



מינהלת מל"מ
המרכז הישראלי לחינוך מדעי-טכנולוגי
ע"ש עמוס דה'שליט



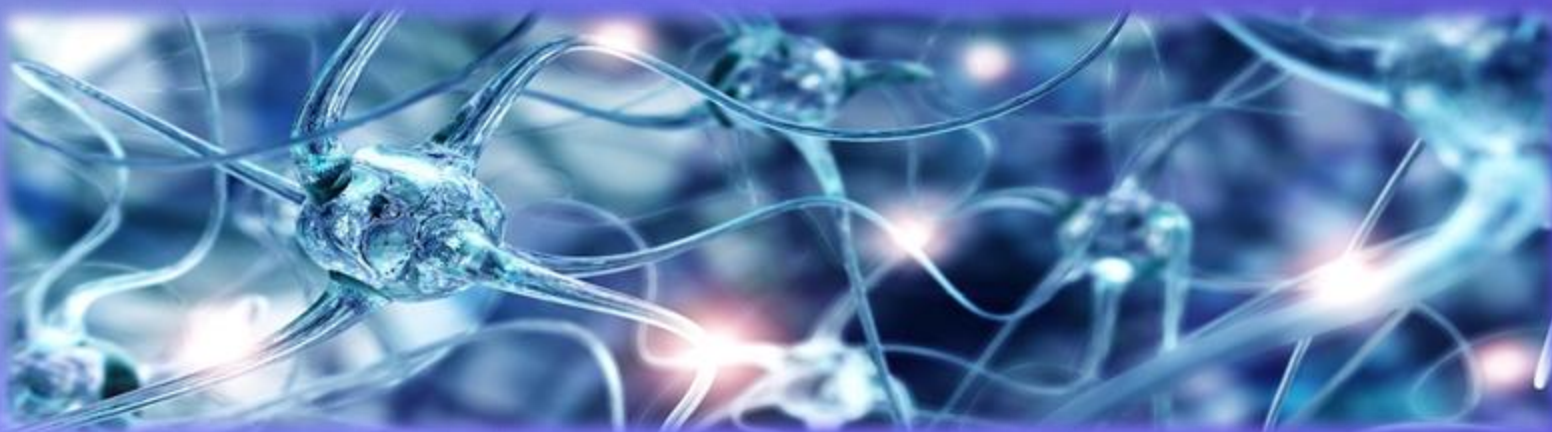
אשנב אל המוח

על מוח, למידה תרופות וסמים



מאת: ד"ר אסתי לסלו

ראש פרויקט: ד"ר יעל שוורץ



אשנב אל המוח

על מוח, למידה, תרופות וסמים

פיתוח וכתיבה: ד"ר אסתי לסלו

ראש הפרויקט: ד"ר יעל שוורץ

עריכה מדעית: פרופ' דוד פורטס

תמונות ואיורים: רשימת קרדיטים מופיעה בסוף החוברת

קראו והעירו: רונית פרץ, ענת אסולין

פותח במסגרת מרכז מורי מוט"ל. מרכז המורים מופעל על ידי מכון ויצמן למדע, עבור

משרד החינוך במסגרת מכרז מס' 22/11.2020

תוכן עניינים

3.....	מבוא להכרת המוח
3.....	פעילות מבוא
5.....	רמות ארגון
6.....	יחידות הלימוד
7.....	פרק 1: הכרת המוח
8.....	מהי שפת הקול? מהי שפת המוח?
10.....	תהליך השמיעה
13.....	אל תוך המוח
24.....	קליטת המידע במוח- סיכום
28.....	פרק 2: תקשורת והולכה עצבית
30.....	תאי עצב- הקשר בין מבנה ותפקוד:
32.....	העברת מידע בתא העצב: פוטנציאל פעולה
38.....	שיבושים בהעברת פוטנציאל הפעולה בתאי העצב:
42.....	הסינפסה- העברת מידע עצבי בין תאים
44.....	הסינפסה כצומת עיבוד מידע
45.....	חומרים המשפיעים על הולכה סינפטית
48.....	סיכום הולכה עצבית
49.....	פרק 3: תרופות וסמים
49.....	
49.....	דוגמאות להשפעות חומרים על סינפסות:
52.....	התמכרות
54.....	קנאביס ושימוש למטרות רפואיות

מבוא להכרת המוח

פעילות מבוא

מהו מוח האדם? איבר זה, השוקל פחות משני ק"ג, ומכיל בעיקר מים ושומן, מייצר את המחשבות הרגשות והזיכרונות שלנו, מנהל את הגוף שלנו, ואת התקשורת שלנו עם העולם. זו למעשה החידה המדעית הגדולה ביותר. חקר המוח מנסה לפענח את המורכבות של פעולתו, ולהבין כיצד 86 מיליארד תאי העצב במוח האנושי יוצרים את הקשרים שמעצבים רעיונות ורגשות, כמו גם את היכולת לתקשר ולהגיב. במבנית זו ננסה להיכנס לעולם מסתורי זה, ולפתוח צוהר להבנת המוח האנושי.

לפניכם קישורים לכתבות שישמשו אתכם במשימות המופיעות בעמוד הבא:



המוח האנושי



שלב 1: משימה אישית.

בפעילות זו עליכם לבחור כתבה מתוך המופיעים למעלה.

בהתייחס לכתבה, צרו 3 משפטים. כל משפט מקשר בין 2 מושגים:

תאי עצב קשרים חושים זיכרון למידה תנועה רשת חשיבה רגשות אזורים במוח חומר

מושג א	מילות קישור	מושג ב
בחר פריט		בחר פריט
בחר פריט		בחר פריט
בחר פריט		בחר פריט

שלב 2: משימה קבוצתית

צרו קבוצות תלמידים שכל אחד קרא כתבה אחרת.

הכינו כרטיסיות בהם תציגו מושגים

וכרטיסיות חץ בהם תכתבו מילות קישור

באמצעות ארגון הכרטיסיות במשטח, בנו מפת מושגים קבוצתית המציגה מידע אותו למדתם מתוך הכתבות אודות המוח. ביצירת המפה תוכלו להשתמש במשפטים שיצרתם, ולחדד אותם במידת הצורך.

- ← בחרו את המושג המרכזי והציבו אותו בראש.
- ← חברו בחיצים את המושגים האחרים וכתבו על כל חץ מילות קישור שיציגו את הקשר בין המושגים.
- ← לאחר שתגיעו להסכמה הדביקו את המושגים על דף או צלמו את המפה שיצרתם.
- ← הוסיפו 3 מושגים משלכם למפה.

שלב 3: דיון כיתתי

1. שתפו את המפות שיצרתם בקבוצות, ונסו לסכם את מה שידוע לכם על המוח.
2. לפי מה שידוע לכם על המוח, באיזו מידה יש לדעתכם קשר בין הפעילות הביולוגית- כימית של המוח על הנפש שלנו?





מה מעניין אותך לדעת על המוח?
כתבו שאלות על פתק ומסרו למורה (אין חובה לכתוב שם).
צרו מאגר של השאלות שנשאלו בכיתה, כדי שתוכלו
להשתמש בהם במהלך או בסיכום היחידה.

רמות ארגון

יחידות הלימוד ישלבו רמות ארגון שונות:

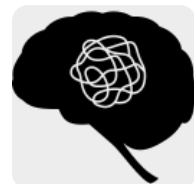
היצור השלם:

נעסוק בהבנה של השפעות המוח ומערכת העצבים על האדם או בעל החיים השלם.



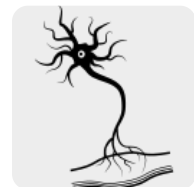
האיבר והמערכת:

נעסוק במוח ובמרכיבי מערכת העצבים.



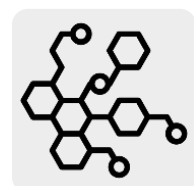
התאים:

נכיר את תאי העצב, והתקשורת ביניהם, ובין תאי החושים ותאי השריר.

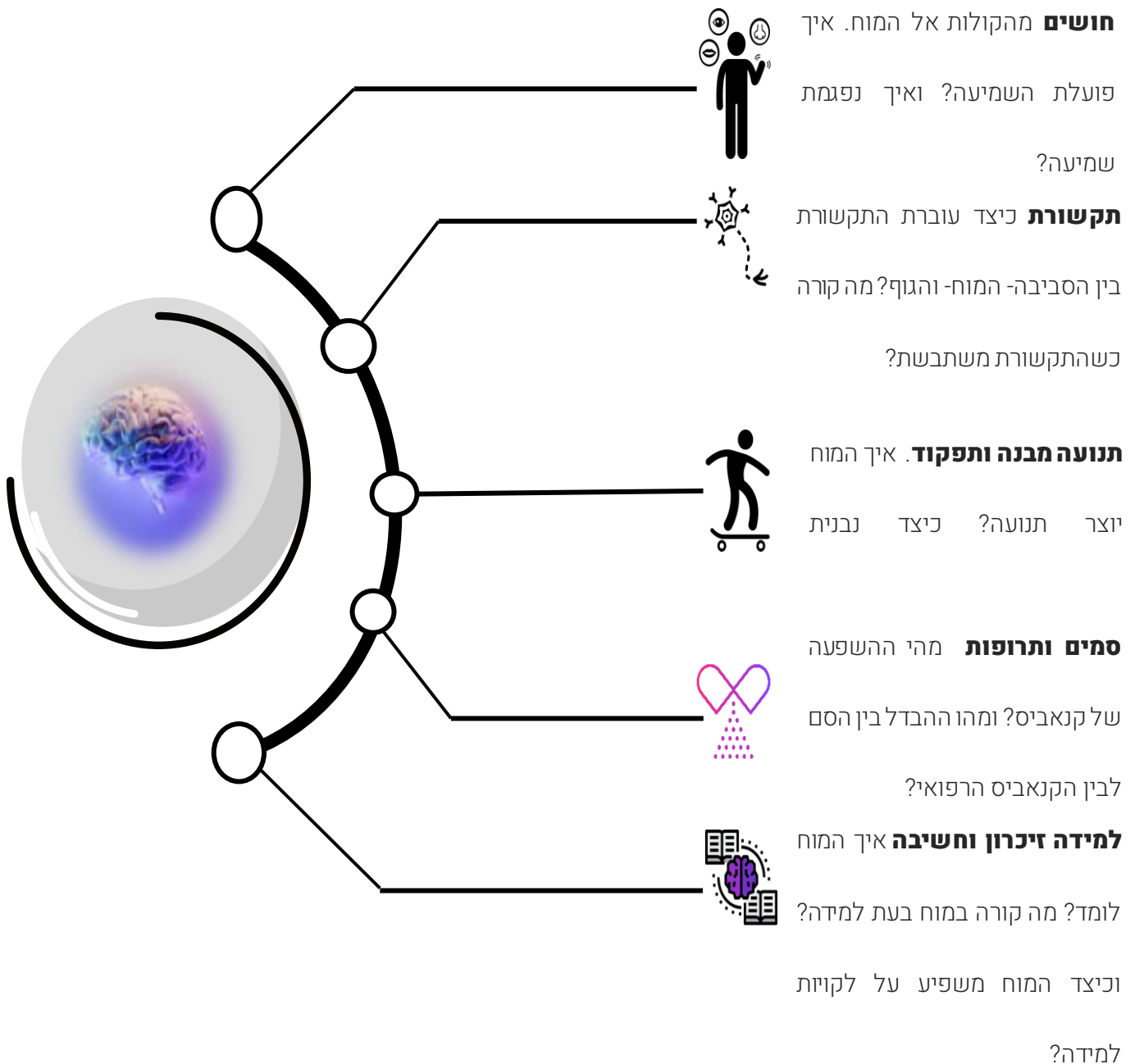


המולקולות:

נכיר מולקולות המשתתפות בתקשורת של מערכת העצבים, ובמולקולות כאלכוהול סמים ותרופות המשפיעות על תאי העצב, הערכת העצבים והאדם השלם.



יחידות הלימוד





פרק 1: הכרת המוח

האדם קולט גירויים ואותות מהסביבה החיצונית והפנימית, באמצעות איברי חוש ותאי חישה, מעבד אותם ומגיב עליהם תוך תיאום בין המערכות והאיברים השונים

העברה מתמדת של מידע מהמוח אל הגוף ומהגוף אל המוח מתקיימת באמצעות תאי העצב.

אזורים במוח אחראים על תפקודים שונים



אנו מתחילים את המסע שלנו להכרת המוח באמצעות מסלול השמיעה. מסלול זה

מהווה עבורנו הצצה אל תוך המוח, והבנה כיצד המוח פועל בהקשר למידע קולי. נכיר

את הדרך בה קולות הסביבה נקלטים באוזן, וכיצד המסרים עוברים אל המוח,

והאופנים בהם המוח מסוגל להשתמש במידע קולי. אחת הדרכים להכרת תהליך



השמיעה היא באמצעות הבנה של שיבושים בתהליך. במקרה שלנו- לקויות שמיעה.

כדי להציץ מעט לעולמם של לקויי השמיעה תוכלו לצפות [בסרטון](#)

[סליחה על השאלה: ילדים חרשים וכבדי שמיעה](#)



דיון בעקבות הסרטון:

1. האם תופעת לקויות השמיעה היא אחידה בין אנשים שונים? נמקו והדגימו.
 2. איך חרשים וכבדי שמיעה קולטים את קולות הסביבה?
 3. אילו שיטות וטכנולוגיות מסייעות ללקויי השמיעה?
 4. אילו כישורים מיוחדים מפתחים כבדי שמיעה?
- כיצד ניתן להסביר את התהליך התקין של השמיעה? ומה ניתן ללמוד מהשיבושים השונים?
- ראשית נכיר את פעילות חוש השמיעה.



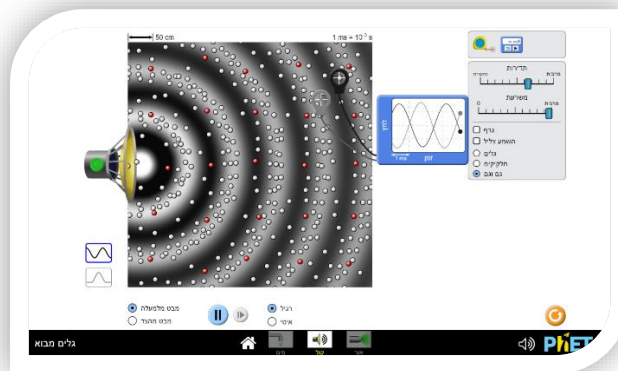


פרק 1: הכרת המוח באמצעות חוש השמיעה

מהי שפת הקול? מהי שפת המוח?

בשלב ראשון נבין מהו קול על מנת שנוכל להבין איך המוח מקבל את הקולות, ומה המוח עושה עם מידע זה.

לחצו על התמונה לפתיחת סימולציית גלי קול:



הנחיות:

היכנסו לפעילות "קול".

סמנו בלוח הימני "חלקיקים". במסך יופיעו עיגולים המייצגים את



חלקיקי האוויר.



1. מצד שמאל נמצא מקור קול. לחצו על הכפתור הירוק ותארו מה קורה במכשיר בעת

יצירת קול?

2. כיצד הקול משפיע על חלקיקי האוויר?



3. הזיזו את מד הלחץ המסומן בחץ. הניחו את אחד הגלאים במרחב. באמצעותו תוכלו

למדוד את לחץ האוויר בנקודות שונות במרחב.  לחץ האוויר מתאר את

דחיסות האוויר בנקודות שונות כתוצאה מתנודת חלקיקי האוויר.

תארו מה קורה ללחץ האוויר בנקודה אחת קבועה- האם הוא יציב? משתנה? באיזה

אופן? מהו אם כך גל קול?

4. סמנו "השמע צליל" ושנו את תדירות הגל. מהי תדירות גל קול? מה קורה לחלקיקים

וללחץ האוויר? איזו תכונה של הקול נקבעת באמצעות התדירות? תוכלו להיעזר בסימון

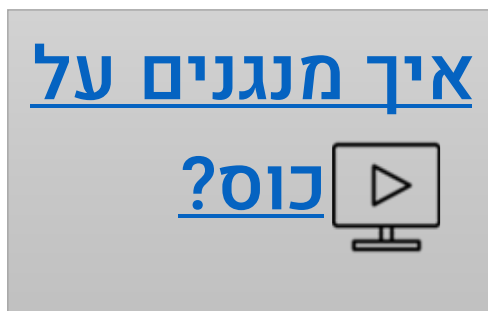
"גרף".

5. בדומה לכך, שנו את משרעת גלי הקול. הגדירו מהי "משרעת" ועל איזו תכונה של הקול

היא משפיעה.

6. עתה נסו להכיר את האפשרויות השונות במערכת. חקרו גורם אחד חדש, וכתבו מה

גיליתם.



ניסוי להרחבה:

צפו ב**סרטון**, ונסו לנגן על כוס



ציוד הנדרש: גביעי יין- זכוכית דקה, סבון כלים, מים.

הוראות, הסברים והרחבות בקישור:

לנגן על כוס

שאלות:



1. באיזה אופן ניתן לשנות בנגינה על כוס את תדירות גלי הקול (גובה הצליל)?
2. כיצד ניתן לראות את התדירות בכוס עצמה בעת השמעת צליל?
3. הגדירו מהו קול ומהן תכונותיו.



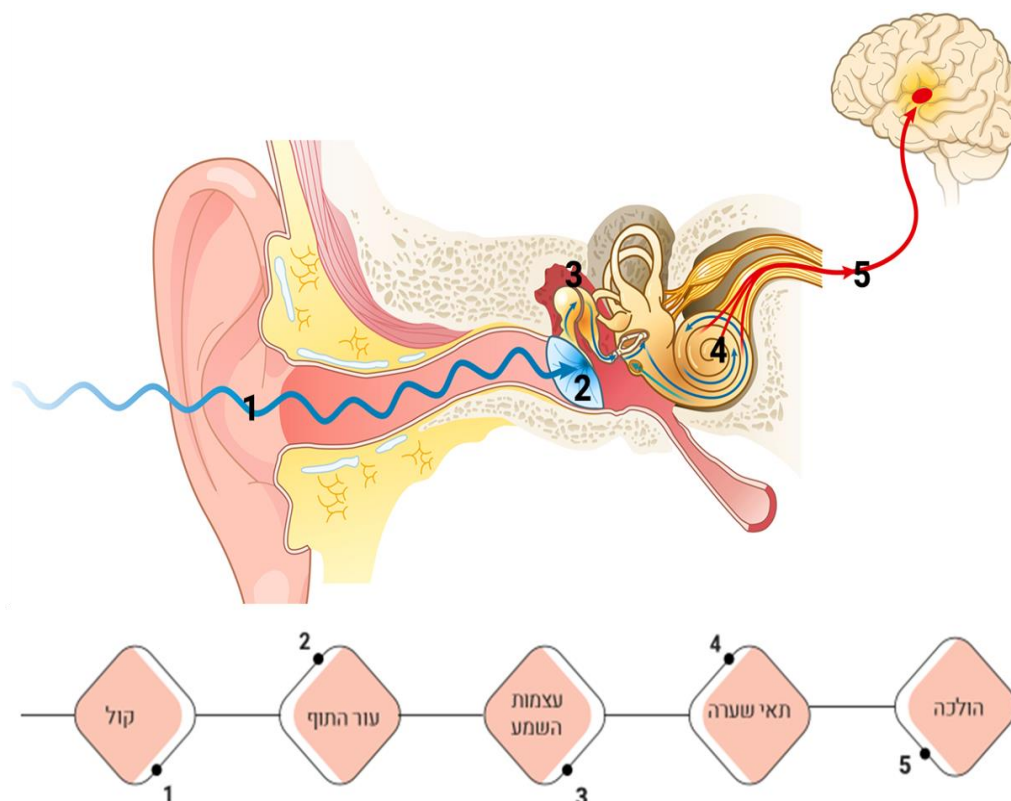
תהליך השמיעה

תהליך השמיעה והדרך בה המידע הקולי מתורגם לשפת המוח, מתואר בסרטון הבא. צפו בו וענו על כל השאלות המשובצות בו:

תרגום הצלילים באוזן הפנימית



צפו בסרטון וענו על השאלות במהלכו¹. בהתאם לנלמד בסרטון התאימו את התהליכים בהם צפיתם לתמונה:



התאימו בטבלה את המושגים הבאים למרכיבים המופיעים 1-4 והסבירו באמצעותם את תהליך קליטת המידע באוזן, והעברתו למוח:



- תרגום לאותות חשמליים
- הגברה
- גלים
- תנועה

¹ מורה שיבצע הרשמה ל- EDPuzzle יוכל להטמיע את הקישור לכיתתו, ולקבל את תשובות תלמידיו.

<https://edpuzzle.com>



פרק 1: הכרת המוח באמצעות חוש השמיעה

שלב	מיקום (בהתאם לאיור)	תהליך	הסבר כיצד פועל
1 קול	סביבה	התפשטות גלי קול	גל שינוי בדחיסות האויר בתדירות ובעוצמה הנקבעים על ידי מקור קול
2	עור התוף		
3	עצמות השמע		
4	תאי שערה		

האוזן הוא אחד מאברי החושים. על פי מה שלמדתם על חוש השמיעה, איזו הגדרה 

מהבאים מתאימה יותר לתפקיד החושים?

א. התמרה: איבר החוש מתרגם את המידע הנקלט לשפת מערכת העצבים

ב. הכנסה: איבר החוש מכניס את המידע ישירות לתוך המוח

ג. העברה: החוש מעביר מידע מהמוח לסביבה

נמקו את בחירתכם.

להרחבה:

[כיצד נוצרת אבחנה בין צלילים שונים?](#)





פרק 1: הכרת המוח באמצעות חוש השמיעה

להרחבה: השוואה בין האוזן למיקרופון



צפו [בסרטון](#):



השוו בין האוזן למיקרופון 

כיכד מתבצע באוזן	כיכד מתבצע במיקרופון	
		המידע הנקלט
		המרה ל
		תרגום לשפת המערכת (מוח\מכשיר)



אל תוך המוח



לאחר שהבנו כיצד המידע השמיעתי נקלט באמצעות האוזן, ועובר תרגום לשפת מערכת העצבים, אנו מתחילים את מסענו אל תוך המוח, מערכת העצבים המרכזית.

סמנו אילו שאלות מעניינות אתכם:

- ☐ איך המידע אודות הקול עובר בעצב השמע?
- ☐ כיצד המידע מגיע למודעות של השומע?
- ☐ לאן המידע מגיע במוח?
- ☐ איך המוח יודע להבחין בין רעשי רקע לבין מידע חשוב לשומע?
- ☐ מה משתבש אצל כבדי שמיעה?
- ☐ האם יש מידע קולי שמגיע אל המוח, אבל האדם אינו שומע אותו?

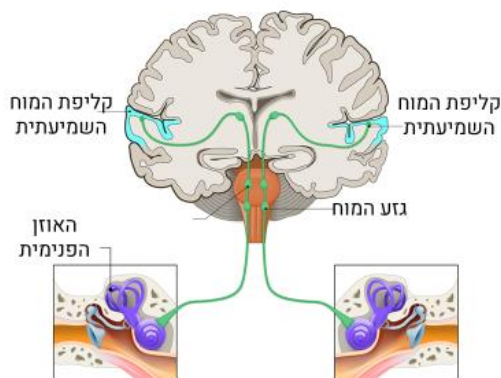


תוכלו להוסיף שאלה שלכם: _____

כדי לחקור שאלות אלו נדרשות שיטות המאפשרות להכיר את מבנה המוח והתהליכים בו.

נכיר מספר שיטות, חלקן משמשות כבדיקות של מערכת השמיעה.

ראשית נכיר את מסלול ההולכה של האות השמיעתי למוח:



כזכור, הקול עובר "תרגום" לאותות חשמליים-

שהיא שפת מערכת העצבים. אותות אלו

נכנסים באמצעות העצב השמיעה שיוצא

מהאוזן הפנימית אל גזע המוח. המסלול עובר

דרך מרכז המוח אל קליפת המוח השמיעתית.



פרק 1: הכרת המוח באמצעות חוש השמיעה



1. באיור ניתן לראות שהמסר השמיעתי עובר, לכל אורך הדרך, בשני צדדים: ימין ושמאל.

איזה מידע לדעתכם ניתן לקבל מהעובדה שאנו שומעים בשני אוזניים, ומעבירים את

המסר הקולי משני צדדים אלו?

2. תכננו ניסוי בו תשתמשו באטמי אוזניים, לפיו תוכלו להסביר את היתרון של החלוקה

של מערכת השמיעה לשני צדי הגוף.

א. הגדירו שאלת מחקר

ב. תכננו ניסוי

ג. בצעו את הניסוי, וארגנו את התוצאות בטבלה.

ד. הסיקו מסקנות

ה. הסבירו את תוצאותיכם לאור המידע שלמדתם על תהליך השמיעה עד עתה.



מסלול השמיעה שלב 2: 5 אלפיות השניה הראשונות



למדנו שהמידע הקולי מתורגם באוזן הפנימית לשפת מערכת העצבים - אותות חשמליים. על כן ניתן לקלוט את מעבר האות השמיעתי באמצעות מדידה חיצונית, באמצעות אלקטרודות רגישות לשינויי מתח מזעריים (אלפיות הוולט), המוצמדות לקרקפת. נכיר את תחילת מסלול השמיעה באמצעות בדיקה לא חודרנית המאפשרת לקלוט את המתח החשמלי הנוצר בעקבות קול.

לשם כך נשתמש בבדיקת ABR (נקראת גם BERA²). בדיקה זו בודקת את תגובות חשמליות הנוצרות בעקבות השמעת קול. הבדיקה לא דורשת שיתוף פעולה של הנבדק והיא לא פולשנית, כך שמתאימה לביצוע למשל בתינוקות. אופן הבדיקה: על הנבדק להיות רגוע מאד או ישן.



באמצעות אוזניה משמיעים קול נקישה (יש להגדיר עוצמה ותדר). על הראש מצמידים אלקטרודות (למשל באמצעות מדבקה), המחוברות למכשיר מדידה. מודדים את השתנות המתח החשמלי לאורך כ-10 אלפיות השניה מרגע הישמע הקול. חוזרים על התהליך פעמים רבות, בקצב קבוע (למשל 10 או 55 פעמים בשניה), וכך ניתן לראות גלים המציג את השתנות המתח החשמלי לאורך תחילת מסלול השמיעה, מהאוזן ועד למוח התיכון³.

² פוטנציאלים מעוררים מגזע המוח השמיעתי. Auditory Brain stem Evoked Response

³ הדגמה למדידה של ABR באמצעים פשוטים: [כאן](#)



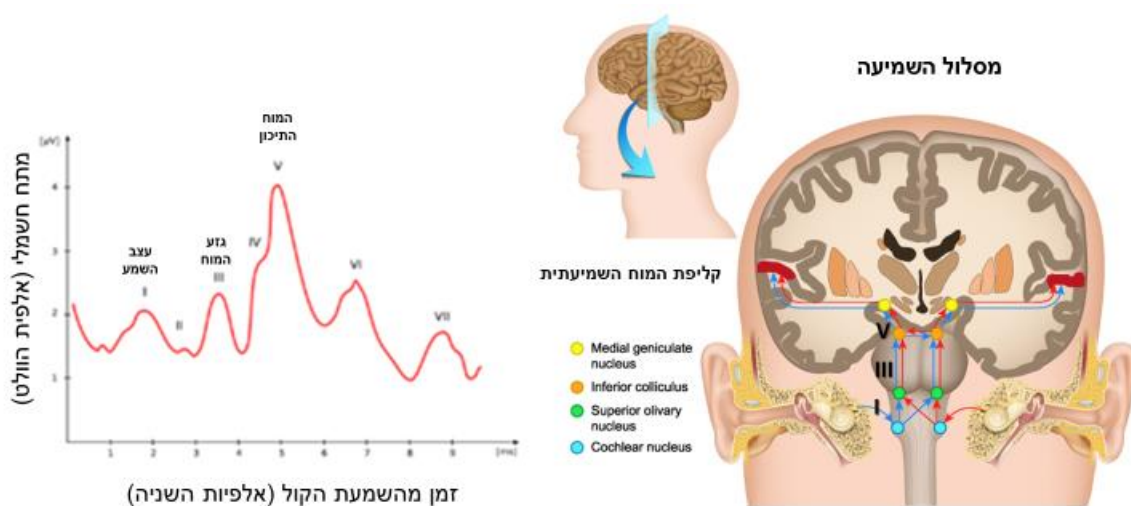
פרק 1: הכרת המוח באמצעות חוש השמיעה

בדיקה זו מאפשרת אבחון של ירידה בשמיעה, על ידי השוואת הגלים המתקבלים מעוצמות קול שונות, וכן אבחון בו ניתן להגדיר פגיעה באזורים שונים במסלול השמיעה הגורמים לירידה בשמיעה.

להרחבה: **סרטון המדגים את הבדיקה**
(ניתן להגדיר תרגום אוטומטי בעברית באמצעות ההגדרות)



תבנית תקינה של רישום ABR והגדרת מקור הגלים לאורך מסלול השמיעה:

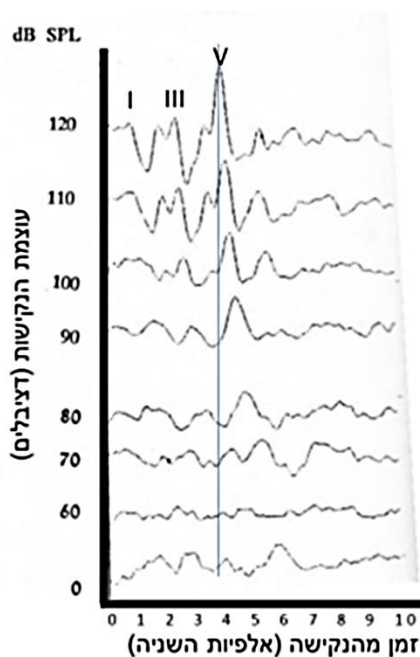


באיור זה ניתן לראות את המקורות במסלול השמיעה האחראים לשינויים במתח החשמלי, הגל הראשון והשני נובעים מאותות חשמליים בעצב השמע היוצא מהשבלול באוזן הפנימית ומתחבר לגזע המוח. הגל השלישי נוצר מאותות בגרעין בגזע המוח, והגל החמישי, בהמשך המסלול, בגרעין במוח התיכון.



מה אנחנו יכולים ללמוד על המוח באמצעות בדיקה זו? נדגים מספר רישומים.

1. איך ניתן למדוד את סף השמיעה?



לפניכם רישום שנעשה לאדם בעוצמות קול שונות באוזן

ימין⁴. כל רישום מציג את השתנות המתח החשמלי

בעוצמה שונה, מהעוצמה הגבוהה 120 דציבלים, ועד ל-0.

הגרף מייצג את עוצמת התגובה לקול, הנמדדת באמצעות

גובה המתח החשמלי לאורך 10 אלפיות השנייה החל

מגירוי הקול- נקישה.

היעזרו בסמן הממוקם קרוב לגל V – שינוי במתח החשמלי

במוח התיכון.

כיצד הולכת המידע משתנה עם הירידה בעוצמת הקול?



זמן התגובה: בחר פריט. מתארך מתקצר

המתח החשמלי: בחר פריט. גדל קטן

באיזו עוצמה לדעתך הנבדק לא מגיב לנקישות (סף השמיעה)? בחר פריט. בין 0 עד 120

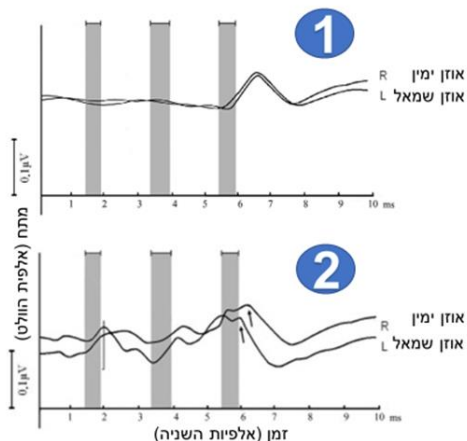
⁴ נרשם ע"י לסלו אסתר



2. כדי להבין את הקשר בין ליקוי שמיעה לבין מיקום הפגיעה המוחית נסתכל על הגרפים

הבאים, ונשווה אותם לתמונת המוח המתקבלת באמצעות בדיקת MRI.

לפניכם שתי בדיקות⁵:



נבדק אחד פגוע בשני האוזניים. השני פגוע

באזורי המוח: סובל מתת לחץ תוך גולגלתי,

שמ שפיע גם על עצב השמע.

התאימו בין תרשימי ABR לבין

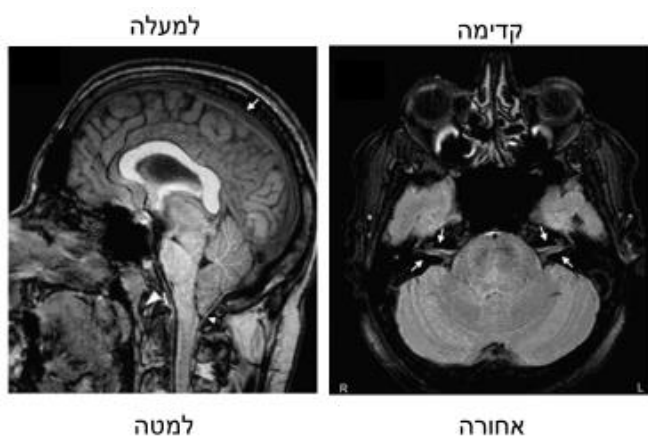


המקרים השונים⁶ ונמקאות תשובתכם.

3. להרחבה: לפניכם דוגמה לליקוי שמיעה שנגרם בשל פגיעה מוחית. אחד הנבדקים

שהרישום שלו מופיע בשאלה הקודמת, אובחן כסובל מלחץ תוך גולגלתי. הוא נבדק

גם באמצעות דימות תהודה מגנטית MRI, הממחיש את המוח. מוצגים תמונות ה-MRI



בחתך אנכי (תמונה

שמאלית), וחתך אופקי

בגובה העיניים והאף

(תמונה ימנית). החיצים

הלבנים מראים את

האזורים המושפעים ממצב

זה. למשל לחץ על עצב

השמע. ברישום של ABR (שאלה 4) ניתן לראות שחל שינוי בתזמון של המסר

השמיעתי בין אוזן שמאל ואוזן ימין. מדוע לדעתכם יש פער בין הצדדים? ואיך

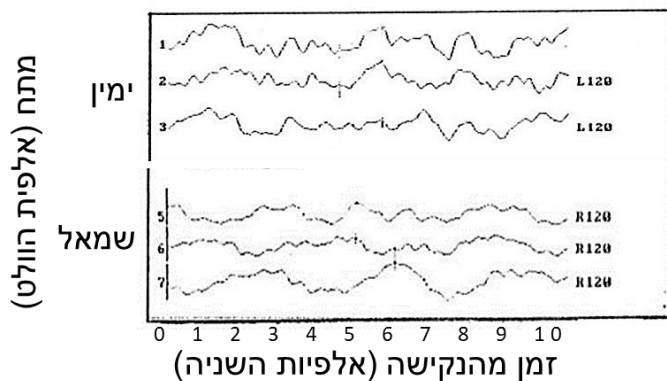
לדעתכם פער כזה יכול להשפיע על השמיעה?

⁵ אבחנה בין ליקוי שמיעה הנגרם בשל ליקוי בהולכת הקול באוזן החיצונית או התיכונה (פגיעה הולכתית), לבין ירידה בשמיעה עצבית, הנובעת מליקוי בחלק העצבי של מערכת השמיעה (עצב השמע והמוח).

⁶ מתוך <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2019.04.003> [Under a Creative Commons license] Di Stefano, V., Ferrante, C., Telese, R., Caulo, M., Bonanni, L., Onofri, M., & Franciotti, R. (2019). Brainstem evoked potentials and magnetic resonance imaging abnormalities in differential diagnosis of intracranial hypotension. *Neurophysiologie Clinique*, 49(3), 217-226.



4. פגיעה בהולכה של האותות החשמליים (הולכה עצבית) ניתן להדגים באמצעות מחלת הטרשת הנפוצה. במחלה זו נפגע הבידוד של תאי העצב המוליכים את האותות החשמליים. ניתן לדמות זאת לחוט חשמל בו נפגם הבידוד. בחולים שנפגעו באזורי



מערכת השמיעה משתנים הגלים הנרשמים, מאחר והאותות השמיעתיים עוברים בעצב השמע ובמוח באמצעות תאים פגועים. לפניכם דוגמה לרישום מחולה טרשת נפוצה. מודגמים כאן 3 רישומים מאוזן ימין, ושלושה מאוזן שמאל⁴.

תארו את ההבדל בין תוצאות הרישום לחמשת הגלים ברישום תקין. איך ניתן להסביר תוצאות הרישום בחולי טרשת נפוצה?

סיכום מסלול השמיעה במוח- 5 אלפיות השניה הראשונות:

- ✓ **המסר השמיעתי עובר מהאוזן הפנימית לעצב השמע, ומשם נכנס אל המוח ועובר במסלול מוגדר, במספר תחנות עד לאזור מוגדר בקליפת המוח: קליפת המוח השמיעתית באמצעות בדיקת ABR מתקבל מידע אודות אזורים בעצב השמע, גזע מוח והמוח התיכון.**
- ✓ **המסר עובר באמצעות אותות חשמליים.**
- ✓ **ניתן למדוד את האותות החשמליים באמצעות אלקטרודות המוצמדות לראש, המחדדות את המתח החשמלי בזמנים מוגדרים לאחר השמעת קול.**
- ✓ **ניתן לזהות ליקויי שמיעה גם ללא מעורבות פעילה של הנבדק.**
- ✓ **הבדיקה מאפשרת זיהוי תבניות תגובה לעוצמות קול שונות, לגובה צליל שונה (תדירות), ולהבדלים בין אוזן ימין ואוזן שמאל.**
- ✓ **ניתן לאבחן במקרים רבים את מקור הליקוי במסלול, באמצעות אפיון גלי הרישום.**



מסלול השמיעה שלב 3:



זיהוי פעילות מוחית בקליפת המוח

זיהוי פעילות בקליפת המוח מאפשרת הצצה לתהליכי עיבוד המידע.

מה נעשה בקליפת המוח? היכן אנחנו "מרגישים" את הקולות? ואיך אנחנו מבינים את המסר

השמיעתי?

הדמיית תהודה מגנטית תפקודית המוח, [f-MRI](#), זו שיטה המאפשרת מעבר לתמונת ה-MRI

המציגה אותות מגנטיים מהמוח, המתייחסת לרמת התפקוד של אזור במוח, על פי המדד של

זרימת דם המספק חמצן לאזורים בהם יש תפקוד גבוה. כך ניתן לבדוק לא רק איזה אזור פועל,

אלא באיזו רמה הוא פועל.

תהודה מגנטית תפקודית (Functional MRI) מתבססת על הבדלי צריכה של סוכר וחמצן בין אזורים בקליפת המוח בהתאם לרמת פעילות. כך ניתן להבחין בין אזורים פעילים לעומת אזורים הנמצאים במצב של מנוחה. במצב פעיל נדרשת אנרגיה המופקת באמצעות חמצן וסוכר, המסופקים לאזורים הפעילים על ידי כלי הדם. המדידה במכשיר ה-fMRI התפקודי מתבססת על שינויים זעירים בקצב זרימת הדם העשיר בסוכר וחמצן, לאזורי הפעילות, בהתאם לרמת הפעילות. מכשיר ה-fMRI קולט את התכונות המגנטיות הייחודיות שיש לדם המחומצן, ומתרגם את רמת הפעילות לשינויי צבע, בין כחול לאדום.

בסרטון הבא נוכל לראות היכן ועד כמה המוח מגיב לצלילים בתדירויות שונות (מהצליל הנמוך

עד לגבוה). הצבע האדום מייצג פעילות גבוהה של האזור, ואילו הצבע הכחול - פעילות נמוכה.



1. הפעילו את [הסרטון](#) במלואו.

2. הפעילו שוב, והפעם עצרו לאורך הסרטון בגבהים

שונים של הצליל. בדקו בהתאם לפיזור הצבע, את

ההבדלים בעוצמת פעילות המוח באזורים השונים.



3. מה תוכלו לומר על ההבדלים בפעילות אזורים שונים בקליפת המוח השמיעתית

בעקבות צליל נמוך, לעומת צליל גבוה?

4. שאלת אתגר: לאורך כל המסלול מעצב השמע ועד לקליפת המוח עוברים סיבי עצב

רבים. האם כל הסיבים לדעתכם מוליכים מידע אחיד, או שישנם סיבים המוליכים מידע

על קול בתדירות (גובה צליל) גבוהה, ואחרים על קול בתדירות נמוכה? הביאו ראיות

לטענתכם מהסרטון וכן מהסרטון הקודם: [תרגום הצלילים באוזן הפנימית](#)

בדומה למדידות של מתח חשמלי על ידי אלקטרודות חיצוניות, בתחילת מסלול השמיעה

(ABR), אותם הכרנו, ניתן למדוד שינויי מתח של המוח לאחר זמן ממושך יותר מרגע השמעת

צליל.

EEG

הפעילות הנורמלית של תאי העצב בקליפת המוח מתנהלת בזרמי חשמל זעירים. אלו ניתנים למדידה חיצונית בבדיקה בשם EEG, (אֶלֶקְטְרוֹאֶנְצֶפָלוֹגְרָם).

ERP [פוטנציאל קשור-אירוע או פוטנציאלים מעוררים]

ניתן למדוד גלי EEG הנוצרים כתגובה של המוח במשך פרק זמן קבוע, למשל שניה אחת, החל

מגירוי שניתן לנבדק, למשל השמעת קול נקישה או צפצוף, או דיבור, וכן גירויי חושים אחרים

✓ ABR נמדד עד ל-10 אלפיות השניה מהשמעת

הצליל.

✓ לאחר כ-100 אלפיות השניה ניתן למדוד מתח

חשמלי [ERP] המייצג רגישות למאפיינים של

הצלילים- כמו עוצמה, תדירות (גובה צליל) ומשך

הצליל. אך כל זה אינו מעיד על מודעות או פעילות מחשבתית של הנבדק.



Baburov



✓ בסביבת 300 אלפיות השניה (1/3 שניה) מהשמעת הקול (או גירוי חושי אחד, כמו למשל תמונה), נמדד גל [ERP] גל שנחקר רבות. גל זה, המכונה P300 או P3, מתקבל רק בזמן גירוי חריג, בו הנבדק מרגיש שינוי או מופתע. הגל מעיד על תשומת לב או מודעות של הנבדק.

דוגמה לניסוי פשוט המציג גל P300 מופיעה בסרטון. צפו וענו על השאלות המשובצות בו:



עיקר המידע בסרטון
תורגם לעברית

ראינו שניתן לקבל מידע על פעילות המוח בעקבות קול, הקשורה לעיבוד מידע. למשל זיהוי קול חריג.

עוד על עיבוד מידע בקליפת המוח.

בחרו באחת השימושהבאות:

א. גל P300 כגלאי שקר

גל P300 מאפשר אבחנה של מידע מוכר (למשל קול מוכר, או תמונה \חפץ מוכר). בהתאם, ניתן להראות או להשמיע לאדם קולות או חפצים או תמונות, למשל מאזור פשע. מחקרים שונים⁷ הראו שאם חוקרים אדם אודות מידע שהוא מסתיר (כמו מידע ששיקר לגביו בחקירה), ניתן לזהות בבדיקת EEG גל P300 באחוזים גבוהים מאד של המקרים. יש המציעים להשתמש

⁷ Bablani, A., & Tripathi, D. (2018). A review on methods applied on P300-based lie detectors. *Advances in Machine Learning and Data Science*, 251-257.



פרק 1: הכרת המוח באמצעות חוש השמיעה

במדד זה כחלק מבדיקת פוליוגרף (מכונת אמת), אך יש המתנגדים לכך, בשל הטענה שמדובר בהפרת פרטיות של אדם.

1. על מה מתבססת ההנחה שניתן לגלות אם אדם משקר?



2. האם הייתם ממליצים להשתמש בבדיקה זו כפוליוגרף? איזה מידע יכול לעזור לכם

להחליט בעניין? תוכלו לקרוא עוד ב**קישור**

ב. שילוב מידע מחושים שונים



צפו ב**סרטון**:

אשליה שמיעתית

- ההשפעה של הראיה על השמיעה

מה ניתן ללמוד מתופעה זו על עיבוד המידע במוח?



ג. מיקוד קשב

עיבוד הקול בקליפת המוח מאפשר לבחור את הקולות בהם אנו מעוניינים להתמקד, ובהתאם שאר הקולות מבחינתנו יסוננו כקולות רקע.

קראו את המאמר הבא: **בת שחר דורפמן (2019) חוקרים שוקדים על פיתוח מכשיר שיאפשר**

ללקויי שמיעה להתמקד בקולו של דובר אחד בסביבה רועשת. מכון דוידסון, מכון ויצמן למדע

הסבירו כיצד ניתן לזהות את המיקוד שבחר בו הנבדק?



להרחבה: בדיקת שמיעה התנהגותית (אודיומטריה), המבוססת על דיווח של הנבדק:

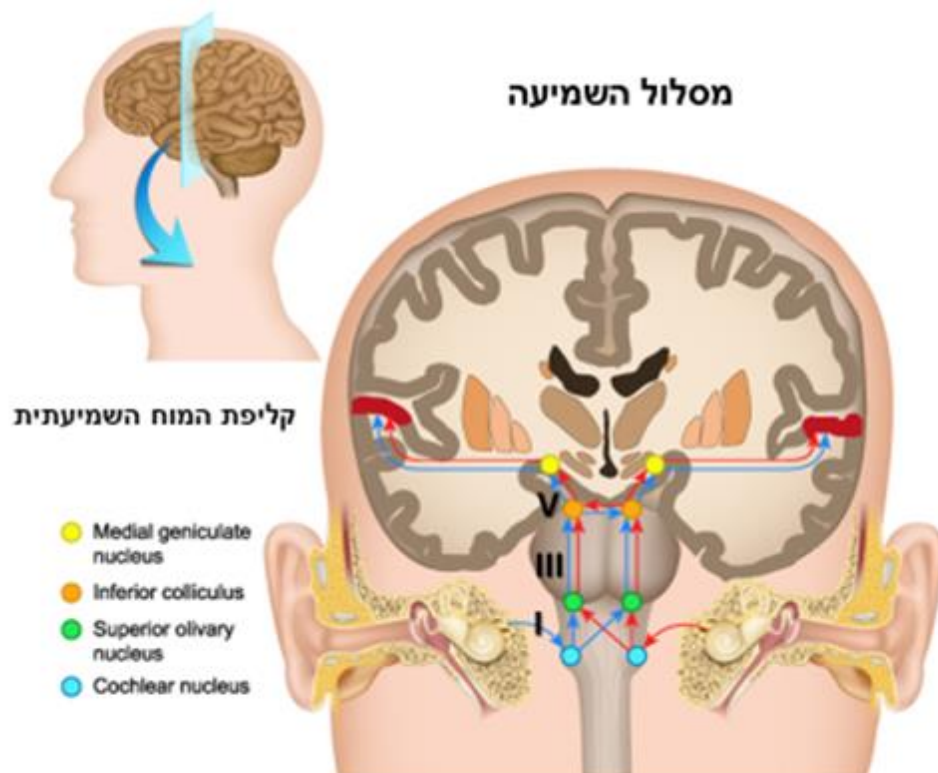
סרטון: אברי עובר בדיקת שמיעה, וכתבה- פיענוח בדיקות שמיעה YNET.





סיכום עיבוד המידע בקליפת המוח

- ✓ תחילת המסלול בקליפת המוח (עד כ- 100 אלפיות השניה מהשמעת הקול), המידע הקולי, בהתאם לאפיון בו נקלט מגיע אל אזור קליפת המוח השמיעתי.
- ✓ עיבוד המידע נערך בקליפת המוח. למשל אבחנה בקול חריג, כצליל שונה או מידע מוכר.
- ✓ בקליפת המוח המידע הקולי משולה עם מידע הנקלט מחושים אחרים ליצירת משמעות.
- ✓ האדם מסוגל לסנן את המידע הנקלט מתוך קולות שונים הנשמעים בו-זמנית, ולהתמקד במידע שאותו הוא בוחר.

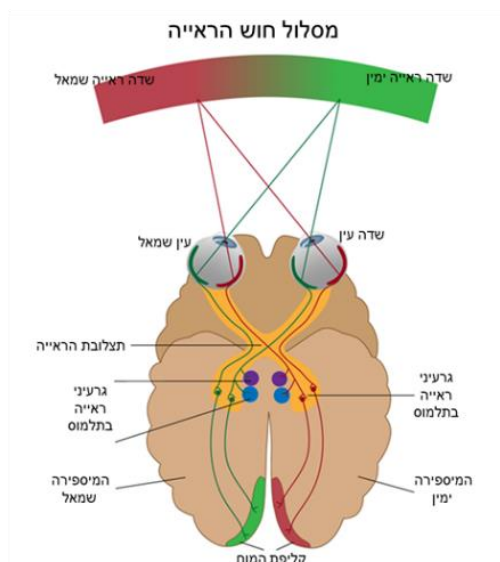
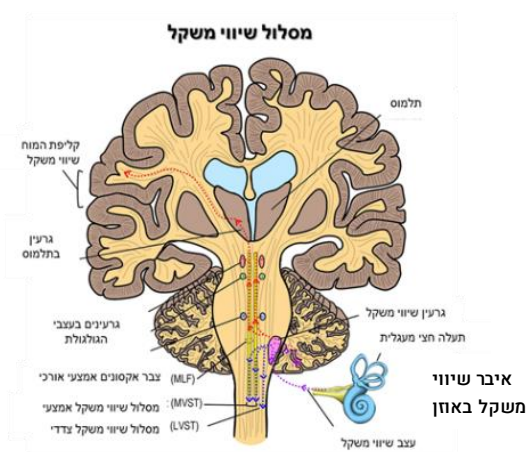
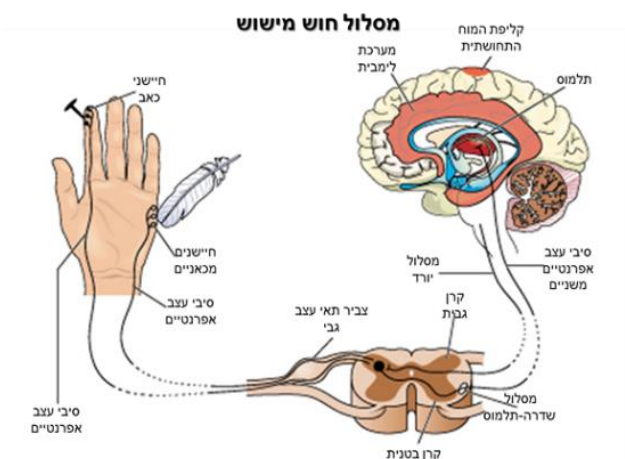
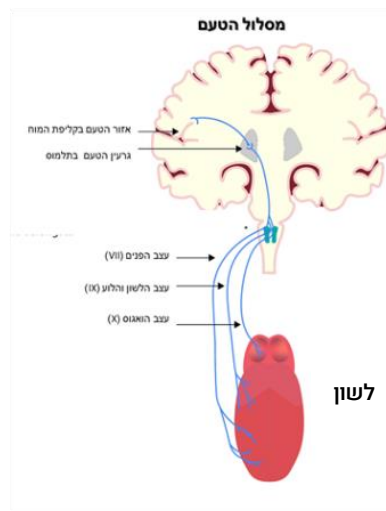
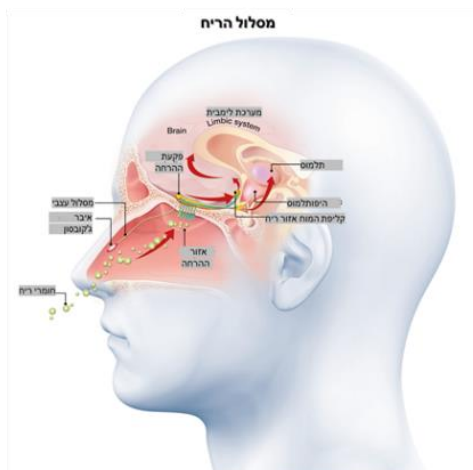




קליטת המידע במוח- סיכום

לפניכם מסלולים של חושים שונים.

חיצים בכל איור מסמנים את המסלול מהגירוי ועד לקליפת המוח





פרק 1: הכרת המוח באמצעות חוש השמיעה

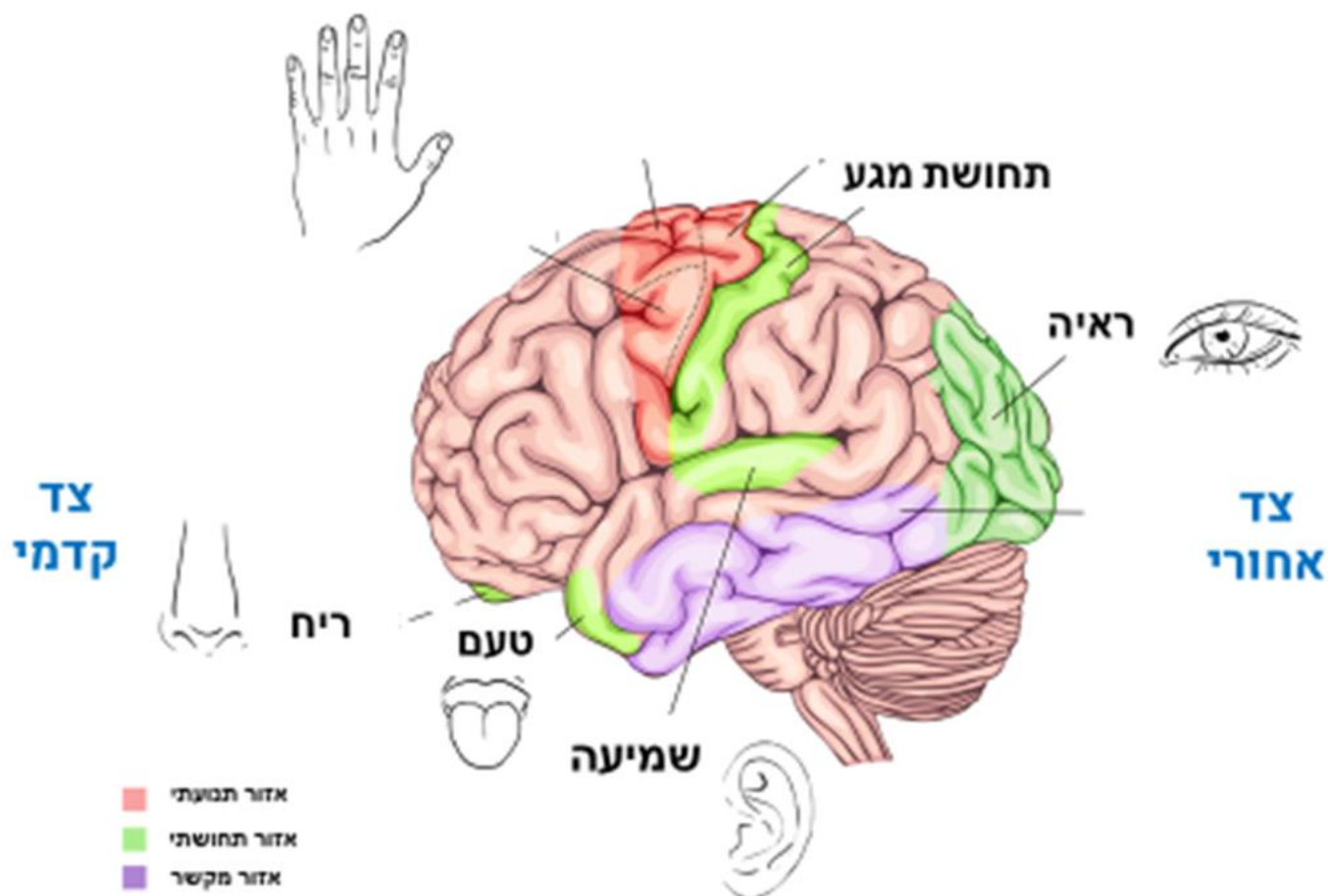
התבוננו באיורים ומלאו את הטבלה הבאה:

חוש	המידע הנקלט	איבר\מיקום החוש	תפקיד האיבר	מסלול מ...דרך...עד ל...
שמיעה	קול			
ראייה				
ריח				
טעם				
שיווי משקל				
מגע				



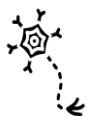
לפניכם מפה של קליפת המוח. האזורים הצבועים בירוק מייצגים את החושים:

המוח- מבט מהצד



אתגר: מצאו את האזורים שהוצגו במפה-

במבנה המוח התלת ממדי שב [קישור](#)



פרק 2: תקשורת והולכה עצבית

- מבנה תא עצב והתאמתו לתפקוד
- העברת מידע במערכת העצבים: כימית וחשמלית
- הסינפסה אזור התקשורת בין תאים
- פגיעה בתאי המוח: פרקינסון, אלצהיימר, טרשת נפוצה



עד עתה עסקנו בקשר בין האדם והחושים שלו, להבנת המערכות של החושים

והמוח. למדנו ששפת מערכת העצבים מבוססת על אותות חשמליים, שניתן

למדוד אותם. כמו כן ראינו שמערכת העצבים מתפקדת באמצעות מסלולים,



כמו מסלולי החושים- מהחוש אל קליפת המוח. אבל איך כל זה פועל?

כדי להבין איך המערכות פועלנו עלינו להיכנס לרמה המיקרוסקופית, ולהבין מה קורה



בתאים המרכיבים את מערכת

העצבים והמוח.

נכיר תחילה את תאי העצב.

1. התבוננו בתאי העצב.



א. השוו את תא העצב לתא בעל חיים המוכר לכם:

זהו לפחות 3 ממרכיבי התא (1-7).

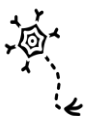
ב. אילו מרכיבים מתוכם אתם מזהים

בתא העצב?



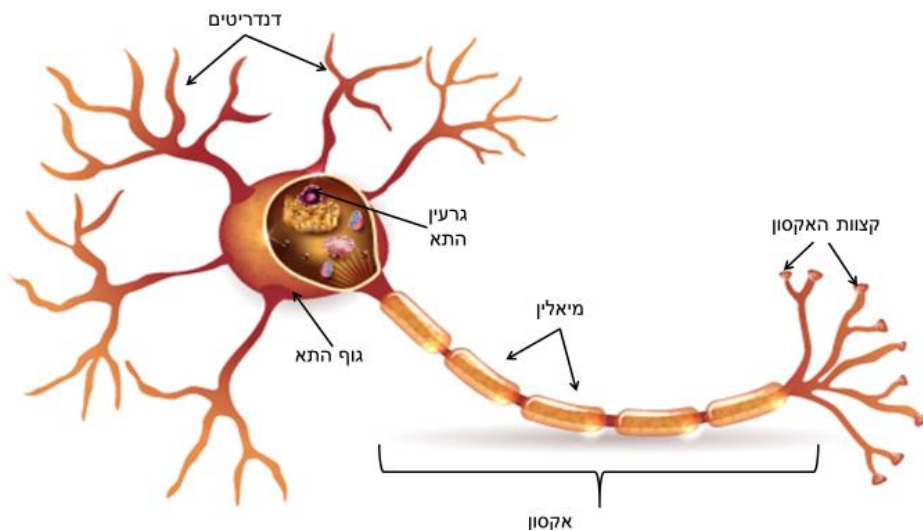
ג. מה מיוחד בתאי עצב?





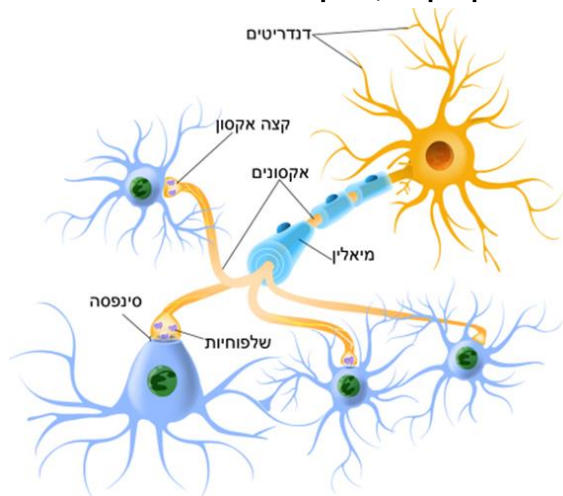
ד. בפרק הקודם הכרנו מעט את המוח והחושים. נסו להסביר מתוך הסתכלות על צורת

תאי העצב, כיצד התא מתאים לתפקודים אותם הכרתם.



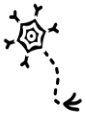
לפניכם תא עצב בודד, ומספר תאי עצב מקושרים ביניהם.

2. נסו לקשר בין מספר תכונות שהכרנו בפרק הקודם, לבין מבנים בתא עצב:



- i. המסר העצבי עובר במסלול קבוע
- ii. המסר העצבי מקודד באותות חשמליים
- iii. האות החשמלי מתקדם עם המסלול
- iv. עיבוד מידע מקשר בין מקורות מידע שונים

מספר תכונה	מבנה\ מבנים בתא\ ארגון התאים	הסבר
i		
ii	אקסון- קרום התא	האות החשמלי נוצר על ידי תהליכים לאורך תא העצב



תאי עצב- הקשר בין מבנה ותפקוד:

✓ תא עצב מעביר מסרים מכיוון הדנדריטים דרך האקסונים עד לקצות

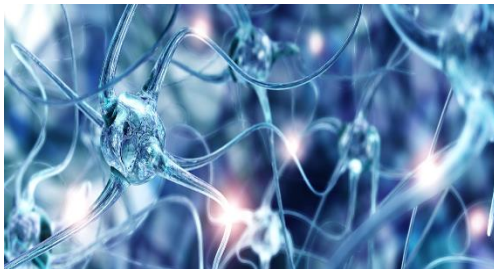
האקסונים.

✓ תא עצב מתקשר עם התאים הבאים (תאי מטרה) באמצעות סינפסה.

✓ הסינפסה היא מרווח בו עובר המסר העצבי בין תא העצב אל התא הבא: תא

עצב (דנדריט או גוף תא) או תא המופעל על ידי תא העצב, כמו שריר או בלוטה.

✓ המסר בתאי עצב נעשה באמצעות אותות חשמליים.



✓ האות החשמלי עובר לאורך האקסון

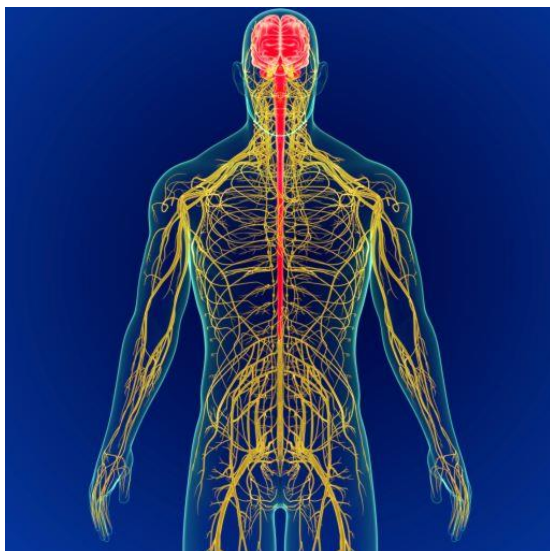
1. הסבירו כיצד תפקודים אלו מסבירים את ?

ארגון מערכת העצבים כרשת עצבית

כיווניות ברשת העצבית:

תאי העצב יוצרים רשת המחברת בין כל חלקי הגוף.

האיור שלפניכם מבחין בין שני חלקי מערכת העצבים. באדום מוצגת מערכת



העצבים המרכזית הכוללת את המוח

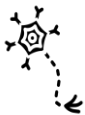
וחוט השדרה (המוקף בחוליות עמוד

השדרה).

מערכת העצבים ההיקפית, המסומנת

באיור בצהוב מעבירה מידע למערכת

העצבים המרכזית, מכל חלקי הגוף,



אודות הסביבה הפנימית והחיצונית. וכן מוסרת מסרים מהמערכת המרכזית אל כל חלקי הגוף.

בהתאם לכך ניתן לחלק את תאי העצב, הבונים רשת זו, לפי הכיווניות שלהם:

א. **תא עצב תחושת** מעביר מידע אותו הגוף מקבל על שינויים בסביבה החיצונית באמצעות החושים, או בסביבה הפנימית (כמו למשל לחץ דם, מצב הלב) במסלולי התחושה.

ב. **תא עצב תנועתי** מעביר הוראות הפעלה לשרירים או בלוטות שונות.

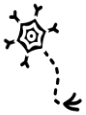
ג. **תא עצב מקשר** ממוקם במערכת העצבים המרכזית. תאים מקשרים יוצרים רשתות עצבים המאפשרות עיבוד מידע, ותהליכים מורכבים כמו תהליכי תפיסה וזיכרון ועוד.

בהתאם לתפקודי תאי מערכת העצבים, תא עצב מקשר ממוקם במסלול בכיוון



בחר פריט. תא עצב תנועתי ממוקם במסלול **בחר פריט**. ואילו תא עצב מקשר ממוקם במסלול **בחר פריט**..

מהגוף אל המוח מהמוח אל הגוף בתוך המוח



להרחבה: העברת מידע בתא העצב: פוטנציאל פעולה

תאי העצב מעבירים מידע באופן חד כיווני.

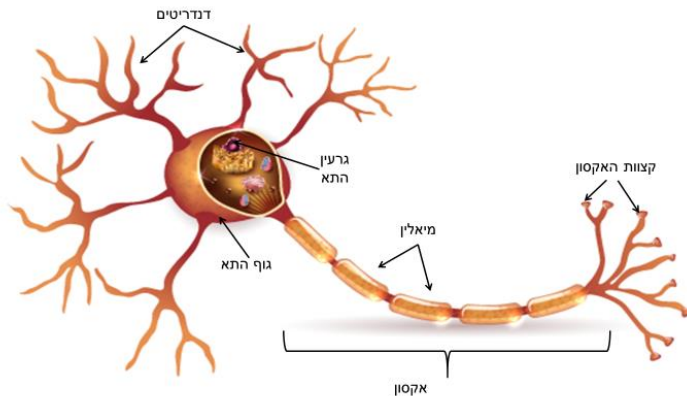
המסר מתקבל באמצעות הדנדריטים או גוף התא. בגוף התא נעשה סיכום של המסרים

שהתקבלו בו-זמנית, והחלטה האם

להעביר מסר.

המסר העצבי עובר כאות חשמלי מכיוון

הדנדריטים לקצה האקסון.



סמנו אילו שאלות מעניין אתכם ללמוד במהלך פרק זה:

☐ איך נוצר אות חשמלי בתא?

☐ מדוע האות החשמלי עובר בכיוון אחד ואינו יכול לחזור אחורה?

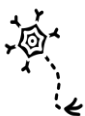
☐ איך התא מחליט האם להעביר הלאה את המסר שהתקבל?



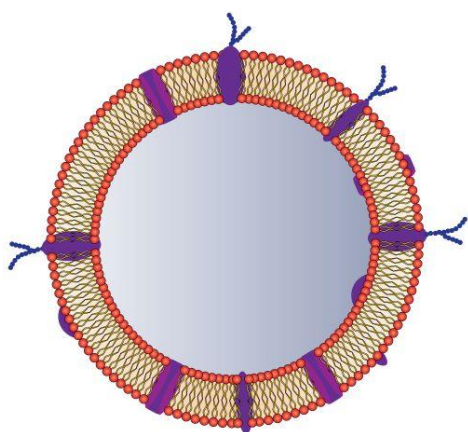
☐ מדוע מסלול עצבי בנוי ממספר תאים ולא מתא אחד ארוך?

☐ מה קורה כשיש שיבוש בהעברת אותות עצביים?

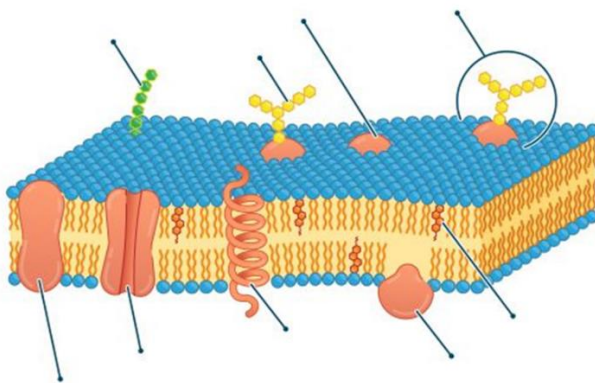
☐ תוכלו להוסיף שאלה משלכם _____



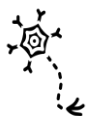
כדי שנוכל להבין כיצד נוצרים אותות חשמליים בתאים, נזכר במבנה קרום התא (ממברנה). תאי עצב, בדומה לכל תא ביולוגי, מוקפים בקרומי תא, הבנויים משתי שכבות של פוספוליפידים- מולקולות שומן שיוצרות מידור⁸ בין סביבת פנים התא לסביבה החוץ תאית.



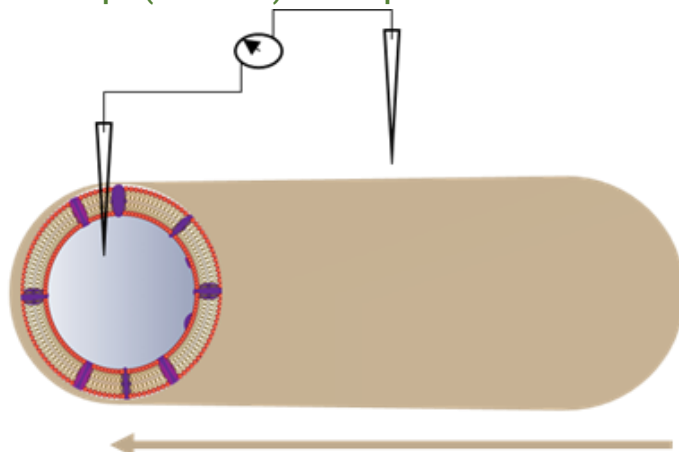
למרות המידור בין הסביבות, מתאפשרת העברת מולקולות בין מדורים באופן מבוקר. למשל הכנסת חומרי מזון, ומולקולות המשתתפות או משפיעות על פעילות התא. אלו מתאפשרות בעיקר בשל מבנים הבנויים ברובם מחלבונים, המהווים תעלות, משאבות או קולטנים.



⁸ קרומים יוצרים מדורים שונים, שיכולים להיות שונים למשל בהרכב החומרים, בריכוז ובמטען חשמלי.



האות חשמלי מתבסס על הבדלי מטען חשמלי (פוטנציאל) בין פנים התא וחוץ התא.



כיצד מתפתח אות חשמלי בתא העצב?

במידת הצורך, נוכל להיזכר מהם יונים באמצעות הפעילות הבאה:

ניכנס לסימולציית PHET בקישור: [הרכב אטום](#).

בסימולציה תוכלו לחקור את מבנה האטום.

לחצו על "בנה אטום" והכירו את מרכיבי הסימולציה והאפשרויות השונות.



ניתן לבצע כל שינוי ולהחזיר את הסימולציה למצב התחלתי באמצעות הכפתור.

פתחו את תיבת "מטען משוקלל" באמצעות לחיצה על + ירוק מצד ימין.

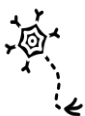
איזה מרכיב באטום קובע את המטען?

כיצד מתפתח האות החשמלי (פוטנציאל פעולה) המעביר את המידע במערכת

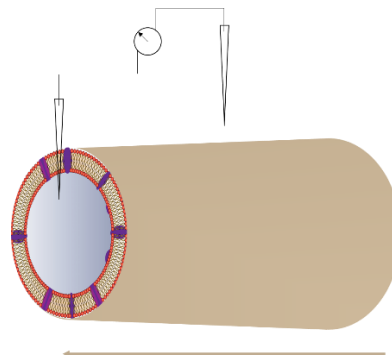
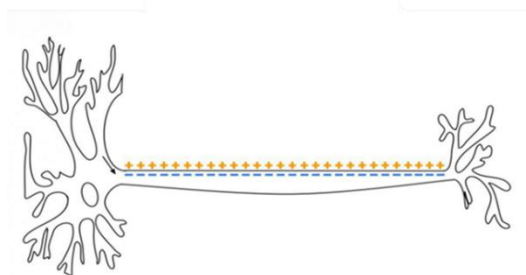
העצבים? נתבונן בתרשים המציג את האקסון של תא עצב. לאורך האקסון, המוקף קרום תא,

מתקדם אות חשמלי. ניתן למדוד את המתח החשמלי באמצעות אלקטרודה המוחדרת אל תוך

האקסון, ואלקטרודה שניה המודדת את המתח מחוץ לתא.

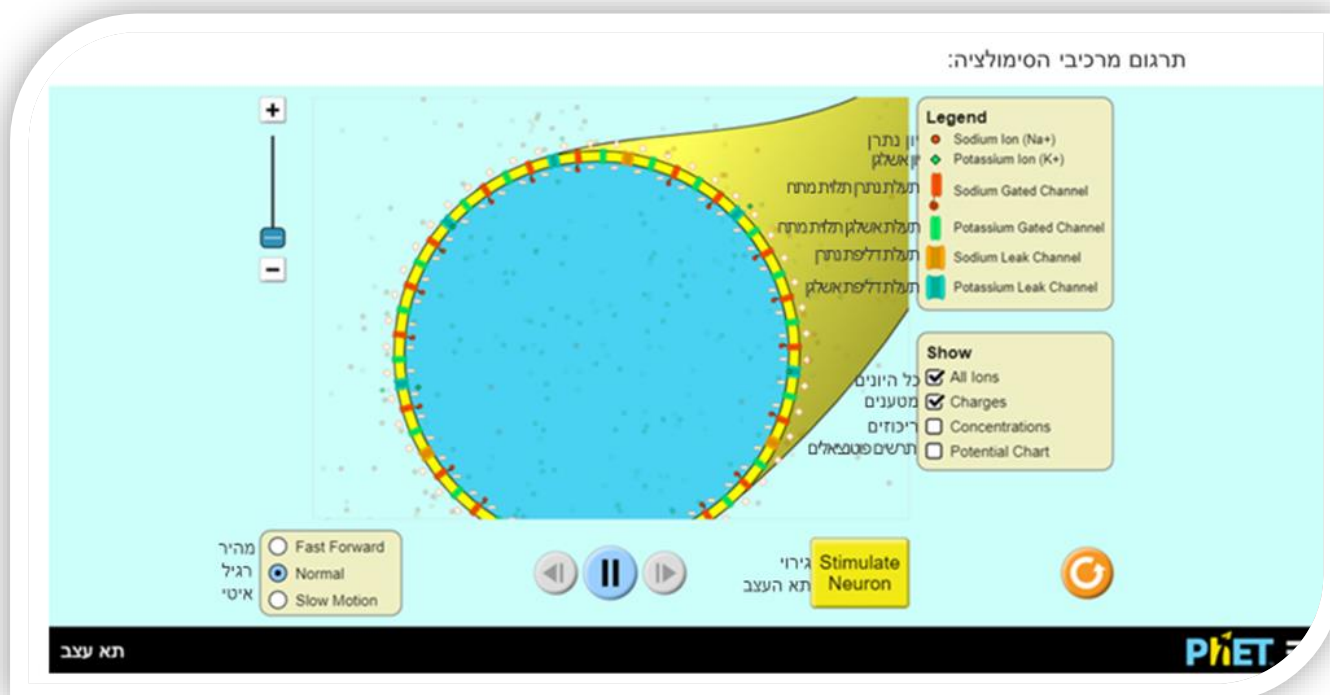


פרק 2: תקשורת והולכה עצבית



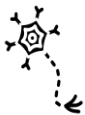
בסימולציה הבאה נחקור כיצד מתפתח האות החשמלי (פוטנציאל פעולה) בחתך בנקודה אחת לאורך התקדמות האות באקסון תא העצב.

לחצו על התמונה (המתורגמת) על מנת לפתוח את הסימולציה:



בסימולציה זו נבדוק מה קורה בתוך תא עצב במצב מנוחה, או לאחר שקיבל מידע- גירוי. גירוי= מידע שתורגם לשפת מערכת העצבים (מהחושים, או מידע פנימי).

לפניכם חתך של תא עצב. בקרום התא יש תעלות מסוגים שונים המאפשרים מעבר של יוני נתרן (כדורים כתומים) ויוני אשלגן (כדורים ירוקים) בין פנים התא לחוץ התא. כניסה ויציאה



של יונים אלו משנה את המטען החשמלי, וכך למעשה מתקדם האות החשמלי במערכת העצבים.

הנחיות:

אפיון תא עצב במצב מנוחה:

1. התבוננו בתנועת יוני הנתרן (כתום) והשלגן (ירוק). באילו תעלות הם עוברים? לאילו

כיוונים?

2. אילו תעלות במצב מנוחה סגורות?

3. סמנו Charge - על מנת להציג את המטענים החשמליים משני צדי קרום התא. מהו

המטען התוך- תאי, ומהו המטען החוץ- תאי?

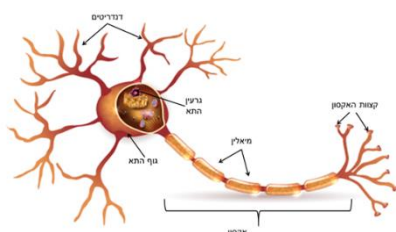
4. בחנו את מרכיבי הסימולציה הנוספים: הגדלה והקטנה (משמאל), ריכוזי היונים,

תרשים פוטנציאלים, מהירות.



5. לאחר שהכרתם את הסביבה לחצו לאיפוס באמצעות

תגובת האקסון עם גירוי התא:



6. צרו גירוי באמצעות Stimulate Neuron. השוו את

התקדמות האות לתמונת תא העצב.

← מאיזה כיוון הגירוי מגיע?

← האם תגובת קרום התא מתרחשת מייד עם

הניתן הגירוי?

7. כווננו את המהירות ל Slow Motion והגדילו את התמונה על ידי לחיצה על + משמאל.

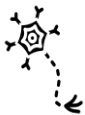
סמנו Charges להצגת מטעני פנים התא וחוף התא. עתה עקבו אחר המטען החוץ תאי.

צרו גירוי באמצעות Stimulate Neuron ובדקו מה קורה למטען החוץ תאי.

לאחר מספר שניות תוכלו ליצור עוד גירוי ולבחון את שאר המשתנים.

מלאו את הטבלה הבאה:

	נכנס ויוצא	נכנס	סגורות	פתוחות	-	+
מרכיב	בתגובה לגירוי	במנוחה				
מטען פנים התא	בחר פריט.	בחר פריט.				



מטען חוץ התא	בחר פריט.	בחר פריט.
תעלות דליפת נתרן\אשלגן	בחר פריט.	בחר פריט.
תעלות תלויות מתח	בחר פריט.	בחר פריט.
יון נתרן Na^+	בחר פריט.	בחר פריט.
יון אשלגן K^+	בחר פריט.	בחר פריט.

8. אפסו את הסימולציה באמצעות הכפתור הכתום. עתה סמנו תרשים פוטנציאלים

Potential Chart. צרו גירוי ואפיינו את השתנות התגובה (ציר X זמן, ציר Y מתח

חשמלי של קרום התא). מתי מתחיל השינוי החשמלי בנקודה הנבדקת באקסון?

9. אתגר: נסו למצוא מהו הפרש הזמנים הקצר ביותר בין שני גירויים של התא.

10. שאלת בונוס: האם תוכלו להסביר מדוע לא ניתן ליצור שתי תגובות צמודות?

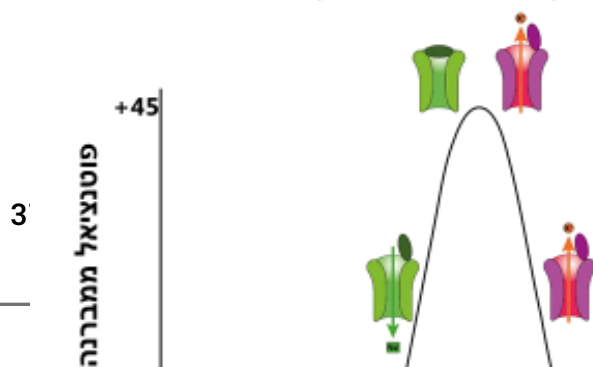
האות החשמלי אותו הכרנו הוא "פוטנציאל פעולה". זהו אות קבוע.

שפת מערכת העצבים נקבעת על ידי הגורמים הבאים:

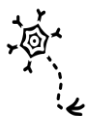
- ✓ אילו סיבים הגיבו?
- ✓ מה מיקומם?
- ✓ באיזה מסלול? (כך מסמלים למשל מיקום\ עוצמות וכדומה)
- ✓ כמה תאים הגיבו לגירוי?
- ✓ מהו משך הזמן בו מופעלים הגירויים?

פוטנציאל פעולה:

הפרש בין פנים התא לחוץ התא (פוטנציאל ממברנה) כתגובה לגירוי



- ☒ במנוחה פתוחות רק תעלות דליפה
- ☒ עם הגירוי נפתחות תעלות תלויות מתח
- ☒ מהר מאד נסגרות תעלות תלויות מתח והמצב חוזר למנוחה.



11. באיור מתוארת התקדמות פוטנציאל הפעולה לאורך האקסון. התבוננו באיור השמאלי.

באקסון האות מתקדם על ידי שינוי חשמלי בנקודה אחת, היוצר שינוי חשמלי בנקודה

הבאה במסלול וכך הלאה. שימו לב למטענים החשמליים באזורים המסומנים באדום.

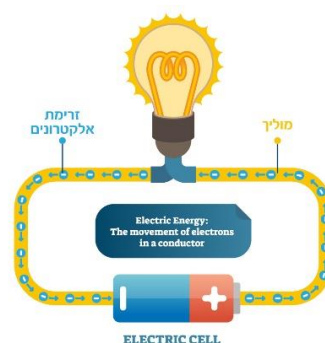
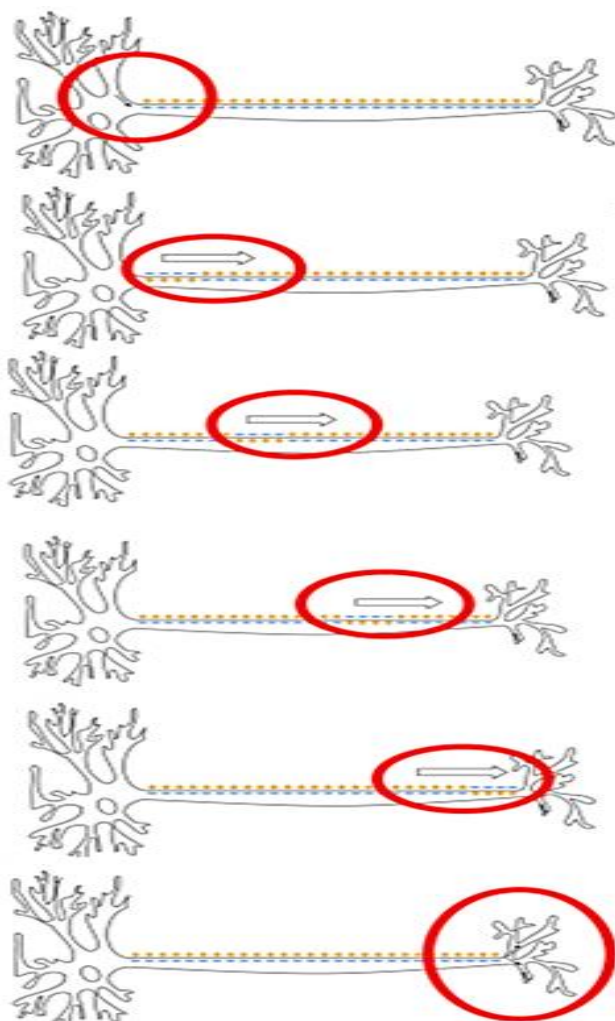
א. ההולכה של האות החשמלי בתא עצב מתבצע באמצעות גל מתקדם. בפתח היחידה הכרנו

את התקדמות גלי הקול

[ראו קישור]. במה דומה

התקדמות האות החשמלי

לגל?



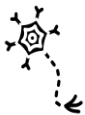
ב. השוו בין התקדמות האות

החשמלי בתא העצב

(פוטנציאל פעולה) לזרם

במעגל חשמלי (מימין).

קריטריון	במעגל חשמלי	באקסון תא עצב
	אלקטרונים	יוני נתרן ואשלגן
מהיכן להיכן עוברים החלקיקים?	מהאלקטרודה השלילית לחיובית	
	חוט מוליך	קרום התא
מה מתקדם לאורך המסלול?		גל שינוי במתח החשמלי
מדידה בנקודה אחת לאורך המסלול- מתח קבוע או משתנה?		



שיבושים בהעברת פוטנציאל הפעולה בתאי העצב:

השפעת ארס על העברה עצבית

קראו את הכתבה בקישור:

[אל-חי, ליאור. תושב הצפון ניצל מהרעלה קטלנית של דג אבו-נפחא בעזרת תמונה שצילם. Ynet 6 ביוני 2022.](#)

ארס דגים ממשפחת הנפוחיתאים, כמו הדג המכונה אבו נפחא, מכילים את הארס

Tetrodotoxin (TTX). בדומה להם, ארס זה נמצא בריכוזים שונים גם אצל מינים מקבוצות של

קרפדות, תמנונים, כוכבי ים וכדומה.

ארס זה נקשר אל תעלות נתרן על קרומי תא העצב. כך הארס חוסם את מעבר יוני הנתרן

בפוטנציאל פעולה.

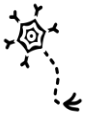
1. הסבירו מדוע ארס TTX משבש את פוטנציאל הפעולה בעצב?

2. לאור מה שלמדתם על מערכת העצבים, מה לדעתך יכול להיגרם כתוצאה מהרעלה

בארס זה?

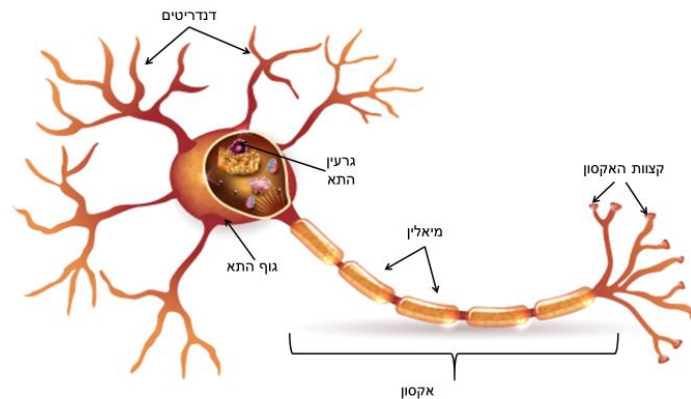


Photo by Stefanie Akkerman on Unsplash



מחלת הטרשת הנפוצה

מעבר פוטנציאל הפעולה נעשה יעיל באמצעות מעטפת מיאלין. האקסון מוקף במעטה הגנה שומני, מבודד. המיאלין בנוי ממקטעים המייעלים את ההולכה העצבית ומגינים על סיבי העצב.



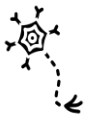
במחלת טרשת נפוצה המיאלין נהרס באזורים שונים במערכת העצבים.

המיאלין בתאי עצב אלו נראה דומה לאיור הימני:

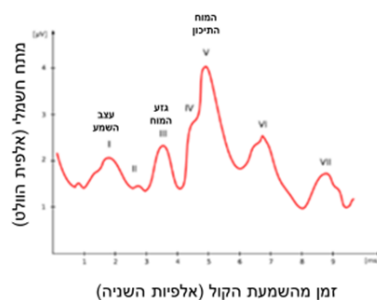
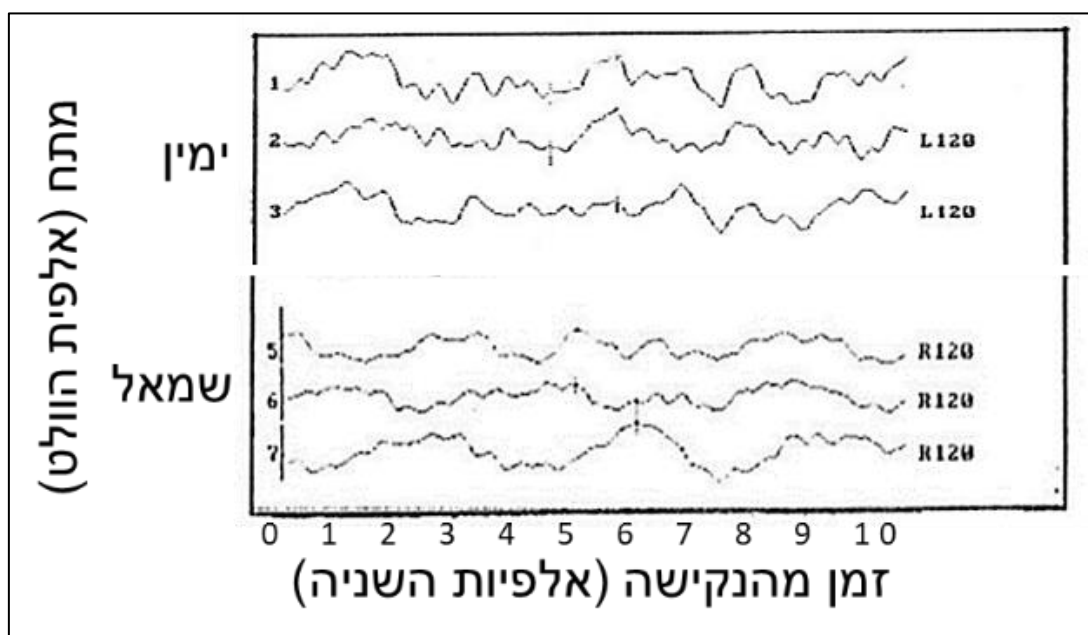


3. מה לדעתכם יכולות להיות ההשלכות של פגיעה בבידוד העצב על הולכת פוטנציאל

הפעולה? וכיצד השיבוש עשוי להשפיע על תפקוד החולה?

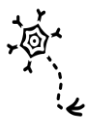


4. בפרק הקודם ראינו דגם של בדיקות שמיעה ABR מחולה בטרשת נפוצה. לפי הידע אותו למדתם על פוטנציאל פעולה, העמיקו את ההסבר להבדל בין הגלים שהתקבלו בחולה, ביחס לתבנית חמשת הגלים התקינה בתחילת מסלול השמיעה.



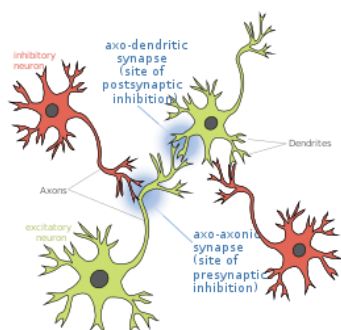
מצב תקין:

5. מחלת טרשת נפוצה פוגעת בנקודות שונות בכל אזורי מערכת העצבים, לכל אדם באופן שונה. השפעות המחלה משתנות מאדם לאדם. למשל קושי בראייה, בשיווי משקל וקואורדינציה, עייפות, זיכרון ועוד. מדוע אין אחידות תסמינים בין חולים שונים? וכיצד ניתן לדעתכם להסביר פגיעות אלו?



הסינפסה- העברת מידע עצבי בין תאים

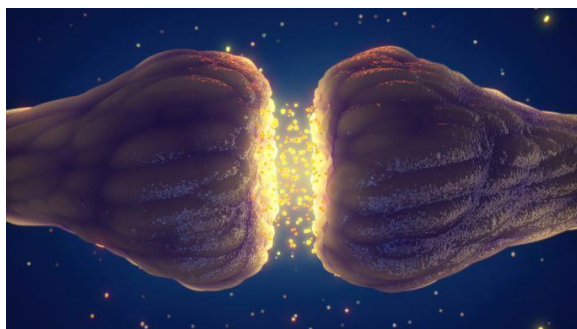
עד עתה למדנו כיצד המסר העצבי עובר לאורך האקסון בשפה החשמלית של מערכת העצבים: פוטנציאל פעולה. המסלולים העצביים אותם הכרנו, כוללים מעברים בין תאים. מעברים אלו מאפשרים איסוף מידע ממספר תאי עצב, ומכאן עיבוד מידע. התקשורת בין התאים השונים מאפשרת המשך העברת המידע במסלולים העצביים, אך גם תהליכים משמעותיים בהם התאים מסכמים מידע ממספר מקורות. מאחר וכמו שראינו, האות החשמלי הוא קבוע, כפוטנציאל



פעולה, משמעות עיבוד המידע הוא מנגנון שבו בגוף התא מסתכם כל המידע שהגיע במקביל, ובהתאם התא קובע האם להעביר את המסר העצבי הלאה במסלול. לתא העצב יש 2 אפשרויות: להגיב או לא להגיב. תגובת התא היא "הכל או לא כלום".

כדי להבין כיצד תא מתקשר עם תא עצב אחר, נביט במרווח שבין התאים: **סינפסה**.

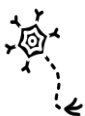
תא עצב אינו מחובר עם התאים השכנים. התקשורת ביניהם מתרחשת בין קצה האקסון של התא המוסר, התא הפרה-סינפטי, לבין הדנדריט של התא המקבל, התא הפוסט-סינפטי, אליו מועבר המסר. בין שני תאים אלו קיים מרווח שנקרא סינפסה. רוב הסינפסות מתקשרות ביניהם



באמצעות חומרים.

כאשר אות חשמלי (פוטנציאל פעולה) מתקדם אל עבר קצה האקסון בתא המוסר (הפרה-סינפטי), מתקבצות בו שלפוחיות

המכילות חומרי תקשורת עצביים, מתווכים עצביים = נוירטרנסמיטרים, אל עבר המרווח בין

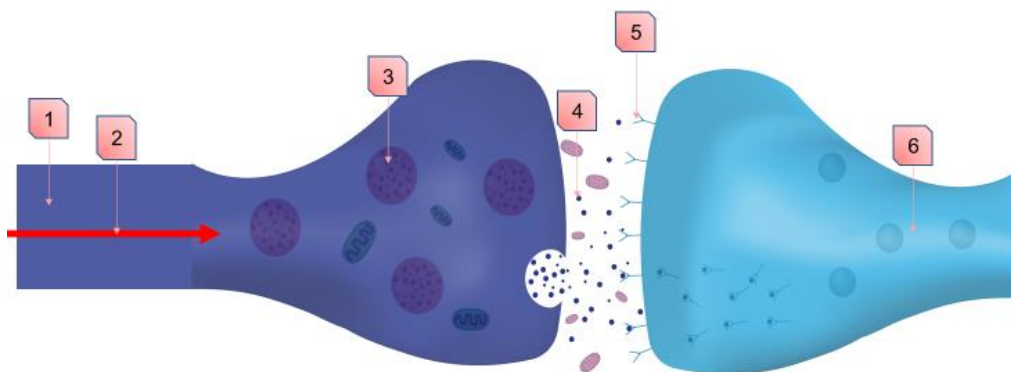


התאים (נוירו-עצב, טרנסמיטר-מוליך). השלפוחיות מתאחות עם קרום התא הקרוב למרווח, וכך נשפך התוכן שלהם אל עבר המרווח. חומרים אלו נקשרים על ידי קולטנים בתא המקבל, הפוסט-סינפטי, שלמעשה מפעיל תעלות שמשנות את המטען החשמלי. אם השינוי החשמלי מספיק גדול, יופעל התא הבא.

1. צפו [בסרטון מעבר מידע בסינפסה](#), ולאחריו התאימו את המושגים למספרים המסומנים בתמונה הבאה:



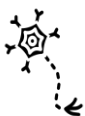
- ✓ מתווך עצבי
- ✓ שלפוחית המכילה מתווך עצבי
- ✓ מסלול העברת פוטנציאל פעולה
- ✓ סינפסה
- ✓ קולטנים
- ✓ דנדריט
- ✓ קצה אקסון



2. על מנת שהשפעת המתווך העצבי תהיה מדויקת, לא ארוכה ולא קצרה מדי, הוא מפורק על ידי אנזים הנמצא במרווח הסינפטי, וגם נספג חזרה על ידי משאבות קצה העצב הפרה סינפטי (המוסר). מה לדעתכם יקרה אם האנזים יחסם? ומה יקרה אם תימנע הספיגה החוזרת לתא הפרה-סינפטי?

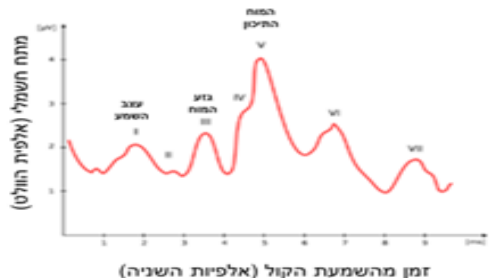


להרחבה: [תקשורת מוחית - הכל מתחיל בסינפסה](#)



הסינפסה כצומת עיבוד מידע

נחזור למסלול השמיעה במוח.



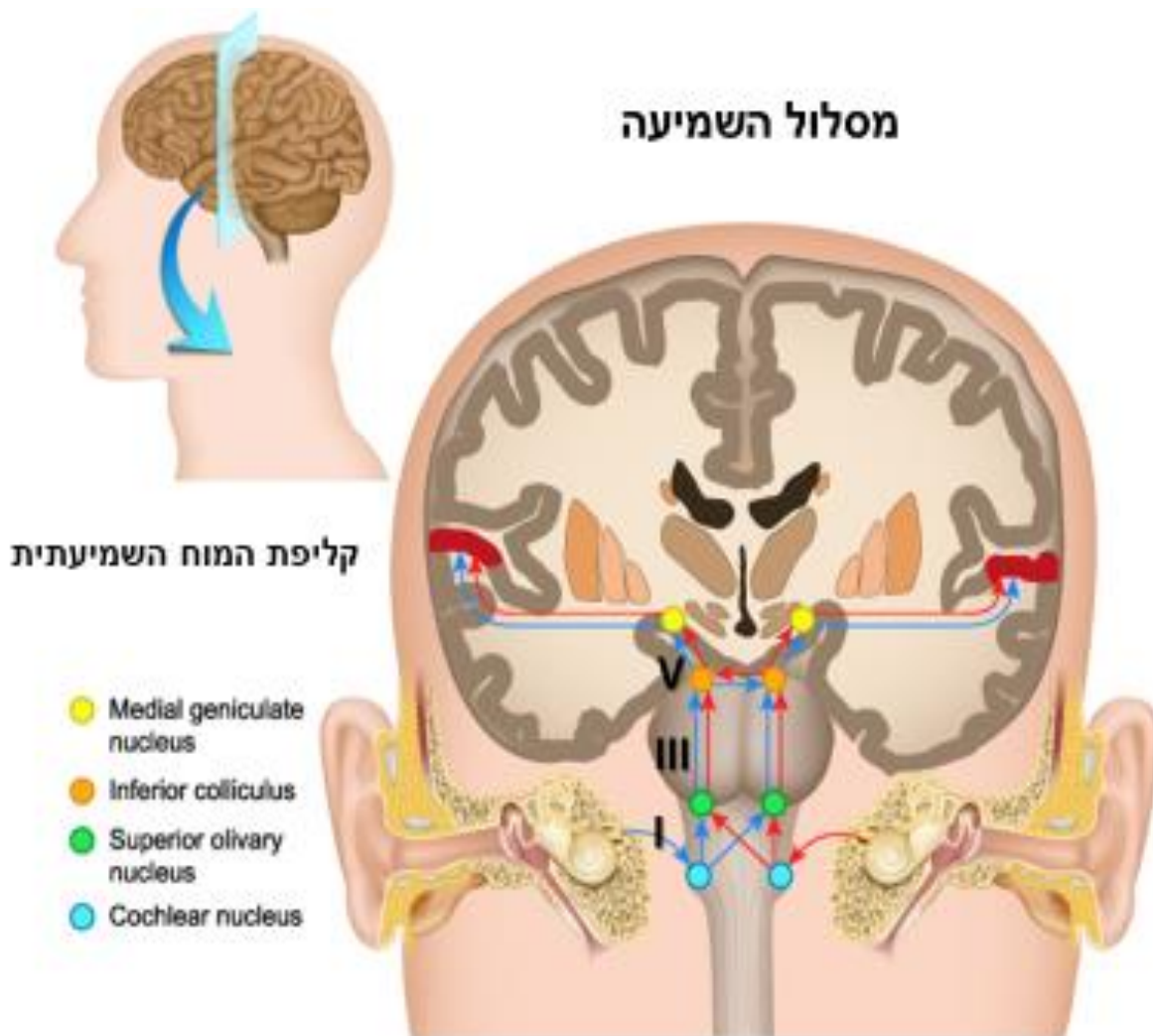
התבוננו באיור אותו למדנו בפרק 1. עתה נוכל להבין את

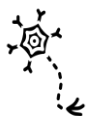
התהליך גם ברמת התא. בתשובותיכם השתמשו

במושגים: תא עצב, סינפסה, אקסון, פוטנציאל פעולה.

1. נסו להסביר היכן במסלול ממוקמים תאים שונים. היכן נמצאים האקסונים, והיכן

הסינפסות? מה לדעתכם מייצגים הגלים הנרשמים בעקבות השמעת גירוי קולי?





2. מהם לדעתכם חלקי תא העצב המצויים בתחנות במסלול השמיעה, המצוינות באיור

בעיגולים בצבעים שונים?

3. שימו לב למספר המקורות (חיצים) המגיעים לתחנות השונות במסלול (עיגולים).

א. תנו דוגמה למידע המעובד לדעתכם בתחנות אלו.

ב. מתוך הידוע לנו על תקשורת בין תאים נסו להסביר באיזה אופן חל עיבוד המידע.

(התבוננו למשל במסלול האדום המייצג מידע מצד ימין, בהשוואה למסלול הכחול

– מידע מצד שמאל).

4. מעטה המיאלין המבודד את האקסונים הוא חומר שומני בצבע לבן. לעומתו אזורי

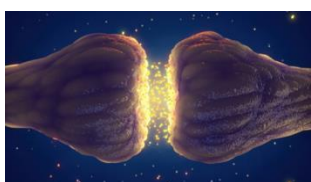
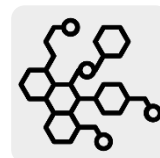
הדנדריטים וגופי התא אינם מכוסים מיאלין ולכן נראים אפורים (או כהים). שינו לב

לפיזור הצבעים באיור המוח (מסלול השמיעה). אילו חלקי תא נמצאים לדעתכם באזור

שבין גזע המוח, והמוח התיכון (מקורות גלים 3 עד 5) לבין קליפת המוח? מה לדעתכם

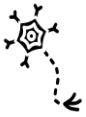
מתקיים באזורים הלבנים (בהירים) לעומת האזורים האפורים (כהים)?

חומרים המשפיעים על הולכה סינפטית

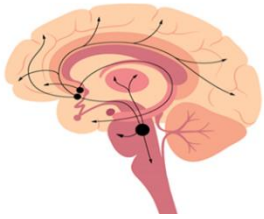


כפי שלמדנו, תקשורת בין תאי עצב נעשית בדרך כלל באמצעות מתווכים עצביים- נוירורנסמיטרים, חומרים המעבירים את המסר העצבי משלפוחיות בקצה העצב הפרה-סינפטי לתא הבא, הפוסט-סינפטי, או לשריר או בלוטה.

למרות שישנה אחדות בדרך הולכת המסר העצבי, דהיינו פוטנציאל פעולה (אות חשמלי) והעברה סינפטית, יש הבדל בתוכן המידע, למשל על פי מסלולים שונים. מעבר למתווה המסלול, יש גם הבדלים בסוג המתווך העצבי המשתתף בכל מסלול. באיור הבא מתוארים מסלולי מוח שונים, שבכל אחד מהם משמש מתווך עצבי מסוג אחר:

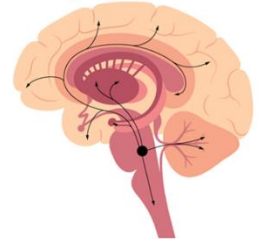


אצטילכולין



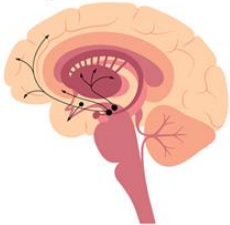
אצטילכולין מתווך עצבי הפעיל במערכת עצבים היקפים ומרכזית במערכת ההיקפית הוא מופרש בצמתי עצב-שריר, הקשורים בהתכווצות שרירים. העברת מסרים במסלולים המקשרים בין האיברים הפנימיים והמוח, למשל הרחבת כלידם, האטת קצב לב, והגברת פעילות מעי. במוח אצטילכולין קשור בתהליכים של מעבר בין שינה למצב ערנות, ותהליכי זיכרון, למידה וקשב. מחסור חריג באצטילכולין נמצא אצל חולי אלצהיימר.

נוראדרנלין



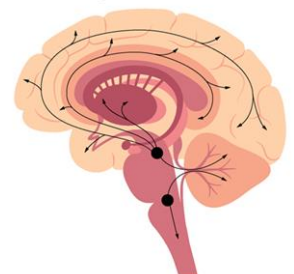
נוראדרנלין למתווך עצבי זה השפעות רבות בגוף. הבולטת בהם קשורה למצבי לחץ וסכנה, תגובות של הילחם-קפא או ברח. לדוגמה מגביר קצב לב ולחץ דם, הגברת ערנות והשפעה על זיכרון קשב וריכוז.

דופאמין



דופמין מתווך עצבי הפעיל למשל בחלק הקדמי של המוח, וקשור לתפקודים תודעתיים כמו תכנון וקבלת החלטות. הדופמין חשוב בתחושת עונג- כמחזק פעילויות שמביאות ל"תגמול" חיובי. בנוסף בעל חשיבות בתנועה, קשב ולמידה. שיבושים בפעילות דופמין משפיעים על מחלות כמו פרקינסון, סכיזופרניה ועוד.

סרטונין



סרטונין מתווך עצבי המשפיע על רגשות, פעיל בתהליכי שליטה כמו סינון מידע רלוונטי, שינה ויקצה, למידה וזיכרון. כמו כן משפיע על פעילות מערכת עיכול ותחזוקת העצמות.

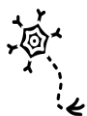
1. בהתאם למידע אודות מעבר המתווכים העצביים השונים בסינפסות,

מה לדעתכם יכול לקרות בתהליך המעבר העצבי בהשפעת חשיפה לחומרים

חיצוניים, כמו חומרים ממכרים, סמים ותרופות המשפיעות על מערכת העצבים?

2. קראו על מחלת הפרקינסון ב**קישור**. וענו על השאלות הבאות⁹

⁹ מתוך בחינת בגרות 2022



דופמין הוא מתווך עצבי המיוצר במוח. החומר אינו חודר את המחסום דם-מוח, ועל כן אינו יכול לעבור באמצעות כלי הדם אל תוך המוח. לרמות הדופמין ולמידת הפעילות שלו יש השפעות ישירות על מחלות ותסמונות בגוף האדם.

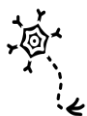
פרקינסון היא מחלה קשה המאופיינת בהפרעות בתנועה. תסמיניה הם האטה וירידה בתנועה, העלולה להגיע לידי שיתוק, נוקשות שרירים ורעד בלתי רצוני. המחלה נגרמת מירידה בכמות הדופמין, שמשחרר מתאי עצב באזור מסוים במוח.

האם ניתן לטפל בחולי פרקינסון באמצעות מתן דופמין באחת מהדרכים המקובלות לנטילת תרופה? הסבירו.

3. אילו מהתרופות יתאימו לטיפול בחולי פרקינסון, ואילו לא יתאימו? הסבירו.

- i. תרופה הדומה לדופמין ומחקה את פעולתו.
- ii. תרופה הנקשרת לקולטני הדופמין שבתא האחר-סינפטי וחוסמת אותם.
- iii. תרופה המגבירה את שחרור הדופמין מן השלפוחיות שבקצה האקסון.
- iv. תרופה המפחיתה את שחרור הדופמין מן השלפוחיות שבקצה האקסון.

4. סכיזופרניה היא מחלה אשר גורמת לעיוות הדרך שבה החולה חושב, פועל, ומביע את רגשותיו ואת תפיסת המציאות שלו. אצל חולי סכיזופרניה יש שחרור מוגבר של דופמין באזור מסוים במוח. אילו מהתרופות (הנ"ל i-iv) יקלו את מצבם של חולי הסכיזופרניה? הסבירו.



סיכום הולכה עצבית

- ❖ ההולכה לאורך מסלולי מערכת העצבים נעשית באקסון באמצעות שינויי מתח בתכנית קבועה "פוטנציאל פעולה".
- ❖ שיבושים בהולכה באקסון יכולים להיגרם למשל כתוצאה מרעלים החוסמים תעלות יונים היוצרות פוטנציאל פעולה, או כתוצאה מהרס המיאלין המבודד את האקסון.
- ❖ התקדמות המידע בין תאים במערכת העצבים נעשה באמצעות סינפסות שבדרך כלל מעבירות חומרים מתווכים עצביים, נוירורנסמיטורים, בין התאים.
- ❖ מעבר בין תא עצב לתא מטרה מאפשר עיבוד מידע, כמו למשל שילוב מידע ממקורות שונים.
- ❖ תאי עצב במסלולים שונים מתקשרים ביניהם באמצעות מתווכים עצביים שונים. כל חומר בעל תפקוד ותכונות ייחודיות.



פרק 3: תרופות וסמים

תרופות, אלוהול, וסמים משפיעים על תהליכים במערכת העצבים.

חומרים יכולים להחזיר יציבות שעורערה במחלה (תרופה) או לערער את היציבות ולסכן חיים. (סם).

השפעת סמים-חומרים המערערים יציבות ועלולים לפגוע בגוף: קנביס/ אלוהול.

- השפעת תרופות על פעילות המוח: ריטלין.



בפרקים הקודמים למדנו כיצד מערכת העצבים קולטת ומעבירה מידע, ומקודדת את המידע כפוטנציאלים חשמליים, ומתקשרת בין התאים באופן כימי. בפרק זה נבחן כיצד מולקולות ממקור חיצוני משפיעות על מערכת העצבים.



מה מעניין אותך לדעת על השפעת תרופות וסמים על המוח?

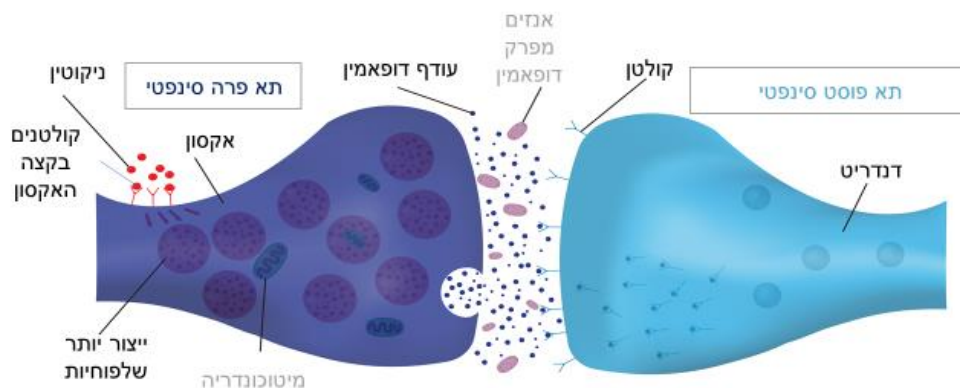
כתבו שאלות על פתק ומסרו למורה (אין חובה לכתוב שם).

צרו מאגר של השאלות שנשאלו בכיתה, כדי שתוכלו להשתמש בהם במהלך או בסיכום היחידה.



דוגמאות להשפעות חומרים על סינפסות:

1. לפניכם שני מנגנונים של חומרים המשפיעים על המעבר הסינפטי. באמצעות התרשים, והשוואתו לתהליך התקין של העברה סינפטית, תארו את מנגנון השפעת החומר. היעזרו גם במידע אודות המתווך העצבי הרלוונטי:
א. **ניקוטין** - החומר הממכר במוצרי טבק, כמו סיגריות.
אחת ההשפעות של ניקוטין- הגברת דופמין. התבוננו באיור. לאן נקשר ניקוטין (מסומן בנקודות אדומות) וכיצד חלה השפעתו?



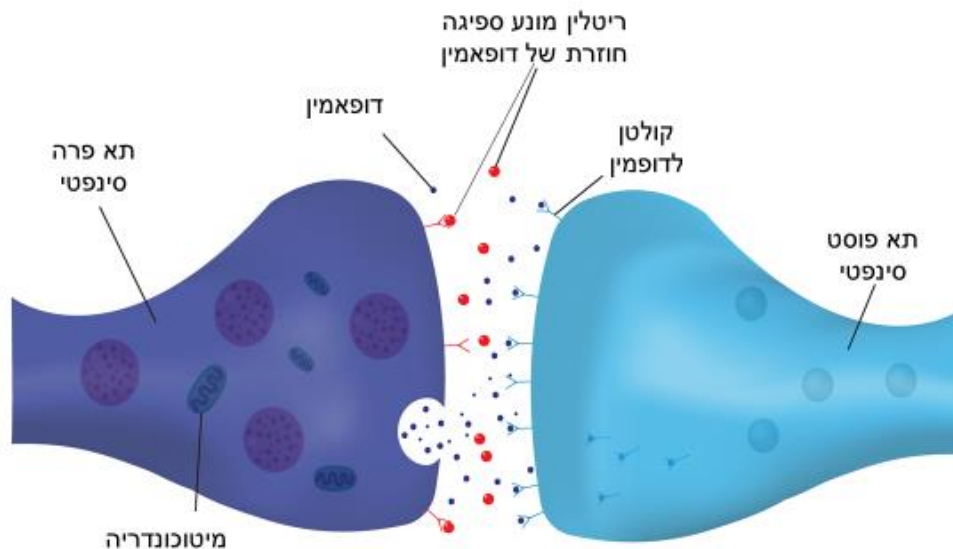


ב. **ריטלין**(מתילפנידאט) תרופה לטיפול רפואי בהפרעת קשב וריכוז. ריטלין עוצר את

הספיגה החוזרת של דופמין לתא המוסר, הפרה סינפטי. תארו את מנגנון ההשפעה:

לאן נקשר ריטלין וכיצד משפיע? איך לדעתכם עשוי להשפיע ריטלין על האדם?

[להרחבה.](#)



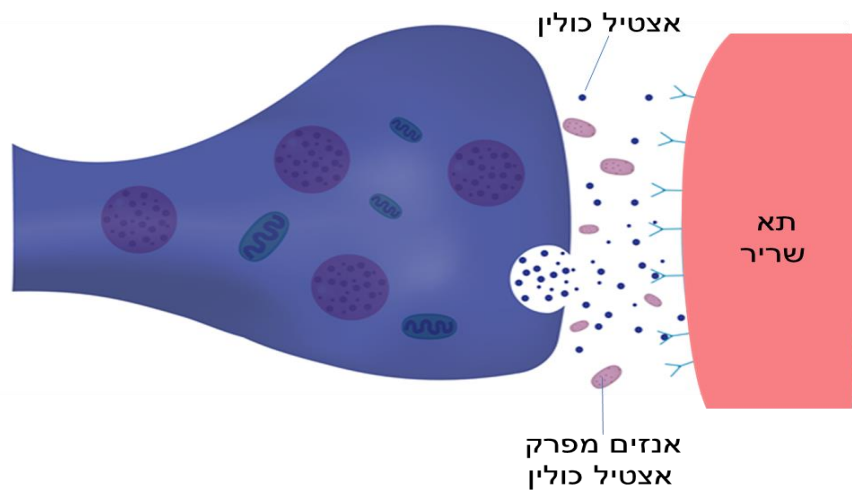
2. **גז עצבים** הוא נשק ביולוגי, המנטרל את פעילות האנזים המפרק את המתווך העצבי

אצטיל כולין בסינפסות שבין תא העצב לשרירים. כך עלול לגרום לשיתוק ולמוות ראו

[קישור.](#)

לפניכם תרשים של המרכיבים בתהליך ההעברה הסינפטית. הוסיפו לתרשים נקודות

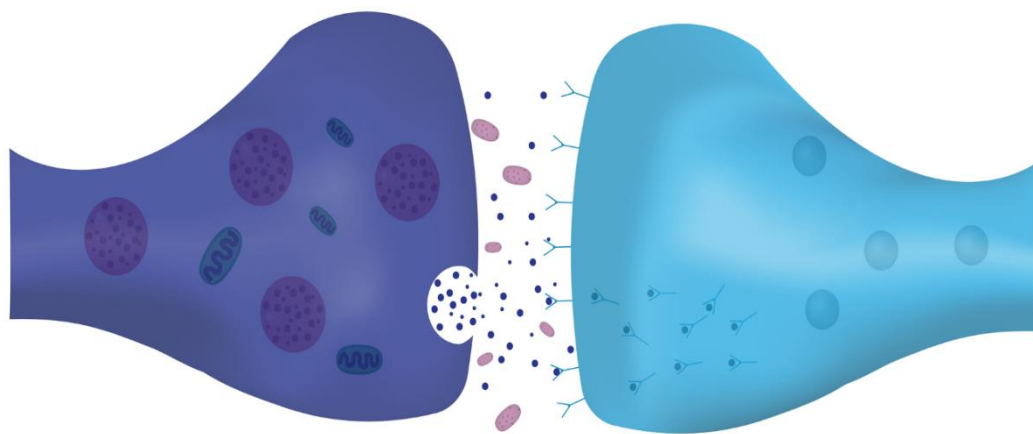
ירוקות שיסמנו אתגז העצבים, וסמנו על גבי התרשים כיצד פועל נשק ביולוגי זה:



3. אחד המנגנונים בהם משפיע אלכוהול על מערכת העצבים הוא קשירה לקולטני

דופאמין, ובשל עודף דופאמין מופעלים תאים מקבלים, פוסט סינפטיים מסוג זה

במוח. סמנו על גבי התרשים מנגנון זה, והסבירו מדוע אלכוהול גורם הנאה והתמכרות



להרחבה:

השפעת אלכוהול על מערכת העצבים, מתוך יחידת הוראה

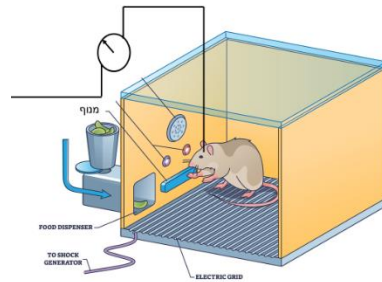
[אלכוהול ובריאות בקישור](#)



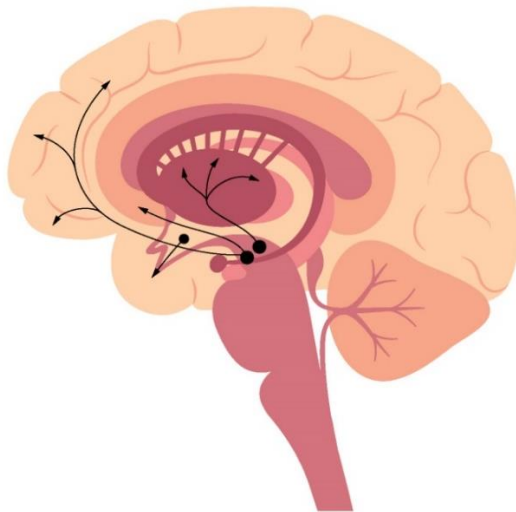
התמכרות

התמכרות היא מצב בו נוצרת תלות פסיכולוגית או פיזית, בדרך כלל בחומר מסוים (יש המכלילים בהגדרה גם התנהגויות שאינן כוללות חומרים). בהתמכרות יורדת השליטה על פעולות, ואדם מתרכז בהשגת הגורם שיביא לגירוי, גם על חשבון צרכים בסיסיים. כיצד מתרחש מצב זה?

כבר בשנות החמישים בניסוי שנעשה בחולדות¹⁰ שלמדו לגרום לעצמן הנאה על ידי לחיצה על דוושה שמפעילה אלקטרודה המחוברת לאזור מסוים במוח, החולדה תבצע את תלחץ על הדוושה ללא הרף אפילו מאות פעמים בשעה, גם בהזנחת כל הצרכים הבסיסיים כמזון וטיפול בצאצאים, אף אם הדבר יגרום למוות בהתאם לכך נמצאו מסלולים עצביים היוצרים תחושה של עונג. אלו הוגדרו כמערכת התגמול החיזוק.



דופמין הוא המתווך העצבי העיקרי המשמש את מסלול התגמול. באופן תקין מערכת זו מגבירה מוטיבציה להתנהגויות שמקדמות את האדם או בעל החיים, כמו אכילה, התנהגות חברתית ורבייה.



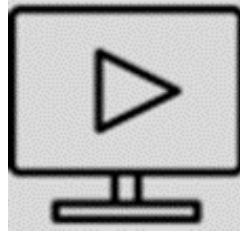
חומרים פסיכואקטיביים כמו סמים ואלכוהול מגבירים את הגירוי, למשל על ידי השהיית המתווך העצבי בסינפסה, או הגברת הפרשתו. התמכרות כוללת סבילות- הסתגלות לסם, הגורמת לצורך

במינונים הולכים ועולים, וכן תלות- המתבטאת בתופעות כמו כאב, דיכאון, התכווצויות ואף אובדן הכרה בעת הפסקת שימוש בסם. בשימוש ממושך ונרחב חומרים אלו עשויים ליצור שינויים במוח, חלקם בלתי הפיכים.

¹⁰ Olds, J., & Milner, P. (1954). Positive reinforcement produced by electrical stimulation of septal area and other regions of rat brain. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 47(6), 419–427. <https://doi.org/10.1037/h0058775>



1. צפו [בסרטון הבא](#) (לחצו על גלגל ההגדרות ובחרו כתוביות ותרגום לעברית)



בהתאם לסרטון צרו תרשים זרימה המתאר את התרחישים מרגע נטילת סם ועד להשפעתו בטווח הקצר, ובטווח הארוך.

2. לפניכם שלבים שונים בהתמכרות, מספרו אותם לפי סדר התרחשותם:

עם הזמן, אפילו הסם מאבד את יכולתו לגרום הנאה, ונדרשים ריכוזי סם הולכים וגדלים על מנת לגרום לאותו אפקט

הסם גורם לסינפסות לאבד רגישות לרמות גירוי יומיומי. במצב זה רק הסם גורם הנאה

נטילת סם גורמת להצטברות דופאמין בסינפסה (במנגנונים שונים כמו מניעת ספיגה חוזרת או הגברת כמות המתווך העצבי)

המצב מוביל לצריכת מנות יתר של סם, הגורמים לנזקים בלתי הפיכים ואף למוות

מערכת התגמול מחזקת הנאה מפעולות חיוניות כמו אכילה, תקשורת חברתית ורבייה. דופאמין הוא המתווך העצבי העיקרי במערכת התגמול.

להרחבה: סימולציות המדגימות מנגנוני התמכרות לסמים שונים בעכברים

[Learn.Genetics University of Utah](https://learn.genetics.utah.edu/content/addiction/mouse)

<https://learn.genetics.utah.edu/content/addiction/mouse>



קנאביס ושימוש למטרות רפואיות

חומרי צמח הקנאביס:



Photo by Paul Einerhand on Unsplash

צמח הקנאביס עשיר במיוחד, הוא מכיל מעל 480 חומרים שונים. כיום מוכרים כ-150 מחומרי הצמח שמסוגלים להתקשר לקולטנים מיוחדים בגוף האדם, בעיקר במערכת העצבים ובמערכת החיסון. אלו מכונים קנבינואידים. הקנבינואידים מתחלקים לשתי קבוצות חומרים פעילים מרכזיים: THC, CBD.

THC [טטרהידרוקנבינול]

מגיע למערכת התגמול במוח, מעורר הפרשת דופאמין, וכך גורם תחושת הנאה ואופוריה. בנוסף ה-THC מגיע לעוד אזורים. הוא נקשר לקולטנים - רצפטורים קנבינואידים, הנמצאים באזורים שקשורים לתנועה וקואורדינציה, לזיכרון ולמידה. השימוש בקנאביס מפחית את יכולת שליפת הזיכרון ולמידה, ובנוסף משפיע על האזור הקדמי במוח בו מתרחשים תהליכי שיקול דעת וקבלת החלטות ופעילות תנועה. השפעות ההנאה מהחומר קצרות טווח, ואילו השפעה על למידה וזיכרון מתמשכות במשך מספר שבועות.

CBD [cannabidiol]

מרכיב שאינו משפיע על מערכת התגמול, ולכן אינו משפיע על תחושת ההנאה. בעל ערך רפואי כמו למשל השפעה על דלקות וכאבים, ואף הקלה על כמה תופעות לוואי של סרטן.



סוגי החומרים, ומגוון השפעותיהם

שימוש בחומרים כמו THC גרמו לגילוי מערכת טבעית שלא היתה מוכרת: המערכת האנדוקנבינואידית (אנדו=פנימי, שקשורה לקנאביס). מסתבר שהקנאביס נקשר לקולטנים הקיימים באזורים ובמערכות שונות בגוף באופן טבעי. התגלית הובילה לגילוי חומרים טבעיים-אנדוקנבינואידים.

לאיזה תפקוד פיזיולוגי הם מתואמים בטבע?

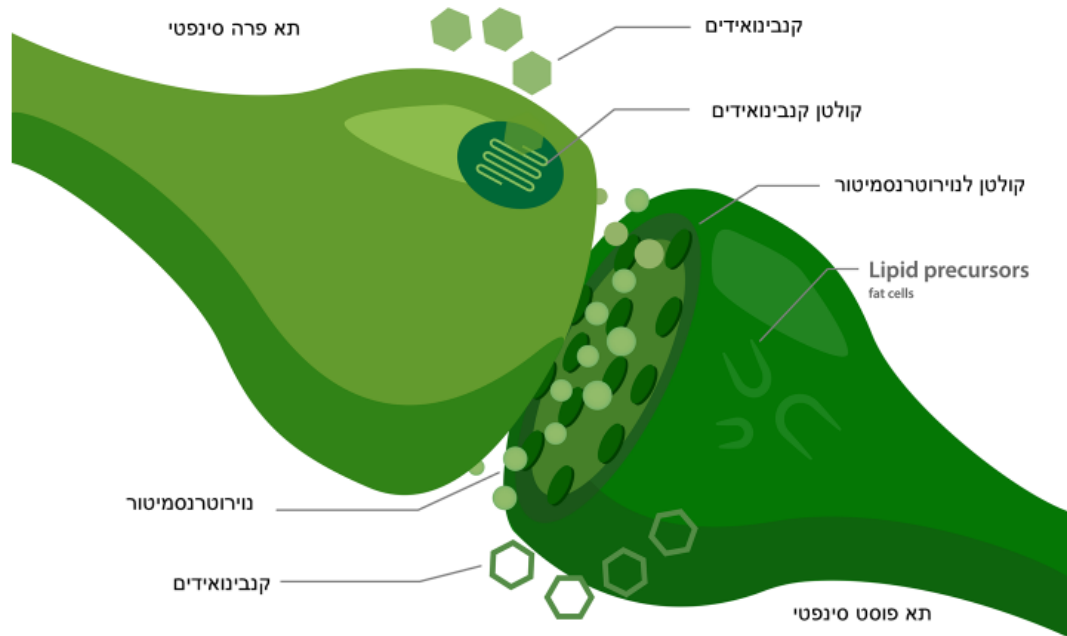
נמצא שחומרים אלו יוצרים מצב של ויסות ובקרה על תאי עצב- כך שיגיבו לגירויים באופן מאוזן- יעיל, אך לא מוגזם.

אנדוקנבינואידים מופרשים באופן טבעי בגוף, במסלול ההפוך: מהתא הפוסט סינפטי (המקבל) אל קולטנים בתא הפרה סינפטי (המוסר), ומשפיעים על איזון הפרשת מתווכים עצביים כמו דופאמין. לאנדוקנבינואידים השפעות ייחודיות במקומות מסוימים, וכן התפרקותם מהירה.



1. לפניכם סדרת תהליכים. סמנו על גבי האיור הבא את המיקום של כל שלב בתהליך:

- א. הפרשת מתווך עצבי מתא פרה סינפטי (מוסר)
- ב. קליטת מתווך עצבי בקולטן פוסט סינפטי (מקבל)
- ג. ייצור והפרשת חומרים אנדוקנבינואידים
- ד. קליטת אנדוקנבינואידים בקולטן בתא פרה-סינפטי
- ה. עיכוב הפרשת מתווך עצבי



[הדמיה](#) - אנדוקנבינואידים



כיצד המערכת מגיבה לנטילת קנאביס?

בניגוד לתגובה הממוקדת של המערכת הטבעית, חומרי הקנאביס ממקור חיצוני מתפזרים בכל המוח, ולא רק באזור ספציפי, ולכן השפעתם רחבה יותר, גם במקומות אחרים, ובכך מפרים איזונים. נוסף על כך, התפרקות חומרים אלו מתרחשת במשך זמן ארוך.

העמקה- מנגנונים (באנגלית) : [Cannabidiol and the Endocannabinoid System](#)

2. סמנו- באילו ממדים מתבטא ההבדל בין קנאביס לאנדוקנבינואידים?



- א. מרחב- לאילו תאי עצב החומרים מגיעים
- ב. יכולת קשירה לקולטנים טבעיים
- ג. יכולת השפעה על תהליכי העברה עצבית



ד. זמן משך שהות החומר במערכת
השפעת הקנאביס על התפתחות המוח

השימוש בקנאביס משפיע ישירות על תפקוד המוח - במיוחד על חלקי המוח האחראים על זיכרון, למידה, תשומת לב, קבלת החלטות, קואורדינציה, רגשות וזמן תגובה. מחקרים מצביעים על כך שהשימוש בקנאביס אצל נשים במהלך ההיריון עשוי להיות קשור לבעיות בקשב, זיכרון, מיומנויות פתרון בעיות והתנהגות אצל ילדיהן. שימוש בקנאביס לפני גיל 18 עשוי להשפיע על האופן שבו המוח בונה קשרים לתפקודים כמו קשב, זיכרון ולמידה. קיימים הבדלים בהשפעת חומרים עלו, בהתאם לגורמים גנטיים, השפעות סביבתיות, וכן חשיפה לחומרים נוספים¹¹.

סרטון- [השפעת קנאביס על התפתחות המוח](#)



1. צפו בסרטון והסבירו, לאור מה שלמדתם עד עתה על קנאביס, את השפעת

להרחבה:

[גל, איתי. משינוי מבנה המוח ועד סיכון לבריאות הלב: השפעות הקנאביס על בני נוער Ynet יולי 2022](#)

הקנאביס על התפתחות המוח.

2. צפו בסרטון: [קנאביס והמערכת האנדוקנאבינואידית](#) וענו:

א. כיצד אנדוקנאבינואידים משפיעים על הפרשת דופאמין?

ב. כיצד קנאביס משפיע על הפרשת הדופאמין- בטווח הקצר והארוך?

ג. כיצד קנאביס משפיע על תחושה ותפקוד האדם?

¹¹ CDC [Marijuana and Public Health](#)



לגליזציה של קנאביס למטרות רפואיות - בעד ונגד

מתוך הצעת החוק להסדרת השימוש בקנאביס רפואי, 2022:

שוק הקנאביס למטרות רפואיות בישראל גדל והתרחב במידה ניכרת בשנים האחרונות. כיום בישראל עשרות אלפי מטופלים משתמשים בקנאביס למטרות רפואיות להקלה ולטיפול במגוון רחב של בעיות רפואיות. במקביל התפתחה תעשייה מגוונת, המעסיקה עובדים רבים, של חוות לגידול קנאביס ומפעלים לייצור מוצרי קנאביס.

הרפורמה בקנאביס רפואי הובילה לקשיים רבים ומהותיים אצל המטופלים, הרופאים והתעשייה, ובהם עלייה ניכרת במחיר לצרכן של הקנאביס למטרות רפואיות, קושי לשמור על רצף טיפולי, פגיעה באיכות המוצרים ואסדרה כבדה ומעורפלת המקשה על כל הנוגעים בדבר. רופאים נמנעו מהפניית מטופלים לטיפול בקנאביס, חוקרים נמנעו מעריכת מחקרים מדעיים בתחום ומגדלים ויצרנים התקשו לייצא קנאביס אל מחוץ לישראל. מלבד הקשיים שגרמה הרפורמה עצמה, אי־הסדרתה בחקיקה עוררה גם היא קושי: הנהלים שונו תדיר על ידי משרד הבריאות ללא ביקורת פרלמנטרית, וכל העוסקים בתחום התקשו להבין וליישם את כלל הדרישות המורכבות והמסועפות.

בהתאם לידוע לכם על הקנאביס, ועל השפעותיו השונות, כתבו שאלות שיש

לברר על מנת להסדיר את השימוש בקנאביס למטרות רפואיות.



התחלקו לקבוצות עבודה. על כל קבוצה לבחור את אחת השאלות שעלו בכיתה.

לפניכם מספר מקורות העוסקים בנושא. על כל קבוצה להיכנס לפחות לשני מקורות.

1. כתבו הצעה העונה על השאלה אותה בחרתם. בהצעה זו עליכם לכלול טיעונים מדעיים

וטיעונים ערכיים. בכל היבט עליכם לכלול טיעוני בעד ונגד. השתמשו בטבלה כדי

לארגן את טיעוניכם, לקראת כתיבת ההצעה:

טיעונים נגד	טיעונים בעד	
		היבטים מדעיים
		היבטים ערכיים



2. כתבו פיסקה שתדון בכלל ההיבטים של השאלה שבחרתם, ולבסוף סכמו את עמדתכם.

3. צרו כרזה המביעה את עמדתכם.

4. דיון מסכם כיתתי:

לאחר הצגת הטיעונים בשאלות השונות, סכמו מהם לדעתכם ההיבטים השונים שיש

לקחת בחשבון בהסדרת הקנאביס הרפואי.

מקורות מידע:

← סרטון: [על קנאביס כתרופה לסוגי סרטן מסוימים:](#)

← [כנס הקנאביס הרפואי של ישראל 2022](#)

← [הצעת חוק הסדרת השימוש בקנאביס למטרות רפואיות, התשפ"ב-](#)

[2022](#)

← [קופרשטין וזנד: המדע טרם החליט כיצד להתייחס לטיפול בקנאביס](#)

[רפואי" YNET 12.5.2022](#)

← סרטון: [חומרים מסקרנים ומסכנים - השפעות הקנביס על המוח. קרן](#)

[רוט איטח וד"ר רביד דורון](#)

← סרטון: [אברי גלעד מראיין את פרופ' רפאל משולם](#)



מקורות התמונות והאיורים:

תמונת השער: Photo by Milad Fakurian on Unsplash

פרק 1:

תמונת EEG ויקיפדיה. שם המחבר: Baburov

פרק 2:

הולכה בתא עצב: Laurentaylorj, ויקיפדיה CC BY-SA 3.0

תמונות שלא צוין מקורם נרכשו משטרסטוק.

אייקונים:

תא עצב

Icon by Gan Khoon Lay on freeicons.io

CBD אייקון:

Icon by Supalerk laipawat on freeicons.io

אייקון וידיאו:

>a href="https://www.flaticon.com/free-icons/monitor" title="monitor icons">Monitor icons
created by srip - Flaticon