



מהן השתלות צואה וכיצד הן פועלות?

Sushmita Patwardhan¹, Christian Diener¹, Stephanie Swegle¹, Becky Howsmon¹, Sean M. Gibbons^{1,2,3*}

¹המכון לביולוגיה של מערכות, סיאטל, וושינגטון, ארצות הברית

²המחלקה לביו-הנדסה, אוניברסיטת וושינגטון, סיאטל, וושינגטון, ארצות הברית

³מכון eScience, אוניברסיטת וושינגטון, סיאטל, וושינגטון, ארצות הברית

סוקרים צעירים

JADA

גיל: 14



JOSHUA

גיל: 14



REEYA

גיל: 15



מיקרובים הם יצורים זעירים שחיים בתוך גופנו ועליו. רבים מהם, במיוחד אלה שבמעיים, מסייעים לשמור על בריאותנו. לעיתים, כשאנו אוכלים מזון מקולקל או נוטלים אנטיביוטיקה, אנו מחסלים רבים מהמיקרובים הטובים האלה. בדרך כלל, המיקרובים הטובים שלנו מתאוששים מההפרעות האלה, אך לעיתים מיקרובים מזיקים יכולים לתפוס את מקומם ולגרום למחלה. קְלוֹסְטְרִידִיּוֹם דִּיפִּיזִילָה הוא מיקרוב מזיק שגורם לשלשולים קשים. בדרך כלל, אנטיביוטיקה יכולה להרוג אותו ולהשיב את המעיים למצב תקין, אך במקרים מסוימים המיקרוב יכול לחזור שוב ושוב. צורה זו של מיקרוב עמיד לאנטיביוטיקה, עלול אף לגרום למוות כתוצאה מזיהומים חוזרים שלו. לאחרונה, מדענים מצאו שזיהומי קלוסטרידיום דיפיזילה חוזרים יכולים להירפא על ידי השתלת צואה מאדם בריא לאדם חולה. התהליך הזה נקרא השתלת צואה, והוא מציל אלפי חיים בשנה בארצות הברית.

מיקרובים – חברים, לא אויבים!

ייתכן ששמעתם על **מיקרובים**, או שמעתם שקוראים להם "חיידקים". למרות המונחים המפחידים הללו, שמזכירים לנו מחלות, רבים מהאורגניזמים האלה טובים עבורנו וממלאים תפקיד חשוב בשמירה על בריאותנו. אף על פי שאיננו יכולים לראות את היצורים הזעירים האלה, הם נמצאים בכל מקום סביב – באוויר, על הקיר, באדמה, בתוך הגוף ועליו (איור 1). הרוב המוחלט של מיקרובים אינם מזיקים, ואפילו מועילים. הם מכילים חיידקים, ארכאונים, פטריות ווירוסים, שיחד נקראים **מיקרוביוטה**, אשר עולים במספרם על מספר התאים האנושיים בגוף, ושוקלים בין חמישית לחצי קילוגרם.

מיקרוב (Microbe)

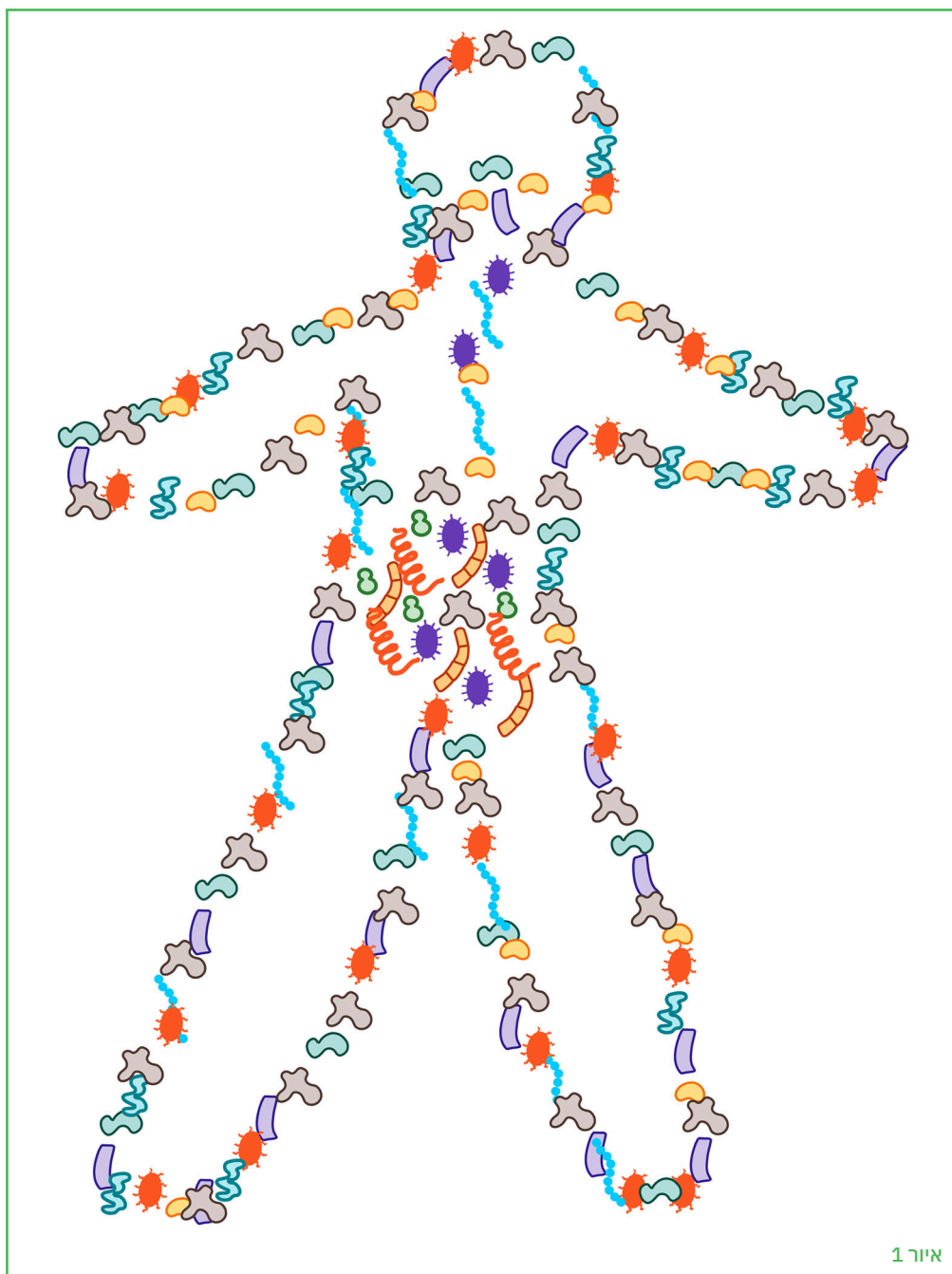
אורגניזם מיקרוסקופי.

מיקרוביוטה (Microbiota)

כל המיקרובים שחיים בתוך גופנו ועליו.

איור 1

המיקרובים בגופנו. יותר ממחצית התאים בתוך גופנו ועליו הם מיקרובים, אשר שוקלים בין חמישית לחצי קילוגרם. ניתן למצוא את המיקרובים האלה בכל רחבי המשטחים החשופים של גופנו, כשרובם נמצאים בתוך המעיין.



איור 1

אנו פותחים את חיינו חסרי מיקרובים ברחם [1], ומתחילים לאסוף את המיקרוביוטה שלנו בעת הלידה [2]. בני אדם מקבלים את המיקרובים שלהם מאימהותיהם ומסביבותיהם לאחר הלידה. במהלך מחזור חיים, מאכלסים את גופנו מגוון מיקרובים שונים כתלות במזון שאנו אוכלים; במקום שבו אנו חיים; בכמות הפעילות הגופנית שאנו מבצעים ואפילו כתלות באם יש לנו חתול או כלב [2]. אם כן, גופנו הוא מערכת אקולוגית מורכבת. אנו מספקים בית למיקרוביוטה שלנו, ובתמורה היא מסייעת לנו לשמור על עצמנו בטוחים ובריאים.

המעיים הם המקום שבו חיה מרבית המיקרוביוטה שלנו, והרכיב השכיח ביותר במיקרוביוטה של המעיים הוא חיידקים. חיידקי מעיים מסייעים לנו לעכל מזון; לספוג ויטמינים וחומרי מזון; להגן על הגוף מפני מיקרובים מזיקים שנקראים פְּתוֹגְנִים ולאמן את מערכת החיסון שלנו במטרה למנוע אלרגיות, אסתמה וליקויים אחרים של מערכת החיסון. חיידקי מעיים יכולים אפילו לשלוח אותות למוחנו, ולשנות את מצבי הרוח שלנו ואת התנהגותנו [3]. כדי להישאר בריאים אנו זקוקים לאיזון נכון בין סוגים שונים של חיידקים במעיים שלנו.

מצב בריאותה של המיקרוביוטה

מהי מיקרוביוטת מעיים בריאה? לכל אדם יש מיקרוביוטה ייחודית, ואין הגדרה אחת שמתאימה לכולם עבור מהי מערכת אקולוגית של מיקרוביוטה בריאה [4]. אפילו אם איננו יודעים בדיוק כיצד נראית מיקרוביוטה בריאה, לעיתים קרובות אנו יכולים לזהות מיקרוביוטה לא בריאה, לדוגמה, אכילת מזון מקולקל עלולה להכניס פתוגנים למעיים שלנו, מה שמוביל לכאבי בטן ולשלשול. מרביתנו לקחנו **אנטיביוטיקה** בשלב מסוים בחיינו כדי להיפטר מחיידקים שגורמים לנו לחלות. אך אנטיביוטיקות לא יכולות להבחין בין מיקרובים "טובים" ו"רעים". בכל פעם שאנו נוטלים אנטיביוטיקה, אפשר לְדַמּוֹת זאת להדלקת מדורה במעיים שלנו, תוך פגיעה באקולוגיה הפנימית שלנו. ממש כמו יער אחרי שְׂרָפָה, המערכת האקולוגית של המעיים בדרך כלל מתאוששת מטיפול אנטיביוטי. אולם, לעיתים במקום להתאושש, מיקרובים דמויי-עשב יכולים להשתלט, ולגרום למחלה או למנוע את חזרתם של מיקרובים טובים (איור 2).

זיהומי קלוסטריוידים דיפיצילה קטלניים

קְלוֹסְטְרִיֹּיִדִים דִּיפִּיִּצִילָה הוא מיקרוב שידוע בתור **פתוגן תורפה** (אופורטוניסטי). פתוגנים סתגלניים הם מיקרובים שבדרך כלל אינם גורמים לנזק, אך כשהמערכת האקולוגית של המעיים ניזוקה, חיידקים אלה עלולים לפלוש ולגרום לבעיה. לדוגמה, קלוסטריוידים דיפיצילה יכול לעיתים לחיות במעיים של אדם בריא בלי לחולל מחלה – מיקרוביוטת המעיים הֶעֱמִידָה מונעת ממנו לייצר רעלנים ולגרום לזיהום. אך כאשר האקולוגיה של המעיים ניזוקה, כמו אחרי נטילת אנטיביוטיקה, הפתוגן הזה יכול להשתלט ולגרום לשלשול חמור (איור 3A) [5]. לפי דו"ח של המרכז לשליטה במחלות (CDC) מ-2011, קלוסטריוידים דיפיצילה גורם לכ-500,000 זיהומים וגורם למוות של כ-15,000 אנשים בארצות הברית מדי שנה, מה שהופך אותו לאחת המחלות החשובות ביותר ברשימת המניעה של ה-CDC [5]. קלוסטריוידים דיפיצילה נוטה להדביק אנשים מבוגרים יותר עם מערכת חיסונית חלשה, או אנשים שהיו חולים לאחרונה ונטלו אנטיביוטיקה. בכ-70% מהזיהומים שנגרמים

אנטיביוטיקה (Antibiotics)

תרופה שהורגת חיידקים או עוצרת את גדילתם.

קלוסטריוידים דיפיצילה (Clostridioides Difficile)

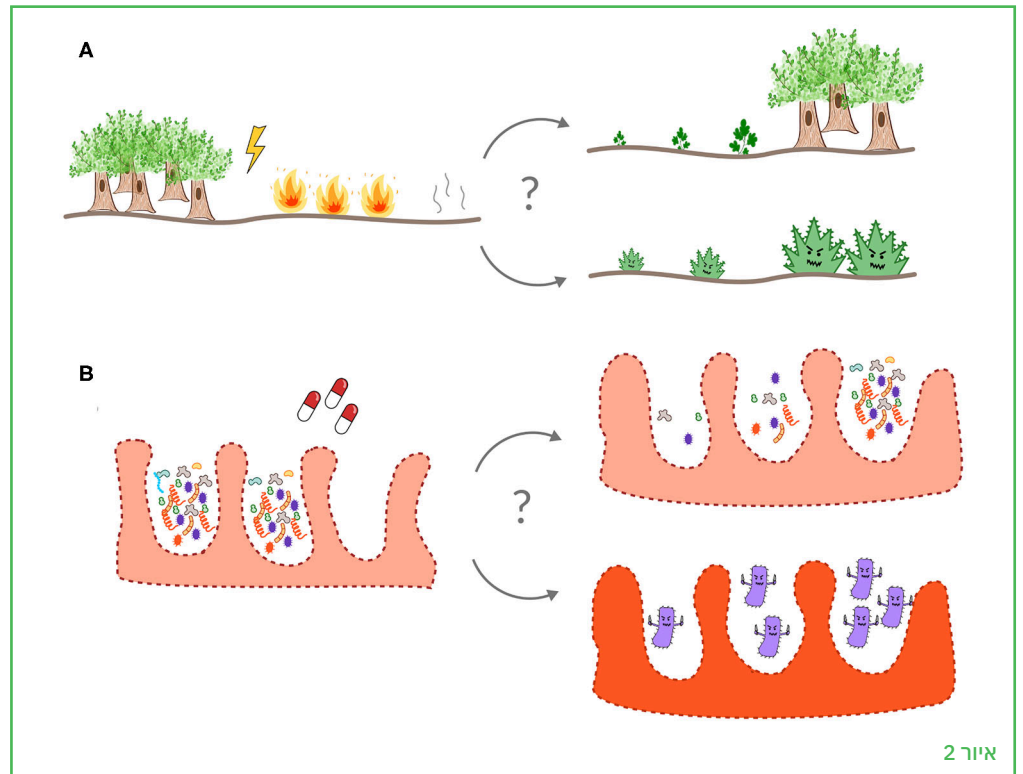
פתוגן חיידקי סתגלני שגורם מדי שנה בארצות הברית לשלשול חמור בקרב כמעט 500,000 אנשים, וליותר מ-10,000 מיתות.

פתוגן תורפה (Opportunistic Pathogen)

מיקרוב שבדרך כלל אינו מזיק, אך יכול לגרום למחלה כאשר מערכת החיסון נחלשת, או כשהאקולוגיה התקינה של המיקרוביוטה נפגמת.

איור 2

המערכת האקולוגית של המעי. המעי הם מערכת אקולוגית, כמו יער או שונית אלמוגים. לעיתים קרובות, מערכת אקולוגית מופרעת, דוגמת יער אחרי שרפה (A) או מיקרוביוטת מעיים אחרי טיפול אנטיביוטי (B), מתאוששת חזרה למצב בריא. אך לעיתים מיני עשבים (או חיידקים כמו קלוסטרידיום דיפיצילה במעי) יכולים לפלוש ולהשתלט על האזור לאחר ההפרעה, מה שמוביל לקריסה של המערכת האקולוגית התקינה.



איור 2

עקב מיקרוב זה ניתן לטפל כהלכה באמצעות האנטיביוטיקה ונקומיץ (איור 3B). אולם, ב-20-35% מהמקרים, הזיהום חוזר אחרי הטיפול באנטיביוטיקה זו [6]. ההדבקות החוזרות בקלוסטרידיום דיפיצילה עמידות מאוד לטיפול נוסף באנטיביוטיקה, מה שמוביל למחזורים בלתי נגמרים של טיפול אנטיביוטי וחזרה של הזיהום, שבסופו של דבר גורמים למוות של מטופלים (איור 3C) [7].

השתלת צואה (FMT - Fecal Microbiota Transplant)

תהליך שבו צואה מתורם בריא מושתלת בתוך המעי של מטופל חולה.

אוטולוגי (Autologous)

שמתקבל מאותו הפרט.

הטרולוגי (Heterologous)

שמתקבל מפרט אחר.

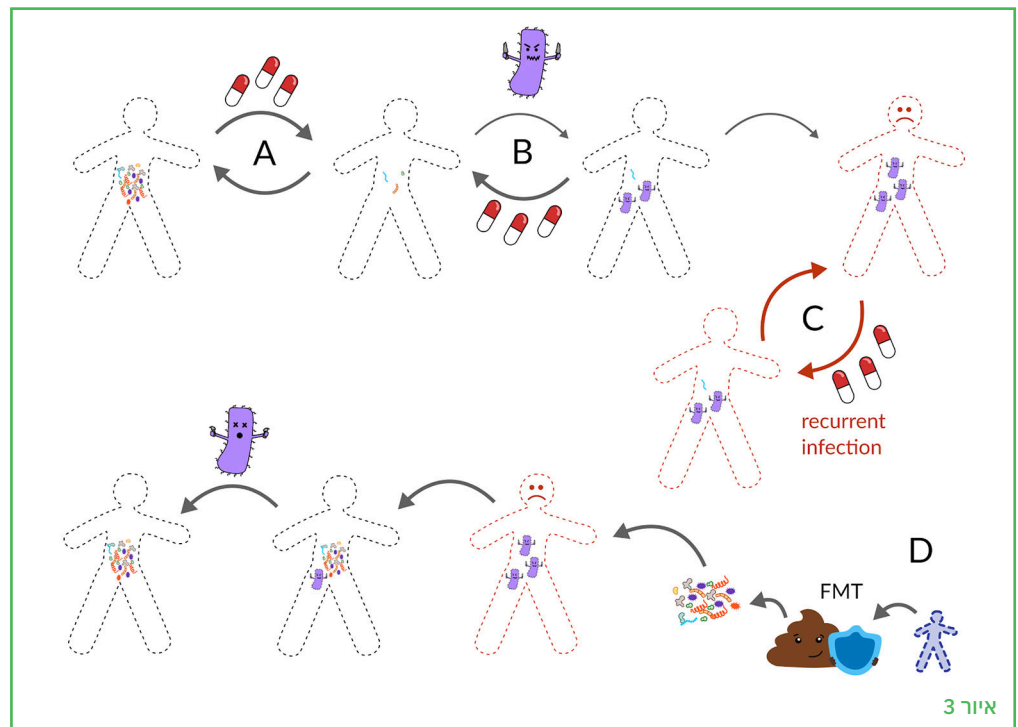
<https://www.openbiome.org/about-fmt>

השתלת צואה

אם נחשוב שוב על דימוי היער שלנו, דמיינו מערכת אקולוגית שנשרפה, הופשטה מהצמחייה המקומית שלה, וכיום היא מכוסה על ידי עשבים. דרך אחת להחזיר את היער למצבו המקורי תהיה לחתוך את כל העשבים ולשתול פלנדרה (צמחיה) ופאונה (בעלי חיים) מחלקה קרובה של יער שלא נשרפה. **השתלות צואה** פועלות באופן דומה. ראשית, מטופל מקבל מנת אנטיביוטיקה במטרה להפחית את שכיחותו של קלוסטרידיום דיפיצילה, ואז הוא מקבל מנה של צואה בריאה מתורם צואה בריא (איור 3D). באופן מסורתי, השתלות צואה בוצעו באמצעות חקן או דרך צינור שהוכנס מהאף, למטה דרך הגרון ואל המעי, אולם כעת מטופלים יכולים לבלוע גולולת שמכילות צואה קפואה או צואה שעברה ייבוש בהקפאה. אומנם המגנונים המדויקים עדיין לא מובנים לגמרי, אך נמצא כי מיקרוביוטה מושתלת ממעי של אדם בריא משתלטה מחדש על המערכת האקולוגית של המעי החולים, ודוחפת החוצה את המיקרוב קלוסטרידיום דיפיצילה. השתלות צואה יכולות להיות **אוטולוגיות** (צואה בריאה מאותו האדם, שנאספה לפני שהוא חלה), או **הטרולוגיות** (צואה בריאה מאדם אחר). השתלות צואה התגלו כיעילות ב-80-90% מהמקרים בפתירת זיהומים חוזרים של קלוסטרידיום דיפיצילה¹, ושימשו לרפא עשרות אלפי מטופלים בארצות

איור 3

טיפול בזיהומים חוזרים בקלוסטרידיום דיפיצילה. (A) בדרך כלל, מיקרוביוטת המעיניים יכולה להתאושש לאחר שימוש באנטיביוטיקה. (B) אולם, לעיתים פתוגן כמו קלוסטרידיום דיפיצילה עלול לפלוש למערכת האקולוגית של מעיים שניזוקה. בדרך כלל, מנה נוספת של אנטיביוטיקה יכולה להחזיר את המעיניים למצב בריא. (C) לעיתים, מיקרוב זה חוזר שוב ושוב אחרי אנטיביוטיקה, ונהפך לזיהום חוזר. קלוסטרידיום דיפיצילה חוזר גורם לאלפי מיתות בשנה בארצות הברית. (D) כנגדו היא השתלת צואה מתורם צואה בריא.



הברית. לכן, השתלת צואה היא אפשרות מצילת חיים עבור אנשים עם קלוסטרידיום דיפיצילה חוזר.

הבטיחות קודמת לכול

השתלות צואה יעילות מאוד, ומנהל המזון והתרופות האמריקאי (FDA) אישר אותן באופן זמני כטיפול בזיהומים קלוסטרידיום דיפיצילה חוזרים. חשוב להיות זהירים במיוחד כאשר בוחרים תורמי צואה בריאה. כיום, חברות שמייצרות חומרי השתלת צואה צריכות לבדוק תורמי צואה ביחס למרבית הפתוגנים האנושיים המוכרים, וביחס לחיידקים עמידים לאנטיביוטיקה. תורמי צואה גם עוברים תהליך סינון מוקדם בהתבסס על אורח חייהם, טיולים שעשו וההיסטוריה הרפואית שלהם. רק הצואה האיכותית ביותר מתקבלת, ותורמים שאושרו יכולים להרוויח עד ל-40 דולר עבור תרומת צואה². מרבית האנשים הבריאים נושאים פתוגנים סתגלנים במעיניים שלהם, שאינם מזיקים כשהמערכת האקולוגית של המעיניים בריאה, אך עלולים לגרום לבעיות אם הם מושתלים באדם חולה.

כמה אירועים שהתרחשו הראו עד כמה חשוב תהליך סינון התורמים. במהלך השנים האחרונות, שמונה מטופלים פיתחו זיהומים מפתוגנים שהועברו אליהם דרך השתלת צואה, ושלושה מהם נפטרו עקב כך³. חלק מהמטופלים האלה היו צריכים לעבור השתלת מח עצם, ומערכות החיסון שלהם היו חלשות מאוד, מה שהפך אותם רגישים במיוחד לפתוגנים סתגלנים. במקרה אחד, תורמי הצואה לא עברו סינון על פי הרגולציות העדכניות ביותר [8]. במקרה אחר, בוצע סינון ראוי, אך הוא לא הספיק כדי לאתר פתוגנים מסוימים שגרמו לבעיות אצל שישה מטופלים, מה שהוביל לעדכון של קריטריון הסינון⁴. אם כן, חיוני שחומרי השתלת צואה יוכנו במעבדה שנמצאת תחת פיקוח של מנהל המזון והתרופות

<https://openbiome.org/?s=STOOL+DONATION>

<http://www.fda.gov/news-events/fda-brief/fda-brief-fda-warns-about-potential-risk-serious-infections-caused-multi-drug-resistant-organisms>

<https://openbiome.org/feature/openbiome-announces-enhanced-donor-screening-protocols-following-fda-alert/>

האמריקאי, תוך ביצוע תהליכים מוקפדים. הסינון צריך להיות מעודכן באופן שוטף בתגובה לפתוגנים חדשים כמו סארס-קוב-2, המחולל את מחלת הקורונה, ותהליכי השתלת צואה צריכים להיות מבוצעים תמיד על ידי רופאים מוסמכים. לעולם אין לבצע השתלות צואה בבית! יתרה מזו, סיכונים ארוכי-טווח מהשתלות צואה אינם ידועים עדיין במלואם, מאחר שהתהליכים האלה לא היו בשימוש במשך זמן רב. חרף הסכנות הפוטנציאליות של השתלת צואה, חומרים של תורמים שסוננו כראוי מהווים כיום את הטיפול היעיל ביותר כנגד זיהומי קלוסטרידיום דיפיצילה, עם מעט מאוד השפעות שליליות לאחר עשרות אלפי טיפולים ברחבי ארצות הברית.

השתלת צואה: האפשרות המיטבית כיום לטיפול בקלוסטרידיום דיפיצילה חוזר

חרף ההצלחה של השתלות צואה, טיפול זה נותר שנוי במחלוקת. צואה משתנה מאוד בין תורמים, ולא ניתן להסדיר אותה תחת סטנדרטים מוקפדים של רגולציה כמו שמנהל המזון והתרופות האמריקאי מחיל על תרופות אחרות. כדי לפתור את הבעיה הזו, חברות ביוטכנולוגיה רבות נמצאות במרוץ להרכבת חברות מיקרוביות מלאכותיות שיוכלו להיות מיוצרות תחת תנאים מוקפדים, ואשר מחקות את ההשפעות של צואה אנושית טבעית בטיפול בזיהומי קלוסטרידיום דיפיצילה חוזרים. עד כה, אף אחת מחלופות השתלות הצואה הסינתטיות האלה לא הוכחה כיעילה יותר מהשתלת צואה. הקושי העיקרי בפיתוח חלופות להשתלת צואה הוא חוסר בהבנה מפורטת שלנו לגבי האופן שבו השתלות צואה פועלות בדיוק. בעוד שישנה תקווה שטיפול פשוט יותר יהיה זמין בקרוב, בינתיים, השתלות צואה הן עדיין האפשרות הטובה ביותר לטיפול בפגיעות של זיהומי קלוסטרידיום דיפיצילה חוזרים.

תודות

CD-1 SP, SMG ו-NTM נתמכו על ידי פרס מטעם קרן וושינגטון למחקר ייחודי, ועל ידי קרנות סטרט אפ מהמכון לביולוגיה של מערכות. BH ו-SS היו חלק מתוכנית שגרירי STEAM לעולם בריא יותר, שנוסדה על ידי תרומות מטעם, Douglas Howe, Dee Dickinson, ו-Dean Witter, ונתמכה על ידי המכון לביולוגיה של מערכות.

מקורות

1. Goffau, M. C. de, Lager, S., Sovio, U., Gaccioli, F., Cook, E., Peacock, S. J., et al. 2019. Human placenta has no microbiome but can contain potential pathogens. *Nature* 572:329–34. doi: 10.1038/s41586-019-1451-5
2. Rodríguez, J. M., Murphy, K., Stanton, C., Ross, R. P., Kober, O. I., Juge, N., et al. 2015. The composition of the gut microbiota throughout life, with an emphasis on early life. *Microb. Ecol. Health Dis.* 26:26050. doi: 10.3402/mehd.v26.26050
3. Johnson, K. V. A., and Foster, K. R. 2018. Why does the microbiome affect behaviour? *Nat. Rev. Microbiol.* 16:647–55. doi: 10.1038/s41579-018-0014-3
4. McBurney, M. I., Davis, C., Fraser, C. M., Schneeman, B. O., Huttenhower, C., Verbeke, K., et al. Establishing what constitutes a healthy human gut microbiome: state of

- the science, regulatory considerations, and future directions. *J. Nutr.* 149:1882–95. doi: 10.1093/jn/nxz154
5. CDC. 2016. *CDC Press Releases*. Available online at: <https://www.cdc.gov/media/releases/2015/p0225-clostridium-difficile.html> (accessed October 31, 2019).
 6. Hopkins, R. J., and Wilson, R. B. 2018. Treatment of recurrent *Clostridium difficile colitis*: a narrative review. *Gastroenterol. Rep.* 6:21–8. doi: 10.1093/gastro/gox041
 7. Ofosu, A. 2016. *Clostridium difficile infection*: a review of current and emerging therapies. *Ann. Gastroenterol. Q. Publ. Hell. Soc. Gastroenterol.* 29:147–54. doi: 10.20524/aog.2016.0006
 8. DeFilipp, Z., Bloom, P. P., Torres Soto, M., Mansour, M. K., Sater, M. R. A., Huntley, M. H., et al. 2019. Drug-resistant *E. coli* bacteremia transmitted by fecal microbiota transplant. *N. Engl. J. Med.* 381:2043–50. doi: 10.1056/NEJMoa1910437

פורסם אונליין: 24 באפריל 2023

עורך: Bahtiyar Yilmaz

מנחות מדעיות: Unini Odama and Madhuri S Salker

ציטוט: Patwardhan S, Diener C, Swegle S, Howsmon B and Gibbons SM (2023) מהן השתלות צואה וכיצד הן פועלות? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.571389-he

תורגם והתאם מ: Patwardhan S, Diener C, Swegle S, Howsmon B and Gibbons SM (2021) What Are Poop Transplants and How Do They Work? *Front. Young Minds* 9:571389. doi: 10.3389/frym.2021.571389

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

COPYRIGHT © 2021 © Patwardhan, Diener, Swegle, Howsmon and Gibbons 2023. 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 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

JADA, גיל: 14

היי! קוראים לי ג'דה ואני מאטלנטה, ג'ורג'יה. בזמני הפנוי, אני אוהבת לצייר ולרשום, להקשיב למוזיקה, לכתוב סיפורים קצרים ולצפות בסרטים. אני משחקת לקרוס ושחיתי במשך חמש שנים. כשאגדל, ארצה להיות מנתחת פלסטית מאחר שאני מבקשת שכל מטופלי יהיו גאים בגופם, במקום להיות חסרי ביטחון לגבי. עזרה לאחרים היא אחת המוטיבציות שלי בחיים!



**JOSHUA, גיל: 14**

אני עולה לכיתה ט' וגר באטלנטה, ג'ורג'יה. במהלך השנה האקדמית אני משתתף במגוון תוכניות לרבות הקבוצה האקדמית וקבוצת לקרוס. כשאיני לומד או נמצא בבית הספר, אני אוהב לקרוא ספרים ולשחק לקרוס. אני שמח להיות חלק מהתוכנית הזו מאחר שאני נהנה ממדע, ושמח שהמשוב שלי משמעותי בסיוע לאנשים לפרסם את מאמריהם.

**REEYA, גיל: 15**

קוראים לי רֵיָה ובקרוב אהיה תלמידה ברמת A-level, שיש לה תשוקה לביולוגיה. בזמני הפנוי, אני אוהבת לקרוא נובלות פשע, והספר האהוב עליי במיוחד הוא "Along Came a Spider" של ג'יימס פטרסון. יתרה מזו, אני אוהבת לצפות בהרצאות טֵד ולהקשיב לפודקאסטים, כמו למשל לפודקאסט Law in Action של הבי.בי.סי. אני אוהבת מאוד לטייל, במיוחד למדינות באירופה. בעתיד, אני שואפת ללמוד משפטים או כלכלה, מאחר שיש לי עניין במדעי החברה.

הכותבים**SUSHMITA PATWARDHAN**

סוֹשְׁמִיטָה היא פוסט-דוקטורנטית לשעבר במכון לביולוגיה של מערכות. כיום, היא כתבת רפואית ב-PRECISIONscientia, סוכנות לתקשורת רפואית. היא נהנית מכתובה מדעית ומתקשורת מדע.

**CHRISTIAN DIENER**

כריסטיאן הוא מדען חוקר במכון לביולוגיה של מערכות (ISB) בסיאטל, וושינגטון. הוא חוקר כיצד מיקרוביוטה של מעיים מספקת לנו חומרי מזון ומולקולות אחרות, וכיצד היא יכולה להגן עלינו מפני מחלות.

**STEPHANIE SWEGLE**

סטפני השלימה זה עתה את לימודיה בבית הספר התיכון סיאטל פֶּרֶפ, ובכוונתה להירשם לאוניברסיטת נוטרדאם באוגוסט. היא מתמחה באגף ניסיון בלימוד מערכות (SEE) במכון לביולוגיה של מערכות (ISB) בסיאטל, וושינגטון. יש לה תשוקה למצוא דרכים יצירתיות וחדשניות לפתרון בעיות סביבתיות ובריאותיות, והיא רוצה להיות מהנדסת ביולוגיה.

**BECKY HOWSMON**

בֶּקִי היא מנהלת פרויקט בתוכנית ניסיון בלימוד מערכות (SEE) במכון לביולוגיה של מערכות (ISB) בסיאטל, וושינגטון. היא מפתחת תכנים לבית ספר תיכון, שמתמקדים במערכות רפואיות. יש לה תשוקה ליצירת הזדמנויות שמאפשרות לכל התלמידים לחקור את תחומי העניין שלהם ולממש את הפוטנציאל שלהם.



**SEAN M. GIBBONS**

סין הוא פרופסור במכון לביולוגיה של מערכות (ISB) בסיאטל, וושינגטון. המעבדה שלו חוקרת את האקולוגיה של חברות מיקרוביאליות, ואת האבולוציה שלהן. בפרט, הוא מתעניין באופן שבו מיקרוביוטה של מעיים משפיעה על בריאות האדם ועל מחלות. *sgibbons@isbscience.org

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