



## חיידקים במערכת הרבייה של בקר

Taylor B. Seay, Brooke A. Clemmons, Phillip R. Myer\* | Kyle J. McLean\*

המחלקה למדעי החיות, אוניברסיטת טנסי, נוקסוויל, טנסי, ארצות הברית

### סוקרים צעירים

ETHAN

גיל: 14



NETTRA

גיל: 16



חיידקים במערכת הרבייה נחשבו בעבר כ"רעים", וכמפחיתים את הסיכויים להיריונות מוצלחים. אולם, במערכות הרבייה של בני אדם ושל בקר נמצאו חיידקים "טובים"! החיידקים ה"טובים" האלה מסייעים לשמור על מערכת רבייה בריאה על ידי הפחתת היכולת של חיידקים "רעים" לגדול, סיוע לתאי מערכת חיסון לפעול כראוי ושמירה על רמת חומציות (pH) מתאימה בסביבה זו. חוקרים מצאו כי הבדלים בין חֲבֵרוֹת חיידקים ברחם של בקר יכולים להשפיע על כניסתה של פרה להיריון, ועל לידת עגלים בריאים. מחקרים עתידיים עשויים להעריך כיצד אנו יכולים לשנות את חברות החיידקים האלה במטרה לייצר את הסביבה הטובה ביותר במערכת הרבייה, להשגת הצלחה מיטבית בהליך הרבייה.

### הקדמה

ב-30 השנים הבאות אוכלוסיית העולם צפויה לגדול מ-7.7 מיליארד אנשים כיום לכ-10 מיליארד אנשים. מספר האנשים ההולך וגדל מוביל לעלייה בכמות המזון שנדרשת כדי להזין את כולם. תעשיות החקלאות והמְקֵנָה חשובות מאוד לאספקת המזון, והן מתמודדות עם האתגר של ייצור מזון מספיק באמצעות משאבים מוגבלים. במטרה להתגבר על האתגר הזה, מדענים מעריכים גורמים שיכולים להשפיע על ייצור מזון. חוקרים מתחום מדעי החיות

מעריכים את חברות החיידקים במערכת הרבייה ואת תפקידן ברבייה מוצלחת של חיות, שתורמת לאספקת מזון.

חיידקים לרוב נחשבים כ"רעים", בשל הסוגים הרבים של חיידקים פתוגניים שיכולים לגרום למגוון מחלות. אך ישנם גם חיידקים "טובים" שנמצאים בסביבה ובגוף של בני אדם ושל חיות, אשר מסייעים לשימור גוף בריא ופרודוקטיבי! חיידקים מועילים נמצאים באיברים רבים בגוף, ומרביתם ממוקמים במערכת העיכול. חיידקי הקיבה והמעיים האלה מסייעים לפרק מזונות שבני אדם וחיות אוכלים. התוצרים שחיידקים מייצרים מעיכול מזונות יכולים לשמש בני אדם או חיות לגדילה, או לשימור תפקודי גוף תקינים. חשיבותם של חיידקים במערכת העיכול הובילה מדענים לחקור חיידקים בחלקי גוף אחרים, כמו למשל במערכת הרבייה, ולשאל כיצד החיידקים האלה עשויים להשפיע על בריאות הרבייה ועל הצלחתה.

## האם ישנם חיידקים בריאים במערכת הרבייה?

לפני שנים רבות, מדענים האמינו שמערכת הרבייה הנשית לא הכילה חיידקים, אלא אם כן היה זיהום. נוכחותם של חיידקים במערכת הרבייה, במיוחד במהלך היריון, נחשבה כלא טובה עבור גדילת העובר ובריאותו של הרחם. אולם, כשמדענים פיתחו טכנולוגיות חדשות לאיתור ולזיהוי חיידקים רבים יותר, הם מצאו שישנה חִבְרָה של חיידקים טובים במערכת הרבייה!

בבני אדם, ישנו **מגוון חיידקי** נמוך מאוד במערכת רבייה בריאה. המגוון הנמוך הוא תוצר של סוג חיידק אחד, שנקרא לקטובצילוס (*Lactobacillus*), שהוא הבסיס למרבית החיידקים במערכת הרבייה. אולם, החברות החיידקיות במערכת הרבייה בבקר שונות מאוד מאלה המתקיימות במערכת הרבייה האנושית. מערכת הרבייה של בקר מתאפיינת במגוון חיידקים גבוה, כלומר היא מכילה מיני חיידקים שונים רבים. החיידקים בנרתיק הפרה מגוונים יותר מאלה שברחם שלה, כאשר ישנם חיידקים רבים שדומים לאלה הנמצאים במערכת הקיבה והמעיים של הפרה (איור 1). מאמינים כי מגוון החיידקים הגדול בנרתיק, ונקודות הדמיון לחיידקים שבמערכת הקיבה והמעיים, הם תוצאה של פתח הנרתיק לסביבה החיצונית, אשר מאפשרת לחיידקים להיכנס ולהתפתח, בעוד שסביבת הרחם היא פנימית יותר, עם גישה מוגבלת למקורות חיידקיים חיצוניים [1].

## כיצד חיידקים מסייעים בשמירה על מערכת רבייה בריאה?

ממש כמו בני אדם וחיות, במטרה לשרוד, חיידקים צורכים "מזון" שמספק להם אנרגיה וחומרי מזון. התהליך של המרת מזון לאנרגיה ולחומרי מזון נקרא **חילוף חומרים**. תהליך זה כולל תגובות שמתרחשות בתוך תאים במטרה לייצר סוגי מולקולות שונים רבים ותרכובות שחיוניים עבור התפקודים ששומרים עלינו – ועל חיידקים – בחיים. חיידקים יכולים לצרוך "מזון" בצורה של חומרים שונים שמיוצרים על ידי תאים במערכת הרבייה של המארח שלהם, או שנכנסים למערכת הרבייה ממחזור הדם. החיידקים צורכים את החומרים האלה כדי לייצר אנרגיה ומולקולות שמאפשרות להם לשרוד ולתפקד. חיידקים משחררים תוצרים אחרים של חילוף חומרים שהם לא זקוקים להם, אשר יכולים לסייע לתמוך בתפקודים של המארח לרבות שמירה על מערכת רבייה בריאה (איור 2).

### פתוגן

#### (Pathogen)

מיקרואורגניזם מזיק היכול לגרום למחלה.

### מערכת הרבייה הנשית

#### (Female reproductive tract)

מערכת איברים נקבות שתכליתה לייצר צאצאים. כוללת את הנרתיק, צוואר הרחם, הרחם, חצוצרות הרחם והשחלות.

### מגוון חיידקי

#### (Bacterial Diversity)

מדידה של מספר מיני החיידקים השונים ומידת השונות הגנטית בין החיידקים בדגימה. לדגימה עם מספר גבוה של מינים שונים יש מגוון גדול יותר.

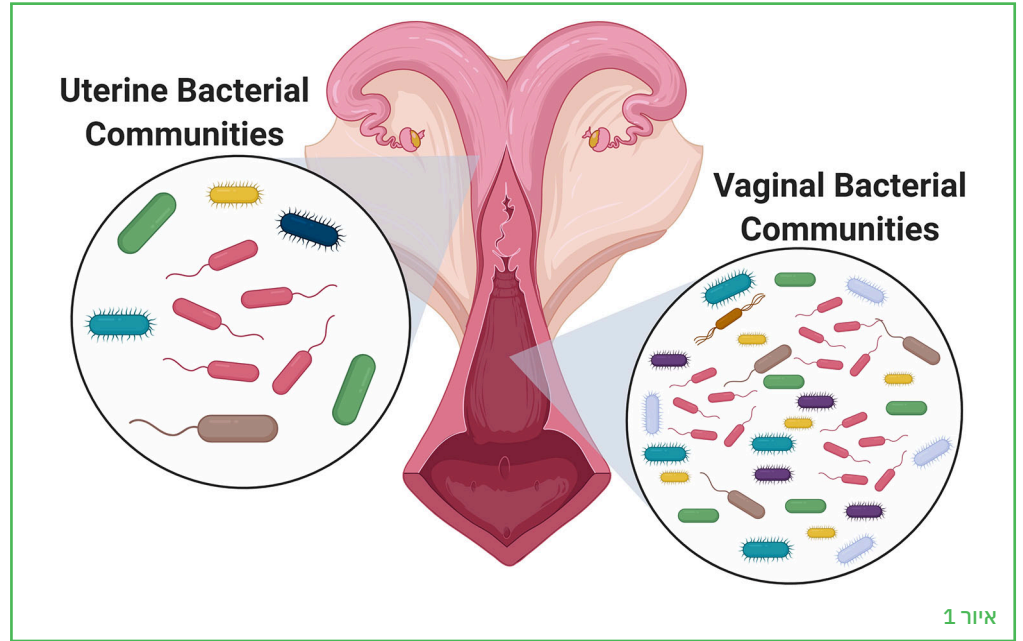
### חילוף חומרים

#### (Metabolism)

תגובות כימיות שמפרקות חומרים, כמו למשל מזון, למולקולות אחרות שנדרשות עבור תפקודי גוף תקינים.

**איור 1**

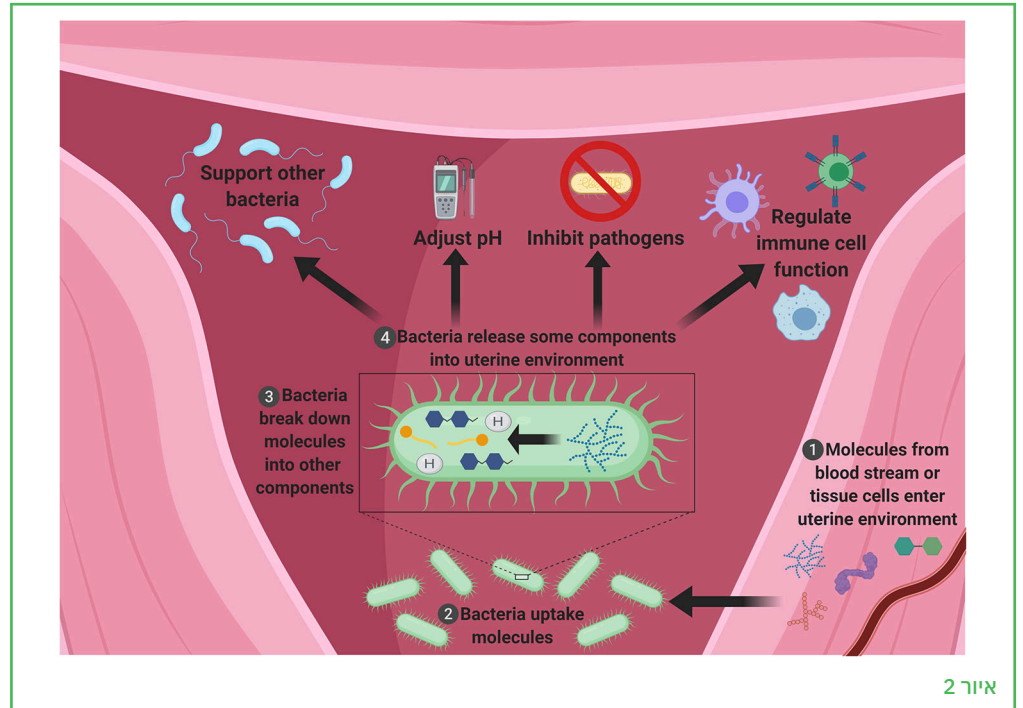
השוואה בין חיידקים בנרתיק הפרה לחיידקים ברחמה. בנרתיק הפרה ישנו מספר גדול יותר של חיידקים, ומגוון רב יותר מהם, מאשר ברחם הפרה. חלק ממיני החיידקים משותפים לרחם ולנרתיק, אך מופיעים בכמויות שונות (האיור נוצר באמצעות BioRender).



איור 1

**איור 2**

חיידקים תורמים לסביבה בריאה במערכת הרבייה. זאת על ידי פירוק מולקולות בתהליך חילוף חומרים. חילוף החומרים של חיידקים מספק לחיידקים את הרכיבים שהם זקוקים להם כדי לשרוד. רכיבים אחרים משוחררים אל הסביבה הקרובה, כמו למשל זו של מערכת הרבייה. התוצרים האלה יכולים להועיל לסביבת מערכת הרבייה על ידי תמיכה בתפקודים של חיידקים אחרים, התאמת רמות החומציות (pH) של הסביבה וייסות התפקודים של תאים השייכים למערכת החיסון (האיור נוצר באמצעות BioRender).



איור 2

**חומצה לקטית (Lactic Acid)**

כימיקל שנוצר כאשר סוכרים מפורקים לאנרגיה בהיעדר חמצן. חומצה לקטית מיוצרת על ידי חילוף החומרים של כמה מיני חיידקים.

התוצרים שחיידקים משחררים לסביבתם מסייעים לשמור על מערכת רבייה בריאה על ידי כך שהם תומכים בחברות חיידקים בריאות, מעכבים גדילה של פתוגנים, שומרים על החומציות התקינה של הסביבה ומסייעים לתאי מערכת החיסון לתפקד כראוי. לדוגמה, מין לקטובצילוס של חיידקים מסייע לשמור על בריאות מערכת הרבייה האנושית באמצעות חילוף חומרים של הסוכר גלוקוז ליצירת אנרגיה וחומצה לקטית. החיידקים משתמשים באנרגיה עבור הישרדותם, בעוד שהחומצה הלקטית משוחררת לתוך סביבתם. החומצה המשוחררת מורידה את רמות החומציות של מערכת הרבייה, מה שהופך את הסביבה לחומצית יותר, ומונע גדילה של חיידקים פתוגניים [2]. נמצא כי מין לקטובצילוס מצוי

בכמות קטנה במערכת הרבייה של בקר [3], אך ישנם חיידקים אחרים שבאפשרותם לבצע תפקודים דומים. סוגי חיידקים נוספים יכולים לייצר תוצרים שמווסתים את הפעילות של תאים השייכים למערכת החיסון. תאים אלה יכולים לסייע לחיות להילחם כנגד פתוגנים או ליצור סביבה ברחם שמסייעת לתמוך בהתפתחות ההיריון. חיידקים טובים יכולים גם לעכב גדילה של חיידקים פתוגניים על ידי יצירת תרכובות אנטי-חיידקיות, או באמצעות תחרות בחיידקים פתוגנים באמצעות צריכת המשאבים שהם זקוקים להם כדי לגדול.

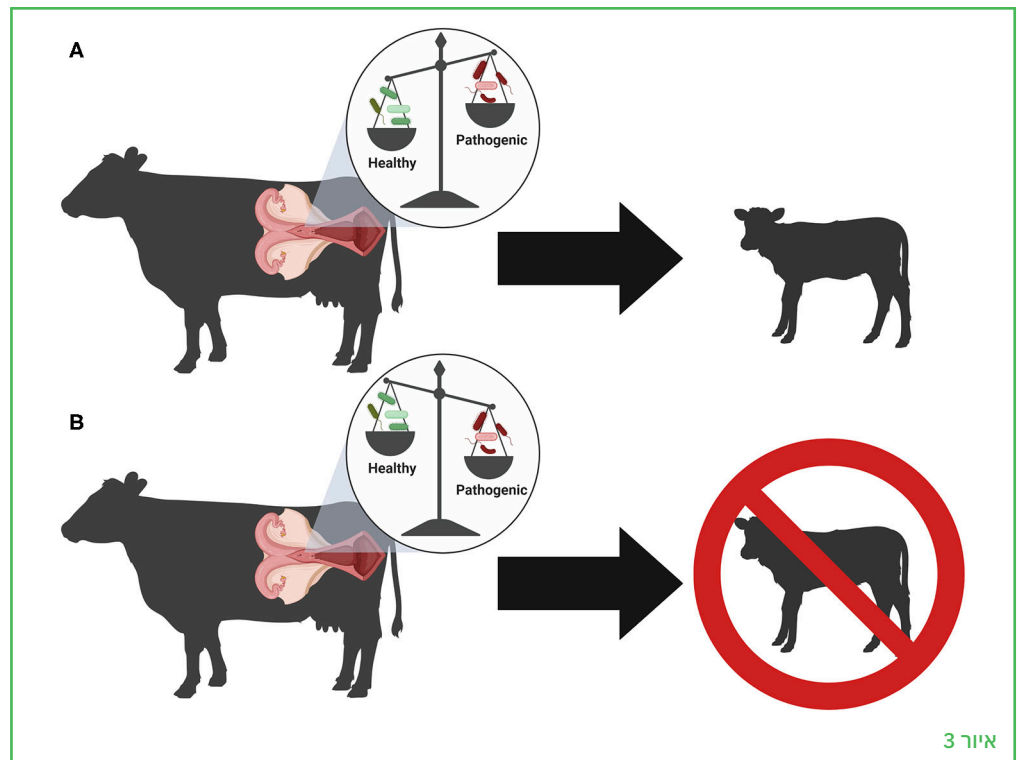
כל תפקודי החיידקים האלה במערכת הרבייה הכרחיים עבור סביבה בריאה שיכולה לאפשר להיריון להתפתח.

### כיצד חיידקים במערכת הרבייה קשורים להתרבות ולהיריון מוצלחים?

בזמן שתעשיית החקלאות עושה מאמצים לספק בקר בצורה יעילה להזנת אוכלוסיית העולם שגדלה, חשוב שפרות ייכנסו להיריון במהירות האפשרית ובקלות המרבית. אך אם חברות החיידקים במערכת הרבייה משתנות, ויוצרות סביבה לא מיטבית להיריון, ייתכן כי הפרה לא תהיה מסוגלת להיכנס להיריון וללדת עגל בריא (איור 3). מרבית המחקרים הקודמים שנערכו בדקו את החיידקים הפתוגניים ואת האופן שבו הם מפחיתים את יכולתה של החיה להיכנס להיריון. ידוע כי אחרי הולדת עגל, לפרות יש סבירות גבוהה יותר לקבל זיהומים ולהכיל כמויות גדולות יותר של חיידקים פתוגניים ברחם, מה שמוביל לקושי כשמנסים להרבות את הפרה שוב. אולם, מחקרים עכשוויים החלו לבדוק את הקשר שבין חברות חיידקים בריאות במערכת הרבייה לבין יכולתה של החיה לפתח היריון בריא.

#### איור 3

חברות חיידקיות שנמצאות ברחם לפני ההתרבות יכולות להשפיע על תוצאות הרבייה. (A) לפרות עם חברות חיידקים מאוזנות ברחם יש סיכויים טובים יותר להיכנס להיריון ולהוליד צאצאים. לפרות האלה יש יותר חיידקים בריאים (בירוק) שתורמים לסביבה טובה יותר ברחם. חיידקים פתוגניים (באדום) יכולים להימצא בחיות בריאות בכמויות נמוכות. (B) לפרות אשר להן חברות חיידקים שעברו שינוי ברחם, סיכויים קטנים יותר להיכנס להיריון. לפרות האלה יש כמויות גדולות יותר של חיידקים פתוגניים (ללא זיהום) בסביבת הרחם, מה שלא תומך בהתפתחות היריון (התמונה נוצרה באמצעות BioRender).



איור 3

מדענים בדקו חברות חיידקים במערכת הרבייה של פרות לפני ההתרבות, כדי לקבוע אם חיידקים היו קשורים לתוצאות ההיריון. לפרות שנכנסו להיריון היה הרקב שונה במובהק של חברות חיידקים ברחם לפני הרבייה ביחס לפרות שלא נכנסו להיריון. בפרט, אצל פרות שלא נכנסו להיריון היו יותר חיידקים פתוגניים, אף על פי שלא התפתח אצלן זיהום [4]. הנתונים האלה מציעים שההבדלים בחברות חיידקי הרחם יכולים להשפיע על הצלחת הרבייה של פרה (איור 3). יכולת החיידקים להשפיע על הצלחת הרבייה קשורה ככל הנראה להשפעותיהם על סביבת מערכת הרבייה, באמצעות שליטה בגורמים שחשובים להתפתחות ההיריון. מחקרים עתידיים יבחנו את תפקידם של חיידקי הרחם במהלך היריון, ואת האופן שבו הם עשויים להשפיע על גדילה של עוברים, על בריאותם ועל התפתחותם.

## פרוביוטיקות (Probiotics)

חיידקים חיים שניתן להוסיפם לסביבה עבור תועלת בריאותיות. פרוביוטיקות יכולות לשנות את נוכחות החיידקים בחברת חיידקים, ולהשפיע על התוצרים המטבוליים שמשוחררים.

## שיפור הצלחת רבייה באמצעות חיידקים במערכת הרבייה

מאחר שחברות חיידקים של פרות הוכחו כמשפיעות על סביבת מערכת הרבייה והתפתחות ההיריון, מחקרים בודקים שיטות לשינוי ההרכב של חברות חיידקים. על ידי שינוי סוגי החיידקים בחברות האלה, אנו יכולים ליצור סביבת מערכת רבייה בריאה שהיא המיטבית לתמיכה בהיריון. מחקרים בחנו פְּרֹבִּיּוֹטִיקוֹת למטרה הזו. פרוביוטיקות הן חיידקים חיים, כמו למשל לקטובצילוס, שידועים בכך שיש להם תועלות בריאותיות עבור המארח. ניתן להוסיף פרוביוטיקות למערכת הרבייה ולתרום לסביבת הרבייה של החיה. אף על פי שלקטובצילוס נמצא באופן טבעי בכמויות קטנות במערכת הרבייה של בקר, מדענים החלו לבחון את השימוש בחיידק זה בתור פרוביוטיקה בפרות. התוצאות היו חיוביות ביחס לטיפול בזיהומים, שליטה בתגובות של מערכת החיסון והגדלת מספר החיות שנכנסו להיריון [5]. נדרשים מחקרים נוספים כדי לבדוק את השימוש בפרוביוטיקות ברבייה כאשר אין זיהום, במטרה לבחון כיצד פרוביוטיקות מווסתות את האיזון הנורמלי של חברות חיידקים בבקר.

## מסקנות

לא כל החיידקים רעים. ישנם סוגי חיידקים רבים שמבצעים תפקודים חשובים שתורמים למארח. חברות חיידקים חיוניות לבריאות המארח ולתפקודו, הודות לתרומותיהן לסביבות שונות ברחבי הגוף. אף על פי שבעבר האמינו כי מערכת הרבייה היא נטולת חיידקים, מחקרים עכשוויים חשפו את חשיבותם של חיידקים בריאים לרבייה בריאה ומוצלחת. ישנם חיידקים מגוונים רבים, כולל לקטובצילוס, שחיים במערכת הרבייה של בקר ותורמים לסביבת מערכת הרבייה. תפקודו של לקטובצילוס במערכת הרבייה ברור מבחינה מדעית, והוא הנחקר ביותר ביחס לפרוביוטיקות במערכת הרבייה של בקר ושל בני אדם. נדרשים מחקרים נוספים כדי לקבוע אם חיידקים אחרים יכולים לשמש כפרוביוטיקות, ובאיזה אופן. לאחר שהתקדמנו בהבנת התפקודים של חיידקים במערכת הרבייה, ייתכן שנהיה מסוגלים להשתמש בחיידקים הטובים האלה כדי לשפר את תוצאות הרבייה, מה שיסייע לייצר יותר בקר ולהזין את אוכלוסיית העולם שממשיכה לגדול.

## מקורות

1. Clemmons, B. A., Reese, S. T., Dantas, F. G., Franco, G. A., Smith, T. P. L., Adeyosoye, O. I., et al. 2017. Vaginal and uterine bacterial communities in postpartum lactating cows. *Front. Microbiol.* 8:1047. doi: 10.3389/fmicb.2017.01047
2. Ronnqvist, D. J., Forsgren-Brusk, B., and Grahn-Hkansson, E. 2006. Lactobacilli in the female genital tract in relation to other genital microbes and vaginal pH. *Acta Obstet. Gynecol. Scand.* 85:726–35. doi: 10.1080/00016340600578357
3. Swartz, J. D., Lachman, M., Westveer, K., O'Neill, T., Geary, T., Kott, R. W., et al. 2014. Characterization of the vaginal microbiota of ewes and cows reveals a unique microbiota with low levels of Lactobacilli and near-neutral pH. *Front. Vet. Sci.* 1:19. doi: 10.3389/fvets.2014.00019
4. Ault, T. B., Clemmons, B. A., Reese, S. T., Dantas, F. G., Franco, G. A., Smith, T. P. L., et al. 2019. Bacterial taxonomic composition of the postpartum cow uterus and vagina prior to artificial insemination. *J. Anim. Sci.* 97:4305–13. doi: 10.1093/jas/skz212
5. Peter, S., Gärtner, M. A., Michel, G., Ibrahim, M., Klopffleisch, R., Lübke-Becker, A., et al. 2018. Influence of intrauterine administration of *Lactobacillus buchneri* on reproductive performance and pro-inflammatory endometrial mRNA expression of cows with subclinical endometritis. *Sci. Rep.* 8:5473. doi: 10.1038/s41598-018-22856-y

פורסם אונליין: 10 באוגוסט 2023

נערך על ידי: Viduranga Y. Waisundara

מנחים מדעיים: Mei Fang Hsu | Kannapiran Ponraj

ציטוט: Seay TB, Clemmons BA, Myer PR | McLean KJ (2023) חידקים במערכת הרבייה של בקר. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2021.550269-he

תורגם והתאם מ: Seay TB, Clemmons BA, Myer PR and McLean KJ (2021) Bacteria in the Reproductive Tract: They Are Not All Bad! *Front. Young Minds* 9:550269. doi: 10.3389/frym.2021.550269

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

זכויות יוצרים © 2021 © Seay, Clemmons, Myer | McLean. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). השימוש, ההפצה או ההעתיקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתיקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.



## סוקרים צעירים

### ETHAN, גיל: 14

הי! קוראים לי איתן. ביריד המדע האזורי שלי, ניצחתי בתחרות פרויקט הצעירים ובפרויקט הביולוגיה הטוב ביותר, זכיתי במדליית זהב, והגעתי לגמר יריד המדע של רחבי קנדה, שם קיבלתי מדליית ברונזה. הייתי גם פייליסט ב-IRIC Canada InspoScience. חוץ מזה, אני נהנה מדיבייטינג, מכך שזכיתי בתואר של אלוף לאומי ודובר שני בשנה החולפת, ומדיבור לפני קהל. אני כותב נלהב ומפרסם את השירים שלי, את הסיפורים הקצרים שאני כותב ואת מאמרי העמדה פרי עטי.



### NETTRA, גיל: 16

נְטָרָה היא תלמידה צעירה שלומדת בשנה השנייה של בית הספר התיכון. העניין שלה בביולוגיה החל להתפתח בגיל צעיר, והוביל אותה לערוך ניסויים פשוטים בבית ולגלות עניין נלהב בביולוגיה מולקולרית. בהשראת הוריה הרופאים, היא החליטה לשאוף להיות רופאה (רופאת עיניים) בעצמה, ולשרת את הקהילה המדעית. החלום שלה הוא לחקור יצורים תת-ימיים בשנורקלינג בשונית המחסום הגדולה באוסטרליה. היא קוראת בעיקר סיפורת מדעית, ומבלה את זמנה הפנוי באפיית עוגות ועוגיות.



## הכותבים

### TAYLOR B. SEAY

טיילור ב. סיי גדלה במזרח טנסי עם תשוקה לעבודה עם חיות. היא עשתה את התארים הראשון והשני שלה באוניברסיטת טנסי-נוקסוויל במחלקה למדעי החיות, שם היא פועלת כיום כדוקטורנטית וכעוזרת מחקר. המחקר שלה מתמקד בהערכת מערכת הרבייה של עגלי בקר וחברות חיידקי הקיבה שלהם. היא מתעניינת בגורמים שמשפיעים על המיקרואורגניזמים האלה, וכיצד הם יכולים להשפיע על יעילות הרבייה בבקר.



### BROOKE A. CLEMMONS

ברוק א. קְלֶמֶנְס היא דוקטורנטית במדעי החיות בנוקסוויל, טנסי. היא גדלה בערים, אך תמיד אהבה חיות חווה. כיום, ברוק עובדת עם בקר במטרה להבין כיצד גורמים סביבתיים שונים משפיעים על האופן שבו פרות משתמשות במזון. היא מתמקדת במיוחד באופן שבו גורמים שונים, כמו היריון וגנטיקה, משפיעים על מיקרובים שחיים במעי של פרות, וכיצד אנו יכולים להשתמש בהם כדי לגרום לחיות לגדול טוב יותר ולהיות בריאות יותר.



### PHILLIP R. MYER

פיליפ ר. מייר הוא עוזר פרופסור באוניברסיטת טנסי במחלקה למדעי החיות. הוא מתעניין באופן שבו מיקרובים בבקר משפיעים על יעילות התזונה, ובאופן שבו בקר יכול לתקשר עם המיקרובים שלו. קבוצת המחקר של פיליפ משתמשת בטכנולוגיות דנ"א כדי לסייע לחקור את האינטראקציות האלה. הוא מקווה שהמחקר שלו יוכל לייצע, לשפר ולהיות חלק מהפתרון לדרישת המזון והחלבון הגלובלית בעתיד.

\*[pmyer@utk.edu](mailto:pmyer@utk.edu)



### KYLE J. MCLEAN

קייל ג'י. מְקֶלִין גדל בדרום-מזרח מונטנה, שם הוא פיתח תשוקה למדע ולחיות. הוא עשה תואר ראשון במדע בקולג' מזרח ויומינג. לאחר מכן, הוא עבר לסטילווטר, אוקלהומה שם הוא סיים תארים ראשון ושני במדע באוניברסיטה המדינית של אוקלהומה. לבסוף, דוקטור מְקֶלִין עשה דוקטורט במדעי החיות באוניברסיטה המדינית של צפון דקוטה. אחרי סיום התואר, הוא עשה שנתיים כפוסט-דוקטורנט



באוניברסיטת קנטקי לפני שהגיע לאוניברסיטת טנסי, שם הוא עורך מחקר על מערכת הרבייה של בקר.  
[\\*kmclea10@utk.edu](mailto:kmclea10@utk.edu)

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