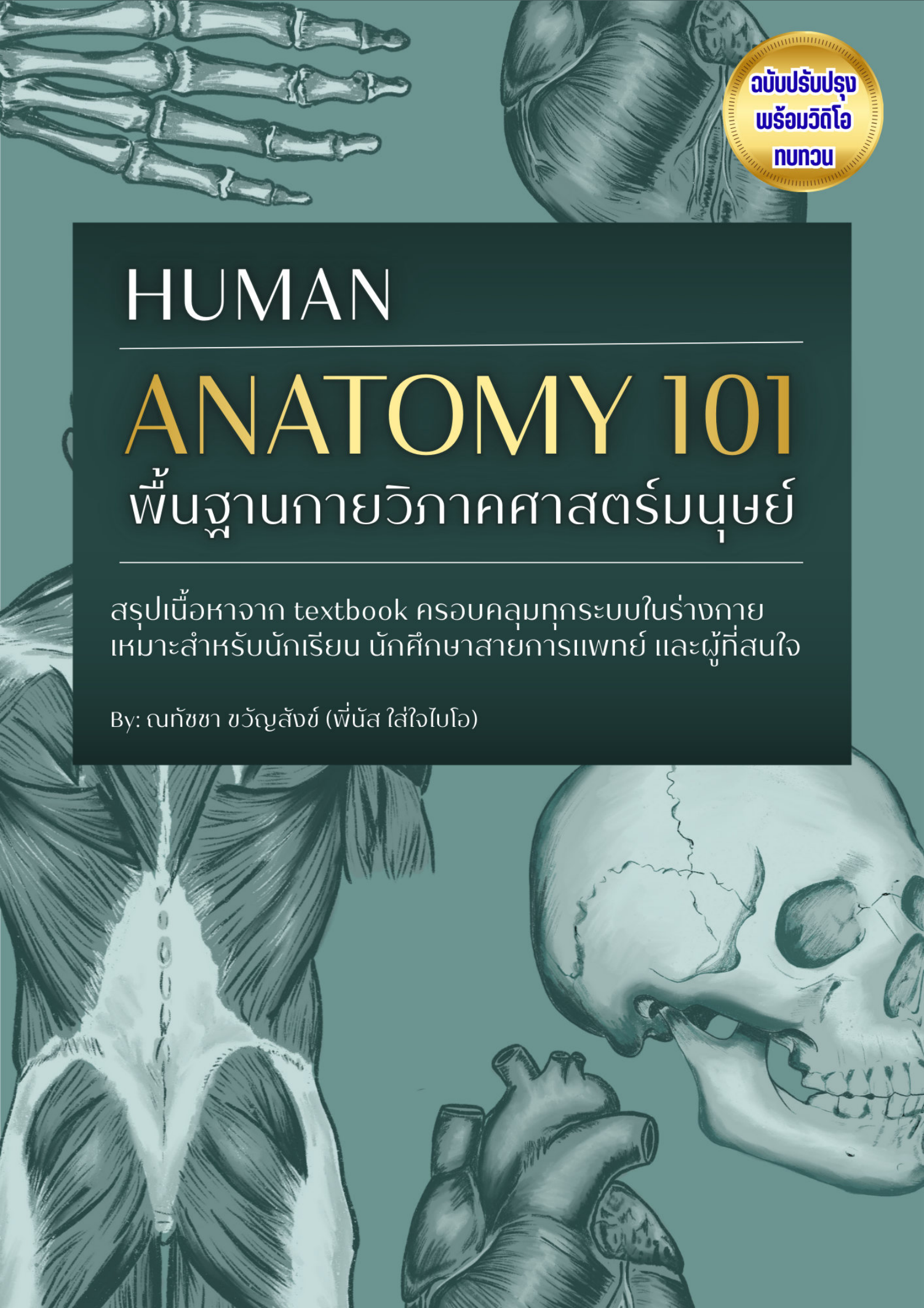


HUMAN ANATOMY 101

พื้นฐานกายวิภาคศาสตร์มนุษย์

สรุปเนื้อหาจาก textbook ครอบคลุมทุกระบบในร่างกาย
เหมาะสำหรับนักเรียน นักศึกษาสายการแพทย์ และผู้ที่สนใจ

By: ณทัชชา ขวัญสังข์ (พี่นัส ใส่ใจไบโอ)

เมื่อใดที่ความฝันและความตั้งใจมาบรรจบกัน
เมื่อนั้นคำอธิษฐานจะสัมฤทธิ์ผล

Write your commitment here

Dedicated to God
to the greatest support, family
to all my teachers & professors
to my lovely friends
and to my cats

Dear, all Anatomy learners

ขอบคุณน้องๆ และผู้สนใจวิชากายวิภาคศาสตร์ทุกท่านที่เลือกหนังสือเล่มนี้เป็นเพื่อนคู่ใจในการศึกษาวิชาสุดหิน วิชาที่ถือเป็นหนึ่งในพื้นฐานทางการแพทย์ ซึ่งหากเราเข้าใจพื้นฐานร่างกายอย่างถ่องแท้แล้ว ความรู้นี้จะเป็นบันไดสำคัญที่จะปูทางให้เรา วินิจฉัย ดูแลรักษาคนไข้ของเราได้แม่นยำขึ้น

ในหนทาง การศึกษาการแพทย์นั้นไม่ง่าย เราต้องใช้ทั้งกำลังกาย กำลังใจ และกำลังสมอง ฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆ แต่พี่นัสเชื่อว่าเราเก่งพอที่จะผ่านมันไปได้ และเมื่อใดก็ตามที่เราเหนื่อยหรือท้อแท้ สิ่งหนึ่งที่จงรำลึกเสมอคือ " ความรู้ที่เราร่ำเรียนในวันนี้จะได้ใช้ เพื่อช่วยชีวิตผู้คนในวันข้างหน้า"

May the force be with you
ด้วยรัก, พี่นัส ใส่ใจไบโอ

* ไม่อนุญาตให้เผยแพร่/ส่งไฟล์ต่อ รวมทั้งนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หากพบเห็นจะดำเนินคดีตามกฎหมาย และขอให้อาจารย์แจก F !

ติดตาม อัพเดตความรู้ได้ทาง
IG&TK: SCi_jai_bio
FB: ใส่ใจไบโอ
YT: ชีวะใส่ใจไบโอ

How to learn Anatomy

☑ ใช้ Mind map ในการดูภาพกว้าง (overview) ว่าหัวข้อย่อยในบทนั้นๆ มีอะไรบ้าง และมีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร

☑ เรียนรู้ Technical terms คำศัพท์เฉพาะทางอนาโตมี่ มักมีรากศัพท์จากภาษากรีก/ละติน การที่เราเข้าใจรากศัพท์เหล่านี้ จะทำให้เราท่องคำศัพท์ได้อีกหลายคำเลย! [ในเล่มนี้พี่นัสมีอธิบายรากศัพท์ไว้ด้วยนะ]

☑ ใช้ Coloring book แบบไฟล์ของพี่นัส มีภาพให้ดู ลงสีกล้ามเนื้อหรืออวัยวะเพลินๆ ช่วยกระตุ้นความจำ ได้ A แบบไม่รู้ตัวเลยทีเดียว~

☑ ต้องรู้ว่าเรียนแล้ว เอาส่วนใดไปใช้ประโยชน์" ในเล่มเนื้อหา Basic Human Anatomy ของพี่นัสจะมีกล่อง "clinical correlation" ว่าความรู้ส่วนนี้เอาไปประยุกต์ใช้ทางคลินิกอย่างไร จะเอาไว้ใช้ดูแลตัวเอง & คนรอบข้าง หรือเพิ่มความมั่นใจในการดูแลคนไข้ตอนลงวอร์ดก็ได้หมด!

By: พี่นัส ใส่ใจไบโอ
[ป.โท สาขา Anatomy คณะแพทย์ จุฬาฯ]

TK&IG: sci_jai_bio
FB: ใส่ใจไบโอ

กำลังใจ

จาก พี่ๆ สายการแพทย์ สู่ น้องๆ คนเก่ง ♥

SCI JA BIO

We'll cheer u up!

Keep Going

TK&IG : sci_jai_bio

"เชื่อว่าทุกอย่างที่เกิดขึ้นในชีวิตของเรา มีจังหวะเวลาที่เหมาะสมของมันเอง เป็นกำลังใจให้กับคนที่ตามหาฝัน รวมถึงคนที่รู้แล้ว แต่ยังมีความกลัว มากมาย มาพยายามไปด้วยกันนะคะ"

"การเรียนรู้ในสายการแพทย์หรือสายงานใดก็ตาม การจะทำออกมาได้ดี ต้องใช้หัวใจและการเรียนรู้ของเราอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ขอให้ทุกคนประสบความสำเร็จในหนทางของตัวเองอย่างสวยงามค่ะ"

พี่อัยน่า แพทย์หญิง

"เก็บเกี่ยวความรู้ให้เต็มที่ อัพเดตให้ใหม่อยู่เสมอ บางทีอาจแค่ 1 ย่อหน้าที่เราตั้งใจอ่าน มันจะช่วยต่อคุณภาพชีวิตให้คนอีกหนึ่งครอบครัวเลยก็ได้"

พี่เอ๊ะ เภสัชกร

"พี่อยากฝากให้น้องๆ เลือกเรียนในสิ่งที่ตัวเองมีความสุข ถึงแม้ว่าตอนเรียนมัธยมอาจจะไม่ได้สัมผัสถึงอาชีพต่างๆ มากนอกที่จะทำให้รู้ว่าตัวเองชอบมันแค่ไหน แต่เชื่อว่าทุกวันนี้มีสื่อที่ทำให้เข้าถึงข้อมูลได้ ถ้าเดินเข้ามาเรียนแล้วไม่ชอบ อย่ากลัวที่จะเปลี่ยนเส้นทาง ชีวิตของเรามีแค่ชีวิตเดียว แล้วถ้าตัดสินใจจะเรียนด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ ขอให้คิดเสมอว่าการเรียนต่อๆไปจะพาเราไปสู่การช่วยเหลือคนอีกมาก เราจะกลายเป็นความหวัง เป็นแสงสว่างของอีกหลายคน"

ดร.เปริน อาจารย์กายวิภาคศาสตร์

"เรียนมันเหนื่อย แต่เชื่อเถอะว่าคนที่ส่งเราเรียน เหนื่อยกว่า"

พี่มีรยัม เทคนิคการแพทย์

คอร์สเรียน anatomy

เหมาะกับใคร?

- น้อง ม.ปลายที่ต้องการเนื้อหาลึกขึ้น เพื่อสอบแข่งขัน
- พี่ ๆสายการแพทย์ทุกสาขา ที่ต้องเรียนกายวิภาคศาสตร์ เช่น แพทย์ พยาบาล ทันตะ เภสัช กายภาพบำบัด แพทย์แผนไทย แพทย์แผนจีน
- บุคคลที่สนใจศึกษาวิชากายวิภาคศาสตร์มนุษย์ เพื่อต่อยอดวิชาชีพ เช่น ผู้ช่วยพยาบาล ผู้ช่วยทันตะ เทรนเนอร์

คอร์ส A: anatomy lab

เนื้อหา	สิ่งที่จะได้รับ	จำนวนชั่วโมง	ราคา
- วิดีโอทบทวนแลปกล้ามเนื้อ - วิดีโอทบทวนแลปกระดูก	- หนังสือสรุป basic human anatomy - ไฟล์สมุดภาพ - ไฟล์สไลด์ - โปสเตอร์ A4 - วิดีโอทบทวนไม่จำกัดอายุคอร์ส	6.20	๙๙๙

รวมทุกคอร์ส ราคาพิเศษจาก

~~6,399~~ **4,999** เท่านั้น!

คอร์ส B: basic anatomy for midterm

เนื้อหา	สิ่งที่จะได้รับ	จำนวนชั่วโมง	ราคา
- วิดีโอทบทวน ๙ บท: - บทนำกายวิภาค - เซลล์วิทยา - เนื้อเยื่อบุผิว - เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน - ระบบปกคลุมร่างกาย - ระบบโครงร่าง (กระดูก) - ระบบกล้ามเนื้อ - ระบบหายใจ - ระบบไหลเวียนเลือด - กรณีศึกษาทางอนาโตมี่ (case study)	- หนังสือสรุป basic human anatomy - ไฟล์สมุดภาพ - ไฟล์สไลด์ - โปสเตอร์ A4 - วิดีโอทบทวนไม่จำกัดอายุคอร์ส	~14	2,700

ทดลองเรียนฟรี! กลุ่ม FB: ใส่ใจไบโอ ลองเรียนฟรี

คอร์ส C: basic anatomy for final

เนื้อหา	สิ่งที่จะได้รับ	จำนวนชั่วโมง	ราคา
- วิดีโอทบทวน 8 บท: - ระบบทางเดินอาหาร - ระบบทางเดินปัสสาวะ - ระบบสืบพันธุ์ชาย - ระบบสืบพันธุ์หญิง - การพัฒนาตัวอ่อน - ระบบต่อมไร้ท่อ - ระบบประสาท 1 - ระบบประสาท 2 - กรณีศึกษาทางอนาโตมี่ (case study)	- หนังสือสรุป basic human anatomy - ไฟล์สมุดภาพ - ไฟล์สไลด์ - โปสเตอร์ A4 - วิดีโอทบทวนไม่จำกัดอายุคอร์ส	~13	2,700

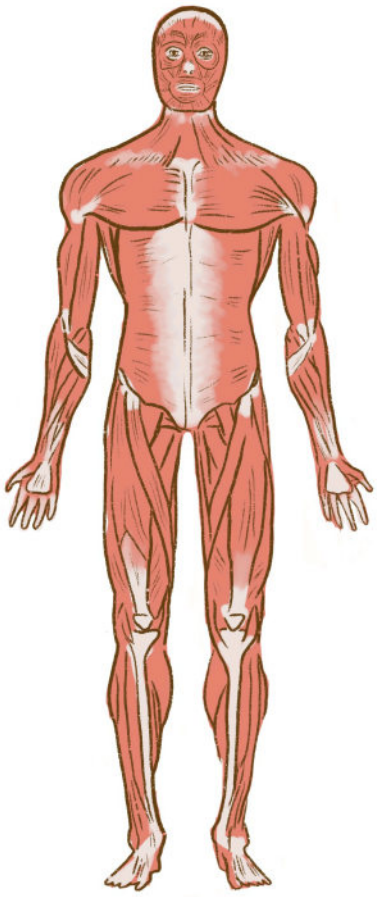
สารบัญ

- บทที่ 1: บทนำวิชากายวิภาคศาสตร์ ———————————— 1
(introduction to anatomy)
- บทที่ 2: เซลล์วิทยา ———————————————— 8
(cytology)
- บทที่ 3: เนื้อเยื่อบุผิว ———————————————— 27
(epithelial tissue)
- บทที่ 4: เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ———————————————— 36
(connective tissue)
- บทที่ 5: ระบบปกคลุมร่างกาย ———————————————— 44
(integument system)
- บทที่ 6: ระบบโครงร่าง ———————————————— 53
(skeletal system)
- บทที่ 7: ระบบกล้ามเนื้อ ———————————————— 97
(muscular system)
- บทที่ 8: ระบบทางเดินหายใจ ———————————————— 137
(respiratory system)
- บทที่ 9: ระบบไหลเวียนเลือด ———————————————— 149
(cardiovascular system)
- บทที่ 10: ระบบทางเดินอาหาร ———————————————— 176
(digestive system)
-บทที่ 11: ระบบทางเดินปัสสาวะ ———————————————— 197
(urinary system)
-บทที่ 12: ระบบสืบพันธุ์เพศชาย ———————————————— 205
(male reproductive system)
-บทที่ 13: ระบบสืบพันธุ์เพศหญิง ———————————————— 212
(female reproductive system)
-บทที่ 14: การพัฒนาการของตัวอ่อนมนุษย์ ———————————————— 223
(developmental system)
-บทที่ 15: ระบบต่อมไร้ท่อ ———————————————— 236
(endocrine system)
-บทที่ 16: ระบบประสาท 1 ———————————————— 248
(nervous system I)
-บทที่ 17: ระบบประสาท 2 ———————————————— 272
(nervous system II)

สแกนดูคลิปติวฟรี!

บทที่ 1 Introduction to anatomy

การศึกษาโครงสร้างร่างกายมนุษย์ แบ่งย่อยเป็นหัวข้อต่าง ๆ เช่น



- gross (macroscopic) anatomy

: by naked eye การศึกษาโครงสร้างของมนุษย์ โดยไม่ใช้กล้องจุลทรรศน์

- histology (microscopic) anatomy

: by microscope การศึกษาเนื้อเยื่อของร่างกาย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์

- developmental anatomy (embryology)

: by fetus การศึกษาการเจริญเติบโตของตัวอ่อนมนุษย์

- pathological anatomy (pathology)

: การศึกษาการเปลี่ยนแปลงในเซลล์, เนื้อเยื่อเป็นโรค

- cytology

: การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์

- radiographic anatomy

: การศึกษาโครงสร้างร่างกายโดยใช้ภาพถ่าย x-ray, CT scan หรือ MRI

levels of organization

การจัดเรียงระบบในร่างกายของสิ่งมีชีวิต โดยเริ่มจากหน่วยย่อยขนาดเล็กไปใหญ่ ดังนี้

cell → tissue → organ → system

cell	tissue	organ	system
มีขนาดและรูปร่างต่างกัน ขึ้นกับหน้าที่ของเซลล์นั้น ๆ เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ, เซลล์ประสาท	epithelium tissue : เนื้อเยื่อบุผิว connective tissue: เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน muscular tissue: เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ nervous tissue: เนื้อเยื่อประสาท	การรวมตัวของเนื้อเยื่อตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อทำหน้าที่เฉพาะ เช่น สมอง ปอด เป็นต้น	การรวมกลุ่มของอวัยวะ ซึ่งทำงานเป็นระบบ เช่น - ระบบประสาท - ระบบหายใจ - ระบบผิวหนัง - ระบบกล้ามเนื้อ - ระบบต่อมไร้ท่อ

anatomical terminology

anatomical position

ท่าทางที่ร่างกายยืนตรง มองไปด้านหน้า ฝ่ามือและปลายเท้าชี้ไปด้านหน้า

anatomical directions

ทิศทางของ anatomy ที่สัมพันธ์กับร่างกาย ดังนี้

superior (cranial) ↔	inferior (caudal)
บน หรือค่อนไปทางศีรษะ	ล่าง ค่อนไปทางปลายเท้า

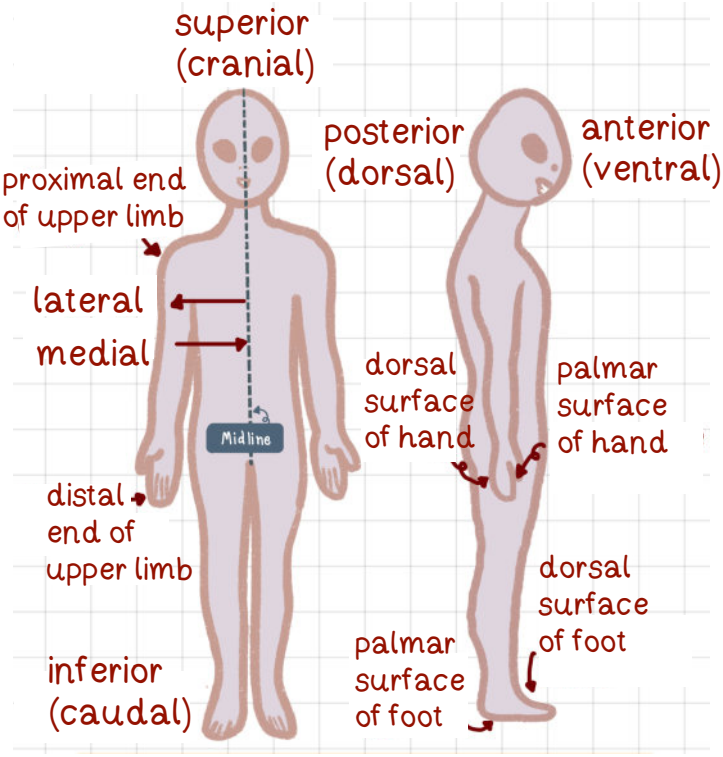
anterior ↔	posterior
หน้า	หลัง

ventral ↔	dorsal
ด้านท้อง	ด้านหลัง

medial ↔	lateral
ใกล้ midline	ไกล midline

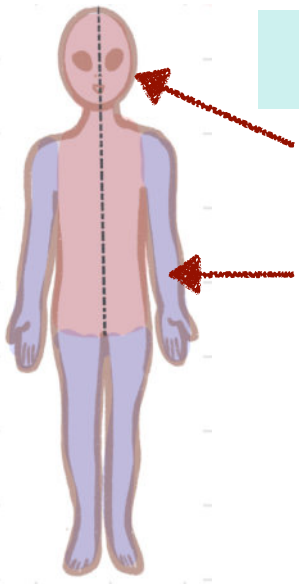
proximal ↔	distal
ใกล้ลำตัว	ไกลลำตัว

superficial ↔	deep
ชั้นตื้น	ชั้นลึก



external ↔	internal
ภายนอก	ภายใน

peripheral ↔	central
ห่างจากศูนย์กลาง	ใกล้ศูนย์กลาง



body regions

1. axial part (ส่วนแกนกลาง)
   ศีรษะ, คอ, อก, ท้อง และเชิงกราน
2. appendicular part (ส่วนรยางค์)
   upper extremities: หัวไหล่, ต้นแขน, ปลายแขน, ข้อมือและมือ
   lower extremities: ต้นขา, ปลายขา, ข้อเท้า และเท้า

planes of section

ระนาบของร่างกาย แบ่งเป็น

- coronal (frontal) plane

ระนาบที่แบ่งร่างกายเป็นด้านหน้า (anterior) และด้านหลัง (posterior)

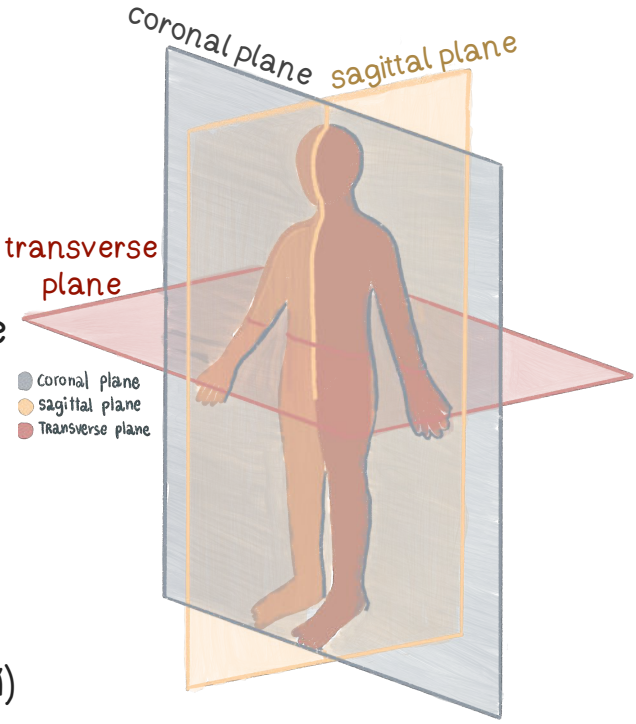
- sagittal plane

ระนาบที่แบ่งร่างกายเป็นซีกซ้ายและขวา ขนานกับแนว median plane

- median plane

หรือ midsagittal plane/ median sagittal plane

ระนาบที่แบ่งร่างกายเป็นซีกซ้ายและขวาเท่ากันพอดี ผ่านตรงกลางของร่างกาย (เช่น จมูก > สะดือ > อวัยวะเพศ)



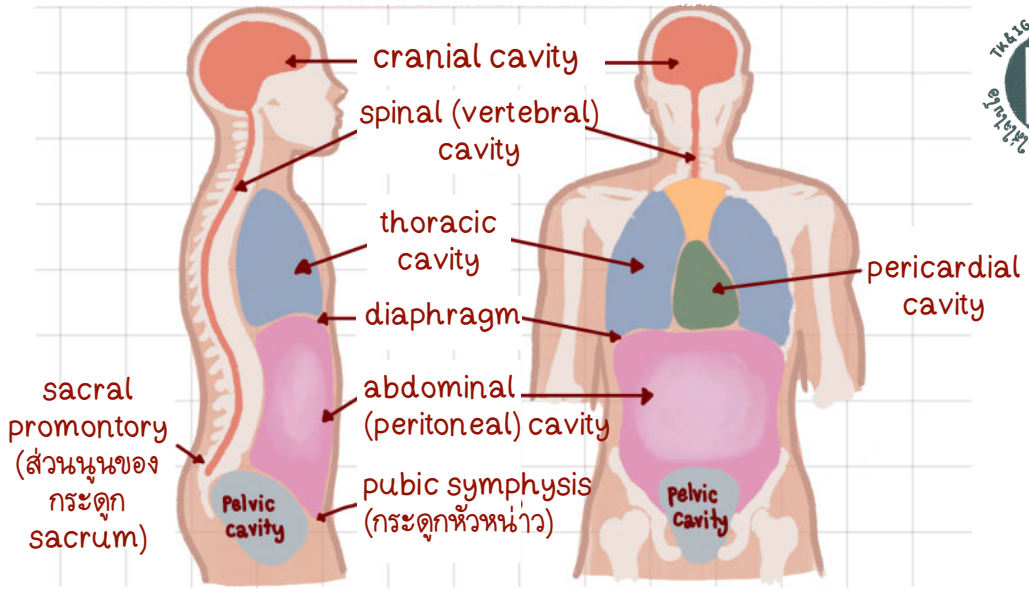
- transverse (axial) plane

ระนาบที่แบ่งร่างกายเป็นท่อนบน (superior) และท่อนล่าง (inferior)

- oblique plane

ระนาบแนวเฉียงกับระนาบอื่น (ไม่ขนานกับระนาบใด ๆ) เช่น ทำมุม 45 องศากับระนาบ transverse มักใช้ในภาพ CT หรือ MRI

body cavity



ช่องว่างภายในร่างกาย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- ventral cavity: โพรงทางด้านหน้าของร่างกาย
- dorsal cavity: โพรงทางด้านหลังของร่างกาย

1 ventral (anterior) cavity

ช่องว่างทางด้านหน้า แบ่งย่อยเป็น

- thoracic cavity (โพรงในทรวงอก)

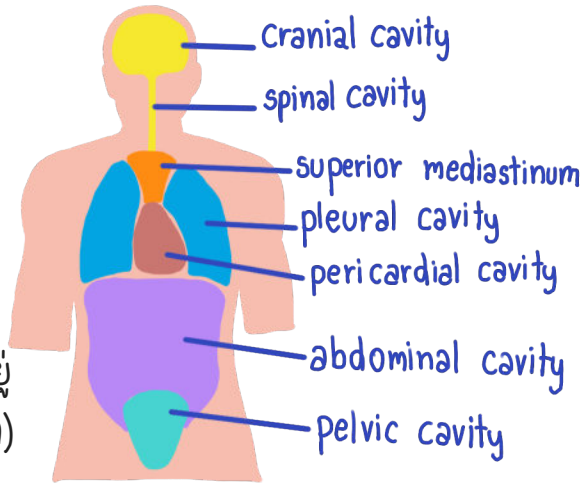
คือ ช่องว่างระหว่างคอถึงกระบังลม เป็นที่อยู่ของปอด หัวใจ หลอดอาหาร หลอดลม เส้นประสาทและหลอดเลือดใหญ่ แบ่งย่อยได้เป็น

- pleural cavity

ช่องปอด 2 ข้าง บุด้วยเยื่อหุ้มปอด (pleura)

- mediastinum

คือ พื้นที่ระหว่างปอดทั้งสองข้าง แบ่งเป็น superior และ inferior mediastinum ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นที่อยู่ของ pericardial cavity (ช่องหัวใจ)

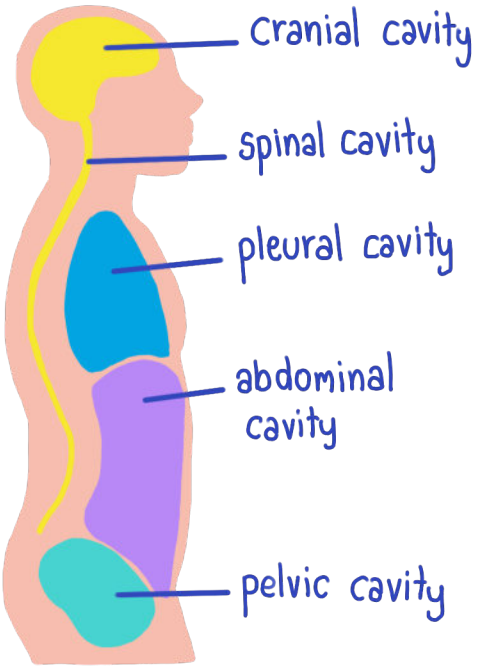


- abdominopelvic cavity

(ช่องท้องและช่องเชิงกราน) บุด้วยเยื่อบุช่องท้อง (peritoneum) กั้นระหว่างช่องอกด้วยกระบังลม แบ่งย่อยเป็น 2 ส่วนคือ

- abdominal cavity ช่องท้อง
- pelvic cavity ช่องเชิงกราน

*ช่องท้องและช่องเชิงกรานจะแบ่งแยกโดยเส้นสมมุติที่ลากจาก sacral promontory (ด้านหลังของกระดูกกระเบนเหน็บ) ไปยัง pubic symphysis บริเวณหัวหน่าว



2 dorsal (posterior) cavity

ช่องว่างทางด้านหลัง แบ่งย่อยได้เป็น

- cranial cavity

คือ โพรงสมอง บุด้วยเยื่อหุ้มสมอง (meninge) เป็นที่อยู่ของสมอง

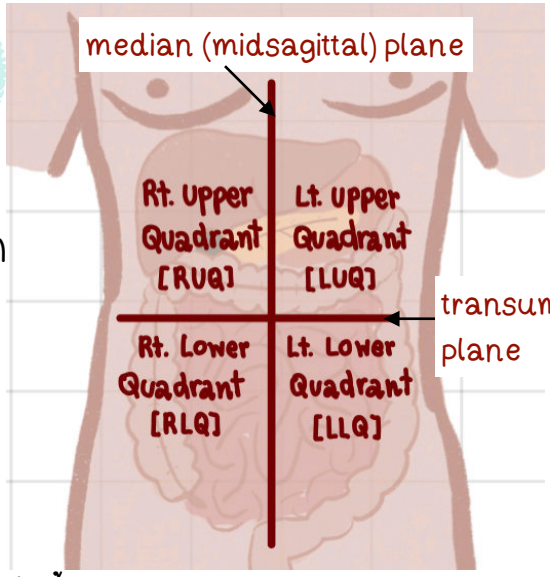
- spinal cavity

คือโพรงไขสันหลัง อยู่ภายในกระดูกสันหลัง บุด้วยเยื่อหุ้มไขสันหลัง (meninge)

abdominal part

การแบ่งหน้าท้องออกเป็นส่วน 4 ส่วน และ 9 ส่วน *สำหรับบ่งชี้อวัยวะภายในเพื่อการวินิจฉัย

การแบ่งหน้าท้องออกเป็น 4 ส่วน (4 quadrant)



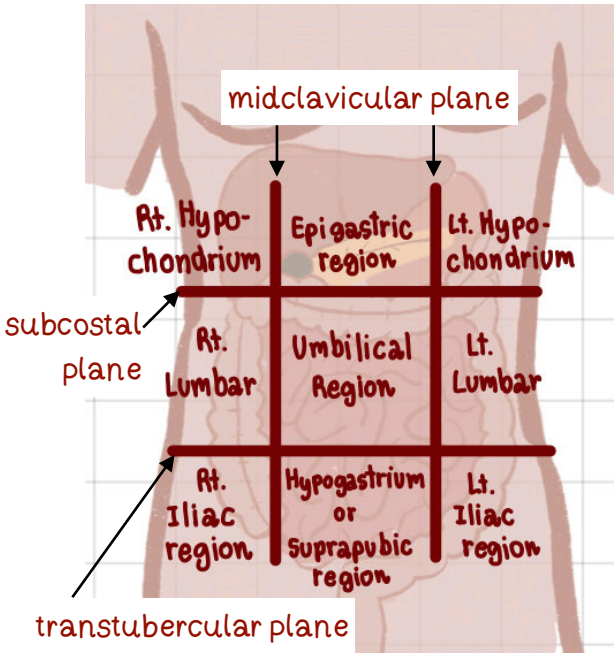
การแบ่งหน้าท้องออกเป็นส่วน 4 ส่วน โดยใช้เส้นสมมุติ 2 เส้นตั้งฉาก มีจุดตัดตรงสะดือ ได้แก่

- median (midsagittal) plane: เส้นแนวดิ่ง ผ่านกลางลำตัว
- transumbilical plane: เส้นแนวนอน ผ่านสะดือ

ซึ่งช่องท้อง 4 ส่วน มีชื่อและอวัยวะที่อยู่ ดังนี้

quadrant (ส่วนของช่องท้อง)	อวัยวะที่สำคัญ
right upper quadrant (RUQ) ท้องช่องบนขวา	ตับ (ส่วนใหญ่), ถุงน้ำดี, ไตขวา, ส่วนต้นของลำไส้เล็ก (duodenum), ลำไส้ส่วนต้นขาขึ้น (ascending colon) และลำไส้ส่วนขวางบางส่วน (transverse colon)
left upper quadrant (LUQ) ท้องช่องบนซ้าย	กระเพาะอาหาร, ม้าม, ตับส่วนซ้าย, ตับอ่อน, ไตซ้าย, ลำไส้ใหญ่ส่วนขวาง และลำไส้ใหญ่ส่วนขาลงบางส่วน (descending colon)
right lower quadrant (RLQ) ท้องช่องล่างขวา	ไส้ติ่ง (appendix), ลำไส้ใหญ่ส่วนต้น (cecum), รังไข่และท่อนำไข่ขวา (ของผู้หญิง), ท่อไตขวาส่วนปลาย
left lower quadrant (LLQ) ท้องช่องล่างซ้าย	ลำไส้ใหญ่ส่วน sigmoid, รังไข่และท่อนำไข่ซ้าย (ของผู้หญิง), ท่อไตซ้ายส่วนปลาย

การแบ่งหน้าท้องออกเป็น 9 ส่วน (9 quadrant)



การแบ่งหน้าท้องออกเป็น 9 ส่วน โดยใช้เส้นสมมุติ 4 เส้นตั้งฉาก ได้แก่

- midclavicular plane:
  เส้นแนวตั้ง 2 เส้น เป็นเส้นสมมุติที่ลากผ่านกึ่งกลางของไหปลาร้า (clavicle) เป็นแนวดิ่ง
- subcostal plane:
  เส้นแนวนอน ลากผ่านขอบล่างของซี่โครงคู่ที่ 10 ทั้งสองข้าง
- transtubercular plane:
  เส้นแนวนอน ลากผ่านระหว่างปุ่มกระดูกเชิงกราน (iliac tubercle) ทั้งสองข้าง

quadrant (ส่วนของช่องท้อง)	อวัยวะที่สำคัญ
left hypochondriac region ช่องท้องใต้ชายโครงขวา	ม้าม, กระเพาะอาหารบนซ้าย (ส่วน fundus), ตับซ้ายบางส่วน, ไตซ้ายบน, ลำไส้ใหญ่บางส่วน, ตับอ่อน (ส่วน tail)
epigastric region ช่องท้องยอดอก/ เหนือสะดือ	ตับซ้าย, กระเพาะอาหารส่วนบน (ส่วน fundus, body), ตับอ่อน (ส่วน head, body), ลำไส้เล็กส่วนต้น, ต่อมหมวกไต
right hypochondriac region ช่องท้องใต้ชายโครงขวา	ตับขวา (ส่วนใหญ่), ถุงน้ำดี, ไตขวาส่วนบน, ลำไส้ใหญ่ส่วนขวางตอนต้น, ลำไส้ใหญ่ขาขึ้นบางส่วน
left lumbar region ช่องท้องส่วนเอวซ้าย	ลำไส้ใหญ่ส่วนขาลง, ลำไส้เล็กบางส่วน (jejunum, ileum), ไตซ้าย
umbilical region ช่องท้องส่วนสะดือ	ลำไส้เล็กส่วน jejunum, ileum, ลำไส้ใหญ่ส่วนขวาง, ตับอ่อน (ส่วน body)
right lumbar region ช่องท้องส่วนเอวขวา	ลำไส้ใหญ่ส่วนส่วนขาขึ้น, ลำไส้เล็กส่วน jejunum, ileum, ไตขวา
left iliac (inguinal) region ช่องท้องส่วนขาหนีบซ้าย	ลำไส้ใหญ่ส่วน sigmoid, ลำไส้เล็กส่วนปลาย, รังไข่และท่อนำไข่ซ้าย (ในผู้หญิง)
hypogastric (suprapubic) region ช่องท้องน้อย	กระเพาะปัสสาวะ, ลำไส้เล็ก (ส่วน ileum), ลำไส้ใหญ่ส่วน sigmoid, มดลูก (ในผู้หญิง), ต่อมลูกหมาก (ในผู้ชาย)
right iliac (inguinal) region ช่องท้องส่วนขาหนีบขวา	ไส้ติ่ง, ลำไส้ใหญ่ส่วนต้น, ลำไส้เล็กส่วนปลาย, รังไข่และท่อนำไข่ขวา (ในผู้หญิง)

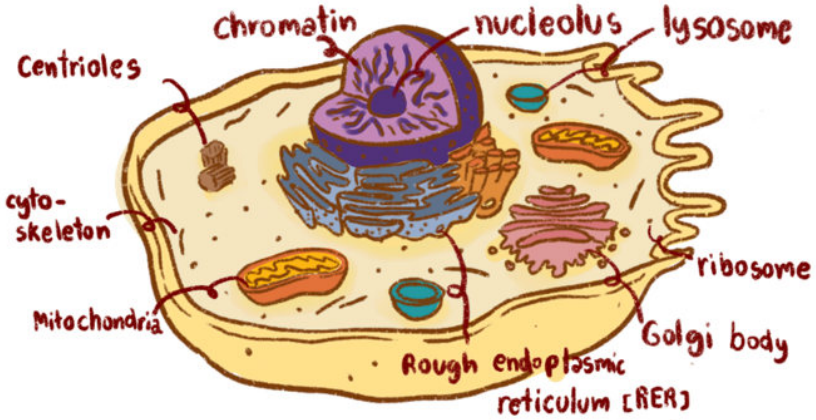
Note:

สแกนดูคลิปติวฟรี!

บทที่ 2 Cytology

เนื้อเยื่อในร่างกายประกอบด้วย:

- เซลล์ (cell) เป็นเซลล์ชนิดยูคาริโอต (eukaryotic cell)
- สิ่งที่อยู่ระหว่างเซลล์ (interstitial substance): มีทั้งส่วนที่เป็นของเหลว และอื่น ๆ
- ของเหลวที่อยู่ในร่างกาย (body fluid)



components of cells

องค์ประกอบหลักของเซลล์ มีทั้งหมด 3 ส่วนหลักคือ

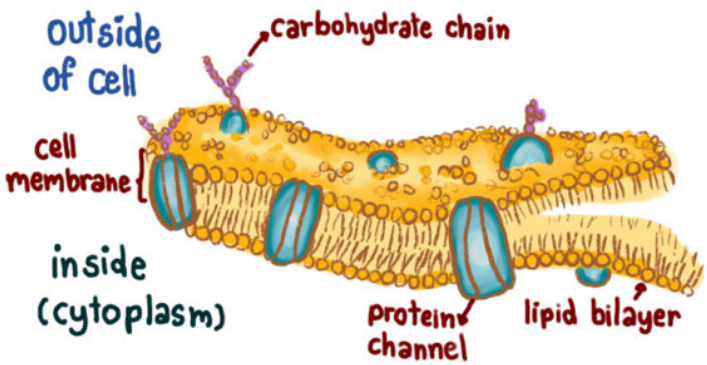
1. เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane)
2. ไซโทพลาสซึม (cytoplasm)

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว (cytosol) และส่วนที่เป็นออร์แกเนลล์ (organelles) ซึ่งแบ่งเป็น

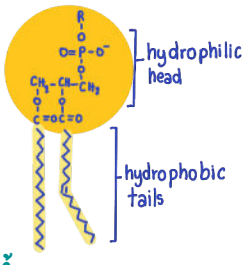
- ออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม: ribosome, cytoskeletons, centriole
- ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น: Golgi body, lysosome, vacuole, ER
- ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น: mitochondria (และ chloroplast ในพืช)

3. นิวเคลียส (nucleus)

1 เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane)



เป็นเยื่อเลือกผ่านที่ประกอบด้วยชั้นไขมัน 2 ชั้น (phospholipid bilayers), คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน กระจายอยู่โดยทั่วไป จัดเรียงตัวแบบ fluid mosaic model

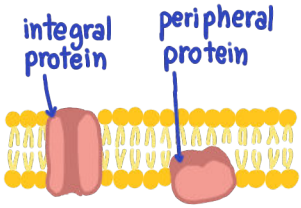


องค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

1. phospholipid ในเยื่อหุ้มเซลล์ มีโครงสร้าง ดังนี้
   - hydrophilic head: ส่วนหัว (มีขั้ว)
   - hydrophobic tail: ส่วนหาง (ไม่มีขั้ว)

2. น้ำตาล oligosaccharide: ทำหน้าที่ยึดเกาะกับโปรตีน (กลายเป็น glycoprotein) หรือไขมัน (กลายเป็น glycolipid) ทำหน้าที่ช่วยในการจดจำเซลล์ (cell-cell recognition) เพื่อให้เซลล์จดจำเซลล์ร่างกายได้

3. โปรตีน: ในเยื่อหุ้มเซลล์ แบ่งเป็น 2 ชนิด



- peripheral protein: อยู่ที่ผิวของเยื่อหุ้มเซลล์
- integral protein: แทรกอยู่ระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์

หน้าที่ของโปรตีน:

- transport protein: ช่วยลำเลียงสารละลายน้ำ สารมีขั้ว และสารที่มีประจุ มี 2 ชนิดคือ
- channel protein: มีลักษณะเป็นช่องทะลุ 2 ฝั่งของเซลล์ (เช่น aquaporin เพื่อใช้ลำเลียงน้ำ)
- carrier protein: โปรตีนตัวขนส่ง สามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างเพื่อลำเลียงสารได้
- receptor protein: โปรตีนตัวรับ และถ่ายทอดสัญญาณเข้าเซลล์
- enzyme protein: โปรตีนช่วยเร่งปฏิกริยาภายในเซลล์

หน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์

- เป็นขอบเขตของเซลล์
- ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) เกี่ยวข้องกับการส่งสารผ่านเข้าออก
- เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาเคมีในเซลล์ การการสื่อสารระหว่างเซลล์
- บางส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่พิเศษ เช่น microvilli, cilia, stereocilia และ junctional complex

2 ไซโตพลาสซึม (cytoplasm)

ส่วนที่อยู่ภายในเซลล์ (ยกเว้นนิวเคลียส) ประกอบด้วย ของเหลว (cytosol), ออร์แกเนลล์ (organelle) และ inclusion

2.1 สารที่ตกตะกอน (inclusion)

สารที่ตกตะกอนภายในไซโทพลาสซึม แบ่งย่อยเป็น

- มีเยื่อหุ้ม: secretory granule (เช่น อาหารที่สะสมภายในเซลล์), pigment granule (สารสี)
- ไม่มีเยื่อหุ้ม : lipid droplets (หยดไขมัน), glycogen

2.2 ออร์แกเนลล์ (organelles)

แบ่งย่อยเป็น : ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น, ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น และไม่มีเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์

non-membranous organelles (ออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม)

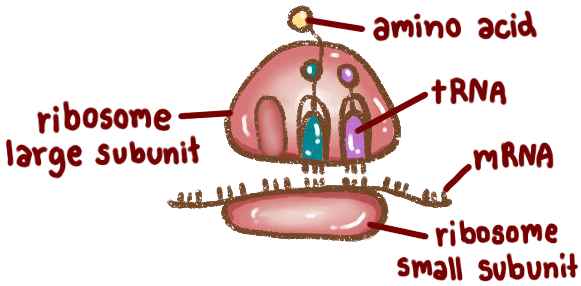
ประกอบด้วย ribosome, cytoskeletal และ centriole

ribosome

ประกอบด้วย rRNA และโปรตีน มี 2 subunits คือ large และ small subunits ดังนี้

Small subunit	Large subunit	ชนิด ribosome	แหล่งที่พบ
30s	50s	70s	ไมโทคอนเดรีย, เซลล์โพรคาริโอต
40s	60s	80s	เซลล์ยูคาริโอต

*s = Svedberg unit เป็นอัตราในการตกตะกอน
หน่วยย่อยเล็กและหน่วยย่อยใหญ่ของไรโบโซมมีอัตราการตกตะกอนต่างกัน เมื่อ 2 หน่วยรวมกัน โครงสร้างที่ได้มีรูปร่างและการกระจายมวลต่างกัน อัตราการตกตะกอนจึงต่างกัน
(30s + 50s ไม่เท่ากับ 80s เนื่องจากไม่ใช่ผลรวมของทั้งสองส่วน)



ไรโบโซม แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ
- ไรโบโซมอิสระ (free ribosome) ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนใช้ภายในเซลล์
- ไรโบโซมที่เกาะติดกับ endoplasmic reticulum (RER)

cytoskeleton

โครงสร้างค้ำจุนเซลล์ แบ่งย่อยเป็น microtubule, intermediate ligament และ microfilament ดังนี้

- microtubule:

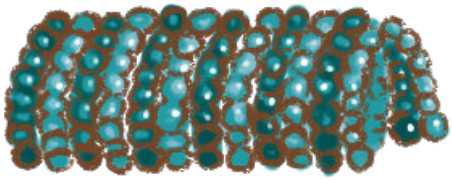
มีหน่วยย่อยคือ tubulin dimer มีลักษณะเป็นท่อกลวง สามารถรวมเป็นท่อขนาดใหญ่ เช่น

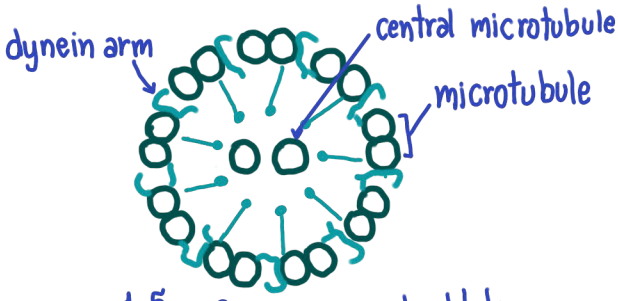
- โครงสร้าง 9+0 triplet (การเรียงตัวของไมโครทิวบูลแบบ 9 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 3 อัน ตรงกลางกลวง) พบได้ใน centriole, basal body ของ cilia

- โครงสร้าง 9+2 droplet (การเรียงตัวของไมโครทิวบูลแบบ 9 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 2 อัน และตรงกลางมี 2 กลุ่ม) พบได้ในส่วนปลายของ cilia

หน้าที่: - ไมโครทิวบูลเป็นองค์ประกอบของ cilia และ flagellum ช่วยในการการเคลื่อนที่ของเซลล์
- ช่วยการการเคลื่อนที่ของออร์แกเนลล์
-เป็นองค์ประกอบของ spindle fiber ช่วยในการเคลื่อนที่ของ chromosome ขณะแบ่งเซลล์

Microtubule





ภาพตัดขวางไมโครทิวบูล (9+2 doublet)

- intermediate filament:

มีหน่วยย่อยคือ fibrous protein เป็นเส้นใยโปรตีนขนาดกลาง เช่น type I keratin (พบในเยื่อบุผิว), type II keratin (พบในผม, เล็บ)

หน้าที่: ช่วยยึดระหว่างเซลล์ไม่ให้แยกจากกัน

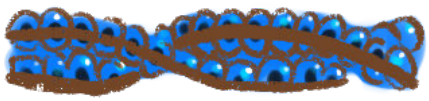
intermediate filament

- actin filament:

มีหน่วยย่อยคือ actin protein มีเรียงตัวเป็นสาย 2 เส้นพันกันเป็นเกลียว

หน้าที่: - ช่วยทำให้เกิดการไหลของไซโทพลาซึม
- เป็นองค์ประกอบของ microvilli และ stereocilia
- เกี่ยวข้องกับการหดตัวของกล้ามเนื้อ

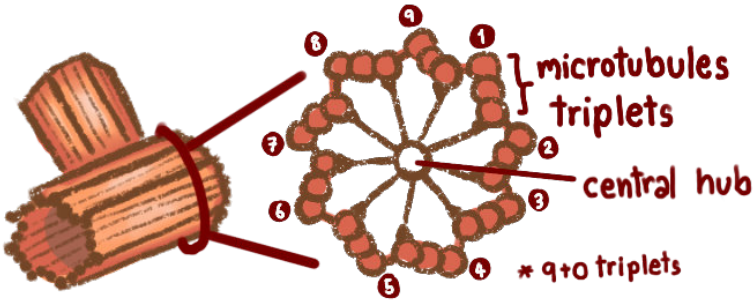
Actin filament



centriole

โครงสร้างประกอบจาก microtubule เรียงตัวแบบ 9+0 triplet มี 2 อัน วางตั้งฉากกัน

หน้าที่: สร้างเส้นใย spindle fiber ช่วยในการแบ่งเซลล์



membranous organelles คือ

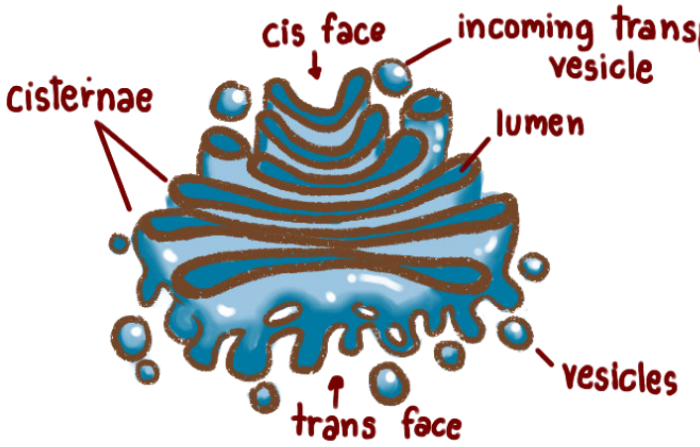
- ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น: endoplasmic reticulum, Golgi body, lysosome
- ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น: mitochondria (chloroplast ในพืช ขอละไว้ ณ ที่นี่)

single unit membrane (ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น)

ประกอบด้วย Golgi body, endoplasmic reticulum, lysosome, vacuole

Golgi body (Golgi complex/ apparatus)

มีลักษณะเป็นถุงแบน (cisterns) เรียงตัวเป็นชั้น ปลายโป่งเป็นถุงบรรจุสาร (vesicle) มี 3 ส่วนหลักคือ



- cis face: ด้านที่รับ vesicle จาก endoplasmic reticulum
- medial cisternae: ส่วนกลางของ Golgi body
- trans face: ด้านที่หันหน้าเข้าสู่เยื่อหุ้มเซลล์ เพื่อส่งสารออกจากเซลล์

หน้าที่: รับโปรตีนที่ได้จากการสังเคราะห์ของ endoplasmic reticulum นำมาตกแต่ง จัดเรียงสาร (กลายเป็น glycoprotein, glycolipid) ก่อนส่งออกนอกเซลล์

*Golgi body ทำหน้าที่สร้างสารเคลือบฟัน (enamel)

lysosome

โครงสร้างทรงกลม สร้างจาก rough endoplasmic reticulum (สร้างเอนไซม์) และ Golgi body (บรรจุสาร) เป็นถุงบรรจุเอนไซม์ไฮโดรเลส (hydrolytic enzyme) ชนิดต่าง ๆ สำหรับย่อยโปรตีน แบ่งเป็น

- primary lysosome
  ยังไม่เคยย่อยสารใด สร้างขึ้นใหม่จาก Golgi body
- secondary lysosome
  เกิดการย่อยแล้ว แต่ยังมีน้ำย่อยเพียงพอที่จะย่อยสารต่อไปได้

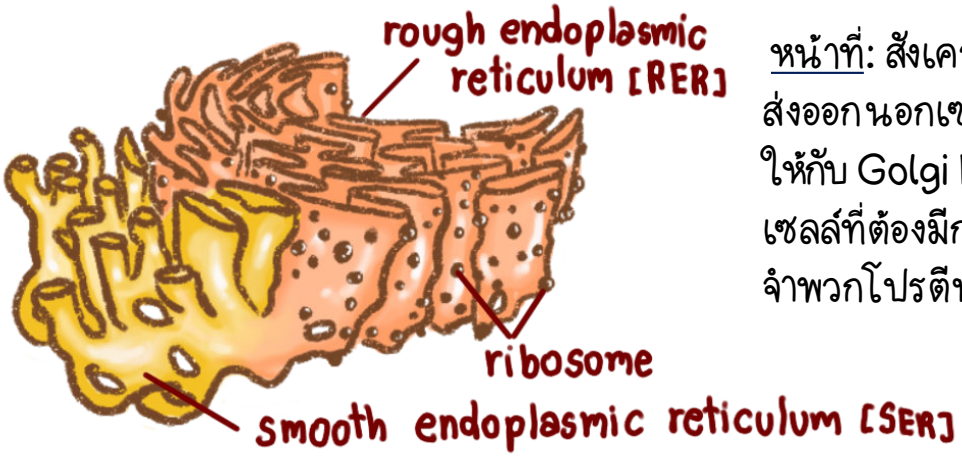
ทำหน้าที่: ย่อยสารอาหารภายในเซลล์, กำจัดออร์แกเนลล์ที่เสื่อมสภาพ (autophagy) และกำจัดเซลล์ที่หมดอายุ (autolysis)

endoplasmic reticulum (ER)

แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- rough endoplasmic reticulum (RER):

มีลักษณะเป็น membrane ที่แตกแขนงจากเยื่อหุ้มชั้นนอกของนิวเคลียส ซ้อนกันเป็นถุง มีไรโบโซมมาเกาะ



หน้าที่: สังเคราะห์โปรตีนส่งออกนอกเซลล์ โดยส่งต่อให้กับ Golgi body พบในเซลล์ที่ต้องมีการผลิตสารจำพวกโปรตีนสูง

- smooth endoplasmic reticulum (SER):

มีรูปร่างคล้ายท่อแบน เป็นร่างแห ไม่มีไรโบโซมเกาะ

หน้าที่: สังเคราะห์สารประเภทไขมันและสเตียรอยด์ (เช่น เซลล์ในรังไข่ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนเพศ ซึ่งเป็นสเตียรอยด์) ,ทำหน้าที่กำจัดสารพิษ เช่น เซลล์ตับ และพบในเซลล์กล้ามเนื้อ

เซลล์ที่ RER & Golgi body มาก:

- pancreatic acinar cell: เซลล์ตับอ่อนสร้างเอนไซม์น้ำย่อย
- pancreatic β-cell: เซลล์ตับอ่อนสร้างฮอร์โมน insulin, glucagon
- plasma cell: เซลล์เม็ดเลือดขาว ทำหน้าสร้าง antibody
- neuron: เซลล์ประสาท สร้างสารสื่อประสาท (neurotransmitter)

เซลล์ที่ SER มาก:

- Leydig cell (testis): เซลล์อัณฑะ สร้างฮอร์โมน testosterone
- ovary: เซลล์รังไข่ สร้างฮอร์โมน estrogen และ progesterone
- adrenal cortex: เซลล์ต่อมหมวกไตชั้นนอก สร้างฮอร์โมน aldosterone
- เซลล์ตับ: กำจัดสารพิษ (detoxification)
- เซลล์กล้ามเนื้อ: สะสม ca^{2+} เรียกว่า sacroplasmic reticulum

double unit membrane (ออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น)

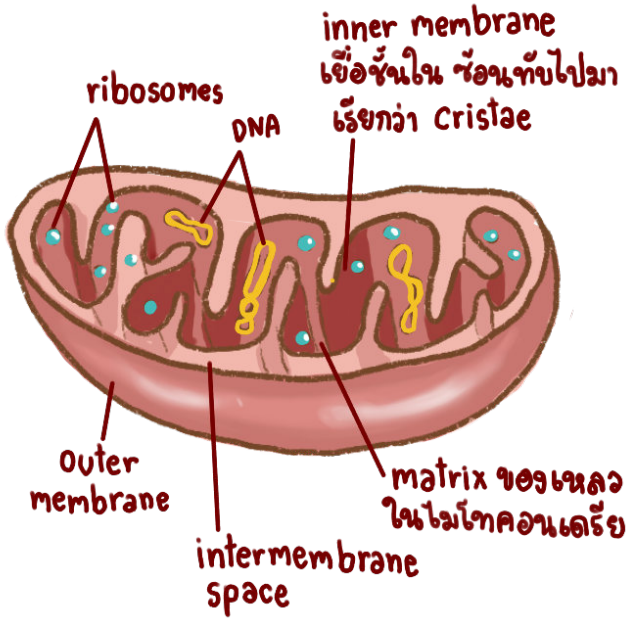
mitochondria

โครงสร้างประกอบด้วยเยื่อหุ้มชั้นนอก และเยื่อหุ้มชั้นในที่มีโครงสร้างเป็นเนื้อเยื่อซ้อนทับไปมา เรียกว่า cristae (ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน) ภายในบรรจุของเหลว matrix (ซึ่งมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสลายสารอาหารระดับเซลล์เช่นกัน) นอกจากนี้ยังพบไรโบโซม 70s และ circular DNA ที่คล้ายกับแบคทีเรีย จึงเชื่อว่าไมโทคอนเดรียมีวิวัฒนาการจากแบคทีเรียและเข้ามาอาศัยร่วมกับเซลล์ยูคาริโอต (endosymbiotic theory)

<u>ทำหน้าที่</u>:

- สร้างพลังงาน ATP จากกระบวนการสลายสารอาหารระดับเซลล์
- ทำงานร่วมกับ SER ในการกำจัดสารพิษที่ตับ

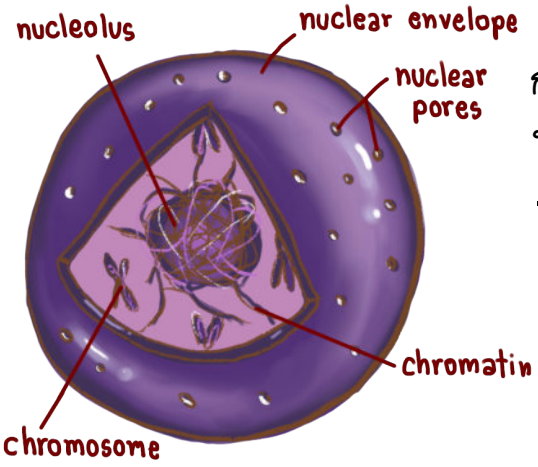
พบมากที่เซลล์ตับ, กล้ามเนื้อหัวใจ, ไต, อสุจิ และสมอง



<u>clinical correlation:</u>

สารพิษ cyanide ออกฤทธิ์กับไมโทคอนเดรีย โดยการยับยั้ง protein complex บน cristae ทำให้เกิดกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนไม่ได้ ไม่สามารถสร้างพลังงาน ATP ได้ เซลล์จึงตาย

3 นิวเคลียส (nucleus)

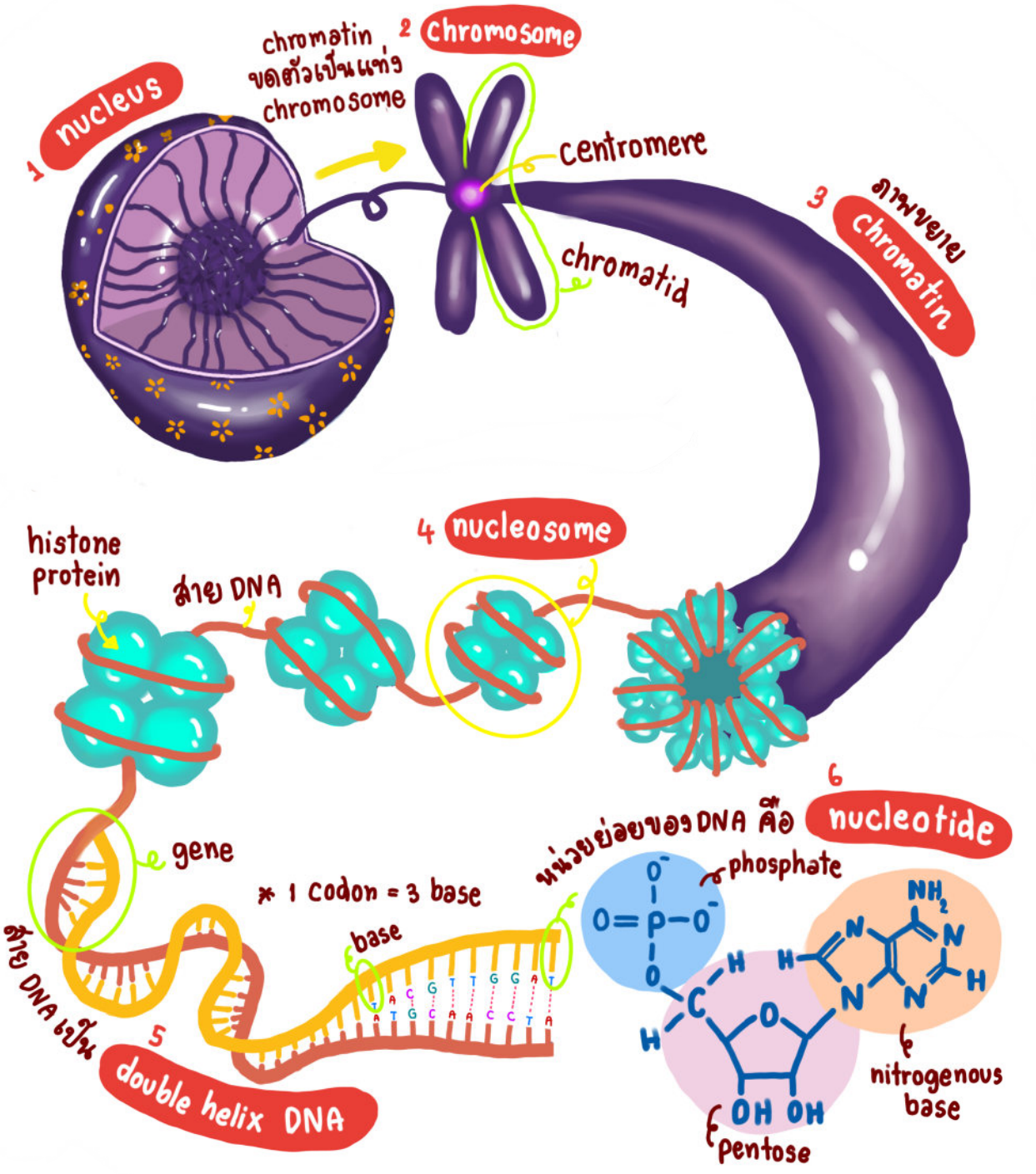


ทำหน้าที่ควบคุมการแสดงออกทางพันธุกรรม การแบ่งตัวของเซลล์ และการสังเคราะห์โปรตีน ประกอบด้วยโครงสร้างดังนี้

- <u>เยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear envelope)</u> มี 2 ชั้น ชั้นนอกติดกับ RER และชั้นในโดยมีรู nuclear pore เป็นช่องทางผ่านของสารระหว่างภายในนิวเคลียสและไซโทพลาสซึม

- nucleolus ประกอบด้วย rRNA และโปรตีนทำหน้าที่สร้าง ribosome
- chromatin เป็นสายของสารพันธุกรรม (ประกอบด้วย DNA & โปรตีน) แบ่งย่อยเป็น
  - euchromatin: DNA ที่พันกันหลวมๆ สามารถสร้าง mRNA เพื่อสังเคราะห์โปรตีนได้
  - heterochromatin: DNA ที่พันกับโปรตีน histone แน่น ไม่สามารถสร้าง mRNA ได้ (inactive)

ทบทวนโครงสร้างของสารพันธุกรรม



การแบ่งเซลล์ (cell replication)

การแบ่งตัวของเซลล์ มี 2 ขั้นตอนคือ การแบ่งนิวเคลียส (karyokinesis) และการแบ่งไซโทพลาสซึม (cytokinesis)

1 การแบ่งนิวเคลียส (karyokinesis)

การแบ่งนิวเคลียส มี 2 ชนิดคือ

- การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ร่างกาย (mitosis)
- การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์สืบพันธุ์ (meiosis)

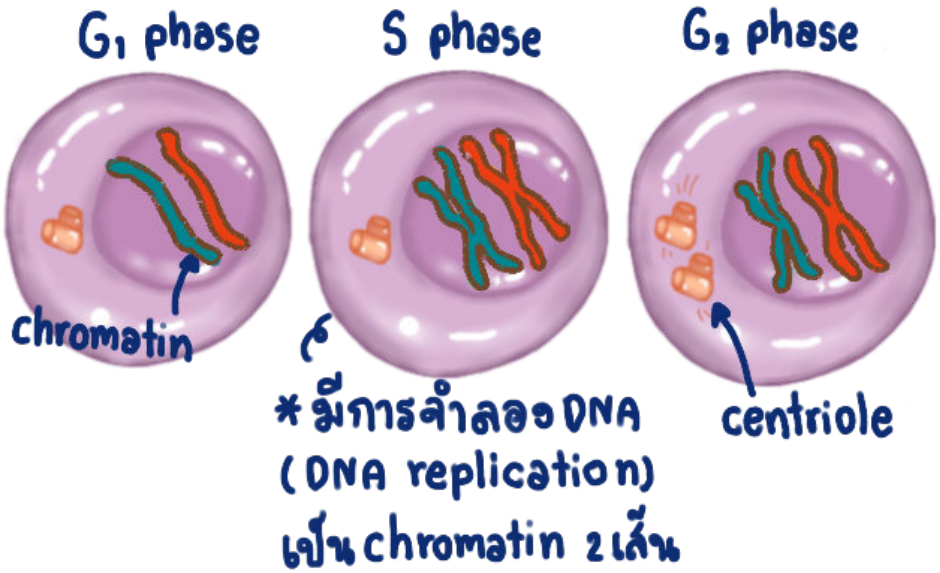
1.1 การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ร่างกาย (mitosis)

เป็นการแบ่งเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ โดยที่จำนวนโครโมโซมยังเท่าเดิม เหมือนเซลล์แม่ทุกประการ

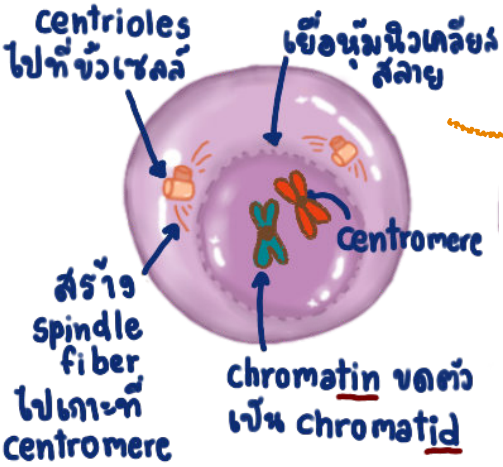
ระยะ interphase:

ระยะเตรียมสารที่ใช้ในการแบ่งเซลล์ (นานที่สุด) มี 3 ระยะย่อยคือ

- G1 phase (Gap1)
  เป็นระยะเตรียมตัวก่อนที่จะมีการสังเคราะห์ DNA
- S phase
  เป็นระยะที่มีการจำลอง DNA เพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด (ขั้นตอนนี้เรียกว่า DNA replication) ทำให้สาย chromatin มองเห็นเป็น 2 เส้น
- G2 phase
  เป็นระยะเตรียมพร้อมสำหรับขั้นตอน M phase

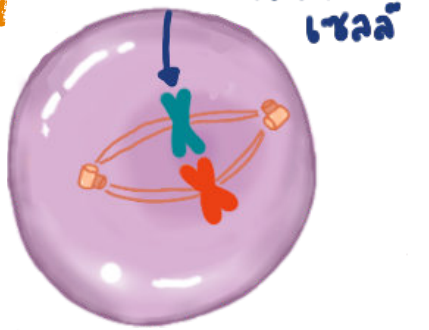


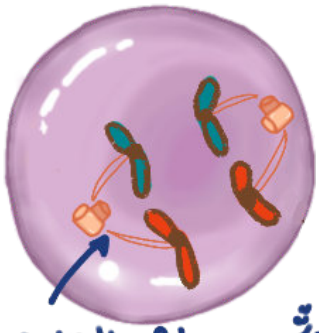
ระยะ M phase: ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนย่อยคือ



- prophase
  - เยื่อหุ้มนิวเคลียสเริ่มสลายไป
  - สาย chromatin เริ่มขดตัวเป็นแท่ง chromatid
  - Centriole เริ่มมีการสร้างเส้นใย spindle fiber เพื่อไปเกาะ chromosome

- metaphase
  - เส้นใย spindle fiber ไปเกาะ chromosome และดึงมากลางเซลล์
  - เป็นระยะที่เห็น chromosome ชัดที่สุด เหมาะกับการทำ karyotype เพื่อศึกษา chromosome

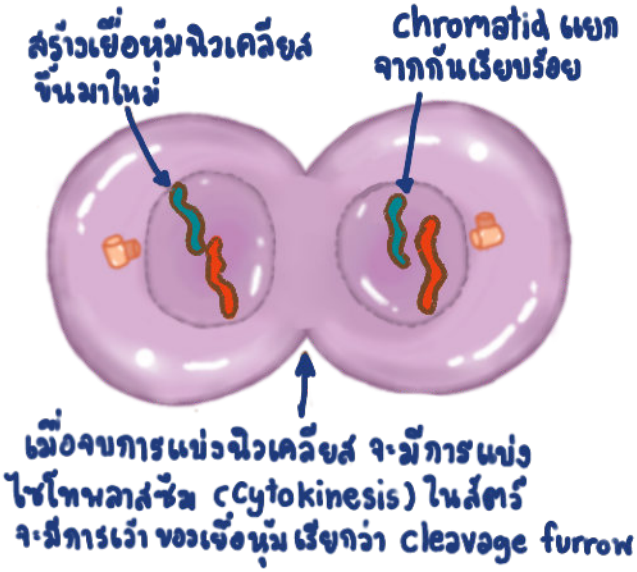




- anaphase

spindle fiber หดสั้นลง ดึง sister chromatid แยกจากกันไปยังขั้วเซลล์

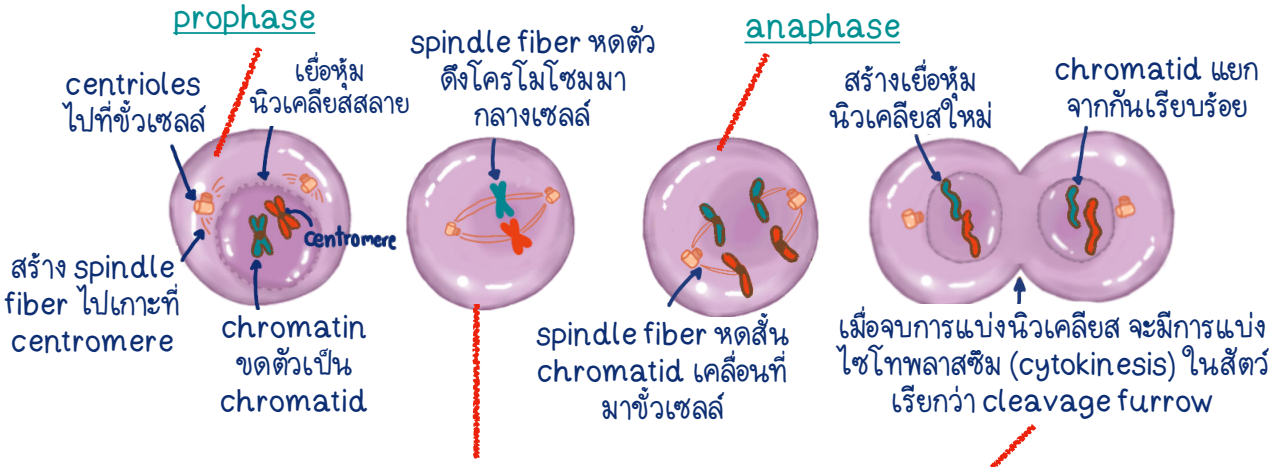
- telophase
  - sister chromatid ไปยังขั้วเซลล์
  - เริ่มมีการสร้างเยื่อหุ้มนิวเคลียสขึ้นมาใหม่
  - มีการแบ่งไซโทพลาสซึม (cytokinesis)



ภาพรวมการแบ่งเซลล์แบบ mitosis

ขั้นเริ่มต้นของการแบ่งเซลล์ โครมาทินหดสั้นลงเป็นแท่งเรียกว่า โครมาทิด (chromatid)

โครโมโซมเริ่มแยกจากกัน ออกไปยังขั้วของเซลล์



โครโมโซมมาเรียงกลางเซลล์ เป็นระยะที่มองเห็นโครโมโซมชัดเจนที่สุด เหมาะกับการทำ karyotype

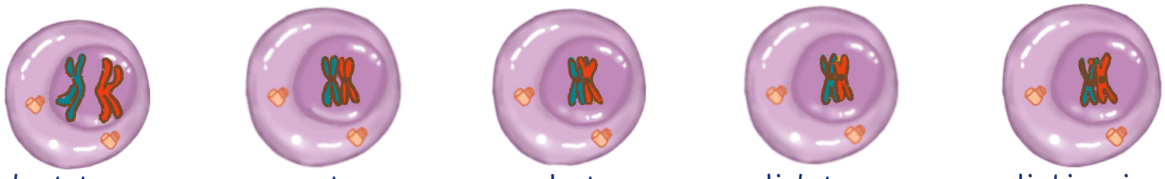
โครโมโซมอยู่ที่ขั้วของเซลล์ เริ่มมีการสร้างเยื่อหุ้มนิวเคลียสใหม่ และมีการแบ่งไซโทพลาสซึมต่อ

1.2 การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์สืบพันธุ์ (meiosis)

เป็นการแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ไข่และสเปิร์ม โดยที่จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง มีการแบ่ง 2 ช่วงคือ first meiotic และ second meiotic division

1. first meiotic division

เป็นขั้นตอนการแยก homologous chromosome ออกจากกัน ทำให้จำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง ประกอบด้วย interphase I, prophase I, metaphase I, anaphase I และ telophase I โดยขั้นตอน prophase I มีรายละเอียดดังนี้



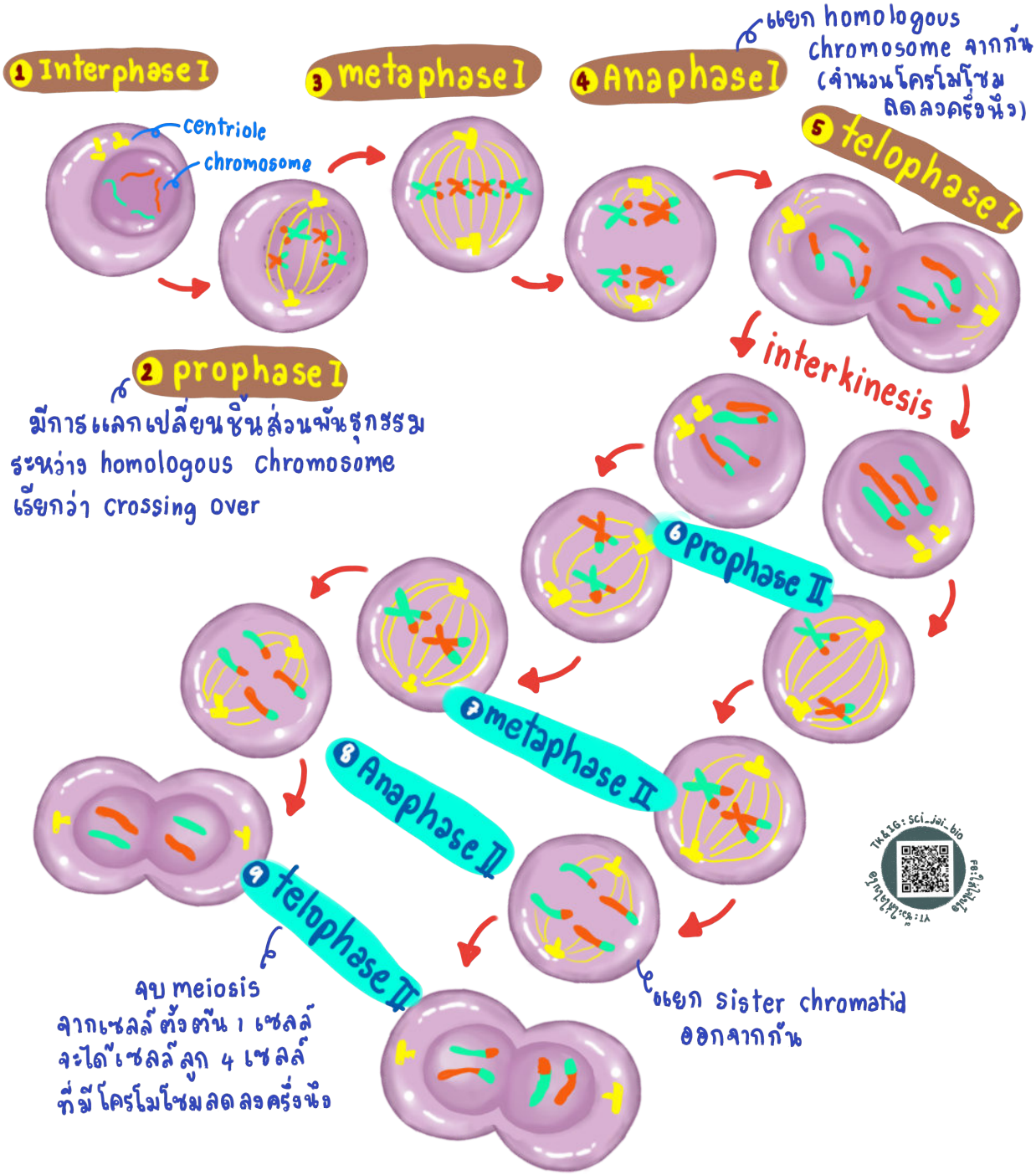
* ระยะที่เกิดการ crossing over คือ diplotene ซึ่งประโยชน์ของขั้นตอนนี้จะช่วยให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต
* ระยะ anaphase I เป็นการแยกจากกันของโครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome) ทำให้จำนวนโครโมโซมของเซลล์ลูกที่ได้ลดลงครึ่งหนึ่ง
* homologous chromosome: คู่ของโครโมโซมที่มีตำแหน่ง centromere ตรงกัน มีตำแหน่งยีน (locus) ที่ควบคุมลักษณะเดียวกันตรงกัน แต่รูปแบบยีน (allele) อาจเหมือนหรือต่างกันก็ได้

2. second meiotic division

เป็นขั้นตอนการแยก sister chromatid ออกจากกัน ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ คือ prophase II, metaphase II, anaphase II และ telophase II

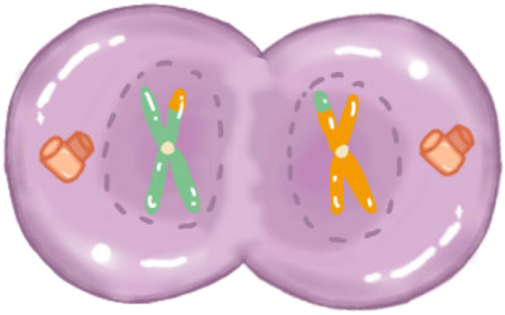
เมื่อสิ้นสุดการแบ่งแบบไมโอซิส จากเซลล์แม่ 1 เซลล์ จะได้เซลล์ลูกทั้งหมด 4 เซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง (haploid, n)

ภาพรวมการแบ่งเซลล์แบบ meiosis



2 การแบ่งไซโทพลาสซึม (cytokinesis)

เมื่อเซลล์แบ่งนิวเคลียสเสร็จแล้ว การแบ่งไซโทพลาสซึมจะเกิดขึ้นโดยเยื่อหุ้มเซลล์จะค่อย ๆคอดเว้าเข้าหากัน จนกระทั่งเซลล์หลุดออกเป็น 2 เซลล์



การขนส่งสารระหว่างเซลล์

เซลล์มีการรักษาดุลยภาพภายในเซลล์โดยการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารด้วยวิธีการต่าง ๆ คือ

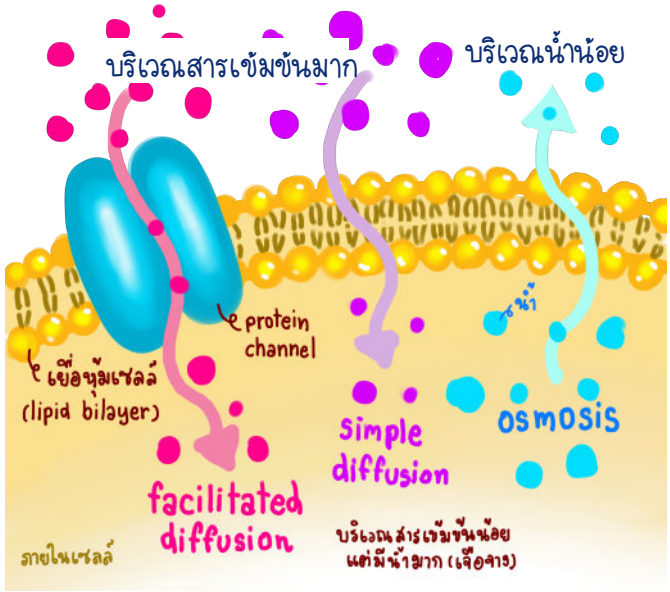
1. การขนส่งสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์
   - การขนส่งสารโดยไม่ใช้พลังงาน ATP (passive transport)
     - การแพร่ (diffusion)
     - การแพร่โดยอาศัยตัวพา (facilitated diffusion)
     - การออสโมซิส (osmosis)
   - การขนส่งสารโดยใช้พลังงาน ATP

2. การขนส่งสารไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์
   - การขนส่งสารเข้าเซลล์ (endocytosis)
     - การกินของเซลล์ (phagocytosis)
     - การดื่มของเซลล์ (pinocytosis)
     - การนำเข้าโดยอาศัยตัวพา (receptor-mediated endocytosis)
   - การขนส่งสารออกเซลล์ (exocytosis)

1 การขนส่งสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

กระบวนการที่เซลล์นำสารต่าง ๆเข้าออกเซลล์ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งมีลักษณะเป็นเยื่อเลือกผ่าน ยอมให้บางสารผ่านได้ง่าย และจำกัดการเข้าออกของสารบางอย่าง

1.1 การขนส่งสารโดยไม่ใช้พลังงาน ATP (passive transport)



การแพร่แบบธรรมดา (simple diffusion)

เป็นการเคลื่อนที่ของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากไปที่ที่มีความเข้มข้นน้อย โดยไม่ใช้พลังงาน ATP จนกระทั่งทั้งสองบริเวณมีความสมดุลกัน

ตัวอย่าง: การแพร่ผ่านชั้น phospholipid lipid ของสารขนาดเล็ก, ไม่มีขั้ว/มีขั้วเล็กน้อย, ละลายในไขมันได้ เช่น แก๊สชนิดต่าง ๆ, แอลกอฮอล์, ยูเรีย, สเตียรอยด์, ฮอร์โมนเพศ, กรดไขมัน และวิตามินที่ละลายในไขมัน (วิตามิน A, D, E, K)

การแพร่โดยอาศัยตัวพา (facilitated diffusion)

การเคลื่อนที่ของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นมากไปน้อยโดยไม่ใช้ ATP เช่นเดียวกับ simple diffusion แต่จะเกิดเร็วกว่า เนื่องจากมีโปรตีนตัวพา (protein channel) ที่จำเพาะกับสารนั้น ๆ

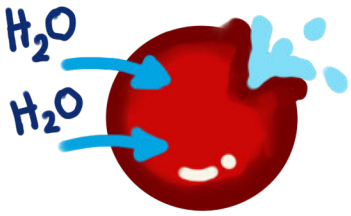
ตัวอย่าง: สารขนาดเล็ก มีขั้ว/ มีประจุ ละลายในน้ำ ลำเลียงผ่านโปรตีนตัวขนส่ง (carrier protein) ที่อยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์

การออสโมซิส (osmosis)

เป็นการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่าน จากบริเวณน้ำมาก (เจือจาง) ไปยังบริเวณน้ำน้อย (เข้มข้น) โดยอาศัยแรงดัน osmotic pressure

ตัวอย่าง: การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (เช่นเซลล์เยื่อบุลำไส้, ไต)

ประเภทของสารละลายที่เกี่ยวข้องกับการออสโมซิส

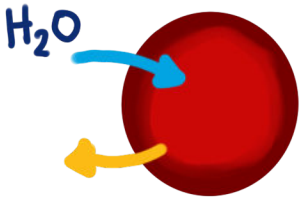


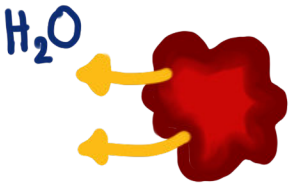
hypotonic solution

สารละลายนอกเซลล์ มีความเข้มข้นน้อยกว่าภายในเซลล์ น้ำจากภายนอกจึงเคลื่อนที่เข้ามาภายในเซลล์ ทำให้เซลล์เต่ง หรือแตกออก

isotonic solution

สารละลายนอกเซลล์ มีความเข้มข้นเท่ากับภายในเซลล์ เซลล์จึงสามารถคงรูปปกติได้

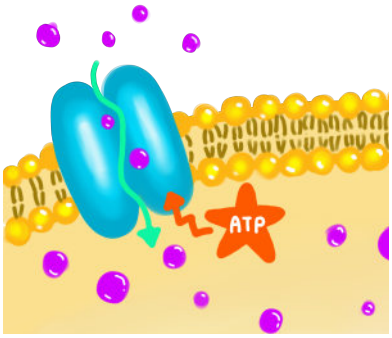




hypertonic solution

สารละลายนอกเซลล์ มีความเข้มข้นมากกว่าภายในเซลล์ น้ำภายในเซลล์จึงเคลื่อนที่ออก ทำให้เซลล์เหี่ยว

1.2 การขนส่งสารโดยใช้พลังงาน ATP (active transport)



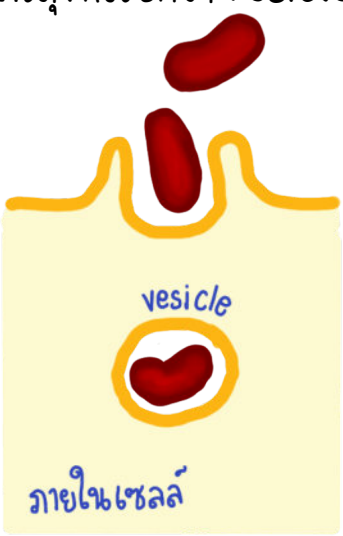
อาศัยพลังงาน ATP และโปรตีนตัวพา ในการขนส่งโดยสารจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยไปยังบริเวณที่เข้มข้นมาก (ตรงข้ามกับการแพร่)
ตัวอย่าง: การรักษาสมดุล Na-K pump ในเซลล์ประสาท, การหลั่ง H^+ ของกระเพาะอาหาร หรือการขนส่ง Ca^{2+} เพื่อการหดตัวของเซลล์กล้ามเนื้อ

2 การขนส่งสารไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

กระบวนการเคลื่อนย้ายสารขนาดใหญ่ เช่น โปรตีน หรือฮอร์โมนบางชนิด โดยใช้ถุง vesicle ที่สร้างจากเยื่อหุ้มเซลล์ (ไม่ใช่การแพร่ผ่านเยื่อโดยตรง และต้องใช้พลังงาน ATP เสมอ)

2.1 การขนส่งสารเข้าสู่เซลล์ (endocytosis)

อาศัยเยื่อหุ้มเซลล์และพลังงาน ATP ในการนำเข้าสารขนาดใหญ่ โดยเยื่อหุ้มเซลล์จะโอบล้อม สารนั้น ๆ ให้เว้าเข้ามาด้านในเซลล์ จนกระทั่งหลุดเป็นถุงที่เรียกว่า vesicle มี 3 วิธีการหลัก ๆ คือ

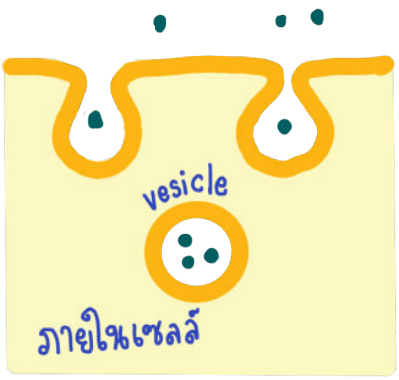


การกินของเซลล์ (phagocytosis)

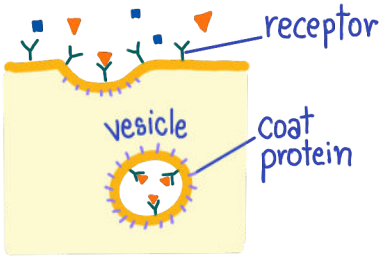
ไซโทพลาซึมจะค่อย ๆ ดันเยื่อหุ้มเซลล์ออกโดยมีลักษณะคล้ายขา เพื่อไปโอบล้อมสาร (เรียกว่า pseudopodium) จากนั้นจะดึงสารจนหลุดเป็นถุง (vesicle) เข้ามาด้านในเซลล์ และรวมกับ lysosome เพื่อย่อย
ตัวอย่าง: การกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว, การกินของอะมีบา

การดื่มของเซลล์ (pinocytosis)

สารที่เข้าสู่เซลล์มีลักษณะเป็นของเหลว เยื่อหุ้มเซลล์จะค่อย ๆ เว้าเข้ามาด้านในเซลล์เป็นร่องเล็ก จนกระทั่งหลุดเป็นถุง
ตัวอย่าง: การดูดกลับโปรตีนที่ท่อหน่วยไต การดูดซึมไขมันของลำไส้เล็ก



การนำเข้าโดยอาศัยตัวพา (receptor-mediated endocytosis)



การนำสารเข้าเซลล์ โดยมีตัวรับที่จำเพาะกับสารชนิดนั้น ๆ (receptor) อยู่ที่ผิวของเยื่อหุ้มเซลล์

ตัวอย่าง: การนำเข้าฮอร์โมน insulin, การนำไขมัน HDL เข้าสู่ตับ

2.2 การขนส่งสารออกจากเซลล์ (exocytosis)

อาศัยเยื่อหุ้มเซลล์และพลังงาน ATP ในการส่งออกสารขนาดใหญ่ โดยสารที่ส่งออกบรรจุอยู่ใน vesicle ซึ่งจะเคลื่อนที่มารวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ และปล่อยสารที่บรรจุอยู่ออกสู่ภายนอก

ตัวอย่าง: การหลั่งเอนไซม์จากเยื่อบุกระเพาะอาหาร, การหลั่งฮอร์โมนอินซูลินจากเซลล์ตับอ่อน และการหลั่ง antibody เป็นต้น

ขั้นตอนการส่งออกโปรตีนด้วยวิธีการ exocytosis

3. vesicle เคลื่อนที่เข้าใกล้จนกระทั่งเชื่อมรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ พร้อมกับปล่อยสารออกนอกเซลล์

2. Golgi body ช่วยในการ glycosylation (การเติมหมู่คาร์โบไฮเดรต เข้ากับโปรตีนหรือไขมัน) และบรรจุโปรตีนตัดแต่งลง secretory vesicle

1. rough endoplasmic reticulum (RER) ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนส่งออกนอกเซลล์ โดยผ่านไปยัง Golgi body

การสื่อสารระหว่างเซลล์

คือ การที่เซลล์มีการติดต่อระหว่างเซลล์ด้วยกันเอง หรือเซลล์มีการติดต่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอก เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยอาศัยโปรตีนที่ผิวเซลล์ หรือสารเคมีที่หลั่งออกมาจากเซลล์