การขนส่งสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์(membrane transport)

เซลล์ในร่างกายมีกลไกลการนำสารผ่านเข้าออกเซลล์ในรูปแบบที่แตกต่างกันตามขนาดโมเลกุลของสาร ความเข้มข้นของสารระหว่าง 2 บริเวณที่แตกต่างกัน รวมทั้งปัจจัยร่วมอื่นๆ เป็นเรื่องที่ไม่ยากในการทำความเข้าใจ และมักจะปรากฏในข้อสอบบ่อยๆ ซึ่งการเคลื่อนที่ของสารสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ ดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์(ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์)
2. การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ (แบบนี้ไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์แต่อาศัยเยื่อหุ้มเซลล์โอบล้อมสารที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์เข้ามา)

จากที่กล่าวมาก็จะสังเกตเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้แบบกรณีที่ 1 สารจะต้องมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ จึงจะสามารถเคลื่อนที่เข้าออกได้ แต่ในกรณีข้อ 2 สารต้องมีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นจึงไม่สามารถทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ แต่อาศัยการโอบล้อมสารนั้นเข้ามาสู่เซลล์แทน เรามาดูแต่ละประเด็นนะครับ

1. การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบผ่านเยื่อหุ้มเซลล์(ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์) แบ่งได้เป็น 2 ประเภทขึ้นอยู่กับการใช้พลังงาน ATP จากเซลล์

1.1 แบบไม่ใช้พลังงาน ATP (Passive transport)

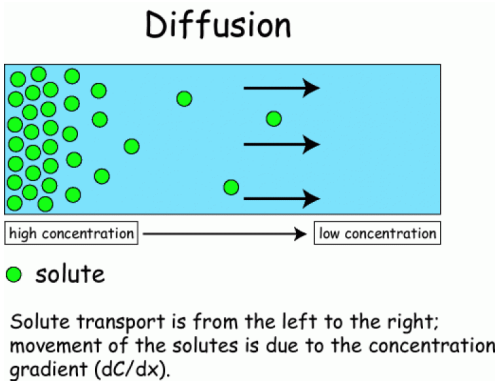
1) การแพร่ (Diffusion) มี 2 แบบคือ
   - การแพร่แบบธรรมดา (Simple diffusion)
   - การแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated diffusion)
2) ออสโมซิส (Osmosis)
3) ไดอะไลซิส (Dialysis)
4) อิมบิบิชัน (Imbibitions)
5) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

1.2 แบบใช้พลังงาน ATP (Active transport)

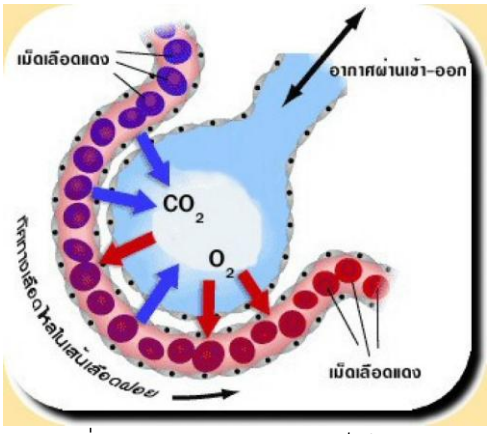
1) กระบวนการแอ็คทีพทรานสปอร์ท (Active transport)
2. การเคลื่อนที่ของสารผ่านเข้าออกเซลล์แบบไม่ทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์(เข้าออกแบบนี้ใช้พลังงาน ATP ทุกกรณี) สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ
   2.1 กระบวนการเอกโซไซโตซิส (Exocytosis)
   2.2 กระบวนการเอนโดไซโตซิส (Endocytosis)
      1) ฟาโกไซโทซิส (Phagocytosis)
      2) พิโนไซโทซิส (Pinocytosis)
      3) การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (Receptor mediated endocytosis)

การแพร่ (diffusion) คือการเคลื่อนที่ของอนุภาคสารจากบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารต่ำโดยอาศัยพลังงานจลน์ของสารเอง (เคยออกข้อสอบเอนท์นะ)
(key word สำคัญสารมากไปสารน้อยหรือบริเวณที่มีสารมากจะเคลื่อนที่ไปบริเวณที่มีสารน้อย) โดยการแพร่มี 2 แบบดังนี้

1.1) การแพร่แบบธรรมดา(Simple diffusion) เป็นการแพร่ที่ไม่อาศัยตัวพา หรือตัวช่วยขนส่ง (carrier) ใดๆ เลย เช่น การแพร่ของผงด่างทับทิมในน้ำจนทำให้น้ำมีสีม่วงแดงจนทั่วภาชนะ การได้กลิ่นผงแป้ง หรือ การได้กลิ่นน้ำหอม

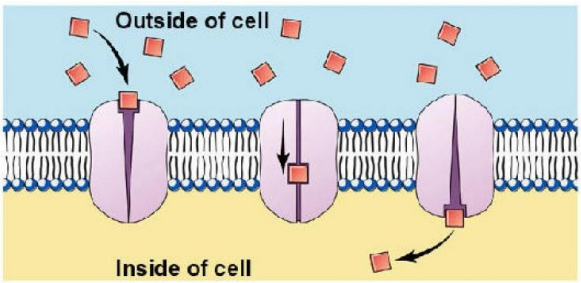


รูปที่ 1แสดงการแพร่แบบธรรมดา (สารมากไปสารน้อย)



รูปที่ 2แสดงการแพร่ของแก๊สในปอด

1.2) การแพร่แบบฟาซิลิเทต(Facilitated diffusion) เป็นการแพร่ของสารผ่านโปรตีนตัวพา(Carrier) ที่ฝังอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์โดยตรง โปรตีนตัวพา (carrier) จะทำหน้าที่คล้ายประตูเพื่อรับโมเลกุลของสารเข้าและออกจากเซลล์ การแพร่แบบนี้มีอัตราการแพร่เร็วกว่าการแพร่แบบธรรมดามาก ตัวอย่างเช่น การลำเลียงสารที่เซลล์ตับและ เซลล์บุผิวลำไส้เล็กการแพร่แบบนี้เกิดในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเท่านั้น



รูปที่ 3 แสดงการแพร่แบบฟาซิลิเทต (สารมากไปสารน้อยแต่ต้องมีตัวพา)

ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่

1.สถานะของสาร โดยแก๊สมีพลังงานจลน์สูงสุดจึงมีอัตราการแพร่สูงสุด

2.สถานะของตัวกลางที่สารจะแพร่ผ่าน โดยตัวกลางที่เป็นแก๊สจะมีแรงต้านน้อยที่สุดจึงทำให้มีอัตราการแพร่สูงที่สุด

3.ขนาดอนุภาคของสาร โดยอนุภาคยิ่งเล็กยิ่งมีอัตราการแพร่สูง

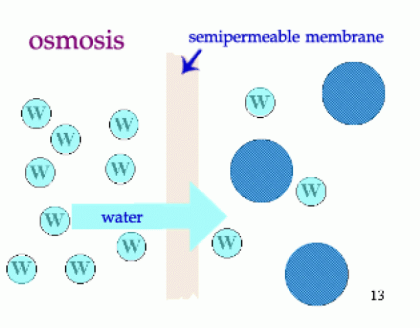
4.ระยะทางที่สารจะแพร่ในหนึ่งหน่วยเวลา

5.อุณหภูมิ โดยจะมีผลต่อการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับสารทำให้มีอัตราการแพร่เพิ่มสูงขึ้น

6.ความดัน เมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นจะเพิ่มความหนาแน่นให้กับสาร ส่งผลให้มีอัตราการแพร่เพิ่มสูงขึ้น

7.ความแตกต่างของความเข้มข้นสารระหว่าง 2 บริเวณ

การออสโมซิส (Osmosis) คือ การเคลื่อนที่ของตัวทำละลาย (มักจะกล่าวถึงน้ำ)ผ่านเยื่อเลือกผ่านจากสารละลายที่เข้มข้นต่ำไปยังสารละลายที่เข้มข้นสูง (จำง่ายๆน้ำมากไปน้ำน้อยและที่สำคัญต้องผ่านเยื่อเลือกผ่านเช่นเยื่อหุ้มเซลล์ หรือกระดาษเซลโลเฟนที่เราใช้ในการทดลอง)



รูปที่ 1 แสดงการออสโมซิส โดยน้ำมากเคลื่อนที่ไปน้ำน้อยผ่านเยื่อบางๆ (semipermeable membrane)

การออสโมซิสมีแรงดันที่เกี่ยวข้อง 2 ชนิด คือ

(1) แรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) คือแรงดันที่เกิดขึ้นเพื่อต้านการเคลื่อนที่ของตัวทำละลายที่ผ่านเยื่อบางๆ เช่นเยื่อหุ้มเซลล์ (แรงดันออสโมติกก็คือแรงที่ใช้ต้านการเคลื่อนที่ของน้ำไม่ให้น้ำเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีน้ำมากไปยังบริเวณที่มีน้ำน้อย ดังนั้น หากมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของน้ำไม่มาก น้ำจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อบางๆ ได้มาก (แรงต้านไม่มาก = แรงดันออสโมติกต่ำ) โดยน้ำมีแรงดันออสโมติกต่ำสุด)

(2) แรงดันเต่ง (turgor pressure) คือแรงดันที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เกิดขึ้นเนื่องมาจากน้ำออสโมซิสเข้าไปภายในเซลล์แล้วดันให้เซลล์แต่งหรือบวมขึ้นมา เมื่อน้ำเข้าไปภายในเซลล์มากเกินไปในกรณีที่เป็นเซลล์สัตว์อาจเกิดการแตกได้ แต่หากเป็นเซลล์พืชมักจะไม่มีการแตกของเซลล์เนื่องจากมีผนังเซลล์คงรูปร่างไว้

โดยที่จุดสมดุลของการแพร่ พบว่า แรงดันออสโมติกของสารละลาย = แรงดันแต่งสูงสุด

ประเภทของสารละลายจำแนกตามแรงดันออสโมติก

สารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกันจะมีผลต่อเซลล์แตกต่างกันด้วย จึงทำให้แบ่งสารละลายที่อยู่นอกเซลล์ออกได้เป็น 3 ชนิด ตามการเปลี่ยนขนาดของเซลล์ เมื่ออยู่ภายในสารละลายนั้น คือ

1. สารละลายไฮโพโทนิก (Hypotonic solution) คือ สารละลายที่มีแรงดันออสโมติกต่ำ หรือสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ(มีน้ำมาก)เมื่อนำเซลล์มาแช่ในสารละลายไฮโพโทนิก น้ำจากสารละลายจะเข้าสู่เซลล์ส่งผลให้เกิด

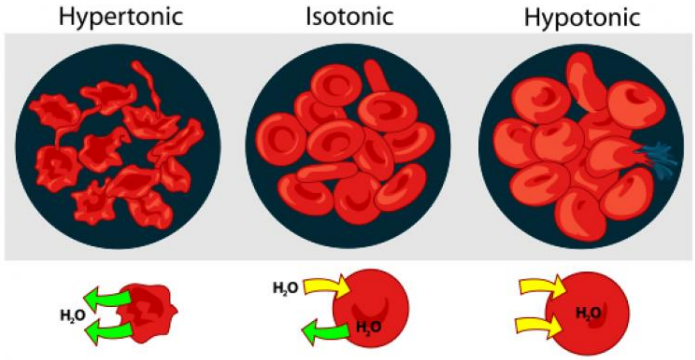
การเต่งของเซลล์หรือที่เรียกว่าPlasmoptysis

ตัวอย่างเช่น สมมติว่านำเซลล์เม็ดเลือดแดงที่มีความเข้มข้น 0.85% ไปแช่ในสารละลาย 0.25% พบว่าน้ำจากสารละลายจะแพร่จาก0.25% ไปยัง 0.85% จนทำให้เซลล์แต่งและหากน้ำยังเข้าได้เรื่อยก็จะส่งผลให้เซลล์เม็ดเลือดแดงแตกหรือที่เรียกว่า ฮีโมไลซิส (Haemolysis) เซลล์พืชจะแตกได้หากเป็นเซลล์อ่อนๆเท่านั้นเนื่องจากผนังเซลล์ยังไม่แข็งแรง แต่หากมีผนังเซลล์แข็งแรงแล้วจะไม่แตก

2. สารละลายไฮเพอร์โทนิก (Hypertonic solution) สารละลายที่มีแรงดันออสโมติกสูง หรือสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงแต่น้ำน้อย ดังนั้นหากนำเซลล์มาแช่ในสารละลายไฮเพอร์โทนิกจะทำให้น้ำจากเซลล์จะที่เคลื่อนที่ออกมายังสารละลายจนทำให้เซลล์เหี่ยวที่เรียกว่า plasmolysis ***ตัวอย่างเช่น*** การนำเม็ดเลือดแดงไปแช่ในสารละลายไฮเพอร์โทนิกก็จะส่งผลให้เซลล์เหี่ยว หรืออื่นๆ เช่น เมื่อนำเกลือใส่ไปในผลไม้ทิ้งไว้ซักพักจะมีน้ำไหลออกมา นั้นแสดงว่าน้ำออสโมซิสออกมาจากเซลล์ของผลไม้หรือ เมื่อเราล้างจานซักพักมือจะเหี่ยวนั้นก็เพราะว่าน้ำออกจากเซลล์ชองเราเช่นกัน

3. สารละลายไอโซโทนิก (Isotonic solution) สารละลายที่มีความเข้มข้นระหว่างภายในเซลล์และภายนอกเซลล์เท่ากัน เพราะฉะนั้นหากนำเซลล์ไปแช่ในสารละลายไอโซโทนิกจะทำให้เซลล์ไม่เปลี่ยนรูปร่าง สารละลายไอโซโทนิกที่ควรจะจำไว้สอบเนื่องจากเซลล์เหล่านี้จะช่วยรักษาสภาพเซลล์ เช่น

1. น้ำเกลือ (Normal saline) 0.85% รักษาสภาพเม็ดเลือดแดง
2. น้ำเลือด (Plasma) รักษาเซลล์เม็ดเลือด
3. น้ำเหลือง (Lymph) รักษาเซลล์ร่างกาย



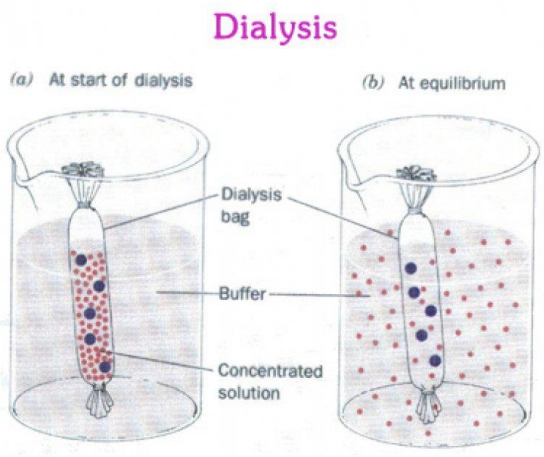
รูปที่ 2 แสดงประเภทของสารละลายที่มีผลต่อเม็ดเลือดแดง

สารละลาย hypertonic จะมีผลให้น้ำออกจากเซลล์เม็ดแดงจนทำให้เซลล์เหี่ยว
สารละลาย Isotonic น้ำเข้าและออกจากเซลล์เท่ากันรักษาสภาพเซลล์
สารละลาย hypotonic น้ำเข้าเซลล์จนทำให้เซลล์แตก

(สารละลายhypertonic สารละลายที่มีความเข้มข้นมากเกินไปจนทำให้น้ำในเซลล์เคลื่อนที่ออกมา ซึ่งมันจะตรงข้ามกับ Hypo ที่แปลว่าต่ำซึ่งน้ำจะเข้าเซลล์ ดังนั้นเหลือแต่คำว่า Iso ที่แปลว่าเท่ากัน นั้นคือน้ำเข้าและออกจากเซลล์เท่ากัน)

ไดอะไลซิส (Dialysis) เป็นการแพร่ของตัวถูกละลายผ่านเยื่อเลือกผ่านจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมากไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารน้อย

(คล้ายๆกับการแพร่+การออสโมซิส นั้นคือสารมากไปสารน้อยเหมือนการแพร่ และต้องผ่านเยื่อเลือกผ่านเหมือนการออสโมซิส)

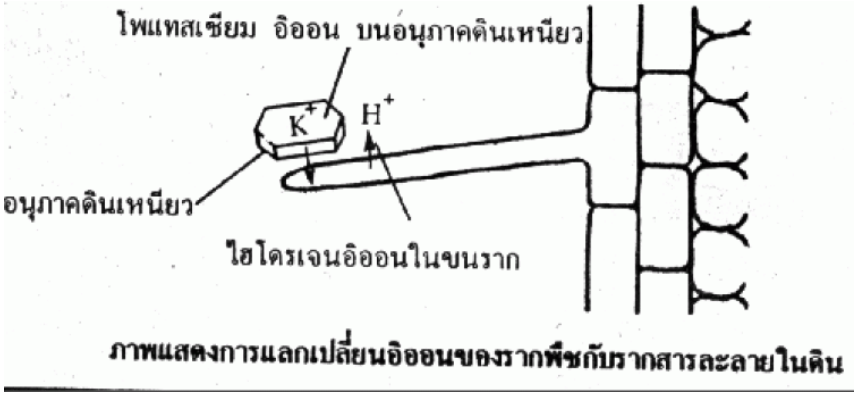


รูปแสดงการไดอะไลซิส (สารมากไปสารน้อยแต่ต้องผ่านเยื่อบางๆ)

อิมบิบิชัน (Imbibition) คือการดูดน้ำของวัตถุที่มีความชื้นต่ำ เช่น เมล็ดพืชที่กำลังงอก

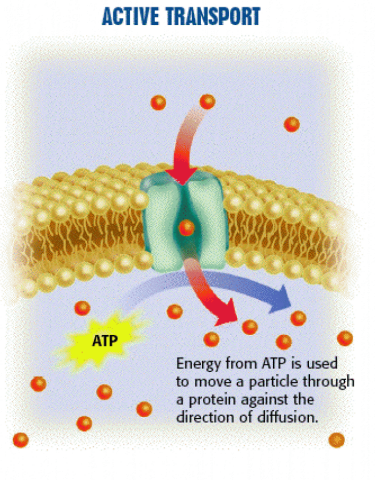
รูปแสดงการเกิดอิมบิบิชันของเมล็ดถั่วก่อนและหลังการดูดน้ำ

การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) คือการแลกเปลี่ยนชนิดของไอออน แต่ปริมาณของไอออนยังคงเดิม เช่นการแลกเปลี่ยนไอออนบริเวณรากของพืช



ภาพแสดงการแลกเปลี่ยนอิออนของรากพืชกับรากสารละลายในดิน

แอ็คทีพทรานสปอร์ท(Active transport) เป็นการเคลื่อนที่ของสารจากบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารน้อยไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารมากโดยอาศัยพลังงาน ATP จากเซลล์



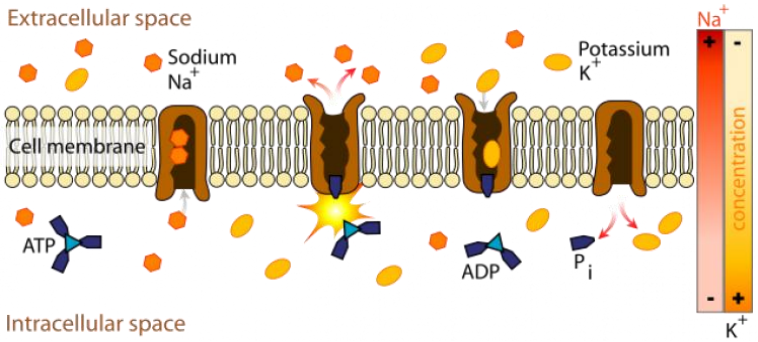
รูปที่ 1 แสดงกระบวนการ active transport(สารน้อยไปสารมากและใช้ ATP)

ปัจจัยที่ต้องใช้ในกระบวนการ Active transport

1. โปรตีนตัวพา (Carrier) ซึ่งฝังอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์
2. เอนไซม์ (enzyme) เพื่อใช้ในการเปลี่ยนรูปของตัวพา
3. พลังงาน ATP จากเซลล์

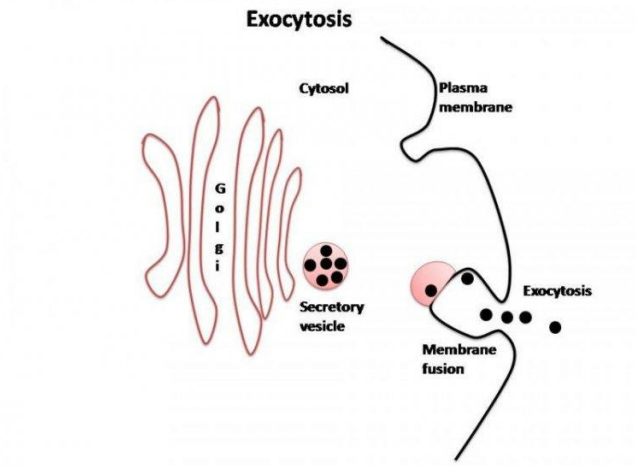
ตัวอย่างของ Active transport ที่เคยปรากฏในข้อสอบ

1. Na^+- K^+pump ที่เซลล์ประสาท
2. การดูดซึมอาหารที่ลำไส้เล็ก
3. การสะสมแร่ธาตุในเซลล์ของสาหร่าย
4. การขับเกลือแร่ที่เหงือกปลาน้ำเค็มกระดูกแข็ง
5. การดูดเกลือแร่ที่เหงือกของปลาน้ำจืด
6. การดูดสารที่มีประโยชน์กลับที่ท่อหน่วยไต
7. การดูดเกลือแร่ที่รากของพืช

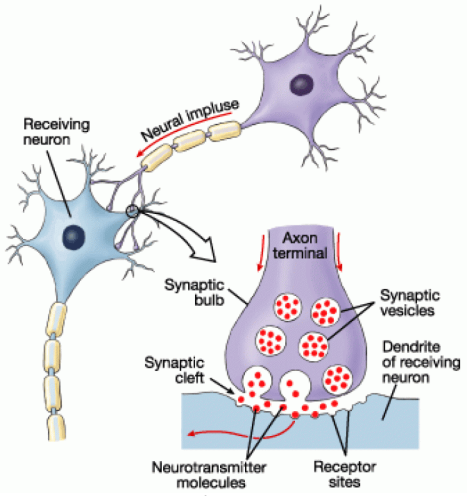


รูปที่ 2 แสดง Na^+- K^+pump โดยอาศัยกระบวนการActive transport

การลำเลียงแบบExocytosis(ex = out = แปลว่าออก หรือนอก, cyto = cell) เป็นการลำเลียงสารออกนอกเซลล์ สารพวกนี้มีขนาดใหญ่ไม่สามารถทะลุผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ดังนั้นต้องอาศัยส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ช่วยนำสารออกจากเซลล์ เช่น การลำเลียงฮอร์โมน สารสื่อประสาท เอนไซม์และแอนติบอดี เป็นต้น



รูปที่ 1แสดงการลำเลียงสารแบบ Exocytosis โดยถุง vesicle จะรวมตัวกับเยื่อหุ้มเซลล์เพื่อนำสารออกนอกเซลล์



รูปที่ 2 ถุง synaptic vesicleซึ่งภายในบรรจุสารสื่อประสาท (neurotransmitter)รวมตัวกับเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาท (neuron) โดยกระบวนการ exocytosis ทำให้สารสื่อประสาทออกมายังบริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์ (synaptic vesicle) เพื่อไปจับกับ receptor site ของเซลล์ถัดไป

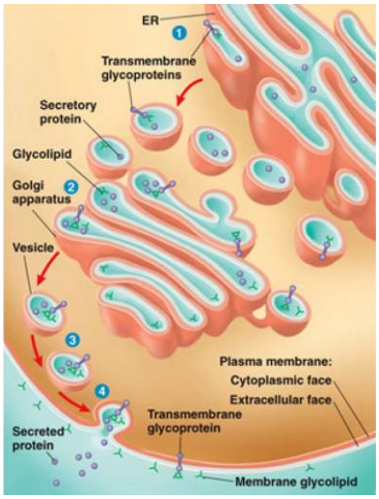
อธิบายเพิ่มเติมถึงเรื่อง organelle และ exocytosis ที่สัมพันธ์กัน

Ribosome ทำหน้าที่สร้างโปรตีน โดยจะพบอยู่ 2 บริเวณคือ

1. Ribosome ที่พบกระจายทั่วไปใน cytoplasm จะสร้างโปรตีนไว้ใช้ภายในเซลล์
2. Ribosome ที่ติดกับ ER ประเภท RER หรือ rough endoplasmic reticulum ซึ่งจะสร้างโปรตีนส่งออกมาใช้นอกเซลล์

ขั้นตอนของการขนส่งโปรตีนออกนอกเซลล์จะอาศัยกระบวนการ Exocytosis ดังนี้

โปรตีนที่สังเคราะห์ขึ้นบริเวณRERถูกส่งต่อไปยังGolgi bodyเพื่อจัดเรียงตัว หรือจัดสภาพใหม่ ให้เหมาะกับสภาพของการใช้งาน ต่อมาโปรตีนดังกล่าวจะถูกบรรจุในถุง vesicle ที่สร้างจาก Golgi body เช่นกันก่อนที่จะปล่อยออกนอกเซลล์ ถุง vesicle จะรวมตัวกับเยื่อหุ้มเซลล์แล้วปล่อยโปรตีนออกนอกเซลล์



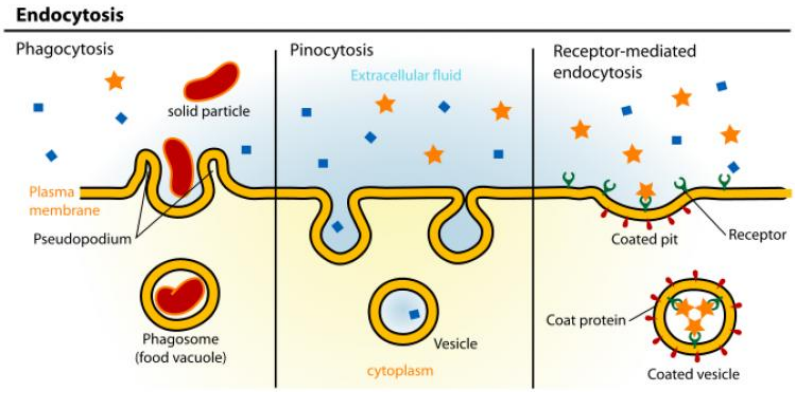
รูปที่ 3 แสดงการขนส่งโปรตีนออกนอกเซลล์ โดยอาศัยออร์แกเนลล์ RER และ Golgi body เพื่อให้ได้ถุง vesicle ก่อนส่งออกนอกเซลล์โดยการ Exocytosis

การลำเลียงสารเข้าในเซลล์ (Endocytosis)มีวิธีสำคัญคือ

2.1 Phagocytosis

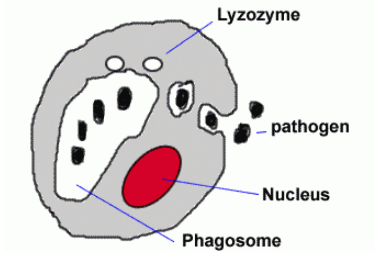
2.2 Pinocytosis

2.3 Receptor mediated endocytosis (การนำสารเข้าในเซลล์ โดยอาศัยตัวรับ)



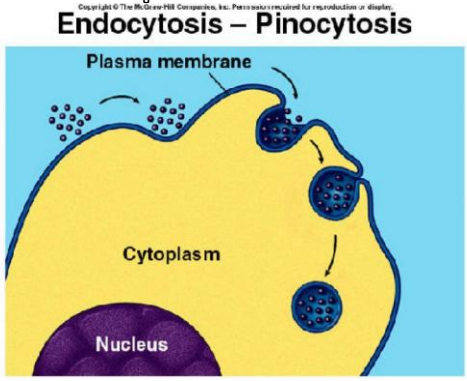
รูปที่ 1 แสดงกระบวนการนำสารเข้าสู่เซลล์โดยกระบวนการ exocytosis

Phagocytosis เป็นวิธีการนำสารที่เป็นของแข็งเข้าสู่เซลล์เช่น เซลล์แบคทีเรีย เศษไม้เล็กๆ สารเชิงซ้อนของแอนติเจนกับเซลล์ เรียกวิธีการแบบนี้ว่า cell eating โดยส่วนของเยื่อหุมเซลล์จะยื่นออกไปทำให้มีลักษณะคล้ายเท้าเทียมเรียก Pseudopodium โอบล้อมสารเข้าภายในเซลล์ โดยอาศัยพลังงาน ATP ตัวอย่างที่เราพบเช่น อะมีบาจับแบคทีเรียเป็นอาหาร, เม็ดเลือดขาวจับแบคทีเรีย, แมคโครฟาจจับแบคทีเรีย, โพรโทซัว Trichonympha กินเศษไม้จากปลวก



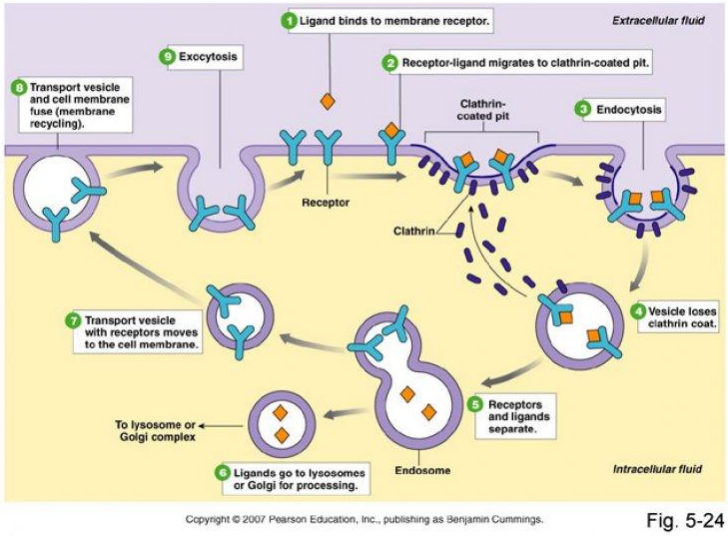
รูปที่ 2 แสดงฟาโกไซโทซิสของเซลล์โดยเมื่อเซลล์กินอนุภาคของแข็งเช่น เซลล์แบคทีเรีย ถุงที่บรรจุอาหารที่ถูกกินหลุดเข้าไปในไซโทพลาสซึม ถุงไลโซโซม (lysosome) เชื่อมรวมกับถุงบรรจุอนุภาคที่ถูกกิน อนุภาคของของที่ถูกกินอยู่ในถุงเรียกว่า Phagosome)

Pinocytosis เป็นวิธีการนำของเหลวเข้าสู่เซลล์หรือที่เรียกว่า cell drinking โดยส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์จะมีการเว้าเข้ามาในไซโทพลาสซึม กลายเป็นร่องแคบๆ เรียกว่า Cana liculi แล้วสารจะหลุดเข้ามา โดยอาศัยพลังงาน ATP ตัวอย่างที่พบเช่น การดูดสารละลายโปรตีนกลับคืนที่ท่อหน่วยไต, การดูดซึมไขมันที่วิลลัสในลำไส้เล็ก



รูปที่ 2 แสดงการนำสารที่เป็นของเหลวเข้าสู่เซลล์แบบ Pinocytosis

Receptor mediated endocytosis เป็นการนำสารอินทรีย์เช่น Ferritin, Chloresterol, Lipoprotein, Antigen เข้าสู่เซลล์ โดยอาศัยตัวรับที่มีความจำเพาะ (Specific receptor) จับกับสารได้อย่างเหมาะสม โดยตัวรับจำเพาะจะอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ ตัวอย่างเช่น การลำเลียง Low Density Lipoprotein, Transferrin, Immunoglobulin, Fibrin, Insulin และ ฮอร์โมน Peptides อื่นๆในสัตว์ (สารละลายโปรตีนเชื่อมกับตัวรับจำเพาะที่เยื่อหุ้มเซลล์และหลุดเป็นถุงเข้าไปในไซโทพลาสซึม)



รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการนำสารเข้าสู่เซลล์โดยวิธีการ Receptor mediated endocytosis