



עמידות אנטי-מיקרובית: נשקים חזקים כנגד אויבים מסוכנים

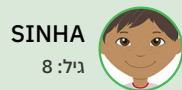
Fabiola Vacca^{1,2†}, Dario Cardamone^{1,3†}, Marco Troisi^{1,2†}, Claudia Sala^{1*}, Rino Rappuoli¹

¹המעבדה לגילוי נוגדנים חד-שבטיים, קרן טוסקנה למדעי החיים, סיינה, איטליה

²המחלקה לביוטכנולוגיה, כימיה ורוקחות, אוניברסיטת סיינה, סיינה, איטליה

³אוניברסיטת טורינו, טורינו, איטליה

סוקרים צעירים



האם חוויתם בעבר כאב גרון, שיעול, או חום? כלנו הרגשנו רע לפחות פעם אחת בחיינו! רופאים יסייעו לכם במצבים אלה על ידי רישום אנטיביוטיקות שיהרגו מיקרובים שאחראים לזיהום, במטרה להתגבר על הכאב, השיעול והחום. הודות לתרופות כמו אנטיביוטיקה, אנו יכולים להתאושש מהר ממחלות. לרוע המזל, כוחן יוצא הדופן של אנטיביוטיקות מאוים על ידי תופעה שנקראת עמידות אנטי-מיקרוביאלית. מהי עמידות אנטי-מיקרוביאלית ומה ניתן לעשות כדי לעצור אותה? במאמר הזה נתאר את התופעה, כיצד היא עשויה להתעורר וכיצד אנו יכולים לסייע למנוע אותה על ידי התחסנות.

לפני שנתחיל, נבהיר נקודה חשובה: מרבית המיקרובים, במיוחד חיידקים, הם חברים שלנו, חיים איתנו ובתוכנו, לדוגמה במעיים שלנו ועל גבי עורנו. למרות שהם קטנים, המיקרובים האלה עושים עבודה מדהימה, מסייעים לנו לעכל מזון ומגינים עלינו מפני אויבים חיצוניים שגורמים למחלות. אך ישנם מיקרובים רעים שאנו צריכים להתרחק מהם מאחר שהם מסוכנים. קראו במאמר כיצד אנו יכולים להילחם במיקרובים אלה, ולהביס אותם.

האם אפשרי שאנטיביוטיקה תהפוך בלתי מועילה?

במקרים רבים, אנו נעשים חולים בגלל מיקרובים בלתי נראים שחדרו לגופנו, אשר מחוללים זיהום שגורם לנו להרגיש חולי. למרבה המזל, ישנן תרופות, שנקראות **אנטיביוטיקות**, שמסייעות לנו להרגיש טוב יותר. מקור המילה "אנטיביוטיקה" הוא ביוונית, ומשמעותה "מתנגד לחיים". זה מסביר מה אנטיביוטיקות עושות: הן הורגות את האויבים שלנו, החיידקים הרעים. אנטיביוטיקות מיוצרות על ידי חיידקים חברותיים, על ידי עובש או צמחים, והן עשויות להיות גם מולקולות סינתטיות שמוצרות במעבדות. אנטיביוטיקות מתערבות בתהליכים שהם חיוניים לחיי חיידקים. לדוגמה, האנטיביוטיקה פניצילין, שהתגלתה על ידי אלכסנדר פלמינג בשנת 1928, מיוצרת על ידי העובש *Penicillium notatum*, וחוסמת התרבות חיידקית על ידי מניעת התפתחות הדופן החיצונית של תא חיידקי. ללא דופן התא, חיידקים מתפוצצים ומתים. אנטיביוטיקות רבות התגלו מאז הפניצילין, וכולן מהוות נשקים חזקים כנגד מיקרובים פולשים. נוסף על כך הודות להתקדמות המדע, כיום ניתן לייצר אנטיביוטיקות סינתטיות בייצור המוני, ולהשתמש בהן כדי לטפל בהצלחה בזיהומים חיידקיים.

אתם עשויים לחשוב כי ברגע שאנטיביוטיקות התגלו הן יישארו יעילות כנגד חיידקים לנצח. לרוע המזל, זה לא המצב. חיידקים הם חכמים ומנסים לשרוד בנוכחות אנטיביוטיקות על ידי כך שהם נהפכים עמידים לתרופות האלה, כך שהאנטיביוטיקות כבר לא יכולות לפגוע בהם. היכולת החיידקית הזו ידועה בתור **עמידות אנטי-מיקרוביאלית**. בשל תכונה זו, אפילו האנטיביוטיקה החזקה ביותר יכולה להפוך חסרת תועלת כעבור פרק זמן קצר [1].

כיצד חיידקים מפתחים עמידות לאנטיביוטיקה?

כדי לבחון אם אנטיביוטיקה יעילה כנגד סוג מסוים של חיידק, מדענים יכולים להביא חיידקים במגע עם האנטיביוטיקה, ולבדוק אם החיידקים מתים (מעיד על כך שהחיידקים רגישים) או שורדים (מצביע על היותם חיידקים עמידים). זהו מדד ישיר לחוזק של האנטיביוטיקה ולרגישות של החיידקים לתרופה. לחלופין, אנו יכולים לקרוא את ה"תוכנית" של החיידק, שנקראת גֵנום או דנ"א. הדנ"א מכיל את המידע שמווסת את חיי החיידק ומספק הוראות ליצירת חלבונים, שהם אבני הבניין של מרבית האורגניזמים. במקרה של חיידקים, אנו יכולים למצוא ולקרוא את החלקים המסוימים של הגנום שלהם, שמסבירים כיצד החיידקים נעשים עמידים לאנטיביוטיקה.

ה"תוכנית" של החיידק עוברת שינויים, שידועים בתור מוטציות. שינויים אלה לעיתים מסייעים לחיידק לשרוד בנוכחות של אנטיביוטיקות. אם כן, חיידקים שרגישים לאנטיביוטיקות היום יכולים לפתח עמידות אנטי-מיקרוביאלית בעתיד דרך מוטציות בגנום שלהם. חיידקים יכולים להעביר חלקים מהדנ"א שלהם לחיידקים אחרים, כך שהם עשויים "ללמוד" מחיידקים שכבר עמידים לאנטיביוטיקה (איור 1).

אם אנו משתמשים באנטיביוטיקות לעיתים תכופות מדי, אנו מפעילים לחץ רב על החיידקים שרוצים לשרוד, והם נהפכים עמידים יותר ויותר. במילים אחרות, חיידקים בעלי עמידות אנטי-מיקרוביאלית יתפשטו עוד ועוד בקרב האוכלוסייה האנושית [2]. על ידי הגבלת

אנטיביוטיקות (Antibiotics)

תרופות שממשות לטיפול במחלות שנגרמות על ידי חיידקים.

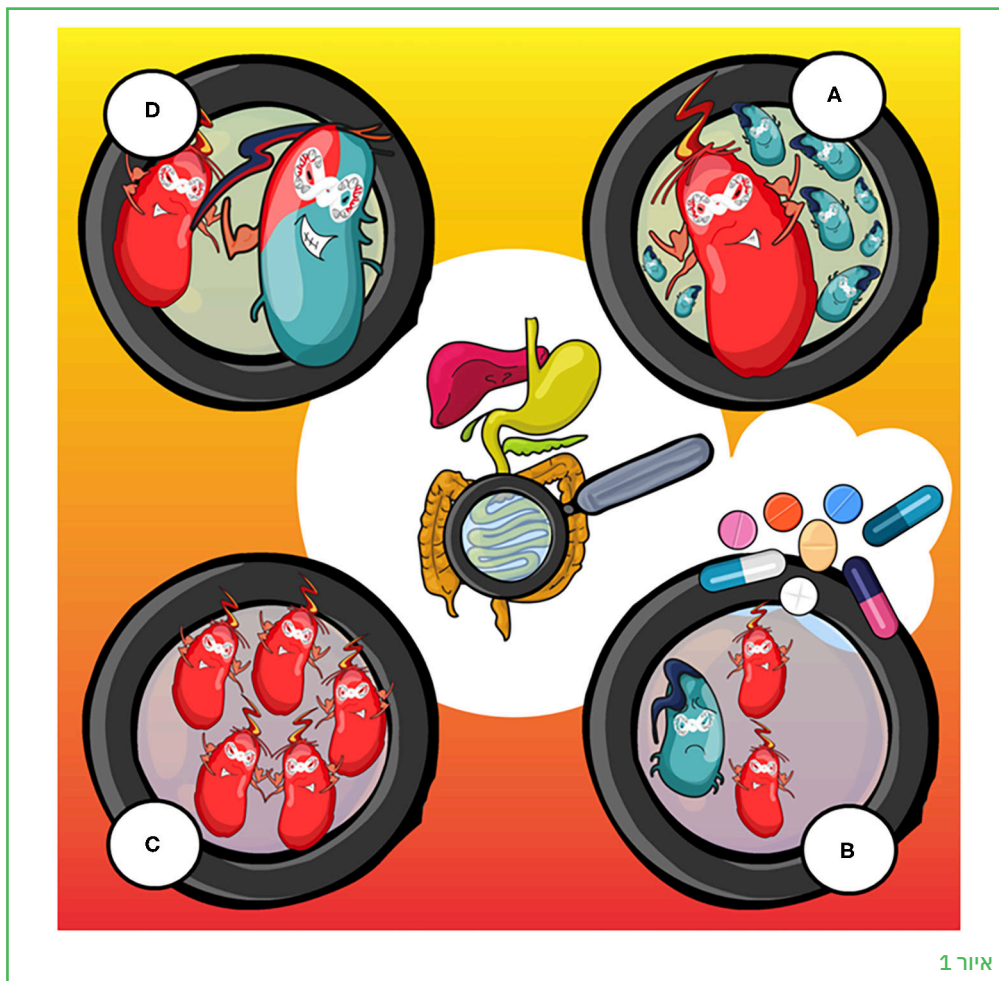
עמידות

אנטי-מיקרוביאלית (AMR - Antimicrobial Resistance)

היכולת של חיידקים לשרוד טיפול באנטיביוטיקה. נגרמת על ידי גֵנים חיידקיים שמספקים לחיידקים הגנה מפני אנטיביוטיקה.

איור 1

כיצד עמידות אנטי-מיקרוביאלית מתפתחת ומתפשטת בקרב חיידקים. (A) חיידקים שגורמים לזיהום בגוף, לדוגמה במעי, הם לרוב רגישים לאנטיביוטיקה (בכחול). אחד מהם עשוי לפתח עמידות אנטי-מיקרוביאלית (באדום) כתוצאה ממוטציה בדנ"א שלו. (B) אנטיביוטיקות, שמצוגות כאן בתור גלולות, מרפאות את הזיהום והורגות כמעט את כל החיידקים בכחול, אך החיידקים האדומים שורדים ומתרבים, עד שהם מגיעים למספרים גדולים מאוד (ראו פאנל C). זה מסוכן מאחר שאת החיידקים שעמידים לאנטיביוטיקה קשה להרוג, והם יכולים לגרום לזיהום חמור בגוף. (D) החיידק האדום יכול אז להעביר פיסה מהדנ"א לחיידק רגיל (החיידק הכחול), ולהפוך גם אותו להיות עמיד לאנטיביוטיקה.



איור 1

השימוש באנטיביוטיקות במידת האפשר, אנו מפחיתים את הלחץ הזה. זו הסיבה לכך שאנו זקוקים לחלופות לאנטיביוטיקות, ולדרכים להפחית את הסיכון שלנו לפתח מחלות שצריך לטפל בהן באמצעות התרופות האלה.

הצבא שלנו: מערכת החיסון

מערכת החיסון האנושית מורכבת מתאים וממולקולות שמגינים עלינו מפני פולשים חיצוניים, כמו למשל חיידקים ווירוסים. כאשר הגוף נדבק על ידי חיידק או וירוס, המיקרוב מזהה על ידי מערכת החיסון בתור "זר", מאחר שבדרך כלל הוא לא נוכח בגוף. החלקים של האורגניזם המדביק שמערכת החיסון מזהה נקראים **אנטיגנים**, והם בדרך כלל נוכחים על פני השטח של חיידקים או וירוסים. כדי לחסום אנטיגנים, מערכת החיסון מייצרת חומרים שנקראים **נוגדנים**. נוגדנים נקשרים לאנטיגנים, ופועלים כמו חיצים ספציפיים שמסוגלים לזהות את המיקרובים ולהרוג אותם.

במהלך הקרב הזה בין מערכת החיסון לבין מיקרובים, תאי החיסון שלנו זוכרים את המאפיינים של המיקרובים שהם נלחמו כנגדם, ובכך מקשים על אותו סוג המיקרוב לפלוש

אנטיגנים (Antigens)

חלבונים או סוכרים ממיקרוב שמזוהים כזרים על ידי מערכת החיסון. אנטיגנים יכולים להיכלל בחיסונים כדי ללמד את מערכת החיסון ממה המיקרוב מורכב.

נוגדנים (Antibodies)

חומרים שמוצרים על ידי מערכת החיסון, שמסייעים בלחימה כנגד האויבים שלנו, החיידקים והוורוסים.

זיכרון חיסוני (Immunological Memory)

היכולת של מערכת החיסון לזהות מהר ובאופן ספציפי מיקרוב שהיא כבר פגשה. זהו הבסיס של חסונים.

לגוף שוב. אם אותו סוג מיקרוב אי פעם יחשוב לחזור, הוא יחוסל במהירות. זה נקרא **זיכרון חיסוני**, והוא הבסיס לאופן פעולתם של חסונים.

החיסון: אימון מערכת החיסון

כעת, כשאתם מבינים כיצד מערכת החיסון פועלת, יהיה קל יותר להבין עד כמה חסונים חשובים עבור כולנו, וכיצד הם מסייעים למנוע עמידות אנטי-מיקרוביאלית. חסונים מורכבים ממיקרובים מתים, ולעיתים מוחלשים, שלא יכולים לגרום לנו נזק. חסונים עשויים להיות מורכבים גם מאנטיגנים של חיידקים, כמו למשל חלבונים וסוכרים. כאשר חיסון מוזרק אל תוך הגוף, המיקרוב המת או המוחלש (או חלקיו) מזוהה כזר על ידי מערכת החיסון, ממש באותו האופן שבו היה מזוהה מיקרוב מזהם אמיתי. האנטיגנים שמוכלים בחיסון מגרים את מערכת החיסון לייצר נוגדנים כנגדם. נוגדנים הם ספציפיים ויעילים מאוד, אך דרוש זמן מה כדי שיתפתחו, וזו הסיבה שחסונים צריכים להינתן באופן כללי בשלב מוקדם בחיים [3]. נוגדנים מסתובבים בגוף, כך שאם אדם מחוסן פוגש את המיקרוב המסוכן בשלב מאוחר יותר, הנוגדנים כבר יהיו שם, מוכנים להילחם בו.

חסונים גם מאפשרים למערכת החיסון לפתח זיכרון חיסוני, כך שהגוף יגיב מהר כאשר הוא רואה את המיקרוב פעם נוספת. זה בדיוק מה שהחיסון נועד לעשות: הוא מלמד את תאי החיסון ממה החיידק או הווירוס מורכבים, כך שמערכת החיסון יכולה להכין את נשקיה מראש ולהיות ערוכה למצב שבו המיקרוב האמיתי מגיע (איור 2). במקרה של זיהום חיידקי, אם מערכת החיסון של האדם המחוסן כבר מוכנה לתקוף את החיידק, האדם עשוי שלא להזדקק לסיוע חיצוני של אנטיביוטיקה.

מהם ההבדלים בין אנטיביוטיקות לחסונים?

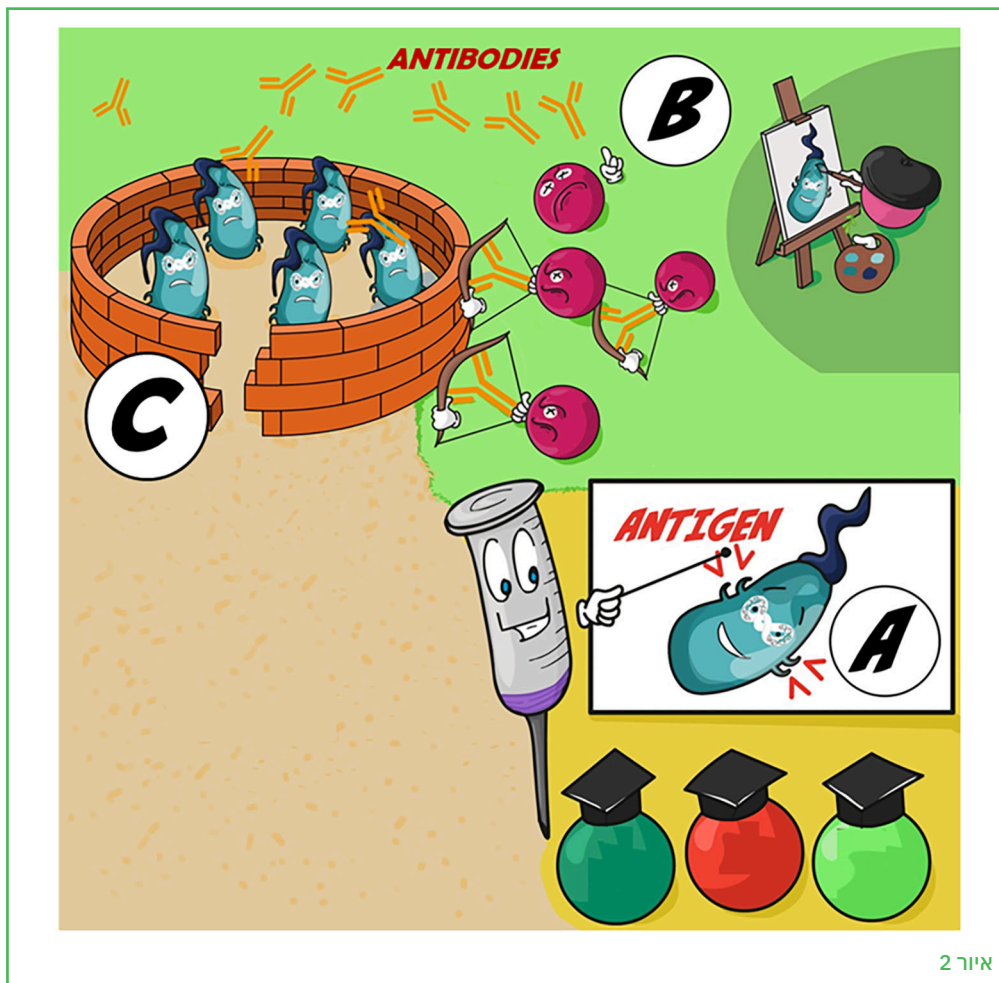
אם כן, אנטיביוטיקות וחסונים משמשים שניהם כדי להילחם במיקרובים. אך חשוב להבין שהם פועלים בדרכים שונות. ראשית, בעוד שאנטיביוטיקות משמשות לטפל במחלות שכבר מתרחשות, חסונים ניתנים לפני שאנו נדבקים, כאמצעי של מניעה. כפי שלמדתם, תפקיד החסונים הוא להנחות את מערכת החיסון להילחם בזיהומים עתידיים. שנית, אנטיביוטיקות מתאפיינות בדרך כלל במצב פעולה אחד, כלומר הן תוקפות חיידקים באופן מסוים. בניגוד לכך, חסונים יכולים לחשוף את מערכת החיסון שלנו לאנטיגנים חיידקיים מרובים שבדרך כלל נמצאים על פני השטח של חיידקים. חשיפה זו מסייעת למערכת החיסון לתקוף את החיידקים באמצעות כמה אסטרטגיות בבת אחת. לבסוף, חסונים יכולים לספק הגנה לכל החיים מפני זיהומים, כלומר אם אתם מחוסנים כנגד סוג מסוים של חיידקים, אף פעם לא תידבקו על ידם במהלך כל חייכם. אנטיביוטיקות לא יכולות לעשות זאת.

כיצד חסונים יכולים להגן עלינו מפני עמידות אנטי-מיקרוביאלית?

הפחתת שימוש בלתי מתאים באנטיביוטיקה מהווה מפתח ללחימה בעמידות אנטי-מיקרוביאלית, וחסונים יכולים לסייע לנו להגיע ליעד הזה. מאחר שחסונים מונעים

איור 2

(A) חיסונים ומערכת החיסון. (B) זיכרון חיסוני שומר רישום של החיידק, כך שהגוף מוכן להילחם שוב אם אותו סוג החיידק יחזור. (C) כאשר הגוף פוגש מאוחר יותר את החיידק האמיתי, תאי החיסון המאומנים יכולים לייצר במהירות נוגדנים (חיצים בצורת Y) כדי להילחם בחיידקים הפולשים, שמנסים להגן על עצמם מפני המתקפה.



איור 2

זיהומים, הם מפחיתים את הצורך באנטיביוטיקות. פחות שימוש באנטיביוטיקה משמעותו סיכויים נמוכים יותר שחיידקים יפתחו עמידות מסוכנת נגדה.

כיום, חיסונים כבר מסייעים לנו להתמודד עם הבעיה של עמידות אנטי-מיקרוביאלית. נבחן את השפעת לדוגמה. שפעת נגרמת על ידי וירוס. אף על פי שאנטיביוטיקות הן יעילות בעצירת התרבות חיידקים, אין להן כל השפעה על וירוסים. אולם, הידבקות בוורוס השפעת מטופלת לעיתים קרובות באופן בלתי מתאים, על ידי אנטיביוטיקה. לכן, אם אנשים יתחסנו כנגד שפעת, נפחית את כמות האנטיביוטיקות שהשימוש בהן לא מתאים, ובדרך זו נפחית גם את הלחץ על חיידקים בפיתוח עמידות אנטי-מיקרוביאלית. דוגמאות אחרות לדרכים שבהן חיסונים מסייעים להפחית עמידות אנטי-מיקרוביאלית ברחבי העולם כוללות מחלות חיידקיות כמו דיפטריה ושעלת, שכנגדן כולנו התחסנו בתור ילדים. כתוצאה מהחיסונים, המחלות האלה פחות שכיחות בימינו, מה שהפחית בהרבה את הצורך באנטיביוטיקות כדי לטפל בהן. שוב, זה מפחית את הסיכון שחיידקים שגורמים לדיפטריה ולשעלת יפתחו עמידות אנטי-מיקרוביאלית.

לבסוף, ישנו היבט חשוב אחר של חיסונים שאולי שמעתם עליו, שנקרא **חסינות עדר** (איור 3). חסינות עדר היא צורה בלתי ישירה של הגנה שבדרך כלל מושגת רק על ידי חיסונים. ככל שיותר אנשים מחוסנים, כך קשה יותר למיקרובים להתפשט באוכלוסייה,

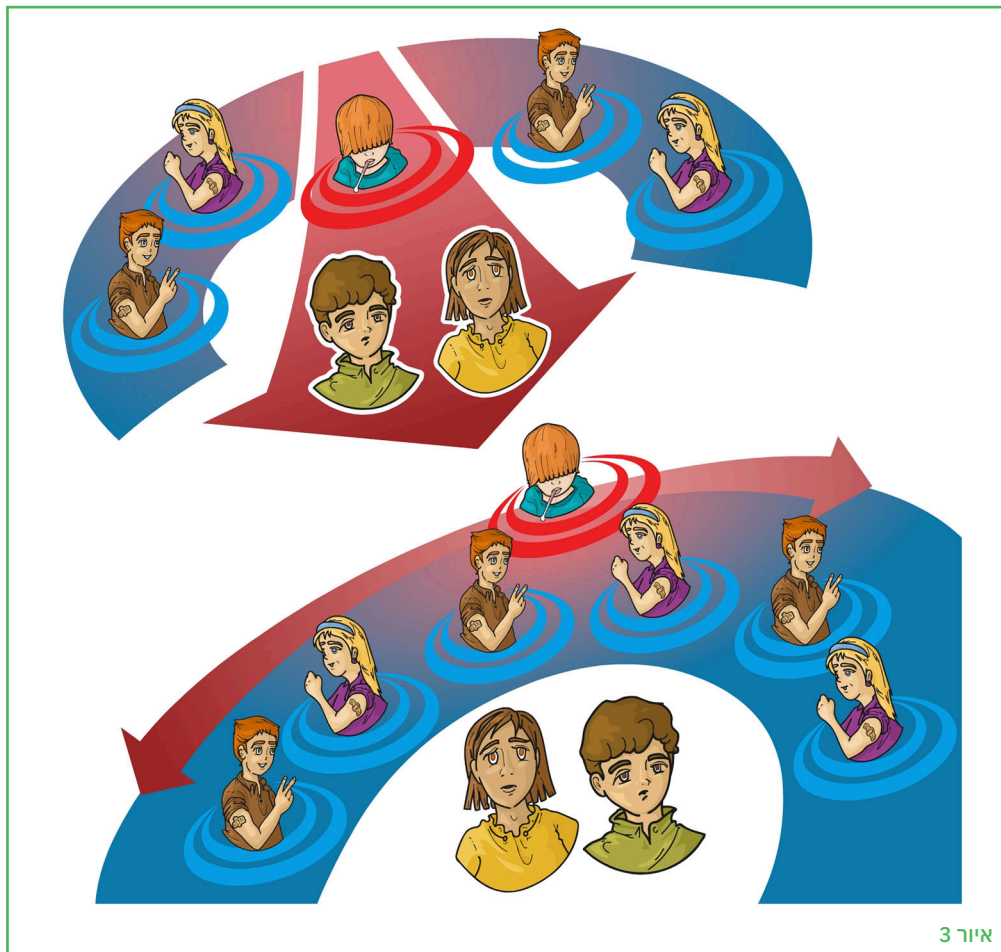
חסינות עדר (Herd Immunity)

אנשים מחוסנים יוצרים מגן כנגד זיהום של אנשים אחרים, שאינם יכולים להתחסן מסיבות רפואיות. באופן הזה, זיהום לא יכול להתפשט בקלות באוכלוסייה, כך שכל האנשים, לרבות האנשים שאינם מחוסנים, מוגנים. ראו איור 3.

מאחר שישנם פחות אנשים שביכולתם להדביק. חסינות עדר חיונית להגנה על אנשים שלא ניתן לחסן, כמו פעוטות, שהם צעירים מדי, ואנשים שהם חולים מדי מכדי לקבל חיסונים [4,5]. סיכום כל ההשפעות האלה של חיסונים הופך אותם לקו הגנה חשוב כנגד מיקרובים, ולנשק יעיל ללחימה כנגד עמידות אנטי-מיקרוביאלית.

איור 3

חשיבות של חיסונים ליצירת חסינות עדר. בפאנל העליון ישנם כמה אנשים מחוסנים (אלה עם פלסטר על הזרוע). אין מספיק אנשים מחוסנים כדי להגן על האנשים שלא התחסנו, עם החולצות הירוקות והצהובות, מהידבקות בוורוס ממישהו שנדבק (הדמות שמוקפת בעיגולים אדומים). בפאנל התחתון, ישנם מספיק אנשים מחוסנים כדי ליצור מגן כנגד הדבקה של אנשים שאינם יכולים להתחסן מסיבות רפואיות. זוהי חסינות עדר: אחרי שמספיק אנשים מחוסנים, זיהום לא יכול להתפשט בקלות באוכלוסייה, ולכן כל האנשים, כולל אלה שלא מחוסנים, מוגנים. חסינות עדר מסייעת בהתמודדות עם עמידות אנטי-מיקרוביאלית מאחר שאם פחות אנשים נדבקים, כך יידרש פחות שימוש באנטיביוטיקה.



איור 3

אנו מקווים שהמאמר סייע לכם להבין מהי עמידות אנטי-מיקרוביאלית ומדוע חשוב שנשתמש באנטיביוטיקות לפי המלצות של רופאים, וכן להבין מהו חיסון ומדוע הוא מסייע לנו להילחם כנגד עמידות אנטי-מיקרוביאלית.

מקורות

1. Bloom, D. E., Black, S., Salisbury, D., and Rappuoli, R. 2018. Antimicrobial resistance and the role of vaccines. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 115:12868–71. doi: 10.1073/pnas.1717157115
2. Klemm, E. J., Wong, V. K., and Dougan, G. 2018. Emergence of dominant multidrug-resistant bacterial clades: lessons from history and whole-genome sequencing. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 115:12872–7. doi: 10.1073/pnas.1717162115

3. Clem, A. S. 2011. Fundamentals of vaccine immunology. *J. Glob. Infect. Dis.* 3:73. doi: 10.4103/0974-777X.77299
4. Jansen, K. U., and Anderson, A. S. 2018. The role of vaccines in fighting antimicrobial resistance (AMR). *Hum. Vaccin Immunother.* 14:2142–9. doi: 10.1080/21645515.2018.1476814
5. Lipsitch, M., and Siber, G. R. 2016. How can vaccines contribute to solving the antimicrobial resistance problem? *MBio* 7:e00428-16. doi: 10.1128/mBio.00428-16

פורסם אונליין: 30 במרץ 2023

עורך: Michel Goldman

מנחים מדעיים: Elisabeth Marnik and Ajithkumar Vasanthakumar

ציטוט: Vacca F, Cardamone D, Troisi M, Sala C and Rappuoli R (2023) עמידות אנטי-מיקרובית: נשקים חזקים כנגד אויבים מסוכנים. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.554493-he

תורגם והותאם מ: Vacca F, Cardamone D, Troisi M, Sala C and Rappuoli R (2020) Antimicrobial Resistance: A Tale of Nasty Enemies and Powerful Weapons. *Front. Young Minds* 8:554493. doi: 10.3389/frym.2020.554493

הצהרת ניגוד אינטרסים: RR הוא עובד של חיסוני GSK. שאר המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהיעדר כל קשר מסחרי או כלכלי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2020 © 2023 Vacca, Cardamone, Troisi, Sala and Rappuoli. 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.

סוקרים צעירים

AARAV, גיל: 8

אני בן 8, בכיתה ג', אוהב כל דבר שקשור לבנינים ולחלל. כשאגדל, ארצה להיות ארכיטקט. התחביבים האהובים עליי ביותר הם בנייה בלגו, ובלבני עץ – קפֶּלָה וְגִ'נָּה. אני אוהב לרכוב על אופניים ולשחק עם חברים. יש לי הרבה שאלות על כל דבר, ולרבות מהן עדיין לא מצאתי תשובה.



SINHA, גיל: 8

אני אוהב לשחק עם חברים, לשחק במשחקי וידאו, וגם מדע.



הכותבים

FABIOLA VACCA

פביולה וָקָה היא דוקטורנטית בתוכנית הדוקטורט לביוכימיה ולביולוגיה מולקולרית באוניברסיטת סיינה. היא עובדת בקרן טוסקנה למדעי החיים (TLS) בקבוצת המחקר לגילוי נוגדנים חד-שבטיים, שמנוהלת על ידי דוקטור רינו פֶּאוֹאוֹלי. היא קיבלה את התואר השני שלה בביוטכנולוגיות רפואיות מאוניברסיטת סיינה. במהלך מחקר התואר השני שלה, פביולה התמקדה בפיתוח פפטידים בתור תרופה פוטנציאלית חדשה כנגד חיידקים עמידים לאנטיביוטיקה, והחלה להתעניין במחקר יישומי ובעמידות לתרופות. כיום, היא עובדת על ביסוס כלים (חיידקים שעברו שינוי גנטי) שמסייעים להבין כיצד נוגדנים חד-שבטיים פועלים.

DARIO CARDAMONE

דריו קַרְדָּמוֹנֶה הוא חוקר במעבדת גילוי נוגדנים חד-שבטיים שבהובלת דוקטור רינו פֶּאוֹאוֹלי, בקרן טוסקנה למדעי החיים בסיינה, איטליה, ודוקטורנט במערכות מורכבות למדעי החיים באוניברסיטת טורינו. המחקר שלו מתמקד בניית תמונת של חיידקים שמתקבלות על ידי מיקרוסקופים חזקים במטרה להבין כיצד נוגדנים הורגים חיידקים. דריו קיבל תואר שני במדעי המתמטיקה מאוניברסיטת בולוניה. במהלך מחקריו, הוא ביקר באוניברסיטת הומבולדט של ברלין, ועבד כעוזר מחקר במכון זוס ברלין (ZIB) – מכון מחקר רב-תחומי למתמטיקה יישומית ולמחשוב רב-נתוני מתקדם.

MARCO TROISI

מרקו טרויסי הוא דוקטורנט באוניברסיטת סיינה, וחבר בקבוצת גילוי נוגדנים חד-שבטיים שמנוהלת על ידי דוקטור רינו פֶּאוֹאוֹלי בקרן טוסקנה למדעי החיים. פרויקט המחקר שלו מכוון לפיתוח חיסונים חדשים כנגד חיידקים שעמידים לאנטיביוטיקה. למרקו יש תואר ראשון בביולוגיה ותואר שני בביוטכנולוגיה רפואית. מחקר התואר השני שלו התמקד בנייתו של איתות תאי סרטן שמעורב בהגירה תאית. במהלך לימודיו, מרקו גילה תשוקה לאימונולוגיה ומיקרוביולוגיה, ועניין גדול בחיסונים.

CLAUDIA SALA

קלאודיה סָלָה היא מיקרו-ביולוגית מולקולרית. היא קיבלה את התואר הראשון שלה במדעי הביולוגיה ואת הדוקטורט שלה בביולוגיה גנטית ומולקולרית מאוניברסיטת מילאנו, איטליה. קלאודיה עבדה כפוסט-דוקטורנטית במעבדות של פרופסור סטיוארט קוֹלֶה, במכון פסטר בפריז, ואז בבית הספר הפוליטכני הפדרלי של לוזאן (EPFL), שם היא קודמה להיות מדענית בכירה. המחקר שלה התמקד בעיקר ב-*Mycobacterium tuberculosis*. בשנת 2019 היא עברה לקרן טוסקנה למדעי החיים בסיינה, והצטרפה לקבוצת גילוי נוגדנים חד-שבטיים בראשות דוקטור רינו פֶּאוֹאוֹלי, שם היא עורכת מחקר על נוגדנים חד-שבטיים ופיתוח חיסונים. *c.sala@toscanalifesciences.org

RINO RAPPUOLI

רינו פֶּאוֹאוֹלי הוא ראש מעבדת vAMRes בקרן טוסקנה למדעי החיים בסיינה, ומדען ראשי וראש מחקר ופיתוח בחיסוני GSK, סיינה, איטליה. הוא קיבל כמה פרסים לרבות פרס Paul Ehrlich and Ludwig Darmstaedter, מדליית זהב מנשיא איטליה, מדליית זהב Albert B. Sabin, פרס Canada Gairdner International ואת הפרס האירופאי למפעל חיים לממציא. הוא פיתח, בין



השאר, את החיסונים לשעלת ולמנינגוקוקוס B, והוכר כאדם השלישי המשפיע ביותר בעולם בתחום של חיסונים. דוקטור רפואלי הוא בין המובילים המדעיים בעולם בקידום בריאות עולמית.

[†]מחברים אלו תרמו לעבודה זו בצורה שווה.

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