



משרד החינוך
המזכירות הפדגוגית
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות
לימודים



מטה מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי
טכנולוגי
על שם עמוס דה-שליט



הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
המחלקה להוראת הטכנולוגיה
המדעים
קבוצת הכימיה והסביבה

ביוכימיה: הכימיה של חלבונים וחומצות גרעין

מדריך למורה פרק א'

ד"ר מירי ברק

אלישבע גבע ורולי אינטרטור

ראש פרויקט: פרופ' יהודית דורי

יועץ מדעי: פרופ' דני זילברשטיין

© כל הזכויות שמורות, תשס"ז, אוגוסט 2007

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, לתרגם, לאכסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בקובץ זה אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמחברים.

ברצוננו להודות:

למורים הנסיינים שהיו הראשונים ששילבו את יחידת הלימוד בכיתותיהם ושפיתחו חלק מהתרגילים והמשימות המוצגים בפרקים השונים במדריך למורה: סוהאד אליאס, לבנת ארז, אלישבע גבע, מדחת חלאילה, סופיה לדרמן, רוני פיזם ואורלי פלוטקין.

ברצוננו להודות לראניה חוסיין-פראג' ולתמר אשקר על העריכה של המדריך למורה ועל תרומתן לפיתוח של חלק מהמשימות.

ברצוננו להודות לד"ר אורית הרשקוביץ ולטל הרשקוביץ על העריכה הגרפית והעלאת האתר לאוויר.

פרק א': מבוא למדע החיים

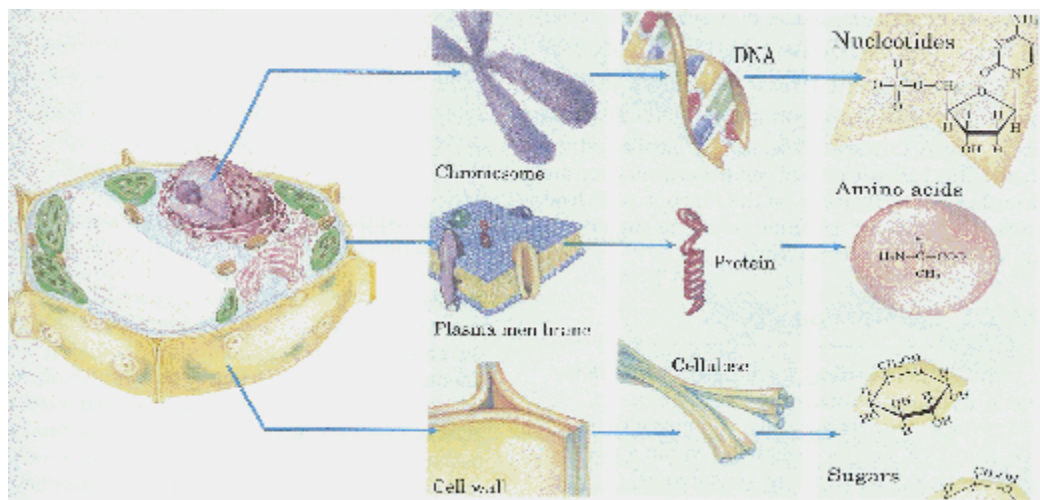
מטרות הפרק

- היכרות עם המבנה והתפקוד של מולקולות פוספוגליצירידים.
- היכרות עם מושגים כגון: הידרופובי, הידרופילי ודיפוזיה.
- השוואה בין מבנה ותפקוד המולקולות המרכיבות את גופנו.
- היכרות והבנה של תפקידי מולקולות החלבון בקרום התא.
- היכרות עם מנגוני ההעברה של חומרים לתוך התא ועם הגורמים המשפיעים עליהם.
- פיתוח היכולת לקשר בין מבנה מולקולות החלבונים לבין תפקידם בגופנו.
- התנסות בהדמיות ובאנימציות ממוחשבות.

פרק א': מבוא למדע החיים

- מבנה התא:** ההיררכיה המבנית של התא ניתנת לתיאור בארבע רמות: א. התא והאברונים ב. תצמידים מקרומולקולריים ג. ביו-פולימרים ד. המולקולות הבודדות (איור א*1).

רמת המולקולה רמת ביו-פולימרים רמת גופים ואברונים רמת התא והאברונים



איור א1 : ההיררכיה המבנית של התא

* האיור נלקח מהספר:

Nelson, D.L. and Cox M.M. (2005). *Lehninger - Principles of Biochemistry*, Fourth Edition New York: Freeman Publishers (pg. 11).

אתרים מומלצים בנושא מבנה התא

הדמיה של התא: http://www.cellalive.com/cells/cell_model.htm

מידע מורחב על מבנה התא:

http://homepage.smc.edu/wissmann_paul/cell/Default.htm

אברונים בתא - Organelle

מבנים קבועים בציטופלסמה, בעלי תפקיד מוגדר. האברונים אופייניים לתאים אאוקריוטיים, שיש בהם חלוקה ליחידות מבנה ושכל יחידה בהם מבצעת תפקיד ספציפי. לעומת זאת, לתאים פרוקריוטיים, כמו חיידקים, אין אברונים, והתא מבצע את כל הפונקציות. לכולם, פרט לריבוזומים – יש מעטפת הבנויה משכבה אחת או משתי שכבות של קרום יסוד.

קרום - Membrane

ארגון דו-שכבתי של שומנים וחלבונים, המשמש כחיץ בין התא לבין סביבתו החיצונית, או בין האברונים השונים לבין הציטופלסמה. תפקידו של הקרום הוא לשמור על סביבה קבועה המאפשרת את קיומם של תהליכים מטבוליים חיוניים. הקרום החיצוני מהווה המשך לרשת האנדופלסמית המחוספסת (רשת של קרומיות בציטופלסמה), ואילו הקרום הפנימי מעניק לגרעין יציבות. הוא מרופד בשכבה של חלבונים הקרויה למינה גרעינית (nuclear lamina), וזו קשורה כימית לתכולת הגרעין, כגון לכרומטינים ולשאר המרכיבים.

רשת אנדופלסמית - Endoplasmic reticulum

מערכת מסועפת של קרומיות (ממברנות) - בצורת צינוריות (tubules), נאדיות (vasicles) או שקים שטוחים - המהווה המשך של הקרום החיצוני של גרעין התא. נמצאת בציטופלסמה של תאים אאוקריוטיים.

גרעינון - Nucleolus

אברון כדורי חסר קרומית הנמצא בתוך גרעין התא. הגרעינון מורכב ממספר לולאות של דנ"א ריבוזומי (rDNA), שמהן משועתק הרנ"א הריבוזומי (rRNA), שהוא המרכיב העיקרי בריבוזום. בשעת חלוקת התא הגרעינון מתפרק.

גרעין התא - Nucleus

אברון הנמצא בכל התאים האאוקריוטים (ולמעשה מגדיר אותם): תא אאוקריוטי הוא תא בעל גרעין). ברוב התאים נמצא גרעין אחד, אם כי ישנם תאים בעלי שני גרעינים ויותר - במערכות מסוימות של פטריות, למשל. הגרעין מכיל את החומר התורשתי בתא, דנ"א - DNA, חלבונים המייצבים אותו, וחלבונים המווסתים את ביטויו. הוא מוקף קרום גרעין ומשמש מרכז פיקוח ובקרה על תהליכים בתא.

נקבוביות הגרעין - Nucleus porousness

נקבים חלבוניים שנמצאים על פני הקרום ומאפשרים מעבר בררני ביותר של חומרים מהציטופלזמה לפלסמת הגרעין ולהיפך.

מיטוכונדריה - Mitochondria

מוקפת קרום כפול, הקרום החיצוני דומה בהרכבו לקרום התא. בתוכה מתבצע השלב הסופי של תהליך הנשימה.

ציטופלסמה - Cytoplasme

מושג כולל לכול מרכיבי התא שמחוץ לגרעין ובתוך קרום התא. ניתן להבחין בין שני אזורים בציטופלסמה: אנדופלסמה (ציטוסול), האזור הפנימי-הנוזלי של הציטופלסמה בו נמצאים האברונים, ואקטופלסמה (ציטוגול).

ריבוזום - Ribosome

גופיף תוך תאי, שקוטרו כ-20 ננומטר. בנוי מתצמיד של חלבון ורנ"א RNA, ומשמש מקום לייצור החלבונים בתא. הריבוזומים פזורים, במספרים גדולים מאוד, בציטופלסמה של כל האורגניזמים; אצל האאוקריוטים הם מצויים בעיקר על גבי הרשת האנדופלסמית המחוספסת. בתאים פרוקריוטים, הריבוזומים קשורים לצדו הפנימי של קרום התא.

טבלה 1: ההרכב באחוזים של האטומים השונים בגוף האדם

אטום	% המסה היבשה
C	61.7
N	11.0
O	9.3
H	5.7
Ca	5.0
P	3.3
K	1.3
S	1.0
Cl	0.7
Na	0.7
Mg	0.3

סוגי מולקולות בתוך התא

הרכב הציטופלסמה

(במשקל)

80% - מים

11% - חלבונים

5% - שומנים

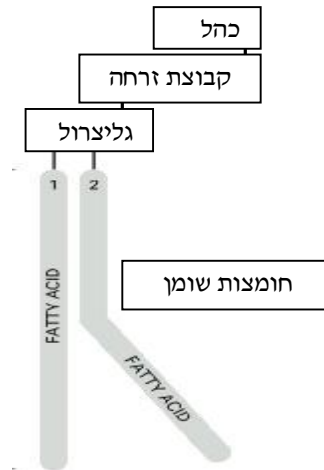
2% - חומצות גרעין

1% - פחמימות

1% - מלחים שונים

א.1. הפוספוליפידים – מבנה ותפקוד

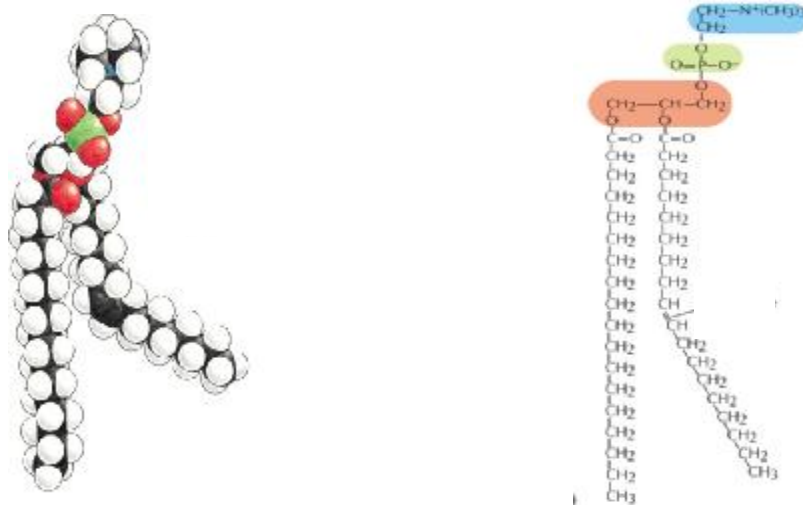
ניתן לחלק את הפוספוליפידים לשני סוגים: אלו שהמולקולות שלהם מורכבות מגליצרול והנקראות פוספוגליצרידים ואלו שהמולקולות שלהם מורכבות מספינגוזין.



איור א2: מבנה כללי של מולקולת פוספוגליצריד

חשוב להדגיש, כי המולקולות הפוספוליפידיות אינן הליפידים (מולקולות השומן) היחידות המרכיבות את קרום התא. מלבדן, ניתן למצוא מולקולות השייכות למשפחת הגליקוליפידים ואת הכולסטרול. לעומת המולקולות הפוספוליפידיות, המורכבות מקצה ובו יון זרחה ('פוספר'), הגליקוליפידים, כשמן כן הן: הן מורכבות מקבוצות קצה של מולקולת סוכר ('גליקו'). עוד חומר על מולקולות שומניות שונות, על המבנה שלהן ועל תפקודן - ניתן לקרא בספר טעם של כימיה.

מולקולת **פוספטידיל-כולין (Phosphatidylcholine)**, הינה המולקולה הפוספוגליצרידית הנפוצה ביותר בקרום התאים בגופנו והמהווה חומר מוצא לייצור אצטיל-כולין שהוא חומר מתווך חשוב במערכת העצבים (מתווך עצבי). כאשר מולקולת כולין נקשרת לקצה של מולקולת הפוספטידט, נוצרת תרכובת פוספוגליצרידית הנקראת פוספטידיל-כולין (איור א3).



איור א3: נוסחת מבנה ומודל כדור-מקל של מולקולת פוספטידיל-כולין

הידעתם?

מחקרים רפואיים הראו כי מתן תוספות מזון המכילות פוספטידיל-כולין מסייע לשיפור משמעותי של הזיכרון, הריכוז והלמידה. בנוסף, תוספות מזון אלה מסייעות לטיפול בהפרעות הקשורות בדיכאון ובלחץ נפשי. עוד נמצא, כי למולקולת הפוספטידיל-כולין יכולת לשפר במידה ניכרת את איכות חייהם של חולים הלוקים בסניליות ובאלצהיימר. פוספטידיל-כולין נחשב לחומר בטוח בשימוש ולנטול תופעות לוואי.

שימו לב: בפתרון התרגילים יש להתייחס לאיורים שבספר הלימוד.

פתרון תרגילים בנושא חומצות שומן ופוספוגליצרידים

התבוננו באיור 4 ורשמו במחברותיכם:

1. מכמה אטומי פחמן בנויות המולקולות של כל אחת משתי חומצות השומן?

חומצה פלמיתית = 16 פחמנים; חומצה אולאית = 18 פחמנים.

2. איזו חומצה הינה "רוויה" ואיזו "לא רוויה"? הסבירו מדוע.

החומצה הפלמיתית היא חומצה רוויה והחומצה האולאית בלתי-רוויה, מאחר והחומצה האולאית מכילה קשר כפול.

3. האם המבנה סביב הקשר הכפול במולקולה של החומצה האולאית הינו מסוג איזומריה ציס

או טרנס? נמקו תשובתכם.

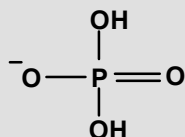
המבנה סביב הקשר הכפול במולקולה של החומצה האולאית הוא מסוג איזומריה ציס. שני המימנים סביב הקשר הכפול נמצאים באותו הצד של הקשר.

כשרשרת שנגזרת מחומצת שומן בעלת קשר כפול נמצאת ליד שרשרת ישרה ללא קשרים כפולים, לא יוכלו קשרי ון-דר-ולס שביניהן להיות הדוקים. התוצאה תהיה קשרים חלשים בין שתי השרשראות ולכן גם יהיו תנועה סיבובית מהירה יחסית ומצב צבירה נוזלי יחסי. קשר כפול מסוג ציס (המצוי בכל חומצות השומן הטבעיות), גורם להקטנה יחסית של אורך השרשרת ולהגדלה ניכרת בנפח שהמולקולה תופסת בקרום התא. גם למיקום הקשר הכפול לאורך השרשרת נודעת השפעה על מידת ההפרעה לאריזה קומפקטית: השפעתו מרבית כשהקשר הכפול נמצא במרכז השרשרת.

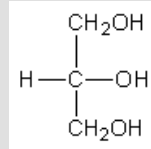
הערה: בפתרון השאלות הבאות היעזרו בנספח 2 בחוברת הלימוד

4. רשמו נוסחת מבנה של תוצרי ההידרוליזה של הפוספטידט.

קבוצת זרחה:

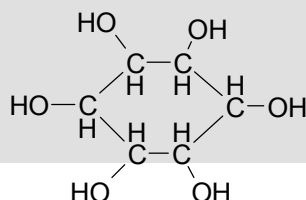


גליצירול:

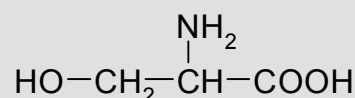


שתי חומצות שומן, ומולקולה נוספת, למשל:

אינוזיטול:



סרין:



5. התבוננו בנוסחאות שבאיור 5 וציינו מהי הקבוצה הפונקציונאלית המשותפת לכל מולקולות הקצה של הפוספוגליצרידים?

קבוצה הדרוקסילית OH

6. התבוננו בנספח 2 וזהו את ארבעת החלקים שמהם מורכבת מולקולת פוספטידיל-כולין. ציינו את שמות המולקולות, לאיזו משפחה כימית שייכת כל אחת מהן ומה מאפיין אותה בהיבט כימי ופיסיקלי.

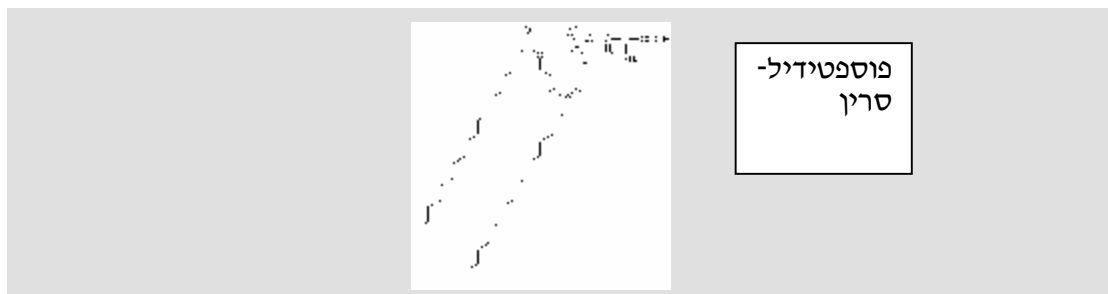
גליצירול - שייך למשפחת הכהלים. מבחינה כימית נוטה הגליצירול להתרכב עם חומצות שומן על ידי יצירת קשרים אסטיריים.

כולין - שייך למשפחת היונים החיוביים. כולין מורכב מיון חיובי של אמוניום (NH_3), אליו קשור הכוהל אתנול.

קבוצת זרחה (פוספט) - שייכת למשפחת היונים השליליים. שייר של חומצה זרחתית, הקבוצה הזו טעונה שלילית ב-pH פיזיולוגי.

שתי מולקולות של חומצות שומן בלתי רוויות - שייכות למשפחת תרכובות הפחמן.

7. בחרו מולקולת קצה נוספת של חומרים, כמו סרין, אינוזיטול, אתנולאמין או גליצרול, וציירו את נוסחת המבנה של מולקולת הפוספטידיל המתקבל.



8. התבוננו בנספח 2 וציינו מה המטען הכולל של כל אחת ממולקולות הפוספוליפידים.

המטען הכולל של כל אחת ממולקולות הפוספוליפידים הינו (1-)

9. ידוע, כי לפוספוגליצרידים קצה הידרופילי (בעל יכולת להתמוסס, להגיב, או ליצור קשרי מימן עם מולקולות מים) וקצה הידרופובי (חוסר זיקה למולקולות מים). ציינו מהן המולקולות היוצרות קצוות אלו והסבירו מדוע (היעזרו בנספח 2).

הראשים הזרחניים יוצרים את הקצה ההידרופילי. הם באים במגע עם המים בסביבה הפנימית והחיצונית של התא תוך יצירת קשרי מימן עם מולקולות המים. לעומתם, חומצות השומן יוצרות את הקצה ההידרופובי: הן מתרחקות מהמים ולכן מסתדרות זו כלפי זו בדו-שכבה שומנית תוך יצירת קשרי ון-דר-ולס האחת עם השנייה.

10. מה לדעתכם יכול להיות היתרון של חומר המורכב ממולקולות בעלות שני קצוות שונים (הידרופילי והידרופובי)?

היתרון של חומר המורכב ממולקולות בעלות שני קצוות שונים (הידרופילי והידרופובי) הוא: שמירה על סביבה קבועה המאפשרת את קיומם של תהליכים חיוניים בגוף האדם. זאת, מכיוון שבגופנו קיימים חומרים שהינם הידרופיליים והידרופוביים.

התכונות הפיסיקליות של המולקולות הפוספוליפידיות בקרום התא, כלומר מצב הצבירה ומידת הצמיגות שלהן, מושפעות מהקשרים הבין-מולקולריים (קשרי ון-דר-ולס) הנוצרים בין השרשרות הפחמימניות (הכוללות 14-24 אטומי פחמן). כידוע, חוזקם של קשרי ון-דר-ולס נקבע על פי צורת האריזה של השרשרות הפחמימניות. האריזה משפיעה על המרחק בין המולקולות ועל כושר תנועתן. כיום מקובל לחשוב שבמצב טבעי, קרום התא נמצא במצב ביניים, בין נוזל למוצק. מצב צבירה זה מכונה מצב **הגביש הנוזלי** (liquid crystal).

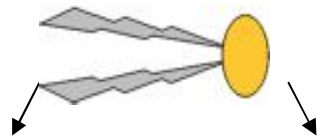
הקרום הוא הידרופובי ואין בו מים, ואילו שני צידי הקרום הם הידרופילים ובאים במגע עם המים הנמצאים בסביבתם (הקרום כולו נמצא בסביבה מימית, הציטופלסמה שבתוך התא היא בעיקרה תמיסה מימית וכך גם הנוזל החוץ תא).

קרומים של תאים של בעלי חיים אאוקריוטים מכילים בדרך כלל כמות רבה של כולסטרול. על כל מולקולה של פוספוליפיד מצויה מולקולה של כולסטרול. הכולסטרול מקטין את נוזליות הקרום בטמפרטורה של 37 מעלות. בנוסף, הכולסטרול מונע את התקרבות שרשרות הפחמימנים זו לזו ובכך מונע הפיכת מבנה הקרום לג'ל צמיג.

התארגנות הפוספוליפידים בצבר

לכל המולקולות המרכיבות את קרום התא יש מבנה בסיסי משותף, הכולל ליפידים (שומנים) בקצה אחד ומולקולה קוטבית בקצה האחר. בגלל המבנה המיוחד שלהן, המולקולות מוגדרות כ**אָמְפִּיפִּיטיות** – מולקולות המורכבות מחלק הידרופילי (מושך מים) וחלק הידרופובי (דוחה מים). בצורה סכמטית נהוג לתאר את המולקולות המרכיבות את קרום התא כבעלות "ראש" (החלק ההידרופילי) ו"זנב" (החלק ההידרופובי).

טבלה א2: המולקולות המרכיבות את קרום התא



לדוגמה:

מולקולות שומן המרכיבות את קרום התא		קצה הידרופובי	קצה הידרופילי
פוספוליפידים	פוספוגליצריד	שרשראות של חומצות שומן	יון זרחתי + כוהל
	ספינגומיאלין	שרשרת של חומצת שומן ושרשרת פחמימנית של ספינגוזין	פוספוריל כולין
גליקוליפיד		שרשראות של חומצות שומן	מולקולת סוכר בעלת קבוצות הידרוקסיליות (OH)
כולסטרול		טבעות פחמימניות	קבוצה הידרוקסילית (OH)

בין שרשראות הפחמימניים פועלים כוחות משיכה מסוג ואן-דר-ולס. כוחות אלה תורמים ליצירת אריזה צפופה ולייצוב מבנה הקרום. ייצוב נוסף מקנים קשרי מימן בין קבוצות הראש הקוטבי לבין מולקולות המים.

תרגיל נוסף בנושא תכונות הידרופוביות והידרופיליות של הפוספוליפידים

1. התבוננו שוב במולקולות הקצה של הפוספוגליצרידים שבאיור 5, וצינו עבור כל מולקולה כיצד ובאילו כוחות היא נמשכת למולקולות המים?

מולקולות הקצה באיור 5 נמשכות עם מולקולות המים בזכות קשרי מימן.

2. באילו צורות מרחביות יתארגנו מולקולות פוספוליפידים בסביבה מימית? היעזרו בכדורי פלסטלינה ובקיסמי עץ כדי ליצור מודלים של מולקולות פוספוליפידיות ומבנים מרחביים שונים. זכרו שהחלק ההידרופילי נמשך לסביבה מימית, בעוד שהחלק ההידרופובי דוחה מים.

בסביבה מימית, מולקולות פוספוליפידים יכולות להתארגן בשתי דרכים: 1. מיצלה ו- 2. במבנה דו-שכבתי.

3. התבוננו באנימציה המוצגת באתר שכתבתו:

<http://telstar.ote.cmu.edu/Hughes/tutorial/cellmembranes/orient2.swf>

הסבירו את ההבדל בין מיצלה ומבנה דו-שכבתי.

מיצלה היא מבנה עגול, שבו הזנבות (החלק ההידרופובי) פונים כלפי פנים והראשים (החלק ההידרופילי) כלפי חוץ.

מבנה דו-שכבתי: הוא מבנה שבו יש שתי שכבות, אחת מול השנייה, כאשר הזנבות פונים פנימה והראשים כלפי חוץ, והיוצרות יחד שרשרת דו-שכבתית ארוכה.

הידעתם?

בנוסף לתפקיד של מחסום בררני, קרום התא משתתף גם בתהליכים חיוניים אחרים, כגון: אתר לבניית חלבונים ושומנים ואתר בו מתרחשים תהליכי חמצון-חיזור ונטרול רעלים. קרום התא יכול לקלוט תשדורות מהצד החיצוני, המגיעות אליו דרך הדם או מתאים שכנים בצורה של הורמונים או מולקולות המשמשות כמתווכים עצביים. קרום התא יכול לזהות אלו תאים שייכים לאותה רקמה ואלו תאים זרים לגוף. נגד תאים זרים מופעלים מנגנוני זיהוי ודחייה הודות לקולטנים ייחודיים הנמצאים בקרום התא.

2.א. החלבונים בקרום התא

החלבונים ממלאים תפקידי מפתח בתא: הבנת תהליכי בקרה וויסות של ייצור ופעילות בחלבוני התא הם מפתח להבנת כל תהליכי החיים.

העברת חומרים לתוך התא וממנו חיונית לתפקוד תקין של התא. מחד, נקלטים חומרים המשמשים לתהליכים מטבוליים שונים, ומאידך לסביבה החוץ תאית, נפלטים חומרים הנמצאים בעודף וחומרי פסולת.

דיפוזיה ואוסמוזה

כפי שלמדנו, הקרום הבררני מאפשר מעבר של חומרים מסוימים ומונע מעבר של אחרים, וכך למעשה נוצרים הבדלים בריכוזי החומרים בין פנים התא לבין הסביבה שמחוץ לו. **מפל ריכוזים** הוא הפרש הריכוזים של חומר מסוים משני צידי הקרום, כלומר בין פנים התא לחוץ התא. למשל, ריכוז יוני הנתרן (Na^+) גבוה יותר מחוץ לתא, בעוד ריכוז האשלגן (K^+) גבוה יותר בתוך התא. כאשר נוצר מפל ריכוזים, מתרחש תהליך של **דיפוזיה** – תנועה של חלקיקים מאזור שבו ריכוזם גבוה לאזור שבו ריכוזם נמוך יותר. **אוסמוזה** זהו תהליך דיפוזיה המתאר תנועה של מולקולות מים דרך קרום בררני (חדיר למולקולות מים, אך אינו חדיר למולקולות של מומסים).

הדמיה של שני התהליכים ניתן לראות באתרים:

אוסמוזה: <http://www.stolaf.edu/people/giannini/flashanimat/transport/osmosis.swf>

דיפוזיה: <http://www.stolaf.edu/people/giannini/flashanimat/transport/diffusion.swf>

בנוסף למפל הריכוזים, הקרום יוצרת גם הבדלים בריכוזי אניונים וקטיונים בין פנים התא לבין הנוזל החוץ תאי, כך שפנים התא הוא שלילי יותר בהשוואה לחוץ התא. הבדלים של מטען חשמלי משני צידי הקרום נקראים **פוטנציאל חשמלי** של הקרום או פוטנציאל הקרום.

- כמעט כל חלבוני הקרום החשופים כלפי חוץ נושאים סוכרים. רק כעשירית ממולקולות הליפיד הפונות כלפי חוץ נושאות סוכרים. מולקולות סוכר אלה הן בעלות תפקיד במערכת ההיכרות הבין תאית (סוגי דם).
- מעבר חומרים דרך הקרום מתוך לב ליבה

<http://science.cet.ac.il/science/transportation/transport10.asp#1>

משאבת נתרן-אשלגן

יש מקרים רבים בהם קיימים הבדלים בריכוז של חומר בין פנים התא לסביבה החוץ תאית. עובדה זו מרמזת על כך שהחומר אינו מועבר רק בדיפוזיה. הבדלים אלה בריכוז החומר אפשריים הודות לקיומו של מנגנון הגורם למעבר דרך הקרום באמצעות תהליכים פעילים צורכי אנרגיה. תהליכים אלו מתבצעים על ידי חלבוני נשא, המעבירים את המומסים נגד מפל הריכוזים, כאשר האנרגיה מתקבלת על ידי פירוק מולקולות ATP (Adenosine three Phosphate). פירוק זה משנה את המבנה של מולקולת הנשא, ומאפשר לה "לשאוב" חומר נגד מפל הריכוזים. לכן, נשאים אלו נקראים **משאבות**. מומסים העוברים את הקרום בתהליך זה כוללים בעיקר יונים, כגון Na^+ , K^+ , H^+ , Ca^{2+} .

משאבת נתרן-אשלגן היא המשאבה החשובה ביותר הנמצאת על פני כל תאי הגוף (לכל תא יש אלפי משאבות כאלו על פני הקרום). חלק מהמשאבה מתפקד כאנזים המפרק ATP, שנקרא אטפאזה. אנזים זה מזרז הוצאה של יוני נתרן והכנסה של יוני אשלגן לתוך התא נגד מפל הריכוזים. יונים אלו עוברים גם בדיפוזיה דרך תעלות בכיוונים המנוגדים. המשאבות עובדות כול הזמן, דבר השומר על מצב קבוע של ריכוז נתרן נמוך וריכוז אשלגן גבוה בתוך התא. פעילות

המשאבה חיונית לשמירה על ריכוזים קבועים (בטווח מסוים) של נתרן ואשלגן בתוך התא ומחוץ לתא. הריכוזים הקבועים של היונים משני צידי הקרום חשובים לשמירה על נפח התא ולמניעת מצבים של התכווצות או התנפחות התא. כמו כן, הריכוזים הקבועים חשובים לפעילות חשמלית של תאים המוליכים דחפים חשמליים, כגון תאי עצב ותאי שריר.

תרגול נוסף בנושא תעלות בקרום

1. תנו מספר דוגמאות לתעלות יונים, לפי יונים המוכרים לכם והחשובים בגוף.

דוגמאות לתעלות יונים: תעלות אשלגן, תעלות נתרן, תעלות סידן, תעלות כלורידים. יונים אלו מרכזיים בתהליכים בגוף, כמו העברת דחף חשמלי, התכווצות שריר, יצירת שתן, העברת מסרים לתא, תפקוד משאבות בתאים ועוד.

2. מתי ואיך תעלות האשלגן יפתחו ומתי הן ייסגרו? רמז: חשבו על הפרש ריכוזים של היון משני צידי הקרום.

התעלה תפתח כאשר קיים הפרש ריכוזים של היון משני צידי הקרום. כאשר ריכוז האשלגן גבוה יותר בתוך התא, בהשוואה לחוץ התא, התעלה תפתח ותחל יציאת אשלגן מהתא עד למצב של שיוויון ריכוזים. במצב זה, התעלה תיסגר. ויסות הפתיחה והסגירה של התעלות נעשה על ידי שינוי כימי או חשמלי בתוך התא או מחוץ לו. כלומר, קישור של יונים או מולקולות קטנות לתעלות יוביל לפתיחה של התעלות ולמעבר של היון אל התא או מחוץ לתא, במורד מפל הריכוזים שלו.

ביחידת הלימוד מוזכרים שני סוגי חלבונים המצויים בקרום התא: חלבוני תעלות ונשאים האחראים על העברת חומרים בין שני צידי התא. אולם, חלבונים אלו אינם המולקולות היחידים המצויים בקרום התא. בקרום קיימות מולקולות חלבון נוספות, כגון:

קולטנים - Receptor proteins

ממברנת התא מכילה מבנים חלבוניים מיוחדים המאפשרים תקשורת בין תאים וכן זיהוי ותגובה לחומרים בסביבת התא. בתהליכים אלו יש תפקיד חשוב לקולטנים. האותות הנקלטים על ידי הקולטנים משפיעים על תהליכים מכריעים בחיי התא: המשך גדילת התא, חלוקתו, מועד החלוקה, כיוון התמיינותו ואף מות התא.

חלבוני היכרות - Recognition proteins

חלבוני היכרות הם גליקופרוטאינים. כלומר, חלבונים שקשורים אליהם שיירים של אוליגו-סוכרים. הם משמשים לתא מעין דגלי סימון, המזהים את התא כ"אני" – כשייך לבעל חיים מסוג מסוים או לרקמה מסוימת. תאי דם לבנים, הנלחמים בזיהומים, מבחינים בצורה זו בין תאים עצמיים של הגוף, אותם הם אינם תוקפים, לבין תאים זרים, של חיידקים ופולשים אחרים – הנושאים על גבי הקרום שלהם חלבוני "אני" שונים – אותם הם מתקיפים ומשמידים. בעובר המתפתח, תאים היוצרים רקמה מסוימת מזהים אלה את אלה ומתקבצים יחד.

חלבוני היצמדות - Adhesion proteins

חלבונים אלה הם מולקולות גליקופרוטאינים המסייעות לתאים השייכים לאותה רקמה ביצור רב-תאי להישאר מחוברים וצמודים זה לזה. בעת היווצרות הרקמות, חלבוני היצמדות קושרים תאים שכנים זה לזה. כמה מתאי החיבור האלה הופכים לצמתים בין-תאיים, היוצרים מעין מבנים מגשרים בין ציטופלזמות של תאים שכנים, ומאפשרים בכך קשר רצוף בין התאים. קשר המתבטא בהעברת חומרים מתא לתא.

אנזימים - Enzymes

האנזימים הממוקמים בקרום מזרזים תגובות המתרחשות על פני שטח הקרום. קבוצה מוכרת של אנזימים בקרום הם הפוספוליפאזים.

חלבוני מבנה - Structural proteins

מהווים תמיכה מכאנית של קרום התא. תפקידם להחזיק את מולקולות הקרום כך שלא יקרסו.

פתרון תרגיל בנושא חלבוני הקרום והעברה של חומרים דרך קרום התא

1. כאשר מסתכלים על היכולת של הקרום להעביר חלקיקים אל תוך התא ומחוץ לו, נהוג להתמקד בשני היבטים: ייחודיות ההעברה (התאמה לסוג מסוים של מולקולה) ומהירות ההעברה. השוו בין חלבוני תעלה לבין חלבוני נשא בהיבטים אלו. איזה חלבון יהיה יעיל יותר בהיבט הראשון ואיזה בהיבט השני?

הבקרה על מעבר חומרים דרך חלבוני תעלה נעשית על פי גודל ומטען חשמלי. ככל שפתחי הכניסה והיציאה של התעלות רחבים יותר, יותר מולקולות שונות תוכלנה לעבור דרכן. למשל, בתעלות שדרכן עוברות חומצות אמיניות גדולות, עוברות גם חומצות אמיניות קטנות יותר. כלומר, חלבוני תעלה הם ייחודיים, אך טווח הייחודיות שלהן רחב באופן יחסי לזה של חלבוני נשא. רוב חלבוני הנשא מתאימים להעברה של מולקולה מסוג אחד בלבד.

השוני בין שתי שיטות ההעברה גורם גם להבדל במהירות המעבר. מעבר של חומרים באמצעות חלבוני נשא אטי ממעבר דרך חלבוני תעלה. בעוד שדרך חלבוני תעלה יכולים לעבור יותר ממיליון יונים בשנייה, מעבר דרך נשאים אטי בערך פי אלף!

2. לפניכם רשימה של חומרים המצויים בגוף: חמצן ($O_{2(g)}$), מים ($H_2O_{(l)}$), פחמן דו-חמצני ($CO_{2(g)}$), יוני אשלגן ($K^+_{(aq)}$), יוני נתרן ($Na^+_{(aq)}$) מתנול ($CH_3OH_{(aq)}$), חומצה אמינית, חומצת שומן וגליצרול.

החומרים אשר יכולים לעבור את המחסום ההידרופובי של הקרום באופן ישיר על ידי דיפוזיה הם: חמצן ($O_{2(g)}$), מים ($H_2O_{(l)}$), פחמן דו-חמצני ($CO_{2(g)}$), גליצרול, מתנול ($CH_3OH_{(aq)}$), חומצת שומן. לעומת זאת, יוני אשלגן ($K^+_{(aq)}$), יוני נתרן ($Na^+_{(aq)}$) וחומצה אמינית זקוקים לתיווך של חלבוני תעלה או של נשאים.

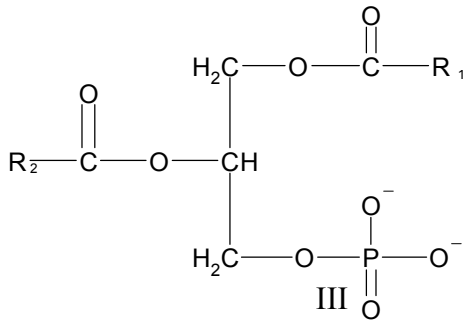
לסיכום, הגורמים המשפיעים על המעבר דרך קרום התא הם:

- גודל מולקולרי
- ריכוז החומר בתוך התא ומחוצה לו
- מסיסות בליפידים
- מצב יוני
- הימצאות חלבונים נשאים בקרום
- הימצאות תעלות

פתרון בחנו את עצמכם (פרק א)

שאלה	תשובה	הסבר
1	ד	השומנים קובעים את מבנה קרום התא מכיוון שבין מולקולות חומצות השומן פועלים כוחות ון-דר-ולס והאינטראקציות ההידרופוביות תורמות לאריזה הצפופה שלהן. לעומתן, החלבונים משמשים כמתווכי מעבר לחומרים חיוניים שאין באפשרותם לעבור דרך הקרום. בנוסף, חלק ממולקולות החלבון קבועות בקרום וחלק מהן נידות לאורכו.
2	א	כאשר מפרקים גליצירידיים ליחידות מבנה, מקבלים גליצרול ושתי חומצות שומן. אם נקשר להם זרחה, הם נקראים פוספוגליצירידיים.
3	ב	הקשרים שקובעים את האינטראקציות הם כוחות ון-דר-ואלס ואינטראקציות הידרופוביות שפועלים בין חומצות השומן שיוצרות את הקרום ותורמים ליצירת האריזה הצפופה שלהם.
4	ד	הכינוי "פסיפס נוזלי" הוצע על ידי שני חוקרים, סינגר וניקולסון בשנת 1972. על פי המודל שלהם, הקרום נראה כ"ים" של מולקולות שומן, אשר בתוכו צפות מולקולות החלבון ויוצרות מראה של פסיפס.
5	א	הליפידים הם סוג של שומנים שהם חומר אורגני נחוץ למבנים רבים בתא החי והם כלולים באותה משפחה עם השומנים, השמנים והכולסטרול.
6	ב	כאשר הפוספוגליצירידיים מתפרקים במהלך ההידרוליזה, נוצרות יחידות מבנה קטנות שמרכיבות אותם: גליצרול, חומצות שומן, וקבוצת זרחה.
7	ב	קרום התא אחראי על שמירת ריכוזי היונים בין שני צידיו, כך שהריכוז הפנימי שונה מהריכוז בנוזל הבין תאי וגם מאפשר מעבר בררני לתוך התא ומחוצה לו. כל זה, לפי כללים ברורים: גודל חלקיקי החומר - ככל שהוא קטן מהירות המעבר שלו יותר גדולה מהנקבוביות, המטען של החומר - אם המולקולות לא טעונות חשמלית המעבר מהיר יותר.
8	ד	מימן וחמצן הן מולקולות קטנות לא קוטביות. לכן הן עוברות את קרום התא בדיפוזיה וללא כל מתווך. מולקולת המים היא מולקולה קטנה, אומנם קוטבית אך לא טעונה, לכן גם היא עוברת בדיפוזיה את קרום התא. לעומת זאת, יון הנתרן זקוק לחלבון כמתווך על מנת לעבור קרום התא, מכיוון שהוא הידרופילי וקוטבי ולא יכול לחדור דרך שכבת הפוספוליפידים ההידרופובית.

פתרון שאלות פתוחות:



9. השאלה הבאה עוסקת במולקולות I, II ו-III:



שימו לב: $R_{1,2,3}$ מציינים שיירים של חומצות שומן

עבור כל אחת מהמולקולות I, II ו-III:

1. ציינו את שמה.

מולקולה I – גליצרול, מולקולה II – טריגליצריד, מולקולה III – פוספטידט (פוסוגליצריד)

2. ציינו אם היא הידרופובית, ההידרופילית או בעלת קצה הידרופובי וקצה אחר הידרופילי. נמקו את החלטתכם על ידי הסבר במונחים של מבנה וקישור.

מולקולה I היא הידרופילית. מולקולה זו היא בעלת שלוש קבוצות הידרוקסיליות היוצרות עם המים קשרים בין מולקולריים מסוג קשרי מימן. מולקולה II היא הידרופובית. מולקולה זו אינה קוטבית, ולכן גם אינה מסיסה במים.

למולקולה III קצה הידרופובי וקצה הידרופילי. קבוצת הזרחה בעלת המטען השלילי מהווה את הקצה ההידרופילי מאחר וחומרים יוניים מתמוססים במים. לעומת זאת, שיירי חומצות השומן $R_{1,2}$ מהווים את הקצה ההידרופובי מאחר והם אינם קוטביים. שיירים אלו יוצרים קשרים בין-מולקולריים מסוג ון-דר-ולס ולא קשרי מימן.

ג. תנו דוגמאות נוספות לחומרים הידרופוביים ודוגמאות לחומרים הידרופיליים, שלמדתם עליהם ביחידת הלימוד.

דוגמאות נוספות לחומרים הידרופוביים: חומצות שומן רוויות ובלתי רוויות. דוגמאות נוספות לחומרים הידרופיליים: כולין, כל החומצות האמיניות, דאוקסיריבוז, ריבוז.

ד. מה תפקידה של מולקולה III בתאים של יצורים חיים?

מולקולה III הפוספטידט, היא הפוספוליפיד הפשוט ביותר המרכיב את קרום התא. בזכות המבנה הייחודי שלהן, הכולל קצה הידרופובי וקצה הידרופילי, הפוספטידט ומולקולות פוספוליפידיות אחרות יוצרות את ה'מבנה הדו-שכבתי' האופייני לקרום התא. בכל אחת משתי השכבות, מתארגנות המולקולות כך שהקצה ההידרופילי שלהן פונה אל מחוץ לקרום - לסביבה המימית, בעוד שהקצה ההידרופובי פונה אל מרכז הקרום.

10. קרום התא של אורגניזמים שונים מותאם לתנאים בהם הם חיים. נזילות הקרום הביולוגי חשובה לתהליכי חיים רבים. הסבירו את העובדה כי יצורים החיים בקרבת לועי הרי-געש תת-מימיים, שם הטמפרטורות גבוהות, הפוספוליפידים בקרום התא מכילים פחות חומצות שומן בלתי-רוויות ביחס למיקרואורגניזמים החיים בתנאים 'מתונים' יותר, כמו באגמים.

חומצות שומן בלתי-רוויות מחלישות את חוזקם של קשרי המימן בין הפוספוליפידים בקרום התא, ולכן הופכות את הקרום לפחות צמיגי (יותר נוזלי). מיקרואורגניזמים החיים בטמפרטורות מתונות משתמשים בתכונה זו ע"מ לשמור על קרום תא נוזלי, בעוד שמיקרואורגניזמים החיים בטמפרטורות גבוהות אינם זקוקים להתאמה זו היות והטמפרטורה הגבוהה מגבירה את נזילות הקרום.

תרגיל נוסף בנושא מבנה קרום התא

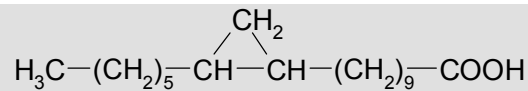
1. היכנסו לאתר:

<http://home.earthlink.net/~shalpine/anim/Life/memb.htm>

התבוננו באנימציה של מבנה הקרום וציינו מאלו מולקולות מורכב הקרום ומהן התכונות המאפיינות אותן.

המולקולות המרכיבות את מבנה הקרום של התאים הן: פוספוליפידים, כולסטרול, חלבונים, וגליקופרוטאינים.

2. פוספוליפידים הנמצאים בממברנות של חיידקים מכילים שיירי חומות שומן של ציקלופורופן. נוסחת המבנה שלהם:



א. מה לדעתכם תהיה ההשפעה של הטבעת הציקלופורופנית על האריזה של השרשראות הפחמימניות בתוך המבנה הדו-שכבתי של קרום התא?
ב. האם קבוצות אלו יגבירו או יקטינו את נזילות הקרום?

הטבעות הציקלופורופניות פוגעות באריזה המאורגנת של השרשראות הפחמימניות, המולקולות מתרחקות זו מזו, הקשרים הבין-מולקולריים מסוג ואן-דר-ולס נחלשים ולכן מגבירות את נזילות הקרום.