

מאאויץ' לאה-הה! הבנת פצעים, החלמה וזיהומים

Snehal Kadam, Karishma S. Kaushik*

המכון לביואינפורמטיקה וביוטכנולוגיה, אוניברסיטת סביטריבאי פיול בפונה, פונה, הודו

סוקר צעיר

HIRANGA

גיל: 8



כולנו חווינו פצע, פגיעה מקומית בעור, באיזושהי נקודה בחיינו. לעיתים קרובות, פצעים מחלימים לגמרי וּגְלָד הוא הסימן היחיד לפציעה. חוץ מהכאב והדימום הראשוניים, אנו עשויים שלא לשים לב כל כך לתהליך שבו הפצע מחלים, או לסיבוכים האפשריים שיכולים להתרחש. התהליך של החלמת פצע מערב סדרה מתואמת של צעדים, שכוללים תאים, רקמות וכימיקלים רבים בגוף. הפרעות לתהליך החלמת הפצע, שלעיתים קרובות נגרמות על-ידי נוכחותם של חיידקים, מובילות להפרעות רציניות ולעיכובים בהחלמת הפצע. יתרה מזו חלק מצורות החיידקים יכולות להיות עמידות בפני אנטיביוטיקה, מה שמקשה על הטיפול בפצעים מזהמים. במאמר הזה נדון בשלבים של החלמת פצע, נסביר כיצד חיידקים יכולים לעכב התהליך הזה ונתאר צעדים פשוטים שאתם יכולים לאמץ כדי למנוע זיהומים של פצעים.

הקדמה

אאויץ! האם אתם זוכרים את הפעם האחרונה שנפלתם על רצפת המשחקים ופצעתם את העור שלכם? או בטעות חתכתם את האצבע שלכם באמצעות סכין? אולי זה היה לא מזמן. אתם עשויים גם לזכור מה קרה אחרי כן. הפציעה אולי גרמה לנזילה של דם, שהפסיק לנזול זמן קצר לאחר מכן וחשף עור פגוע ואדמומי. אם הפגיעה הייתה עמוקה, ייתכן שביקרתם ברופא.

הרופא ודאי ניקה את העור הפגוע וכיסה אותו עם תחבושת. במהלך הימים הבאים, ייתכן שהבחנתם שהעור הפגוע שינה צבעים מאדום בהיר לכחול-שחור, ולבסוף הפגיעה הוחלפה עם עור חדש. אחרי שהעור הפגוע החלים, ייתכן שראיתם צלקת בצבע העור במקום של הפגיעה. אם זה נשמע מוכר, משמעות הדבר היא שהפגיעה שלכם גרמה למה שנקרא פצע, אשר הוביל לצעדים רגילים של התאוששות, או החלמה. סביר להניח שהפצע שלכם בסופו של דבר החלים בלי בעיות.

פצעים

העור הוא האיבר הגדול ביותר בגוף, והוא משמש כשכבת הגנה שמסוככת על הגוף מפני הסביבה החיצונית. ה**אֵפִידֶרְמִיס**, השכבה החיצונית ביותר של העור, מכיל תאים שידועים כקרטינוציטים. השכבה האמצעית, ה**דֶרְמִיס**, מכילה סוג אחר של תאי עור שידועים בשם פיברובלסטים, וכלי דם שנושאים דם אל העור וממנו. לדרמיס גם יש סיבֵי רקמה שמספקים תמיכה לתאים שבתוך העור.

שבירה של שכבות העור האלה, שלעיתים קרובות נובעת ממכה או מחתך, יכולה לגרום להפרעה במבנה העור ובתפקודו, והיא ידועה כפצע. פצעים שטחיים הם פגיעות באפידרמיס בלבד. פצעים עמוקים נמשכים כל הדרך לתוך הדרמיס, וגורמים נזק גדול יותר לתאי העור ולסיבי הרקמה, מה שגורם לפער בעור. בפצעים עמוקים, כלי הדם גם ניזוקים, מה שמוביל לנזילות, שזו הסיבה לכך שהפצעים האלה מדממים. אם כן, מה קורה אחרי שאתם נפגעים, וכיצד הגוף מגיב לפצע?

החלמת פצעים

אחרי פגיעה, הגוף מתחיל לתקן את העור הפגוע דרך תהליך של החלמת פצעים, שמערב סדרה של ארבעה צעדים מתואמים (איור 1) [1]. הצעד הראשון מערב הפסקה של זרימת דם על-ידי יצירת קריש דם בפצע, וזה קורה כמעט מייד אחרי הפגיעה. כדי ליצור קריש דם, רכיבי דם מְתִקְשָׁרִים ויוצרים פקק משוחרר שבנוי מחוטי חלבונים ותאי הדם שנמצאים באתר הפצע. לאחר מכן, מספרים גדולים של **תאי חיסון** מגיעים לאתר הפצע דרך כלי דם, ומשחררים כימיקלים שמתחילים לבנות רקמה חדשה בפצע. בשלב השלישי, הפצע מתמלא בהדרגה ברקמת עור חדשה שמחליפה את הפער שנוצר על-ידי הפגיעה. זה עובד קצת כמו אבני בניין, כאשר סוגים שונים של חלבונים בעור משמשים כמשטח המוצק והדביק שעל גבי הרבה שכבות של תאי עור יכולות להתחבר ולגדול. בשלב האחרון של החלמת פצע, רקמת העור החדשה הזו מתחזקת וממלאה לחלוטין את הפצע. השלב הזה מחליף את הרקמה שניזוקה עם רקמת גלד שדומה לעור רגיל. זה משלים את תהליך החלמת הפצע. כל תהליך החלמת הפצע מתחיל מייד אחרי הפגיעה, ובדרך כלל אורך כמה שבועות. אולם, במצבים מסוימים, פצעים לא מבצעים את תהליך השיקום המתואם הזה, מחלימים לאט יותר, או לא מחלימים כלל. מדוע חלק מהפצעים לא מצליחים להחלים כראוי?

זיהומי פצעים

אחת הסיבות העיקריות לכך שפצעים עשויים שלא להחלים כראוי היא נוכחותם וגדילתם של **מיקרובים**, שהם צורות חיים זעירות, שנמצאים בפצע. מיקרובים הם אורגניזמים זעירים שאי אפשר לראות בעין בלתי מזוינת. בעוד שמיקרובים רבים מועילים עבורנו, מיקרובים מזיקים

אפידרמיס (Epidermis)

השכבה החיצונית של העור שלכם. כשאתם מסתכלים על העור שלכם, אתם רואים את החלק העליון ביותר של האפידרמיס, שמכיל תאים מתים. בתחתית האפידרמיס, תאים חדשים נוצרים והם נעים בהדרגה מעלה לכיוון פני השטח, ומחליפים באופן שוטף תאים מבוגרים יותר.

דרמיס (Dermis)

שכבת העור שמתחת לאפידרמיס אשר מכילה כלי דם, זקיקי שערות, בלוטות זיעה, בלוטות שומן וקצוות של תאי עצב.

תאי חיסון (Immune Cells)

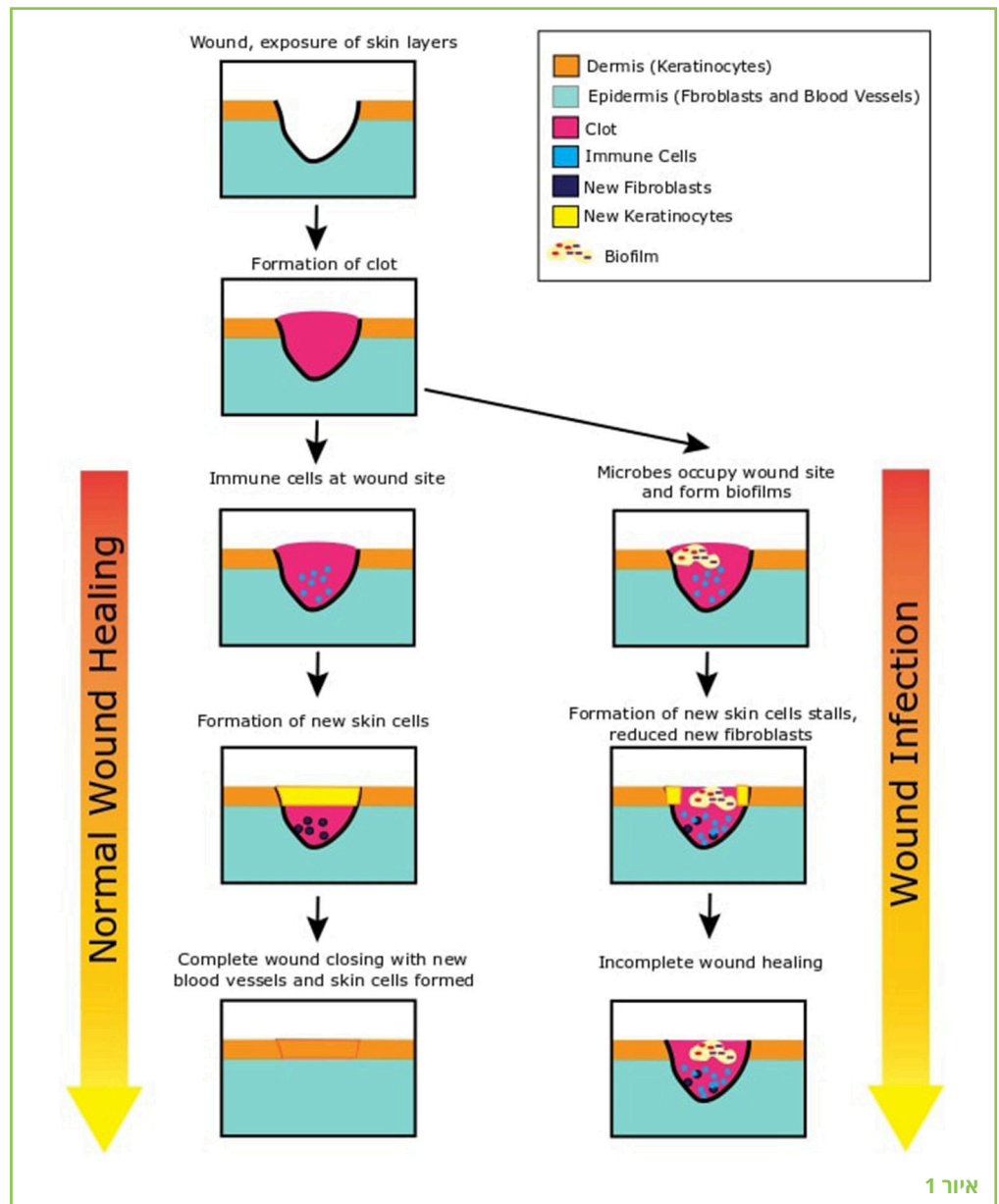
תאים שמגינים על הגוף כנגד פולשים, כמו למשל מיקרובים.

מיקרובים (Microbes)

צורות חיים מיקרוסקופיות כמו למשל חיידקים, וירוסים, פטריות, פרוטוזואה, שחלקם יכולים לגרום לזיהומים אצל בני אדם.

איור 1

האיור הזה מראה שתי תוצאות אפשריות אחרי שהעור נפצע. **משמאל:** אנו רואים מה קורה כשהפצע מחלים כרגיל. אחרי שהעור נפצע, נחשפות שכבות פנימיות של העור. מייד נוצר קריש דם שמפסיק את אובדן הדם. תאי חיסון מהגרים לאתר הפצע, ומשחררים כימיקלים. הכימיקלים האלה מאותתים לשכבות העור (אפידרמיס ודרמיס) לגדל תאי עור חדשים שנעים כדי למלא את הפער של הפצע. בסוף, רקמת העור החדשה שנוצרה מתחזקת וסוגרת את הפצע, כדי להחזיר את העור למצבו התקין. **מימין:** אנו יכולים לראות מה עשוי לקרות במקרה של זיהום. חיידקים מאכלסים את הפצע הפתוח ומתחילים לגדול ולהתרבות במספרם. הם יוצרים ביופילמים בפצע. הם גם משחררים כימיקלים שמדכאים את מערכת ההגנה של העור שלנו. מאחר שתאי החיסון לא יכולים לפנות את החיידקים הזיהומים, נפסקת יצירתם של תאי עור חדשים. המצב הזה יכול להמשיך ולגרום להחלמה בלתי מלאה של הפצע.



איור 1

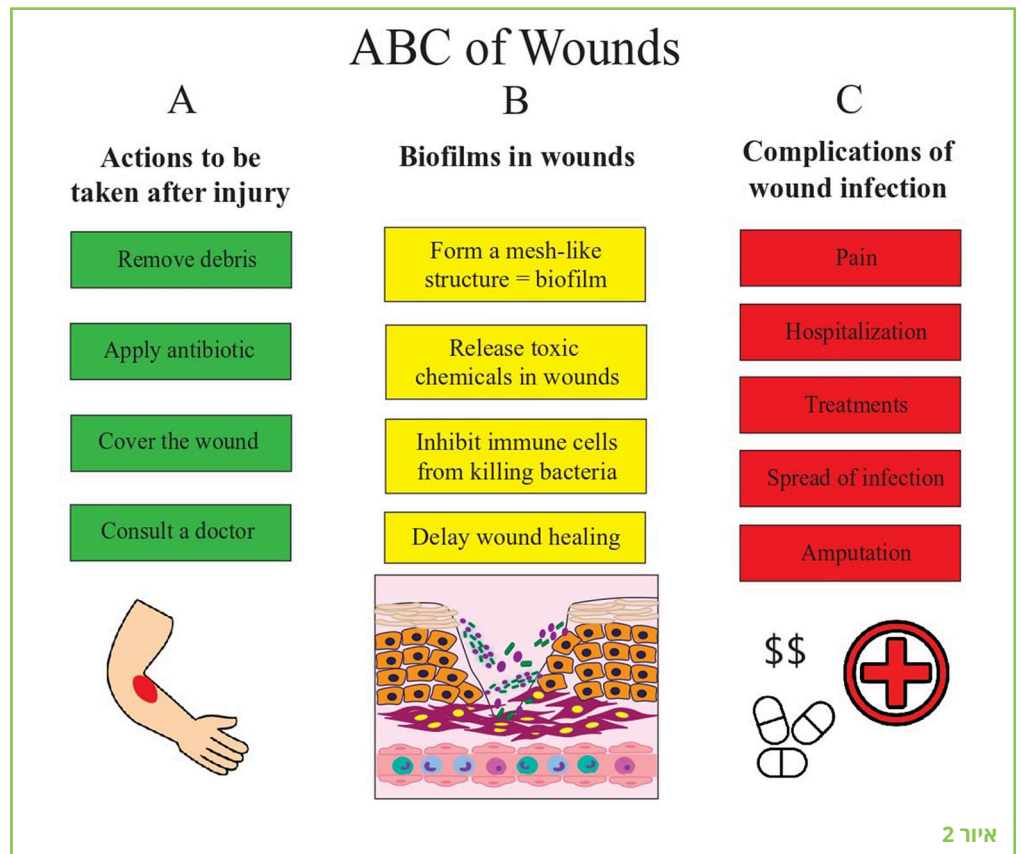
זיהום (Infection)

כאשר מיקרובים מזיקים נכנסים לגוף, למקום שאליו הם לא שייכים, זה נקרא זיהום. המיקרובים האלה מזיקים לגוף בצורה של זיהומים.

מסוימים עלולים לגרום לנו לחלות, וזה ידוע כ**זיהום**. כאשר מיקרובים מזיקים חיים ומתרבים בפצע, זה מוביל לזיהום הפצע [2]. זיהומים בפצעים מאטים, ולעיתים מונעים, את תהליך ההחלמה. חיידקים הם המיקרובים שלעיתים קרובות גורמים לזיהומי פצעים, ובדרך כלל פצע יכול להיות מזוהם על-ידי יותר מסוג אחד של חיידקים. אולם, כיצד החיידקים נכנסים לפצעים מלכתחילה? אפשרות אחת היא דרך אובייקט או חומר שיש עליו חיידקים, כמו למשל סכין לא נקיה או אדמה ממגרש המשחקים. אפשרות אחרת היא שחיידקים מהאוויר בסביבה יכולים להתיישב על משטח של פצע פתוח. למעשה, זו הסיבה לכך שלעיתים קרובות רופאים מכסים את הפצעים עם תחבושת - כדי למנוע חשיפה למיקרואורגניזמים באוויר. לעור יש אסטרטגיות הגנה כדי להסיר חיידקים שמתיישבים על הפצע, ולעיתים קרובות החיידקים נהרגים והחלמת הפצע ממשיכה. אולם תנאים כמו ניקיון לא מספיק של הפצע, בריאות כללית ירודה, גיל מבוגר, או מחלה כמו סוכרת, יכולים להחליש את מערכת ההגנה של העור, מה שמעלה את הסיכוי לזיהומים בפצע. המצבים האלה עשויים להוביל לפצעים שאינם מחלימים, מה שיכול

איור 2

האיור מראה לנו את המאפיינים הבסיסיים של פצעים. (A) אחרי שהעור נפגע, נדרש טיפול מתאים כדי למנוע זיהום ולעודד החלמה רגילה של הפצע. צריך לנקות פצעים ולמרוח עליהם אנטיביוטיקה במטרה למנוע זיהום. במקרים של פצעים חמורים, או כשיש ספק לגבי הצעדים הבאים, בקרו אצל הרופא. אם הפצע לא יטופל כראוי, הוא עשוי להזדהם. (B) חיידקים יכולים להיכנס לפצע וליצור ביופילמים. הם משחררים כימיקלים שמונעים מתאי חיסון להרוג את החיידקים האלה, ומעכבים את החלמת הפצע. כאשר מספר החיידקים בפצע גדל אפילו יותר והזיהום נעשה חמור, זה יכול להוביל לסיבוכים. (C) הפצע שלא מחלים יכול לגרום לכאב רב ולדרוש מכם להישאר בבית חולים לקבלת טיפול. זיהומים גם יכולים להתפשט לאזורים אחרים בגוף. במקרים חמורים מסוימים, כאשר אפילו טיפול לא מצליח להסיר את הזיהום, רופאים עשויים להסיר את האיבר או חלק מהעור שבו הזיהום מתרחש.



איור 2

לגרום לכאב, לחוסר נוחות ולבזבוז של זמן וכסף בבתי חולים או בטיפולים. במקרים קיצוניים, התפשטות הזיהום עלולה להוביל למצב של קטיעת האיבר המזוהם!

מבט קרוב יותר על חיידקים בפצעים

ברגע שחיידקים נכנסים או מתיישבים על עור פגוע, הפצע מספק את חומרי המזון שנדרשים להם כדי להתרבות ולפשט את הזיהום. בתנאים האידיאליים האלה עבורם, חיידקים בודדים גדלים ויוצרים קהילות חיידקים שמוכרות כ**ביופילמים** (איור 1) [3]. ביופילמים מכילים כמות חיידקים גדולה. החיידקים מקובצים יחד ויוצרים מבנים דחוסים, דמויי מַזְרָן, שמכסים את כל פני השטח של הפצע [4]. חיידקי ביופילם מוחזקים יחד על ידי רשת של חלבונים וסוכרים, שדומה לדבק, ולעיתים קרובות מיוצרת על-ידי החיידקים עצמם. הרשת הזו לא רק מחזקת את מבנה הביופילם מבפנים אלא גם משמשת כשכבת הגנה עבור החיידקים, כאשר היא מקיפה את כל הביופילם. כאשר חיידקים גדלים בתוך הפצע הם מייצרים כימיקלים קטנים שמשמשים כאותות תקשורת עם חיידקים אחרים, וגם משפיעים על תאי החיסון וכלי הדם של המארח שהם מזהמים. תאי חיסון יכולים להגיב לאותות האלה בניסיון להרוג את החיידקים ולהגביל את התפשטות הזיהום. אולם צפיפות גבוהה של חיידקים, והכימיקלים הרעילים שהחיידקים מייצרים, עשויים להפחית את יכולתם של תאי החיסון להרוג חיידקים, מה שגורם לגוף לא להיות מסוגל להסיר את הביופילם. זה גורם לגדילה ולהתפשטות נוספת של הביופילם, שבתורו מסבך ומעכב את החלמת הפצע.

ביופילם (Biofilm)

קהילת חיידקים שחיים יחד בתוך רשת כיסוי של חלבונים שהם מפרישים.

אנטיביוטיקה (Antibiotic)

תרופה שהורגת מיקרובים, או מונעת את גדילתם.

הסרת הביופילם של הפצע דורשת התערבות רפואית, בדרך כלל בצורה של טיפול באמצעות **אנטיביוטיקה**. אנטיביוטיקות ניתנות בצורה של משחה, תחבושות, או מריחה של תמיסה על גבי הפצע. ביופילמים של פצעים לעיתים קרובות דורשים מריחה חוזרת של אנטיביוטיקה, במשך כמה ימים. אפילו אם הטיפול המתאים ניתן, ביופילמים של פצע יכולים להמשיך להתקיים ולגרום לפצע שלא מצליח להחלים [4].

מדוע קשה לטפל בביופילמים של פצעים?

קהילות חיידקיות בצורת ביופילם יכולות לעיתים לשרוד טיפולים של אנטיביוטיקה. אחת הסיבות לכך היא צפיפותם של החיידקים בביופילם, מה שמזכיר לנו את האמרה "ביחד אנו עומדים, בנפרד אנו נופלים". ריכוזים של אנטיביוטיקה שפועלים טוב כנגד מספרים קטנים של חיידקים, יכולים שלא להיות מספיקים כדי להרוג מספרים גדולים של חיידקי ביופילם או למנוע את גדילתם. החיידקים האלה גם מוטבעים ברשת של חלבונים וסוכרים שיוצרת שכבת כיסוי סביב לביופילם. הרשת הזו יכולה לשמש כשומר ראש, והיא מאטה את כניסת האנטיביוטיקה לחלקים הפנימיים של הביופילם, ומגינה על החיידקים במרכז הביופילם. חיידקים בביופילם גם מייצרים כימיקלים שיכולים לפרק אנטיביוטיקות מסוימות. לבסוף, לחיידקי ביופילם גם יש יכולת להאט את הגדילה שלהם ולהפחית את צריכת חומרי המזון, אולם עדיין להישאר בחיים במצב רדום, בפעילות מועטה. התכסיס הזה מתעתע באנטיביוטיקות, מאחר שחלק מהאנטיביוטיקות יודעות לפעול רק כנגד תאי חיידקים שגדלים. החיידקים הרדומים האלה יכולים לשרוד טיפול באנטיביוטיקה, ולהתחיל לגדול שוב בתום הטיפול.

מה ניתן לעשות כדי לסייע להחלמה של פצעים?

בהינתן הקושי של טיפול מוצלח בחיידקי ביופילם של פצעים באמצעות אנטיביוטיקה, רופאים ומדענים מחפשים גישות חדשות לטפל בביופילמים של פצעים. שיטות חדשות כוללות מריחה של חומרים צמחיים שהורגים מיקרובים; שימוש בחיידקים טובים (פרוביוטיקה) כדי שיתחרו עם חיידקי הפצע המזיקים; חשיפת הפצע לאור כחול או לכוחות ואקום, או שימוש בשילוב של הטיפולים האלה [5]. בכל מקרה, האסטרטגיה הטובה ביותר היא למנוע זיהומי פצעים, במיוחד עבור אנשים שנמצאים בקבוצת סיכון של פצעים שלא מחלימים. עבור זה, כמדענים אזרחיים צעירים, הצעדים הראשונים שאתם יכולים לבצע הם הסרת החומר הזר מהפצע, מריחת משחה אנטיביוטית וכיסוי עדין של הפצע באמצעות תחבושת הגנה. אחרי כן רופא יכול להעריך את חומרת הפצעה (איור 2). אם כן, בפעם הבאה שתהיו עדים לנפילה במגרש המשחקים, יהיה לכם את כל המידע שאתם צריכים כדי לסייע לעצמכם ולמי שסביבכם להבין פצעים, כיצד הם מחלימים, מה קורה כשהם מזדהמים, ומדוע אנו צריכים לנסות למנוע זיהומים. אה-ה לזה!

מקורות

1. Gurtner, G. C., Werner, S., Barrandon, Y., and Longaker, M. T. 2008. Wound repair and regeneration. *Nature*. 453:314–21. doi: 10.1038/nature07039
2. Bowler, P. G., Duerden, B. I., and Armstrong, D. G. 2001. Wound microbiology and associated approaches to wound management. *Clin. Microbiol. Rev.* 14:244–69. doi: 10.1128/CMR.14.2.244-269.2001

3. Costerton, J. W., Lewandowski, Z., Caldwell, D. E., Korber, D. R., and Lappin-Scott, H. M. 1995. Microbial biofilms. *Annu. Rev. Microbiol.* 49:711–45.
4. Zhao, G., Usui, M. L., Lippman, S. I., James, G. A., Stewart, P. S., Fleckman, P., et al. 2013. Biofilms and inflammation in chronic wounds. *Adv. Wound Care (New Rochelle)*. 2:389–99. doi: 10.1089/wound.2012.0381
5. Kadam, S., Shai, S., Shahane, A., and Kaushik, K. S. 2019. Recent advances in non-conventional antimicrobial approaches for chronic wound biofilms: have we found the 'Chink in the Armor'? *Biomedicines*. 7:35. doi: 10.3390/biomedicines7020035

פורסם אונליין: 28 בינואר 2022

נערך על ידי: Valerie Gerriets

מנחה מדעי: Viduranga Waisundara

ציטוט: Kadam S and Kaushik KS (2022) מאוץ לאה-הה! הבנת פצעים, החלמה וזיהומים. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2019.00157-he

תורגם והותאם: Kadam S and Kaushik KS (2020) From Ouch to Ah-ha! Understanding Wounds, Healing, and Infections. *Front. Young Minds* 7:157. doi: 10.3389/frym.2019.00157

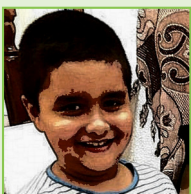
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2020 © Kadam and Kaushik. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). 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.

סוקר צעיר

HIRANGA, גיל: 8

אני ילד שמח ואנרגטי. אני אוהב גינות, ומבלה הרבה זמן בחוץ בטיפול בצמחי העגבניות והצ'ילי שלי. אני אוהב לנגן על פסנתר, והשיר שאני הכי אוהב לנגן הוא "וולסינג מתילדה". אני גם שר ואני חבר במקלה. השיר שאני הכי אוהב לשיר הוא "נסו הכול" מהסרט זוטופיה. אני גם אוהב לשחות ולשחק בדמינטון.



הכותבות

SNEHAL KADAM

השלמתי את התואר השני שלי מהמכון ההודי לחינוך מדעי ולמחקר (IISER) בפונה. כיום אני חוקרת פתוגנים של פצעים וזיהומים של פצעים במכון לביואינפורמטיקה וביוטכנולוגיה, הודו. בהיותי מרותקת על-ידי כל מה



שקשור לחיידקים, אני מתעניינת במיוחד בחקר פתוגנים של חיידקים ובהבנת אינטראקציות מארח-פתוגן בסוגים שונים של זיהומים. כשאיני במעבדה אני קוראת, רוקדת, או מוצאת מקומות חדשים ואוכל חדש לחקור!



KARISHMA S. KAUSHIK

Karishma היא רופאה ומדענית. היא בילתה יותר מ-15 שנים בלימודים, ואומרת בגאווה שהיא נהנת להיות בבית ספר! כיום היא מובילה קבוצה צעירה ודינמית של חוקרים בהודו, והם חוקרים זיהומים של פצעים וביופילמים. חוץ מחייה במעבדה, היא אוהבת לבלות זמן עם בעלה ובנם הצעיר, ויחד הם טיילו לשש יבשות! *karishmaskaushik@gmail.com

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