

## פֶּפְטִידִים אַנְטִימִיקְרוֹבִיאָלִיִּים וְכִיצַד לִמְצוֹא אוֹתָם

Barbara Spellerberg<sup>1\*</sup>, Ludger Ständker<sup>2</sup>, Rüdiger Groß<sup>3</sup>, Jan Münch<sup>3</sup>

<sup>1</sup>המכון למיקרוביולוגיה רפואית ולהיגיינה, בית חולים אוניברסיטאי, אולם, גרמניה

<sup>2</sup>מתקן ליבה לפפטידומיקה תפקודית, מרכז רפואי אוניברסיטאי אולם, אולם, גרמניה

<sup>3</sup>המכון לוירולוגיה מולקולרית, מרכז רפואי אוניברסיטאי אולם, אולם, גרמניה

### סוקרת צעירה

ANISHA

גיל: 14



חיידקים ווירוסים עשויים לחדור לגופנו דרך רקמות ריריות בדרכי הנשימה או במעיים. אחד ממנגוני ההגנה של מערכת החיסון בכדי למנוע זיהומים הוא פֶּפְטִידִים אַנְטִימִיקְרוֹבִיאָלִיִּים. מרבית הפפטידים האנטימיקרוביאליים מורכבים מ-10-50 חומצות אָמִינו, אשר חודרים לתוך תא החיידק במטרה להרוס אותו. פפטידים אנטימיקרוביאליים נוצרים באמצעות חיתוך של חלבונים גדולים יותר כמו הֶמוֹגְלוֹבִין. פיסות ההמוגלובין יכולות להשבית את החיידקים והווירוסים, בעוד שחלבון ההמוגלובין כולו אינו מסוגל לכך. כדי לזהות פפטידים אנטימיקרוביאליים חדשים, ניתן לייצר "ספריות פפטידים" שמכילות אלפי פפטידים שונים מנוזלי גוף ואיברים אנושיים. ה"ספריות" האלה נבדקות לשימוש בפעילות אנטי-חיידקית או אנטי-ויראלית, ויכולות להיות מטוהרות עוד יותר במטרה לזהות את הפפטיד האחראי. שיטה זו עשויה להוביל לזיהוי של חומרים אנטימיקרוביאליים חדשים, בעלי פוטנציאל לטיפול בזיהומים.

## כיצד חיידקים ווירוסים חודרים לגופנו?

אנו מצויים כל הזמן במגע עם חיידקים ווירוסים שנמצאים בסביבתנו. חלק מהחיידקים והווירוסים האלה עשויים לגרום לזיהומים, והם נקראים **פתוגנים מיקרוביאליים**. שתי דרכים עיקריות שבהן פתוגנים מיקרוביאליים יכולים להיכנס לגופנו הן דרך מערכת הנשימה ודרך מערכת העיכול. חלל הפה, האף והגרון שייכים למערכת הנשימה העליונה, בעוד שהסימפונות והריאות הן חלק ממערכת הנשימה התחתונה. החשיפה המתמדת של מערכת הנשימה לאוויר שאנו נושמים, אשר עשוי להכיל טיפות קטנות של נוזלים שמכילים חיידקים או וירוסים, פתוגנים מיקרוביאליים יכולים להיכנס לריאות ולגרום לזיהום חמור שנקרא דלקת ריאות. הפה, הוושט, הקיבה והמעיים הם חלק ממערכת העיכול, שאליה מזון ונוזלים מעבירים מיקרואורגניזמים באופן רציף ומתמשך. מרבית החיידקים והווירוסים שנכנסים לגוף דרך המזון מומתים או מושבתים בנוזל הקיבתי החומצי, אך חלק עשויים להגיע למעיים ועלולים לגרום לזיהומי קיבה ומעיים, ולשלשולים. מערכות הנשימה והעיכול הן כאמור נקודות הכניסה השכיחות ביותר של פתוגנים מיקרוביאליים לגופנו, אך ישנן גם דרכים אחרות להדביק בני אדם, בין השאר בהעברה דרך דם, פצעים פתוחים, מגע מיני ועקיצות חרקים.

## כיצד הגוף מגן על עצמו?

כדי להילחם בהצלחה בחיידקים ובווירוסים, הגוף האנושי פיתח דרכים רבות למניעת זיהומים. אלה כוללות מחסומים פיזיים דוגמת העור, אשר מגבילים את גישתם של מיקרואורגניזמים לרקמות עמוקות יותר, כמו גם הריר והנוזלים בממברנות הריריות שלנו, אשר מנקזים החוצה חיידקים ווירוסים, ומכילים מולקולות שהורגות ומשביתות אותם. הגנה ספציפית יותר כנגד פתוגנים מיקרוביאליים בלתי רצויים נקראת מערכת החיסון, אשר מכילה שני מערכות משנה. **מערכת חיסון מולדת** – מוכנה לתקוף פתוגנים מיקרוביאליים בפעם הראשונה שאנו נתקלים בהם, על ידי זיהוי תבניות מיקרוביאליות מסוימות. במטרה להיות מוכנים טוב יותר למתקפה השנייה, **מערכת חיסון נרכשת** לומדת מהמגע הראשון עם פתוגן מיקרוביאלי, ויכולה לזכור מיקרובים שראתה בעבר, מה שמאפשר לה להגיב מהר ובעוצמה רבה יותר אם הפתוגן חוזר.

במאמר זה, נתמקד באחד החלקים החשובים של מערכת החיסון המולדת, שנקרא **פפטידים אנטימיקרוביאליים**, שנמצאים ברקמות ובאיברים רבים, או על פני שטח של רקמות ריריות או של העור. על העור האנושי בלבד, נמצאו יותר מ-20 פפטידים אנטימיקרוביאליים שונים.

## מהם פפטידים אנטימיקרוביאליים?

פפטידים אנטימיקרוביאליים הם מנגנון הגנה עתיק שעשוי להימצא כמעט בכל האורגניזמים החיים [1]. מרבית הפפטידים האנטימיקרוביאליים הם די קטנים, ומכילים כ-20-50 חומצות אמינו, שהן אבני הבניין של חלבונים. פפטידים אנטימיקרוביאליים מיוצרים על ידי תאי עור ותאים של מערכת החיסון שנמצאים על הרקמות הריריות או על עורנו. תאים מסוימים של מערכת החיסון המולדת מייצרים פפטידים אנטימיקרוביאליים משלהם, אך

### פתוגנים מיקרוביאליים (Microbial Pathogens)

חיידקים מחוללי מחלות, מיקרואורגניזמים מזהמים, או גרמי מחלה אחרים, כמו למשל וירוסים, חיידקים, טפילים ופטריית – שיכולים לגרום לזיהומים.

### מערכת חיסון מולדת (Innate Immune System)

חלק ממערכת החיסון שתוקף פתוגנים מיקרוביאליים בעת מגע ראשון איתם.

### מערכת חיסון נרכשת (Adaptive Immune System)

חלק ממערכת החיסון שנרכש דרך מגע ראשון עם פתוגנים מיקרוביאליים, ומייצר תגובה ספציפית ויעילה לחיסול פתוגנים מיקרוביאליים.

### פפטידים אנטימיקרוביאליים (AMPs-Antimicrobial Peptides)

פפטידים קטנים שיכולים להרוס חיידקים ווירוסים.

ניתן לייצר פפטידים אנטימיקרוביאליים גם על ידי חיתוך של חלבונים אחרים גדולים יותר, שבדרך כלל מבצעים תפקודים שונים לגמרי בגוף. החלקים הקטנים של חלבונים גדולים רוכשים את היכולת לתקוף פתוגנים מיקרוביאליים, ולכן החלבונים הגדולים יותר, שנקראים **קוֹדְמְנֵי פפטידים אנטימיקרוביאליים**, משרתים שני תפקודים.

### קודמני פפטידים אנטימיקרוביאליים (AMP Precursors)

חלבון גדול שנחתך לפיסות  
בעלות פעילות  
אנטימיקרוביאלית.

## דוגמאות לקודמני פפטידים אנטימיקרוביאליים אנושיים

קודמן הפפטיד האנטימיקרוביאלי או החלבון המקורי צריך להיות נוכח בריכוזים גבוהים על מנת לוודא שמספיק פפטידים אנטימיקרוביאליים מיוצרים כאשר הוא נחתך. ידוע שכל החלבונים המשחררים פפטידים אנטימיקרוביאליים מצויים בשפע רב, וניתן למצוא אותם כמעט בכל מקום בגוף האדם. דוגמה אחת היא המוגלובין, מבנה פפטידי המכיל-ברזל ונמצא בתאי דם אדומים, אשר בחיתוכו נוצרים פפטידים אנטימיקרוביאליים רבים עם פעילות אנטי-חיידקית ואנטי-ויראלית [2]. דוגמה חשובה אחרת היא פִּיֶּרִינֶן. חלבון זה מעורב בקרישת דם ובהחלמה מפציעות, כלומר הוא עשוי להאיץ את תהליך החלמת הפצע על ידי סיוע הן בקרישה הן בייצור פפטידים אנטימיקרוביאליים במטרה לשמור על הפצע לא מזוהם. תְּרוֹמְבִּין הוא מקור חשוב אחר לפפטידים אנטימיקרוביאליים. אנזים זה ממלא תפקיד חשוב במערכת הקרישה של הדם. דוגמאות נוספות לקודמני פפטידים אנטימיקרוביאליים כוללות פוספטאז חומצי בערמונית ו-semenogelins, שמצויים בשפע בנוזל זרע אנושי. כאשר חלבוני נוזל הזרע האלה נחתכים לפפטידים אנטימיקרוביאליים, הם יוצרים סיבים שיכולים ללכוד חיידקים במערכת הרבייה הנשית, מה שמסייע לתאי מערכת החיסון להרוס חיידקים ביעילות רבה יותר [3].

## כיצד מיוצרות פיסות החלבונים?

קודמני הפפטידים האנטימיקרוביאליים הגדולים נחתכים לפפטידים אנטימיקרוביאליים על ידי חלבוני חיתוך מיוחדים שנקראים **פרוטאזות**. פרוטאזות הן אנזימים שחותכים חלבונים לפיסות קטנות יותר (פיסות חלבונים נקראות פפטידים אם הן באורך של פחות מ-100 חומצות אמינו). פרוטאזות נמצאות בעיקר במעי, ומשמשות לעיכול חלבונים במזון. מאחר שפרוטאזות אינן יכולות להבחין בין החלבונים של גוף האדם לבין חלבונים במזון שצריכים להיחלק, פעילותן מוֹסְקֶת באופן הדוק כדי למנוע עיכול בלתי רצוי של חלבונים הנחוצים לתיפקוד התקין של הגוף. ישנן פרוטאזות שתפקידן לחתוך את ההמוגלובין שנכנס לרקמותינו בהתרחש פציעה או דימום. לפפטידים אנטימיקרוביאליים שמוצרים מהמוגלובין שנחתך יש פעילות אנטי-חיידקית ואנטי-ויראלית, שאין לחלבון ההמוגלובין השלם.

## כיצד פפטידים אנטימיקרוביאליים עוצרים חיידקים?

לעיתים קרובות, לפפטידים אנטימיקרוביאליים יש מטען (חשמלי) חיובי, ולמברנות חיידקיות יש מטען (חשמלי) שלילי. מטענים חיוביים ושליילים מושכים זה את זה, מה שמקל על פפטידים אנטימיקרוביאליים להיקשר לפני השטח החיידקיים. יתרה מזו, פפטידים אנטימיקרוביאליים הם לעיתים קרובות **אמפיפטיים**, כלומר מולקולה שחלק ממנה נמשך למים, בעוד שחלק אחר שלה נמשך יותר לליפידים (שומנים). הטבע האמפיפטי של

### אמפיפטי (Amphipathic)

מאפיין של מולקולה שיש לה  
חלק שנמשך למים וחלק  
שנדחה על ידי מים ונמשך  
לליפידים (שומנים).

### פרוטאז (Protease)

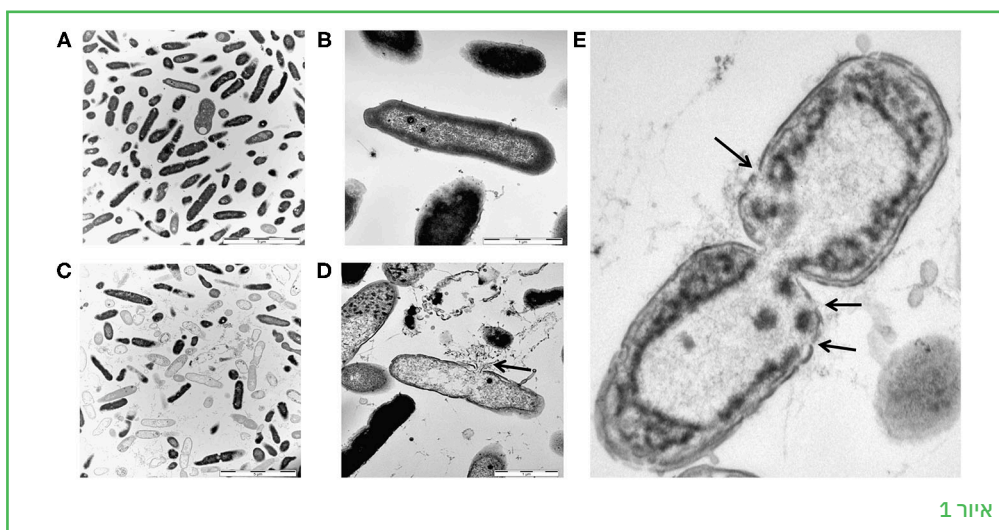
אנזים שחותך חלבונים.

פפטידים אנטימיקרוביאליים מסייע להם להיקשר לממברנה החיידקית, מאחר שהממברנה מכילה גם ליפידים וגם חלקים דמויי-מים.

אחרי ההיקשרות, הפפטידים האנטימיקרוביאליים נכנסים לתוך הממברנה החיידקית ועשויים ליצור תעלה קטנה, שנקראת נקבובית. התהליך הזה דומה ליצירת חור בתא החיידקי, אשר מוביל לדליפה של תכולת התא ולמוות של החיידק. ניתן לראות את התהליך השלם באמצעות מיקרוסקופ אלקטרוני (איור 1). ישנם גם פפטידים אנטימיקרוביאליים שלא תוקפים את ממברנת תא החיידק באופן ישיר, אלא מפריעים לתפקוד של מולקולות חשובות בתוך התא החיידקי, כמו למשל למולקולות שמסייעות לבנות את דופן התא החיידקי. חלק מהפפטידים האנטימיקרוביאליים יכולים להיקשר ישירות לדנ"א החיידקי, ולהרוס את יכולתו של הדנ"א להעביר מידע גנטי לבנייה של חלבונים או תאי חיידקים חדשים.

### איור 1

תמונות מיקרוסקופ אלקטרוני של חיידקים מסוג פסאודומונס אֶאֶרוגֵינוֹזָה עם וללא טיפול באמצעות פפטיד אנטימיקרוביאלי שמקורו בהמוגלובין [2]. (A,B) תאים חיידקיים שלא טופלו באמצעות פפטיד אנטימיקרוביאלי הם בריאים ושלמים; (C-E) חיידקים שטופלו בפפטיד אנטימיקרוביאלי מהמוגלובין במשך שעה אחת. החיצים השחורים מצביעים על ממברנות הרוסות של תא חיידקי ועל שפיכה של התכולה מהחלק הפנימי של תאי החיידק.



### כיצד פפטידים אנטימיקרוביאליים משביתים וירוסים?

וירוסים שונים מחיידקים בכך שהם יכולים להתרבות רק בתוך תאים – לכן וירוסים צריכים להיכנס לתאים אנושיים לפני שהם יכולים להשתכפל ולגרום למחלות. חלק מהפפטידים האנטימיקרוביאליים יכולים להתערב בצעדים השונים של התרבות וירוסים. פפטידים אנטימיקרוביאליים שנקראים magainins, שמקורם בעור של צפרדע, נקשרים אל פני השטח החיצוניים של הווירוס, ומשבשים את מבנהו. פפטיד אנושי שנקרא VIRIP, שמבודד מהדם, הוא פפטיד אנטימיקרוביאלי שיכול להשבית את כניסתו של וירוס הכשל החיסוני אל תאים אנושיים. חלק מהפפטידים האנטימיקרוביאליים יכולים לחסום את ההיצמדות של וירוסים לתאים. דוגמה אחת היא הפפטיד שמיוצר מהדם, אשר משבית את ההיקשרות הראשונית של וירוס שנקרא ציטומגלולווירוס (CMV) אל תאים אנושיים. ידוע שגם פפטידים אנטימיקרוביאליים אנושיים שנקראים דֶפְנִסִינִים וקֶתִלִיצִידינִים מסייעים למנוע כניסה ויראלית לתוך תאים, אך הם גם מתערבים בצעדים מאוחרים יותר בתהליך ההתרבות של הווירוס.

## מציאת פפטידים אנטימיקרוביאליים חדשים

אף על פי שבשנים האחרונות זהו הרבה פפטידים אנטימיקרוביאליים אנושיים שונים, ישנם בהחלט רבים שעדיין לא מצאנו. פתוגנים מיקרוביאליים נעשים יותר ויותר עמידים לאנטיביוטיקות שכיחות ולתרופות אנטי-ויראליות, מה שהופך את התרופות האלה לחסרות תועלת בלחימה בזיהומים. לכן, חשוב למצוא פפטידים אנטימיקרוביאליים נוספים עם פעילות אנטי-חיידקית או אנטי-ויראלית, כך שאֵלֶה בסופו של דבר יפותחו לתרופות חדשות. כדי לִאָגֵר פפטידים אנטימיקרוביאליים אנושיים חדשים, ניתן ליצור "ספריות פפטידים" גדולות מאיברים ומנוזלי גוף שונים, שמכילות מאות אלפי פפטידים שונים. בהסכמתם של התורמים, רקמות שמוסרות במהלך ניתוחים, ונוזלי גוף שנאספים בהליכים רפואיים, משמשים ליצירת "ספריות פפטידים" למטרות מחקר.

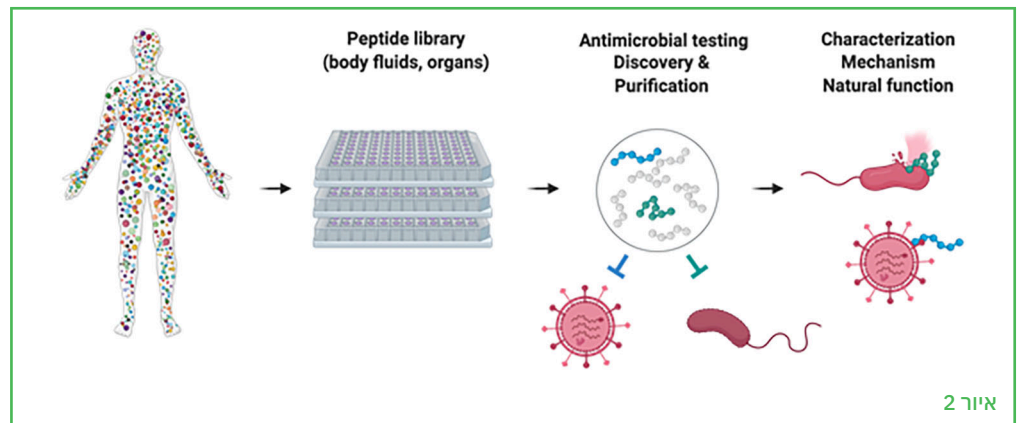
במטרה ליצור "ספרייה" מרקמות, יש תחילה להמיס את הרקמות בכדי לזקק תמצית. תמציות אלה מקוררות מייד, מחומצנות, ואז מוקפאות למניעת שבירה של הפפטידים שבתוכן. פילטר מיוחד משמש לריכוז הפפטידים ולהסרה של חלבונים גדולים מהתמצית. לאחר מכן, הפפטידים מופרדים באמצעות שיטה שנקראת **כְרוֹמָטוֹגְרַפְיָה**. אחרי הכרומטוגרפיה, אלפים רבים של פפטידים שונים זמינים בתור "ספריית פפטידים", באופן שמאפשר לבחון אותם לצורך חיפוש פפטידים שמשביתים גדילה חיידקית או זיהומים ויראליים [4, 5] (איור 2). חלק מ"ספריית הפפטידים" שמראה פעילות אנטי-חיידקית או אנטי-ויראלית מזקק עוד יותר על מנת לבחון ולקבוע את זהותו של הפפטיד האנטימיקרוביאלי. לבסוף, ניתן ליצור מחדש את הפפטיד האנטימיקרוביאלי במעבדה ולנתח את רמת הפעילות שלו; את תפקידו במניעת זיהומים ואת יכולתו לשמש כתרופה.

### כרומטוגרפיה (Chromatography)

שיטה להפרדת תערובת של חומרים שונים.

### איור 2

תהליך מציאת פפטידים אנטימיקרוביאליים חדשים. מייצרים תמצית מאיברים אנושיים או נוזלי גוף, ומולקולות קטנות מזוקקות מתמצית זו. פפטידים מופרדים על ידי כרומטוגרפיה, לכדי יצירת ספריית פפטידים. פעילות אנטי-ויראלית ואנטי-חיידקית של ספריות אלה מוערכת, ואלה המאותרות עם פעילות אנטי-מיקרוביאליית מופרדות עוד. בסופו של דבר, הפפטיד האנטימיקרוביאלי מתגלה, וניתן לקבוע את מנגנון הפעולה שלו. האיור יוצר עם [biorender.com](http://biorender.com).



איור 2

## מסקנות

בגופנו נמצאים פפטידים אנטימיקרוביאליים רבים שמסייעים למנוע זיהומים. הם חלק ממערכת החיסון המולדת שלנו, ויכולים להיות מיוצרים מחלבונים אנושיים גדולים יותר שיש להם גם תפקודים אחרים בגוף. במטרה למצוא "ספריות פפטידים" אנטימיקרוביאליים חדשות, ניתן לסקור פפטידים גדולים, ובסיומם התהליך פפטידים אנטימיקרוביאליים יכולים להיות מפותחים לכדי טיפולים אנטי-חיידקיים או אנטי-ויראליים חדשים.

## מקורות

1. Bastos, P., Trindade, F., da Costa, J., Ferreira, R., and Vitorino, R. 2018. Human antimicrobial peptides in bodily fluids: current knowledge and therapeutic perspectives in the postantibiotic era. *Med Res Rev.* 38:101–46. doi: 10.1002/med.21435
2. Gross, R., Bauer, R., Kruger, F., Rucker-Braun, E., Olari, L. R., Standker, L., et al. 2020. A placenta derived C-terminal fragment of beta-hemoglobin with combined antibacterial and antiviral activity. *Front. Microbiol.* 11:508. doi: 10.3389/fmicb.2020.00508
3. Rocker, A., Roan, N. R., Yadav, J. K., Fandrich, M., and Münch, J. 2018. Structure, function and antagonism of semen amyloids. *Chem. Commun.* 54:7557–69. doi: 10.1039/c8cc01491d
4. Bosso, M., Standker, L., Kirchhoff, F., and Munch, J. 2018. Exploiting the human peptidome for novel antimicrobial and anticancer agents. *Bioorg. Med. Chem.* 26:2719–26. doi: 10.1016/j.bmc.2017.10.038
5. Munch, J., Standker, L., Forssmann, W. G., and Kirchhoff, F. 2014. Discovery of modulators of HIV-1 infection from the human peptidome. *Nat. Rev. Microbiol.* 12:715–22. doi: 10.1038/nrmicro3312

פורסם אונליין: 24 באפריל 2023

עורך: Michel Goldman

מנחה מדעית: Dr. Kawaljit Kaur

ציטוט: Spellerberg B, Ständker L, Groß R and Münch J (2023) פפטידים אנטימיקרוביאליים וכיצד למצוא אותם *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2021.567875-he

תורגם והותאם מ: Spellerberg B, Ständker L, Groß R and Münch J (2021) Antimicrobial Peptides and How to Find Them. *Front. Young Minds* 9:567875. doi: 10.3389/frym.2021.567875

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

**COPYRIGHT** © 2021 © Spellerberg, Ständker, Groß and Münch 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 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.

## סוקרת צעירה

### ANISHA, גיל: 14

תמיד התעניינתי בתחומי מדע ומתמטיקה, וכשאגדל ארצה להיות מהנדסת ביו-רפואית. בבית הספר, המקצועות האהובים עליי הם מתמטיקה וכל המדעים. בזמני הפנוי, אני נהנית לנגן בפסנתר ולקרוא. חלק מהספרים האהובים עליי הם הקוסם מארץ עוץ וסדרת הארי פוטר. אני גם נהנית להתנסות בחוויות חדשות ולטעום מאכלים חדשים.



## הכותבים

### BARBARA SPELLERBERG

ברברה ספלברג למדה רפואה באאכן, גרמניה, והחלה את הקריירה הרפואית שלה במחלקה לרפואת ילדים בבית החולים האוניברסיטאי ב-RWTH אאכן. במהלך הפוסט-דוקטורט שלה באוניברסיטת רוקפלר בניו יורק במעבדה למחלות זיהומיות מולקולריות, היא החלה לעבוד על ביולוגיה מולקולרית של סטרפטוקוקוס. לאחר מכן, ברברה חזרה לאאכן למרכז הייחוס הלאומי לסטרפטוקוקוס, והתמחתה במיקרוביולוגיה רפואית. ב-2002, נעשתה פרופסורית עמיתה למיקרוביולוגיה רפואית ולהיגיינה באוניברסיטת אולם, גרמניה. פרסמה יותר מ-80 מאמרים בעיתונים מדעיים.

\* [barbara.spellerberg@uniklinik-ulm.de](mailto:barbara.spellerberg@uniklinik-ulm.de)



### LUDGER STÄNDKER

לודגר סטנדר עשה תואר ראשון בבייכמייה באוניברסיטת האנובר, גרמניה, בשנת 1994. ב-1996, קיבל את הדוקטורט שלו בכימיה פפטידים במעבדה של פרופסור ו.ג. פרוקמן בבית הספר לרפואה האנובר. אחרי תפקידים כפוסט-דוקטורנט וכראש מעבדה בחברת Pharis Biotec, והתמחות בבייכמייה ב-2001, מ-2005 עד 2006 דוקטור סטנדר היה חבר מארי קירי במרכז לחקר ביולוגיה (CIB, CSIC), מדריד, ספרד. מאז 2012, ניהל את מתקן הליבה לפפטידודינמיקה תפקודית באוניברסיטת אולם, גרמניה. פרסם יותר מ-60 מאמרים מדעיים והגיש כמה פטנטים לרישום.



### RÜDIGER GROß

רודיגר גרוß למד בייכמייה באוניברסיטת אולם, גרמניה, והשלים תואר שני ב-2017. הוא הצטרף למעבדה של ג'אן מונץ' שם ביצע את עבודת המאסטר שלו, ולאחר מכן התחיל את לימודי הדוקטורט ב-2018, שמומונו על ידי מלגה שניתנה לו מטעם בית הספר הבינלאומי ללימודים מתקדמים ברפואה מולקולרית, אולם. גרוß פרסם יותר מ-15 מאמרים מדעיים.



### JAN MÜNCH

ג'אן מונץ' למד ביולוגיה באוניברסיטת פרידריך-אלכסנדר אָלְלֶנְגֶן-נירנברג, גרמניה, וסיים את לימודיו ב-1998. לאחר מכן הצטרף למעבדתו של פרנק קירשהוף במכון לווירולוגיה, וקיבל את הדוקטורט שלו ב-2002. בהמשך, היה פוסט-דוקטורנט במכון לווירולוגיה באוניברסיטת אולם, גרמניה, שם קיבל פרופסורת W1 שנתיים מאוחר יותר. ב-2010 קיבל פרופסורה מלאה במכון לווירולוגיה מולקולרית



באוניברסיטת אולם, וב-2017 התמנה למנהל המכון. מונץ' פרסם יותר מ-130 מאמרים בעיתונים מדעיים, וקיבל פרסים יוקרתיים רבים מהאקדמיה ומהתעשייה

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