

# סמינר מדעי המוח א'

## סיכום לבחן

אורין לוי

22 בינואר 2026

### תוכן העניינים

<b>1</b>	<b>יונים, גראדינטים ופוטנציאל המembrנה</b>
3	1.1 מושגים בסיסיים .....
3	1.2 שני הכוחות הפועלים על יונים .....
3	1.3 הנחה חשובה במצב מנוחה .....
3	1.4 הרכב יוני כללי - "Salt Water Outside"
4	1.5 טבלת סיכום: ריכוזים, כוחות $-E_{ion}$ .....
4	1.6 הגראדיינט האלקטרוכימי .....
4	1.7 משוואת נרנסט – פוטנציאל שווי-משקל של יון .....
4	1.7.1 פירוש הסימנים .....
4	1.7.2 קשר בין נרנסט למתח המembrנה .....
5	1.8 חדירות המembrנה (Permeability) .....
5	1.9 משאבת נתרן-אשלגן ( $Na^+/K^+$ -ATPase) .....
5	1.10 יונים ומולקולות שאין חוצים את המembrנה .....
6	1.11 חיבור לשוואת GHK .....
6	1.12 שורה לבחן .....
6	1.13 משוואת (GHK) Goldman–Hodgkin–Katz .....
6	1.13.1 פירוש רכיבי המשוואה .....
<b>2</b>	<b>פוטנציאלים מדורגים, פוטנציאל פעולה ואינטגרציה סינפטית</b>
6	2.1 שלושה סוגים פוטנציאלים .....
7	2.2 פוטנציאל מדורג (Graded potential) .....
7	2.3 IPSP ו-EPSP .....
7	2.4 $GABA_A$ – עיכוב סינפטיטי: $GABA_B$ .....
7	2.4.1 השוואה בין רצפטורי $GABA_A$ .....
7	2.4.2 $GABA_A$ – תועלות כלור ( $Cl^-$ ) .....
8	2.4.3 $GABA_B$ – תועלות אשלגן ( $K^+$ ) .....
8	2.4.4 שורה לבחן .....
8	2.5 סכימה עצבית (Summation) .....
8	2.6 פוטנציאל פעולה (Action Potential) .....
9	2.7 סף העירור (Threshold) .....
9	2.8 שלבי פוטנציאל הפעולה .....
9	2.9 התקופה הרפרקטורית .....
9	2.10 למה נירוטרנסmitter לא יוצר פוטנציאל פעולה ישירות .....
9	2.11 קידוד עצמה .....

<b>9</b>	<b>3 פוטנציאל מדורג, פוטנציאל פעולה והולכה לאורך האקסון</b>	<b>3</b>
9	3.1 שלושה סוגי פוטנציאלים .....	3.1
10	3.2 פוטנציאל מדורג: EPSP ו-IPSP .....	3.2
10	3.3 למה נירוטרנסmitter לא "מיצר" פוטנציאל פעולה? .....	3.3
11	3.4 פוטנציאל פעולה – גראף ושלבים .....	3.4
11	3.4.1 הסתיה הקטנה לאחר ההיפר-פולרייזציה .....	3.4.1
12	3.5 תקופת רפרקטוריית: מוחלטת וחסית .....	3.5
12	3.6 הולכה לאורך האקסון .....	3.6
<b>12</b>	<b>נוירואנטומיה: מנחים, חתכים ומבנה מרכזים</b>	<b>4</b>
12	4.1 מנחים אנטומיים Terms (Directional .....	4.1
12	4.2 מבטים חיצוניים על המוח Views (.....	4.2
13	4.3 חתכים במוח Sections / Planes (.....	4.3
13	4.4 המספרות ו קישוריות .....	4.4
13	4.5 המוח הקטן – Cerebellum .....	4.5
13	4.6 גזע המוח (Brainstem) .....	4.6
13	4.7 קליפת המוח: Sulci- Gyri .....	4.7
14	4.8 חדרי המוח ו-CSF .....	4.8
14	4.9 קרומי המוח (Meninges) .....	4.9
<b>14</b>	<b>נוירואנטומיה בסיסית: מנחים, חתכים ומבנה מרכזים</b>	<b>5</b>
14	5.1 CNS ו-PNS .....	5.1
14	5.2 למה מנחים וחתכים חשובים .....	5.2
14	5.3 מנחים אנטומיים directional terms (.....	5.3
15	5.4 מבטים על המוח Views (.....	5.4
15	5.5 חתכים במוח Sections / (Planes) (.....	5.5
16	5.6 מבנים מרכזיים: תלמוד מול צרבולם ("האגוזים") .....	5.6
16	5.7 טעויות נפוצות במחנן .....	5.7

# 1 יוניים, גרדיאנטים ופוטנציאל המمبرנה

## 1.1 מושגים בסיסיים

- **יון** – אטום או מולקולה בעלי מטען חשמלי כתוצאה מאיבוד או קבלת אלקטرونים.
- **קטיאן (cation)** – יון בעל מטען חיובי (כגון  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ).
- **אניאן (anion)** – יון בעל מטען שלילי (כגון  $\text{Cl}^-$ ).
- **Dİפוזיה (diffusion)** – תנועה ספונטנית מריכוז גבוה לריכוז נמוך, ללא השקעת אנרגיה.
- **כוח חשמלי** – משיכה או דחיה הפעלת על יון בהתאם למטען ולמתח המمبرנה.
- **שוווי-משקל של יון** – מצב שבו אין זרימה נטו של אותו יון דרך המمبرנה, אף שייתכן מעבר דו-כיווני מתמיד.

## 1.2 שני הכוחות הפועלים על יוניים

על כל יון הפועל בסביבת מمبرנה תאיות פועלים תמיד שני כוחות:

- **הכוח הכימי (גרדיאנט ריכודים)** – תלוי אך ורק בהפרש הריכוזים של היון בין פנים התא לחוץ התא.
- **הכוח החשמלי** – תלוי במטען היון ובמתח החשמלי על פני המمبرנה. כיוון ועוצמת הזרימה בפועל נקבעים על-ידי **השילוב של שני הכוחות יחד**, המכונה **הגרדיאנט האלקטרוכימי**.

## 1.3 הנחה חשובה במצב מנוחה

במצב מנוחה של הנירון:

$$V_m \approx -70 \text{ mV}$$

כלומר, פנים התא שלילי יחסית לסביבה החוץ-תאית.  
מכאן נובע:

- קטיאונים נמשכים פנימה ע"י הכוח החשמלי.
- אניאנים נדחים החוצה ע"י הכוח החשמלי.

## 1.4 הרכב יוני כללי - "Salt Water Outside"

באופן אינטואיטיבי ניתן לזכור כי: **הנוזל החוץ-תאי הוא מלאוֹן**. [44, 32, cite: 33, 31]

- ריכוז  $\text{Na}^+$  ו- $\text{Cl}^-$  גבוה יותר מחוץ לתא. [41, 38, 31, cite: 43, 36, 31]
- ריכוז  $\text{K}^+$  גבוה יותר בתוך התא. [43, 36, 31, cite: 31, 31]

הרכב זה הוא הבסיס לградיאנטים הכימיים של היוניים, ולערכי פוטנציאל שוויי-המשקל שלהם.

## 1.5 טבלת סיכום: ריכוזים, כוחות ו- $E_{\text{ion}}$

$E_{\text{ion}}$		כוח חשמלי במנוחה	כוח כימי	ריכוז גבוה	יון	טען
+55 mV	פנימה	פנימה	חוץ-תאי	חיבוי	Na <sup>+</sup>	
-80 mV	פנימה	החוצה	תוך-תאי	חיבוי	K <sup>+</sup>	
-70 mV	החוצה	פנימה	חוץ-תאי	שלילי	Cl <sup>-</sup>	

טבלה 1: כיווני הכוחות וערך שוויי-משקל של יונים עיקריים בנירון.

## 1.6 הגרדיאנט האלקטרוכימי

הградיאנט האלקטרוכימי הוא **הכוח הכולל** הפועל על יון, והוא שילוב של:

- **ה.gradיאנט הכימי (רכיבים)**

- **ה.gradיאנט החשמלי (מתוח וטען)**

כאשר שני הכוחות פועלים באותו כיוון – הזרימה חזקה. כאשר הם פועלים בכיוונים מנוגדים – ייתכן שוויי-משקל.

## 1.7 משואת נרנסט – פוטנציאל שוויי-משקל של יון

משואת נרנסט מחשבת את פוטנציאל שוויי-המשקל של יון יחיד:

$$E_{\text{ion}} = \frac{RT}{zF} \ln \left( \frac{[\text{ion}]_{\text{out}}}{[\text{ion}]_{\text{in}}} \right)$$

זהו המתח שבו הכוח הכימי והכוח החשמלי מאזנים זה את זה, ולכן אין זרימה נטו של היון.

### 1.7.1 פירוש הסימנים

- $E_{\text{ion}}$  – פוטנציאל שוויי-המשקל של היון.

- $R$  – קבוע הגזים,  $T$  – טמפרטורה מוחלטת,  $F$  – קבוע פאראדי.

- $z$  –טען היון ( $+1$  –  $\text{Na}^+$  ו- $\text{K}^+$ ,  $-1$  –  $\text{Cl}^-$ ).

- $[\text{ion}]_{\text{out/in}}$  – ריכוז היון מחוץ ובתוך התא.

### 1.7.2 קשר בין נרנסט למתח המembrנה

- אם  $V_m = E_{\text{ion}}$  – אין זרימה נטו של היון.

- אם  $V_m \neq E_{\text{ion}}$  – קיים דחף אלקטרוכימי לזרימה, בתנאי שקייםת תעלת פתוחה.

## 1.8 חדיות המembrנה (Permeability)

לא כל הIONS חוצים את המembrנה באותה מידה. חדיות מתארת את מספר וסוג התעלות הפתוחות עבור כל ION. במצב מנוחה:

$$P_K \gg P_{Na} > P_{Cl}$$

משמעות:

- קיימות הרבה יותר תעלות פתווחות ל- $K^+$ .
- לכן  $K^+$  הוא הION הדומיננטי בקביעת פוטנציאל המנוחה.
- כתוצאה לכך:

$$V_m \approx E_K$$

## 1.9 משאבת נתרן-אשלגן ( $Na^+/K^+$ -ATPase)

משאבת נתרן-אשלגן היא משאבת אקטיבית המשתמשת ב-ATP כדי לשמר על מפל הריכוזים של  $Na^+$ - $K^+$ . בכל מחזור פעולה:

- מוציאיה 3 IONי  $Na^+$  אל מחוץ לתא.
- מכניסה 2 IONי  $K^+$  אל תוך התא.

מאפיינים חשובים:

- המשאבת פועלת נגד מפל הריכוזים.
- היא אלקטרוגנית – מוציאיה יותר מטען חיובי מאשר מכניסה.
- תרומהה למתח המembrנה קטנה אך קיימת.

תפקידיה העיקריים:

- שמירה על מפל הריכוזים שעלייהם מבוססים גראנטס ו- $GHK^-$ .
- אפשרות לקיום מתמשך של פוטנציאלי פעולה.

שורות מבחנים: המשאבת אינה יוצרת פוטנציאל פעולה, אלא מאפשרת למערכת החשמלית לפעול לאחר זמן.

## 1.10 IONS ומולקולות שאינם חוצים את המembrנה

הmembrנה אינה חדירה לIONS גדולים ולחלבונים טעוניים שלילית ( $-A^-$ ), הכלואים בתוך התא. חלבונים אלו:

- תורמים לשיליות הפנימית של התא.
- משפיעים בעקיפין על פיזור שאר הIONS.

## 1.11 חיבור למשוואת GHK

מתוך המمبرנה בפועל ( $V_m$ ) נקבע ע"י:

- מספר יונים יחד ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ )
- הגדריאנטים האלקטרוכימיים שלהם
- החדרות היחסית של המمبرנה לכל יון

לכן משתמשים במשוואת **Goldman-Hodgkin-Katz**, ולא במשוואת נרנסט בלבד.

## 1.12 שורה למבחן

нерנסט – יון אחד. GHK – כל היונים יחד + חדרות. פוטנציאלי פעולה – שינוי דינמי בזמן של  $V_m$ .

## 1.13 משוואת Goldman-Hodgkin-Katz (GHK)

משוואת GHK מחשבת את פוטנציאל המمبرנה בפועל ( $V_m$ ) כאשר המمبرנה חDIRה במספר יונים במקביל, וכל יון נשקל לפי החדרות היחסית שלו.

$$V_m = \frac{RT}{F} \ln \left( \frac{P_{\text{Na}}[\text{Na}^+]_{\text{out}} + P_K[\text{K}^+]_{\text{out}} + P_{\text{Cl}}[\text{Cl}^-]_{\text{in}}}{P_{\text{Na}}[\text{Na}^+]_{\text{in}} + P_K[\text{K}^+]_{\text{in}} + P_{\text{Cl}}[\text{Cl}^-]_{\text{out}}} \right)$$

### 1.13.1 פירוש רכיבי המשוואה

- $V_m$  – פוטנציאל המمبرנה.
- $R$  – קבוע הגזים.
- $T$  – טמפרטורה מוחלטת.
- $F$  – קבוע פאראדי.
- $P_{ion}$  – חדרות המمبرנה ליון מסוים.
- $[\text{ion}]_{\text{out/in}}$  – ריכוז היון מחוץ ובתוך התא.

מדוע  $-\text{Cl}^-$  מופיע הפור? מכיוון ש- $-\text{Cl}$  הוא יון שלילי, וכיון הכוח החשמלי הפועל עליו הפור. שורת מבחן: נרנסט מחשבת מה קורה עם יון אחד בלבד. GHK מחשבת מה קורה בפועל בתא, עם כל היונים יחד.

## 2 פוטנציאלים מדורגים, פוטנציאלי פעולה ואינטגרציה סינפטיית

### 2.1 שלושה סוגי פוטנציאלים

בנירון קיימים שלושהסוגי שינויים במתוך המمبرנה:

- **פוטנציאל מנוחה** (Resting potential)
- **פוטנציאל מדורג** (Graded potential)
- **פוטנציאל פעולה** (Action Potential, AP)

## 2.2 פוטנציאל מדורג (Graded potential)

פוטנציאל מדורג הוא שינוי מקומי וזמן-ב- $V_m$ , הנגרם ע"י פתיחה של **תעלות תלויות-ליגנד** (לרוב בעקבות נוירוטרנסמיטר).  
**מאפיינים מרכזיים:**

- **מדורג** – עצמת השינוי תלולה בעוצמת הגירוי.
- **דורך עם מרחק** – אין מתרפסת לאורך כל האקסון.
- יכול להיות:
  - **זה-פולרייזציה** – פחות שלילי (מעורר)
  - **היפר-פולרייזציה** – יותר שלילי (מעכב)

**חשוב לזכור:** פוטנציאל מדורג לא obeys חוק "הכל או כלום".

## IPSP-ו EPSP 2.3

- EPSP (Excitatory Postsynaptic Potential) – זה-פולרייזציה פוטסינפטית, מקרבת את התא לסוף העירור.
- IPSP (Inhibitory Postsynaptic Potential) – היפר-פולרייזציה פוטסינפטית, מרחקיקה את התא מסוף העירור.

**דוגמאות יוניות נפוצות:**

- EPSP: פתיחת תעלות  $\text{Na}^+$  (לרוב דרך רצפטורים לגלוטמט).
- IPSP: פתיחת תעלות  $\text{Cl}^-$  ( $\text{GABA}_A$ ) או  $\text{K}^+$  ( $\text{GABA}_B$ ).

## 2.4 GABA – עיכוב סינפטי: A<sub>A</sub>-GABA ו B<sub>B</sub>-GABA

GABA (Gamma-Aminobutyric Acid) הוא הנוירוטרנסמיטר **המעכב הראשי** במערכת העצבים המרכזית.  
ל-GABA שני סוגים רצפטורים עיקריים, בעלי מגנון שונה אך תוצאה משותפת: **הקטנת הסיכון** ליצירת פוטנציאל פעולה.

### 2.4.1 השוואת סוגי רצפטורי GABA

רצפטור	סוג רצפטור	תעלת	מהירות	מנגנון עיכוב
$\text{A}_A\text{-GABA}$	יונטרופי	$\text{Cl}^-$	מהיר	Shunting / היפר-פולרייזציה
$\text{B}_B\text{-GABA}$	מטבוטרופי (GPCR)	$\text{K}^+$ (בק�ין)	איטי	היפר-פולרייזציה

טבלה 2: השוואת סוגי רצפטורי GABA והאופן שבו הם יוצרים IPSP.

### 2.4.2 GABA<sub>A</sub> – תעלות כלור ( $\text{Cl}^-$ )

קשרית GABA ל- $\text{A}_A\text{-GABA}$  פותחת **תעלות  $\text{Cl}^-$**  – ויצירת **IPSP** מהיר.  
חשוב:

- גם אם  $E_{Cl} \approx V_m$ , פתיחת תעלות  $Cl^-$  עדין מעכבת.
- הסיבה: **inhibition Shunting** – עליה במוליכות המembrנה ש"מנקצת" IPSP נכנסים. לעומת זאת, העיכוב אינו חייב להיות שינוי גודל במתה, אלא **הקטנת ההשפעה של גירויים מעוררים**.

#### 2.4.3 GABA<sub>B</sub> – תעלות אשלגן K<sup>+</sup>)

GABA<sub>B</sub> הוא רצפטור מטבוטרופי הפועל דרך שליחים שניוניים. קשרית GABA גורמת ל:

- פתיחה עקיפה של תעלות K<sup>+</sup>.

- יציאת K<sup>+</sup> מהתא.

- היפר-פולרייזציה ברורה של המembrנה.

מאפיינים:

- איטי יותר מ-GABA<sub>A</sub>.

- ממושך יותר.

- מרחיק את התא מס' העירור.

#### 2.4.4 שורה ל מבחן

**GABA<sub>A</sub>** – עיכוב מהיר דרך Cl<sup>-</sup>. **GABA<sub>B</sub>** – עיכוב איטי דרך K<sup>+</sup>. שניהם יוצרים IPSP ומקטינים את הסיכוי לפוטנציאלי פעולה.

### 2.5 סכימה עצבית (Summation)

פוטנציאלים מדורגים יכולים להצטבר:

- **סיכום בזמן** (Temporal summation) – גירויים חוזרים מאותה סינפסה.

- **סיכום במרחב** (Spatial summation) – גירויים מכמה סינפסות שונות.

ההשלטה האם יוצר פוטנציאלי פעולה מתקבלת ב-hilllock axon.

### 2.6 פוטנציאלי פעולה (Action Potential)

פוטנציאלי פעולה הוא שינוי חד ומהיר ב- $V_m$ , המתפשט לאורכו האקסון. מאפיינים מרכזים:

- obeys חוק "הכל או כלום".

- גודל קבוע – אינו תלוי בעוצמת הגירוי.

- מתפשט ללא דעיכה.

## 2.7 סף העירור (Threshold)

- סף עירור טיפוסי:  $V_m = -55$ .
- חיצית הסף גורמת לפתיחה מסיבית של תעלות  $Na^+$ -תלוית-מתה.
- נוצר מושב חיובי → דה-פולרייזציה מהירה.

## 2.8 שלבי פוטנציאל הפעולה

1. דה-פולרייזציה: פתיחת תעלות  $Na^+$ -תלוית-מתה.
2. רגולרייזציה: אינאקטיבציה של  $Na^+$  ופתיחה של תעלות  $K^+$ .
3. היפר-פולרייזציה: יציאה עודפת של  $K^+$ .

## 2.9 התקופה הרפרקטורית

לאחר פוטנציאל פעולה קיימת התקופה שבה קשה או בלתי אפשרי ליצור פוטנציאל נוספת:

- התקופה רפרקטורית מוחלטת – לא ניתן ליצור AP נוספת ( $Na^+$  באינאקטיבציה).
- התקופה רפרקטורית יחסית – אפשרי, AP אך נדרש גירוי חזק במיוחד (היפר-פולרייזציה).

## 2.10 למה נירוטרנסמייטר לא יוצר פוטנציאל פעולה ישירות

- נירוטרנסמייטר פותח תעלות תלוית-ליגנד.
- פתיחה זו יוצרת פוטנציאל מדורג בלבד.
- פוטנציאל פעולה דורש פתיחה של תעלות  $Na^+$ -תלוית-מתה.
- רק כאשר סכימת ה-EPSP מביאה את  $V_m$  לסופי – נוצר AP.

שורת מבחן: נירוטרנסמייטר מתחילה את האות – תעלות תלוית-מתה יוצרות את פוטנציאל הפעולה.

## 2.11 קידוד עוצמה

- עוצמת הגירוי לא מקודדת בגודל ה-AP.
- העוצמה מקודדת ב-תדירות פוטנציאלי הפעולה (Rate coding).

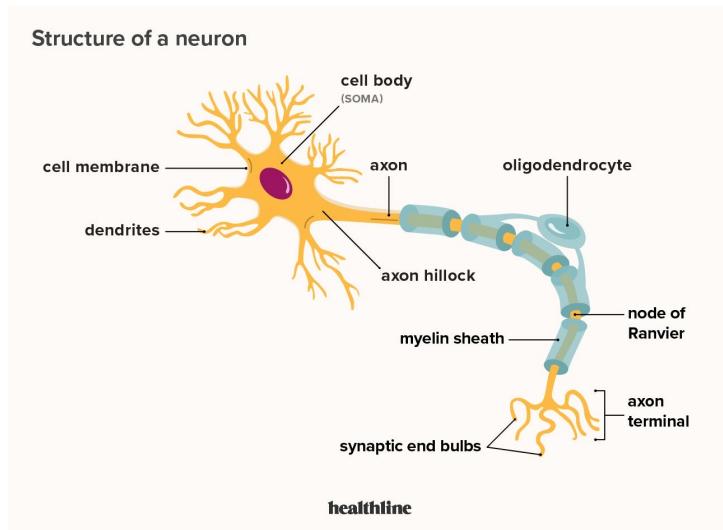
## 3 פוטנציאל מדורג, פוטנציאל פעולה והולכה לאורך האקסון

### 3.1 שלושה סוגי פוטנציאלים

בנירון קיימים שלושה סוגי שינוי מתה עיקריים:

- **Resting potential** – פוטנציאל המנוחה ( $V_m \approx -70$  mV).
- **Graded potential** – פוטנציאל מדורג (כולל EPSP ו-IPSP).

• פוטנציאל פעולה – Action potential (AP)



איור 1: מבנה נירון: דנדритים, גוף התא, axon hillock, אקסון ומילין

### 3.2 פוטנציאל מדורג: EPSP ו-IPSP

• EPSP (Excitatory postsynaptic potential): דה-פולרייזציה שמקרבת את המembrנה לסתף העירור.

• IPSP (Inhibitory postsynaptic potential): היפר-פולרייזציה שמרחיקת את המembrנה מהסתף.

- פוטנציאל מדורג הוא:
  - תלוי עצמת הגירוי.
  - דוער עם מרחק מהמקור.
  - יכול לעבור סכימה בזמן ובמרחב.

### 3.3 למה נוירונסמייטר לא "מייצר" פוטנציאל פעולה?

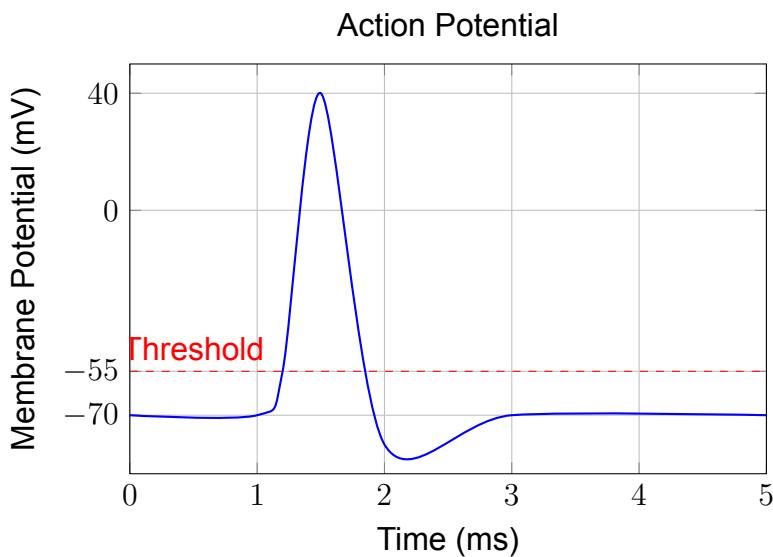
נוירונסמייטר נקשר לרצפטורים פוטו-סינפטיים ופותח לרוב **תועלות תלויות-יליגנד**, ולכן הוא יוצר פוטנציאל מדורג בלבד.

רק אם סכימה מרחבית/זמןית של EPSP-ים מביאה את **axon hillock** אל סף העירור, נפתחות תועלות  $\text{Na}^+$ -תלוית-מתוח.

פתיחה של תועלות  $\text{Na}^+$ -תלוית-מתוח יוצרת **משוב חיובי תלוי-מתוח**, שהוא התנאי ההכרחי לייצור פוטנציאל פעולה.

**שורת מבחן:** נוירונסמייטר יכול להתחל את התהיליך, אבל לא מייצר בעצמו פוטנציאל פעולה.

## 3.4 פוטנציאל פעולה – גרפ' ושלבים



### 3.4.1 הסטייה הקטנה לאחר היפר-פולרייזציה

לאחר שלב היפר-פולרייזציה, לעיתים נצפית סטייה קטנה וזמןית של המתח מעל פוטנציאל המנוחה ("גבעה קטנה").  
תופעה זו נובעת מכך ש:

- תעלות  $\text{K}^+$ -תלויות-מתח אינן נסגרות בו-זמנית.
- סגירתן מתרכשת באופן איטי והדרגתית.
- כתוצאה מכך, יציאת  $\text{K}^+$  מפוחתת בהדרגה, והמתח יכול לעבור מעל ערך המנוחה לפני התיצבות.

חשוב להזכיר:

- זו אינה פעילות סינפטית.
- זו אינה פתיחת תעלות  $\text{Na}^+$ .
- זו אינה יצירת פוטנציאל מדורג או פעולה נוספת.

מדובר בתהליך פיזיקלי של חזרה לשינוי-משקל הנובע מדינמיקה של תעלות יוניות.  
**שורות מבחן:** הגבעה הקטנה לאחר היפר-פולרייזציה נגרמת מסגירה איטית ולא סימולטנית של תעלות  $\text{K}^+$ , וגורמת לסתיטה זמנית של המתח מעל פוטנציאל המנוחה.

**שלבי פוטנציאל הפעולה:**

- **Depolarization:** פתיחת תעלות  $\text{Na}^+$  תלויות-מתח → כניסה  $\text{Na}^+$ .
- **Repolarization:** אינאקטיבציה של  $\text{Na}^+$  + פתיחת תעלות  $\text{K}^+$  → יציאת  $\text{K}^+$ .
- **Hyperpolarization:** יציאת  $\text{K}^+$  מוגברת → מתח שלילי מהרגיל.

### 3.5 תקופה רפרקטורית: מוחלטת ויחסית

- **תקופה רפרקטורית מוחלטת:** במהלך הדה-פולרייזציה והרפולרייזציה. תועלות  $\text{Na}^+$  נמצאות באינאקטיבציה → לא ניתן לייצר פוטנציאלי פעולה נוסף.
- **תקופה רפרקטורית יחסית:** בשלב ההיפר-פולרייזציה. ניתן לייצר פוטנציאלי פעולה, אך נדרש גירוי חזק יותר.

### 3.6 הולכה לאורך האקסון

- פוטנציאלי פעולה מתקדם בכיוון אחד בלבד (עקב התקופה הרפרקטורית).
- **מיילין** → הולכה סלטטורית (saltatory) בין Nodes of Ranvier.
- **קוטר אקסון גדול יותר** → התנגדות פנימית נמוכה יותר → מהירות הולכה גבוהה יותר.  
שורת מבחן: ברגע שפוטנציאלי פעולה התחילה – הוא הגיע לסוף האקסון.

## 4 נירואנטומיה: מנהכים, חתכים וمبرנים מרכזיים

### 4.1 מנהכים אנטומיים Directional Terms (Directions)

המנחים מתארים מיקום יחסי במוח.

• **Anterior / Rostral** – קדמי, לכיוון האף.

• **Posterior / Caudal** – אחורי, לכיוון尻ה.

• **Dorsal** – עליון (במוח האנושי).

• **Ventral** – תחתון.

• **Medial** – קרוב לקו האמצע.

• **Lateral** – רחוק מקו האמצע.

שגיאה נפוצה במבחן: לבלבל בין dorsal/ventral לבין superior/inferior.

### 4.2 מבטים חיצוניים על המוח (Views)

• **Superior view** – מבט מלמעלה.

• **Inferior view** – מבט מלמטה (בסיס המוח).

• **Lateral view** – מבט מהצד.

• **Medial view** – מבט פנימי לאחר חציה בין המיספרות.

### 4.3 חתכים במוח (Sections / Planes)

- חתך קדמי-אחורית – (רואים שתי המיספרות כמו "פנימם").
  - חתך ימין-שמאל.
  - חתך בקוו האמצע (רואים תלמים, גזע מוח).
  - חתך עליון-תחתון ("פרוסות").
- טיפ לבחן: אם רואים מבנים מדיאליים – זה כמעט תמיד mid-sagittal(mid-sagittal).

### 4.4 המיספרות וKİישוריות

- קלט/פלט מהצד הנגדי. Contralateral
- אוטו צד. Ipsilateral
- כל המיספה שולחת בעיקר על הצד הנגדי של הגוף.

### 4.5 המוח הקטן – Cerebellum

- נמצא מאחור ומתחתי לאונות האוקסיפיטליות.
- נראה כמו "אגוז".
- אחראי על תיאום תנועה, דיקוק וזמן.
- אינם יוזם תנועה אלא משפר אותה.

שאלה נפוצה: הרצבלום ≠ גזע המוח.

### 4.6 גזע המוח (Brainstem)

סדר אנטומי מלמטה למעלה:

Spinal cord → Medulla → Pons → Midbrain

- **Medulla:** נשימה, קצב לב, לחץ דם.
- **Pons:** ויסות נשימה, שינה, חיבור לרצבלום.
- **Midbrain:** רפלקסים חזותיים/شمיעתיים ובקרת תנועה בסיסית.

קרייטי לבחן: פגיעה ב-Medulla עלולה להיות קטלנית.

### 4.7 קליפת המוח: Sulci ו-Gyri

- **Gyrus** – קפל.
- **Sulcus** – חריצ.
- במהלך האבולוציה: יותר קפלים → יותר שטח קורטיקל.

## 4.8 חדרי המוח ו-CSF

- 4 חדרים: שני לטרליים, שלישי, רביעי.
- CSF נוצר בחדרים.
- תפקיד: הגנה, בלימת עצוזים.
- לא רואים חדרים במבט חיצוני.

## 4.9 קרומי המוח (Meninges)

מהחוץ פנימה:

- קשא וחיצונית – **Dura mater**.
  - קרום אמצעי – **Arachnoid**.
  - דק ונ匝ם למוח – **Pia mater**.
- ה-CSF נמצא ב-Subarachnoid space.

## 5 נירואנטומיה בסיסית: מנהים, חתכים ומבנה מרכזים

### 5.1 PNS ו-CNS

- CNS – מערכת העצבים המרכזית: מוח וחווט השדרה.
- PNS – מערכת העצבים ההיקפית: כל העצבים שאינם ל-CNS.

### 5.2 למה מנהים וחתכים חשובים

תמונה מוח (MRI) חתכים, אירורים) תמיד מתוארכות ביחס למנהים וחתכים. טעות בזיהוי כיוון או חתך →טעות בפרשנות השאלה.

### 5.3 מנהים אנטומיים (Directional terms) (Directional terms)

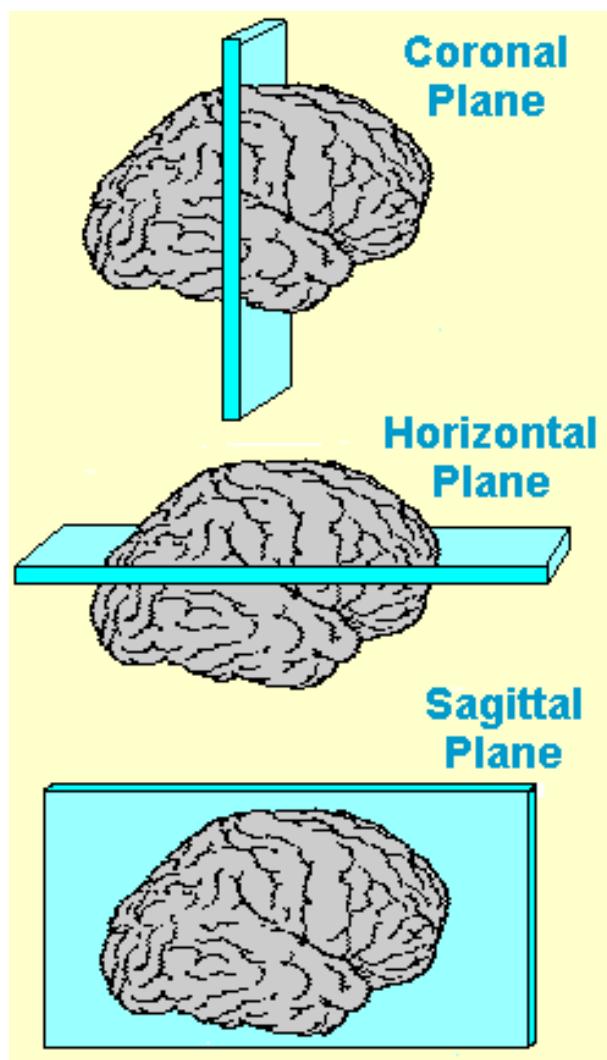
- קדמי, לכיוון האפ. – **Anterior / Rostral**.
- אחורי, לכיוון尻. – **Posterior / Caudal**.
- לכיוון הגב; במוח האנושי זה בקרוב **למעלה**.
- לכיוון הבطن; במוח האנושי זה בקרוב **למטה**.
- קרוב לקו האמצע (midline). – **Medial**.
- רחוק מקו האמצע (לכיוון הצדדים). – **Lateral**.
- עליון. – **Superior**.
- תחתון. – **Inferior**.

#### 5.4 מבטים על המוח (Views)

- מבט מהצד (רואים המספרה אחת). – **Lateral view**
- מבט פנימי לאחר ח齐יה בין המספרות. – **Medial view**
- מבט מלמעלה. – **Superior view**
- מבט מלמטה (בסיס המוח). – **Inferior view**

#### 5.5 חתכים במוח (Planes)

- חתך ימי-שמאל. – **Sagittal**
- חתך על קו האמצע → רואים מבנים מדיאליים.  
Mid-sagittal
- חתך קדמי-אחור. בדרך כלל רואים שתי המספרות יחד ("פרוסות פנים"). – **Coronal / Frontal**
- חתך עליון-תחתון. נראה כמו פרוסות מלמעלה למטה. – **Horizontal / Axial**



איור 2: חתכי מוח: Coronal ,Sagittal ,Horizontal

## **5.6 מבנים מרכזיים: תלמוס מול צרבולם ("האגוזים")**

- **תלמוס** (Thalamus): מבנה عمוק ומרכזי במוח. משמש כתחנת מסר עיקרית למידע סנסורי לקורטקו.
- **צרבולם** (Cerebellum): נמצא מאחור ולמטה ("מוח קטן"), בעל קפלים צפופים. אחראי על תיאום תנועה, דיק ותזמון (לא יוזם תנועה).

## **5.7 טעויות נפוצות בבדיקה**

- בלבול בין medial ל-lateral.
- בלבול בין superior/inferior לבין dorsal/ventral.
- זיהוי חתך coronal כ-sagittal. רמז: בקורונלי לרוב רואים שתי המספרות ייחד.