

9132204 : สุขภาพและความงาม

บทที่ 1

โครงสร้างและหน้าที่อวัยวะสำคัญในร่างกาย



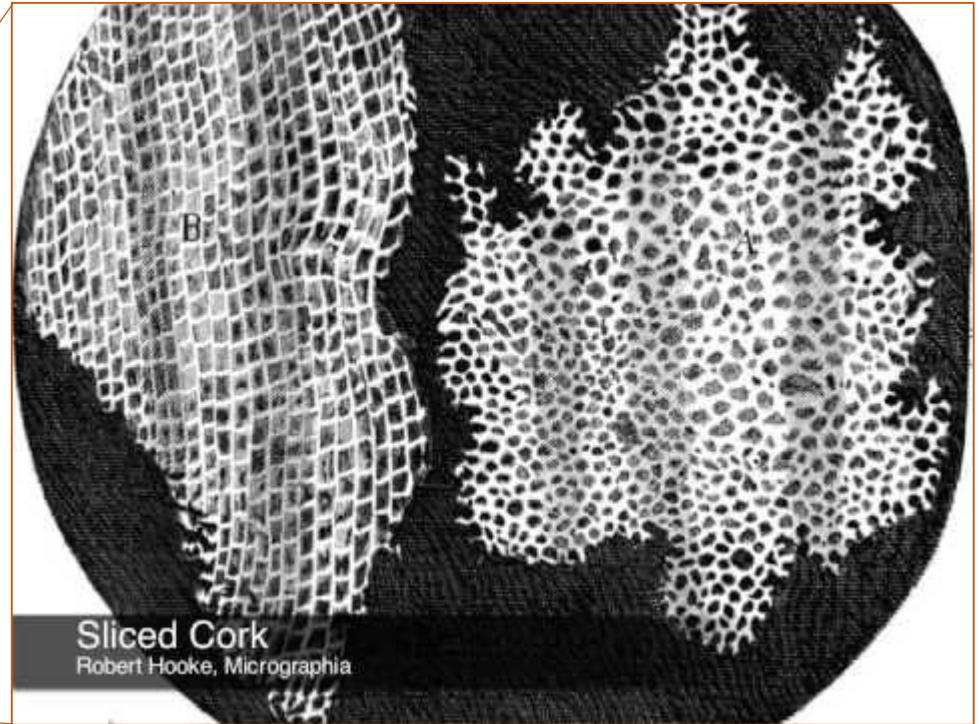
หัวข้อที่ 1.1

เซลล์ โครงสร้างและกระบวนการทำงานของเซลล์ วัฏจักรเซลล์

1.1 เซลล์ (Cell)

- การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์เริ่มต้นขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1674 หลังจากการค้นพบเซลล์ของ Robert Hooke โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ (microscope)
- มีการศึกษาเซลล์จากสิ่งมีชีวิตโดย มัททีอัส ชไลเดน (Matthias Schleiden) และเทโอดอร์ ชว็อนน์ (Theodor Schwann) และมีข้อสรุปดังนี้
 - 1) สิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกประกอบด้วยเซลล์
 - 2) เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตและสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวเป็นสิ่งมีชีวิตที่เล็กที่สุด
 - 3) เซลล์ทุกเซลล์กำเนิดมาจากเซลล์ต้นกำเนิด

การศึกษาเนื้อเยื่อไม้คอร์กโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ของ Robert Hooke



การนำเนื้อไม้คอร์กมาฉีกให้เป็นแผ่นบางๆ แล้วนำมาส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบลักษณะเป็นช่องคล้ายรังผึ้ง และ Robert Hooke ได้เรียกสิ่งที่ค้นพบนี้ว่า “เซลล์ (cell)”

หลักการจำแนกประเภทของเซลล์

- การจำแนกประเภทของเซลล์อาศัยลักษณะองค์ประกอบภายในเซลล์ แต่สิ่งที่ทุกเซลล์มีเหมือนกันคือ เยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane) ซึ่งทำหน้าที่ห่อหุ้มองค์ประกอบภายในเซลล์ที่ส่วนใหญ่เป็นน้ำ ไอออนต่าง ๆ เอนไซม์
- โครงสร้างที่จำเป็นต่อการมีชีวิตของเซลล์ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของเซลล์จะสามารถแบ่งแยกเซลล์ของสิ่งมีชีวิตออกเป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย
 - เซลล์โพรคาริโอต
 - เซลล์ยูคาริโอต

เซลล์โพรคาริโอต (prokaryotic cell)

- รากศัพท์ของคำว่า “prokaryote” มาจากคำสองคำคือ *pro-* ซึ่งมีความหมายว่า “ก่อน (before)” และ *karyon* มีความหมายว่า “นิวเคลียส (nucleus)” เมื่อรวมกันจึงมีความหมายว่าเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียสหรือเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane)
- สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะเซลล์แบบนี้คือ กลุ่มของอาร์เคียแบคทีเรีย (archaebacteria) และกลุ่มของยูแบคทีเรีย (eubacteria) โดยพบเยื่อหุ้มเซลล์และผนังเซลล์ที่ทำให้เซลล์เกิดรูปร่างแต่ขาดเยื่อหุ้มสารพันธุกรรม ซึ่งสารพันธุกรรมจะรวมกันอยู่ในบริเวณจำเพาะเรียกว่า นิวคลีออยด์ (nucleoid) ภายในเซลล์ของโพรคาริโอตมีออร์แกเนล (organelle) ที่ทำหน้าที่แปลรหัสของ mRNA ในการสร้างโปรตีน คือ ไรโบโซม (ribosome)

Prokaryotic cell

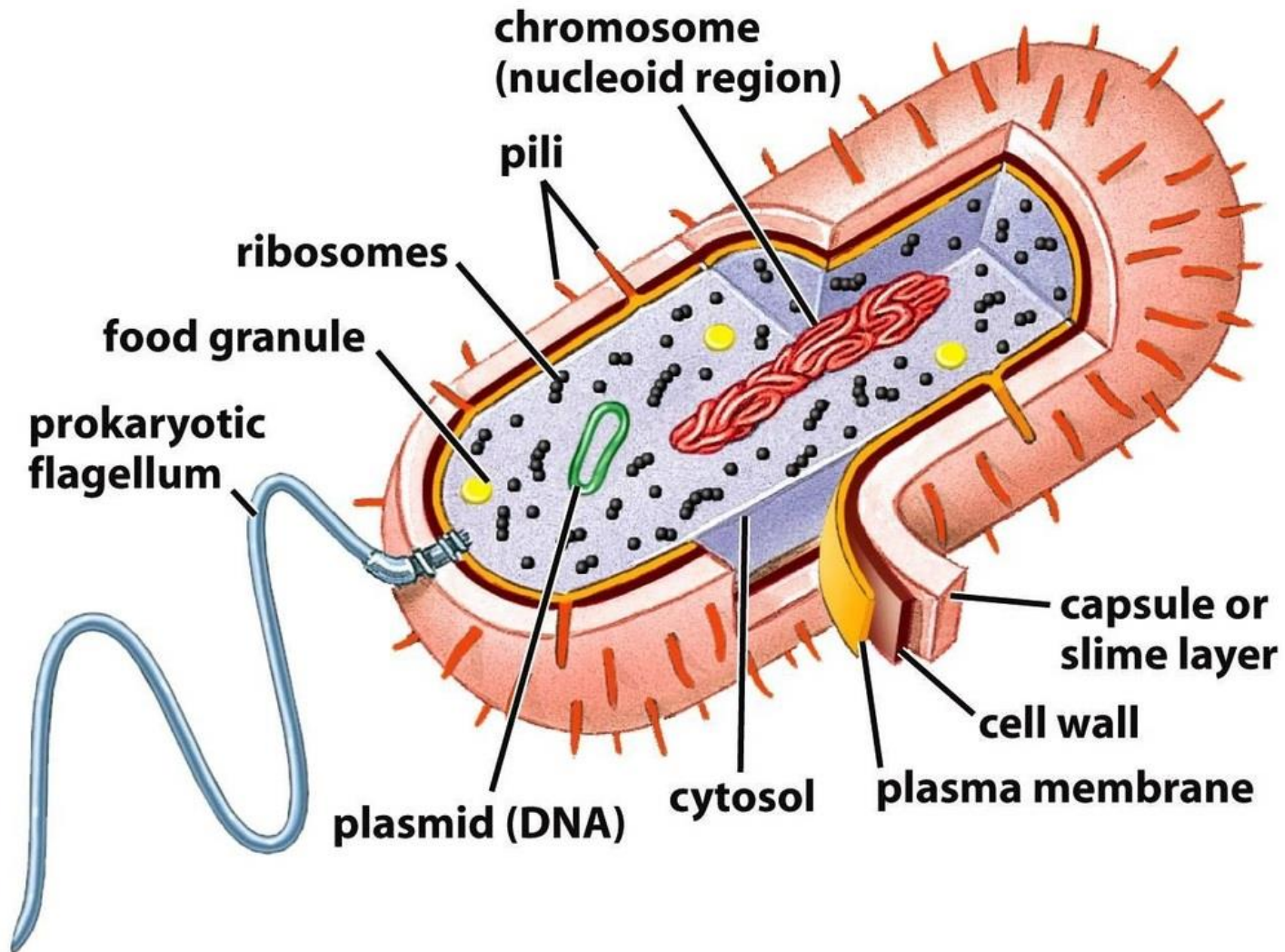


Figure 4-20a Biology: Life on Earth, 8/e
© 2008 Pearson Prentice Hall, Inc.

ที่มา: <https://camsbiology.weebly.com/prokaryotic-cells.html>

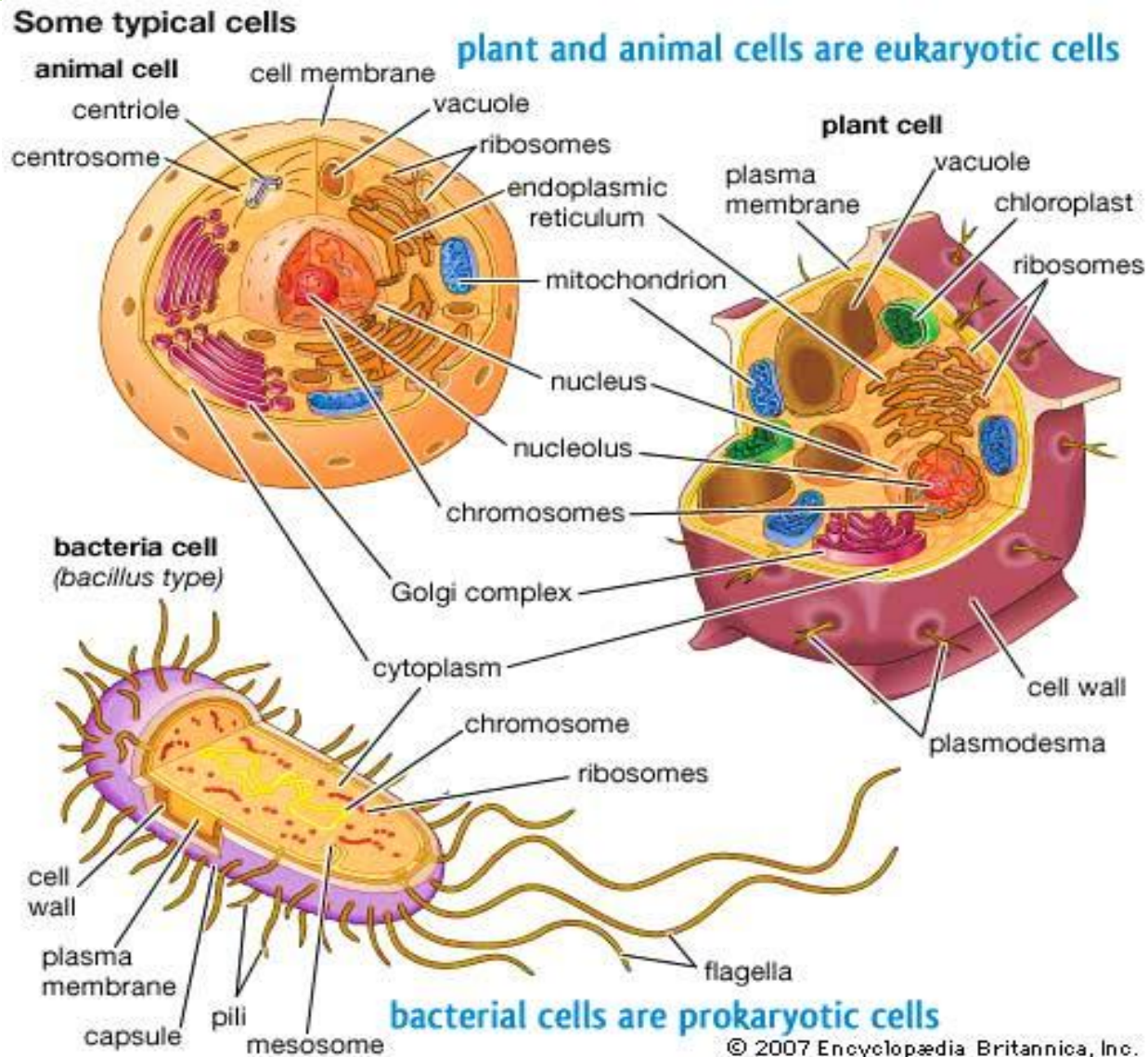
เซลล์ยูคาริโอต (eukaryotic cell)

- ความหมายของคำว่า “eukaryote” คือ เซลล์ที่มีนิวเคลียสหรือเยื่อหุ้มนิวเคลียส ซึ่งมีรากศัพท์จากคำว่า *eu-* มีความหมายว่า “แท้จริง (true)” กับคำว่า *karyon* มีความหมายว่า “นิวเคลียส” โดยเซลล์ของยูคาริโอตทุกชนิดมีโครงสร้างหลักที่เหมือนกัน 3 ประการ คือ
 - 1) เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่ห่อหุ้มองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์
 - 2) นิวเคลียสซึ่งมีสารพันธุกรรมบรรจุอยู่ภายในและมีเยื่อหุ้มนิวเคลียสล้อมรอบไว้
 - 3) ไซโทพลาสซึม (cytoplasm) คือบริเวณภายในเซลล์และเป็นที่อยู่ของออร์แกเนลต่าง ๆ ยกเว้น นิวเคลียส

ความแตกต่างระหว่างยูคาริโอตกับโพรคาริโอต

- นอกจากการมีเยื่อหุ้มนิวเคลียสที่ทำให้ยูคาริโอตต่างจากโพรคาริโอตแล้ว จำนวนชนิดของออร์แกเนลภายในเซลล์ก็เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดข้อแตกต่างของเซลล์ทั้งสองประเภท
- ภายในเซลล์ยูคาริโอตจะพบออร์แกเนล ประกอบด้วย
 - ไมโทคอนเดรีย (mitochondria)
 - กอลจิคอมเพลกซ์ (Golgi complex)
 - เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบ (smooth endoplasmic reticulum; SER)
 - เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดหยาบ (rough endoplasmic reticulum; RER)
 - ไลโซโซม (lysosome)
 - เพอรอกซิโซม (peroxisome)
 - โพรทีเอโซม (proteasome)
 - เซนทริโอล (centriole)
 - ไรโบโซม (ribosome)
 - คลอโรพลาสต์ (chloroplast) (พบในเซลล์พืช)

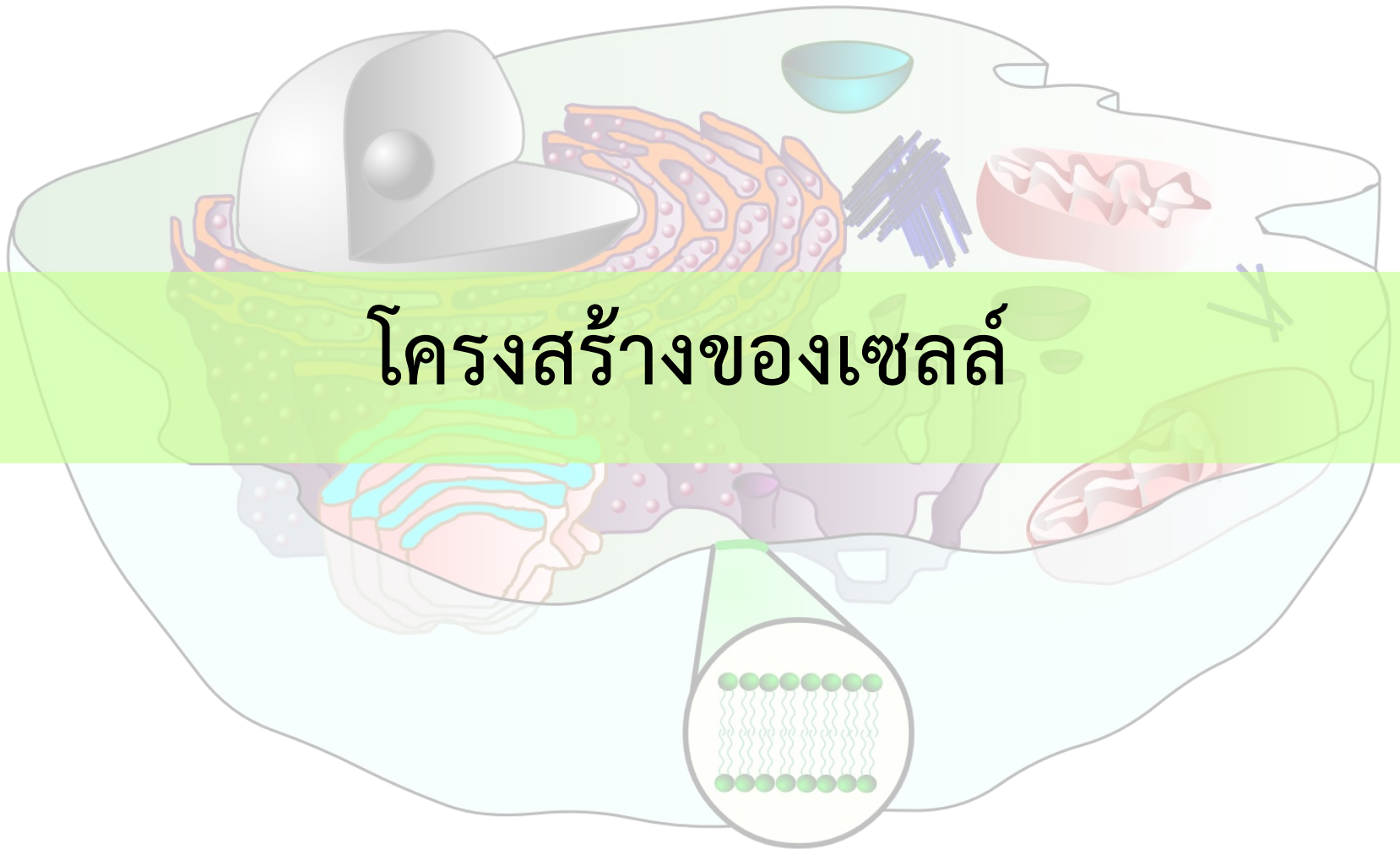
Prokaryotic cell vs Eukaryotic cell



โครงสร้างและกระบวนการทำงานของเซลล์

- เซลล์เป็นองค์ประกอบของร่างกายมนุษย์ที่เล็กมากโดยมีจำนวน 10^{12} ถึง 10^{16} เซลล์
- โครงสร้างและการทำหน้าที่ของเซลล์จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ หากเซลล์ได้รับความเสียหายหรือบาดเจ็บก็จะส่งผลต่อการทำงานของอวัยวะรวมถึงระบบการทำงานของร่างกายทั้งหมด
- ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสุขภาพมนุษย์จะดีได้ต้องมาจากเซลล์ที่สามารถทำงานได้เป็นปกติ

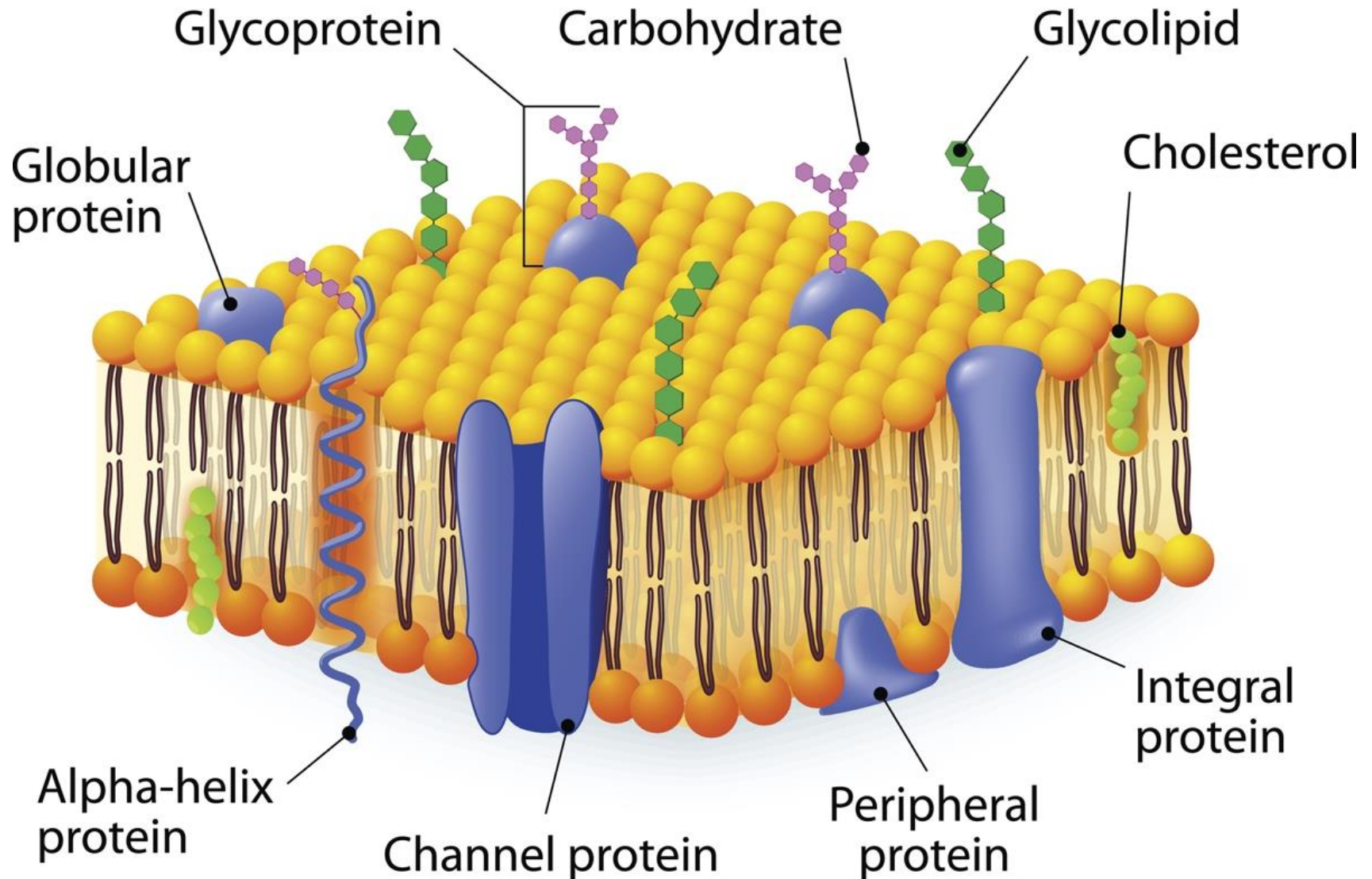
โครงสร้างของเซลล์



เยื่อหุ้มเซลล์ (plasma membrane)

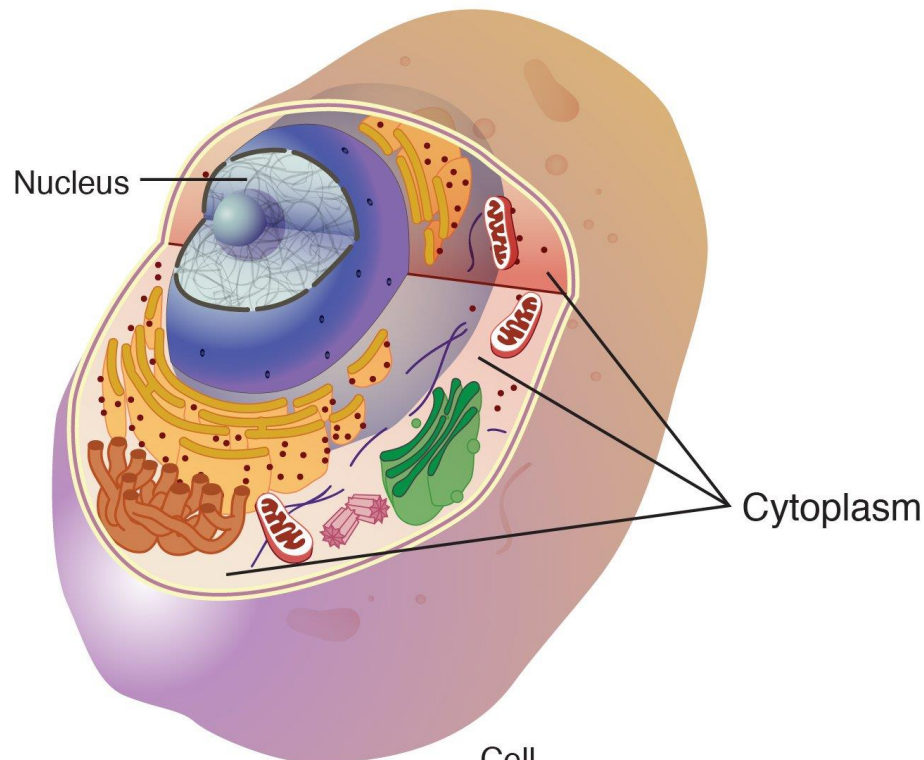
- เซลล์จะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีลักษณะเยื่อสองชั้น (bilayer) ประกอบด้วยฟอสโฟลิพิด (phospholipid) และไกลโคลิพิด (glycolipid) โมเลกุลทั้งสองนี้ประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยส่วนของหมู่ฟอสเฟตและน้ำตาลจะทำปฏิกิริยากับน้ำเนื่องจากทั้งคู่มีประจุ (polar) และส่วนที่เป็นลิพิด (lipid) จะอยู่ด้านในของเยื่อหุ้มเซลล์เนื่องจากไม่มีประจุ (nonpolar)
- เยื่อหุ้มเซลล์มีโปรตีนที่แทรกตัวอยู่ (integral protein) โดยทำหน้าที่เป็นตัวรับฮอร์โมน (hormone receptor) การนำส่งสารเข้าออกภายในเซลล์ และการขนส่งประจุไอออนต่าง ๆ
- เยื่อหุ้มเซลล์มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) ที่ยอมให้สารหรือประจุบางชนิดสามารถผ่านได้ ในกรณีที่เซลล์ได้รับบาดเจ็บจะทำให้คุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านสูญเสียไปส่งผลให้การเข้าออกของสารหรือประจุของเซลล์ผิดปกติ เซลล์จะสู่ภาวะที่เรียกว่า นิโครซิส (necrosis) ทำให้เซลล์ตายในที่สุด

CELL MEMBRANE



ไซโทพลาซึม (cytoplasm)

ไซโทพลาซึมมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (colloid substance) อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วย น้ำ โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ ไกลโคเจน (glycogen) และรงควัตถุ (pigments) ในไซโทพลาซึมมีออร์แกเนลล์ที่ทำหน้าที่เฉพาะแต่มีการประสานงานกันเพื่อดำเนินกิจกรรมของเซลล์ได้สมบูรณ์

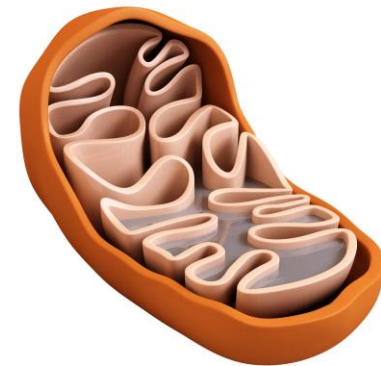
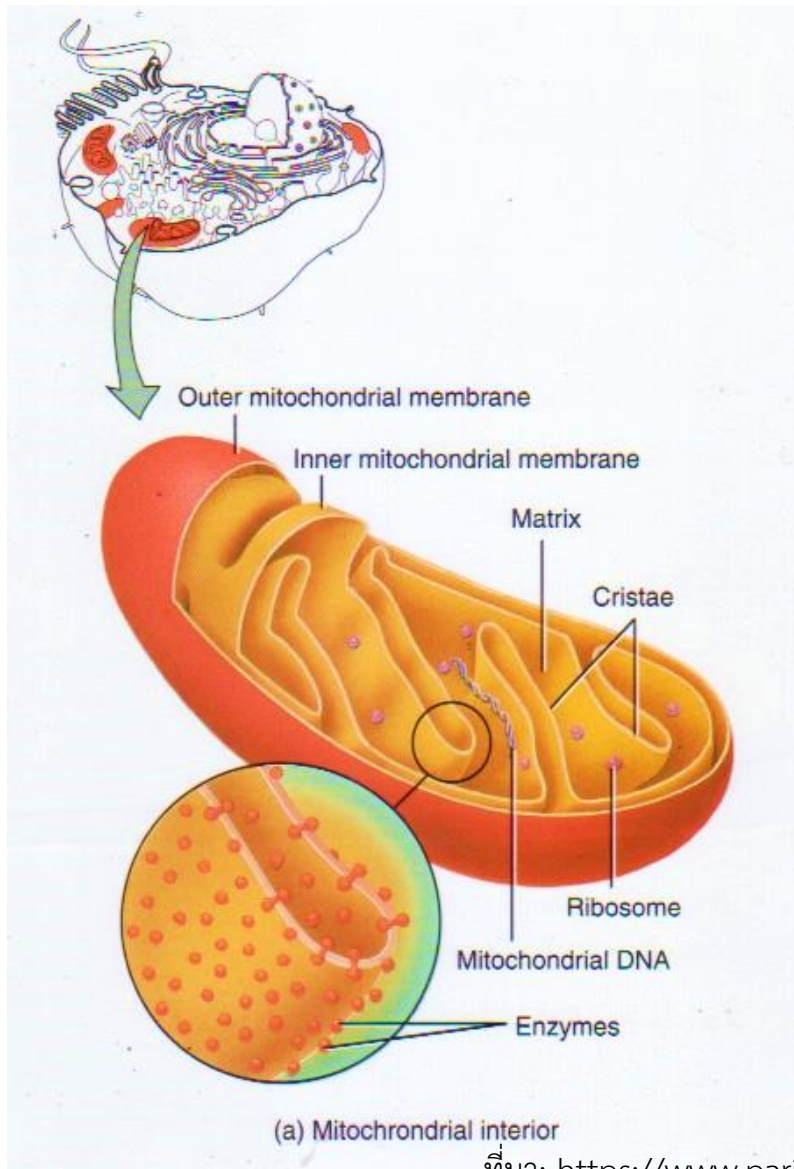


ออร์แกเนลล์ (organelles)

ไมโทคอนเดรีย

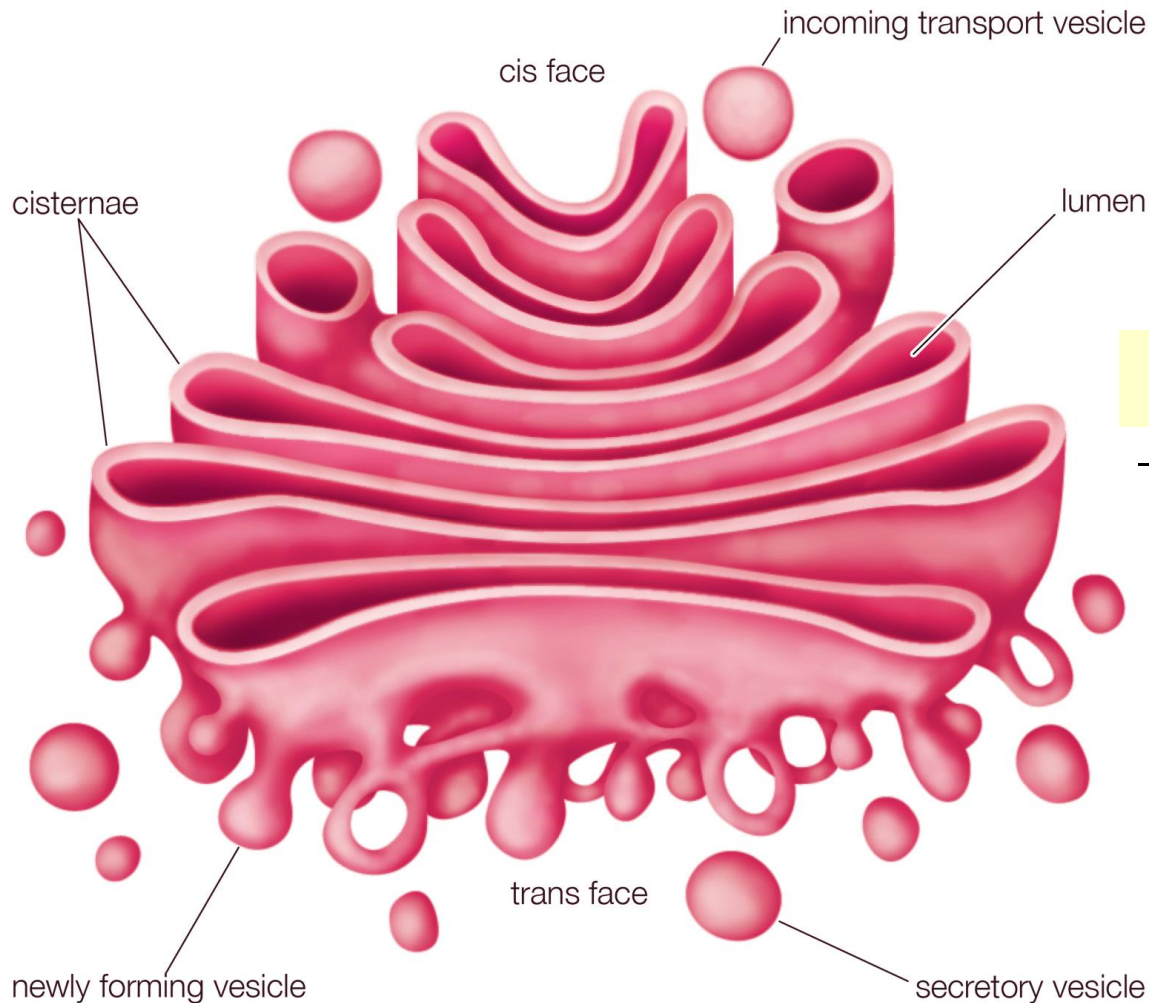
หน้าที่การทำงาน

- แหล่งผลิตพลังงานให้แก่เซลล์ในรูปของ ATP (adenosine triphosphate)



ออร์แกเนลล์ (organelles)

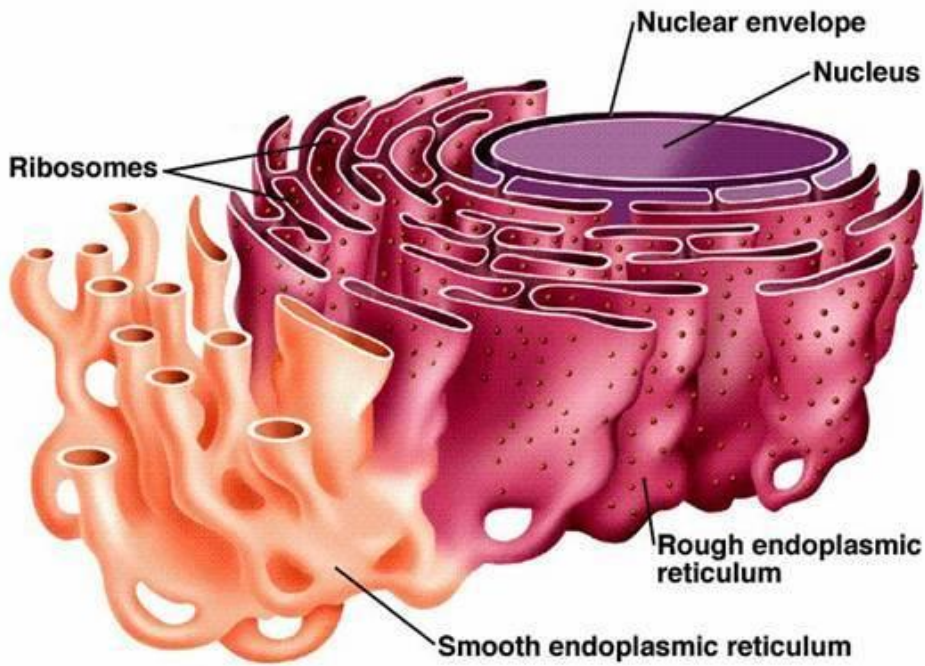
กอลจิคอมเพลกซ์



หน้าที่การทำงาน

- ช่วยนำส่งสารออกนอกเซลล์จากการสร้างของ ER

ออร์แกเนลล์ (organelles)



ที่มา: <https://ajweinmann.wordpress.com/endoplasmic-reticulum/>

เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดหยาบ (RER)

หน้าที่การทำงาน

- สังเคราะห์โปรตีนด้วยไรโบโซมที่อยู่บนเยื่อหุ้ม ER ผลิตเอนไซม์สำหรับไลโซโซม (lysosomal enzymes)

เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดเรียบ (SER)

หน้าที่การทำงาน

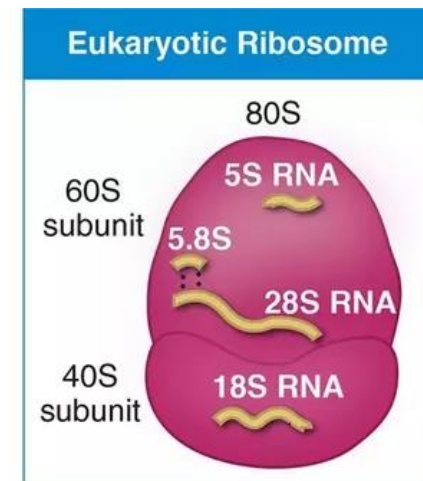
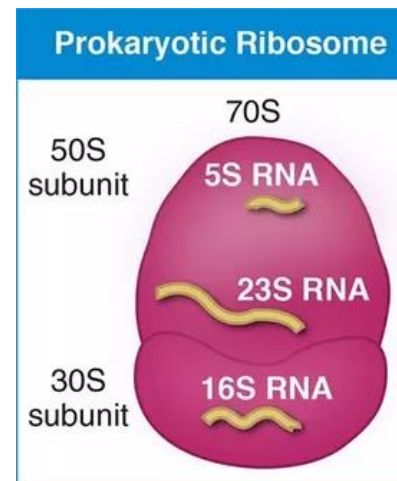
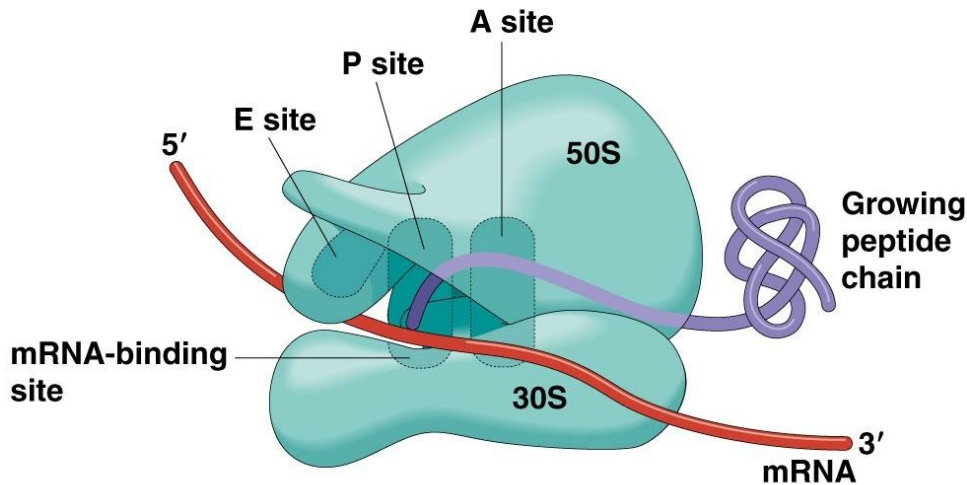
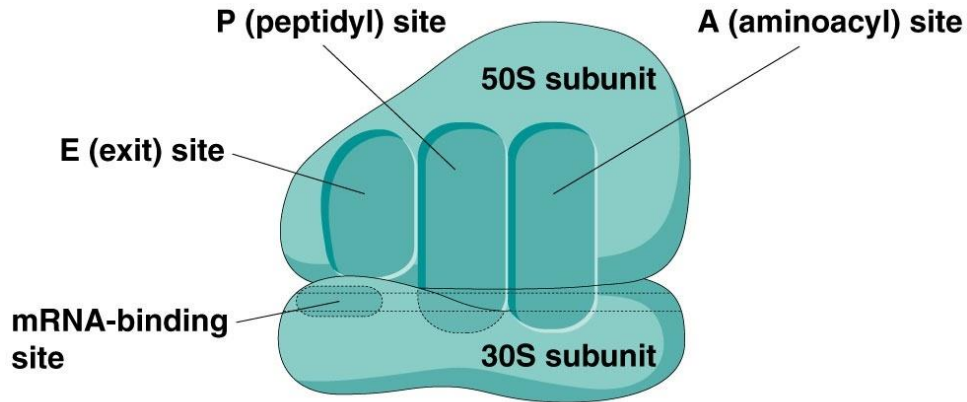
- สังเคราะห์ไขมัน ลิพิดโปรตีน และสเตอรอยด์ฮอร์โมนควบคุมระดับแคลเซียมภายในเซลล์

ออร์แกเนลล์ (organelles)

ไรโบโซม

หน้าที่การทำงาน

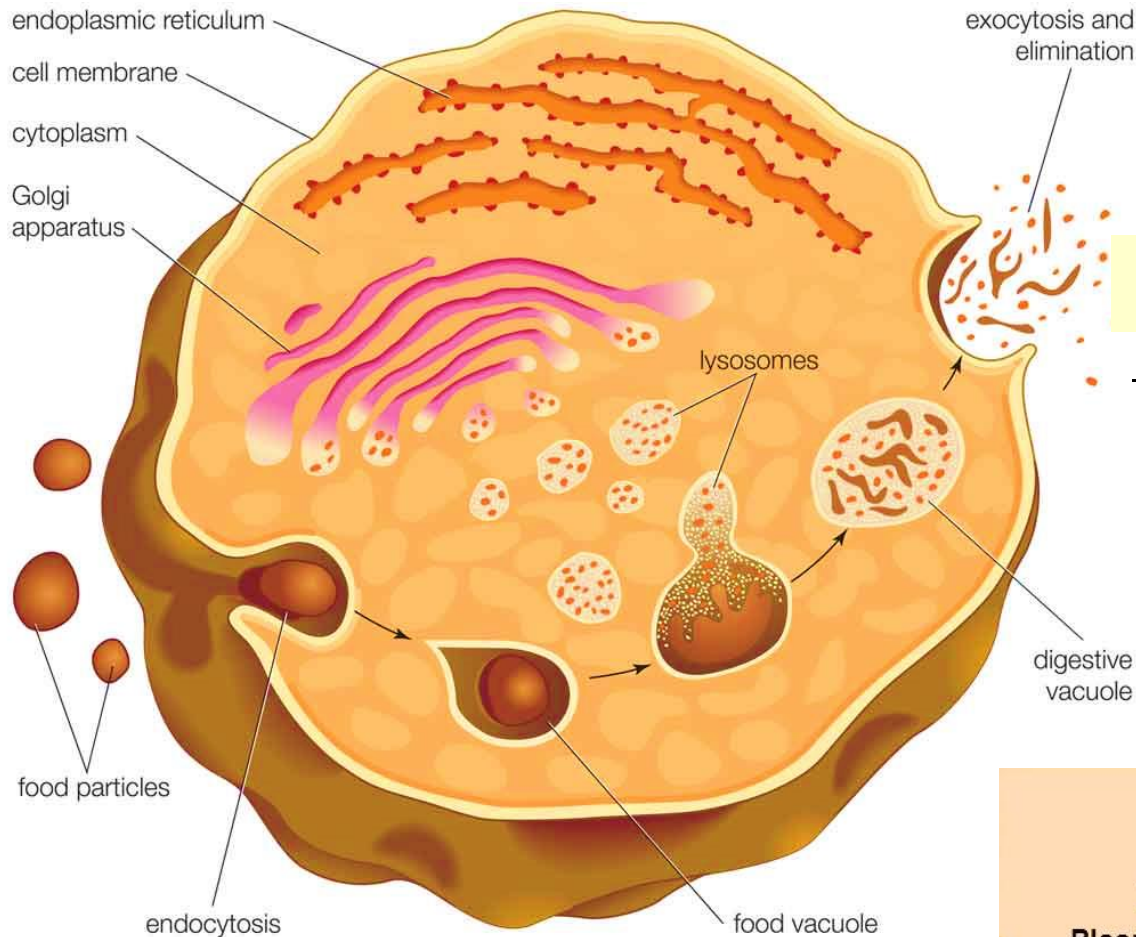
- สังเคราะห์โปรตีนทั้งไรโบโซมที่อยู่เป็นอิสระในไซโทพลาซึมและไรโบโซมที่ยึดติดกับเยื่อหุ้มของ ER



ที่มา: <https://www.quora.com/What-is-the-most-accepted-theory-about-how-the-ribosome-evolved-Why>

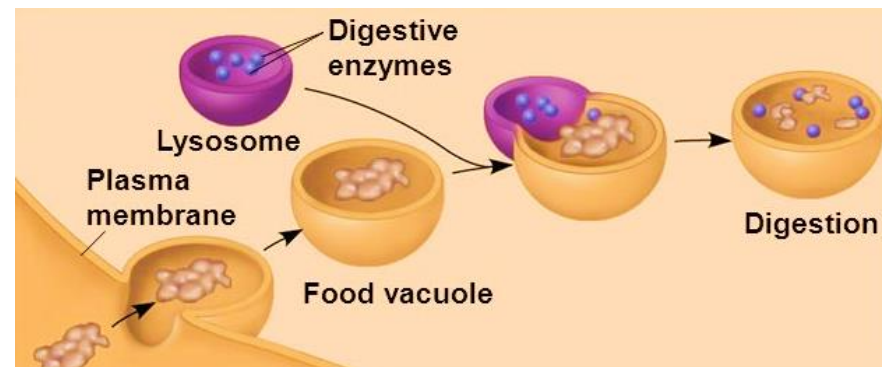
ออร์แกเนลล์ (organelles)

ไลโซโซม



หน้าที่การทำงาน

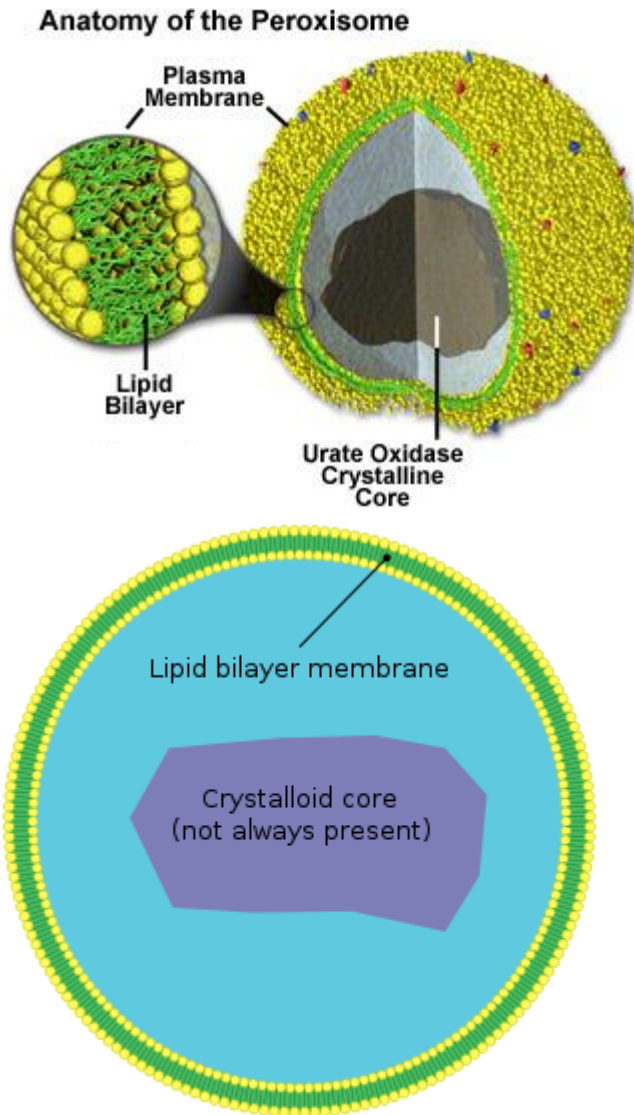
- ภายในบรรจุเอนไซม์สำหรับย่อยสลายสารที่นำเข้าสู่เซลล์ด้วยกระบวนการเอนโดไซโทซิส (endocytosis)



© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

ที่มา: <http://cdn.biologydiscussion.com/wp-content/uploads/2013/08/8038-050-75518CEA.jpg>

ออร์แกเนลล์ (organelles)



เพอรอกซิโซม

หน้าที่การทำงาน

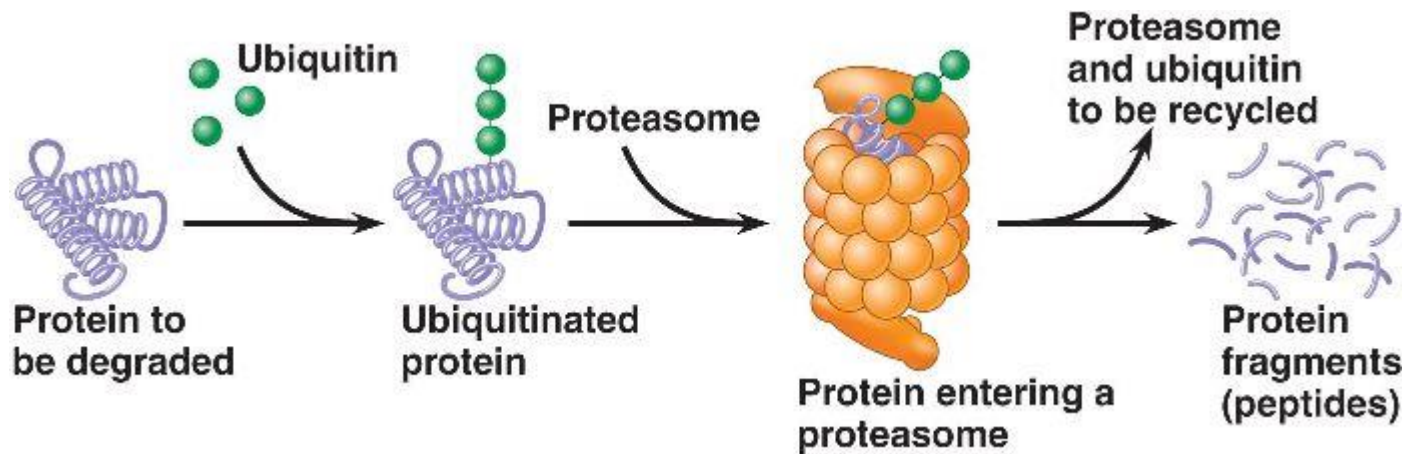
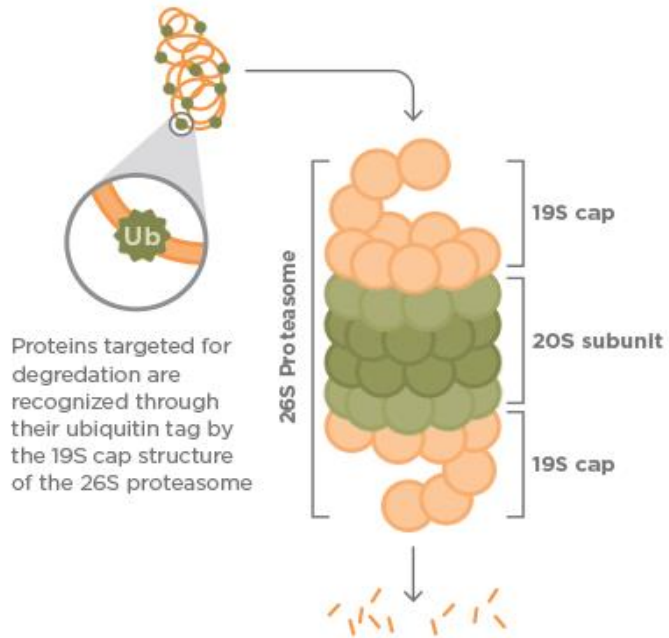
- กำจัดของเสียและอนุมูลอิสระภายในเซลล์ เช่น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; H_2O_2) และกำจัดสารพิษที่เข้ามาในเซลล์

ออร์แกเนลล์ (organelles)

โปรตีเอโซม

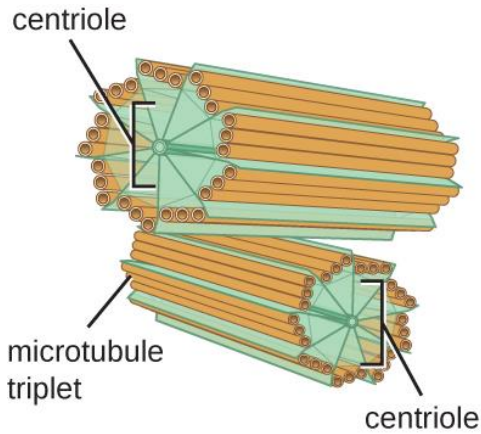
หน้าที่การทำงาน

- ย่อยสลายโปรตีนที่มีโครงสร้างผิดปกติภายในเซลล์

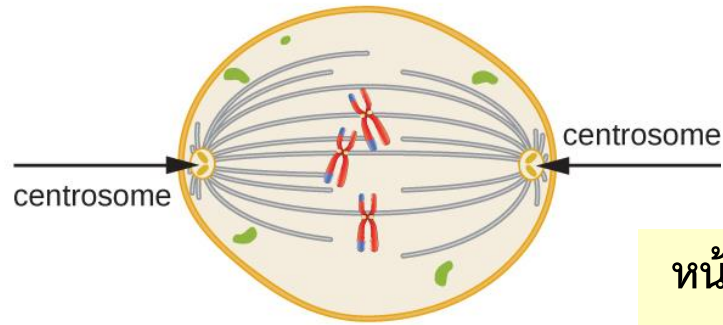


ออร์แกเนลล์ (organelles)

เซนทริโอล



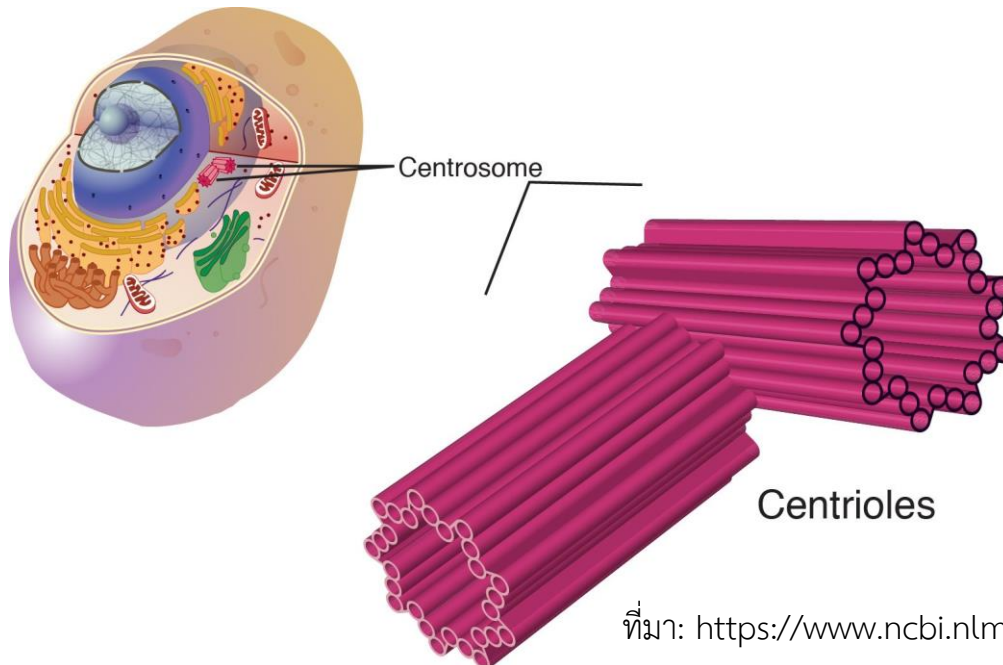
(a)



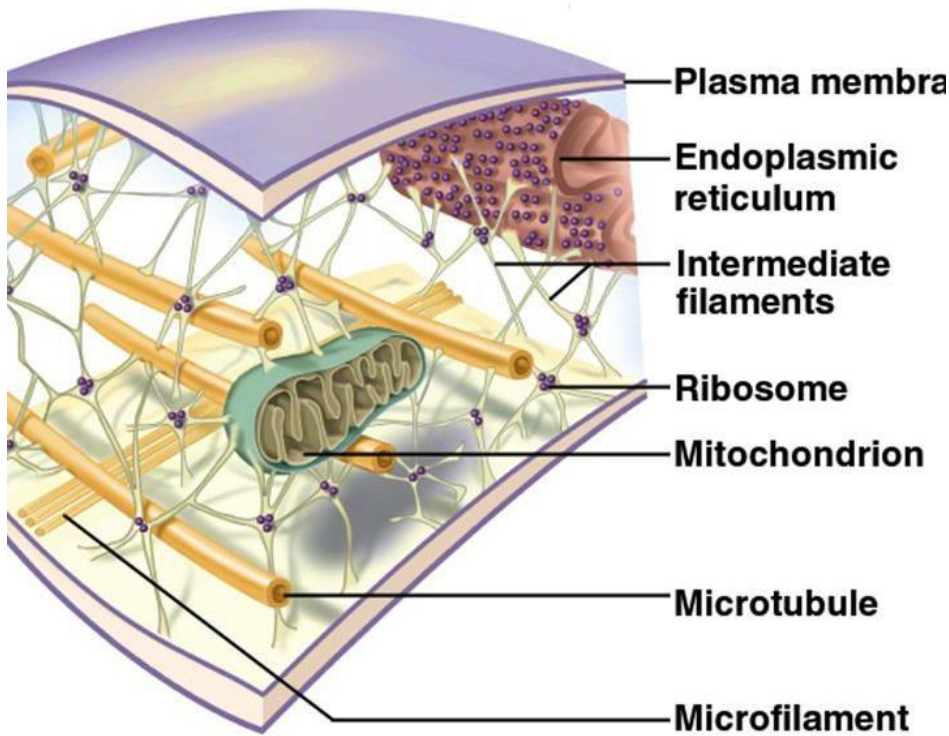
(b)

หน้าที่การทำงาน

- ช่วยให้เกิดการเรียงตัวและการแยกตัวของโครโมโซมในกระบวนการแบ่งเซลล์



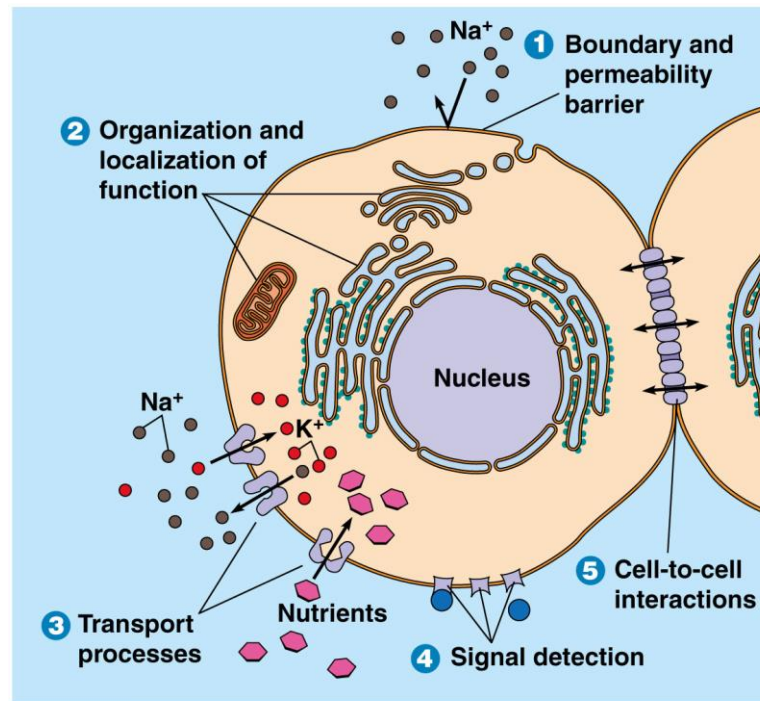
โครงร่างเส้นใยของเซลล์ (cytoskeleton)



- เซลล์จะมีโครงสร้างเส้นใยเป็นโครงข่ายอย่างหลวม ๆ ประกอบด้วย ไมโครทิวบูล (microtubule) ซึ่งมีลักษณะเส้นใยและมีท่อกว้างภายใน และไมโครฟิลาเมนต์ (microfilament) ที่มีขนาดเล็กกว่ามีลักษณะเป็นเส้นใยทึบ เส้นใยทั้งสองนี้เชื่อมต่อกัน นอกจากนี้ยังยึดติดกับออร์แกเนลล์ภายในเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์เกิดรูปทรงและช่วยในการขนส่งสารภายในเซลล์

การทำหน้าที่ของเซลล์

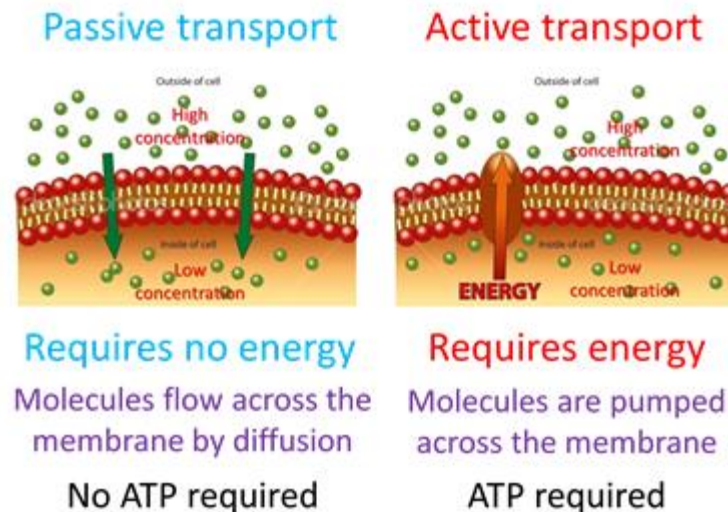
- เซลล์โดยทั่วไปมีหน้าที่ในการขนส่งสาร นำสารอาหารเข้าสู่เซลล์ หลั่งสาร หายใจระดับเซลล์ สื่อสารระหว่างเซลล์ และสืบพันธุ์เพิ่มจำนวน นอกจากนี้การทำหน้าที่เฉพาะของเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ในอวัยวะของร่างกาย เช่น เซลล์ของกล้ามเนื้อช่วยในการเคลื่อนที่ และเซลล์ประสาททำหน้าที่ส่งกระแสประสาท เป็นต้น



<http://www.mun.ca/biology/desmid/brian/BIOL2060/BIOL2060-07/CB07.html>

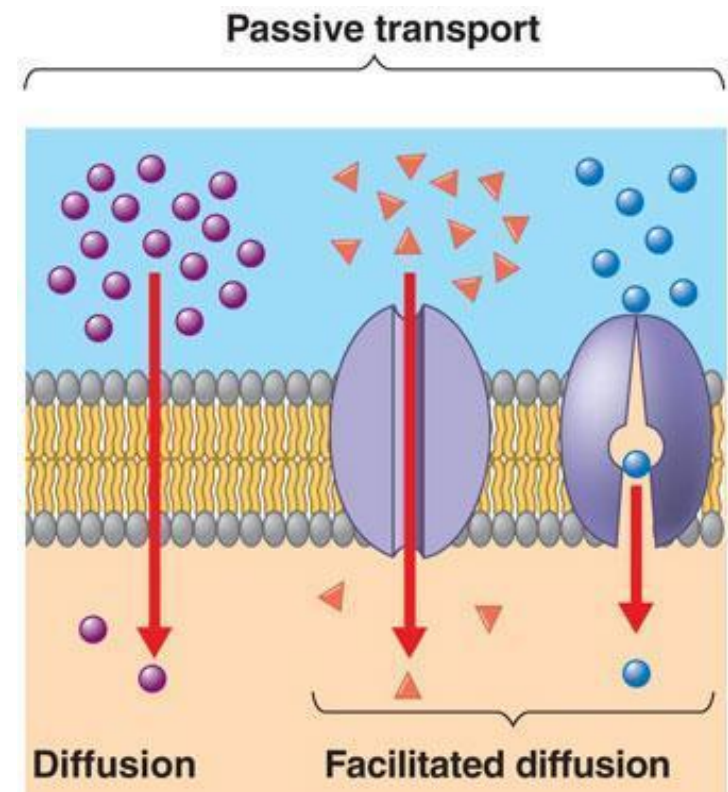
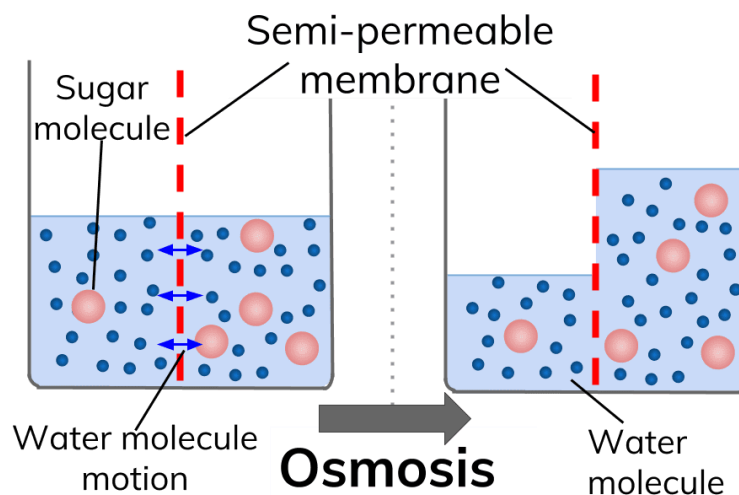
การขนส่งสารของเซลล์ (cellular transportation)

- เซลล์จะได้รับสารอาหารสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมต้องมีกลไกในการนำสารอาหารหรือสารที่จำเป็นเข้าสู่เซลล์ เซลล์จึงจะสามารถอยู่รอดได้ วิธีการนำสารเข้าสู่เซลล์จะแบ่งแยกโดยขึ้นอยู่กับพลังงานที่ต้องใช้สำหรับการขนส่งสารนั้น ๆ ให้เคลื่อนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ การขนส่งสารแบบพาสซีฟและการขนส่งสารแบบกัมมันต์



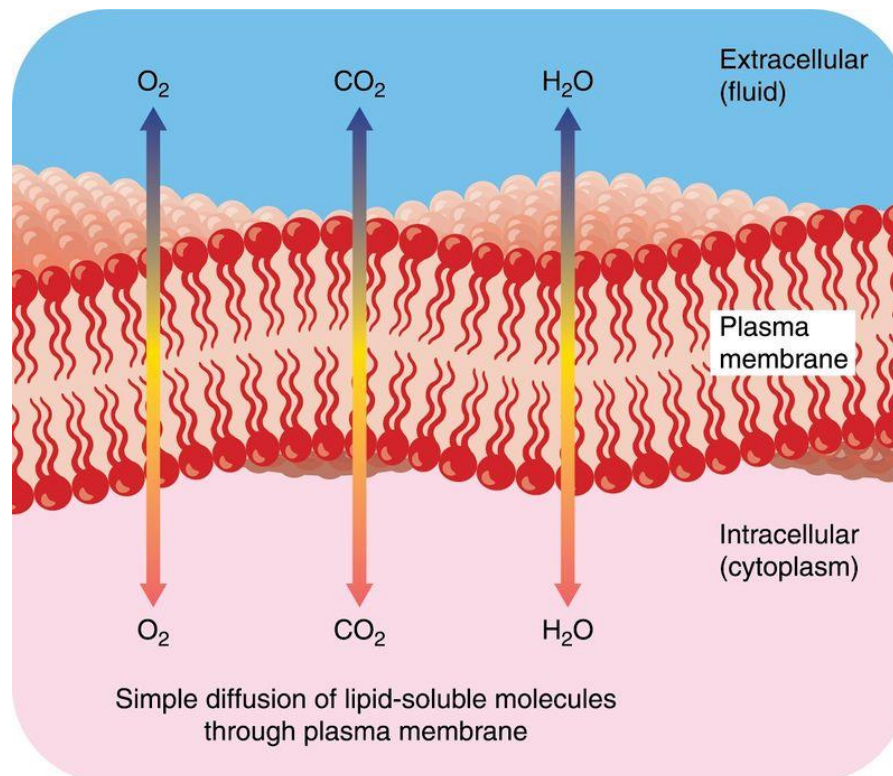
การขนส่งสารแบบพาสซีฟ (passive transport)

- การขนส่งสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์วิธีนี้จะไม่มีการใช้พลังงาน ATP เพื่อให้สารผ่านเข้าไปภายในเซลล์ เช่น
 - การแพร่ผ่าน (diffusion)
 - การออสโมซิส (osmosis)
 - การแพร่ผ่านแบบอาศัยตัวพา (facilitated diffusion)



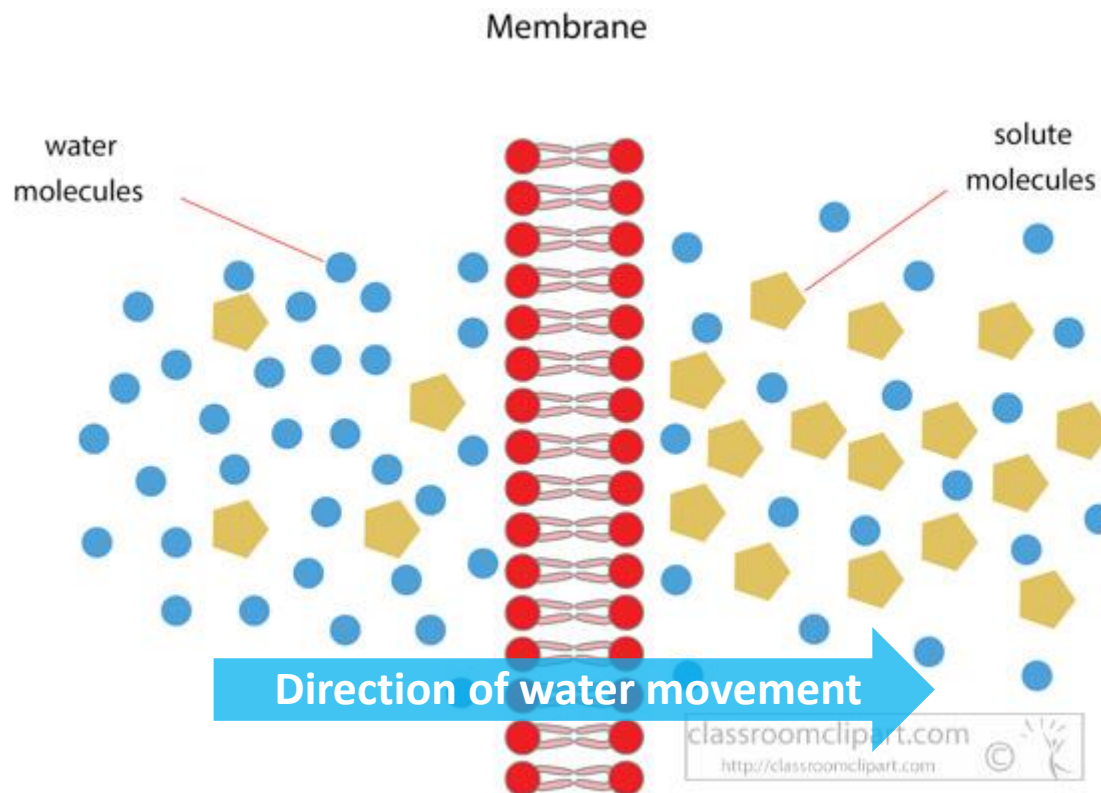
การแพร่ผ่าน (diffusion)

การเคลื่อนที่ของสารที่เป็นตัวถูกละลาย จากบริเวณภายนอกเซลล์ที่มีความเข้มข้นสูงแพร่ผ่านเข้าไปภายในเซลล์ที่เป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า (concentration gradient) เช่น การแพร่ผ่านของออกซิเจน (oxygen) และคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide)



การออสโมซิส (osmosis)

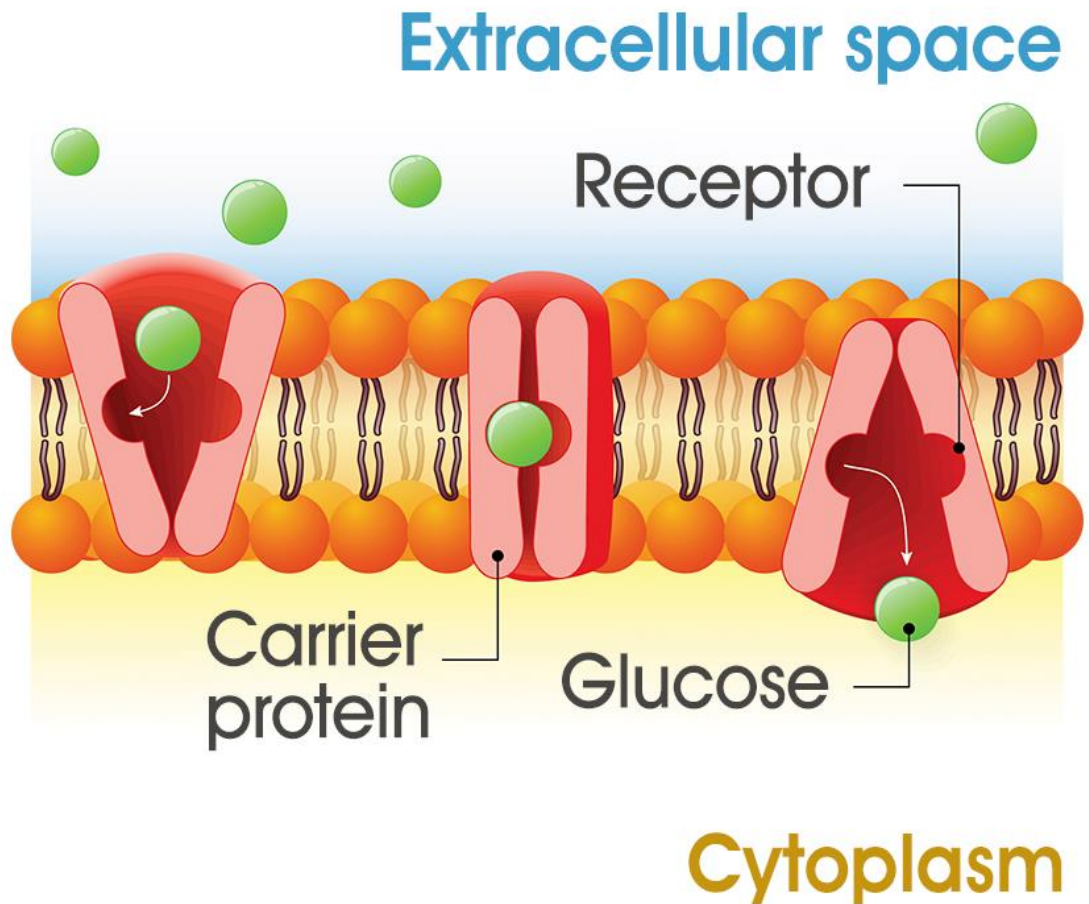
การเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของน้ำ โดยที่น้ำจะเคลื่อนผ่านจากบริเวณที่มีน้ำมากไปยังบริเวณที่มีน้ำน้อย ซึ่งทำให้เกิดแรงดันออสโมซิส (osmotic pressure)



การแพร่ผ่านแบบอาศัยตัวพา (facilitated diffusion)

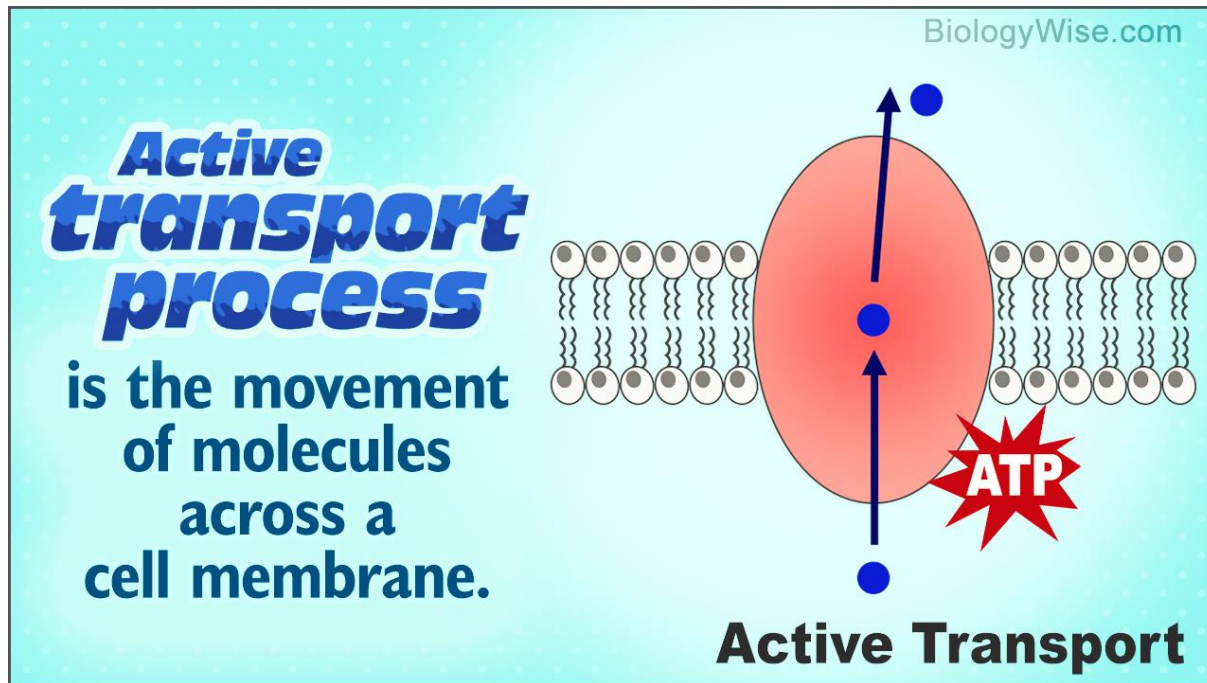
การแพร่ผ่านของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่ต้องอาศัยโปรตีนเป็นตัวขนส่งสารเข้าไปภายในเซลล์ (transport protein) เช่น การขนส่งน้ำตาลกลูโคส (glucose)

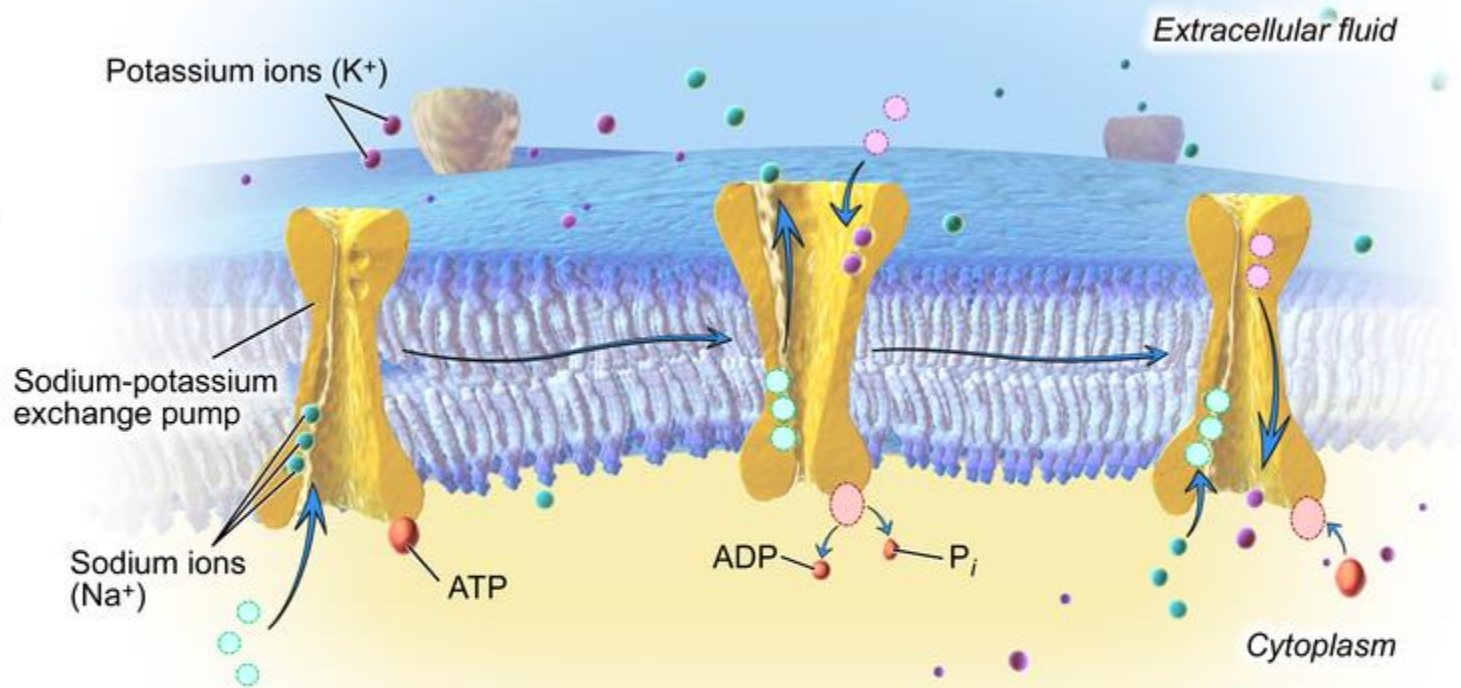
Facilitated diffusion—the process that allows selective movement in and out of the cell membrane.



การขนส่งสารแบบกัมมันต์ (active transport)

การขนส่งสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ด้วยวิธีนี้จะต้องใช้พลังงาน ATP เพื่อให้สามารถนำสารเข้าไปในเซลล์ได้ โดยการเคลื่อนผ่านของสารจะไม่ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นของสารระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์ เช่น การขนส่งโซเดียมและโพแทสเซียมด้วยกระบวนการโซเดียม-โพแทสเซียมปั๊ม ($\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$ pump)





The Sodium-Potassium Exchange Pump

<http://pediaa.com/difference-between-primary-and-secondary-active-transport/>

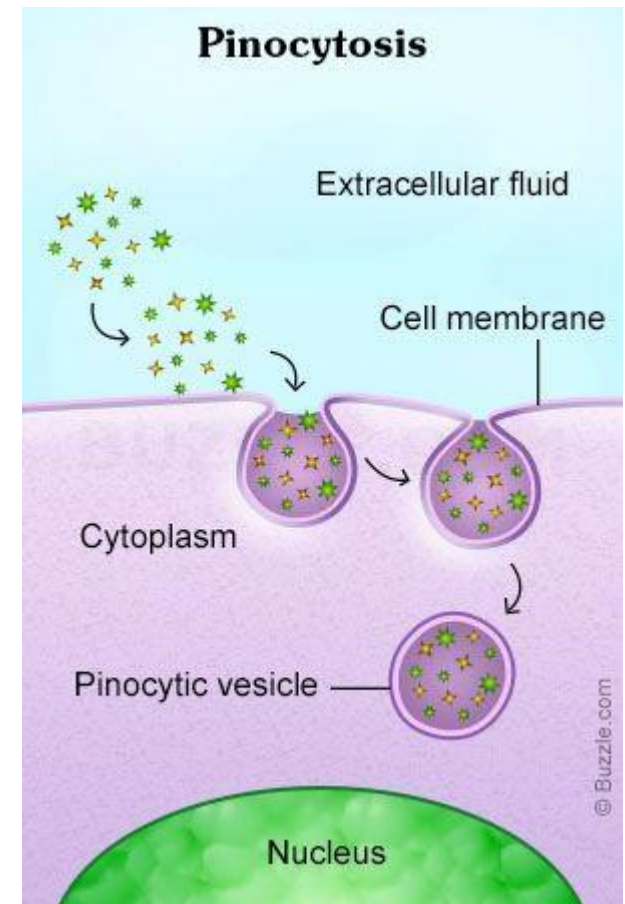
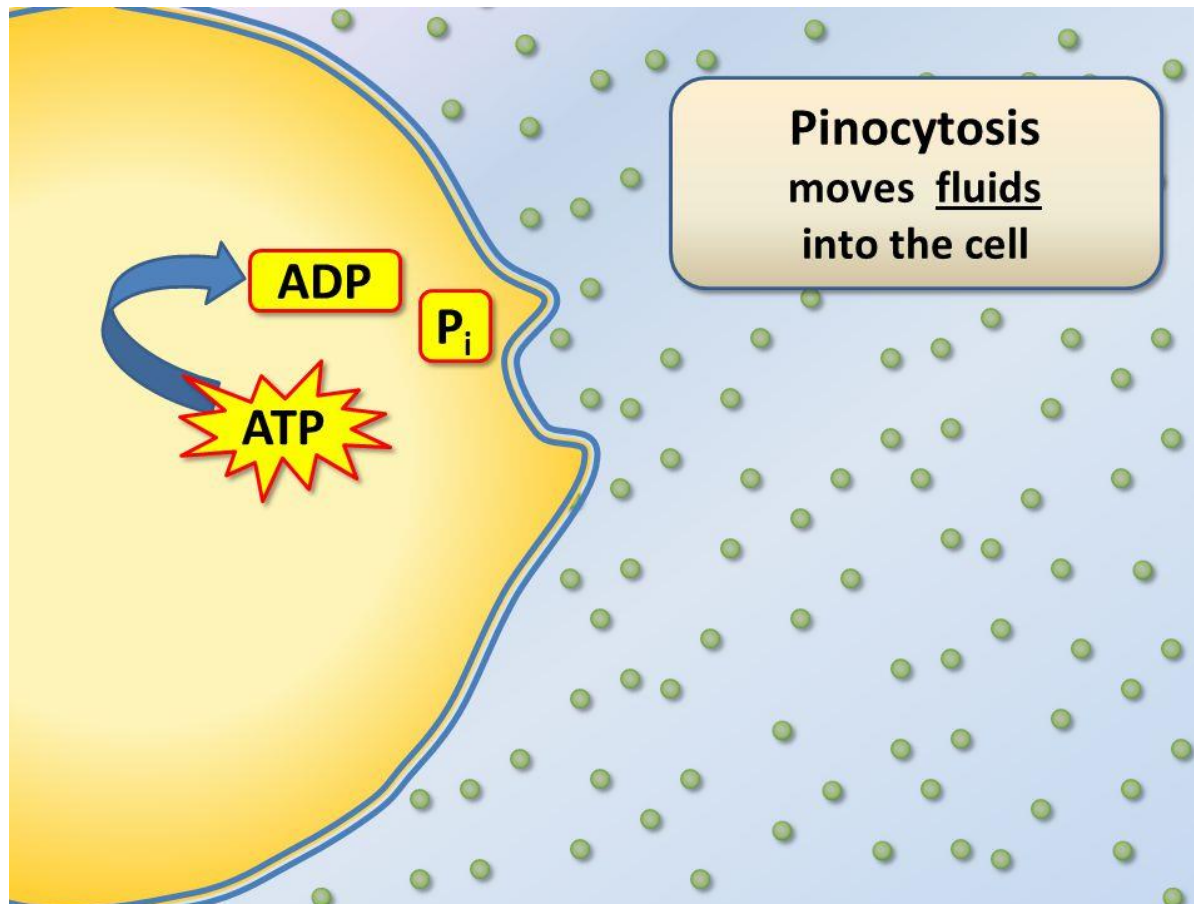
กระบวนการนำสารเข้าสู่เซลล์

เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมการเข้าออกของสารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อกิจกรรมของเซลล์ นอกจากการขนส่งสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์แล้ว เซลล์ยังมีกลไกจำเพาะในการนำสารหรืออนุภาคเข้าสู่เซลล์ ซึ่งเกิดจากกระบวนการเอนโดไซโทซิส (endocytosis) ที่สามารถนำสารหรืออนุภาคขนาดใหญ่เข้าสู่เซลล์ได้ การเกิดเอนโดไซโทซิสของเซลล์จะมีอยู่สองลักษณะ คือ

- 1) พินोไซโทซิส (pinocytosis)
- 2) ฟาโกไซโทซิส (phagocytosis)

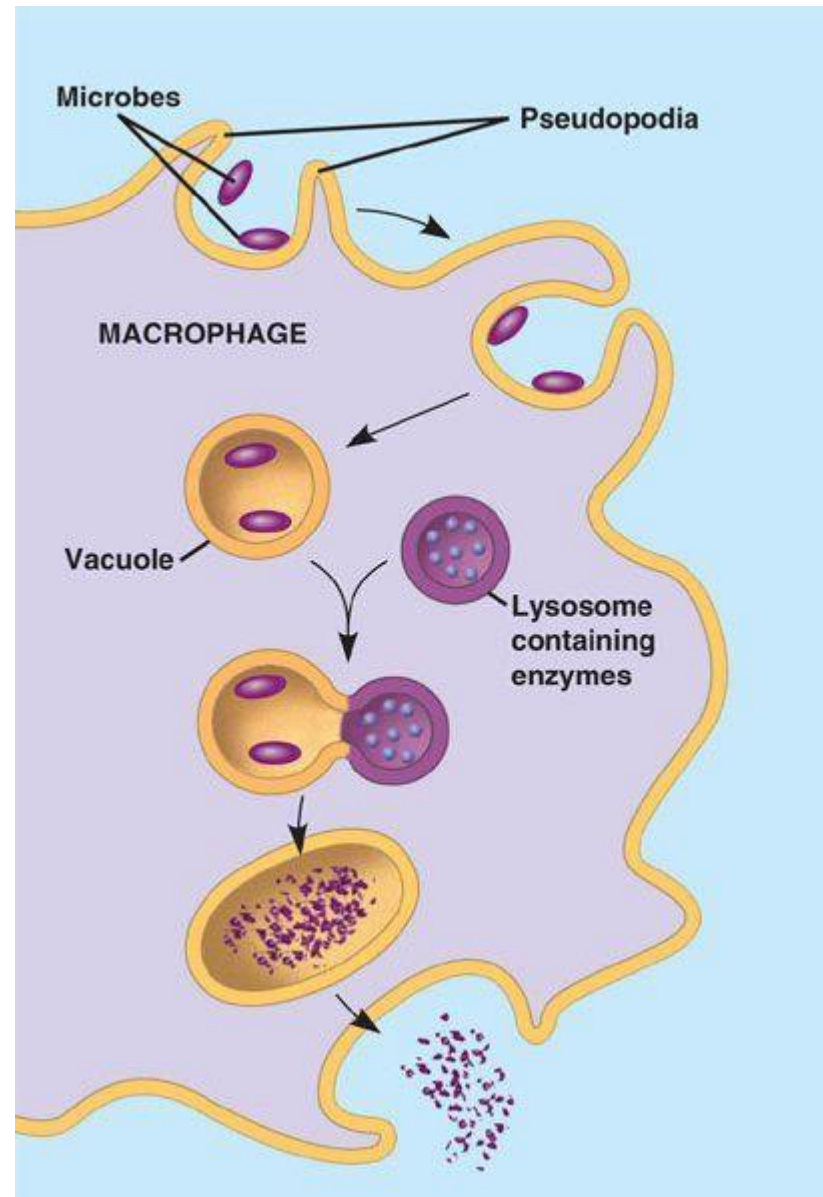
พินोไซโทซิส (pinocytosis)

- พินอไซโทซิส เป็นกระบวนการเข้าของของเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อห่อหุ้มสารหรือโมเลกุลที่มีขนาดเล็กแล้วนำเข้าสู่เซลล์โดยมีการใช้พลังงาน ATP



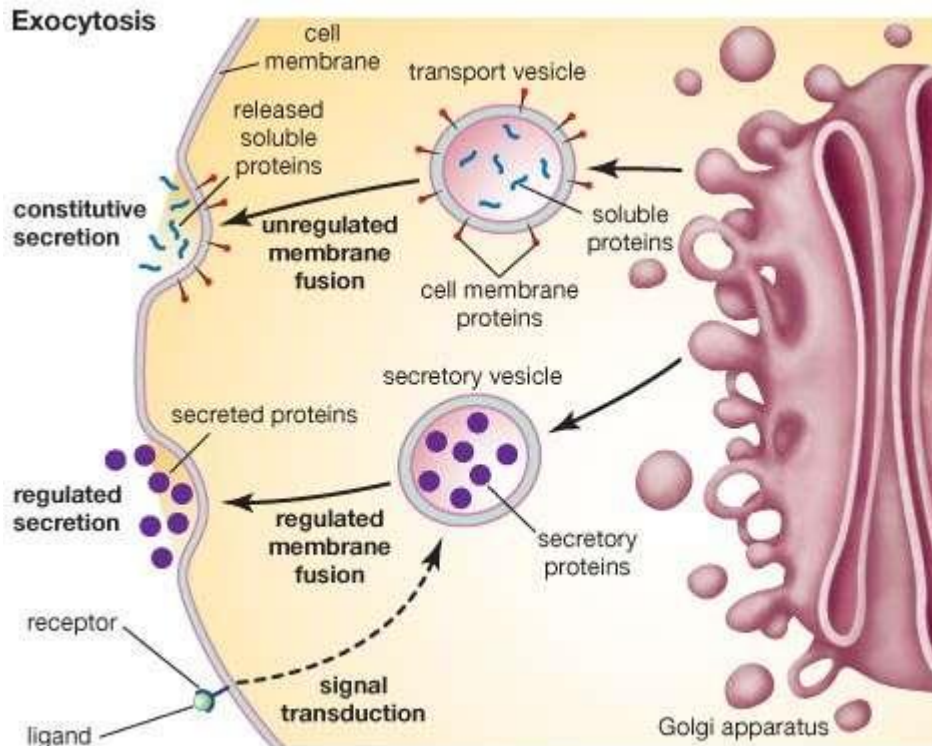
ฟาโกไซโทซิส (phagocytosis)

- ฟาโกไซโทซิส เป็นกระบวนการที่ยื่นเยื่อหุ้มเซลล์โอบล้อมอนุภาคขนาดใหญ่แล้วนำเข้าสู่เซลล์ เช่น เซลล์ร่างกายที่ได้รับ ความเสียหาย เซลล์แบคทีเรีย เป็นต้น ซึ่งกระบวนการฟาโกไซโทซิสเป็นวิธีที่เซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันใช้กำจัด จุลินทรีย์ก่อโรคที่ติดเชื้อเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลต่อการนำ สารเข้าสู่เซลล์จะมีผลต่อการมีชีวิตของ เซลล์และนำไปสู่การเกิดโรคต่าง ๆ ตามมา



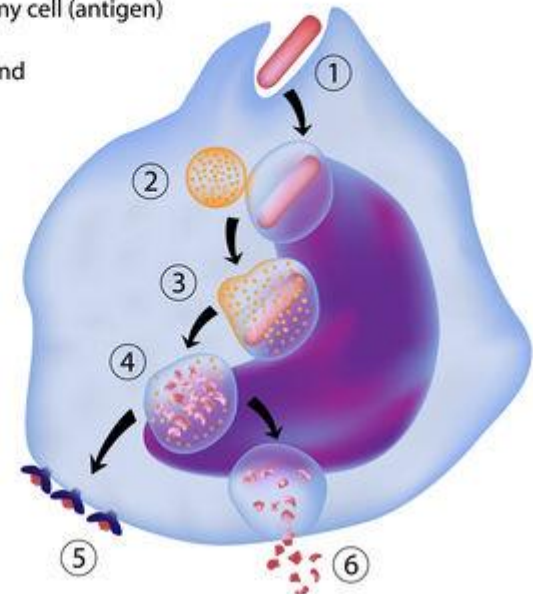
การหลั่งสารออกนอกเซลล์ (cellular secretion)

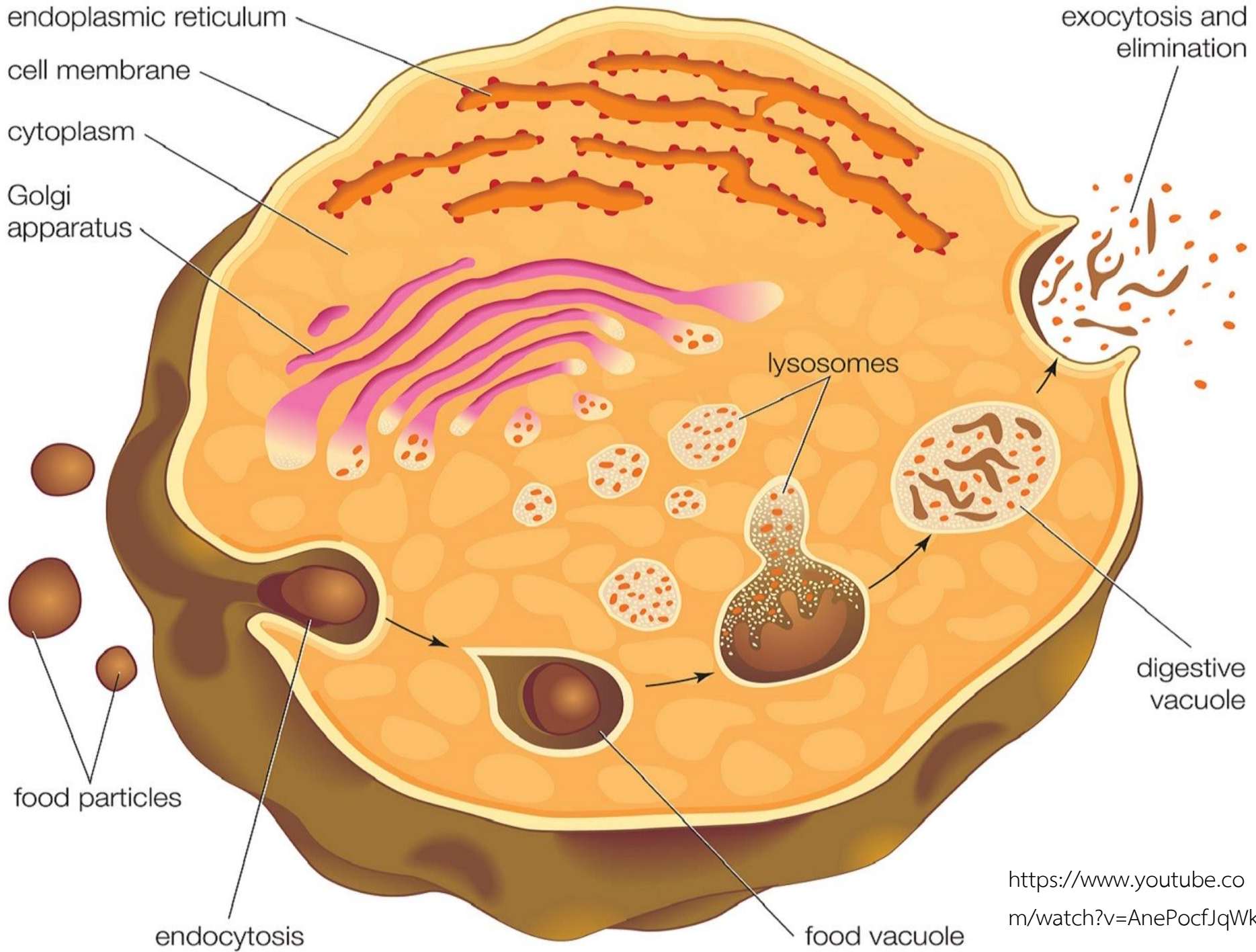
- เซลล์มีวิธีการหลั่งสารออกนอกเซลล์ เช่น ลิโปโปรตีน (lipoprotein) และไกลโคโปรตีน ที่เซลล์สังเคราะห์ขึ้นด้วยกระบวนการเอกไซโทซิส (exocytosis) ซึ่งรวมถึงการปลดปล่อยสารที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายเซลล์จุลินทรีย์หลังจากกระบวนการฟาโกไซโทซิสและการกำจัดของเสียที่เป็นพิษออกนอกเซลล์เพื่อรักษาสมดุลของเซลล์



Role of an Antigen-Presenting Cell

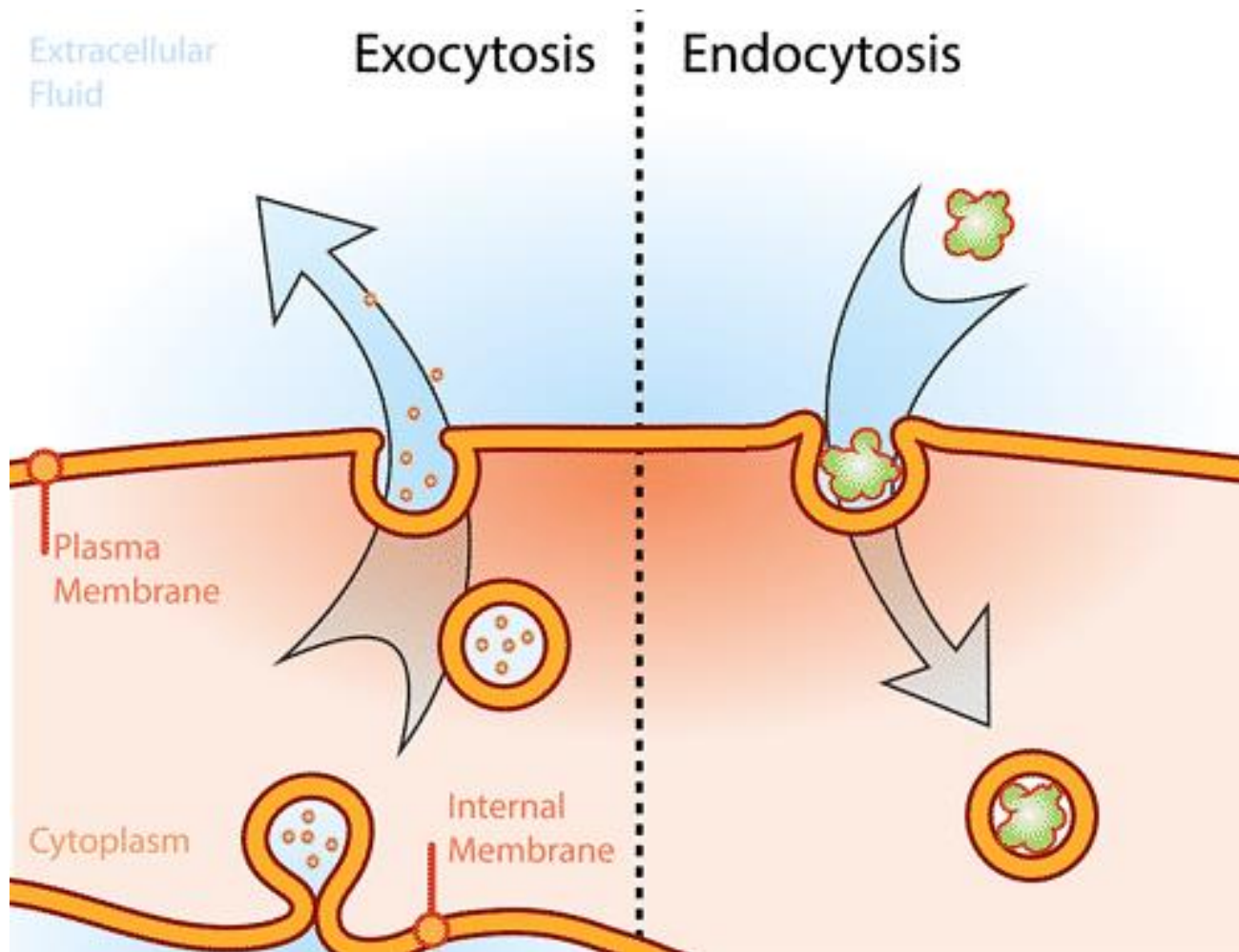
- ① Phagocytosis of enemy cell (antigen)
- ② Fusion of lysosome and phagosome
- ③ Enzymes start to degrade enemy cell
- ④ Enemy cell broken into small fragments
- ⑤ Fragments of antigen presented on APC surface
- ⑥ Leftover fragments released by exocytosis





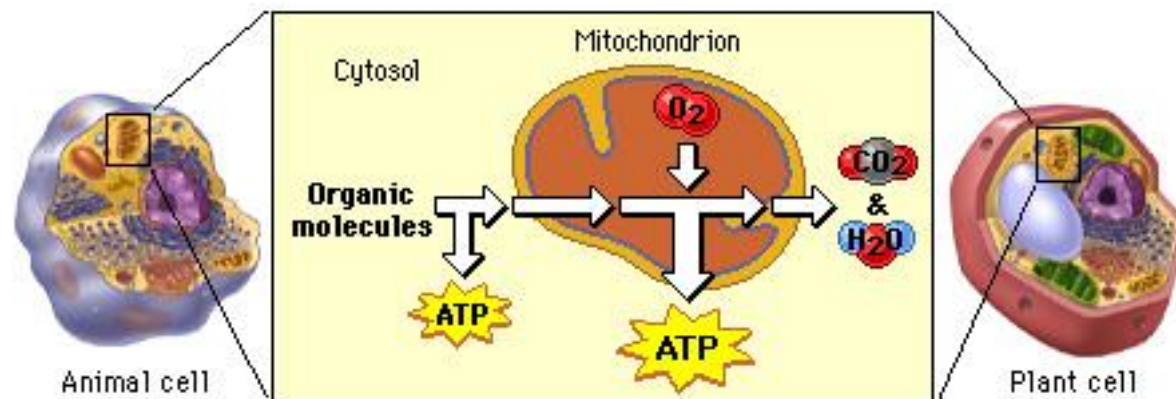
<https://www.youtube.com/watch?v=AnePocfJqWk>

Endocytosis vs Exocytosis

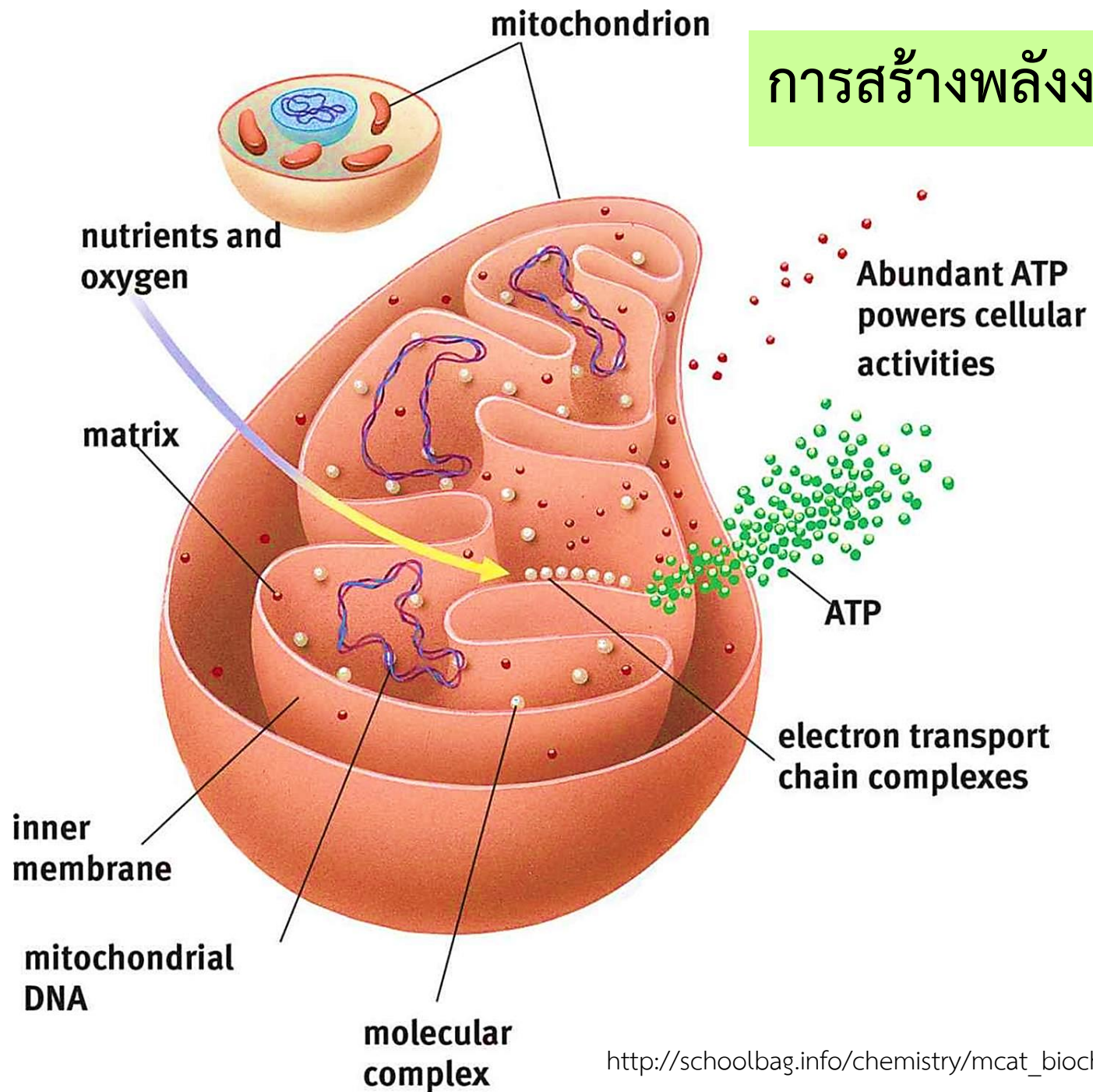


การหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration)

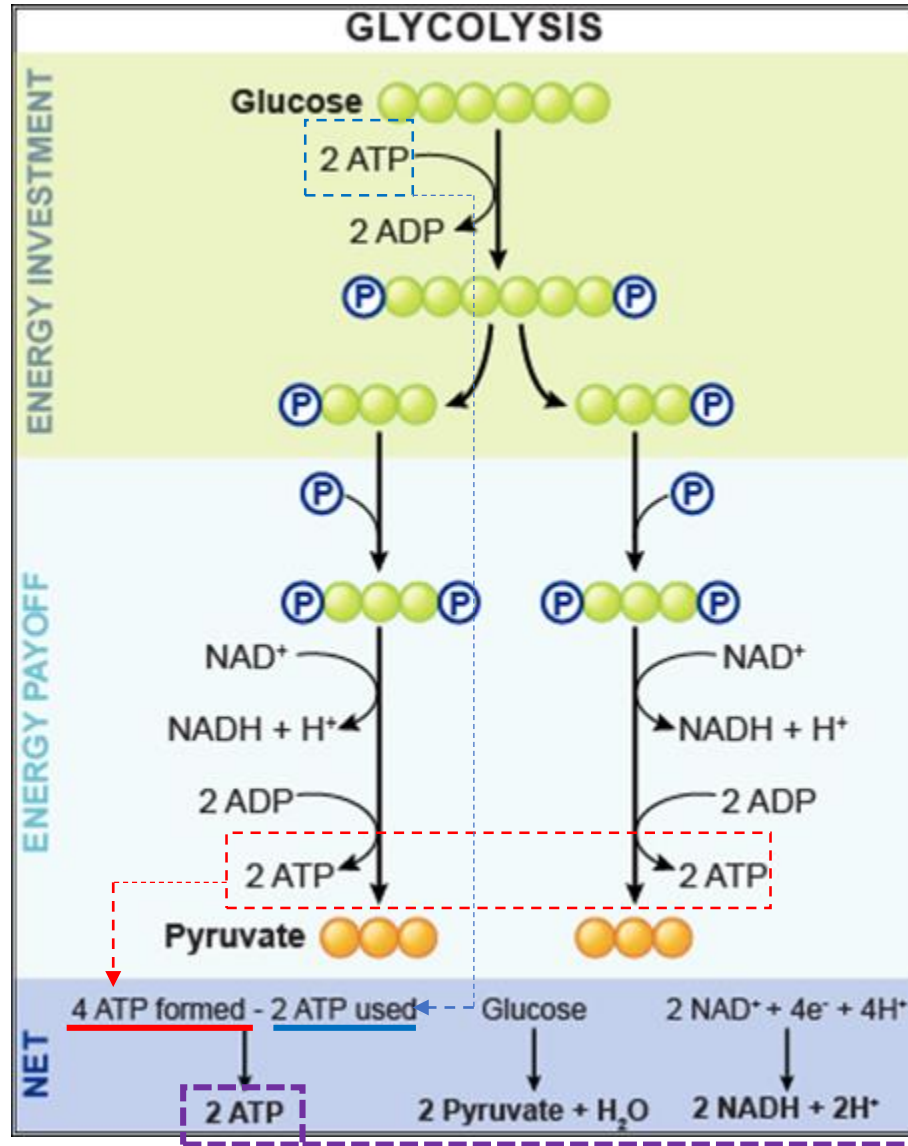
การหายใจระดับเซลล์เป็นกระบวนการที่เซลล์ใช้ในการสร้างพลังงาน ATP ซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีที่สำคัญ คือ ปฏิกิริยาชีวเคมีในวิถีไกลโคไลซิส วัฏจักรกรดซิตริก (TCA-cycle) ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอนที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ซึ่งการรับส่งอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียก่อให้เกิดพลังงาน 36 ATP เพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์



การสร้างพลังงาน ATP



วิถีไกลโคไลซิส (glycolytic pathway)



ไกลโคไลซิส เป็นกระบวนการ
แยกโมเลกุลของกลูโคสที่มีจำนวน
คาร์บอน 6 อะตอม ให้เป็นน้ำตาลที่มี
คาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 2 โมเลกุล
โดยกระบวนการไกลโคไลซิสจะแบ่ง
ออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ

- 1) ขั้นตอนการใช้พลังงาน 2 ATP
- 2) ขั้นตอนการสร้างพลังงาน 4 ATP
และ 2 NADH+H⁺

- ผลผลิตสุดท้ายได้ 2 pyruvate

- $4\text{ATP} - 2\text{ATP} = \underline{2\text{ATP}}$

วัฏจักรกรดซิตริก (citric acid cycle)

ในสถานะที่มีออกซิเจน (O_2) pyruvate ที่สร้างจากกระบวนการไกลโคไลซิสจะเข้าสู่ไมโทคอนเดรียเพื่อสร้างพลังงานแบบ substrate-level phosphorylation ซึ่งมีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

1) Pyruvate ถูกเปลี่ยนเป็น acetyl CoA

ได้ $NADH+H^+$ จำนวน 1 โมเลกุล

2) Acetyl CoA รวมตัวกับ oxaloacetate ได้เป็น citrate

3) เกิดกระบวนการสลาย citrate ให้กลายมาเป็น oxaloacetate โดยระหว่างขั้นตอนนี้มีการสร้างสารดังต่อไปนี้

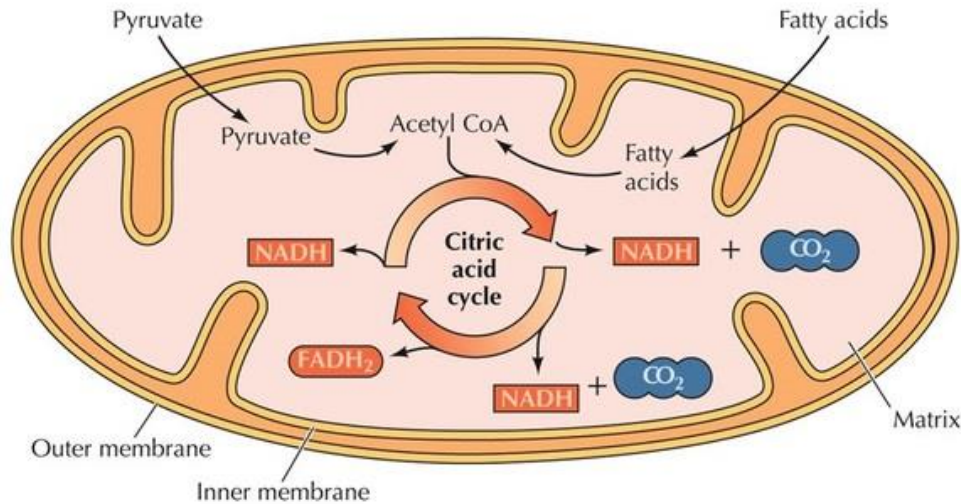
- CO_2 จำนวน 2 โมเลกุล

- $NADH+H^+$ จำนวน 3 โมเลกุล

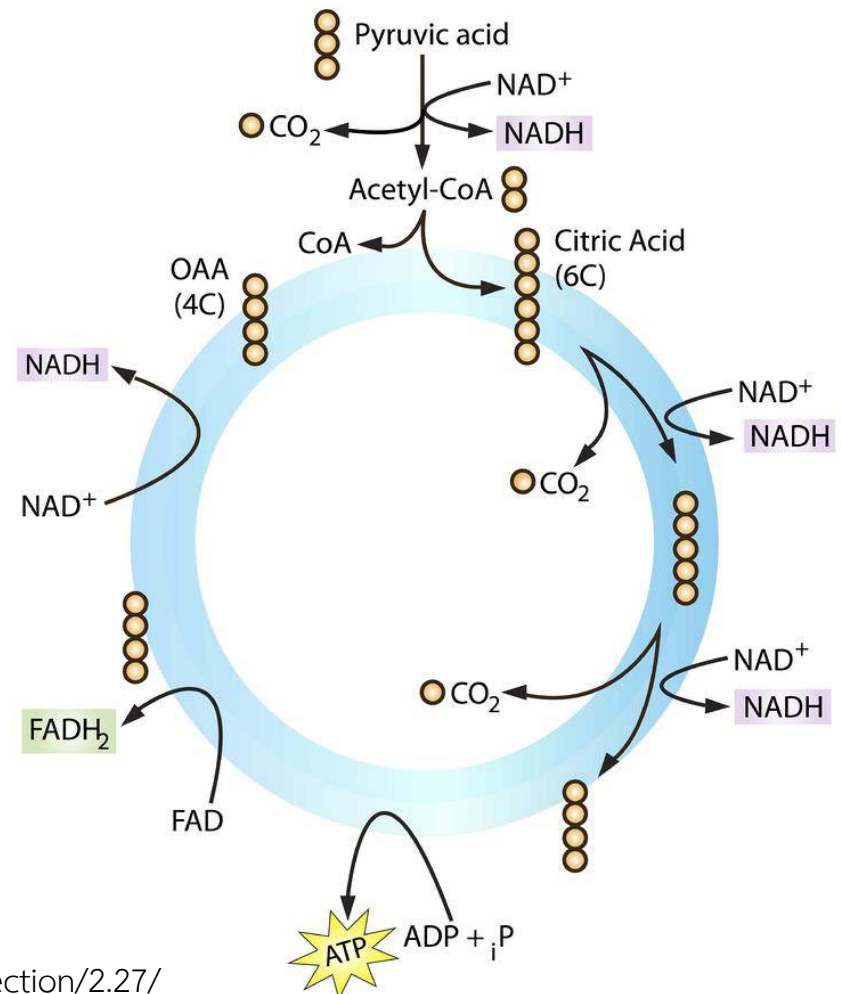
- $FADH_2$ จำนวน 1 โมเลกุล

- ATP จำนวน 1 โมเลกุล

วัฏจักรกรดซิตริก (citric acid cycle)



Krebs Cycle (Citric Acid Cycle)

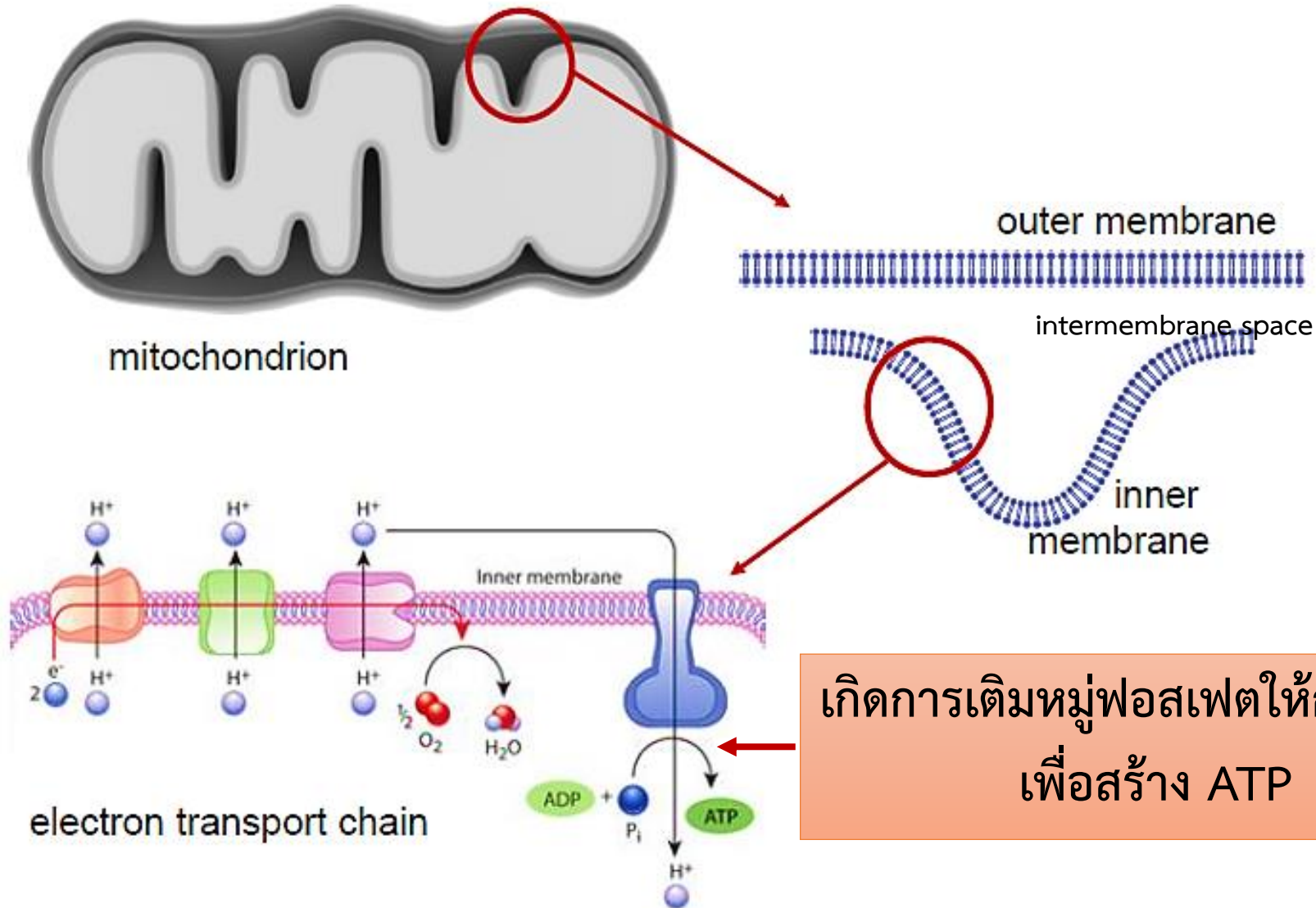


Citric acid cycle หรือ Krebs cycle
ตั้งชื่อเพื่อเป็นเกียรตินักวิทยาศาสตร์
Dr. Hans Krebs ที่ได้ศึกษาวัฏจักรนี้ในช่วง
ปี ค.ศ. 1930

ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport chain)

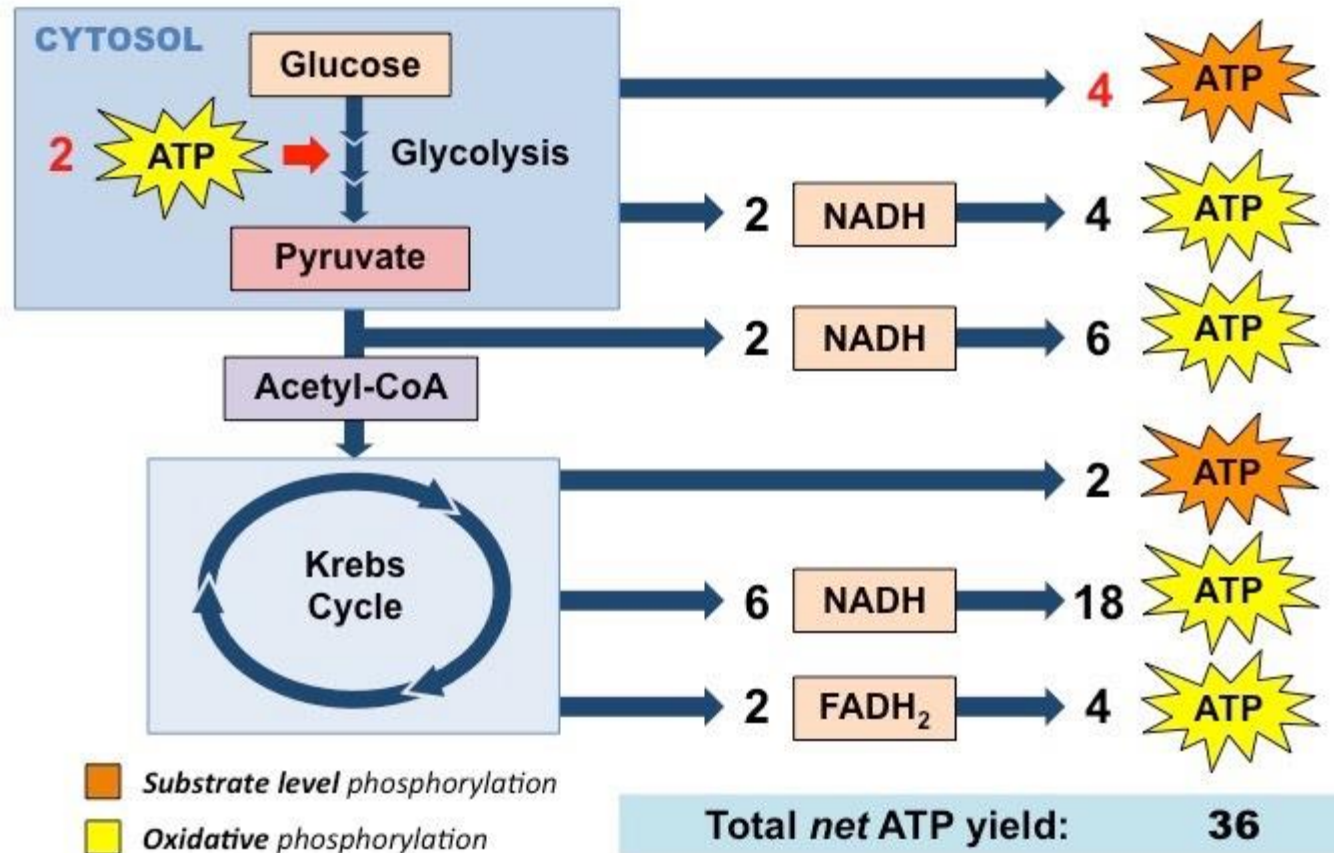
- ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอนเกิดขึ้นที่เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย
- กลูโคส 1 โมเลกุล เมื่อผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสและวัฏจักรกรดซิตริกจะได้ ATP จำนวน 4 โมเลกุล และได้ $\text{NADH} + \text{H}^+$ จำนวน 10 โมเลกุล และ FADH_2 จำนวน 2 โมเลกุล
- $\text{NADH} + \text{H}^+$ และ FADH_2 จะเข้าสู่กระบวนการ oxidative phosphorylation เพื่อสร้าง ATP
- การสร้าง ATP จากลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอนทำให้เกิดความเข้มข้นที่ต่างกันของโปรตอน (H^+) ระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย
- โปรตอนจะถูกขนส่งออกไปยังบริเวณ intermembrane space จำนวนมาก จากนั้นจะเข้ามาด้านในผ่านโปรตีน ATP synthase ทำให้เกิดการสร้าง ATP ในขั้นตอนนี้ด้วยการกระตุ้นให้เกิดการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP

ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอน (electron transport chain)



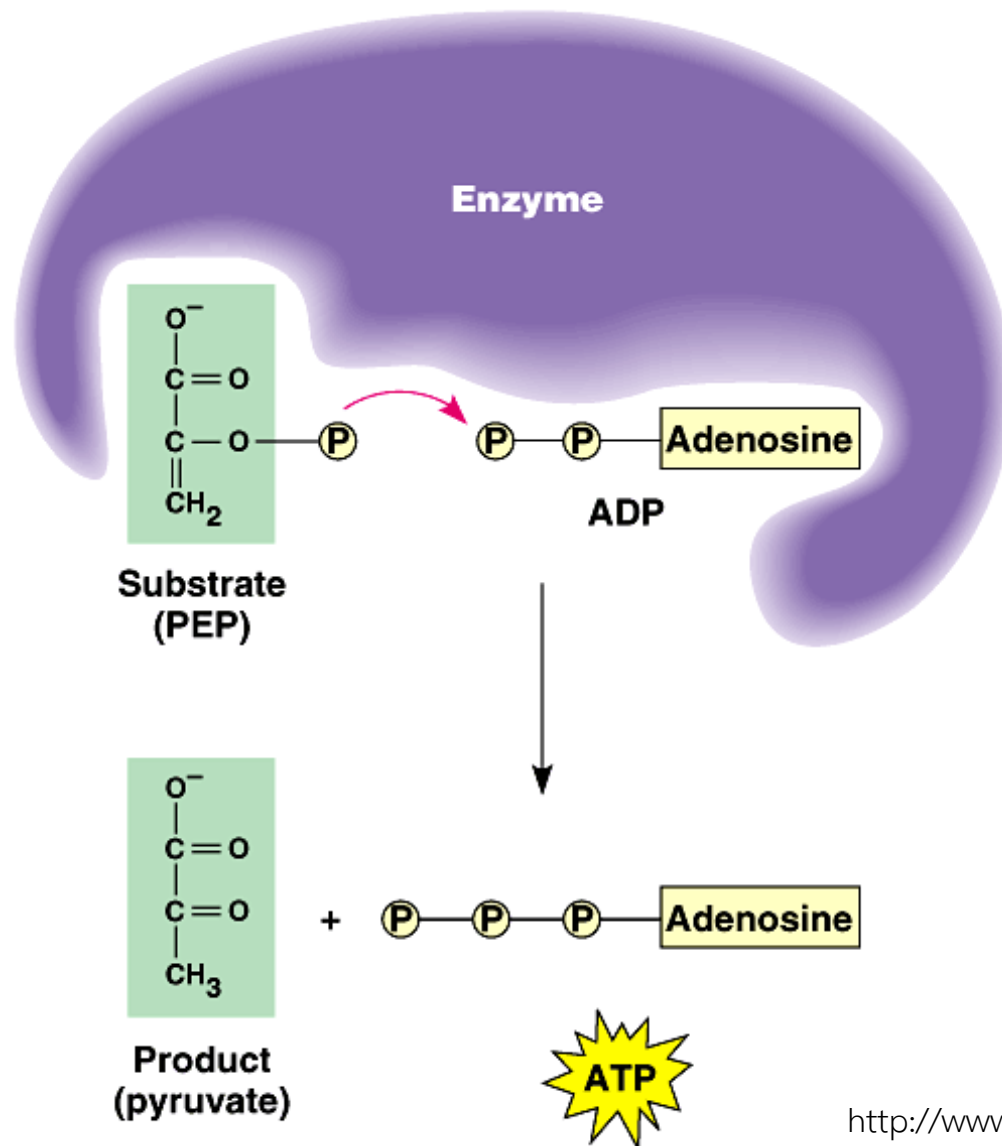
เกิดการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP
เพื่อสร้าง ATP

สรุป: การหายใจระดับเซลล์



กลูโคสจำนวน 1 โมเลกุล ทำให้เกิดการสร้าง ATP ทั้งหมด 36 ATP

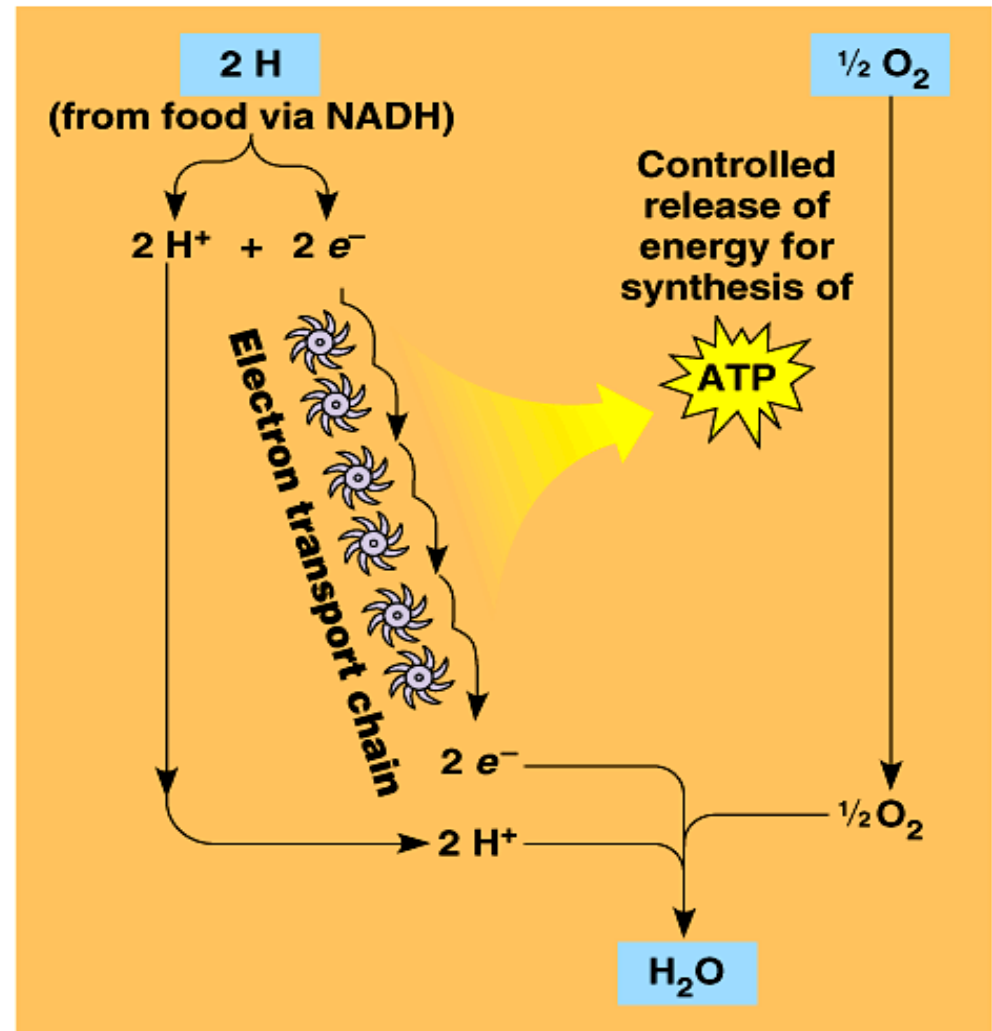
Substrate level phosphorylation



ATP ถูกสร้างโดยการ
ถ่ายทอดหมู่ฟอสเฟต (P) จาก
สารที่มีพันธะเคมีพลังงานสูง
กว่ามายัง ADP โดยตรง โดย
มี enzyme เป็นตัวกระตุ้น

Oxidative phosphorylation

- การสร้าง ATP จากการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (e^-) ผ่านสารนำ e^- เช่น NADH, $FADH_2$ ใน electron transport chain ที่ mitochondria
- มี O_2 เป็นตัวรับ e^- ตัวสุดท้าย

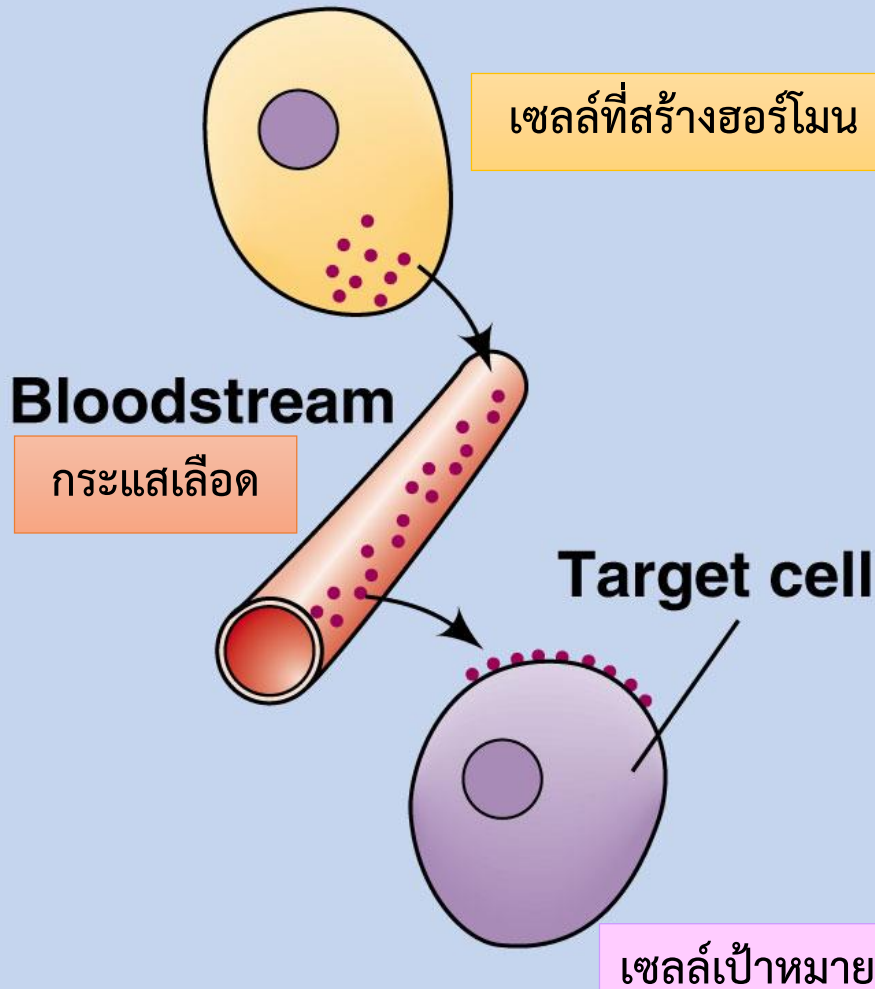


(b) Cellular respiration

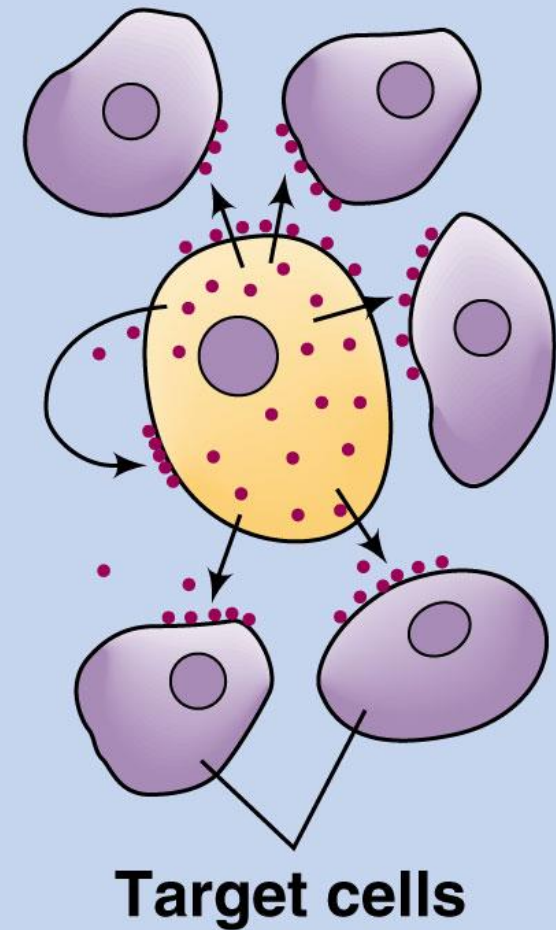
การสื่อสารระหว่างเซลล์ (cell-cell communication)

- กลไกที่เซลล์ใช้ในการสื่อสารกันมีส่วนสำคัญในการกำหนดหน้าที่และการทำงานของเซลล์
- กลไกดังกล่าวนี้ทำงานผ่านตัวรับที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ (surface receptors)
- การส่งสัญญาณใช้โมเลกุลจำเพาะเรียกว่า ลิแกนด์ (ligands) เช่น ฮอร์โมน (hormones) ที่ผลิตจากต่อมไร้ท่อ (endocrine glands)
- ลิแกนด์เคลื่อนที่ไปยังเซลล์เป้าหมาย (target cell) ผ่านทางกระแสเลือดแล้วเข้าจับกับตัวรับบนเซลล์เป็นการส่งสัญญาณกระตุ้นให้เซลล์แบ่งตัว หรือ สร้างสารที่จำเป็นบางอย่างออกมา

Cell-Cell communication



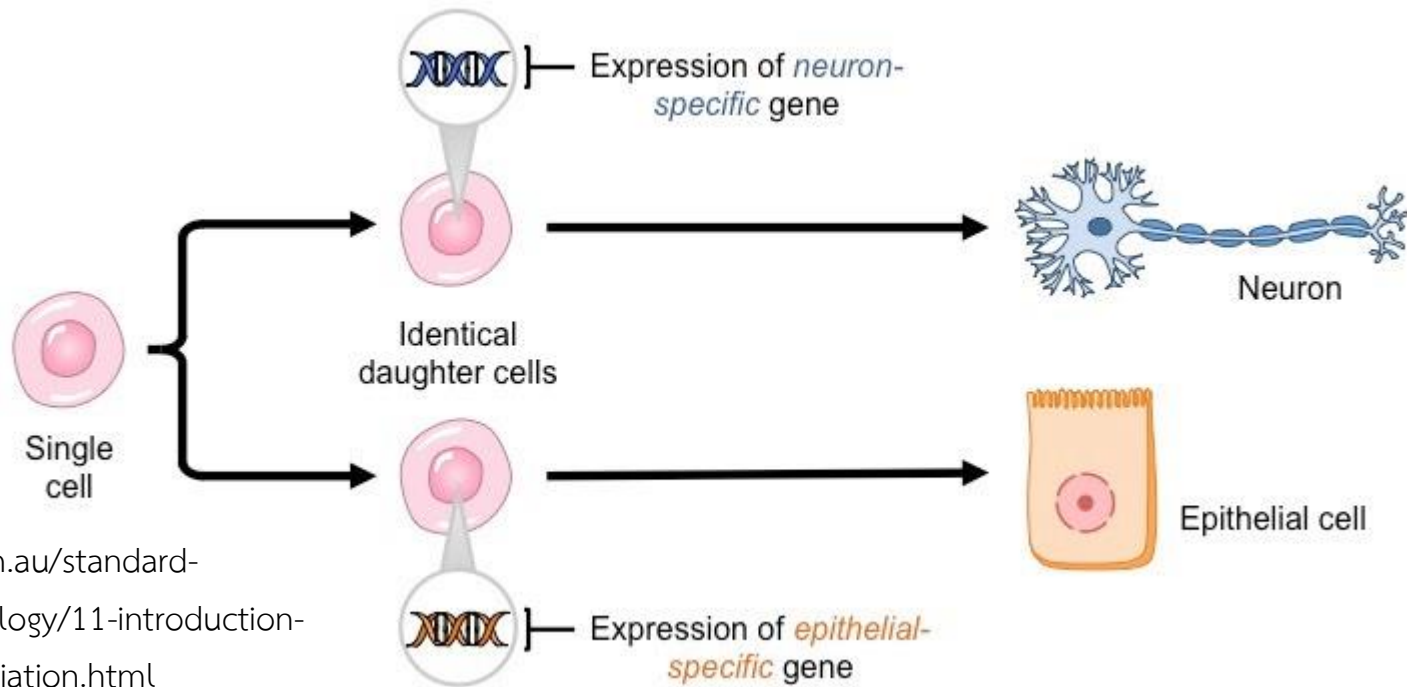
Hormones



Local mediators

การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ (cellular reproduction)

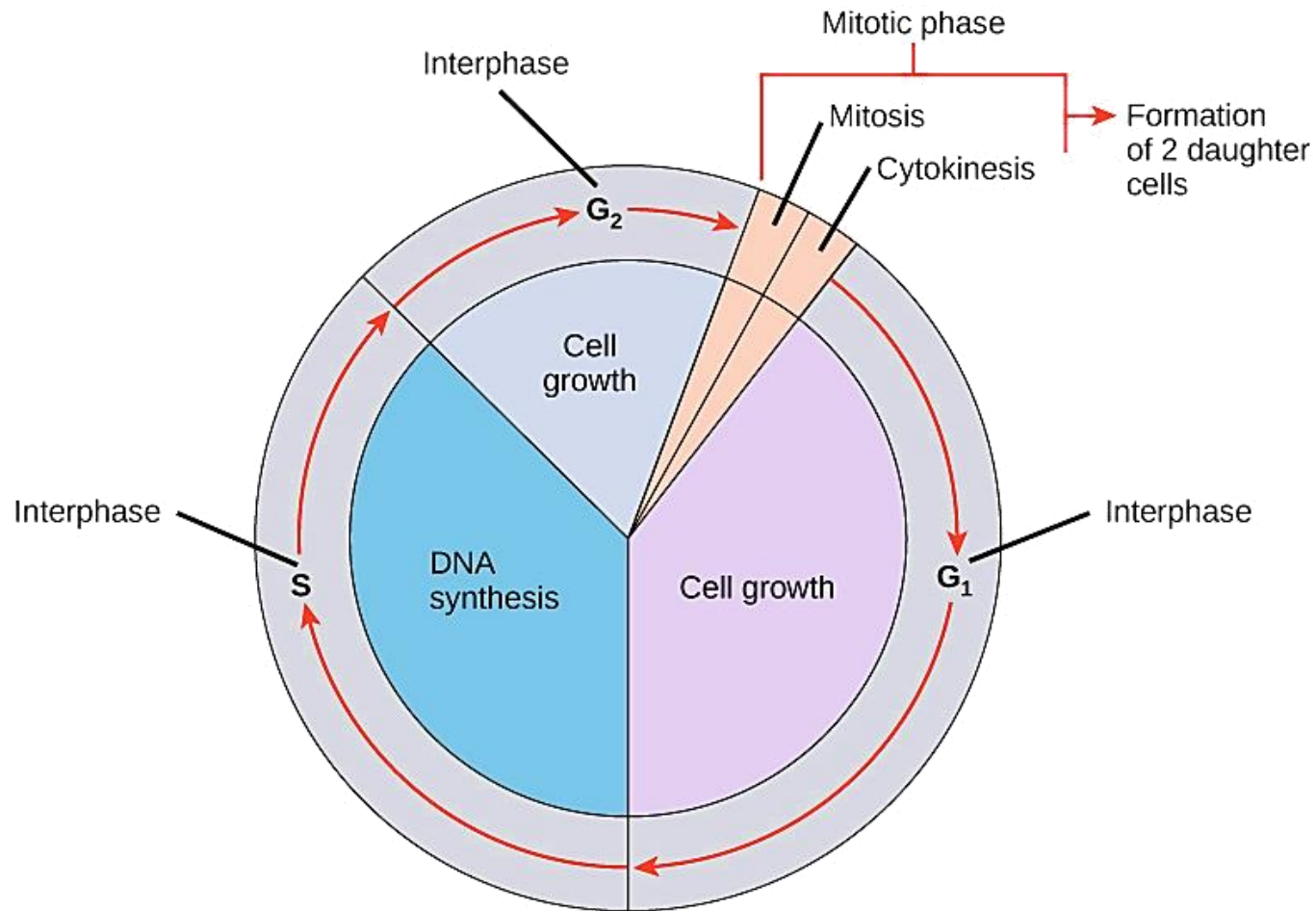
- การสืบพันธุ์ระดับเซลล์ หมายถึงการแบ่งเซลล์ (cell division) และการพัฒนาเซลล์ไปทำหน้าที่เฉพาะ (cellular differentiation) โดยกระบวนการถูกควบคุมด้วยยีน
- การแบ่งเซลล์แต่ละประเภทในร่างกายจะมีช่วงเวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์และการได้รับสัญญาณกระตุ้นให้แบ่งเซลล์จากฮอร์โมน



วัฏจักรของเซลล์ (cell cycle)

- การสร้างเซลล์ใหม่จากการแบ่งเซลล์ที่มีอยู่ก่อนนั้นทำให้ร่างกายมนุษย์เกิดการเจริญเติบโต
- ค่าของวัฏจักรเซลล์สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนเซลล์เป็น 2 เท่า
- การแบ่งเซลล์ที่ทำให้เกิดผลดังกล่าวเป็นเหตุการณ์ซ้ำ ๆ ที่เรียกว่าวัฏจักรของเซลล์ ประกอบด้วย 2 ระยะ คือ
 - ☐ อินเตอร์เฟส (interphase) และ ไมโทติกเฟส (mitotic phase)
 - ☐ การแบ่งเซลล์ (cell division) ประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ การแบ่งนิวเคลียส (karyokinesis) และ การแบ่งไซโทพลาซึม (cytokinesis)

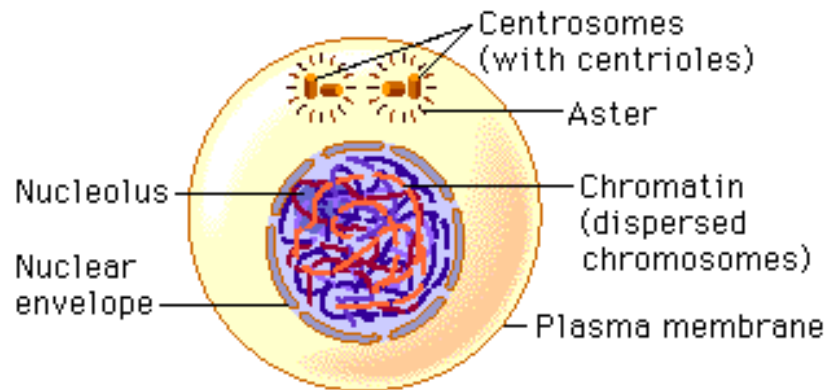
วัฏจักรของเซลล์ (cell cycle)



interphase -----> mitotic phase

อินเทอร์เฟส (interphase)

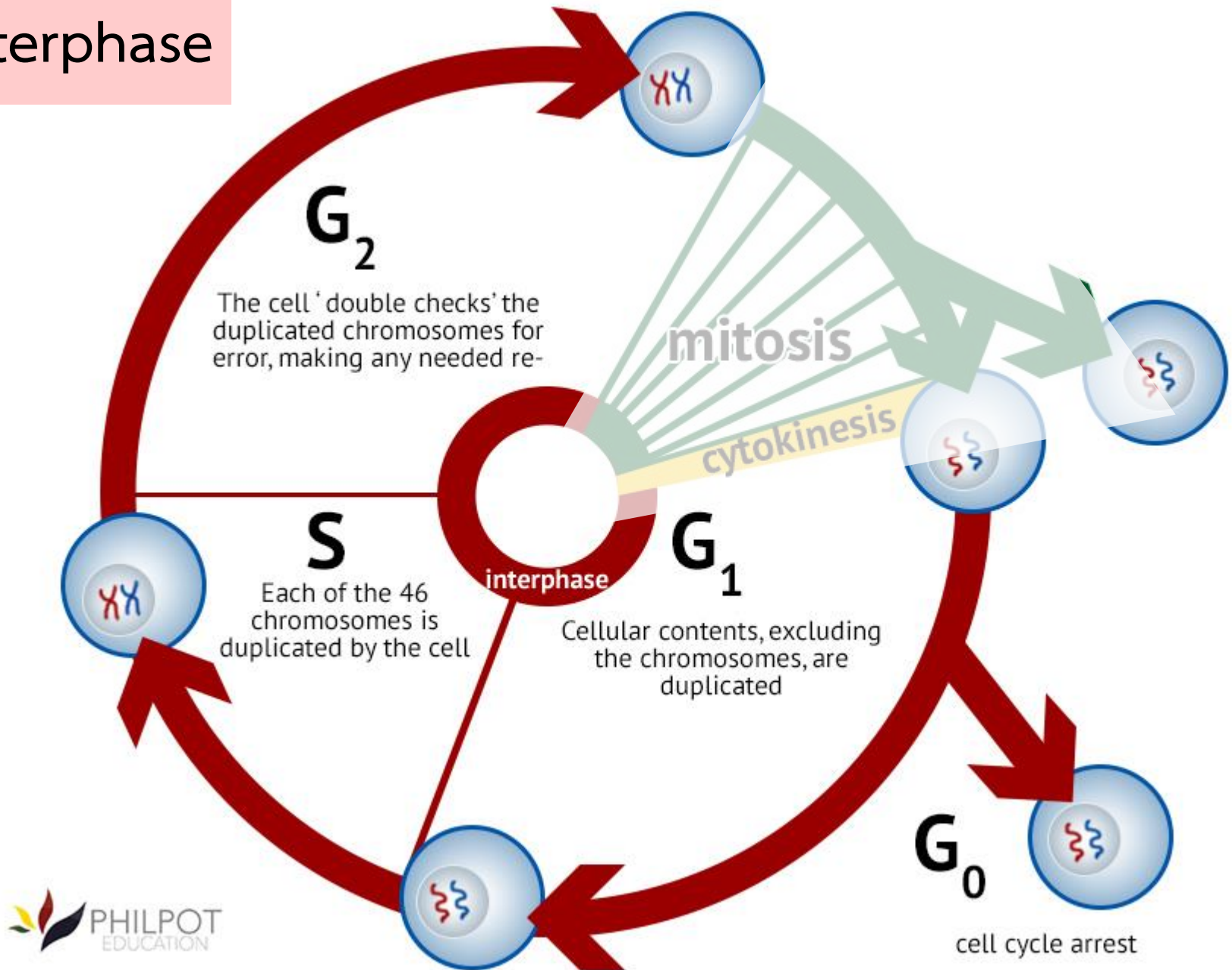
- เป็นระยะของการแบ่งเซลล์ที่มีช่วงเวลายาวนานที่สุดในหนึ่งรอบวัฏจักรของเซลล์
- ระยะนี้เกิดการสร้างโมเลกุลที่จำเป็นต่อการแบ่งเซลล์ เช่น การสังเคราะห์กรดอะมิโน การสร้างโปรตีนฮีสโตน ผลิตเอนไซม์ และมีการเพิ่มจำนวนของดีเอ็นเอ



อินเทอร์เฟสสามารถแบ่งแยกย่อยออกเป็น 3 ระยะ

- 1) G1 phase ระยะนี้เป็นช่วงที่เซลล์มีขนาดเล็กกว่าระยะอื่นและเกิดการสร้าง mRNA เพื่อสังเคราะห์โปรตีนและออร์แกเนลที่จำเป็นต่อการแบ่งเซลล์
- 2) S-phase อักษรย่อ “S” มาจากคำว่า “synthesis” แปลว่าการสังเคราะห์ นั่นหมายความว่าระยะนี้จะมีการสังเคราะห์ดีเอ็นเอเพื่อเพิ่มจำนวนชุดโครโมโซมให้เป็น 2 เท่า ซึ่งขนาดของเซลล์จะใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง
- 3) G2 phase เป็นระยะก่อนที่จะเข้าสู่ระยะที่เซลล์มีการแบ่งตัว เซลล์จะเจริญเติบโตอย่างช้า ๆ เพื่อเตรียมพร้อมเข้าสู่ ไมโทติกเฟส

Interphase



ไมโทติกเฟส (mitotic phase)

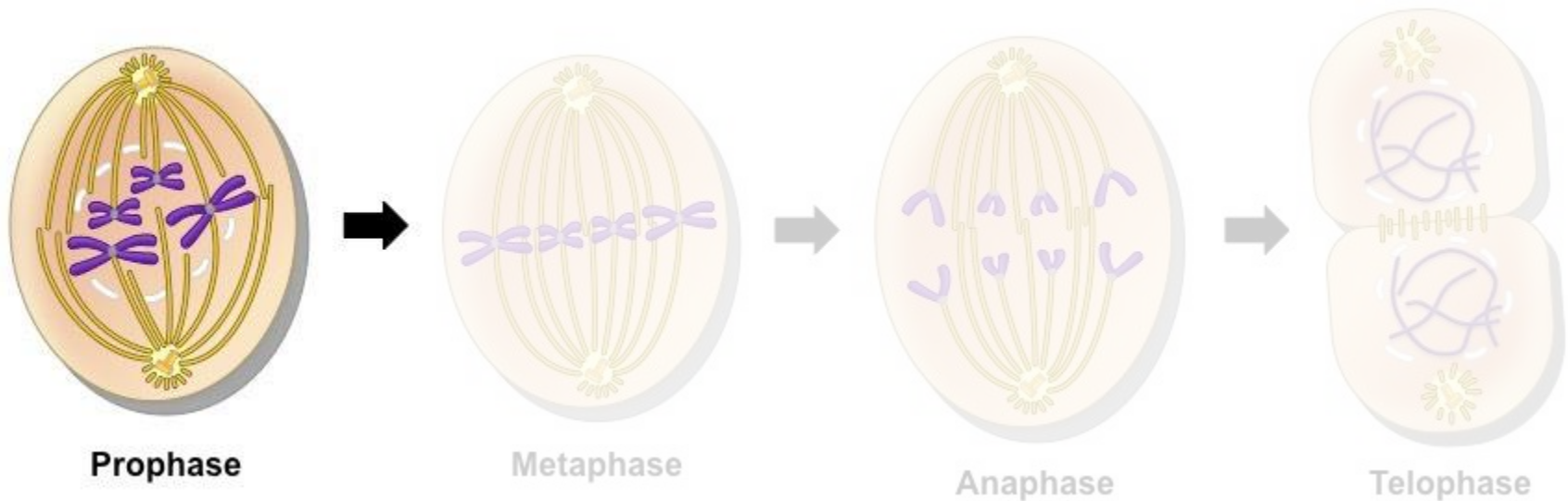
- ระยะเวลาที่มีการแบ่งนิวเคลียส และ ไซโทพลาสซึม ประกอบด้วยระยะย่อย 2 ระยะ ดังนี้

1) ไมโทซิส (mitosis) ระยะนี้ดีเอ็นเอหรือโครโมโซมที่เพิ่มสองเท่าในระยะอินเตอร์เฟสจะแยกออกเป็น 2 ชุด ได้สองนิวเคลียสในหนึ่งเซลล์

2) การแบ่งไซโทพลาสซึม (cytokinesis) เป็นการแบ่งไซโทพลาสซึมระยะที่เกิดหลังจากการแบ่งนิวเคลียส โดยจะเกิดการคอดเข้ามาของเยื่อหุ้มเซลล์จนสุดท้ายจะได้เซลล์ลูก 2 เซลล์ (daughter cells)

ไมโทซิส (mitosis): Prophase

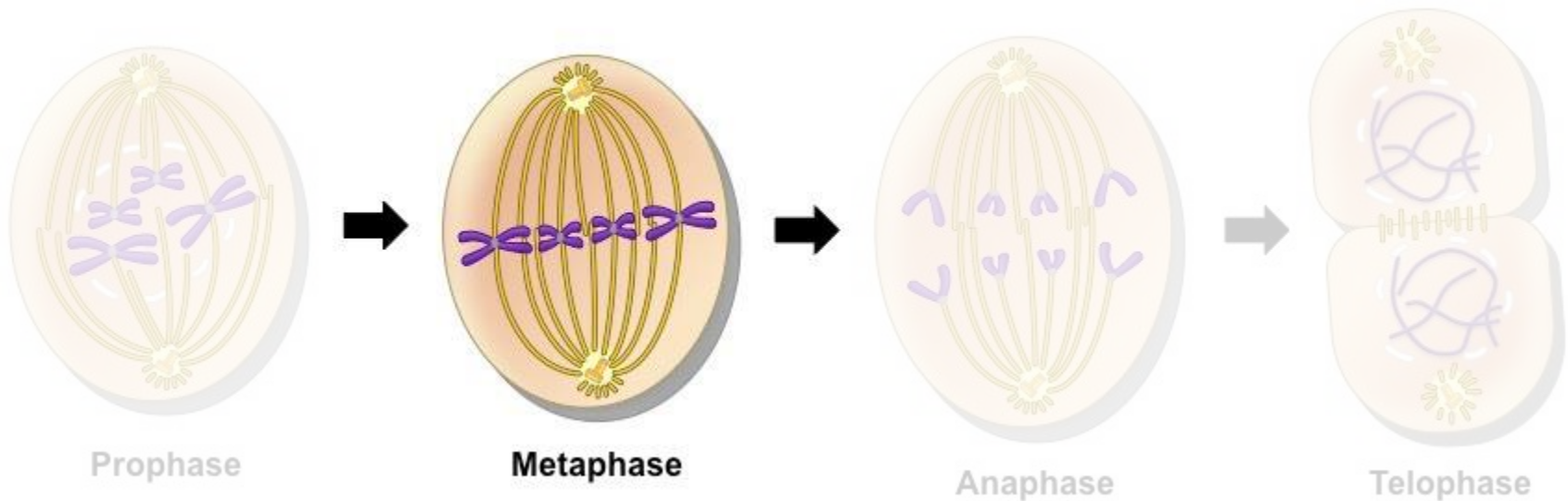
<http://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-1-cell-biology/16-cell-division/mitosis.html>



Prophase เป็นระยะที่มีการหดสั้นลงของ chromatin พันทับกันหนาขึ้น โดยแต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 2 chromatid ในระยะนี้มีการสร้าง ribosomal RNA บริเวณของ nucleolus รวมถึงพบการสลายตัวของ nuclear membrane การเคลื่อนที่ของ centriole จะไปยังขั้วเซลล์ทั้งสองด้านและอยู่เป็นคู่ จากนั้นเริ่มมีการสร้าง spindle fiber ที่ยึดกับโครโมโซมบริเวณ centromere

ไมโทซิส (mitosis): Metaphase

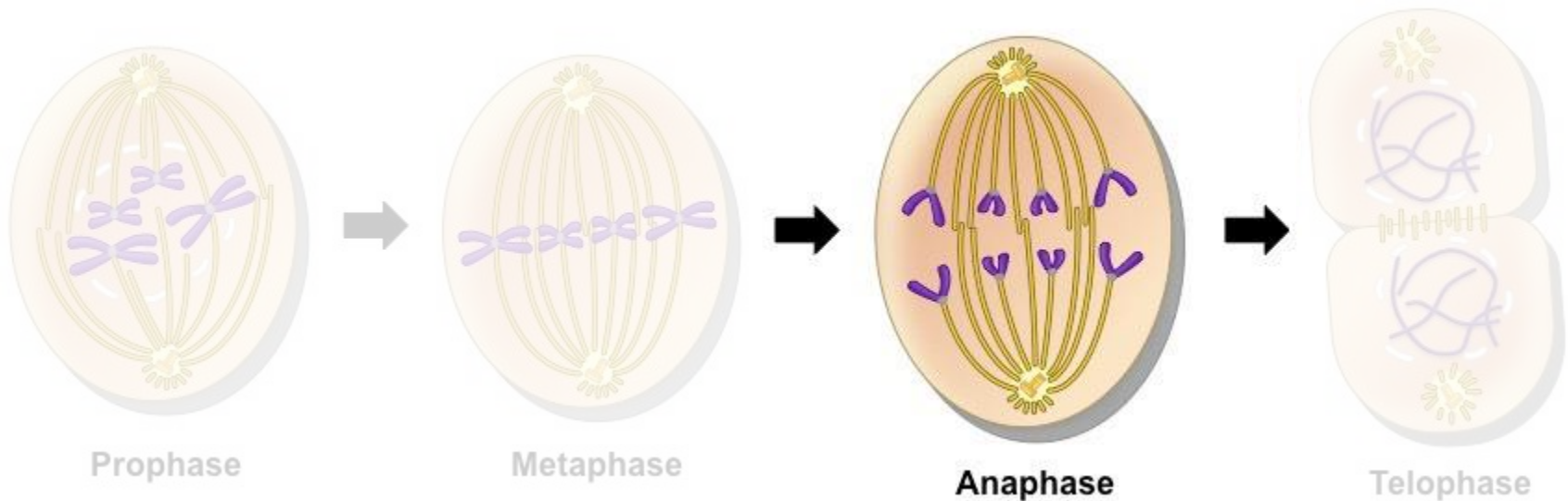
<http://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-1-cell-biology/16-cell-division/mitosis.html>



Metaphase เป็นระยะที่โครโมโซมถูกดึงมาเรียงกันอยู่ตรงกลางเซลล์ เรียกว่า equatorial plate หรือ metaphase plate ในระยะนี้จะสังเกตเห็นโครโมโซมชัดเจนมากที่สุดเมื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ระยะ metaphase จึงเหมาะสมต่อการศึกษารูปร่างของโครโมโซม

ไมโทซิส (mitosis): Anaphase

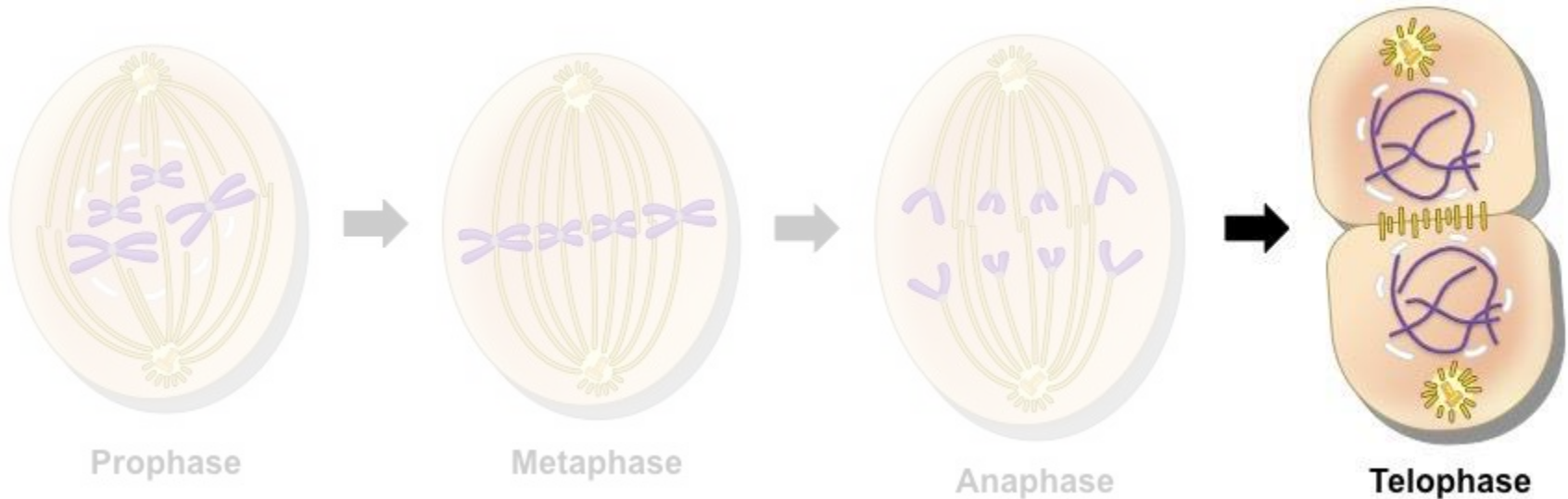
<http://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-1-cell-biology/16-cell-division/mitosis.html>



Anaphase เป็นระยะที่ chromatid ของโครโมโซมเริ่มแยกจากกันตรงบริเวณ centromere จากการทำงานของ spindle fiber ทำให้ chromatid เคลื่อนที่ไปยังขั้วเซลล์ ในส่วนของจำนวนโครโมโซมที่แยกไปยังแต่ละขั้วมีจำนวนชุดเป็น $2n$ เท่ากัน โดย 1 chromatid เทียบเท่า 1 chromosome

ไมโทซิส (mitosis): Telophase

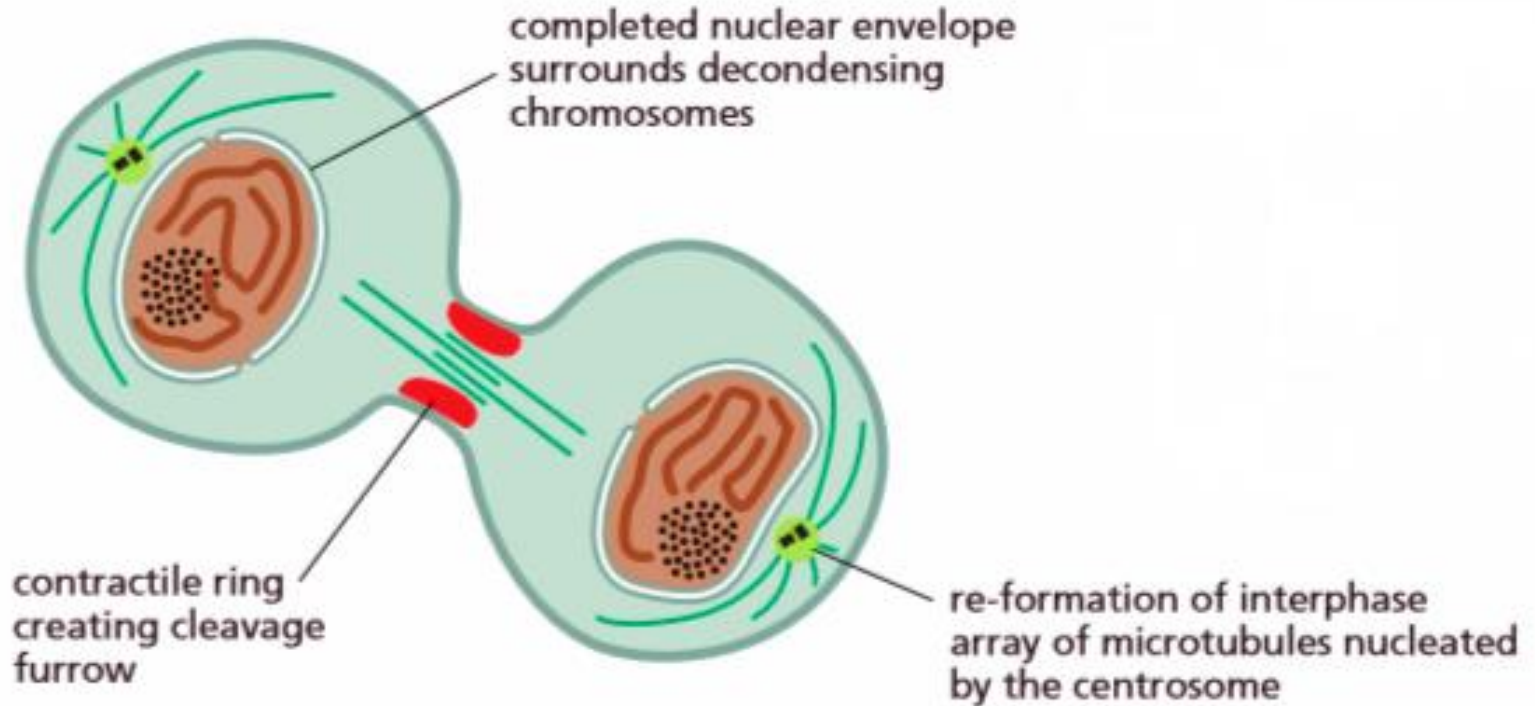
<http://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-1-cell-biology/16-cell-division/mitosis.html>



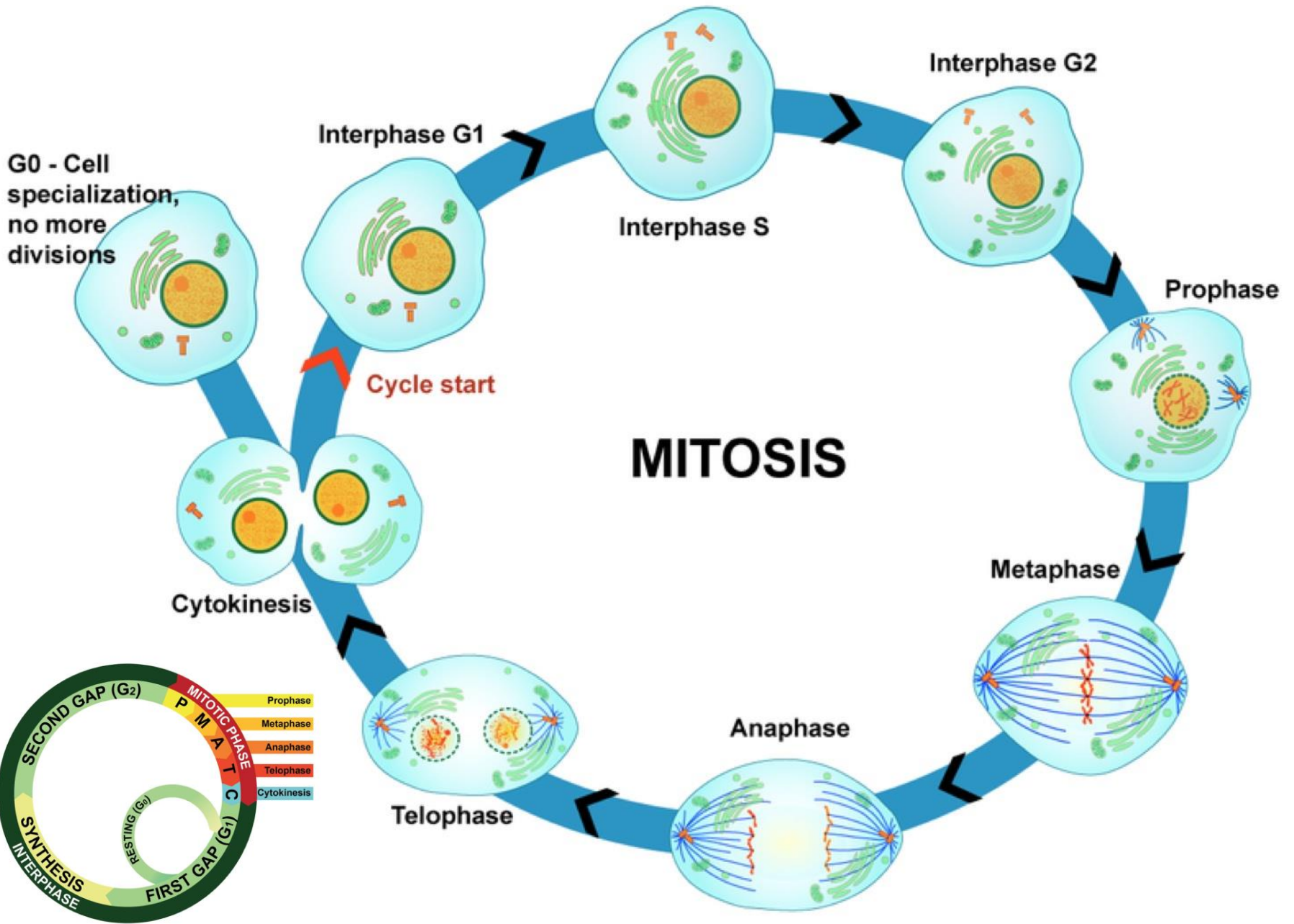
Telophase เป็นระยะที่โครโมโซมที่อัดตัวแน่นเริ่มคลายตัวยืดยาวออกเป็น chromatin เริ่มการสลายตัวของ spindle fiber มีการสร้าง nucleolus รวมถึง nuclear membrane เพื่อล้อมรอบสารพันธุกรรมของเซลล์

การแบ่งไซโทพลาซึม (cytokinesis)

<https://www.quora.com/How-does-cytokinesis-proceed-in-a-plant-cell-and-how-is-it-different-from-mitosis>



Cytokinesis เป็นระยะที่เกิดการคอดตัวของเซลล์บริเวณที่เคยเป็น metaphase plate ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า cleavage ในเซลล์สัตว์จะสังเกตการแบ่งไซโทพลาซึมจาก cleavage furrow ที่มีผลมาจากการทำงานของ contractile ring ประกอบด้วยเส้นใย actin และ myosin การคอดลงของเซลล์ทำให้ได้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์



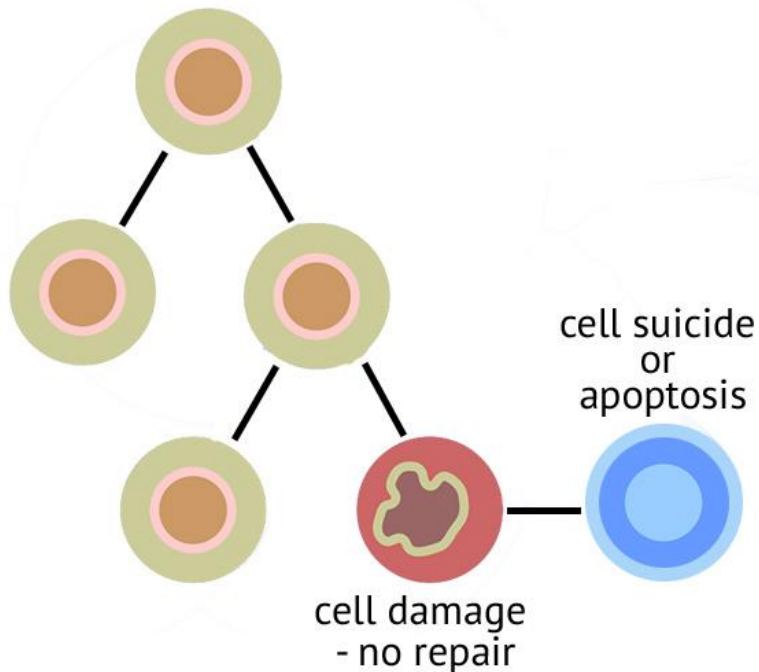
- วัฏจักรของเซลล์หนึ่งรอบใช้เวลาประมาณ 18–24 ชั่วโมง สำหรับเซลล์ที่มีการเจริญเติบโตในร่างกาย และ
- ระยะ S-phase จะใช้เวลา 7–8 ชั่วโมง
- การเกิดไมโทซิสและการแบ่งไซโทพลาซึมจะใช้เวลาเพียง 30–45 นาที
- นอกจากเซลล์ในร่างกายบางส่วนมีการแบ่งเซลล์ยังมีเซลล์หยุดการเจริญเติบโตหรือหยุดการแบ่งเซลล์เรียกระยะนี้ว่า G_0
- เซลล์ส่วนใหญ่ของร่างกายจะอยู่ในระยะ G_0 และเป็นช่วงที่เซลล์มีความสมบูรณ์มากสามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ได้เป็นอย่างดี
- แต่เซลล์บางบริเวณในร่างกายสามารถเข้าสู่ระยะ G_1 ได้เพื่อเริ่มต้นการแบ่งเซลล์ เช่น เซลล์บริเวณผิวหนังเมื่อได้รับความเสียหายจากการบาดเจ็บก็จะเกิดการแบ่งเซลล์มาทดแทนเซลล์ที่สูญเสียไป
- อย่างไรก็ตามเซลล์บางชนิด เช่น เซลล์ประสาทเมื่อเจริญเต็มที่แล้วหากเกิดความเสียหายก็จะไม่มีการแบ่งเซลล์ใหม่มาทดแทน

เซลล์มะเร็ง (cancer cell)

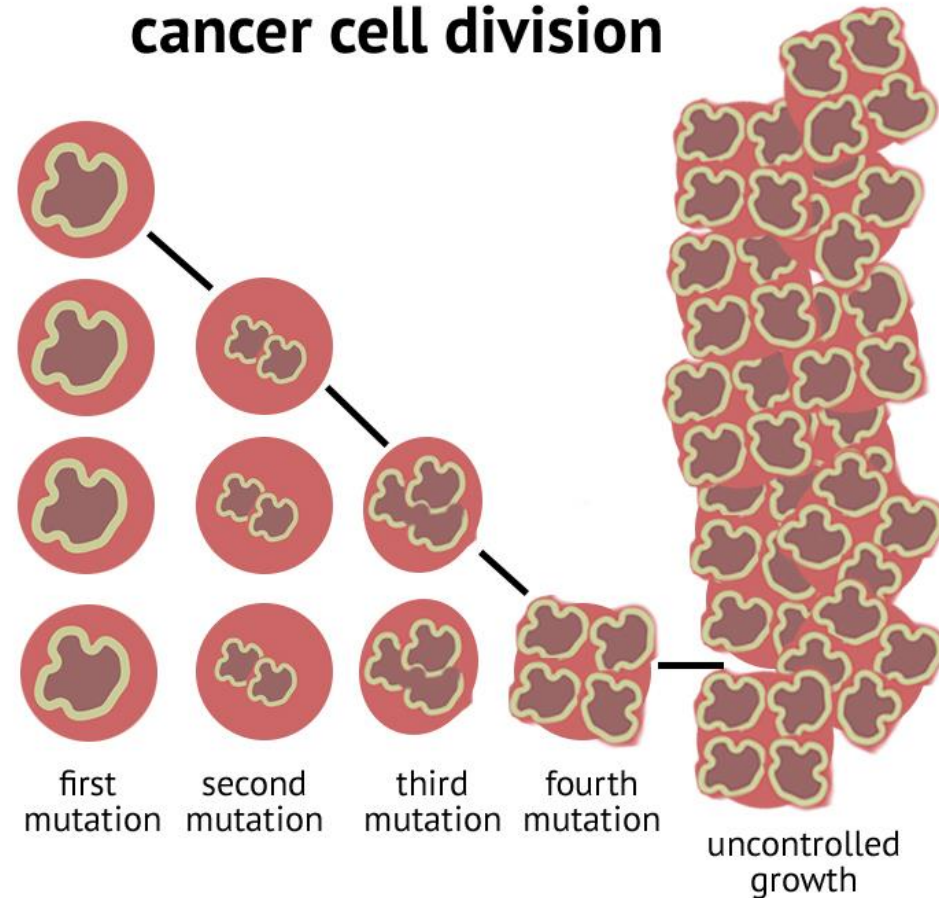
- การแบ่งเซลล์และวัฏจักรของเซลล์ไม่มีที่สิ้นสุด ไม่สามารถควบคุมการแบ่งเซลล์ได้
- เกิดจากความผิดปกติของยีนที่เป็นผลมาจากการที่ร่างกายได้รับสารก่อมะเร็ง (carcinogens) เช่น
 - การสัมผัสแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) เป็นเวลานาน
 - การสูบบุหรี่
 - การรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนสารอะฟลาทอกซิน (aflatoxin)
 - การติดเชื้อไวรัสบางชนิด เช่น การติดเชื้อ HPV ที่ทำให้เกิดมะเร็งปากมดลูก (cervical cancer) การติดเชื้อไวรัสตับอักเสบบี (HBV) ที่เป็นสาเหตุการเกิดมะเร็งตับ (liver cancer)

การสูญเสียการควบคุมการแบ่งเซลล์ เป็นสาเหตุการเกิดเซลล์มะเร็ง

normal cell division



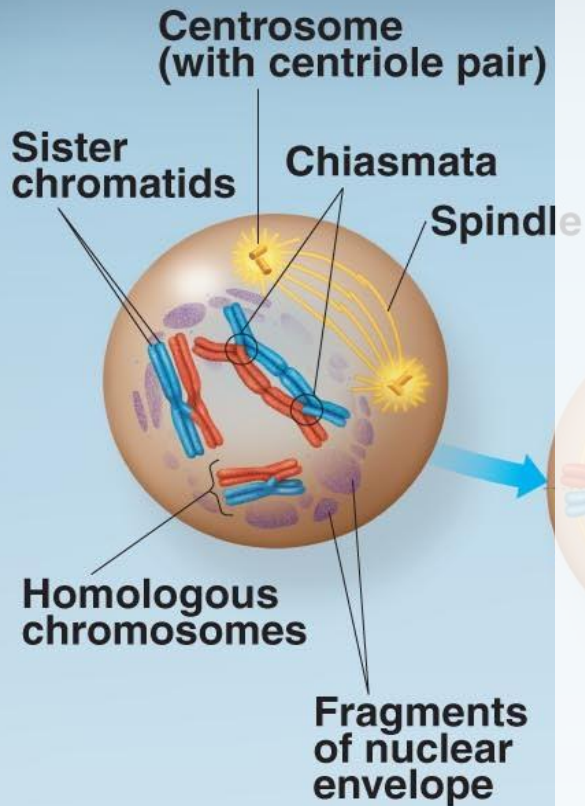
cancer cell division



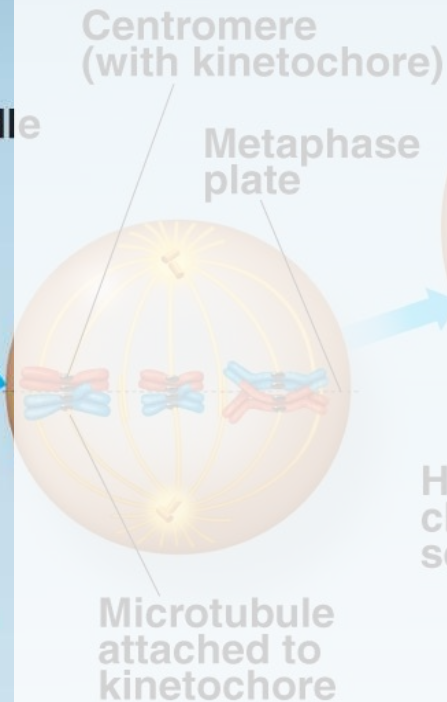
ไมโอซิส (meiosis)

- เป็นการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ทั้งสเปิร์มและไข่ โดยการแบ่งเซลล์ในลักษณะนี้จะเกิดไมโอซิส 2 ระยะ คือ
 - ไมโอซิส I (meiosis I) ประกอบด้วย
 - prophase I, metaphase I, anaphase I, telophase I
 - ไมโอซิส II (meiosis II) ประกอบด้วย
 - prophase II, metaphase II, anaphase II, telophase II

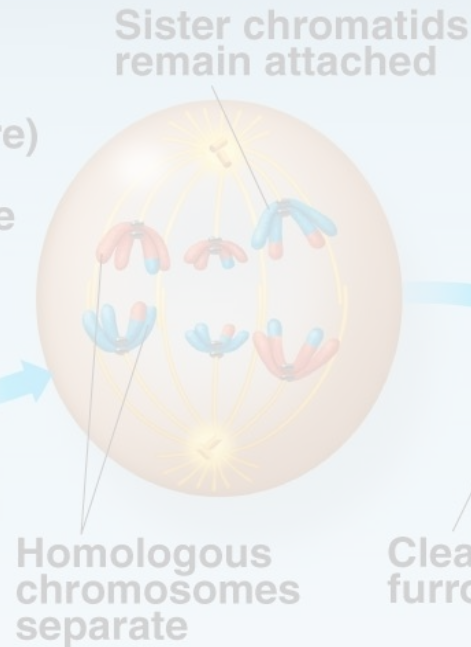
Prophase I



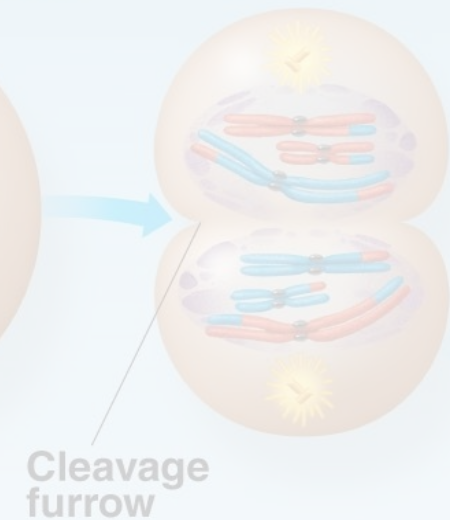
Metaphase I



Anaphase I



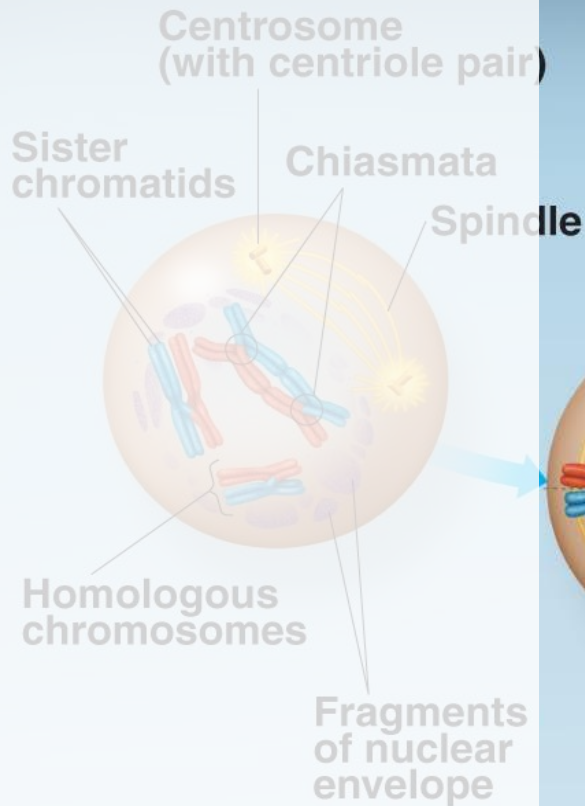
Telophase I and Cytokinesis



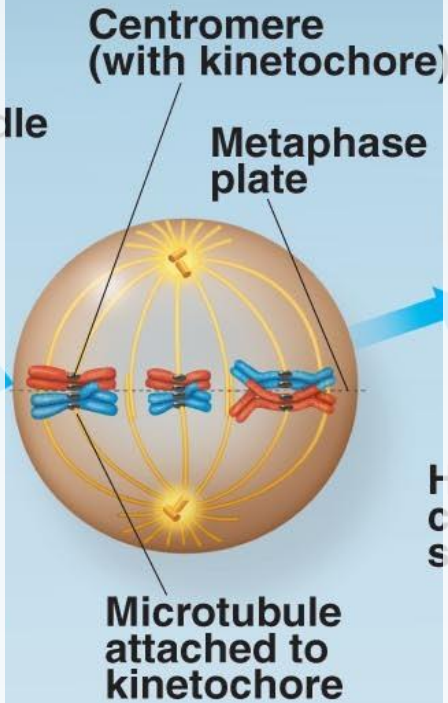
Meiosis I

Prophase I เป็นระยะที่มีการจำลองดีเอ็นเอได้โครโมโซมที่ประกอบด้วย 2 chromatid โดยโครโมโซมคู่เหมือนจะเข้าคู่กันซึ่งมีตำแหน่ง centromere ตรงกัน ทำให้เห็นเป็น chromatid 4 เส้น (tetrad chromatid) และเกิดการไขว้ทับกันเรียกว่า chiasma ที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของ chromatid โดยกระบวนการ crossing over

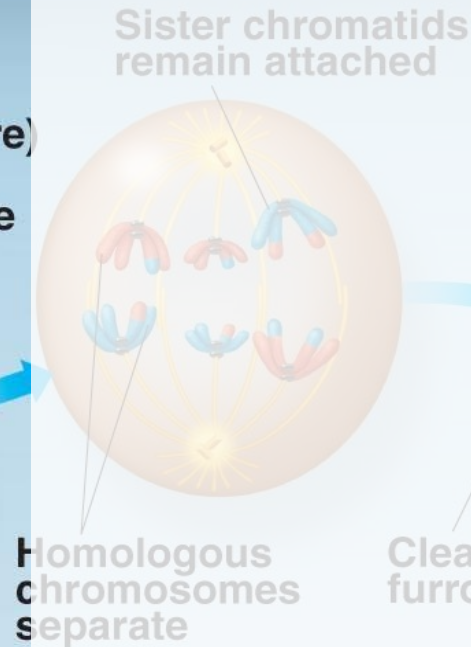
Prophase I



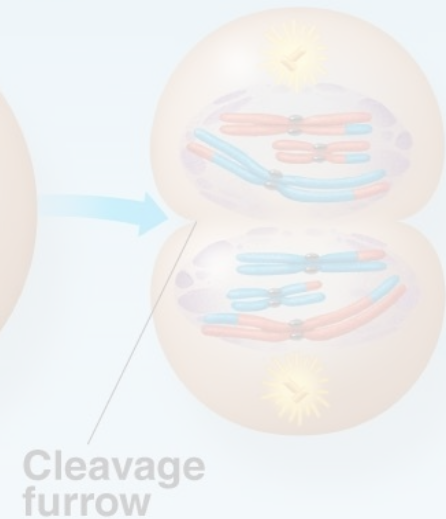
Metaphase I



Anaphase I



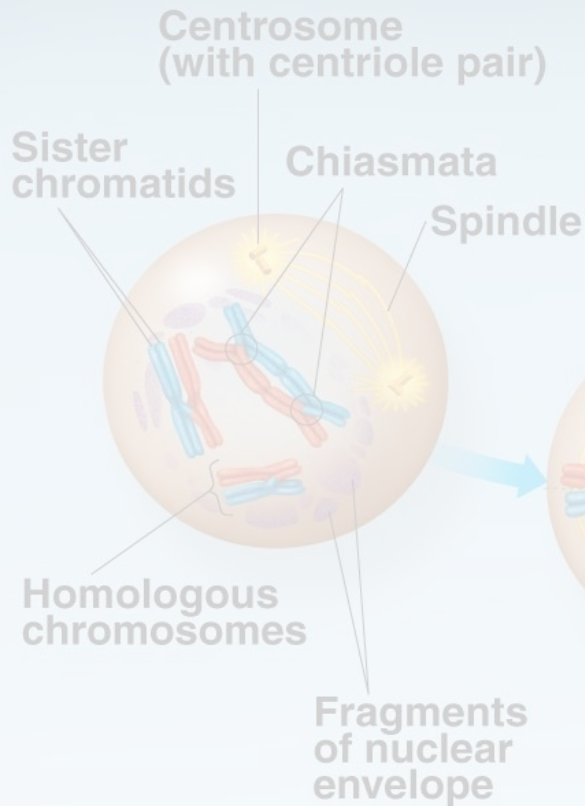
Telophase I and Cytokinesis



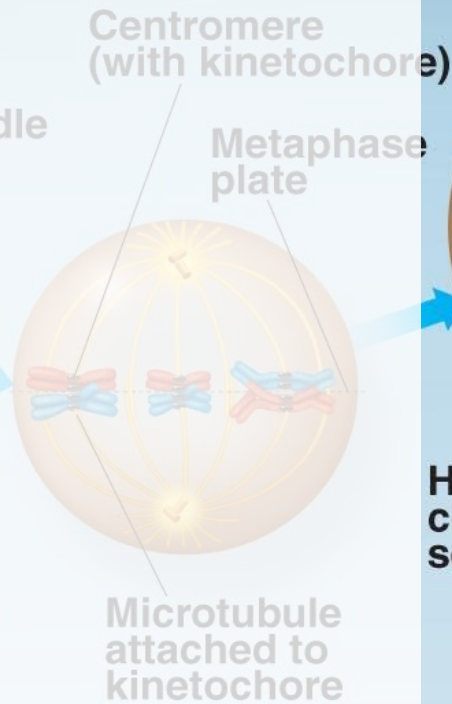
Meiosis I

Metaphase I เป็นระยะที่แต่ละโครโมโซมมาเรียงกันแบบ metaphase plate โดยเป็นการเรียงตัวของโครโมโซมคู่เหมือน มีการสร้าง spindle fiber จับตรงด้านใดด้านหนึ่งบริเวณ centromere ของโครโมโซมคู่เหมือน

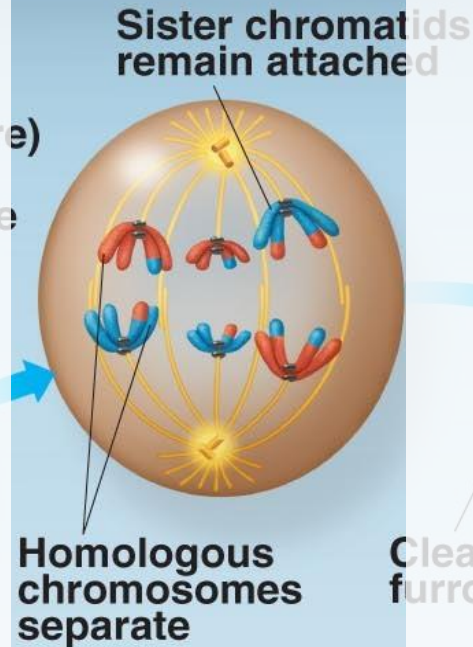
Prophase I



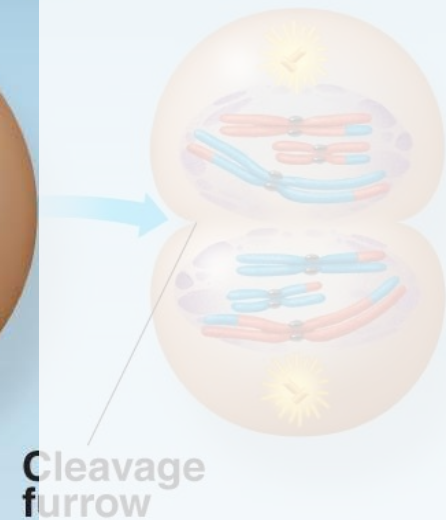
Metaphase I



Anaphase I



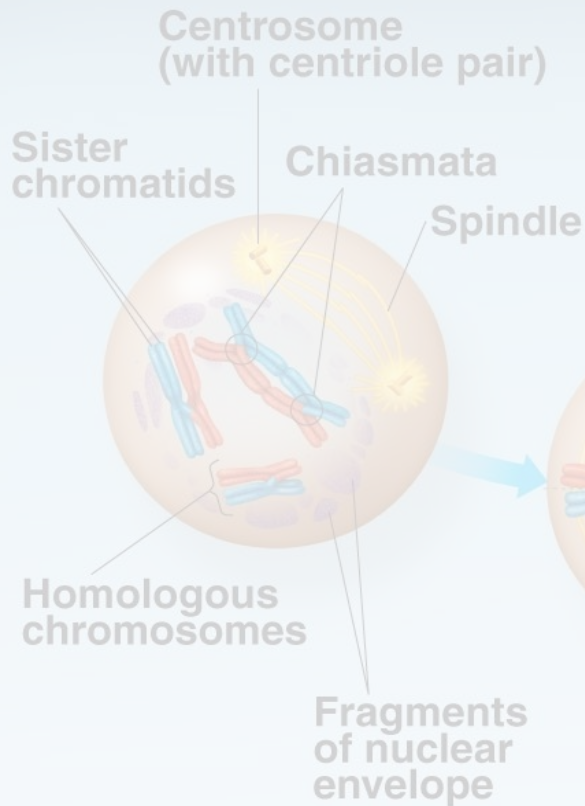
Telophase I and Cytokinesis



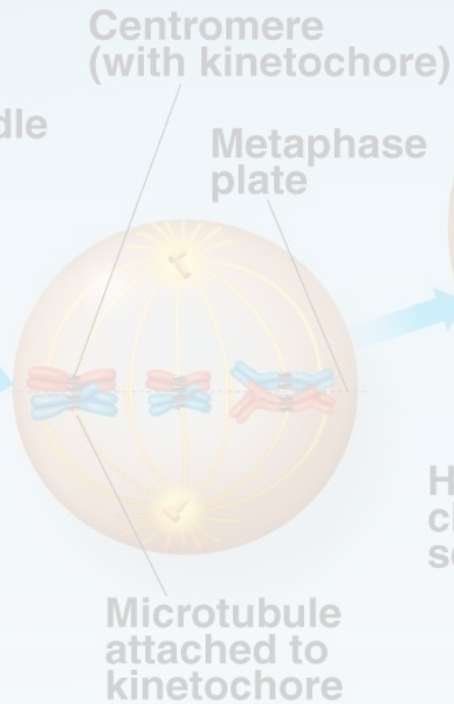
Meiosis I

Anaphase I เป็นระยะที่โครโมโซมคู่เหมือนแยกออกจากกันไปยังขั้วเซลล์ด้วย spindle fiber ในระยะนี้ยังไม่มี การแยกของ chromatid

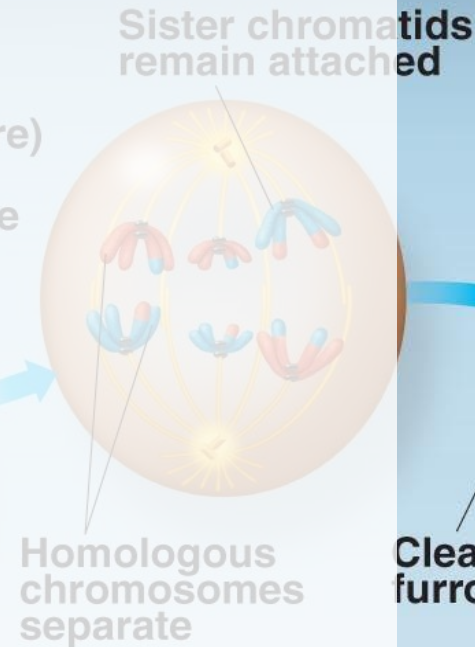
Prophase I



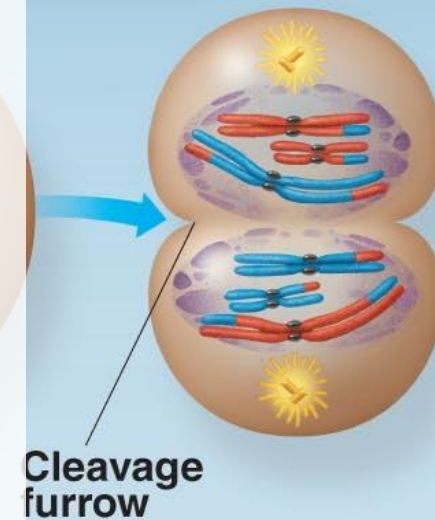
Metaphase I



Anaphase I



Telophase I and Cytokinesis



Meiosis I

Telophase I และ cytokinesis เป็นระยะที่โครโมโซมคู่เหมือนเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ขั้วเซลล์ และเริ่มกระบวนการแบ่งไซโทพลาซึม ได้เซลล์ลูก 2 เซลล์ ($1n$: haploid cell)

Prophase II

Metaphase II

Anaphase II

Telophase II and
Cytokinesis

Meiosis II

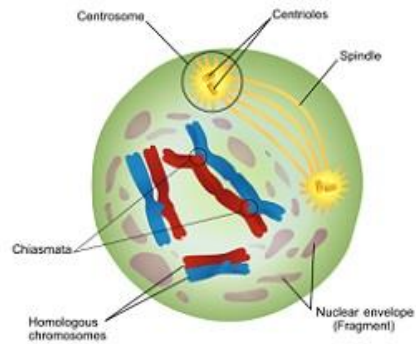
Sister chromatids
separate

Haploid daughter cells
forming

<https://byjus.com/biology/meiosis-ll-cell-division/>

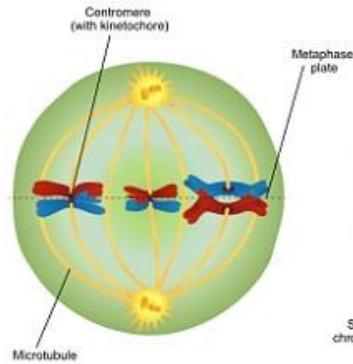
Meiosis II เป็นกระบวนการแบ่งเซลล์ที่มีขั้นตอนคล้ายกันกับ mitosis โดยที่เป็นการแยก chromatid ออกจากกันได้เป็นเซลล์ลูก 2 เซลล์ ($1n$: haploid cell) หลังจากนั้นเซลล์ที่ได้จะพัฒนาไปเป็นเซลล์สืบพันธุ์ต่อไป

Prophase I



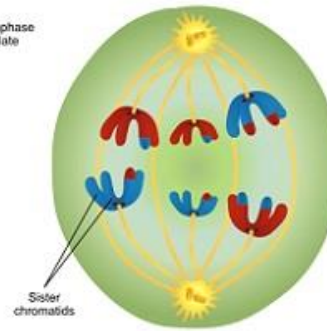
The chromosomes condense, and the nuclear envelope breaks down. Crossing-over occurs.

Metaphase I



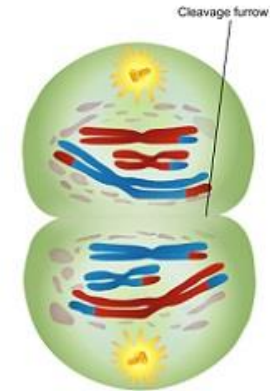
Pairs of homologous chromosomes move to the equator of the cell.

Anaphase I



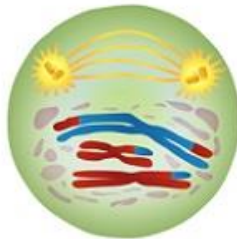
Homologous chromosomes move to the opposite poles of the cell.

Telophase I & cytokinesis



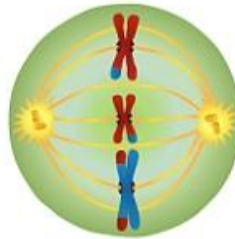
Chromosomes gather at the poles of the cells. The cytoplasm divides.

Prophase II



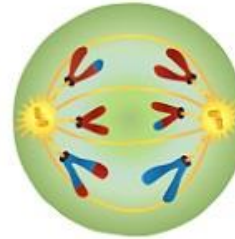
A new spindle forms around the chromosomes.

Metaphase II



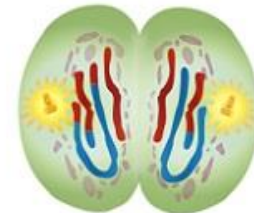
Metaphase II chromosomes line up at the equator.

Anaphase II



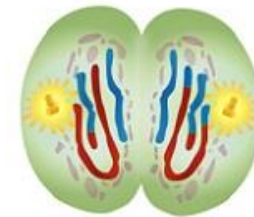
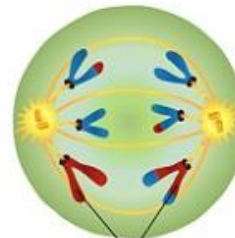
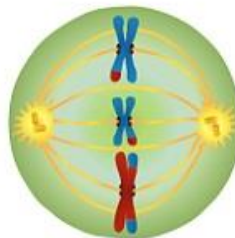
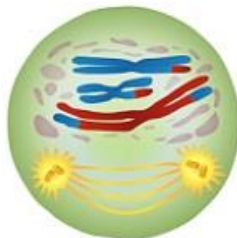
Centromeres divide. Chromatids move to the opposite poles of the cells.

Telophase II & cytokinesis

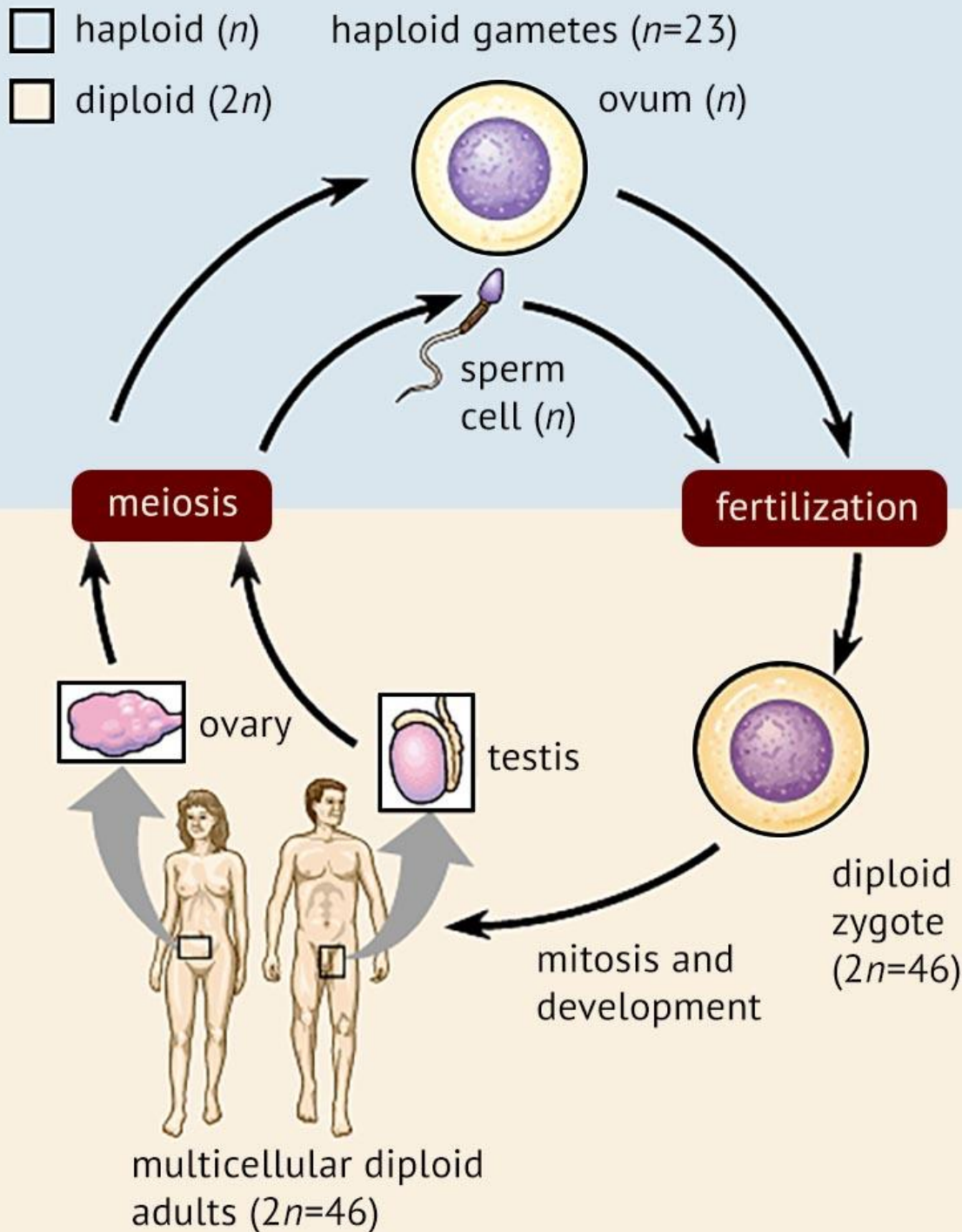


A nuclear envelope forms around each set of chromosomes. The cytoplasm divides.

ขั้นตอนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

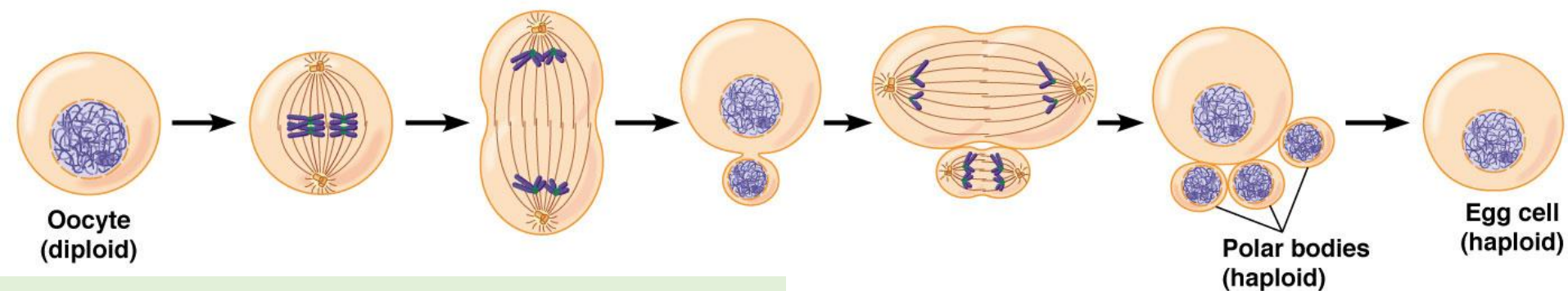
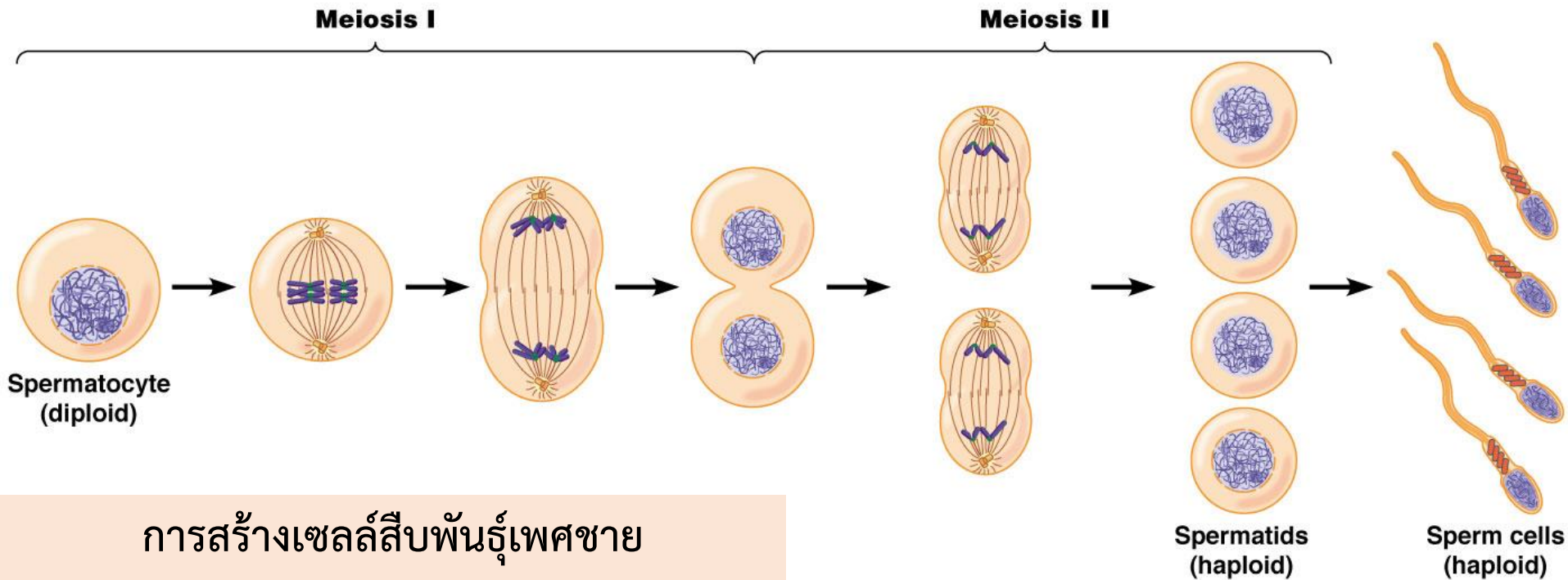


Sister chromatids



เมื่อกระบวนการแบ่งเซลล์เสร็จสิ้นจะได้เซลล์ที่จะพัฒนาไปเป็นเซลล์สืบพันธุ์จำนวน 4 เซลล์ เหตุผลที่การแบ่งเซลล์สืบพันธุ์มีการลดพันธุกรรมเป็น 1 ชุด เนื่องจากว่ามนุษย์มีโครโมโซม 2 ชุด ที่เข้าคู่กันอยู่ หรือ 46 แท่ง โดยได้มาจากสเปิร์มของพ่อ 1 ชุด หรือ 23 แท่ง และได้จากไข่ของแม่อีก 1 ชุด หรือ 23 แท่ง เมื่อไข่เกิดการปฏิสนธิกับสเปิร์ม ก็จะได้โครโมโซมที่ครบจำนวน 46 แท่ง

ภาพสรุปขั้นตอนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของมนุษย์



<https://socratic.org/questions/how-do-the-products-of-meiosis-i-differ-from-those-of-meiosis-ii>

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.