

## המורכבות בטיפול בזיהומים פטרייתיים

Katrin Haupt<sup>1</sup>, Lysett Wagner<sup>1,2</sup>, Antje Häder<sup>3</sup>, Slavena Vylkova<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>מרכז למחקר זיהומים פטרייתיים, מכון לייבניץ לחקר מוצרים טבעיים וביולוגיה של זיהומים – מכון הנס קנול, אוניברסיטת פרידרריך שילר, ינה, גרמניה  
<sup>2</sup>המרכז לשליטה ולטיפול באֶלֶח דם, בית החולים של אוניברסיטת ינה, ינה, גרמניה  
<sup>3</sup>זיהומים פטרייתיים, מכון לייבניץ לחקר מוצרים טבעיים וביולוגיה של זיהומים – מכון הנס קנול, אוניברסיטת פרידרריך שילר, ינה, גרמניה

### סוקרים צעירים

CHINMAYA  
גיל: 14



SHARVARI  
גיל: 15



SOPHIA  
גיל: 11



כשאנו חושבים על מיקרובים שיכולים לגרום לנו לחלות, בדרך כלל חיידיקים עולים ראשונים בראשנו. אנו נוטים לשכוח מסוג מיקרוביאלי עיקרי אחר שעלול גם הוא לגרום למחלות חמורות: הפטריות. שמרים ועובש מהווים את מרביתן של הפטריות המיקרוסקופיות, ושני הסוגים יכולים לחולל מגוון זיהומים בבני אדם, מפריחות עדינות בעור ועד לזיהומים קטלניים בדם. פטריות אלה עשויות לגרום לנו נזק בכמה דרכים, כמו שימוש בחומרי המזון של הגוף, התחמקות מהפיקוח של מערכת החיסון, או השתלטות על התאים שלנו והריסתם. ברמה התאית, יש לנו הרבה במשותף עם פטריות. המאפיינים המשותפים בין תאים אנושיים ותאי פטרייה מקשים מאוד על פיתוח אנטיביוטיקה וחיסונים לטיפול בזיהומים פטרייתיים. במאמר הזה, נתאר חלק מהזיהומים הפטרייתיים ונסביר על האפשרויות הקיימות לטיפול בהם.

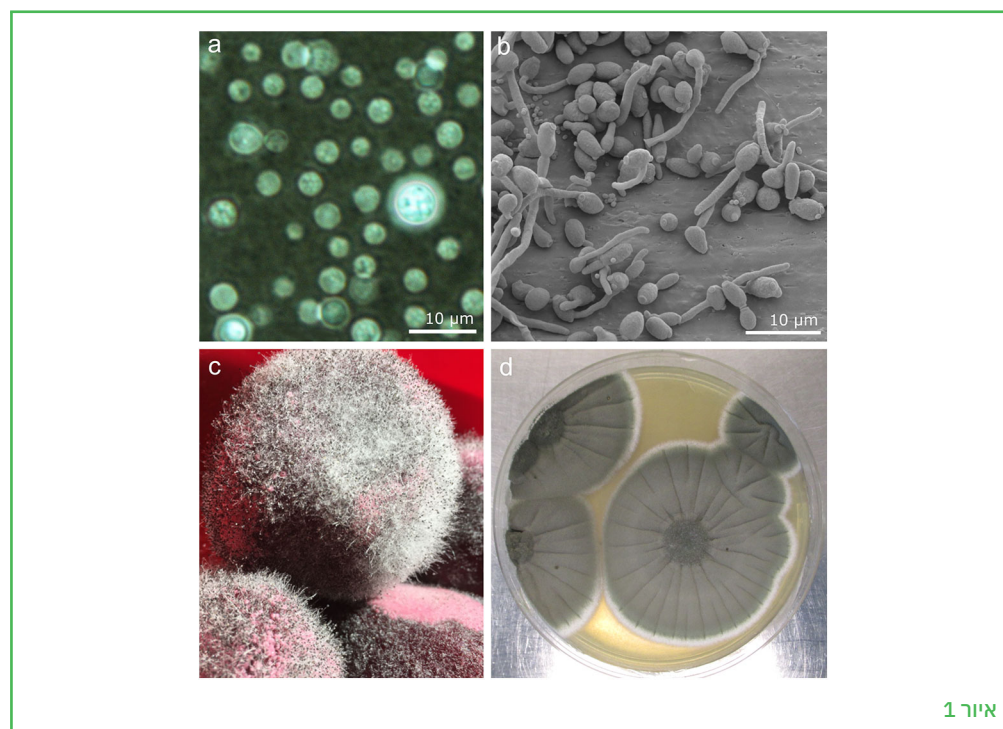
### פטריות בקרבנו: חברות ואיבות

בעץ החיים, פטריות מסווגות בתור ממלכה משל עצמן. הן שונות מחיידקים, מצמחים, או מחיות. משמעות המילה "Fungus" בלטינית היא פטריית מאכל. זו הסיבה לכך שאנו נוטים

לחשוב רק על פטריות המאכל כפטריות שנמצאות בקרבנו. אך ממלכת הפטריות מגוונת מאוד, וישנן אלפי פטריות שניתן למצוא רק כשאנו צוללים אל תוך העולם המיקרובי, שם אורגניזמים הם זעירים כל כך שאנו יכולים לראותם רק באמצעות מיקרוסקופ. פטריות מיקרוסקופיות מופיעות בצורות ובגוונים שונים (איור 1), וניתן למצוא אותן בכל מקום בטבע, כמו באדמה, או בצמוד ליצורים חיים. הן מבצעות כמה תפקידים חשובים בחיינו, למשל פירוק חומר אורגני במכלל הקומפוסט או הספקת חומרי מזון לצמחים. במשך אלפי שנים, השתמשנו בפטריות כדי לייצר מזונות ומשקאות כמו לחם, גבינה, רוטב סויה ובירה. פטריות גם משמשות ליצירת האנטיביוטיקה פניצילין, אשר הורגת חיידקים, ולייצור של חומצה ציטרית, שהיא מה שנותן למיצים ולסודה את טעמם החמוץ.

**איור 1**

תמונות של פטריות הגורמות לזיהומים בבני אדם. (a) תמונות מיקרוסקופיות של קריפטוקוקוס גאופורמנס שצבעות בדיו. (b) תפטר של הפטריה קנדידה אלביקנס כפי שצולמה דרך מיקרוסקופ אלקטרוני סורק. (c) מין ריזופוס שגדל על סלק מבושל. (d) אספריגילוס פומיגטוס שמבודדת מהאדמה, כפי שנראית בעין כשהיא גדלה במעבדה.



**איור 1**

**מיקרוביוטה (Microbiota)**

כל אותם מיליוני המיקרואורגניזמים הבלתי מזיקים שמאכלסים את הגוף האנושי.

חלק מהפטריות אפילו חיות בגופנו. עם יותר מ-10,000 מיני מיקרובים אחרים שנמצאים במעיים שלנו ועל עורנו, פטריות מרכיבות את המיקרוביוטה שלנו. המיקרוביוטה מורכבת ממיליוני מיקרואורגניזמים בלתי מזיקים שמאכלסים את הגוף האנושי. בדרך כלל, אנו חיים יחד בשמחה. אנו יכולים לבוא במגע עם פטריות אחרות מהסביבה על ידי נשימתן פנימה, לדוגמה, אך כמעט אף פעם איננו שמים לב אליהן, מאחר שהליחה שמכסה את נתיבי האוויר שלנו בדרך כלל מפנה אותן החוצה. אולם, לעיתים זה לא כך: שני סוגי הפטריות – אלה שחיות בהרמוניה בתוכנו, והסוגים שבסביבה – יכולים לגרום לזיהומים.

באופן מעניין, רק כמה מאות מיני פטריות מכמעט חמישה מיליון המינים שמאכלסים את כדור הארץ יכולים לגרום לזיהומים בבני אדם [1]. בניגוד לכך, כ-50,000 מיני פטריות מזהמים חרקים. מדוע המספר כל כך נמוך אצל בני אדם? ראשית, טמפרטורת הגוף הגבוהה יחסית והיציבה של בני אדם, כ-37 מעלות צלזיוס, מרחיקה את הפטריות. מרבית הפטריות מעדיפות טמפרטורות נמוכות בהרבה [2]. נוסף על כך מרבית הפטריות

מנוטרלות על ידי מערכת החיסון האנושית, שעושה עבודה טובה מאוד בחיסול פטריות כשהן מדביקות אנשים בריאים.

פטריות עשויות לגרום לטווח של זיהומים בבני אדם, מזיהומים שלא שמים לב אליהם ועד לזיהומים קטלניים. לדוגמה, אנו בקושי שמים לב לפטרייה שעשויה לגרום לקשקשים. המצב הזה מעצבן ומביך, אך לעיתים רחוקות גורם לנו לנזק. פטריות אחרות יכולות לגרום לזיהומים מסכני חיים ש"מכבים" את כל הגוף. באופן טיפוסי, אנשים עם מערכת חיסון לקויה או שחלה בה הפרעה, כמו חולים שעוברים טיפולים כנגד סרטן; מושטלי איברים; או אנשים זקנים, סובלים הכי הרבה. זיהומים כאלה קשים מאוד לטיפול.

## אילו פטריות הכי מסוכנות וכיצד הן גורמות לנו לחלות?

### קרִיפְטוֹקוֹקוּס

הכוונה למינים שונים של קריפטוקוקוס, ובמיוחד קריפטוקוקוס גאופורמנס. באופן נורמלי, הפטרייה הזו חיה על צמחים או בחיות ברחבי העולם. ליונים, לדוגמה, יש הרבה קריפטוקוקוס גאופורמנס בצואתן, ואף על פי שהדבר לא מפריע להן, הוא עלול להפריע לנו. האבק מצואת היונים מתפשט באוויר שאנו נושמים. בקרב אנשים בריאים, אם קריפטוקוקוס נכנסת לריאות היא מנוטרלת על ידי מערכת החיסון, אך אצל אנשים עם לקויות במערכת החיסון היא עלולה לשרוד, לגדול ולהגיע לחלקים אחרים בגוף, למשל למוח. במקרים חמורים פטרייה זו עלולה לגרום למוות [3].

### קנְדִידָה

מיני קנדידה, ובמיוחד קנדידה אלביקנס, הם הפטריות השכיחות ביותר שגורמות למחלות בבני אדם. באופן נורמלי קנדידה אלביקנס היא חלק מהמיקרוביוטה שלנו, אך אם ניתנת לה ההזדמנות, היא עשויה לפנות כנגדנו. קנדידה אלביקנס יכולה לגרום לזיהומים על העור או בפה, ואפילו להיכנס למחזור הדם ולגרום לזיהום מסכן חיים, שנקרא אֶלְחָדֵם. תאי קנדידה יכולים להיות מותמרים מצורה עגולה לצורה של חוט מוארך שנקרא תֶּפְטִיר. התפטיר עשוי לגדול בקלות לעומק הרקמה, או ליצור מבנים מורכבים שיכולים להתנגד להתקפה של מערכת החיסון, או לטיפול תרופתי. מדענים עורכים מחקרים רבים במטרה להבין מה מאפשר לקנדידה לעבור מצורה אחת לאחרת, מאחר שהתרחשות השינוי יכולה לשמש כיעד פוטנציאלי לתרופות חדשות [3].

### עובש

פטריות עובש בדרך כלל חיות באדמה ועל חומר מת שנרקב. הן מייצרות תפטיר עם אלפי נְבָגִים זעירים מעליו. הנבגים האלה מתפקדים בתור זרעים, והם יכולים לשמש גם לרבייה או לשרוד בתנאים קשים. הנבגים מתפשטים בקלות באוויר ונכנסים לריאותינו כשאנו נושמים. כפי שצוין, הדבר בעייתי לרוב רק עבור אנשים עם מערכת חיסון חלשה. העובשים העיקריים שגורמים למחלה הם מיני האֶסְפֶּרְגִילוּס, ובמיוחד אֶסְפֶּרְגִילוּס פּוֹמִינְטוּס, ומיני ה-Mucorales שנקראים רִיזִפּוּס, Lichtheimia ומוקור. בריאותיהם של אנשים פגיעים, נבגי אֶסְפֶּרְגִילוּס פּוֹמִינְטוּס יכולים לגדול לכדי פטריות בוגרות, להיכנס אל מחזור הדם, להתפשט ברחבי הגוף ולגרום לזיהום חמור, ולעיתים קטלני, שנקרא אֶסְפֶּרְגִילוּסִיס חוּדְרָנִי. מיני Mucorales גורמים לתהליך דומה של זיהום: ברגע שהם בגוף, הם יכולים לפרוץ את מחסומי מערכת החיסון,

### אלח דם (Sepsis)

סוג הזיהום החמור ביותר, שיכול להוביל לכשל של איבר, ולעיתים קרובות אף למוות.

### תפטיר (Mycelium)

תאי פטריות בצורת חוט.

### נבגים (Spores)

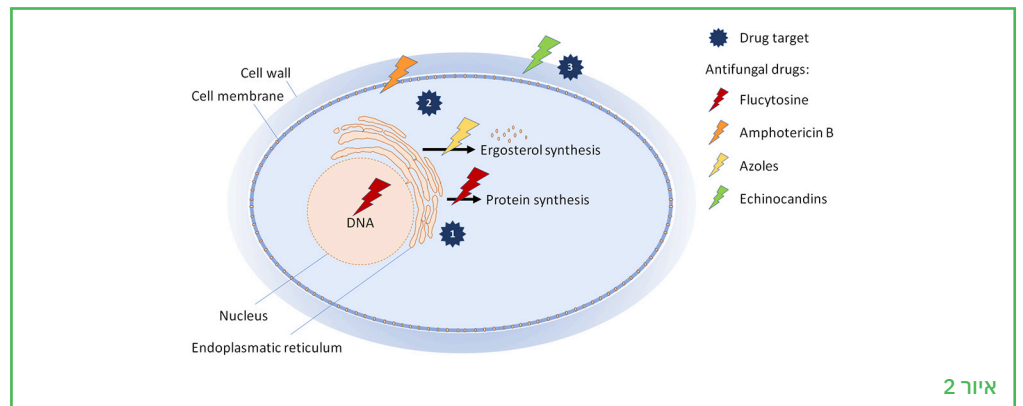
יחידות רבייה מעוגלות של פטרייה, בדומה לזרעים, שיכולות לגדול לכדי תפטיר בוגר.

להתפשט ולהיהפך קטלניים. Mucorales הן פטריות שגדלות מהר ועמידות לתרופות רבות, לכן אבחון וטיפול מידיים הם הכרחיים [3, 4].

### כיצד תרופות אנטי-פטרייתיות נלחמות בפטריות?

ברמה התאית, יש לנו הרבה במשותף עם פטריות. אם כן, סביר שחומרים שמכונים כנגד פטריות יוכלו לפגוע גם בנו. לכן, קשה לפתח תרופות שהורגות פטריות בלבד. כל תרופה אנטי-פטרייתית פוטנציאלית צריכה לעבור בדיקות רעילות בתאים אנושיים ובדיקות קפדניות אחרות כדי לוודא שהיא בטוחה לשימוש אנושי.

עד כה, רק שלושה אזורים פגיעים ספציפיים לפטריות מהווים מטרה לתרופות (איור 2). ראשית, ממברנת התא. ממברנת התא של פטריות מכילה שומן מסוים שנקרא **אֶרְגוֹסְטֶרוֹל**, שמויצר רק על ידי תאי פטרייה. ללא ארגוסטרול, הפטריות לא יכולות לשרוד. שתי תרופות אנטי-פטרייתיות מכוונות לטיפול מוצלח במולקולה הזו: **אֶמְפּוֹטֶרִיצִין B** מאתרת את מולקולת הארגוסטרול עצמה, בעוד שתרופות שנקראות **אֶזוֹל** מפריעות לייצור המולקולה. **אֶמְפּוֹטֶרִיצִין B** משמשת רק בתור תרופת מוצא אחרון, מאחר שהיא עשויה להיות רעילה לתאים אנושיים.



איור 2

דרך אחרת לחסל פטריות היא באמצעות חומר שנקרא פֶּלּוֹצִיטוֹזִין, אשר תוקף תהליכים חיוניים להישרדות של פטריות, למשל ייצור דנ"א או בניית חלבונים. אך התרופה הזו גם עלולה לפגוע בתאים אנושיים, ויש לה תופעות לוואי חמורות רבות. לפיכך, היא משמשת בעיקר בשילוב עם **אֶמְפּוֹטֶרִיצִין B**, ורק במקרים חמורים ביותר.

היעד השלישי של תרופות הוא דופן תא הפטרייה. בניגוד לתאי אדם, תאי פטרייה מוקפים על ידי דופן עבה שמורכבת מחומר שנקרא **כִּיטִין**, כמו גם מסוכרים ומחלבונים. מחלקת תרופות שנקראות **אֶכִּינוֹקֶנְדִין** מתערבת בבניית מולקולת סוכר שנקראת **גִּלּוֹקָן** – לִבְנָה הכרחית בדופן התא. **אֶכִּינוֹקֶנְדִין** בטוחות מאוד לשימוש עבור בני אדם, אך הן פועלות רק כשהן מוזרקות אל תוך מחזור הדם, דבר ההופך אותן לפחות נגישות.

היות שישנם רק שלושה סוגי תרופות, שלכל אחד מהם חסרונות, רופאים ניצבים בפני בעיה כשהם צריכים לבחור את הטיפול היעיל והבטוח ביותר בזיהום פטרייתי. לכן, ישנו צורך דחוף במציאת מטרות ואסטרטגיות טיפול חדשות עבור הזיהומים האלה [5].

#### ארגוסטרול (Ergosterol)

סוג של שומן שנמצא בדופן התא של תאי פטריות. ארגוסטרול מבצע תפקודים זהים לכולסטרול בתאי בני אדם.

#### איור 2

כיצד תרופות אנטי-פטרייתיות שכיחות פועלות. כיום, תרופות אנטי-פטרייתיות מכוונות כנגד שלוש מטרות שונות בתא הפטרייה: (1) התרופה פֶּלּוֹצִיטוֹזִין מפריעה לייצור הדנ"א והחלבונים בתא הפטרייה; (2) **אֶמְפּוֹטֶרִיצִין B** וֶאֱזוֹל תוקפות את ממברנת התא על ידי התערבות בשומן שנקרא **אֶרְגוֹסְטֶרוֹל**; ו-(3) **אֶכִּינוֹקֶנְדִין** חוסמות את בניית מולקולת הסוכר **גִּלּוֹקָן**, שהיא לִבְנָה הכרחית בדופן תא הפטרייה.

#### כִּיטִין (Chitin)

סוכר שמהווה חלק עיקרי בדופן תא הפטרייה. כִּיטִין גם יוצר את השלד החיצוני של חרקים ושל פרוקי רגליים אחרים.

#### גִּלּוֹקָן (Glucan)

מולקולת סוכר מורכבת שמרכיבה את דופן תא הפטרייה, שכבה מבנית שמקיפה את התא ומספקת תמיכה והגנה.

## אופק חדש לטיפולים אנטי-פטרייתיים

דרך אחת להילחם כנגד פטריות עמידות לתרופות היא לשלב כמה תרופות. באופן הזה, הטיפול יכול להיות עוצמתי הרבה יותר. שיטה זו כבר הוכיחה את עצמה בלחימה במחלות קטלניות אחרות. שילוב בין שתי תרופות אנטי-פטרייתיות גם הוכח כמוצלח עבור זיהומי קריפטוקוקוס [5]. ניסיונות אחרים מכוונים לדיכוי התכונות המזהמות של הפטריות האלה.

מה אם היה באפשרותנו למנוע מבני אדם להידבק בזיהומים פטרייתיים מלכתחילה? אילו יכולנו להגן על עצמנו על ידי שמירה על מערכת החיסון שלנו בריאות, או על ידי התחסנות. אך בעוד שישנם כמה חיסונים כנגד וירוסים וחידקים, אין חיסון שיכול להגן עלינו מפני מחלות פטרייתיות. בימים אלה נערכים ניסיונות רבים לפתח חיסונים כנגד זיהומים פטרייתיים.

## סיכום

אף על פי שטמפרטורת גופנו ומערכת החיסון החזקה שלנו מרחיקות מאיתנו זיהומים, פטריות עדיין יכולות לגרום לנו לנזק (איור 3). מטופלים עם מערכת חיסון חלשות רגישים במיוחד לזיהומים פטרייתיים חודרניים. מספר המטופלים שנמצאים בסיכון עולה באופן קבוע. בד בבד טיפול בזיהומים האלה הוא מורכב בשל מספר התרופות המוגבל והעלייה בעמידות לתרופות בקרב מיני פטריות. פטריות מסוכנות לא רק לבני אדם: צמחים, חרקים וחיות עם דם קר כמו דגים ודו-חיים נדבקים גם הם. לדוגמה, הפטרייה *כיטרידיומיקוקסיס* (*Batrachochytrium dendrobatidis*) כבר גרמה להיכחדותם של יותר מ-100 מיני צפרדעים ברחבי בעולם [1]. לכן, חוקרים צריכים להמשיך במאמציהם במטרה לגלות עוד על האופן שבו פטריות גורמות לזיהומים, וכיצד להתמודד עמן במקרים שבהם הם עשויים להיות מסוכנים.

### איור 3

מערכת החיסון נלחמת בפולשים פטרייתיים. פטריות (FunGal) חיות בסביבת או בצמוד לגוף האדם, אך לעיתים יכולות לפלוש לבני אדם ולגרום לזיהומים. מערכת חיסון אנושית (Immuna) חזקה, תוקפת את הפטריות ומביסה אותן. אך אצל חלק מהאנשים מערכת החיסון מוחלשת. לכן פטריות יכולות לגרום להם לזיהום, ונדרשות בדחיפות תרופות אנטי-פטרייתיות.



איור 3

## תודות

אנו מודות לעמיתות שלנו, Grit Walter ממרכז היעץ הלאומי לזיהומים פטרייתיים חודרניים, ול- Amelia Barber ממכון לייבניץ לחקר מוצרים טבעיים וביולוגיה של זיהומים – מכון הנס קנול, על שסיפקו לנו תמונות של קריפטוקוקוס גאופורמנס ו- אקספריגילוס פומינגטוס, בהתאמה. תודה מיוחדת לסוקר Boris B. Tsenov על הערותיו מאירות העיניים ועל הסיוע בעיצוב האיור. עבודה זו נתמכה על ידי המשרד הפדרלי לחינוך ומחקר (BMBF) 03Z22JN11 and 01E01502 עבור SV.

## מקורות

1. Köhler, J. R., Hube, B., Puccia, R., Casadevall, A., and Perfect, J. R. 2017. Fungi that infect humans. *Microbiol. Spectr.* 5:FUNK-0014-2016. doi: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0014-2016
2. Robert, V. A., and Casadevall, A. 2009. Vertebrate endothermy restricts most fungi as potential pathogens. *J. Infect. Dis.* 200:1623–6. doi: 10.1086/644642
3. Brown, G. D., Denning, D. W., Gow, N. A., Levitz, S. M., Netea, M. G., and White, T. C. 2012. Hidden killers: human fungal infections. *Sci. Transl. Med.* 4:165rv13. doi: 10.1126/scitranslmed.3004404
4. Prakash, H., and Chakrabarti, A. 2019. Global epidemiology of mucormycosis. *J. Fungi (Basel)*. 5:26: doi: 10.3390/jof5010026
5. Robbins, N., Wright, G. D., and Cowen, L. E. 2016. Antifungal drugs: the current armamentarium and development of new agents. *Microbiol. Spectr.* 4:FUNK-0002-2016. doi: 10.1128/microbiolspec.FUNK-0002-2016

פורסם אונליין: 30 במרץ 2023

עורך: Michel Goldman

מנחים מדעיים: Ricardo Alberca and Athavan Alias Anand S

ציטוט: Haupt K, Wagner L, Häder A and Vylkova S (2023) המורכבות בטיפול בזיהומים פטרייתיים. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.557533-he

Haupt K, Wagner L, Häder A and Vylkova S (2020) The Fungus Among Us: Why the Treatment of Fungal Infections Is So Problematic. *Front. Young Minds* 8:557533. doi: 10.3389/frym.2020.557533

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

Haupt, Wagner, Häder and Vylkova 2023 © 2020 © COPYRIGHT 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 למחבר(ים) 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

### CHINMAYA, גיל: 14

קוראים לי צ'ינמיה. אני בכיתה ט, אוהב מתמטיקה ומתעניין במיוחד במדע ובשפת הסנסקריט. אני קורא נלהב. התחביבים שלי הם נגינה בכינור וכתובת שירים.



### SHARVARI, גיל: 15

קוראים לי שרברי. אני מתעניינת מאוד בתיאטרון ושיחקתי בכמה מחזות, אך מוצאת שגם מדע הוא מעניין ומרתק. בזמני הפנוי, אני אוהבת לקרוא ולצייר וגם להיות בטבע, לכן אני חובבת מדע. בזמני הפנוי אני אוהבת לטפס ולטייל.



### SOPHIA, גיל: 11

קוראים לי סופיה, אני בת 11, מברזיל. אני אוהבת לשחק עם חברים ולצפות בסרטונים באינטרנט.



## הכותבות

### KATRIN HAUPT

לקתרין יש דוקטורט בביולוגיה. היא מתאמת מדעית ב-ZIK Septomics – מכון מחקר באוניברסיטת פרידריך שילר בֶּיֶנְה, גרמניה. מטרתה לתמוך במדענים בהיבטים אדמיניסטרטיביים של פרויקטי המחקר שלהם. היא מרוחקת מביולוגיה של זיהומים, ומהאינטרקציה בין פתוגנים לבני אדם. בזמנה הפנוי, קתרין אוהבת לצפות בסרטים, לרכוב על אופניים ולבלות בחוץ בטבע.



### LYSETT WAGNER

ליזט היא מיקרוביולוגית שאוהבת פטריות ואוהבת לארגן דברים בסדר הנכון. זו הסיבה לכך שהיא מסווגת מיקרואורגניזמים באופן מדעי. כמו כן היא סקרנית מאוד לגבי מיקרובים שגורמים לזיהומים. כיום, היא חוקרת ביופילמים (קבוצת תאים דבוקים אלה לאלה) שנבנים על ידי פטריות וחיידקים, שיכולים לגרום לאלח דם בקרב מטופלים. אפילו בזמנה הפנוי, כאשר היא מבשלת או עוסקת בגינון, היא חושבת הרבה על מיקרואורגניזמים ועל מה שלומם, למשל על השמרים בבצק או על האורגניזמים שגדלים בשורשי צמחי העגבניות שלה.



**ANTJE HÄDER**

אנטיה היא דוקטורנטית במכון לייבניץ לחקר מוצרים טבעיים וביולוגיה של זיהומים – מכון הנס קנול בינה, גרמניה. היא חוקרת כיצד הבדלים קטנים ברצף הדנ"א בין פרטים משפיעים על תגובת מערכת החיסון לזיהומים של פטריות וחידקים. ניתוח השונות בדנ"א של בני אדם הוא נושא מעניין, מאחר שהוא מסייע למדענים להבין מדוע הרגישות למחלות מסוימות שונה בין בני אדם.

**SLAVENA VYLKOVA**

סלֶוֶנָה מובילה קבוצה צעירה של מיקרוביולוגים ב-ZIK Septomics. היא וקבוצתה חוקרים את האינטרקציות שבין פטריות מזהמות לבני אדם, בהקשר לגורמים שמאפשרים לפטריות לשרוד בגוף ולגרום לנזק. כשסלֶוֶנָה למדה בבית הספר, הנושא האהוב עליה היה ביולוגיה, תחום עניין שהפך לתחביב ולקריירה שלה. היא אדם אנרגטי ויצירתי שאוהב "להדביק" מוחות צעירים בהתלהבות המדעית שלה.

\*[slavena.vylkova@leibniz-hki.de](mailto:slavena.vylkova@leibniz-hki.de)

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