








ניצוצות במוח: סיפורם של תעלות יונים ותאי עָצב

Bert Sakmann*

מכון מקס פלאנק לנוירוביולוגיה, מרטינסֶרִיד, מינכן, גרמניה

סוקרים צעירים

- ANGELIQUE  גיל: 15
- CHASE  גיל: 14
- DANIELA  גיל: 13
- JAYDEN  גיל: 16
- JEFFREY  גיל: 17
- JONOVAN  גיל: 14
- SHANIA  גיל: 16

הִבְנַת התקשורת בין תאי עָצב במוח חיונית להבנת האופן שבו המוח פועל. תקשורת בין תאי עצב כוללת הַעֲבָרַת הודעות כימיות מתא אחד (התא השולח), אשר מתורגמות לאותות חשמליים בתא אחר (התא המקבל). פעילות חשמלית זו היא שפת היסוד של תאי עצב, ושל המוח כולו. כיצד הודעות כימיות שמשוחררות בתא עצב אחד גורמות לפעילות חשמלית בתא עצב אחר, וכיצד גילינו זאת? בואו נצלול יחד אל העולם המחשמל של תקשורת בין תאי עצב. במאמר זה, אספר לכם על אודות הניסויים שערכנו, אשר אִפשרו לנו למצוא את הרכיבים הבסיסיים ביותר של הפעילות החשמלית במוח – תעלות יונים. תגלית זו סללה את הדרך להבנת המקור לפעילות חשמלית במוח, ובאיברים אחרים כמו הלב. כמו כן, התגלית סיפקה תובנות חדשות עבור פיתוח תרופות המיועדות לטיפול במחלות שונות שקשורות לפעילות חשמלית, כמו למשל מחלת הנפילה (אפילפסיה) והפרעות בקצב הלב.

פרופסור בֶּרְט סַקְמַן זכה בפרס נובֶל לפיזיולוגיה או לרפואה לשנת 1991, במשותף עם פרופסור דוקטור אָרווין נֶהֶר, עבור תגליותיהם בנוגע לתפקודן של תעלות יונים בודדות בתאים.

כיצד תאים מתקשרים זה עם זה?

הגוף האנושי, וכל גוף חי אחר, מורכבים מְתָאִים – אבני הבניין הבסיסיות של החיים. כל תא הוא הן יחידה פרטנית, בעלת תפקודים עצמאיים, הן חלק מאיבר רב-תאי גדול יותר (כמו המוח או הלב), אשר נדרש לפעול באופן מתואם עם שאר מערכות הגוף ואיבריו. כל תא מוקף על ידי גבול פיזי ברור, שנקרא הֶמְמֶבְרָנָה של התא, המפריד בין תכולת התא לבין הסביבה החוץ-תאית ותאים אחרים. הממברנה מאפשרת לכל תא להיות בעל סביבה פנימית מוגדרת, ולבצע את תפקודיו הייחודיים. אולם, מאחר שתאים אינדיבידואלים הם חלק ממבנה גדול יותר, מרבית התאים – ובמיוחד תאי עצב – צריכים לתקשר עם תאים אחרים. כיצד תאים מתקשרים זה עם זה אם הם מופרדים על ידי מחסום בדמות ממברנת התא? ישנם כמה מנגנונים המאפשרים תקשורת בין-תאית. אחת הדרכים השכיחות ביותר היא זו שבה נתמקד במאמר זה – תא השולח חומר שליח לתא המקבל [1]. על ידי איתור החומר האמור, התא המקבל 'יודע' שנשלח אליו אות מתא אחר, ומגיב בהתאם.

תקשורת בין תאי עצב

תאי עצב, אבני המֶסֶד של המוח, 'מְדַבְּרִים' בשפה חשמלית. בכל רגע נתון, כל תא עצב מפגין פעילות חשמלית מסוימת, ומייצר מְעָרָךְ של אותות חשמליים קצרים המכונים 'סְפִיִיקים'. בשיתוף עם רשתות גדולות אחרות של תאי עצב פעילים, נוצרת במוח 'סימפוניה חשמלית' שלמה. פעילות חשמלית זו ברשתות עצבים גדולות במוחות שלנו, מקושרת לכל היבט של ההתנהגות והחוויה האנושיות: הפעולות, המחשבות, הרגשות, והזיכרונות שלנו.

כיצד תאי עצב מתקשרים זה עם זה כדי ליצור 'סימפוניה חשמלית' מתואמת כזו? תקשורת בין תאי עצב מורכבת יותר מתקשורת בין סוגי תאים אחרים, מאחר שהיא כוללת הן רכיבים כימיים הן רכיבים חשמליים. תקשורת זו מתרחשת באזור מגע מסוים בין תאי עצב שנקרא **סִינַפְסָה**, והיא מורכבת משני שלבים יסודיים. ראשית, התא השולח מפריש חומר כימי שנקרא **מוליך עצבי** (ניורטרנסמיטר) [1] אל החלל החוץ-תאי (הֶמְרָח) שבין התא השולח לתא המקבל. לאחר מכן, כאשר המוליך העצבי מגיע לתא המקבל, דרך **דיפוזיה**, הוא נקשר שם אל קולטנים מסוימים, ועקב כך יונים מתחילים לזרום דרך הממברנה של אותו התא. כתוצאה מכך, נוצרת פעילות חשמלית בתא המקבל (איור 1).

יונים ותעלות ממברנליות בתאי עצב

מרבית הזרמים החשמליים במוח מיוצרים על ידי קבוצה קטנה של **יונים** – ארבעה במספר. שלושה מבין היונים האלה טעונים חיובית (נתרן Na^+ , אשלגן K^+ , וסידן Ca^{++}), ואחד מהם טעון שלילית (כלור Cl^-). היונים האלה נכנסים ויוצאים דרך הממברנות של תאי עצב. כשהם עושים זאת, הם משנים את ה**פוטנציאל החשמלי** בין שני צְדֵי ממברנת התא. השינויים המהירים בפוטנציאל החשמלי לאורך ממברנת תא העצב עומדים בבסיס יצירת ה'מילה' החשמלית היסודית (או ה'ביט') שתאי עצב משתמשים בה. אלה הם האותות החשמליים המכונים 'ספייקים' (איור 1). תוכלו לחשוב על ספייקים בתור הבזקים קצרים ביותר של בְּרָקִים – אותות חשמליים מהירים (נמשכים כמילישנייה אחת, שהיא אלפית

תא עצב (Nerve Cell)

אבן הבניין העיקרית של המוח. תאי עצב מייצרים את הפעילות החשמלית של המוח.

סינפסה (Synapse)

נקודת מגע בין שני תאי עצב, המכילה מרווח קטן שבו חומר כימי – המוליך העצבי – עובר מהתא השולח (התא הפרה-סינפטי) לתא המקבל (התא הפוסט-סינפטי).

מוליך עצבי (Neurotransmitter)

נְיִוֵרֶטְרַנְסְמִיטֶר – חומר כימי שמשוחרר מתא עצב אחד ונקלט על ידי תא עצב אחר. חומר זה מאפשר תקשורת בין תאי עצב.

דיפוזיה (Diffusion)

תהליך של תנועה ספונטנית שבאמצעותו חלקיקים נעים באופן בלתי מכוון ממקום אחד לאחר.

יון (Ion)

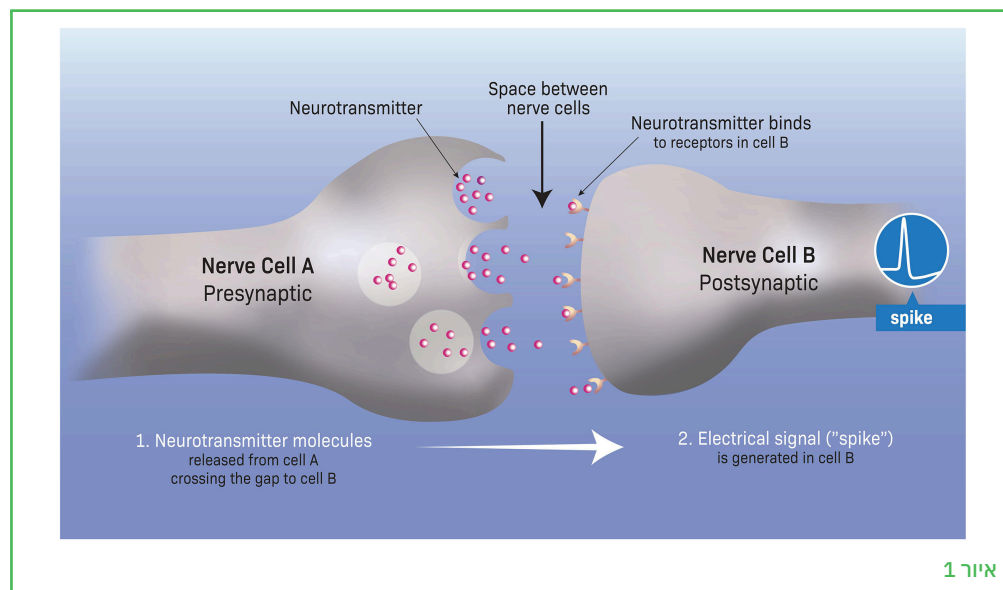
חלקיק בעל מטען חיובי או שלילי.

פוטנציאל חשמלי (Electrical Potential)

הבדל במטען בין שתי נקודות, במקרה שלנו בין שני צְדֵי הממברנה. יונים עם מטען חיובי יזרמו מהצד החיובי יותר של הממברנה לצד הפחות חיובי שלה.

איור 1

העברת מסרים בין תאי עצב בסינפסה. תקשורת בין תאי עצב מתרחשת באזור מגע מסוים בין התאים, שנקרא סינפסה. ראשית, תא העצב השולח (פּרֶה-סִינַפְטִי; תא A) משחרר חומר כימי, שנקרא מוליך עצבי (נוֹרֶוֹטְרַנְסְמִיטֶר) אל החלל הקטן שבין התאים. המוליך העצבי חוצה את המרווח הזה ונקשר לתא העצב המקבל (פּוֹסֶט-סִינַפְטִי; תא B). כתוצאה מכך, נפתחות בממברנה של התא הפוסט-סינפטי תעלות יונים, שדרכן יונים מתחילים לזרום, ומובילים להיווצרות אות חשמלי המכונה 'ספייק' (עיגול כחול מימין).



איור 1

השנייה), וזעירים (בגודל של עשירית וולט, או 100 מיליוולטים), המתרחשים בתאי עצב כשהתאים פעילים.

כיצד היונים האלה חוצים את מחסום הממברנה של תאי עצב כדי לייצר פעילות חשמלית? וכיצד המוליך העצבי שמשוחרר מתא אחד - התא השולח, מתורגם לפעילות חשמלית בתא שני – התא המקבל? חייב להיות נתיב כלשהו שדרכו יונים יכולים לחצות את ממברנת התא המקבל, שאחרת היא מבודדת. כשהתחלתי לחקור את התחום הזה, המנגנון שבאמצעותו יונים נעים דרך ממברנות של תאי עצב לא היה ברור.

באמצעות שיטה ניסויית מיוחדת שפיתחתי עם עמיתי, פרופ' ד"ר אַרְוִין נֶהֶר [2], גילינו כי יונים אכן עוברים בין שני צידי הממברנה, לפי הֶגְרָדְיָאנְטִים הכימיים שלהם. מצאנו שיונים חוצים את הממברנה דרך 'חורים' קטנים המצויים בה, שמכונים נקבוביות (pores). נקבוביות אלה בממברנה בנויות מחלבונים, המשמשים בתור תעלות הַמְחַבְרוֹת את החלקים החיצוני והפנימי של התא. מאחר שהחומרים העוברים דרך התעלות האלה הם יונים, הן מכונות **תעלות יונים** (איור 2). גילינו כי תעלות יונים נפתחות ונסגרות במהירות בתגובה למוליכים עצביים. הפתיחה והסגירה של תעלות יונים מסוימות (לדוגמה, תעלות שהן ספציפיות ליוני נתרן או אשלגן), מאפשרות את הזרימה של יונים דרך ממברנת התא. זרם זה, בתורו, משנה את הפוטנציאל החשמלי על פני הממברנה. בתגובה, התא המקבל מייצר את ניצוץ ה'ספייק' – ה'מילה' החשמלית היסודית של המוח.

גילוי תעלות היונים: שיטת קיבוע הפיסה

כאשר פרופ' ד"ר נֶהֶר ואני התחלנו לחקור זרימה של יונים בתאי עצב, שקלנו שני מנגנונים אפשריים של תנועת יונים, שיכלו לפעול בתאים אלה. המנגנון הראשון התבסס על מולקולות הֹבְלָה. לפי רעיון זה, מולקולות מסוימות בממברנה 'תופסות' יון אחד בכל פעם, מעבירות אותו מהסביבה החוץ-תאית אל פְּנִים התא, ומשחררות אותו שם. כשהתחלנו את מחקרנו

גרדיאנט כימי (Chemical Gradient)

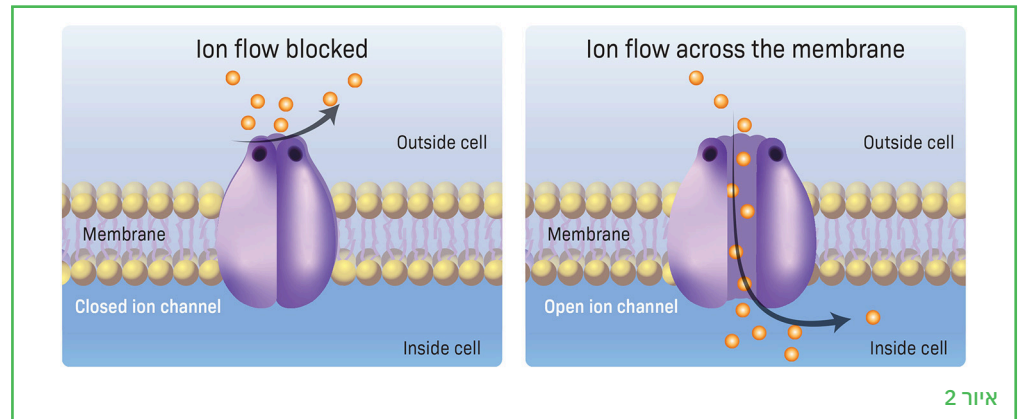
הבדל בריכוז של חומר בין שני מיקומים. החומרים, במקרה שלנו יונים משני צידי הממברנה, נעים ב'מורד' הגרדיאנט, מהצד בעל הריכוז הגבוה יותר לצד בעל הריכוז הנמוך יותר.

תעלת יונים (Ion Channel)

חור (נקבובית) קטן שמורכב מחלבונים בממברנת התא. כאשר הוא נפתח מתאפשר מעבר של יונים אל פְּנִים התא ומחוץ לו.

איור 2

תעלות יונים בממברנת תא העצב. תעלות יונים (בסגול) הן מקבוצות (חורים) שמורכבות מחלבונים, אשר של תאי עצב. בתא המקבל (הפוסט-סינפטי; ראו איור 1), תעלות אלה בדרך כלל סגורות (צידו השמאלי של האיור) ולפיכך זרימת היונים חסומה, אולם הן נפתחות (צידו הימני של האיור) בתגובה למוליכים עצביים שמשחררים מהתא השולח (הפרה-סינפטי, ראו איור 1). פתיחתן של תעלות יונים ממברנליות מאפשרת זרימה של יונים (כדורים כתומים) דרך הממברנה, וזרימה זו משמשת כמנגנון הבסיסי ליצירת פעילות חשמלית בתאי עצב.



איור 2

היה ידוע כי מנגנון זה פועל בתהליכים גופניים אחרים, כמו למשל בייצור אנרגיה – תהליך שבו מולקולות של חומרי מזון עוברות דרך ממברנת התא באמצעות מולקולות הובלה.

המנגנון האפשרי השני שבחנו, אשר מאוחר יותר אָנְשָׁש בניסוינו, התבסס על כך שתעלות יונים קיימות בממברנה עבור יונים מסוימים. תעלות אלה יכולות להיות פתוחות או סגורות. כשהן פתוחות, זָרָם יוֹנִי יכול לזרום בין שני צידי הממברנה, אשר מְחַבֵּרֶת את הסביבה החיצונית של התא לסביבתו הפנימית (איור 2). ביקשנו לבחון אם מנגנון זה אחראי לתעבורת יונים לתוך התאים ומחוץ להם במהלך ייצור הספייקים. לָשֵׁם כך היינו צריכים לחקור את הפעילות החשמלית שנובעת ממעבר יונים על פני הממברנה דרך תעלות יונים בודדות. כדי לעשות זאת, היה עלינו לבדוד אזור קטן מאוד, או פיסה, של ממברנת תא עצב, בתקווה שנצליח למדוד את הזרם החשמלי שעובר דרך תעלת יונים בודדת שעשויה להתקיים באותה פיסה קטנה של הממברנה. אם תעלות יונים קיימות, היינו מצפים למדוד תבנית מסוימת של פעילות חשמלית הקשורה לפתיחת תעלת היונים ולסגירתה. תבנית זו אמורה להיות שונה מתבנית הפעילות החשמלית שצפויה אם נעשה שימוש במולקולות הובלה במטרה להניע יונים על פני הממברנה.

לצורך עריכת סוג זה של מדידת זרם, נדרשנו להתגבר על שני אתגרים עיקריים. ראשית, היינו צריכים למדוד זרימה של יונים על פני תעלת ממברנה בפיסה קטנה מאוד של הממברנה, בלי לאבד אף חלק מהזרם הזה. משימה זו כרוכה בקושי מאחר שאם מכשיר המדידה אינו מוצמד בחוזקה אל הממברנה, יונים שחוצים את הממברנה דרך התעלה עלולים 'לברוח' לצדדים לפני הגיעם אל מכשיר המדידה. לכן, היה עלינו לוודא כי היונים שחוצים את הממברנה נאלצים לזרום דרך מכשיר המדידה.

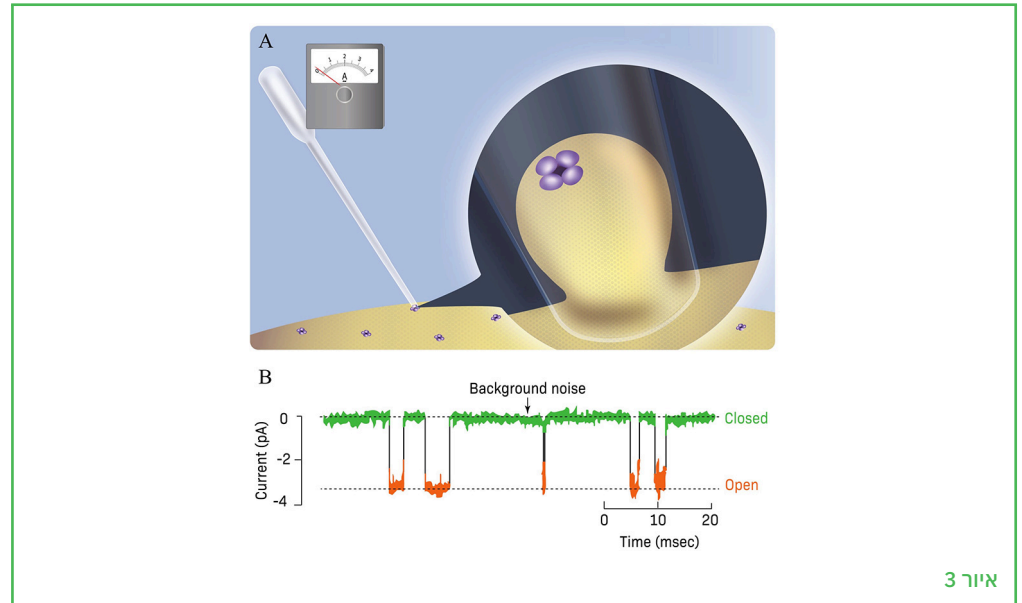
האתגר השני היה להבחין בין שני סוגי זרם שזורמים דרך ממברנת תא העצב. מתברר כי הממברנה תמיד פעילה חשמלית – תופעה אשר מכונה 'רעש רָקֵע'. רעש רקע מופיע בתור פעילות חשמלית קבועה, השונה מהפעילות החשמלית שקשורה לזרימת יונים דרך הממברנה בתגובה למוליכים עצביים. רעש הרקע עשוי להיות נרחב מאוד בהשוואה לזרם שרצינו למדוד מפתחה של תעלות ממברנליות בודדות. לכן, היינו צריכים למצוא דרך להפחית את רעש הרקע כך שלא יתגבר, או 'יְמַסֵּךְ' את הזרם שזורם דרך תעלות יונים בודדות.

פתרנו את שני האתגרים הללו באמצעות שימוש בצינורית זכוכית דקה ביותר שנקראת פיפטה, בעלת קצה בקוטר של מיקרומטר אחד (אלפית המילימטר, איור 3A). בקצה השני של הפיפטה היה מד-זרם (אמפרמטר), אשר מודד זרם חשמלי. קצה הפיפטה, בעל הקוטר הזעיר, הוצמד בחוזקה כנגד פיסה קטנה של ממברנת התא. על ידי ביצוע פעולת שאיבה נוצר צימוד הדוק בין קצה הפיפטה לבין הממברנה, במטרה לוודא שלא תתרחש דליפת יונים. רישומים מפיסה קטנה כל כך של ממברנה אף הפחיתו את רעש הרקע, ולכן שיפרו את רישום זרימת היונים דרך תעלת היונים.

איור 3

זרימת זרם דרך תעלות יונים ממברנליות. (A) שיטת קיבוע הפיסה - קצה של פיפטה זכוכית דקה מוצמד בחוזקה כנגד פיסה קטנה של ממברנת תא המכילה תעלת יונים (בסגול, ראו גרסה מוגדלת בתוך העיגול שבאיור). הפיפטה מכילה מוליך עצבי שנקשר לממברנה ופוחת תעלה יונית, מה שמאפשר זרימה של יונים בין שני צידי הממברנה. הזרם שזורם דרך תעלת היונים נמדד על ידי מד-זרם שמחובר לפיפטה. (B) מדידות של זרם הזורם דרך תעלת יונים בודדת בפיסה קטנה של ממברנה - תעלת היונים הזו נפתחת ונסגרת בצורה ספונטנית בתגובה להיקשרות (פתיחה) ולשחרור (סגירה) של מוליך עצבי מהקולטן בממברנה (איור 1). כשתעלת היונים סגורה, נמדד רעש רקע (בירוק). כשתעלת היונים פתוחה, נמדד זרם מהיר, דמוי-מדרגה שיוודת מטה (בכתום). האיור אומץ מ-Neher and Sakmann [2].

¹ פיקו-אמפרים (pA) משמשים למדידת זרמים חשמליים זעירים ביותר. פיקו-אמפר אחד שווה ל- 10^{-12} אמפר.



איור 3

זרימת זרם דרך תעלת היונים

ללא נוכחות מוליך עצבי, מצאנו שלא עבר זרם דרך התעלה, ונצפה רק רעש רקע נשולי (איור 3B). כאשר מוליך עצבי נקשר לממברנה, תעלת היונים נפתחה במהירות רבה, בצורה דמוית-מדרגה, מה שאפשר זרימת זרם זעיר של כמה פיקו-אמפרים¹ על פני הממברנה [2-4]. פירוק המוליך העצבי מהממברנה גרם לתעלה להיסגר בשנית (איור 3B). מצאנו כי תעלת היונים נשארה פתוחה או סגורה במשך מילישניות בודדות. כמו כן גילינו כי מן־המצב הפתוח של התעלה ומרווח הזמן שבין שתי פתיחות עוקבות של התעלה השתנו, כתוצאה מהיקשרות בלתי סדירה של מולקולות המוליכים העצביים אל הממברנה. כפי שתוכלו לראות באיור 3B, כאשר הָזָרָם זָרָם דרך התעלה הפתוחה, הַמְשָׁרְעַת שלו הייתה קבועה לְמִדֵּי.

לאחר מדידת הָזָרָם הזעיר שָׁזָרָם דרך פיסת הממברנה, וביצוע כמה חישובים, הערכנו כי כ-10,000 יונים חצו את הפיסה הקטנה של הממברנה בכל מילישנייה. מכאן למדנו כי פתיחתן של תעלות יונים, ולא נשיאת היונים על ידי מולקולות הובלה, היא המנגנון המאפשר ליונים לעבור דרך ממברנת התא! מולקולות הובלה הן איטיות מְדִי מכדי להעביר יונים על פני הממברנה בקצב מהיר כל כך. זו הייתה תגלית חשובה, מאחר שהיא איששה את קיומן ופעולתן של תעלות יונים כמנגנון הבסיסי שמייצר פעילות חשמלית, לרבות הספייק, בתאי

עצב. תעלות יונים אלה אחראיות גם על יצירת פעילות חשמלית ברקמות אחרות 'בְּנוֹת הפעלה חשמלית', כלומר שיש להן יכולת עירור חשמלית, כמו למשל שרירים היקפיים והלב.

יתרה מזו, תגליתנו הייתה חשובה להבנת התפקוד של תעלות יונים ממברנליות מאחר שהפרעות נוירולוגיות רבות, כמו גם הפרעות בקצב הלב וברקמות גוף אחרות, נובעות מלקויות בתפקוד תעלות יונים. כפועל יוצא נטבע המונח החדש 'Channelopathy'² לתיאור משפחה רחבה מאוד של מחלות הנגרמות עקב פגמים בתפקודן של תעלות יונים. עבור התגלית של תעלות יונים ממברנליות ותפקידן, עמיתי, פרופ' ד"ר נָהָר, ואני זכינו בפרס נובל לפיזיולוגיה או לרפואה לשנת 1991.

² לקריאה נוספת על אודות Channelopathy, לחצו כאן.

המלצות למוחות צעירים

אתחיל בכך שאשתף אתכם בדבר החשוב ביותר שלמדתי מהמנחה המדעי שלי, פרופ' ברנרד כץ, שזכה בפרס נובל לפיזיולוגיה או לרפואה לשנת 1970. הוא לימד אותי שעלינו להיות ביקורתיים מאוד באשר לתוצאות שאנו מקבלים, ותמיד להתכונן לאפשרות שממצאים חדשים יפריכו ממצאים ישנים שלנו – עד כמה שזה עשוי להיות בלתי נעים. אני מנסה להעביר את המסר הזה לסטודנטים שלי, וללמד אותם להיות ביקורתיים בנוגע לתוצאות שלהם. במיוחד בתחום של רקמות ביולוגיות, ישנן השפעות רבות שאיננו יכולים לשלוט בהן, וצריך להביאן בחשבון. לכן, כשתלמידיי מגלים ממצא חדש, אני מייעץ להם לשמור אותו לעצמם במשך זמן מה, ולחזור על הניסויים שלהם כדי לנסות לְאֶשֶׁר את תוצאותיהם פעם אחר פעם. אני מבקש מהם לפרסם את תוצאותיהם רק לאחר שהם משוכנעים לחלוטין בכוננותן.

ממבט רחב יותר על החיים, לדעתי חיים טובים הם כאלה שבהם יש לכם דבר מה לחשוב עליו, שמעניק לכם הזדמנות לעקוב אחר סקרנותכם, ואולי גם לגלות משהו חדש. מנקודת המבט של אנשים אחרים, חיים טובים משמעותם להרוויח הרבה כסף או להיות מפורסמים וּמְכָרִים על ידי אחרים, וזה גם בסדר גמור. אני חושב שלהיות מדענים זו הבחירה הטובה ביותר שביכולתכם לעשות, אבל רק אם אתם סקרנים לגבי הטבע. אל תנסו להיות מדענים כיוון שאתם סבורים כי זה מקצוע 'נוצץ'. אם אינכם 'בוערים' מבפנים, עם דחף בלתי נשלט לגלות דברים, עדיף שתבחרו מקצוע אחר – כזה שכן גורם לכם 'לבעור' מתוך התרגשות ותשוקה.

חומרים נוספים

- פרס נובל לפיזיולוגיה או לרפואה לשנת 1991.
- שיטת קיבוע הפיסה.

תודות

ברצוני להודות לנועה שגב על עריכת הריאיון שהיווה את הבסיס למאמר זה, ועל כתיבה משותפת של המאמר. תודה לשרון עמלני על האיוורים.

מקורות

1. Katz, B. 1971. Quantal mechanism of neural transmitter release. *Science*. 173:123–6.
2. Neher, E., and Sakmann, B. 1992. The patch clamp technique. *Sci. Am.* 266:44–51.
3. Hamill, O. P., and Sakmann, B. 1981. Multiple conductance states of single acetylcholine receptor channels in embryonic muscle cells. *Nature*. 294:462–4.
4. Bormann, J., Hamill, O. P., and Sakmann, B. 1987. Mechanism of anion permeation through channels gated by glycine and gamma-aminobutyric acid in mouse cultured spinal neurones. *J. Physiol.* 385:243–86.

פורסם אונליין: 23 בדצמבר 2022

נערך על ידי: Casey Lew-Williams

מנחה מדעי: Ivette Planell-Mendez

ציטוט: Sakmann B (2022) ניצוצות במוח: סיפורם של תעלות יונים ותאי עצב. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2022.858193-he

תורגם והותאם מ: Sakmann B (2022) Sparks in the Brain: The Story of Ion Channels and Nerve Cells. *Front. Young Minds* 10:858193. doi: 10.3389/frym.2022.858193

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחבר מצהיר כי המחקר נערך בהיעדר כל קשר מסחרי או כלכלי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2022 © Sakmann 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

ANGELIQUE, גיל: 15

שמי Angelique, ואני תלמידת כיתה ז בכיתה מצוינות מדעית של גברת Vidalon, בחטיבת ביניים Dodd. פעילות הפנאי המועדפת עליי היא צפייה בסרטים ובתוכניות טלוויזיה שתכניהם עוסקים בכסף ובמקרי רצח. אלה הם גם תחומי הלימוד המועדפים עליי: כלכלה וקרימינולוגיה. אני מצוינת במתמטיקה, קיבלתי דרגת מומחיות במבחני בקיאות בתחום זה בתיכון (נהוגים במדינת ניו יורק), ואני זוכה בקביעות בפרסים על הישגיי במתמטיקה. שואפת להיות יזמית בעתיד, ולשאת את נאום הפרידה של התלמידים בסיום התיכון.

CHASE, גיל: 14

אני תלמיד כיתה ח בכיתה מצוינות מדעית של מר Capaccio, בחטיבת ביניים Dodd.



**DANIELA, גיל: 13**

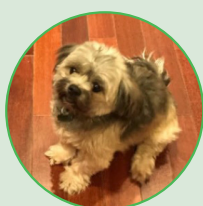
שמי Daniela, ואני תלמידת כיתה ז בכיתת מצוינות מדעית של גברת Vidalon, בחטיבת ביניים Dodd. המקצוע המועדף עליי הוא מתמטיקה. יש לי שתי אחיות ואח. אני אוהבת לקרוא ספרי פנטזיה וספרי הרפתקאות.

**JAYDEN, גיל: 16**

שמי Jayden, ואני שואף לפתח קריירה בתחום מדעי המחשב. קריאת המאמר הזה הייתה חוויה מצוינת עבורי כיוון שהוא מעניין מאוד. אני חושב שכדאי שיותר ילדים יקראו את המאמרים הללו, מאחר שתכניהם מציעים חוויית למידה טובה וחשובה לגבי נושאים שמרבית האנשים אינם נחשפים אליהם.

**JEFFREY, גיל: 17**

היי, אני Jeffrey. יש לי אח, אחות וארנב מחמד. המקצוע המועדף עליי הוא מדעים, ובפרט פיזיקה. כיום אני סטודנט בתוכנית המציעה לימודים גבוהים לתלמידי תיכון (AP), נהוג בארה"ב ובקנדה ביוזמת הוועד המנהל של הקולג'ים) בקורסי פיזיקה 1 ו-2, בהנחיית ד"ר Capalbo.

**JONOVAN, גיל: 14**

שמי Jonovan, ואני תלמיד כיתה ח בכיתת מצוינות בתחום מדעי כדור הארץ של מר Capaccio. אני אוהב מדעים ומתמטיקה.

**SHANIA, גיל: 16**

אני תלמידת כיתה י בכיתת מצוינות מדעית של גברת Parigoris, בבית ספר תיכון Freeport. נהנית לטייל ומתפעלת מנופים חדשים. סדרת הטלוויזיה האהובה עליי היא 'Criminal Minds', והיוצר האהוב עליי הוא Abel Tesfaye, המוכר בשם הבמה 'The Weekend'.

הכותב**BERT SAKMANN**

ברט סקמן הוא פרופסור במכון מקס פלאנק לניורוביולוגיה במינכן, גרמניה. פרופ' סקמן הוכשר בתחילה כרופא באוניברסיטת לודוויג-מקסימיליאן במינכן. במהלך לימודיו הפך לקלינין, נחשף לתחומי הביופיזיקה והניורופיזיולוגיה. גישל העניין הרב שפיתח לגביהם, החליט לשנות את לימודיו לתחום של מדעי המוח, ולחקור שאלות מדעיות יסודיות שקשורות לאופן שבו אותות חשמליים מיוצרים ומועברים במוח. בשנת 1971, עבר ליוניברסיטי קולג' לונדון, שם עבד תחת הנחייתו של פרופ' ברנרד כץ (זוכה פרס נובל לפיזיולוגיה או לרפואה לשנת 1970, עבור תגליותיו הקשורות לאופן פעולת מוליכים עצביים בתאי עצב). בשנת 1974, פרופ' סקמן הצטרף למחלקה לניורוביולוגיה במכון מקס פלאנק לכימיה ביו-פיזיקלית בגטינגן, גרמניה, שם פגש את שותפו, פרופ' ד"ר ארווין נהר, שאיתו פיתח את שיטת קיבוע הפיסה, שהובילה לגילוי תעלות יונים בודדות. עבור תגלית זו הם זכו במשותף בפרס הנובל לפיזיולוגיה או לרפואה לשנת 1991. בחלק מהכסף שקיבל במסגרת הזכייה בנובל השתמש פרופ' סקמן לייסוד ההרצאה השנתית על שם ברנרד כץ, בשיתוף עם קרן הומבולדט, במטרה לקדם שיתוף פעולה בין מדענים צעירים ישראלים וגרמנים. בשנת 1979, פרופ' סקמן היה לעמית חוקר במכון מקס פלאנק לכימיה ביו-פיזיקלית.



בשנת 1988, עבר להיידלברג וכיהן כראש מכון מקס פלאנק למחקר ביו-רפואי. בשנת 2008, עבר למכון מקס פלאנק לנוירוביולוגיה במינכן, שם הקים את קבוצת 'Cortical Column in Silico', והוביל את פעילותה. בין השנים 2009 ל-2011, כיהן כמנהל המדעי של מכון מקס פלאנק פלורידה. לפרופ' סקמן היה חלק חשוב בהקמת מרכז אדמונד ולילי ספרא למדעי המוח (ELSC) באוניברסיטה העברית בירושלים, ישראל. במהלך הקריירה שלו זכה בכמה פרסים חשובים, לרבות פרס לואיזה גרוס הורביץ (1986); פרס לואיס-ג'ינטט לרפואה (1988); פרס מאגנס מטעם האוניברסיטה העברית (1982); פרס הארווי מטעם הטכניון (1991); פרס נובל לפיזיולוגיה או לרפואה (1991), ופרס חברות בחברה המלכותית (1994). פרופ' סקמן הוא אב גאה ל-3 ילדים וסב גאה ל-5 נכדים. *bs@mpimf-heidelberg.mpg.de

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK