



קריספר: עריכת דנ"א בדרך חדשה

Elisabeth A. Marnik^{1,2*†}, Carla Bautista^{1,3,4,5,6†}, Anna Drangowska-Way^{1,7}, Caitlin M. A. Simopoulos^{1,8†} | Thomas J. S. Merritt^{1,9}

¹תת-הוועדה לתקשורת וליישוג מדענים בתחילת דרכם, חֶבְרַת הגנטיקה האמריקאית, רוקוויל, מרילנד, ארה"ב
²המחלקה למדע, אוניברסיטת הוסון, בנגור, מיין, ארה"ב
³המחלקה לביולוגיה אינטגרטיבית ולמערכות, (IBIS) אוניברסיטת לאוול, קוויבק, קוויבק, קנדה
⁴המחלקה לביולוגיה, הפקולטה למדעים ולהנדסה, אוניברסיטת לאוול, קוויבק, קוויבק, קנדה
⁵קבוצת המחקר של קוויבק לתפקוד חלבונים, מבניהם והנדסתם, (PROTEO) אוניברסיטת לאוול, קוויבק, קוויבק, קנדה
⁶המרכז לחקר ביג דאטה, (CRDM) אוניברסיטת לאוול, קוויבק, קוויבק, קנדה
⁷המחלקה לביולוגיה, הקולג' לאומניות ולמדעים, אוניברסיטת וירג'יניה, שארלוטסוויל, וירג'יניה, ארה"ב
⁸המחלקה לביוכימיה, מיקרוביולוגיה ואימונולוגיה, הפקולטה לרפואה, אוניברסיטת אוטווה, אוטווה, אונטריו, קנדה
⁹המחלקה לכימיה ולביוכימיה, האוניברסיטה הלארונטיאנית, סדברי, אונטריו, קנדה

סוקרים צעירים

ABIGAIL
גיל: 11



MADDIE
גיל: 12



ממש כמו בני אדם, גם חיידקים יכולים לחלות. לחיידקים מסוימים יש מערכות הגנה בשם קריספר/Cas9, המגינות עליהם מפני הידבקות בנגיפים. במהלך השנים האחרונות, מדענים אימצו את מערכת ההגנה של החיידקים. הם משתמשים בה במעבדה במטרה לשנות דנ"א של אורגניזמים שונים. במאמר זה, נסביר כיצד משתמשים ב-קריספר/Cas9 כדי לערוך גֵנִים, ונספק דוגמאות לשימושי הטכנולוגיה הזו. יש להקפיד לערוך ניסויים ב-קריספר/Cas9 בצורה מוסרית. כלומר, על המדענים לוודא שהמחקר מכבד את זכויות האדם ושלומם של בעלי החיים, וכי הוא נערך במסגרת החוק.

קריספר/Cas9: מערכת ההגנה של חיידקים

אף אחד אינו אוהב להיות חולה. אנו משתעלים, מתעטשים, וסובלים מחום ומכאבים. כל הדברים הללו הם סימנים לכך שמערכות ההגנה של הגוף, אשר מכונות בשם כולל 'המערכת החיסונית', מנסות להגן עלינו מפני פולשים זעירים שמחוללים מחלות. עם אלה נמנים נגיפים, שגורמים למחלות כמו הצינון השכיח, או למחלת נגיף הקורונה (קוביד-19). האם ידעתם שנגיפים עלולים להדביק גם מגוון אורגניזמים אחרים, בכלל זה חיידקים זעירים? הנגיפים שמדביקים חיידקים נקראים **בקטריופאגים**. על אף שהיא די שונה מהמערכת החיסונית של בני האדם, גם לחיידקים יש מערכת הגנה ששומרת עליהם מפני הידבקויות. מערכת זו נקראת קריספר/Cas9 [1]. כשבקטריופאג' מדביק חיידק, הנגיף מזריק את החומר הגנטי שלו אל תוך החיידק. החיידק מזהה את הפולש, ובעזרת קריספר/Cas9, חותך את החומר הגנטי לפיסות, כדי לעצור את ההידבקות. לאחר מכן, החיידק שומר חתיכה מהחומר הגנטי של הנגיף, כדי שאם אותו נגיף ידביק אותו בעתיד, החיידק יוכל להגיב מהר יותר כנגד הפולש.

מהי קריספר/Cas9?

באנגלית, קריספר (CRISPR), הם ראשי התיבות של 'חזרות פלינדרומיות מקובצות קצרות וסדירות בין רצפים' (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats). זה נשמע כמו ביטוי 'שובר שיניים', אך כאשר תמשיכו לקרוא, תבינו את השם המסובך הזה!

כמו כל האורגניזמים, חיידקים מכילים חומר גנטי בשם דנ"א. (DNA) הדנ"א מורכב מארבע אבני בניין שונות, הנקראות **נוקלאוטידים**: אָדֵנִין (A), גוֹאָנִין (G), צִיטוֹזִין (C) ותימין (T). הַרְצָף של ארבע אבני הבניין הללו הוא הַרְצָף להוראות ליצירת האורגניזם, בדומה לדרך שבה רצפים של אותיות יוצרים מילים. במקומות מסוימים, הקוד יוצר **רצפים פלינדרומיים**, שאותם ניתן לקרוא באותה צורה מההתחלה ומהסוף. המילה 'תות' היא דוגמה לפלינדרום. פלינדרום של דנ"א יכול להיראות כך: TAGCGAT. בדיוק כמו במילה 'תות', אפשר לקרוא את הרצף TAGCGAT מההתחלה אל הסוף, ומהסוף אל ההתחלה, וְסֵדֶר האותיות ברצף לא ישתנה. כעת, דַמְיֵנו שישנם כמה עותקים של הרצף TAGCGAT בדנ"א. נוכל לכנותם 'חזרות' פלינדרומיות קצרות, כיוון שהם חוזרים על עצמם. אם החזרות הללו מופיעות בקבוצות לאורך צופן הדנ"א, אנו אומרים שהן 'מְקַבְצוֹת'. כיוון שהחזרות הפלינדרומיות הללו מופרדות על ידי רצפי דנ"א אחרים, אנו אומרים שהן 'בין רצפים'. אם תחברו הכול יחד, תגלו שמתקבל: 'חזרות פלינדרומיות מקובצות קצרות וסדירות בין רצפים' - קריספר! לסיום, Cas-9 כלול בשם הזה כיוון שזהו חלבון חשוב הנמצא בשימוש במערכת קריספר, שאותה נתאר בהמשך.

איך קריספר/Cas9 מסייעת למדענים?

אולי אתם תוהים מדוע מערכת ההגנה של חיידקים חשובה כל כך למדענים. מדענים הבינו איך להשתמש במערכת קריספר/Cas9 כדי לערוך את רצף הדנ"א או לשנותו. תגלית זו, של דרכי השימוש בקריספר/Cas9 במעבדה, הייתה חשובה מאוד עבור הקהילה המדעית – כה חשובה, עד שבשנת 2020, שתי חוקרות מתחום הביוכימיה שעזרו לגלותה (עמנואל

בקטריופאגים (Bacteriophage)

סוג של נגיף המדביק חיידקים בלבד.

נוקלאוטיד (Nucleotide)

אחת מארבע אבני הבניין המרכיבות את הדנ"א: אָדֵנִין (A), גוֹאָנִין (G), צִיטוֹזִין (C) ותימין (T).

רצפים פלינדרומיים (Palindromic Sequence)

סדר מסוים של נוקלאוטידים שניתן לקרוא בצורה זהה מההתחלה אל הסוף ומהסוף אל ההתחלה. לדוגמה, TAGCGAT הוא רצף פלינדרומי.

איור 1

(A) מבנה הדנ"א ותפקודו. הדנ"א (DNA) מורכב משני גידלים מלופפים יחד, היוצרים צורה שמכונה 'סליל כפול'. מקרא: כאשר אתם חושבים על דנ"א, האם אתם מדמיינים את הסליל הכפול? **(B)** גדילי הדנ"א מורכבים מארבע אבני בניין (Building Blocks) הנקראות נוקלאוטידים (Nucleotides): אָדֵנִין (A), גואַנִין (G), ציטוזין (C) ותימין (T). מקרא: למעשה, דנ"א מורכב מארבע אבני הבניין, נוקלאוטידים. **(C)** הנוקלאוטידים מאורגנים ברצף מסוים, המכיל את ההוראות ליצירת חיים! מקרא: אבני הבניין מתחברות ויוצרות דנ"א! הדנ"א מתפתל לצורת הסליל שאנו מכירים. **(D)** באמצעות מולקולה מתוחכת בשם רנ"א (RNA), הדנ"א מייצר חלבונים (Proteins) שמשלבים יחד לבניית האורגניזם. אם הדנ"א משתנה, החלבון שהוא מקודד משתנה אף הוא, וכך יכולים להיווצר שינויים באורגניזם (נוצר בעזרת BioRender.com). מקרא: הדנ"א מכיל את ההוראות ליצירת חיים. לאחר מכן, נוצר ממנו רנ"א. הרנ"א הוא השליח שמסייע בבקרה על ייצור תקין של החלבונים. החלבונים הללו מתאגדים ליצירת כל האורגניזמים החיים. אם החלק בדנ"א שמכיל את ההוראות לצבע הפרווה של הכלב משתנה, הוא ישיג את החלבון המְקוּדָד לה את הצבעים האפור והלבן. במקום זאת, הפרווה עשויה להפוך שחורה!

Cas9

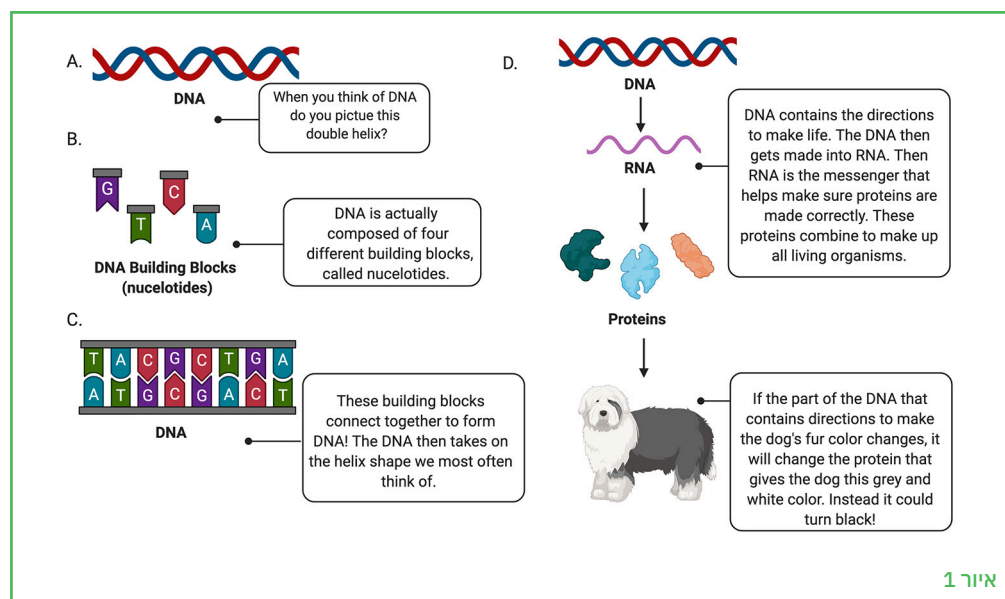
חלבון הפועל כמו מספריים כדי לחתוך את הדנ"א. החלבון הזה הוא רכיב מהותי בקריספר/Cas9, ולכן הוא כלול בשמו!

רנ"א מדריך (Guide RNA)

גְדִיל רנ"א קטן המוביל את ה-Cas9 למקום שבו צריך לחתוך את הדנ"א.

שרפנטייה מְצַרֶפֶת, וג'ניפר א. דאודנה מארה"ב) קיבלו את הפרס המדעי החשוב ביותר – פרס נובל לכימיה.

כפי שְׁצִינּוּ, הנוקלאוטידים המרכיבים את הדנ"א יוצרים קוד המכיל את ההוראות ליצירת האורגניזם כולו. מְקֻטְעֵי דנ"א המקודדים תכונה מסוימת, לדוגמה, צבע פרוותו של כלב, נקראים גֵנִים. נניח שאנו יודעים איזה גֵן אחראי על צבע פרוותו של הכלב. אם סדר הנוקלאוטידים בגן הזה משתנה, צבע הפרווה של הכלב ישתנה. מדוע? כיוון ששינוי את ההוראות ליצירת הצבע הזה (איור 1).



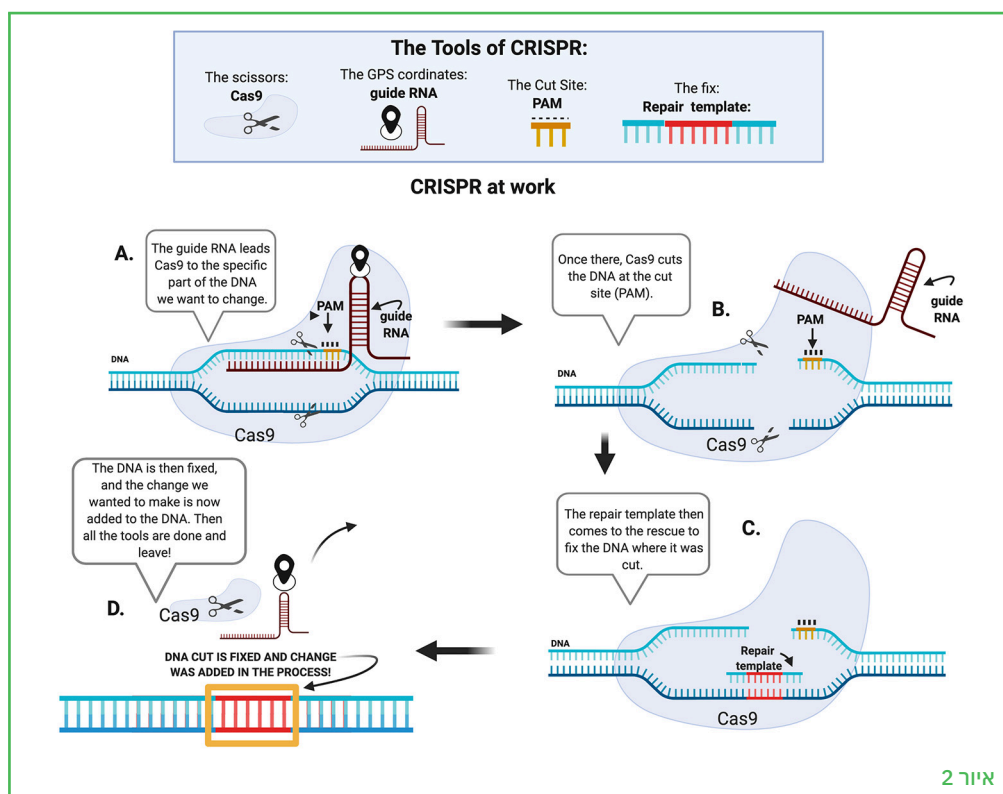
איור 1

במטרה להבין כיצד אנו משתמשים במערכת קריספר/Cas9 כדי לערוך גנים, עליכם לדעת קודם מִהֵם המרכיבים של המערכת הזו, ולהבין כיצד הם פועלים. ראשית, המדענים נדרשים לדעת מהו סדר הנוקלאוטידים, כלומר, מהו רצף הגן שהם מעוניינים לערוך. למרבה המזל, ישנם אתרי אינטרנט המכילים את המידע הזה. כאשר רצף הגן ידוע, החלק הראשון של מערכת קריספר/Cas9 שבו עלינו להשתמש, הוא חלבון מיוחד בשם Cas9. חלבון זה פועל כמו מספריים שחותכים את הדנ"א. Cas9 יכול לחתוך את הדנ"א בכל מקום שהוא, אך אנו רוצים שיחתוך רק את הגן שבו אנו מעוניינים. כדי להביא את ה-Cas9 למקום הנכון, יש צורך ברכיב בשם רנ"א מדריך, הפועל כמו נקודות ציון של מערכת איפון (GPS) ומכוון את ה-Cas9 לרצף שאנו רוצים לחתוך. אנו מתכננים את הרנ"א המדריך מרצף הגן, כך שה-Cas9 יחתוך את הדנ"א במיקום המדויק (איור 2A). ליד הרנ"א המדריך יש אתר PAM. זהו רצף של שלושה נוקלאוטידים, המְתְּפָקֵד כמו קווים מקווקווים, שמראים ל-Cas9 איפה לחתוך את הדנ"א. אנו מוצאים אתר PAM בקרבה המְרִבִית לאזור שאנו רוצים לחתוך (איור 2B). הרכיב האחרון נקרא תבנית תיקון. זוהי פיסה של דנ"א עם הרצף המדוש שאנו רוצים שהגן יכיל (איור 2C). באמצעות תבנית התיקון ביכולתנו להעתיק חלקים של רצף הדנ"א, להדביק אותם, להוסיפם או למחוק אותם, בדיוק כפי שעורכים משפטים במסמך תוכנת עיבוד התמלילים ווֹרְד! לדוגמה, נניח שאנו רוצים להוסיף את הנוקלאוטידים ATGCTA לגן שלנו. תבנית התיקון תכיל את הרצף ATGCTA וגם קצת דנ"א מכל צד, אשר תוֹאֵם לגן המקורי, כדי להגדיר לתבנית התיקון לאן ללכת. אז, לאחר שְׁתַקְנּוּ את הדנ"א, אפשר להדביק

את הנוקלאוטידים החדשים בתוכו, בדיוק במקום שאנו רוצים שיהיו (איור 2D), וכך מתקבל הגן הערוך שלנו.

איור 2

עריכת גנים באמצעות קריספר/Cas9. (A) תחילה, מביאים את החלבון Cas9 למיקום הנכון לאורך הגן שאנו רוצים לשנות, באמצעות הרנ"א המדריך. (B) אתר ה-PAM מורה ל-Cas9 היכן לחתוך את הדנ"א. (C) תבנית התיקון, המכילה את השינוי שאנו רוצים לערוך בגן, מזהה את האזור החתוך של הדנ"א ומשמשת לתיקון הדנ"א. (D) כאשר התיקון בדנ"א בוצע, הוא יכול את השינויים הרצויים! (נוצר בעזרת BioRender.com).



איור 2

אתר PAM (PAM Site)

רצף של שלושה נוקלאוטידים בסדר NGG (ה-N יכול לציין כל אחת מארבע אבני הבניין: C או G, T או A). הרצף הזה מתפקד כמו קו מקווקו, שבו ה-Cas9 חותך את הדנ"א.

תבנית תיקון (Repair Template)

רצף של דנ"א שהמדענים מעצבים, המיועד לתקן את הדנ"א במקום שהוא נחתך. דבר זה נעשה על ידי הוספת דנ"א, מחיקתו או שינויו.

ריפוי גנטי (Gene Therapy)

שיטת טיפול במחלות הנגרמות על ידי מוטציות בדנ"א. תיקון הדנ"א עשוי להוביל לריפוי המחלה.

מקרא המסגרת העליונה (משמאל לימין): המספרים – Cas9; מערכת האיכון המתאמת, GPS – רנ"א מדריך; אתר החיתוך: PAM; התיקון: תבנית תיקון.

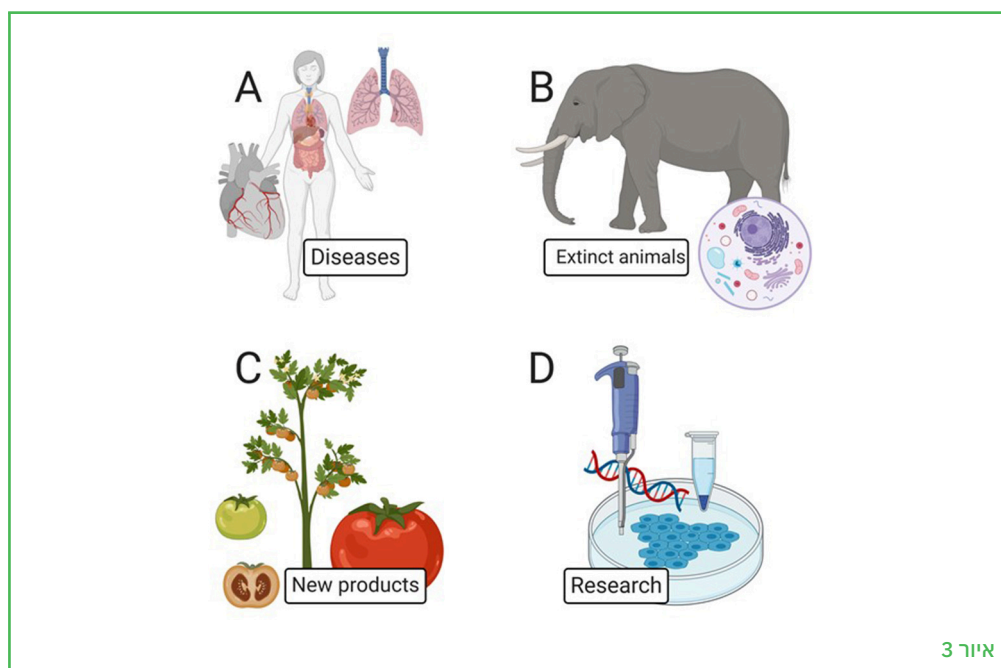
אילו דברים ניתן לחקור בעזרת קריספר?

עכשיו, כשמדענים מבינים טוב יותר את כלי עריכת הגנים, קריספר/Cas9, אילו דברים הם יכולים לבצע באמצעותו? באיור 3 ניתן לראות דוגמאות לכך. קריספר משמש לעיתים קרובות למחקר אורגניזמים כמו חיידקים; שְמֵרִים; תולעים; צמחים ועכברים, כיוון שְקֵל להשתמש בהם במעבדה [2]. הזנים הללו יכולים לספק למדענים מידע רב על אודות דנ"א אנושי והדרך שבה גנים מתפקדים, מאחר שישנם גנים אנושיים שהם זהים, או דומים מאוד, לגנים של זנים אחרים.

מחלות אנושיות מסוימות נגרמות עקב טעויות בדנ"א – טעויות אשר עלולות לעבור מדור לדור. מדענים ורופאים עמלים על פיתוח טיפולים למחלות הללו באמצעות קריספר/Cas9, על ידי מציאת הטעויות הללו בדנ"א ותיקונן. סוג הטיפול הזה במחלות נקרא **ריפוי גנטי**, וכיוון שהוא חדשני מאוד, עדיין לא סיימו לערוך בו ניסויים בבני אדם. אם תהיינה הוכחות כי הריפוי הגנטי בבני אדם באמצעות קריספר/Cas9 בטוח לשימוש, ממצא זה עשוי להיות נתיב סיוע מבטיח לאנשים הסובלים ממחלות שנגרמות על ידי טעויות בדנ"א.

איור 3

השימושים הרבים של קריספר/Cas9. (A) רופאים יכולים להשתמש בקריספר/Cas9 כדי לטפל במחלות (Diseases) שנגרמות כתוצאה מטעויות בדנ"א. (B) ביכולתם של חוקרים להשתמש בקריספר/Cas9 כדי להחזיר לחיים חיות שנכחדו כמו (Extinct animals), ממוקדה צמריית. (C) מדענים יכולים לייצר מוצרים חדשים (New products), כמו עגבניות חריפות, על ידי שינוי הדנ"א שלהן באמצעות קריספר/Cas9. (D) אפשר להשתמש בקריספר למחקר, כדי להבין כיצד הגנים מתפקדים (נוצר בעזרת BioRender.com).



איור 3

כמה מגניב יהיה לראות ממותה צמרית או דינוזאור מתהלכים שוב על פני כדור הארץ?

מדענים מאמינים כי ביכולתם להשתמש בקריספר/Cas9 כדי להשיב חיות שנכחדו!

לאחרונה, מדענים עשו שימוש מוצלח בקריספר/Cas9 לשינוי תגאי פיל, כך שיכילו דנ"א של הממותה הצמרית שנכחדה. השינויים הללו עשויים לעזור להעניק לפילים מאפיינים של ממותה צמרית, כמו פרווה צמרית, שיסייעו לפילים לשרוד במזג האוויר הקר.

גם חבֵרות יכולות להשתמש בקריספר/Cas9 כדי לייצר מוצרים חדשים. תֵאָרוּ לכם כמה טעים יהיה לאכול עגבנייה חריפה! מדענים חוקרים כיצד לשנות את הדנ"א של עגבנייה, כך שהיא תוכל לייצר קֶפְסָאִיִין (capsaicin) – החומר שהופך את פלפל הציילי לחריף. רוטב סֶלְקָה לעולם לא ישוב להיות כקדמותו! מדענים אחרים משתמשים בקריספר/Cas9 כדי לפתח זנים חדשים של צמחים, כמו תירס. הזנים החדשים יכולים לגדול אפילו בתנאי מזג אוויר קיצוני, כמו בצורת וגלי חום הנגרמים בְּשָׁל שינויי האקלים עקב ההתחממות העולמית.

עם כוח גדול באה אחריות גדולה

לקריספר/Cas9 ישנם שימושים מְרָגְשִׁים, אך הקהילה המדעית מעוניינת לחוקק חוקים בינלאומיים כדי לוודא שמשתמשים בטכנולוגיה זו באופן בטוח ומוסרי. אֶתִיקָה היא קווי היסוד שלפיהם מדענים צריכים לפעול, כך שעבודתם תגן על בריאות הציבור ובטיחותו. אתיקה מבטיחה כי כל המחקר המתקיים מתבצע בצורה המכבדת את זכויות האדם, את שלום החיות ואת החוק, כך שמדענים לא יפְגְעו באנשים, בחיות או בסביבה. מאחר נֶשְׁקָל להשתמש בקריספר/Cas9, וכיוון שעלותו אינה גבוהה, קשה לשלוט באנשים המשתמשים בו, כמו גם במטרות נֶשְׁלָשְׁמָן הוא מנוצל [3]. מדענים החליטו כי עריכת גנים היא אֶתִית כל עוד משתמשים בה כדי למנוע מאנשים לחלות, או אם היא מועילה בריפוי אנשים חולים.

אֶתִיקָה (Ethics)

מֵעֶרֶךְ חוקים שנועדו להבטיח כי עבודת המדענים אינה פוגעת בחיות או בבני אדם.

עם זה ישנן שאלות אחרות שנותרות בעינינו, לדוגמה, אם בטוח להחזיר לחיים את הממותה הצמרית. האם אתם חושבים שמדענים צריכים להשיב לחיים חיות נכחדות, או להנדס מזון? אלה הן שאלות חשובות!

האם הייתם לוקחים את הסיכון הכרוך בשינוי הדנ"א של האחיות ושל האחים שלכם לפני שהם נולדים, אפילו אם הייתם יודעים כי טעות קטנה עלולה לגרום לתוצאות הרות-אסון? מרבית הקהילה המדעית אינה תומכת בלקיחת הסיכונים הללו. אולם, בעבר נערך מחקר שנוי במחלוקת בעֶבְרִים אנושיים, שעשה שימוש בקריספר/Cas9. מדען סיני בשם הָא ג'יאנקוֹי שינה את הדנ"א של שני עֶבְרִים תאומים לפני שנולדו. דבר זה יצר שערורייה בינלאומית, כיוון שג'יאנקוֹי הִפְרָ את חוקי האתיקה בכך שערך גנטית עוברים אנושיים [4]. מדענים נדרשים להביא בחשבון שכאשר משתמשים בטכנולוגיה זו בצורה בלתי אחראית, ישנם סיכונים אפשריים. מסיבה זו, ארגון הבריאות העולמי (WHO) וארגונים אחרים מְנַטְרִים בקפדנות מחקר העוסק בעריכת הגֵנוֹם האנושי, כדי שהדבר ייעשה בצורה אחראית.

סיכום

מערכת קריספר/Cas9 מגינה על חיידקים מפני נגיפים. כיום, מדענים גם משתמשים בה לעריכת דנ"א של אורגניזמים במעבדה. היכולת לשנות את הדנ"א במעבדה מאפשרת לנו להבין טוב יותר כיצד הדנ"א פועל; לטפל במחלות ולפתח מוצרים חדשים. לטכנולוגיית קריספר/Cas9 ישנם יתרונות רבים, אם משתמשים בה בצורה אחראית. בד בבד, עָלֵינוּ לשמור על חוקי האתיקה כדי להבטיח שאף אחד לא ייפגע בתהליך. לפעמים, פיתוחים טכנולוגיים חדשים מתרחשים במהירות כה גדולה, עד שלמדענים ולקובעי המדיניות לא נותר מספיק זמן להתכונן לקראתם. בתור מדענים, עָלֵינוּ לחשוב תמיד על הסיכונים הכרוכים בפעולותינו, תוך שאנו שואפים לשיפור חיי האנשים.

מקורות

1. Hsu, P. D., Lander, E. S., and Zhang, F. 2014. Development and applications of CRISPR-Cas9 for genome engineering. *Cell* 157:1262–78. doi: 10.1016/j.cell.2014.05.010
2. Zhang, S., Guo, F., Yan, W., Dai, Z., Dong, W., Zhou, J., et al. 2019. Recent advances of CRISPR/Cas9-based genetic engineering and transcriptional regulation in industrial biology. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 7:459. doi: 10.3389/fbioe.2019.00459
3. Brokowski, C., and Adli, M. 2019. CRISPR ethics: moral considerations for applications of a powerful tool. *JMB* 431:88–101. doi: 10.1016/j.jmb.2018.05.044
4. Cyranoski, D. 2019. The CRISPR-baby scandal: what's next for human gene-editing. *Nature*. 566:440–42. doi: 10.1038/d41586-019-00673-1

פורסם אונליין: 06 במרץ 2025

נערך על ידי: Bahtiyar Yilmaz

מנחים מדעיים : Oscar Ruiz | Pamela Wong

ציטוט: Marnik EA, Bautista C, Drangowska-Way A, Simopoulos CMA | Merritt TJS (2025) קריספר: עריכת דנ"א בדרך חדשה. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2021.600133-he

תורגם והתאם מ: Marnik EA, Bautista C, Drangowska-Way A, Simopoulos CMA and Merritt TJS (2021) CRISPR: A New Way for Scientists to Edit DNA. Front. Young Minds 9:600133. doi: 10.3389/frym.2021.600133

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

זכויות יוצרים © Marnik, Bautista, Drangowska-Way, Simopoulos | Merritt 2025. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). השימוש, ההפצה או ההעסקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעסקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

ABIGAIL, גיל: 11

אני תלמידת כיתה ה'. התחביבים שלי כוללים תפירה, כתיבה ומשחקי מחשב. כשאגדל, ארצה להיות מהנדסת.



MADDIE, גיל: 12

קוראים לי Maddie ואני לומדת מדעים אצל גברת Frantom בחטיבת טאפאן שבעיר אן ארבור במישיגן, ארה"ב. אני עוסקת בשחייה תחרותית, רוכבת על סוסים בקיץ ורצה למרחקים ארוכים בשביל הכיף. אוהבת מדע מפני ששואלים בו שאלות רבות, ולאחר מכן עונים עליהן. אני גם אוהבת חיות, שירה וטבע. בעתיד, ארצה לטייל בעולם.



הכותבים

ELISABETH A. MARNIK

Elisabeth היא עוזרת פרופסור לביוכימיה מולקולרית באוניברסיטת הוסון. היא משתמשת בתולעים קטנות מסוג *C. elegans* כדי להבין כיצד תאים הופכים לתאים אחרים. במסגרת מחקרה עושה שימוש בקריספר כדי למחוק חלקים מהדנ"א של התולעת ולחקור את השינויים שהתקבלו! בזמנה הפנוי Elisabeth אוהבת לרוץ בשעה שהיא יוצאת עם תינוקה בעגלה, וכן לקרוא ולטייל. [*marnike@husson.edu](mailto:marnike@husson.edu); [†orcid.org/0000-0002-5199-6835](https://orcid.org/0000-0002-5199-6835)



CARLA BAUTISTA

Carla היא מועמדת לדוקטורט באוניברסיטת לאוול שבקוויבק, קנדה. מגלה עניין בביוכימיה אבולוציונית,



אך תמיד התעניינה מאוד גם באסטרונומיה. היא ממקדת את הקריירה שלה באסטרוֹבִּיולוֹגיה, כיוון ששני התחומים הללו משתלבים במחקר של חיים בסביבות קיצון, על פני כדור הארץ ומחוצה לו. כיום, במסגרת מחקרה היא מתמקדת בהקְלָאָה בין זנים, ובדרך שבה תהליך זה עשוי לעזור לאורגניזמים להסתגל למצבים קיצוניים. בזמנה הפנוי Carla אוהבת לטייל בעולם, לעסוק בפעילויות הקשורות בטבע, ולרקוד. [†orcid.org/0000-0003-3456-6566](https://orcid.org/0000-0003-3456-6566); c.bautistarourjc@gmail.com

ANNA DRANGOWSKA-WAY

Anna היא דוקטורנטית באוניברסיטת וירג'יניה בשארלוטסוויל, ארה"ב. היא משתמשת בתולעים קטנות מסוג *C. elegans* כדי להבין מנגוני בקרה על גְנִים. מתעניינת במיוחד בביצוע בקרה על הגנים המְפְרָקים שומנים, שמכונים ליפָאָזים, בשעה שהתולעים מצויות במצבים של צום או של לחץ. בזמנה הפנוי Anna אוהבת לקרוא, לטייל בעולם ולבלות עם משפחתה. aw5tz@virginia.edu



CAITLIN M. A. SIMOPOULOS

Caitlin היא עמיתה פוסט-דוקטורנטית באוניברסיטת אוטווה שבעיר אוטווה, קנדה. מתעניינת ביצירת כלים חישוביים חדשים לַשֵּׁם ניתוח מידע ביולוגי, וביישומיהם. כיום, היא חוקרת כיצד אֶקְסֵפִים של חיידקים; נגיפים, אֶרְכָאֹנִים ופטריות שחיים במעיים שלנו, יכולים להשפיע על בריאותנו. היא מתעניינת בפרט בדרך שבה קהילות המיקרואורגניזמים הללו משתנות כאשר אנו נוטלים תרופות שונות. בזמנה הפנוי Caitlin אוהבת לרכוב באופניים באזור אוטווה-גטינו היפה, להתנסות במתכונים חדשים ולבלות עם שני החתולים שהצילה. [†orcid.org/0000-0001-9832-7797](https://orcid.org/0000-0001-9832-7797); csimopou@uottawa.ca



THOMAS J. S. MERRITT

Thomas הוא פרופסור לכימיה ולביוכימיה באוניברסיטה הלאורנטיאנית בצפון אונטריו, קנדה. מתעניין באופן שבו שינויים בדנ"א מובילים להבדלים בתכונות האורגניזמים, ובדרך שבה שינויי הדנ"א משפיעים על פרטים בצורה שונה. Thomas משתמש במחקרו בעיקר בזבובי פירות, אך חלק מהפרויקטים כוללים חיידקים. לעיתים, המעבדה היא SNOLAB – מעבדת פיזיקת חלקיקים הממוקמת כשני קילומטרים מתחת לפני הקרקע. מחוץ למעבדה, הוא מבלה כמה זמן שבאפשרותו על המים, בחתירה, שייט וארגון תוכנית חתירה לאנשים עם מוגבלויות. tmerritt@laurentian.ca



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
ששוע
Shashua Family Foundation