

ביולוגיה 1

טרנספורט של חומרים דרך הממברנות

דר' אורנה עטאר
היחידה לנוער שוחר מדע

קרום התא משמש חיץ המבודד את התא מסביבתו

מהם הכלים שיש לתא המאפשרים:

1. אינטראקציה עם הסביבה

2. בקרה על נפח התא

3. קיום הומאוסטאזיס

התשובה:

חלבונים

ריכוזי מלחים בנוזל הדם ובתאים ב mM

$$\text{NaCl} = 140 \quad \text{KCl} = 5$$

$$\text{Ca} = 2$$

דם

איך מצב כזה
מתאפשר?

$$\text{NaCl} = 10$$

$$\text{KCl} = 130$$

$$\text{Ca} = 0.001$$

כיצד חוצים מומסים את הקרום בניגוד למפל הריכוזים שלהם?

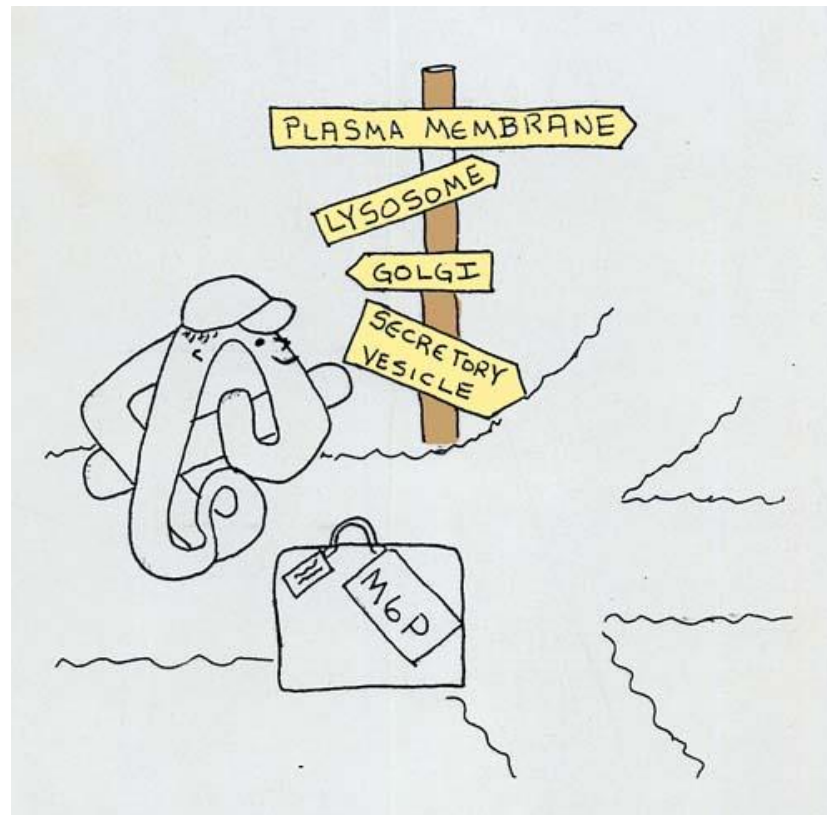
מעבר חומרים דרך הקרום

על מנת לשמור על הריכוזים הנדרשים בתאים יש צורך במנגנוני העברה:

(1) תעלה (channel) - להעברת יונים ומים עם מפל הריכוזים.

(2) נשא (carrier) - דיפוזיה מתווכת של מולקולות שונות (חומצות אמינו, סוכרים, יונים).

(3) משאבה (pump) - העברה אקטיבית הדורשת ATP.



מטרות ההרצאה

- I. להסביר את יתרונות המים כממס אוניברסלי
- II. להסביר כיצד בנוי הקרום הביולוגי
- III. טרנספורט של חומרים דרך הממברנות

מנגנוני טרנספורט

- העברה פסיבית:

דיפוזיה

דיפוזיה מתווכת

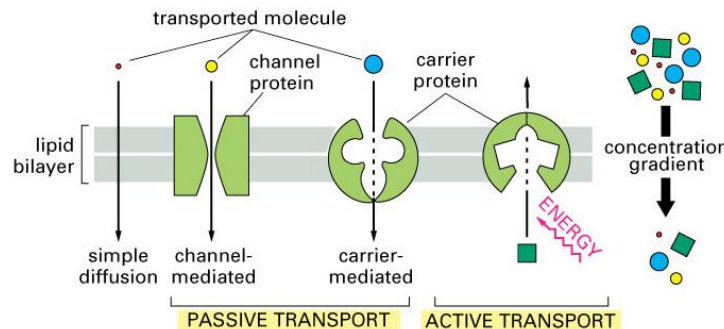
אוסמוזה

עם מפל
הריכוזים

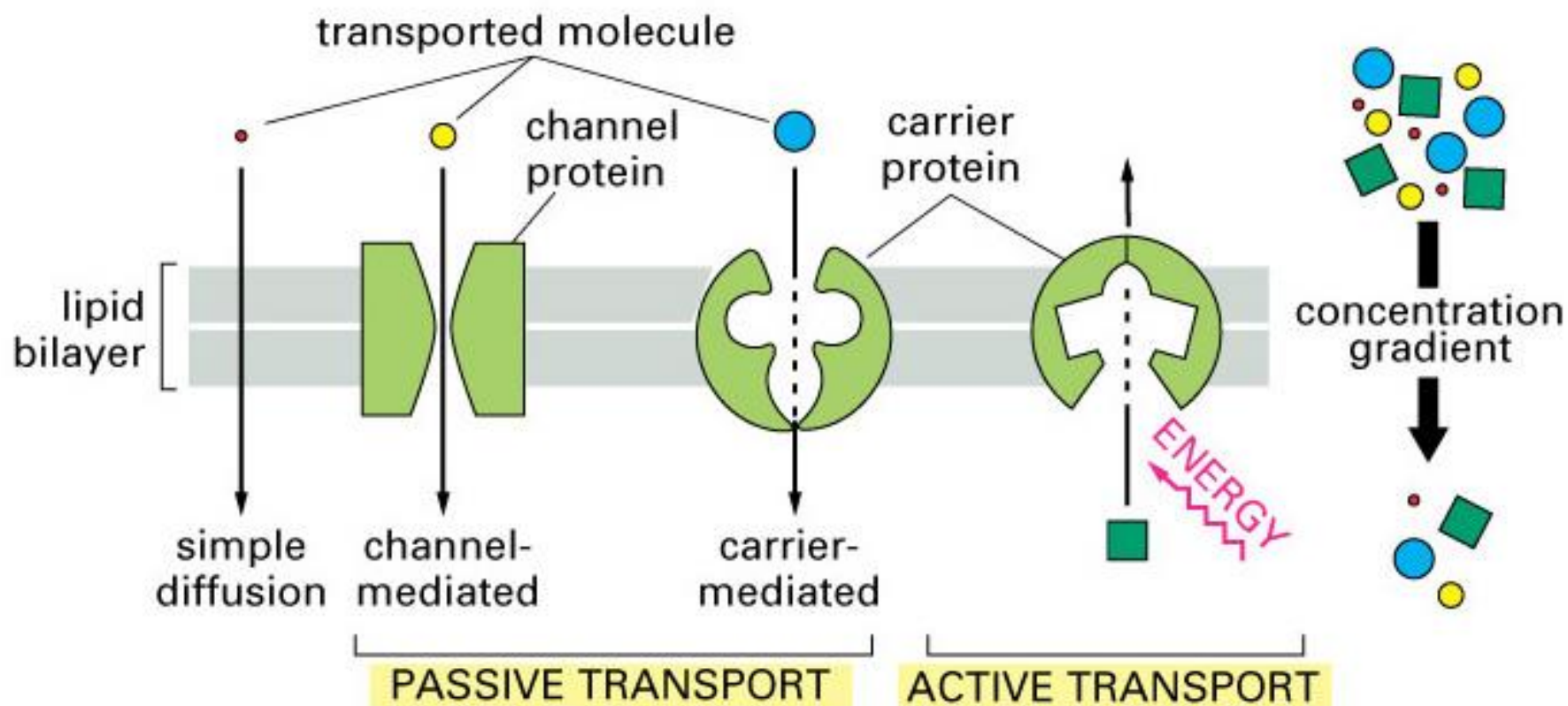
- העברה אקטיבית: השקעת אנרגיה (ראשונית ושניונית)

- שלפוחיות (אקסוציטוזה ואנדוציטוזה)

נגד מפל
הריכוזים



מנגנוני טרנספורט



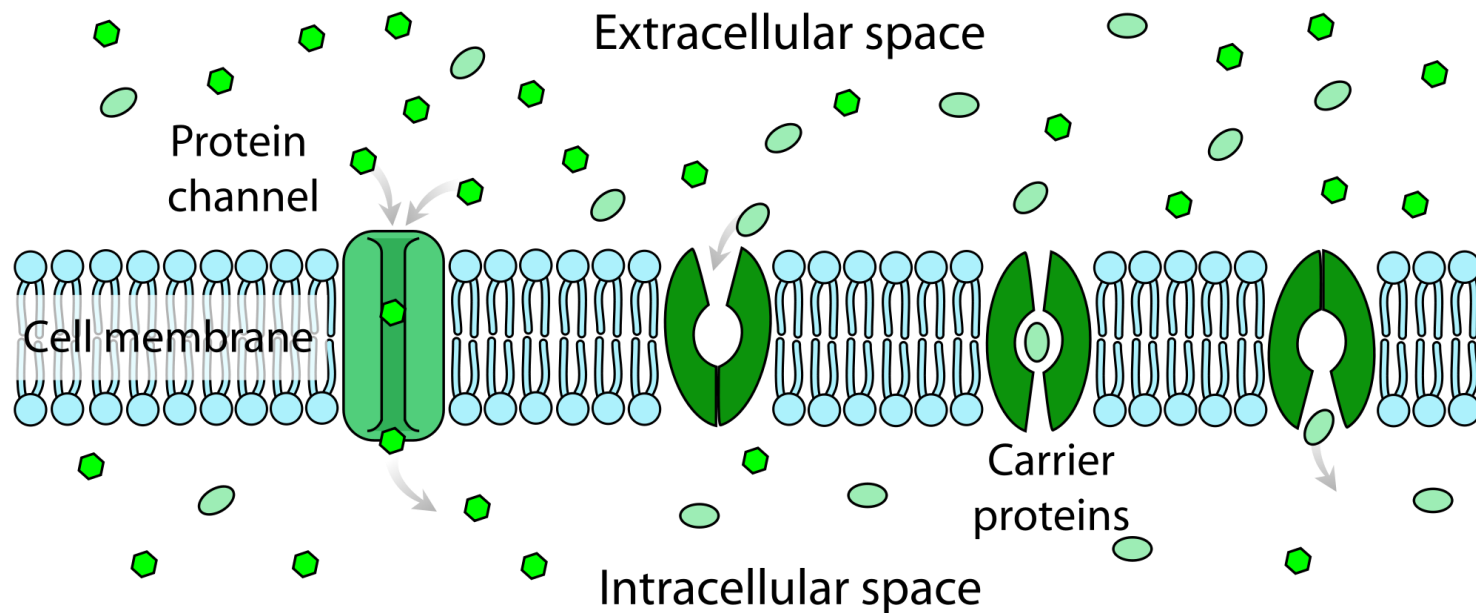
מפל ריכוזים כימי ואלקטרוכימי

מפל הריכוזים הכימי של החומר – כאשר החומר אינו
טעון חשמלית או המטען זניח

מפל הריכוזים האלקטרוכימי של החומר - סכום
המפלים של הריכוז והמטען

דיפוזיה מתווכת (Facilitated diffusion)

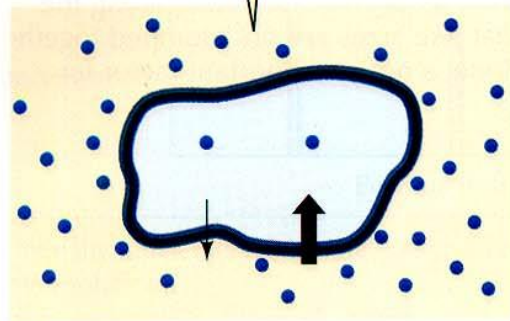
- מנגנון פסיבי.
- חצייה של מולקולות פולריות ע"י נשא או תעלה.
- הכוח המניע – מפל ריכוזים של המומס.



טרנספורט בדיפוזיה לעומת דיפוזיה מתווכת

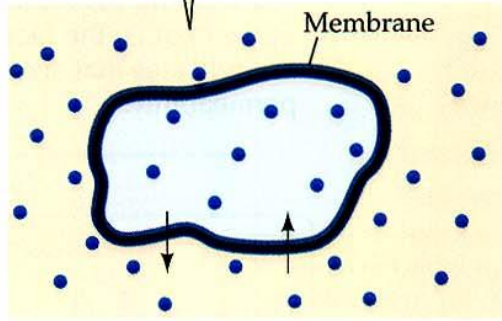
(a)

The rate of simple diffusion is directly proportional to the concentration difference.



Before equilibrium

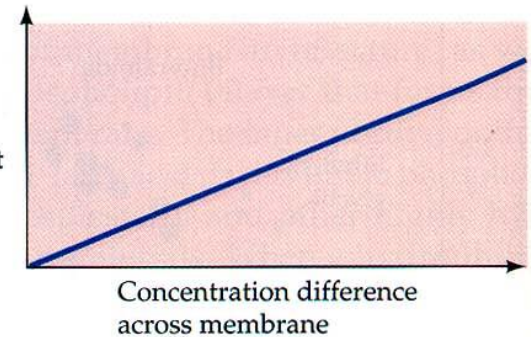
At equilibrium the concentration of solute inside the membrane equals that outside it.



After equilibrium

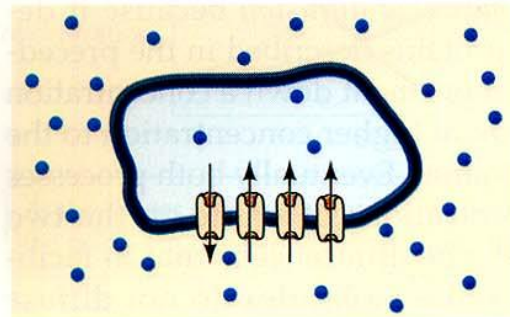
5.10 Rates of Diffusion across Biological Membranes Both simple and facilitated diffusion equalize concentrations of a solute across a membrane.

Rate of movement



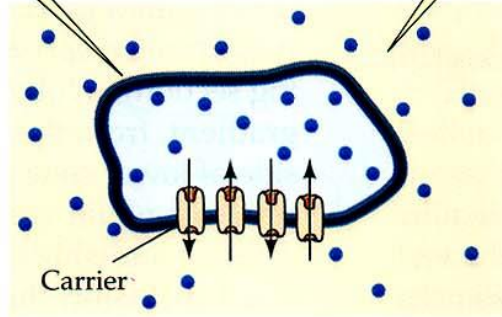
(b)

With facilitated diffusion, equal concentrations are also reached, but a protein carrier in the membrane allows the rate of solute crossing to be greater.



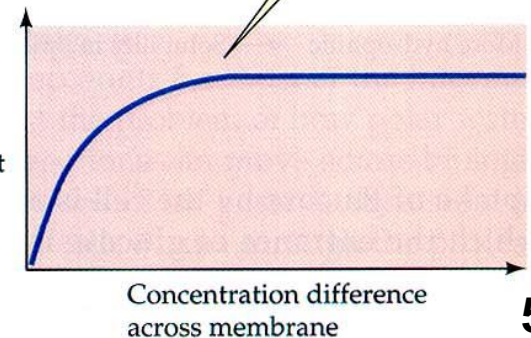
Before equilibrium

Equilibrium is achieved more quickly with facilitated diffusion.

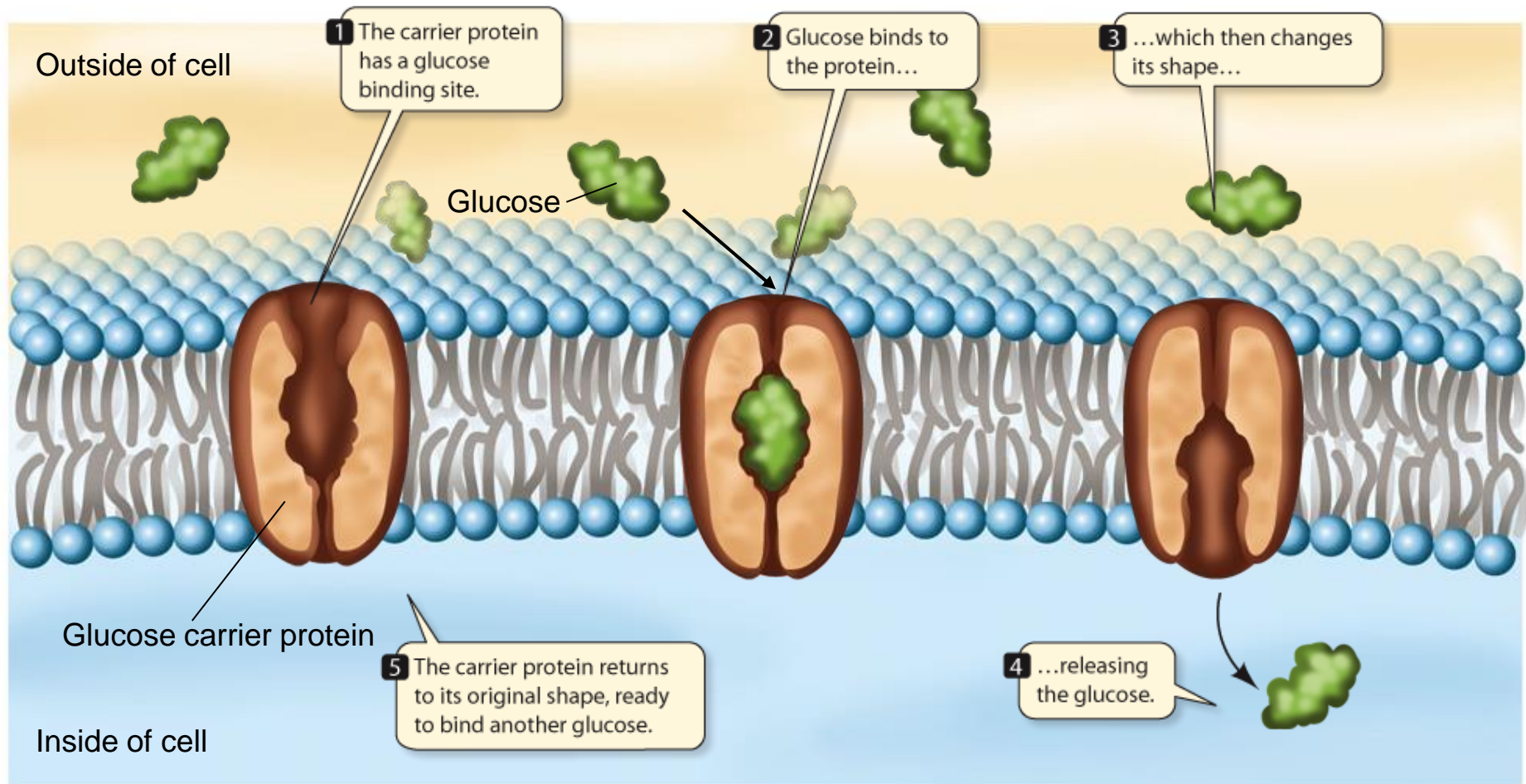


After equilibrium

Rate of movement

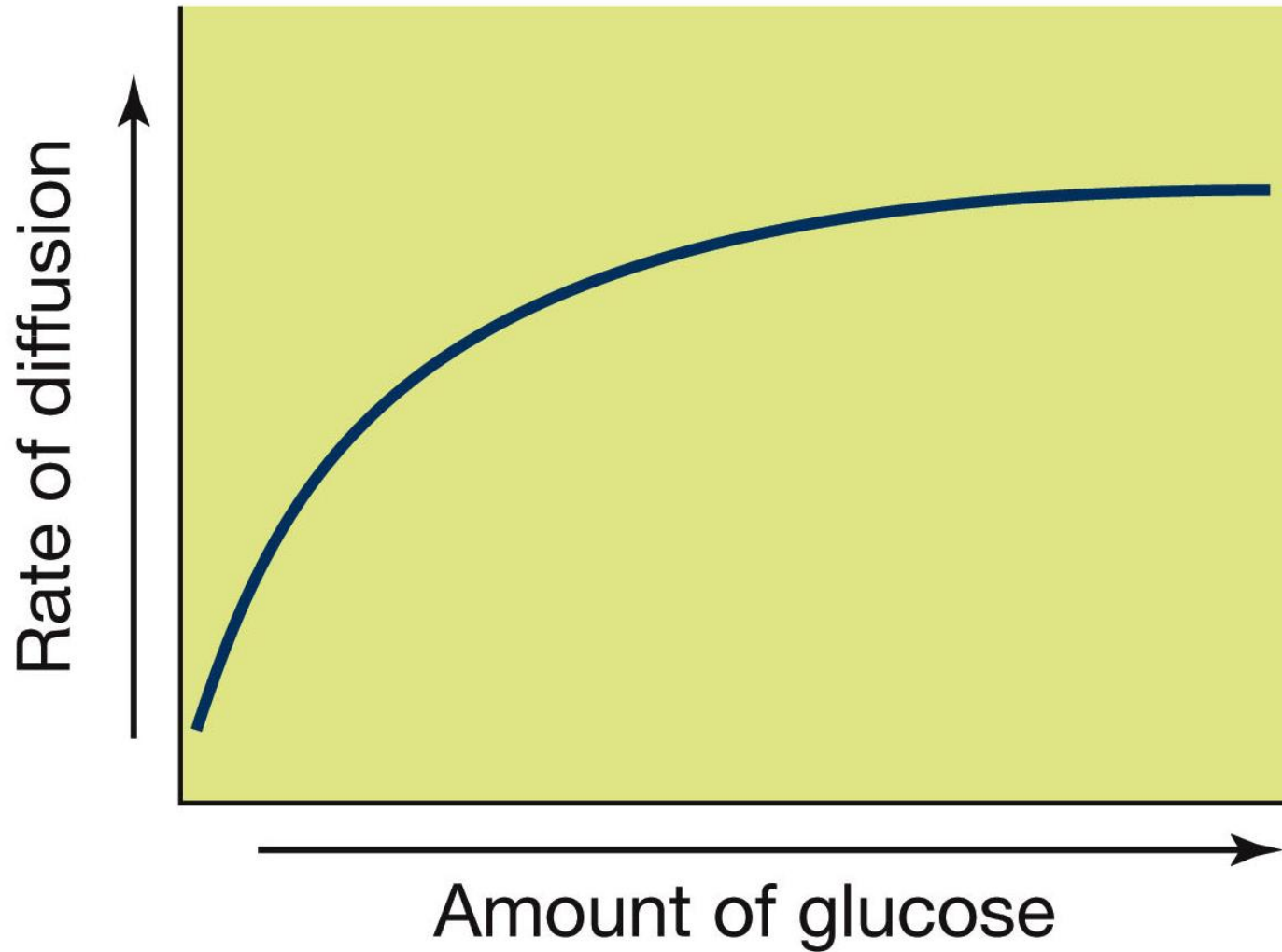


העברה (טרנספורט) פסיבי של מולקולת גלוקוז מומסת במים

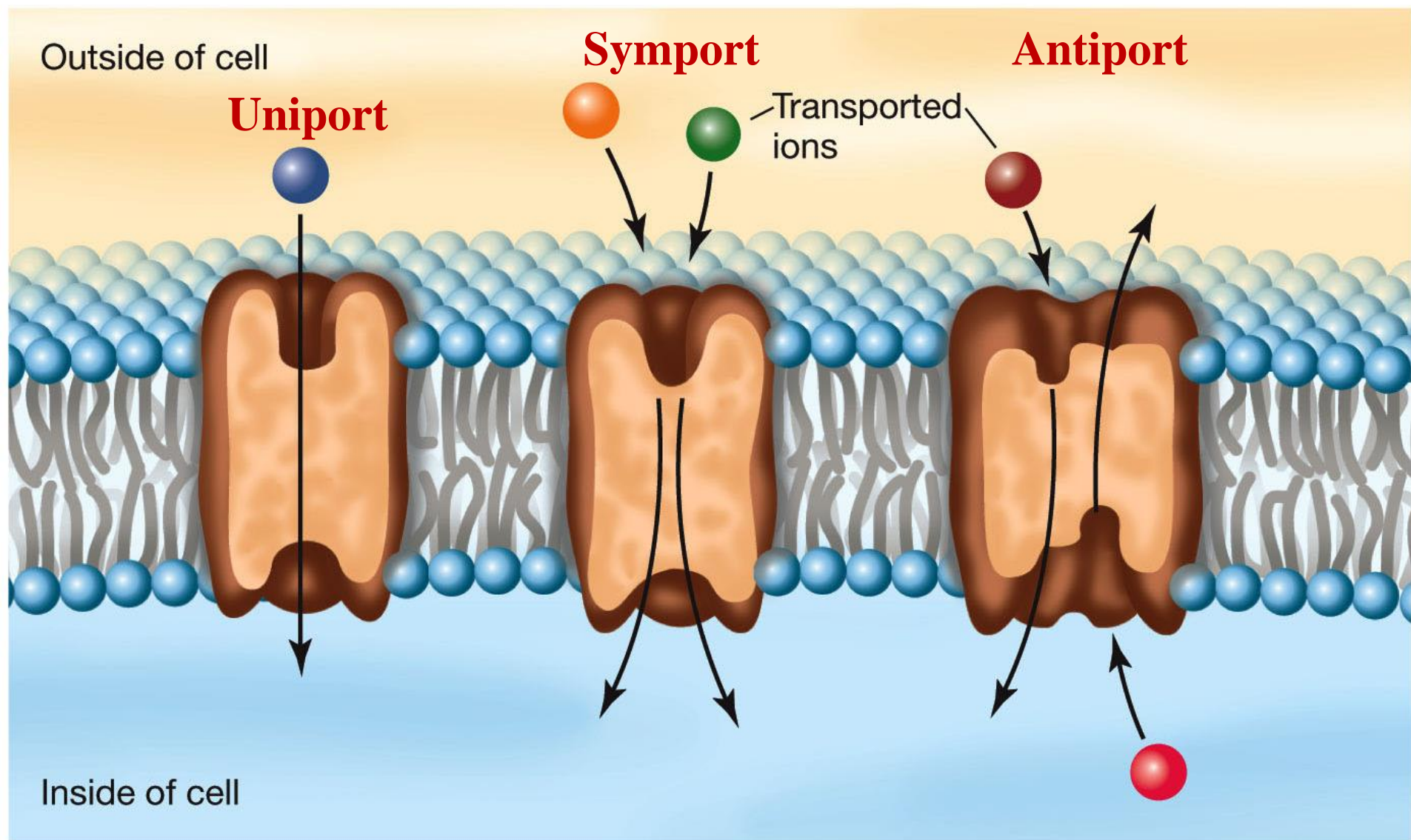


הכוח המניע את הטרנספורט הוא מפל הריכוזים האלקטרוכימי של הגלוקוז

קינטיקה של דיפוזיה מתווכת (קצב התחלתי כפונקציה של ריכוז הסובסטרט המומס המועבר)

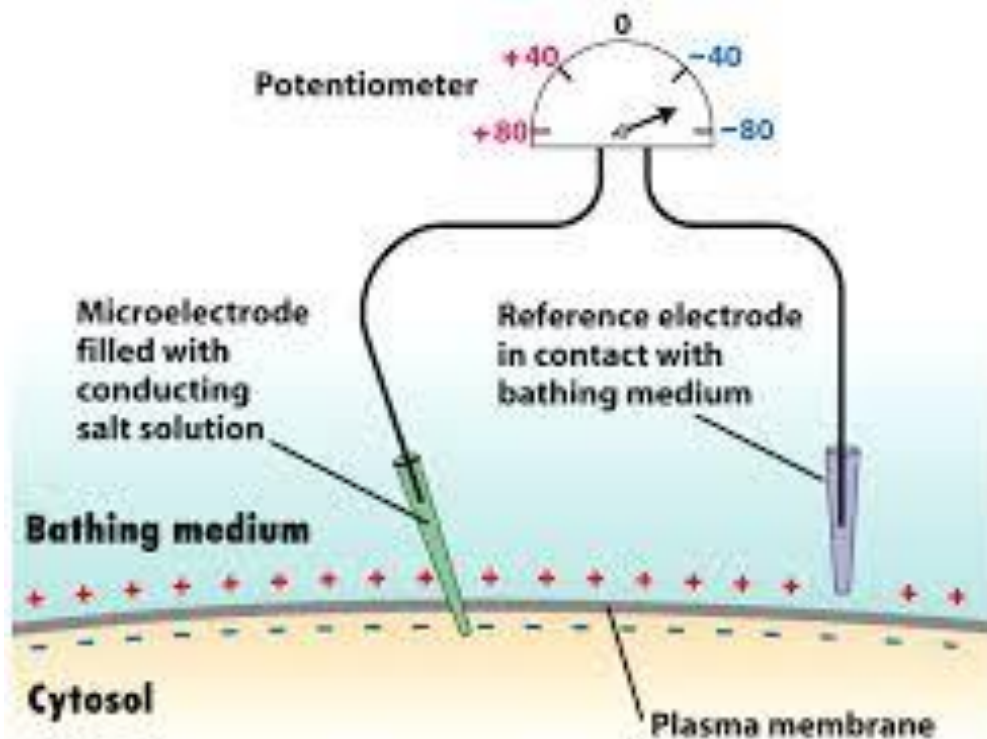


שלושת מנגנוני הטרנספורט האקטיבי (ופסיבי)



פוטנציאל ממברנה - Membrane potential

- לפני שנגדיר טרנספורט אקטיבי נכיר את סך המטענים מחוץ ובתוך התא.
- פוטנציאל ממברנה מקורו בחוסר איזון חשמלי משני צדי קרומים
- פוטנציאל ממברנה בתאים אנימליים ערכו כ- -70 mV (שלילי בתוך התא)
- הפוטנציאל מקורו במפלים אלקטרוכימיים של יונים (לרוב אשלגן, נתרן ו/או פרוטון)

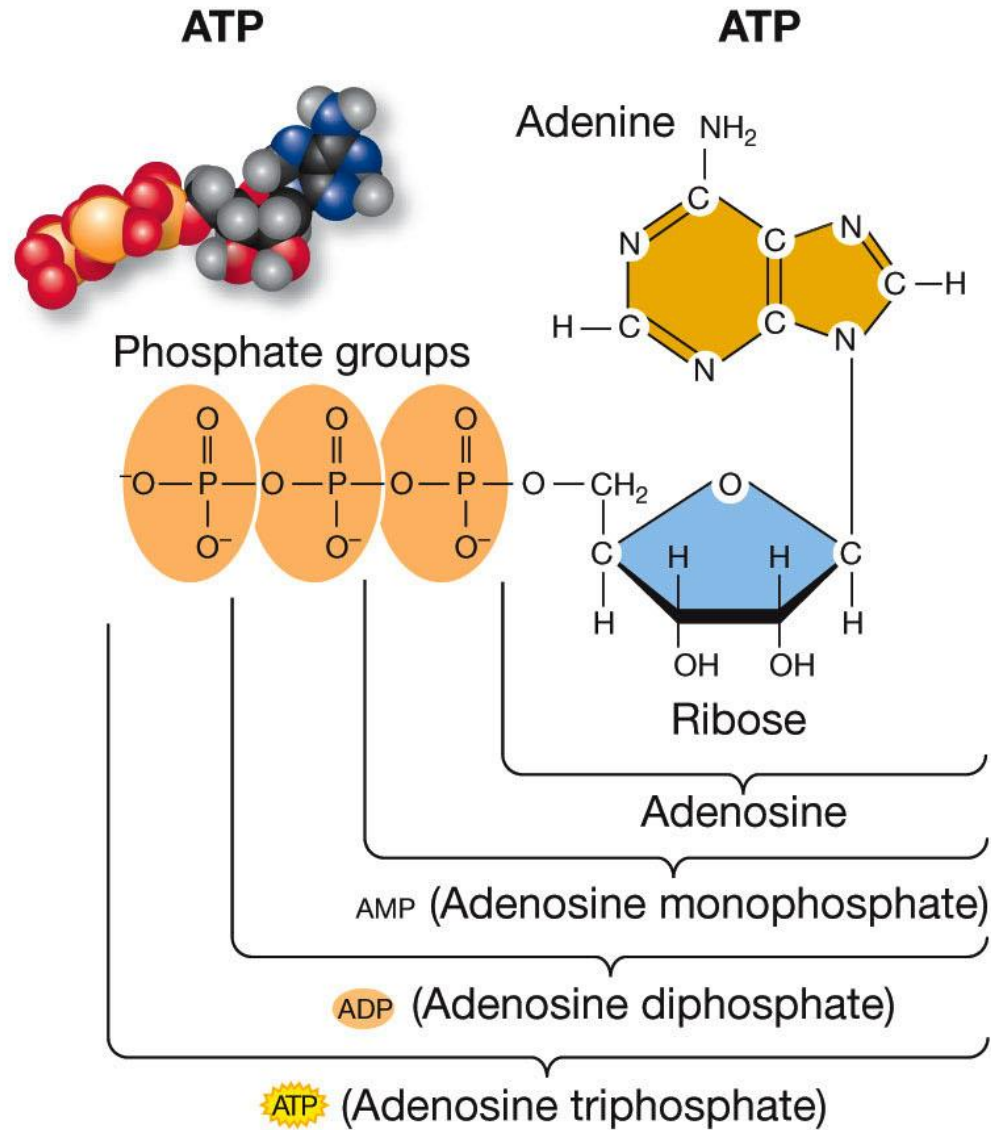


טרנספורט פעיל (אקטיבי)

- דרושה השקעת אנרגיה להעברת חומרים דרך קרום התא, בניגוד למפל הריכוזים
- האנרגיה הזו מסופקת בצורה של מולקולה עתירת אנרגיה, ATP (adenosine 3 phosphate)
- כאשר מוסיפים לה מים (תהליך הקרוי הידרוליזה), ATP משחררת כמות רבה של אנרגיה חופשית



(A) Adenosine 3 phosphate



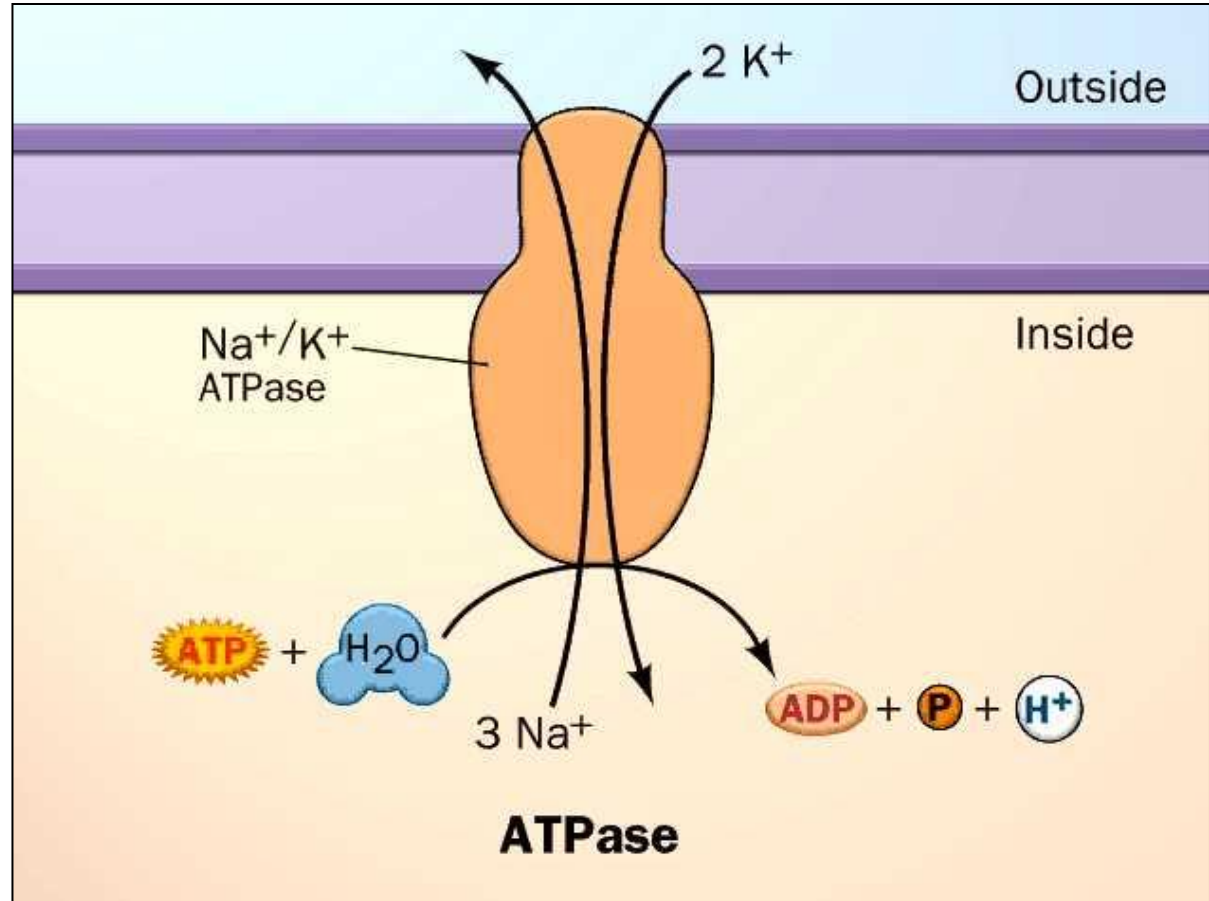
טרנספורט פעיל ראשוני ושניוני

- **טרנספורט פעיל ראשוני (primary active transport)**
- דרושה השתתפות ישירה של ATP (משאבות)
- **טרנספורט פעיל שניוני (secondary active transport)**
- הכוח המניע הוא מפל הריכוזים של המומס עצמו, או מפל אלקטרוכימי של יונים (נשאים ממשפחה זו מכניסים לתאים סוכרים, חומצות אמינו ועוד)

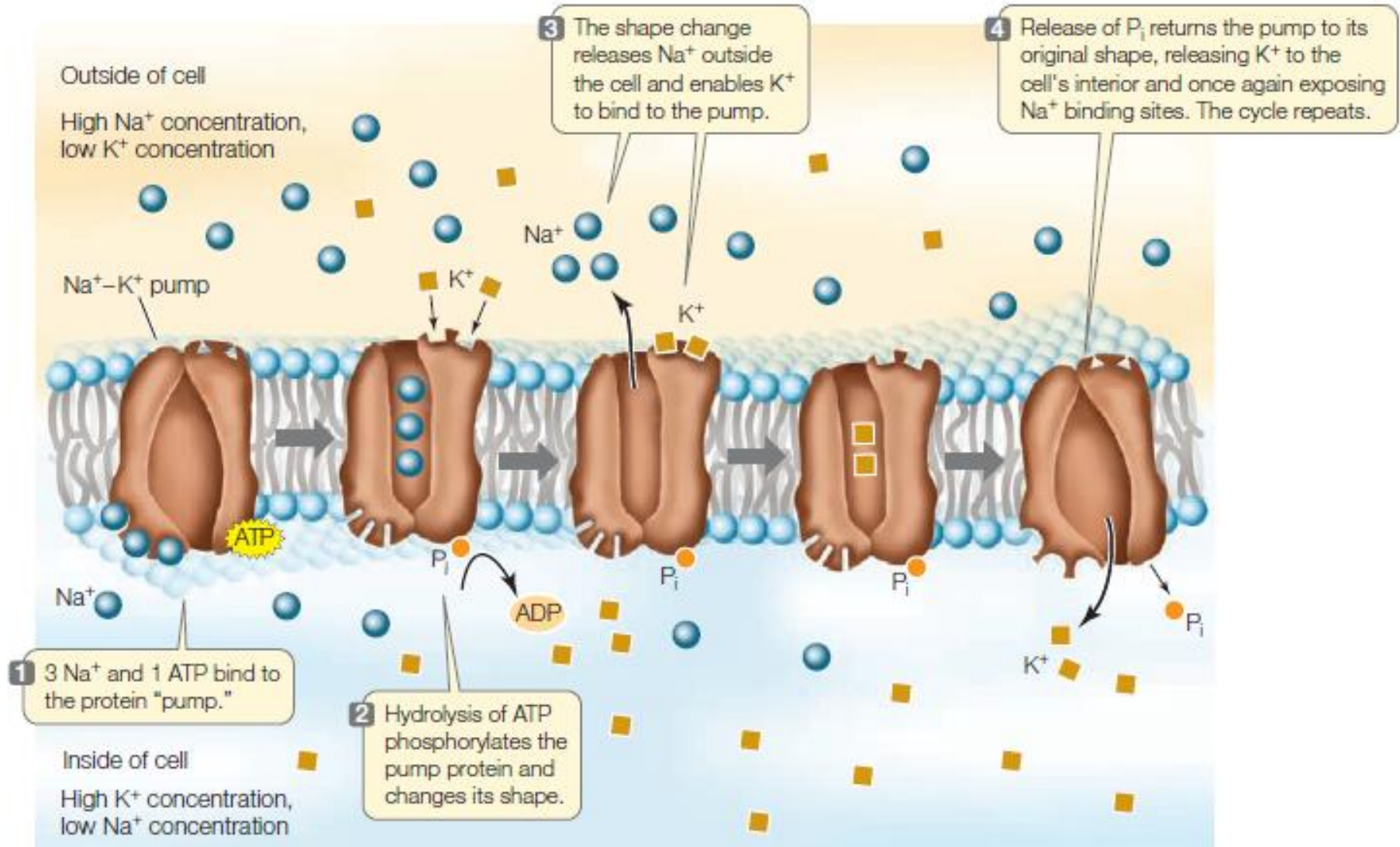
דוגמא למשאבה ראשונית היא משאבת הנתרן/אשלגן, המשחלפת
נתרן ואשלגן בניגוד למפלי הריכוזים שלהם

The sodium potassium ATPase = Na^+/K^+ -ATPase

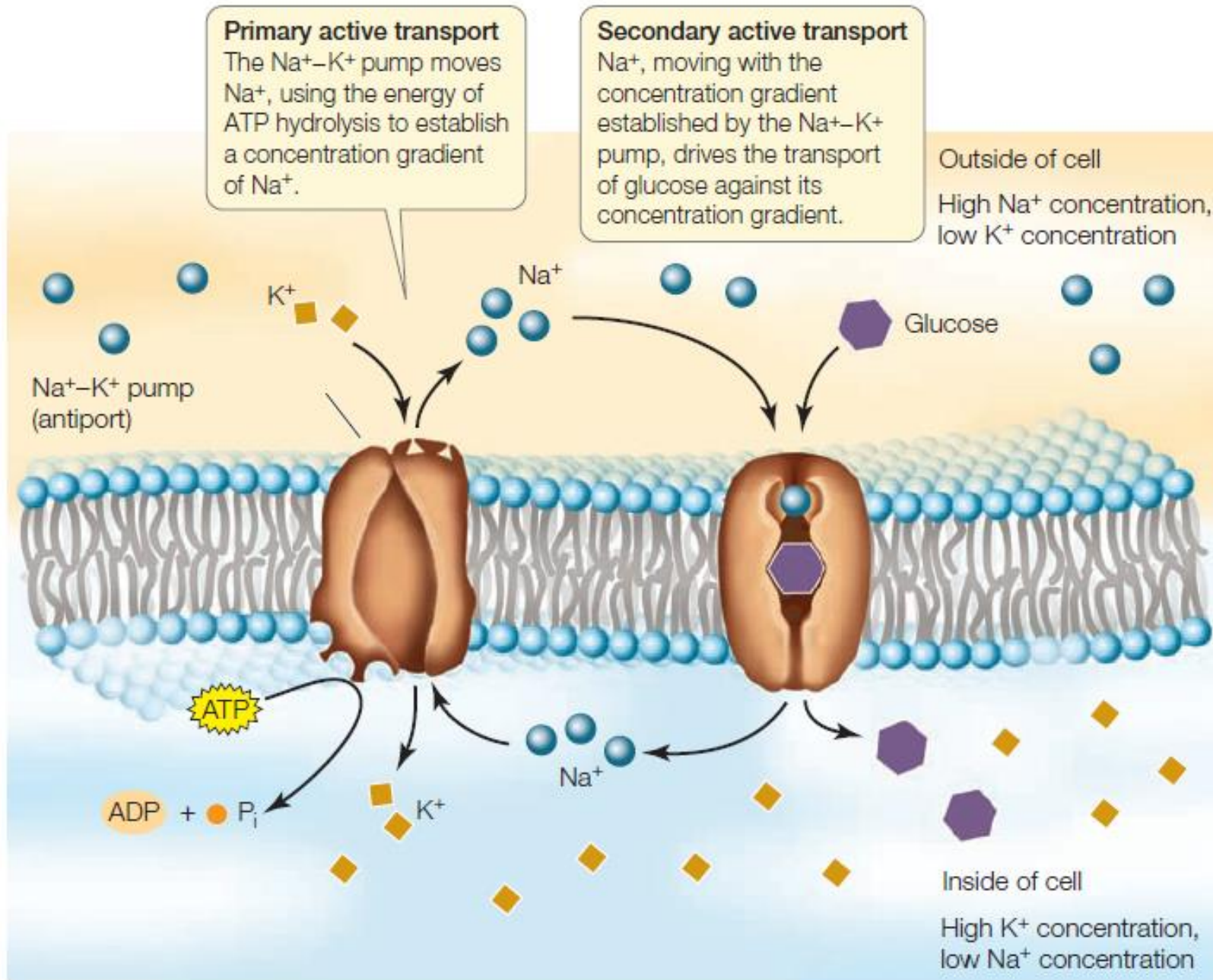
מה יקרה מבחינה
חשמלית?



כיצד פועלת המשאבה?



כיצד משתלב טרנספורט ראשוני עם שניוני?



הנעת הטרנספורט של גלוקוז במעי על ידי המפל האלקטרוכימי

שיוצר ה-Na/K-ATPase

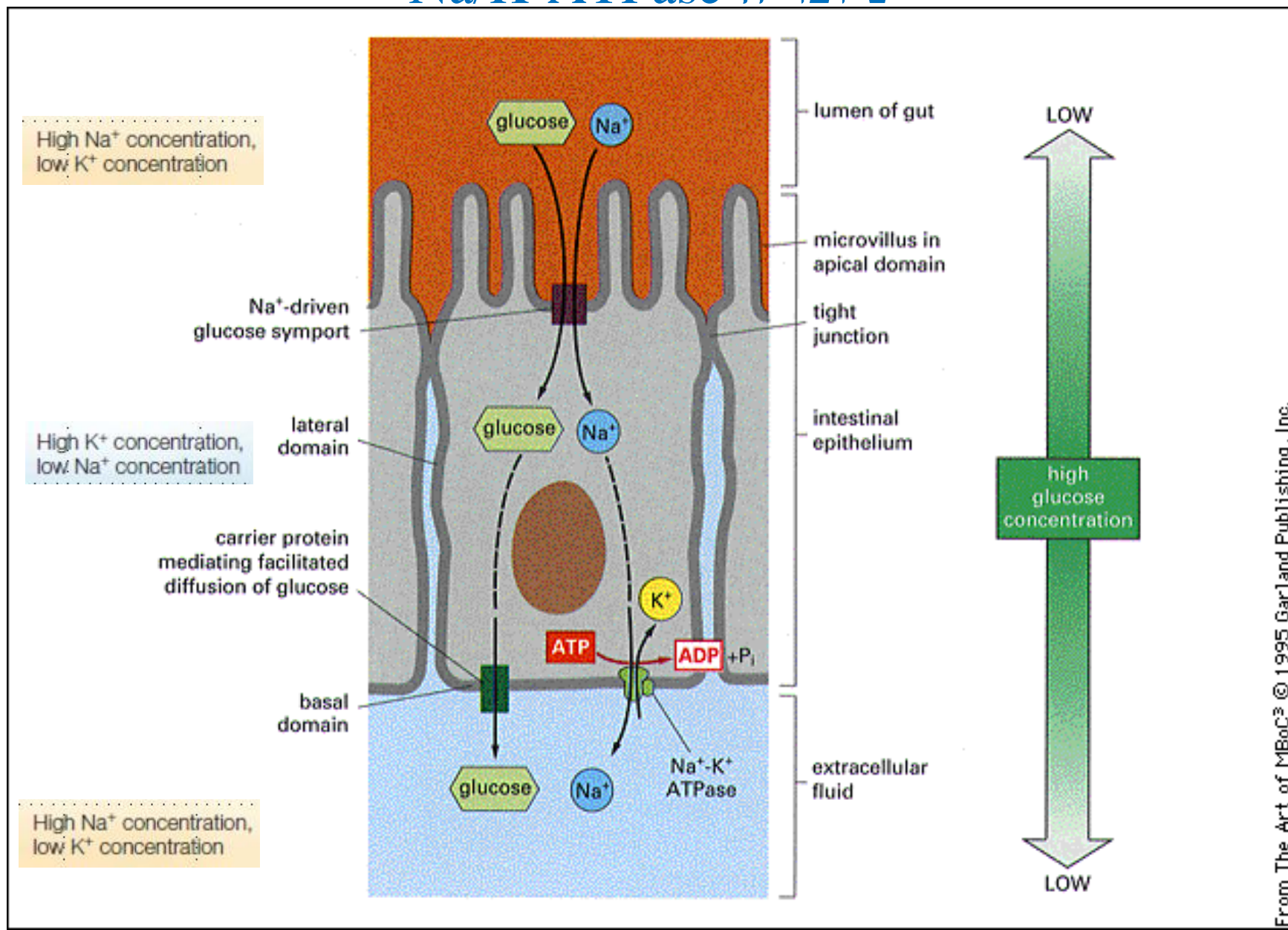


TABLE 5.1

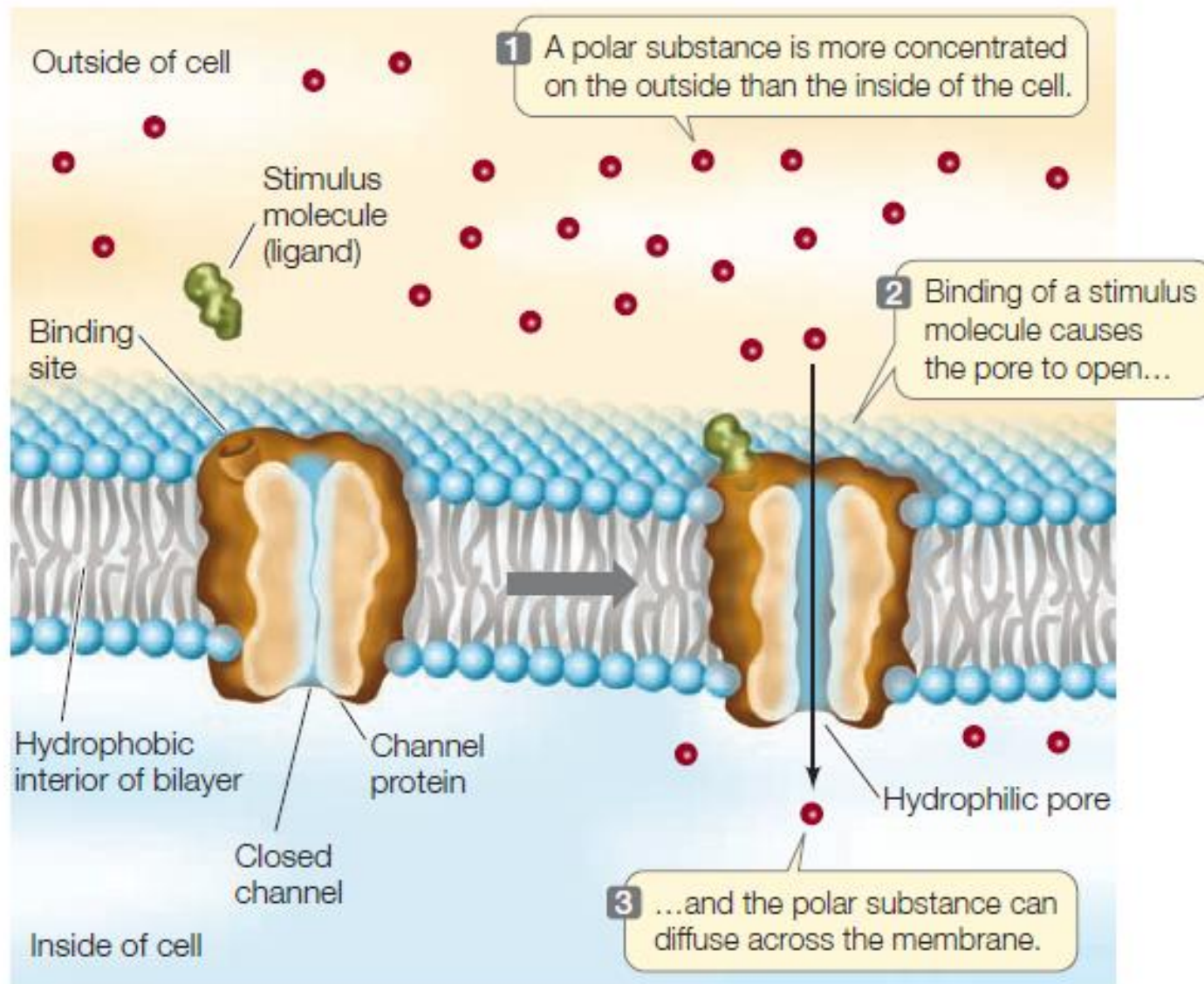
Membrane Transport Mechanisms

TRANSPORT MECHANISM	EXTERNAL ENERGY REQUIRED?	DRIVING FORCE	MEMBRANE PROTEIN REQUIRED?	SPECIFICITY
Simple diffusion	No	With concentration gradient	No	Not specific
Facilitated diffusion	No	With concentration gradient	Yes	Specific
Active transport	Yes	ATP hydrolysis (against concentration gradient)	Yes	Specific

תעלות

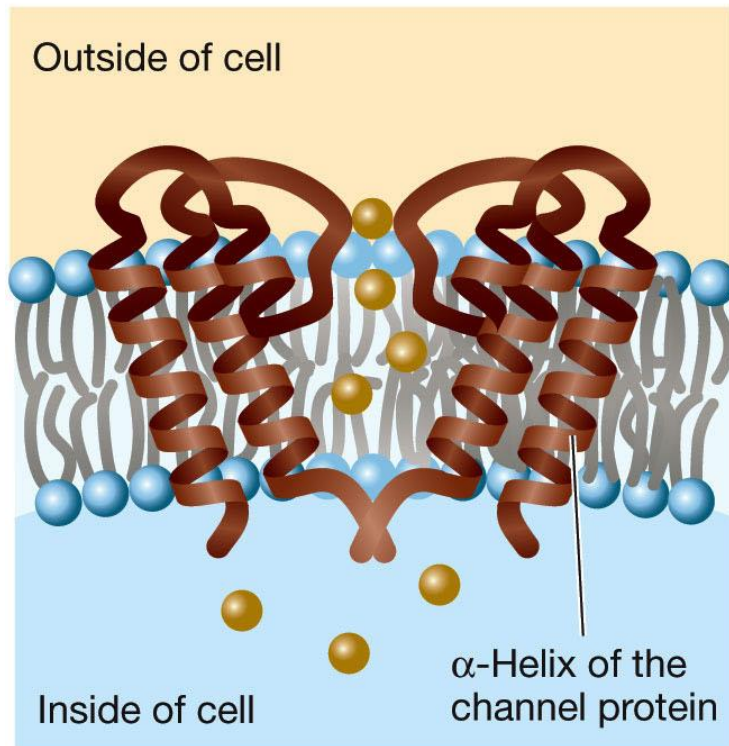
- תעלות (channels) הם חלבוני קרום המאפשרים מעבר חופשי של יונים או מים.
- נפתחות ונסגרים למעבר יונים על ידי גירוי (Stimulus)
- הגירוי עשוי להיעשות בעזרת מולקולה מסיסה (הורמון) או שינויים במתח החשמלי משני צידי הקרום (voltage-gated)
- התעלות הנפוצות הן לנתרן, אשלגן ולמים (Aquaporins)

תעלה מבוקרת – נפתחת כתגובה לגירוי



מבנה שלישוני של תעלת אשלגן: מבט צידי בתוך הקרום (A) ומבט מעל (B)

(A) Side view



(B) "Top down" view

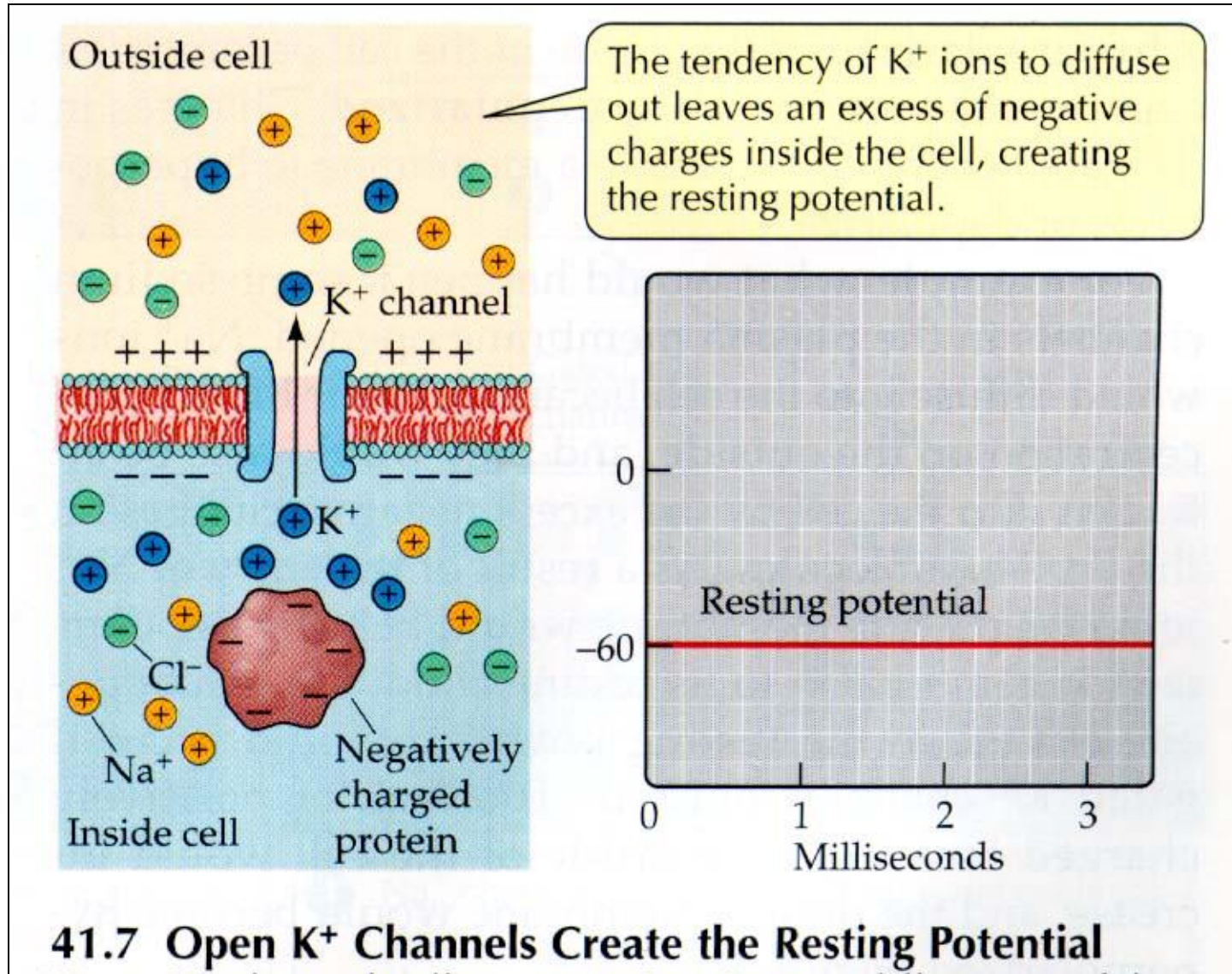


תעלות יונים ופוטנציאל המברנה

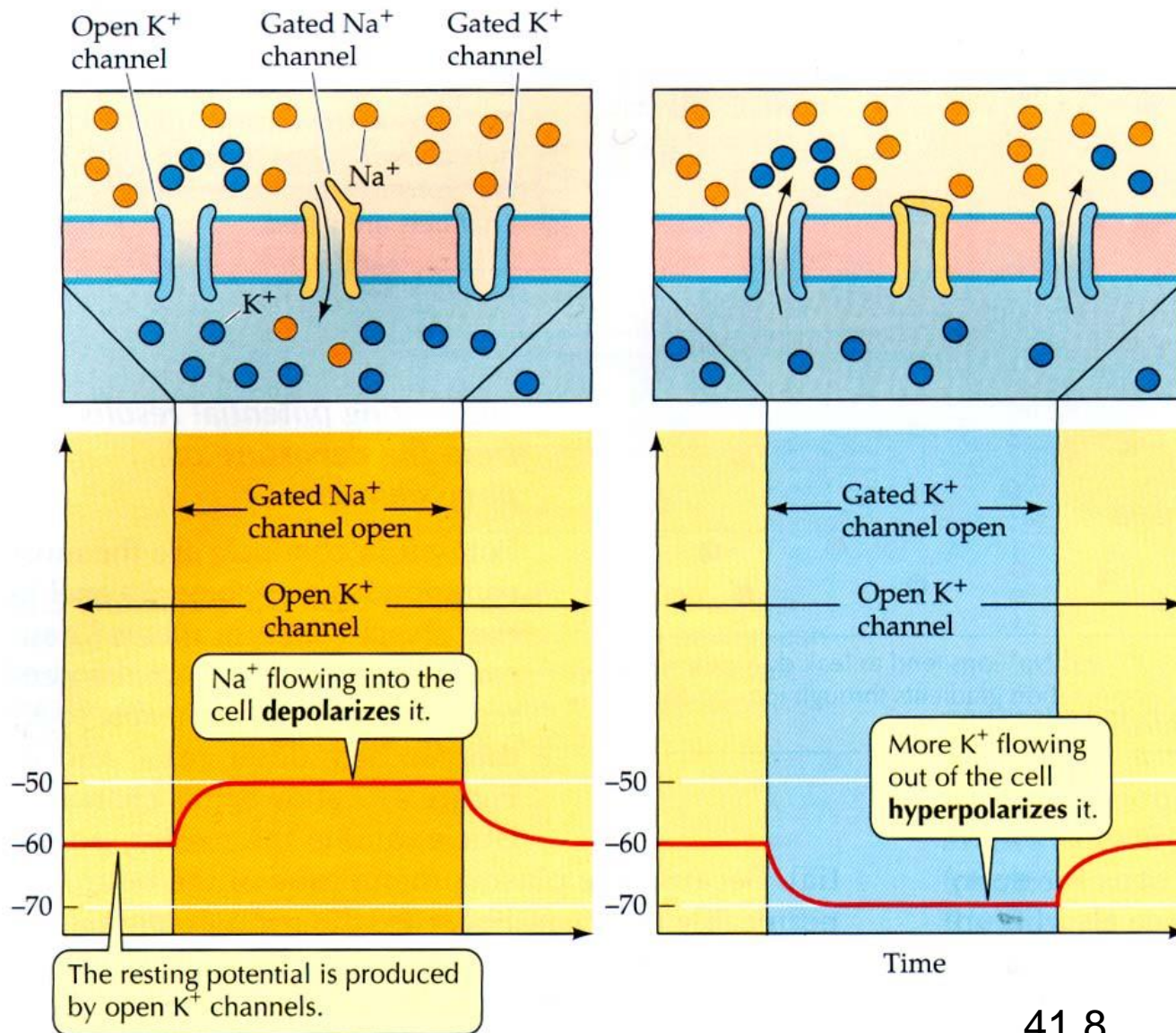
- בניגוד לנשאים, מעבר בתעלות אינו כולל שלב של קישור ספציפי של המומס לתעלה, ולפיכך המעבר הוא מהיר מאד
- סלקטיביות ליונים בגודל ובעלי מטען מסוים
- תתכן בקרה על פתיחה וסגירה של התעלות (Gating)
- בכל התאים האנימלים יש תעלות פתוחות ליוני אשלגן וזה יוצר פוטנציאל ממברנה שלילי
- בתאי עצב יש העברת אותות ע"י שינוי הפוטנציאל החשמלי עם פתיחת תעלות נתרן (דפולריזציה). בתאים אחרים הפוטנציאל מנוצל לטרנספורט אקטיבי משני

תעלות ליוני אשלגן יוצרות פוטנציאל חשמלי עקב מפל יוני האשלגן שיוצר

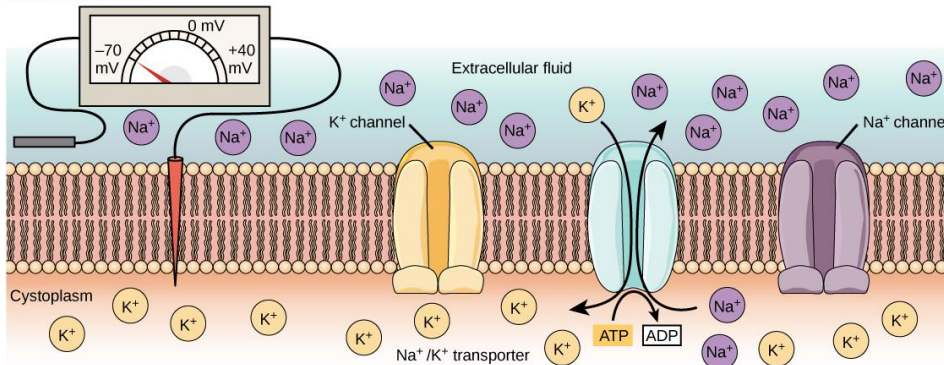
Na/K-ATPase ה-



ניתן לשנות את פוטנציאל הממברנה ע"י שינוי בשטף דרך תעלות Na או K

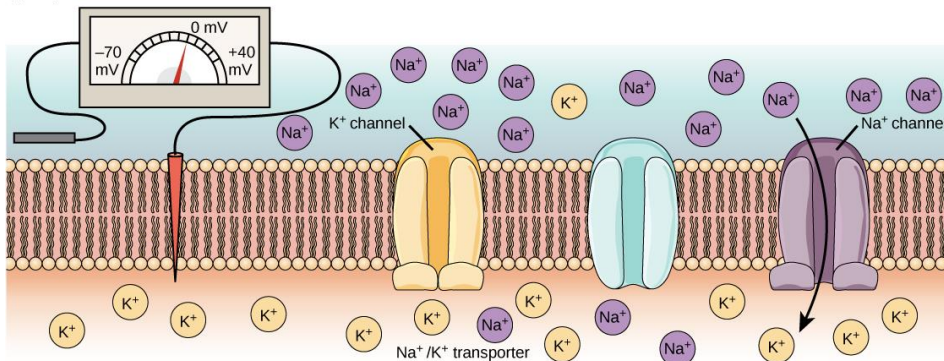


(a) Resting potential



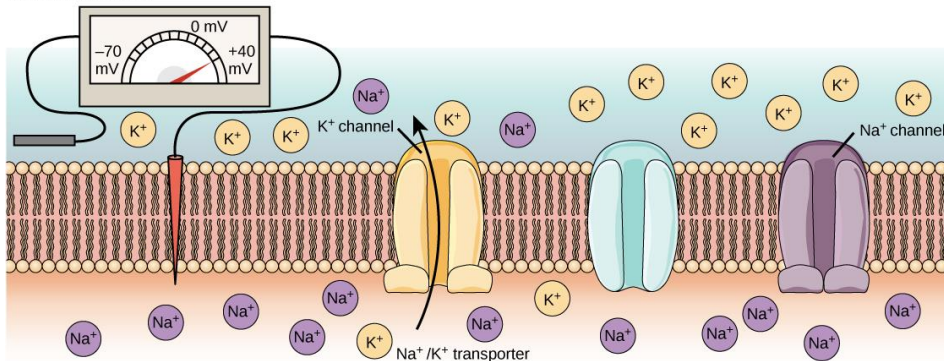
At the resting potential, all voltage-gated Na⁺ channels and most voltage-gated K⁺ channels are closed. The Na⁺/K⁺ transporter pumps K⁺ ions into the cell and Na⁺ ions out.

(b) Depolarization



In response to a depolarization, some Na⁺ channels open, allowing Na⁺ ions to enter the cell. The membrane starts to depolarize (the charge across the membrane lessens). If the threshold of excitation is reached, all the Na⁺ channels open.

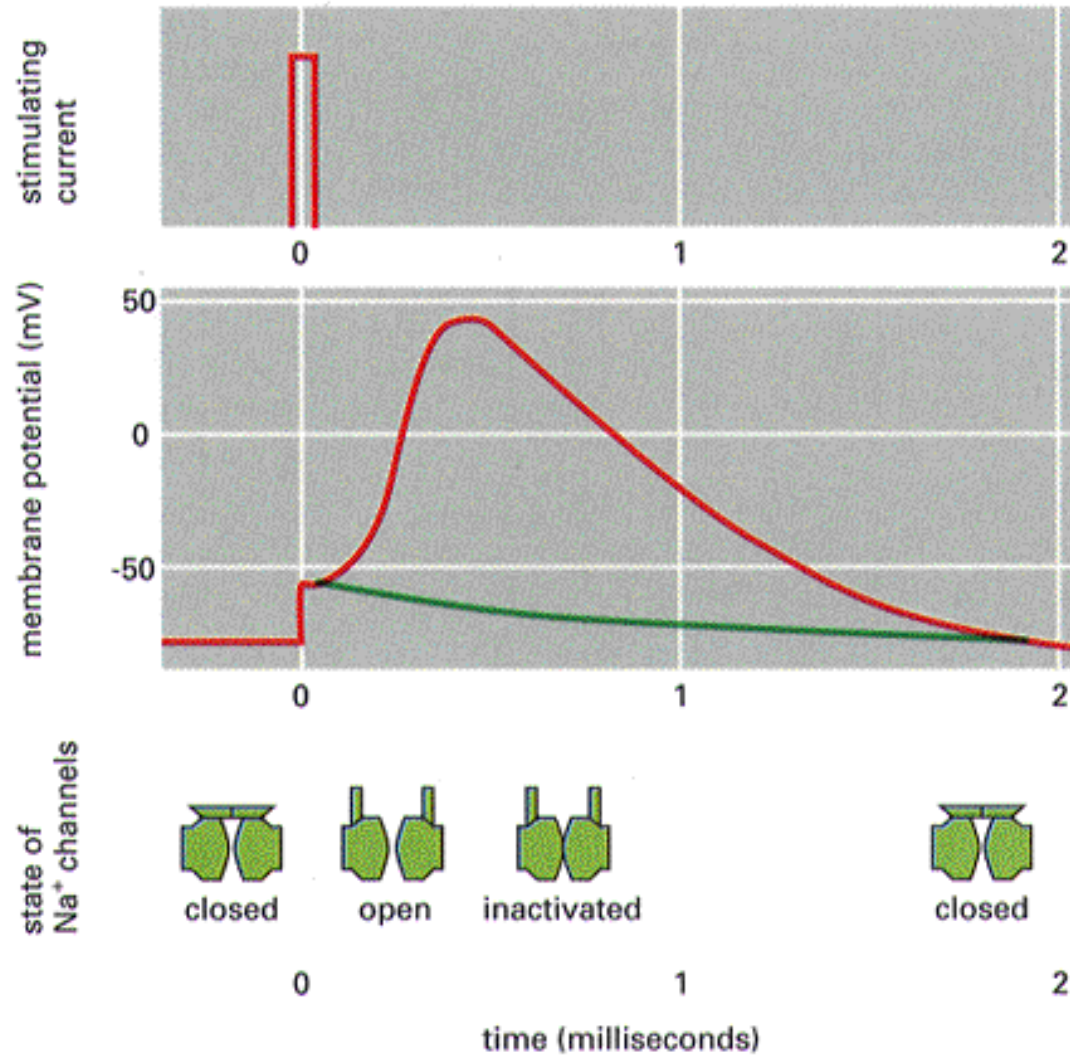
(c) Hyperpolarization

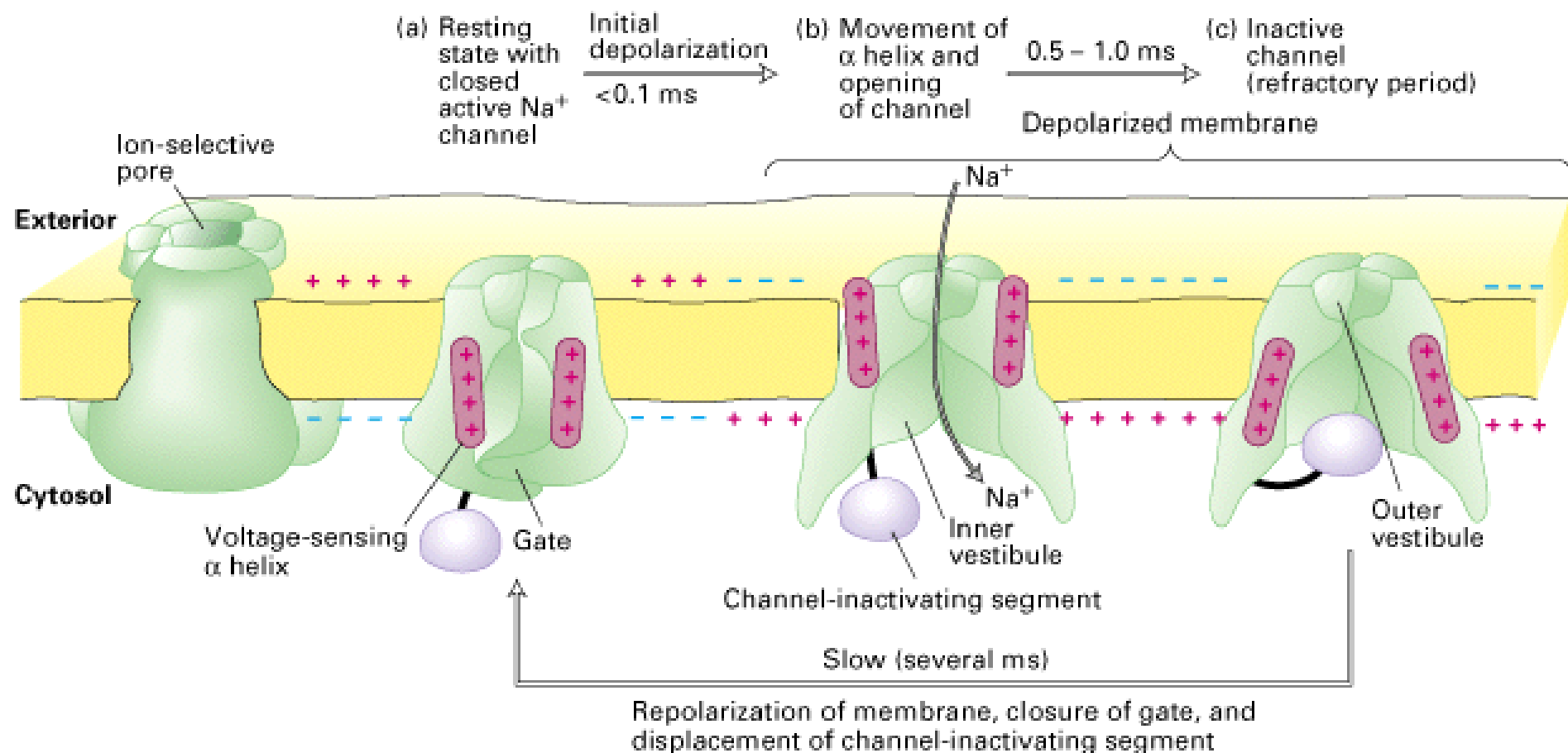


At the peak action potential, Na⁺ channels close while K⁺ channels open. K⁺ leaves the cell, and the membrane eventually becomes hyperpolarized.

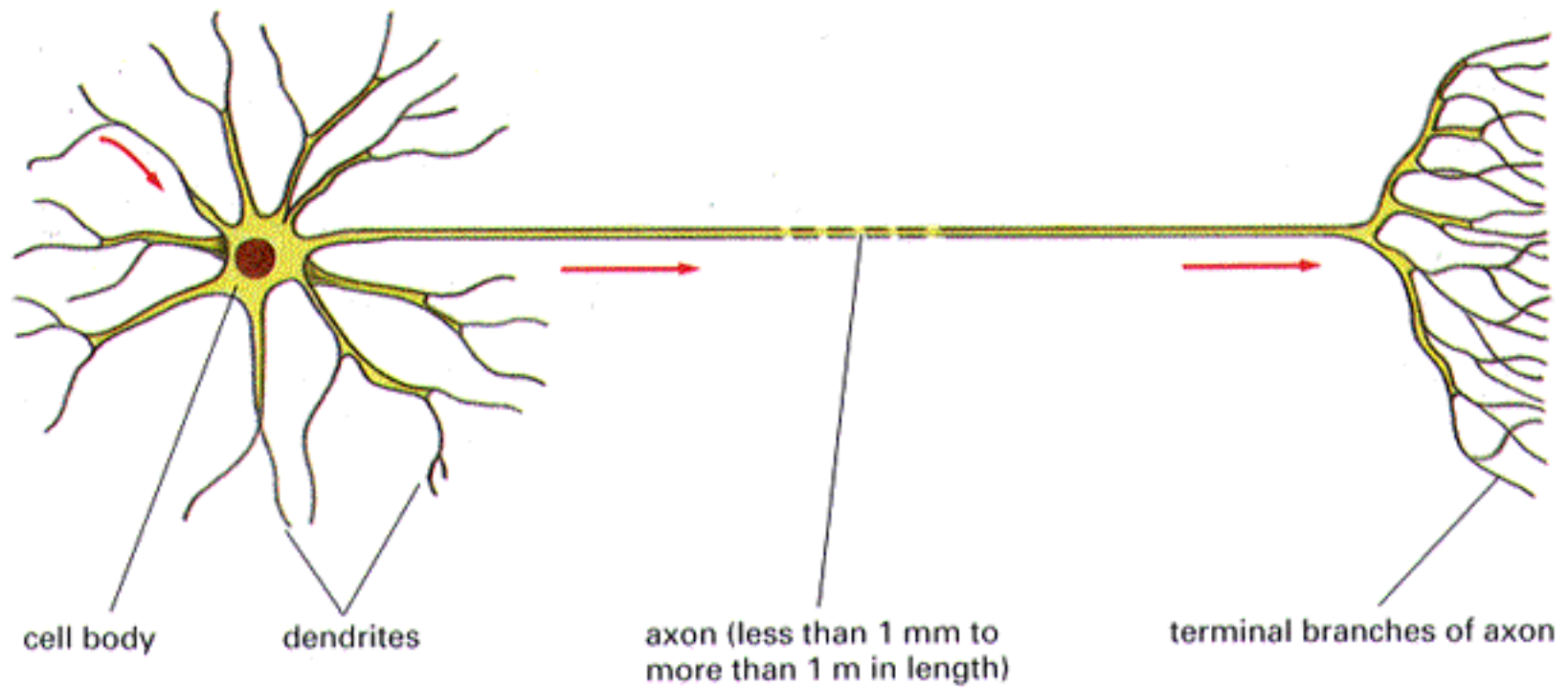
The (a) resting membrane potential is a result of different concentrations of Na⁺ and K⁺ ions inside and outside the cell. A nerve impulse causes Na⁺ to enter the cell, resulting in (b) depolarization. At the peak action potential, K⁺ channels open and the cell becomes (c) hyperpolarized.

פוטנציאל פעולה בתא עצב

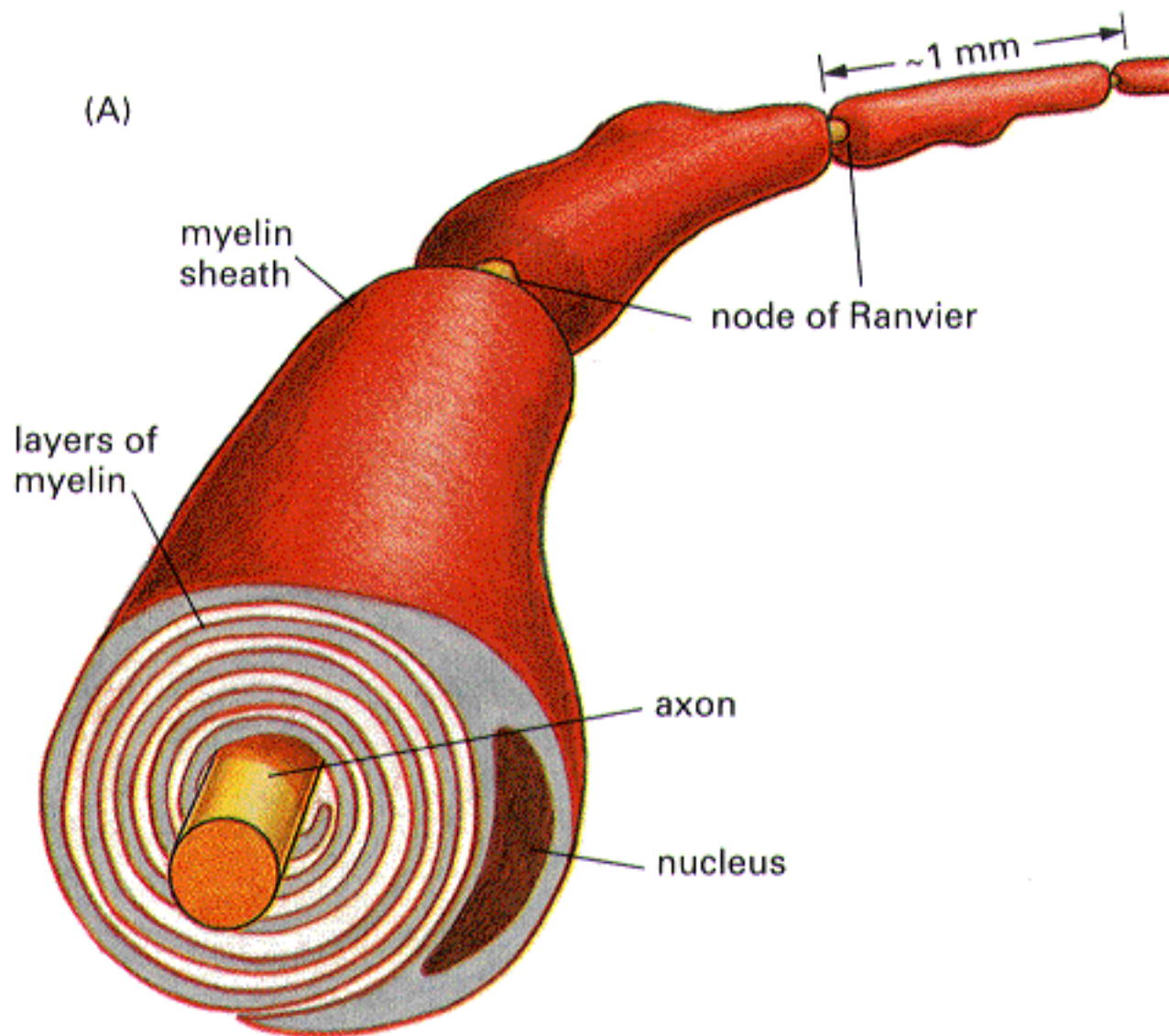




תא העצב



האקסון מכוסה בתאי שוואן



התקדמות פוטנציאל הפעולה

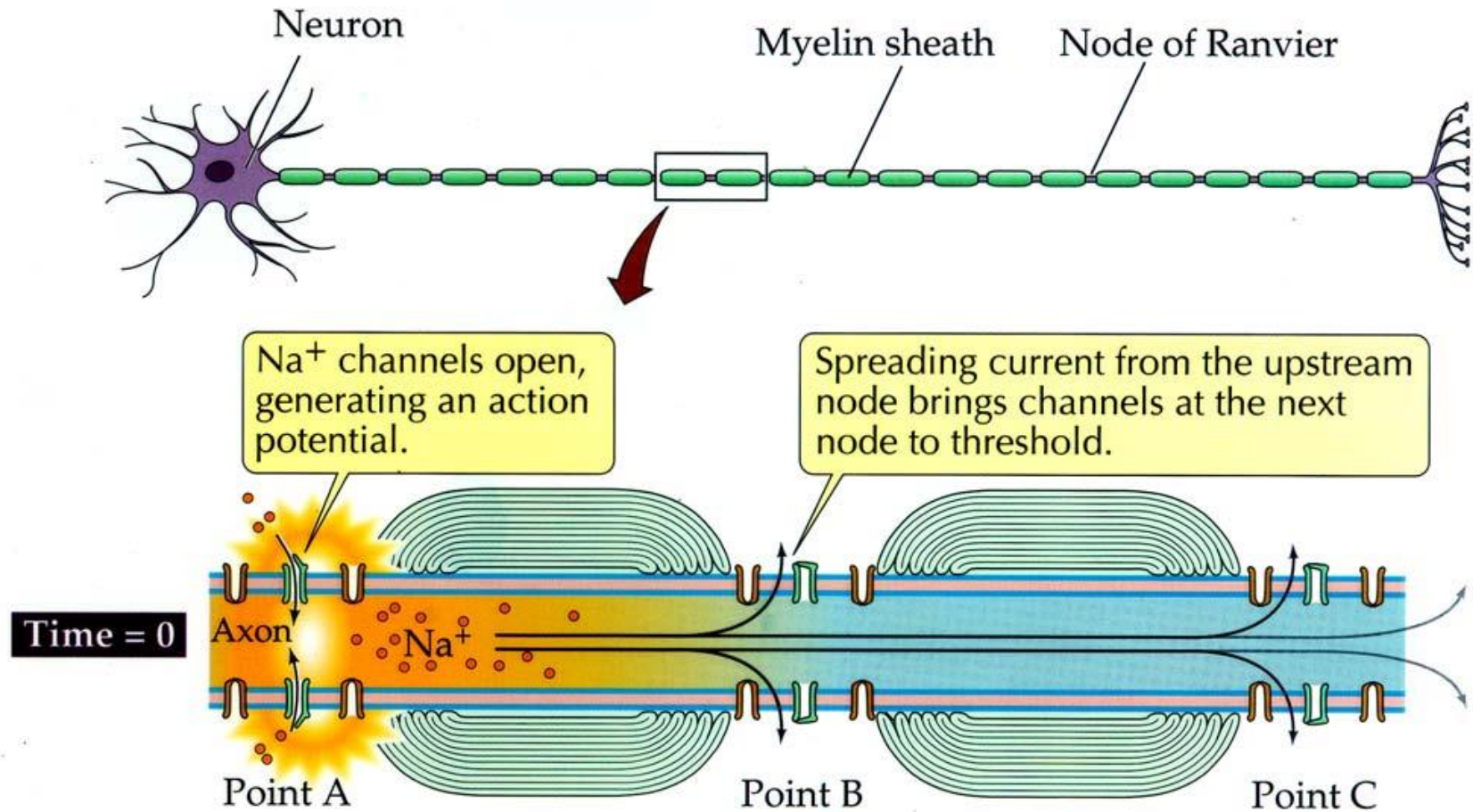
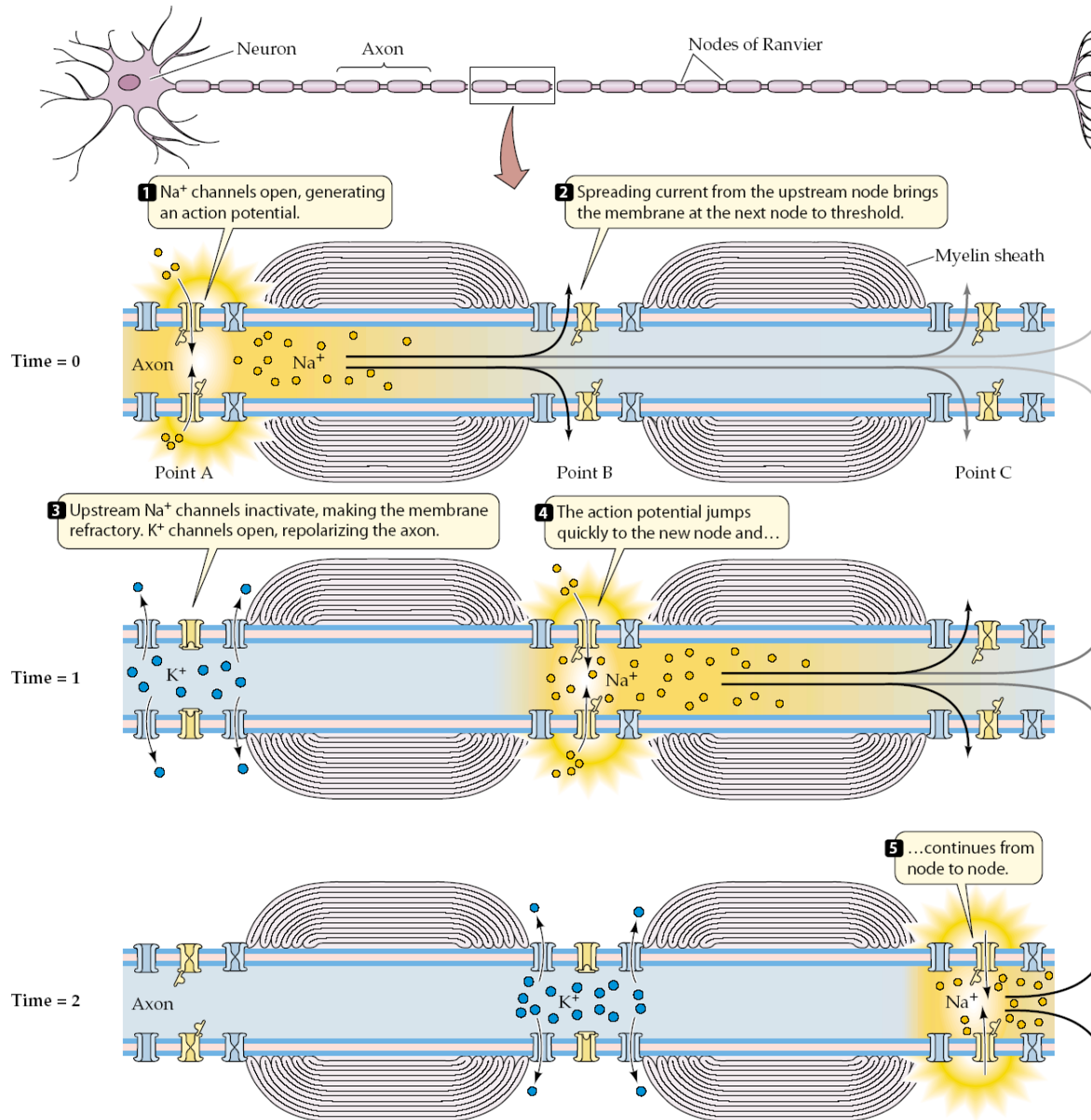
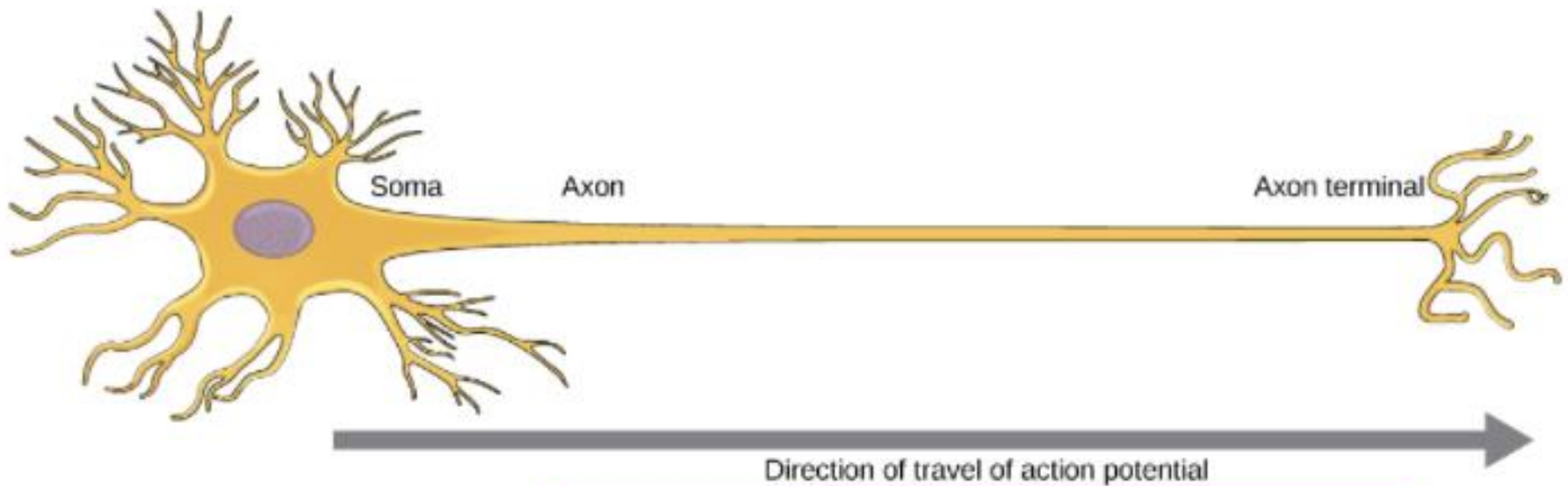


Figure 41.12 (Part 1) Saltatory Action Potentials

התקדמות פוטנציאל הפעולה

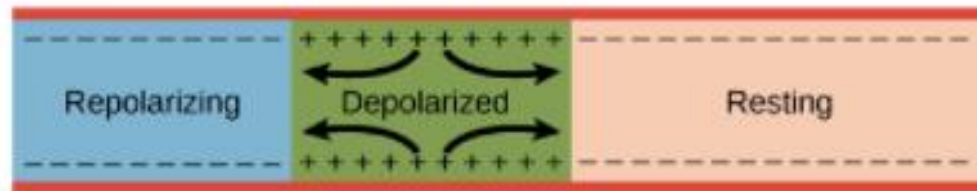




- a. In response to a signal, the soma end of the axon becomes depolarized.

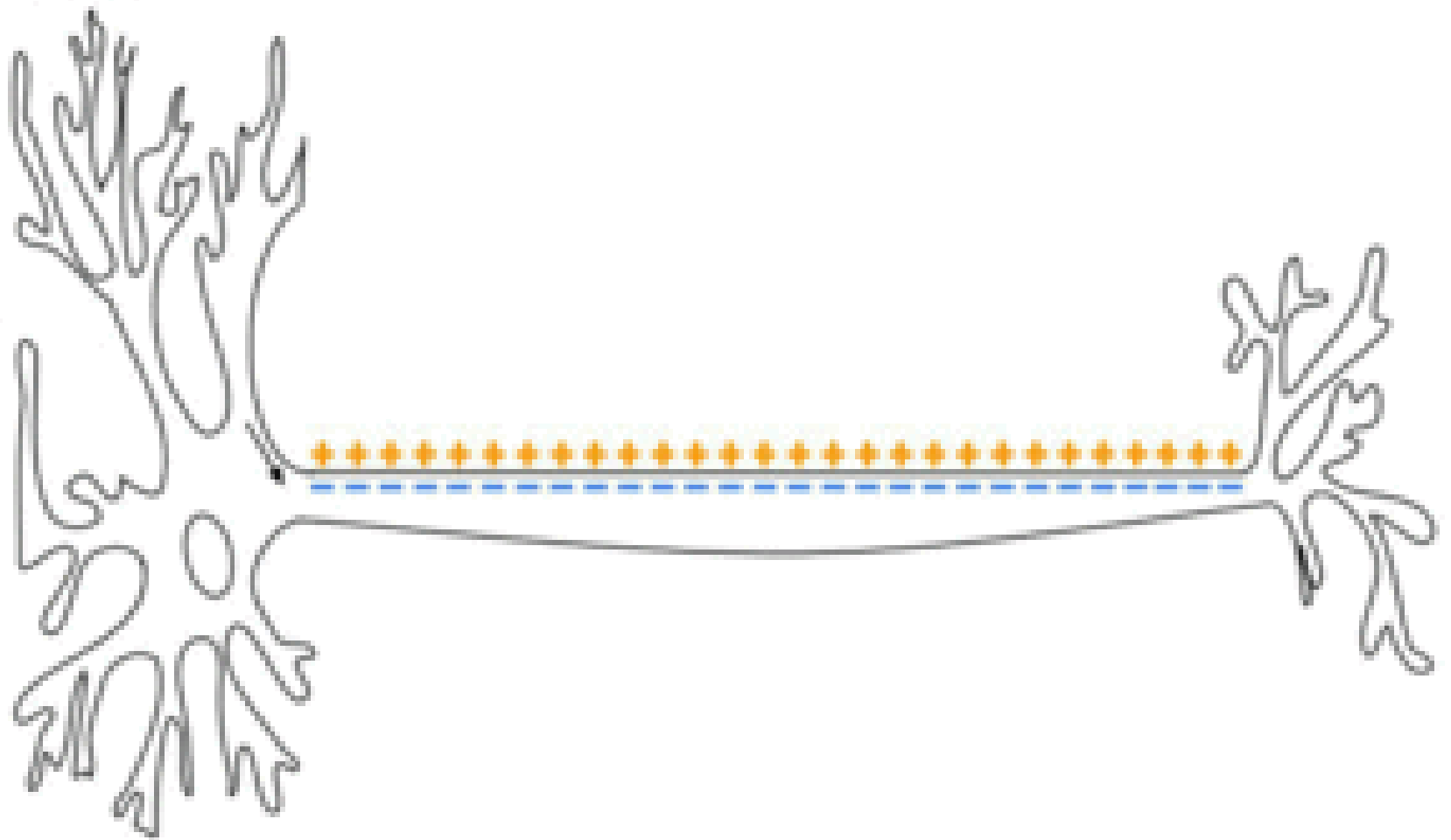


- b. The depolarization spreads down the axon. Meanwhile, the first part of the membrane repolarizes. Because Na^+ channels are inactivated and additional K^+ channels have opened, the membrane cannot depolarize again.



- c. The action potential continues to travel down the axon.

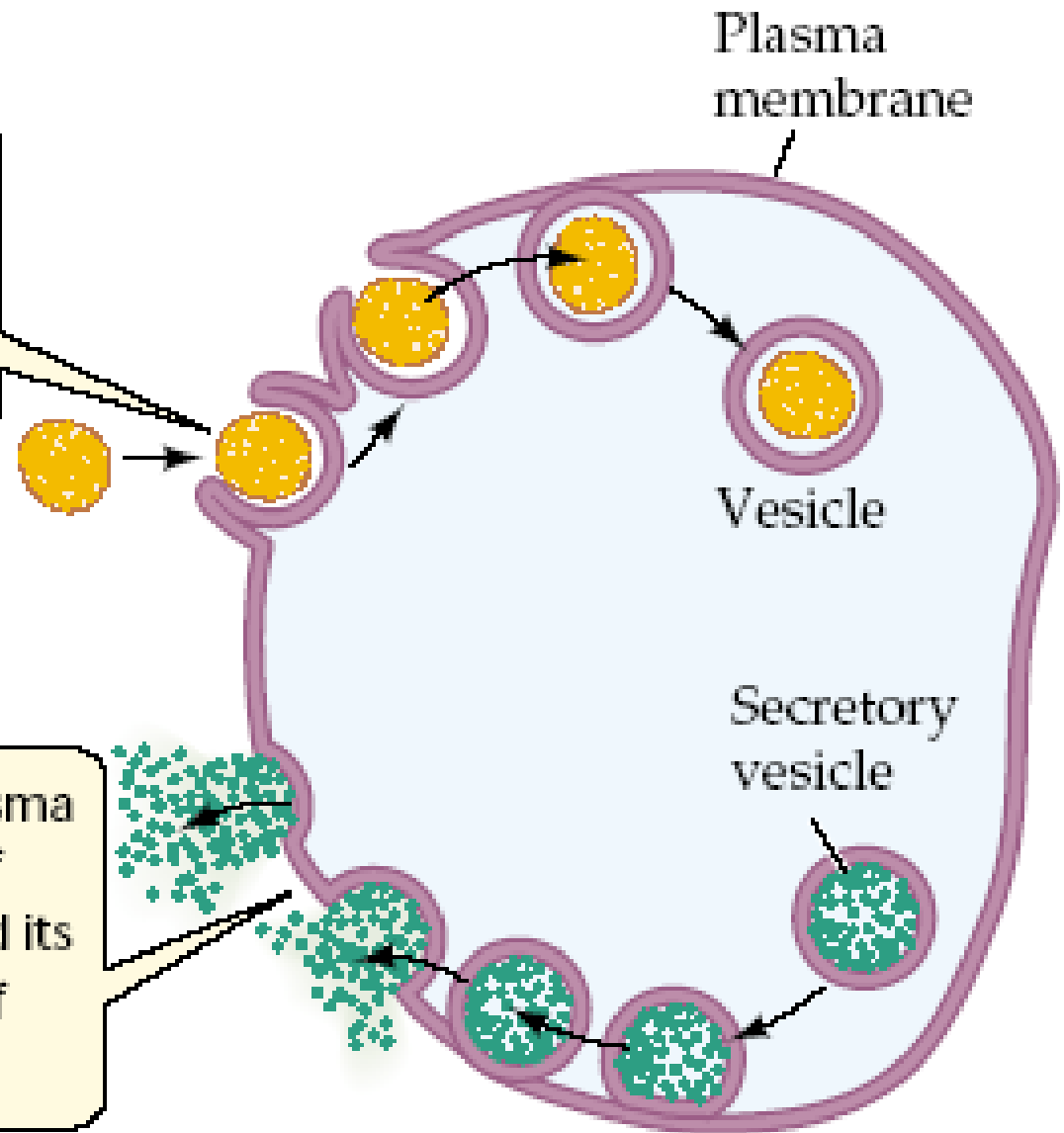




אנדוציטוזה ואקסוציטוזה

(a) Endocytosis

The plasma membrane surrounds a part of the exterior environment and buds off as a vesicle.



(b) Exocytosis

A vesicle fuses with the plasma membrane. The contents of the vesicle are released, and its membrane becomes part of the plasma membrane.

מקרומולקולות וחומרים בלתי מומסים (חלקיקים) נכנסים לתא על ידי אנדוציטוזה

אנדוציטוזה או בליעה תאית היא קליטת חומר אל תוך התא על ידי כליאתו בהתקפלות של קרום התא כלפי פנים, וסגירת ההתקפלות כשלפוחית

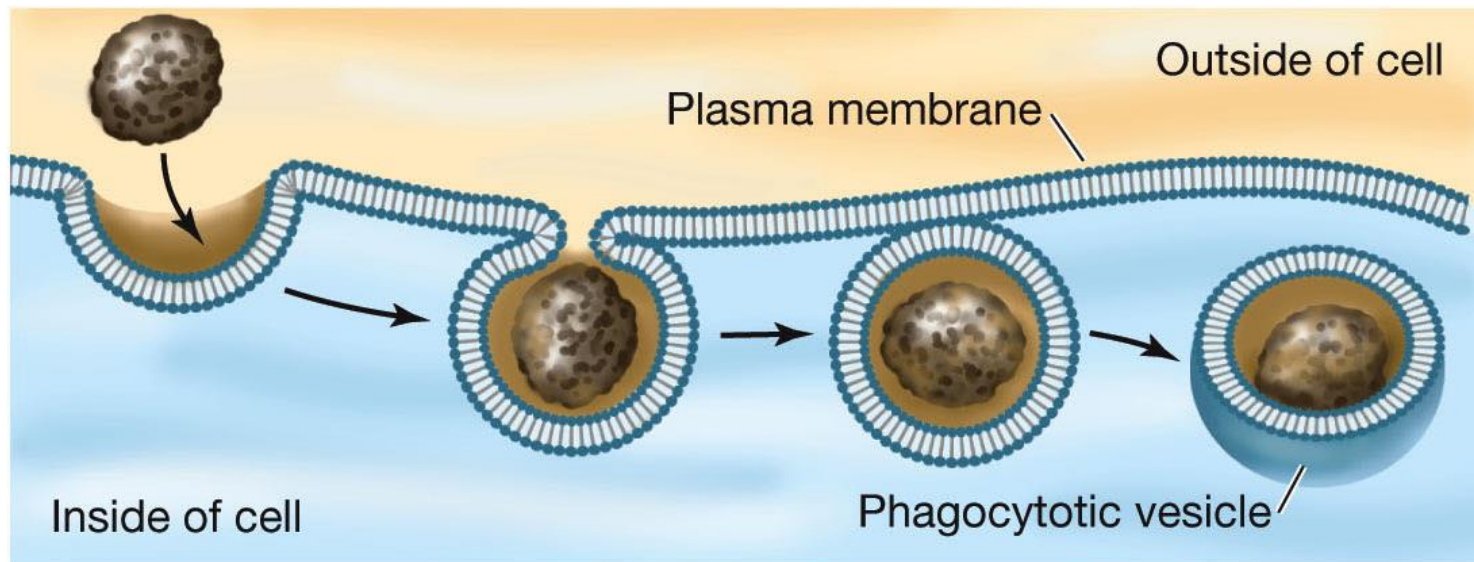
שלושה סוגי אנדוציטוזה:

פגוציטוזה (phagocytosis) – בליעת חלקיקים

פינוציטוזה (pinocytosis) – בליעת נוזלים

אנדוציטוזה מתווכת רצפטור (receptor-mediated endocytosis)

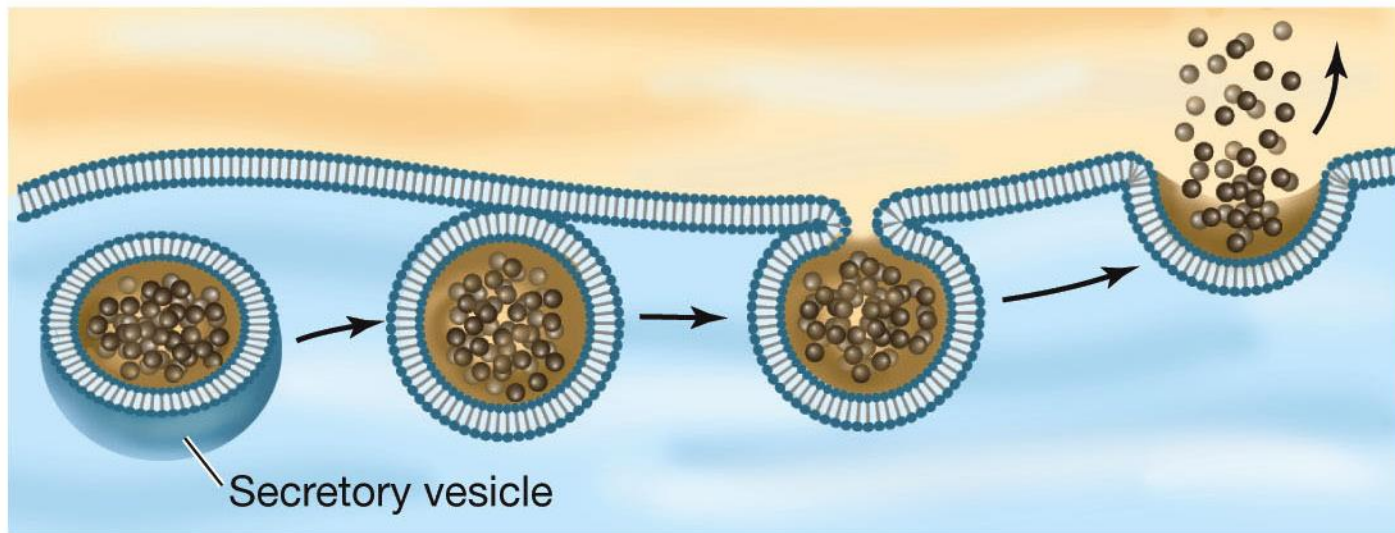
(A) Endocytosis



אקסוציטוזה (Exocytosis)

אקסוציטוזה או פליטה תאית היא תהליך של פליטת חומר אל מחוץ לתא על ידי הכוונת שלפוחית אל קרום התא

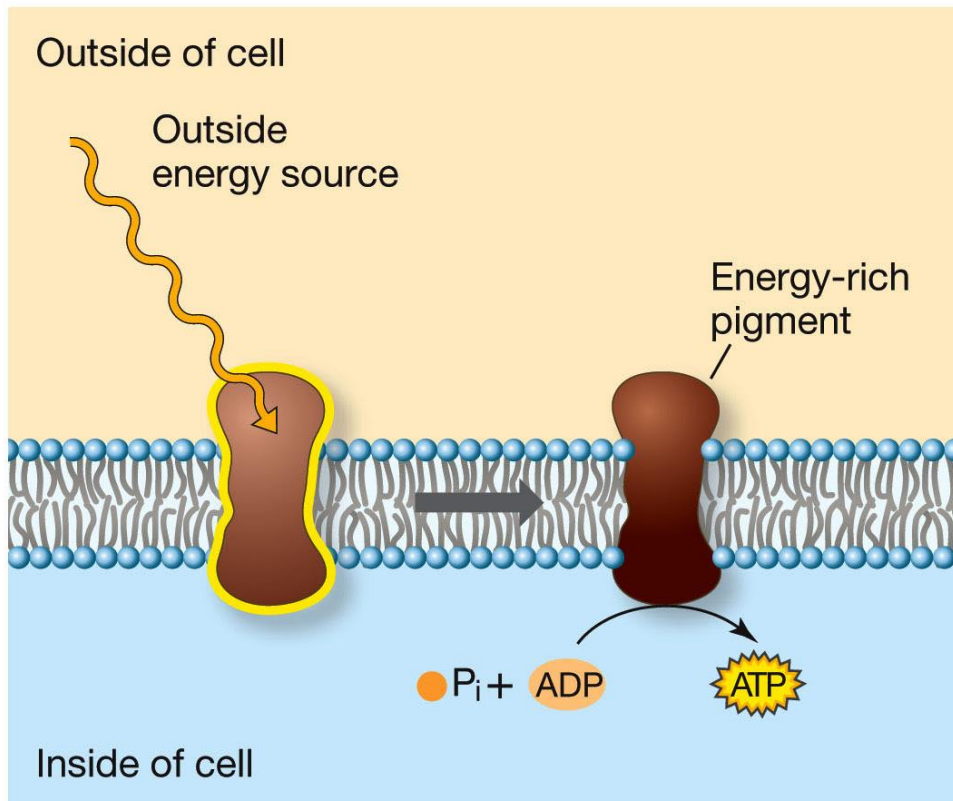
(B) Exocytosis



תפקידים נוספים לחלבוני הקרום

היפוכי אנרגיה בעזרת פוטונים של אור (רודופסין בעין) – ברשתית
(אנרגיית האור עוברת תהליך כימי בקולטנים אלו, ומתורגמת לדחפים
עצביים שעוברים דרך תאים וסיבי עצב המתלכדים ליצירת עצב
הראייה)

(A) Energy transformation



תפקידים נוספים לחלבוני הקרום

מעבר מידע על קישור ליגנד (שעשוי להיות הורמון)

(C) Information processing

