

บทที่ 3

เซลล์ : หน่วยพื้นฐานของชีวิต

Cell : Basic of Life

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

เมื่อศึกษาบทเรียนนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

1. เขียนแผนผังแสดงส่วนประกอบของเซลล์ทั่วไปของสิ่งมีชีวิตได้
2. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะเซลล์ (organelles) ของเซลล์ได้
3. อธิบายกระบวนการนำสารเข้าและออกจากเซลล์โดยไม่ใช้พลังงานและใช้พลังงานรูปแบบต่าง ๆ ได้

พลังงานรูปแบบต่าง ๆ ได้

4. อธิบายกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิสได้
5. เขียนแผนผังและอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในวัฏจักรเซลล์ได้
6. เขียนแผนผังและอธิบายกระบวนการในวงซีพของสิ่งมีชีวิตได้

เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กที่สุด แต่มีความสำคัญมากที่สุดเช่นกัน การศึกษาทำความเข้าใจโครงสร้างและกระบวนการทำงานของเซลล์จะช่วยให้เข้าใจถึงระบบการทำงานของเนื้อเยื่อ อวัยวะ และระบบอวัยวะได้ดี เซลล์ของสิ่งมีชีวิตแม้ว่าจะมีขนาดรูปร่างแตกต่างกัน แต่มีองค์ประกอบโดยเฉพะสารเคมีพื้นฐานที่เหมือนกัน จะแตกต่างกันบ้างในรายละเอียดเท่านั้น

การทำงานของเซลล์เป็นแบบจำลองการทำงานของร่างกาย คือ มีการรับสารจากภายนอกเข้าสู่เซลล์เปรียบเสมือนการกิน สารที่เข้าสู่เซลล์จะเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการสลายและสร้างสารประกอบใหม่ซึ่งเหมือนกับการย่อยและสังเคราะห์สาร เซลล์มีการกำจัดสารออกนอกเซลล์เช่นเดียวกับกระบวนการขับถ่ายของเสียของร่างกาย เซลล์มีการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์โดยการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวน นอกจากนี้เซลล์ยังมีระบบป้องกันและการติดต่อสื่อสารกับเซลล์อื่น ๆ

ดังนั้นถ้าเซลล์ถูกรบกวนอย่างรุนแรงและสูญเสียการทำงานการควบคุมย่อมมีผลต่อคุณภาพของร่างกาย อย่างไรก็ตามเซลล์ก็มีการเสื่อม คือ การชราภาพและตายไปตาม

สภาพ การเรียนรู้เรื่องเซลล์จึงช่วยให้สามารถดูแลรักษาให้เซลล์มีสภาพที่ดีที่สุดตลอดเวลาที่มีชีวิตอยู่

3.1 เซลล์ของสิ่งมีชีวิต

การค้นพบและทฤษฎีของเซลล์

การค้นพบเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เริ่มต้นจากปี ค.ศ.1655 Robert Hook ได้ประดิษฐ์ กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบที่มีลำกล้องป้องกันแสงจากภายนอกแล้วนำไปส่องดูชิ้นไม้คอร์กที่ฝานบาง ๆ ได้พบโครงสร้างที่มีรูปร่างเป็นช่องเหลี่ยมเล็ก ๆ จึงเรียกว่า เซลล์ (Cell) ซึ่งหมายถึง ห้องเล็ก ๆ อันที่จริงสิ่งที่ถูกเห็นนั้นเป็นเพียงผนังเซลล์ของพืชที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากที่เซลล์ตายแล้ว อย่างไรก็ตามชุกก็ได้ชื่อว่าเป็นผู้พบและตั้งชื่อเซลล์เป็นคนแรก และใช้มาจนถึงปัจจุบัน

ทฤษฎีเซลล์ (Cell Theory)

ในปี ค.ศ.1838 Matthias Jacob Schleiden นักชีววิทยาชาวเยอรมัน ได้ศึกษา เซลล์ของพืชชนิดต่าง ๆ แล้วสรุปว่า พืชทุกชนิดประกอบด้วยเซลล์ ต่อมาในปี ค.ศ.1839 Theoder Schwan นักชีววิทยาชาวเยอรมันได้ศึกษาเซลล์ของสัตว์ แล้วสรุปว่า เนื้อเยื่อของสัตว์ประกอบด้วยเซลล์ ในปีนี้เอง Schleiden และ Schwan ได้ร่วมกันตั้งทฤษฎีเซลล์ (Cell Theory) มีสาระสำคัญ คือ “สิ่งมีชีวิตทั้งหลาย ประกอบด้วย เซลล์ และผลิตภัณฑ์ของเซลล์” (All animal and plant are composed of cell and products) และในปี ค.ศ.1855 Rudolf Virchow ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของเซลล์และการเพิ่มจำนวนเซลล์จากเซลล์ที่เจริญเติบโต จึงเพิ่มเติมทฤษฎีเซลล์ว่า “เซลล์ทุกชนิดย่อมมีกำเนิดมาจากเซลล์ที่มีอยู่ก่อน”

การศึกษาเกี่ยวกับเซลล์ในปัจจุบันก้าวหน้าไปมากและค้นพบความจริงเกี่ยวกับเซลล์มากมาย ทฤษฎีเซลล์ได้พัฒนามาเป็นทฤษฎีในปัจจุบัน ซึ่งถือเป็นรากฐานสำคัญของชีววิทยาสสมัยใหม่ มีสาระสำคัญคือ

1. สิ่งมีชีวิตทั้งหลายประกอบด้วยเซลล์และผลิตภัณฑ์ของเซลล์
2. เซลล์ที่เกิดใหม่ย่อมต้องมาจากเซลล์เดิมเท่านั้น

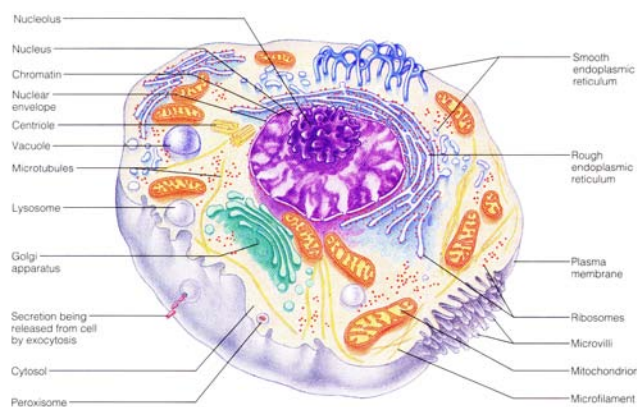
3. เซลล์ทุกชนิดมีส่วนประกอบพื้นฐานและกระบวนการสร้างและสลาย (Metabolism) เหมือนกัน

4. พฤติกรรม กิจกรรม และกระบวนการต่าง ๆ ที่ดำเนินอยู่ของสิ่งมีชีวิต เป็นผลมาจากการทำงานร่วมและประสานกันของกลุ่มเซลล์

โครงสร้างของเซลล์ (Structure of Cell)

เซลล์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในเรื่องของรูปร่าง ขนาด โครงสร้างและหน้าที่ แต่มีองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีเหมือนกัน ได้แก่ น้ำ คาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน กรดนิวคลีอิก เกลือแร่ และวิตามิน เซลล์แบ่งตามลักษณะโครงสร้างของนิวเคลียสได้ 2 ชนิด คือ เซลล์โพรคาริโอต (Prokaryotic Cell) เป็นเซลล์ที่สารพันธุกรรมไม่รวมเป็นกลุ่มก้อน เพราะไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสกับเซลล์ยูคาริโอต (Eucaryotic Cell) เป็นเซลล์ที่สารพันธุกรรมอยู่เป็นกลุ่มโดยมีเยื่อหุ้มนิวเคลียส

โครงสร้างของเซลล์ยูคาริโอต



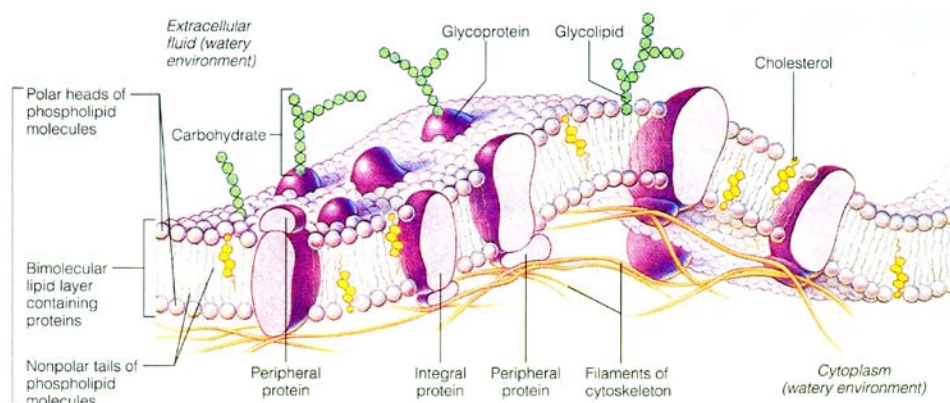
รูปที่ 3.1.1 โครงสร้างของเซลล์ยูคาริโอต

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 64)

เซลล์ยูคาริโอตมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ เยื่อเซลล์ (Cell Membrane) ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) และนิวเคลียส (Nucleus)

เยื่อเซลล์ (Cell Membrane)

เยื่อเซลล์เป็นส่วนที่ห่อหุ้มส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ไว้ทั้งหมด มีความหนาประมาณ 75-100 อังสตรอม ประกอบด้วย ไขมัน กลุ่มฟอสโฟลิปิด กับ โปรตีน



รูปที่ 3.1.2 โครงสร้างของเยื่อเซลล์

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 65)

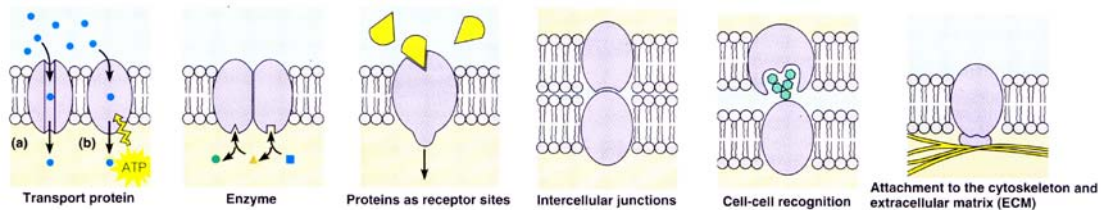
โครงสร้างของเยื่อเซลล์ มีลักษณะตามที่ Singer และ Nicolson ได้เสนอไว้ใน Fluid Mosaic Model ว่าเป็นการจัดเรียงตัวของไขมัน 2 ชั้น (Lipid Bilayer) โดยโมเลกุลของไขมันหันเอาด้านหาง ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดไม่มีประจุ (Non-Polar) เป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เข้าหากัน และเอาส่วนหัวซึ่งเป็นกลีเซอรอลเป็นส่วนที่มีประจุ (Polar) ซึ่งชอบน้ำ (Hydrophilic) เข้าหาน้ำนอกเซลล์ (Extracellular Fluid) และน้ำในเซลล์ (Intracellular Fluid)

โปรตีนมีการจัดเรียงตัว 2 ลักษณะ คือ

1. โปรตีนภายใน (Integral Protein) เป็นโปรตีนที่โมเลกุลแทรกอยู่ในชั้นของไขมัน โดยส่วนที่ไม่มีประจุ (Non Polar) อยู่ด้านใน ส่วนที่มีประจุ (Polar) ทะลุออกมาออกชั้นไขมัน เข้าหาน้ำ โมเลกุลของโปรตีนยึดหยุ่นโดยเคลื่อนไหวทางด้านข้างได้ ทำให้เกิดรู (Pore) ของเยื่อเซลล์ ซึ่งทำให้น้ำแพร่ผ่านเข้าออกได้ หรือโมเลกุลประกอบกันเป็นช่อง (Channel) ซึ่งทำให้อิออน (Ions) ของสารผ่านได้ หรือทำหน้าที่เป็นตัวพา (Carrier Protein) นำสารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่เข้าสู่เซลล์ได้

2. โปรตีนภายนอก (Peripheral Protein) เป็นโปรตีนที่วางตัวอยู่นอกชั้นไขมัน ส่วนใหญ่อยู่ด้านไซโตพลาสซึม

โปรตีนที่เยื่อเซลล์ทำหน้าที่แตกต่างกัน ได้แก่ ลำเลียงสาร (Transport Protein) เอนไซม์ (Enzyme) โปรตีนตัวรับ (Receptor Protein) เชื่อมต่อระหว่างเซลล์ (Intercellular Junctions) การจำกันได้ของเซลล์ (Cell-Cell recognition) ยึดโครงสร้างของเซลล์และของเหลวภายในเซลล์ (Attachment to the cytoskeleton and extracellular matrix (ECM))



รูปที่ 3.1.3 หน้าที่บางอย่างของโปรตีนที่เยื่อเซลล์

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 66)

ไขมันและโปรตีนที่เยื่อเซลล์ อาจมีโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยในโมเลกุลของไกลโคลิพิด (Glycolipid) หรือ ไกลโคโปรตีน (Glycoprotein) ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำให้กับเซลล์ โดยเป็นตัวรับที่มีความจำเพาะต่อสารเคมีบางชนิด

ที่เยื่อเซลล์มีรูขนาดเล็กที่อนุญาตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 อังสตรอม แพร่ผ่านได้ เยื่อเซลล์จึงมีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semipermeable Membrane) ทำให้สารบางชนิดผ่านเข้าออกได้ เกิดการแลกเปลี่ยนสารระหว่างเซลล์กับสิ่งแวดล้อมและการกระจายของประจุไฟฟ้าระหว่างภายในกับภายนอกเซลล์

สารเคลือบเซลล์ (Cell Coat)

เซลล์มีการสร้างสารและขับออกมาเคลือบเยื่อเซลล์ด้านนอก สารเคลือบเซลล์สัตว์เป็นพวกไกลโคโปรตีน ทำให้เซลล์ชนิดเดียวกันจำกันได้ในกรรวมกลุ่มเป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน ถ้าสารเคลือบเซลล์ถูกทำลายจะทำให้เซลล์จำกันไม่ได้ ทำให้สูญเสียการทำหน้าที่ เซลล์จึงมีแต่การเจริญ (Growth) แต่ไม่เปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เฉพาะ (Differentiation) เช่น เซลล์มะเร็ง

สารเคลือบเซลล์พืช เป็นสารที่ทำให้เซลล์มีความแข็งแรง ที่เรียกว่า ผนังเซลล์ (Cell Wall) โดยมี cellulose เป็นแกนกลางและมี Lignin Cutin Pectin และ Suberin อยู่ด้านนอก มีช่องติดต่อระหว่างเซลล์ คือ พลาสโมเดสมตา (Plasmodesmata)

ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นที่ไม่ใช่พืช มีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน เช่น ผนังเซลล์ของสาหร่าย ประกอบด้วย Pectin เป็นส่วนใหญ่ กับ Cellulose ผนังเซลล์ของฟังไจ เป็น Chitin ผนังเซลล์ของแบคทีเรียประกอบด้วย Polysaccharide เป็นแกนให้โปรตีนกับไขมัน ยึดเกาะอยู่ด้านใน คือ Peptidoglycan ซึ่งเป็นชั้นที่แข็งแรงที่สุด ทำให้แบคทีเรียสามารถต้านทานสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี

หน้าที่ของเยื่อเซลล์ (Function of Cell Membrane)

เยื่อเซลล์ทำหน้าที่เป็นเสมือนรั้วบ้าน กั้นเซลล์ออกจากกัน และสิ่งแวดลอม ควบคุมการเคลื่อนย้ายสารผ่านเข้าออกเซลล์ รักษาสมดุลของสภาพแวดล้อมภายในเซลล์ ที่เยื่อเซลล์มีสารพวกไกลโคโปรตีนทำให้เซลล์จำกันได้ในกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน ซึ่งมีความสำคัญมากในระยะที่มีการแบ่งเซลล์และพัฒนาเป็นตัวอ่อนในระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงเซลล์ไปทำหน้าที่เฉพาะ (Differentiation) เพื่อสร้างเนื้อเยื่อและอวัยวะซึ่งเป็นเซลล์ชนิดเดียวกันจับกลุ่มอยู่ด้วยกัน ที่เยื่อเซลล์ยังมีโปรตีนตัวรับ (Receptor Protein) เป็นตัวรับสาร ทำให้มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน เซลล์บางชนิดเยื่อเซลล์มีคุณสมบัติพิเศษในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือมีตัวรับที่ทำปฏิกิริยาจำเพาะกับสารเคมีบางชนิด ทำให้สามารถสื่อสารหรือส่งข่าวถึงกันได้ (Cell-Cell Communication) เช่น เซลล์ประสาทสื่อสารกันได้ในรูปแบบของกระแสไฟฟ้า และเซลล์ที่สื่อสารกันในรูปแบบสารเคมี คือ ฮอร์โมนชนิดต่าง ๆ

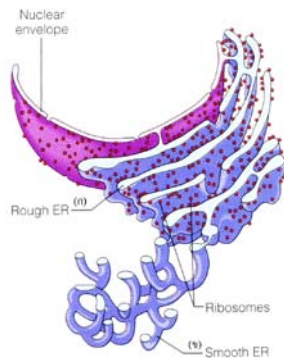
ไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)

ไซโตพลาสซึม ประกอบด้วย ไซโตซอล (Cytosal หรือ Cytoplasmic Matrix) ซึ่งเป็นของเหลวที่ประกอบด้วย สารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์ รวมถึงสารแขวนลอยต่าง ๆ มีลักษณะคล้ายวุ้น เป็นแหล่งของปฏิกิริยาเคมี มีออร์แกเนลล์ (Organelles) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่เป็นอวัยวะของเซลล์ นอกจากนี้ยังมีสิ่งไร้ชีวิต (Inclusion Body) ซึ่งเป็นสารที่เซลล์สร้างและสะสมไว้ในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจะพบได้เฉพาะเซลล์บางชนิด และบางเวลาเท่านั้น เช่น สารที่มีโครงสร้างเป็นเม็ดหรือแกรนูลเพื่อการส่งออกไปนอกเซลล์ เช่น สารคัดหลั่ง (Secretory Granule) สารสื่อประสาทพวกฮอร์โมน (Neuroendocrine

Granule) หยดไขมัน (Lipid Droplet) ไกลโคเจน (Glycogen) และสารสีพวกเมลานิน (Melanin) ซึ่งทำให้เกิดสีผิวเข้ม เป็นต้น

องค์ประกอบ โครงสร้าง และหน้าที่ของเซลล์ออร์แกเนลล์

ออร์แกเนลล์ (Organelles) เป็นองค์ประกอบของเซลล์ที่มีโครงสร้าง (Structure) และหน้าที่ (Function) ที่แน่นอน แขนงลอยอยู่ในไซโตซอล ได้แก่



รูปที่ 3.1.4 ร่างแหเอนโดพลาสมิซึม
ชนิดหยาบ (ก) และชนิดเรียบ (ข)

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 80)

1. ร่างแหเอนโดพลาสมิซึม (Endoplasmic Reticulum, ER) มีลักษณะเป็นท่อกลวง ทรงกระบอก หรือแบน เรียงตัวเป็นร่างแห เป็นเยื่อชั้นเดียว มีองค์ประกอบเช่นเดียวกับ เยื่อเซลล์ มี 2 ชนิด คือ ชนิดหยาบและชนิดเรียบ

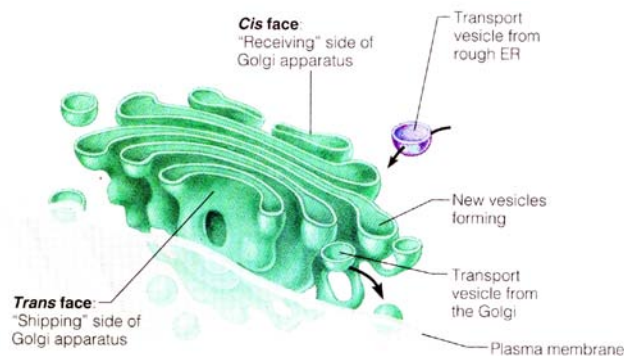
ร่างแหเอนโดพลาสมิซึมชนิดหยาบ (Rough Endoplasmic Reticulum, RER) มีไรโบโซม (Ribosome) เกาะที่ผิวด้านนอก ทำให้มีผิวขรุขระ เป็นท่อแบนเรียงทับซ้อนกันเป็นชั้น โดยมีส่วนที่เชื่อมต่อกับเยื่อหุ้ม

นิวเคลียส ทำหน้าที่ลำเลียงโปรตีนที่สร้างจากไรโบโซม เพื่อส่งออกไปใช้นอกเซลล์ เช่น อิมมูโนโกลบูลิน (Immunoglobulin) เอนไซม์ (Enzyme) และฮอร์โมน (Hormone) โดยมี กอลจี คอมเพล็กซ์ (Golgi Complex) ทำหน้าที่สะสมให้มีความเข้มข้นก่อนส่งออก ส่วนร่างแหเอนโดพลาสมิซึมชนิดเรียบ (Smooth Endoplasmic Reticulum, SER) มีผิวเรียบ เป็นท่อทรงกระบอกโค้งงอ หรือเป็นแท่งมีกิ่งก้านสาขา หรือเป็นถุง ไม่เรียงตัวซ้อนกัน ทำหน้าที่สังเคราะห์และหลั่งสาร สเตอรอยด์ฮอร์โมน จึงพบมากในเซลล์ต่อมหมวกไต เซลล์เลย์ดีคในอัณฑะ และเซลล์ในรังไข่ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน กำจัดสารพิษที่เซลล์ตับ ทำหน้าที่ร่วมในกระบวนการเผาผลาญโคเลสเตอรอล และไกลโคเจนในเซลล์กล้ามเนื้อ (Sarcoplasmic Reticulum) ทำหน้าที่ส่งถ่ายแคลเซียม ซึ่งควบคุมการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อ

เซลล์ที่เกิดใหม่จะพบว่ามี RER มาก เมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้น RER จะเปลี่ยนเป็น SER เนื่องจากเยื่อ ER เป็นเยื่อชนิดที่ยอมให้สารที่มีโมเลกุลใหญ่บางชนิด รวมทั้งลิปิด

เอนไซม์ และโปรตีนผ่านเข้าออกได้ จึงเป็นทางผ่านของสารและเกลือแร่เข้าไปกระจายทั่วเซลล์ นอกจากนี้ยังมีการสะสมสารภายในท่อ รวมทั้งมีการขับถ่ายของเสียออกจากเซลล์ โดยผ่านทางท่ออีกด้วย

2. กุฏกอลจิ คอมเพล็กซ์ (Golgi Complex) เป็นออร์แกเนลล์ที่ติดต่อกับ ER มีลักษณะเป็นถุงแบนที่มีเยื่อ 2 ชั้น เรียกว่า Cisterna วางซ้อนกันประมาณ 5-10 ชั้น มี 2 ด้าน ด้านบนติดต่อกับ ER ส่วนด้านขวามักพบ Vacuole Sac จำนวนมาก ปลายทั้ง 2 ของถุงจะโป่งออก เนื่องจากบรรจุโปรตีนที่รับมาจาก RER เพื่อสังเคราะห์เป็นสารหลายชนิดที่พร้อมจะใช้งานได้ บรรจุอยู่ใน Vacuole Sac ได้แก่ ไลโซโซมแรกสร้าง (Primary Lysosome) เม็ดสารคัดหลั่ง (Secretory Granule) ต่าง ๆ เช่น ฮอร์โมนในนิวโรเอนโดคริน แกรนูล (Neuroendocrine Granule) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่สร้าง อะโครโซม (Acrosome) ที่ส่วนหัวของเซลล์อสุจิซึ่งเป็นที่เก็บเอนไซม์สำหรับย่อยเยื่อเซลล์ของไข่ ทำหน้าที่สร้างเมือกในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ สร้างแผ่นเซลล์ (Cell Plate) ในการแบ่งเซลล์ของพืช

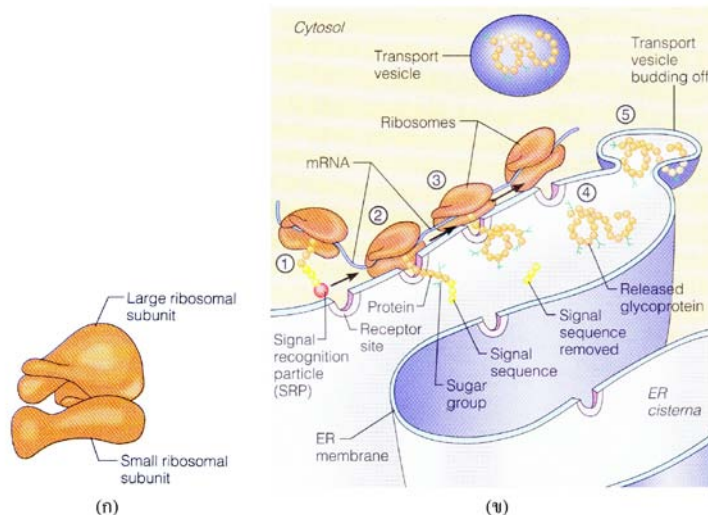


รูปที่ 3.1.5 กอลจิ คอมเพล็กซ์

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 82)

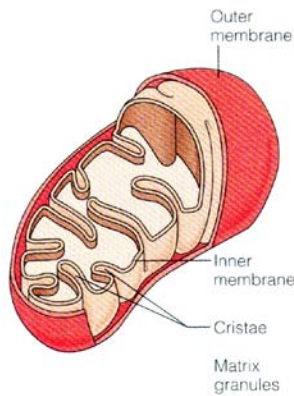
3. ไรโบโซม (Ribosome) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีขนาดเล็กที่สุด คือ 0.015-0.025 ไมครอน พบในเซลล์ทุกชนิด ประกอบด้วย โปรตีน และ rRNA ไม่มีเยื่อหุ้ม มี 2 หน่วยย่อย (2 Sub Unit) คือ ขนาดใหญ่ (60s) และขนาดเล็ก (40s) ประกอบกัน มีร่องตรงกลางสำหรับให้สาย mRNA พาดผ่าน นอกจากนี้ในไซโตพลาสซึมยังพบอยู่ในไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์ มีการเรียงตัวเป็น 3 แบบ คือ 1) เป็นโครงสร้างเดี่ยว ๆ (Primary Ribosome หรือ Free Ribosome) เป็นไรโบโซมแรกสร้าง อยู่เป็นอิสระกระจายทั่วเซลล์

ยังไม่ทำหน้าที่สร้างโปรตีน 2) กลุ่มไรโบโซม เกาะติดกับสาร mRNA (Free Poly Ribosome) ทำหน้าที่สร้างโปรตีนเพื่อใช้เป็นเอนไซม์ในเซลล์ 3) จับกันเป็นสายโพลีไรโบโซม (Poly Ribosome) เกาะติดกับผนังด้านนอกของ RER ทำหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนเพื่อส่งออกภายนอกเซลล์



รูปที่ 3.1.6 ไรโบโซม (ก) และโพลีไรโบโซม (ข)

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition หน้า 80,81)

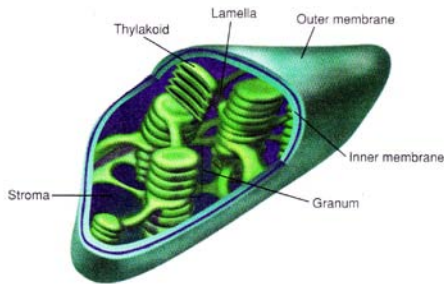


รูปที่ 3.1.7 ไมโทคอนเดรีย

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 79)

4. ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) เป็นออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์ยูคาริโอตทุกชนิด มีขนาดใหญ่ มีรูปร่างเป็นแท่งยาว กลมหรือรี ยาวประมาณ 2-6 ไมโครเมตร มีเยื่อ 2 ชั้น ชั้นนอกเรียบ ชั้นในพับทบเป็นท่อน เรียกว่า คริสตี (Cristae) ยื่นเข้าไปข้างใน ซึ่งเป็นของเหลว (Matrix) เยื่อชั้นนอกทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างฟอสโฟลิปิด เยื่อชั้นในเป็นที่เกาะของเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสันดาปออกซิเจน ในการเผาผลาญโดยใช้ออกซิเจน คือ การหายใจระดับเซลล์ เพื่อผลิตสารพันธะพลังงานสูง คือ ATP (Adenosine Triphosphate) ในไมโทคอนเดรีย นอกจากมีเอนไซม์ ยังมีสาร DNA ไรโบโซมจึงสามารถสังเคราะห์โปรตีนและแบ่งตัวได้ จึงมีการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักรได้โดยมีวงจรชีวิตอยู่ได้ 10-12 วัน

5. พลาสติด (Plastid) เป็นออร์แกเนลล์ที่พบเฉพาะในเซลล์พืชและสาหร่าย มีรูปร่างเป็นแท่งกลมรี มีเยื่อ 2 ชั้น มี DNA จึงแบ่งตัวได้ แบ่งตามชนิดของสารสีที่บรรจุเป็น 2 ชนิด คือ คลอโรพลาสต์ (Chloroplast) และโครโมพลาสต์ (Chromoplast)



รูปที่ 3.1.8 คลอโรพลาสต์
(จาก Georg B. Johnson, 1995. The Living World หน้า 61)

คลอโรพลาสต์ (Chloroplast) เป็นพลาสติดชนิดที่บรรจุสารคลอโรฟิล (Chlorophyll) มีเยื่อ 2 ชั้น เยื่อชั้นนอกเรียบ เยื่อชั้นในยื่นเข้าไปข้างในซึ่งเป็นที่อยู่ของ สโตรมา (Stroma) ซึ่งเป็นของเหลว เยื่อชั้นในที่ยื่นเข้าไปมีลักษณะคล้ายเหรียญ เรียกว่า กรานา ลามেলা (Grana Lamella) หรือ กรานา ไทลาคอยด์ (Grana Thylakoid) ซึ่งจะเรียงซ้อนกันเป็นตั่ง เรียกว่า กรานา (Grana) เป็นที่อยู่ของคลอโรฟิล (Chlorophyll) ทำหน้าที่จับพลังงานแสง เพื่อใช้

ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในปฏิกิริยาการใช้แสง (Light Reaction) ส่วนของสโตรมา เป็นที่อยู่ของเอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสง (Dark Reaction) ซึ่งสังเคราะห์น้ำตาล คลอโมพลาสต์ (Chromoplast) เป็นพลาสติดที่ไม่มีคลอโรฟิล แต่มีสารชนิดอื่น เช่น คาโรทีนอยด์ (Carotenoid) ทำให้เกิดสีส้ม ไฟโคบิลิน (Phycobilin) ทำให้เกิดสีน้ำเงิน เป็นต้น สารสีเหล่านี้สามารถจับพลังงานแสงได้ ในช่วงคลื่นแสงต่าง ๆ ที่คลอโรฟิลไม่สามารถจับได้ คลอโมพลาสต์จึงช่วยคลอโรพลาสต์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

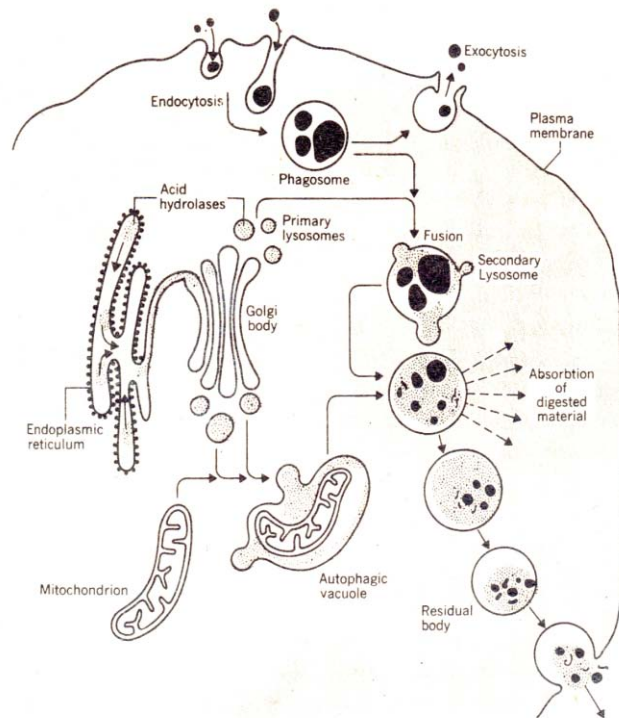
6. ไลโซโซม (Lysosome) เป็นออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์ทุกชนิด เป็นถุงขนาดเล็ก มีเยื่อชั้นเดียว ซึ่งทนต่อการย่อยของเอนไซม์ แต่จะสลายตัวได้ง่ายเมื่อจะจับสิ่งแปลกปลอมจากนอกเซลล์ หรือเมื่อมีการเจริญเติบโต หรือเมื่อจะย่อยออร์แกเนลล์ของเซลล์ที่หมดอายุ ภายในจะบรรจุเอนไซม์ซึ่งย่อยสลายด้วยน้ำ (Hydrolytic Enzyme) ชนิดต่าง ๆ มากกว่า 40 ชนิด ไลโซโซมสร้างมาจากกอลจิ คอมเพล็กซ์ แบ่งเป็น 4 ชนิด คือ

1) Primary (Vergin) Lysosome เป็นไลโซโซมแรกสร้าง มีหน้าที่เกี่ยวกับการย่อยอาหารภายในเซลล์

2) Secondary Lysosome หรือ Phagosome เป็นไลโซโซมที่ทำลายสิ่งแปลกปลอมจากภายนอกที่เข้าสู่เซลล์

3) Residual Body เป็นไลโซโซมที่บรรจุกากที่เหลือจากการย่อย และดูดซึมกลับของเซลล์ ซึ่งรอการกำจัดออกทางเยื่อเซลล์โดยกระบวนการ Exocytosis

4) Autophagic Vacuole หรือ Auto phagosome เป็นไลโซโซมที่ทำลายองค์ประกอบหรือออร์แกเนลล์ของเซลล์ที่หมดอายุ หรือมีพยาธิสภาพเป็นการย่อยส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ตัวเอง เรียกว่า Autolysis



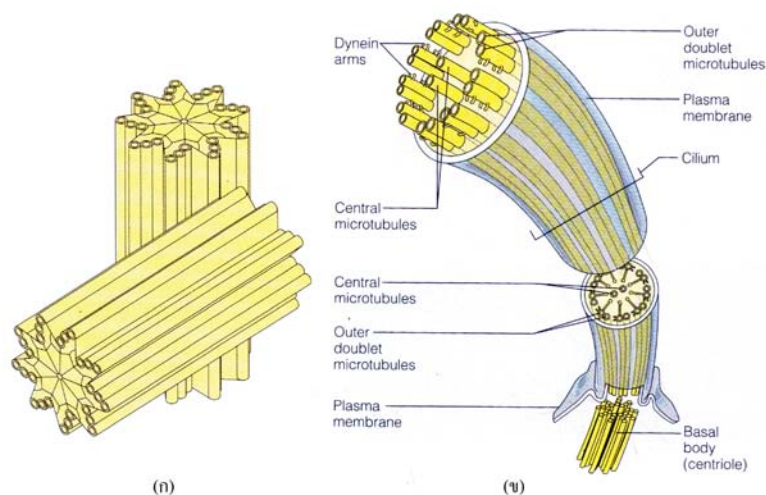
รูปที่ 3.1.9 ไลโซโซมแบบต่าง ๆ

(จาก ปรีชา สุวรรณพินิจ. นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ, 2536. ชีววิทยา 1. หน้า 205)

7. เพอร์รอกซิโซม หรือไมโครบอดี (Peroxisome or Mycro Body) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีรูปร่างเป็นถุงกลมรี มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว เก็บเอนไซม์พวก Catalase Isocitrate Dehydrogenase พบในเซลล์ตับ เซลล์ท่อไต มีหน้าที่ทำลายสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ออกซิเจนที่มากเกินไปในเซลล์ และเชื่อว่าเกี่ยวข้องกับการเมแทบอลิซึมไขมัน การทำลายสารเพียวรีน การสร้างไกลโคเจนและสเตอรอยด์ เพอร์รอกซิโซม เป็นออร์แกเนลล์ที่มีการสลายและสร้างใหม่ได้

8. เซนทริโอล (Centriole) เป็นออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์สัตว์ แต่ไม่พบในเซลล์พืช มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกไม่มีเยื่อหุ้ม 2 อัน วางตัวในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน อยู่

ใกล้เคียงกับนิวเคลียส แต่ละอันประกอบด้วยท่อจุลภาค (Microtubule) จัดเรียงตัวเป็นวง แบ่งเป็น 9 กลุ่ม ๆ ละ 3 ท่อ โดยยึดกันด้วยโปรตีนไดนีอิน (Dynein Arms) ตรงกลางไม่มีท่อจุลภาค เป็นการจัดเรียงตัวในสูตร 9+0 เซนทริโอล ทำหน้าที่สร้างเส้นใยสปินเดิล (Spindle Fiber) เพื่อยึดติดกับโครโมโซม เพื่อดึงโครโมโซมไปอยู่คนละขั้วของเซลล์ ในขณะที่แบ่งเซลล์ของสัตว์ ส่วนในเซลล์พืชไม่มีเซนทริโอล ท่อจุลภาคจะรวมตัวกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า โพลาร์ แคป (Polar Cap) เพื่อทำหน้าที่สร้างเส้นใยสปินเดิลในเซลล์ บางชนิด เซนทริโอลจะทำหน้าที่เป็นเบซัล บอดี (Basal Body) หรือฐานของซีเลีย (Cilia) และแฟลกเจลลา (Flagella) เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของซีเลีย และแฟลกเจลลา



รูปที่ 3.1.10 เซนทริโอล (ก) และ เบซัลบอดี (ข)

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 87,88)

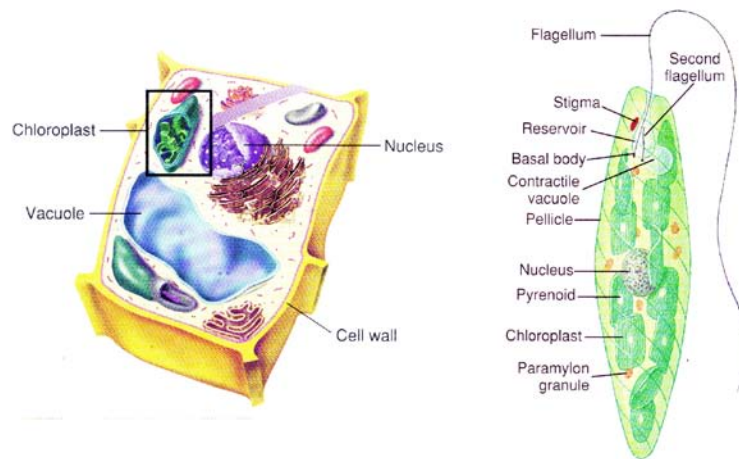
ซีเลีย และแฟลกเจลลา เป็นระยางค์ที่ใช้ในการเคลื่อนไหว เป็นส่วนที่ยื่นออกมาจากเบซัลบอดี มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยท่อจุลภาค ที่จัดเรียงตัวเป็นกลุ่มวงกลมในสูตร 9+2 คือ วงกลมมีท่อ 9 กลุ่ม ๆ ละ 2 ท่อ กับตรงกลาง 2 ท่อ ทั้งหมดอยู่ในของเหลว (Matrix) ซึ่งห่อหุ้มด้วยเยื่อเซลล์ (Unit Membrane)

9. แวกิวโอล (Vacuole) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีลักษณะเป็นถุงกลม มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว เรียกว่า โทโนพลาสต์ (Tonoplast) ภายในบรรจุสารชนิดต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

1) Sap Vacuole เป็นแวคิวโอลในเซลล์พืช สะสมสารต่าง ๆ ที่พืชสร้างขึ้นในเซลล์ที่เกิดขึ้นใหม่ ๆ แวกิวโอลมีขนาดเล็กเนื่องจากยังสะสมสารน้อย เมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้น มีการสะสมสารต่าง ๆ มากขึ้น แวกิวโอลจะขยายใหญ่จนเกือบเต็มเซลล์ ดันให้ไซโทพลาสซึมและนิวเคลียสไปอยู่ชิดกับผนังเซลล์

2) Contractile Vacuole พบในพวกโปรโตซัวน้ำจืด เช่น อะมีบา พารามีเซียม ทำหน้าที่เก็บและขับถ่ายของเหลวส่วนเกินออกจากเซลล์

3) Food Vacuole พบในโปรโตซัวบางชนิดและเซลล์สัตว์ชั้นสูง ที่กินสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เซลล์ เช่น เซลล์เม็ดเลือดขาว ที่กินสิ่งแปลกปลอมโดยวิธี Phagocytosis สร้างเป็นถุงอาหารและหลอมรวมกับไลโซโซมเพื่อทำการย่อยต่อไป



รูปที่ 3.1.11 แวกิวโอลชนิดต่าง ๆ

(จาก Georg B. Johnson, 1995. The Living World หน้า 92,214)

โครงสร้างหลักของเซลล์ (Cell Cytoskeleton)

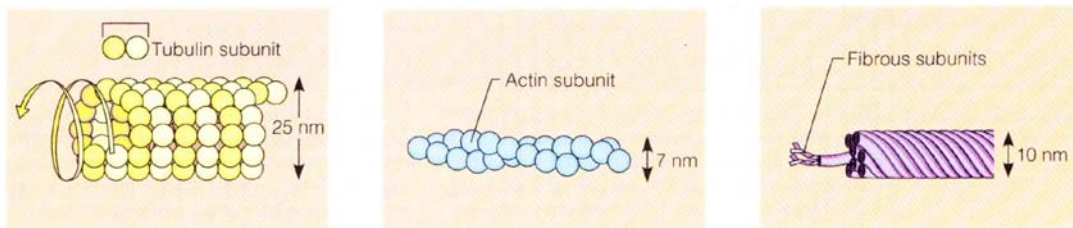
การที่ออร์แกเนลล์ชนิดต่าง ๆ มีตำแหน่งที่แน่นอนอยู่ในไซโทพลาสซึมได้และการที่เซลล์คงรูปร่างไว้ได้ เกิดจากโครงสร้างที่เป็นท่อจุลภาค และเส้นใยโปรตีนโยงยึดกันไว้ เรียกว่า โครงสร้างหลักของเซลล์

1. ท่อจุลภาค (Microtubule) เป็นท่อกลวงขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 24-25 นาโนเมตร เกิดจากการจัดเรียงตัวของโปรตีนทิวบูลิน (Tubulin) 13 หน่วย เป็นวงกลม อยู่ชิดติดกับเยื่อเซลล์ด้านในพบในเซลล์ทุกชนิด ทำหน้าที่รักษารูปทรงของเซลล์ โดยเสริมความแข็งแรงให้กับเซลล์ ช่วยในการขนส่งภายในเซลล์ โดยการยึดหยุ่นของโปรตีน

ทิวบูลิน ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของไซโตพลาสซึม (Cytoplasmic Streaming หรือ Cyclosis) ช่วยในการเคลื่อนไหวของออร์แกเนลล์ โดยเป็นส่วนประกอบของเซนทริโอล ซีเลีย และแฟลกเจลลา ช่วยในการแบ่งเซลล์โดยสร้างเป็นเส้นใยสปินเดิล ยึดติดกับโครโมโซม

2. ไมโครฟิลาเมนต์ (Micro Filament) เป็นเส้นใยโปรตีนที่มีขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-7 นาโนเมตร ประกอบด้วยโปรตีน แอคติน (Actin) ทำงานร่วมกับโปรตีนมายโอซิน (Myosin Filament) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นาโนเมตร เส้นใยสองชนิดนี้จะจัดเรียงตัวประสานกันอย่างเป็นระเบียบ ไมโครฟิลาเมนต์ช่วยเสริมความแข็งแรงของเซลล์ ช่วยในการเคลื่อนย้ายออร์แกเนลล์ การหดตัวและการแบ่งเซลล์

3. อินเตอร์มีเดียทฟิลาเมนต์ (Intermediate Filament) เป็นเส้นใยที่เชื่อมต่อระหว่างท่อจุลภาค กับ ไมโครฟิลาเมนต์ เป็นโครงสร้างเสริมเซลล์ มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามชนิดของเซลล์



(ก) Microtubule

(ข) Microfilament

(ค) Intermediate filament

รูปที่ 3.1.12 ท่อจุลภาค (ก) ไมโครฟิลาเมนต์ (ข) และอินเตอร์มีเดียทฟิลาเมนต์ (ค)

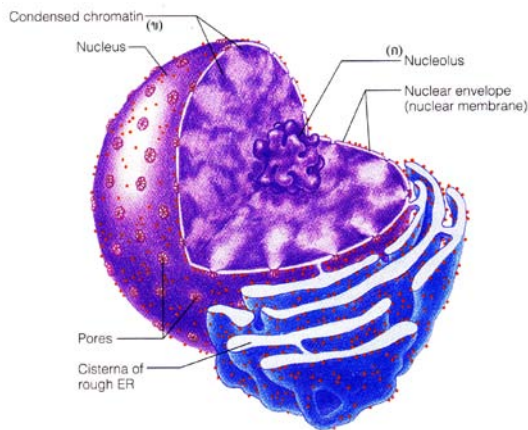
(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 86)

นิวเคลียส (Nucleus)

นิวเคลียสเป็นออร์แกเนลล์ขนาดใหญ่ รูปร่างกลมรี เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-10 ไมโครเมตร ประกอบด้วย

1. เยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear Membrane) เป็น Unit Membrane 2 ชั้น ซึ่งเชื่อมติดกันเป็นช่อง ๆ ทำให้เกิดเป็นหลุม (Nuclear Pore) ทำให้มีการแลกเปลี่ยนสารระหว่างนิวเคลียสกับไซโตพลาสซึมได้ เยื่อชั้นนอกบางส่วนติดต่อกับ ER

2. นิวคลีโอพลาสซึม (Nucleoplasm) เป็นส่วนที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มนิวเคลียส ซึ่งประกอบด้วย สารโปรตีน DNA และ RNA ซึ่งมีการแยกเป็นอิสระและรวมกันตามกิจกรรมของเซลล์ ในสภาวะปกติที่เซลล์ยังไม่ทำการแบ่งตัว สารประกอบเหล่านี้จะจัดเรียงตัวให้เห็นเป็น 2 ส่วน คือ นิวคลีโอลัส (Nucleolus) และเส้นใยโครมาติน (Chromatin)



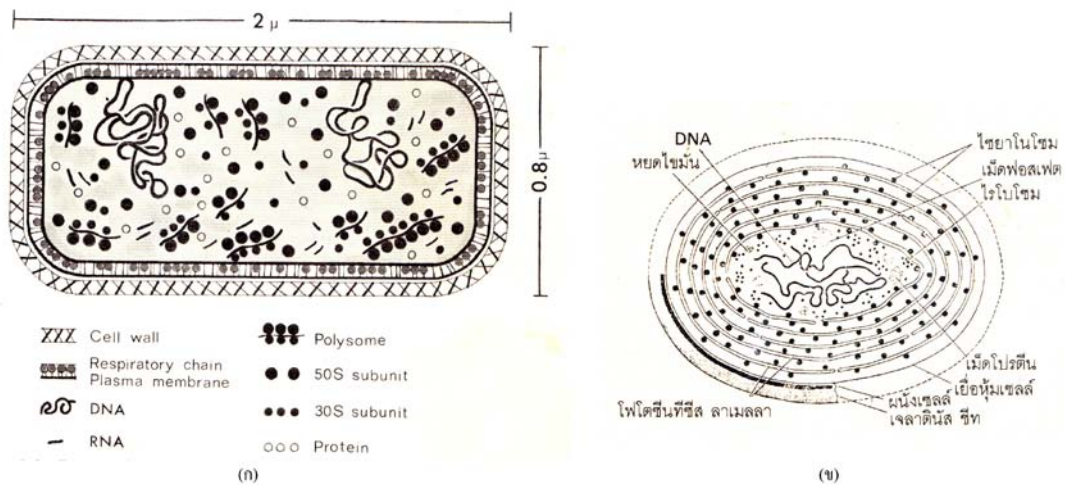
รูปที่ 3.1.13 นิวเคลียส (ก) และ โครมาติน (ข)
 (จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 89)

นิวคลีโอลัส (Nucleolus) เป็นเส้นใย ซึ่งเป็นโมเลกุลของ DNA ที่ขดตัวเป็นก้อน ฝั่งตัวอยู่ในนิวคลีโอลัสสามารถเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงอยู่ภายในนิวเคลียส สามารถรวมตัวและแบ่งตัวได้ ทำหน้าที่สังเคราะห์ RNA โดย DNA ช่วงที่จะถ่ายทอดรหัสพันธุกรรมจะคลายเกลียวออกแล้ว DNA สายใดสายหนึ่งจะเป็นแม่พิมพ์ (Template) ให้ RNA ลอกรหัสพันธุกรรม (Transcription) เมื่อลอกรหัสเสร็จแล้ว DNA จะจับกันขดเป็นเกลียวเหมือนเดิม

โครมาติน (Chromatin) คือ เส้นใย DNA ที่จับอยู่กับโปรตีนแทรกกระจายอยู่ทั่วไปในนิวเคลียส มี 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดที่จับตัวกันแน่น เมื่อย้อมสีจะติดสีทึบ และชนิดจับตัวอย่างหลวม ๆ ย้อมติดสีปานกลาง ในระยะที่เซลล์แบ่งตัว DNA กับโปรตีนจะรวมตัวกันแน่นปรากฏให้เห็นเป็นแท่งโครโมโซม (Chromosome) แต่ละโครโมโซม คือ 1 โมเลกุลของ DNA จำนวนโครโมโซม เป็นเอกลักษณ์ของชนิด (Species) ของสิ่งมีชีวิต คือ สิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกันจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากัน

เซลล์โพรคาริโอต (Prokaryotic Cell)

เซลล์โพรคาริโอต เป็นเซลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส สารพันธุกรรมพวก DNA RNA จึงกระจายอยู่ในไซโตพลาสซึม ไม่รวมเป็นกลุ่ม ไม่มีไมโทคอนเดรีย กอลจิคอมเพล็กซ์ และคลอโรพลาสต์ แต่มีไรโบโซมจึงสร้างโปรตีนได้ ได้แก่ เซลล์แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ไมโครพลาสมา และริกเก็ตเชีย



รูปที่ 3.1.14 เซลล์โปรคาริโอต เซลล์แบคทีเรีย (ก) และเซลล์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (ข)
 (จาก D.P. De Robertis , Wiktor W. Nowinski and Francisco A. Saez. 1970 Cell Biology. Fifth Edition.
 หน้า 8 และ ปรีชา สุวรรณพินิจ และ นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ, 2536 ชีววิทยา 1 หน้า 182)

3.2 การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

เซลล์ของสิ่งมีชีวิตเป็นระบบปิด (Closed System) คือ ห่อหุ้มด้วยเยื่อเซลล์ ล้อมรอบด้วยของเหลวในร่างกาย ได้แก่ น้ำเหลือง พลาสมา และน้ำระหว่างเซลล์การดำรงชีวิตของเซลล์จะต้องเกี่ยวข้องกัน การรับสารจากภายนอกเซลล์เพื่อนำไปสร้างสารที่ต้องการของเหลวหรือสารละลายที่ถูกนำเข้าสู่เซลล์นั้นจะต้องคงสภาพของของเหลวในเซลล์ด้วยเพื่อปฏิกิริยาเคมีจะได้ดำเนินต่อไปได้ การลำเลียงสารจากของเหลวนอกเซลล์เข้าสู่เซลล์ต้องผ่านเยื่อเซลล์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน คุณสมบัตินี้ทำให้เซลล์รักษาส่วนประกอบภายในเซลล์ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

เซลล์ที่มีชีวิตจะลำเลียงสารเข้าออกเซลล์ตลอดเวลา ซึ่งมีการลำเลียงได้ 2 แบบ คือ ลำเลียงโดยไม่ใช้พลังงาน (Passive Transportation) กับ การลำเลียงโดยใช้พลังงาน (Active Transportation) ส่วนวิธีการนำสารเข้าออกเซลล์อาจทำโดยทะลุผ่านเยื่อเซลล์หรือใช้วิธีการสร้างถุงหุ้มสาร (Vesicle) ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร

การลำเลียงโดยไม่ใช้พลังงาน (Passive Transportation)

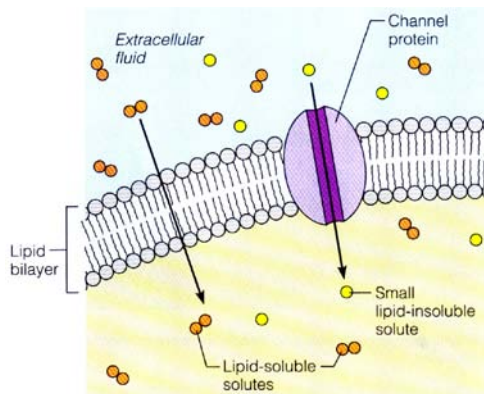
การแพร่ (Diffusion)

การแพร่ คือ กระบวนการเคลื่อนที่ของอนุภาคของสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ เพื่อการกระจายอนุภาคของสารอย่างสม่ำเสมอ ภายในขอบเขตที่อนุภาคของสารสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระเมื่อความเข้มข้นของสารทั้งสองบริเวณเท่ากัน จะหยุดการแพร่ เรียกว่า จุดสมดุลของการแพร่ (Dynamic Equilibrium) ที่สภาวะสมดุลการแพร่อนุภาคของสารยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเข้มข้นที่เฉลี่ยเท่ากันทุกบริเวณ

เมื่อสารแพร่ออกไปจะเกิดความดันของการแพร่ (Diffusion Pressure , D.P.) คือ แรงดันที่ทำให้สารแพร่ไปได้ เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารที่แพร่ สารที่มีความเข้มข้นสูง D.P. จะสูง จึงอาจกล่าวได้ว่า การแพร่เป็นขบวนการเคลื่อนที่ของอนุภาคของจาก D.P. สูงไปสู่ D.P. ต่ำ การแพร่มีหลายวิธี ได้แก่

1. การแพร่ธรรมดา (Simple Diffusion) เป็นการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์โดยละลายตัวในเยื่อเซลล์ และผ่านทางรูหรือช่องของเยื่อเซลล์

การแพร่โดยการละลายตัวในเยื่อเซลล์ เกิดขึ้นโดยสารที่อยู่รอบ ๆ เซลล์จะละลายตัวเข้าไปอยู่ในเยื่อเซลล์ แล้วแพร่ผ่านตัวกลางที่เยื่อเซลล์เข้าไปภายในเซลล์ สารชนิดที่ละลายในไขมัน เช่น อัลกอฮอล์ ฮอร์โมนสเตอรอยด์ จะแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ได้ดี



รูปที่ 3.2.1 การแพร่ของสารผ่านเยื่อเซลล์

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 69)

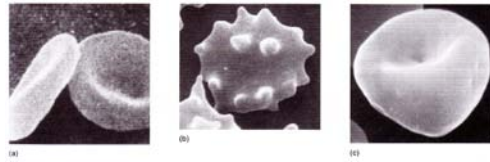
การแพร่ผ่านทางรูหรือช่องเยื่อเซลล์ (Pore or Channel) รูหรือช่องว่างของเซลล์เกิดจากโมเลกุลของโปรตีนที่มีประจุที่แทรกอยู่ในชั้นของไขมัน เป็นช่องให้โมเลกุลของน้ำและสารโมเลกุลขนาดเล็กผ่านเข้าออกได้ สารที่แพร่ผ่านทางช่องนี้ส่วนใหญ่เป็นพวกไม่ละลายในไขมัน สารที่มีประจุลบจะแพร่ผ่านได้ดีเพราะโปรตีนมีประจุบวก และขึ้นอยู่กับขนาดของสารด้วย คือ สารที่ไม่มีประจุ แต่มีขนาดเล็ก ก็แพร่ผ่านทางรูหรือช่องเยื่อเซลล์ได้ดี

ออสโมซิส (Osmosis)

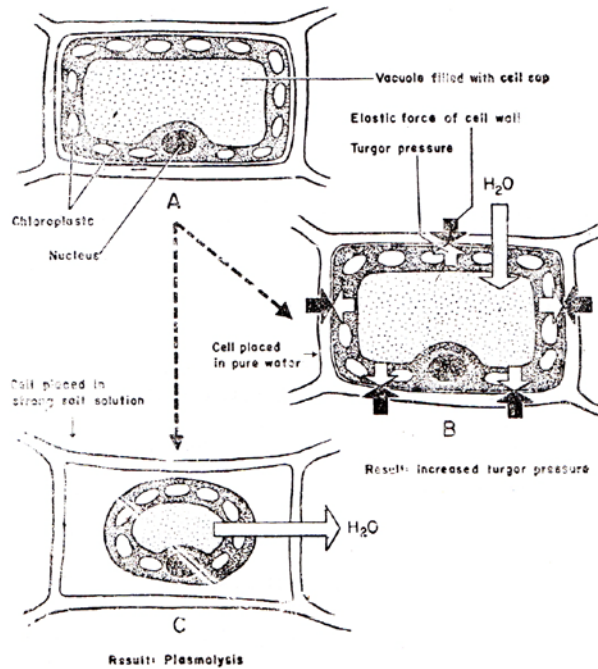
ออสโมซิส คือ การแพร่ของน้ำผ่านเยื่อกั้น (Membrane) โดยมีทิศทางการแพร่จากสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยไปยังด้านที่มีความเข้มข้นมาก เมื่อน้ำแพร่ผ่านถุงเยื่อที่บรรจุสารละลายเข้มข้นที่ปิดสนิท จะทำให้เกิดแรงดันรอบ ๆ ถุง ทำให้ถุงเต่ง (Turgid) แรงดันนี้ คือ แรงดันเต่ง (Turgor Pressure ; T.P.) ตลอดเวลาที่น้ำแพร่เข้าไปในถุง T.P. จะสูงขึ้น และเป็นแรงต้านทำให้การแพร่ของน้ำช้าลงเรื่อย ๆ จนถึงสภาวะสมดุลของการแพร่เซลล์เป็นระบบปิด เมื่อเกิดการแพร่ของน้ำเข้าสู่เซลล์ ก็จะทำให้เซลล์เต่งเช่นเดียวกัน

ออสโมซิสกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเซลล์

การแพร่ของน้ำผ่านเยื่อเซลล์ มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเซลล์ ในเซลล์พืชมีผนังเซลล์หนาแข็งแรงเป็นกรอบของเยื่อเซลล์ ปริมาณของน้ำที่แพร่เข้าสู่เซลล์ จึงเป็นปริมาตรของเซลล์นั่นเอง ซึ่งต่างจากเซลล์สัตว์ที่ไม่มีผนังเซลล์ ปริมาตรของเซลล์จึงแปรผันตามปริมาณของน้ำที่ซึมผ่านเยื่อเซลล์ เซลล์จึงต้องมีกลไกการควบคุม ปริมาตรของเซลล์ โดยการควบคุมความเข้มข้นของอิออนต่าง ๆ ด้วยกลไกพิเศษในการลำเลียงอิออนผ่านเยื่อเซลล์



ก.



ข.

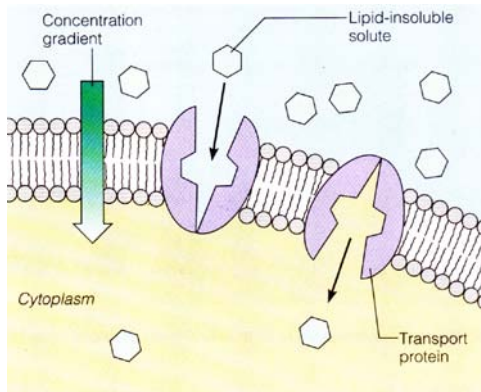
รูปที่ 3.2.2 การเกิด plasmoptysis และ plasmolysis ในเซลล์สัตว์ (ก) และเซลล์พืช (ข) (จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 71 และ เซอร์ซิโนรักษ์)

เมื่อเซลล์อยู่ในสารละลายไฮโปโทนิก (Hypotonic Solution) คือ มีความเข้มข้นต่ำกว่าภายในเซลล์ น้ำจากสารละลายจะแพร่เข้าสู่เซลล์ทำให้เซลล์เต่ง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า พลาสมอพอไทซิส (Plasmoptysis) หรือ เอนโดสโมซิส (Endosmosis) ถ้าเป็นเซลล์พืช เซลล์จะไม่แตก แต่ในเซลล์สัตว์จะทำให้บวมและแตกได้

เมื่อเซลล์อยู่ในสารละลายไฮเปอร์โทนิก (Hypertonic Solution) คือ มีความเข้มข้นสูงกว่าภายในเซลล์ น้ำจะแพร่ออกจากเซลล์ทำให้เซลล์เหี่ยว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า พลาสโมลิซิส (Plasmolysis) หรือ เอกซอสมอซิส (Exosmosis) ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในเซลล์สัตว์ แต่ในเซลล์พืช เซลล์จะคงปริมาตรเท่าเดิม เพียงแต่เยื่อเซลล์จะแยกตัวออกจากผนังเซลล์จนเห็นเป็นก้อนโปรโตพลาสซึมอยู่กลางเซลล์

สิ่งมีชีวิตบางชนิดที่อาศัยอยู่ในน้ำจืด มีปัญหาหน้าเข้าสู่เซลล์ตลอดเวลา เช่น อะมีบา พารามีเซียมน้ำจืด จึงต้องมีโครงสร้างพิเศษ คือ Contractile Vacuole เป็นถุงเก็บน้ำ ส่วนเกิน นำไปหลอมรวมกับเยื่อเซลล์ปล่อยน้ำออกนอกเซลล์

เซลล์ที่อยู่ในสารละลายไอโซโทนิก (Isotonic Solution) คือ สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับภายในเซลล์ จะไม่มีการแพร่ของน้ำ ปริมาตรของเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลง เช่น เซลล์เม็ดเลือดที่อยู่ในน้ำเลือด เป็นต้น



รูปที่ 3.2.3 การแพร่โดยอาศัยตัวพา

(จาก Georg B. Johnson, 1995. The Living World หน้า 71)

2. การแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated Diffusion)

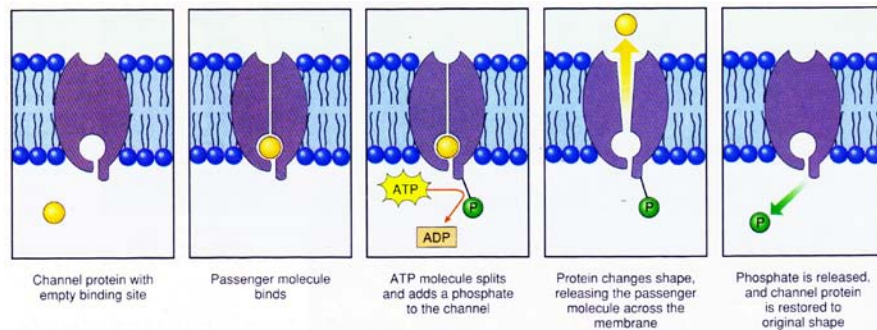
สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่บางชนิด ไม่สามารถผ่านช่องของเยื่อเซลล์ เช่น กรดอะมิโน น้ำตาล กลีเซอรอล จะแพร่ผ่านเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยโปรตีนตัวพา (Carrier Protein) ในชั้นไขมัน สารเหล่านี้จะจับกับโปรตีน แล้วโปรตีนจะเปลี่ยนโครงสร้างสามมิติ โดยหันเอาด้านที่จับเข้าสู่เซลล์ แล้วปล่อยสารออก พร้อมกับเปลี่ยนโครงสร้างกลับไปเหมือนเดิมเพื่อรับสารโมเลกุลใหม่ จนกว่าความเข้มข้นของสารละลายภายนอกกับภายในเซลล์เท่ากัน แล้วจึงจะหยุด

การพา การแพร่แบบอาศัยตัวพาจะมีอัตราการแพร่เร็วกว่าการแพร่ธรรมดาหลายเท่าตัว ตัวพามีความจำเพาะต่อสารที่จะพา การแพร่โดยอาศัยตัวพาอาจถูกยับยั้ง ซึ่งมี 2 แบบ คือ การยับยั้งแบบแข่งขัน (Competitive Inhibition) โดยสารตัวยับยั้งที่มีโครงสร้างคล้ายกับสารตัวถูกพาแย่งจับกับโปรตีนตัวพา การยับยั้งอีกแบบคือ ยับยั้งแบบไม่แข่งขัน (Non Competitive Inhibition) คือ สารตัวยับยั้งจับกับโปรตีนที่บริเวณอื่น แล้วทำให้ตัวถูกพาเข้าจับกับโปรตีนไม่ได้ เมื่อสารละลายมีตัวยับยั้งอยู่ด้วยจะทำให้อัตราการแพร่ลดลง

การลำเลียงโดยใช้พลังงาน (Active Transportation)

การลำเลียงสารโดยใช้พลังงาน สามารถนำสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงกว่าได้ โดยใช้พลังงานจาก ATP การลำเลียงแบบใช้พลังงานต้องอาศัยโปรตีนตัวพาโดยที่ ATP จะสลาย หมู่ฟอสเฟต (Pi) 1 หมู่ เกาะกับโปรตีนตัวพา ทำให้โปรตีนมีพลังงานที่จะจับกับสารที่จะลำเลียง เมื่อจับกับสารแล้วจะ

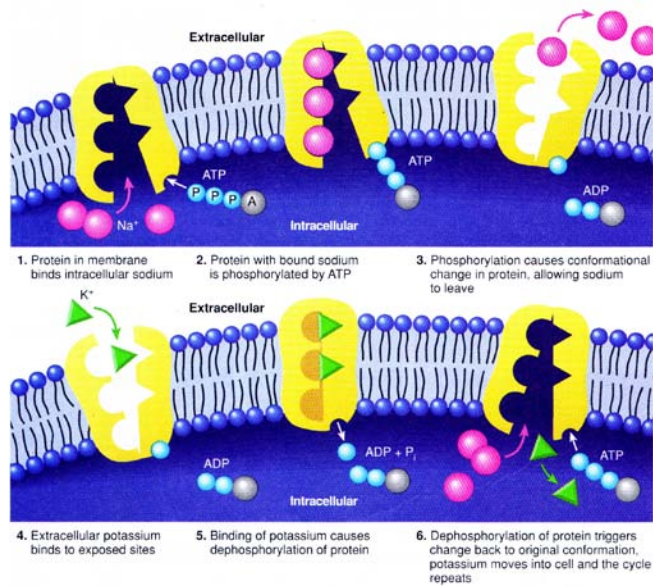
เปลี่ยนโครงสร้างสามมิติ พร้อมกับปล่อยสารออก พร้อมกับปล่อยหมู่ Pi ออก โปรตีนเปลี่ยนโครงสร้างกลับมาเหมือนเดิม



รูปที่ 3.2.4 การลำเลียงสารแบบใช้พลังงาน
(จาก Georg B. Johnson, 1995. The Living World หน้า 71)

โซเดียม-โปแตสเซียม เอ ที พี เอสเป็ม (Na^+/K^+ ATPase pump)

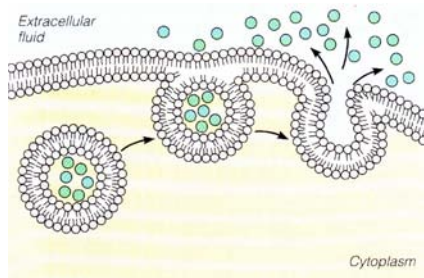
Na^+/K^+ ATPase pump เป็นการปั๊ม Na^+ ออกจากเซลล์ และปั๊ม K^+ เข้าเซลล์ ในอัตราส่วนการแลกเปลี่ยน $\text{Na}^+ : \text{K}^+ = 3:1$ โดยใช้พลังงานจากการสลาย ATP กลไกการเกิดปั๊ม โดย ATP จับกับโปรตีนตัวพา แล้วถ่ายทอดหมู่ฟอสเฟต (Pi) ให้กับโปรตีนตัวพา ซึ่งจะจับกับ Na^+ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสามมิติ โดยหันปลายที่จับกับ Na^+ ออกด้านนอกของเซลล์ พร้อมกับปล่อย Na^+ ออกไป ต่อมาโปรตีนตัวพาจะปล่อยหมู่ Pi ออก ซึ่งขึ้นอยู่กับ การจับ K^+ ที่ด้านนอกเซลล์ด้วย เมื่อโปรตีนตัวพาจับกับ K^+ แล้ว ก็จะเปลี่ยนโครงสร้างสามมิติ โดยหันเอาด้านที่จับกับ K^+ เข้าสู่เซลล์ และปล่อย K^+ ออก ปั๊มนี้ จะเกิดกับเซลล์ประสาท



รูปที่ 3.2.5 การลำเลียงสาร Na^+ และ K^+ โดยใช้พลังงาน
(จาก Georg B. Johnson, 1995. The Living World หน้า 72)

การลำเลียงสารโดยการสร้างถุง (Vesicular or Bulk Transportation)

สารบางอย่างจะเข้าสู่เซลล์หรือออกจากเซลล์ โดยการรวบรวมไว้ในถุง (Vesicle) ที่เป็นเยื่อเซลล์ เกิดขึ้นในเซลล์ที่มีชีวิตเพราะต้องใช้พลังงาน มี 2 แบบ



รูปที่ 3.2.6 การลำเลียงสารออกนอกเซลล์โดยสร้างถุง
(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 75)

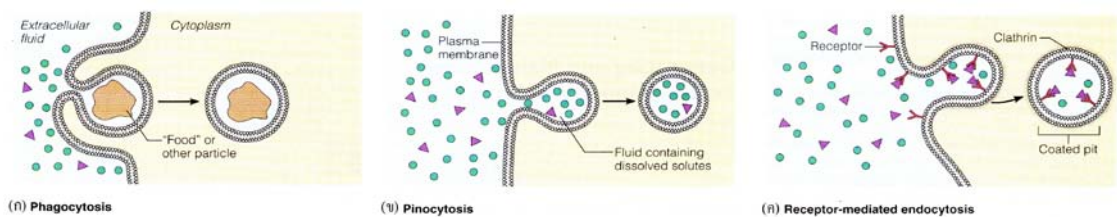
1. Exocytosis เป็นการลำเลียงสารโมเลกุลใหญ่ออกนอกเซลล์ โดยการสร้างถุงหุ้มสารที่จะนำออก ถุงนี้จะเคลื่อนไปรวมตัวกับเยื่อเซลล์ พร้อมกับปล่อยสารออกไปนอกเซลล์ เช่น เซลล์เยื่อบุผนังกระเพาะอาหารจะมีการคัดหลั่ง (Secretion) ของสารพวกเอนไซม์ เป็นต้น

2. Endocytosis เป็นการลำเลียงสารโมเลกุลใหญ่เข้าสู่เซลล์ โดยใช้ส่วนของเยื่อเซลล์โอบล้อมสารที่จะนำเข้าสู่เซลล์ให้เป็นถุงแล้วกลืนเข้าไปในไซโตพลาสซึม มี 3 วิธี

1) Phagocytosis เป็นการกลืนสารที่เป็นของแข็งขนาดใหญ่ โดยการไหลของไซโตพลาสซึม ทำให้เยื่อเซลล์ยื่นออกไปเป็นขาเทียม (Pseudopodium) หุ้มล้อมสาร

2) Pinocytosis เป็นการกลืนสารขนาดใหญ่ที่อยู่ในรูปของสารละลาย โดยสร้างหลุมหรือถ้ำที่เยื่อเซลล์ โดยเยื่อเซลล์เว้าเข้าไปในไซโตพลาสซึม เมื่อสารตกลงไปแล้วเชื่อมปากหลุมให้ปิด เกิดเป็น Vesicle อยู่ในไซโตพลาสซึม

3) Receptor-Mediated Endocytosis เป็นการนำสารเข้าสู่เซลล์ โดยอาศัยโปรตีนตัวรับ (Receptor Protein) บนเยื่อเซลล์ทำหน้าที่จับกับสารก่อนที่เยื่อเซลล์จะเว้าเข้าไปในไซโตพลาสซึม แล้วสร้างเป็น Vesicle



รูปที่ 3.2.7 การลำเลียงสารโดยการสร้างถุงนำสารเข้าเซลล์แบบต่าง ๆ

Phagocytosis (ก) Pinocytosis (ข) Receptor-Mediated Endocytosis (ค)

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 75)

3.3 การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของเซลล์

(Reproduction and Development of Cell)

เซลล์ของสิ่งมีชีวิต มีกิจกรรมในการดำรงชีวิต โดยนำสารจากภายนอกเซลล์เข้าไปสังเคราะห์เป็นสารที่จำเป็นของเซลล์ ทำให้มีปริมาณไซโตพลาสซึมเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของสารย่อมมีขีดจำกัด และมักมีกิจกรรมการแบ่งตัวตามมาด้วยเสมอ

การแบ่งเซลล์ (Cell Division)

การแบ่งตัวของเซลล์จาก 1 เซลล์ เป็น 2 เซลล์ ในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวถือว่าเป็นการสืบพันธุ์ ในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ การแบ่งเซลล์ ทำให้ร่างกายมีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มขนาดของร่างกาย เป็นการเจริญเติบโต

สาเหตุของการแบ่งเซลล์ ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่พบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ ได้แก่

1. อัตราส่วนระหว่างนิวเคลียสและไซโตพลาสซึม ต้องพอดีกัน ทั้งนี้เพราะนิวเคลียสเป็นศูนย์กลางควบคุมปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในไซโตพลาสซึม ดังนั้น เมื่อไซโตพลาสซึมเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น นิวเคลียสจึงต้องเพิ่มสารพันธุกรรมด้วยกระบวนการแบ่งนิวเคลียส และ เซลล์

2. การจำลองตัวของ DNA กระตุ้นให้เซลล์มีการแบ่งตัวโดยไม่ทราบกลไกที่แน่ชัด แต่พบว่าภายหลังจากมีการสังเคราะห์ DNA จะมีการแบ่งเซลล์ทุกครั้ง

3. ปริมาณสารอาหารภายในเซลล์ที่เพิ่มขึ้น เป็นสาเหตุทำให้เซลล์แบ่งตัว พบว่าในเซลล์ที่มีปริมาณอาหารมาก จะแบ่งตัวได้เร็วกว่าเซลล์ที่มีอาหารน้อย แต่ก็ไม่แน่นอนเสมอไป เพราะพบว่าเซลล์บางชนิดที่ยังมีอาหารน้อยก็แบ่งเซลล์ได้

4. พบเซลล์หลายชนิดมีการแบ่งเซลล์ เมื่อเซลล์เพิ่มปริมาณเป็น 2 เท่าของเซลล์เดิม ทั้งนี้เพื่อรักษาปริมาตรของเซลล์ให้คงเดิม แต่ก็ไม่ได้เกิดขึ้นกับเซลล์ทุกชนิด

แต่สิ่งที่น่าสนใจเรื่องหนึ่ง คือ พบว่า เมื่อเซลล์มีปริมาตรมากขึ้น อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรจะลดลง ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในเซลล์กับภายนอกเซลล์อย่างแน่นอน คือจะทำให้เซลล์ได้รับสารช้า ในขณะที่สิ่งที่เซลล์ต้องการกำจัดออกจากเซลล์ก็จะช้าลงเช่นกัน

สมมติเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ที่มีขนาดความยาวด้านละ 1 เซนติเมตร และเติบโตเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 เซนติเมตร ไปจนถึง 10 เซนติเมตร เซลล์จะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ดังนี้

ตาราง 3.3.1 อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของเซลล์

ขนาดของเซลล์ ความยาวแต่ละด้าน (cm.)	พื้นที่ผิวรอบรูปเซลล์ (cm ²)	ปริมาตรของเซลล์ (cm ³)	อัตราส่วนพื้นที่ผิว ต่อปริมาตร
1	$1 \times 1 \times 6 = 6$	$1^3 = 1$	$6 : 1 = 6 : 1$
2	$2 \times 2 \times 6 = 24$	$2^3 = 8$	$24 : 8 = 3 : 1$
3	$3 \times 3 \times 6 = 54$	$3^3 = 27$	$54 : 27 = 2 : 1$
4	$4 \times 4 \times 6 = 96$	$4^3 = 64$	$96 : 64 = 1.5 : 1$
5	$5 \times 5 \times 6 = 150$	$5^3 = 125$	$150 : 125 = 1.2 : 1$
6	$6 \times 6 \times 6 = 216$	$6^3 = 216$	$216 : 216 = 1 : 1$
7	$7 \times 7 \times 6 = 294$	$7^3 = 343$	$294 : 343 = 0.85 : 1$
8	$8 \times 8 \times 6 = 384$	$8^3 = 512$	$384 : 512 = 0.75 : 1$
9	$9 \times 9 \times 6 = 486$	$9^3 = 729$	$486 : 729 = 0.65 : 1$
10	$10 \times 10 \times 6 = 600$	$10^3 = 1000$	$600 : 1000 = 0.6 : 1$

จากข้อมูลในตารางนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อเซลล์เติบโตเพิ่มขึ้นอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรจะลดลง ในทางตรงกันข้ามในเซลล์ขนาดใหญ่ เมื่อมีการแบ่งเซลล์จาก 1 เป็น 2 จาก 2 เป็น 4 จาก 4 เป็น 8 ยิ่งแบ่งได้เซลล์ขนาดเล็กเท่าใด อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนเซลล์ที่แบ่งได้

5. สารเคมีหลายชนิดมีผลในการกระตุ้นหรือยับยั้งการแบ่งเซลล์ได้ เช่น ฮอริโมนบางชนิด

การแบ่งเซลล์ ประกอบด้วย 2 กระบวนการสลับกัน คือ การแบ่งนิวเคลียส (Nuclear Division หรือ Karyokinesis) กับการแบ่งไซโตพลาสซึม (Cytoplasmic Division หรือ Cytokinesis)

กระบวนการแบ่งนิวเคลียส (Nuclear Division หรือ karyokinesis)

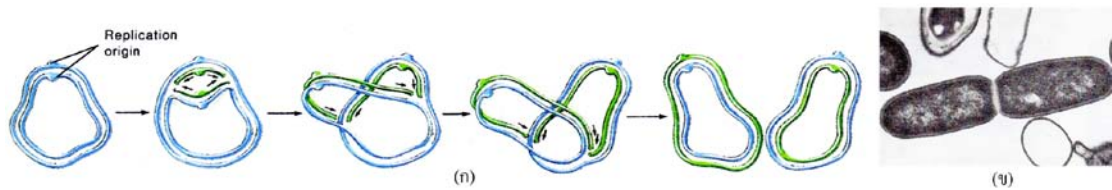
การแบ่งนิวเคลียส เป็นกระบวนการแยกตัวของโครโมโซมออกเป็น 2 ชุด ไปอยู่ในเซลล์ใหม่ 2 เซลล์ มี 2 แบบ

1. ไมโทซิส (Mitosis) เป็นกระบวนการแบ่งนิวเคลียส เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ร่างกาย (Somatic Cell) ผลจากการแบ่งจะได้ 2 เซลล์ลูก (Daughter Cell) ที่มีจำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์เดิม (Mother Cell) คือ จำนวนโครโมโซมครบชุด หรือ ดิพลอยด์ (Diploid ; $2n$) ในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ เมื่อเกิดไมโทซิสจะทำให้มีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น เป็นการเจริญเติบโตของร่างกาย สำหรับในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว การเกิดไมโทซิสทำให้เกิดสมาชิกใหม่จึงจัดเป็นการสืบพันธุ์

2. ไมโอซิส (Meiosis) เป็นกระบวนการแบ่งนิวเคลียสของเซลล์ร่างกาย เพื่อพัฒนาไปเป็นเซลล์สืบพันธุ์ โดยมีการจำลองตัวเพื่อเพิ่มจำนวนโครโมโซม (Replication of Chromosome) เพียงครั้งเดียว แต่มีการแบ่ง 2 ครั้งต่อเนื่องกัน ทำให้ได้เซลล์ใหม่ 4 เซลล์ ที่แต่ละเซลล์มีจำนวนโครโมโซมเป็นครึ่งเดียวของเซลล์เดิม คือ จำนวนแฮพลอยด์ (Haploid ; n)

การแบ่งไมโทซิสในเซลล์โปรคาริโอต

เซลล์โปรคาริโอต ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เป็นพวกเซลล์เดียวที่ไม่มีนิวเคลียส มี DNA ที่ไม่มีความซับซ้อน อยู่รวมกับโปรตีนเป็นส่วนที่เรียกว่า จีโนพอร์ (Genophore) แทนโครโมโซม ซึ่งมักมีลักษณะเป็นวง มี DNA เพียง 1 โมเลกุล ที่มีสภาพเป็น Haploid (n) การแบ่งไมโทซิสจะเริ่มจาก จีโนพอร์จะเคลื่อนตัวเข้ามายึดติดกับเยื่อเซลล์ที่จุด ๆ หนึ่ง แล้วคลายเกลียว DNA ออกเป็น 2 สาย พร้อมกับแต่ละสายจำลองตัว DNA สายใหม่ขึ้นมาเป็นคู่ โดยวิธีกึ่งอนุรักษ์ (Semi-conservative Replication) จนตลอดสาย (วง) ทำให้ได้จีโนพอร์ใหม่ 2 ชุด (วง) แต่ละชุดจะเคลื่อนตัวออกจากกันตามผิวของเยื่อเซลล์ แยกกันไปอยู่คนละขั้วของเซลล์ และมีการแบ่งไซโตพลาสซึมที่บริเวณกลางเซลล์ เกิดเป็นเซลล์ใหม่ 2 เซลล์ เรียกการแบ่งเซลล์แบบนี้ว่า Binary Fission



รูปที่ 3.3.1 การแบ่ง DNA (ก) และการแบ่งเซลล์ (ข) ของแบคทีเรีย
(จาก Georg B. Johnson, 1995. The Living World หน้า 75)

การแบ่งไมโทซิสในเซลล์ยูคาริโอต

เซลล์ยูคาริโอต เป็นเซลล์ที่มีนิวเคลียส ได้แก่ เซลล์ของพวกหลายเซลล์ รวมทั้งสัตว์และพืช การสืบพันธุ์ของเซลล์มีกระบวนการซับซ้อน เนื่องจากมีจำนวนโครโมโซมมาก การแยกตัวของโครโมโซมต้องมีขั้นตอนและอาศัยเส้นใยสปินเดิล (Spindle Fiber) ช่วยในการดึง

ก่อนที่เซลล์จะแบ่งตัว เซลล์จะมีการเตรียมตัวให้พร้อม เรียกว่า ระยะเวลาอินเตอร์ (Interphase) แล้วจึงมีการแบ่ง เรียกว่า ระยะเวลาไมโทซิส (Mitotic phase , M) ซึ่งมีการแบ่งนิวเคลียส (Mitosis) และแบ่งไซโตพลาสซึม (Cytokinesis) ระยะเวลาตั้งแต่เซลล์เข้าสู่อินเตอร์เฟสจนถึงสิ้นสุดการแบ่งเซลล์ เรียกว่า 1 วัฏจักรเซลล์ (1-Cell Cycle)

Interphase

เซลล์ระยะ Interphase การเปลี่ยนแปลงรูปร่างโครโมโซมยังไม่ชัดเจน เป็นระยะที่เซลล์มีกิจกรรมเมแทบอลิซึมสูงมาก มีการสร้าง DNA RNA และโปรตีนเพิ่มขึ้นเป็นระยะเวลาอันยาวนานที่สุดของวัฏจักรเซลล์ แบ่งเป็น 3 ช่วง คือ

G_1 phase เป็นระยะก่อนมีการสร้าง DNA

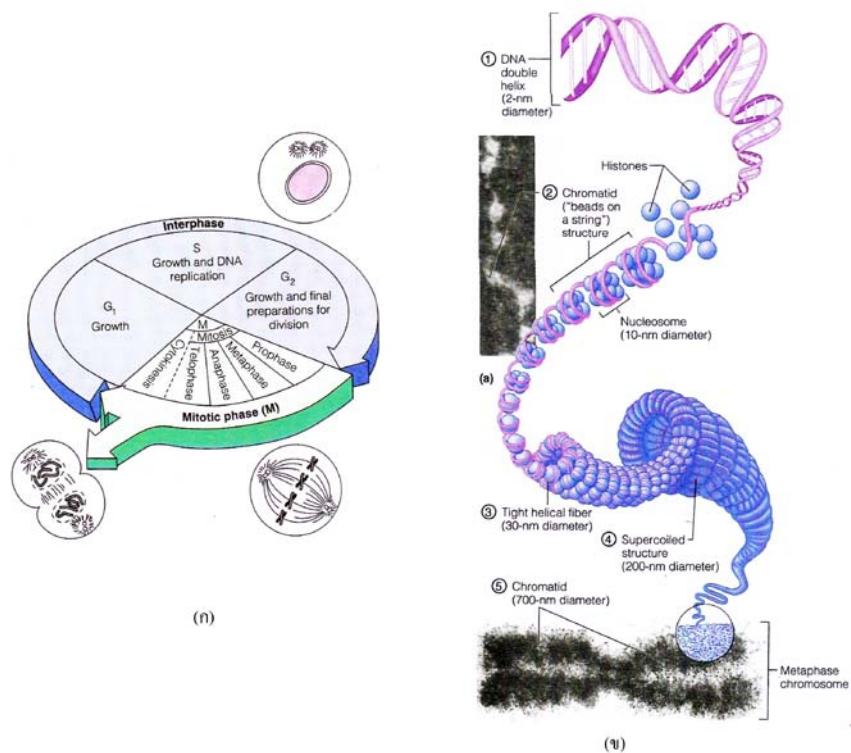
S-phase หรือ DNA Synthesis เป็นระยะที่มีการสร้าง DNA

G_2 phase เป็นระยะหลังจากการสร้าง DNA

เซลล์เกิดใหม่ที่ได้จากการแบ่งตัว จะเข้าสู่อินเตอร์เฟสในระยะ G_1 ซึ่งมีแต่การสร้าง RNA และโปรตีนเท่านั้น ต่อมาระยะ S เซลล์จะมีการสร้างทั้ง DNA RNA และโปรตีนเป็นจำนวนมาก DNA จะถูกสร้างโดยการจำลองตัวเอง (DNA-Replication) ในปริมาณ 1 เท่าตัว ต่อจากนี้เซลล์จะเข้าสู่ระยะ G_2 ซึ่งมีเฉพาะการสร้าง RNA และโปรตีนในปริมาณที่ลดน้อยลง เมื่อสิ้นสุดอินเตอร์เฟสจึงทำให้เซลล์มีปริมาณ DNA RNA และโปรตีนมากเพียง

พอที่จะแบ่งเป็นเซลล์ใหม่ 1 วัฏจักรเซลล์จะใช้เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง ซึ่งเป็นอินเตอร์เฟส ถึง 18 ½ - 19 ชั่วโมง G₁ ใช้เวลา 8 ชั่วโมง S 6 ชั่วโมง และ G₂ 4 ½ ชั่วโมงโดยประมาณ

การสร้าง DNA จะสร้างขึ้นใหม่ 1 ชุด ที่เหมือนกับชุดเดิมทุกประการ เรียกว่า การจำลองตัว (DNA-Replication หรือ DNA-Duplication) และจากการที่ DNA มีตำแหน่ง อยู่บนโครโมโซม จึงเป็นการจำลองตัวของโครโมโซมด้วยเช่นกัน ระยะนี้โครโมโซมแต่ละ แท่งจึงประกอบด้วย 2 เส้น แต่ละเส้นเรียกว่า โครมาติด (Chromatid) โดยโครมาติดทั้ง 2 ยังคงติดกันที่ตำแหน่งของเซนโตรเมียร์ (Centromere) โครมาติดที่ติดกันนี้เรียกว่า ซิสเตอร์ โครมาติด (Sister Chromatid) ซึ่งจะไปแยกจากกันในระยะไมโทซิส



รูปที่ 3.3.2 วัฏจักรเซลล์ (ก) และ การจำลองตัวของโครโมโซม (ข)

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 90,91)

Mitosis

โครโมโซมที่จำลองตัวเป็น 2 โครมาติด จะเข้าสู่กระบวนการแยกเป็น 2 โครโมโซม ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 4 ระยะ ดังนี้

1. โพรเฟส (Prophase) ระยะนี้โครโมโซมจะขดตัวหนามากขึ้นอีกจนเห็นเป็นแท่งโครโมโซมชัดเจน นิวคลีโอลัส และเยื่อหุ้มนิวเคลียสเริ่มสลายตัวไป

ในเซลล์สัตว์ เซนทริโอลที่จำลองตัวเป็น 2 ชุด ในอินเตอร์เฟสจะเคลื่อนตัวแยกออกจากกันไปอยู่ด้านตรงข้ามของเซลล์ และสร้าง Microtubule ขึ้นรอบ ๆ เซนทริโอล เรียกว่า แอสเตอร์ (Aster) ส่วน Microtubule ที่เชื่อมต่อกันเป็นเส้นยาว เรียกว่า เส้นใยสปินเดิล (Spindle Fiber) จะโยงยึดระหว่างเซนทริโอลกับเซนโตรเมียร์ของแต่ละโครโมโซม ในพืชไม่มีเซนทริโอล เส้นใยสปินเดิลเกิดจากกลุ่ม Microtubule ที่รวมตัวกันเป็นโพลาร์แคป (Polar Cap)

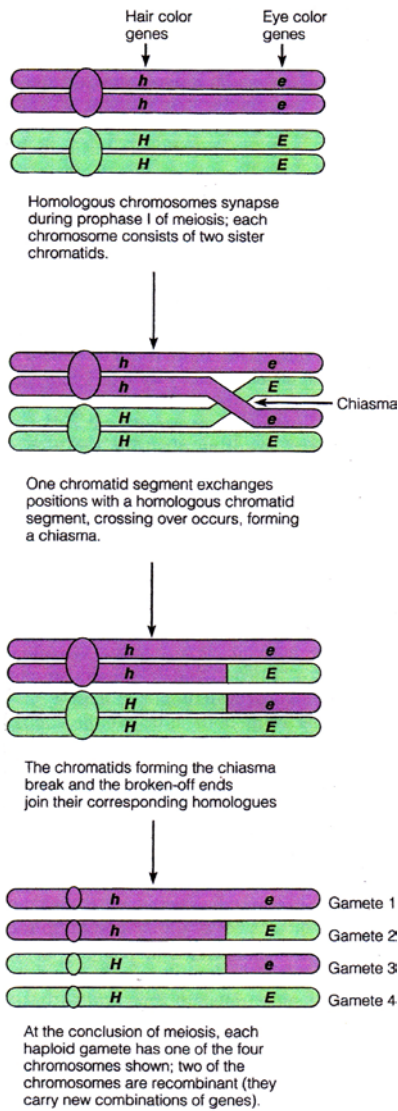
2. เมตาเฟส (Metaphase) โครโมโซมขดตัวแน่นมากยิ่งขึ้น ทำให้เห็นโครโมโซมเป็นเส้นคู่ชัดเจนที่สุด โครโมโซมมาเรียงตัวในแนวกึ่งกลางเส้นใยสปินเดิลเรียกว่า แนวศูนย์สูตรของเซลล์ เซนโตรเมียร์ จะจำลองตัวเป็น 2 อัน ทำให้ซิสเตอร์ โครมาติด แต่ละอันเริ่มแยกออกจากกัน

3. อะนาเฟส (Anaphase) เซนโตรเมียร์ มีบทบาทสำคัญในการช่วยให้โครโมโซมเคลื่อนที่ได้ ซิสเตอร์ โครมาติด จะแยกตัวไปยังขั้วทั้ง 2 ของเซลล์ เนื่องจากเซนโตรเมียร์เป็นจุดที่เคลื่อนที่ก่อนจุดอื่น ๆ จึงทำให้เกิดรูปร่างของโครโมโซมเป็นแบบต่าง ๆ ระยะเวลาสั้นที่สุด

4. ทีโลเฟส (Telophase) บริเวณขั้วทั้ง 2 ของเซลล์ ประกอบด้วย โครโมโซมที่มีจำนวนเท่ากันและเท่ากับเซลล์เดิม เส้นใยสปินเดิลสลายตัวไป และเริ่มปรากฏมีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และนิวคลีโอลัส กลุ่มโครโมโซมเริ่มคลายตัวเป็นเส้นบางยาวพันกันเป็นโครมาตินอยู่ในนิวเคลียสเกิดใหม่

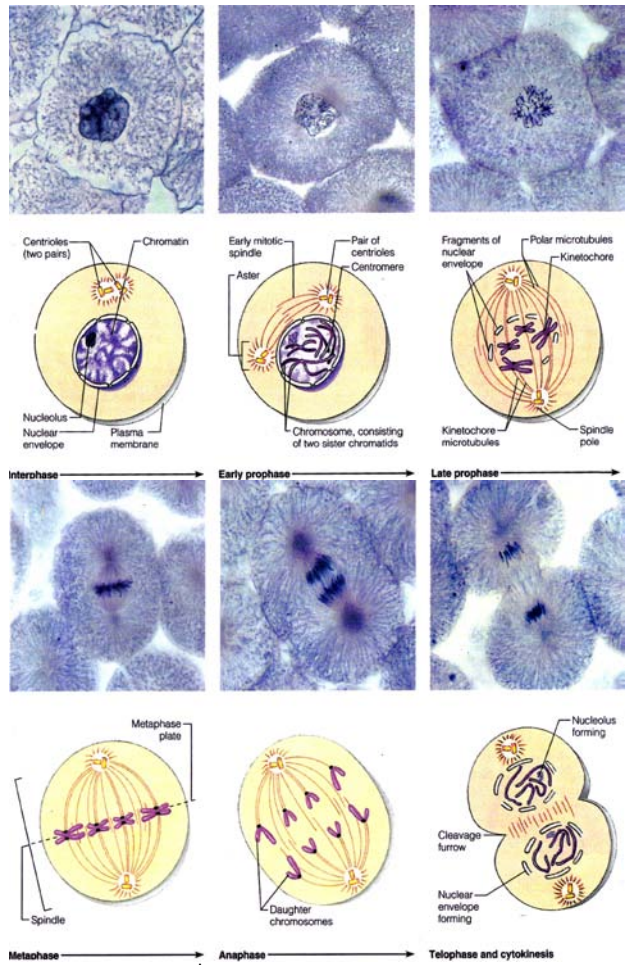
Cytokinesis

เมื่อสิ้นสุดไมโทซิสแล้ว จะมีการแบ่งตัวของไซโตพลาสซึมตามมา ซึ่งขบวนการนี้อาจไม่เกิดขึ้นกับเซลล์บางชนิด ในเซลล์สัตว์ ไซโตโคเนซิสเกิดโดยไซโตพลาสซึมคอดเข้าสู่บริเวณกลางเซลล์ จนแยกจากกันเป็น 2 เซลล์ ส่วนเซลล์พืชจะมีการสร้างแผ่นเซลล์ (Cell Plate) ขึ้นบริเวณกลางเซลล์ แล้วขยายไปจนจรดกับผนังเซลล์ทั้ง 2 ด้าน



Key
H = allele for brown hair *E* = allele for brown eyes
h = allele for blond hair *e* = allele for blue eyes
 [Purple box] = Paternal chromosome
 [Green box] = Maternal chromosome } Homologous pair

รูปที่ 3.3.4 คู่ของโฮโมโลกัสโครโมโซม ;
 ไซแนพซิส (ก) และ ครอสซิงโอเวอร์ (ข)
 (จาก Georg B. Johnson, 1995. The Living World หน้า 122)



รูปที่ 3.3.3 ไมโทซิสระยะต่าง ๆ

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 96,97)

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

เนื่องจากการแบ่งไมโอซิส เป็นการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ จึงเป็นการแบ่งเซลล์ที่เนื้อเยื่อของอวัยวะสืบพันธุ์ในอวัยวะของเพศผู้และรังไข่ของเพศเมีย โดยเซลล์จะเข้าสู่อินเตอร์เฟสเพื่อเตรียมความพร้อมของเซลล์ให้มีปริมาณของวัตถุดิบมากขึ้นอีก 1 เท่าของเซลล์เดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คือ สาร DNA RNA และโปรตีน เมื่อสิ้นสุดอินเตอร์เฟส โครโมโซมแต่ละแท่งจะประกอบด้วย 2 ซิสเตอร์โครมาติด

ไมโอซิส จะมีการแบ่ง 2 ครั้ง คือ ไมโอซิส I (Meiosis I) และไมโอซิส II (Meiosis II)

Meiosis I

การแบ่งไมโอซิส 1 เป็นการแยกคู่โฮโมโลกัสโครโมโซม (Homologous Chromosome) ออกจากกันไปอยู่คนละขั้วของเซลล์ จึงทำให้เซลล์ที่แบ่งได้ในระยะนี้มีจำนวนโครโมโซมเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์เดิม คือ จำนวน Haploid (n) การเปลี่ยนแปลงแบ่งเป็น 4 ระยะ ได้แก่

1. Prophase I Homologous Chromosome จะเข้าคู่กันตามความยาวของแท่งโครโมโซมแบบไซแนปซิส (Synapsis) ซึ่งมีการเข้าคู่ของยีนที่เป็นคู่กัน (Alleles) Homologous Chromosome พยายามจะแยกตัวออกจากกัน โดยเซนโตรเมียร์จะแยกออกมากกว่าบริเวณอื่น และอาจเกิดกรณีพันกันระหว่าง Sister Chromatid กับ Non-Sister Chromatid (Sister-Chromatid ที่ต่าง Chromosome ที่เป็นคู่กัน) เรียกจุดที่พันกันว่า ไคแอสมา (Chiasma) ซึ่งจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนส่วนของโครมาติด ทำให้เกิดการเรียงตัวใหม่ของยีน เป็นผลให้เกิดการแปรผันทางพันธุกรรม (Genetic Variation) เรียกกระบวนการนี้ว่าครอสซิง โอเวอร์ (Crossing Over) ระยะนี้โครโมโซมจะขดตัวพันกันแน่นขึ้น พร้อมกับมีการสลายของเยื่อหุ้มนิวเคลียส และ นิวคลีโอลัส เซนทริโอลที่จำลองตัวเองตั้งแต่ อินเตอร์เฟสจะแยกตัวไปอยู่คนละขั้วเซลล์ เพื่อเตรียมสร้างเส้นใยสปินเดิลยึดกับเซนโตรเมียร์ของโครโมโซมทั้งสอง

2. Metaphase I เซนโตรเมียร์ของคู่โฮโมโลกัสโครโมโซม มาเรียงตัวในแนวศูนย์สูตรของเซลล์ โดยมีเส้นใยสปินเดิลยึดติดกับเซนโตรเมียร์ของคู่โครโมโซม

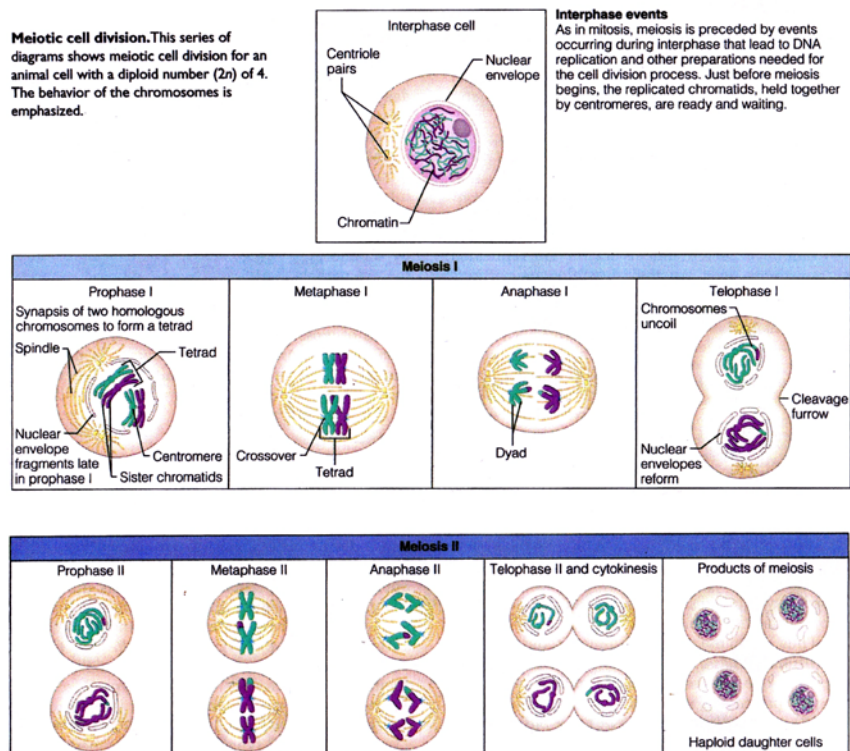
3. Anaphase I โฮโมโลกัสโครโมโซม จะเคลื่อนตัวออกจากกันไปเข้าขั้วของเซลล์แต่ละด้าน โดยที่แต่ละโครโมโซมยังคงประกอบด้วย 2 โครมาติด

4. Telophase I โครโมโซมทั้ง 2 กลุ่ม แยกกันอยู่ที่ขั้วเซลล์ทั้งสอง ทำให้ได้กลุ่มโครโมโซมที่มีจำนวนเพียงครึ่งเดียว (Haploid ; n)

ในเซลล์บางชนิด อาจมีการสร้างเยื่อหุ้มนิวเคลียส และ นิวคลีโอลัส โครโมโซม อาจมีการคลายตัวเป็นเส้นยาว และผ่านเข้าสู่อินเตอร์เฟสสั้น ๆ ก่อนเข้าสู่กระบวนการไมโอซิส 2 ต่อไป

Meiosis II

ไมโอซิส 2 เป็นกระบวนการแบ่งนิวเคลียสต่อจาก Telophase I โดยเป็นกระบวนการแยกคู่โครมาติดของโครมาโซม ได้จำนวนโครโมโซมของแต่ละเซลล์เป็น Haploid (n) จึงมีขั้นตอนเหมือนกับไมโทซิสทุกประการ เพียงแต่ไม่มีการสังเคราะห์โครโมโซมใหม่ระยะต่าง ๆ ได้แก่ Prophase II Metaphase II Anaphase II และ Telophase II



รูปที่ 3.3.5 กระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 1039)

ผลจากการแบ่งไมโอซิส 2 ครั้ง จะได้ 4 นิวเคลียส แต่ละนิวเคลียสมีจำนวนโครโมโซมเป็น Haploid หลังจากนั้นจะมีการแบ่งไซโทพลาสซึม ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันบ้างในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด เช่น เซลล์บางชนิดอาจแบ่งเป็น 2 เซลล์ หลังไมโอซิส 1 และแบ่งเป็น 4 เซลล์ เมื่อสิ้นสุดไมโอซิส 2 แต่เซลล์บางชนิดจะแบ่งพร้อมกันครั้งเดียว เมื่อสิ้นสุดไมโอซิส 2 ได้เป็น 4 เซลล์

การเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ร่างกาย

ในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว การเจริญเติบโตโดยเซลล์ที่เกิดใหม่จากการแบ่งเซลล์ มีการเพิ่มขนาดจากการสังเคราะห์สารที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์ ตามลำดับขั้นตอนที่แน่นอนเช่นเดียวกับพืชและสัตว์

ในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ การเจริญเติบโตเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ การเพิ่มขนาดของเซลล์ และการเพิ่มจำนวนเซลล์โดยการแบ่งเซลล์

ในพืชชั้นสูง การเจริญเติบโตเกิดขึ้นเป็นขั้นตอนเช่นเดียวกับสัตว์ ต่างกันที่พืชเมื่อเจริญเต็มที่แล้ว การเจริญทางเส้นอมจะเกิดขึ้นเฉพาะเซลล์บางกลุ่มเท่านั้น ส่วนการเจริญในการผลิตหน่วยใหม่ยังคงเกิดขึ้นได้ในกลุ่มเซลล์เนื้อเยื่อเจริญ ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์พิเศษ

กระบวนการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

1. การเพิ่มจำนวนเซลล์ (Cell Multiplication) โดยกระบวนการไมโทซิส และการแบ่งเซลล์ทำให้ได้เซลล์เกิดใหม่ 2 เซลล์ จากเซลล์ไซโกตของตัวอ่อน หรือเซลล์ร่างกาย เซลล์บางชนิดของร่างกายมีการแบ่งตัวตลอดชีวิต เช่น เซลล์ชั้นล่างสุดของผิวหนัง เซลล์เยื่อบุลำไส้ และเซลล์ต้นตอของเม็ดเลือด แต่มีเซลล์บางชนิดจะไม่มีการแบ่งตัวอีก เมื่อร่างกายพัฒนามาถึงระยะหนึ่งแล้ว เช่น เซลล์สมอง เซลล์ประสาท เป็นต้น ในพืช เซลล์เนื้อเยื่อเจริญ (Meristematic Cell) มีการแบ่งตัวตลอดเวลา

2. การเจริญเติบโตของเซลล์ (Cell Growth) เซลล์ที่เกิดมาใหม่จากการแบ่งเซลล์ จะมีขนาดเล็กกว่าเซลล์เดิม มีไซโตพลาสซึมอยู่น้อย เซลล์เหล่านี้จะสังเคราะห์สารที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ ทำให้ปริมาณไซโตพลาสซึมเพิ่มขึ้น เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น

3. การเปลี่ยนแปลงเซลล์เพื่อทำหน้าที่เฉพาะ (Cell Differentiation) เซลล์ที่เจริญเติบโตแล้วต้องเปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เฉพาะ โดยจะมีการจับกลุ่มกันเป็นเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ ซึ่งจะทำหน้าที่พิเศษเฉพาะได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในพืชกลุ่มเซลล์เนื้อเยื่อเจริญจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นเนื้อเยื่อถาวรชนิดต่าง ๆ เพื่อทำหน้าที่เฉพาะ เช่น เป็นท่อน้ำ ท่ออาหาร เป็นต้น

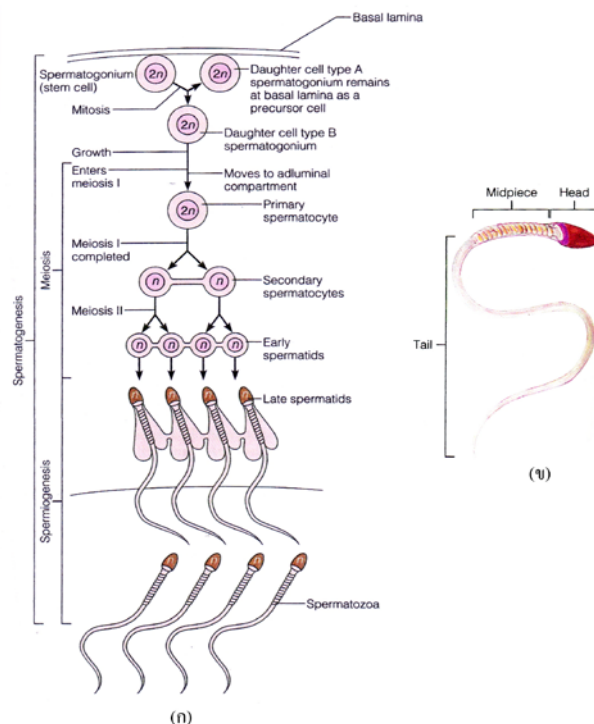
4. การเกิดรูปร่างที่แน่นอน (Morphogenesis) ในตัวอ่อน เมื่อเซลล์ไซโกตมีการเพิ่มจำนวนเซลล์โดยแบ่งตัว เซลล์เติบโต และจับกลุ่มเป็นเนื้อเยื่อทำหน้าที่เฉพาะ เนื้อเยื่อต่าง ๆ จะทำงานร่วมกันเป็นอวัยวะ (Organs) และระบบอวัยวะ (Organs System) ซึ่งจะ

พัฒนารูปร่างลักษณะเฉพาะตัวไปพร้อม ๆ กับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเจริญเติบโตใน 3 ขั้นตอนแรก

การเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงของเซลล์สืบพันธุ์

เซลล์ที่แบ่งได้จากไมโอซิส จะมีการเจริญเติบโตและพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์สืบพันธุ์

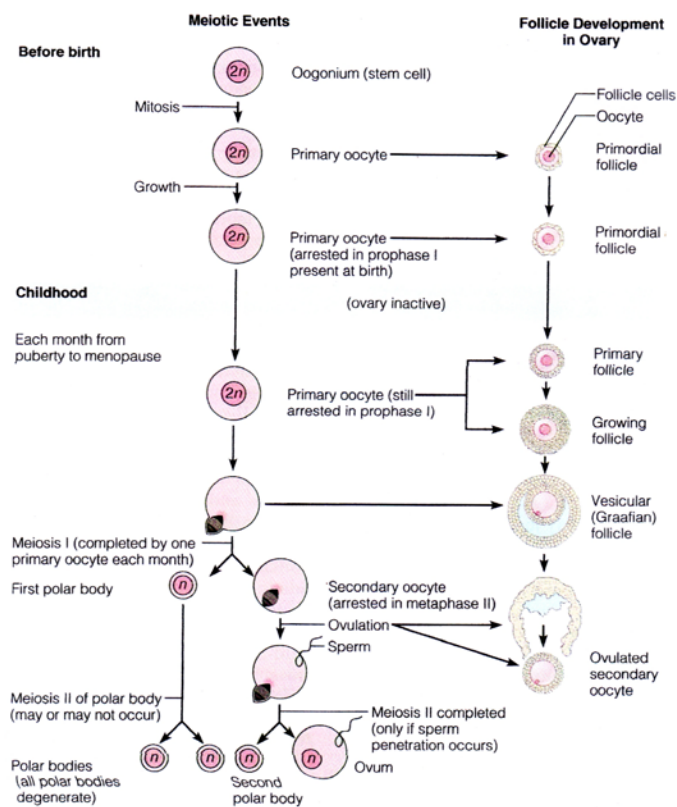
1. การสร้างอสุจิ (Spermatogenesis) ในสัตว์เพศผู้ เมื่อเติบโตถึงวัยเจริญพันธุ์ จะมีการสร้างอสุจิจากเซลล์สเปอร์มาโตโกเนียม (Spermatogonium) ที่อยู่ในหลอดสร้างอสุจิ (Seminiferous Tubule) ของอัณฑะ (Testis) ซึ่งเจริญไปเป็นไพรมารี สเปอร์มาโตไซต์ (Primary Spermatocytes) เซลล์เหล่านี้จะแบ่งไมโอซิส 1 ได้ เซลล์ดาร์ริสเปอร์มาโตไซต์ (2^{nd} Spermatocyte) 2 เซลล์ ซึ่งจะแบ่งไมโอซิส 2 ได้เป็น สเปอร์มาติด (Spermatid) 4 เซลล์ แต่ละเซลล์จะเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็นอสุจิ (Sperm) รูปร่างยาวประกอบด้วย ส่วนหัว (Head) คอและลำตัว (Mid Piece) และ หาง (Tail)



รูปที่ 3.3.6 การแบ่งไมโอซิสเพื่อสร้างอสุจิ (ก) และตัวอสุจิ (ข)

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 1041,1042)

2. การสร้างไข่ (Oogenesis) ในสัตว์เพศเมีย เมื่อเติบโตถึงวัยเจริญพันธุ์ เซลล์โอโอโกเนียม (Oogonium) ในรังไข่ (Ovary) จะเจริญไปเป็นไพรมารี โอโอไซต์ (Primary Oocyte) ซึ่งจะแบ่งไมโอซิส 1 ได้ 2 เซลล์ ที่มีขนาดต่างกัน เซลล์ที่มีขนาดใหญ่ คือ เซคัลลารี โอโอไซต์ (2^{nd} Oocyte) และเซลล์ขนาดเล็ก คือ โพลาร์บอดีที่ 1 (1^{st} Polarbody) ไมโอซิสจะเป็นช่วงเวลาเดียวกับการตกไข่ (Ovulation) ถ้าเกิดการปฏิสนธิ เซคัลลารี โอโอไซต์ จะแบ่งไมโอซิส 2 ได้เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ คือ โอโอติด (Ootid) 1 เซลล์ กับ เซลล์ขนาดเล็ก คือ โพลาร์บอดีที่ 2 (2^{nd} Polarbody) 1 เซลล์ ขณะเดียวกัน โพลาร์บอดีที่ 1 จะแบ่งตัวได้เป็น โพลาร์บอดีที่ 2 2 เซลล์ ซึ่งโพลาร์บอดี ที่ 2 ทั้ง 3 นี้จะสลายตัวไปในเวลาต่อมา ส่วนเซลล์โอโอติด จะพัฒนาเป็นเซลล์ไข่ คือ โอวัม (Ovum) พร้อมกับผสมกับตัวอสุจิ ถ้าไม่มีการปฏิสนธิ ไมโอซิส 2 จะไม่เกิดขึ้น เซคัลลารี โอโอไซต์จะสลายไปพร้อมกับเลือดประจำเดือน

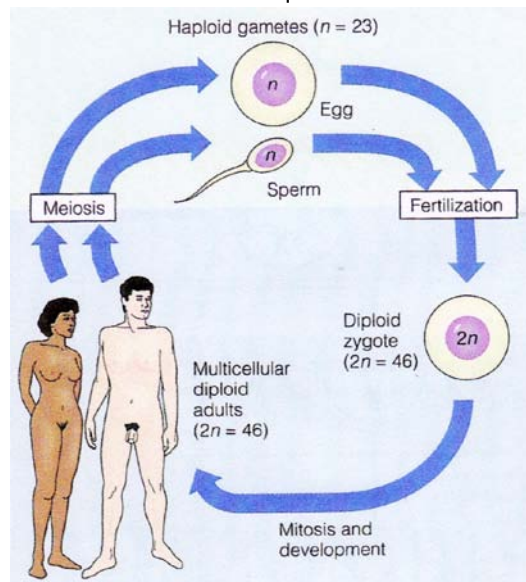


รูปที่ 3.3.7 การแบ่งไมโอซิสเพื่อสร้างไข่

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 1055)

การเปลี่ยนแปลงสภาพและการชราภาพของเซลล์

เมื่อมีการผสมพันธุ์ (Fertilization) คือ การรวมกันของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเพศเมียได้เป็นไซโกต (Zygote) ซึ่งมีจำนวนโครโมโซม Diploid ($2n$) แล้วไซโกตจะเข้าสู่กระบวนการเจริญเติบโต คือ การเพิ่มจำนวนเซลล์ การเติบโต การเปลี่ยนแปลงเซลล์ไปทำหน้าที่เฉพาะ และการพัฒนารูปร่าง ซึ่งประกอบด้วยระบบอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย ได้แก่ ระบบห่อหุ้มร่างกาย (Body Covering System) ระบบโครงกระดูก (Skeletal System) ระบบกล้ามเนื้อ (Muscular System) ระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine Glands System) ระบบขับถ่าย (Excretory System) ระบบหายใจ (Respiratory System) ระบบประสาท (Nervous System) ระบบหมุนเวียนโลหิต (Circulatory System) ระบบย่อยอาหาร (Digestive System) และระบบสืบพันธุ์ (Reproductive System)



รูปที่ 3.3.8 วัฏจักรชีวิต (Life Cycle)

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology, Fourth Edition. หน้า 1037)

วัฏจักรของชีวิต (Life Cycle) เริ่มตั้งแต่ การเจริญเติบโต การเปลี่ยนแปลงในทางเสื่อม และสิ้นสุดด้วยการตาย ดังนั้น ช่วงของการมีชีวิต หรืออายุขัยของสิ่งมีชีวิตจึงมีขีดจำกัด ทั้งนี้ เนื่องมาจากการชราของเซลล์ จึงทำให้ร่างกายเสื่อมสภาพในการทำงาน และตายในที่สุด การชราภาพของเซลล์เกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่

1. เซลล์มีการสะสมของเสีย เมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้น จะมีการสะสมของเสียเพิ่มขึ้น ทำให้มีผลกระทบต่อความอยู่รอดของเซลล์

2. ยีนที่มีบทบาทกำหนดการตายตามอายุขัย พบว่า ในเซลล์อายุมาก เมื่อมีการแบ่งเซลล์ทุกครั้ง ส่วนปลายของโครโมโซมจะสั้นลง จึงอาจเป็นไปได้ที่ส่วนปลายโครโมโซมมียีนที่ควบคุมการปรับสภาพของเซลล์
3. การสูญเสียหน้าที่ของเซลล์ พบว่า เซลล์ที่มีอายุมาก การทำหน้าที่บางอย่างลดน้อยลง เช่น สังเคราะห์โปรตีนลดลง เป็นผลให้กิจกรรมบางอย่างลดลง เช่น การรับสารเข้าสู่เซลล์ได้น้อย ปฏิกริยาเคมีลดลงเนื่องจากการสร้างเอนไซม์ได้น้อย
4. พลังงานน้อยลง เซลล์ที่มีอายุมากจะสร้าง ATP ได้น้อย ทำให้เซลล์ขาดความว่องไว การทำงานของเซลล์จึงมีประสิทธิภาพน้อยลง
5. ปัจจัยภายนอกเซลล์ ได้แก่ อนุมูลอิสระ (Free Radical) สารที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการผ่าเหล่าของ DNA (DNA Mutation) จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนบางชนิด สมบัติของเซลล์เปลี่ยนไป ไม่สามารถปรับตัวให้มีความอยู่รอดในสิ่งแวดล้อมได้

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อเซลล์ ทำหน้าที่อะไรบ้าง
2. โครงสร้างของเยื่อเซลล์ ที่เป็น Mosaic model เป็นอย่างไร
3. คุณสมบัติเยื่อเซลล์ที่เป็น Semi permeable membrane เป็นอย่างไร
4. ออร์แกเนลล์ชนิดใดบ้าง ที่สามารถแบ่งตัวได้ และเพราะเหตุใด
5. องค์ประกอบอะไรของเซลล์ที่ทำหน้าที่ค้ำจุนให้เซลล์คงรูปร่างและคงตำแหน่งของออร์แกเนลล์อื่น ๆ ภายในเซลล์
6. ออร์แกเนลล์ที่ทำหน้าที่เป็นถุงเก็บเอนไซม์ในเซลล์ มีอะไรบ้าง และทำหน้าที่ต่างกันอย่างไร
7. เซลล์ที่ต้องใช้พลังงานมาก จะสร้างออร์แกเนลล์ชนิดใดเพิ่มขึ้นมาก
8. อธิบายวิธีการลำเลียงสารโปรตีนโดยระบบถุงเยื่อ (membrane vesicle transport system) ของ rough endoplasmic reticulum และ golgi complex
9. เพราะเหตุใดจึงจัดไวรัสเป็นสิ่งมีชีวิตแต่ไม่จัดว่าเป็นเซลล์
10. จงอธิบายถึงพัฒนาการของทฤษฎีเซลล์ ตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงปัจจุบันว่ามีการเปลี่ยนแปลงมาอย่างไร และปัจจุบันข้อยกเว้น (exception) ของทฤษฎีเซลล์คืออะไร
11. นิวเคลียสของเซลล์ ประกอบด้วยอะไรบ้าง และมีความสำคัญอย่างไร
12. เมื่อใส่เซลล์พืชและเซลล์สัตว์ลงในสารละลาย hypertonic พบว่า เซลล์สัตว์บวม ขณะที่เซลล์พืชเกือบเหมือนเดิม เพราะอะไร
13. การลำเลียงสารเข้าสู่เซลล์โดยการสร้างถุงเยื่อแบบ Phagocytosis Pinocytosis และ Receptor - mediated endocytosis แตกต่างกันอย่างใด
14. Simple diffusion และ facilitate diffusion แตกต่างกันอย่างใด การลำเลียงแบบใดมีประสิทธิภาพดีกว่ากัน
15. อธิบายกระบวนการ $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ ATPase pump ในเซลล์ประสาท
16. เพราะเหตุใดเซลล์เม็ดเลือดจึงอยู่ในน้ำเลือด ในร่างกายโดยไม่บวมหรือเหี่ยว
17. สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวน้ำจืด เช่น พารามีเซียม มีกลไกควบคุมน้ำในเซลล์อย่างไร
18. เหตุใดจึงต้องมีการแบ่งเซลล์ในสิ่งมีชีวิต
19. วัฏจักรเซลล์ (cell cycle) หมายถึงอะไร อธิบายกิจกรรมที่เกิดขึ้นใน 1 วัฏจักร

เซลล์

20. เพราะเหตุใดวัฏจักรเซลล์จึงเกิดขึ้นเฉพาะการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเท่านั้น
21. การแปรผันทางพันธุกรรมเกิดขึ้นในขั้นตอนใดของการแบ่งไมโอซิส
22. ขั้นตอนใดของการแบ่งไมโทซิสที่มีความสำคัญต่อการแบ่งสารพันธุกรรมให้เท่ากันมากที่สุด
23. กระบวนการสร้างเส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) เพื่อใช้ยึดโครโมโซมในการแบ่งเซลล์ของพืชและสัตว์ เหมือนหรือต่างกันอย่างไร
24. กระบวนการแบ่งไซโตพลาสซึม (Cytokinesis) ในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ เหมือนหรือต่างกันอย่างไร
25. จงเปรียบเทียบการแบ่งไมโทซิส และไมโอซิส ในประเด็นที่เหมือนและแตกต่างกัน
26. ในการสร้างเซลล์สืบพันธุ์เพศชาย คือ อสุจิ (Sperm) และเซลล์สืบพันธุ์เพศหญิง คือ ไข่ (egg) แตกต่างกันในเรื่องใดบ้าง
27. ถ้าจะศึกษาลักษณะของแท่งโครโมโซม (Karyotype) ควรศึกษาในระยะใดของการแบ่งเซลล์จึงจะดีที่สุด