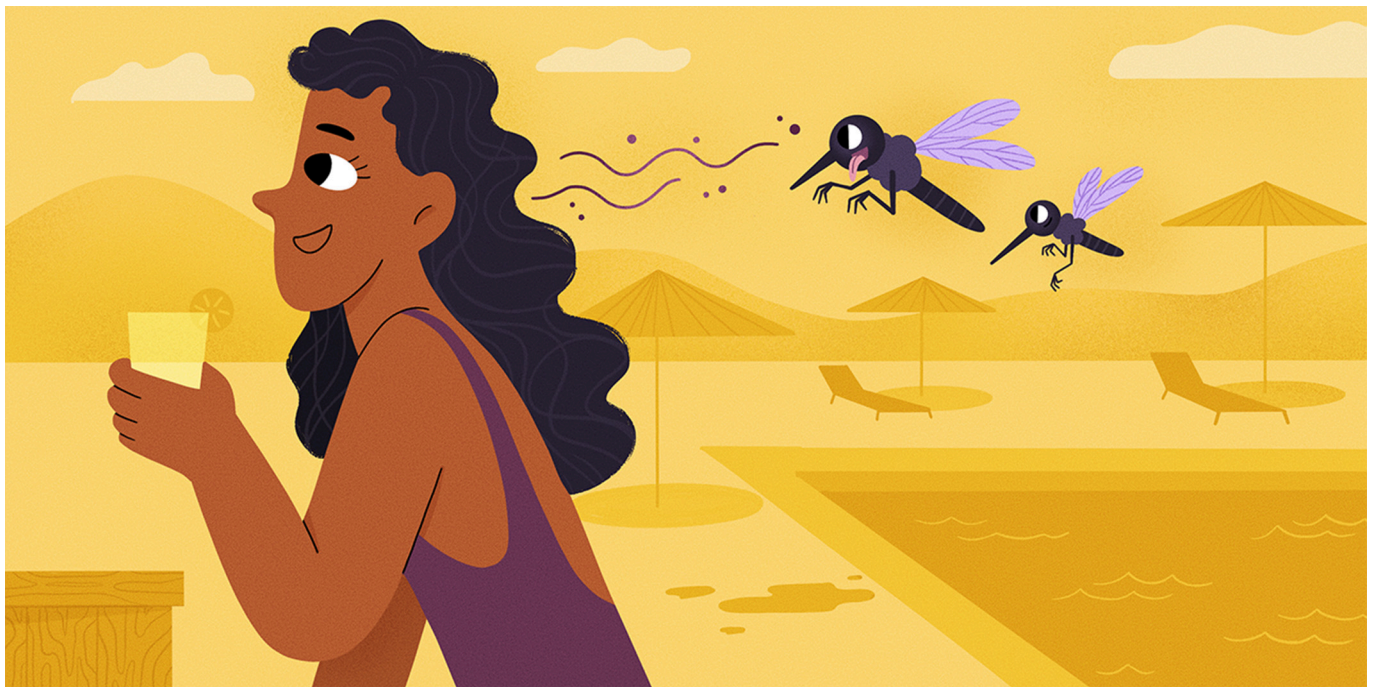




חוש הריח של היתוש: על מה כל הבאזז?

Kaledora Kiernan-Linn^{1†}, Karina Pimenta^{1†} | Julien Grimaud^{1,2*}

¹המחלקה לביולוגיה מולקולרית ותאית, אוניברסיטת הרווארד, קיימברידג', מסצ'וסטס, ארה"ב
²מחלקת המחקר של Sup'Biotech, וילז'ואיף, צרפת

סוקרים צעירים

DHANVI

גיל: 12



SHIVASAI

גיל: 10



SPANDANA

גיל: 11



SRAVYA

גיל: 14



YAJURVI

גיל: 12



אם יש לכם תחושה שאתם מושכים יתושים, עליהם על משהו. הנקבות של רוב זני היתושים צריכות לצרוך דם כדי לייצר ביציות, והן משתמשות בחושים מיוחדים כדי למצוא את ה'חטיף' הבא שלהן. הרוק שהן משאירות אחריהן לאחר שהן 'לוקחות בים' עלול לגרום למגוון תופעות – מגירוי קל, עד לנפיחות מכאיבה ולחום. המזמזמות הצמאות הללו משתמשות ביכולותיהן כדי לגלות פחמן דו-חמצני, חום ומולקולות ריח במטרה למצוא מזון. במאמר זה נעסוק ביסודות חוש הריח של היתושים: איך הם מריחים, כיצד נראה ה'אף' שלהם ואיך הם מזהים באופן מיוחד בני אדם כמוכם. ביתושים יש יותר מאשר זמזומים ועקיצות! כאשר נבין טוב יותר איך הם מזהים ריחות ומוצאים טרף, אולי תהיה בידינו הדרך להתגוננות מפני המחלות אשר להן הם גורמים.

להבין יתושים מן היסוד

האם קרה לכם שיצאתם מבריכה, והייתם חייבים להעיף מעליכם יתושים מדי כמה שניות? האם בסוף כל קיץ אתם מוצאים את עצמכם עם רגליים מלאות עקיצות? אם אתם מרגישים

שיתושים נטפלים אליכם, אינכם היחידים. הנקבות של רוב זני התושים צריכות לצרוך דם כדי לייצר ביציות, והן משתמשות בחושים מיוחדים לאיתור ה'חטיף' הבא שלהן. למרות שכנראה אין סיבה אחת בלבד לכך שאתם 'מושכים אש', ישנם כמה גורמים שעשויים להפוך אתכם מושכים במיוחד.

יתושים משתמשים ברמזים רבים כשהם מאתרים את ארוחותיהם, כמו חום גוף ורמות הפחמן הדו-חמצני (CO_2), המלמדים אותם על כך שיש בסביבה חיה נושמת. יתושים יכולים לחוש בנוכחות פחמן דו-חמצני ממרחק של כמעט 9 מטרים! כשנקבות התושים מאתרות מטרה פוטנציאלית, הן משתמשות בחוש הריח שלהן כדי לעקוב אחר הריח המשפר עד שהן מתקרבות מאוד [1]. אז, הן 'מחליפות' לחיטת חום, כדי לתור אחר אזור העקיצה המושלם, ונוחתות על עורכם. כיצד הן מרחרחרות אתכם? וכן, בהתחשב בכך שישנם 3,559 זני יתושים בעולם – למה נראה שכולם רוצים לעקוץ אנשים מסוימים יותר מאשר אחרים [1]?

כיצד יתושים מריחים דברים?

ראשית, נתמקד בביוֹלוגיה הבסיסית של **חוש הריח**. זוהי מערכת מורכבת ומכווננת ברגישות רבה, המזהה מולקולות שמרחפות לתוך האף האנושי, או סביב למחושיתושים. ריח אחד, כמו זה של שוקולד או של דשא קצוץ, מורכב ממאות מולקולות ריח שונות, שהמערכת מזהה בבת אחת. אולי הרחתם בושם והבחנתם בניחוח וניל, או בֶרֶמֶז של לימון. חשבו על כך כמו על יצירה מוזיקלית יפהפייה. כשם שאנו מעבדים את צליליו של אֶקוֹרְד מסוים באוזנינו כדי לייצר צליל אחד, כך אֶפְּינו מעבדים מולקולות רבות יחד כדי ליצור ריח מסוים.

כל אחד מסוגי מולקולות הריח הרבים מזהה על ידי אחד מתאי העֶצֶב של מערכת חוש הריח (OSN, להלן: 'עצבי חוש הריח/ריח'), המצויים באף. עצבי חוש הריח ומולקולות הריח פועלים מעט בדומה למנועולים ומפתחות. כשם שכל מפתח פותח מנעול מסוים, כך כל מולקולת ריח מזהה על ידי עצב חוש ריח מסוים. לחלק מהיתושים יש יותר מ-80 סוגים שונים של עצבי חוש ריח, אך מספר זה אינו משתווה ל-350 סוגי עצבי חוש ריח הקיימים באפו של אדם [2, 3]!

עצבי חוש הריח 'מדווחים' למוח אֵילו מולקולות ריח הם זיהו. כיוון שכל עצב חוש ריח מזהה מולקולה מסוימת אחת, והריחות מורכבים ממאות מולקולות שונות, המידע מגיע למוח בצורה המזכירה רשימה של מולקולות ריח נפרדות. המוח צריך 'לקרוא' את הרשימה ולהבין לאיזה ריח היא מתאימה. זה מכונה הקוד של מערכת חוש הריח, והוא כמעט אינסופי, בדומה לכתיבה – בשפה העברית 22 אותיות, המרכיבות אלפי מילים. באופן דומה, יש לנו 350 סוגים של עצבי חוש הריח, אך אנו מסוגלים לזהות אלפי ריחות שונים. ישנם מדענים הטוענים כי ביכולתנו לזהות אפילו יותר ממיליארד ריחות [2, 3]!

איך נראה האף של היתוש?

לחרקים כמו יתושים אין אֶפִים כמו אלה של בני האדם. במקום זאת, יש להם איברי הרחה רבים שמזדקרים מהגוף, וכל אחד מהם מתפקד כמו אף קטן. קרוב לוודאי שאתם יודעים כבר איך האיברים הללו נראים. אצל יתושים בוגרים אלה הם המְחוּשִׁים; הַחֶדֶק (חלק

חוש הריח (Olfaction)

היכולת לזהות מולקולות ריח באוויר. אצל בני אדם, איבר ההרחה הוא האף.

תאי העצב של מערכת חוש הריח (Olfactory Sensory Neurons (OSNs))

תאים המזהים מידע על אודות ריחות, ומשדרים אותו מאיברי ההרחה למוח.

איור 1

מערכת חוש הריח של היתוש, כאשר מסתכלים על ראש היתוש מלמעלה. עצבי חוש הריח (ראו מבט מורחב בעיגול) על מחושי היתוש, על החדק ועל חניני הלסתות העליונות, מזהים מולקולות ריח שונות, ובכלל זה פחמן דו-חמצני. עצב המחוש, המורכב מאקסונים (ראו הסבר במילון המונחים) של עצב חוש הריח, מעביר את המידע על הריח מגוף היתוש לאגנת המחוש במוח היתוש, שבה ממוקמים הגלומרולים (ראו הסבר במילון המונחים). מקרא:

= Higher order Neurons
תאי עצב מסדר גבוה;
= Projection Neurons
עצב בעלי שלוחות רחוקות;
= Antennal Lobe
אונת המחוש;
= Glomerulus
גלומרולוס;
= Maxillary Palp
חניני הלסתות העליונות;
= Antenna
מחוש;
= Antennal Nerve
עצב המחוש;
= Proboscus
חדק;
= Human Odor Molecules
מולקולות ריח ממקור אנושי;
= OSN
עצב חוש הריח.

גלומרולוס

(Glomerulus (Plural Glomeruli))

במערכת חוש הריח של חרקים – צביר כדורי של קצות עצבים הממוקם בתוך אונת המחוש שבמוח.

איור 2

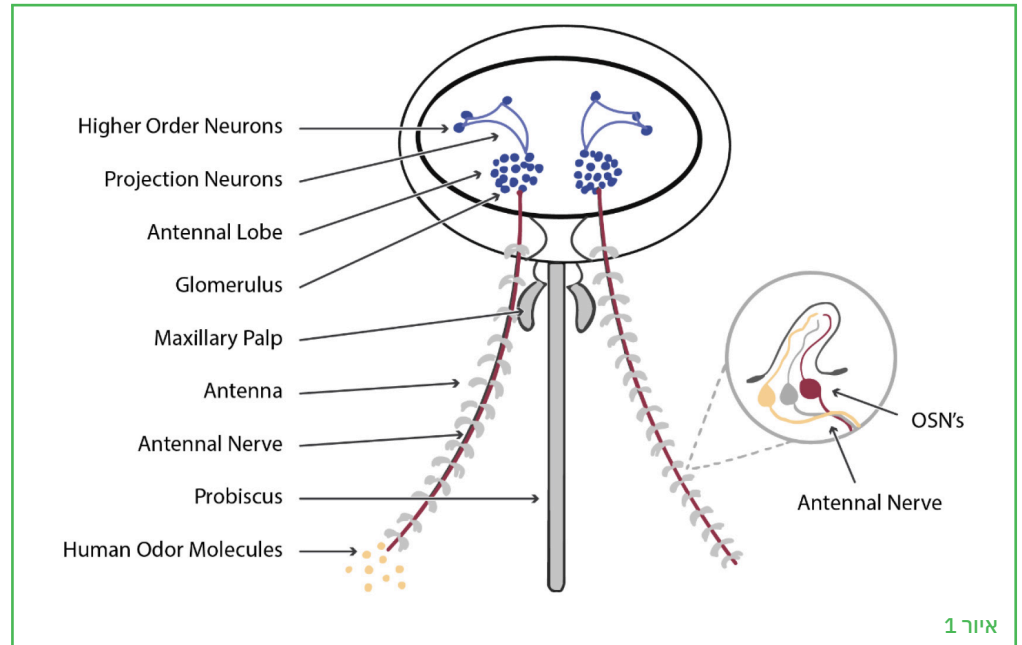
האקסונים של עצבי חוש הריח 'פוגשים' את

האקסונים של תאי מוח

אחרים במבנים במוח

המכונים גלומרולי. כל עצב חוש ריח (OSN) מזהה סוג אחד בלבד של מולקולות ריח, המיוצגות באיור על ידי הצבעים השונים. האקסונים של עצבי חוש הריח המזהים את אותן מולקולות ריח מצטרפים לאותו גלומרולוס. אז, נשדרים מהגלומרולי (Glomeruli) נשלחים לאורך תאי העצב בעלי השלוחות הרחוקות (Projection Neurons) אל אזורים עמוקים יותר במוח.

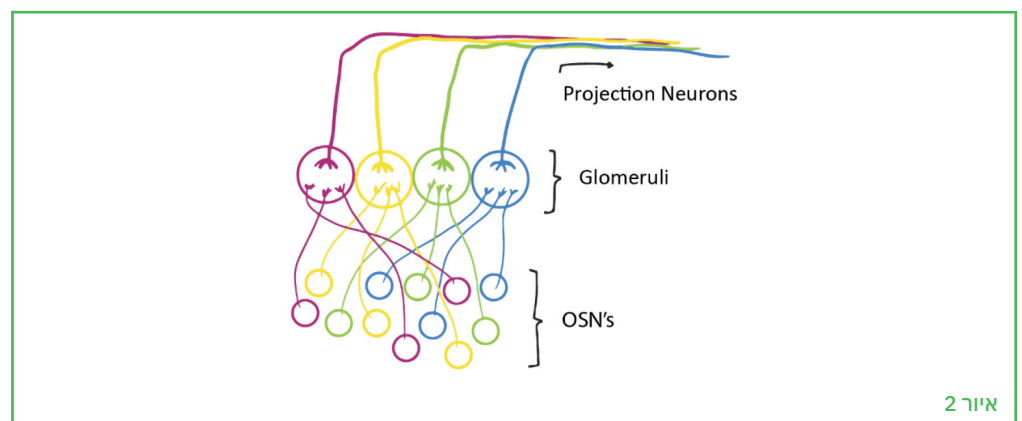
הפה שמזדקר החוצה כדי לעקוץ אתכם) וחניני הלסתות העליונות (הצבתות הקטנות סביב לפנים) (איור 1) [1]. על מחושי היתושים ישנם זיפים קטנטנים המשמשים לחישה. אולי ראיתם את השערות הפרוותיות הללו בצילומי תקריב של חרקים. כל האיברים הללו מכוסים בעצבי חוש הריח, המאפשרים ליתושים לזהות מולקולות ריח המרחפות בסביבה.



איור 1

כיצד הריחות הללו 'נראים' במוח היתוש?

עכשיו, כשאתם יודעים שיתושים מזהים ריחות בסביבתם, נבחן את השאלה – איך הריחות 'נראים' במוחותיהם? כאשר עצב חוש הריח מזהה מולקולת ריח, הוא מדווח על כך למוח על ידי שליחת נשדר למבנה בשם **גלומרולוס**, הנמצא בקדמת מוחו של החרק, באזור המכונה 'אונת המחוש' (איור 1). הגלומרולי (צורת הריבוי של המילה גלומרולוס) הם סבכים עגולים של קצות תאי מוח, שבהם זרועות עצבי חוש הריח, המכונות **אקסונים**, מתחברות לזרועות תאי מוח אחרים (איור 2). תוכלו לדמיין את הגלומרולי בתור המקומות שבהם תאי המוח 'לוחצים ידיים' ומעבירים זה לזה מידע לגבי ריחות.



איור 2

אָקסון (Axon)

שלוחת הארוכה של תא עצב המחברת אותו לתאי עצב שכנים ושולחת אליהם מידע.

תאי עצב בעלי שלוחות רחקות (Projection Neurons)

תאי עצב שהאקסונים שלהם נפרשים מהגלומרולי אל אזורים עמוקים יותר במוח היתוש, כמו הקרן הצידי והמבנים הפטרייתיים.

קרן צידית (Lateral Horn)

מרכז עיבוד מסדר גבוה במוח החרק, שאליו מתחברים תאי עצב בעלי שלוחות רחקות.

מבנים פטרייתיים (Mushroom Body)

זוג של מרכזי עיבוד בעלי צורת פטרייה במוח החרק, המורכבים מתאי עצב רבים המסודרים בצפיפות. תאי העצב בעלי השלוחות הרחקות מגיעים למבנים אלה ולקרן הצידי.

חומצת חלב (Lactic Acid)

מולקולת ריח שגוף האדם מייצר כשיש בו מעט חמצן, ויש צורך להמיר סוכרים לאנרגיה. דבר זה מתרחש כשאנו מתעמלים. חומצת החלב מופיעה בזיעה.

כאשר הם פוגשים בגלומרולי, עצבי חוש הריח מסודרים מאוד: כל עצבי חוש הריח המזהים סוג מסוים של מולקולת ריח שולחים את קצותיהם לאותו גלומרולוס (איור 2). כלומר, הגלומרולי משלבים מידע המגיע מעצבי חוש ריח רבים באזורים שונים באיברי ההרחה של היתושים. מדענים מכנים את הגלומרולי הללו 'מפת ריח', כיוון שכל גלומרולוס 'מסדר' את נוכחותה של מולקולת ריח מסוימת [1, 4]. בגלומרולי, התאים ש'לוחצים ידיים' לעצבי חוש הריח מעבירים מידע על אודות ריח, שמגיע מאונת המחוש לחלקים עמוקים יותר במוחו של היתוש, ומכאן שמם: **תאי עצב בעלי שלוחות רחקות** (איור 1).

אין מספיק מחקרים העוסקים בשלב הבא של זיהוי ריח במוח היתוש בתאי העצב. למרבה המזל, הרבה יותר מחקרים נערכו על חרק שהוא קרוב משפחה של היתושים: זבוב הפירות. האב הקדמון המשותף האחרון של זבובי הפירות ושל היתושים חי לפני 260 מיליון שנים, אך מוחותיהם של שני סוגי חרקים אלה דומים מאוד. אצל הזבובים, תאי עצב בעלי שלוחות רחקות מתמקדים באזורים המכונים **הקרן הצידי והמבנים הפטרייתיים**. מדענים מאמינים כי ישנו דמיון בין אזורים אלו במוח היתוש... למוח בן האדם [1, 5]! בדיוק כמו אצל הזבובים ואצל היתושים, עצבי חוש הריח האנושיים שולחים את זרועותיהם אל הגלומרולי, היוצרים מפת ריח במוחותיהם [3]. אולי איננו נראים כלל כמו יתושים, ו-800 מיליון שנים של אבולוציה מפרידות בינינו, אך הביולוגיה הבסיסית של איברי החישה שלנו דומה להפליא.

איך יתושים יודעים את מי הם צריכים לעקוץ?

כעת אתם מבינים איך היתושים – ובני האדם – מריחים. אם כן, מה לגבי שאלתנו המקורית: איך היתושים יודעים שעליהם לעקוץ אתכם? מחקרים אחרונים מצביעים על כך שעל מחושי היתושים ישנם עצבי חוש ריח המיועדים לזיהוי בני אדם, ומאפשרים להם לזהות מולקולות ריח שמקורן בזיעה שלנו [6]. כדי לבחון את התיאוריה הזו, חוקרים הסירו את המחושים של קבוצת יתושים. היתושים מחוסרי המחושים הללו איתרו את ארוחותיהם העתידיות באמצעות זיהוי פחמן דו-חמצני וחום, אך הם התקשו לזהות בני אדם [6]. מולקולת הריח האנושית המסוימת שכבר לא יכלו לזהות הייתה **חומצת חלב**, המופרשת מהעור כשאנו מזיעים.

עצב חוש הריח שסייע ליתושים לזהות חומצת חלב, מכונה Ir8a. כאשר החוקרים 'נפטרו' מעצב חוש ריח זה, הם מצאו שהיתושים כבר לא נמשכו לבני אדם כבעבר – העניין שהיתושים גילו בבני אדם פחת בערך במחצית [6]! המשמעות היא שבני אדם אשר להם רמות גבוהות יותר של חומצת חלב על העור, ככל הנראה מריחים 'טעימים' יותר עבור יתושים. חומצת חלב היא תוצר לוואי של תהליך המשמש את תאי הגוף האנושי לייצור אנרגיה כשאנו מתעמלים או עוסקים בפעילות גופנית. לכן, ישנה יותר חומצת חלב על העור של אנשים שהתעמלו לאחרונה, ומכאן נראה שהם גם מהווים 'חטיפ' טעים יותר עבור יתושים.

מה הלאה?

חומצת חלב היא המרכיב מושך-היתושים העיקרי בריח הגוף האנושי. אולם איננו יודעים אילו ריחות נוספים בגוף האדם עשויים למשוך במיוחד את היתושים. החדשות הטובות הן

שאפשר להמשיך לחקור את השאלה הזו – אולי אתם תהיו המדענים שימצאו את התשובה! אם תצליחו, תוכלו אפילו ליצור את מלכודת היתושים המושלמת, ולהביא אל סופם את כל הזמזומים והגירודים. חשוב מכך, יתושים נושאים מחלות רבות, כמו מַלְרִיָּה, זִיקָה וקדחת דַּנְגִי. אם נבין איך למנוע מיתושים נגועים לעקוץ בני אדם ולהעביר את המחלות, תהיינה לכך השלכות חיוביות בעלות חשיבות רבה על חיי בני האדם.

אין ביכולתנו להבטיח קיץ נטול-חרקים, אך תוכלו להיעזר בתרסיסים שמסווים את הריח האנושי, ומחליפים אותו בריח שיתושים אינם אוהבים, כמו אקליפטוס. חשוב גם להתקלח מייד לאחר שמתעמלים, כיוון שההתעמלות גורמת לשרירים לשחרר את חומצת החלב שהיתושים מריחים. אם כל זה לא עוזר, תבקו חברים שאינם נעקצים. אולי חלק מהכימיקלים דוחי-היתושים שעל עורם יעברו אליכם!

הצהרת כלי בינה מלאכותית

טקסט חלופי הנלווה לאיורים במאמר זה נוצר על ידי פרונטירז בסיוע כלי בינה מלאכותית, ונעשו מאמצים על מנת להבטיח את דיוקו, כולל בדיקה על ידי כותבי המאמר כאשר הדבר התאפשר. אם ברצונכם לדווח על בעיה, אנו צרו איתנו קשר.

מקורות

1. Wheelwright, M., Whittle, C. R., and Riabinina, O. 2021. Olfactory systems across mosquito species. *Cell Tissue Res.* 383:75–90. doi: 10.1007/s00441-020-03407-2
2. Ruel, D. M., Yakir, E., and Bohbot, J. D. 2019. Supersensitive odorant receptor underscores pleiotropic roles of indoles in mosquito ecology. *Front. Cell. Neurosci.* 12:533. doi: 10.3389/fncel.2018.00533
3. Maresh, A., Rodriguez Gil, D., Whitman, M. C., and Greer, C. A. 2008. Principles of glomerular organization in the human olfactory bulb – implications for odor processing. *PLoS ONE.* 3:e0002640. doi: 10.1371/journal.pone.0002640
4. Jefferis, G. S. 2005. Insect olfaction: a map of smell in the brain. *Curr. Biol.* 15:R668–70. doi: 10.1016/j.cub.2005.08.033
5. Behura, S. K., Haugen, M., Flannery, E., Sarro, J., Tessier, C. R., Severson, D. W., et al. 2011. Comparative genomic analysis of *Drosophila melanogaster* and vector mosquito developmental genes. *PLoS ONE.* 6:e21504. doi: 10.1371/journal.pone.0021504
6. Potter, C. J. 2019. Olfaction: mosquitoes love your acid odors. *Curr. Biol.* 29:R282–4. doi: 10.1016/j.cub.2019.03.010

פורסם אונליין: 14 בנובמבר 2025

נערך על ידי: Fanli Jia

מנחים מדעיים: Lakshmi Swarna Mukhi Pidugu

ציטוט: Kiernan-Linn K, Pimenta K I Grimaud J (2025) חוש הריח של היתוש: על מה כל הבאזז? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2022.760594-he

Kiernan-Linn K, Pimenta K and Grimaud J (2022) A Mosquito's Sense of **מ: תורגם והותאם** Smell: What Is the Buzz All About? Front. Young Minds 10:760594. doi: 10.3389/frym.2022.760594

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כל המחקר נערך בהעדר כי קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

זכויות יוצרים © 2025 Kiernan-Linn, Pimenta I Grimaud. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים 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

DHANVI, גיל: 12

אני אוהבת לבלות עם חבריי בחוץ, וכן לקרוא – אקרא כמעט כל דבר שיגיע לידי. קריאת מאמרים מדעיים היא דבר מדהים, כי כך אני יכולה להרחיב את ידיעותי וליהנות מקריאה בו בזמן!

SHIVASAI, גיל: 10

אני תלמיד כיתה ה', והמקצועות האהובים עליי הם מתמטיקה ומדעים. סדרת הספרים האהובה עליי היא הארי פוטר, ואני אוהב לצפות בסדרת האנימציה 'אגדות ברווזים'. תחביבי כוללים בין השאר רישום וטניס שולחן.

SPANDANA, גיל: 11

Spandana היא תלמידת בית ספר יסודי, שאוהבת מדעים. היא גם אוהבת לרשום, לצייר ולקרוא. לאחרונה התחילה ללמוד לנגן בחליל!

SRAVYA, גיל: 14

Sravya היא תלמידת תיכון שאוהבת מדעים, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה (תחומי ה-STEM). יש לה תחביבים רבים, כמו לנגן בפסנתר ולשחק כדורסל. המקצוע האהוב עליה בבית הספר הוא ביולוגיה.



**YAJURVI, גיל: 12**

היי, קוראים לי Yajurvi! אני תלמידת כיתה ז' בוורג'יניה, ארה"ב. בזמני החופשי, אוהבת לקרוא ספרים ולבלות עם חבריי. אני מאזינה למוזיקה (בעיקר ל-K-Pop) 24 שעות ביממה, 7 ימים בשבוע, וגם אוהבת לשיר.

הכותבים**KALEDORA KIERNAN-LINN**

Kaledora Kiernan-Linn היא סטודנטית לתואר ראשון באוניברסיטת הרווארד, הלומדת סטטיסטיקה ומדעי המוח. מחקרה הנוכחי מתמקד בתרומת מערכת החיסון למוות עצבי. לפני שהחלה את לימודיה, היא הייתה רקדנית מקצועית בבלט של בוסטון, ובבלט הדני המלכותי.

KARINA PIMENTA

Karina Pimenta היא סטודנטית לתואר ראשון בתחום מדעי המוח באוניברסיטת הרווארד. עבודתה הנוכחית מתמקדת בהשפעות של לחץ וזיהומים נגיפיים בשלבי החיים המוקדמים, על התפתחות מערכת העצבים. לפני כן, עסקה בפרויקטים בתחומי פסיכו-פרמקולוגיה התנהגותית ורכישת שפה.

JULIEN GRIMAUD

Julien Grimaud היה מְרַצָה מהסגל הזוטר בתחום מדעי המוח, במסגרת תוכנית התואר הראשון באוניברסיטת הרווארד. כיום, הוא עוזר פרופסור בתחום מדעי החיים ב-Sup'Biotech, בית ספר להנדסה ליד פריז שבצרפת, ומלמד מגוון קורסי ביולוגיה בתוכניות התואר הראשון גם מפקח על תוכנית המחקר בביו-הנדסה של התואר הראשון, במסגרת החוג הראשי להכשרת לימודים/עבודה ב-Sup'Biotech. julien.grimaud@supbiotech.fr*

†מחברים אלה תרמו לעבודה באופן שווה.

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



**קרן משפחת
שעשוע**
Shashua
Family Foundation