

מבוא לפיזיולוגיה, תרגיל מס' 1

דיפוזיה ואוסמוזה

חננאל ביק

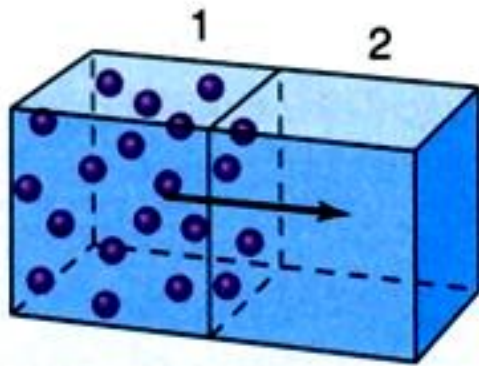
hananelbyk@gmail.com

(נא לכתוב בכותרת המייל את מספר הקורס **72336** או את שמו
"מבוא לפיזיולוגיה")

דיפוזיה

תנועה אקראית של חלקיקים, הנובעת מהאנרגיה הקינטית שלהם.

שטף (J) – מספר החלקיקים של חומר x שעוברים דרך שטח A ביחידת זמן dt :



$$J_x = \frac{dn_x}{A * dt}$$

מס' החלקיקים

זמן

שטח

$\frac{mol}{cm^2 * sec}$

חוק Fick הראשון

$$D_x = \frac{kT}{6\pi r_x \eta}$$

(cm²/sec)

קבוע בולצמן
טמפרטורה
גודל המולקולה
צמיגות

$$J_x = -D_x \frac{dC_x}{dX}$$

הבדלי הריכוזים
מרחק הדיפוזיה
מקדם הדיפוזיה של חומר X

נוסחה זו מתארת את שינוי הריכוז של חומר x במרחב:

תלות השטף J_x במפל הריכוזים של החומר x,

ביחידות mol/(cm²*sec)

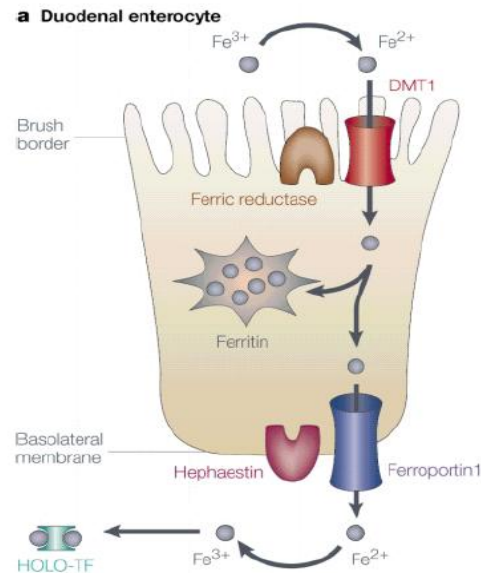
נדון בדיפוזיה בשני מצבים, בתמיסה ודרך ממברנה

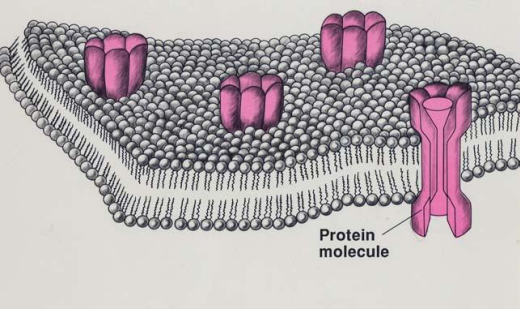
דיפוזיה בתמיסה

$$t = \frac{X^2}{2D}$$

נוסחת איינשטיין –

נוסחה זו מתארת את הקשר בין מרחק וזמן הדיפוזיה, רלוונטית למרחקים קצרים ומפל ריכוזים קבוע.





דיפוזיה דרך ממברנה

(Permeability – חדירות) P_x

$\frac{cm}{sec}$: מקדם החדירות של החומר x. נתון ביחידות של מהירות של מהירות:

$$J_x = P_x (C_x^o - C_x^i)$$

שטף החומר x דרך קרום ביולוגי

$$J_x = \frac{dn_x}{A * dt}$$

mol/(cm²*sec)

כאשר:

A – שטח הפנים של התא

V – נפח התא

P – מקדם החדירות

t - הזמן

משך הזמן הדרוש לשם השגת מפל ריכוזים מסוים בין חוץ התא לפנים

התא : (על-ידי אינטגרציה של משוואת השטף של חומר x דרך הממברנה)

כאשר:

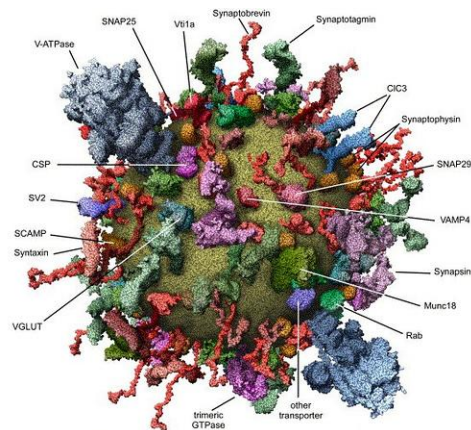
A – שטח הפנים של התא

V – נפח התא

P – מקדם החדירות

t – הזמן

$$t = \frac{V}{A * P_x} * \ln \left[\frac{C_x^{out} - C_x^{in}(t=0)}{C_x^{out} - C_x^{in}(t)} \right]$$



עבור תא כדורי (בלבד):

$$V = \frac{4}{3} \pi * r^3$$

$$A = 4\pi r^2$$



$$\frac{V}{A} = \frac{r}{3}$$

ולכן, המשוואה, עבור תא כדורי:

$$t = \frac{r}{3P_x} * \ln \left[\frac{C_x^{out} - C_x^{in}(t=0)}{C_x^{out} - C_x^{in}(t)} \right]$$

נשווה את הערכת הזמנים להתרחשות שני התהליכים :

$$t = \frac{X^2}{2D}$$

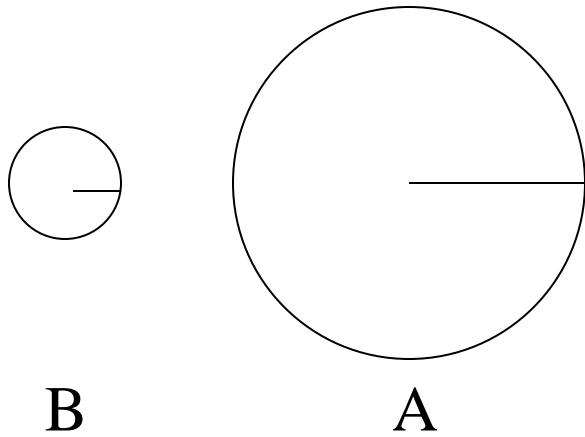
בדיפוזיה בתמיסה - נוסחאת איינשטיין :
(עבור מרחקים קצרים ומפל ריכוזים קבוע)

$$t \propto \frac{X}{3P}$$

במעבר חומר דרך ממברנה (בתא כדורי) :
(X הוא רדיוס התא)

$$t = \frac{r}{3P_x} * \ln \left[\frac{C_x^{out} - C_x^{in}(t=0)}{C_x^{out} - C_x^{in}(t)} \right]$$

דוגמאות



$$r_A = 60 \mu\text{m}$$

נתון:

$$r_A = 10 * r_B$$

$$P_{\text{sorbitol}} = 10^{-6} \text{cm/sec}$$

$$D_{\text{sorbitol}} = 3 * 10^{-6} \text{cm}^2/\text{sec}$$

$$C_{\text{out}} = \text{constant}$$

$$C_{\text{in}}(t=0) = 0$$

מעונינים למצוא את $t_{1/2}$, כלומר את משך הזמן בו ריכוז הסורביטול

בתוך התאים יגיע למחצית ריכוזו בחוץ: $C_{\text{in}}(t) = C_{\text{out}}/2$

תוצאות האינטגרציה של משוואת השטף מראה :

$$t = \frac{V}{A * P_x} * \ln \left[\frac{C_x^{out} - C_x^{in}(t=0)}{C_x^{out} - C_x^{in}(t)} \right]$$

$$\frac{V}{A} = \frac{r}{3}$$

עבור כדור:

$$t = \frac{r}{3P_x} * \ln \left[\frac{C_x^{out} - C_x^{in}(t=0)}{C_x^{out} - C_x^{in}(t)} \right]$$

נציב זאת בביטוי עבור t:

נבדוק את ערך הביטוי בתוך ה-ln:

$$C_x^{in}(t=0) = 0$$

נתון:

$$C_x^{in}_t = \frac{C_x^{out}}{2}$$

הדרישה היא ש:

$$\frac{C_{out} - 0}{C_{out} - \frac{C_{out}}{2}} = 2$$

לכן:

נתרגם את רדיוס התאים ליחידות של cm :

$$r_A = 60\mu\text{m} = 6 \cdot 10^{-5}\text{m} = 6 \cdot 10^{-3}\text{cm}$$

$$r_B = 6\mu\text{m} = 6 \cdot 10^{-6}\text{m} = 6 \cdot 10^{-4}\text{cm}$$

$$t = \frac{6 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}{3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}} * \ln 2 = 1386 \text{ sec} = 23.1 \text{ min.}$$

נציב עבור תא A :

$$t = \frac{6 \cdot 10^{-4} \text{ cm}}{3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}} * \ln 2 = 138.6 \text{ sec} = 2.31 \text{ min.}$$

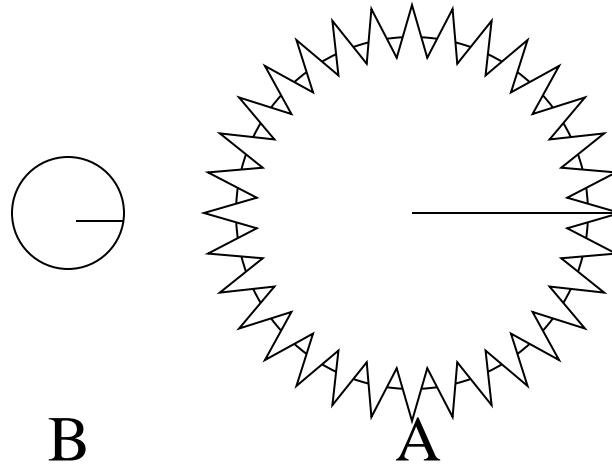
נציב עבור תא B :

כלומר:

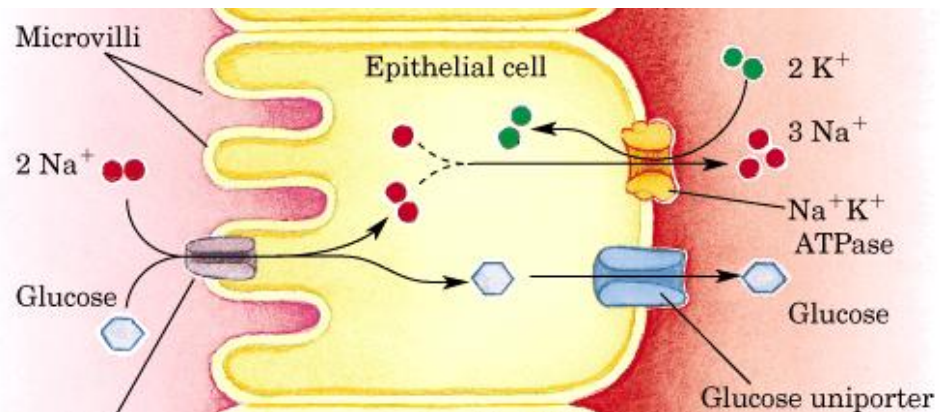
$$\frac{r_A}{r_B} = 10$$

$$\frac{t_{1/2A}}{t_{1/2B}} = 10$$

ככל שהיחס נפח \ שטח קטן יותר, כך יקטן הזמן הדרוש
 לחדירת חומר אל תוך התא.



$$t = \frac{V}{A * P_x} * \ln \left[\frac{C_x^{out} - C_x^{in} (t = 0)}{C_x^{out} - C_x^{in} (t)} \right]$$



כמה זמן יארך לחזית מולקולות סורביטול להגיע מאזור הממברנה למרכז התא?

כזכור, עבור תהליכי דיפוזיה בתמיסה:

$$t = \frac{X^2}{2D}$$

$$t = \frac{(6 * 10^{-3} \text{ cm})^2}{2 * 3 * 10^{-6} \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}} = 6 \text{ sec}$$

נציב עבור תא A:

$$t = \frac{(6 * 10^{-4} \text{ cm})^2}{2 * 3 * 10^{-6} \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}} = 6 * 10^{-2} \text{ sec} = 60 \text{ m sec}$$

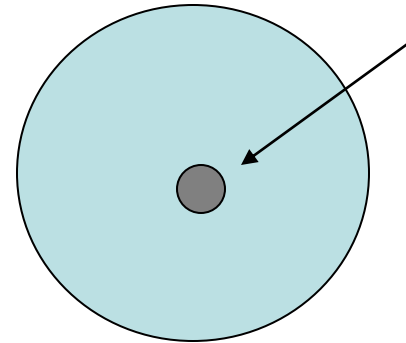
נציב עבור תא B:

כך, עבור תהליך דיפוזיה:

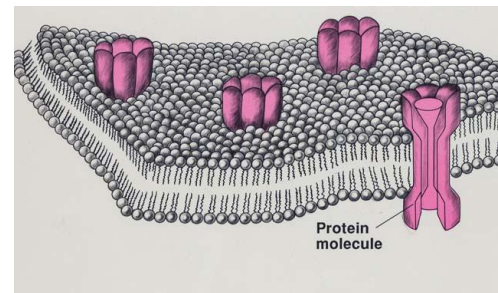
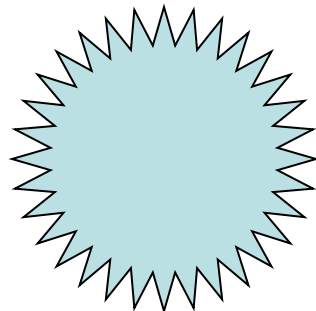
$$\frac{t_A}{t_B} = 100$$

חומר חדירותאים גדולים – נראה השפעה רבה יותר של התקדמות החלקיקים בתוך התא.

חומר לא חדירותאים קטנים – שלב החדירה דרך הממברנה יקבע את קצב ההגעה לריכוז מסוים בתוך התא.



ברוב המקרים, השלב מגביל המהירות הוא מעבר הממברנה



אוסמוזה ומנגנוני בקרה

אוסמוזה – דיפוזיה של מים דרך ממברנה חדירה.

*ככל שריכוז המומסים גבוה יותר, כך ריכוז הממס (מים) נמוך יותר.

אוסמולריות: אוסמולריות של תמיסה תלויה באופן בלעדי בריכוז

החלקיקים המומסים ולא בסוגם או בגודלם.

תמיסת 1M סוכרוז (חלקיק בודד) ← 1 osmolar

תמיסת 1M NaCl (2 חלקיקים) ← 2 osmolar

אנו נתייחס לערך האוסמוטי המחושב כערך אידיאלי כאשר כל

החומר הומס ופורק לגורמיו: $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+, \text{Cl}^-$.

(קיים תיקון ע"י מקדם האוסמוטיות של החומר, הנע בין 0 ל-1,

ולכן במדידת אוסמולריות מתקבלים ערכים נמוכים יותר)

איזו = שווה

איזואוסמוטיות – הגדרה המציינת שהתמיסות שוות מבחינת הערך האוסמוטי. אין מתחייב מכך שהרכב היונים בתמיסות יהיה זהה.

מבחינה אוסמוטית: 1 osmolar סוכרוז = NaCl 1osmolar

מהו 1 osmolar סוכרוז? 1M

מהו 1 osmolar NaCl? 0.5M

תמיסה היפואוסמוטית – ריכוז המומסים בה נמוך יותר ביחס לתמיסת הייחוס.

תמיסה היפראוסמוטית – ריכוז המומסים בה גבוה יותר ביחס לתמיסת הייחוס.

יתכן מצב בו תמיסה איזואוסמוטית תביא לשינוי בנפח התא, וזאת בעקבות חדירות שונה למומסים שונים.

חדירת מומסים לתא ע"פ מפל הריכוזים ותנועת המים בעקבות המומסים יובילו לשינוי בנפח התא.

טונוס = מתח

טוניות – מוגדרת על פי תגובת התא לתמיסה בה הוא נמצא.

תמיסה איזוטונית היא תמיסה בה התא לא יעבור שינוי נפח. תמיסה היא איזוטונית גם אם הרכב המומסים בה שונה מהרכב התא, בתנאי שמעבר המומסים לא יגרום לשינוי נפח. לכן תמיסה איזוטונית מוגדרת תמיד לגבי תא מסוים והרכב מומסים מסוים.

תמיסה היפוטונית היא תמיסה בה הרכב המומסים יגרום לכניסת מים לתא ולהתנפחותו.

תמיסה היפרטונית היא תמיסה בה הרכב המומסים יגרום להתכווצות התא עקב יציאת מים.

בהנחה שסוכרוז אינו חודר לתאי דם אדומים :

מה יקרה לתאים בתמיסה איזואוסמוטית של סוכרוז?

אין שינוי (לזמן מוגבל).

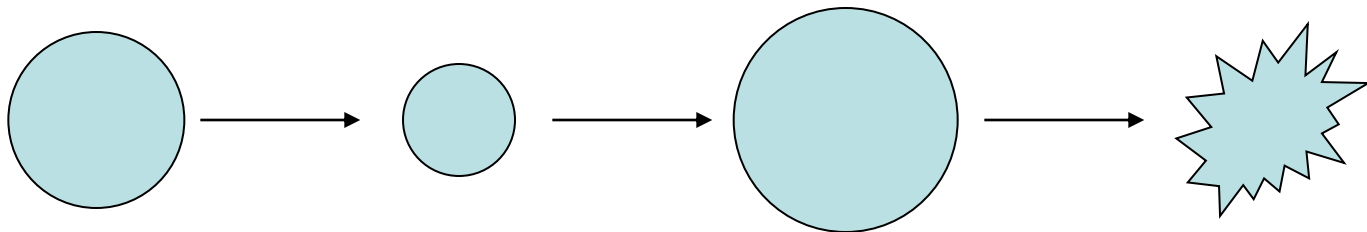
מה יקרה לתאים בתמיסה היפרטונית של סוכרוז?

התאים יתכווצו

מה יקרה לתאים בתמיסה היפוטונית של סוכרוז?

התאים יתנפחו או אף יתפוצצו (לפי מידת ההיפוטוניות)

מה יקרה לתאים בתמיסה היפראוסמוטית של אוריאה, החדירה לתאים?



תאי דם אדומים הודגרו בתמיסות בעלות הרכבים שונים.

ערך אוסמוטי בתאים : 300mOsM.

התאים בלתי חדירים ל- Na^+ ול- sucrose,

חדירים מאוד ל- Glycerol.

איך תראה העקומה?

