



## איך אומר זבוב הפירות "אַאוּץ"?

Michelle T. Juarez\*

תוכנית Sophie Davis בחינוך ביו-רפואי, הסיטי קולג' של ניו יורק, ניו יורק, NY, ארצות הברית

זבובי הפירות הם בעל החיים האידיאלי למחקר ביולוגי. זבובי הפירות מתרבים במהירות במעבדה, ואפשר לחקור זבובי פירות רבים בו זמנית. לזבוב הפירות יש שכבה חיצונית, בדיוק כמו העור בבני האדם, שמגינה עליו מפני פציעה או נזק. אם בני האדם וזבובי הפירות מגיבים לפציעה באופנים דומים, אפשר להשתמש בזבובי הפירות כדי לגלות דרכים חדשות לשיפור בריאות האדם. בעזרת מחטים זעירות שפוצעות את זבובי הפירות, אנו מסוגלים לשאול שאלות על האופן שבו זבובי פירות מרפאים את הפציעות שלהם. תמהנו איזה סוג של תגובה תהיה לזבובי הפירות כאשר אנו פוצעים את העור שלהם. זבובי הפירות קטנים, ולכן נעזרנו במיקרוסקופים כדי להתבונן בתגובה לפציעה – אַאוּץ! מטרת המחקר הזה הייתה לבחון אם שינויים בחומר התורשתי של זבובי הפירות שינו את האופן שבו הם הגיבו לפציעה.

### דוגמה מזבוב הפירות

כל האורגניזמים החיים מכילים **דנ"א** (DNA), שהוא **המידע הגנטי** של האורגניזם. מה פירוש הדבר? מידע גנטי דומה לתוכנית של בית הבנוי על עץ. אם המידע שבתוכנית נכון וחומרי הבנייה חזקים, תוכלו לבנות בית על עץ שיחזיק מעמד למשך זמן רב (איור 1A). לעומת זאת אם חסרות הנחיות או אם מופיעות הנחיות כפולות, הבית על העץ עלול להתפרק. נוח מאוד להשתמש בזבובי הפירות (השם הלטיני: *Drosophila melanogaster*) בניסויים, כי אנו יכולים לשאול שאלות על התוכנית שלהם (דנ"א) במטרה להבין בעיות מורכבות בבניית בית על עץ (גופו של זבוב הפירות) (איור 1B). במשך יותר מ-100 שנים נעשה שימוש בזבובי הפירות

#### סוקרים צעירים

THE  
METROPOLITAN  
SCHOOL  
OF  
PANAMA  
גיל: 12



דנ"א - חומצה  
דאוקסיריבונוקלאית  
(Deoxyribonucleic  
acid, DNA)

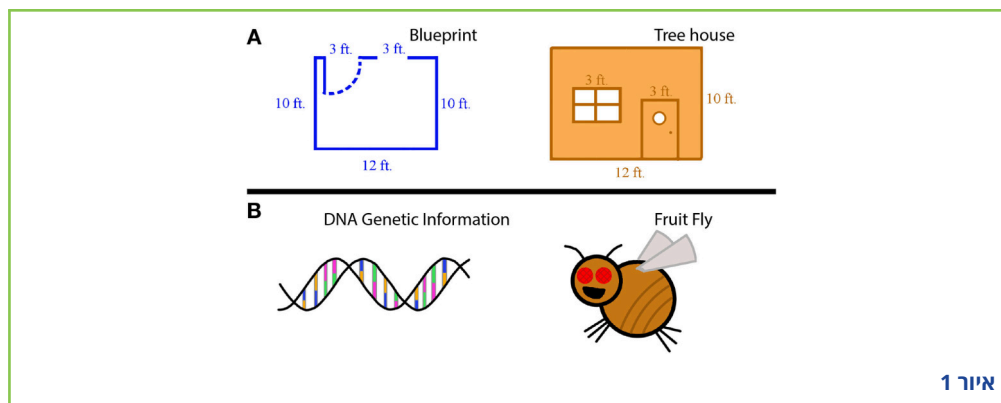
החומר הגנטי המצוי  
באורגניזמים חיים.

מידע גנטי  
(Genetic information)

מחקר העוסק באופן שבו  
שינויים בדנ"א משפיעים על  
הגדילה ועל ההתנהגות.

## איור 1

השוואה בין **A**. תוכניות, שהן הוראות לבניית משהו כמו בית על עץ, ובין **B**. דנ"א, המכיל הוראות (מידע גנטי) לבניית בעל חיים, כגון זבוב הפירות.  
 Blueprint = תוכנית  
 Tree house = בית על עץ  
 DNA Genetic Information = מידע גנטי בדנ"א  
 Fruit Fly = זבוב הפירות.



איור 1

בניסויים, במטרה ללמוד על גֵנִים ועל השפעתם על בניית גופו של זבוב הפירות [1]. מחקר עכשווי על זבובי הפירות משלב את כוחן של טכניקות ביולוגיות רבות עם נתוני דנ"א שזמינים במחשב [2]. זבובי פירות הם חרקים, וחֶקֶר החרקים נקרא **אֶנטוֹמולוֹגְיָה**.

### אֶנטוֹמולוֹגְיָה (Entomology)

מדע העוסק בחקר החרקים.

### פעולה/ תגובה (Action/Reaction)

שיטת פציעה למטרת חקר פציעות וכאבים.

### קוֹטִיקוּלָה (Cuticle)

השכבה החיצונית בזבובי הפירות.

### עור (Skin)

השכבה החיצונית בבני האדם.

כל יצור חי עושה שימוש בשכבה חיצונית מסוימת כלשהי כדי להגן על עצמו, כדי למנוע מתוקן פְּנִים הגוף לזלוג החוצה וגם כדי למנוע מסכנות חיצוניות לפגוע בגוף. תקלה בשכבה חיצונית זו גורמת לטווח רחב של תגובות בבעל החיים. כאשר נפגעת השכבה החיצונית, בעל החיים צריך להפעיל מיד גֵנִים העוזרים בתיקון השכבה החיצונית, ולכבות גֵנִים של אורגניזמים בלתי רצויים. בעיות רבות עלולות להתרחש כאשר גֵנִים אינם מופעלים או מכובים כראוי. למשל, אם גֵן של תיקון נמצא במצב "מופעל" בזמן הלא נכון, עלולה להיווצר צלקת גדולה. או אם גֵן מגן נמצא במצב "כבוי" בזמן הלא נכון, פצע פתוח עלול לאפשר כניסה של אורגניזמים בלתי רצויים ולגרום לזיהומים. לכן חשוב להבין את האיזון בין תיקון הפצע ובין ההגנה עליו.

ביצענו את המחקר שלנו תוך שימוש בשאלות **פעולה/ תגובה**, כלומר: ביצענו פעולה על זבובי הפירות (פציעת **הקוֹטִיקוּלָה** של זבוב הפירות, הדומה ל**עור**, בעזרת מחטים זעירות), ולאחר מכן ביצענו תצפית על זבובי הפירות כדי לראות מהי תגובתם לפציעה. קיימים יתרונות אחדים לשימוש בזבובי הפירות כדי לשאול שאלות מדעיות. זבובי הפירות יכולים לגדול במהירות במעבדה (מחזור החיים שלהם הוא 10 ימים, כלומר זהו הזמן החולף מרגע הבקיעה ועד לבגרות), והם יכולים לחיות למשך זמן רב (תוחלת חיים של 60 יום, כלומר סך כל הזמן שזבוב הפירות חי). גידול זבובי הפירות במעבדה אינו יקר, כך שבקלות אפשר להשתמש ברבים מהם, אפילו 100, לכל ניסוי וניסוי. חיסרון השימוש בזבובי הפירות הוא שהם קטנים מאוד ואי אפשר לראותם ללא עזרת מיקרוסקופים, המאפשרים תקריב. אחרי התחשבות ביתרונות ובחסרונות, בחרנו לבצע את הניסויים שלנו על זבובי הפירות, כי קשה לבצע ניסויים דומים על בני אדם; למשל, נסו למצוא 100 מתנדבים לקבלת דקירה ולהתבוננות בהחלמת הפצע שלהם!

פציעה חלה כאשר נגרם נזק לגוף, ופציעות עלולות להתרחש בדרכים רבות. לפעמים אנו יכולים לראות את הפציעה, אם היא על השטח החיצוני של הגוף. בפעמים אחרות, אם הפציעה בפנים הגוף, לא נוכל לראותה. זבובי פירות קטנים כל כך שאנו יכולים להשתמש במיקרוסקופים מיוחדים שיעזרו לנו לראות גם את פְּנִים גופם וגם את חלקו החיצוני בו-בזמן. בקישור לסרטון הבא תוכלו לראות כי מחט זעירה אשר חודרת לזבוב הפירות יוצרת פציעה קטנה [3]. אפשר לשאול שאלות על תגובת זבוב הפירות לפציעה זו. השתמשנו בשתי שיטות שונות לגרימת

הפציעה: (1) ניקוב בעזרת מחט – דומה לעקיצת חֶרְקָה שמשאירה נקודת פצע קטנה על הזרוע שלכם, ו(2) הזרקת חומר כימי – דומה לפריחה הנובעת מסְרָפֵד רעיל אשר גורם לנקודות פצע בכל הגוף. השתמשנו בשתי שיטות אלה כדי לבחון את תפקידם של מְקֻטְעֵי דנ"א מסוימים בתגובת הפציעה (Wound Reaction, WR). הסתקרנו לדעת מדוע עקיצת חֶרְקָה גורמת לתגובה קטנה, לעומת סרפד רעיל הגורם לתגובה נרחבת.

השתמשנו בשיטה המדעית כדרך לחקירת התגובות של זבובי הפירות לפציעה. השלב הראשון בשיטה המדעית הוא לשאול שאלה ולחשוב על התשובה. התשובה היא השְעֵרָה (היפותזה). ההשערה שלנו הייתה שתגובה מקומית לפציעה תשפר את ההישרדות של זבובי הפירות. השלב הבא הוא לבצע את הניסוי, על-ידי חקר פעולה/ תגובה. הפעולות שביצענו על זבובי הפירות מתוארות בהמשך. הצעד השלישי בשיטה המדעית הוא לאסוף את תוצאות הניסוי שביצענו על-ידי התבוננות בתגובת זבובי הפירות לפציעה. השלב האחרון הוא לחזור ולהסתכל על ההשערה, ואז לחזור שוב על הניסוי. מטרת המחקר שלנו הייתה לבחון את תגובת הפציעה של זבוב הפירות, ואולי לנסות לשפר אותה, כך שאולי אפשר יהיה להשתמש בתוצאות לטיפול בפציעות בבני אדם [4].

## התגלית

מדענים יכולים לבצע טכניקות מסוימות על בעלי חיים מסוימים, כולל זבובי הפירות, שבהם הם יכולים להוסיף דנ"א או להחסירו. דמיינו סוג אחד של זבוב פירות שבו כמות תקינה של דנ"א וקוטיקולה תקינה (איור 2A). דמיינו סוג מיוחד (מוטַנֵט) של זבוב פירות שבו חל שינוי (מוטַצִיָה) של הַחֶסֶת חלק מהדנ"א, כך שהוא לא יכול כלל לגדל קוטיקולה (איור 2B). לבסוף, דמיינו עוד סוג מיוחד של זבוב פירות שבו מוטַצִיָה אחרת שבה הוסף דנ"א, כך שהוא מגדל שכבת קוטיקולה נוספת (איור 2C). בעזרת שימוש בטכניקות מעבדה לעריכת שינויים בדנ"א של זבובי הפירות, ביצענו ניסויים על שלושת הסוגים של זבובי הפירות (קוטיקולה תקינה, ללא קוטיקולה, שכבת קוטיקולה נוספת). בחנו את שלושת הסוגים האלה של זבובי הפירות כדי לראות את תגובתם לפציעה. אנו מודים לזבובי הפירות על שירותם, כי אנו יודעים שהם תופסים את מקומם של בעלי חיים אחרים או של בני אדם במחקר שלנו! בביולוגיה, זבוב הפירות הוא חיה מגניבה, שאפשר להשתמש בה במטרה לקבל תשובות לשאלות קשות.

## איך מוטציה בדנ"א משנה את תגובת הפציעה בזבוב הפירות?

השתמשנו ב"סולם אָאָוץ" כדי למדוד את תגובתם של זבובי הפירות לפציעה. "סולם אָאָוץ" הוא סדרת פנים שמראות מצב ללא כאב, כאב קל, כאב בינוני וכאב חמור (איור 3A). זיהינו את תגובת הפציעה על-ידי צבעים מיוחדים, שהופעתם העידה על התגובה. תגובת פציעה מקומית היא תגובה קטנה בזבוב הפירות, הדומה לזו של עקיצת חֶרְקָה. אנו סימנו זאת כבינוני ב"סולם אָאָוץ". תגובת פציעה כוללת היא תגובה נרחבת בזבוב הפירות, הדומה לפריחה מסרפד רעיל. אנו סימנו סוג כזה של תגובה כחמורה ב"סולם אָאָוץ".

כשהשתמשנו בשיטת הדקירה במחט על זבובי הפירות שמכילים כמות דנ"א תקינה וקוטיקולה תקינה, הפציעה מדקירת המחט גרמה לתגובת פציעה מקומית, שהיא בינונית ב"סולם אָאָוץ".

### מוטַנֵט (Mutant)

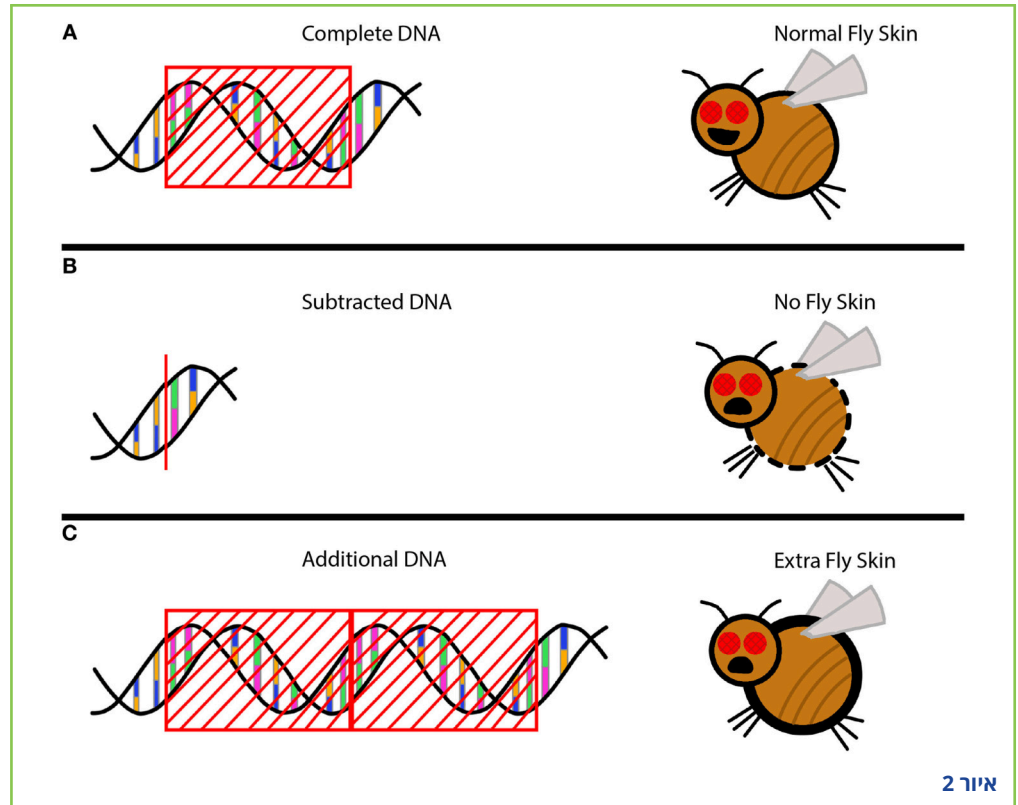
בעל חיים שחל שינוי בדנ"א שלו.

### מוטַצִיָה (Mutation)

שינוי בדנ"א.

**איור 2**

סוגים שונים של מוטציות יכולים להשפיע על הקוטיקולה של זבוב הפירות. **A.** כמות תקינה של דנ"א של זבוב הפירות מספקת מידע גנטי לבניית קוטיקולה תקינה בזבוב הפירות. האזור המודגש באדום הוא האזור שבו יכולים להתרחש שינויים (מוטציות). **B.** כאשר המידע הגנטי מוחסר מהאזור בדנ"א של זבוב הפירות המספק את ההנחיות לבניית הקוטיקולה של זבוב הפירות, הזבוב אינו מגדל קוטיקולה כלל, כפי שמוצג על-ידי הקו המקווקו. **C.** כאשר מידע גנטי נוסף לאזור בדנ"א של זבוב הפירות המספק את ההנחיות לבניית הקוטיקולה של זבוב הפירות, הזבוב מגדל קוטיקולה עבה במיוחד, כפי שמוצג על-ידי הקו העבה. Complete DNA = דנ"א שלם  
 Normal Fly Skin = עור הזבוב תקין  
 Subtracted DNA = דנ"א מופחת  
 No Fly Skin = עור הזבוב חסר  
 Additional DNA = תוספת דנ"א  
 Extra Fly Skin = עור זבוב נוסף



זבובי פירות, שבהם מוטציית הֶסְרַת דנ"א שגרמה להם לגדול ללא קוטיקולה, הגיבו בתגובת פציעה כוללת, שהיא חמורה ב"סולם אָאָיץ" (איור 3B). חלק חשוב נוסף בשיטה המדעית הוא לחזור על תוצאות הניסוי בדגימות אחרות. בניסוי החוזר השתמשנו בצבע אחר כדי לזהות את תגובת הפציעה – עשינו זאת על-ידי שימוש בדוגמה ירוקה (תגובת פציעה-ירוק) ובדוגמה אדומה (תגובת פציעה-אדום), שהציגו את אותם דפוסי תגובת פציעה (איור 3B, 3C). חזרה על תוצאות הניסוי עם יותר מדגימה אחת דומה לנסיעה לבית הספר באופניים או על סקייטבורד. זמן הנסיעה זהה בכל אחד מאופני ההגעה, אבל יותר כיף כשיש אפשרות לבחור את האופן שבו נגיע למחוז הפצנו.

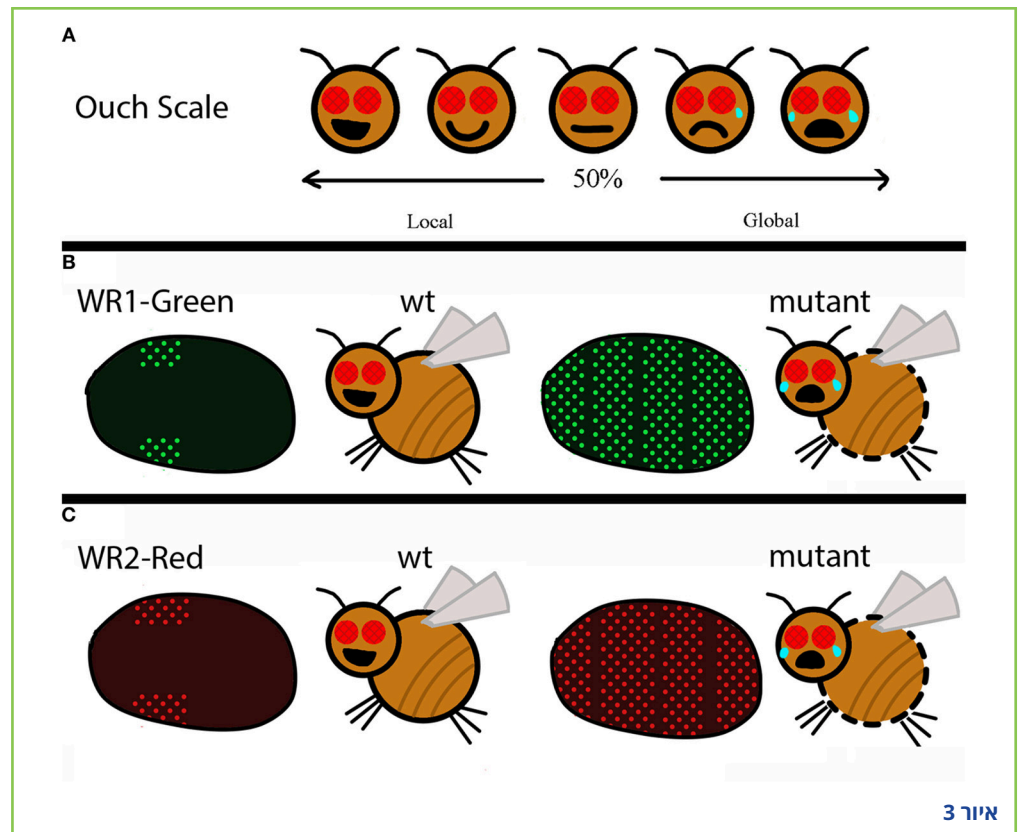
**איך חומר כימי משנה את תגובת הפציעה בזבוב הפירות?**

דרך נוספת לחקור את תגובת הפציעה בזבובי הפירות היא להזריק להם חומר כימי שמחקה מוטציה בדנ"א. שיטה זו גם אפשרה לנו לבחון אם לזבובי הפירות יש אותה תגובת פציעה לפציעות הנגרמות בשתי צורות שונות – דקירת זבובי פירות מוטנטיים לעומת הזרקת חומר כימי.

הזרקת חומר כימי לזבוב תקין גרמה לתגובת פציעה כוללת, שהוגדרה כחמורה ב"סולם אָאָיץ" (זהה לאיור 3B, 3C) והיא זהה לתגובת זבובי הפירות שבהם הוחסר דנ"א, אשר נפצעו בדקירת המחט. העובדה שצפינו באותן תוצאות במוטציה בדנ"א ובהזרקת חומר כימי מובילה לשאלות חדשות על החפיפה שבין הדנ"א והחומר הכימי בתגובת הפציעה.

## איור 3

השוואת תגובת הפציעה בזבובי פירות תקינים ומוטנטיים. **A.** "סולם אָאָיץ" למדידת תגובת הפציעה. **B.** תגובת פציעה-ירוק; זבוב תקין – תגובת פציעה מקומית, "סולם אָאָיץ" בינוני; זבוב מוטנטי – תגובת פציעה כוללת, "סולם אָאָיץ" חמור. **C.** תגובת פציעה-אדום; זבוב תקין – תגובת פציעה מקומית, "סולם אָאָיץ" בינוני; זבוב מוטנטי – תגובת פציעה כוללת, "סולם אָאָיץ" חמור. Ouch Scale = סולם אָאָיץ  
Local = מקומי  
Global = כולל  
WR1-Green = תגובת פציעה-ירוק  
Wt = זבוב תקין  
mutant = מוטנטי  
WR1-Red = תגובת פציעה-אדום.



איור 3

חזרנו על ניסויים מסוג זה פעמים אחדות, ובכמה דרכים שונות. הצעד הבא אחרי גילוי השינויים בתגובת הפציעה בזבובי הפירות הוא לפענח מה עושים הגנים השונים המעורבים בתגובת הפציעה. אחר כך אפשר לבצע מחקרים נוספים בבעלי חיים אחרים כדי לראות אם יש להם אותה תגובת פציעה כמו לזבובי הפירות, או שבעלי חיים שונים משתמשים באסטרטגיות שונות כדי לתקן את פציעותיהם. לבסוף, אנו מקווים שהתוצאות שלנו יהיו שימושיות כדי לעזור לטפל בפציעות בבני אדם [5].

## בניית תחבשת טובה יותר

אנו מקווים שתגובת הפציעה של זבובי הפירות תוכל לעזור לנו להבין איך בעלי חיים רבים, כולל בני אדם, מגיבים לפציעות ומרפאים אותן. יש סיבות מגוונות לפציעות (למשל ניתוח או זיהום), והפציעות יכולות להשפיע על חלקי גוף שונים (למשל עור או שריר). הבנת האופן שבו בעלי חיים מגיבים לפציעות ולנזק פורצת עבודתנו דרך לשפר את בריאות האדם. ככל שנבין יותר את התוכנית המשמשת לבניית הבית על העץ שלנו, כך נוכל להשתמש יותר בזבובי הפירות כדי לשפר את הטיפול בפציעות בבני אדם. נוסף על כך היות שכל היצורים החיים מכילים דנ"א, אנו יכולים ללמוד על השינויים בדנ"א לאורך זמן, ולשאל שאלות נוספות על בעלי חיים שונים (כולל תולעים, זבובי פירות ועכברים). מדענים החוקרים בעלי חיים עוזרים לגלות עובדות מהנות על ביולוגיה – המדע של כל היצורים החיים. מטרתנו הסופית היא להבין את הקשר המיוחד בין בני האדם ובין כל שאר היצורים החיים – חיידקים, פטריות, צמחים ובעלי חיים.

## תודות

המחקר שדווח במאמר המקורי אשר שימש לכתיבת מאמר זה נתמך חלקית על-ידי המכונים הלאומיים לבריאות (NIH). המחבר אסיר תודה ל-Chiandredi ול-Chloe עבור עצותיהם הנבונות ועבור תרומתם לעריכת מאמר 'תגלית חדשה' זה. הם תרמו לאיורים ולפיתוח האנלוגיות שעזרו להסביר רעיונות מדעיים. היה להם אומץ מרענן לנסות משהו חדש, ולחשוף קהל חדש לתחום הביולוגיה.

## מאמר המקור

Juarez, M. T., Patterson, R. A., Sandoval-Guillen, E., McGinnis, W. 2011. Duox, Flotillin-2, and Src42A are required to activate or delimit the spread of the transcriptional response to epidermal wounds in *Drosophila*. *PLoS Genet.* 7:e1002424. doi: 10.1371/journal.pgen.1002424

## מקורות

1. Ugur, B., Chen, K., Bellen, H. J. 2016. *Drosophila* tools and assays for the study of human diseases. *Dis. Model. Mech.* 9:235–44. doi: 10.1242/dmm.023762
2. Attrill, H., Falls, K., Goodman, J. L., Millburn, G. H., Antonazzo, G., Rey, A. J., et al. 2016. FlyBase: establishing a Gene Group resource for *Drosophila melanogaster*. *Nucleic Acids Res.* 44:D786–92. doi: 10.1093/nar/gkv1046
3. Juarez, M. T., Patterson, R. A., Li, W., McGinnis, W. 2013. Microinjection wound assay and in vivo localization of epidermal wound response reporters in *Drosophila* embryos. *J. Vis. Exp.* 81:e50750. doi: 10.3791/50750
4. Juarez, M. T., Patterson, R. A., Sandoval-Guillen, E., McGinnis, W. 2011. Duox, Flotillin-2, and Src42A are required to activate or delimit the spread of the transcriptional response to epidermal wounds in *Drosophila*. *PLoS Genet.* 7:e1002424. doi: 10.1371/journal.pgen.1002424
5. Sen, C. K., Gordillo, G. M., Roy, S., Kirsner, R., Lambert, L., Hunt, T. K., et al. 2009. Human skin wounds: a major and snowballing threat to public health and the economy. *Wound Repair Regen.* 17:763–71. doi: 10.1111/j.1524-475X.2009.00543.x

פורסם אונליין: 25 בינואר 2019

נערך על ידי: Pasquale Maffia, University of Glasgow, UK

ציטוט: Juarez MT (2019) איך אומר זבוב הפירות "אָאָץ"? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2016.00027-he

### תורגם והותאם:

Juarez MT (2016) How Does a Fruit Fly Say "Ouch"? *Front. Young Minds* 4:27. doi: 10.3389/frym.2016.00027

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

© **COPYRIGHT** Juarez 2016. 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

### גיל: 12, THE METROPOLITAN SCHOOL OF PANAMA

אנו תלמידי כיתה ו' בבית הספר המטרופוליטני של פנמה. אנו בית ספר בינלאומי, והתלמידים שלנו מגיעים מכל רחבי העולם. השנה נלמד על השיטה המדעית ועל האופן שבו עושים בה שימוש לשיתוף ידע מדעי. אנו שמחים להיות חלק מאלה שמשותפים את המידע הזה, על-ידי עריכת מאמרים עבור תלמידים כמונו, כדי שיוכלו להבינם.

## הכותבת

### MICHELLE T. JUAREZ

אני פרופסור בסיטי קולג' של ניו יורק. במעבדה שלי אנו חוקרים את הגנטיקה של זבוב הפירות ואת התפתחותו במטרה לשאול שאלות על ריפוי פציעות וזיהומים. אני נהנה לעבוד עם תלמידים ולהכיר להם את העולם המלהיב של מדע הביולוגיה. כאשר אינני נמצא במעבדה אני נהנה לצעוד ולגדל צמחים באדניות החלון שלי. \*mjuarez@med.cuny.edu



Hebrew version  
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem

