คือความรู้สึกของความเหนื่อยและต้องการหยุดทำกิจกรรมที่กำลังทำอยู่ (เป็นกลไกการป้องกันตัว)
  - creatine phosphate หมดไป
  - Ca^{2+} ภายใน sarcoplasm ลดลง
- ปัจจัยที่ทำให้เกิด muscle fatigue
  - ATP synthesis ลดลง (glycogen ไม่เพียงพอ), มีผลให้ Na^+-K^+ pump ช้าลง (จำเป็นต่อการรักษา resting membrane potential)
  - lactic acid ที่เกิดขึ้นไปลด pH ของ sarcoplasm และทำให้การทำงานของ enzymes ที่จำเป็นต่อการหดตัว, ATP synthesis และการทำงานอื่นๆของกล้ามเนื้อ ลดลง
  - มีการหลั่ง acetylcholine จาก motor neurons ไม่เพียงพอ

Muscle cramps (ตะคริว) และ Rigor mortis

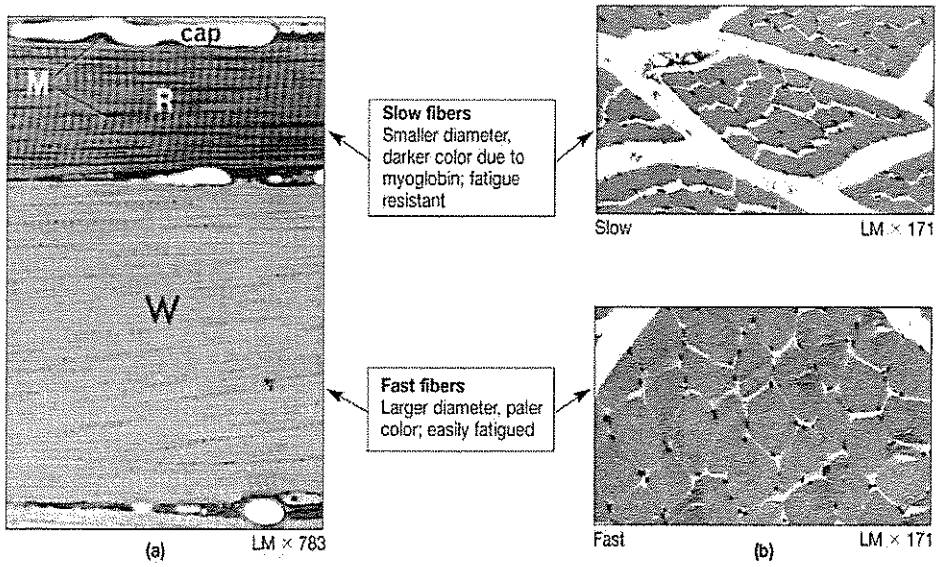
- Muscle cramps
  - มีการสะสม lactic acid, ATP หมดไป
  - ความไม่ดุลของไอออน (ion imbalance)
    - นวด (massage) หรือ เหยียด (stretching) ช่วยเพิ่มการไหลเวียน
- Rigor mortis
  - เป็นการแข็งตัวของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นหลังการตาย 3-4 ชั่วโมงและยาวนานประมาณ 24 ชั่วโมง
  - หลังการตาย Ca^{2+} จะรั่วออกจาก SR ทำให้ myosin heads เข้าจับกับ actin ได้
  - เนื่องจาก ATP synthesis หยุดลง, cross-bridges ไม่สามารถหลุดจาก actin จนกระทั่ง proteolytic enzymes จาก lysosomes มาย่อยสลายเซลล์ที่ตายแล้ว

ความผันแปรของ skeletal muscle fibers

- จำนวนของ myoglobin, mitochondria และ capillaries
  - Red musde fibers (กล้ามเนื้อแดง)
    - มี myoglobin (oxygen-storing reddish pigment) มากกว่า
    - มี capillaries และ mitochondria มากกว่า
  - White muscle fibers (กล้ามเนื้อขาว)
    - มี myoglobin และ capillaries น้อยกว่า ทำให้ fibers มีสีซีดกว่า
- ความเร็วของการหดตัวและคลายตัว
  - ขึ้นกับความเร็วที่ myosin ATPase จะ hydrolyzes ATP
- ความต้านทานต่อความเมื่อยล้า
  - ขึ้นกับความแตกต่างของ metabolic reactions ที่ใช้สร้าง ATP

ชนิดของ skeletal muscle fibers

- Slow oxidative (slow twitch) muscle fibers (Type I)
  - สีแดง (red muscle fibers) – มีขนาดเล็ก
  - มี mitochondria, myoglobin และ blood vessels มาก
  - หดตัวช้าและนาน ใช้ในการวิ่งระยะไกล
- Fast oxidative-glycolytic muscle fibers (Type IIa)
  (Intermediate muscle fibers)
  - มี mitochondria, myoglobin และ blood vessels มาก
  - ATP แตกตัวเร็ว ใช้สำหรับการเดินและการออกตัววิ่ง (walking และ sprinting)
- Fast glycolytic muscle fibers (Type IIb)
  - สีขาว (white muscle fibers) – มีขนาดใหญ่
  - มี mitochondria, myoglobin และ blood vessels น้อย
  - ใช้ในการเคลื่อนที่แบบ anaerobic ช่วงสั้นๆเช่น การยกน้ำหนัก (weight-lifting)

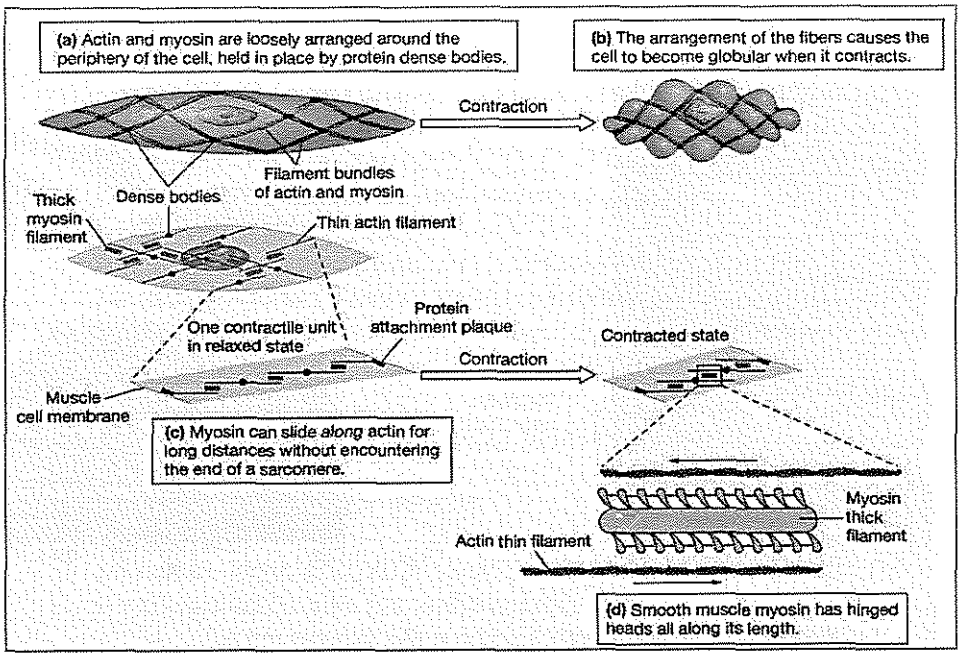


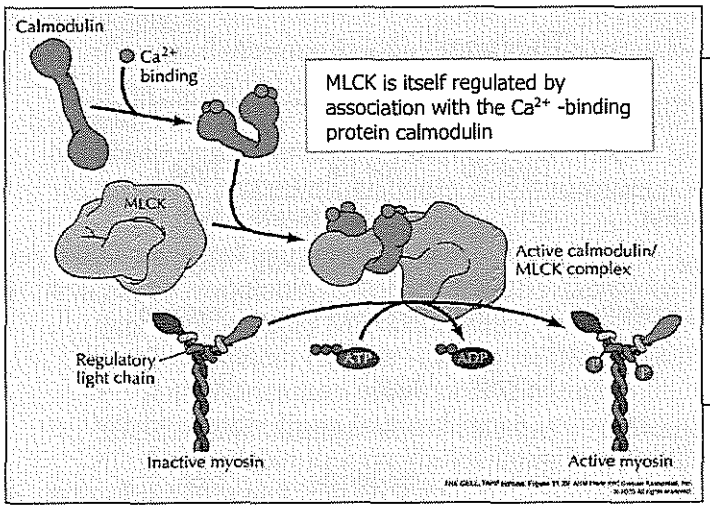
Characteristics of Muscle Fiber Types

	Fast Fibers		Slow Fibers
Characteristic	Type IIb	Type IIa	Type I
Number of mitochondria	low	high/moderate	high
Resistance to fatigue	low	high/moderate	high
Predominant energy system	anaerobic	combination	aerobic
ATPase activity	highest	high	low
Vmax (speed of shortening)	highest	intermediate	low
Efficiency	low	moderate	high
Specific tension	high	high	moderate

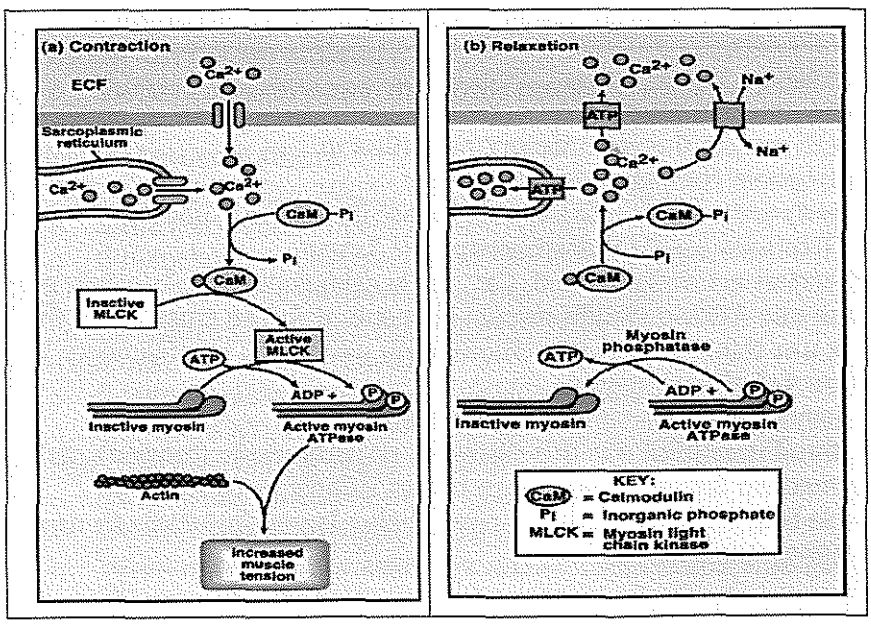
การหดตัวของ smooth muscle

- Smooth muscle มี myosin น้อยกว่ากล้ามเนื้อลาย
- ไม่มี troponin complex และ tropomyosin
- การหดตัวจะช้ากว่ากล้ามเนื้อลาย แต่การหดตัวนั้นจะอยู่ได้นานกว่า
- ไม่มี T tubules และมี SR สำหรับสะสม Ca^{2+} ไม่มาก
- Ca^{2+} มาจาก extracellular fluid, Ca^{2+} จับกับ calmoludin ซึ่งจะไปกระตุ้น enzyme kinase และ ATPase ที่อยู่กับ myosin filaments ทำให้เกิด crossbridge ขึ้น
- Thick และ thin myofilaments เรียงขนานกัน แต่กลุ่มของ myofilaments ไม่เรียงเป็นระเบียบ จึงไม่มี sarcomeres
- Filaments ยึดกับ cell membrane หรือ dense bodies
- การเลื่อนตัวของ thick และ thin filaments ทำให้เกิดแรงตึง (tension) ส่งไปที่ intermediate filaments และ dense bodies ที่ยึดกับ sarcolemma
- Muscle fiber หดตัวและบิดตัวเป็นเกลียว (helix) ในขณะที่หดตัวสั้นเข้า และจะคลายตัวโดยการคลายเกลียวออก



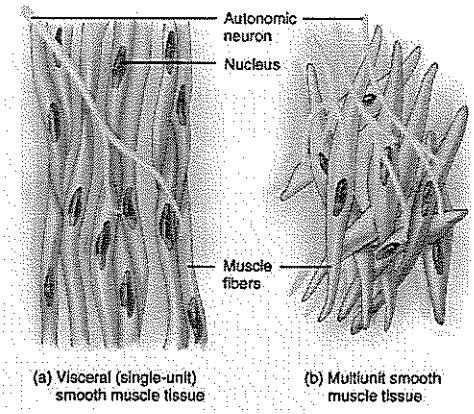


Ca^{2+} จับกับ calmodulin ใน cytosol (ไม่ใช่จับกับ thin filaments) ซึ่งจะไปกระตุ้น enzyme kinase ที่อยู่กับ myosin filaments, จากนั้นจะกระตุ้น myosin ATPase ต่อไป

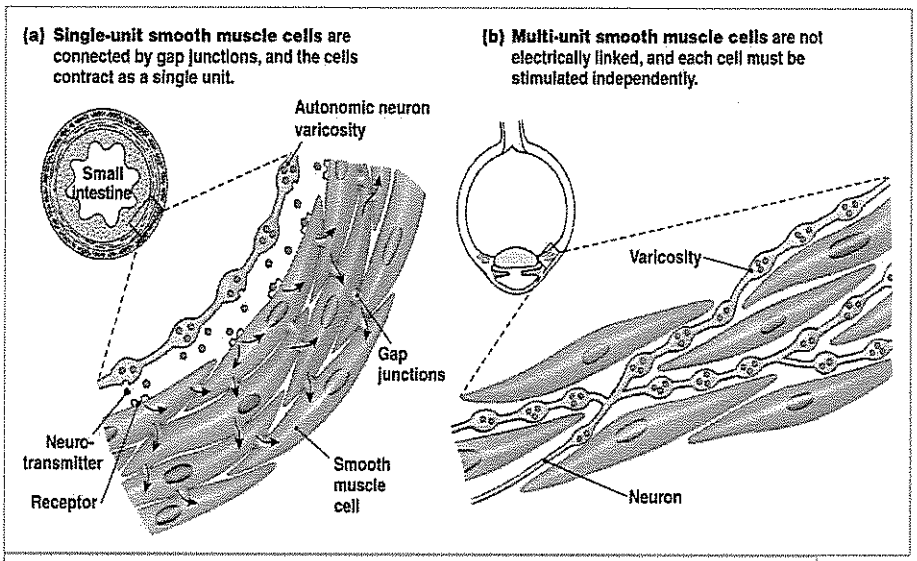


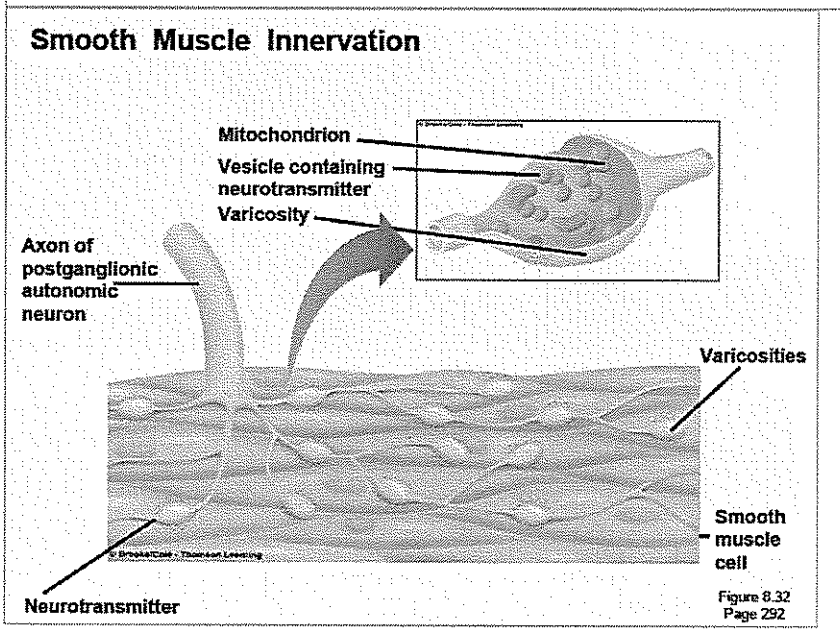
Smooth muscle 2 ชนิด

- Single unit (Visceral muscle)
  - พบในผนังของอวัยวะภายในที่เป็นท่อกลวงและหลอดเลือดขนาดเล็ก
  - autorhythmic
  - gap junctions ช่วยให้หดตัวได้พร้อมกัน
- Multiple unit
  - แต่ละ fibers มี motor neuron ending
  - พบใน large arteries, large airways, arrector pili muscles, iris และ ciliary body



Smooth muscle cells อาจทำงานเป็นหน่วยเดียว (single unit) หรือเป็นอิสระ (multiple unit)



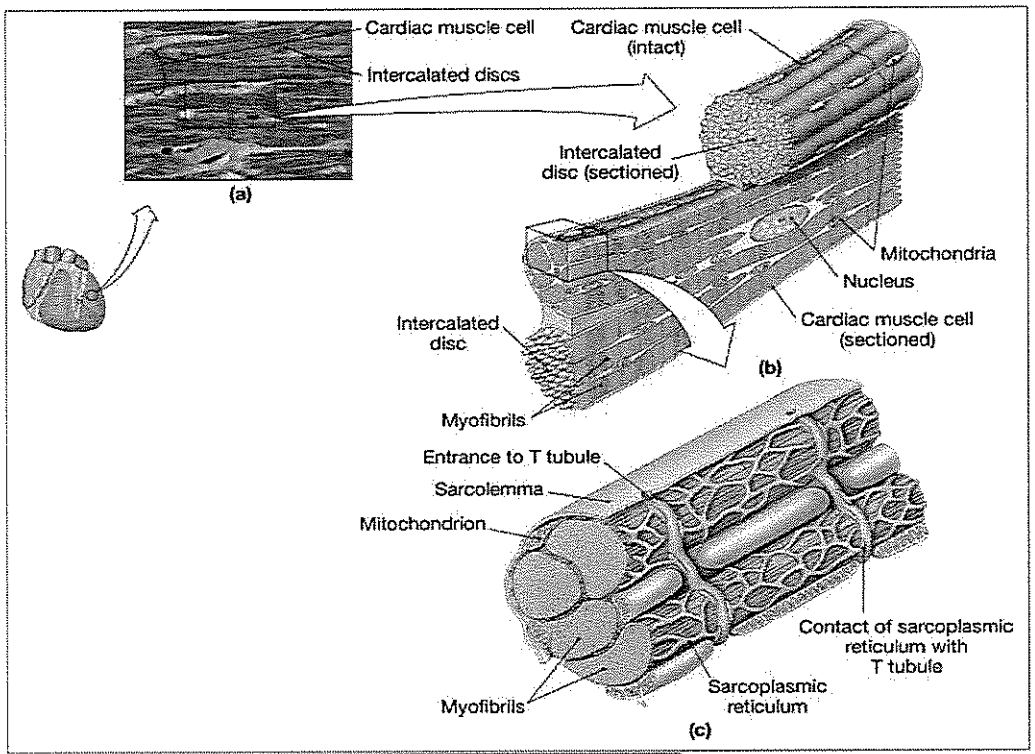


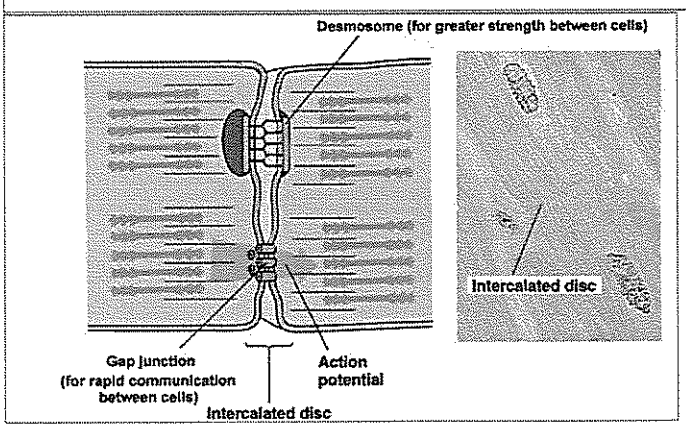
การหดตัวของ cardiac muscle

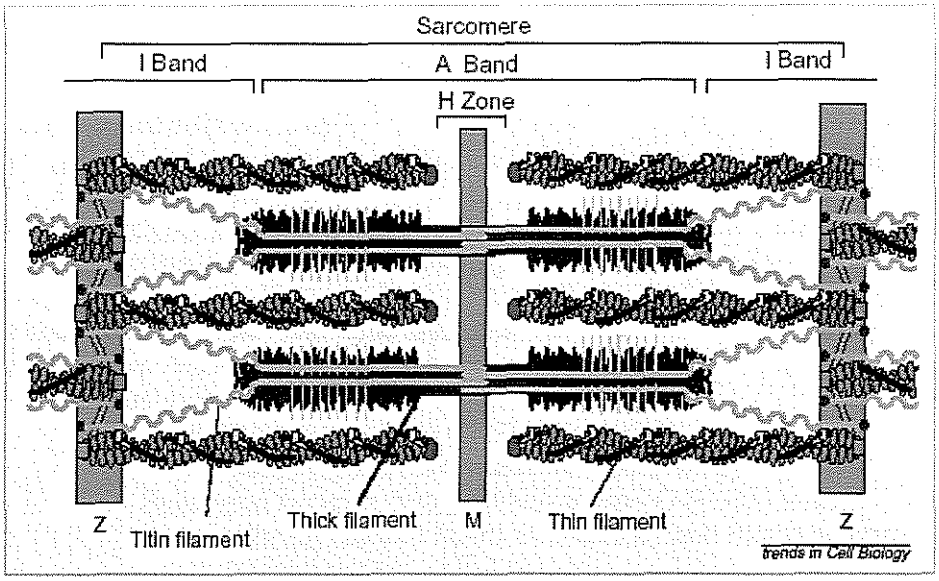
- เซลล์มีการแตกแขนงและเชื่อมกับเซลล์ข้างเคียงบริเวณ intercalated disc ซึ่งมี gap junction ที่ยอมให้การกระตุ้นผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งอย่างรวดเร็ว
- การกระตุ้นเริ่มขึ้นที่ pacemaker cell
- การหดตัวเป็นแบบ involuntary (หดตัวได้เองอย่างเป็นจังหวะ)
- มีการจัดเรียงตัวของ actin-myosin ทำให้เห็นเป็นลาย

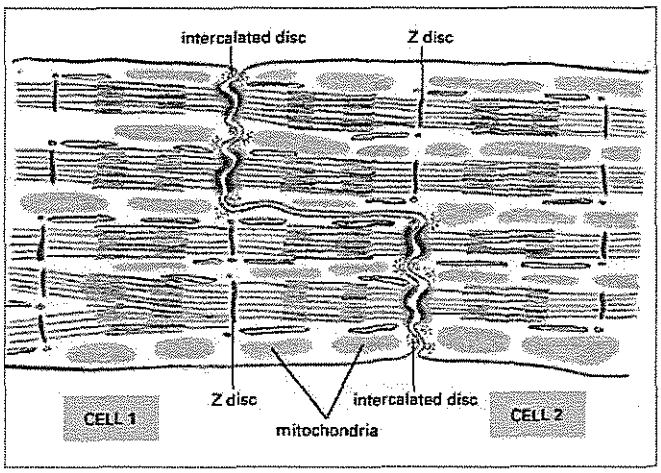
เปรียบเทียบ Cardiac muscle กับ Skeletal muscle

- มี sarcoplasm และ mitochondria มากกว่า
- มี transverse tubules ใหญ่กว่าพบที่ Z discs มากกว่าที่ A-I band junctions
- มี SR ที่มีการพัฒนาน้อยกว่า
- มี intracellular Ca^{2+} reserves จำกัดกว่า
  - Ca^{2+} ส่วนมากที่เข้ามาในเซลล์มาจาก extracellular fluid ระหว่างการหดตัว
  - ใช้เวลานานในการขนส่ง Ca^{2+} ไปยัง sarcoplasm ทำให้เวลาในการหดตัวยาวนานกว่าใน skeletal muscle 10 -15 เท่า
- Autorhythmic cells – หดตัวได้เองโดยไม่ต้องกระตุ้น
- มี mitochondria ขนาดใหญ่ ต้องการออกซิเจนมาก









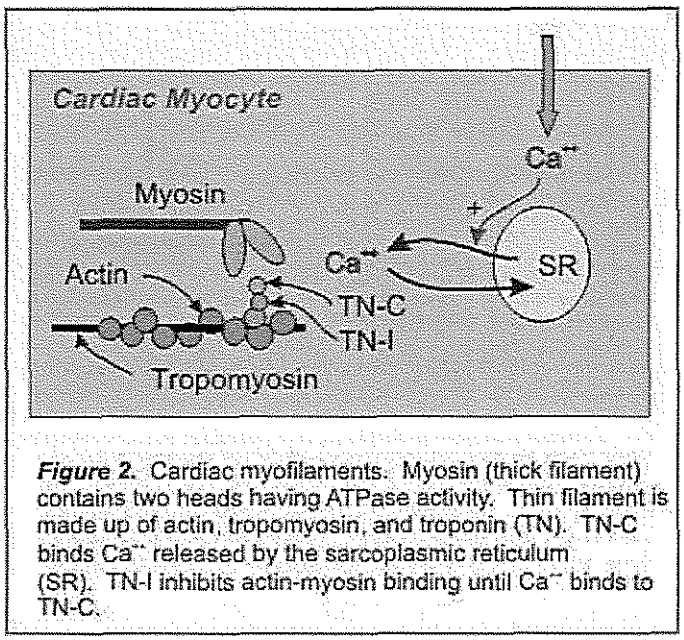


Figure 2. Cardiac myofilaments. Myosin (thick filament) contains two heads having ATPase activity. Thin filament is made up of actin, tropomyosin, and troponin (TN). TN-C binds Ca^{++} released by the sarcoplasmic reticulum (SR). TN-I inhibits actin-myosin binding until Ca^{++} binds to TN-C.

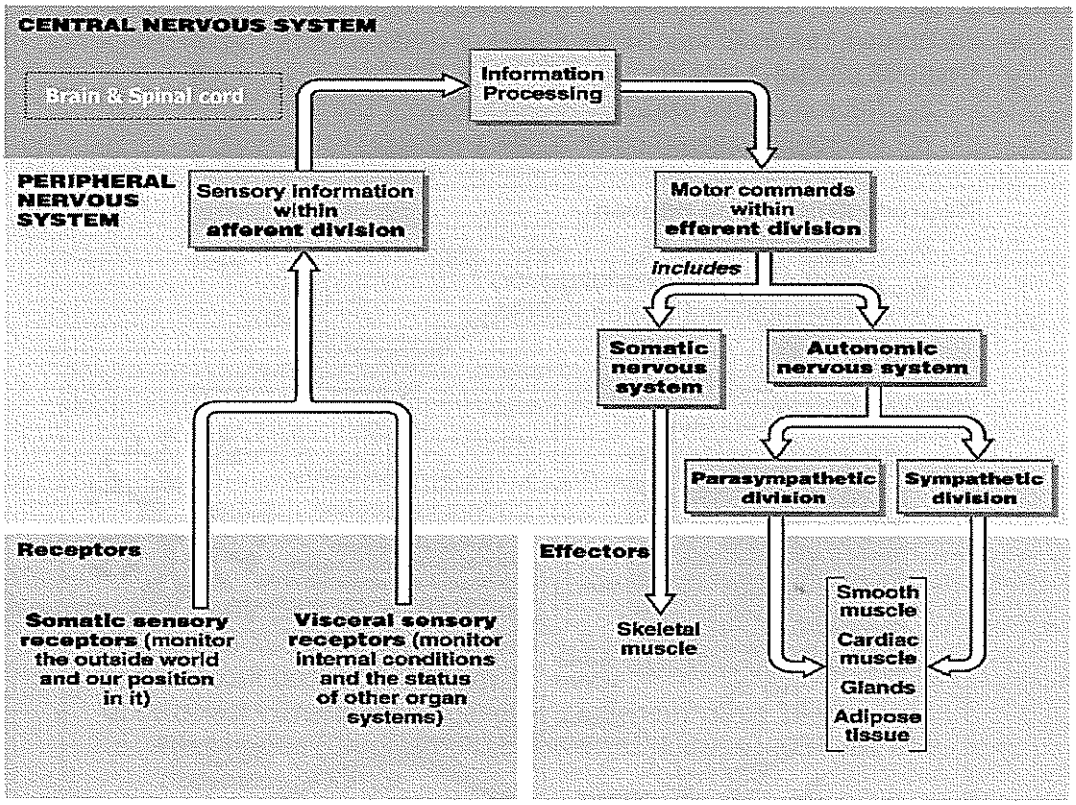
บทที่ 4 เนื้อเยื่อประสาท (Nervous Tissue)

คุณสมบัติของเนื้อเยื่อประสาท

- Irritability มีความสามารถตรวจจับและตอบสนอง (respond) ต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในพื้นที่
- Conductivity มีความสามารถส่งต่อ (transmit) การตอบสนองไปยังพื้นที่และเซลล์อื่นๆ ซึ่งมีผลให้พื้นที่และเซลล์อื่นๆ มีปฏิกิริยาต่อสัญญาณที่มาถึง

"Nervous Tissue" และ "Nervous System"

- Nervous *tissue* ประกอบกันเป็น Nervous *system*
- Nervous *system* แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ
  - Central nervous system (CNS) ประกอบด้วย
    - สมอง (brain) และ ไขสันหลัง (spinal cord)
  - Peripheral nervous system (PNS) อยู่นอก CNS ประกอบด้วย
    - Nerves (มัดของ fibers ของ sensory and motor neurons) – cranial nerves, spinal nerves
    - Ganglia (กลุ่มของ cell bodies ของ neurons) – dorsal root ganglia

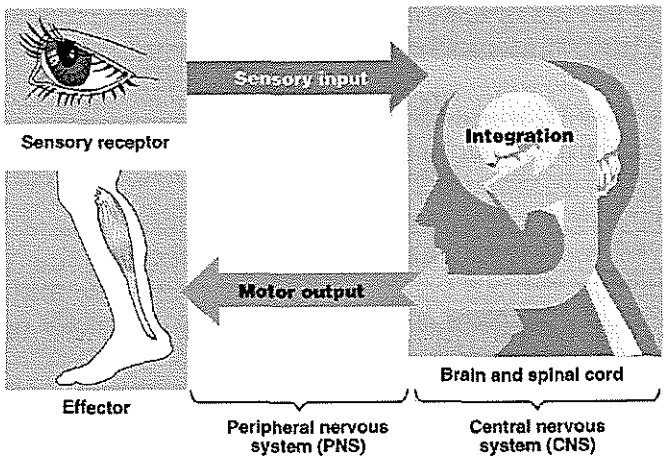


Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

การทำงานของ **nervous system**

เป็นการทำงานประสานกันของ 3 ส่วน

- ส่วนที่รับความรู้สึกเข้า (sensory input) – sensory receptor → sensory neuron
- ส่วนที่รวบรวมและแปรผล (integration) – brain & spinal cord → interneuron
- ส่วนที่ส่งความรู้สึกออก (motor output) – motor neuron → effector cells

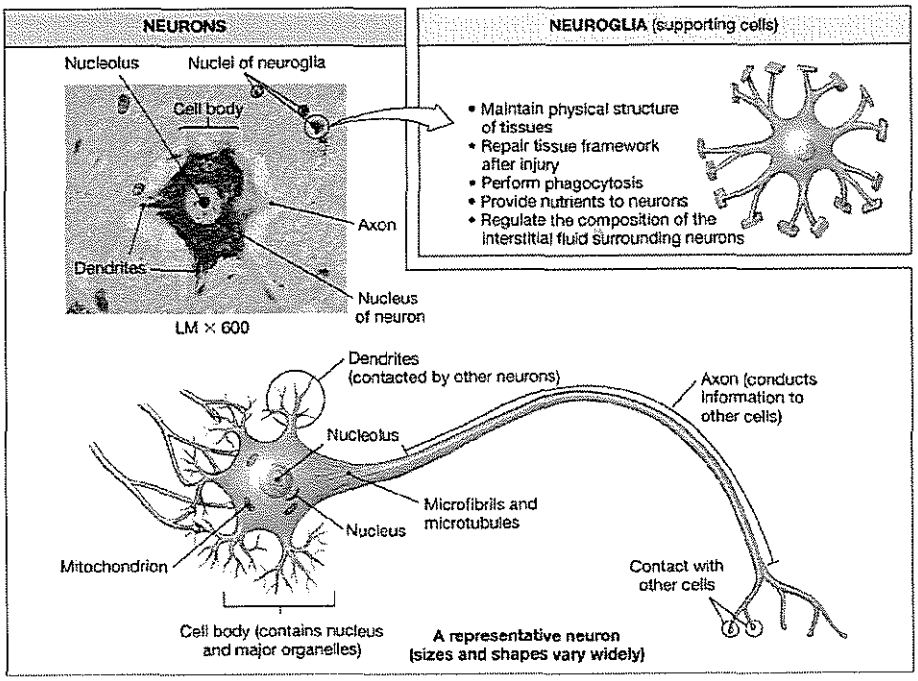


เนื้อเยื่อประสาท

- พบในสมอง ไขสันหลัง และประสาทส่วนปลาย (PNS)
- ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิด คือ
  - Neuron (nerve cell)
  - Neuroglia (supporting cells, glia cells, glia)

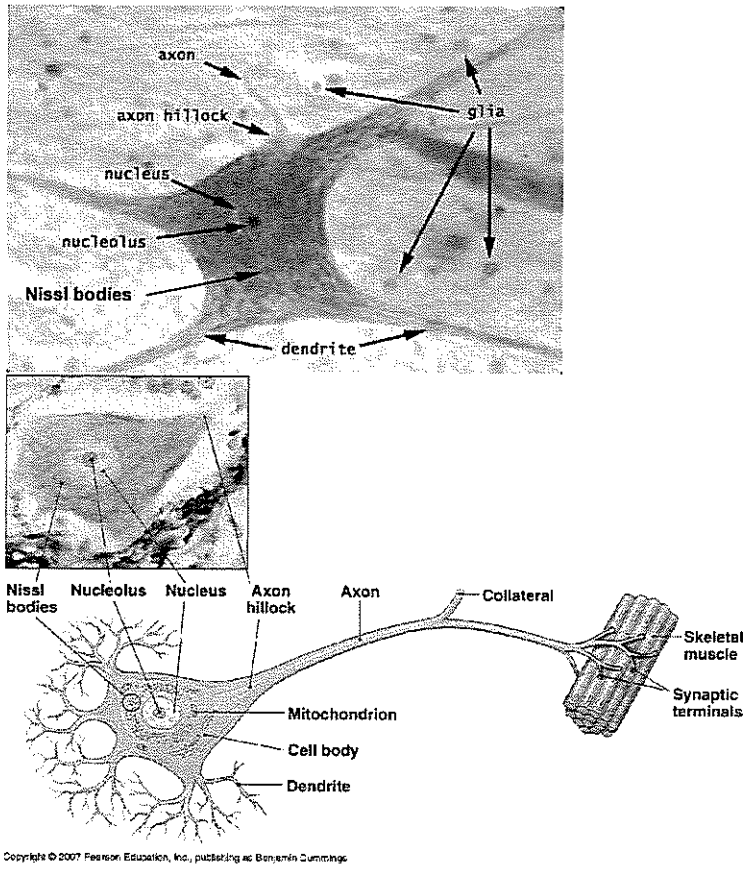
Neuron: ลักษณะของ neuron

- มี metabolic rate สูง
- มีอายุขัยยาว (extreme longevity)
- ไม่มีการแบ่งเซลล์ (non-mitotic)



Neuron (Nerve cell, เซลล์ประสาท)

- Neuron ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ
  - Cell body – เป็นตัวเซลล์ ทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุม - รับ nerve impulse (action potential) จาก dendrite และส่งต่อไปยัง axon
  - Processes – แขนงของ cytoplasm ที่ยื่นออกจาก cell body เป็นส่วนของ nerve fibers (เส้นประสาท) แบ่งเป็น
    - Dendrites เป็นแขนงสั้นๆ หลายแขนง รับ nerve impulse จากเซลล์ประสาทอื่นๆ ส่งต่อให้ cell body
    - Axon มีแขนงเดียว รับ nerve impulse จาก cell body ส่งต่อไปยังอวัยวะอื่นๆ

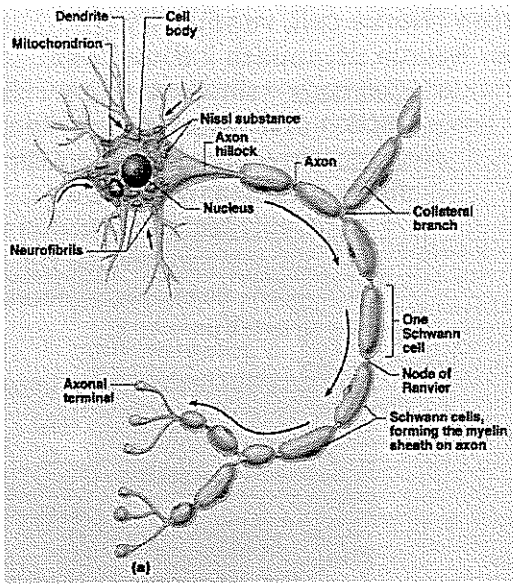


Neuron: Cell body (Soma, Perikaryon)

- ประกอบด้วย nucleus และ perikaryon (บริเวณรอบๆ nucleus)
- ขนาดของ cell body ~ 5–140 µm
- ใน cytoplasm ประกอบด้วย organelles และโครงสร้างอื่นๆ ได้แก่
  - Nissl bodies (Chromatophilic bodies) เป็นกลุ่มของ RER และ free ribosomes ติดสีเข้ม
  - Neurofibrils – มัด intermediate filaments จัดตัวเป็นร่างแห แทรกระหว่าง Nissl bodies
  - Mitochondria, Golgi bodies
- Nucleus (Nuclei) เป็นกลุ่มของ cell bodies ที่รวมตัวภายใน CNS โดยมี skull และ vertebral column ช่วยป้องกัน
- Ganglion (Ganglia) – เป็นกลุ่มของ cell bodies ที่รวมตัวภายนอก CNS เรียงตามแนวเส้นประสาท (nerves) ใน PNS

Cell body

- Nucleus
- Large nucleolus
- Nissl bodies (Nissl substances)

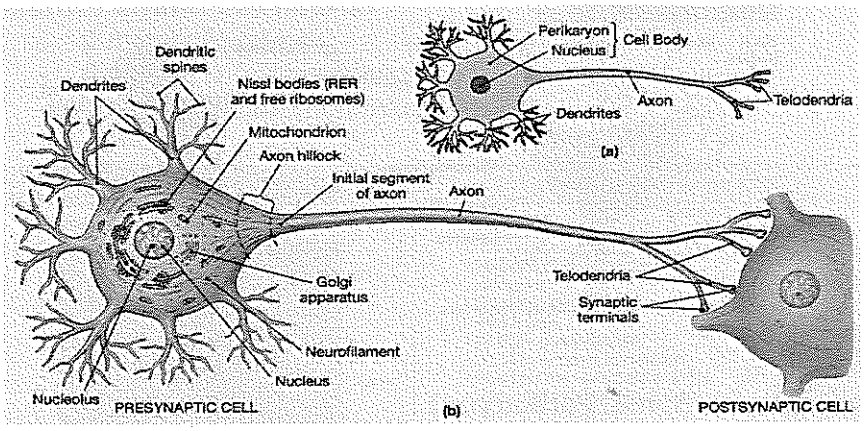


Neuron: Processes - Dendrites

- เป็นแขนงขนาดสั้นจำนวนมากที่ยื่นออกจาก cell body
- มีหลายแขนง/1 neuron หรือมี 1 แขนง/1 neuron (เช่น unipolar neuron)
- ส่วนปลายจะไป synapse กับ axon หรือกับ membrane ของ neuron ตัวอื่น
- รับ nerve impulse จากเซลล์ประสาทอื่นๆ ส่งต่อให้ cell body

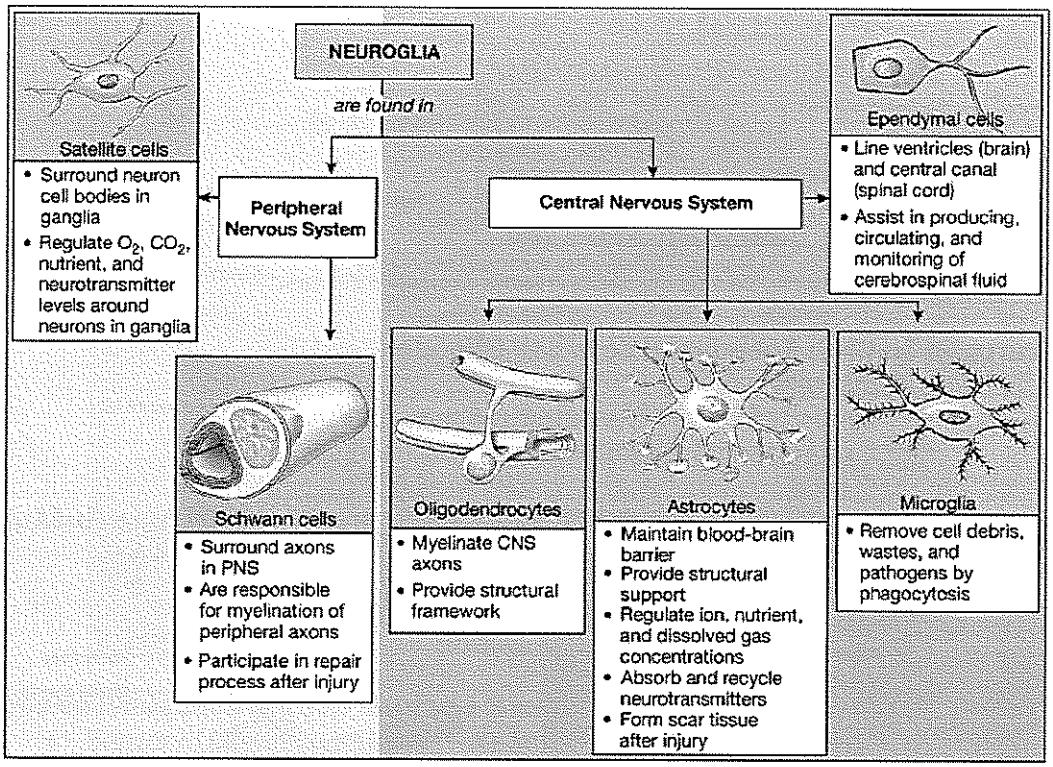
Neuron: Processes - Axons

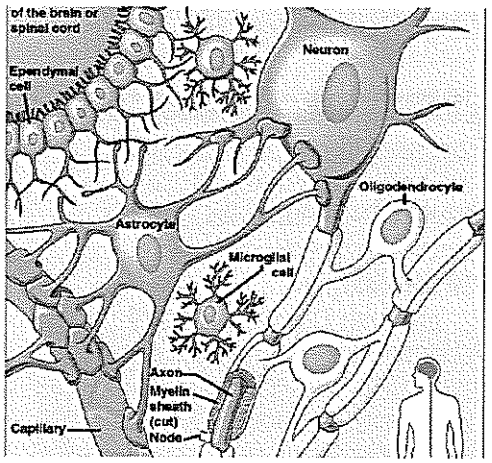
- มีเพียง 1 process/1 neuron ออกจาก cell body ที่บริเวณ axon hillock
- รับ nerve impulse จาก cell body และส่งต่อไปยังอวัยวะอื่นๆ
- ไม่มีการสังเคราะห์ protein ใน axon, ไม่มี NIssl bodies
- การแตกแขนงไม่ค่อยพบ แต่อาจมีส่วนแยกที่รียกว่า axon collaterals
- ส่วนปลาย axon จะแยกออกเป็น
  - Terminal branches (telodendria)
  - Axon terminals (end bulbs หรือ boutons) – ส่วนปลายสุดที่พองเป็นกระเปาะ

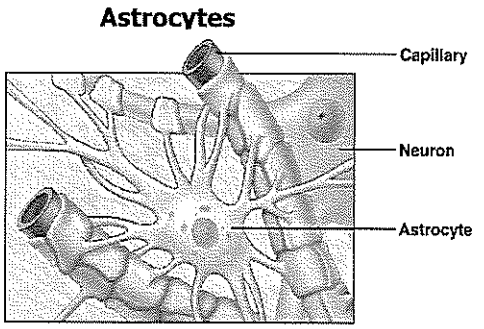


Neuroglia (supporting cells หรือ neuroglia)

- ทำหน้าที่ป้องกันและค้ำจุน neurons
- มีขนาดเล็กกว่า neuron, แบ่งเซลล์ได้
- มี 6 ชนิด อยู่ใน CNS 4 ชนิด และใน PNS 2 ชนิด
- ใน CNS 4 ชนิด ได้แก่
  - astrocytes
  - oligodendrocytes
  - microglia
  - ependymal cells
- ใน PNS 2 ชนิด ได้แก่
  - Schwann cells (neurolemmocytes)
  - satellite cells







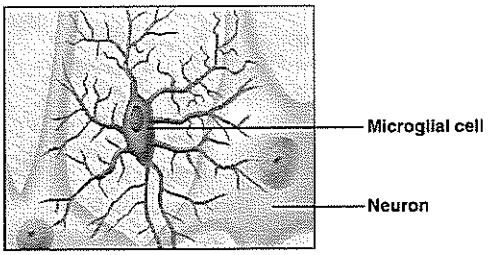
(a) Astrocytes: processes extend between neurons and capillaries. Nourish neurons; maintain ionic concentration surrounding neurons; take up neurotransmitter; aid neuronal growth and synapse formation in developing neural tissue.

Neuroglia ใน CNS: Astrocytes

- เป็น neuroglia ที่มีจำนวนมากที่สุด รูปร่างคล้ายดาว
- สกัดน้ำตาลจากเลือดใน capillaries เพื่อใช้เป็นพลังงาน
- จับและปล่อย ions เพื่อช่วยควบคุมสิ่งแวดล้อมรอบๆ neurons
- ช่วยการเจริญของ neurons และการเกิด synapse ในเนื้อเยื่อประสาทที่กำลังเจริญ
- เป็นส่วนของ blood-brain barrier

Neuroglia ใน CNS: Microglia

- เป็น neuroglia ที่มีขนาดเล็กที่สุดและจำนวนน้อยที่สุด
- ทำหน้าที่เป็น phagocytes คือเป็น macrophages ของ CNS
- กิน microorganisms ที่เข้ามาใน CNS รวมถึง neurons ที่ตายแล้ว
- เปลี่ยนแปลงมาจากเซลล์เม็ดเลือด monocytes

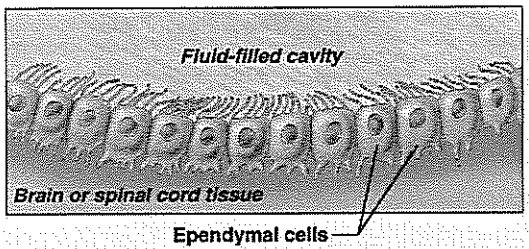


(b) Microglia: phagocytes that engulf and remove invading organisms and dead or damaged neural tissue.

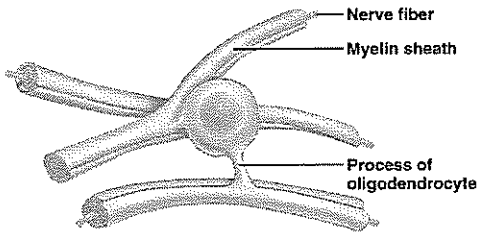
Neuroglia ใน CNS: Ependymal cells และ Oligodendrocytes

- Ependymal cells
  - บุรอบๆ central cavity ของไขสันหลังและสมอง
  - มี cilia ช่วยการไหลเวียนของ cerebrospinal fluid

- Oligodendrocytes –มีแขนงเล็กน้อย ทำหน้าที่สร้าง myelin sheaths (ปลอกไมอีลิน) ใน CNS โดยใช้แขนงพันรอบๆ axons



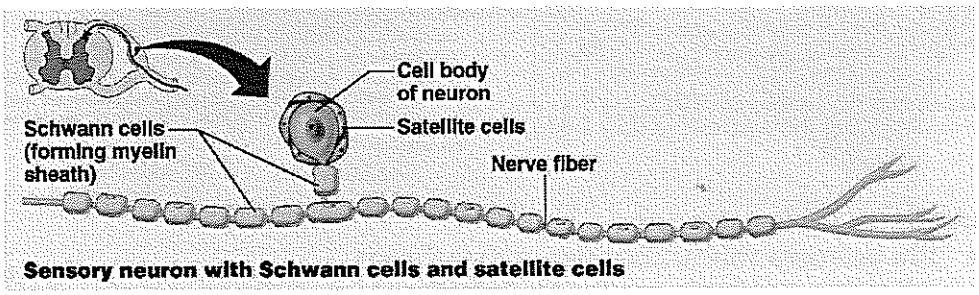
(c) Ependymal cells: line the central hollow portions of the CNS: ventricles of the brain, central canal of spinal cord. Cilia aid circulation of cerebral spinal fluid.



(d) Oligodendrocytes: form the myelin sheath surrounding neuronal processes in white matter of CNS.

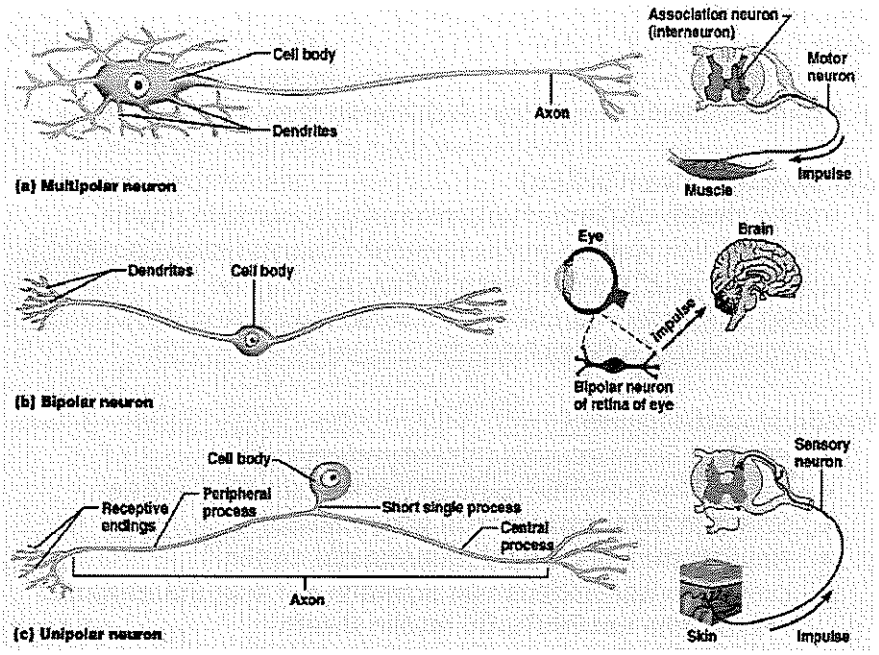
Neuroglia ใน PNS

- Satellite cells – อยู่รอบๆ neuron cell bodies ภายใน ganglia
- Schwann cells – อยู่รอบๆ axons ใน PNS
  - สร้าง myelin sheath ล้อมรอบ axons ใน PNS



ชนิดของเซลล์ประสาทแบ่งตามโครงสร้าง : 3 ชนิด (Structural classes of neurons)

- Unipolar neuron
  - มี 1 process แล้วแยกเป็น 2 กิ่ง เป็น sensory (afferent) neurons
- Multipolar neuron
  - มีหลาย dendrites แต่มี 1 axon มีจำนวนมากที่สุด
- Bipolar neuron
  - มี 1 dendrite, 1 axon
  - มีน้อยมาก เป็น sensory neurons
  - พบเฉพาะในอวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ เช่น ในชั้น retina ของตา, หูชั้นใน และ olfactory

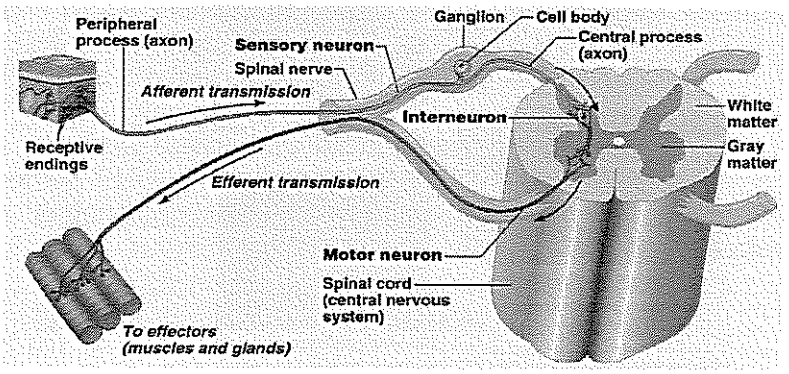


ชนิดของเซลล์ประสาทแบ่งตามหน้าที่ : 3 ชนิด (Functional classification of neurons)

- Sensory (Afferent) neurons — ส่ง impulses ไปยัง CNS
- Motor (Efferent) neurons — นำ impulses ออกจาก CNS
- Interneurons (Association neurons) — เชื่อมระหว่าง sensory และ motor neurons

Functional classification of neurons

- Sensory (Afferent) neurons
  - ส่ง impulses ไปยัง CNS ส่วนมากเป็น unipolar neurons
  - Cell bodies อยู่ใน ganglia นอก CNS มี 1 process สั้นๆแยกเป็น 2 กิ่ง
    - central process – ยื่นเข้าสู่ CNS
    - peripheral process – ยื่นไปยัง receptors
- Motor (Efferent) neurons
  - นำ impulses ออกจาก CNS ส่งไปยัง effector organs
  - ส่วนมากเป็น multipolar neurons
  - Cell bodies อยู่ใน CNS
  - เป็นตัวเชื่อมต่อกับ effector cells
- Interneurons (Association neurons)
  - ส่วนมากเป็น multipolar neurons
  - พบอยู่ระหว่าง motor และ sensory neurons ใน CNS



Nerve fiber (Axon)

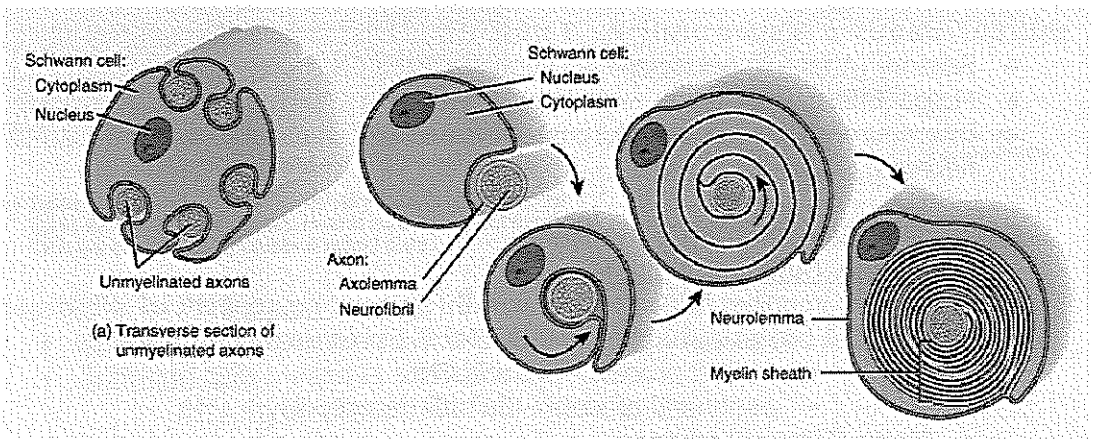
- Nerve fiber (Axon) มี 2 แบบ
  - Myelinated nerve fibers - มี myelin sheath หุ้ม
  - Unmyelinated nerve fibers - ไม่มี myelin sheath หุ้ม

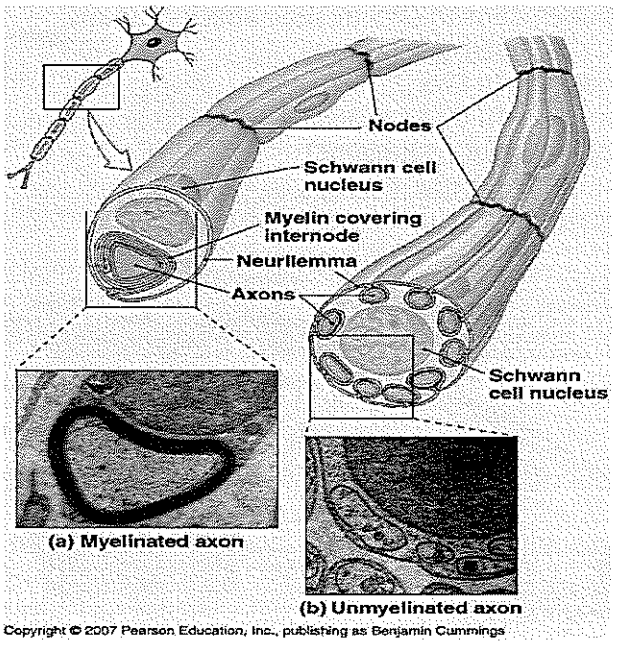
Myelin Sheaths (ปลอกไมอีลิน)

- myelin sheath เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย lipoprotein myelin
- myelin sheath หุ้มรอบๆ axons ทำหน้าที่เป็นฉนวน (insulating layer), ป้องกันการรั่วของกระแสไฟฟ้า, เพิ่มความเร็วในการนำ impulse
- Nodes of Ranvier – เป็นช่องว่างที่เกิดขึ้นตามแนว axon ช่วยนำ impulse ใน myelinated nerve fibers ให้เร็วขึ้น

Myelin sheaths ใน PNS

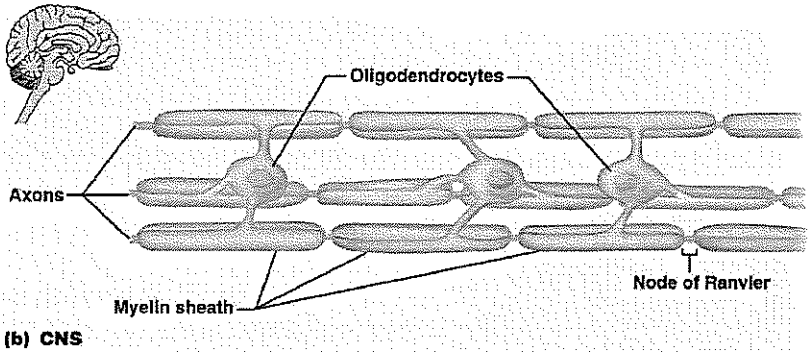
- สร้างโดย Schwann cells (neurolemmacytes)
- เจริญขึ้นระหว่างที่เป็นตัวอ่อนและในช่วงขวบปีแรกหลังคลอด
- Schwann cells พันรอบๆ axon อย่างแน่นหนา
- Neurilemma - เยื่อที่คลุมส่วนนอกของชั้น myelin
- cytoplasm และ nucleus ของ Schwann cell จะอยู่ชั้นนอกสุดของ neurilemma และมีชั้นในเป็น myelin sheath





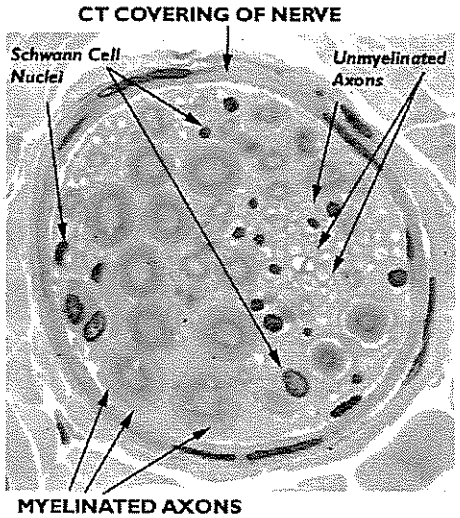
Myelin sheaths ใน CNS

- สร้างโดย oligodendrocytes
- oligodendrocyte 1 เซลล์ มี processes จำนวนมาก
- processes จะพันรอบๆ axon หลายๆ axons
- ไม่มี neurilemma



Unmyelinated axon

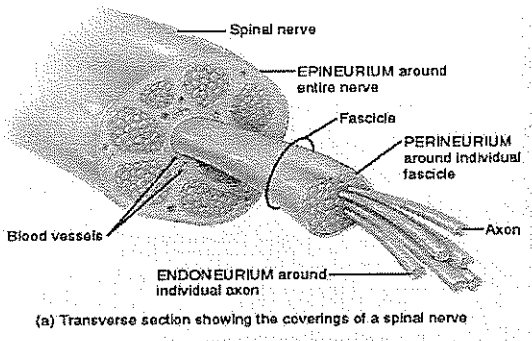
- ปกติมีขนาดเล็กกว่า และนำ impulse ได้ช้ากว่า myelinated axon
- มีเยื่อหุ้มเพียงชั้นเดียวเป็นเยื่อหุ้มเซลล์ของ Schwann cell



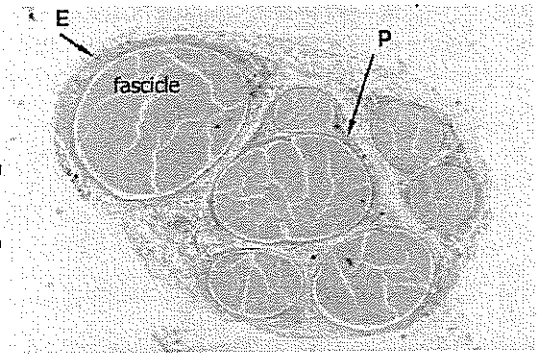
Peripheral nerve ที่มีทั้ง myelinated และ unmyelinated nerve fibers

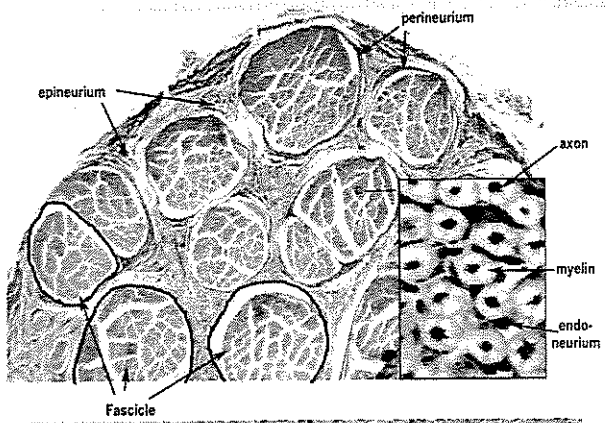
Nerves (เส้นประสาท)

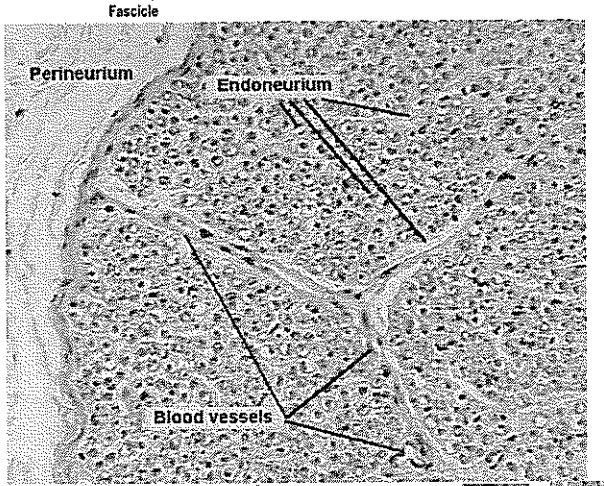
- Nerves – เป็นมัด (bundle) ของ axons ที่มี connective tissue หุ้ม อยู่ใน PNS (ถ้าอยู่ใน CNS เรียกว่า tract)
  - ถ้าเป็น sensory axons เรียกว่า *sensory nerves*
  - ถ้าเป็น motor axons เรียกว่า *motor nerves*
  - ถ้าเป็นทั้ง sensory และ motor axons เรียกว่า *mixed nerves*
- Connective Tissue ที่หุ้ม nerve แบ่งเป็น 3 ชั้น
  - Endoneurium – เป็นชั้นในสุดหุ้มรอบแต่ละ axon
    - Nerve fascicles – กลุ่มของ axons ที่รวมกันเป็น bundles
  - Perineurium – เป็นชั้นกลางหุ้มรอบแต่ละ nerve fascicle
  - Epineurium – เป็นชั้นนอกหุ้มรอบแต่ละ nerve bundle

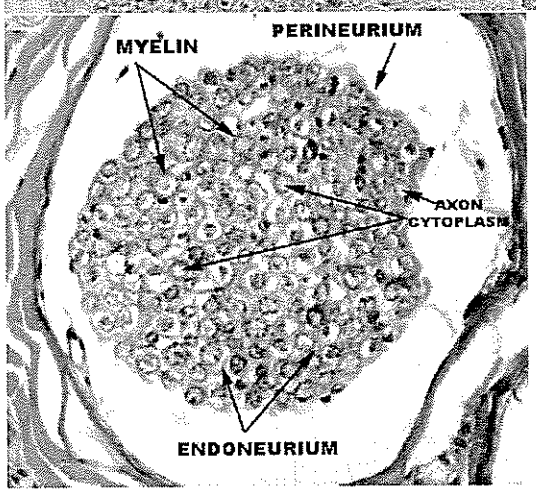


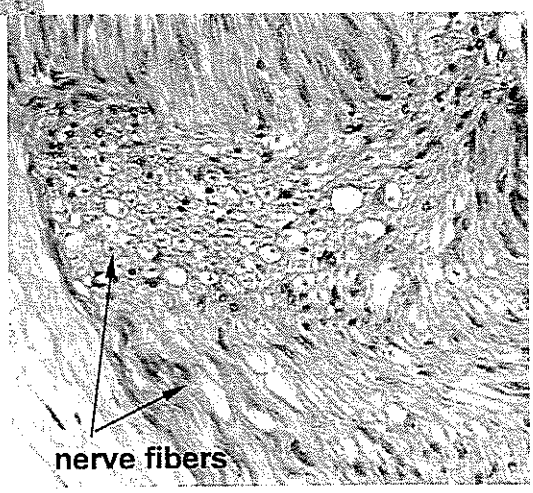
(a) Transverse section showing the coverings of a spinal nerve











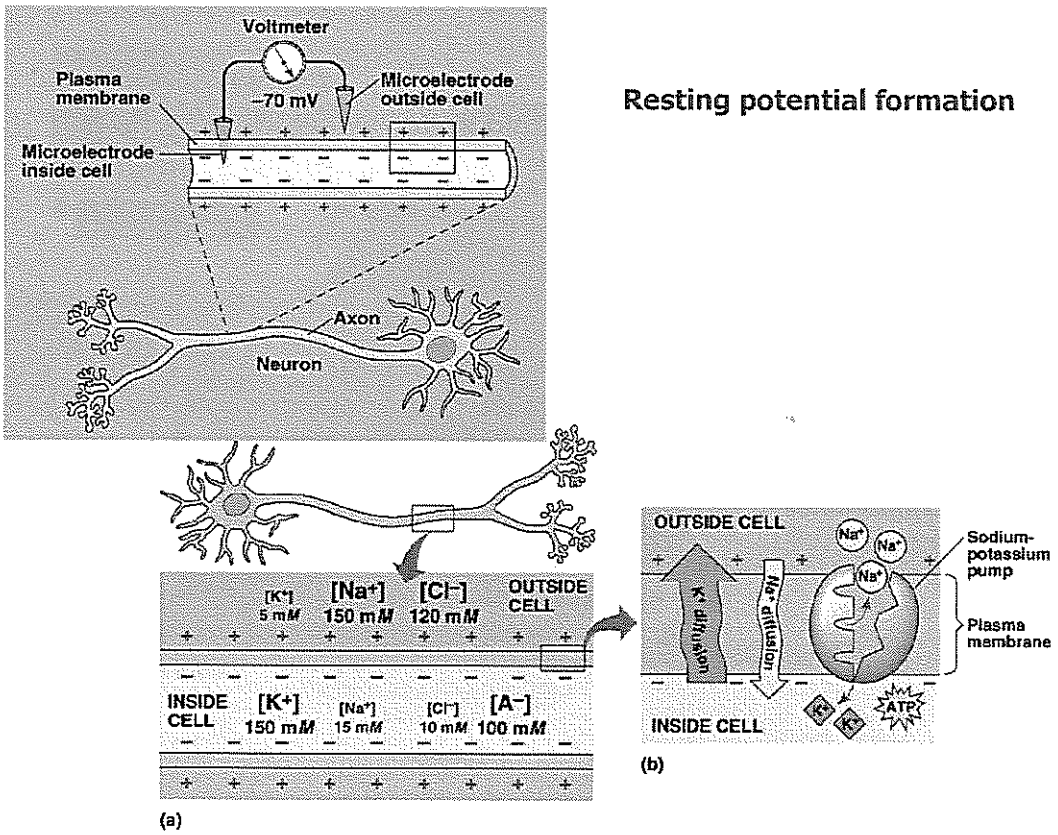
Nerve Signals and Their Transmission

Resting potential formation

- Neuron มีการตอบสนองต่อสิ่งเร้า (stimulus) ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อได้รับการกระตุ้นเพียงพอจะเกิด electrical impulse วิ่งไปตามความยาวของ axon เรียกว่า action potential หรือ nerve impulse
- Resting neuron เป็น neuron ที่ไม่ได้นำประจุไฟฟ้าแต่มีประจุไฟฟ้าเก็บในตัว
- Membrane potential (ความต่างศักย์) = ความต่างของประจุไฟฟ้าระหว่างภายในและภายนอก membrane ที่จุดใดจุดหนึ่ง ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้หากมีสิ่งเร้ามากระตุ้น
- Resting potential = membrane potential ของ resting neuron ก่อนที่จะมีการส่ง nerve impulse ออกไป ปกติมีค่าระหว่าง -60 ถึง -80 mV (millivolts)
  - ภายนอกเซลล์มีประจุบวกมาก (Na^+ และ Cl^- มาก)
  - ภายในเซลล์มี K^+ และ protein ions มาก

Resting potential formation

- K^+ และ Na^+ เป็นตัวสำคัญในการสร้าง resting potential
- ระหว่างภายนอกและภายใน neuron membrane มี Na^+ และ K^+ gradient ซึ่งมี sodium-potassium pump ใน membrane เป็นกลไกช่วยรักษา gradient นี้ไว้
- Na^+, K^+ และ Cl^- ผ่านเข้าออก membrane ทาง ion channels ใน membrane
- เมื่อ membrane อยู่ในระยะพัก
  - Sodium channels (voltage-gated sodium ion channels) ปิด
  - Potassium channels (voltage-gated potassium ion channels) ปิดเพียงบางส่วน ยอมให้ Cl^- ผ่านได้อย่างช้าๆ



Resting potential formation