

9132204 : สุขภาพและความงาม

บทที่ 1

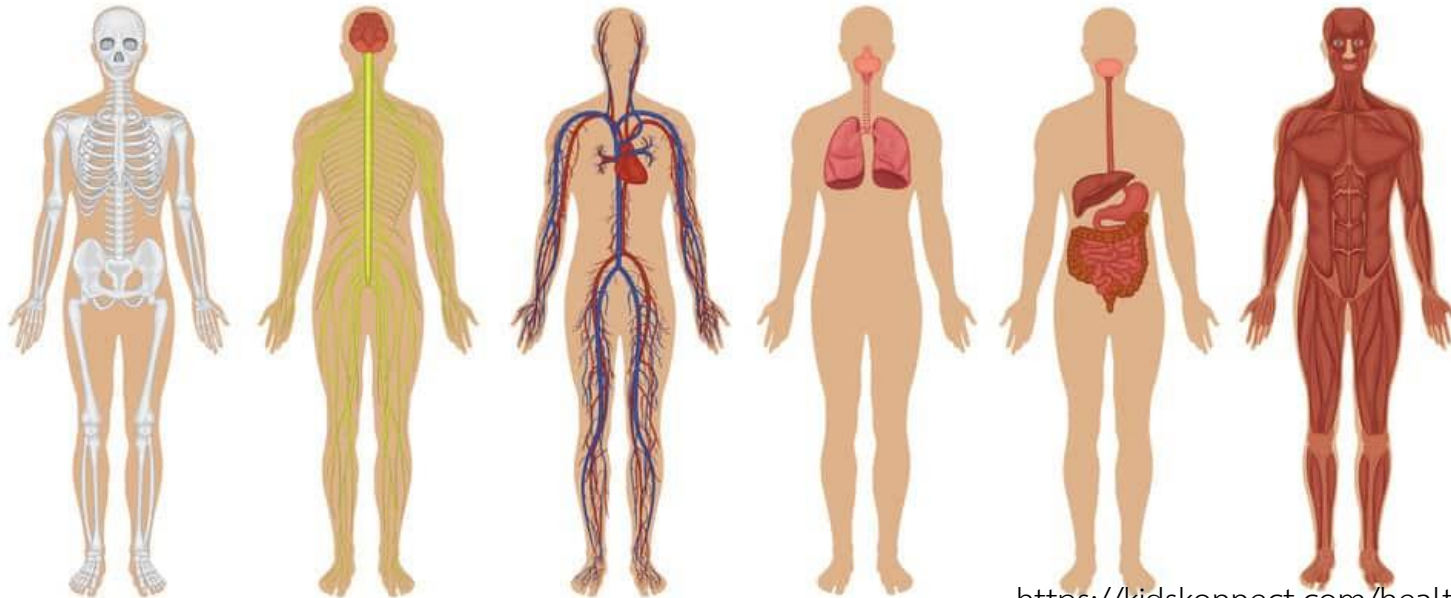
โครงสร้างและหน้าที่อวัยวะสำคัญในร่างกาย



1.2 ระบบอวัยวะและการเสื่อมสลายของเซลล์

1.2 ระบบอวัยวะและการทำงานหน้าที่

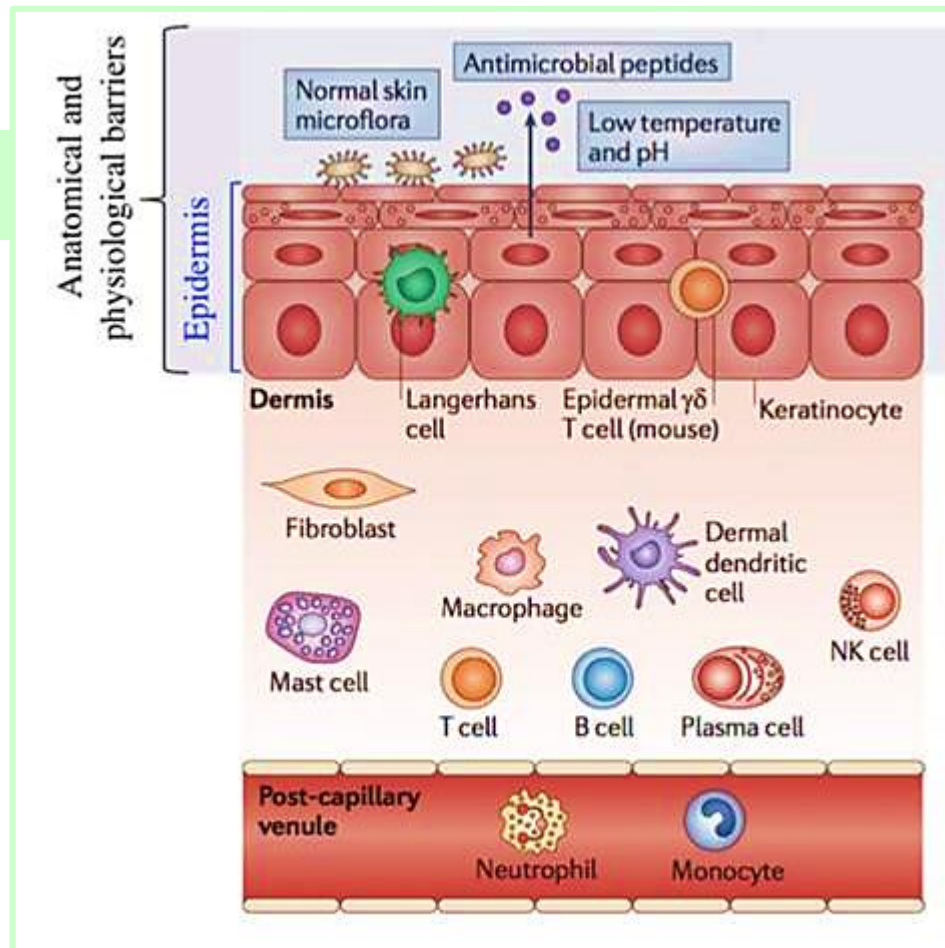
- ร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยอวัยวะที่ทำหน้าที่แตกต่างกันแต่การทำงานของอวัยวะหนึ่งจะมีผลต่อการทำงานของอวัยวะส่วนอื่น ๆ ซึ่งอวัยวะแต่ละส่วนประกอบด้วยเนื้อเยื่อ (tissue) ที่มีลักษณะเฉพาะมากกว่าสองชนิดมาทำงานร่วมกัน



ระบบผิวหนัง (integumentary system)

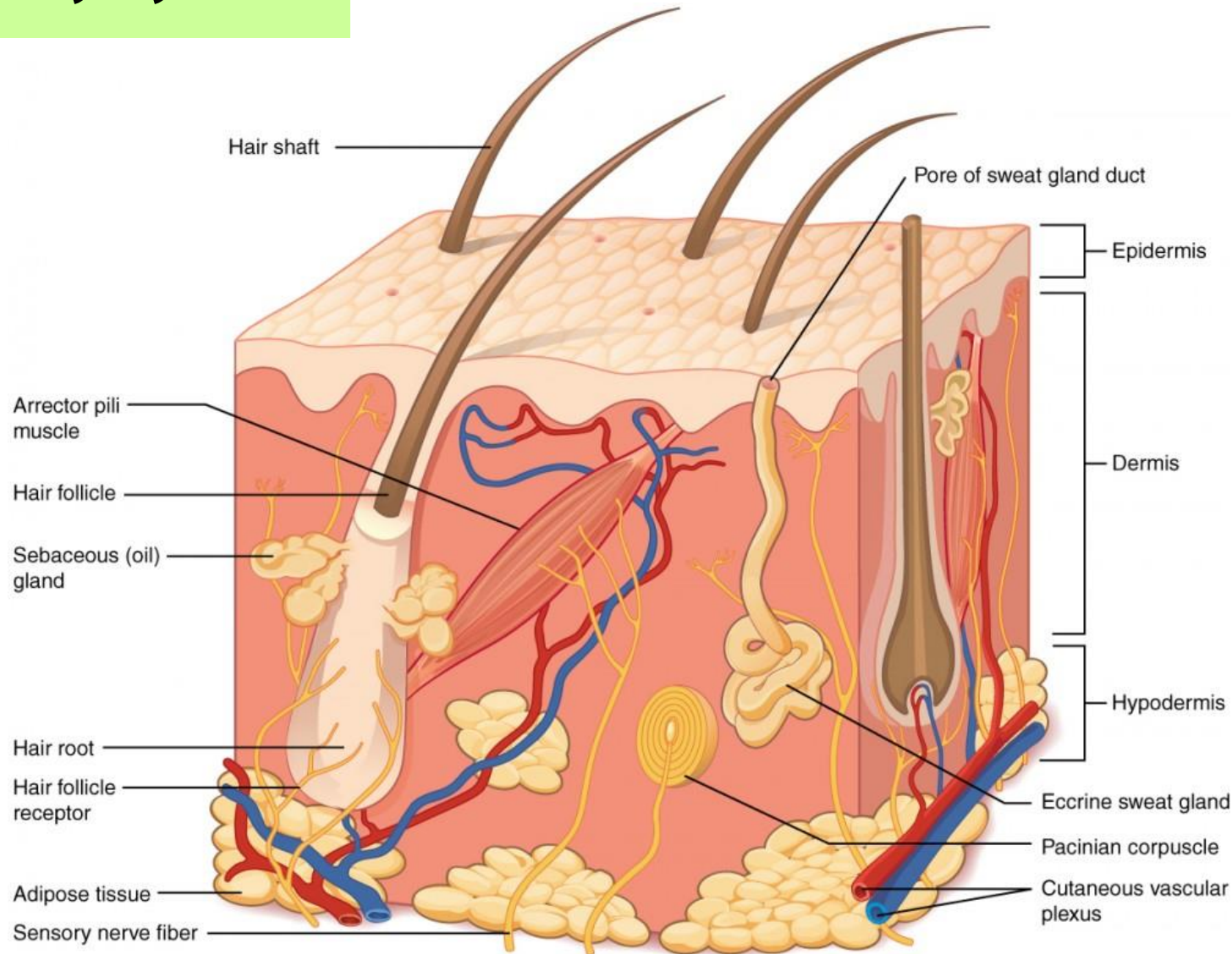
- ระบบที่ช่วยปกป้องร่างกายไม่ให้เกิดรับบาดเจ็บ ป้องกันการติดเชื้อ และป้องกันการสูญเสียน้ำ ผิวหนังมีต่อมเหงื่อช่วยในการควบคุมอุณหภูมิ ผิวหนังประกอบด้วย หนังแท้ (dermis) และหนังกำพร้า (epidermis)

ป้องกันการติดเชื้อ



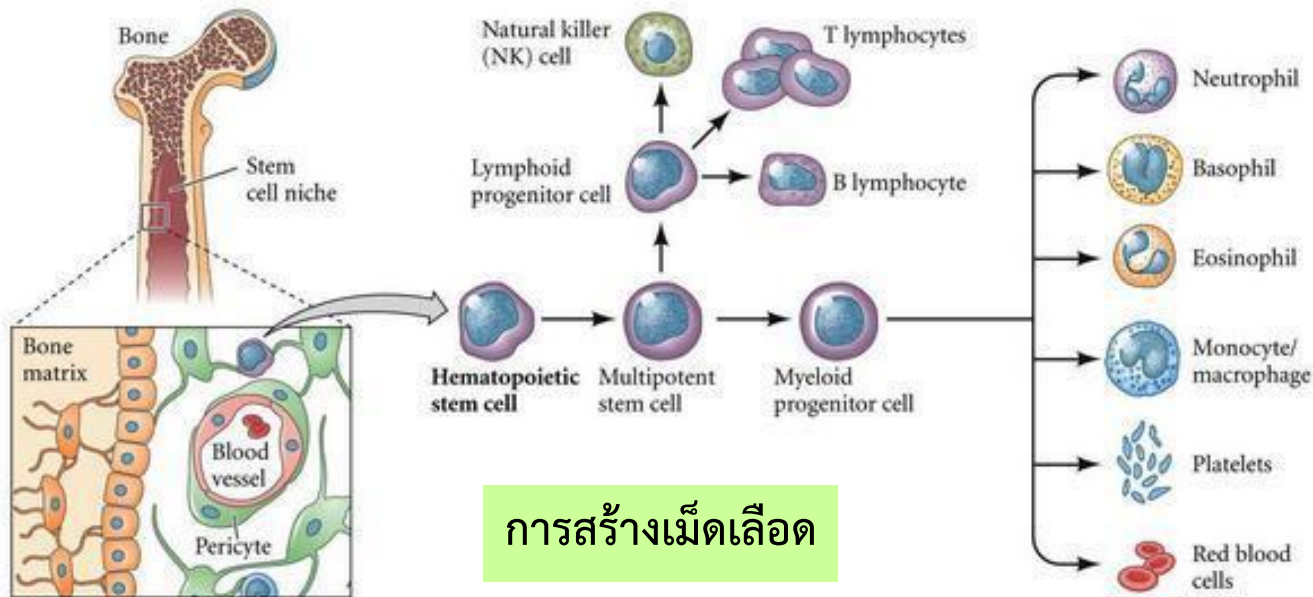
Integumentary system

- ไขมัน (adipose) และขนทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกาย
- การหด-ขยายตัวของเส้นเลือดที่ผิวหนัง
- การตั้งชัน (erection) และการอัดตัวกันแน่น (compaction) ของขน
- การเกิด evaporation โดยการหลั่งเหงื่อจากต่อมเหงื่อ

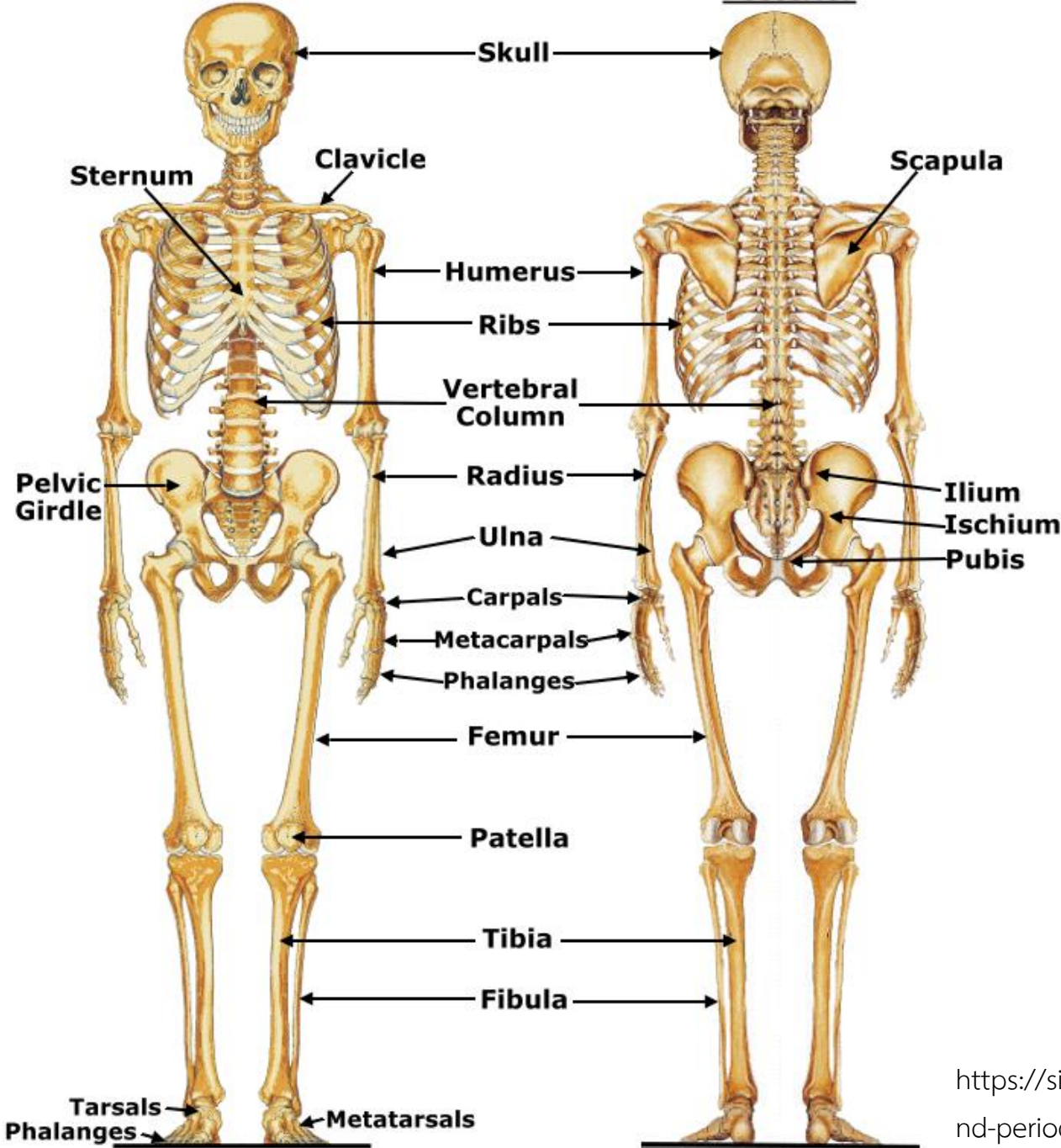


ระบบโครงกระดูก (skeletal system)

- เป็นโครงร่างที่ช่วยค้ำจุนเมื่อมีการเคลื่อนไหวและการเคลื่อนที่ของร่างกาย นอกจากนี้กระดูกยังมีส่วนที่เป็นไขกระดูกซึ่งเป็นบริเวณสร้างเม็ดเลือดแดงและเม็ดเลือดขาว นอกจากนี้กระดูกเป็นแหล่งสะสมแคลเซียมสามารถให้ร่างกายนำไปใช้ในช่วงที่ขาดแคลเซียม ร่างกายคนปกติมีกระดูกอยู่ทั้งหมด 206 ชิ้น



The Skeletal System

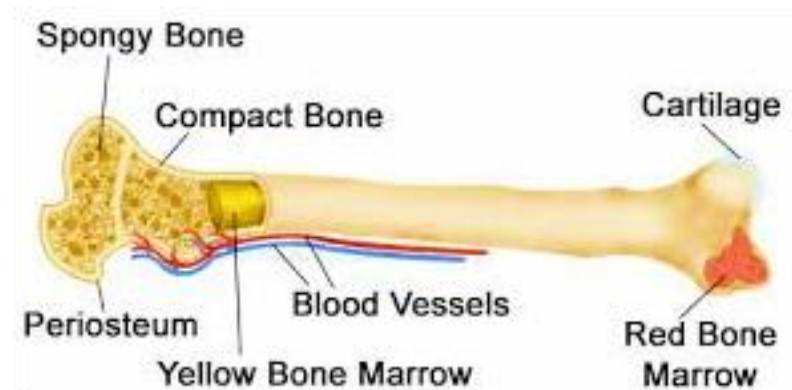


- Skull - กระโหลกศีรษะ
- Clavicle - ไหล่
- Humerus - กระดูกต้นแขน
- Sternum - กระดูกหน้าอก
- Ribs - กระดูกซี่โครง
- Radius - กระดูกแขนด้านนอก
- Ulna - กระดูกแขนด้านใน
- Femur - กระดูกต้นขา
- Patella - สะบ้า
- Scapula - กระดูกสะบัก
- Vertebrae - กระดูกสันหลัง
- Ilium - กระดูกสะโพก
- Pelvis - กระดูกเชิงกราน
- Tibia - กระดูกหน้าแข้ง
- Fibula - กระดูกน่อง

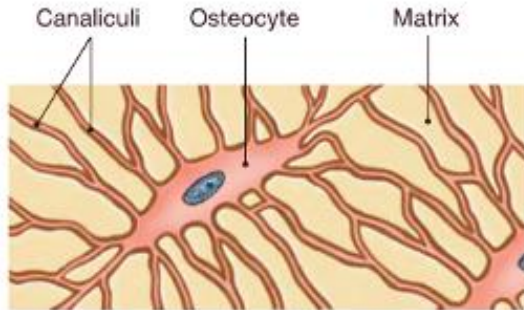
โครงสร้างของกระดูก

กระดูกประกอบด้วย

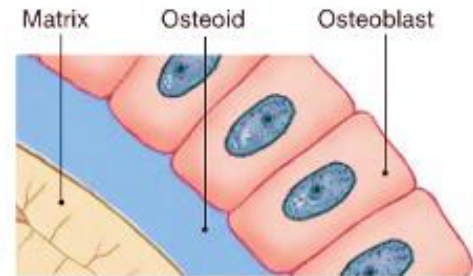
1. เยื่อหุ้มกระดูก (periosteum) ทำหน้าที่ยึดกล้ามเนื้อและเอ็นให้ติดกับกระดูกและเป็นส่วนที่มีหลอดเลือดช่วยลำเลียงสารอาหารและออกซิเจนไปหล่อเลี้ยงกระดูก
2. เนื้อกระดูก ประกอบด้วย กระดูกเนื้อแน่น (compact bone) และกระดูกฟองน้ำ (spongy bone) ด้านในมีเซลล์กระดูก (osteocyte) โดยเนื้อกระดูกประกอบด้วยสารพวกแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแคลเซียมฟอสเฟต (CaPO_4)
3. ไขกระดูก (bone marrow) พบในกระดูกท่อนยาวทำหน้าที่สร้างเซลล์เม็ดเลือดและเก็บเลือดในช่วงที่กระดูกมีการพัฒนาสมบูรณะพบการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงเฉพาะบริเวณไขกระดูกแดง (red bone marrow) อยู่ส่วนปลายกระดูกที่ห่อหุ้มด้วยกระดูกอ่อน (cartilage)



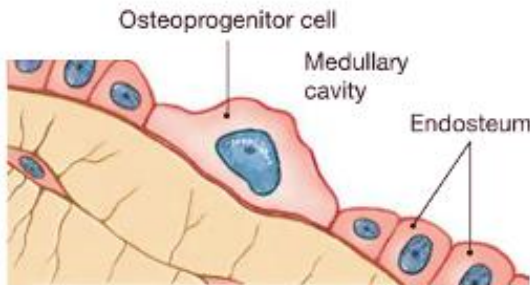
เซลล์กระดูก (bone cell)



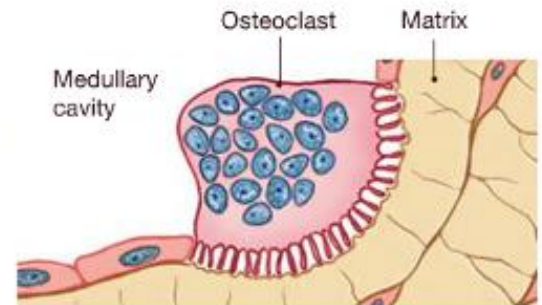
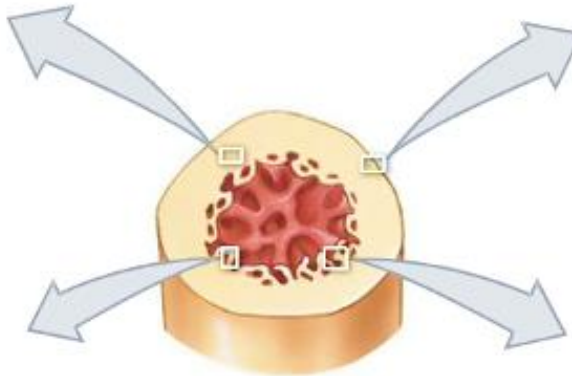
Osteocyte: Mature bone cell that maintains the bone matrix



Osteoblast: Immature bone cell that secretes organic components of matrix



Osteoprogenitor cell: Stem cell whose divisions produce osteoblasts



Osteoclast: Multinucleate cell that secretes acids and enzymes to dissolve bone matrix

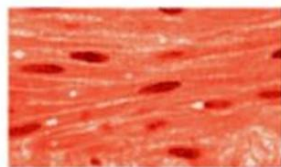
เซลล์กระดูกประกอบด้วย

1. เซลล์สร้างกระดูก ได้แก่ osteoprogenitor cell, osteoblast และ osteocyte
2. เซลล์สลายกระดูก ได้แก่ osteoclast

ระบบกล้ามเนื้อ (muscular system)

- การเคลื่อนไหวร่างกายเกิดซึ่งจากการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ภายใต้คำสั่งของจิตใจ ระบบกล้ามเนื้อเป็นแหล่งสร้างความร้อนทำให้ร่างกายรักษาอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีกล้ามเนื้ออีก 2 ชนิด ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของร่างกาย คือ กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) และกล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)

SMOOTH MUSCLE



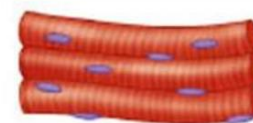
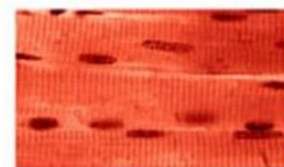
INTERNAL ORGANS

CARDIAC MUSCLE



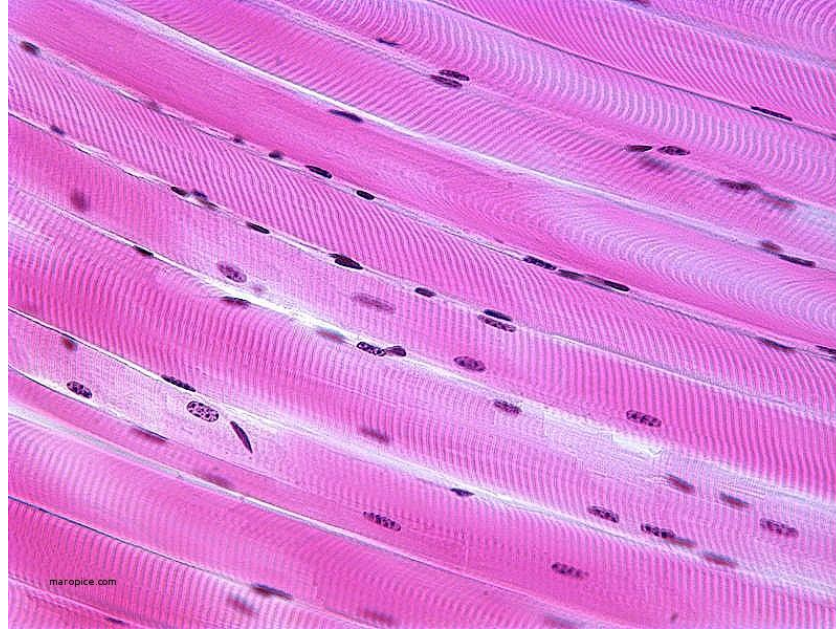
HEART

SKELETAL MUSCLE



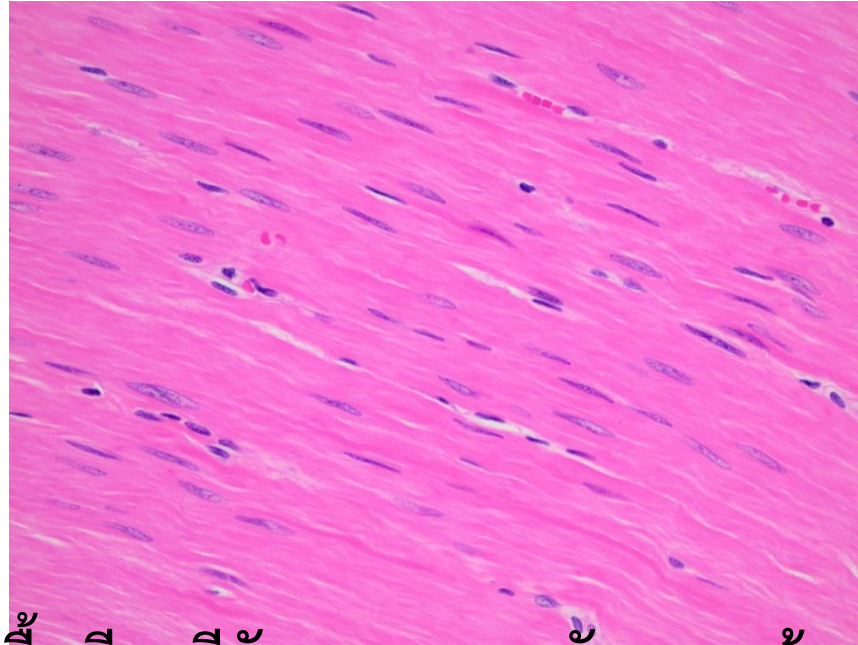
LEG

กล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle)



การเนื้อลายทำงานภายใต้อำนาจของจิตใจ (voluntary muscle) ช่วยให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย การทำงานของกล้ามเนื้อลายเกิดจากการหดตัวของเซลล์ myofibril ที่มีการจัดเรียงตัวเห็นเป็นลายตามขวาง ประกอบด้วย myosin filament และ actin filament

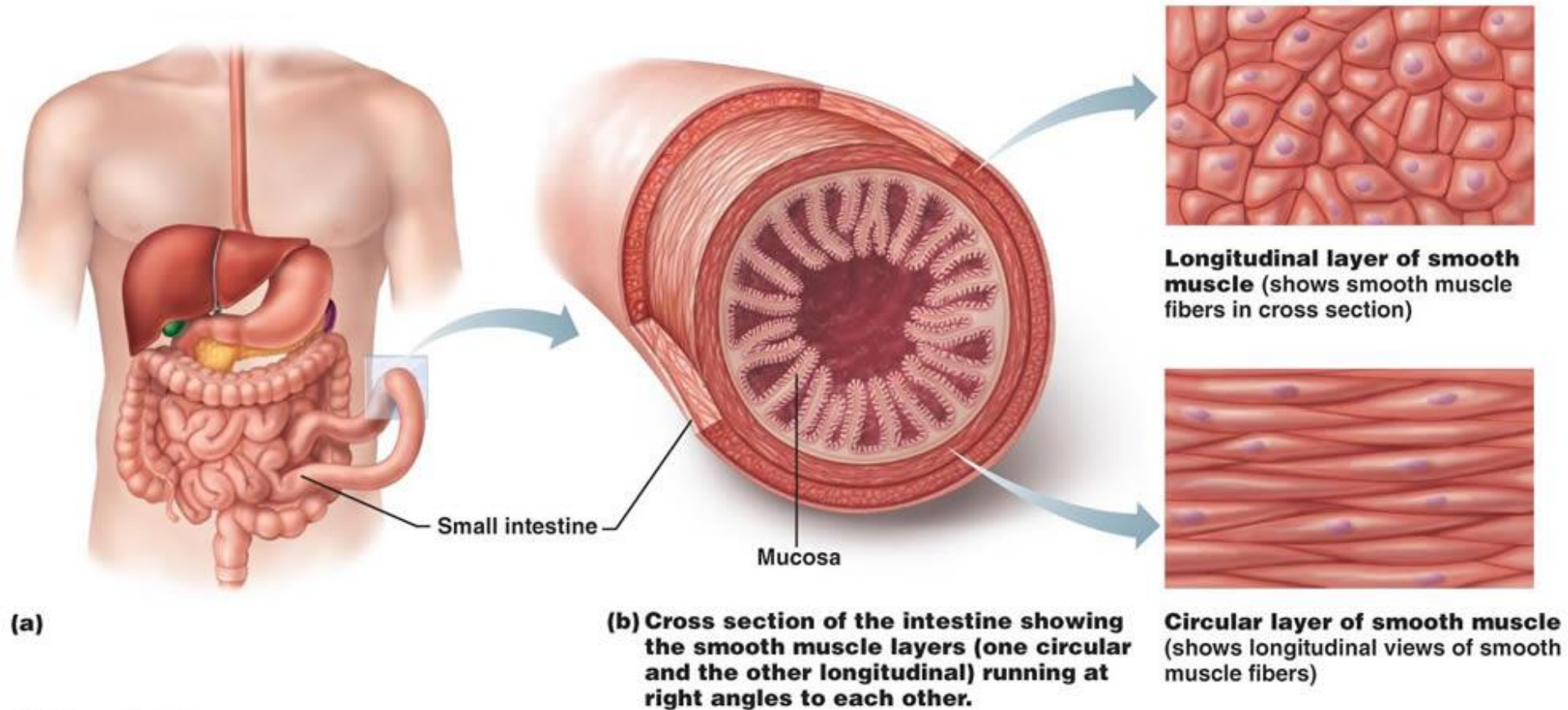
กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle)



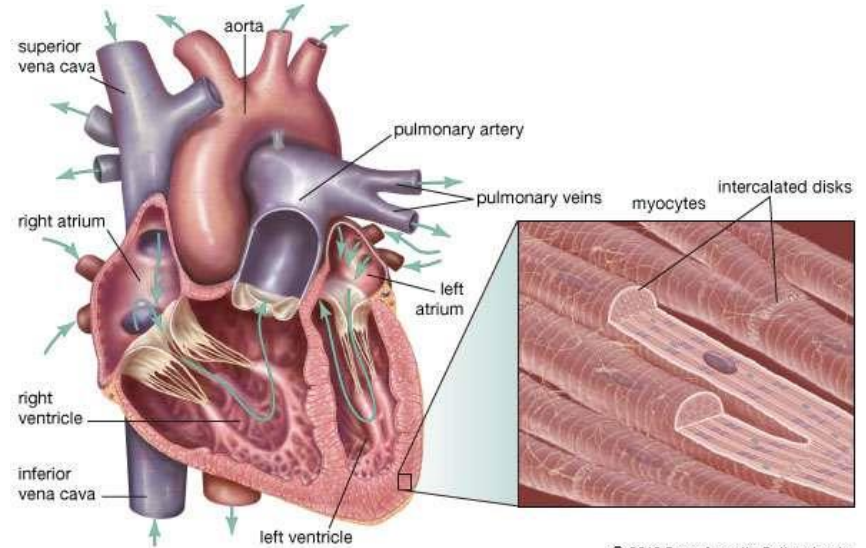
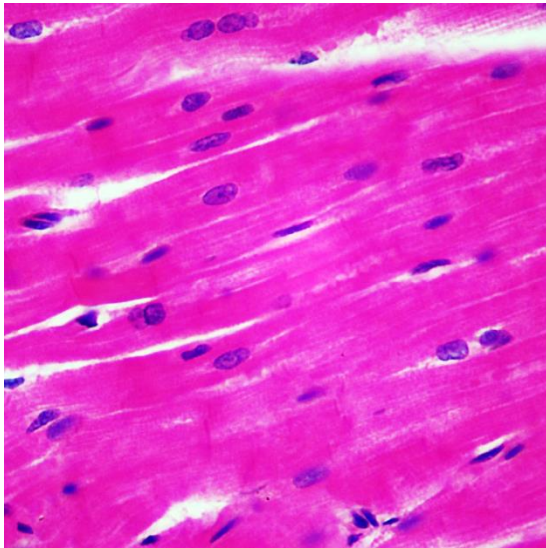
- เซลล์ของกล้ามเนื้อเรียบมีลักษณะแหลมหัวแหลมท้าย (spindle shape) การจัดเรียงตัวของเส้นใย actin และ myosin ไม่เห็นเป็นลายขวางเหมือนในกล้ามเนื้อลาย
- ซึ่งการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบจะหดตัวอย่างช้า ๆ อย่างต่อเนื่อง ลักษณะหดตัวเป็นคลื่นต่อเนื่อง ทำงานอยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจ (involuntary muscle)

- smooth muscle cell พบที่อวัยวะที่มีลักษณะเป็นท่อกลวง เช่น ทางเดินอาหาร, หลอดเลือด, อวัยวะสืบพันธุ์, iris ของลูกตา และท่อของต่อม
- มีรูปร่างคล้ายกระสวย มี 1 nucleus/1 cell หดตัวได้ช้าแต่ขยายตัวและหดตัวได้มาก

Smooth muscle



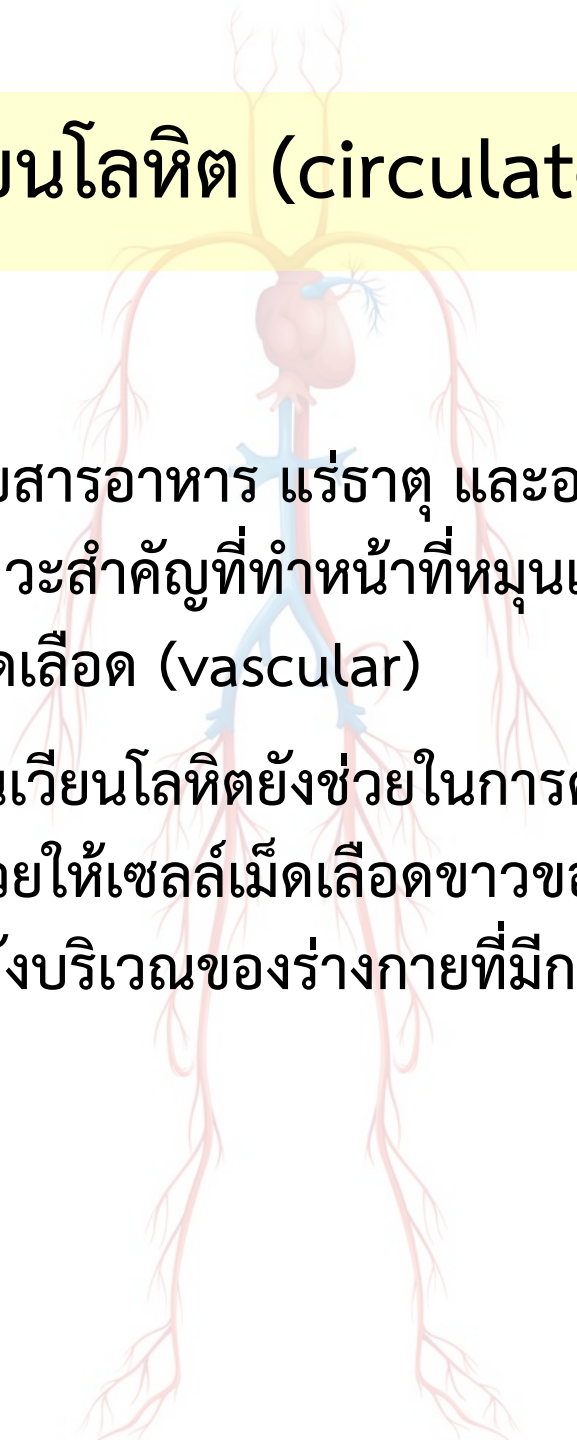
กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)



© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

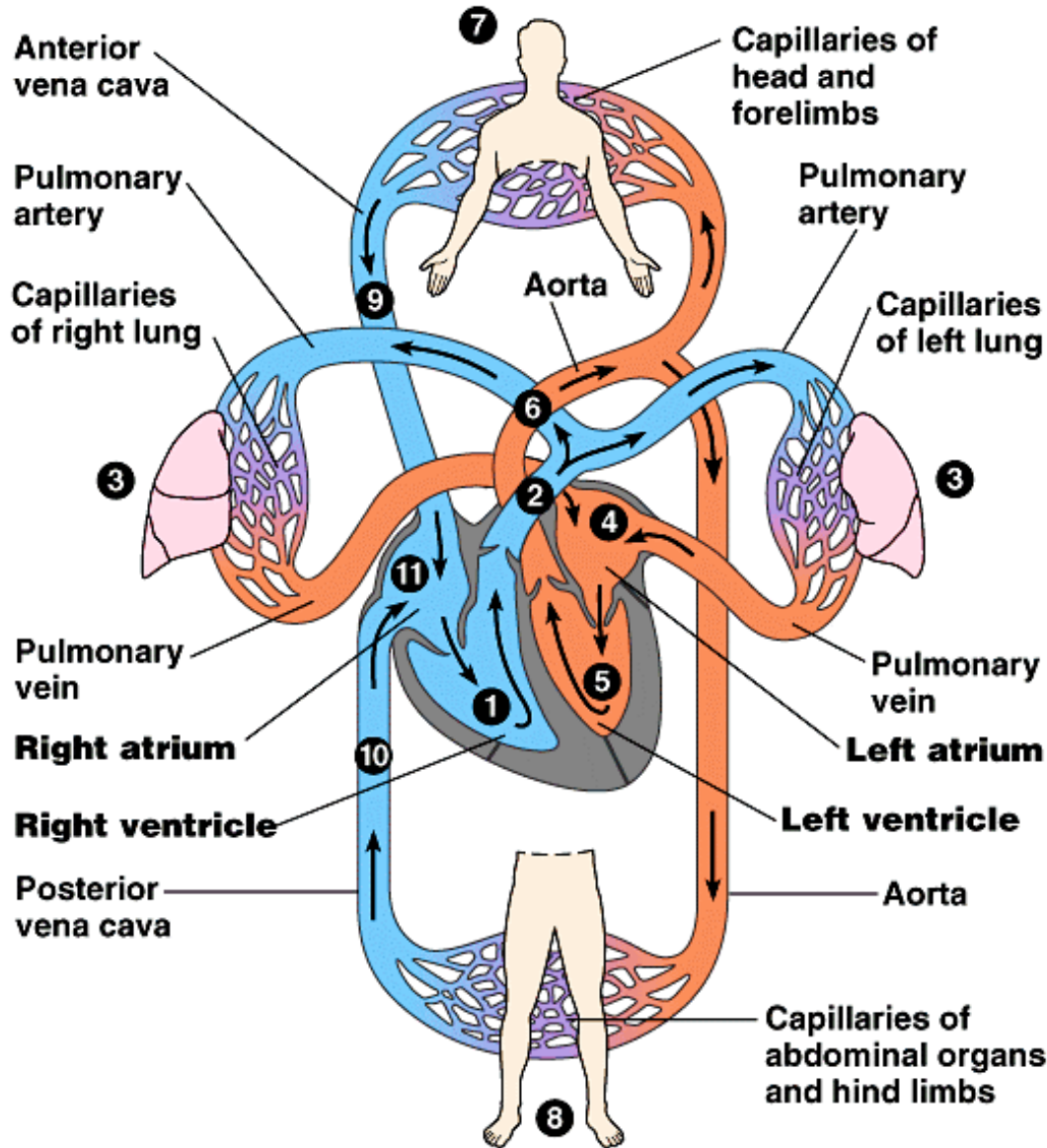
- มี 1 nucleus/1 cell เซลล์มีการแตกแขนง (bifurcate) และเชื่อมกับเซลล์ข้างเคียงด้วย gap junction เรียก intercalated disk
- มีการจัดเรียงตัวของ actin-myosin ทำให้เห็นเป็นลาย
- Cardiac muscle สามารถหดตัวได้เองอย่างเป็นจังหวะ
- หัวใจสัตว์มีกระดูกสันหลังหดตัวได้เองเรียก myogenic heart (muscle-generated)
- หัวใจของกิ้ง, ปู, แมงมุม ต้องได้รับการกระตุ้นจาก nerve เรียก neurogenic heart (nerve-driven)

ระบบหมุนเวียนโลหิต (circulatory system)



- เซลล์ในร่างกายได้รับสารอาหาร แร่ธาตุ และออกซิเจนผ่านระบบหมุนเวียนโลหิต อวัยวะสำคัญที่ทำหน้าที่หมุนเวียนโลหิตประกอบด้วยหัวใจ (heart) หลอดเลือด (vascular)
- นอกจากนี้ระบบหมุนเวียนโลหิตยังช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายและมีส่วนช่วยให้เซลล์เม็ดเลือดขาวของระบบภูมิคุ้มกันสามารถเคลื่อนที่ไปยังบริเวณของร่างกายที่มีการติดเชื้อ

การไหลเวียนเลือดในคน



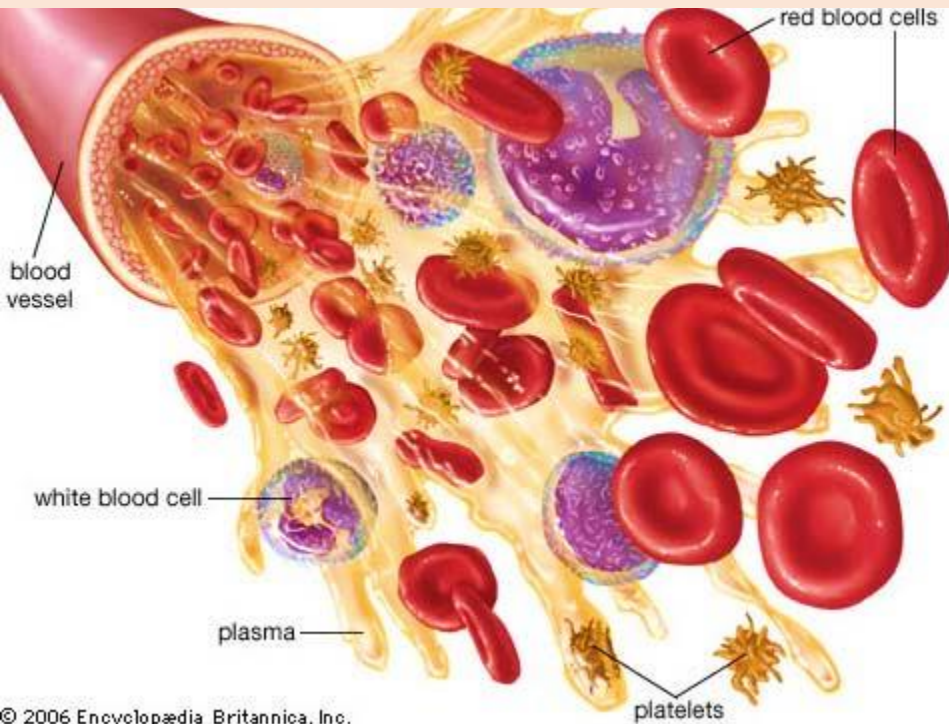
Pulmonary circulation

Ventricle ขวาปั๊มเลือดออกจากหัวใจ---> pulmonary artery--->ปอด (แลกเปลี่ยนแก๊ส)---> oxygen-rich blood---> pulmonary vein--->atrium ซ้าย

Systemic circulation

Ventricle ซ้าย--->aorta--->เส้นเลือดแยกออกเป็น 2 เส้น
 1. ไปเลี้ยงส่วนหัวและแขน
 2. ไปเลี้ยงอวัยวะในช่องท้องและขา
 oxygen-poor blood กลับสู่หัวใจ (atrium ขวา) ทาง anterior หรือ posterior vena cava

ส่วนประกอบของเลือด

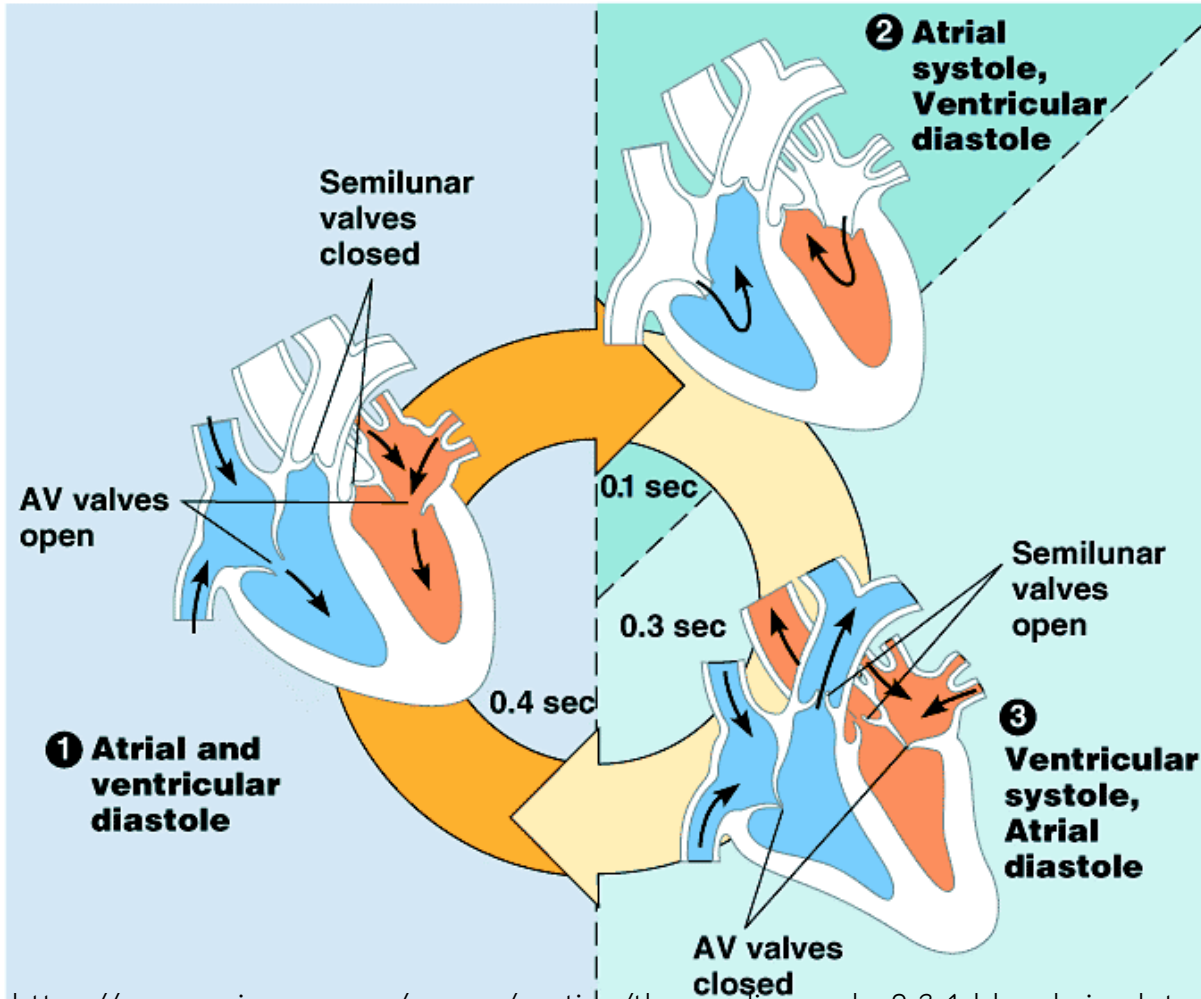


© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.

- Plasma
- Erythrocyte 5,000,000 cells/ml.
- Platelet 250,000 cells/ml.
- Leucocyte 7,300 cells/ml.
 - Neutrophil 70 %
 - Monocyte 6 %
 - Eosinophil 3 %
 - Basophil < 1 %
 - Lymphocytes 20 %
 - Natural killer cell < 3 %
 - Dendritic cell 0.1 %

**ในคนปกติจะมีปริมาณเม็ดเลือดขาวไม่เกิน 1×10^4 cells/ml.

วัฏจักรหัวใจ (cardiac cycle)



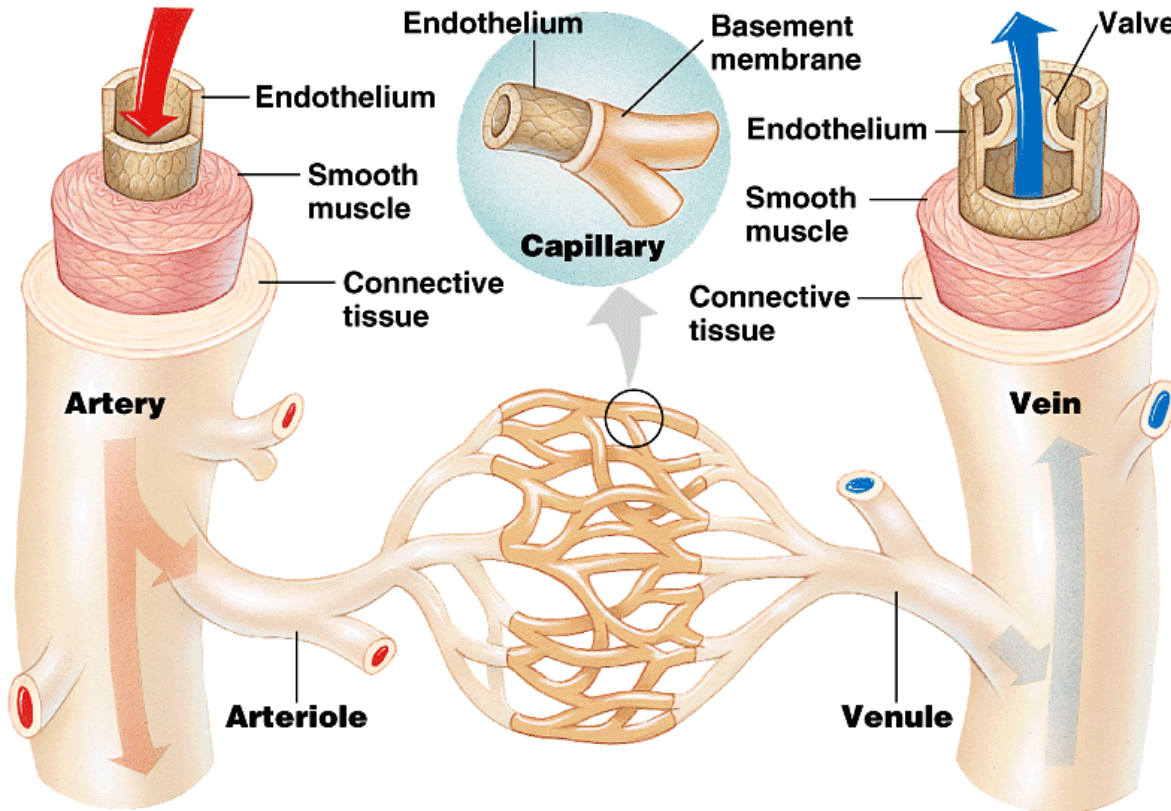
- Cardiac cycle: การบีบและคลายตัวของหัวใจเป็นรอบ ๆ
- ระยะที่มีการบีบตัวเรียก systole
- ระยะที่มีการคลายตัวเรียก diastole
- Cardiac output: ปริมาณเลือดที่ปั๊มจาก ventricle ซ้ำไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

<https://www.quizover.com/course/section/the-cardiac-cycle-2-3-1-blood-circulatory-system-by-openstax>

$$\text{Cardiac out put (vol/min)} = \text{Heart rate (no./min)} \times \text{Stroke volume (vol/no.)}$$

$$5.25 \text{ L/min} = 70 \text{ beat/min} \times 75 \text{ ml/beat} \quad 17$$

โครงสร้างของหลอดเลือด (structure of blood vessel)

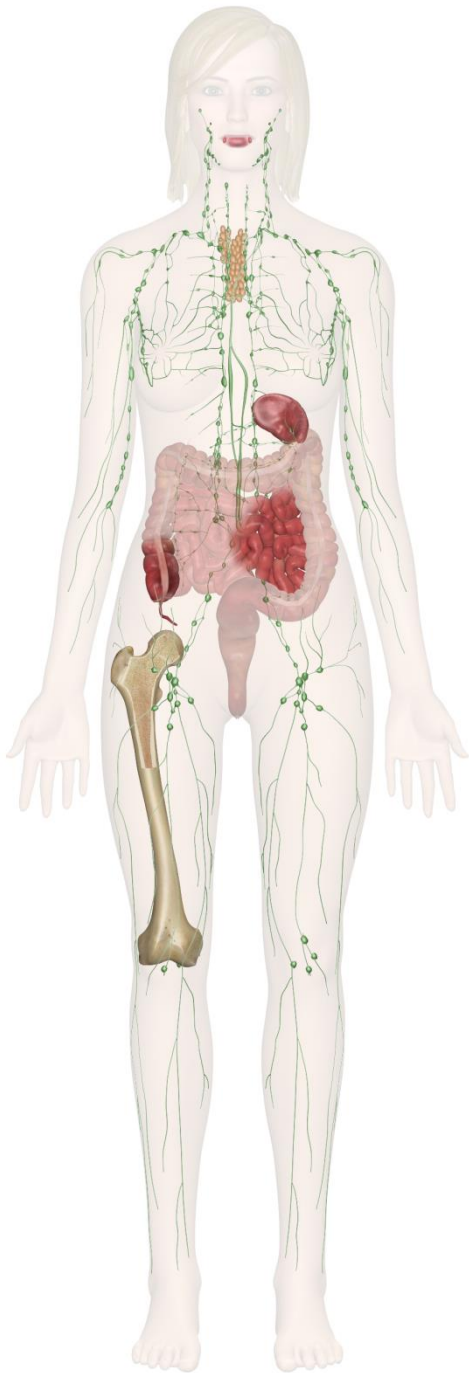


- เส้นเลือดประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น
 1. ชั้นนอก เป็น connective tissue และ elastic fiber
 2. ชั้นกลาง เป็น smooth muscle และ elastic fiber
 3. ชั้นใน เซลล์ชั้นเดียวแบนๆ เรียก endothelium

<https://www.slideshare.net/smullen57/ib-biology-transport-system>

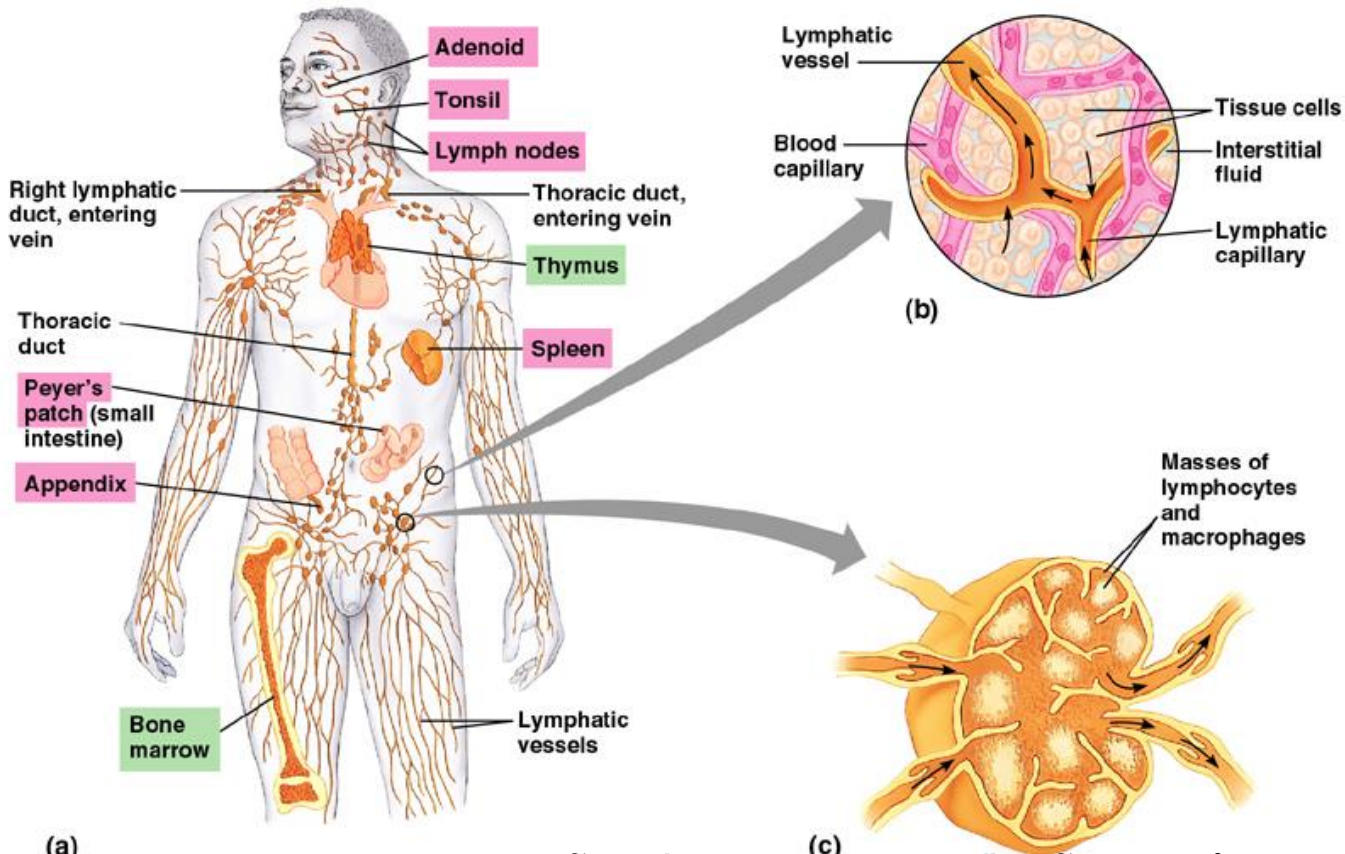
- Artery มีชั้นนอกและชั้นกลางหนากว่า vein
- Capillary มีเฉพาะชั้น endothelium ทำให้สามารถแลกเปลี่ยนสารระหว่างเลือดและ interstitial fluid ได้ดี

ระบบน้ำเหลือง (lymphatic system)



- บริเวณที่มีเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันทำหน้าที่ตอบสนองต่อเชื้อโรคอย่างจำเพาะ (specific immune response) โดยมีต่อมน้ำเหลือง (lymph node) และหลอดน้ำเหลือง (lymph vessel) กระจายอยู่ทั่วร่างกาย นอกจากนี้การรับของเหลวส่วนเกินจากเซลล์และเนื้อเยื่อนำกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตเป็นอีกหน้าที่หนึ่งของระบบน้ำเหลือง

ระบบน้ำเหลือง



- Lymphatic system นำของเหลวและโปรตีนกลับสู่กระแสเลือดโดยนำเข้าทาง venae cava
- Lymph: ของเหลวใน lymphatic vessel (ภายในมี valve)
- Lymph node: เป็นอวัยวะทำหน้าที่กรอง lymph และทำลายเชื้อโรค ภายในประกอบด้วย connective tissue และเม็ดเลือดขาว

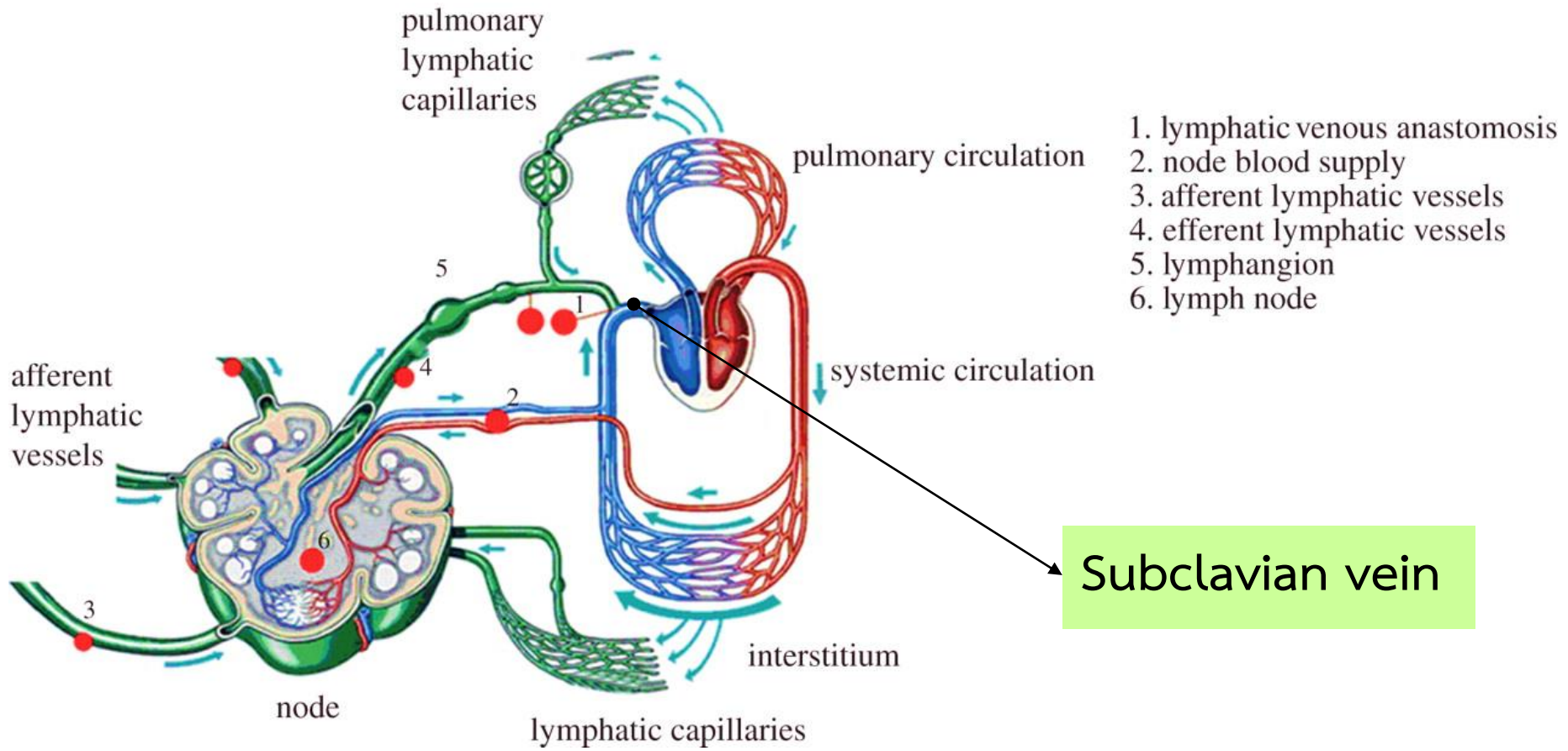
ท่อน้ำเหลือง (lymphatic vessel)

- ท่อน้ำเหลือง (lymphatic vessel) : ในระบบหมุนเวียนเลือดเมื่อมาถึงบริเวณหลอดเลือดฝอย (capillaries) แรงดันภายในหลอดเลือดจะผลักดันพลาสมาซึมผ่านผนังรอยต่อของเซลล์เยื่อบุหลอดเลือดฝอย (endothelial cell) เข้าสู่ท่อน้ำเหลืองฝอย (lymphatic capillaries)
- ท่อน้ำเหลืองที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือ ท่อน้ำเหลืองบริเวณอก (thoracic duct) ทำหน้าที่นำน้ำเหลืองปล่อยเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดบริเวณ subclavian vein ข้างซ้าย
- ภายในท่อน้ำเหลืองจะมีลิ้นทางเดียว (one way valve) ทำหน้าที่ควบคุมให้น้ำเหลืองไหลเพียงทิศทางเดียว

ต่อมน้ำเหลือง (lymph node)

- ต่อมน้ำเหลืองเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่กรองน้ำเหลืองอยู่ตามบริเวณศูนย์กลางของท่อน้ำเหลือง
- มีรูปร่างคล้ายเมล็ดถั่วห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ภายใต้อเนื้อเยื่อนี้เป็นส่วนของฟาโกไซต์สานเรียงตัวกันเป็นตาข่ายเรียกว่า subcapsular sinus
- น้ำเหลืองจะไหลเข้าต่อมน้ำเหลืองผ่านทางท่อขาเข้า (afferent lymph vessel) และออกผ่านทางท่อขาออก (efferent lymph vessel)

การหมุนเวียนของน้ำเหลือง

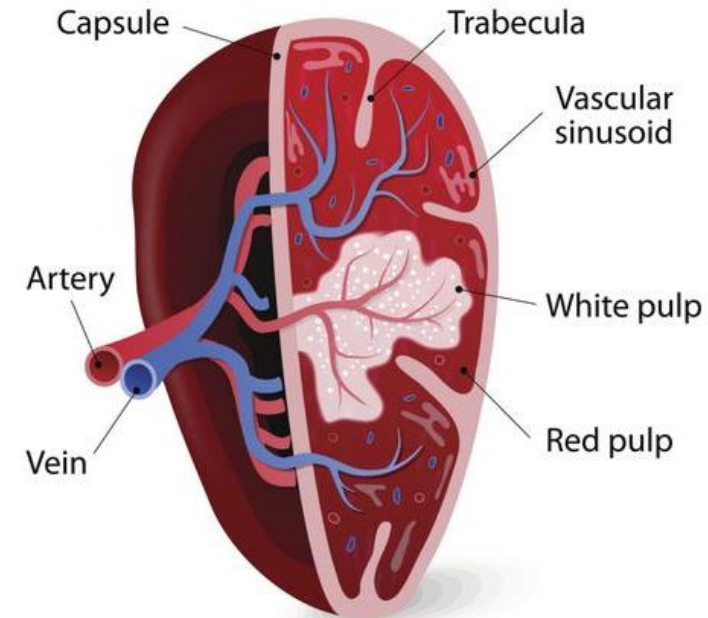


ม้าม (spleen)

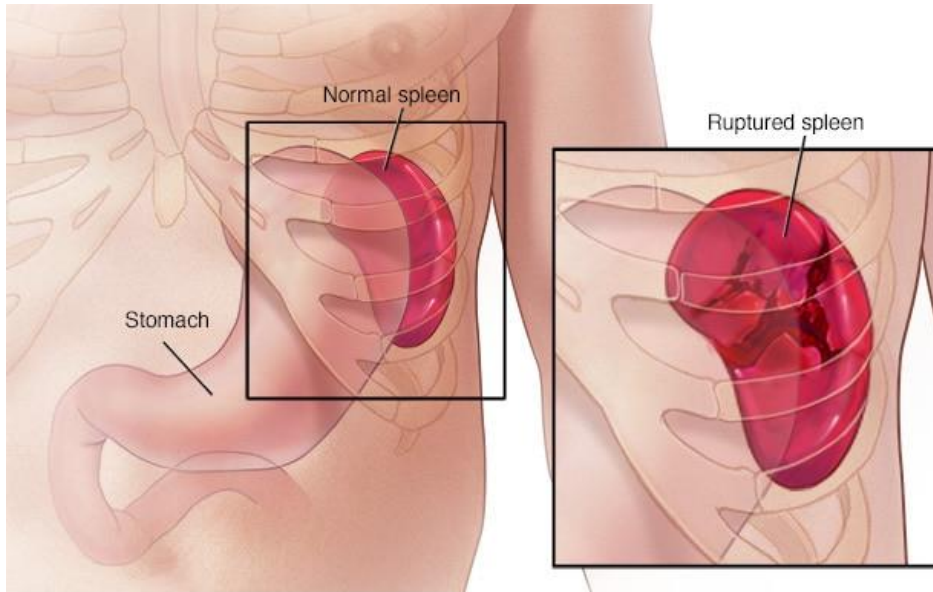
- ม้ามเป็นอวัยวะในระบบภูมิคุ้มกันที่ใหญ่ที่สุด ทำหน้าที่หลักสองอย่าง คือ ทำลายเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุตรงบริเวณ red pulp และตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันตรงบริเวณ white pulp
- มีหน้าที่กรองดักจับสิ่งแปลกปลอมจากเลือด โดยเลือดจะผ่านเข้าสู่ม้ามทางหลอดเลือดแดงไปสู่หลอดเลือดแดงขนาดเล็ก (arteriole) แล้วปล่อยเลือดเข้าสู่ sinusoid ซึ่งอยู่บริเวณ red pulp รอบ ๆ หลอดเลือดแดงขนาดเล็กจะมีกลุ่มของ T cell เรียกว่า peri-arteriolar lymphoid sheath (PALS) ถัดเข้ามาตรงส่วนปลายของหลอดเลือดแดงจะเป็นส่วนของ follicle ซึ่งเป็นที่อยู่ของ B-cell ที่มีการกระตุ้นการสร้างแอนติบอดี โดยมีการแบ่งตัวของเซลล์ตรงศูนย์กลางการแบ่งตัว เรียกว่า germinal center

ส่วนประกอบของม้าม

SPLEEN ANATOMY

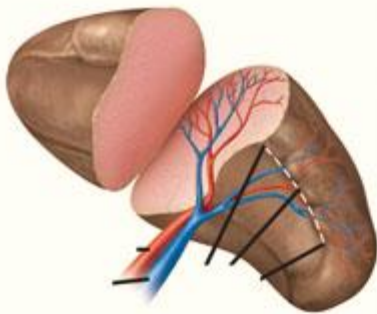


ม้ามทำหน้าที่ต่างจากต่อมน้ำเหลือง โดยที่ม้ามจะตอบสนองแอนติเจนที่มากับระบบเลือด

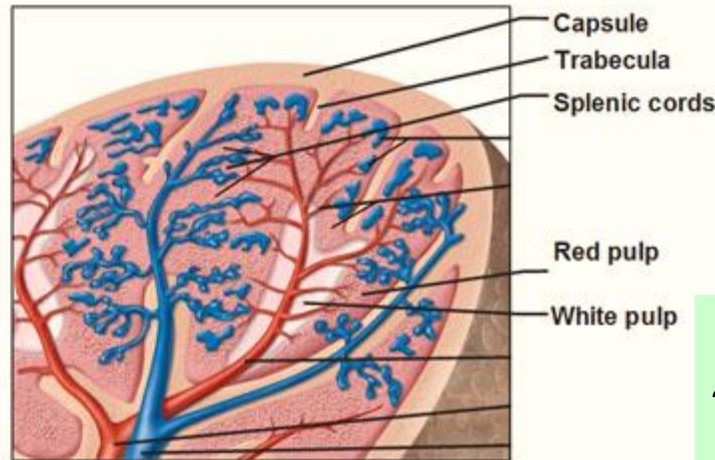


© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH, ALL RIGHTS RESERVED.

Spleen



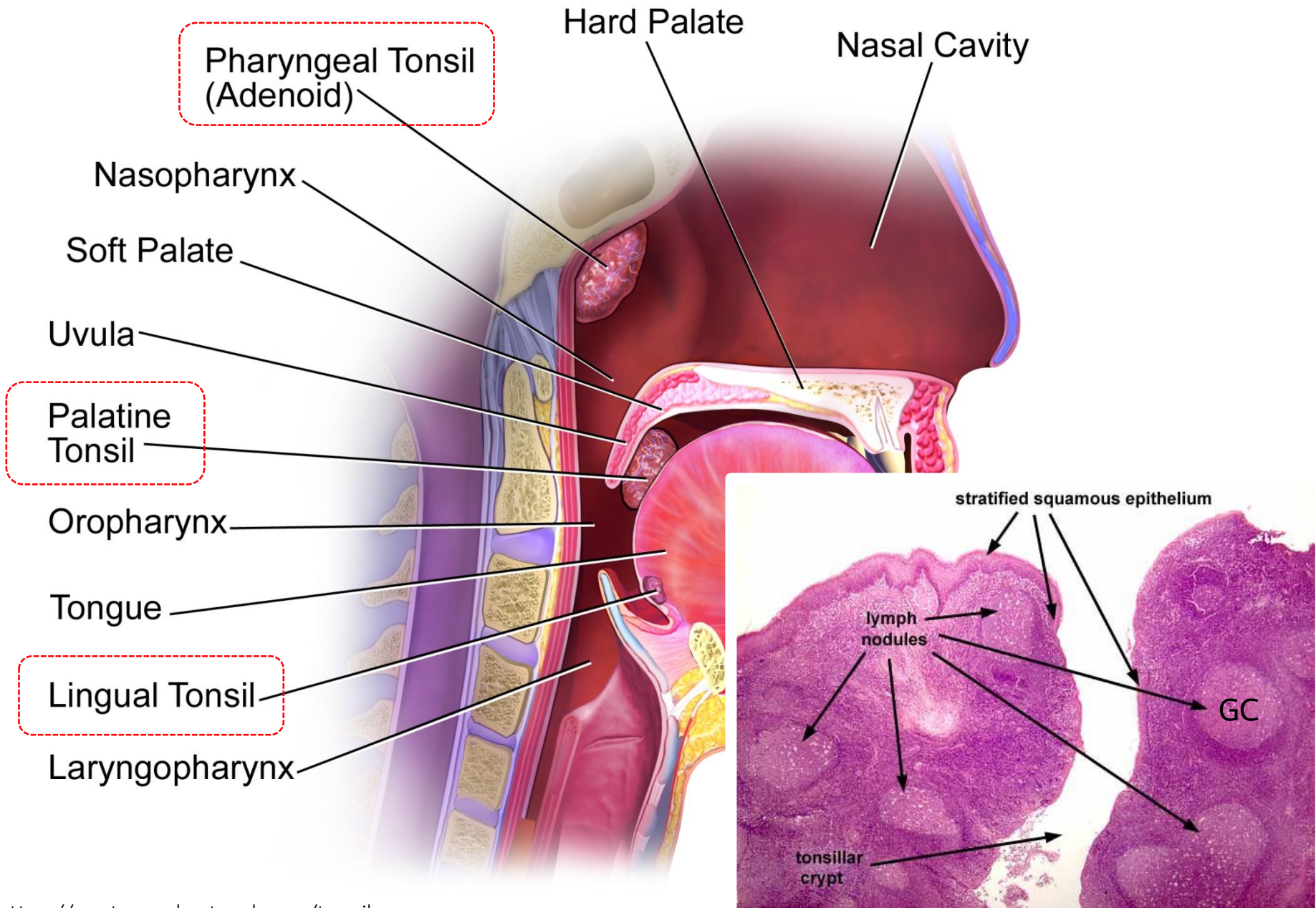
(a) Diagram of the spleen, anterior view



(b) Diagram of spleen histology

ทอนซิล (tonsil)

- ต่อมทอนซิลพบอยู่ 3 บริเวณคือ บริเวณฐานของลิ้น (lingual tonsil) คอหอยด้านหลังของช่องปาก (palatine tonsil) และคอหอยส่วนท้ายของช่องปาก (pharyngeal tonsil)
- เป็นกลุ่มของ follicle หรือ lymph nodule จำนวนมากอยู่รวมกัน
- ภายในประกอบด้วย lymphocyte, macrophage, granulocytes และ mast cell แทรกอยู่ทั่วๆ ไป
- B-cell จะมีการแบ่งอยู่ตรงกลางบริเวณ germinal center (GC) โดยมี T-cell อยู่บริเวณรอบๆ ที่กำลังทำหน้าที่ตอบสนองต่อแอนติเจน
- ต่อมทอนซิลทำหน้าที่ตอบสนองต่อแอนติเจนที่ผ่านเข้าทางเยื่อบุผิวช่องปากและช่องจมูก
- การติดเชื้อบริเวณต่อมทอนซิลเรียกว่า ทอนซิลอักเสบ (tonsillitis)



<https://anatomychartpad.com/tonsil-and-adenoid-anatomy/>

Tonsils and Throat

ระบบภูมิคุ้มกัน (immune system)

- ภูมิคุ้มกันตามธรรมชาติ (innate immunity) คือ ระบบป้องกันทั่วไปตามปกติของร่างกาย ประกอบด้วยกลไกการป้องกันและต่อต้านการติดเชื้อ การรุกรานของสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ซึ่งเป็นแบบไม่จำเพาะ (nonspecific immunity)
- ภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะ (adaptive immunity) คือ ระบบภูมิคุ้มกันที่สามารถตรวจจับ เลือกกำจัดจุลินทรีย์และสิ่งแปลกปลอมต่างๆ อย่างจำเพาะ (specific immunity)

หน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกัน

1. ปกป้องร่างกายจากการติดเชื้อ
2. กำจัดเซลล์ในร่างกายที่จะพัฒนาไปเป็นเซลล์มะเร็ง
3. ช่วยรักษาสมดุลของเซลล์ในร่างกาย
 - ❖ กำจัดเซลล์หรือเนื้อเยื่อที่หมดอายุ
 - ❖ กำจัดเซลล์ที่เสียหายไม่สามารถทำหน้าที่ปกติได้
 - ❖ ช่วยซ่อมแซมเนื้อเยื่อให้เกิดการแบ่งเซลล์ทดแทน
4. กำจัดเชื้อโรคได้โดยใช้วิธีการที่จำเพาะเจาะจงต่อเชื่อนั้น ๆ
5. ภูมิคุ้มกันจะหยุดกิจกรรมต่าง ๆ หลังกำจัดเชื้อไปจนหมดแล้ว

อวัยวะในระบบภูมิคุ้มกัน (lymphoid organs)

Lymphoid organs ประกอบด้วยอวัยวะต่าง ๆ ที่อยู่กระจายทั่วร่างกายและเชื่อมต่อกัน ดังนี้

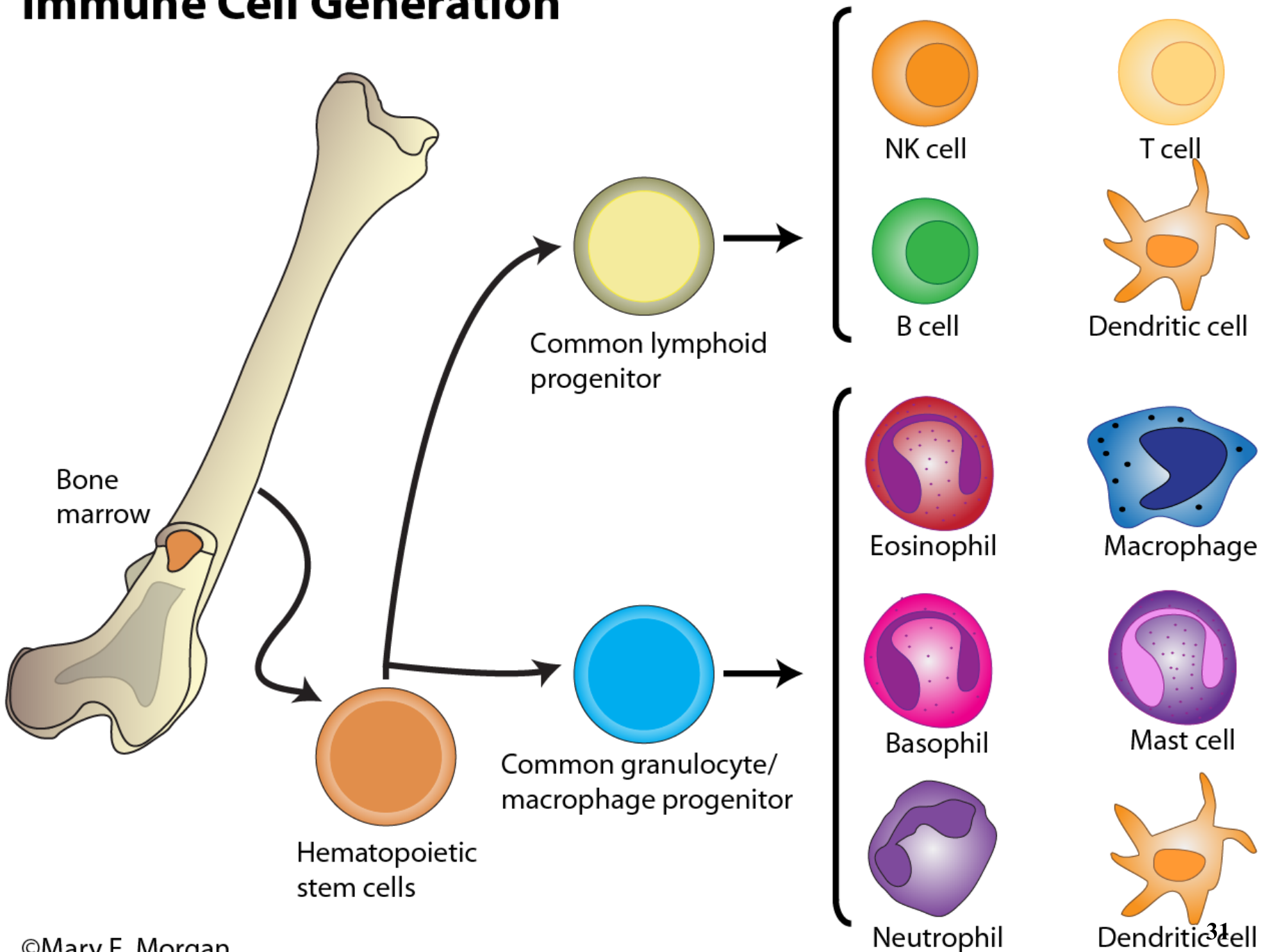
Primary lymphoid organs

- ท่อน้ำเหลือง (lymphatic vessel)
- ต่อมไทมัส (thymus)
- ไขกระดูก (bone marrow)

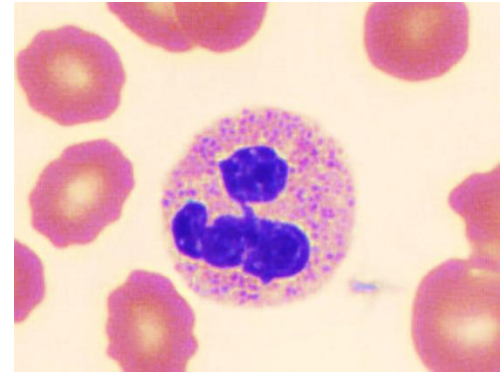
Secondary lymphoid organs

- ต่อม้ำเหลือง (lymph node)
- ม้าม (spleen)
- ต่อมทอนซิล (tonsil)
- ต่อม้ำเหลืองตามผนังลำไส้ (Peyer's patches)

Immune Cell Generation

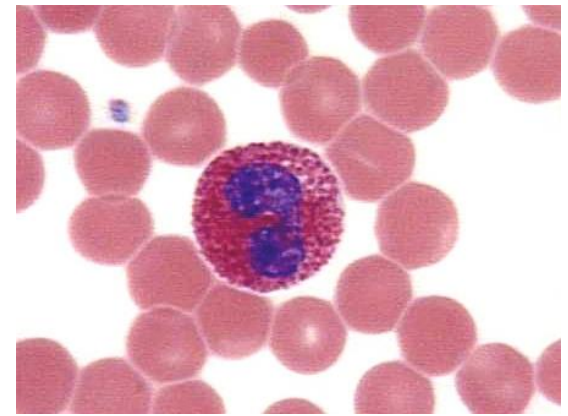


Neutrophil



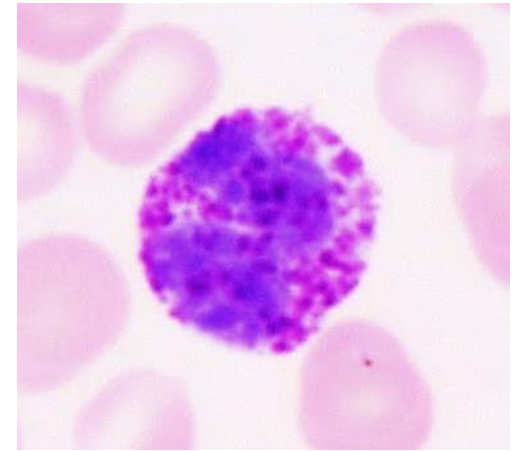
- นิวโทรฟิลบางครั้งถูกเรียกว่า polymorphonuclear leucocyte (PMN) เนื่องจากเป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีนิวเคลียสแยกเป็นพูๆ ประมาณ 3 - 5 พู ซึ่งเป็นชนิดที่พบมากที่สุดในเลือด
- นิวโทรฟิลทำหน้าที่ phagocytosis และย่อยสลายได้ดี ซึ่งจะถูกระตุ้นจาก cytokine ที่หลังจาก macrophage
- บนผิวเซลล์ของนิวโทรฟิลจะมี Fc receptor ที่จะจับกับแอนติบอดีเร่งให้เกิดกระบวนการ phagocytosis เรียกว่า opsonization
- นิวโทรฟิลเป็นเซลล์ชนิด granulocyte ที่ภายในเซลล์ประกอบด้วย granule จำนวนมากที่บรรจุเอ็นไซม์ต่างๆ สำหรับย่อยสลาย pathogens

Eosinophil



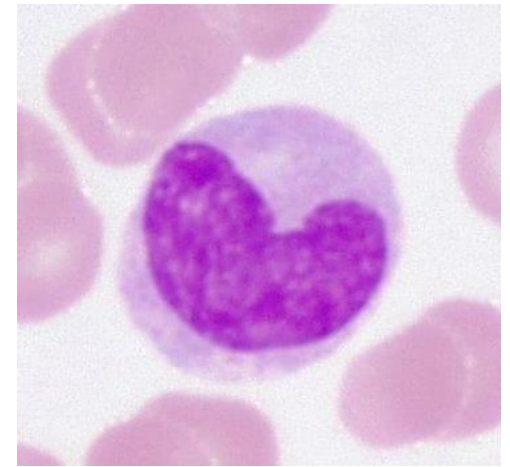
- อีโอซิโนฟิลเป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีนิวเคลียส 2 พู ทำหน้าที่ phagocytosis แต่ไม่ดีเท่านิวโทรฟิล
- เมื่อร่างกายถูก infect ด้วยปรสิต (parasite) จะตรวจพบอีโอซิโนฟิลจำนวนมาก
- อีโอซิโนฟิลเป็นเซลล์พวก granulocyte ซึ่งบรรจุ granule ที่เป็นเบสที่ติดสี eosin
- การหลั่งเอนไซม์ที่เป็นเบสภายใน granule สามารถทำความเสียหายโดยเจาะ membrane ของปรสิต

Basophil and Mast cell



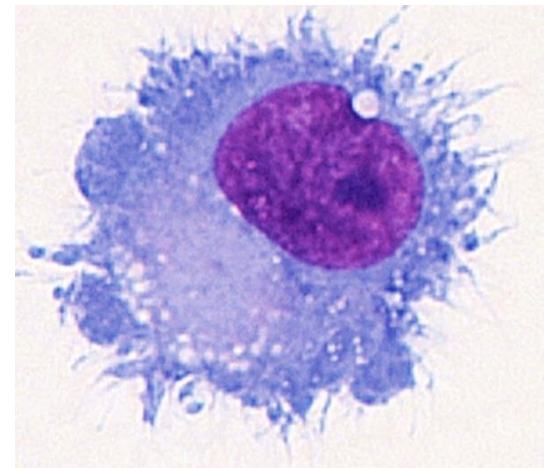
- นิวเคลียสไม่แบ่งเป็นพูชัดเจนและมักถูกบดบังด้วย granule ซึ่งมีจำนวนมากและขนาดใหญ่ ภายในบรรจุสารเฮพาริน (heparin) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการแข็งตัวของเลือด และฮิสตามีน (histamine) กระตุ้นให้หลอดเลือดฝอยขยายตัวเพิ่มการผ่านเข้า-ออกของเหลว
- ภายในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) มีเซลล์ขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเบโซฟิล เรียกว่า มาสต์เซลล์ (mast cell)
- Mast cell มีตัวรับสำหรับ IgE (Fc receptor for IgE) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการหลั่งฮิสตามีนที่เป็นสาเหตุของอาการแพ้ (hypersensitivity) ในบริเวณต่างๆ

Mononuclear cells



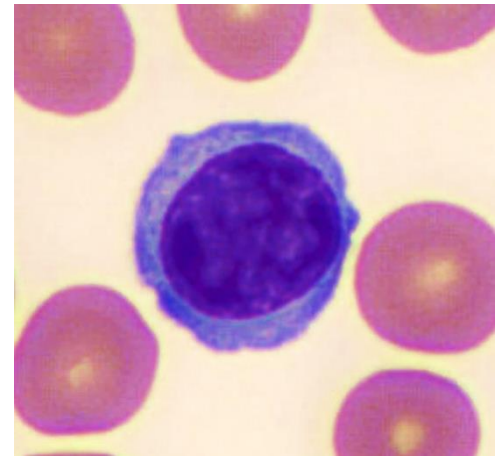
- Monocyte เป็นเซลล์ที่มีนิวเคลียสขนาดใหญ่รูปไข่หรืออาจเว้าเป็นรูปไต ซึ่งภายในไซโทพลาซิมมี granule ขนาดเล็กๆ อยู่กระจายทั่วไป ทำหน้าที่ phagocytosis พบในกระแสเลือด
- Macrophage เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างคล้ายอะมีบา (amoeba-like form) และมีการเคลื่อนที่แบบอะมีบา (amoeboid movement) พบอยู่ในเนื้อเยื่อต่างๆ ซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามอวัยวะที่พบ ทำหน้าที่ phagocytosis และยังเป็น APC สำหรับกระตุ้นการพัฒนาของ naïve T cell

Dendritic cell



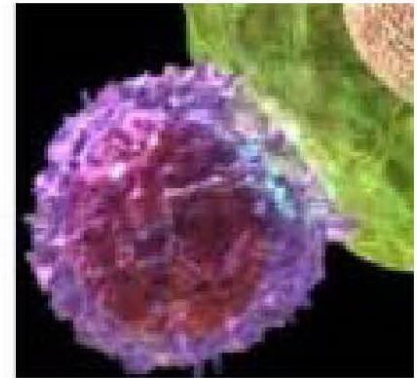
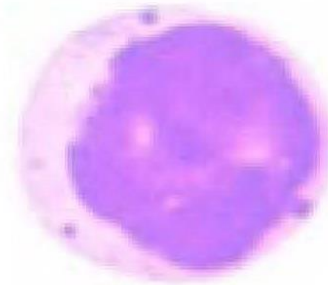
- Dendritic cell ถูกตั้งชื่อเนื่องจากลักษณะของเซลล์ที่ประกอบด้วยแขนงยื่นของไซโทพลาสซึมจำนวนมากสายยาวคล้ายกับ dendrite ของเซลล์ประสาท
- Dendritic cell ทำหน้าที่นำเสนอแอนติเจนจัดเป็นพวก APC เช่นเดียวกับ macrophage
- Dendritic cell มีชื่อเรียกต่างๆ ตามบริเวณที่พบ ได้แก่
 - Langerhans cell พบในชั้นหนังกำพร้าและเยื่อบุผิว
 - Interstitial DC พบในอวัยวะภายในต่างๆ
 - Interdigitating DC พบในอวัยวะของระบบภูมิคุ้มกัน เช่น ไทมัส
 - Circulated DC พบในกระแสเลือด
 - Veiled cell พบในระบบน้ำเหลือง

Lymphocytes



- Lymphocytes เป็นเซลล์หลักของระบบภูมิคุ้มกัน โดยรับผิดชอบในการต้านทานเชื้อโรคต่างๆ แบบจำเพาะเจาะจง (specificity) มีความจำ (memory) และสามารถแยกแยะสิ่งแปลกปลอมจากองค์ประกอบของตนเอง (self and non-self recognition)
- เม็ดเลือดขาวชนิดอื่นๆ มีส่วนช่วยเหลือ ได้แก่ การจับกินและทำลายจุลินทรีย์ นำเสนอแอนติเจนและหลั่งไซโตไคน์ เท่านั้น
- พบมากในระบบน้ำเหลือง 99% ส่วนในกระแสเลือดพบประมาณ 20-40 %
- Lymphocytes แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ T-lymphocyte และ B-lymphocyte

Natural killer cell

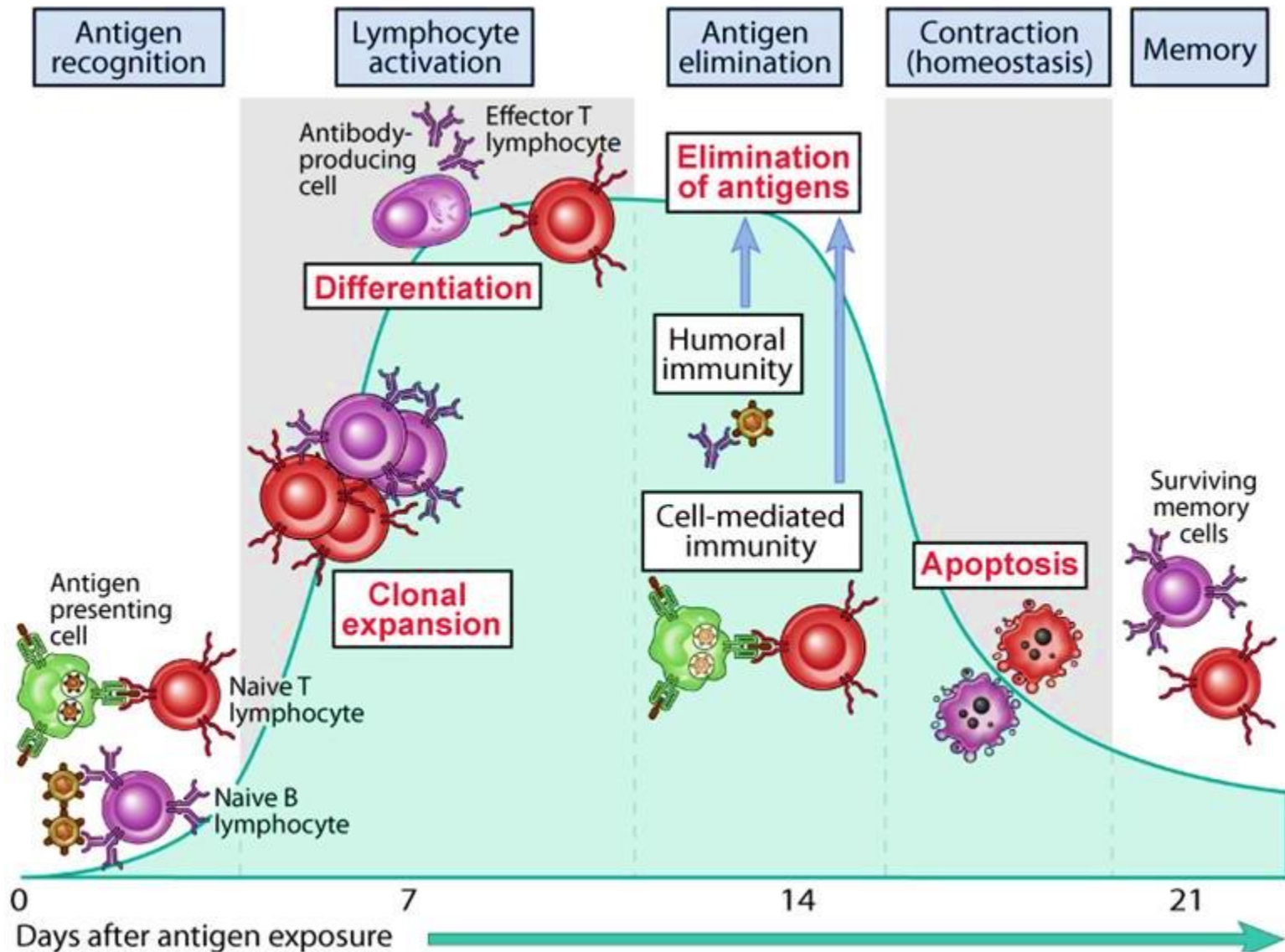


- NK cell เป็นกลุ่มของลิมโฟไซต์
- เซลล์เหล่านี้ไม่มีการสร้างแอนติบอดีและตัวรับแอนติเจนบนผิวเซลล์ จึงขาดความจำเพาะและไม่มีการพัฒนาเซลล์ความจำ (memory cell)
- NK cell เป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ ภายในมี granule จำนวนมาก
- NK cell แสดงคุณสมบัติ cytotoxicity ในการทำลายเซลล์มะเร็งและเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัส (viral infected cell)

การตอบสนองภูมิคุ้มกันต่อการติดเชื้อ (immune response against infection)

- การจดจำเชื้อโรค (recognition)
- การกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (activation)
- การเพิ่มจำนวนเซลล์ที่ตอบสนองต่อเชื้อ (clonal expansion)
- การพัฒนาของเซลล์ที่ตอบสนองต่อเชื้อให้สามารถทำหน้าที่ (differentiation and maturation)
 - Antibodies and cytokines
 - Cytotoxic cells
 - Memory cells

ช่วงเวลาการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน



ระบบทางเดินหายใจ (respiratory system)

- ระบบที่ช่วยนำส่งออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายและในขณะเดียวกันก็นำคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายผ่านการทำงานของปอด
- โดยการหายใจเข้า-ออก ลมหายใจเข้าจะนำออกซิเจนผ่านจมูกมายังโพรงจมูกและเข้าสู่หลอดลมจากนั้นเข้าสู่ปอดเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้เลือดดำซึ่งมีปริมาณออกซิเจนต่ำได้รับออกซิเจนและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ปอดแล้วจึงถูกขับออกด้วยการหายใจออก
- เมื่อเลือดได้รับออกซิเจนก็จะไหลเวียนเข้าสู่หัวใจและถูกส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

Upper respiratory tract

Nasal cavity

Pharynx

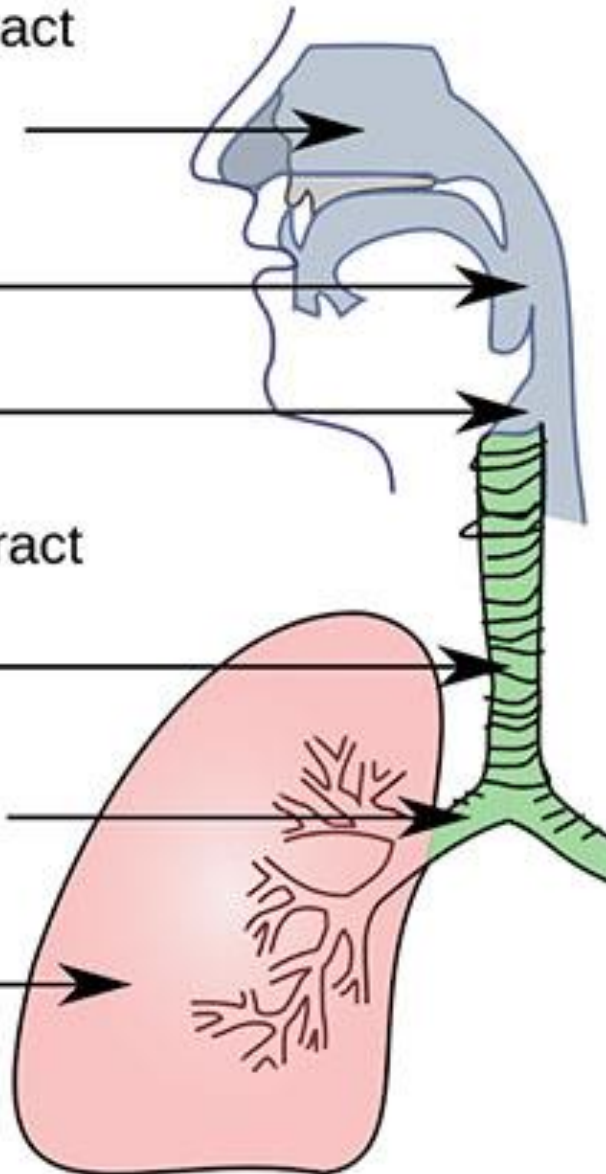
Larynx

Lower respiratory tract

Trachea

Primary bronchi

Lungs

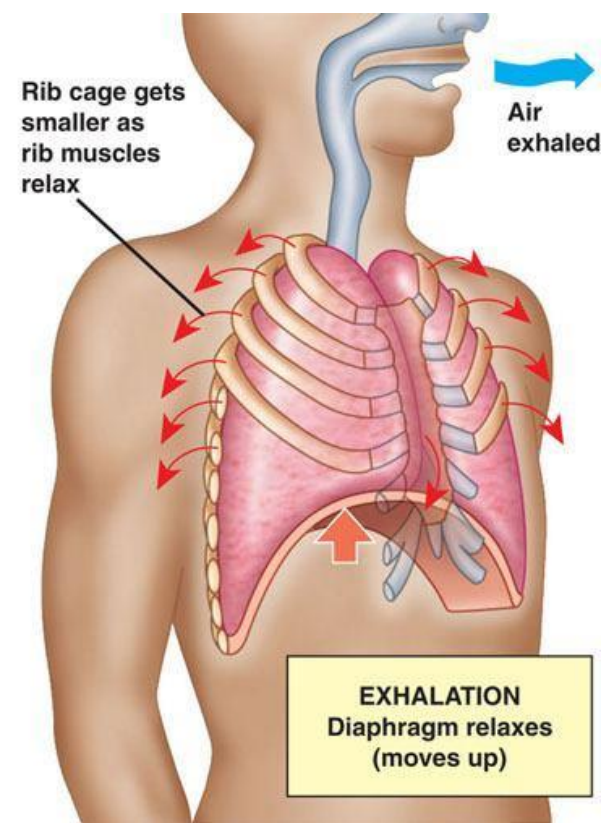
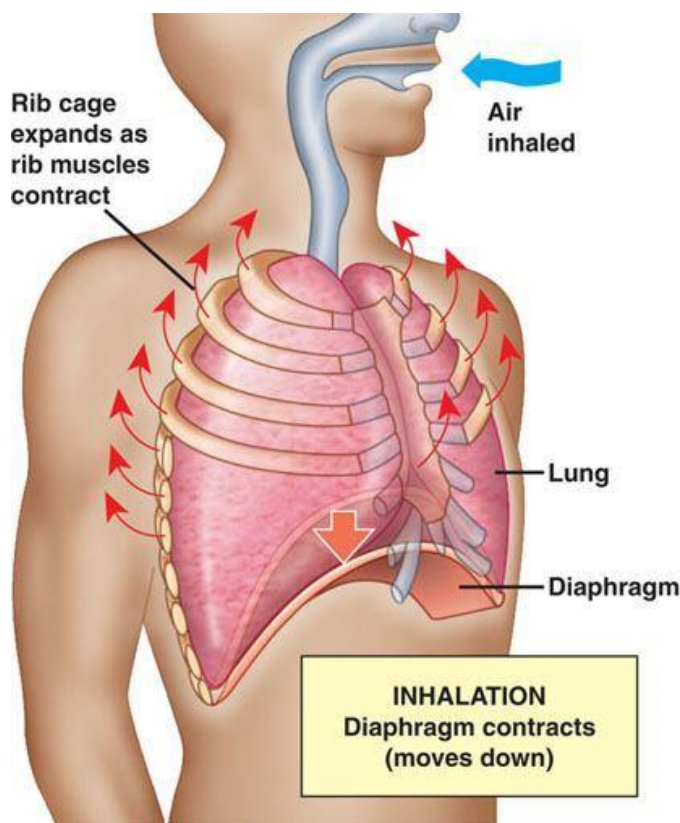


ระบบทางเดินหายใจส่วนบน
(upper respiratory tract, URI)

จมูกและปาก (nose and mouth)
โพรงจมูก (nasal cavity) คอหอย
(pharynx) กล่องเสียง (larynx)

ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง
(lower respiratory tract, LRI)

หลอดลมคอ (trachea) หลอดลม
เล็กหรือซี่ปอด (bronchus)
ปอด (lung)



<https://www.relieffjournal.com/relief-journal/2014/09/03/breathing-patterns-part-1-inhale>

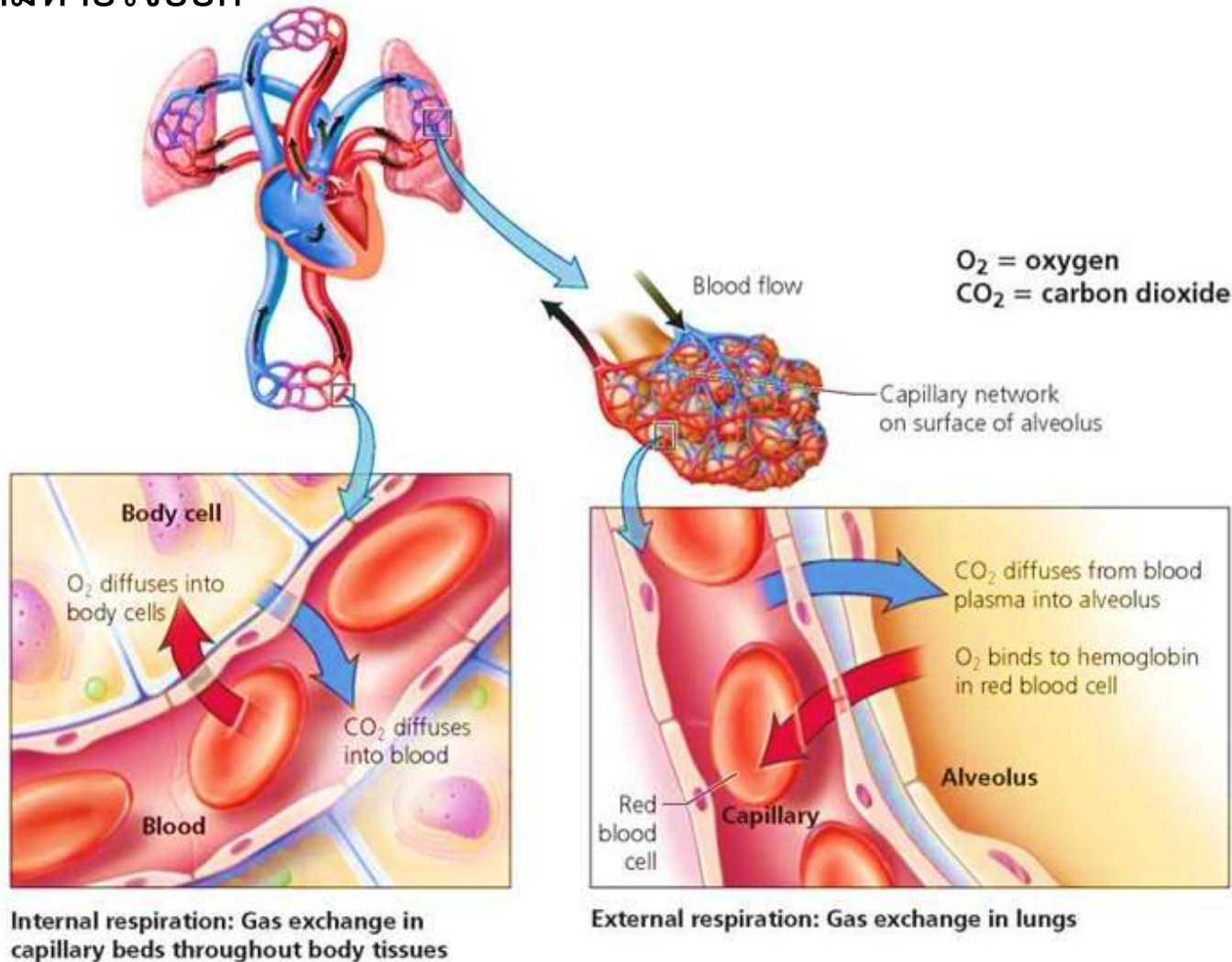
■ การหายใจเข้า (inhalation)

- กระดูกซี่โครงยกตัวขึ้น กล้ามเนื้อกระบังลมหดตัว กระบังลมแบนราบลง ช่องอกขยายกว้าง อากาศดันจากภายนอกสู่อุด ฤงลมในปอดพองขึ้น ปอดขยายตัว

■ การหายใจออก (exhalation)

- กระดูกซี่โครงลดตัวลง กล้ามเนื้อกระบังลมคลายตัว กระบังลมยกสูงขึ้น ช่องอกแฟบลง ดันอากาศจากภายในปอดออกไป ฤงลมในปอดแฟบลง ปอดหดตัว

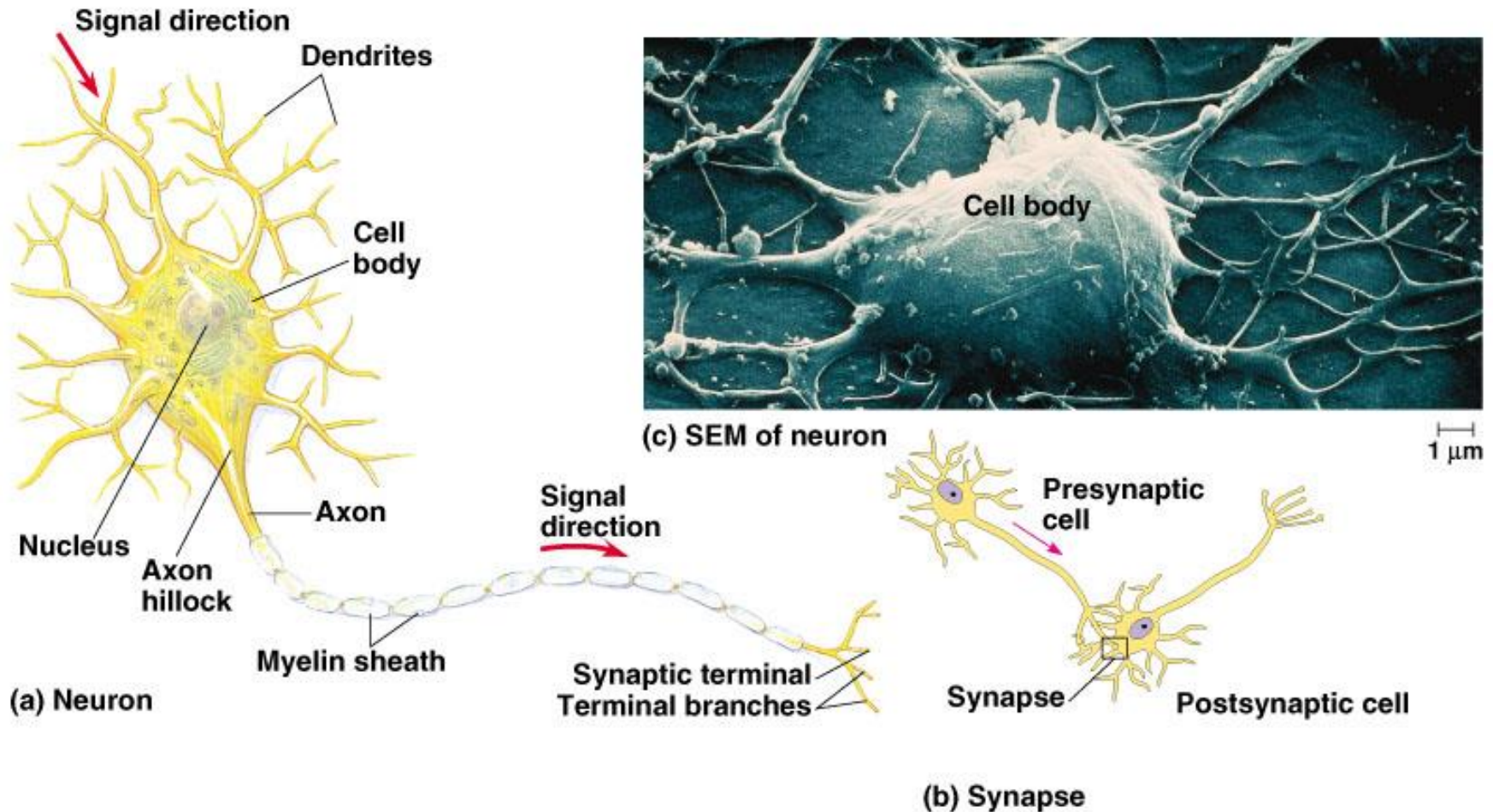
- การแลกเปลี่ยนแก๊สเกิดจากถุงลมในปอดแลกเปลี่ยนกับหลอดเลือดฝอยในปอด
- การแลกเปลี่ยนเกิดจากออกซิเจนที่เข้าไปในถุงลมปอดแพร่เข้าสู่หลอดเลือดฝอยในถุงลม ขณะเดียวกันคาร์บอนไดออกไซด์จากหลอดเลือดฝอยก็แพร่เข้าไปยังถุงลม ออกจากปอดพร้อมกับลมหายใจออก



ระบบประสาท (nervous system)

- ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของร่างกายประกอบด้วยระบบประสาทโซมาติก (somatic nervous system) และระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system) เซลล์ในระบบประสาทเมื่อเจริญเต็มที่แล้วหากเกิดความเสียหายจะไม่มี การแบ่งเซลล์ใหม่มาทดแทน ระบบประสาทโซมาติกอยู่ภายใต้ อำนาจของจิตใจ เช่น การเคลื่อนไหวร่างกายผ่านการส่งกระแสประสาทไปยังกล้ามเนื้อลาย เป็นต้น ในขณะที่ระบบประสาทอัตโนมัติทำงานอยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจ เช่น การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบบริเวณลำไส้บีบตัวแบบเพอริสทอลซิส (peristalsis) ทำให้อาหารที่รับประทานเข้าไปเกิดการเคลื่อนที่

โครงสร้างเซลล์ประสาท

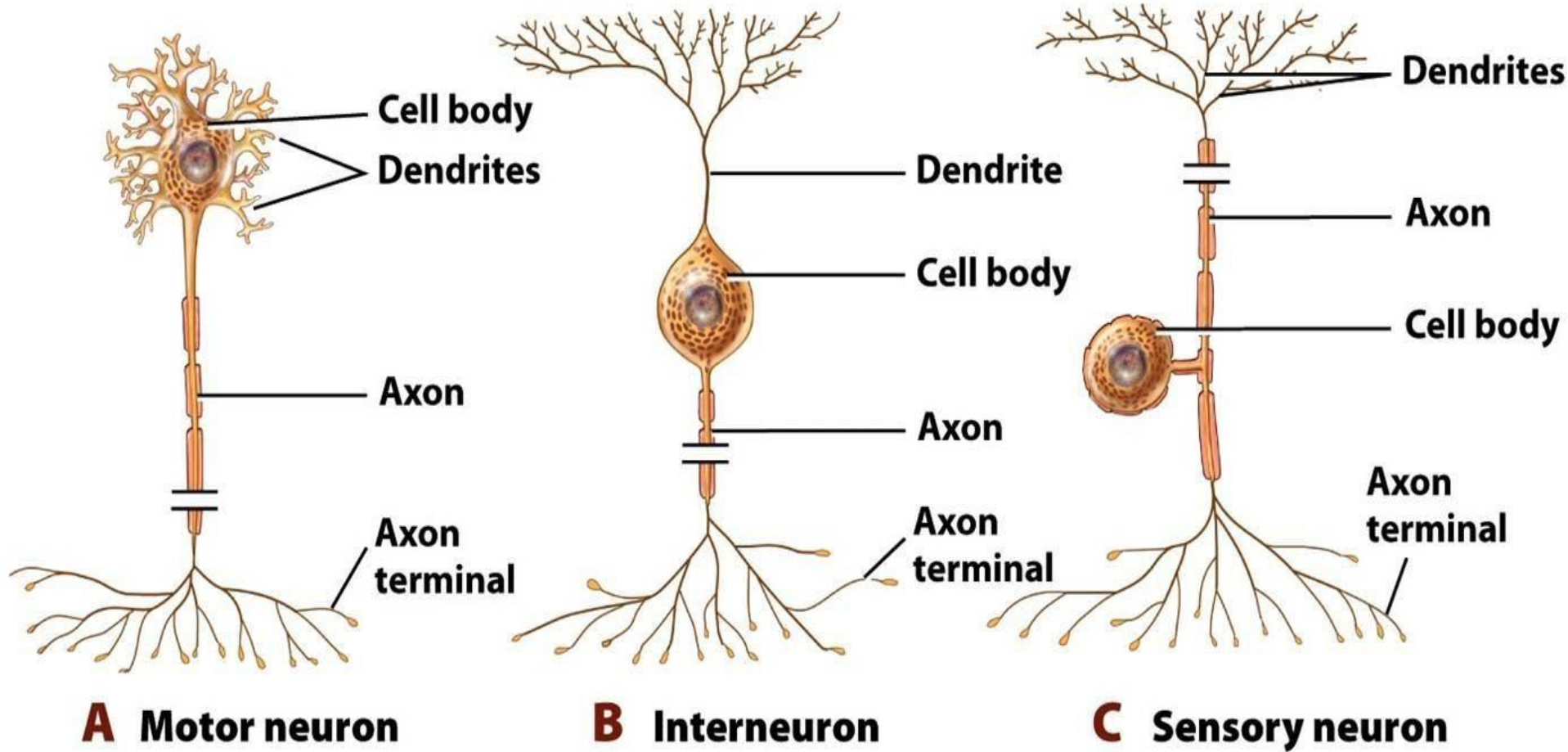


เซลล์ประสาทประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ dendrite, cell body, axon และ synaptic terminal

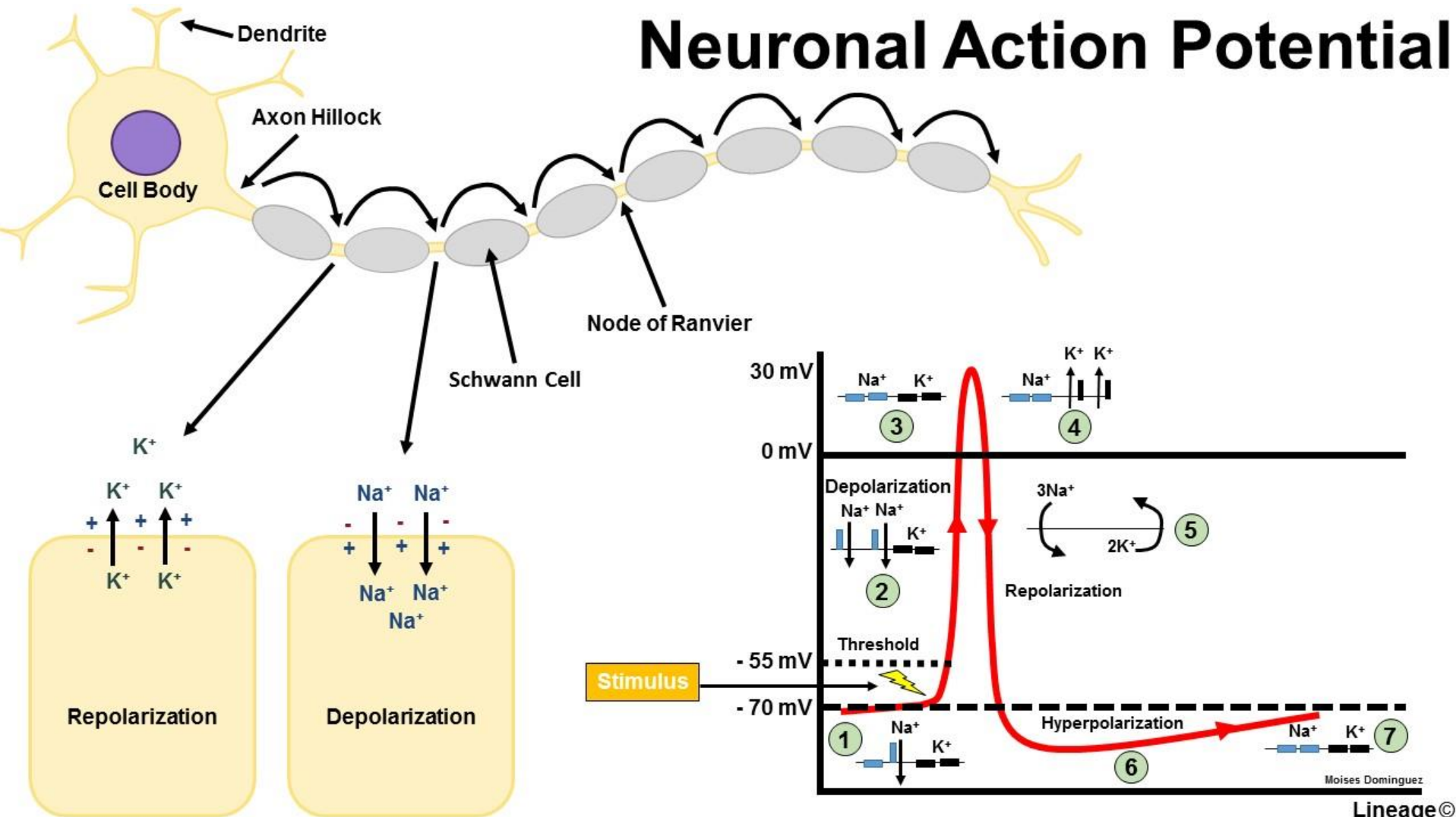
เซลล์ประสาทแบ่งเป็น 3 ชนิด ตามการนำคำสั่ง

1. Sensory neuron อาจทำหน้าที่เป็นตัวรับในการรับสิ่งเร้าโดยตรง (เป็น receptor neuron) เช่น olfactory nerve cells หรือรับคำสั่งจาก receptor cell (เช่น photoreceptor cell) อีกทีหนึ่ง (เป็น sensory neuron) แล้วแปลคำสั่งจากสิ่งเร้าในรูปแบบต่าง ๆ เป็น electrical signal ส่งไปยัง interneuron หรือ motor neuron โดยตรง
2. Interneuron รับข้อมูลจาก sensory neuron หรือ interneuron อื่น รวบรวมข้อมูล แปลผล และส่งคำสั่งไปยัง motor neuron
3. Motor neuron นำคำสั่งในการตอบสนองจาก interneuron ไปยัง effector cells

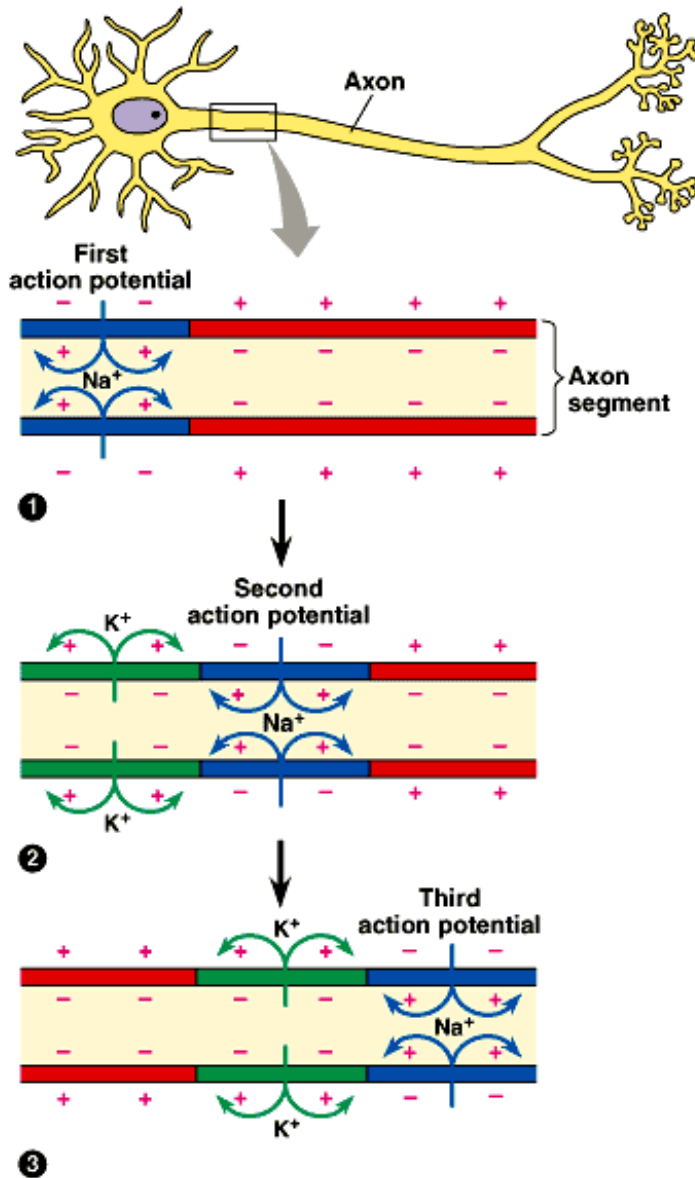
ชนิดของเซลล์ประสาทแบ่งตามการนำคำสั่ง



การส่งกระแสประสาท



กระบวนการเกิด action potential

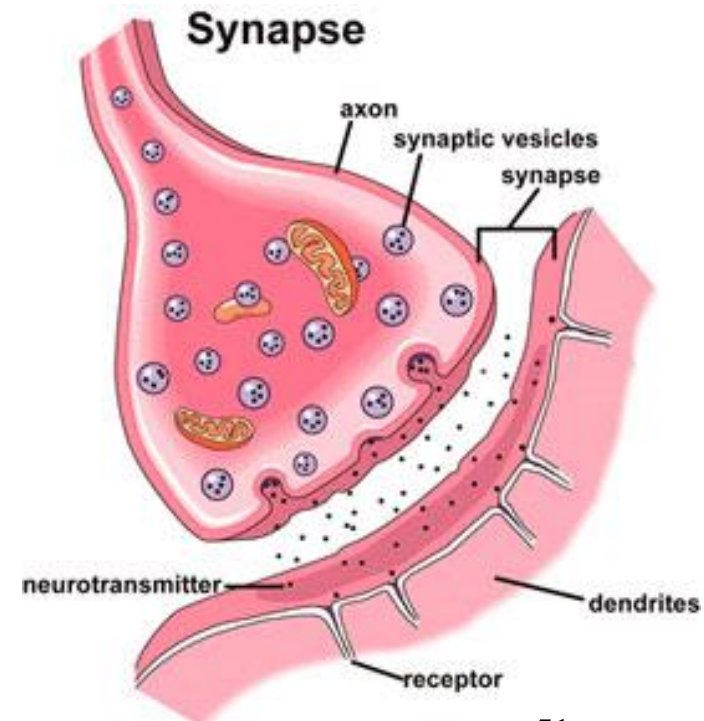
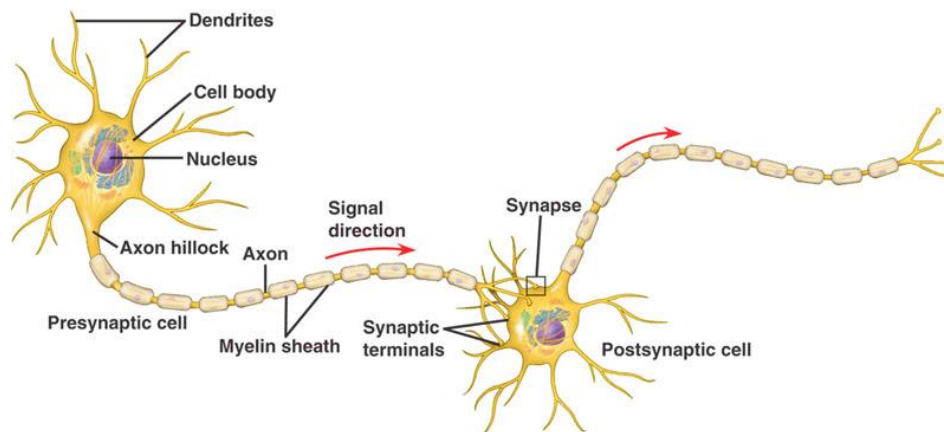


1. ขณะที่เกิด action potential (ในตำแหน่งที่ 1) Na⁺ เคลื่อนเข้าสู่ภายในเซลล์ ซึ่ง Na⁺ ที่เคลื่อนเข้ามาภายในเซลล์จะแพร่ไปยังบริเวณข้างเคียง(ตำแหน่งที่ 2) และสามารถกระตุ้นให้บริเวณข้างเคียงเกิด depolarization และ action potential ได้ในที่สุด
2. ขณะที่ ตำแหน่งที่ 2 เกิด action potential ในตำแหน่งที่ 1 จะเกิด repolarization (refractory period) จึงทำให้ไม่สามารถเกิด action potential ในทิศทางย้อนกลับได้
3. หลังจากนั้น action potential จะเคลื่อนไปสู่ตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 2 จะเกิด refractory period และตำแหน่งที่ 1 จะกลับสู่สถานะ resting stage ต่อไป

การเคลื่อนของ action potential บน axon จึงเคลื่อนไปในทิศทางเดียว (ออกจาก cell body) เท่านั้น

การส่งกระแสประสาทระหว่างเซลล์

- Synaptic terminal (axon ending) : ส่วนปลายของ axon ทำหน้าที่หลั่งสาร neurotransmitter
- Synapse : บริเวณที่ synaptic terminal ไปสัมผัสกับเซลล์เป้าหมาย (neuron/effector)
- เซลล์ที่ส่งสัญญาณเรียก presynaptic cell
- เซลล์เป้าหมายเรียก postsynaptic cell
- (จะมี receptor ต่อ neurotransmitter
- ของ presynaptic cell)



การรับรู้และการตอบสนอง

สิ่งเร้า → ตา หู จมูก ลิ้น ผิวหนัง
(receptor) → เส้นประสาทรับความรู้สึก
(sensory nerve) → สมอง
(Brain)

สั่งการ ↓

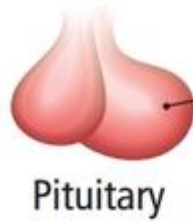
ตอบ ← กล้ามเนื้ออวัยวะที่
สนอง ← เกี่ยวข้อง (effector) ← เส้นประสาทนำคำสั่ง
(motor nerve) ← ไขสันหลัง
(spinal cord)

ระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system)

- ต่อมไร้ท่อทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน (hormone) เพื่อควบคุมการทำงานของร่างกาย การทำงานของต่อมไร้ท่อจะทำงานร่วมกับระบบประสาท เช่น เมื่อเกิดภัยอันตรายระบบประสาทจะรับความรู้สึกจากนั้นจะเกิดกระแสประสาทสั่งการให้ต่อมหมวกไต (adrenal gland) หลั่งฮอร์โมนอะดรีนาลีน (adrenaline) ออกมาทำให้ร่างกายหนีออกจากสิ่งที่เป็นอันตรายได้อย่างรวดเร็ว

ต่อมไร้ท่อและอวัยวะที่สำคัญของร่างกายในการสร้างฮอร์โมน

ต่อมใต้สมอง



Pituitary

ต่อมไทรอยด์



Thyroid

ตับอ่อน



Pancreas

ต่อมหมวกไต



Adrenals

อัณฑะ



Testes

รังไข่

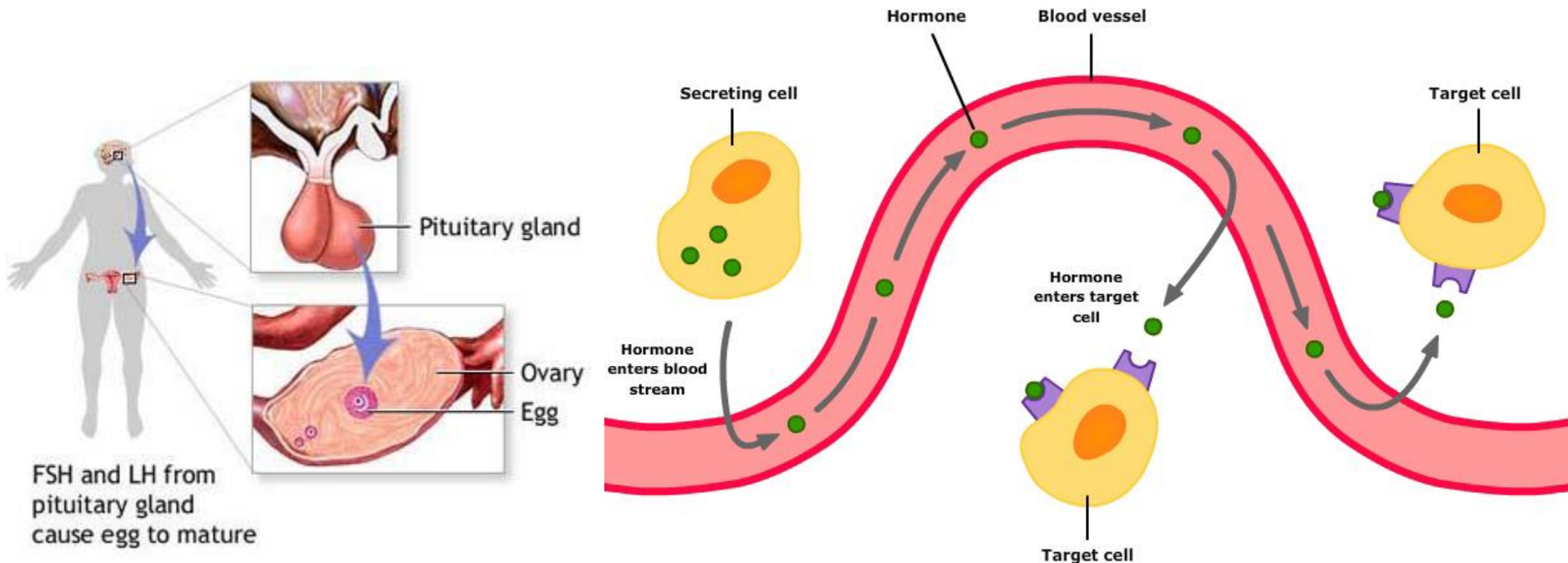


Ovaries

ต่อมไร้ท่อทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน (hormones)

- ฮอร์โมนสารที่สร้างและหลั่งออกมาจากต่อมไร้ท่อเข้าสู่กระแสเลือดหรือน้ำเหลืองเพื่อไปยังอวัยวะเป้าหมายและกระตุ้นให้อวัยวะเป้าหมายทำหน้าที่ตามชนิดของฮอร์โมนนั้น ๆ

- ฮอร์โมนที่สร้างขึ้นจะถูกปล่อยเข้ากระแสเลือด เพื่อไปมีผลต่ออวัยวะเป้าหมาย ซึ่งอาจอยู่ไกลจาก แหล่งผลิตมาก ตัวอย่าง เช่น การทำงานของฮอร์โมน FSH : follicle stimulating hormone ซึ่งผลิตจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าแต่ไปมีผลต่อการทำงานของรังไข่ ที่อยู่ไกลจากต่อมใต้สมอง

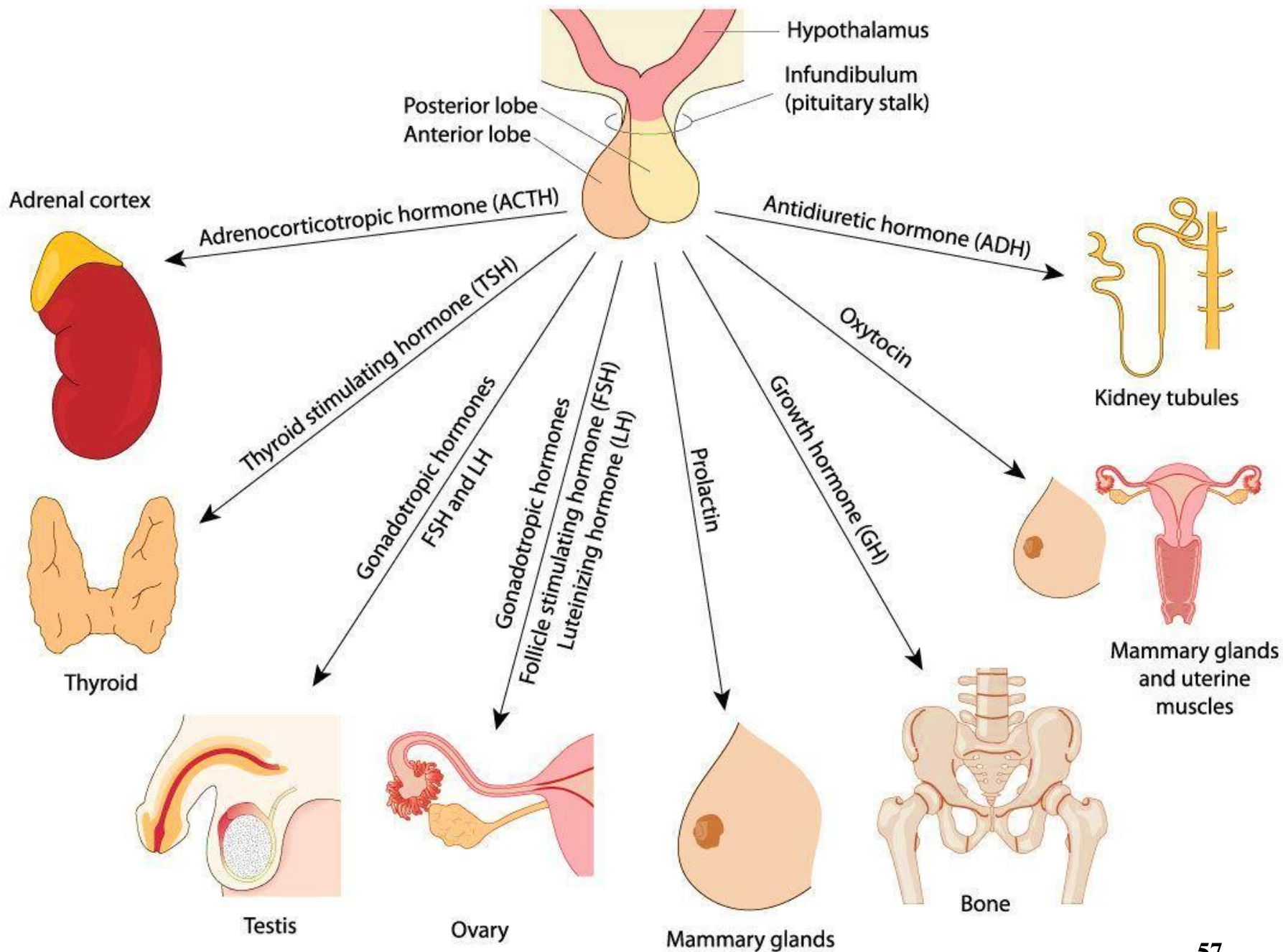


<https://4.bp.blogspot.com>

© 2007-2011 The University of Waikato | www.sciencelearn.org.nz

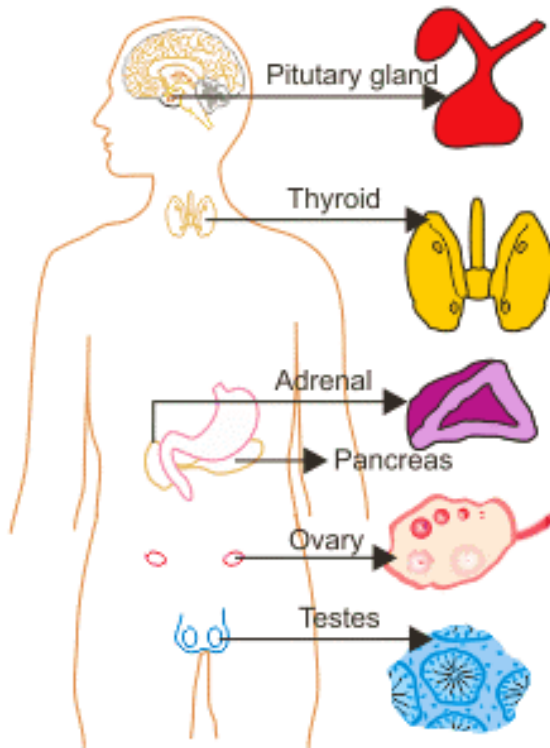
บทบาทหน้าที่ของฮอร์โมน

- 1. การสืบพันธุ์** โดยการกระตุ้นการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์ ได้แก่ การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ การเจริญเติบโตและพัฒนาการตามวัย เช่น ฮอร์โมน เทสโทสเทอโรน อีสโตรเจน โพรเจสเทอโรน ฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ได้แก่ LH และ FSH
- 2. การเจริญเติบโต** กระตุ้นทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (metamorphosis) การเติบโตเป็นผู้ใหญ่ (maturation) เช่น การทำงานของโกรทฮอร์โมน อินซูลิน กลูโคคอร์ติคอยด์ และฮอร์โมนเพศ
- 3. การรักษาสภาวะภายในร่างกายให้คงที่** เช่น การรักษาปริมาณน้ำในร่างกาย ความดันโลหิต สารอิเล็กโทรไลต์ ความเป็นกรด-ด่าง ระดับน้ำตาลในเลือด และแคลเซียมในเลือด เป็นต้น
- 4. การสร้างและใช้พลังงาน** โดยการควบคุมอัตราเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เช่น ฮอร์โมนอินซูลิน กลูคากอน ไทรอยด์ฮอร์โมน เป็นต้น⁵⁶



The Endocrine System in Humans

Endocrine glands are ductless glands that **secrete hormones** (chemical messengers) which carry **messages to particular organ or tissue** through the blood stream. These glands control **growth, development, metabolism and reproduction**. Endocrine glands secrete hormones in **response to external and internal stimuli**.



| Glands | Hormones | Functions |
|-------------|-------------------------|---|
| Pituitary | Growth hormone | <ul style="list-style-type: none">Regulates growthControls the functioning of endocrine glands |
| Thyroid | Thyroxine | <ul style="list-style-type: none">Controls the metabolism rateIt also brings about balanced growth |
| Parathyroid | Parathormone | <ul style="list-style-type: none">Controls calcium balance of the body |
| Adrenal | Adrenaline | <ul style="list-style-type: none">Prepares body for emergency |
| Pancreas | Insulin | <ul style="list-style-type: none">Controls glucose level of the blood |
| Testes | Testosterone | <ul style="list-style-type: none">Controls growth and development of male reproductive system |
| Ovaries | Oestrogen, progesterone | <ul style="list-style-type: none">Controls growth and development of female reproductive system |

ระบบย่อยอาหาร (digestive system)

- ทำหน้าที่นำสารอาหารและน้ำเข้าสู่ร่างกาย การย่อยอาหารที่รับประทานเข้าไปเกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหาร อวัยวะที่ทำหน้าที่ย่อยอาหารประกอบด้วย ปาก กระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก ซึ่งหลังจากอาหารถูกย่อยแล้วร่างกายจะดูดซึมสารอาหารบริเวณลำไส้เล็ก อาหารที่ไม่สามารถย่อยได้ก็จะถูกขับออกผ่านทางลำไส้ใหญ่และทวารหนัก

กระบวนการย่อย

- มีกระบวนการย่อย 2 แบบ คือ
 1. การย่อยเชิงกล (mechanical digestion) โดยการใช้ฟันบดเคี้ยว และการหดตัวคลายตัวของทางเดินอาหาร เช่น หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร เป็นต้น
 2. การย่อยทางเคมี (chemical digestion) โดยการใช้น้ำย่อย หรือ เอนไซม์ ทำให้อาหารเปลี่ยนแปลงจนเป็นโมเลกุลเดี่ยว ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้

อวัยวะในระบบย่อยอาหารของคน

1. อวัยวะที่เป็นทางเดินอาหาร ได้แก่

1.1 ปากและโพรงปาก (mouth and mouth cavity) ประกอบด้วย ฟัน ลิ้น ต่อม้ำลาย

1.2 คอหอย (pharynx)

1.3 หลอดอาหาร (esophagus)

1.4 กระเพาะอาหาร (stomach)

1.5 ลำไส้เล็ก (small intestine)

1.6 ลำไส้ใหญ่ (large intestine)

1.7 ไส้ตรง (rectum)

1.8 ทวารหนัก (anus)

2. อวัยวะที่ช่วยย่อยอาหาร แต่ไม่ใช่ทางเดินอาหาร ได้แก่

2.1 ต่อม้ำลาย (salivary gland)

2.2 ตับ (liver) และถุงน้ำดี (gall bladder)

2.3 ตับอ่อน (pancreas)

ปาก

- ปาก (mouth) เป็นทางเดินอาหารเริ่มแรก ซึ่งประกอบด้วยอวัยวะต่างๆ ทำหน้าที่ร่วมกัน
 - การย่อยเชิงกล (mechanical digestion)
 - การย่อยทางเคมี (chemical digestion)
 - การทำงานของอวัยวะภายในปากที่เกี่ยวกับการย่อยอาหารประกอบด้วย ฟัน ลิ้น ต่อมน้ำลาย

ส่วนประกอบของน้ำลายมีดังนี้

1. เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ช่วยย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต
2. น้ำ (water) มีประมาณ 99.5% เป็นตัวทำละลายสารอาหาร
3. น้ำเมือก (mucin) เป็นสารคาร์โบไฮเดรต ผสมโปรตีน ช่วยให้อาหารรวมตัวกันเป็นก้อน ลื่น และกลืนสะดวก

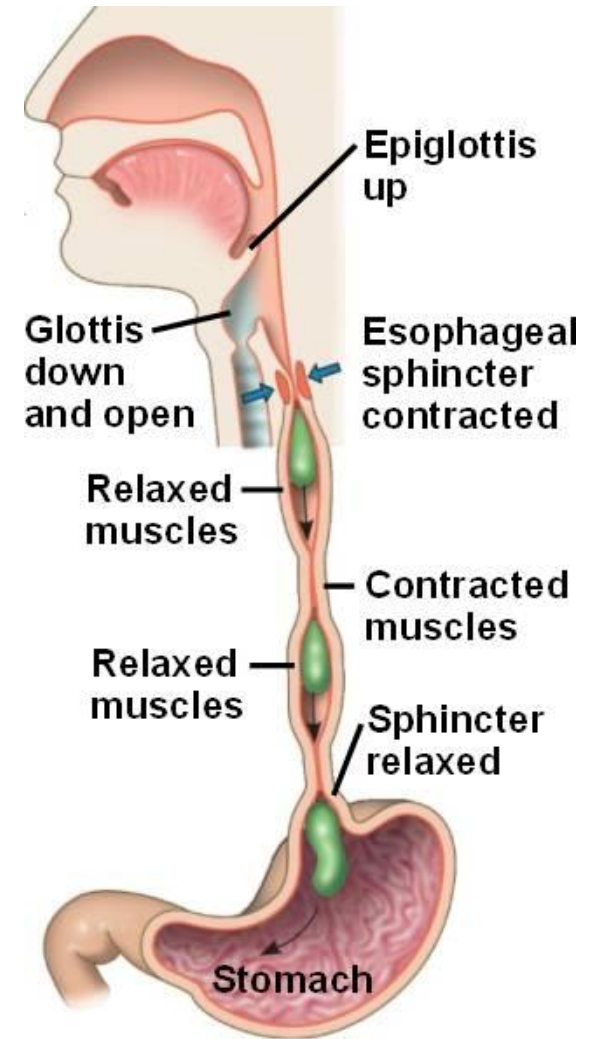
น้ำลายจะถูกสร้างจากต่อมน้ำลายประมาณ 1-1.5 ลิตร มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน (pH 6.0-7.0) ทำหน้าที่ละลายอาหาร ป้องกันไม่ให้ปากแห้ง และช่วยในการเคลื่อนไหวยของลิ้นในขณะพูด

กระบวนการย่อยในปาก

- เริ่มต้นจากการเคี้ยวอาหาร เป็นการย่อยเชิงกล ทำให้อาหารกลายเป็นชิ้นเล็กๆ มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเอนไซม์ได้มากขึ้น
- ต่อมน้ำลายก็จะหลั่งน้ำลายออกมาช่วยคลุกเคล้าให้อาหารเป็นก้อนลื่น สะดวกต่อการกลืน

คอหอย (pharynx) และหลอดอาหาร (esophagus)

- คอหอย (pharynx) อยู่บนหลอดอาหาร กล่องเสียงและท่อลม (trachea)
- คอหอยเป็นส่วนหนึ่งของระบบทางเดินอาหารและระบบทางเดินหายใจของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด
- ร่างกายมนุษย์จึงมีฝาปิดกล่องเสียง (epiglottis) ปิดช่องท่อลม เมื่อมีการกลืนอาหาร เพื่อป้องกันการสำลัก
- หลอดอาหารมีลักษณะเป็นท่อที่ต่อจากคอหอย อยู่ทางด้านหลังของหลอดลม (trachea) ไปสิ้นสุดที่กระเพาะอาหาร
- ไม่มีต่อมสร้างน้ำย่อย แต่ยังมีการย่อยอาหารต่อเนื่องมาจากในปาก
- อาหารที่เคลื่อนผ่านไปโดยการหดตัวของกล้ามเนื้อหลอดอาหาร
- ซึ่งจะหดและคลายตัวเป็นจังหวะเป็นช่วงๆ ต่อเนื่องกันเรียกว่า เพอริสทัลซิส(peristalsis)
- โดยหลอดอาหารเป็นบริเวณแรกที่มีกระบวนการ peristalsis

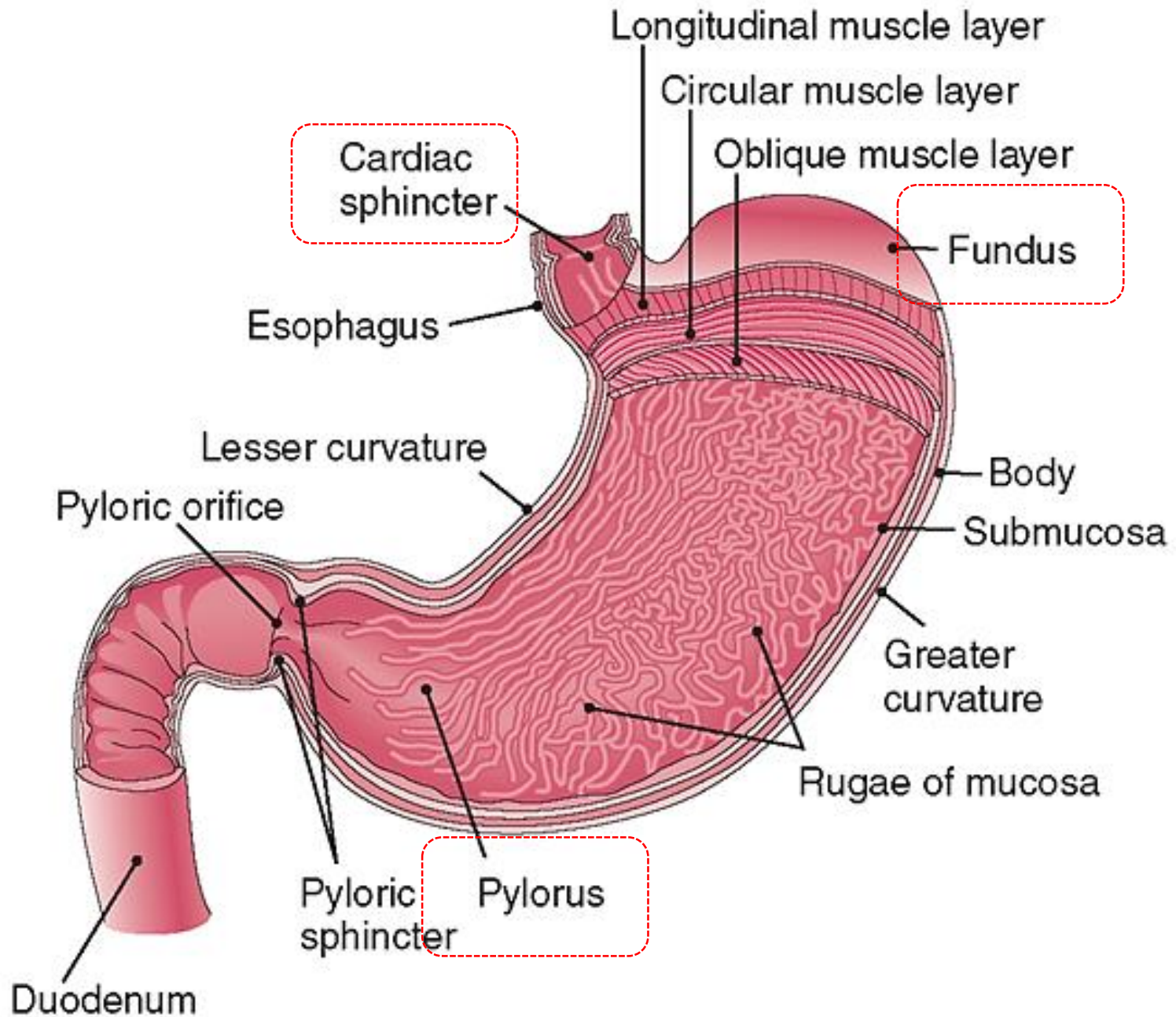


กระเพาะอาหาร (stomach)

- กระเพาะอาหาร (stomach) อยู่ทางด้านซ้ายของร่างกาย ใต้กะบังลม (diaphragm)
- ในสภาพไม่มีอาหารบรรจุอยู่ จะมีปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่เมื่อมีอาหารสามารถขยายได้ถึง 10-40 เท่า

กระเพาะอาหาร แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. **Cardiac region** หรือ **cardium** เป็นส่วนของกระเพาะอาหาร ตอนบนอยู่ต่อจากหลอดอาหาร มีกล้ามเนื้อหูรูด เรียกว่า **cardiac sphincter** ป้องกันไม่ให้อาหารภายในกระเพาะอาหารย้อนกลับสู่หลอดอาหาร
2. **Fundus** เป็นกระเพาะอาหารส่วนกลาง มีลักษณะเป็นกระพุ้งใหญ่ที่สุด
3. **Pylorus** หรือ **pyloric region** เป็นกระเพาะอาหารส่วนปลายติดต่อกับลำไส้เล็กตอนต้น (**duodenum**) มีลักษณะเล็กเรียวแคบลง ตอนปลายสุดของกระเพาะอาหารส่วนนี้มีกล้ามเนื้อหูรูด เรียกว่า **pyloric sphincter** ป้องกันไม่ให้อาหารออกจากกระเพาะอาหาร



การย่อยในกระเพาะอาหาร

1. HCl มี pH อยู่ระหว่าง 0.9-2.0
 2. Pepsinogen เป็น proenzyme ต้องได้รับ HCl จึงเปลี่ยนเป็นเพปซิน (pepsin) สำหรับย่อยโปรตีนเป็นเพปไทด์ ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโน 4-12 โมเลกุล
 3. Prorennin เป็น proenzyme ต้องได้รับ HCl จึงเปลี่ยนเป็นเรนнин (Rennin) สำหรับย่อยโปรตีนในน้ำนม
 4. Lipase สร้างขึ้นในปริมาณน้อยมาก เพราะสภาพเป็นกรดของกระเพาะอาหาร
 5. Gastrin เป็นฮอร์โมนที่สร้างจากเซลล์ในกระเพาะอาหาร ทำหน้าที่กระตุ้นให้ parietal Cell หลั่ง HCl ออกมา
- *ในกระเพาะอาหาร น้ำย่อยลิเพสไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากมีสภาพเป็นกรด

ลำไส้เล็ก (small intestine)

- ลำไส้เล็ก (small intestine) เป็นส่วนที่ยาวที่สุดของทางเดินอาหาร ต่อมาจากกระเพาะอาหาร
- มีความยาวประมาณ 7-8 เมตร ขดไปมาในช่องท้อง
- ผนังด้านในของลำไส้เล็กมีลักษณะเป็นลอนตามขวาง มีส่วนยื่นเล็กๆมากมายเป็นตุ่ม เรียกว่า วิลลัส (villus พหูพจน์ เรียกว่า villi) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึมสารอาหารที่ย่อยแล้วได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนประกอบของลำไส้เล็ก

แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

1. **ดูโอดีนัม (duodenum)** เป็นลำไส้เล็กส่วนต้น ยาวประมาณ 25-30 เซนติเมตร รูปร่างเป็นตัวยู อยู่ต่อจากกระเพาะอาหาร เป็นบริเวณที่มีสารเคมีหลายชนิด เช่น pancreatic juice เป็นน้ำย่อยที่สร้างจากตับอ่อน, น้ำดี (bile) สร้างจากตับ, intestinal juice เป็นน้ำย่อยที่สร้างจากผนังลำไส้เล็กของดูโอดีนัม จัดเป็นส่วนที่มีการย่อยอาหารเกิดขึ้นมากที่สุด
2. **เจจูนัม (jejunum)** เป็นส่วนที่ต่อจาก duodenum ยาวประมาณ 2 ใน 5 หรือ ประมาณ 3-4 เมตร เป็นส่วนที่มีการดูดซึมอาหารมากที่สุด
3. **ไอลีียม (ileum)** เป็นลำไส้เล็กส่วนสุดท้าย ปลายสุดของ ileum ต่อกับลำไส้ใหญ่มีขนาดเล็กและยาวที่สุดประมาณ 4.3 เมตร

การย่อยเชิงเคมีในลำไส้เล็ก ประกอบด้วย

- 1) สารและเอนไซม์จากตับอ่อน
- 2) น้ำดีจากตับ
- 3) สารและเอนไซม์จากลำไส้เล็ก

สารและเอนไซม์จากตับอ่อน

น้ำย่อยของตับอ่อน (pancreatic juice) เป็นเอนไซม์ที่สร้างมาจากตับอ่อน (pancreas) มีสภาพเป็นเบส ประกอบด้วย

- สารโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3)

มีฤทธิ์เป็นเบส ช่วยเปลี่ยนอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acid chyme) จากกระเพาะอาหาร ให้เป็นกลางหรือเบสอ่อน

- เอนไซม์อะไมเลส (amylase)

ทำหน้าที่ย่อยแป้ง ไกลโคเจน หรือเดกซ์ทริน ให้แตกตัวเป็นมอลโทส

- เอนไซม์ไลเปส (lipase)

ทำหน้าที่ย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล และทำงานได้ดีที่

สารและเอนไซม์จากตับอ่อน

- **ทริปซินโนเจน (trypsinogen)** เป็นสารเคมีที่ไม่พร้อมจะทำงานต้องอาศัยเอนเทอโรไคเนส (enterokinase) จากผนังลำไส้เล็กเปลี่ยนเป็นทริปซิน (trypsin) ก่อน จึงจะทำหน้าที่ย่อยโปรตีนได้
- **ไคโมทริปซินโนเจน (chymotrypsinogen)** เป็นสารเคมีที่ไม่พร้อมจะทำงานต้องอาศัย ทริปซิน เปลี่ยนเป็นไคโมทริปซิน (chymotrypsin) ก่อน จึงจะทำหน้าที่ย่อยโปรตีนได้
- **โพรคาร์บอกซิเพปติเดส (procarboxypeptidase)** เป็นสารเคมีที่ไม่พร้อมจะทำงาน ต้องอาศัย ทริปซิน หรือ เอนเทอโรไคเนส ตัวใดตัวหนึ่ง เปลี่ยนเป็น คาร์บอกซิเพปติเดส (carboxypeptidase) ก่อนจึงทำหน้าที่ย่อยโปรตีน ซึ่งจะย่อยตรงปลายสุดด้านหมู่คาร์บอกซิลเท่านั้น

น้ำดีจากตับ

น้ำดี (bile) สร้างจากตับ (liver) แล้วถูกนำไปเก็บไว้ที่ถุงน้ำดี (gall bladder) ประกอบด้วย

- **เกลือน้ำดี (bile salt)** มีหน้าที่ทำให้ไขมัน (fat) แตกตัวเป็นหยดเล็กๆ ไขมันที่ถูกตีให้แตกตัวเป็นหยดเล็กๆ เรียกว่า อิมัลชัน (emulsion) จากนั้นจึงถูก lipase ย่อยต่อให้เป็นกรดไขมันและกลีเซอรอล
- **สีน้ำดี (bile pigment)** คือเม็ดเลือดแดงที่ถูกทำลาย จะถูกขับออกพร้อมกับกากอาหารทางลำไส้ใหญ่และทวารหนัก
- **โคเรสเตอรอล (cholesterol)** ถ้ามีมากๆ จะทำให้เกิดนิ่วในถุงน้ำดี เกิดการอุดตันที่ท่อน้ำดี เกิดโรคดีซ่าน (jaundice) มีผลทำให้การย่อยอาหารประเภทไขมันบกพร่อง

สารและเอนไซม์จากลำไส้เล็ก

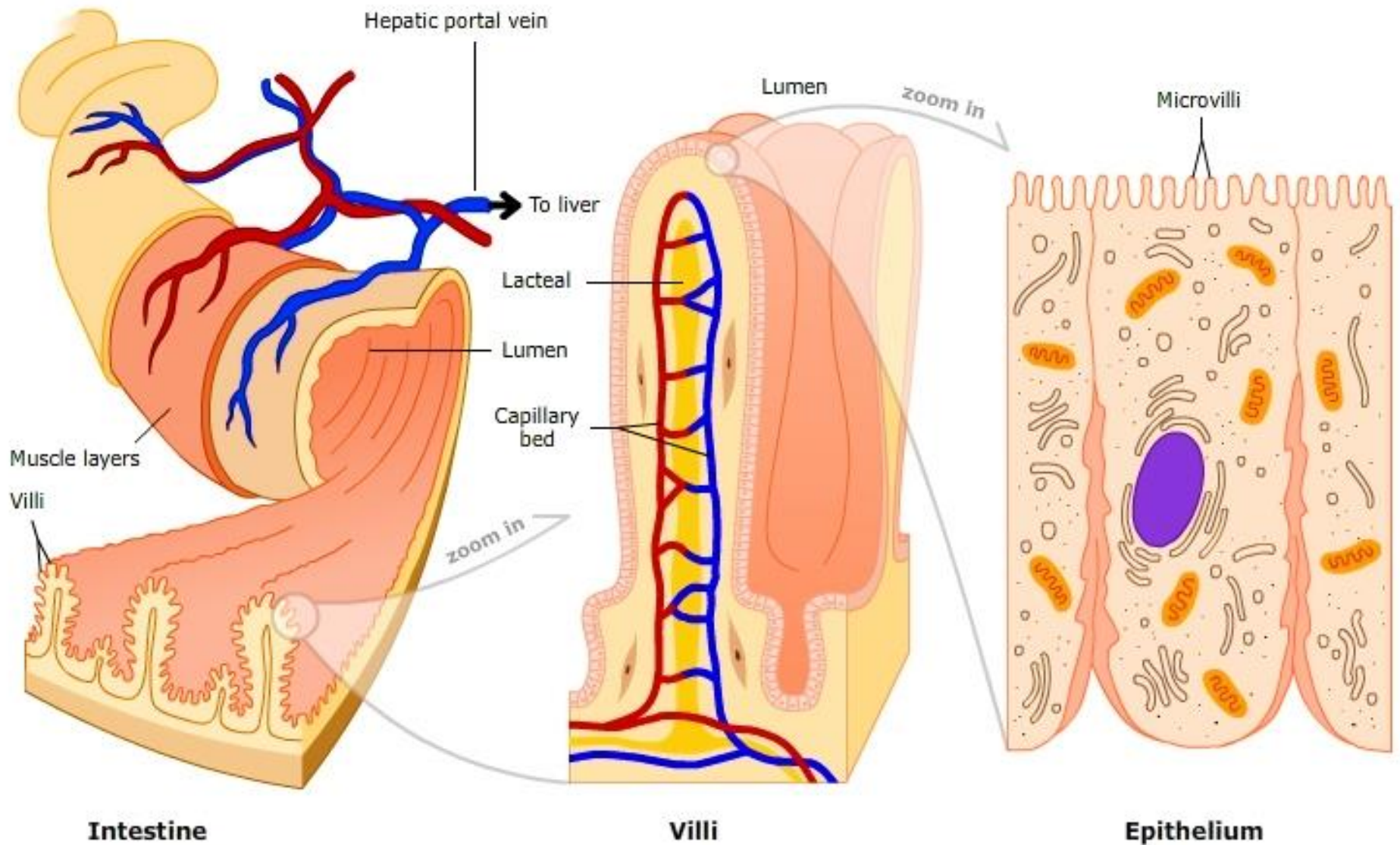
เป็นเอนไซม์ที่สร้างมาจากผนังของลำไส้เล็ก ประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด ดังนี้

- **เอนเทอโรโคเนส** ช่วยเปลี่ยนทริปซิโนเจน และโพรคาร์บอกซิเพปทีเดส จากตับอ่อน ให้เป็นทริปซิน และคาร์บอกซิเพปทีเดส
- **เพปติเดส (peptidase)** มีหลายชนิด เช่น
 - **อะมิโนเพปติเดส (amino peptidase)** ซึ่งช่วยย่อยเพปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโนและเพปไทด์ขนาดเล็ก
 - **ไดเพปติเดส (dipeptidase)** ซึ่งช่วยย่อยเพปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโน
- **เอนไซม์ไลเปส** ช่วยย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมัน และกลีเซอรอล
- **เอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรต** ได้แก่ อะไมเลส (amylase) มอลเทส (maltase) ซูเครส (sucrase) และ แล็กเทส (lactase)

การดูดซึม (absorption) บริเวณลำไส้เล็ก

- ลักษณะของลำไส้เล็กเหมาะต่อการดูดซึมสารอาหาร ดังนี้
 - เป็นบริเวณที่มีการย่อยอาหารเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์
 - ผนังชั้นในพับไปมา เรียกว่า วิลลัส (villus) คล้ายนิ้วมือจำนวนมาก และแต่ละวิลลัสจะมี ไมโครวิลลัส (microvillus) ยื่นออกมาอีกมากมาย เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับดูดซึมสารอาหาร
 - ผนังของวิลลัสประกอบด้วยเส้นเลือดฝอยสานกันเป็นร่างแห เพื่อรับสารอาหารพวกกลูโคสและกรดอะมิโน
 - ส่วนแกนกลางของวิลลัสจะมีเส้นน้ำเหลืองฝอย (lacteal) เพื่อรับสารอาหารพวกกรดไขมันและกลีเซอรอล

ลักษณะของลำไส้เล็ก

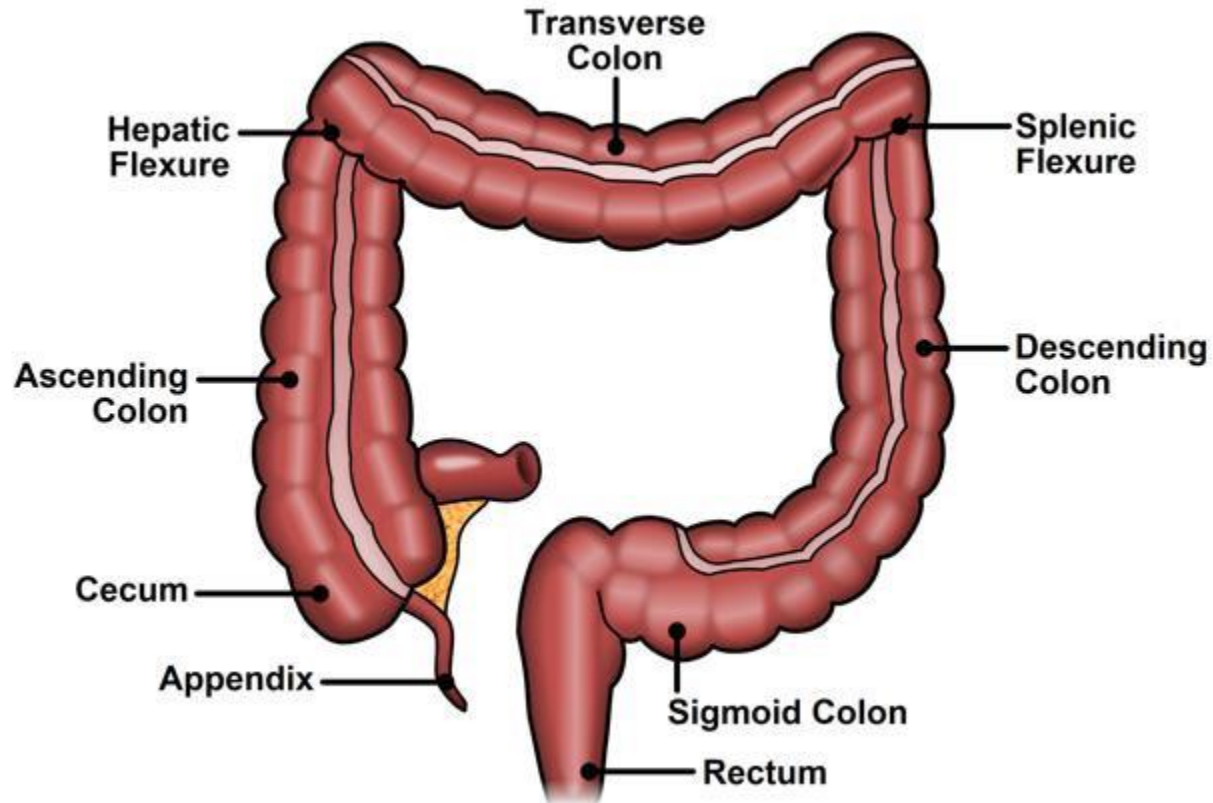


ลำไส้ใหญ่ (large intestine)

ลำไส้ใหญ่ มีความยาวประมาณ 1.5 เมตร ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ซีกัม (caecum) ติดกับ ileum ตอนปลาย จะมีไส้ติ่ง (vermiform appendix)
2. โคลอน (colon) เป็นรูปตัวยูคว่ำ มีความยาวมากที่สุด
3. ไส้ตรง (rectum) เป็นส่วนที่ต่อจาก sigmoid colon มีความยาวประมาณ 12-15 เซนติเมตร ปกติจะเป็นส่วนที่ว่างเสมอ ถ้าหากอาหารลงมาในไส้ตรงจะกระตุ้นให้ลำไส้ใหญ่หดตัว ขับกากอาหารออกทางทวารหนัก
4. ทวารหนัก (anus) มีความยาวประมาณ 2.5-3.5 เซนติเมตร อยู่ส่วนปลายสุดรอบๆ จะมีกล้ามเนื้อหูรูด (sphincter ani) ทั้งภายในและภายนอก

Large intestine

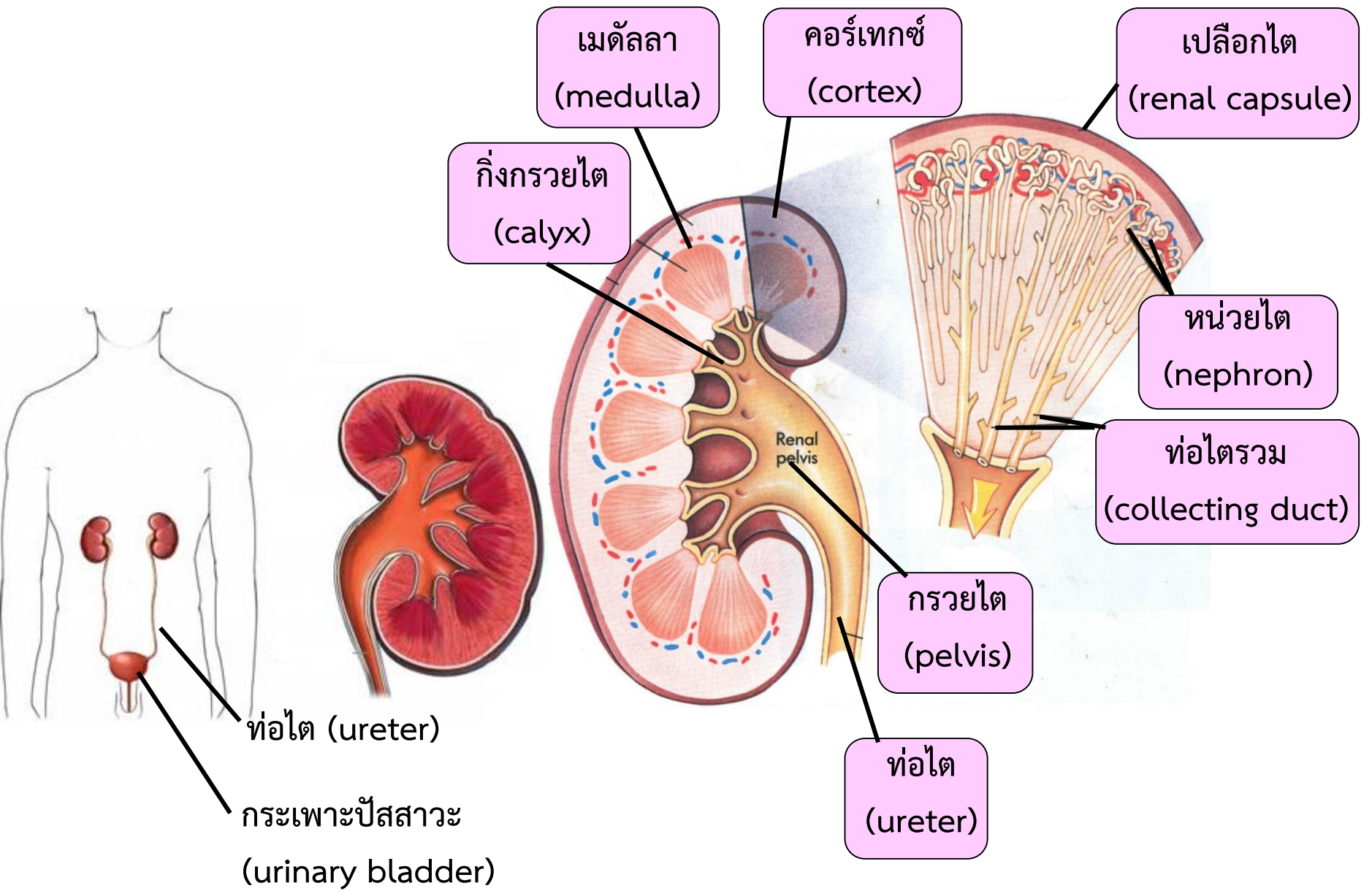


หน้าที่ของลำไส้ใหญ่

1. ดูดน้ำ วิตามิน แร่ธาตุ (Na^+ , K^+) และน้ำตาลกลูโคสที่เหลือค้างอยู่ในกากอาหารกลับเข้าสู่เส้นเลือดฝอย
2. รับและเก็บกากอาหาร
3. สร้างน้ำเมือกจากผนังด้านใน
4. เป็นที่อยู่ของแบคทีเรียหลายชนิดที่ทำประโยชน์และไม่เกิดโทษ เช่น แบคทีเรียที่ช่วยสังเคราะห์วิตามิน B12 และวิตามิน K เป็นต้น

ระบบขับถ่ายปัสสาวะ (urinary system)

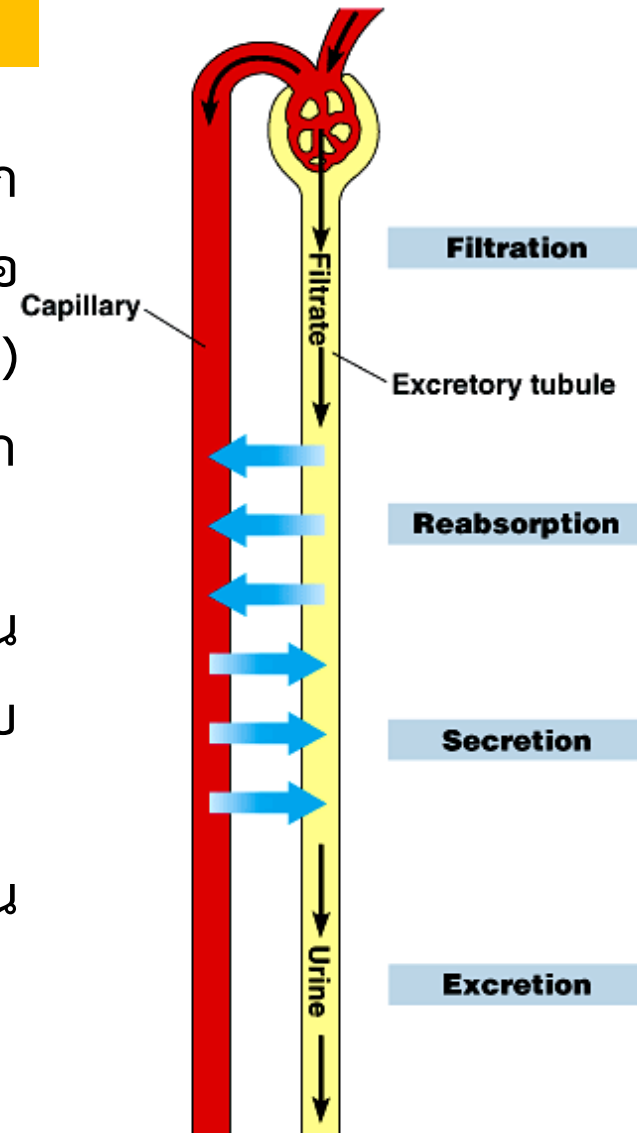
- ระบบที่ช่วยรักษาสมดุลของน้ำในร่างกายและขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย เช่น การรับประทานอาหารที่มีรสเค็มมากทำให้ปริมาณเกลือ (NaCl) ในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น
- ร่างกายจะขับเกลือออกผ่านการทำงานของไต ดังนั้นการรับประทานอาหารที่มีรสเค็มมากจะทำให้ไตทำงานหนักซึ่งจะส่งผลเสียในระยะยาวนำไปสู่การเกิดโรคไตหรือไตวาย



หน่วยไต ประกอบด้วยโบว์แมนส์แคปซูลและโกลเมอรูลัส มีหน้าที่กรองของเสียที่มาจากเลือด

การกำจัดปัสสาวะออกนอกร่างกายมีขั้นตอนดังนี้

1. Filtration (การกรอง) เป็นการนำของเหลว เช่น จากเลือด, coelomic fluid, hemolymph ผ่านเข้าสู่ท่อ (ท่อไต) โดยแรงดันเลือด (hydrostatic pressure) โดยสารโมเลกุลใหญ่เช่นเม็ดเลือดและโปรตีนจะไม่ถูกกรองออกมา สารที่ได้เรียก filtrate
2. Reabsorption (การดูดกลับ) สารที่มีประโยชน์ เช่น กลูโคส, เกลือ, กรดอะมิโน จะถูกดูดกลับคืนสู่ระบบไหลเวียนเลือดโดย active transport
3. Secretion (การหลั่งสาร) สารพิษและอิออนส่วนเกิน จะถูกขับออก โดย active transport
4. Excretion (การขับออก)



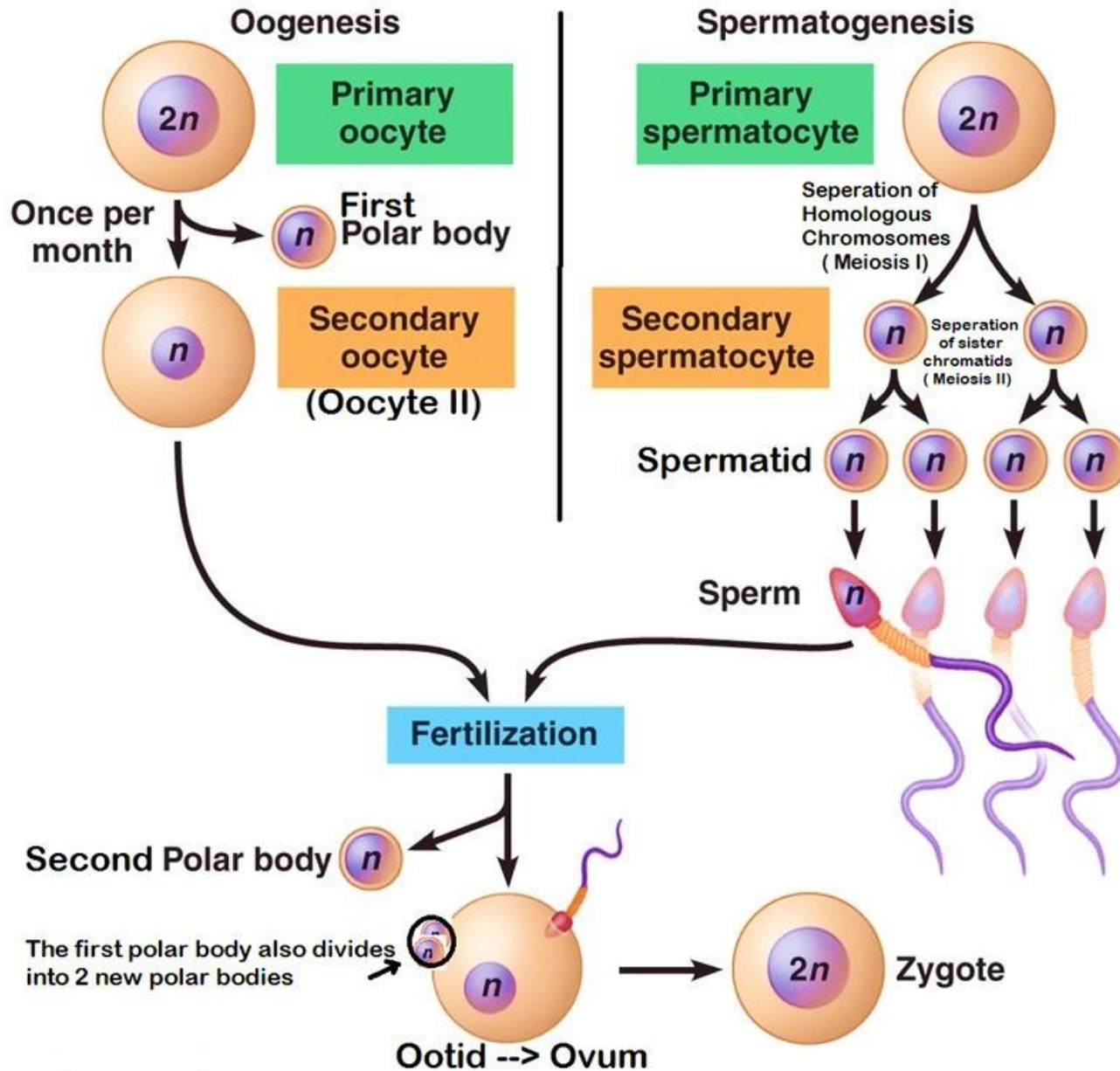
การควบคุมการทำงานของไต

- การดูดกลับของไตถูกควบคุมโดยฮอร์โมนอัลโดสเตอโรน (aldosterone) ฮอร์โมนวาโซเพรสซิน หรือแอนติไดยูเรติก ฮอร์โมน (antidiuretic hormone = ADH) จากต่อมใต้สมองส่วนท้าย
- การหลั่งฮอร์โมนขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในเลือด
 - น้ำในเลือดน้อย เช่น เหงื่อออกมาก ต่อมใต้สมองจะสร้างฮอร์โมนไปยังท่อไตดูดน้ำกลับคืน ทำให้ปัสสาวะน้อยลง
 - กรณีต่อมใต้สมองไม่สามารถสร้างฮอร์โมนวาโซเพรสซินได้ จะไม่มีการดูดกลับของน้ำ ทำให้ปัสสาวะบ่อย เรียกว่า “โรคเบาจืด”

ระบบสืบพันธุ์ (reproductive system)

- ระบบสืบพันธุ์สองแบบ คือ ระบบสืบพันธุ์เพศชายและระบบสืบพันธุ์เพศหญิง ซึ่งระบบสืบพันธุ์ของทั้งสองเพศมีโครงสร้างแตกต่างกันแต่มีหน้าที่เหมือนกัน คือ การสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) โดยในเพศชายทำหน้าที่สร้างสเปิร์ม (sperm) ส่วนเพศหญิงทำหน้าที่สร้างไข่ (egg)
- นอกจากนี้ฮอร์โมนในระบบสืบพันธุ์ยังทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนเพศ (sex hormone) เช่น เทสโทสเตอโรน (testosterone) ซึ่งเป็นฮอร์โมนเพศชายที่สร้างจากอัณฑะ (testis) เอสโตรเจน (estrogen) และโพรเจสเตอโรน (progesterone) เป็นฮอร์โมนเพศหญิงที่สร้างจากรังไข่ (ovary) ลักษณะร่างกายของเพศชายและเพศหญิงจะขึ้นอยู่กับปริมาณการสร้างฮอร์โมนเพศ

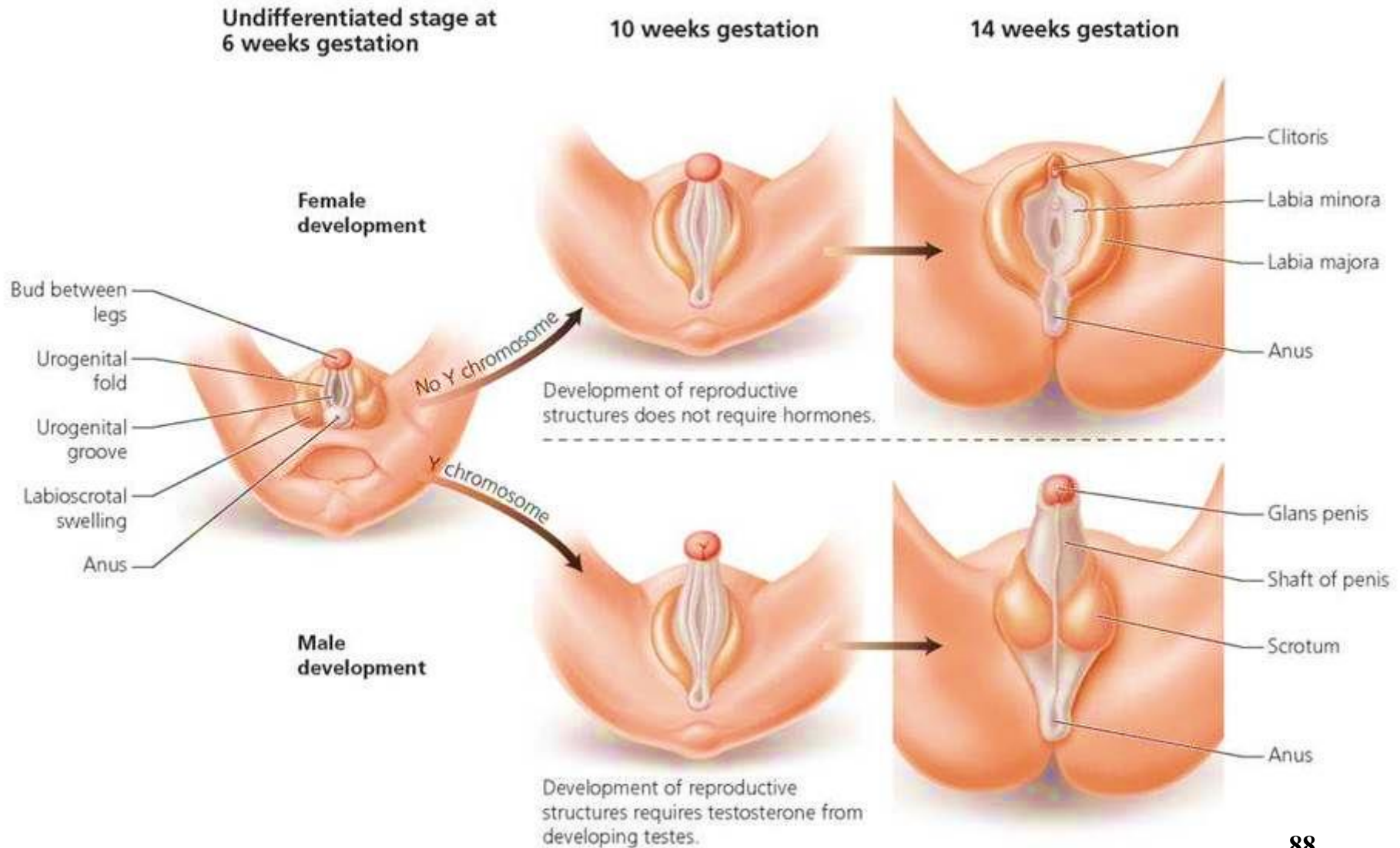
การสร้างเซลล์สืบพันธุ์



การพัฒนาของอวัยวะสืบพันธุ์เพศชายและเพศหญิง

- ระบบสืบพันธุ์เพศชายและระบบสืบพันธุ์เพศหญิงเริ่มพัฒนาขึ้นในช่วง 6 สัปดาห์ของการตั้งครรภ์
- ตัวอ่อนในครรภ์ที่ระยะ 6 สัปดาห์ ทั้งเพศชายและเพศหญิง (external genitalia) จะมีลักษณะที่เหมือนกันของ urogenital groove, bud และ labioscrotal swelling
- หลังระยะ 6 สัปดาห์ เริ่มมีการพัฒนาอวัยวะเพศที่แตกต่างกัน โดยเพศชายจะถูกควบคุมโดยโครโมโซม Y ที่มียีน SYR (sex-determining region Y) เป็นตัวควบคุมผ่านการสร้างโปรตีน testis-determining factor เพื่อเริ่มการสร้างอวัยวะ (testes) ที่จะสร้างฮอร์โมน testosterone
- ในขณะที่การพัฒนาอวัยวะเพศหญิงไม่ต้องการการกระตุ้นจากฮอร์โมน ซึ่งโครโมโซมเพศเป็นแบบ XX ต่างจากเพศชายที่เป็น XY

Development of male and female external genitalia



การเสื่อมของเซลล์ (cellular degeneration)

- ร่างกายมนุษย์มีจุดเริ่มต้นมาจากเซลล์เพียงหนึ่งเซลล์ ซึ่งเป็นเซลล์ไข่จากเพศหญิงที่ได้รับการผสมสเปิร์มจากเพศชาย เรียกว่า ไข่ที่ได้รับการปฏิสนธิ (fertilized egg)
- จากนั้นจึงเกิดการรวมตัวกัน (fusion) ระหว่างนิวเคลียสของไข่และสเปิร์ม เรียกว่า ไซโกต (zygote) (มีชุดโครโมโซม $2n$ หรือ 46 โครโมโซม) เมื่อการปฏิสนธิเสร็จสิ้นชีวิตของมนุษย์หนึ่งคนก็จะเริ่มต้นขึ้น โดยมีการพัฒนาร่างกายจากการแบ่งเซลล์ (cell division) เกิดเป็นกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าเป็นเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ มีการเจริญเติบโตเกิดพัฒนาการของร่างกายจากทารกจนถึงวัยผู้ใหญ่
- ร่างกายของมนุษย์ถูกกำหนดให้มีอายุไขที่นำไปสู่การแก่ชรา (elderly) ซึ่งมีสาเหตุจากการเสื่อมของเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย

สมมุติฐานสาเหตุการเสื่อมของเซลล์

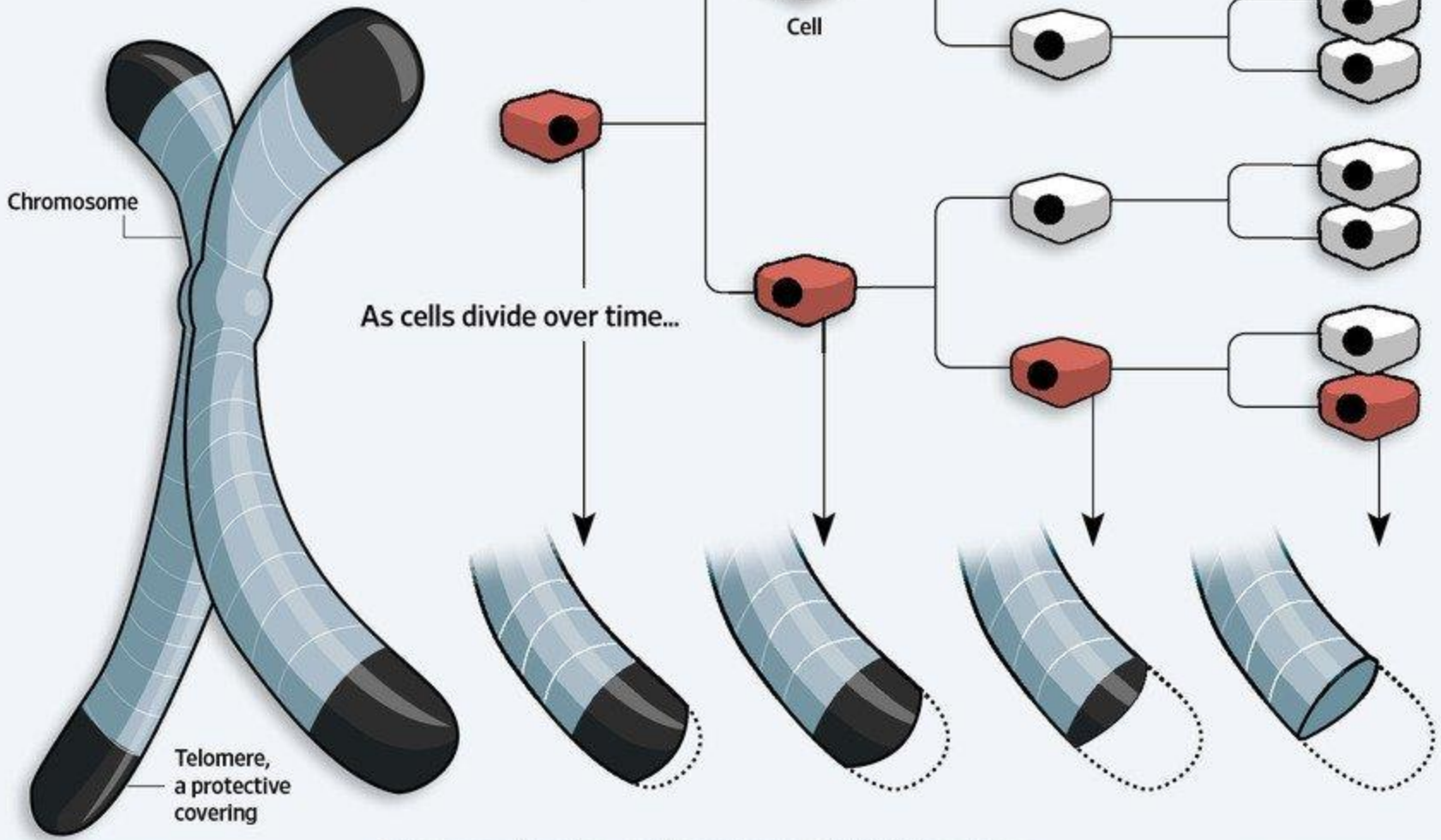
- 1) มีกลไกที่ทำให้เซลล์เสื่อมสภาพหรือตาย (cell death) โดยถูกกำหนดโดยสารพันธุกรรม (genetic material) หรือยีน (gene) ภายในเซลล์
- 2) การเสื่อมของเซลล์มีสาเหตุจากการที่เซลล์เกิดความเสียหาย (cell damage) และสูญเสียความสามารถในการซ่อมแซมตัวเอง (loss of self-repairing)
- 3) การทำงานของระบบอวัยวะในร่างกายส่วนใดส่วนหนึ่งลดลงจึงส่งผลให้ระบบอื่นของร่างกายเสื่อมถอยลงด้วย

1) ปัจจัยด้านพันธุกรรม

- การทำงานของทุกเซลล์ในร่างกายจะถูกควบคุมโดยยีนต่าง ๆ นอกจากนี้ยีนยังควบคุมการแบ่งเซลล์ ซึ่งปกติเซลล์ในร่างกายเมื่อแบ่งเซลล์ไประยะหนึ่งจะหยุดการแบ่งเซลล์ โดยจากการทดลองนำเซลล์ในร่างกายมาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์จะพบการแบ่งเซลล์ประมาณ 50 – 90 รอบของการแบ่งเซลล์ ยกเว้นเซลล์มะเร็งจะพบการแบ่งเซลล์แบบไม่จำกัด การจำกัดรอบของการแบ่งเซลล์ของเซลล์ปกติจึงนำไปสู่คำถามว่าทำไมเซลล์ถึงต้องหยุดการแบ่งเซลล์
- การขาดหายไปของดีเอ็นเอบริเวณส่วนปลายของโครโมโซมที่เรียกว่า telomere ในระหว่างกระบวนการแบ่งเซลล์แต่ละรอบน่าจะเป็นคำตอบได้ เนื่องจากก่อนการจำลองดีเอ็นเอในช่วงการแบ่งเซลล์แต่ละรอบบริเวณส่วนปลายของเทโลเมียร์จะถูกตัดออกบางส่วนทำให้การจำลองดีเอ็นเอของการแบ่งเซลล์ เทโลเมียร์จะหดสั้นไปเรื่อย ๆ การขาดหายไปของดีเอ็นเอบริเวณเทโลเมียร์ ส่งผลต่อดีเอ็นเอของยีนที่อยู่ใกล้กับ เทโลเมียร์จะถูกตัดออกด้วยเช่นกันหากดีเอ็นเอของเทโลเมียร์ถูกตัดออกจนหมด ดังนั้นเมื่อยีนเสียหายส่งผลให้เซลล์เสื่อมสภาพและตายในที่สุด

What We Lose With Age

As we grow older, telomeres at the end of our chromosomes shrink. New research suggests major depression also is linked to shorter telomeres, a sign of 'accelerated aging.'



Source: WSJ research

...telomeres shorten, and eventually cell division stops.

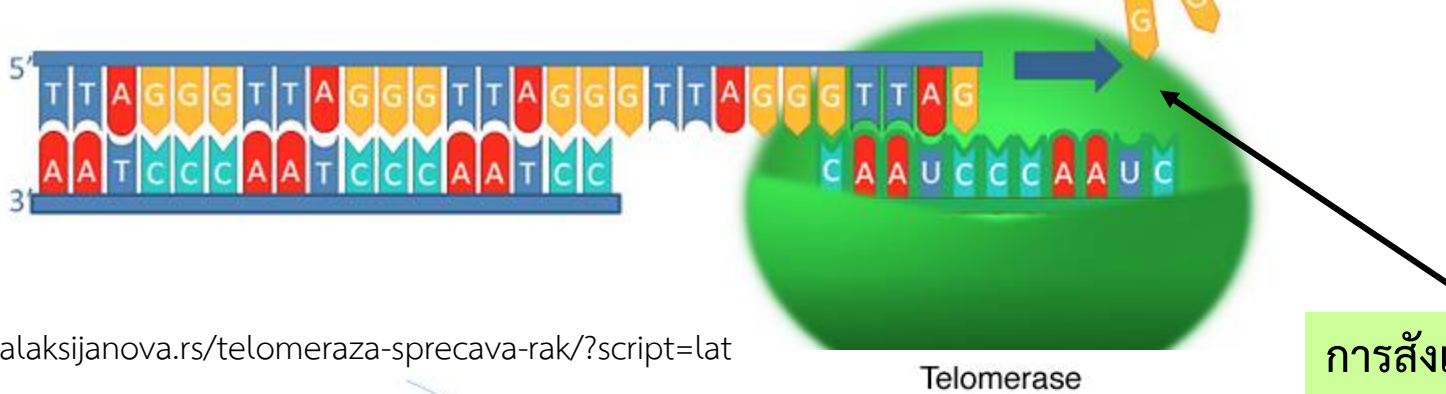
The Wall Street Journal

การสั้นลงของบริเวณ telomere และการทำงานของเอนไซม์ telomerase

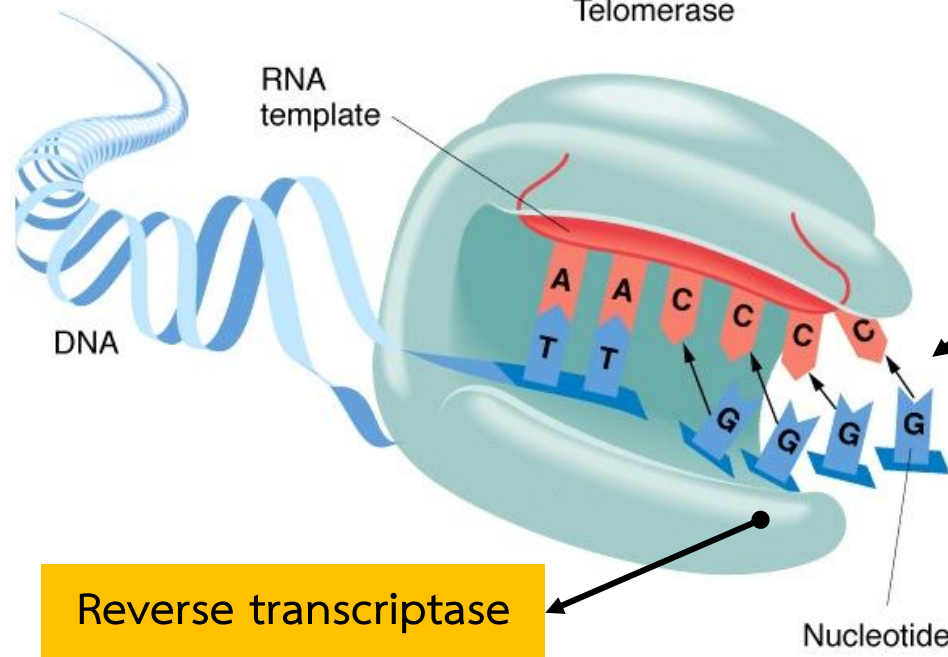
- Telomere เป็นดีเอ็นเอที่ตรงส่วยปลายของโครโมโซม
- การจำลองดีเอ็นเอ (DNA replication) ในทิศทาง 5'--->3' ทำให้การจำลองดีเอ็นเอแต่ละรอบดีเอ็นเอตรงปลาย 5' สั้นลงไปเรื่อย ๆ
- เซลล์จึงสร้างเอนไซม์ telomerase ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ส่วนของ telomere สั้นลง
- Telomerase ประกอบด้วยอาร์เอ็นเอแม่แบบ RNA oligonucleotide และเอนไซม์ reverse transcriptase ที่สามารถสังเคราะห์สายดีเอ็นเอโดยใช้อาร์เอ็นเอเป็นแม่แบบ (RNA ---> DNA)
- ลำดับดีเอ็นเอบริเวณ telomere จะมีลักษณะเป็น tandem repeat แบบ AGGGTT



Telomerase binds to 3' flanking end of telomere that is complementary to telomerase RNA



<http://galaksijanova.rs/telomeraza-sprecava-rak/?script=lat>



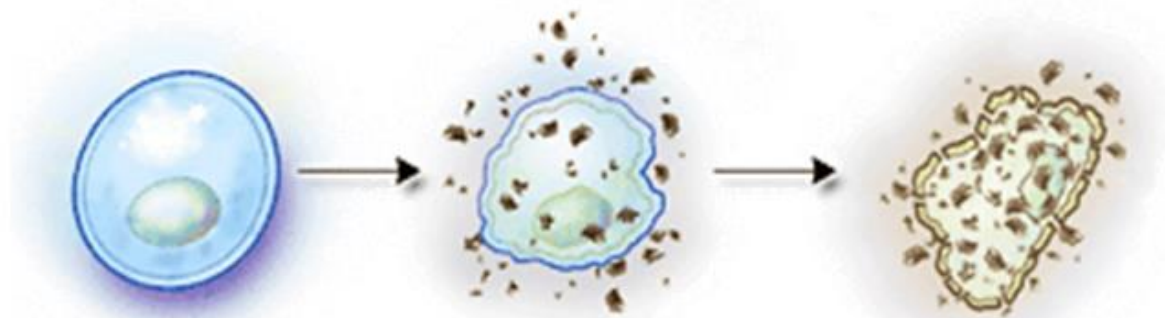
การสังเคราะห์สายดีเอ็นเอโดยใช้อาร์เอ็นเอเป็นต้นแบบ

การสั้นลงของบริเวณ telomere และการทำงานของเอนไซม์ telomerase

- การเกิด telomere shorting จนกระทั่งยีนที่อยู่ใกล้ telomere อาจส่งผลต่อการทำงานของเซลล์นำไปสู่การเสื่อมของเซลล์
- บริเวณเซลล์ที่มีการแบ่งตัวอย่างต่อเนื่อง เช่น germ cell จะมีการสร้างเอนไซม์ telomerase เพื่อป้องกัน telomere shorting
- ในขณะที่ somatic cell เมื่อมีการแบ่งเซลล์มาถึงจุดที่ telomere สั้นลงมากก็จะแก่และตายไปในที่สุด เนื่องจากขาดการสร้างเอนไซม์ telomerase
- เซลล์มะเร็งพบการทำงานของเอนไซม์ telomerase มากเกินไปจึงทำให้เซลล์ไม่ตาย ซึ่งพบในลักษณะแบบนี้ในเซลล์มะเร็งบางชนิดเท่านั้น
- การพัฒนายาเพื่อยับยั้งเอนไซม์ telomerase อาจช่วยให้สามารถนำไปรักษาโรคมะเร็งได้

2) ปัจจัยจากการที่เซลล์เกิดความเสียหาย

- การเสื่อมของเซลล์เกิดจากดีเอ็นเอมีความเสียหายและเกิดข้อผิดพลาดในการจำลองดีเอ็นเอ สาเหตุเกิดจากอนุมูลอิสระ (free radical) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ (cellular metabolism) ออร์แกเนลที่เกิดความเสียหาย คือ ไมโทคอนเดรีย เนื่องจากเป็นส่วนที่ทำหน้าที่สร้างพลังงานในรูปของ ATP ทำให้เกิดผลพลอยได้ (byproduct) ที่เป็นอนุมูลอิสระที่ทำความเสียหายต่อดีเอ็นเอของไมโทคอนเดรียและโครงสร้างส่วนอื่น ๆ ภายในเซลล์
- ซึ่งจากการทดลองโดยจำกัดการให้อาหารในหนูทดลองพบว่าเกิดการลดลงของกระบวนการเมแทบอลิซึมและลดการสร้างอนุมูลอิสระได้ จึงหมายความว่าหากบริโภคอาหารในปริมาณที่เหมาะสมจะลดการเสื่อมของเซลล์ได้ นอกจากนี้มีบางความเชื่อที่ว่า การรับประทานอาหาร ผักและผลไม้ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) จะช่วยให้ชะลอการเสื่อมของเซลล์ แต่ก็ยังไม่มีการศึกษาว่าการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระในระยะยาวจะมีผลต่อการยับยั้งการเสื่อมของเซลล์ได้อย่างไร

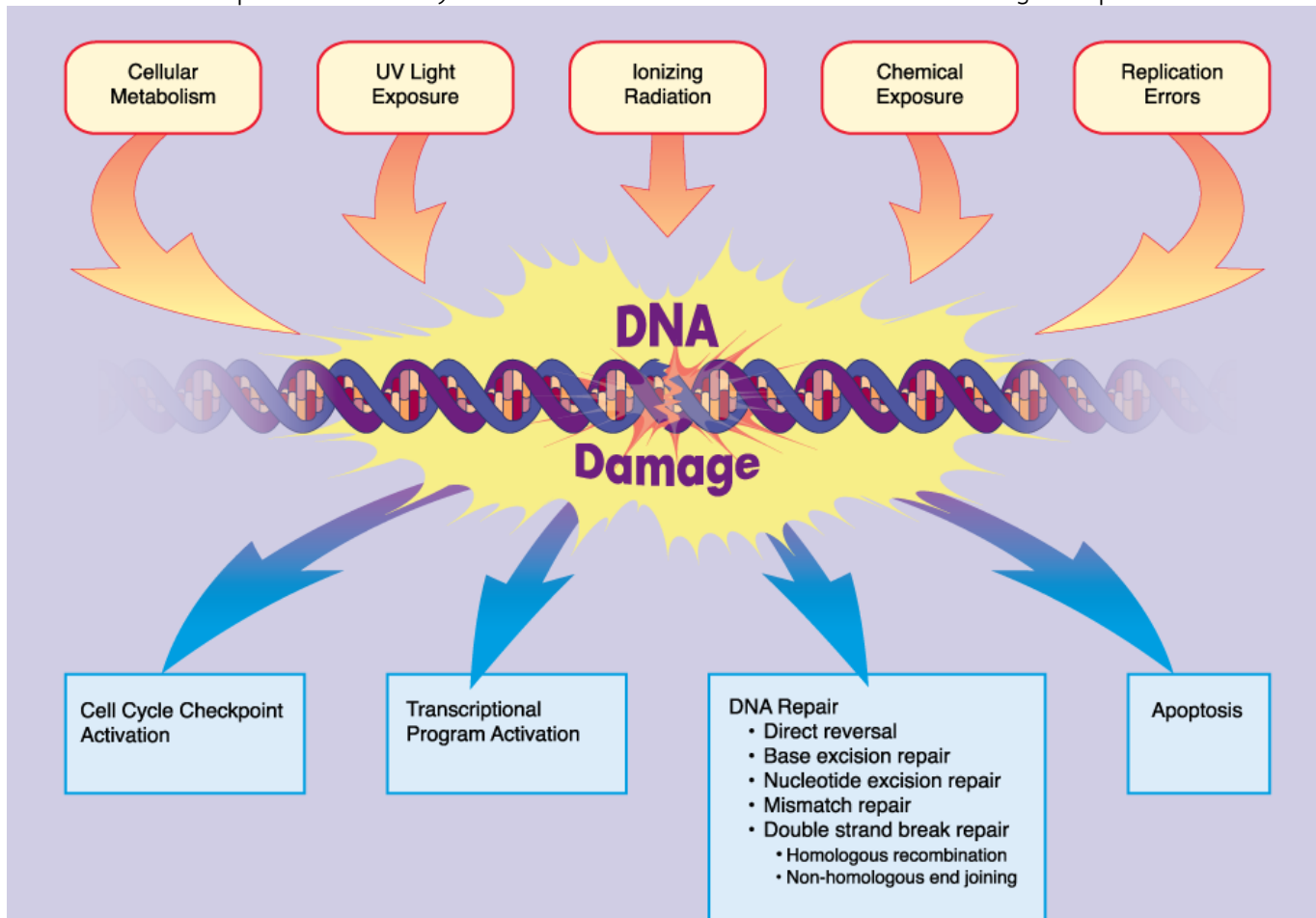


Normal Cell

Cell Attacked by ROS/Free Radicals

Cell with Oxidative Stress

<https://www.rndsystems.com/resources/articles/dna-damage-response>

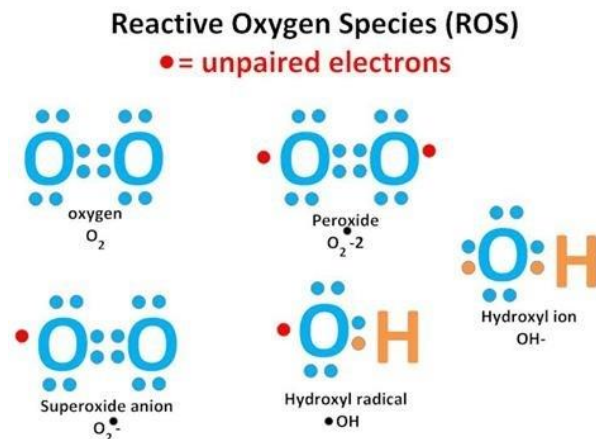


การบาดเจ็บและการตายของเซลล์ (cellular injury and death)

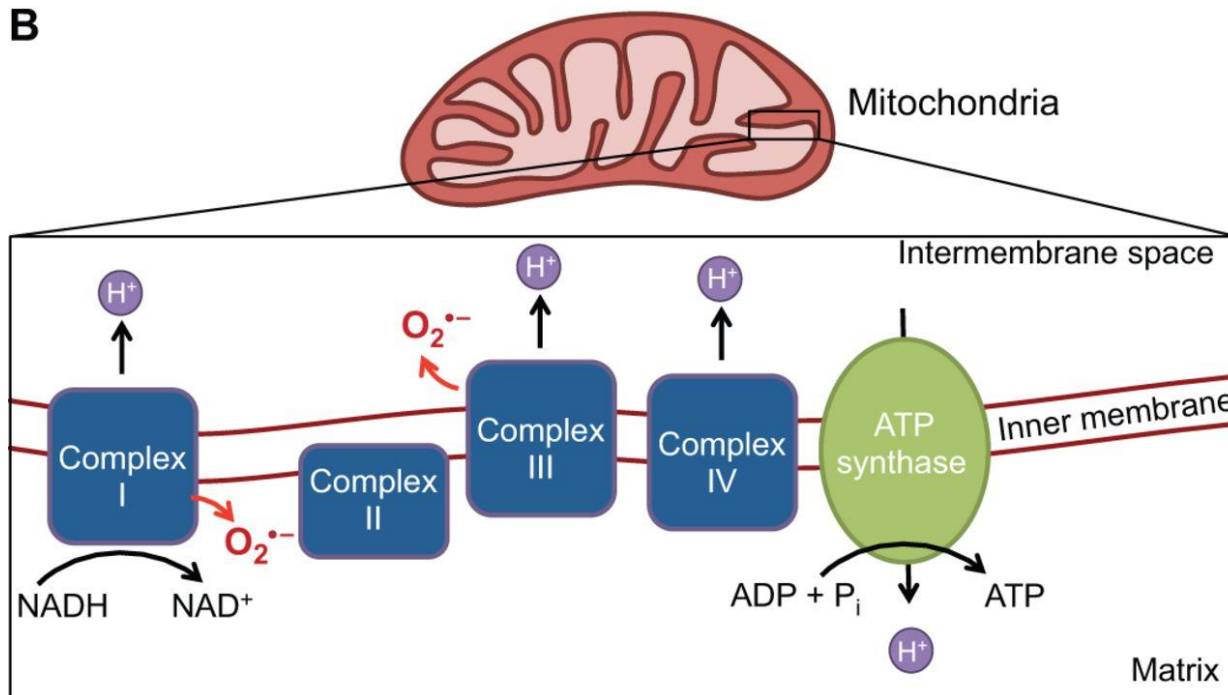
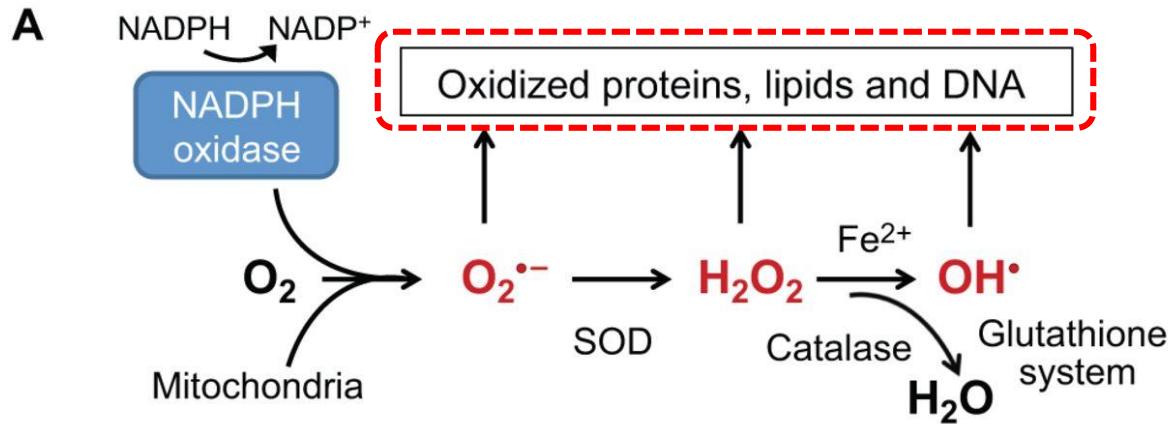
- การได้รับบาดเจ็บของเซลล์ที่นำไปสู่การตายของเซลล์มีสาเหตุ ดังนี้ (TIPS)
 - Toxins เช่น สารเคมีตกค้างในอาหาร สารพิษ aflatoxin จากอาหารที่ปนเปื้อนเชื้อรา
 - Infection เช่น โรคติดเชื้อจากจุลินทรีย์ก่อโรค
 - Physical injury เช่น อุบัติเหตุต่างๆ การสัมผัสสารเคมี การสัมผัสอุณหภูมิสูงหรือต่ำมากๆ
 - Serum deficit injury เช่น การขาดสารอาหาร การขาดน้ำ และการขาดออกซิเจน

สาเหตุจากอนุมูลอิสระ (free radical)

- Reactive oxygen species (ROS) เป็นโมเลกุลของออกซิเจนที่เป็นพิษต่อเซลล์ (toxic oxygen molecule) ที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง O_2 และ H_2O ในช่วงที่มีการหายใจระดับเซลล์ที่บริเวณไมโทคอนเดรีย
- ROS ประกอบด้วย superoxide (O_2^-), hydrogen peroxide (H_2O_2), hydroxyl radical (OH), peroxynitrite ($ONOO^-$)

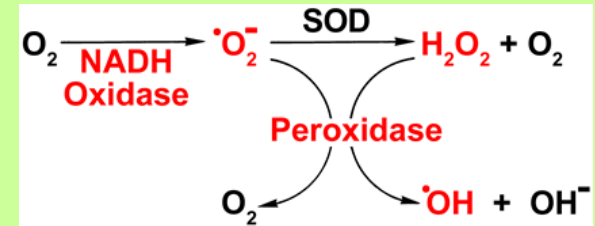
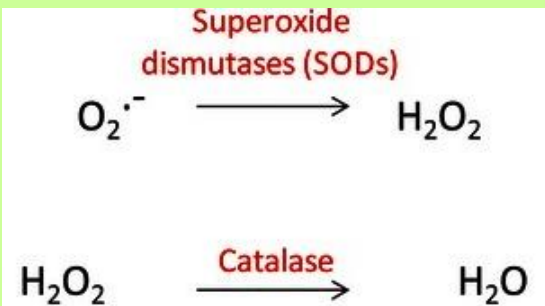


Cell damage by ROS



ROS scavengers:

- Catalase
- Peroxidase
- Superoxide dismutase
- Antioxidants

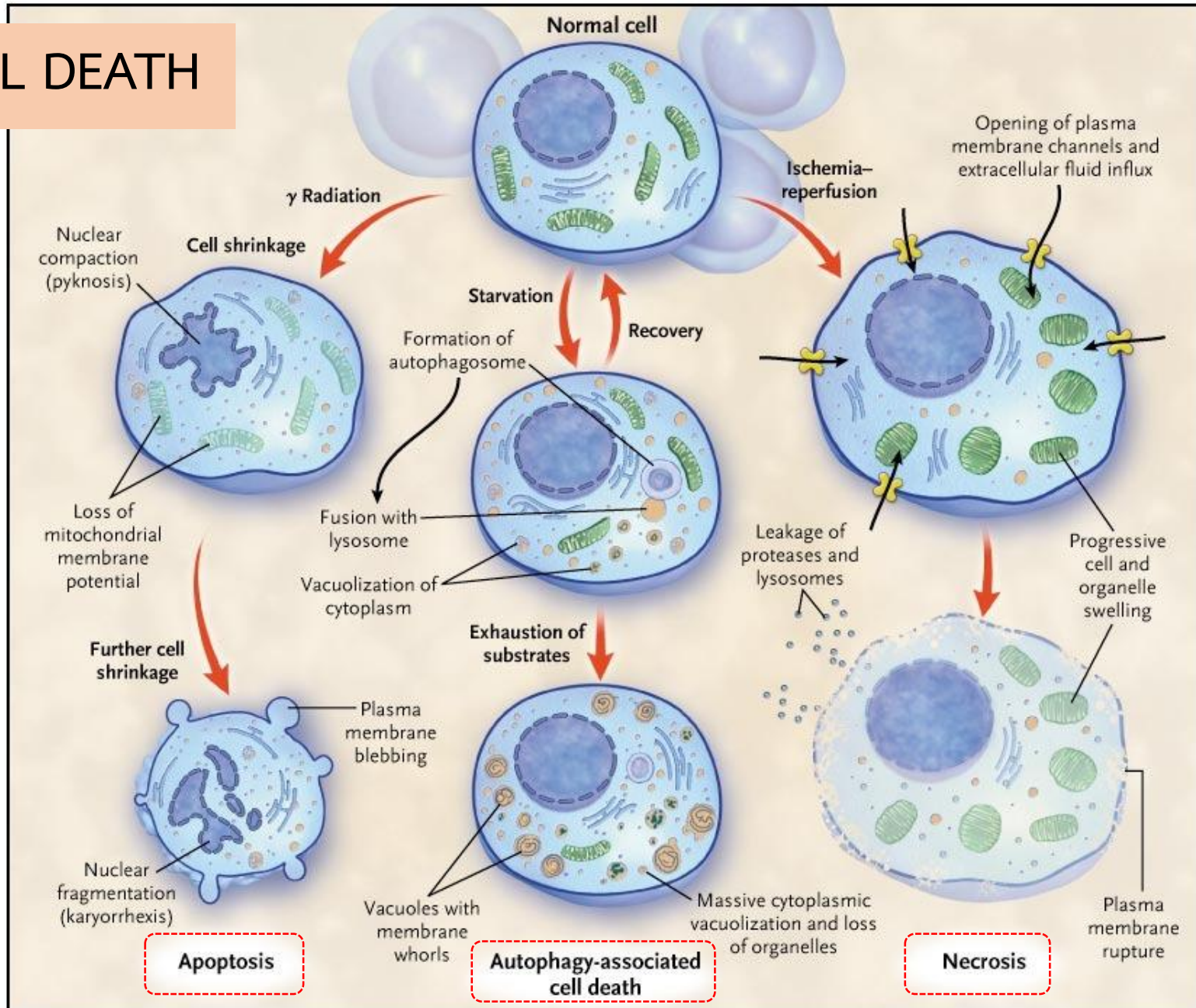


© 2005 "The Seed Biology Place" - <http://www.seedbiology.de>

Programmed cell death (PCD)

- PCD เป็นกลไกที่ปกติร่างกายใช้ในการรักษาสมดุลระหว่างการสร้างเซลล์ใหม่กับเซลล์ที่หมดอายุ เช่น การรักษาสมดุลของเซลล์เม็ดเลือดที่ทุก ๆ วัน เซลล์เม็ดเลือดประมาณ 5×10^{11} เซลล์ จะถูกทำลายด้วยวิธีดังกล่าวนี้ และเม็ดเลือดจะถูกสร้างทดแทนขึ้นมาใหม่จากไขกระดูก
- การติดเชื้อไวรัสบางชนิดจะกระตุ้นให้เซลล์เกิด PCD เพื่อจำกัดการเพิ่มจำนวนของไวรัส
- ในกรณีที่ดีเอ็นเอของเซลล์เกิดความเสียหาย เช่น ดีเอ็นเอเกิดความเสียหายจากอนุมูลอิสระ จะนำไปสู่การเกิด PCD ในที่สุด เพื่อให้เซลล์ที่ผิดปกติถูกกำจัด
- เซลล์ที่ได้รับ ความเสียหายมาก (acute injury) จะทำให้เซลล์เกิด PCD

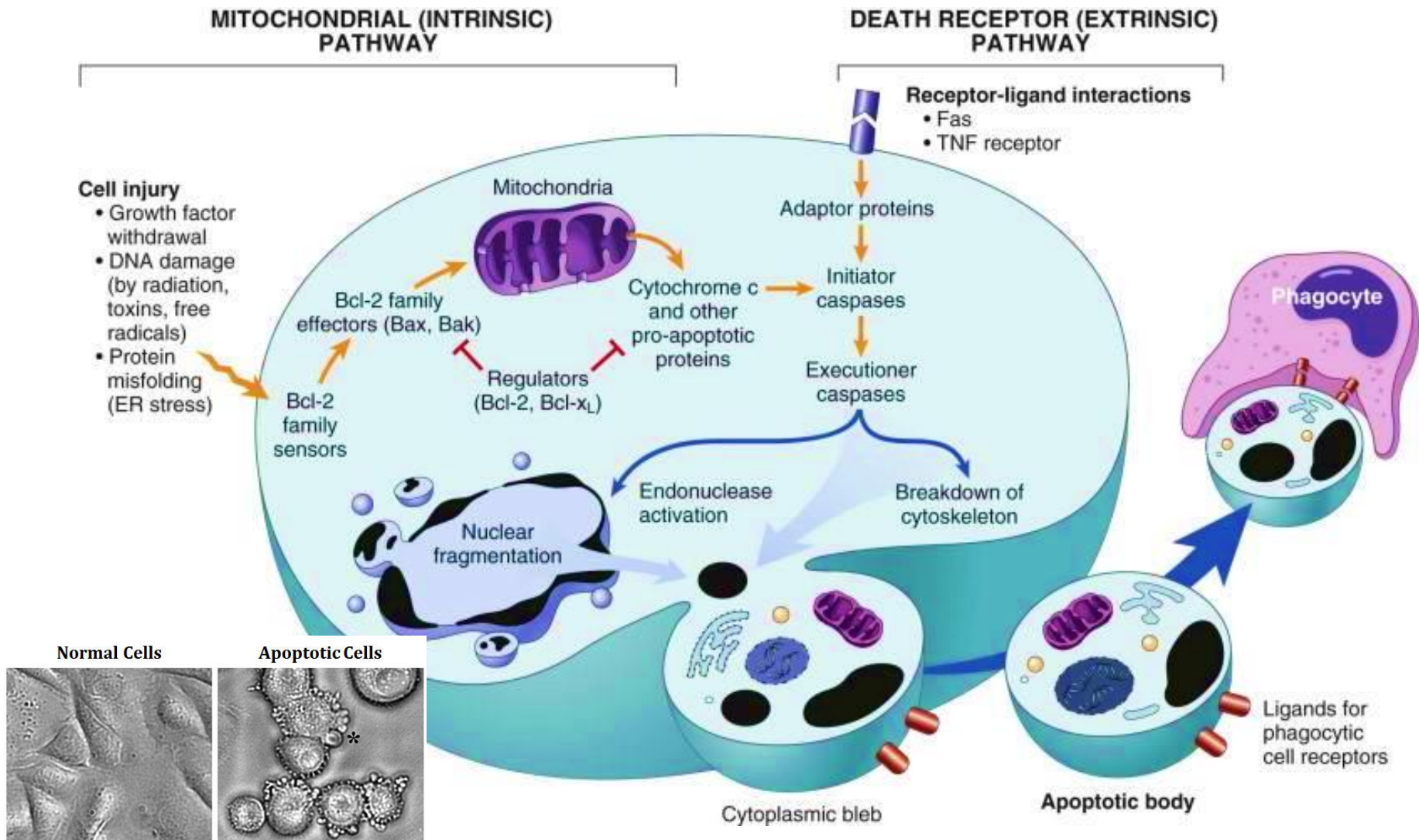
CELL DEATH



Apoptosis

- การเกิด apoptosis อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “cellular suicide”
- เซลล์จะถูกกำหนดอายุไขโดยดีเอ็นเอหรือยีนที่อยู่ภายในเซลล์
- เมื่อดีเอ็นเอของเซลล์เกิดความเสียหายที่มีสาเหตุจากอนุมูลอิสระหรือรังสี จะทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิด apoptosis ทำงาน
- ระหว่างการเกิด apoptosis ดีเอ็นเอของเซลล์จะแตกหักเป็นชิ้นๆ และ chromatin หดตัวแน่นขึ้นจนนิวเคลียสแยกตัวเป็นชิ้นขนาดเล็ก สุดท้ายเซลล์หดตัวลงแยกเป็นขนาดที่เล็กลงเรียกว่า apoptotic
- Macrophage ทำหน้าที่กำจัด apoptotic cell ด้วยวิธี phagocytosis

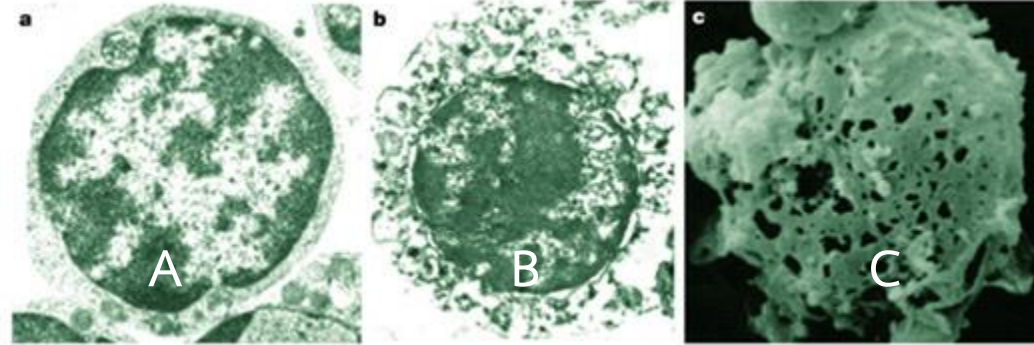
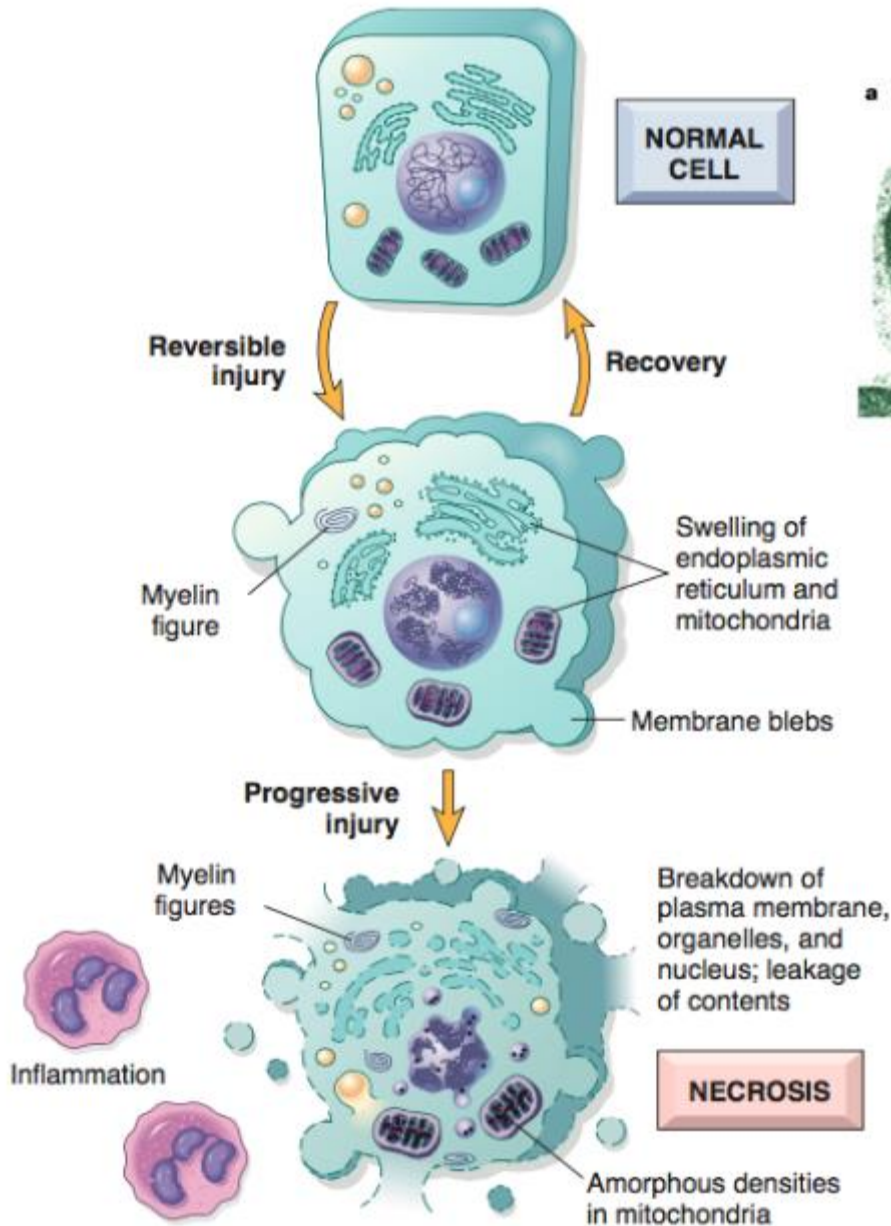
Apoptosis



Necrosis

- การเกิด necrosis จะแตกต่างจาก apoptosis
- โดยจะเกิดการอักเสบ (inflammation) ซึ่งในกระบวนการของ apoptosis จะไม่ทำให้เกิดการอักเสบ
- Necrosis มีสาเหตุจากเซลล์ได้รับบาดเจ็บทำให้เยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียการทำงานควบคุมการเข้าออกของสารภายใน-ภายนอกเซลล์
- การเกิด necrosis ที่ทำให้เซลล์ตายเรียกกระบวนการนี้ว่า “necroptosis”
- หากเซลล์ได้รับบาดเจ็บไม่มากจะสามารถกลับมาทำหน้าที่ได้ตามปกติ แต่ถ้าเกิดความเสียหายมากก็จะเข้าสู่กระบวนการตายของเซลล์

Necrosis



Nature Reviews | Neuroscience

A: normal cell

B: cell necrosis

C: SEM of cell necrosis

[http://www.tavernarakislab.gr/research/neurodegenerati
onnecrotic_cell_death.html](http://www.tavernarakislab.gr/research/neurodegenerati
onnecrotic_cell_death.html)

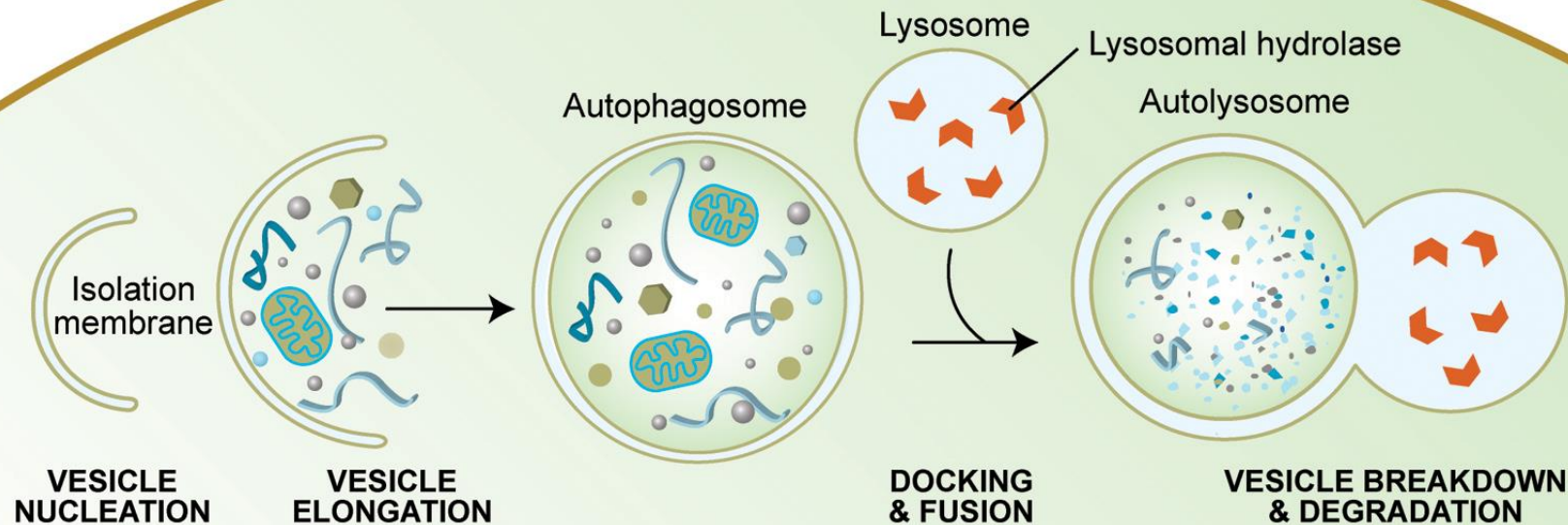
Autophagy



- การเกิด autophagy เป็นกระบวนการย่อยสลายสารชีวโมเลกุลภายในเซลล์หรือการย่อยสลายออร์แกเนล
- Autophagy มีความหมายว่า “กลไกการกินตัวเองของเซลล์”
- การค้นพบกระบวนการ autophagy ทำให้ Yoshinori Ohsumi ได้รับรางวัลโนเบลสาขาการแพทย์ในปี 2016
- กระบวนการที่เซลล์นำส่วนต่าง ๆ ภายในเซลล์มาย่อยสลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อมีการอดอาหาร อาจเรียกได้ว่าเป็นการรีไซเคิล
- อย่างไรก็ตามหากเซลล์ขาดสารอาหารเป็นเวลานานก็จะเกิด autophagic cell death

Autophagy

<https://www.healthnutnews.com/autophagy-body-detoxifies-repairs-2/>



เซลล์ที่ขาดสารอาหารจะเริ่มกระบวนการนำออร์แกเนลและโปรตีนภายในเซลล์มาย่อยสลายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

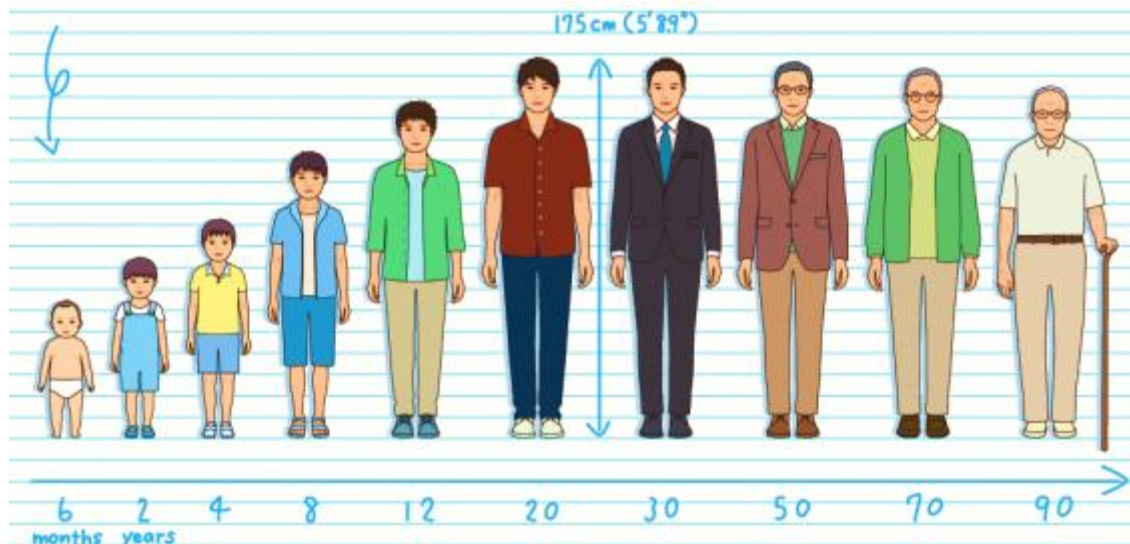
Autophagy เหนียวนำไปให้เกิดการตายของเซลล์แทนที่การเกิด apoptosis โดยหากกลไกการเกิด apoptosis ถูกยับยั้งที่ขาดการกระตุ้นจากโปรตีน Bax และ Bak ซึ่งการขาดโปรตีนทั้งสองนี้จะทำให้เกิด autophagic cell death

ปัจจัยจากการทำงานของอวัยวะลดลง

- เมื่อร่างกายเรามีอายุมากขึ้นพบว่าเซลล์มีการเสื่อมสภาพพร้อมกันเนื่องจากระบบอวัยวะของร่างกายมนุษย์มีความซับซ้อนมีการทำงานที่ต้องพึ่งพาซึ่งกันและกัน
- การเสื่อมสภาพของเซลล์ในอวัยวะใดอวัยวะหนึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของอวัยวะที่ทำงานเกี่ยวเนื่องกัน เช่น การหลั่งฮอร์โมนควบคุมการเจริญ (growth hormone; GH) ลดลงของอวัยวะในระบบต่อมไร้ท่อจะส่งผลต่อการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ที่ต้องมีการสร้างเซลล์ใหม่ อีกหนึ่งตัวอย่างคือ การทำงานของเซลล์ในระบบหัวใจและหลอดเลือดที่ลดลงจะส่งผลต่อการขนส่งสารอาหารและการกำจัดของเสียทุกเซลล์ในร่างกาย
- นอกจากนี้การทำหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันที่ลดลงก็จะทำให้ไม่สามารถจดจำเซลล์ที่เกิดความเสียหายได้ทำให้เซลล์ดังกล่าวก่อให้เกิดผลเสียแก่ร่างกายอาจพัฒนาไปเป็นเซลล์มะเร็งได้
- หากมีการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอและรับประทานอาหารที่มีประโยชน์จะช่วยให้กล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อบริเวณต่าง ๆ ของร่างกายแข็งแรงช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งและโรคหัวใจ

การชราภาพ (senescence)

- ร่างกายมนุษย์มีเจริญเติบโตเต็มที่เมื่ออายุประมาณ 20 ปี
- ระบบอวัยวะในร่างกายจะคงสภาพการทำงานที่สมบูรณ์ในช่วงอายุ 20-40 ปี
- หลังอายุ 40 ปี การเสื่อมของอวัยวะต่าง ๆ ก็จะเริ่มขึ้นและมีผลต่อเนื่องเพิ่มมากขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น



เอกสารค้นคว้าเพิ่มเติม

- ไพศาล สิทธิกรกุล และคณะ. (2546). **ชีววิทยา เล่ม 1**. กรุงเทพฯ: สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.
- Braun, C.A. and Anderson, C.M. (2007). **Pathophysiology: functional alterations in human health**. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Devasier, B., Buddolla, V., Sanghyo, K., Jeong, H.An. (2017). An ultra-sensitive biophysical risk assessment of light effect on skin cells. **Oncotarget**, 8(29), 47861–47875.
- Johnson, M.D. (2012). **Human biology: concepts and current issues**. 6th edition. New York, NY: McGraw-Hill.
- Karp, G. (2010). **Cell biology**. 6th edition. Singapore: Wiley John Wiley & Sons.
- Miller, K.R. & Levine, J. (2010). **Biology: teacher's edition**. New Jersey: Pearson.
- Miranda, A., Farage, Kenneth, W., Miller, Peter, E., Howard, I., Maibach. (2013). Characteristics of the Aging Skin. **Adv Wound Care** (New Rochelle), 2(1), 5–10.
- Ruta, G., Aikaterini, I., Liakou, Athanasios, T., Evgenia M., Christos, C., Zouboulis. (2012). Skin anti-aging strategies. **Dermatoendocrinol**, 4(3), 308–319.
- Bianconi, E., Piovesan, A., Facchin, F., Beraudi, A., Casadei, R., Frabetti, F., Vitale, L., Pelleri, M.C., Tassani, S., Piva, F., Perez-Amodio, S., Strippoli, P., Canaider, S. (2013). An estimation of the number of cells in the human body. **Ann Hum Biol**, 40(6), 463-471.
- Shimizu, S., Yoshida, T., Tsujioka, M., Arakawa, S. (2014). Autophagic Cell Death and Cancer. **International Journal of Molecular Sciences**, 15(2), 3145–3153.