

2.6 Cartilage

- ◆ ประกอบด้วยตาข่าย collagen และ elastic fibers ฝังตัวอยู่ใน matrix ของ chondroitin sulfate ซึ่งเป็นสารวุ้น
- ◆ เซลล์ cartilage ที่ยังไม่โตเรียกว่า chondroblast จะสร้าง matrix และถูกกักอยู่ภายในช่องเล็กๆเรียกว่า lacuna หลังจากนั้นจะถูกเรียกว่า chondrocyte
- ◆ ไม่มีหลอดเลือดและเส้นประสาท ยกเว้นในส่วนเยื่อหุ้ม perichondrium ที่เป็น dense irregular connective tissue ที่หุ้ม cartilage เท่านั้น ที่มีหลอดเลือดและเส้นประสาท
- ◆ สารอาหารและของเสียจะผ่านเข้าออกโดยการแพร่ (diffusion) ผ่าน matrix ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช้า ทำให้ chondrocytes มีอัตราการแบ่งเซลล์และ metabolism ช้าด้วย เป็นผลให้การบาดเจ็บที่ cartilage หายช้า
- ◆ Cartilage แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

2.6.1 Hyaline cartilage

- ◆ พบมากที่สุด ลักษณะคล้ายพลาสติกสีขาว
- ◆ พบที่ส่วนปลายกระดูกของข้อต่อต่างๆ กระดูกอ่อนที่กั้นช่องจมูก ลิ้นไก่ กล่องเสียง (larynx) และหลอดลมใหญ่ (trachea)
- ◆ collagen fibers เส้นเล็กมากจนมองไม่เห็นเมื่อย้อมสีด้วยวิธีธรรมดา
- ◆ chondrocytes อยู่ภายในช่อง lacuna อาจอยู่เดี่ยวๆ หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม
- ◆ มี perichondrium หุ้ม

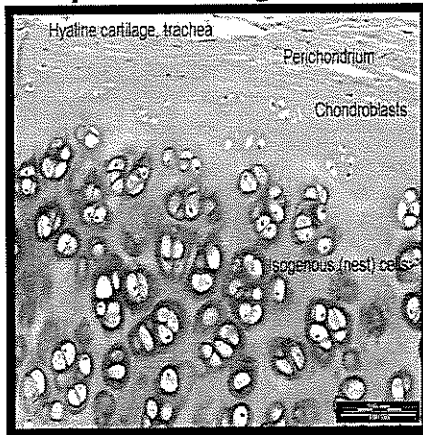
2.6.2 Elastic cartilage

- ◆ มีความยืดหยุ่นมากกว่า hyaline cartilage
- ◆ chondrocyte อยู่เดี่ยวๆภายในช่อง lacuna ที่แทรกอยู่ในตาข่ายของ elastic fibers ภายใน matrix
- ◆ มี elastic fibers มากกว่า collagen fibers
- ◆ พบที่ใบหู (pinna) และฝาปิดกล่องเสียง (epiglottis)
- ◆ มี perichondrium หุ้ม

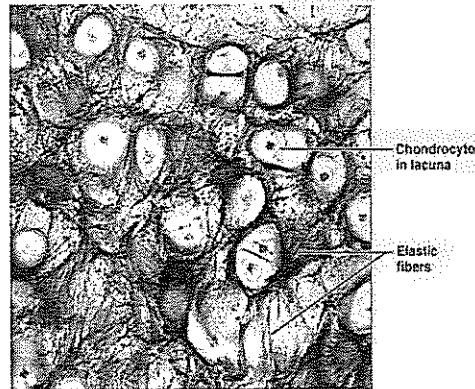
2.6.3 Fibrocartilage

- ◆ เป็น cartilage ที่แข็งแรงที่สุด
- ◆ มีลักษณะผสมระหว่าง dense CT และ hyaline cartilage
- ◆ ประกอบด้วย collagen fibers จำนวนมากเรียงเป็นแถวขนานกันคล้าย tendon มี chondrocytes เรียงเป็นแถวอยู่ระหว่างมัดของ collagen fibers
- ◆ พบในหมอนกระดูกสันหลัง (intervertebral disks) และแนวกระดูกประสานของกระดูกหัวหน่าว (symphysis pubis)
- ◆ ไม่มี perichondrium หุ้ม

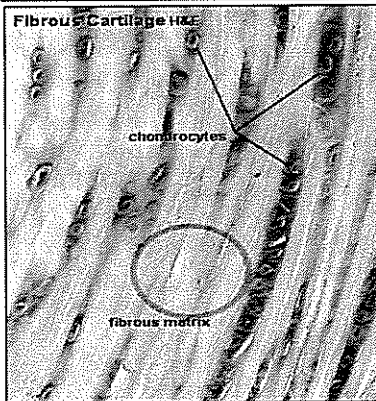
Hyaline cartilage



Elastic cartilage



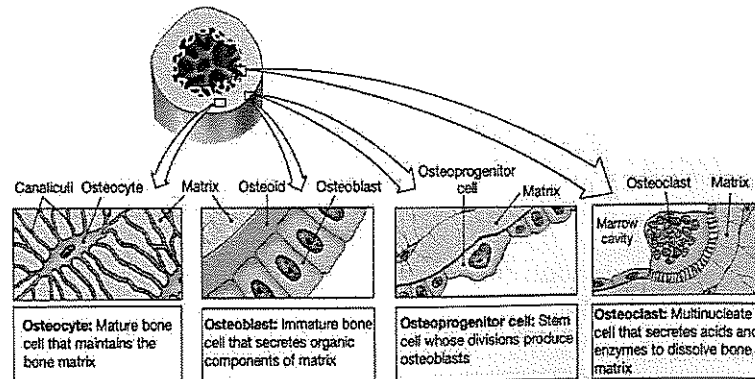
Photomicrograph: Elastic cartilage from the human ear (H&E)



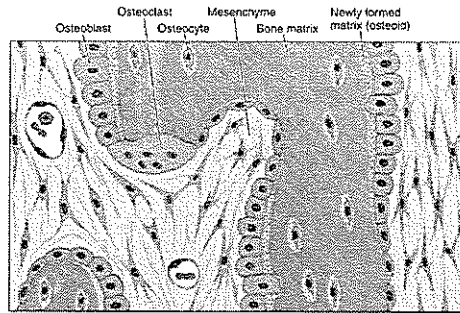
Fibrocartilage

2.7 Bone หรือ Osseous tissue

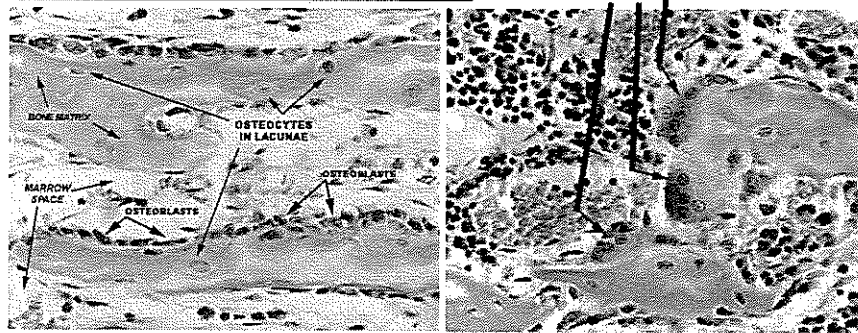
- ◆ มี matrix ที่ประกอบด้วย calcium และ collagen fibers
- ◆ มีเยื่อหุ้มเรียกว่า periosteum
- ◆ เซลล์ของ bone มี 4 ชนิด ได้แก่
 - ◇ Osteoblast เป็นเซลล์สร้างกระดูก
 - ◇ Osteocyte เป็นเซลล์กระดูกที่โตเต็มที่แล้ว อยู่ในช่องที่เรียกว่า lacuna
 - ◇ Osteoclast เป็นเซลล์ขนาดใหญ่อยู่ที่ผิวของกระดูก และมีหลายนิวเคลียส (multinucleated cell) ทำหน้าที่ดูดกลืนกลับ (reabsorption) หรือทำลาย matrix ในบริเวณที่ต้องการ ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต การรักษา รูปร่างและการซ่อมแซมกระดูก
 - ◇ Osteoprogenitor cells เป็น stem cells ที่จะแบ่งตัวและสร้าง osteoblasts



(a) Cells of bone

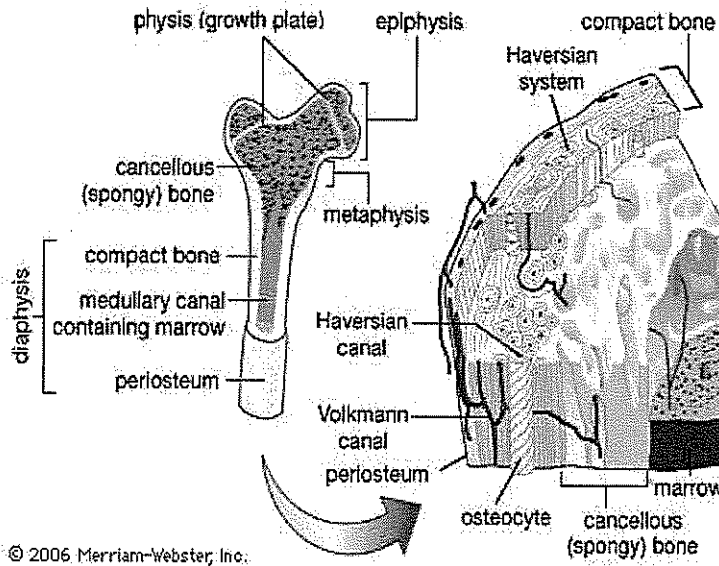


Cells of compact bone



ชนิดของกระดูก

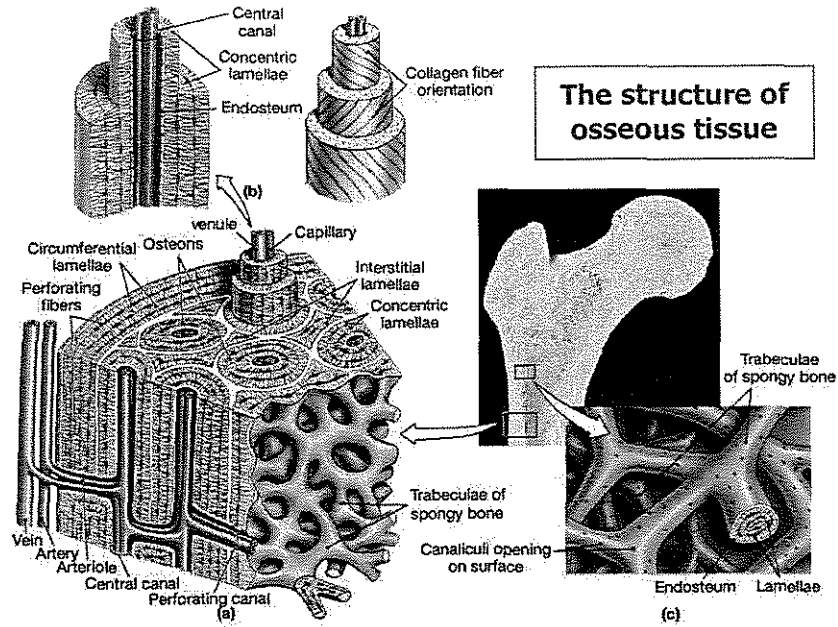
- ◆ แบ่งตามขนาดและตำแหน่งของช่องว่างในเนื้อเยื่อ ได้เป็น 2 ชนิด คือ
 1. compact bone
 2. spongy bone



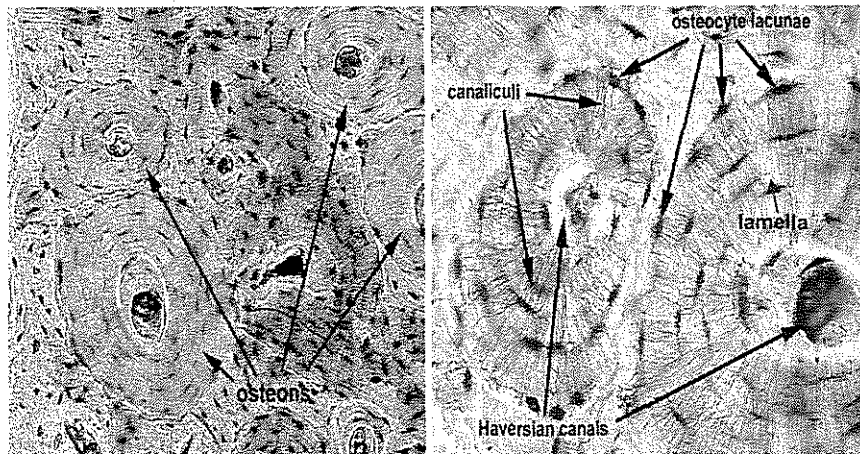
© 2006 Merriam-Webster, Inc.

Compact bone

- ◆ ประกอบด้วย Haversian systems (Osteons) แต่ละ system (osteon) ประกอบด้วย
 1. Haversian canal (central canal, osteonic canal)
 2. lamellae หลายวงล้อมรอบ canal
 3. lacunae (ที่อยู่ของ osteocytes)
 4. canaliculi ซึ่งเป็นช่องทางออกของ processes (แขนง) ของ osteocyte ที่จะยื่นไปติดต่อกับ lacunae อื่นๆ และติดต่อกับ Haversian canal

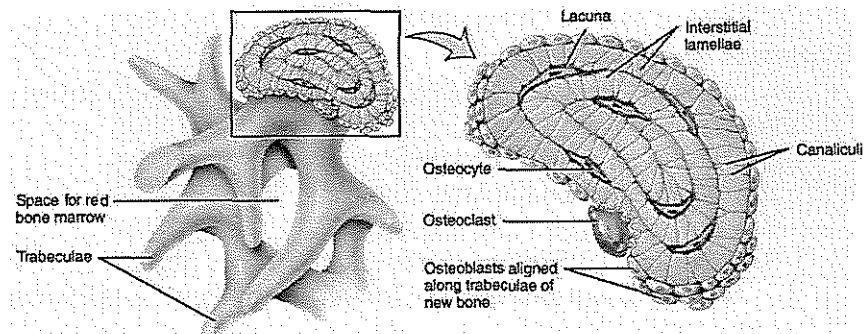


Haversian systems (Osteons) ของ bone



Structure of spongy bone

- ◆ ประกอบด้วย bony processes เรียกว่า **trabeculae**
- ◆ แต่ละ trabecula มีวงของ lamellae และ osteocytes จำนวนมากแต่เล็กเกินกว่าที่จะมี osteons หรือ vessels
- ◆ Osteocytes ได้รับ nutrients จาก capillaries ใน endosteum (เยื่อภายใน) ที่อยู่รอบๆ trabecula

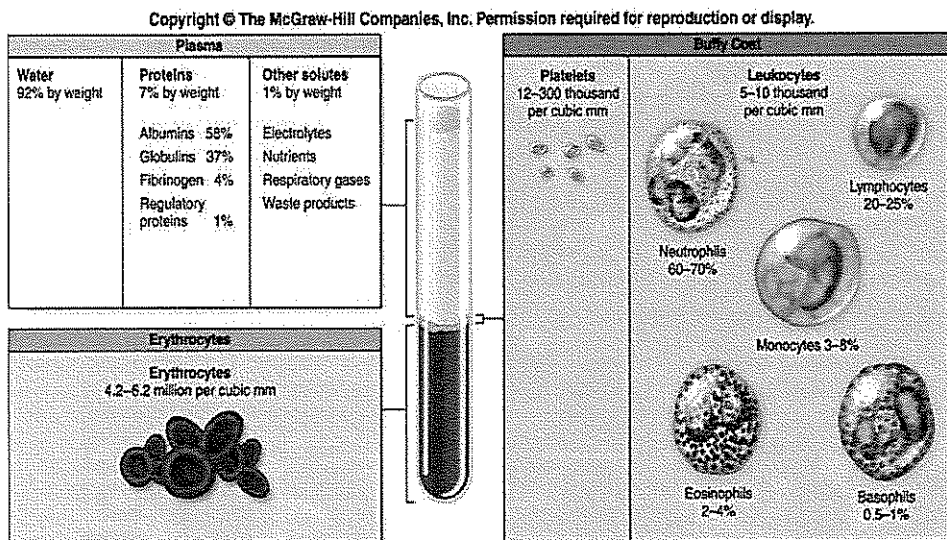
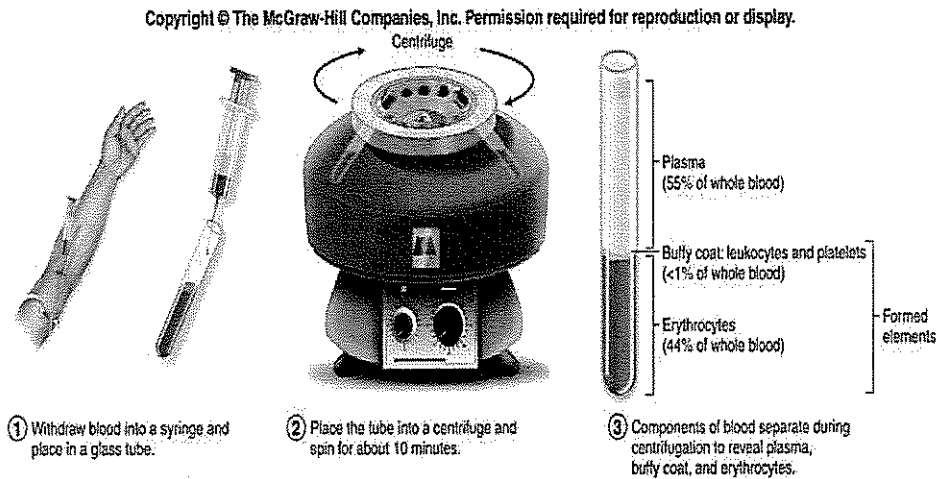


2.8 Blood (Vascular tissue)

- ◆ เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เป็นของเหลว
- ◆ เป็น 7-8% ของน้ำหนักร่างกาย มี pH ≈ 7.35-7.45
- ◆ มีความเข้มข้นของ NaCl 0.9%
- ◆ Hematology = วิชาโลหิตวิทยา = ศึกษาเกี่ยวกับเซลล์เม็ดเลือด
- ◆ หน้าที่หลักๆของเลือด
 - ◇ ขนส่งแก๊ส สารอาหาร ภูมิคุ้มกัน โปรตีน และสารอื่นๆ
 - ◇ ป้องกันร่างกายด้วยระบบภูมิคุ้มกัน
 - ◇ ควบคุมความสมดุลของร่างกาย และอุณหภูมิของร่างกาย

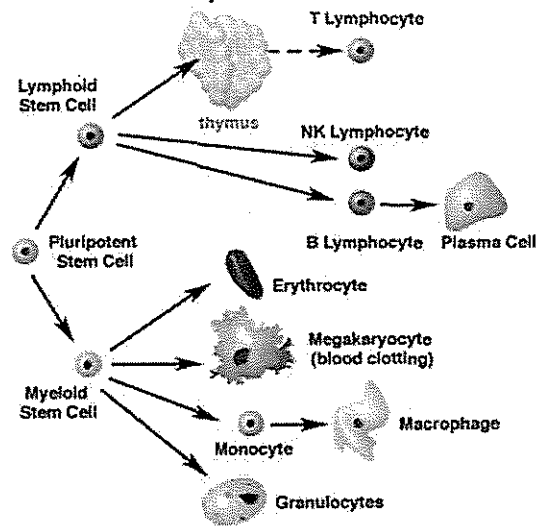
ส่วนประกอบของเลือด : 2 ส่วน

1. Plasma = ส่วนที่เป็นของเหลวใส ≈ 55%
2. Formed elements (Cellular elements) = ส่วนที่เป็นเซลล์และชิ้นส่วนของเซลล์ที่แขวนลอยอยู่ใน plasma ≈ 45% ของปริมาตรเลือด แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่
 - 1) Erythrocytes = เซลล์เม็ดเลือดแดง (red blood cells)
 - 2) Leukocytes = เซลล์เม็ดเลือดขาว (white blood cells)
 - 3) Platelets (เกล็ดเลือด) หรือ Thrombocytes



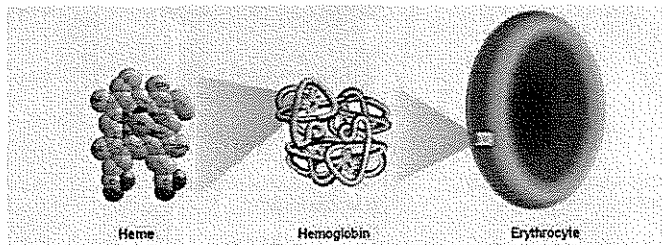
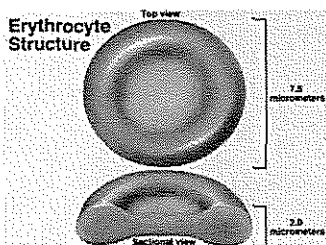
การเจริญพัฒนาของเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่างๆ

- ◆ **Cellular elements**
ทั้งหมดพัฒนามาจากกลุ่มของเซลล์ตั้งต้นที่เรียกว่า pluripotent stem cells ในไขกระดูก
- ◆ **Pluripotent**
หมายความว่าเซลล์เหล่านี้มีศักยภาพที่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์เม็ดเลือดชนิดใดก็ได้หรือเป็นเซลล์ที่สร้าง platelets

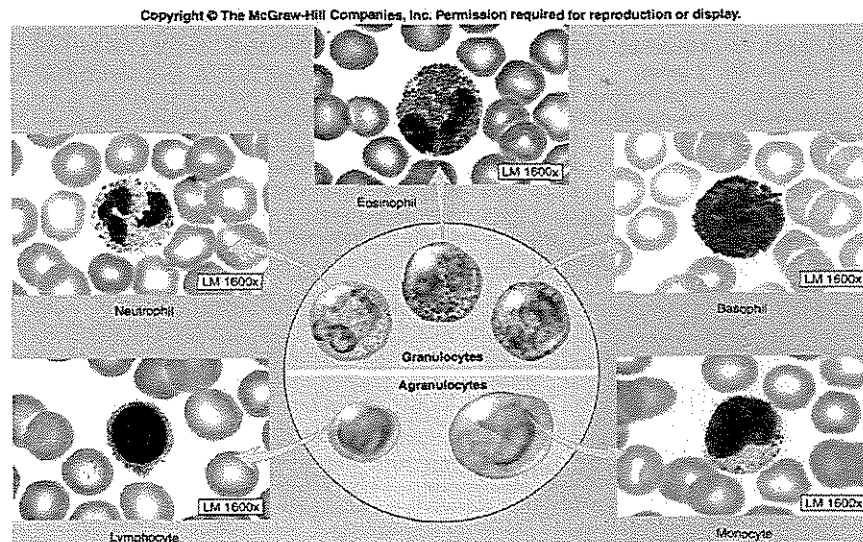


Erythrocytes (Red blood cells, RBC)

- ◆ เซลล์ไม่มีนิวเคลียสรูปร่างกลม
- ◆ บวมตรงกลางทั้งสองข้าง (biconcave disc)
- ◆ เส้นผ่าศูนย์กลาง $\approx 7.5 \mu\text{m}$
- ◆ ส่วนประกอบหลักคือโปรตีน hemoglobin ที่มีเหล็ก (heme) เป็นส่วนประกอบซึ่งทำให้ RBC มีสีแดง
- ◆ ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ ลิพิด ATP และเอนไซม์ carbonic anhydrase
- ◆ หน้าที่ - ขนส่ง O_2 & CO_2 โดยมี hemoglobin เป็นผู้ล่าเสียง



ชนิดของเซลล์เม็ดเลือดขาว



เซลล์เม็ดเลือดขาว: Granulocytes

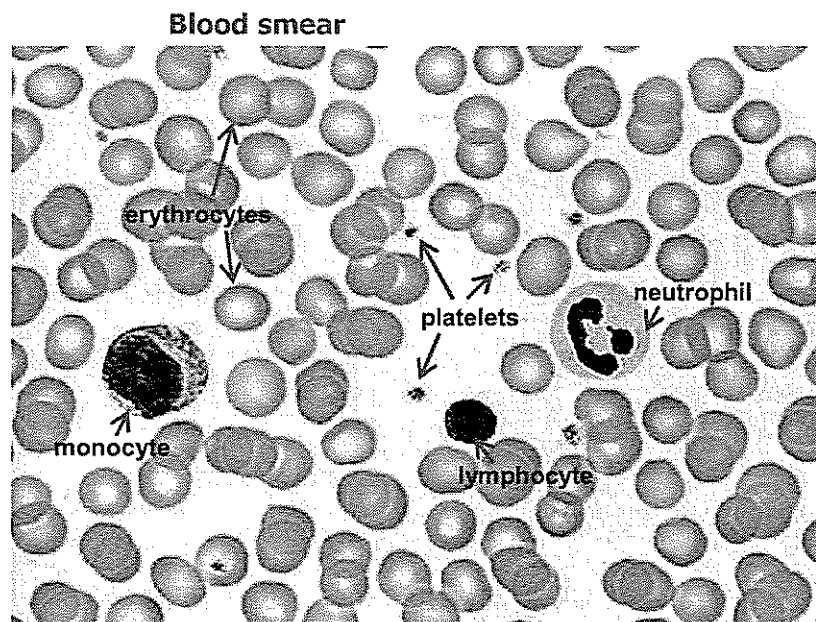
1. Neutrophils (60-70% ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด) มี nucleus 2-5 พู granules ดัดสีม่วง จะเข้าไปในเนื้อเยื่อที่ติดเชื้อ เพื่อกิน (phagocytosis) และทำลายจุลินทรีย์ เซลล์จะสลายตัวไปเอง ปกติมีช่วงชีวิตเพียง 2-3 วัน
2. Eosinophils (1-5% ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด) มี nucleus แบ่งเป็น 2 พู granules ดัดสีส้มแดง ทำหน้าที่ทำลายพยาธิขนาดใหญ่ เช่น พยาธิใบไม้ ดิบ
3. Basophils (0.5-1% ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด) มี nucleus รูปตัว S มี granules ดัดสีน้ำเงิน ภายใน granules มีสาร heparin และ histamine → การแพ้ (allergy)

เซลล์เม็ดเลือดขาว: Agranulocytes

1. Lymphocytes (20-25% ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด) มี nucleus กลมใหญ่ ไม่แบ่งเป็นพู เกือบเต็มเซลล์ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ B lymphocytes และ T lymphocytes
2. Monocytes (5% ของเม็ดเลือดขาวทั้งหมด) มี nucleus รูปเกือกม้า หรือ รูปไตไม่แบ่งเป็นพู monocyte ที่เกิดใหม่จะอยู่ในเลือด 2 - 3 ชั่วโมง แล้ว เคลื่อนเข้าสู่เนื้อเยื่อและพัฒนาเป็น phagocytic cell ขนาดใหญ่เรียกว่า Macrophage (big-eater) มีชีวิตยาว

Platelets (เกล็ดเลือด)

- ◆ เป็นโครงสร้างลักษณะเป็นแผ่นขนาดเล็กไม่มีนิวเคลียส
- ◆ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-4 ไมโครเมตร
- ◆ เปลี่ยนแปลงมาจากไซโทพลาซึมของเซลล์ megakaryocytes ในไขกระดูกแดง แต่ละไซโทพลาซึมจะมีเยื่อหุ้มเซลล์มาหุ้มและกลายเป็น platelets
- ◆ ภายใน platelets มีสารที่ช่วยให้เลือดจับตัวเป็นลิ่ม (blood clotting) ทำให้เลือดหยุดไหล
- ◆ platelets มีอายุประมาณ 8-11 วัน และพวกที่ไม่ถูกใช้จะถูกทำลายโดย macrophages ในม้าม

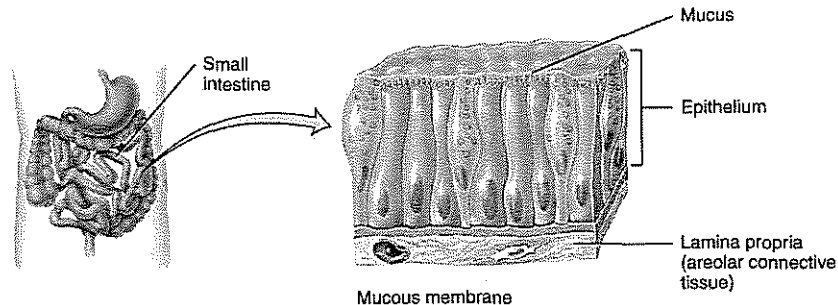


Membranes = Thin Sheets of Cells/Simple Organs

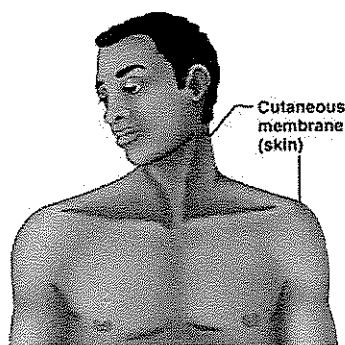
- ◆ Membrane เป็นเนื้อเยื่อแบบบางๆที่บุ (line) หรือปกคลุม (cover) ส่วนของร่างกาย
- ◆ Membrane นี้เป็น multicellular structure และต่างไปจาก plasma membrane ของเซลล์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม
 - 1) Epithelial membranes ประกอบด้วย epithelium และชั้น connective tissue ที่อยู่ด้านล่าง แบ่งเป็น 3 ชนิด
 - i) mucous membranes
 - ii) serous membranes
 - iii) cutaneous membranes
 - 2) Synovial membranes ประกอบด้วย connective tissues เพียงอย่างเดียว และบุช่องของ synovial joints (ข้อต่อ)

Mucous membranes (หรือ Mucosa)

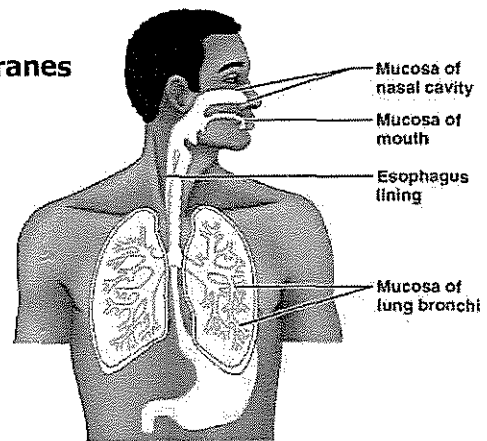
- ◆ บุช่องร่างกายที่เปิดออกภายนอก เช่น digestive, respiratory และ urogenital tracts ช่วยป้องกันการติดเชื้อ
- ◆ epithelium วางอยู่บนชั้น areolar tissue (lamina propria)
- ◆ Epithelium มีการปรับตัวไปทำหน้าที่ดูดซึมและหลั่ง mucus



Covering and Lining Membranes



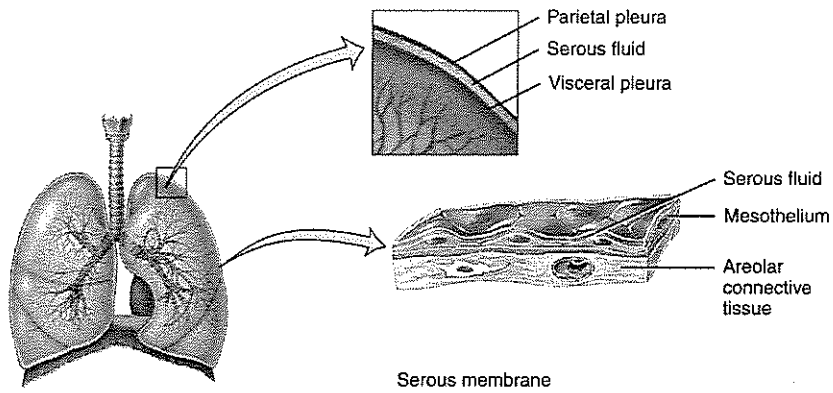
(a) Cutaneous membrane



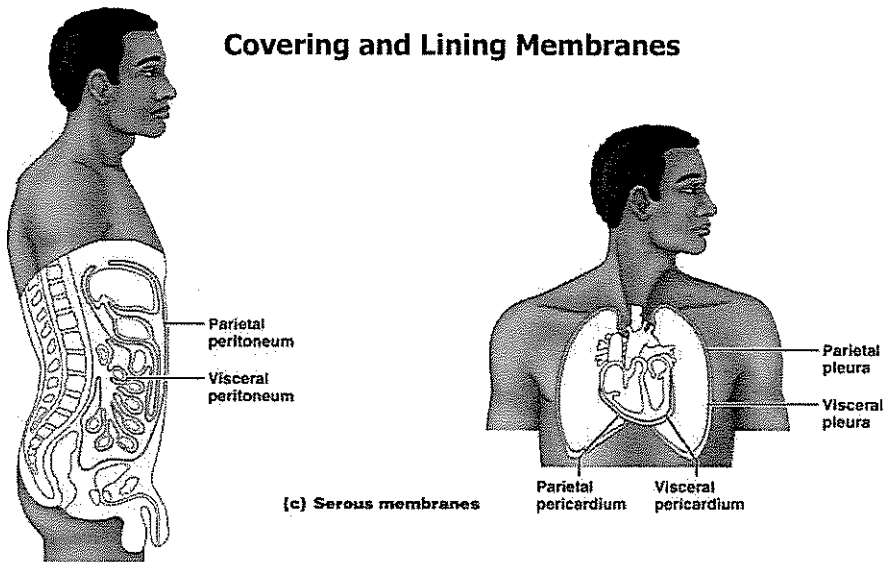
(b) Mucous membranes

Serous membranes

- ◆ ปกคลุมผิวของอวัยวะที่ไม่ติดต่อกับภายนอกและหลังสารค้ำน้ำ
- ◆ Serous membranes มี 2 ชั้น :
 - parietal layer ติดกับ body wall รอบอวัยวะ
 - visceral layer ติดกับอวัยวะ
- ◆ ชื่อของ membrane เรียกตามตำแหน่งที่อยู่ เช่น *pleura* (เยื่อหุ้มปอด), *pericardium* (เยื่อหุ้มหัวใจ), *peritoneum* (เยื่อช่องท้อง)

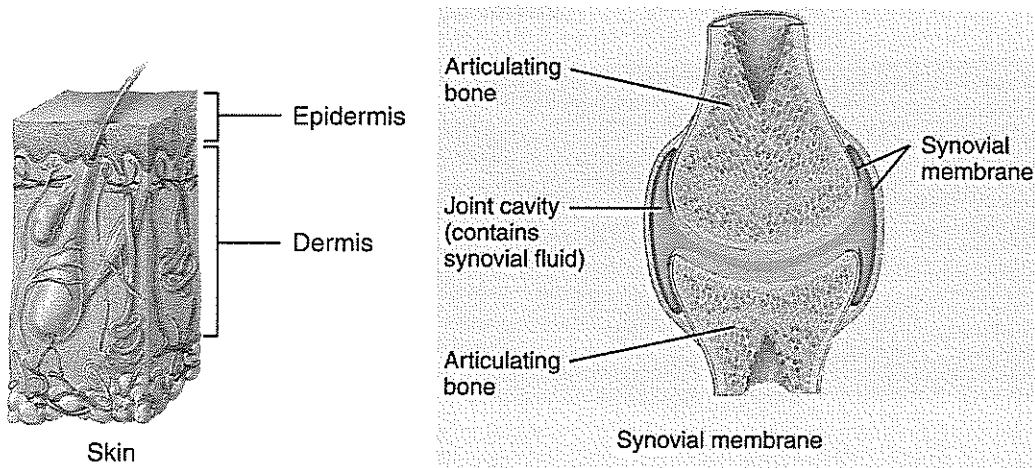


Covering and Lining Membranes



Cutaneous membrane และ Synovial membrane

- ◆ Cutaneous membrane คือผิวหนัง (skin) ปกคลุมผิวภายนอกของร่างกาย
- ◆ Synovial membranes บวมของข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ (movable joints) ประกอบด้วย connective tissues เพียงอย่างเดียว



บทที่ 3 เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (Muscular Tissue)

Muscular tissue และ Muscular system

- ◆ Muscular tissue หมายถึงเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ 3 ชนิด คือ skeletal muscle, cardiac muscle และ smooth muscle
- ◆ Muscular system หมายถึงระบบกล้ามเนื้อโครงร่างที่ประกอบด้วย skeletal muscle fibers (cells) รวมตัวเป็นมัด มี connective tissue หุ้ม และยึดติดกับกระดูกโดย tendon

หน้าที่ของ Muscle Tissue

- ◆ Body movement - ช่วยการเคลื่อนไหวของร่างกาย ต้องการการทำงานร่วมกันของ skeletal muscle, bone และ joint
- ◆ Body stability - ต้องการการหดตัวของ skeletal muscle ช่วยรักษาท่าทางของร่างกายให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง
- ◆ Storing and moving substances - ต้องการ smooth muscle และ cardiac muscle ช่วยในการเก็บสำรองและการเคลื่อนที่ของสสารภายในร่างกาย
 - blood, lymph, urine, air, food และ fluids, sperms
- ◆ Heat production - สร้างความร้อน
 - การหดตัวของกล้ามเนื้อ ทำให้ตัวอุ่นเมื่อหนาว

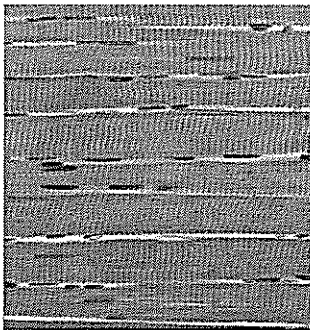
คุณสมบัติของ Muscle Tissue

- ◆ Excitability - กระตุ้นได้
 - ตอบสนองต่อสารเคมีที่ส่งมาจาก nerve cells
- ◆ Conductivity - นำ signals ได้
 - สามารถถ่ายทอด electrical signals ไปตาม membrane
- ◆ Contractility - หดตัวได้
 - สามารถหดตัวสั้นเข้า (shorten) และสร้างแรง (force) ได้
- ◆ Extensibility - ยืดตัวได้
 - สามารถยืด (stretch) ได้โดยไม่ทำลายเนื้อเยื่อ
- ◆ Elasticity - ยืดหยุ่น
 - สามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้หลังการยืดตัวออกไปแล้ว

เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ

แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

1. Skeletal muscle (กล้ามเนื้อโครงร่าง)
2. Cardiac muscle (กล้ามเนื้อหัวใจ)
3. Smooth muscle (กล้ามเนื้อเรียบ)



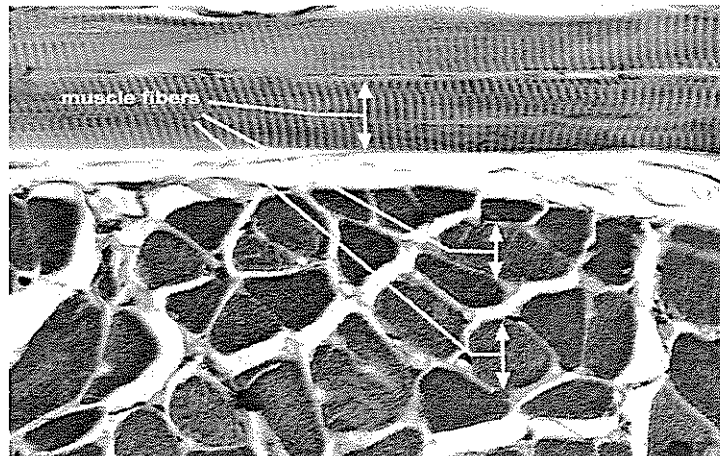
คำศัพท์ของกล้ามเนื้อ

- ◆ เซลล์ของกล้ามเนื้อเรียกว่า *fibers* เพราะว่าเป็นเซลล์ยาวๆ
- ◆ การหดตัวอาศัย *myofilaments: actin และ myosin*
- ◆ *sarcolemma* = cell membrane
- ◆ *sarcoplasm* = cytoplasm
- ◆ *T tubules* = เป็นส่วนของ sarcolemma ที่ยื่นขยายออกมาเป็นท่อยาวๆผ่านทะเล muscle fiber และเปิดออกภายนอก ภายในท่อเต็มไปด้วย interstitial fluid
- ◆ *sarcoplasmic reticulum (SR)* = endoplasmic reticulum เป็นแหล่งสะสม Ca^{2+} ที่จำเป็นต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อ

Skeletal muscle (striated muscle)

- ◆ muscle fibers (cells) = myofibers มีขนาดใหญ่ ทรงกระบอกยาวไม่มีการแตกแขนง
- ◆ หนึ่งเซลล์มีหลายนิวเคลียสอยู่ใต้เยื่อหุ้มเซลล์ (sarcolemma)
- ◆ muscle fibers จะวางเรียงขนานกันและมีแถบขาว-ดำ ตามแนวขวางสลับกัน ทำให้ดูเหมือนกับมีลายตามขวาง
- ◆ เป็นกล้ามเนื้อที่ประกอบเป็นโครงร่างของร่างกายทั้งหมด
- ◆ เป็น voluntary muscle (กล้ามเนื้อที่อยู่ในอำนาจจิตใจ)

Skeletal muscle

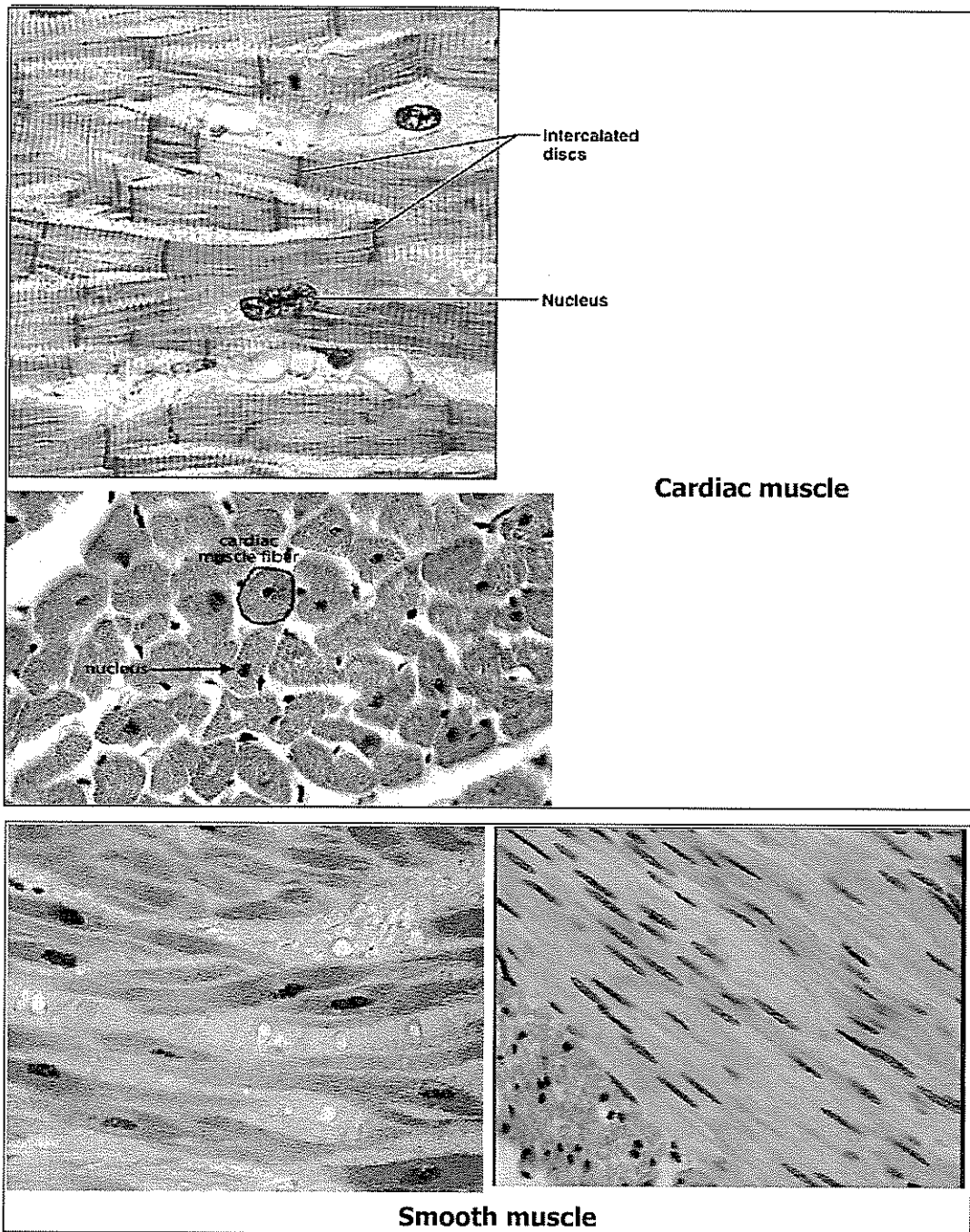


Cardiac Muscle

- ◆ พบเฉพาะที่หัวใจ มีลายเล็กๆ ตามขวาง
- ◆ fibers มีขนาดเล็กกว่า skeletal muscle fibers
- ◆ 1 fiber มี 1 นิวเคลียสอยู่กลางเซลล์
- ◆ มีการแตกแขนงทางด้านข้าง ส่วนปลายของ fibers และแขนงติดต่อกับ fibers อื่นๆ ในบริเวณที่เรียกว่า *intercalated disc* เห็นเป็นแถบหนาและสีเข้มในกล้อง
- ◆ เป็น involuntary muscle (กล้ามเนื้อที่ไม่อยู่ในอำนาจจิตใจ)

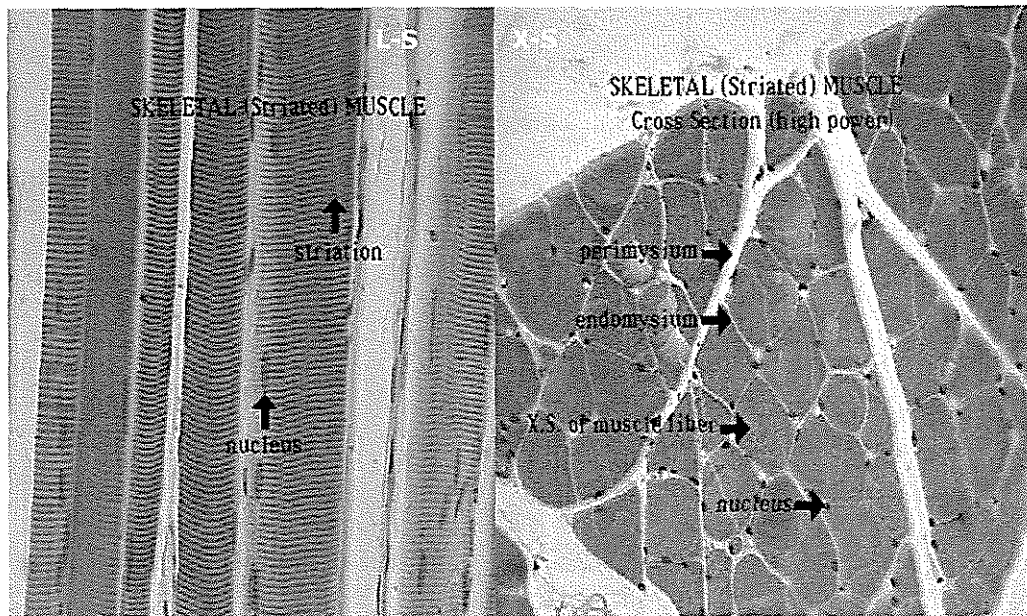
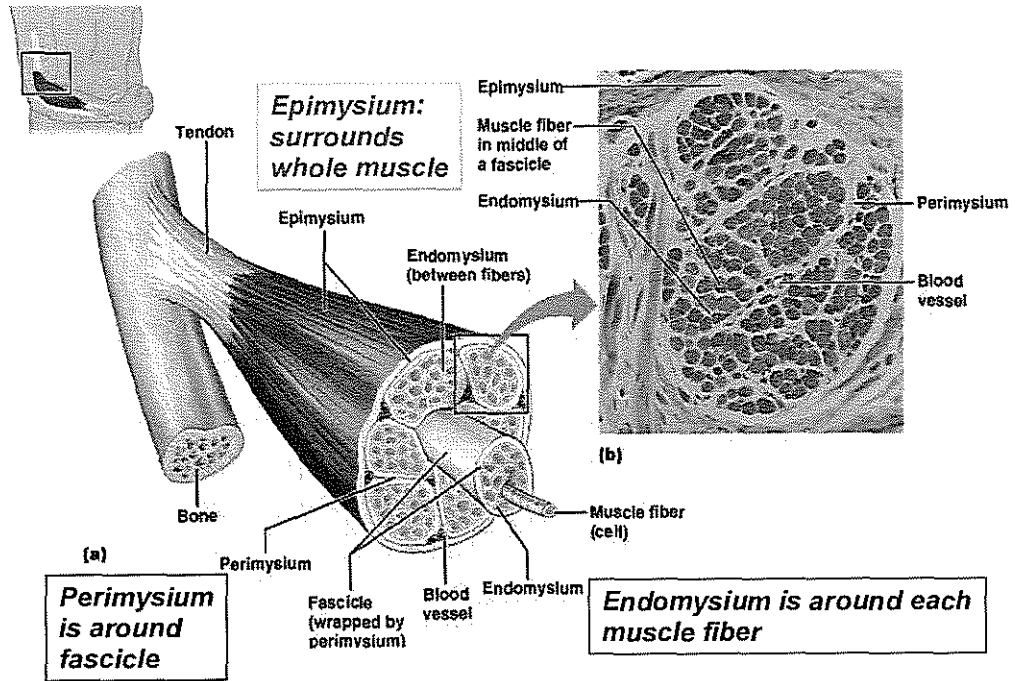
Smooth muscle

- ◆ พบในผนังของหลอดเลือด รอบๆอวัยวะที่มีช่องกลวง เช่น กระเพาะปัสสาวะ และในชั้นรอบๆทางเดินหายใจ ระบบการไหลเวียนเลือด ระบบทางเดินอาหาร และการสืบพันธุ์
- ◆ Fiber ขนาดเล็กรูปร่างคล้ายกระสวยคือหัวท้ายแหลม
- ◆ 1 fiber มี 1 นิวเคลียสอยู่กลางเซลล์ ไม่มีลายตามขวาง
- ◆ เป็น involuntary muscle (กล้ามเนื้อที่ไม่อยู่ในอำนาจจิตใจ)



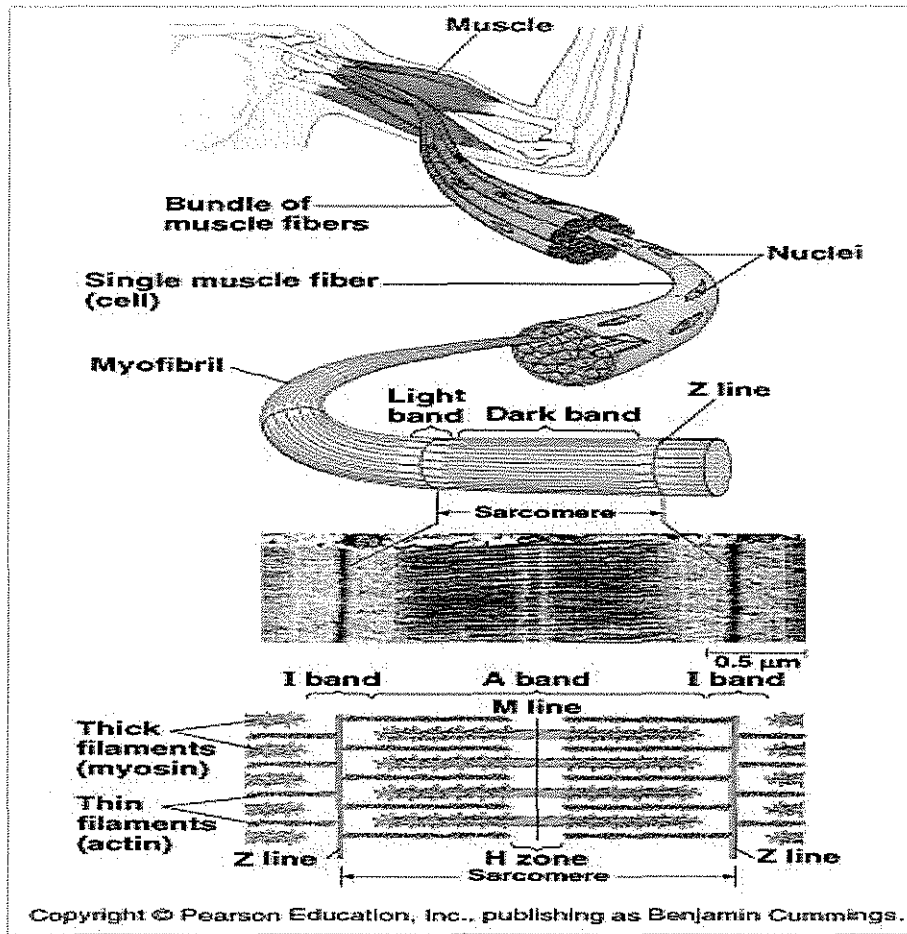
โครงสร้างของ Skeletal muscle

- ◆ Skeletal muscle เป็นมัดกล้ามเนื้อใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยหลายๆ fascicles รวมกัน โดยมี connective tissue หุ้ม เรียกเยื่อหุ้มนี้ว่า epimysium
- ◆ แต่ละ fascicle ประกอบด้วย muscle fibers จำนวนมากรวมกัน โดยมี connective tissue หุ้ม เรียกเยื่อหุ้มนี้ว่า perimysium
- ◆ แต่ละ muscle fiber มี connective tissue หุ้ม เรียกเยื่อหุ้มนี้ว่า endomysium
- ◆ connective tissue ทั้ง 3 ชั้น จะติดต่อกันที่ส่วนปลายของมัดกล้ามเนื้อและรวมกันเป็น tendon ที่ยึดกล้ามเนื้อไว้กับกระดูก



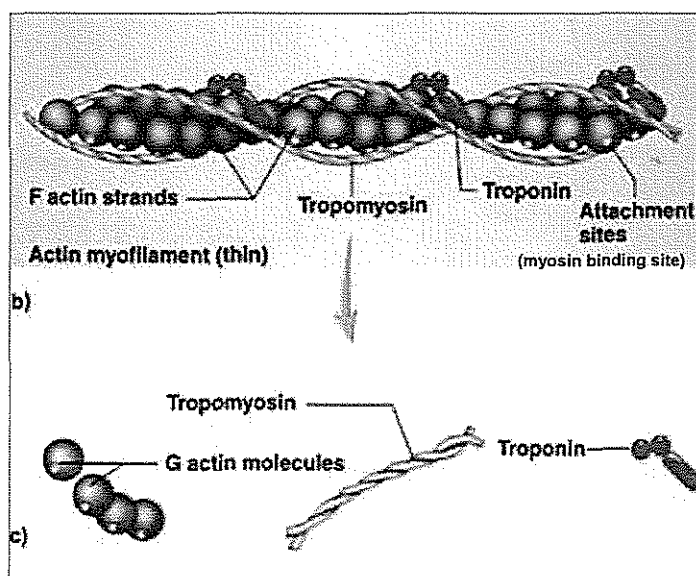
โครงสร้างของ skeletal muscle fiber

- ◆ Skeletal muscle ประกอบด้วยมัดของ fibers ยาวๆ จำนวนมาก
- ◆ แต่ละ fiber คือ 1 เซลล์ที่มีหลายนิวเคลียส
- ◆ แต่ละ fiber ประกอบด้วยกลุ่มของ myofibrils
- ◆ แต่ละ myofibril ประกอบด้วย myofilaments 2 ชนิด
 - Thin filament (actin filament) - ประกอบด้วยสาย actin 2 สาย, tropomyosin 2 สาย และ troponin
 - Thick filament (myosin filament) – ประกอบด้วยโมเลกุล myosin
 - การเรียงตัวของ myofilaments ทำให้เกิดรูปแบบของ light และ dark band ซ้ำๆกัน กลายเป็นลายสว่าง-มืดตามขวางเรียกแต่ละหน่วยที่ซ้ำกันนี้ว่า sarcomere



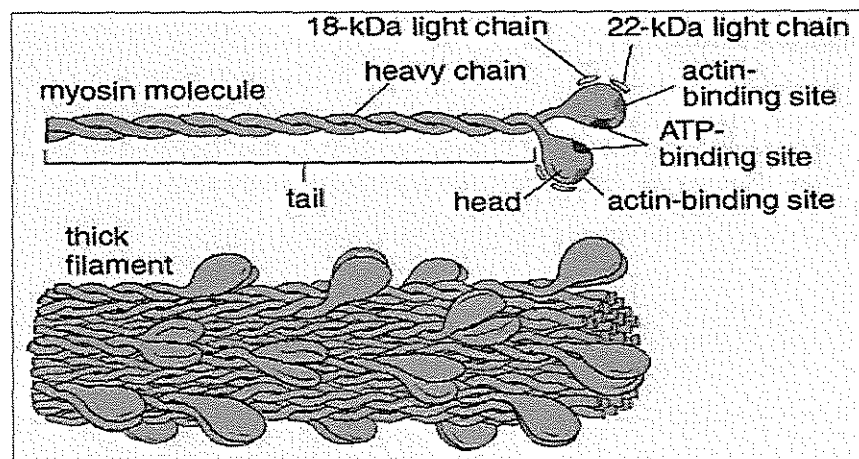
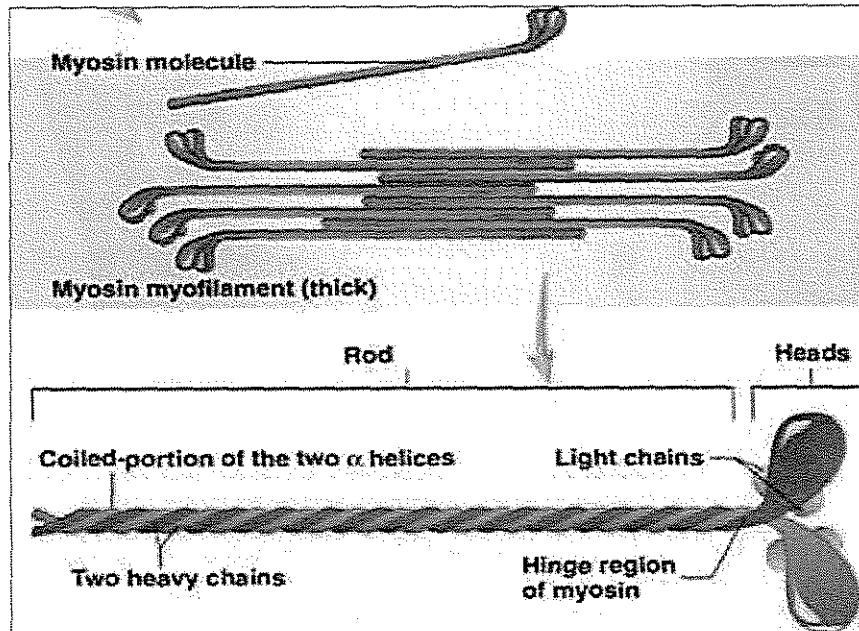
โครงสร้างของ Actin

- ◆ เป็น long filamentous polymers (**F-actin**) ประกอบด้วย globular (**G-actin**) monomers 2 สาย ซึ่งจะพันกันเป็นเกลียว
- ◆ แต่ละ G-actin monomer มี binding site สำหรับ myosin (myosin binding site)
- ◆ Actin filaments ยึดติดกับ Z line โดย protein ที่ชื่อว่า **alfa-actinin**



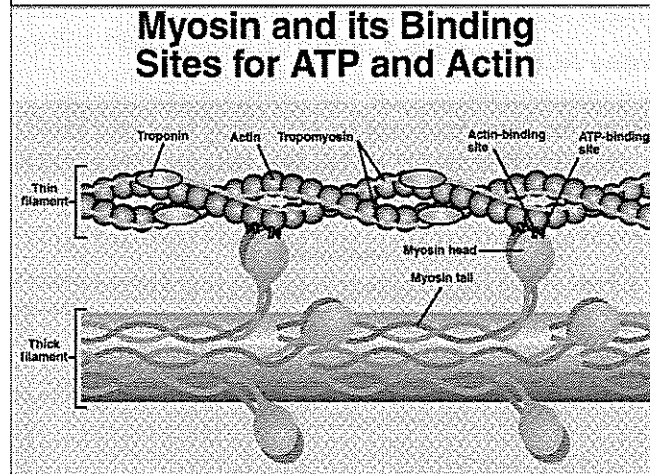
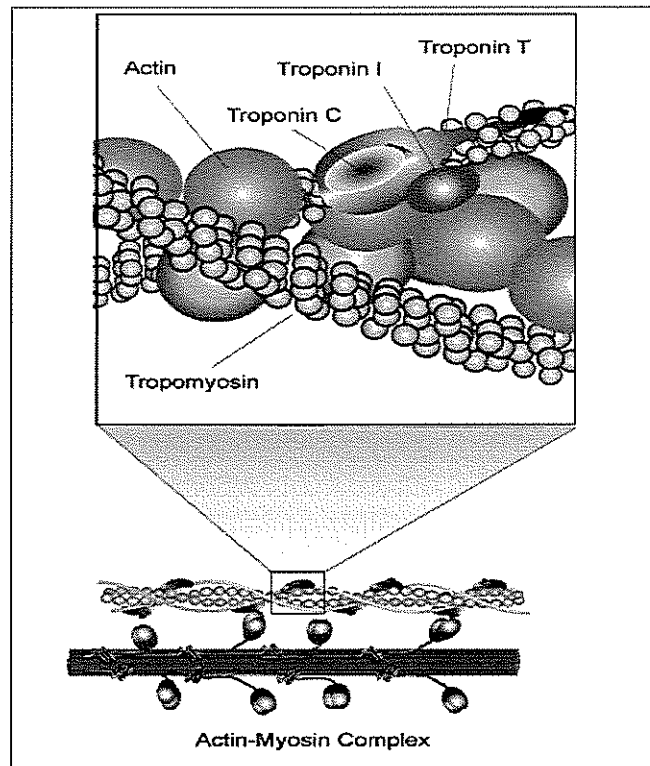
โครงสร้างของ Myosin

- ◆ ประกอบด้วย 2 heavy chains และ 4 light chains.
- ◆ Heavy chains จะพันกันเป็นเกลียว ปลายด้านหนึ่งของแต่ละ chain จะเป็นส่วนหัว (head)
- ◆ ส่วนหัวมี actin-binding site และ ATP-binding site และมี ATPase ที่ hydrolyze ATP ได้



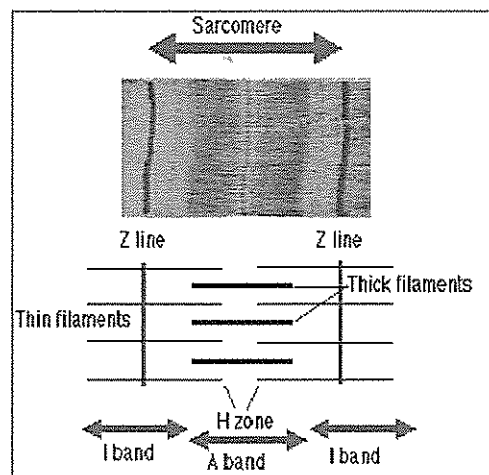
โครงสร้างของ Troponin และ Tropomyosin

- ◆ **Troponin** เป็น proteins แบ่งเป็น 3 หน่วยย่อย คือ **Troponin C, Troponin I และ Troponin T**
 - Troponin C (TnC) รูปร่างกลม ทำหน้าที่จับกับ Ca^{2+}
 - Troponin I (TnI) รูปร่างกลม จับกับ actin ทำหน้าที่ยับยั้งการหดตัวของกล้ามเนื้อ
 - Troponin T (TnT) ทำหน้าที่จับกับ tropomyosin
- ◆ **Tropomyosin** เป็น proteins ที่ประกอบด้วย 2 polypeptide chains



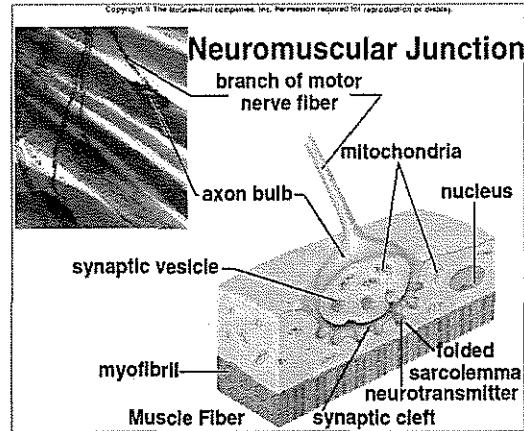
โครงสร้างของกล้ามเนื้อโครงร่าง : Sarcomere

- ◆ sarcomere เป็นหน่วยที่ทำหน้าที่หดตัวของกล้ามเนื้อ
- ◆ แต่ละ sarcomere แยกจากกันโดยแถบเล็กๆ ในแนวขวางเรียกว่า Z lines
- ◆ A band (แถบมืด) – thick filaments + thin filaments
- ◆ I band (แถบสว่าง) – thin filaments
- ◆ H zone - thick filaments



การหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง : Neuromuscular junction

- ◆ กล้ามเนื้อหดตัวโดยคำสั่งจาก motor neuron
- ◆ neuromuscular junction (neuromuscular synapse) เป็นบริเวณที่ nerve fiber มา synapse กับ muscle fiber



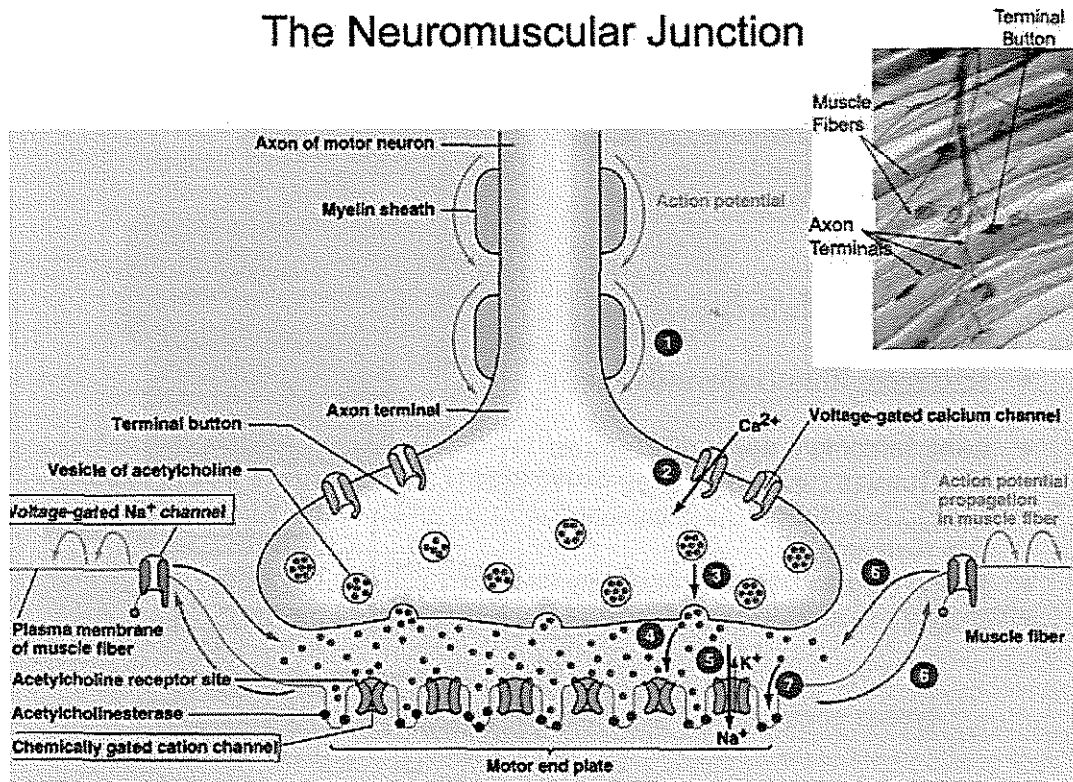
ส่วนประกอบของ Neuromuscular Junctions (NMJ)

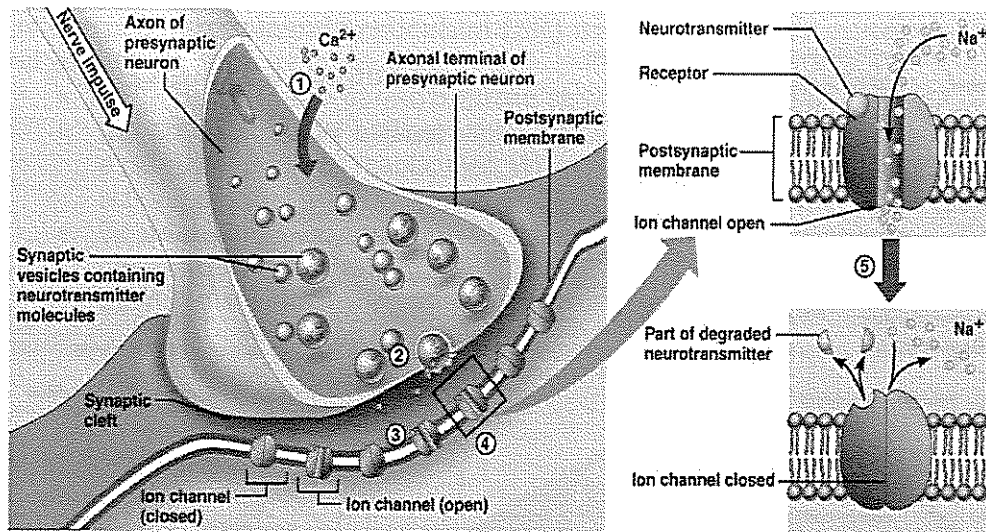
1. Axon terminal: เป็นส่วนปลายของ nerve axon ที่พองเป็นกระเปาะ ภายในมี synaptic vesicles ที่บรรจุสารสื่อประสาท (neurotransmitter): acetylcholine (ACh)
2. Synaptic cleft: ช่องว่าง (20 – 30 nm) ระหว่าง axon terminal และ sarcolemma ภายในมี enzyme acetylcholinesterase (AChE) ที่สามารถสลาย ACh ให้เป็น acetate และ choline มีผลให้กล้ามเนื้อคลายตัว
3. Motor end plate : เป็นส่วนของ sarcolemma ที่ติดต่อกับ nerve terminal มีการยกตัวเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว มี ACh receptors จำนวนมากที่ membrane

ลำดับการทำงานของ ACh ใน NMJ

- ◆ เมื่อมี nerve impulse ส่งมาถึง (1) Ca^{+2} จะไหลเข้า axon terminal (2) และกระตุ้นให้ synaptic vesicles เกิด exocytosis ปล่อย ACh เข้าสู่ synaptic cleft (3) ACh ไปจับกับ receptors บน sarcolemma (4) ก่อให้เกิดการส่งต่อ action potential ในกล้ามเนื้อ (5, 6) และขยายผลต่อไปทำให้กล้ามเนื้อหดตัวในที่สุด

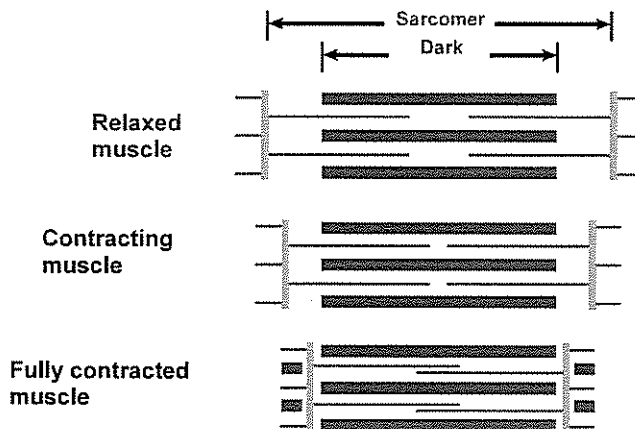
The Neuromuscular Junction





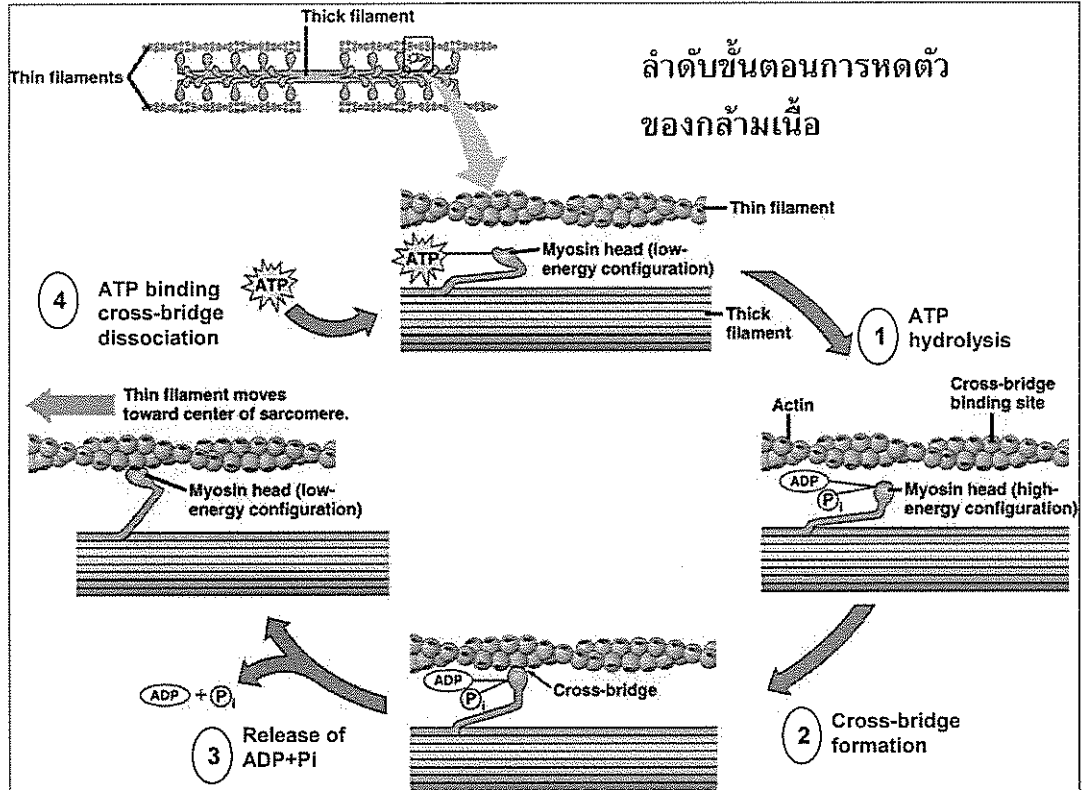
การหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่าง : Sliding - filament model

- ◆ การหดตัวของกล้ามเนื้อโครงร่างเกิดจากการเลื่อนเข้ามาซ้อนกันของ thick และ thin filaments เรียกว่า sliding-filament model
- ◆ การเลื่อนของ filaments เกิดจากปฏิกิริยาร่วมกันของ actin และ myosin
- ◆ เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวความยาวของ sarcomere ลดลง, ระยะทางระหว่าง Z line สั้นลง, A band คงที่, I band แคบเข้า, H zone หายไป
 - Thin filament เลื่อนตัวเข้ามาซ้อนกัน
 - Thick filament อยู่กับที่



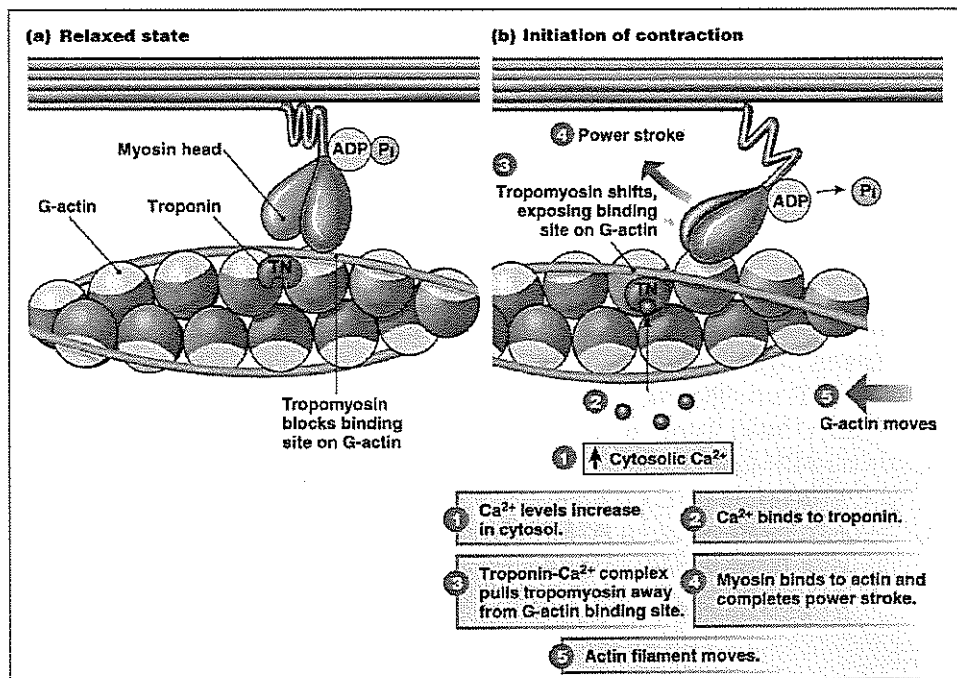
ขั้นตอนการหดตัวของกล้ามเนื้อเกิดขึ้นตามลำดับ ดังนี้

1. เริ่มจาก myosin head จับกับ ATP อยู่ในรูป low energy จึง hydrolyse ATP ให้เป็น ADP และ Pi เพื่ออยู่ในรูป high energy
2. Myosin head จับกับ actin เป็น cross-bridge
3. ปล่อย ADP และ Pi ทำให้ myosin พักอยู่ในรูป low energy ดึง thin filament เข้าสู่ส่วนกลางของ sarcomere
4. Myosin head หลุดออกจาก cross-bridge ไปจับกับ ATP ตัวใหม่ ดังนั้นเมื่อ myosin head hydrolyse ATP ก็จะกลับเข้าสู่รูป high energy อีกครั้ง เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่อีก



บทบาทของแคลเซียมในการควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อ

- ◆ กล้ามเนื้อขณะพัก - myosin binding site ของ actin จะถูกกันโดย tropomyosin ที่เป็น regulatory protein และ troponin จะควบคุมตำแหน่งของ tropomyosin ที่ thin filament ทำให้ actin จับกับ myosin ไม่ได้
- ◆ เมื่อกล้ามเนื้อจะหดตัว - Ca^{2+} จะจับกับ troponin ทำให้ myosin binding site ของ actin เปิดว่างและมาจับกับ myosin ได้ ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว เมื่อระดับ Ca^{2+} ลดลง myosin binding site ถูกปิด กล้ามเนื้อจะคลายตัว (relax)



บทบาทของ sarcoplasmic reticulum (SR) และ T-tubule ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

- ◆ Ca^{2+} ในเซลล์กล้ามเนื้อถูกควบคุมโดย sarcoplasmic reticulum (= ER)
- ◆ เมื่อ action potential มาถึง synapse จะกระตุ้นให้มีการปล่อย acetylcholine ที่เป็นสารสื่อประสาทเข้าสู่ synaptic cleft ทำให้เซลล์กล้ามเนื้อเกิด depolarization และ action potential แพร่ไปยังเซลล์กล้ามเนื้อบริเวณ T-tubule (transverse tubule)
- ◆ SR ปล่อย Ca^{2+} → cytoplasm → Ca^{2+} + troponin → กล้ามเนื้อหดตัว → เมื่อ Ca^{2+} ถูกส่งกลับ → SR → กล้ามเนื้อคลายตัว และ tropomyosin-troponin complex ป้องกันไม่ให้ actin จับกับ myosin

