



מל"מ המרכז הישראלי
לחינוך מדעי טכנולוגי ע"ש עמוס דה שליט



הטכניון
מכון טכנולוגי
לישראל

Technion
Israel Institute
of Technology

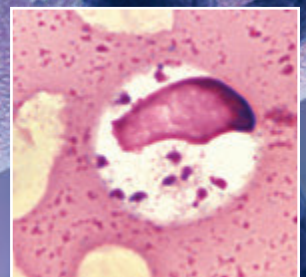
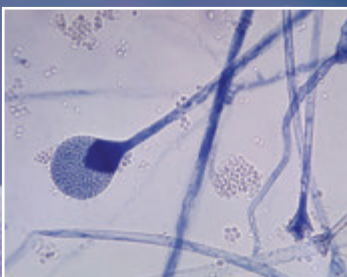
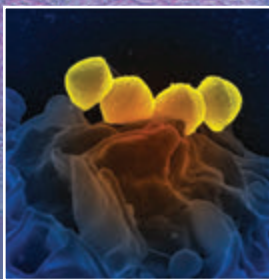
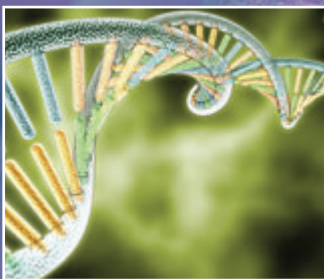


אגף א' למדעים
המזכירות הפדגוגית משרד החינוך

הסמויים מן העין

על מיקרואורגניזמים וביוטכנולוגיה

מאת: אסתי לסלו
ראש פרויקט: טלי טל

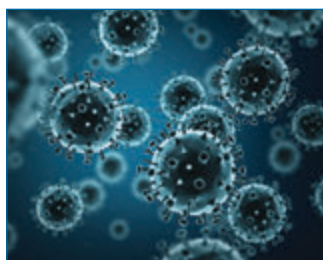


משרד החינוך
4517
אישור מס':
17.2.19
אישור בתאריך:

הסמויים מן העין

על מיקרואורגניזמים וביוטכנולוגיה

מאת: אסתי לסלו
ראש פרויקט: טלי טל



הסמויים מן העין

על מיקרואורגניזמים וביוטכנולוגיה

פיתוח וכתובה: ד"ר אסתר לסלו

ראש הפרויקט: פרופ' טלי טל

עריכה ויעוץ דיסקטי: ד"ר מאשה צאוש

עריכה מדעית: ד"ר סיגל כורם

עריכה לשונית: ד"ר אבשלום גינוסר

עיצוב גרפי: ספרי ניב בע"מ, דגנית סטנייצקי

תמונות ואיורים: רשימת קרדיטים מלאה מופיעה בסוף החוברת

הוצאה: משרד החינוך

קראו והעירו: ד"ר מיכל נחשון, ענת אסולין ירדן קדמי

תודות לפרופ' ראובן לזרוביץ וד"ר מחמוד חליל ראש הפרויקט
וכותב הספר "עולמם המופלא של המיקרואורגניזמים".

תודה למורים שהתנסו בהוראה מוקדמת ושיתפו בהערותיהם:
נורית לנדמן ונאוה רון.

תודה לפרופ' אילת ברעם צברי ולחברי קבוצת המחקר לתקשורת
המדע ולהוראת הביולוגיה בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה
בטכניון על רעיונותיהם שהיוו השראה לגישה החינוכית של ספר זה.

© כל הזכויות שמורות למשרד החינוך

הסמויים מן העין

על מיקרואורגניזמים וביוטכנולוגיה

על המורה להתעדכן בנהלים העדכניים להבטחת הבטיחות במעבדות,
שמפורסמים בחוזר מנכ"ל לפני ביצוע כל אחד מהניסויים.

תוכן העניינים

הקדמה	6
מבוא למיקרואורגניזמים	9
מעבדה 1: היכן נמצאים מיקרואורגניזמים?	12
מעבדה 2: מיקרואורגניזמים מבעד למיקרוסקופ	16
פרק 1: מיקרוביום	22
מעבדה 3: מיקרוביום בגוף האדם	25
התפתחות המיקרוביום בגוף האדם	27
על השמנה, מיקרוביום ואחריות	28
פרק 2: חיידקים	31
מעבדה 4: צביעת חיידקים	31
מעבדה 5: תאי החיידקים ותאים אחרים	33
2.1 רביית חיידקים	35
2.2 גידול חיידקים	38
2.3 מחלות	40
2.4 אנטיביוטיקה	47
מעבדה 6: רגישות חיידקים לאנטיביוטיקה	56
פרק 3: נגיפים	61
גודלם של הנגיפים	62
מבנה נגיפים	63
תהליך ההדבקה	64
3.1 מחלת השפעת	66
3.2 עוד מחלות נגיפיות	72
פרק 4: מיקרואורגניזמים אאוקריוטים	74
מעבדה 7: מיקרואורגניזמים אאוקריוטים	75
4.1 מחוללי מחלות אאוקריוטים	77
4.1.1 מה הקשר בין מחלה, הרחבת ישובים וחיות בר?	77

פרק 5: חיסון.....83

- 5.1 מערכת החיסון - היכרות כללית.....84
- 5.2 מהבנת מערכת החיסון ועד למניעת מחלות.....88
- 5.3 חיסונים - טכנולוגיה רפואית למניעת מחלות.....89
- 5.4 על חיסונים ועל מתנגדים.....92
- 5.5 פעילות סיכום לפרק החיסון.....96

פרק 6: ביוטכנולוגיה.....98

- 6.1 מיקרואורגניזמים בתעשיית המזון.....98
- 6.1.1 לחם.....99
- מעבדה 8:** פיתוח מתכון לאפיית לחם.....100
- 6.1.2 יין.....104
- 6.1.3 מוצרי חלב.....109
- מעבדה 9:** הכנת יוגורט ולבנה.....109
- 6.2 הארכת חיי מדף.....112
- מעבדה 10:** הסתכלות בעובש מבעד למיקרוסקופ.....112
- 6.3 מזון מהונדס גנטית.....114
- מעבדה 11:** הפקת DNA אנושי.....116
- 6.3.1 דילמה ביו-אתית: מזון מהונדס גנטית.....120
- 6.4 מיקרואורגניזמים וסביבה.....123
- 6.4.1 מיחזור החומרים בטבע.....124
- 6.4.2 מיחזור אשפה אורגנית.....129

הקדמה

מטרה

ספר זה נכתב במטרה להקנות אוריינות מדעית. אוריינות מדעית עשויה להקנות כלים לקבלת החלטות מושכלות בחיי יומיום, המבוססות על ידע מדעי. הספר מקנה ידע רלוונטי להבנת תופעות מחיי היומיום, מעודד חשיבה מדעית, מפתח תפיסות אודות מהות המדע, ועוסק גם בהיבטים חברתיים ומוסריים בהקשר של הנושאים המדעיים הנלמדים.

גישת ההוראה

אנו שואפים ללמידה בהקשר רלוונטי לחיי התלמיד, תוך שימוש בידע וניסיון קודם של התלמידים. התוכן המדעי מוצג לתלמידים באופן המזמין אותם להשתמש בו בחיי יומיום. הספר מספק הזדמנויות רבות ללמידה שיתופית, ולהתנסות פעילה. להלן כמה צלמיות שיופיעו לאורך הספר והסבר משמעותן.

שאלת שאלות



להגברת למידה מתוך עניין ומוטיבציה פנימית, הספר משלב הזדמנויות לעיסוק בשאלות המעניינות את התלמיד. שאלות אלו יאספו בתחילת כל פרק ויהוו בסיס לסיכום הפרק. מומלץ מאד לשלב נושאים ודוגמאות שעלו מתוך שאלות התלמידים בהזדמנויות מתאימות במהלך הוראת הפרק (ר' חגי וברעם צברי 2012)¹.

הזדמנויות ללמידה שיתופית



הספר מאפשר ומעודד דיונים ולמידה שיתופית לשם הבניית ידע ומשמעויות, הנוצרים תוך היכרות עם נקודות מבט של התלמידים.

מעבדות תצפית ומעבדות חקר



מיומנויות מעבדה וחקר נלמדות תוך התנסויות מעשיות והכרת הנושא באופן אמפירי.

דרמה



המחזות תופעות מדעיות מאפשרות לתלמיד לחדד הבנת תהליכים מדעיים, תוך מעורבות רגשית והנאה. תכנון האנלוגיה המומחזת לתופעה, הביצוע והרפלקציה מאפשרים הבנה מעמיקה יותר של הנושא (ר' פלג וברעם צברי 2009)².

1 רעיונות לשילוב ניתן למצוא במאמר: חגי, גלית וברעם צברי, אילת (2012) להקשיב לקול התלמיד: שילוב שאלות תלמידים בתכנית הלימודים כמשאב להגברת העניין בשיעורי הביולוגיה, עלון למורי הביולוגיה ולמורי מדעי הסביבה: 185 <https://tinyurl.com/micro-hagai>

2 השיטה מתוארת במאמר: פלג, רן וברעם צברי, אילת (2009) דרמה מתחת למיקרוסקופ: תיאטרון בהוראת המדעים. מוט"ב כעת, גיליון מס' 4, תשס"ט.

בספר באים לידי ביטוי תכנים, מיומנויות ותפיסות המתבססים על תכנית הלימודים של מוט"ל וה-NGSS³

1. תכנים: רעיונות מרכזיים (מתוך תכנית הלימודים)

- מיקרואורגניזמים הם יצורים זעירים החיוניים להתרחשותם של תהליכים רבים בטבע
- חיידקים מתרבים על ידי חלוקת התא
- נגיפים הם טפילים ויכולת התרבותם תלויה בתא המאכסן
- חיידקים ונגיפים גורמי מחלות מסוגלים להתרבות בגוף האדם ולפגוע בתאי הגוף
- ניתן למנוע מחלות הנגרמות על ידי מיקרואורגניזמים ולטפל במחלות בדרכים שונות
- מחלה היא מצב של פעילות לא תקינה של מערכות בגוף שעלול להיגרם מסיבות שונות
- לאורח החיים של הפרט ולהתפתחות המדע והטכנולוגיה יש השפעה על הבריאות
- אורח חיים בריא הוא מכלול התנהגויות מקדמות בריאות שהאדם יכול לשלוט בהן והן מאפשרות לו להגיע לאיכות חיים מיטבית במסגרת יכולתו ותנאיו
- מיקרואורגניזמים מתרבים במזון ועלולים לגרום לקלקול
- האדם משתמש במיקרואורגניזמים ברפואה, בתעשייה ובחקלאות

2. מיומנויות: פרקטיקות מדעיות (בהתבסס על NGSS)

- ניסוח שאלות רלוונטיות לסוגיה או לתופעה המזמנת חקר, או הגדרת בעיה (בטכנולוגיה)
- תכנון וביצוע חקירה [העלאת השערות, בידוד משתנים, זיהוי גורמים המשפיעים על התופעה, זיהוי תנאים קבועים, ביצוע ניסוי, תצפית או סקר]
- ניתוח ופרשנות של נתונים [הצגת ממצאים בגרפים וטבלאות, עיבוד ממצאים]
- בניית הסברים או יצירת פתרונות [גיבוש מסקנה המבוססת על נתונים, בחינת תוקף המסקנה וביסוסה על הממצאים או על המידע]
- טיעון מבוסס ראיות [בניית טענה מבוססת נתונים, זיהוי נקודות תורפה בטיעונים מדעיים בהתאם לנתונים והנמקות, זיהוי מאפיינים מרכזיים בטיעון מדעי: טענה, ממצאים ונימוקים]
- איתור, הערכה והצגת מידע [ייצוג מידע באמצעים שונים, כמו תיאור מילולי, טבלה, גרף ותרשים, על מנת להסביר או לדון במערכת הנחקרת, קריאה ביקורתית של מאמר מדעי מעובד או דיווח תקשורתי, תוך דיון במהימנות ותקפות הנתונים, ההשערות והמסקנות]

2.1 מיומנויות נוספות: הנמקה אתית



בדיונים אודות סוגיות המעלות דילמות אתיות אנו מטפחים מיומנויות הנמקה אתית⁴ כגון:

- הגדרת ערכים (כגון אמת, הגינות, יושרה, זכויות, חובות, אחריות), ובחינת יחסים בין ערכים (כגון התנגשות ערכים, היררכיה של ערכים)
- חשיפה למיומנות חשיבה המתייחסת לזכויות וחובות
- חשיפה למיומנות חשיבה תועלתנית בהתאם לתועלת ומזעור נזקים
- הכרה והגדרת סמכויות (כגון חוק, כללי אתיקה מקצועית, מוסר אישי-מקצועי, סמכות דתית).

3 The Next Generation Science Standards

4 ראו לסלו וברעם צברי (2017) על מדע, אתיקה ו... טוקבקים. מה אפשר ללמוד מהשיח הציבורי המקוון על חינוך

לאוריינות מדעית? שמורת טבע 194 <https://tinyurl.com/micro-laslo>

3. תפיסות: מהות המדע (בהתבסס על נספח של NGSS 2013)

- המדע מאופיין בשימוש בסטנדרטים אמפיריים, לוגיקה ובחינה ביקורתית
- המדע מתקדם לאורך ההיסטוריה ובהתאם משתנים תיאוריות, רעיונות ואמונות. ידע מדעי עשוי להשתנות לאור ממצאים חדשים או פרשנויות חדשות
- ידע מדעי הוא תוצאה של מאמץ, דמיון ויצירתיות, של פרטים, קבוצות ותרבויות רבות
- קידום המדע והטכנולוגיה מתרחש תוך השפעה הדדית ביניהם ובין החברה. טכנולוגיות חדשות מקדמות ידע מדעי ולהיפך
- המדע אינו מספק תשובות לכל השאלות
- המדע והטכנולוגיה מעלים סוגיות אתיות, אך אינם יכולים לספק פתרונות לסוגיות אלה
- המדע מצביע על מה שיכול לקרות במערכת טבעית, לא על מה שראוי שיקרה. ההחלטה האנושית על אופן השימוש בידע צריכה לכלול התייחסות לאתיקה וערכים. קבלת החלטות בסוגיות הקשורות למדע מתבססת הן על ידע מדעי והן על הקשרים תרבותיים וחברתיים.
- מחקר מדעי מאופיין בעקרונות וערכים משותפים, כגון חשיבה לוגית, דיוק, פתיחות מחשבתית, שאיפה לאובייקטיביות, ספקנות, דיווח על ניסויים באופן שמאפשר לחזור עליהם, ודיווח הוגן על ממצאים.

בסיום כל פרק בספר מופיעים עיקרי התכנים והרעיונות המרכזיים מתוך תכנית הלימודים.

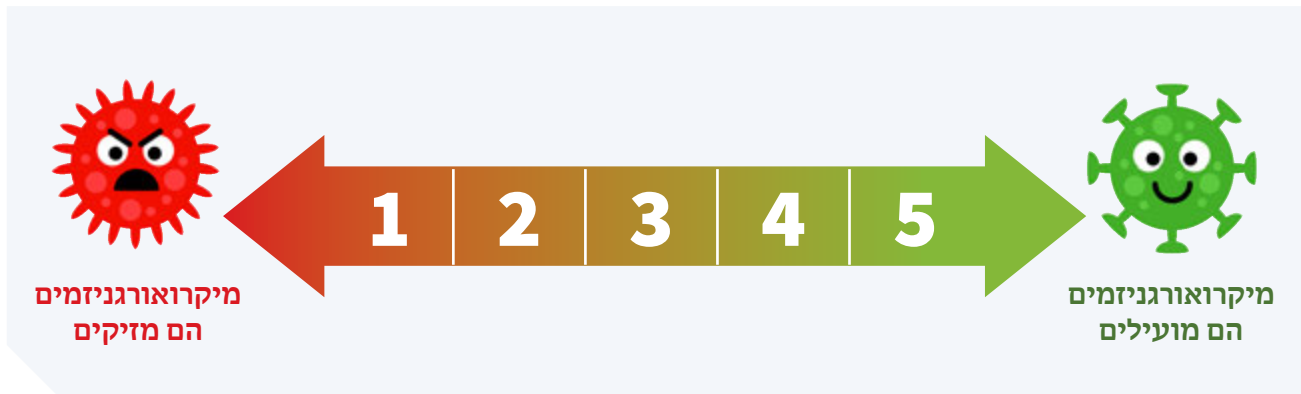
מבוא			מיקרואורגניזמים
מיקרוביום (מכלול של מיקרואורגניזמים) לדוגמה: המיקרוביום באדם			
קבוצות	חידקים לדוגמה: סטרפטוקוקים	נגיפים לדוגמה: שפעת	אאוקריוטים לדוגמה: לישמניה (שושנת יריחו)
יישומים	חיסונים	ביוטכנולוגיה תעשיית מזון, סביבה, הנדסה גנטית	

הקישורים למקורות ברשת נכתבו בכיתוב מקוצר: <https://tinyurl.com>.
לכל קישור ניתן שם ייחודי, באופן בו המשתמש יוכל להקליד בקלות את כתובת הקישור.

מבוא למיקרואורגניזמים

פעילות מבוא

1. באיזו מידה מיקרואורגניזמים (למשל חיידקים ונגיפים) מועילים או מזיקים? מה דעתך?
על כל תלמיד להדביק דבקית לפי עמדתו, על גבי ציר מספרים 1-5 שיצויר על גבי הלוח:



2. פעילות בקבוצות של 3-4 תלמידים בעלי עמדות דומות



לפניכם רשימת היגדים המבטאים דעות נפוצות אודות מיקרואורגניזמים. הכינו קריקטורה המתארת את עמדתכם כלפי מיקרואורגניזמים. ניתן להתייחס בקריקטורה להיגדים נכונים או שגויים מתוך הרשימה.

- כל המיקרואורגניזמים מחוללים מחלות
- כאשר נצליח להכחיד את כל המיקרואורגניזמים, העולם יהיה טוב יותר
- מיקרואורגניזמים יכולים לרפא מחלות
- חובה לחטא את כל המיקרואורגניזמים הנמצאים על פני העור
- רוב המיקרואורגניזמים מזיקים לאדם
- מיקרואורגניזמים נמצאים רק במקומות מלוכלכים
- מיקרואורגניזמים מסייעים בעיכול מזון
- מיקרואורגניזמים הכרחיים לשמירה על הסביבה
- מיקרואורגניזמים נמצאים בגוף האדם רק במצב של מחלה
- מיקרואורגניזמים במזון תמיד מהווים סכנה

3. קראו את קטעי המידע הבאים וסכמו:

- א. בהתייחס לכל קטע, כתבו מהו הנזק או התועלת של המיקרואורגניזמים לאדם?
- ב. אילו יכולתם להכחיד את כל המיקרואורגניזמים שבעולם, האם הייתם עושים זאת? מדוע?
- ג. דונו בקריקטורות שיצרתם לאור המידע החדש.

1

חיידקים, כידוע, נמצאים בכל מקום. כיום אנו יודעים רבות על הקשר שבין היגיינה ומחלות. גם לבעלי חיים בטבע התנהגויות שיש בהן שמירה על היגיינה. סרטנים וראשני צפרדעים מנדים חולים מן הלהקה שלהם. נמלים, עטלפים ומינים מסוימים של דגים וציפורים מסירים מעליהם מזיקים מיקרוסקופיים, ואילו דביבונים, למורים וגריות עושים את צרכיהם באזורי שימוש מוגדרים.

יעל גרופר (2015) ההיסטוריה של ההיגיינה, מכון דוידסון.

<https://tinyurl.com/micro-yael>

3

במאי 2016, יצרנית כוסות לפעוטות נאלצה להחליף יותר משלושה מיליון כוסות לאחר שנטען ש-70 פעוטות חלו בשל עובש שהצטבר בשסתום שמתחת לפייה של הכוס.

מהו עובש? באילו תנאים הוא גדל? האם עובש אכן מסוכן לבריאות?

עוד על נזקי עובש <https://tinyurl.com/micro-ovesh>

על טיפול בעובש <https://tinyurl.com/tipul-ovesh>

השפעות על גדילת עובש



5

”בסוף השבוע האחרון דווח על בעל חיים חולה בכלבת, שנשך יותר מעשרה אנשים. הפעם היה מדובר בזאבה שנשכה 11 איש באזור טבריה, לפני שנורתה וגופתה נשלחה לנתיחה שבה נמצא הווירוס בגופה.”

נגיף (וירוס) הכלבת תוקף את מערכת העצבים ויכול אף לגרום למוות, אך החדשות הטובות הן שהנגיף רגיש לחומרי חיטוי, ושחיסון נגדו עשוי להציל חיים. אם אדם ננשך, יש לשטוף את אזור הפגיעה במים זורמים ובסבון, לפנות מיד לרופא, ואם יש חשש להדבקה בכלבת, יקבל הננשך חיסון נגד כלבת שימנע את התפתחות המחלה.

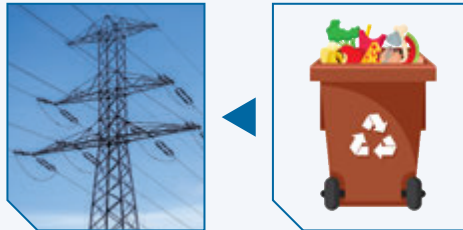
פלורנטין (2014) כלבת- מה לעשות אם ננשכת? <https://tinyurl.com/micro-kalevet>

2

הפקת חשמל מאשפה באמצעות חיידקים:

פסולת אורגנית מהמטבח נאספת ומובלת למתקן, היוצר תנאים המאפשרים לחיידקים לייצר גז מתאן שבאמצעותו ניתן להפיק חשמל.

להרחבה: <https://tinyurl.com/micro-hashmal>



4

עובש משמש להשבחה של גבינות יוקרה.

לדוגמה העובש פניציליום רוקפורטי שיוצר את גבינת הרוקפור.

ישנם מיני עובש כמו הפניציליניום מהם מייצרים אנטיביוטיקה כמו פניצילין. מיני עובש אחרים משמשים ליצירת תרופות להורדת רמת כולסטרול בדם.



6

אמילי וייטהד אובחנה כחולת לויקמיה (סרטן דם) בגיל חמש. לאחר ששלוש סדרות של טיפולים כימותרפיים לא הועילו, היא טופלה על ידי החדרה לגופה של תאים מהונדסים גנטית. התאים נלקחו מגופה של אמילי, ואז הונדסו גנטית, **באמצעות שימוש בנגיף (וירוס)**. לדברי הרופא שלה: "באפריל היא הייתה קירחת, ובאוגוסט הלכה ליומה הראשון בכיתה ב'".

ריפוי גנטי היא שיטה (בשלב זה בעיקר מחקרית), לתיקון גנים לקויים האחראיים להתפתחות מחלות. הדרך הנפוצה ביותר להחדיר גן תקין לאדם החולה במחלה גנטית, היא באמצעות נגיף אותו משנים בהנדסה גנטית כדי שיכיל DNA אנושי תקין.

לואיס (2014) [המערכה השנייה של הריפוי הגני סיינטיפיק אמריקן ישראל, הידען](https://tinyurl.com/micro-geni)

<https://tinyurl.com/micro-geni>

מעבדה 1: היכן נמצאים מיקרואורגניזמים?



היכן לדעתכם יכולים לגדול מיקרואורגניזמים? מהם התנאים שמאפיינים סביבה שמאפשרת גידול מיקרואורגניזמים?

צרו רשימה כיתתית של מקורות, בבית הספר ובסביבתו, שמהם תוכלו לקחת דגימות לבדיקה במעבדה. באילו מהמקורות אתם מצפים למצוא מיקרואורגניזמים, ובאילו לא?

כדי להכיר מעט מן המיקרואורגניזמים המצויים סביבנו, נאסוף דגימות ממקורות שונים באמצעות קיסמי אוזניים, וננסה לגדל אותם בצלחת פטרי המכילה מזון עשיר.

כל זוג יבחר מקור אחד לבדיקה.

לבטיחותכם: כדי להימנע מגורמי מחלה אין לקחת דגימות מתוך הגוף (פה, אוזניים וכדומה), וכן לא ממקורות שעלולים להזדהם מהפרשות הגוף (כגון שירותים וכיורים), ולא מהקרע. יש להתאים את מקורות הדגימה להוראות בטיחות של משרד החינוך. הוראות בטיחות מפורטות בקישור <https://tinyurl.com/micro-betihut> וכן בקישור <https://tinyurl.com/chozer-mankal>

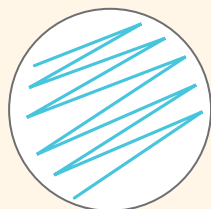
ציוד לכל זוג תלמידים: צלחת פטרי עם מצע אגר מזין (Nutrient Agar), המאפשר גידול של מיקרואורגניזמים שונים, וקסמי אוזניים נקיים (רצוי מעוקרים).

מהלך העבודה

- רישמו בקצה צלחת הפטרי את שמכם, ואת המקום ממנו תיקחו דגימה
- קחו קיסם ושפשפו בקצה הקיסם את המקום ממנו בחרתם לקחת דגימה
- העברת מיקרואורגניזמים אל מצע גידול נקראת "זריעה".

אופן הזריעה

- פתחו את צלחת הפטרי ומרחו בעדינות את הדגימה בצורת נחש
- כסו מייד את הצלחת במכסה
- הפכו את הצלחת באופן שהמצע יהיה למעלה.



הניחו את הצלחת למשך 48 שעות בטמפרטורת החדר

לאחר מכן ניתן יהיה לשמור את הצלחות במקרר עד לשיעור הבא. בשיעור הבא בדקו את הצלחות השונות.

לא ניתן לצפות במיקרואורגניזם בודד, אך ניתן להבחין במושבות של אורגניזמים: חיידקים או פטריות, שנוצרו בעקבות התרבות המיקרואורגניזמים למספר עצום של יצורים.

כללי זהירות: חובה לעבוד עם כפפות, **אין לפתוח את הצלחות**. הצלחות יושלכו בתום השימוש לפח מיוחד לצורך חיטוי.

1. צלמו את הצלחות, ותארו את הממצאים: שימו לב להבדלים בין הצורות, הגדלים, הצבעים והכמויות של מושבות המיקרואורגניזמים שנלקחו ממקורות שונים.

2. רכזו את תוצאות הכיתה בטבלה.

3. סכמו:

- היכן מצאתם מיקרואורגניזמים?
- מהם ההבדלים שמצאתם במגוון ובכמות בין מקומות שונים?
- מהם התנאים המאפשרים גידול מיקרואורגניזמים בסביבות אותן חקרתם בכיתתכם?

גילוי המיקרואורגניזמים

בשנת 1676 הגיע מכתב לאגודה המלכותית של לונדון, אגודה שנוסדה על מנת לקדם את המדע בעולם. המכתב היה מאנטוני ואן-לוונהוק, סוחר אריגים הולנדי. ואן-לוונהוק שנעזר בזכוכית מגדלת על מנת לבדוק את סיבי הבדים, כפי שהיה מקובל באותה תקופה, שיכלל את העדשות על ידי ליטוש, עד שהצליח לבנות מיקרוסקופ בעל הגדלה של פי 250. כחוקר חובב, הוא החל לבחון דברים שונים במיקרוסקופ, וסיפר על תגליותיו במכתב לאגודה:



מכתב מקורי של ואן-לוונהוק

"ביום 26 במאי נטלתי חצי אונקיה של גרגרי פלפל, טחנתי אותם היטב, שמתי את האבקה בתוך ספל של תה יחד עם שתיים וחצי אונקיות מי גשם, בחשתי, וערבבתי. ב-2 ביוני בבוקר, אחרי שערכתי כמה תצפיות שונות מאז 26 במאי, לא הצלחתי למצוא כל דבר חי. ראיתי אמנם יצורים שנראו לי לפי צורתם כעין בריות קטנות, אבל לא ראיתי בהם סימני חיים. כל כמה שהתבוננתי באותו לילה, לא ראיתי. בשעה 23:00 גיליתי בכמה יצורים בודדים סימני חיים. ב-3 ביוני ראיתי הרבה יותר, ובועות עלו מן המים, כאילו הייתה זו בירה."

1. רבים לא האמינו לדיווח של ואן-לוונהוק, שאכן קיימים במים יצורים זעירים. מדוע?
 2. מדוע חשוב המעקב שערך ואן-לוונהוק במשך כשבוע?
 3. מהיכן הגיעו היצורים, שהראו סימני חיים?
 4. מה תוכלו להניח לגבי קצב הריבוי של היצורים בהם צפה ואן-לוונהוק? ציינו באיזה מידע מהקטע אתם נעזרים לתשובתכם.
 5. המיקרוסקופ הרחיב את גבולות המדע בכך שאיפשר לראות דברים שלא ראו קודם. תנו דוגמאות לתגליות הממחישות את תרומת המיקרוסקופ לקידום הידע המדעי.
- ואן-לוונהוק היה הראשון בעולם שתיאר את היצורים הזעירים, הבחין בתנועתם, וקבע שהם יצורים חיים. רק 200 שנה אחריו, עם שכלול המיקרוסקופים והמשך התצפיות, גילו החוקרים את הקשר בין יצורים אלה ותופעות רבות בחייהם⁵.
- יצורים זעירים אלה כוללים מגוון מינים המצויים בכל מקום על פני כדור הארץ - באדמה, במים ובתוך גופם של בעלי חיים וצמחים. הקבוצות הידועות ביותר של יצורים אלה הן חיידקים, פטריות חד-תאיות כמו שמרים ועובש, בעלי חיים חד-תאיים ואצות חד-תאיות.
- כל אלה נקראים **מיקרואורגניזמים**. כיום נכללים בקבוצה זו גם נגיפים (וירוסים), שאותם לא ניתן לראות במיקרוסקופ אור, והם בנויים ומתפקדים באופן שונה מהיצורים האחרים.
6. הסתכלו במילון וכתבו את משמעות המילים הבאות: מיקרו _____ אורגניזם _____
 7. הגדירו בקצרה, במילים שלכם, מהם מיקרואורגניזמים, וציינו את שתי התכונות החשובות ביותר שלדעתכם מאפיינות מיקרואורגניזמים.

5 לידעתכם, ניתן לראות תצוגה של מיקרוסקופים עתיקים, כולל זה של ואן-לוונהוק במוזיאון מדעטק בחיפה.

גודלם של מיקרואורגניזמים

קבוצת המיקרואורגניזמים כוללת מגוון עצום של מינים, השונים זה מזה בתכונות רבות. עם זאת, המיקרואורגניזמים מתאפיינים על פי גודלם: היצורים זעירים מאד, גודלם נמדד במיקרונים. אפשר לראותם רק בעזרת מיקרוסקופ.

מידות אורך

סנטימטר (cm) $\frac{1}{100}$ המטר (10^{-2}).

מילימטר (mm) $\frac{1}{1000}$ המטר (10^{-3}).

יחידות מידה לעצמים שאינם גלויים לעין (למשל חיידקים):

מיקרומטר (μm , ידוע גם כמיקרון) $\frac{1}{1000000}$ מיליונית המטר (10^{-6}).

נומטר (nm) $\frac{1}{1000000000}$ מליארדית המטר (10^{-9}).

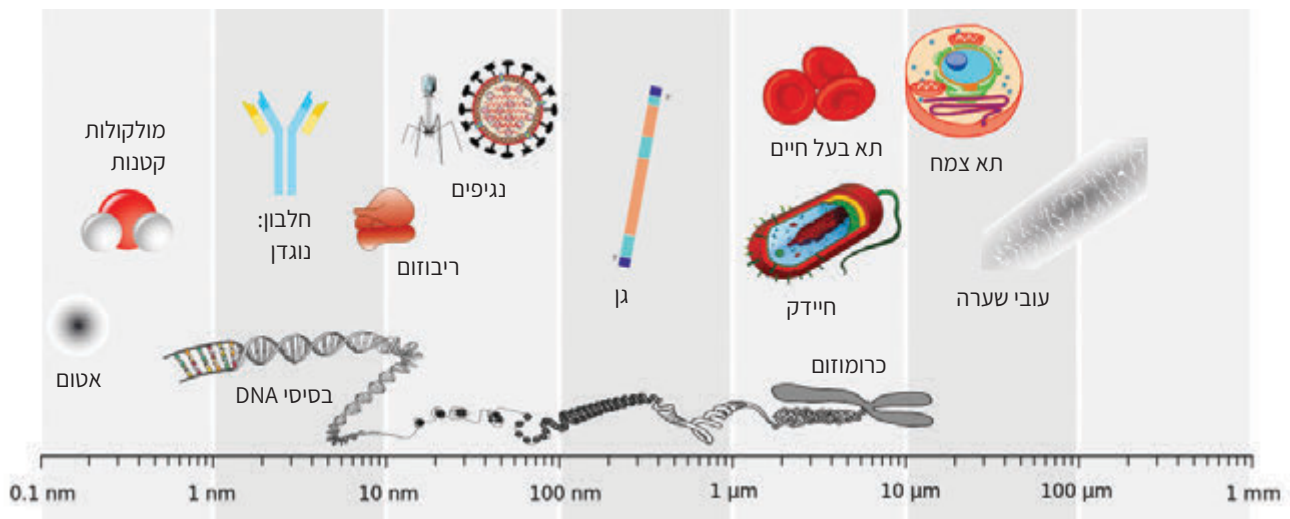
1. א. חשבו כמה חיידקים שאורכם 2 מיקרומטר יש במילימטר אחד? בסנטימטר אחד?

ב. רשמו את גובהכם. כמה חיידקים נכנסים באורך זה?

2. סדרי גודל:

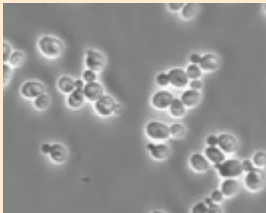
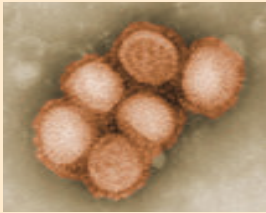
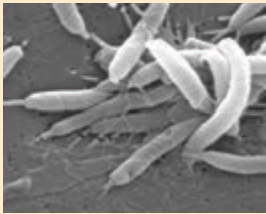
היעזרו באיור וסדרו מהגדול לקטן:

נגיף (וירוס), מולקולת מים, מולקולת חלבון, אטום פחמן, תא בצל, תא עור, נמלה, חיידק.



3. לפניכם תמונות של מיקרואורגניזמים מקבוצות שונות.

מאחר ולא ניתן לראותם בעין, ננסה להבין כמה מהם יכולים להיכנס לקו באורך של מילימטר. חשבו את גודלם של שניים מתוכם, ומלאו את הטבלה:

מיקרואורגניזם	קוטר/אורך (במילימטר)	קוטר/אורך (במיקרומטר)	מספר פרטים היכולים להיכנס לקוטר באורך מילימטר
שמרים 		0.08	$\frac{1}{0.08}$
נגיף שפעת החזירים 		0.08-0.12	
חיידק הליקובקטר פילורי הגורם לכיב קיבה (אורך) 			מדדו אורך לפי קנה המידה המסומן בצילום שאורכו 2 מיקרומטר.
סנדלית (אורך) ובתוכה אצות ירוקות 			מדדו וחשבו לפי קנה המידה המסומן בצילום, שאורכו 20 מיקרומטר.

מעבדה 2: מיקרואורגניזמים מבעד למיקרוסקופ



היכן לדעתכם ניתן למצוא מיקרואורגניזמים בגוף האדם ומהם התנאים המאפשרים את גידולם?
האם לדעתכם מיקרואורגניזמים אלו מועילים או מזיקים לאדם?

שלב א': תצפיות

א. מיקרואורגניזמים בשיניים⁶

- טפטפו טיפת מים על זכוכית נושאת.
 - קחו קיסם שיניים נקי, הכניסו אותו בעדינות בין השיניים, ולאחר מכן טבלו את קצהו בתוך טיפת מים הנמצאת על זכוכית נושאת, ופזרו היטב את תוכנו בתוך הטיפה. תוכלו להוסיף טיפת מתילן כחול.
 - כסו בזכוכית מכסה.
 - התבוננו במיקרוסקופ בהגדלה קטנה. ייתכן שתבחינו בשאריות מזון, שחלקם גדולים יחסית. נסו למצוא אזור שאינו מכיל שאריות מזון, ונסו להבחין בתאים קטנים יותר.
 - צלמו את ממצאיכם באמצעות קירוב מצלמה לעדשת העין של המיקרוסקופ.
1. תארו במילים שלכם את ממצאיכם וציירו מספר תאים שונים בהם הבחנתם, או סמנו על גבי התמונה אותה צילמתם תאים מסוגים שונים.
 2. לפניכם צילום של חיידקי השיניים במיקרוסקופ אלקטרוני. במה שונים הממצאים והתמונות שלכם מתמונת מיקרוסקופ האלקטרוני בהגדלה $6000\times$?



3. מהם התנאים שמאפשרים את התרבותם של מיקרואורגניזמים בפה?
4. היכנסו לאתרי חברות משחות השיניים או קראו את המידע המצורף לאריזות. בחרו את אחד המוצרים להיגיינת הפה (משחת שיניים, מי-פה, מברשת שיניים, חוט דנטלי וכדומה), והסבירו כיצד הוא משפיע על המיקרואורגניזמים בפה.
5. האם לדעתכם כל המיקרואורגניזמים בפה מזיקים לאדם? נמקו.

קישור להרחבה: בר- ניר, דרור (2009) על חיידקים ועששת - מבט היסטורי ובוטני: מה לאלכסנדר מוקדון והרכב החיידקים בפה שלנו? "Dental" גיליון 8, עמ' 60-61 <https://tinyurl.com/micro-asheshet>

6 יש להתאים את המעבדה להוראות בטיחות עדכניות של משרד החינוך, בקישור <https://tinyurl.com/chozer-mankal>

ב. מיקרואורגניזמים במים⁷

1. היכן לדעתכם ניתן למצוא מיקרואורגניזמים במים, ומהם התנאים המאפשרים את גידולם?

2. האם לדעתכם מיקרואורגניזמים אלה מועילים או מזיקים לאדם?

במעבדה זו ניתן לצפות במי שלולית, נחל, מעיין, או מאגר מים. כמו כן ניתן לצפות במי אקווריום, רצוי לקחת דגימה מתחתית האקווריום או מהמסנן. ניתן לקחת דגימה באמצעות הכנסת כלי כלשהו למים, או דגימה ממקום ספציפי באמצעות מזרק, או הכנסת רשת פלנקטון למים.

ציוד נדרש: מיקרוסקופ, זכוכיות נושאות, זכוכיות נושאות עם גומחה, זכוכיות מכסות.

א. הכנת משטח (ביופילם) להסתכלות במיקרואורגניזמים

מיקרואורגניזמים רבים חיים באוכלוסיות היוצרות מרבדים הצמודים למשטח קשיח (ביופילם). במעבדה זו, אנו ננסה ליצור מרבד כזה ולצפות במינים השונים החיים בו.

הציוד הנדרש: זכוכיות נושאות ומכסות, כלים רחבים המתאימים להנחת מספר זכוכיות נושאות.

- הניחו 2-4 זכוכיות נושאות בתחתית כלי באופן שלא תהיה חפיפה ביניהן.
- צקו מים מהדגימה שאספתם בגובה של לפחות 2-3 ס"מ, וכסו את הכלי.
- לאחר 18-24 שעות הוציאו בעדינות את הזכוכית ונגבו את תחתיתה בנייר סופג.
- הניחו זכוכית מכסה ארוכה, או שתי זכוכיות מכסות רגילות, על גבי הזכוכית הנושאת.
- צפו במיקרוסקופ בהגדלות שונות ונסו להבחין בין יצורים שונים.
- צלמו וציירו יצורים שונים, ונסו לבחון האם הם משתייכים לאחת הקבוצות המתוארות בהמשך.

ב. פלנקטון - מיקרואורגניזמים ה"מרחפים" במים

להלן מספר שיטות להכנת דגימות מים מרוכזות של מיקרואורגניזמים לתצפית:

- סננו את הדגימה באמצעות רשת פלנקטון.
- סננו את הדגימה באמצעות נייר סינון הנתון במשפך.
- סרכזו מבחנות עם דגימות בצנטריפוגה, במהירות נמוכה למשך 5 דקות, וצפו במיקרואורגניזמים שהצטברו במשקע.
- העמידו דגימה במשורות או במבחנות רחבות למשך מספר שעות ושאבו דגימת משקע מתחתיתן באמצעות פיפטת פסטר.

הניחו טיפת מים על זכוכית נושאת, רצוי עם שקע, וכסו בזכוכית מכסה. הסתכלו מבעד למיקרוסקופ בהגדלה קטנה, ולאחר מכן בהגדלות גדולות יותר, ונסו להבחין ביצורים שונים.

1. צלמו את תצפיותיכם המיקרוסקופיות.
2. ציירו ותארו את האורגניזמים שראיתם.
3. במידה והשתמשתם בשיטות שונות להכנת התתקינים (תכשירים להסתכלות במיקרוסקופ), תארו את ההבדלים ביניהם.
4. נסו לזהות את המיקרואורגניזמים בהתאם לקבוצות המתוארות בעמוד הבא.
5. חפשו מידע בספריה או באינטרנט אודות אחד היצורים בו צפיתם וכתבו כיצד הוא מותאם לסביבתו.

7 מבוסס בעיקר על: Mark Gallo, Microbial Discovery Activity: Pond Scum: Investigating Microorganisms
American Society for Microbiology, Education Department

יש להתאים את המעבדה להוראות בטיחות עדכניות של משרד החינוך.

זיהוי מיקרואורגניזמים

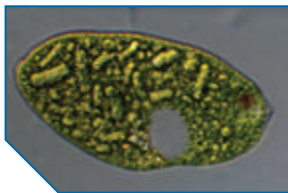
דוגמאות לקבוצות מיקרואורגניזמים שניתן למצוא במקווי מים (פלנקטון)

חיידקים ירוקים המבצעים פוטוסינתזה, ציאנובקטריות (כחוליות) המופיעות כתאים בודדים, צברים או שרשראות. גודל תא בודד הוא מיקרומטרים בודדים.



יצורים חד תאיים. לדוגמה:

עיננית $30-60\mu$



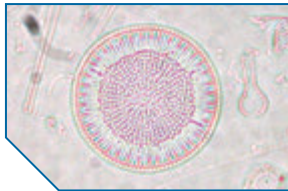
סנדלית $100-300\mu$



אמבה $23-30\mu$



אצות זהוביות (צורניות) בגודל של עשרות מיקרומטרים:

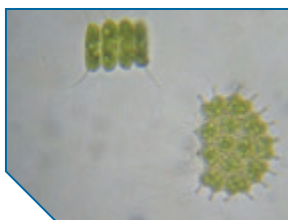


גלגליות $100-1000\mu$

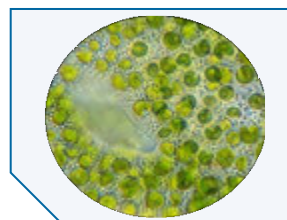


אצות ירוקות

אצות ירוקות
מושבתיות $10-20\mu$



חד תאיות
כגון כלורלה 10μ



הרחבה: חקר מיקרואורגניזמים

לאחר שהכרתם מיקרואורגניזמים שונים, תוכלו לחקור שאלות שמעניינות אתכם. לדוגמה:

- האם דגימות מאזורים שונים בבית הגידול מכילות מינים זהים של מיקרואורגניזמים?
- האם קיימים הבדלים בין אוכלוסיית המיקרואורגניזמים המאורגנת במרבדי ביופילם לעומת מיקרואורגניזמים החיים באופן חופשי בתרחיף?
- האם בכל האזורים בבית הגידול נמצאת אותה כמות אורגניזמים? נמקו.
- האם ניתן למצוא הבדלים במספר או במגוון המינים בין יום ולילה ובין עונות השנה?

תכנון ניסוי



תכננו ניסוי שבו תבדקו השפעה של גורם כלשהו על מיקרואורגניזמים. כתבו את תוכנית הניסוי על פי הסעיפים הבאים:

- א.** מהי שאלת החקר אותה בחרתם לחקור? [נוח לנסח את השאלה באופן הבא: מהי השפעת הגורם המשפיע (משתנה בלתי תלוי שיבוטא בציר ה-X) על הגורם המושפע (משתנה תלוי שיבוטא בציר ה-Y)?]
- ב.** מהי השערתכם (כלומר - מה אתם מצפים שתהיה השפעת הגורם המשפיע על הגורם המושפע בניסוי שלכם)?
- ג.** השוו שני תתקינים. הגדירו איזה מהם הוא הניסוי ואיזה מהווה את הבקרה/ההשוואה.
- ד.** בקשו את אישור המורה, ובצעו את הניסוי.
- ה.** הכינו טבלה בה תתארו את ההבדלים בין שתי התתקינים בהם הסתכלתם.
- ו.** הסיקו מסקנות: על פי ממצאיכם, מה התשובה לשאלת המחקר?
- ז.** הסבירו כיצד הצעתכם תאפשר תשובה וודאית יותר.

מיון מיקרואורגניזמים

כיום ממיינים את היצורים החיים למספר קבוצות הנקראות ממלכות (כמופיע באיור) , שהן יחידות המיון הגדולות ביותר בעולם היצורים החיים:

[הנגיפים אינם שייכים למערכת מיון זו, כיוון שהמבנה שלהם פשוט ואינו תא]



1. צרו רשימה של מיקרואורגניזמים שהכרתם בפרק זה. מיינו אותם לממלכות השונות. היעזרו באינטרנט ונמקו את המיון לפי התכונות המאפיינות כל ממלכה.
2. בהתאם נסו להגדיר מה משותף לכל המיקרואורגניזמים?

סיכום הפרק

- ✓ מיקרואורגניזמים כוללים מגוון יצורים מיקרוסקופיים המשתייכים לממלכות שונות
- ✓ חלקם מועילים וחלקם מזיקים לאדם
- ✓ המאפיין העיקרי של יצורים אלו הוא גודלם הזעיר שאינו ניכר בעין (גודל של מיקרומטרים)



קישורים להרחבה

- תמר זהרי (2004) פוטופלנקטון בכינרת, חקר ימים ואגמים לישראל
<https://tinyurl.com/micro-kinneret>
- סרט: NASA (2009) המכונות הירוקות שבים, תורגם ע"י מכון דוידסון
<https://tinyurl.com/micro-nasa>
- סרטון: The Hidden Life in Pond Water
<https://tinyurl.com/micro-pond>
- דינה וולודרסקי (2008) על קרומי חיידקים וכיצד להילחם בהם. גליליאו, גיליון 116, עמ' 64-68
<https://tinyurl.com/micro-biofilm>

פרק 1: מיקרוביום

כפי שראינו במבוא, אוכלוסיות של מיקרואורגניזמים נמצאות בכל מקום: בקרקע, במים, באוויר, ובתוך גופם של יצורים חיים. ואכן, מיליוני מיקרואורגניזמים מכסים את גופנו מבחוץ ומבפנים: בעור, בפה, בחללי האף, בגרון, בקיבה, במעיים, באיברי הרבייה ובמקומות נוספים. כמות החיידקים הללו עולה על מספר התאים בגופנו. המושג מיקרוביום מתייחס למכלול המיקרואורגניזמים המצויים באורגניזם מסוים. חלק גדול ממיקרואורגניזמים אלו הם חיידקים. לכל אדם יש הרכב של מיקרואורגניזמים ייחודי לו. הרכב זה משפיע על ההבדלים בין אנשים למשל בנטייה להשמנה, תגובה לתרופות ועוד. הבנה של ההשפעה של המיקרוביום על הגוף, והכרת ההרכב הייחודי של המיקרוביום של כל אדם, עשויה לתרום לפיתוח של טיפולים רפואיים מותאמים אישית.

1. לפניכם מספר תופעות המדגימות את המגוון הרחב של המיקרואורגניזמים הנמצאים בגוף האדם. מה יכולים לתרום מחקרי המיקרוביום המתוארים בדוגמאות הבאות?

עששת שיניים



שיירי מזון, ובעיקר סוכרים, בסביבת השיניים יוצרים תנאים מתאימים להתפתחות מיני חיידקים רבים. חלק קטן ממיני החיידקים משתמש בסוכר ויוצר באמצעותו חומצה הפוגעת בציפוי השן ויוצרת "חורים". בשלבים מוקדמים של הריקבון אין לעששת סימנים חיצוניים, אבל הריקבון מתפשט מהר יותר בחומר הרך של השן עד לעצבי השן, וגורם לכאבים.

נמצאו לפחות 750 מיני מיקרואורגניזמים, הכוללים חיידקים, וגם שמרים, בחלל הפה, בחניכיים, בשיניים וברוק. רובם מונעים התרבות חיידקים גורמי מחלות. מינים מעטים גורמים לעששת ולמחלות חניכיים.

בעתיד, ייתכן שיוכלו ליצור מי פה המכילים חיידקים שיגנו על השיניים. בינתיים אנו יודעים למנוע עששת באמצעות הפחתה של צריכת סוכר וצחצוח שיניים ערב ובוקר.

מיקרוביום וסוכרת



מחלת הסוכרת נפוצה כיום יותר מבעבר, בין היתר בשל שינוי תזונה הכוללת כיום יותר סוכר ושומן. שינוי התזונה משפיע על המיקרוביום במעיים.

במחקר שבדק חולי סוכרת בעלי עודף משקל אשר קיבלו חיידקים מאנשים בריאים ורזים, נמצאו ערכי סוכר נמוכים יותר בדם של חולי הסוכרת לאחר שישה שבועות של טיפול.

[ישנם מחקרים המראים קשר בין נטילת אנטיביוטיקה בילדות ועליה בשכיחות סוכרת מסוג 1].



השפעת האנטיביוטיקה על אוכלוסיית מיקרואורגניזמים

טיפול אנטיביוטי במחלות הוא לעיתים הוא הכרחי ואף מציל חיים. עם זאת, אנטיביוטיקה עלולה לפגוע לא רק בגורם המחלה, אלא גם בחיידקים הנמצאים במערכת העיכול, החיוניים לתפקודה התקין. תופעות לוואי הנובעות מטיפול באנטיביוטיקה נובעות מהפרת שיווי המשקל באוכלוסיית החיידקים במערכת העיכול של האדם.

טיפול באמצעות צריכת חיידקים פרוביוטים (תוספי מזון המכילים חיידקים ידידותיים), שמקורם ביוגורט או בגלולות המכילות חיידקים, יכול לשקם את האוכלוסייה רק באופן חלקי, שכן מדובר במינים מעטים בלבד מתוך כלל החיידקים של מערכת העיכול. חוקרים מנסים לפתח טכניקות לגידול תערובות מורכבות של חיידקי מעיים במעבדה, באופן שיאפשר התישבותם והתפתחותם במעי, כדי לטפל באופן יעיל במחלות מעיים הנגרמות מאנטיביוטיקה.

הרחבה: גילוי המיקרוביום

חוקרים החלו להיות מודעים לאוכלוסיית מיקרואורגניזמים זאת, המשפיעה מאד על האדם, רק לאחרונה. כדי להבין מדוע, חשוב להכיר את הדרכים שבהן חקרו מיקרואורגניזמים (בעיקר חיידקים) לאורך ההיסטוריה.



פריצת דרך טכנולוגית, הנובעת משיטות שפותחו לצורך פרויקט הגנום האנושי בשנות ה-90, איפשרה זיהוי ואפיון חיידקים בודדים בכמות מזערית, באמצעות אפיון ה-DNA שלהם, ללא צורך בגידולם במעבדה. השיטות החדשות מאפשרות הכרת אלפי מינים של חיידקים שזהותם לא הייתה ידועה עד לשנים האחרונות. גילוי המיקרוביום מרחיב את ההבנה שלנו אודות משמעות המיקרואורגניזמים בחיינו.

1. החל מגילוי המיקרואורגניזמים ועד לגילוי המיקרוביום חלפו למעלה משלוש מאות שנה. תארו מה הייתה תרומתו של כל שלב שתואר להכרת המיקרוביום.
2. מה היו מגבלות המדע בכל שלב, וכיצד לדעתכם נוצרו פריצות הדרך?
3. מה לדעתכם עשוי לתרום פיתוח של תחום מחקר זה?

מעבדה 3: מיקרוביום בגוף האדם



1. כפי שלמדנו, מיקרואורגניזמים רבים מצויים בגופנו. האם בכל מקום בגוף אתם מצפים למצוא אותם מינים של מיקרואורגניזמים? האם תמצאו הבדל בין אנשים שונים? **נמקו את השערתכם:** מה יגרום לדעתכם להימצאות אותם מינים, או מינים שונים של מיקרואורגניזמים, במקומות שונים בגוף או אצל אנשים שונים?

בחרו לניסוי שני אזורים בעור גופכם לדגימה, בהם אתם מצפים למצוא תנאי סביבה שונים (דוגמאות לאזורים אותם תוכלו לחקור: גב היד, כף היד, בין האצבעות, ברך, מצח, מאחורי האוזן וכדומה). **כדי להימנע מגידול מיקרואורגניזמים גורמי מחלות אין לקחת דגימות מתוך הגוף** (כגון אף, פה, אוזניים, עיניים ועוד). יש להתאים את מקורות הדגימה להוראות בטיחות עדכניות של משרד החינוך,

[בקישור <https://tinyurl.com/chozer-mankal>](https://tinyurl.com/chozer-mankal)

כפי שלמדנו, מינים רבים של מיקרואורגניזמים לא ניתנים לגידול במעבדה. למרות מגבלה זו, ננסה לגדל מגוון מינים בתנאי מצע מזון עשיר. נשתמש במצע הגידול אגר מזין, המכיל חומרים המתאימים לגידול חיידקים רבים, כגון: מיצוי בשר בקר, מיצוי שמרים, חלבון, מלח. כדי שהגידול יהיה בצלחת על משטח מוצק מוסיפים אגר, שהוא חומר דמוי ג'לטין המופק מאצות.

חומרים וכלים

2 צלחות פטרי המכילות אגר מזין (Nutrient agar NA)

2 מטושים סטריליים או קסמי אוזניים

עט לא מחיק

אופן העבודה

- סמנו את כל הצלחות בעט לא מחיק באמצעות כיתוב בהיקף הצלחת, בצד האגר, ולא על המכסה: רשמו את שמכם, ואת האזור על פני הגוף ממנו תיקחו את הדגימה.
- שפשפו את עורכם במטוש סטרילי, או בקיסם אוזניים.
- פתחו את מכסה צלחת הפטרי של אגר מזין, באופן חלקי, לזמן קצר מאוד, וזרעו את המיקרואורגניזמים שאספתם באמצעות "ציור" עם המטוש או הקיסם, של צורת נחש, ארוך ככל האפשר (ראו תמונה), וכסו מיד את הצלחת במכסה.

עבודה במיקרוביולוגיה נעשית **בתנאים סטריליים** כדי למנוע זיהום על ידי מיקרואורגניזמים אחרים, שאיננו מעוניינים לגדל. שמרו על סטריליות המטוש/הקיסם. יש לבצע את זריעת המיקרואורגניזמים בזמן קצר, כדי להקטין חשיפה למזהמים.

- את המיקרואורגניזמים שזרענו בצלחות נעביר לאינקובטור למשך 24 שעות ב-37°C, או נעמידם בטמפרטורת החדר למשך שבוע.

במהלך הזמן שלאחר הזריעה, מיקרואורגניזמים מתרבים ונוצרות מושבות המכילות מיליארדי מיקרואורגניזמים. המקור של כל המיקרואורגניזמים הנמצאים באותה מושבה הוא בפרט האחד שממנו התרבו.



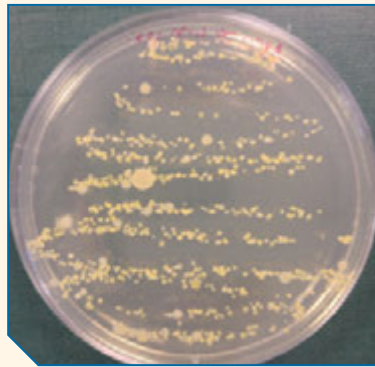
בתמונה: זריעה בצורת נחש (כל נקודה בצלחת היא מושבה שנוצרה מהתרבות של חיידק אחד).

בשיעור הבא בחנו את התרבויות (מבלי לפתוח אותן!!):

- צלמו כל אחת מן הצלחות, ומלאו את הטבלה:

אפיון מיקרואורגניזמים מאזורי עור שונים

מיקרואורגניזם	אזור א: _____	אזור ב: _____
צילום הצלחות		
צבע המושבות		
צורת השוליים של המושבות		
גודל המושבות		
ברק ושקיפות		



1. סכמו את הממצאים: האם ראיתם הבדלים בין המושבות שנלקחו מאזורי העור השונים?
2. האם לדעתכם הצלחתם לגדל את כל מיני המיקרואורגניזמים שהיו באותה עת על פני אזור הדגימה? אם לא, מדוע?
3. השוו את התוצאות עם התוצאות של חבריכם לכיתה. האם ראיתם הבדלים בין התוצאות השונות של החברים או בין אזורי עור שונים?
4. מה הקשר בין ההבדלים באוכלוסיות החיידקים בין אזורי עור שונים, או בין אנשים שונים, לבין ההתאמה הקיימת בטבע בין אורגניזם לסביבתו?

קישורים להרחבה:

- "המדען הכי קרוב לצלחת" על המצאת שיטת גידול החיידקים בצלחת פטרי
<https://tinyurl.com/micro-petri>

התפתחות המיקרוביום בגוף האדם⁸

עובר האדם סטרילי לחלוטין. עם לידתו התינוק רוכש חיידקים. תוך זמן קצר הוא מאכסן אלפי מינים של מיקרואורגניזמים, בכל מילימטר, מחוץ לגוף ובתוכו. לאורך חייו של האדם, אוכלוסיית המיקרואורגניזמים שבגופו מתפתחת ומשתנה. בפרק זה נכיר את השלבים העיקריים בהתפתחות המיקרוביום:

לידה במהלך הלידה מתבססות אוכלוסיות המיקרואורגניזמים (בעיקר חיידקים) ההתחלתיות בגוף היילוד. בלידה טבעית המעבר מן הרחם לנרתיק ואל מחוץ לגוף האם, מכסה את היילוד בשכבת מיקרואורגניזמים. הם כוללים מינים המסייעים בעיכול הארוחה הראשונה של התינוק. תינוקות שנולדו בניתוח קיסרי מכילים מינים שונים של מיקרואורגניזמים, האופייניים לעור. מרגע שהתינוק בא במגע עם העולם, הוא נחשף למגוון של מיקרואורגניזמים. נמצאו הבדלים במיני המיקרואורגניזמים בין תינוקות שנולדו בבית החולים לאלו שנולדו בלידת בית.



שישה חודשי חיים ראשונים במהלך החודשים הראשונים נמשכת "התיישבות" של מינים חדשים בגוף התינוק. עם הזמן, נוצרת "התמחות" של מיקרואורגניזמים לאזורים ספציפיים בגוף, הנובעת מתנאים שונים שקיימים באזורים שונים. למשל, הבדל בין צוואר ליד, ובוודאי לפה. נמצאו אף הבדלים בין יד ימין ויד שמאל. לתזונה השפעה רבה על הרכב החיידקים במערכת העיכול. תינוקות יונקים מכילים מינים מיקרואורגניזמים שונים מתינוקות הניזונים מתחליפי חלב אם וממזון מוצק.



שלוש השנים הראשונות חלה עליה במספר המינים. למשל ממאה מינים במעי עד לאלפי מינים אצל בוגרים. חלקם משקפים את הרגלי התזונה. אצל תינוקות רכים, ויטמין חיוני בשם חומצה פולית מיוצר על ידי חיידקי המעי ומהווה תוסף טבעי למזונם. לעומתם, אצל מבוגרים, המקבלים את החומצה הפולית במזון, קיימים יותר חיידקים הצורכים בעצמם חומצה פולית. למשפחה השפעה רבה על המיקרוביום. קיים דמיון גדול יותר בין בני משפחה לבין זרים. בני האדם נעשים דומים בסוגי המיקרואורגניזמים המרכיבים את המיקרוביום שלהם ככל שהם מתבגרים.



מגיל 3 ועד בגרות אוכלוסיות המיקרואורגניזמים מתייצבות ונעשות אופייניות לאדם הספציפי. שינויים במיקרוביום מתרחשים לאורך השנים בהשפעת מחלות, נטילת אנטיביוטיקה, שינויי תזונה ומתח. עם זאת, ישנה נטייה לחזור למצב הבסיסי. שינויים של גיל ההתבגרות יכולים להשפיע על שומניות העור, המתבטאת בהרכב המיקרוביום, וכן בתקופת הריון ובגיל המעבר.



זקנה עם ההזדקנות פוחת מספר מיני המיקרואורגניזמים ופוחתים ההבדלים בהרכב המיקרוביום בין אנשים שונים.



1. הכינו איור המתאר את התפתחות המיקרוביום אצל האדם. בחרו כיצד לסמן את ההבדלים במגוון המינים בין שלבי החיים השונים או בין מצבים שונים.

2. אילו שאלות מעניינות אתכם אודות המיקרוביום?



בחרו שאלה מתוך השאלות שהעליתם. כתבו כיצד ניתן לדעתכם לחקור אותה.

- מצאו באינטרנט מידע היכול לסייע לחקר השאלה. בהתייחסותכם, בחנו את אמינות המידע שמצאתם בהתאם לקריטריונים שלמדתם: סמכות הגוף המפרסם, סמכות הכותב, אובייקטיביות ועדכניות. תוכלו לחפש מידע, למשל, באתרי חדשות, באתרי מדע פופולרי, באתרים רפואיים וכן בקישורים המופיעים בסוף הפרק.

- סכמו את הרעיונות והתובנות שעלו מתוך המידע שאספתם.

3. באילו דרכים ניתן לנצל את המידע אודות אוכלוסיית המיקרואורגניזמים העוטפת אותנו, לשיפור איכות חיינו?

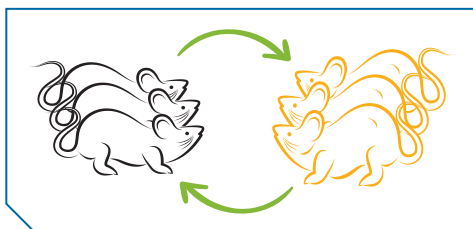
על השמנה, מיקרוביום ואחריות...

התפיסה שחיידיקי מערכת העיכול אינם "דיירים" בגופנו אלא חלק ממנו, הביאה כותבים בעיתונות לניסוחים כמו "אנחנו = החיידקים שלנו". זהו רעיון המשקף תפיסה שלפיה אדם מורכב מתאים אנושיים וממיקרואורגניזמים גם יחד. רעיון כזה מוסיף ממד חדש ליחס שלנו לקשר בין תזונה וסביבה לבין נתוני הגנטיקה והתנהגות. עד כמה מיקרואורגניזמים משפיעים על בריאותנו ועד כמה אנחנו בהתנהגותנו אחראיים לבריאותנו? ננסה לחשוב על כך דרך המחקרים הבאים:



ידוע שעודף משקל חריג, מהווה סיכון בריאותי ברור וגורמת וגורמת למחלות לב ולסוכרת. מגמת העליה במשקל עודף בעולם המערבי, הביאה חוקרים רבים להתעניין בקשר שבין חיידקי המעי לבין השמנה. נמצאו הבדלים ברורים באוכלוסיות המיקרואורגניזמים בין אנשים רזים ושמנים. ידועה ההשפעה הגנטית על השמנה, אך בשנים האחרונות נוספה לה ההבנה שגם לחיידקי המעיים יש השפעה.

נתאר מספר מחקרים:

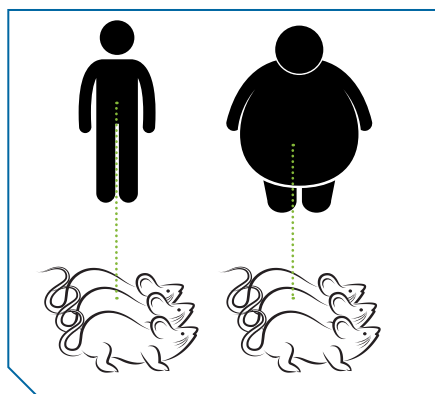


א. חוקרים¹⁰ השתילו חיידקי מעי שמקורם במעי של עכברים שמנים שהם גם בעלי נטייה תורשתית להשמנה, למעי של עכברים רזים. אחרי ההשתלה נצפתה עליה במשקל אצל העכברים הרזים.

9 פעילות להערכת אמינות מידע <https://tinyurl.com/micro-aminut>

10 Turnbaugh, P. J., Ley, R. E., Mahowald, M. A., Magrini, V., Mardis, E. R., & Gordon, J. I. (2006). An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. *nature*, 444(7122), 1027-131.

ב. חוקרים¹¹ איתרו זוגות של תאומים זהים, שאחד מהם רזה ואילו השני סובל מהשמנת יתר. חיידקים



מתאומים זהים כאלו הושתלו בעכברים. כל העכברים קיבלו אוכל זהה. לאחר חמישה שבועות נמצא, כי משקל עכברים שקיבלו חיידקים מהתאום השמן היה גבוה ב-20% בממוצע ממשקל העכברים שקיבלו חיידקים מהתאום הרזה.

ג. מחקרים רבים מנסים להבין את חלקם של המיקרואורגניזמים בהשמנה. הידע המדעי בנושא עדיין בתחילת הדרך. באחד המחקרים נמצא שחיידקים שונים מנצלים באופן שונה את המזון שמגיע למעי. עובדה זו יכולה להשפיע על ספיגה שונה של תוצרי העיכול בגוף. באנשים בעלי הרכב מיקרואורגניזמים שונה, שאכלו אותו מזון, ייספגו מהמעי חומרים שונים, שישיפיעו באופן שונה על משקלם.

1. היעזרו באיורים ובנו תרשים לכל אחד מהמחקרים שתוארו בסעיפים א', ב':

- על התרשים לתאר את שלבי הניסוי ואת התוצאות.
- סמנו בתרשימים של כל ניסוי את קבוצת הניסוי, את קבוצת הבקרה, ואת התוצאות.

תזכורת:

- **קבוצת הניסוי** - טיפולים הבודקים את הגורם המשפיע
- **קבוצת הבקרה** - טיפול אותו משווים לקבוצת הניסוי, זהה בתנאיו לקבוצת הניסוי, פרט לגורם הנבדק
- **תוצאות** - הנתונים והממצאים שנמצאו בניסוי.



2. מה תורם מחקר ג' לידע המדעי בנושא?

3. בכתבה שבקישור: [איתי להט, "זו לא אשמתכם"](https://tinyurl.com/micro-hashmana) (כלכליסט, 06.03.14), כתב אחד המגיבים לכתבה: "הסיבה להשמנה היא אחת ויחידה. עצלנות: עצלן להתאמן, עצלן להכין ולאכול אוכל בריא, עצלן ללמוד על סיבות להשמנה. אל תהיו עצלנים ותראו שתהיו רזים". מה דעתכם על הקביעה? רשמו טיעון: טענה ונימוק. <https://tinyurl.com/micro-hashmana>

11 Ridaura, V. K., Faith, J. J., Rey, F. E., Cheng, J., Duncan, A. E., Kau, A. L., ... & Muehlbauer, M. J. (2013). Gut microbiota from twins discordant for obesity modulate metabolism in mice. Science, 341(6150), 1241214.

סיכום הפרק

- ✓ אלפי מינים של מיקרואורגניזמים נמצאים בסביבה ובגוף האדם
- ✓ אוכלוסיית המיקרוביום בגוף האדם מתפתחת במהלך החיים
- ✓ להרכב המיקרוביום בגוף יכולה להיות השפעה על המצב הבריאותי



קישורים להרחבה

- סואץ, יותם (2016) מכון דוידסון: הקשר מתברר: כך חיידקי מעיים גורמים להשמנה
<https://tinyurl.com/micro-meayim>
- הארץ 04.02.2016: אמור לי מי החיידקים שלך ואומר לך מי אתה <https://tinyurl.com/micro-ata>
- חביב, חיים (2013) מכון דוידסון: הדיירים הנסתרים בגוף האדם, פרויקט המיקרוביום האנושי.
<https://tinyurl.com/micro-dayarim>
- שני פרידן-גפן (2017) חיידקים זה טוב! גלובס 9.4.17 <https://tinyurl.com/micro-tov>
- עלון שמורת טבע (2017) 193: מכיל 4 מאמרים בנושא מיקרוביום. <https://tinyurl.com/micro-alon>

פרק 2: חיידקים



מה מעניין אותך לדעת על חיידקים?

כתבו שאלות על פתק ומסרו למורה (אין חובה לכתוב שם).

צרו מאגר של כל השאלות שנשאלו בכיתה, כדי שתוכלו להשתמש בו במהלך או בסיכום הפרק.

כפי שלמדנו, חיידקים נמצאים כמעט בכל מקום על פני כדור הארץ. יש חיידקים היכולים לחיות במעמקי האוקיינוס ללא חמצן, יש כאלה החיים במעיינות חמים, ויש החיים במים מלוחים מאד. מה משותף לכל החיידקים? מה מאפשר להם לחיות כמעט בכל מקום?

בפרק זה נכיר את תכונות החיידקים, נכיר מעט מהמגוון הקיים, נכיר מחלות הנגרמות מחיידקים, דרכי אבחון וטיפול בהם, שימוש של חיידקים בתעשייה ועוד.

בפרק המבוא גידלנו וראינו מיקרואורגניזמים במיקרוסקופ. בפרק זה נכיר את קבוצת החיידקים.

בשלב ראשון נבצע תצפית בחיידקים במיקרוסקופ אור. כדי שאפשר יהיה לראות את החיידקים במיקרוסקופ האור צריך לצבוע אותם. אנו נצבע את החיידקים בצביעה שפיתח החוקר הדני כריסטיאן גרם בשנת 1884.

דיון כיתתי



איך נראים חיידקים? האם כל החיידקים דומים?

באילו דרכים ניתן להבחין בין חיידקים שונים לדעתכם?

נסו להעלות רעיונות שונים.

נכיר את אחת הדרכים לזיהוי חיידקים שונים במעבדה הבאה.

מעבדה 4: צביעת חיידקים



האורגניזמים, החומרים והציוד הנדרש¹²

- חיידקים (ניתן להכין צלחת גידול אחת מכל מין, כל זוג ישתמש במושבה אחת): סטפילוקוקוס אלבוס, אשריכיה קולי, בצילוס סובטיליס
- **צבע:** תמיסת פוקסין בסיסי.
- **ציוד נוסף (לזוג):** מים מזוקקים, זכוכית נושאת, עט סימון בלתי מחיק, כוס כימית 250 סמ"ק, 2 פיפטות פסטר, מחט בקטרילוגית חד פעמית, אטב עץ, מיקרוסקופ. מיכל לאיסוף חומר ביולוגי. כפפות חד פעמיות לכל תלמיד. גזייה אחת בעמדה המיועדת לכל הכיתה, בהשגחה צמודה של מורה. לפני תחילת העבודה יש להסביר לתלמיד שישמור על מרחק מתאים בין אצבעותיו לבין הלהבה כדי שהכפפות שעל ידיו לא יתלקחו.

12 ניתן לקבל חיידקים וצבעים אלו מהמרכז לפיתוח ותמיכה במעבדות בתי הספר, ביה"ס לחינוך, אוניברסיטת בר אילן

מהלך העבודה

העבודה תיעשה בתנאים סטריליים. יש להשתמש בכפפות חד פעמיות. את החיידקים והמחטים הבקטריולוגיות יש לחטא או לזרוק לפח המיועד לפינוי חומר ביולוגי.

כדי לקבל תמונה טובה עליכם להקפיד למלא בדיוקנות את הוראות הצביעה (כמויות צבע, זמנים, שטיפות טובות).

- באמצעות פיפטת פסטור, טפטפו אתנול על הזכוכית הנושאת, כך שהזכוכית מוטית כלפי מטה לתוך הכוס הכימית, רחצו ויבשו היטב.



- כתבו בעט סימון את שם החיידק אותו קיבלתם (בראשי תיבות SA, EC או BS), וסמנו עיגול (בקוטר של 1 ס"מ) בצד **התחתון** של הזכוכית הנושאת, שבמרכזו תבצעו את צביעת החיידקים.

על מנת שהסימון לא יימחק במהלך התהליך, **הפכו את הזכוכית** להכנת תתקין החיידקים.

- טפטפו טיפה קטנה של מים במרכז העיגול על פני הזכוכית הנושאת. במחט בקטריולוגית קחו מושבת חיידקים קטנה מתוך צלחת פטרי, ופזרו את תכולתה בטיפת המים - על כל שטח העיגול שסימנתם. מחט בקטריולוגית חד פעמית יש להניחה בפח לפינוי חומרים ביולוגים.
- קבעו את הדגימה: החזיקו את הזכוכית הנושאת בקצה באמצעות אטב עץ. העבירו את הזכוכית הנושאת בעדינות מעל להבה פעמיים (לא לשרוף). עבודה באש גלויה תיעשה בהשגחה צמודה של מורה.
- הניחו את הזכוכית הנושאת על שפת הכוס הכימית, טפטפו תמיסת פוקסין בסיסי, באופן שיכסה את העיגול המסומן, והמתינו למשך דקה אחת.
- שטפו בעדינות במים מזוקקים באמצעות פיפטת פסטור לתוך **הכוס הכימית** שלפניכם, כאשר הזכוכית מוטית כלפי מטה בתוך הכוס, עד שהמים היוצאים מתחתית הזכוכית יהיו שקופים ללא סימני צבע.
- יבשו באוויר.

לאחר שהתתקנים **יבשים לחלוטין** תוכלו להסתכל במיקרוסקופ.

ראשית, הסתכלו בהגדלה קטנה, לזיהוי ומיקוד אזור הצביעה, עברו ומקדו את ההגדלה הבינונית ולבסוף השתמשו בהגדלה הגדולה.

כאשר הצלחתם לראות חיידקים באופן ממוקד בהגדלה הגדולה, צלמו מבעד למיקרוסקופ את החיידקים, תארו וציירו את הממצאים.

הסתכלו בשני מינים נוספים של חיידקים שצבעו חברים לכיתה (סה"כ 3 מינים).

אם יש במעבדת בית הספר עדשת מיקרוסקופ להגדלה $\times 1000$ תוכלו להסתכל בחיידקים באמצעות שמן אימרסיה. זכרו, אסור להחזיר את העדשה להגדלה קטנה יותר כל עוד יש שמן אימרסיה. נקו את השמן מהעדשה ומהתתקין באמצעות נייר עדשות.

1. סכמו את תוצאותיכם בצילום, ציור ותיאור מילולי של שלושת מיני החיידקים.

2. השוו את שלושת מיני החיידקים: האם שלושתם בעלי אותה צורה?

3. איזה מידע אודות חיידקים לא ניתן לקבל בשיטה בה התנסיתם?

תוכלו להעמיק בשיטות הצביעה בקישור: <https://tinyurl.com/tzviah> ביוטכנולוגיה בפעולה, מיקרואורגניזמים, אורט, משרד החינוך

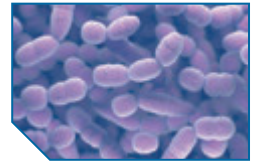
במיקרוסקופ האלקטרוני, המאפשר הסתכלות בהגדלות גבוהות מאד, ניתן לראות פרטים נוספים.

חיידק הסלמונלה שבתמונה נראה כמתג (מקל), ובהגדלה זו נראים גם שוטונים, המקנים לו יכולת תנועה.

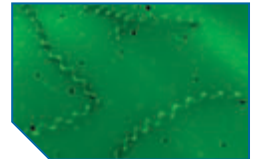


חיידק זה שנמצא מדי פעם במזון מזוהם, עשוי לגרום לשלשולים והקאות, ואף למחלת טיפוס ומוות.

חיידק הסטרפטוקוקוס פנאומוניה, הגורם לדלקות ריאות ולפעמים לדלקת קרום המוח, צורתו כנקד (כדור) המופיע בזוגות או שרשראות.



חיידק הספיריליום נראה בצורתו הסלילנית. לקבוצה זו משתייך חיידק לפטוספירה, הגורם למחלת העכברת שמועברת לבני אדם למשל באמצעות שחיה במים מזוהמים.



כשמסתכלים על החיידקים בהגדלות גדולות עוד יותר, ניתן להבחין במבנה תא החיידק. מבנה זה שונה מאד מתאים אחרים אותם אנו מכירים, כמו תאי גוף האדם או תאי צמחים. תא החיידק הינו בעל מבנה פשוט מאד. הוא מכיל חומר תורשתי, אך חסר גרעין מוגדר וחסר אברוני תא מוגדרים. תא חיידק שייך לקבוצה המכונה "פרוקריוטים" ("לפני גרעין התא"), לעומת תאי בעלי חיים וצמחים המכונים "אאוקריוטים" ("בעלי גרעין תא").

מעבדה 5: תאי החיידקים ותאים אחרים



עד כמה שונים החיידקים מיצורים אחרים? ננסה לברר זאת באמצעות הסתכלות במיקרוסקופ בתאים שונים.

ציוד וחומרים

- קיסם אוזניים
- 2 זכוכיות נושאות
- מתילן כחול
- כלי לפסולת

א. הסתכלות בתאי אפיתל מהלחי¹³

- העבירו בעדינות את קצה קיסם האוזניים בתוך הפה, בחלק הפנימי של הלחי. בדרך זו תאספו על הקיסם תאים מרירת הלחי הניתקים בקלות.
- טפטפו טיפת מים במרכז זכוכית נושאת, ומרחו את תכולת הקיסם בתוך הטיפה.
- שימו את הקיסם המשומש בכלי.
- כסו בזכוכית מכסה, והסתכלו במיקרוסקופ.
- התחילו בהגדלה X40 ועברו בהדרגה להגדלה X400.
- טפטפו טיפת מתילן כחול בקצה הזכוכית המכסה וספגו את הטיפה מן הצד השני של הזכוכית המכסה.

13 יש להתאים את המעבדה להוראות בטיחות עדכניות של משרד החינוך <https://tinyurl.com/chozer-mankal>

1. תארו את התאים לפני ואחרי צביעה והוסיפו צילום.
2. ציירו את התא וציינו בציור אברונים בהם הצלחתם לצפות.

ב. הסתכלות בתא של פלפל אדום (או גמבה):

- טפטפו טיפת מים במרכז זכוכית נושאת.
- שברו את פיסת הגמבה כלפי חוץ. בשולי הקרע תוכלו למצוא שכבת תאים דקה מהקליפה החיצונית. בעזרת מלקטת (פינצטה) הוציאו פיסה קטנה זו.
- הניחו אותה בטיפת המים וכסו בזכוכית מכסה.
- צפו במתקן מבעד למיקרוסקופ בהגדלה קטנה וחפשו אזור בו תזהו שכבת תאים אחת ברורה.
- הסתכלו בהגדלה בינונית וגדולה.
- צלמו את התאים בהגדלה גדולה.

1. ציירו תא אחד, ותארו כיצד מאורגן הצבע האדום בתא.

2. השוו בין תא חיידק לבין תא צמח ותא של בעל חיים:

השתמשו במידע שמצאתם בתצפיותיכם והיעזרו במידע נוסף, למשל מהאינטרנט.

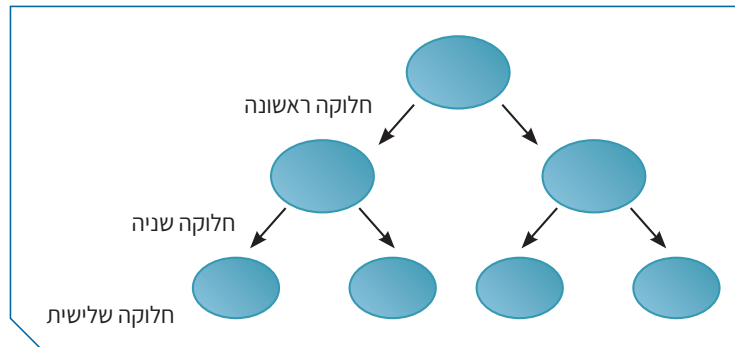
תא צמח	תא בעל חיים	תא חיידק	
			
		כ-2 מיקרומטר	גודל (*ראו איור בעמ' 14)
כן, למשל: _____ _____ _____			האם בתא יש אברונים מוקפים בקרום?
	קרום בלבד		סוג מעטפת התא (קרום/דופן)
גרעין			מיקום החומר התורשתי בתא

3. תאים של בעלי חיים וצמחים נחשבים מפותחים יותר מתאי חיידקים. בהתבסס על הטבלה, הסבירו מדוע.

2.1 רביית חיידקים

התרבות חיידקים נעשית ע"י חלוקת התא. צאצאיו של חיידק בודד זהים גנטית זה לזה.

1. השלימו את החלוקה השלישית בשרטוט: כמה חיידקים נקבל מחיידק אחד לאחר חלוקה אחת? שתי חלוקות? שלוש חלוקות?

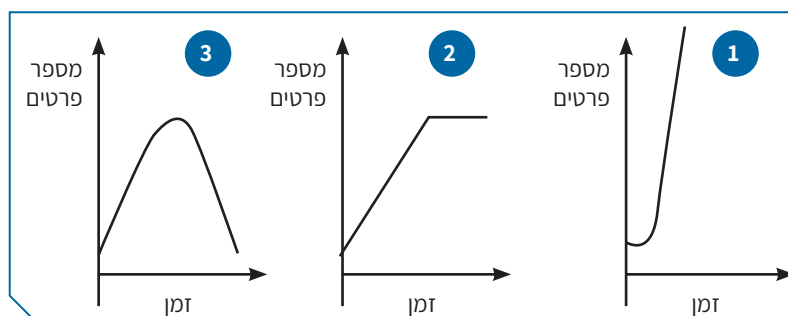


במינים מסוימים של חיידקים, בתנאים מתאימים, מתרחשת חלוקה של התאים כל 20-30 דקות.

2. בתנאים מיטביים, תא של החיידק אי קולי מתחלק כל 20 דקות. בהנחה שזמן חלוקת התא הוא 20 דקות, כמה צאצאים יהיו לכל חיידק לאחר שלוש שעות? ולאחר יום? הסתייעו בטבלה.

מספר חלוקה	זמן (שעות)	מספר חיידקים מצטבר
1	20 דקות	2
2	40 דקות	4
3	1 שעה	8
4	1:20	
5	1:40	
6	2 שעות	
7	2:20	
8	2:40	
9	3 שעות	
10	3:20	

3. איזה מבין העקומים הבאים מתאר את קצב התרבותם של החיידקים המתוארים בטבלה? הסבירו את בחירתכם.

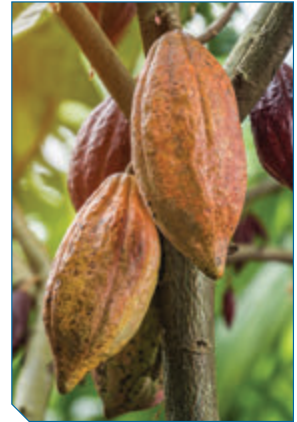


4. מה תוכלו לומר על קצב התרבות חיידקים?

נדגים את התכונות העיקריות של החיידקים שאיפשרו לאדם להשתמש בהם לתהליכי ייצור שונים, באמצעות תהליך ייצור השוקולד.

חיידקים בייצור השוקולד

שוקולד מופק מפולי קקאו שגדלים על עצי קקאו באזורים טרופיים שבהם האקלים חם ולח. עצים אלו חיים בדרך כלל כמאה שנה. הפרי הוא בצורת תרמיל והוא מכיל כארבעים זרעים לבנים ולחים הנקראים פולים.



עץ קקאו



פולי קקאו מיובשים

השלב הראשון בייצור השוקולד הוא תסיסה. תסיסה היא תהליך הפקת אנרגיה המתרחש ללא שימוש בחמצן (תהליך אותו נלמד בהרחבה בפרק 6). לשלב זה אחראיים חיידקים ושמרים המצויים באופן טבעי על הפולים (בדוגמה זו נתייחס לחיידקים).

ניתן לבצע את התהליך בתנאים פשוטים. מוציאים את זרעי הקקאו מתוך הפרי ומכניסים אותם למיכלים (למשל כאלו המוצגים בתמונה). הם מכוסים לרוב בעלים של בננות למשך 5-7 ימים.

התנאים שנוצרים במיכלים מאפשרים לחיידקים שהתפתחו באופן טבעי על הציפה, להתרבות בקצב מהיר. הם ניזונים מסוכרים הנמצאים בציפה, ומפרקים אותם לחומצות ולפחמן דו חמצני, בתהליך המשחרר חום. הציפה נעשית דקה, ומתבקעת, ומתאפשרת חדירה של חיידקים ושמרים אל תוך זרעי הקקאו. תהליכי הפירוק משנים את הטעם המר של זרעי הקקאו, ונוצרים הטעם והארומה האופייניים לשוקולד. במקביל, משתנה גם צבע הזרע מלבן לחום. בסיום התסיסה, הזרע עובר תהליכי ייבוש וקלייה לקראת יצירת הקקאו. הקפדה על משך תהליך תסיסה מתאים היא הכרחית, שכן תהליך תסיסה קצר מדי יוצר טעם הדומה לתפוחי אדמה שאינם מבושלים, ולהתפתחות עובש. לעומת זאת בתהליך תסיסה ארוך מדי עלול הזרע להיהרס.



שלבי תסיסה



תחילת תסיסה



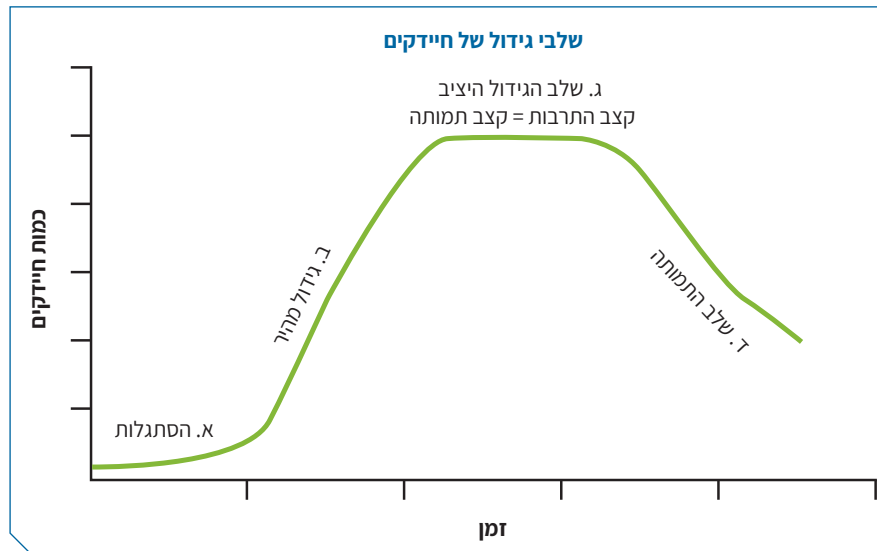
מיכל תסיסה

5. א. הכינו תרשים זרימה המתאר את שלבי עיבוד פולי הקקאו מרגע הקטיפה ועד ליצירת פולים חומים המוכנים לקלייה. סמנו בתרשים את השלבים בהם תורמים החיידקים לאיכות השוקולד ואת השלב בו נעצר תהליך זה.

ב. הסבירו מהם התנאים המאפשרים את תרומת החיידקים ליצירת שוקולד איכותי?



תהליך התססת הקקאו אורך כשבוע. ניתן לראות בהדרגה את השתנות הצבע של הזרעים מלבן לחום. כדי להבין כיצד מתרבים המיקרואורגניזמים במיכלי ההתססה של פולי הקקאו, ומדוע תהליך אורך שבוע, נכיר את תהליך התרבות החיידקים. קצב גידול החיידקים אינו אחיד לאורך תהליך תסיסת פולי הקקאו. הוא נראה כך:



בשלב ראשון (א) החיידקים מסתגלים לתנאים שיש להם במכלי הגידול (למזון שנמצא בפולי הקקאו, לתנאי הלחות והאוויר במכלים). בשלב שני (ב) החיידקים כבר מנצלים באופן מיטבי את המזון והתנאים, ולכן מתרבים בקצב מהיר. בשלב שלישי (ג) כמות המזון שיש לחיידקים קטנה והצפיפות יוצרת שינוי לרעה בתנאי הסביבה. אם נשאיר את הפולים לאורך זמן, תמותת החיידקים תגבר על קצב הריבוי (ד).

6. א. על פי המידע על תהליך תסיסת זרעי הקקאו, מהם התנאים המתקיימים במיכלים בכל אחד מארבעת שלבי גידול החיידקים?

ב. נסו לשער באילו מהשלבים (א-ד) כדאי לעצור את תהליך התסיסה, לייבש את הזרעים ולקלותם, ולהתקדם בשלבי ייצור הקקאו לשוקולד? מדוע חשוב להקפיד על הפסקת התסיסה דווקא בשלב זה, כדי לקבל שוקולד איכותי?

7. עקום גידול החיידקים, כפי שתואר באיור בהקשר של הקקאו, הוא כללי לכל החיידקים. גידול חיידקים לתעשייה דורש שליטה על תהליכים. בתהליכי שימור מזון, כמו בכבישת (החמצת) מלפפונים, תהליך גידול החיידקים נעצר בשלב בו רמת החומציות נמוכה, באופן שלא תאפשר התפתחות חיידקים. לעומת זאת, בייצור תעשייתי של כוהל אתנול באמצעות חיידקים, יש לאפשר תנאי גידול בהם החיידקים ייצרו אתנול לאורך זמן.

א. מהם שלבי הגידול, על פי הגרף, המתאימים לכל אחת מהדוגמאות?

ב. באיזה משני התהליכים יש לאפשר לגידול החיידקים להישאר בשלב ב לאורך זמן? מהם התנאים המאפשרים זאת?

תסיסת קקאו, החמצת מלפפונים והפקת אתנול הם תהליכים ביוטכנולוגיים. תנאי הגידול בטבע בדרך כלל אינם מיטביים. חיידקים בתנאים טבעיים לרוב אינם מתרבים באופן המוצג על ידי עקומת הגידול. במעבדה ובתעשייה מעוניינים לשלוט היטב בתהליכים.

קישורים להרחבה

- [טבעוני \(2013\) סיפורו המופלא של השוקולד, מכון דוידסון](https://tinyurl.com/micro-shokolad) <https://tinyurl.com/micro-shokolad>
- [סרטון תהליך ייצור השוקולד \(באנגלית\)](https://tinyurl.com/shokolad-yizur) <https://tinyurl.com/shokolad-yizur>
- [סיור אסטלה במטעי הקקאו](https://tinyurl.com/shokolad-mata) <https://tinyurl.com/shokolad-mata>

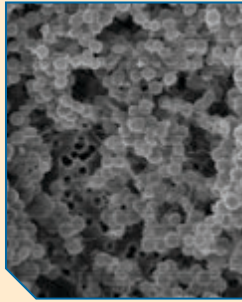
2.2 גידול חיידקים

חיידקים נמצאים כמעט בכל מקום על פני כדור הארץ. כיצד ייתכן שחיידקים מתקיימים גם באזורים מושלגים וגם במעיינות חמים? במדבריות וגם ביערות הגשם, בים וגם ביבשה? באוויר וגם במעמקי הים במקומות חסרי אוויר?

ישנם חיידקים הזקוקים לחמצן בתהליך הנשימה כדי להפיק אנרגיה (אירוביים). אחרים, אינם משתמשים בחמצן לנשימתם (אנאירוביים), וישנם חיידקים שמעדיפים חמצן אך יכולים לגדול גם בהיעדרו (פקולטיביים).

מגוון החיידקים הוא עצום. חיידקים יכולים לפעול בצורה מיטבית בטווח רחב של תנאים חיצוניים. מחוץ לטווח זה חלה ירידה בתפקודם שעלולה להסתיים במותם. לכל חיידק למעשה יש תנאים מיטביים אופייניים. כדי להכיר מגוון תנאים, נכיר חיידקים הגדלים בגוף האדם, אך ננסה להבין מה גורם לחיידקים שונים להתרבות במקומות שונים בגוף.

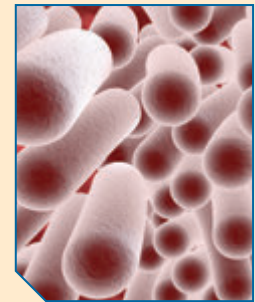
1. לפניכם מידע אודות ארבעה מיני חיידקים היכולים להתפתח באזורים שונים של גוף האדם. קראו ומלאו בהתאם את הטבלה שלאחריה.

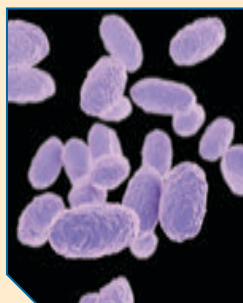


סטפילוקוקוס אראוס (זהוב) חי באופן טבעי על העור, באזורים רטובים כגון בין האצבעות, בית השחי, מפשעה, או באזורים שומניים כגון כפות ידיים ושורשי השערות. כמו כן חי באף וגם בפה. החיידק עמיד למליחות גבוהה, ויכול להתרבות בתנאים של נוכחות חמצן או ללא חמצן. החיידק שייך לאוכלוסייה הטבעית של הגוף, אך חדירה לפצע או כניסה לזרם הדם, מאפשרת הגעתו לאזורים אחרים בגוף, ועשויה לגרום נזק בעיקר אצל אנשים בעלי תנגודת חיסונית נמוכה ולעיתים גם בקרב בריאים.

להרחבה: בר ניר, 2010 חיידקים בעור, <https://tinyurl.com/micro-or> Medicine

חיידק הגורם למחלת הצפדת - טטנוס (קלוסטרידיום טטני), זקוק לתנאים אנאירוביים של חוסר חמצן. החיידק אינו יכול לחדור באופן עצמאי לגוף, אלא רק דרך פצעים או חתכים עמוקים, כוויות או הזרקות במחט לא סטרילית. עם התרבות החיידק במשך 5-19 ימים, מופרש רעלן שיכול להגיע למערכת העצבים ולפגוע בפעילותה, לגרום להתכווצויות ועוויתות מקומיות, ואף למצב של שיתוק שרירי הנשימה ומוות. חיסון הטטנוס מונע את המחלה הקשה הזו.





החיידק הגורם למחלת השעלת (בורדטלה פרטוזיס) זקוק לתנאים אווירניים, ולא יתפתח ללא חמצן. ההדבקה מתרחשת באמצעות רסיסי רוק עקב שיעול. החיידק זקוק למזון עשיר. החיידק מתיישב בדרכי הנשימה ויוצר רעלן שמשבש את פעילות מערכת החיסון. נוצר ריר סמיך שסותם את דרכי הנשימה ומונע מעבר חמצן. נגרמים התקפי שיעול קשים. סיבוכי המחלה יכולים לגרום למוות, במיוחד אצל תינוקות. חיסון לשעלת מונע מחלה זו.

אשריכיה קולי הוא החיידק המפורסם ביותר. הוא מצוי באופן טבעי במעי. הוא יכול להתפתח בתנאי חמצן (אירוביים) וגם בתנאים חסרי חמצן (אנאירוביים). למרות שבמעיים החיידק אינו מזיק, הימצאותו באזורי גוף אחרים, למשל בדרכי השתן, בדרכי המרה ובכבד, עלולה לגרום למחלות, במיוחד אצל בני אדם בעלי מערכת חיסון ירודה, כמו חולי סרטן, חולי סוכרת ועוד. בתנאים מתאימים, חיידק זה מתחלק כל 20 דקות.



חיידק זה משמש כאינדיקטור לאיכות המים. נוכחות מספר גדול של חיידקי א. קולי במים או במזון מצביעה על זיהום.

להרחבה: בר ניר, 2008, אשריכיה קולי- אויב או אוהב? גליליאו <https://tinyurl.com/oyev-ohev>

מלאו את הטבלה הבאה בהתאם למידע שקראתם:

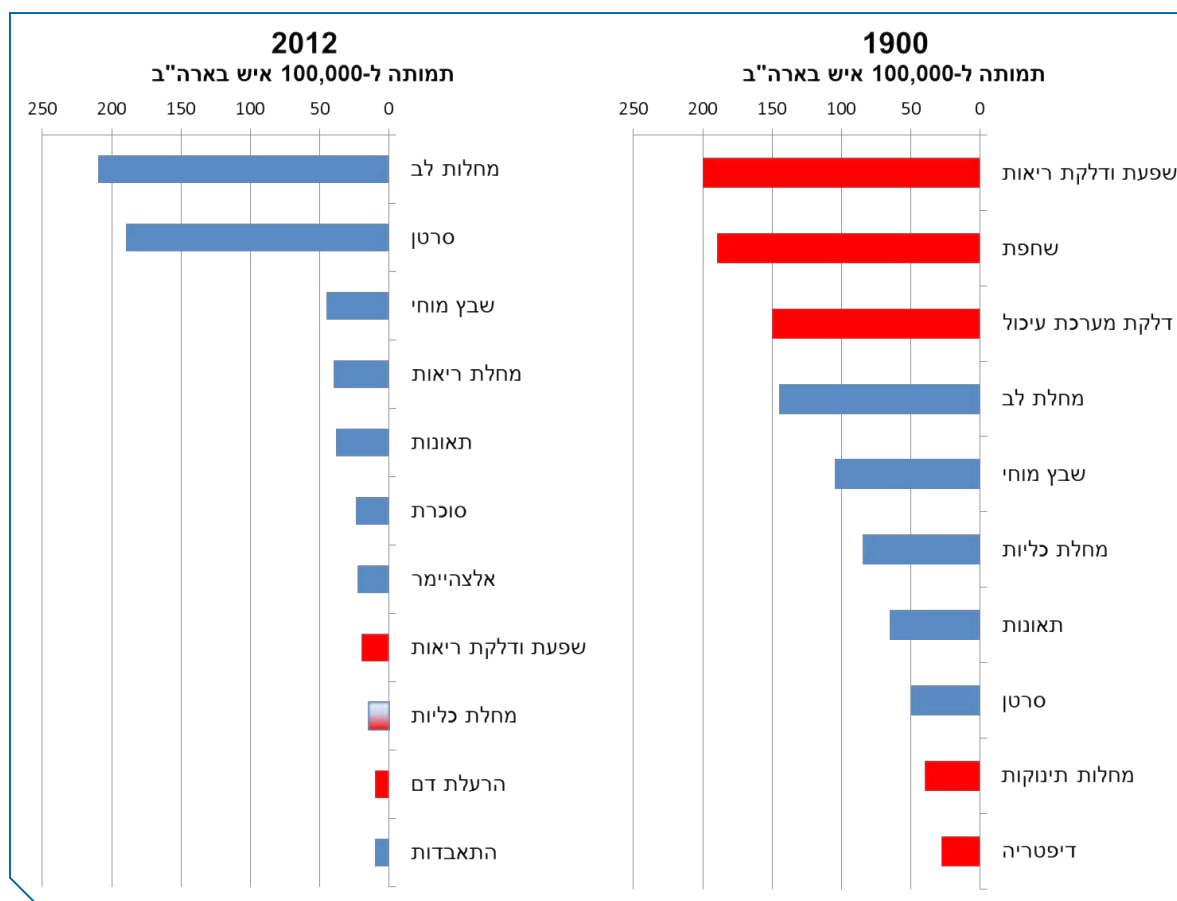
החיידק	איזורים בגוף בהם חי החיידק	תנאי סביבה באזור הגידול	התאמת החיידק לקיום באזור גידול זה
סטפילוקוקוס אראוס			
קלוסטרידיום טטני			
בורדטלה פרטוזיס			
אשריכיה קולי			

2. "מיקרואורגניזמים יכולים לפעול בצורה מיטבית בטווח של תנאים חיצוניים". כיצד רעיון מדעי זה בא לידי ביטוי בטבלה?

3. תנו דוגמה למצב שבו חיידקים הנמצאים באזור מסוים בגוף אינם מזיקים, אך גורמים למחלה כאשר הם נמצאים באזור אחר.

2.3 מחלות

לפניכם גרף המתאר את שיעור התמותה ל-100,000 איש ממחלות שונות בארצות הברית בתחילת המאה ה-20 לעומת תחילת המאה ה-21.¹⁴



1. מהם ההבדלים העיקריים בתמותה בין שתי התקופות המתוארות? הציעו שני הסברים לפחות להבדלים אלו.
2. מה לדעתכם מסמל הצבע האדום? מדוע לדעתכם שיעור הצבע האדום שונה בין התקופות?
3. "תוחלת חיים" (משך חיים ממוצע באוכלוסייה) בשנת 2013 בארה"ב הייתה 78.8 שנים, ובישראל בשנת 2014, 83.0 שנים לגברים 84.1 שנים לנשים. לעומת זאת, בשנת 1900 חיו נשים אמריקניות בממוצע 48.3 שנים והגברים שם רק 46.3 שנים. מה מוסיפים נתונים אלו¹⁵ להבנת ההשפעה של הרפואה והתזונה על תמותה באוכלוסייה?
4. יש המתנגדים למתן חיסונים ולאנטיביוטיקה. האם המידע המופיע בגרפים אלו תומך בעמדתם? נמקו, תוך שימוש בנתונים, בהשוואות ובהסברים.
5. מהן המחלות ששיעור התמותה הנגרם מהן באוכלוסייה עלה בשנת 2012 ביחס ל-1900? הסבירו את העלייה בגורמי תמותה אלו.
6. נסו להגדיר: מהי מחלה?

14 ע"פ Brooks, George F (2013) Medical microbiology, McGraw-Hill Medical, p.8.

15 ע"פ National Vital Statistics Reports 2013, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה בישראל, ונתוני המרכז האמריקני הלאומי לסטטיסטיקה בריאותית (NCHS).

תעלומה במחלקת יולדות¹⁶

במחלקת היולדות בבית החולים ארע מקרה נדיר במיוחד.

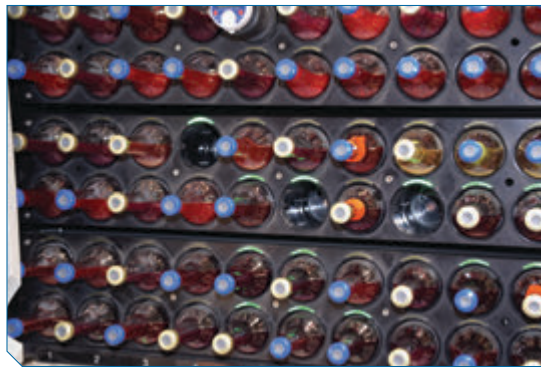
שלוש נשים חשו בצמרמורות, חום גבוה, כאבי בטן חזקים וריח רע נדף מהן.

1. כיצד הייתם חוקרים את צירוף המקרים?

נלקח דם מהיולדות החולות והוזרק לבקבוק מיוחד המכיל מצע העשרה נוזלי המאפשר לחיידקים לגדול בתנאים מיוחדים המותאמים לדם.

דוגמית הדם הוזרמה לבקבוקונים מתאימים, ישירות עם לקיחת הדם מגוף החולה, והוכנסה לאינקובטור בתנאי גידול דומים לאלה שבדם.

באמצעות המכשיר (בתמונה), ניתן למדוד את כמות החיידקים בכל בקבוקון. תאורה ירוקה מעל הבקבוקון (מסומן בחץ) מעידה על תשובה שלילית (לא נמצאו חיידקים). במקרה זה לא נדלקה תאורה מעל דגימות דם החולות.



2. מה משמעות תוצאת בדיקה זו?

דגימות נוספות נלקחו מגופן של המאושפזות והובאו למעבדה.



חלק מהדגימות נזרעו על מצעים מתאימים. המצעים הוכנסו לגידול באינקובטור למשך 24-48 שעות ב-37°C.

3. לשם מה צריך להדגיר את דגימות החיידקים באינקובטור?

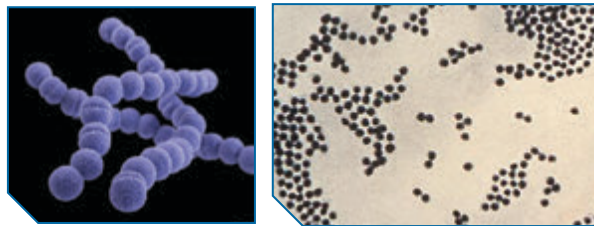
החיידק נלקח לזיהוי במיקרוסקופ בשיטה של "צביעת גרם", המבחינה בין שתי קבוצות עיקריות של חיידקים: בעלי דופן עבה "גרם חיובי", ובעלי דופן דקה ומעטפת חיצונית "גרם שלילי". חיידקים גרם חיוביים קולטים צבע סגול, הנשאר בדופן העבה גם לאחר שטיפה באלכוהול. לעומתם בחיידקים גרם שליליים הצבע הסגול נשטף. כאשר דופן החיידק אכן נצבעת בסגול, הוא מוגדר כ"גרם חיובי", ואם הדופן נצבעת בצבע נגדי הוא מוגדר "גרם שלילי". בתמונה ניתן לראות מכשיר הצובע אוטומטית את החיידקים בצביעת גרם ובכך מספק מידע על הרכב הדופן שלהם ועל צורתם.

16 תמונות המעבדה צולמו במעבדת בית החולים פוריה, באדיבות ד"ר אבי פרץ. תרבויות החיידקים התבצעו במעבדת המכללה האקדמית צפת.



התמונה שהתקבלה במיקרוסקופ היא של חיידק שנראה כשרשרת כדורים, בצבע סגול. מבנה זה אופייני למשפחת חיידקים הנקראת "**סטרפטוקוקים**". השם "סטרפטוקוקוס" פירושו סטרפ=מעוקל, קוקוס= כעין כדור קטן.

סטרפטוקוקוס בהגדלה X1000 ובמיקרוסקופ אלקטרוניים



זיהוי החיידק

כדי לדעת מהו הטיפול המתאים כנגד החיידק, חשוב לזהות בדיוק באיזה זן של סטרפטוקוקוס מדובר. לשם כך נערכו בדיקות זיהוי. דגימות חיידקים נזרעו על גבי מצעי גידול שונים כדי לאפשר זיהוי החיידק.

הבדיקה הראשונה הייתה במצע גידול מוצק המכיל דם (אגר דם).

בתמונה ניתן להבחין בקווים ונקודות שהם מושבות החיידק (כל מושבה מכילה מיליונים רבים של חיידקים). **החיידקים גרמו לפירוק ההמוגלובין** (הצבען האדום בתאי הדם האדומים) וכך נוצרה הילה צהובה-שקופה סביב המושבה. באופן זה ניתן לראות שחיידק זה מפריש רעלן שהוא אנזים המפרק את ההמוגלובין שתאי הדם האדומים.

4. מאחר ונמצאו חיידקים גם בדם, כיצד הם משפיעים על הדם בתוך הגוף?

הדגימה שנלקחה מגוף היולדת נזרעה גם על צלחת עם מצע מזון מיוחד שמכיל DNA.

את הדגימה זרעו בקו אחד במרכז צלחת הפטרי.

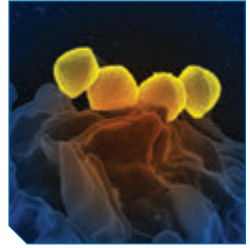
בקו הזריעה גדלו לאחר יומיים מושבות חיידקים. מאחר והחיידקים פירקו את ה-DNA שבמצע זה, ניתן לראות הילה לבנה-שקופה סביב המושבות.

5. DNA, החומר התורשתי, נמצא בגרעיני התאים בגוף. אם כך, איזה נזק יכול לגרום פירוק ה-DNA בגוף החולה?

מעבר לפגיעה הכללית אותה בוודאי ציינתם בתשובתכם, היכולת לפרק DNA מגבירה גם את יכולתו של החיידק לשרוד בגוף. תכונה זו יכולה ללמד אותנו על "גורמי אלימות" של החיידק - הדרכים בהן חיידק עלול לחולל מחלות.



אחד מהגורמים שהופכים חיידק לגורם מחלה (פתוגני), הוא היכולת שלו להתגבר על מערכות ההגנה של הגוף. בין ה"חיילים" השונים שמשמשים את מערכת הגנה נמצאים גם תאי דם לבנים בלעניים, הבולעים את גורמי המחלה (למשל חיידקים).

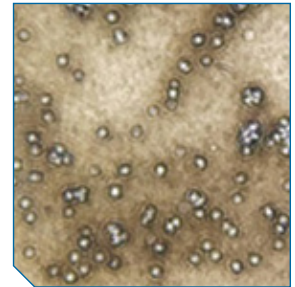


מימין מופיע צילום מיקרוסקופ אלקטרוני של חיידקי סטרפטוקוקוס פיוגנס (צהוב) המותקפים על ידי תא בלען. בשלב הראשון החיידק נלכד ברשת סבוכה המורכבת מ-DNA וחלבונים. בשלב השני התא מתחבר לחיידק בנקודות מסוימות. רק לאחר כן מתרחשת הבליעה. חיידקים גורמי מחלה יכולים להפריע להתקשרות של התא הבלען.

6. מה לדעתכם יקרה ליכולת הבליעה של התאים הבלעניים כאשר החיידק מסוגל לפרק DNA?

דגימות החיידקים נלקחו לבדיקת מיקרוסקופ הבוחנת האם החיידק יוצר מעטפת הגנה סביבו (קפסולה).

בצילום זה של החיידק בהגדלה $\times 1000$, החיידקים נצבעו בדיו. צבע הדיו לא נקלט על ידי מעטפת שהחיידק יצר סביבו, הנקראת קפסולה (נרתיק). שיטה זו מאפשרת להבחין בקפסולות הבולטות בלבן. נמצא שהחיידק עטוף בקפסולה. מעטפת החיידק במצב רגיל מזוהה על ידי תא בלען כגוף זר, באופן שמפעיל את מנגנון הבליעה. כאשר החיידק נמצא בתוך הקפסולה נמנע זיהוי על ידי התא הבלען.



7. כיצד יצירת קפסולה משפיעה על התפתחות המחלה בגוף החולה?

8. התכונות של החיידק: פירוק תאי הדם האדומים, הפרשת אנזים המפרק DNA ויצירת קפסולה הם "גורמי אלימות". הסבירו כיצד גורמי אלימות אלו גורמים למחלה?

תוצאות המעבדה שהתקבלו מעידות על חיידק אלים במיוחד: "סטרפטוקוקוס פיוגנס". סטרפטוקוקוס פיוגנס (A) הוא הגורם העיקרי לאלח דם (זיהום דם) אימהי, שמסכן חיים של יולדות (קדחת היולדות). מדובר בזן של החיידק שתוקף אנשים בעלי מערכת חיסון חלשה במיוחד.

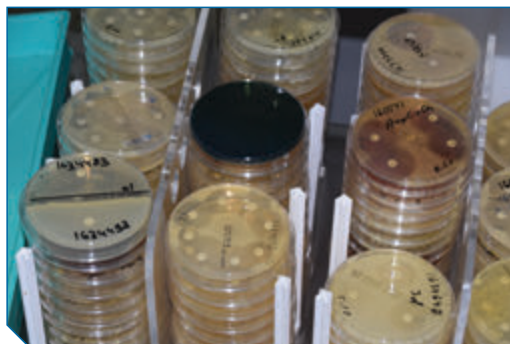
9. הכינוי העממי של חיידק זה הוא "החיידק הטורף". הסבירו מדוע.

זיהוי דרכי הטיפול בחיידק

כדי למצוא טיפול אנטיביוטי יעיל כנגד החיידק נזרעות דגימות החיידקים, ועליהן מניחים דסקיות או רצועות המכילות אנטיביוטיקה.

הצלחות מודגרות באינקובטור למשך לפחות 24 שעות.

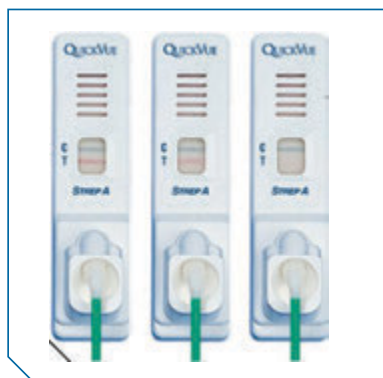
אם החומר האנטיביוטי יעיל, כלומר החיידק רגיש לו, ניתן לראות סביב דסקית האנטיביוטיקה הילה שקופה המעידה על כך שנפגעה התרבות החיידקים.



נמצא שהטיפול היעיל נגד חיידק זה הוא פניצילין. גילוי מוקדם של המחלה, וטיפול בתרופות המכילות פניצילין או חומרים דומים (כגון מוקסיפן ופנברטיין), מאפשרים להתגבר עליה ולמנוע סיבוכים.

חקירה אפידמיולוגית: כיצד התרחש צירוף מקרים נדיר זה?

לאור צירוף מקרים זה, בבית החולים נערכה חקירה אפידמיולוגית (חקירה שבוחנת התפשטות מחלות באוכלוסייה).



באדיבות חברת רימיפארם בע"מ

נמצא, שאחד מנשאי החיידק היה רופא בבית החולים. אדם יכול להיות נשא של החיידק בגרון ללא כל סימני מחלה. לכן, אחת הבדיקות שנערכה היא משטח גרון.

בבדיקה, לוקחים, באמצעות מטוש, דגימה מהשקדים ומחלל הגרון. החיידקים נלקחים למעבדה לגידול בתרבית.

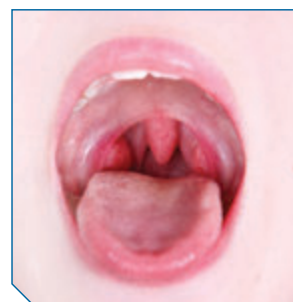
אם מגדלים את החיידקים על אגר דם (כמו בתמונה למעלה), סטרפטוקוק פיוגנס מתגלה באמצעות תכונתו לגרום לפירוק תאי דם אדומים. לקבלת אבחנה מיידית ניתן להשתמש בערכה המבוססת על תגובת צבע של נוגדנים המזהים באופן ייחודי חיידקי סטרפטוקוקוס פיוגנס. אם הנוגדנים נקשרים לחיידקים, מתקבל פס צבעוני.

<https://tinyurl.com/mishtach> סרטון להמחשת הבדיקה של משטח גרון



החיידק סטרפטוקוקוס פיוגנס נמצא בגרון של בני אדם בלבד, ובדרך כלל אינו גורם למחלה. כאשר מספר החיידקים עולה מעבר לרמה הנמוכה בגרון, לסטרפטוקוק פיוגנס יש נטייה להיכנס לעומק רקמות כמו ה"שקדים" (קשרי הלימפה) שבגרון, ולגרום לדלקת. כאשר החיידק חודר מסיבה כלשהי לאזורים אחרים בגוף יכולים, במקרים נדירים, כמו במקרה של מערכת חיסון לא תקינה, להיגרם סיבוכים.

בצילום ניתן לראות שקדים מוגדלים והפרשה לבנה. במקרה של הרופא הנבדק, כאמור לא היו תסמינים של דלקת גרון, אך החיידק נמצא בגרונו.



נמצא שהרופא נושא חיידק סטרפטוקוקוס פיוגנס בגרון.



כדי לדעת האם שלוש הנשים נדבקו מהרופא, נערכו בדיקות המזהות את הזן המדויק של החיידק.

ניתן לזהות את זן החיידק גם על פי המידע הגנטי (DNA) שלו.

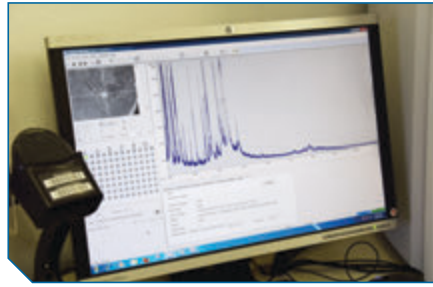
ריאקצית PCR בודקת האם גן מסוים שהרכב ה-DNA שלו ידוע, נמצא בדגימה. מכשיר RT PCR (בתמונה) מאפשר בדיקה מהירה יחסית.

אם ידועים ההבדלים המדויקים ב-DNA בין זני סטרפטוקוקים שונים, ניתן לגלות האם החיידקים שנלקחו משלוש הנשים זהים לחיידקי הרופא.

קיימת שיטה מתקדמת נוספת לבדיקת ההרכב המדויק של החיידקים:

ספקטרומטר מסה מזהה חיידקים תוך דקות באמצעות זיהוי החלקיקים שיש בדגימת החיידקים, על ידי קרן לייזר. המכשיר משווה את הנתונים המתקבלים מהחיידק הנבדק, לבסיס נתונים, שכיום נמצאים בו נתונים של 15,000 חיידקים ונגיפים שונים. בדרך זו ניתן להבחין בין זנים שונים, למשל כאלה העמידים ושאינם עמידים לאנטיביוטיקה.





נמצא שהחיידקים שנשא הרופא דומים לזן שנמצא בדגימה מאחת החולות.

דיון כיתי



- א.** האם ניתן לומר בוודאות שהרופא הדביק את החולה בחיידק? נמקו את קביעתכם.
- ב.** האם לדעתכם יש לחשוש לבריאותן של שאר היולדות במחלקה? מדוע?
- ג.** כיצד ניתן לוודא שיוולדות אחרות בבית החולים לא נדבקו בחיידק?
- ד.** מדוע יש לחכות לתוצאות של בדיקות מעבדה לזיהוי החיידקים 24 שעות ולעיתים אף שבוע?

מקרה דומה לסיפור שתואר כאן אירע בשנת 2015. צפו בסרטון: <https://tinyurl.com/micro-toref> **רחלי אפרים וקטי דור, 16.12.15**



החיידק הטורף מכה, מבט, רשות השידור

מחלות הנגרמות על ידי סטרפטוקוקוס

ברוב המקרים בהם החיידק סטרפטוקוקוס פיוגנס נמצא בגוף האדם, הוא גורם, אם בכלל, למחלה קלה, או לנשאות. כלומר - אנשים נושאים אותו על גופם, בדרך כלל בגרון, מבלי שהוא יחדור פנימה ויגרום לנזק. אך כאשר מערכת החיסון חלשה, עלול להתפתח זיהום חמור יותר, הגורם לדלקות פרקים, נזק לכליות, ופגיעה בשריר הלב. במקרים נדירים, החיידק עלול לגרום לזיהומים נרחבים, הזוכים לתיאור בעיתונות כ"חיידק טורף". בתיאור זה מתכוונים לדלקת בהיקף נרחב העלולה ליצור נמק, כלומר מוות של תאים ברקמות. הדלקת מתקדמת במהירות והורסת שרירים, שומן ורקמות עור.

להלן דוגמאות למחלות הנגרמות מהחיידק סטרפטוקוקוס:



- **אמפטיגו -** מחלה מדבקת שכיחה בעיקר אצל ילדים קטנים, המתבטאת בפצעים בעור. פעמים רבות היא נגרמת בעקבות שריטה בעור או עקיצת יתוש. היא נגרמת על ידי חיידקים (סטרפטוקוקים וסטפילוקוקים) ומתבטאת בפצעים מוגלתיים. אם המחלה אינה מטופלת בזמן, היא יכולה להחמיר ולהתבטא גם בחום, חולשה והגדלה של בלוטות לימפה. המחלה יכולה להמשיך מספר שבועות ובחלק מהמקרים לגרום לפגיעה באיברים פנימיים כמו הכליות.
- **שנית (סקרלטינה) -** מחלה מדבקת, בעיקר בילדים, בה נראים כתמים אדומים על העור המלווים בחום ולעיתים צמרמורות.
- **קדחת שגרונת -** מחלה שנובעת בדרך כלל מסיבוך של דלקת גרון, בעקבות תגובת נוגדני הגוף עם החיידק. נוצרות דלקות בפרקים, שבעקבותיהן עלולה להופיע פגיעה במסתמי הלב ובקרומי הלב עד כדי סכנת חיים.
- **דלקת בכליות (גלומרולופריטיס) -** פוגעת בפינוי תקין של עודפים וחומרי הפסולת מהדם לשתן. המחלה עלולה להיווצר כסיבוך של דלקת גרון או אמפטיגו שנגרמו על ידי סטרפטוקוק.

- **Necrotizing Fasciitis** - סיבוכי נדיר וקשה שקיבל את הכינוי העממי "חידק טורף". הסטרפטוקוקים מתפשטים באופן נרחב לרקמות בגוף באמצעות אנזימים שמופרשים מתאי החידק, ויכולים לגרום לנמק, ואף מוות.

כאב גרון הוא חוויה נפוצה. רוב דלקות הגרון (כ-80%) נגרמות מנגיף ולא מחידק ואינן דורשים טיפול. עם זאת, חשוב לאבחן אותן, משום ש-20%-10 מדלקות הגרון נגרמות על ידי החידק סטרפטוקוקוס פיוגנס A, אשר כפי שראינו רעלן המופרש ממנו עלול לגרום לסיבוכים מסוכנים. לכן, במקרים אלו ישקול הרופא טיפול באנטיביוטיקה.

1. נסחו טיעון: כיצד לדעתכם עלינו לנהוג במקרה של דלקת גרון? האם היא מהווה בעיה הדורשת טיפול?

סרטון: מתי צריך לטפל בדלקת גרון? איתי גל, YNET <https://tinyurl.com/micro-garon>



הדבקה בסטרפטוקוקים

החידק סטרפטוקוקוס עובר מאדם לאדם דרך האוויר, מים, מזון וכלי מזון, או באמצעות מגע. אנשים יכולים לשאת את חידקי הסטרפטוקוקוס בגרון או על העור ללא סימפטומים של מחלה, ולעיתים הם יכולים להדביק גם אנשים אחרים.

2. כיצד לדעתכם ניתן למנוע או להקטין את הסיכוי להדבקה מחידק הסטרפטוקוקוס.

קישורים להרחבה

- [איתי גל, סלמונלה בקורנפלקס: למה זה עלול לגרום? Ynet 28.07.16](https://tinyurl.com/micro-cornflakes)
<https://tinyurl.com/micro-cornflakes>
- [כמה נשים היו צריכות למות כדי שרופאים יבינו שהם חייבים לשטוף ידיים? וואלה, 2017](https://tinyurl.com/micro-yadaim)
<https://tinyurl.com/micro-yadaim>
- סרטונים באנגלית המתארים מעבדות מיקרוביולוגיות:
[Day in the Life - Microbiology / Virology - Prof Bill Rawlinson](https://tinyurl.com/mabada-yom)
<https://tinyurl.com/mabada-yom>
- [A tour of the Microbiology Lab](https://tinyurl.com/mabadatour)
<https://tinyurl.com/mabadatour>
- [המעבדות הקליניות של בית החולים שערי צדק](https://tinyurl.com/mabada-clinic)
<https://tinyurl.com/mabada-clinic>

2.4 אנטיביוטיקה

שאלון מקדים

לפניך שאלון שמבוסס על סקר של אירגון הבריאות העולמי¹⁷ שהופץ ב-12 מדינות בעולם. סמן ✓ בעמודה המתאימה.

שאלה	כן	לא
1. האם השתמשת באנטיביוטיקה בשנה האחרונה?		
2. אם השתמשת באנטיביוטיקה – האם ניתנה על פי מרשם רופא?		
3. האם קיבלת הנחיות ברורות מרופא/אחות/רוקח כיצד להשתמש באנטיביוטיקה?		
4. מותר להשתמש באנטיביוטיקה שניתנה לחבר או לבן משפחה, כל עוד הם שימשו לטיפול באותה מחלה		
5. אנטיביוטיקה מסייעת בטיפול ב: פצעים בעור		
הצטננות ושפעת		
כאב ראש		
6. יש להפסיק את הטיפול באנטיביוטיקה ברגע שהחולה מרגיש טוב		
7. הגוף של החולה יכול להפוך לעמיד לאנטיביוטיקה ובמצב זה היא לא תפעל		
8. עמידות לאנטיביוטיקה היא בעיה במדינות אחרות, אך לא בארץ		
9. רק אדם שצורך תרופות באופן קבוע יכול לפתח עמידות לאנטיביוטיקה		
10. חיידקים עמידים לאנטיביוטיקה יכולים לעבור מאדם לאדם		
11. עמידות לאנטיביוטיקה היא אחת מהבעיות המרכזיות בעולם		
12. אסור לשמור אנטיביוטיקה כדי להשתמש בה בעתיד למחלות אחרות		
13. על חקלאים לתת פחות אנטיביוטיקה לבעלי חיים המייצרים מזון		
14. על רופאים לרשום אנטיביוטיקה רק כאשר זה הכרחי		
15. על כל אדם לקחת אחריות על השימוש באנטיביוטיקה		
16. כל עוד אני צורך את האנטיביוטיקה באופן נכון, איני נמצא בסיכון לחלות בזיהום עמיד לאנטיביוטיקה		

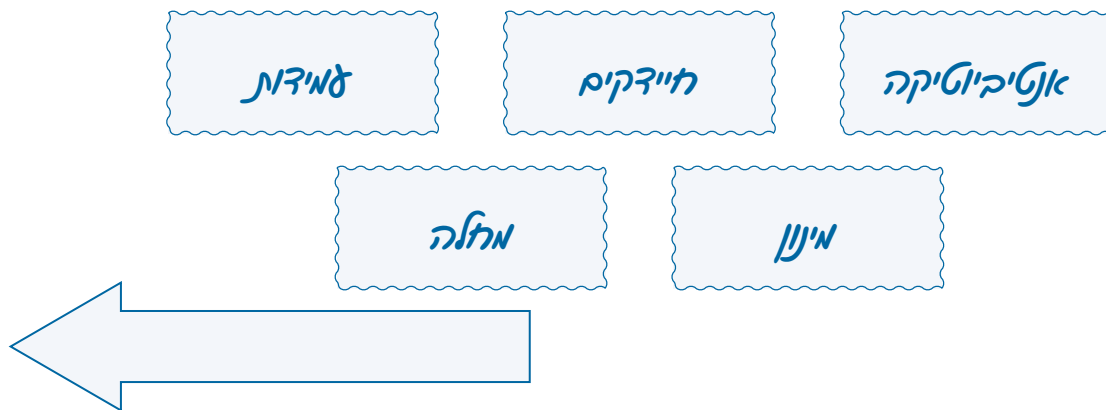
17 https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/194460/9789241509817_eng.pdf;jsessionid=AEFBBE57B7C21A9987276B024A0EF19A?sequence=1 <https://tinyurl.com/micro-irgun>



לאחר מילוי אישי של השאלון, התחלקו לקבוצות של כחמישה תלמידים:
א. השוו את תשובותיכם ודונו בשאלות בהן מצאתם הבדלים בין תשובותיכם.

ב. צרו מפת מושגים:

הכינו 5 כרטיסיות עם המושגים הבאים:



הכינו לפחות 5 חיצים לפי הדוגמה:

- בחרו את המושג המרכזי והציבו אותו בראש דף.
- חברו בחיצים את המושגים האחרים וכתבו על כל חץ מילות קישור שיציגו את הקשר בין המושגים.
- לאחר שתגיעו להסכמה, הדביקו את המושגים במקומם על גבי הדף.
- כשתסיימו את פרק ה"אנטיביוטיקה" חזרו למפות שיצרתם, העשירו את המפה במושגים וקשרים נוספים ותקנו אם יש צורך.

תגלית מקרית

בבוקר של 3 בספטמבר 1928 פרופסור אלכסנדר פלמינג ניקה את המעבדה שלו. תוך כדי עבודתו הבחין בצלחות שבהן היו אמורים לגדול חיידקים וראה שחלקן כוסו בפטריית העובש "פניציליום". במקום להתעלם ולהשליך את הצלחות הללו לאשפה, כפי שבדרך כלל נוהגים בניסוי שמזדהם, פלמינג בחן אותן ושם לב שסביב העובש לא גדלו חיידקים. הוא הניח שחומר שהופרש מהפטרייה הרג את החיידקים. גילוי מקרי זה גרם לו להקדיש את חייו לחקר חומרים המופרשים מיצורים שונים והורגים חיידקים. פלמינג אמנם גילה את הפניצילין, אך לא היה מסוגל להפיק מפטריית העובש כמויות מספיקות כדי שהחומר יהיה שימושי. הגילוי של פלמינג הביא לאחר שנים של מחקר להפקת האנטיביוטיקה הראשונה - הפניצילין. בשנת 1945 פלמינג, יחד עם החוקרים צ'יין ופלורי, זכה בפרס נובל לרפואה על הפניצילין שזכה לכינוי "תרופת הפלא".



פטריית עובש פניציליום בצלחת פטרי



אלכסנדר פלמינג מקבל פרס נובל
ממלך שוודיה ב-1945

1. המילה אנטיביוטיקה מורכבת מהמילים אנטי+ביוטי (נוגד חיים). הסבירו מדוע חומרים כמו פניצילין כונו כך?
2. גילוי האנטיביוטיקה אירע במקרה. מה לדעתכם גרם לפלמינג להפוך טעות מקרית לתגלית כל כך חשובה?

להרחבה

כן לוי "עושים היסטוריה" פטריות, חיידקי-על ודלעות קסומות - על ההיסטוריה הסודית של האנטיביוטיקה.
<https://tinyurl.com/micro-historia>

חשיבות מידע על תרופות - העלון לצרכן

רבים מדלגים על דף ההסבר שמצורף לתרופות (העלון לצרכן). האם מספיק לנו ההסבר שניתן על ידי הרופא או הרוקח?

בפרק זה נברר את חשיבות המידע שבעלון לצרכן ומה חשוב לצרכן לדעת.

להרחבה

[למה חשוב לקרוא את העלון המצורף לתרופה? https://tinyurl.com/antibio-alon](https://tinyurl.com/antibio-alon)

מתוך תקנות הרוקחים: "לא ישווק אדם תכשיר אלא אם כן... על האריזה של תכשיר רפואי לשימוש בבני אדם נרשם או שצורף לה, הכל לפי הוראות המנהל, עלונים בעברית ובערבית ובהם מפורטות באותיות מודפסות וקריאות הוראות השימוש בתכשיר, פירוט החומרים הפעילים וכמויותיהם, תיאור סגולותיו והתוויות הנגדיות, ובמידה שהמנהל דרש זאת - גם החומרים הבלתי פעילים".

להלן רשימת אתרי מאגרי מידע על תרופות בישראל

- [אתר המידע התרופתי - של ארגון הרוקחות בישראל http://www.drug.co.il](http://www.drug.co.il)
- [מידע תרופתי - אתר משרד הבריאות https://tinyurl.com/antibio-trufot](https://tinyurl.com/antibio-trufot)

1. בחרו עלון לצרכן מתוך אריזה של תרופה, מתוך המאגרים הנ"ל, או מתוך אחד האתרים של יצרני התרופות. העתיקו לטבלה שבעמוד הבא את כותרות הסעיפים השונים בעלון לצרכן שבחרתם, והתייחסו לחשיבותו של כל סעיף:

כותרת לסעיף בעלון לצרכן	סמן ✓ בסעיפים שלדעתך חשוב לצרכן להבין	אם לדעתך המידע חשוב לצרכן- נמק מדוע

בהמשך הפרק נכיר את מרכיבי המידע המצוי בעלון לצרכן.

א. הרכב התרופה

1. מרכיב פעיל – החומר הכימי שאחראי לפעילות הרפואית.

החומרים האנטיביוטיים המשמשים כתרופות, מעכבים תהליכים שונים בתאי חיידקים, מבלי לפגוע בתאי האדם. כדי שחומר יפגע בחיידק ולא באדם הנוטל אותו, נדרשת פגיעה במנגנון שקיים אצל החיידק אך לא אצל האדם.

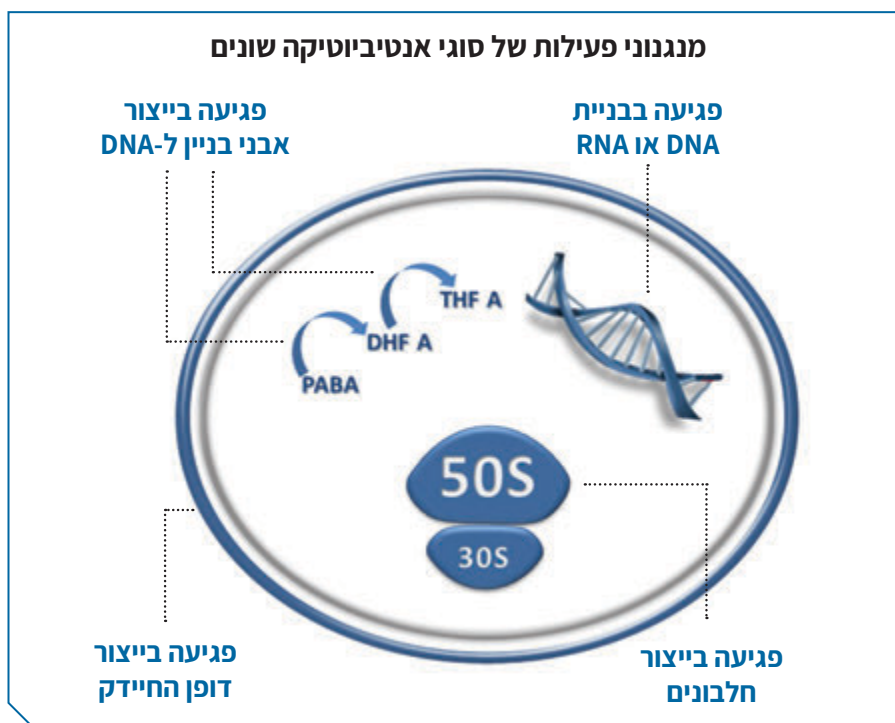
ישנם חומרים המונעים התרבות החיידק, כגון פגיעה ביכולת של החיידק לייצר דופן במהלך חלוקת החיידק. במצב זה התרבות החיידק תיעצר. זהו מנגנון הפעולה של **פניצילין**, וחומרים אנטיביוטיים נוספים, כמו אמפיצילין ואמוקסיצילין.

קבוצת חומרים נוספת מונעת יצירת חלבונים בחיידק, ובכך מונעת פעולות חיוניות רבות. בין החומרים הללו: טטרציקלין, אריתרומיצין וכלורמפניקול. האנטיביוטיקה פוגעת בריבזום, שהוא אברון בתא המייצר את החלבון על פי המידע התורשתי. אמנם האדם מייצר חלבונים, אך הריבזום של החיידק שונה, ולכן הפגיעה ייחודית לו.

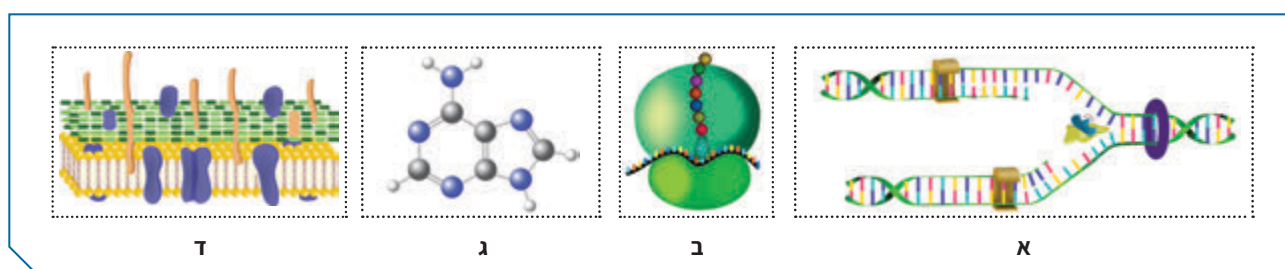
מנגנון נוסף המונע התרבות החיידק הוא פגיעה בתהליך שכפול ה-DNA, החומר התורשתי של החיידק, למשל על ידי חומרים אנטיביוטיים מקבוצת הקווינולונים.

פגיעה נוספת ביכולתו של החיידק לשכפל DNA וגם ליצור RNA היא על ידי חומרים שאינם מאפשרים לחיידק ליצור את אבני הבניין ליצירת ה-DNA (באמצעות חומצה פולית). התרופה סולפה מונעת יצירת חומצה פולית. בניגוד לחיידקים, האדם אינו יודע לייצר את אבני הבניין הללו וזקוק לחומצה פולית כוויטמין, ולכן אינו נפגע מהסולפה [הסולפה היא חומר אנטיבקטריאלי, מקבוצת החומרים הראשונים שהשתמשו בהם כחומר נגד חיידקים, עוד לפני מלחמת העולם השנייה].

2. שייכו את שמות החומרים המופיעים בקטע למנגנונים המופיעים באיורים:



3. התאימו את המנגנונים השונים לאיורים:



4. לכל תרופה יש שם מסחרי, ושם המרכיב הפעיל. חפשו במאגרי המידע לתרופות תרופה מסחרית שמכילה את אחת מהאנטיביוטיקות שהזכרתם בשאלה הקודמת [דוגמאות לתרופות: סינטומיצין, רפאפן, פניברין, אריתרומיצין, אוגמנטין, מוקסיפן]. הסבירו מה ניתן ללמוד מהסעיף של "חומר פעיל" בעלון לצרכן.

התחלקו לחמש קבוצות על פי המנגנונים המסומנים באיור הקודם.
על כל קבוצה להמחיש את מנגנון הפגיעה בחיידק:



שלב א': תכנון

- כיצד תייצגו את מרכיבי החיידק הרלוונטיים?
- כיצד תייצגו את האנטיביוטיקה?
- כיצד תייצגו את תהליך הפגיעה בחיידק?
- האם אתם זקוקים לעזרים?
- חלקו תפקידים.
- צרו תרשים זרימה המייצג את שלבי ההצגה.

שלב ב': הכנות וחזרות להצגה. תכנון של צילום ההצגה. מי יצלם ומאיזה זווית בכל שלב?

שלב ג': -- ההצגה--

שלב ד': דיון ורפלקציה לאחר צפייה בהצגה. ניתן להיעזר בווידאו שצולם בהצגה.

- האם ניתן לשפר את ההדמיה של תהליך?
- מה דומה ומה שונה בין ההצגה לבין התהליך הביולוגי?
- במה הפעילות סייעה לכם להבין כיצד פועלת אנטיביוטיקה?

2. חומרים בלתי פעילים

תרופה מכילה גם חומרים בלתי פעילים שאינם מבצעים את הפעילות הרפואית. מטרת החומרים הבלתי פעילים היא לאפשר קליטה של החומר הפעיל בגוף, או להקל על המשתמש בתרופה, למשל באמצעות שיפור המרקם, הטעם, יציבות החומרים הפעילים ועוד.

כדי להבין את תפקידם של החומרים הבלתי פעילים יש להכיר את הדרך שהתרופה עוברת מרגע לקיחתה ועד לפעילותה וסילוקה מהגוף.

צפו בסרטון שבקישור: <https://tinyurl.com/micro-maslul> **מסלולה של תרופה**



ניתן לחלק את מסע התרופה בגוף לחמישה שלבים עיקריים:

א. ספיגה. אופן מתן התרופה קובע את אופן כניסת החומרים לגוף. קיים הבדל בין טיפול מקומי לטיפול מערכתי, שבו התרופה עוברת דרך מערכת הדם לכל הגוף.

בטיפול מערכתי, כאשר התרופה נבלעה דרך הפה (למשל בטבליה), היא נספגת מהמעיי לדם, ודרך מערכת הדם מובלת לכל תאי הגוף. תרופה יכולה גם להינתן ישירות בעירו לדם.

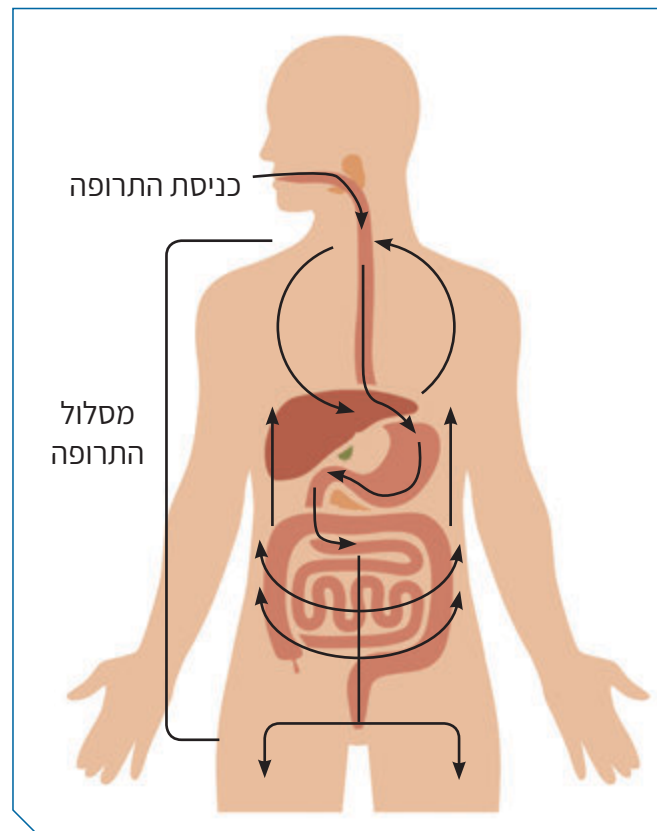
בטיפול מקומי, כאשר התרופה ניתנת באמצעות מריחת משחה על העור או באמצעות שאיפה למערכת הנשימה, רוב החומרים נספגים באזור מוגבל.

ב. הובלת החומר הפעיל. בטיפול מערכתי, התרופה מובלת לכל הגוף באמצעות מערכת הדם. בטיפול מקומי היא מתפזרת באזור מסוים בגוף.

ג. פעילות. כאשר התרופה מכילה חומר אנטיביוטי היא באה במגע עם חיידקים ופוגעת באחד המנגנונים של תא החיידק.

ד. פירוק התרופה. שאריות התרופה מתפרקות בגוף, בעיקר בכבד.

ה. הפרשה של חומרי התרופה. עודפי התרופה וכן תוצרי הפירוק שלה מופרשים מן הגוף בשתן.



5. סמנו באיור את שלבי המסלול של תרופה אנטיביוטית נגד חיידקי דלקת גרון הנבלעת כטבליה. אילו שלבים חסרים באיור?
6. כתבו לגבי כל אחד מחמשת השלבים במסע התרופה בגוף, מה מטרת השלב ומה לדעתכם נדרש מחומרי התרופה כדי שהחומר הפעיל יגיע ליעדו ויפעל כראוי.
7. מה ההבדל בין חומר פעיל לבין חומר בלתי פעיל? מדוע לדעתכם חשוב לצרכן לדעת מהם החומרים הניתנים בתרופה?

ב. תופעות לוואי ותגובות בין תרופתיות

- האם התרופה פועלת רק כפי שנועדה לפעול? האם לצד פעילותה זו, קיימות השפעות אחרות? עד כה, התמקדנו בפעילות של האנטיביוטיקה כנגד החיידק. מאחר והחיידק חי על או בתוך המאכסן (במקרה שלנו - אדם), האם האנטיביוטיקה משפיעה על תאי האדם בנוסף להשפעתה על החיידק? תופעות הנגרמות כתוצאה מהשפעה בלתי רצויה של תרופה קרויות "תופעות לוואי".
- תופעות לוואי מתחלקות לשלושה סוגים עיקריים, לפי אופי השפעתן:
- א. פגיעה ברקמות (למשל בכבד או במערכת העיכול);
 - ב. אלרגיה;
 - ג. הפרעה לשיווי המשקל של המיקרוביום בגוף (אודותיה הרחבנו בפרק קודם).

1. הסתכלו בעלון לצרכן של תרופה אנטיביוטית, וציינו שתי דוגמאות לתופעות לוואי. הסבירו מדוע חשוב לדעת אודות תופעות אלה לפני שימוש בתרופה.

אחת הסיבות לכך שחשוב שהמטופל יבין את הרכב התרופה היא החשש מאלרגיה לאנטיביוטיקה כלשהי.

מהי אלרגיה לאנטיביוטיקה?

תגובה לא רצויה זו מתרחשת כאשר במקרים מסוימים, האנטיביוטיקה גורמת לתגובה חזקה של מערכת החיסון. תגובה של מערכת החיסון מסייעת לגוף כשמדובר בגורמים העלולים להזיק, כמו חיידק, נגיף או ארס של נחש. לעומת זאת, באלרגיה, מערכת החיסון מגיבה ברגישות יתר לחומרים שאינם מזיקים ונמצאים בתרופות, במזון, או באוויר, כגון באבקת צמחים או באבק. אלרגיה מתפתחת בהדרגה. לרוב, במגע הראשון עם התרופה לא תופיע תגובה אלרגית. עם זאת, בחשיפה חוזרת לתרופה יכולה להופיע אדמומיות או פריחה, או בעיות בנשימה, ואף חלילה הלם אנפילקטי - מצב בו האדם הרגיש לתרופה מגיב בקשיי נשימה, ירידת לחץ דם ועוד, ואשר ללא טיפול מתאים עשוי להגיע לסכנת חיים.

2. בדקו בין מכריכם - האם משהו אלרגי לאנטיביוטיקה כלשהי? מהן ההוראות שקיבל למניעת תופעות לוואי מתרופות?

קישורים להרחבה

- [רשף אבנר \(2005\) אלרגיה לתרופות https://tinyurl.com/elergia-antib](https://tinyurl.com/elergia-antib)
- [תרופות סותרות- איך נלחמים בתופעות לוואי \(חברת טבע\) https://tinyurl.com/side-levai](https://tinyurl.com/side-levai)
- [חשיבות המידע על חומרים בלתי פעילים: שלהבת, ר. \(2016\) על לקחי אסון שיקוי הסולפה בארה"ב, מכון דוידסון https://tinyurl.com/sulfa-levai](https://tinyurl.com/sulfa-levai)

ג. מינון ועמידות לאנטיביוטיקה¹⁸

"חיידקי על" - המאבק החדש

דוד ריצ'י, בן 19, נסע להודו בשנת 2011. לאחר תאונת רכבת שבה איבד את רגלו, הוטס הביתה לבית חולים בסיאטל, ארה"ב. עם אישפוזו קיבל חדשות רעות: בגופו התגלו מספר זנים של חיידקים עמידים לאנטיביוטיקה. לזנים אלה ניתן הכינוי 'חיידקי על' כיוון שהיו בעלי עמידות לכל סוגי האנטיביוטיקה הקיימות בשוק. דוד הועבר מיד לבידוד וטופל באמצעות סוגי אנטיביוטיקה שונים, ללא הצלחה. בניסיון למצוא פתרון אחר, עבר מספר ניתוחים להסרת הרקמה הנגועה. לאחר מספר חודשים הזיהום החל להתפוגג. אבל ריצ'י, שכיום לומד בקולג' ושואף להתקבל לבית הספר לרפואה, לא יצא לחלוטין מכלל סכנה. "הרופאים אמרו לי שיש סיכוי של 30% לחזרת הזיהום" הוא אומר. "בכל שנה בה הזיהום אינו שב, הסיכוי לחזרתו יורד."

ריצ'י הוא אחד מתוך מספר גדל והולך של בני אדם הנאבקים בחיידקים עמידים, איתם יותר ויותר קשה להתמודד באמצעות אנטיביוטיקה. מומחים מזהירים כי העמידות לאנטיביוטיקה עלולה לדרדר את הרפואה 70-80 שנה אחורה. בעידן שלאחר האנטיביוטיקה אנשים עלולים למות למשל מדלקת גרון או מפציעה.

מתוך הדו"ח השנתי של מפקר המדינה 2014: על פי תחשיב שערך המרכז הארצי למניעת זיהומים ועמידות לאנטיביוטיקה בשנת 2012, מניין הפטירות הקשורות לזיהום שמקורו מחיידקים העמידים לאנטיביוטיקה או הרגישים לה בבתי החולים בישראל, נאמד בכ-4,000-6,000 חולים בשנה. מספר האנשים בישראל שנדבקים בחיידקים עמידים לאנטיביוטיקה בשנה הוא כ-30 אלף.

3. ארגון הבריאות העולמי: "ללא פעילות חירום מתואמת, העולם יתדרדר לעידן חדש, עידן הפוסט אנטיביוטיקה, שבו תהיה סכנה של מוות מזיהום פשוט כמו שריטה". מהן לדעתכם הפעולות שצריכות להתבצע כדי למנוע מצב זה?

בחוזר מנכ"ל משרד הבריאות מספטמבר 2012 "תוכנית לאומית לשימוש מושכל באנטיביוטיקה": אחת ההמלצות היא הנחיות לשימוש מושכל באנטיביוטיקה. בין ההמלצות: "משך טיפול, מינון, וצורת מתן הולמים". <https://tinyurl.com/tochnit-leumit>

כדי להבין את ההמלצות, נשער את תוצאות ההדמיה הבאה:



אוכלוסיית החיידקים היא בעלת תכונות מגוונות באופן טבעי. אחת התכונות של חיידקים היא העמידות לאנטיביוטיקה.

כתבו מה לדעתכם יקרה להרכב אוכלוסיית החיידקים בכלי שלפניכם בכל אחד מהמצבים הבאים:

א. מיד לאחר הוספת האנטיביוטיקה פניצילין?

ב. לאחר מספר ימים?

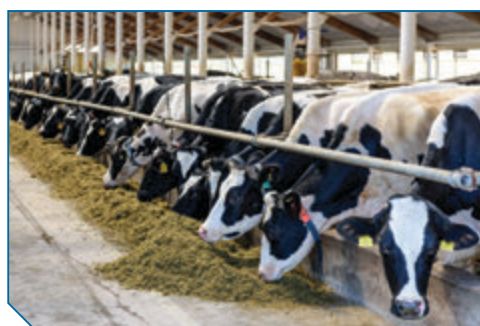
ג. במתן מנת פניצילין נוספת?

היכנסו לקישור <https://tinyurl.com/amidoot> ותוכלו לבחון את השערתכם בסימולציה ובמשימה: "חיידקים עמידים לאנטיביוטיקה"¹⁹

4. לאור תשובותיכם, הסבירו מדוע חייבים להקפיד על המינון ועל מספר ימי הטיפול באנטיביוטיקה לפי הוראות הרופא?

אלכסנדר פלמינג, מגלה הפניצילין, אמר בנאומו בטקס קבלת פרס נובל בשנת 1945: "אין קושי לגרום לחיידקים להפוך לעמידים לפניצילין... קיימת סכנה שאנשים יחשפו למינונים של אנטיביוטיקה בה ישרדו רק חיידקים עמידים, וכך יהפכו את אוכלוסיית החיידקים לעמידה".

5. צריכת האנטיביוטיקה כוללת גם את החומרים האנטיביוטיים שנמצאים במזוננו. לכך מתייחסת מועצת החלב: חשוב לדעת כי בארץ קיים תקן הכולל איסור של נוכחות אנטיביוטיקה בחלב, ומתקיימים מנגנוני פיקוח ובקרה הדוקים על כך. מנגנונים אלה מופעלים על ידי מספר גורמים:



א. החקלאים - הפרות שמקבלות אנטיביוטיקה נחלבות בנפרד והחלב שלהן לא נשלח כלל למחלבה.

ב. המחלבות - בשער המחלבה נבדקת נוכחות אנטיביוטיקה בחלב. חלב שנמצאה בו אנטיביוטיקה נשפך והרפתן נקנס.

ג. משרד החקלאות - וטרינרים ממשרד החקלאות בודקים ברפתות נוכחות אנטיביוטיקה בחלב.

ד. משרד הבריאות - בקרה ברפת, במחלבה, בחנויות לאיתור שאריות אנטיביוטיקה.

מה החשיבות של פיקוח כל כך הדוק על הימצאות האנטיביוטיקה בחלב?

להרחבה

כרם אביטל, דו"ח: חיות בישראל מקבלות כמות אנטיביוטיקה חריגה, ומסכנות את הצרכן, הארץ 10.5.15
<https://tinyurl.com/avital-milk>

מעבדה 6: רגישות חיידקים לאנטיביוטיקה²⁰



כלים וחומרים²¹

- 2 צלחות פטרי המכילות אגר מזין (nutrient agar).
- חיידקים: אי קולי, סטפילוקוקוס אלבוס.
- דיסקיות אנטיביוטיקה: פניצילין, אמוקסיצילין, סולפה, טטרציקלין.
- מקל דריגלסקי חד פעמי, לזריעת חיידקים.
- מלקטת (פינצטה) מעוקרת.

לפני ביצוע הניסוי קראו את מהלך הניסוי וענו על השאלות הבאות:

1. מהי מטרת הניסוי? הסבירו כיצד מהלך הניסוי יענה על מטרה זו.
2. קראו שוב את סעיף א:1: הרכב התרופה - מרכיבים פעילים. מתוך הידוע לכם על מנגנון הפעילות של כל אחד מהחומרים האנטיביוטיים בהם תשתמשו, שערו כיצד ייראו הצלחות בעוד מספר ימים?

מהלך הניסוי

את פעילות האנטיביוטיקה נבדוק על גבי מצע המכוסה כולו בחיידקים באופן אחיד. לשם כך נזרע את החיידקים ב"זריעת דשא" על פי ההוראות שלהלן:

- כתבו את שמכם ואת שם החיידק אותו תזרעו על גבי צלחת הפטרי (לא המכסה) באופן שלא יפריע לקריאת התוצאות.
- סמנו 2 קווים על גבי הצלחת, אחד לאורך והשני לרוחב, באופן שיחלק את הצלחת לארבעה רבעים, וכתבו בכל רבע ספרה: 1,2,3,4.
- זריעת החיידקים תהיה בתנאים סטריליים, תוך חשיפה קצרה ככל הניתן לאוויר.
- ביד אחת פתחו את מבחנת חיידקי E. coli, וביד שניה שאבו 0.1 מיליליטר (השתמשו בפיפטור עם טיפ מעוקר, או בפיפטה מעוקרת או חד פעמית). סגרו מיידית את המבחנה והניחו אותה, כשהפיפטה מוחזקת ביד השנייה.

20 המעבדה מבוססת על: לנדמן נורית, לוי קרן וד"ר פרץ אבי, הוראת נושא האנטיביוטיקה לאור הרעיון המדעי, מוט"ל.

21 ניתן להזמין חיידקים, חומרים אנטיביוטיים ומצעי גידול אלו מהמרכז לפיתוח ותמיכה במעבדות בתי הספר, ביה"ס לחינוך, אוניברסיטת בר אילן

- טפטפו במרכז הצלחת המתאימה טיפה של 0.1 מיליליטר של תרבית E. coli.
- פזרו את הטיפה על פני כל המצע באמצעות מקל דריגלסקי חד פעמי, תוך פתיחה חלקית של הצלחת, וסגירה מיידית.
- באופן דומה זרעו זריעת דשא של החיידק סטפילוקוקוס בצלחת המתאימה.
- לאחר הזריעה המתינו במשך 10 דקות לפני הנחת דיסקיות האנטיביוטיקה.
- הניחו את דיסקיות האנטיביוטיקה באופן הבא:
מראש נגדיר מפתח לאנטיביוטיקות: 1 = פניצילין, 2 = אמוקסיצילין, 3 = סולפה, 4 = טטרציקלין.
בכל צלחת נשים 4 סוגי דיסקיות אנטיביוטיקה שונים, בהתאם לרשום עליה. את הדיסקית נשים בעזרת פינצטה שנטבלה בכוהל.
- הדגירו את הצלחות בטמפרטורה 37°C במשך 24 שעות, או הניחו בטמפרטורת החדר במשך מספר ימים.
- בשיעור הבא: מדדו את קוטר ההילה השקופה המקיפה את דיסקיות האנטיביוטיקה.

תוצאות הניסוי

השלימו את הטבלה הבאה: מדדו בסרגל את קוטר ההילה השקופה (אזור נקי מחיידקים) המקיפה את דיסקיות האנטיביוטיקה.

שם האנטיביוטיקה		קוטר ההילה השקופה (מ"מ)
		E. coli
		סטפילוקוקוס אלבוס
פניצילין		
אמוקסיצילין		
סולפה		
טטרציקלין		

יש להשמיד את החיידקים בגמר הניסוי על ידי הכנסתם לאוטוקלאב או לסיר לחץ בשקיות מתאימות (בהתאם לנהלי בטיחות במעבדות), לחטא את שולחנות העבודה בכוהל, ולשטוף ידיים בסבון.

לאחר ביצוע הניסוי ענו על השאלות הבאות:

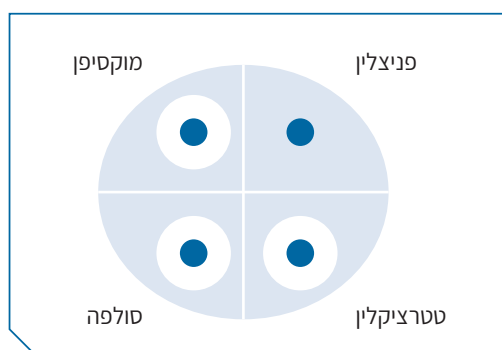
3. האם תוצאות הניסוי תואמות את ההשערות שהעליתם לפני הניסוי? אם לא - מה ההבדל ביניהן?

4. מהן המסקנות העולות מתוצאות הניסוי?

5. על סמך תוצאות הניסוי, ענו על השאלות הבאות:

- עקב תלונות על כאבים בבטן תחתונה, גיל אובחן כחולה בדלקת בדרכי השתן. מבדיקה במעבדה התברר, כי בשתן נמצאו ערכים גבוהים של החיידק E.Coli. איזו אנטיביוטיקה תמליצו לתת לגיל? מדוע?
- מתברר כי גיל רגיש לסולפה. איזו אנטיביוטיקה אחרת באה בחשבון? הסבירו מדוע.

6. בניסוי שבו נבדקה השפעת סוגים שונים של אנטיביוטיקה על חיידקי בצילוס, התקבלו התוצאות הבאות:



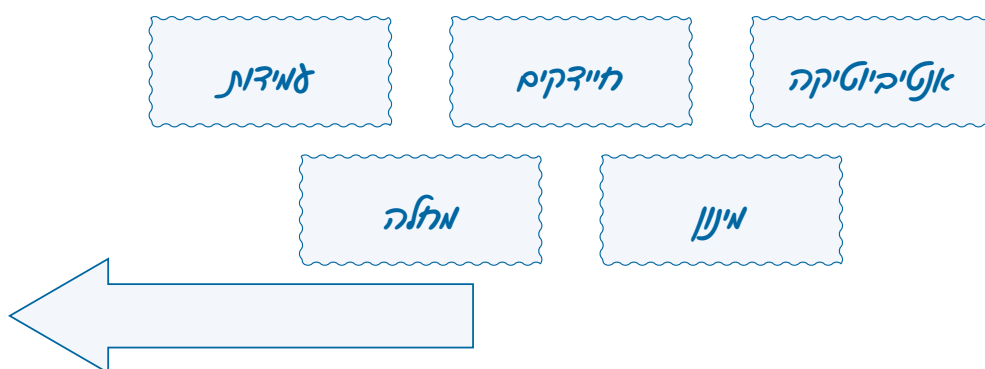
מתוצאות אלה ניתן להסיק כי (בחרו את ההיגד המתאים):

- האנטיביוטיקה פניצילין יעילה נגד חיידקי בצילוס, ואילו המוקסיפן אינו יעיל נגדם.
- האנטיביוטיקה מוקסיפן יעילה נגד חיידקי בצילוס, ואילו הפניצילין אינו יעיל נגדם.
- חיידקי בצילוס עמידים לאנטיביוטיקה מסוג טטרציקלין וסולפה.
- כל אנטיביוטיקה תועיל להריגת חיידקי הבצילוס.

בצעו גם מעבדה וירטואלית בקישור (פעיל בדפדפן אקספלורר בלבד): [Cindy Arvidson מעבדה וירטואלית](https://tinyurl.com/antibio-virtual) למדידת רגישות לאנטיביוטיקה, כדי לבצע מדידות באמצעות סרגל לחצו על START.
<https://tinyurl.com/antibio-virtual>

סיכום נושא האנטיביוטיקה

1. חזרו, בקבוצות, למפת המושגים שהכנתם בתחילת פרק "אנטיביוטיקה".



העשירו את המפה, תקנו, או הכינו מפה חדשה מעודכנת.

2. חזרו לשאלון ארגון הבריאות העולמי, ועדכנו את תשובותיכם לפי הידע שצברתם בפרק.



עיינו ברשימת השאלות שנאספו בתחילת הפרק.

- סכמו: על אילו שאלות אתם יכולים לענות עתה, לאחר שלמדתם על חיידקים.
- עבודה בזוגות: בחרו שאלה מתוך רשימת השאלות שלא נענו, ונסו לחפש באינטרנט מידע שיכול לעזור לענות על השאלה. שתפו את הכיתה בתשובתכם.

קישורים להרחבה

<https://tinyurl.com/bilty-shlita> 2.1.14 טלי שמיר כלכליסט

סרט: ערוץ 1, 2012 מתוך: "יומן", קטי דור: החיידקים העמידים בבתי החולים: [חלק ראשון](#), [חלק שני](#)

<https://tinyurl.com/amidim1> <https://tinyurl.com/amidim2>

<https://tinyurl.com/amidut> מנגנוני עמידות לאנטיביוטיקה- ארז גרטי 9 בנובמבר 2010, מכון דוידסון

סיכום הפרק

- ✓ גוף החיידק הוא תא שאינו מכיל גרעין ואברונים מוגדרים.
- ✓ חיידקים מתרבים על ידי חלוקת תא.
- ✓ קצב התרבותם תלוי בגורמי סביבה.
- ✓ חיידקים משמשים בתעשיית המזון.
- ✓ ישנם חיידקים הגורמים בתנאים מסוימים למחלות.
- ✓ ניתן לזהות חיידקים במעבדה.
- ✓ ניתן למנוע מחלות הנגרמות על ידי מיקרואורגניזמים באמצעות שמירה על תנאי היגיינה.
- ✓ ניתן לטפל במחלות הנגרמות על ידי חיידקים בעזרת אנטיביוטיקה שפוגעת בחיידקים ולא פוגעת באדם.
- ✓ שימוש רב באנטיביוטיקה עלול להוביל להתרבות חיידקים עמידים לאנטיביוטיקה.



פרק 3: נגיפים



מה מעניין אותך לדעת על נגיפים (וירוסים)?
כתבו שאלות על פתק (אין חובה לכתוב שם).

צרו מאגר של כל השאלות שנשאלו בכיתה, כדי שתוכלו להשתמש בהן במהלך או בסיכום הפרק.



החוקר שארל שמברלן, ממעבדתו של לואי פסטר, פיתח ב-1884 מסננת חרסין לטיהור נוזלים מחיידקים (בתמונה).

מים עוברים במסננת וזורמים בתוך מיכל החרסין, שהיא בעלת נקבים קטנים יותר מגודלם של חיידקים. המים יוצאים באמצעות ברז מתחתית המיכל.

1. מה לדעתך קיוו שמברלן וחבריו במכון פסטר להשיג בכך?

2. במקרים מסוימים הסתבר שלמרות שימוש במסננת נמצאו נוזלים המכילים עדיין גורמי מחלה. כיצד ניתן להסביר זאת?

במחלות כמו מחלת הפה והטלפיים וכלבת התגלו גורמי מחלה מדבקים שאינם חיידקים. החוקרים כינו את הגורם וירוס, שמשמעו בלטינית רעל. המונח העברי לוירוס הוא נגיף, מלשון מגפה, בשל העובדה שנגיפים גורמים למגפות כמו אבעבועות שחורות ושפעת. החל משנות הארבעים של המאה העשרים, ניתן לראות נגיפים במיקרוסקופ אלקטרוני וללמוד על פעולתם.

3. מדוע קשה היה לזהות נגיפים עד 1939?



פעילות בקבוצות

לפניכם הפריטים הבאים: כוס מים, גרגרי פופקורן, עלה, נוצה, גרגרי אדמה, ביצה.

- אילו מבין פריטים אלו הם יצורים חיים?
- כיצד תגדירו יצור חי?
- ערכו רשימה של פעולות בסיסיות המתבצעות על ידי יצורים חיים.

נגיפים אינם יכולים לבצע בעצמם את הפעולות: נשימה, תזונה, התרבות, גדילה והתפתחות. אם כך עלינו לברר כיצד הם מתקיימים, וכיצד הם גורמים למחלות.

לפניכם תמונות של נגיפים התוקפים יצורים אחרים. מימין, נגיף שפוגע בפלפל, ומשמאל צילום במיקרוסקופ אלקטרוני של נגיפים התוקפים חיידק. התבוננו בתמונות.



1. האם, לדעתכם, במצבים המתוארים בתמונות, על הנגיף לבצע את כל הפעולות הבסיסיות שתיארתם ברשימתכם? נמקו תשובתכם.

הנגיפים מסוגלים להתרבות רק בתוך תאים של יצורים אחרים: בעלי חיים, צמחים ואף מיקרואורגניזמים. המבנה שלהם נראה יחסית פשוט מאד. הם מכילים רק חומר תורשתי, מבנה חלבוני שמגן עליו, מעטפות, ואין להם אברונים.

אם כך מהו הנגיף? הנגיף מכיל מידע גנטי ליצירת חלבונים אך כדי לשכפל מידע זה או ליצר ממנו חלבונים (המשפיעים על תכונות) עליו לפעול בתא מאכסן. בכך, הנגיף גורם לתא המאכסן לבצע פעולות המאפשרות לנגיף להתרבות. הוא מסתמך על אספקת אנרגיה ומזון מן התא, על בניית חומרים ועל יכולת התא לבנות נגיפים חדשים בעלי תכונות זהות.

בהיותו מחוץ לתאים, לנגיף יש מבנה אופייני, שמאפשר לו להתקיים במעבר מהתא בו התרבה לתא הבא אותו ידביק. כדי להתרבות, נגיף חייב להיכנס לתא מאכסן בו הוא משתכפל.

הנגיפים אחראים למגוון של מחלות בבעלי-חיים, כמו: שפעת, חצבת, כלבת, איידס, אבעבועות, מחלת הפה והטלפיים ועוד. נגיפים גורמים גם למחלות צמחים, וקיימים גם נגיפים החודרים לתאים של חיידקים.

2. האם לדעתכם ניתן לכנות נגיפים יצורים חיים? כתבו טיעון הכולל טענה ונימוקים.

3. מחלת הכלבת נגרמת על ידי נגיף. לואי פסטר פיתח חיסון למחלת הכלבת, אך לא הצליח לבודד את הגורם למחלה זו. החוקרים שחיו בשליש האחרון של המאה ה-19, כאשר כבר זוהו ובודדו לא מעט **חיידקים** גורמי מחלות, התקשו לבודד את **הנגיף** למחלת הכלבת. ציינו שתי סיבות לקושי שהיה לחוקרים לבודד את הנגיף.²²

גודלם של הנגיפים

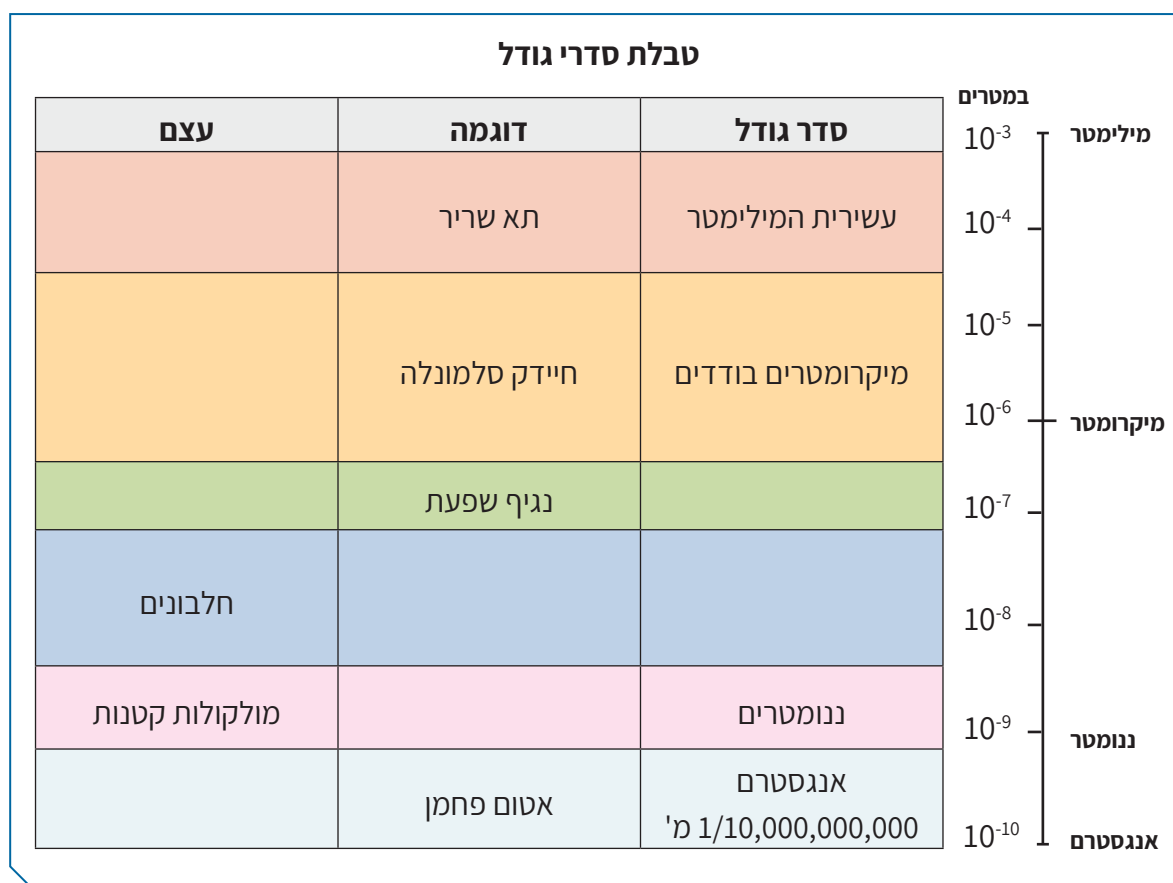
הנגיף הוא צורת חיים טפילה הקטנה בהרבה מכל תא חי שאנו מכירים. ניתן לצפות בו רק במיקרוסקופ אלקטרוני.

4. לפניכם איור המדגים סדרי גודל.

א. סדרו את העצמים שברשימה הבאה לפי גודלם.

ב. מלאו את הטבלה: רשמו את סדר הגודל של העצם (על פי הסרגל משמאל לטבלה), ותנו דוגמה לכל אחד מהעצמים הרשומים מטה:

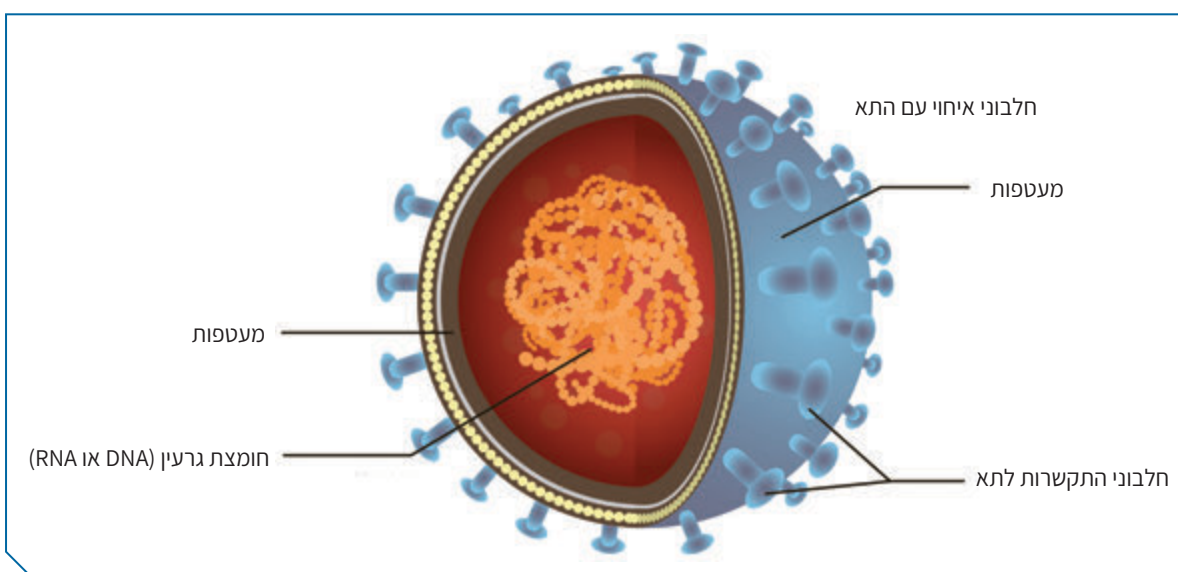
אטומים; תאים איאוקריוטים (בעלי גרעין ואברונים); נגיפים, מולקולות קטנות; תאים פרוקריוטים (חסרי גרעין ואברונים); חלבונים (מולקולות ענק).



5. פי כמה קטן נגיף מתא אאוקריוטי (בעל אברונים וגרעין), ופי קטן נגיף מחיידק?

מבנה נגיפים

הנגיף, בהיותו זעיר, מכיל מרכיבים מועטים ההכרחיים לתפקודו. בכל נגיף נמצא חומר תורשתי (DNA או RNA), שמכיל את התכונות התורשתיות האופייניות לנגיף. החומר התורשתי עטוף במעטפות, להן מקושרים חלבונים שמאפשרים זיהוי והתקשרות של הנגיף לתאים מתאימים, ולהחדרת החומר התורשתי לתא, לאחר איחוי של קרום הנגיף עם קרום התא.



6. ציין שני מרכיבים במבנה של הנגיף התורמים לפעילותו. הסבירו כיצד כל מרכיב תורם לתפקוד הנגיף.

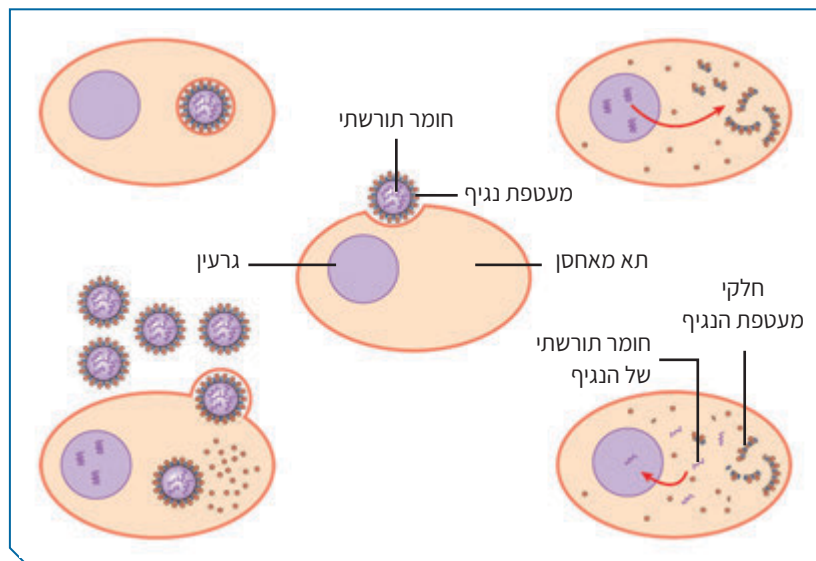
תהליך ההדבקה

[ניתן לבחור בין תרגיל זה לפעילות דרמה 1: הדבקת תא על ידי נגיף השפעת להלן]

המסלול, מרגע הדבקת תא ועד הדבקת תאים נוספים על ידי הנגיף, מורכב ממספר שלבים:

- א. **ספיחה** והתקשרות הנגיף לתא המאכסן: נגיפים תוקפים תאים מסוימים (למשל נגיפי צהבת תוקפים תאי כבד ונגיפי כלבת את תאי מערכת העצבים). ההיכרות בין הנגיף לתא הייחודי נעשית באמצעות התקשרות חלבונים, הנמצאים במעטפת הנגיף, לקולטנים הממוקמים על פני שטח התא המאכסן. ההתאמה המבנית ביניהם מדויקת, כמו בין מפתח למנעול.
- ב. **החדרת החומר התורשתי** לתא המאכסן: הנגיף משיל את הקופסית העוטפת אותו במהלך החדירה לתא, או נכנס בשלמותו לתוך התא ושם משיל את המעטפת, וכך מגיע החומר התורשתי בלבד לתוך הציטופלסמה של התא.
- ג. **בנייה ושכפול** של מרכיבי הנגיף: הנגיף גורם לתא המאכסן ליצור עותקים רבים של החומר התורשתי הנגיפי ושל החלבונים המרכיבים את מעטפות הנגיף. בשלב זה נפגעים התפקודים הרגילים של התא.
- ד. **אריזה (הבשלה)**: החומר התורשתי וחלבוני הנגיפים נארגים ליחידות נגיפיות, המכונות ויריונים (ביחיד ויריון).
- ה. **השתחררות**: הויריונים משתחררים מהתא המאכסן, בדרך כלל עקב התפוצצות התא. עתה הם יכולים להתפזר באמצעות נוזלי הגוף ולהדביק תאים נוספים.

השאלות הבאות מבוססות על המאמר: [ברנדון, דנאי, שוורצזון \(2011\) שפעת מקסיקו - עובדות דעות ופרשנויות, משרד החינוך](#).



6. סדרו את האירורים על פי סדר תהליך ההדבקה וההתרבות של הנגיף, ותארו את תהליך ההדבקה.

7. לפי התרשים, נראה כי נוצרים עוד ועוד נגיפים, שיכולים לתקוף עוד ועוד תאים - מה מונע מהנגיפים להתרבות עד אינסוף? הציגו לפחות שני מנגנונים. רמז: היעזרו ברעיון המדעי הבא: "בגוף האדם יש מנגנונים לבקרה ולוויסות ולשמירה על טווח תנאים מיטביים המאפשרים תפקוד תקין של מערכות בגוף - בין היתר יש מערכות הגנה מפני חדירה של גורמים זרים כמו מיקרואורגניזמים, חומרים אלרגנים, יצורים חיים ודוממים". חישבו גם על הדרך שהנגיף צריך לעבור כדי להדביק אדם נוסף.

על נגיפים וחיידקים²³

קיים דמיון מסוים בין חיידקים לנגיפים, אך קיימים גם הבדלים רבים ביניהם.
8. מלאו בטבלה את הנתונים השונים לגבי חיידקים ונגיפים על פי מה שלמדתם עד כה.
 במקומות המסומנים בכוכבית* הוסיפו קריטריונים משל עצמכם והשלימו בטבלה.

נגיפים (וירוסים)	חיידקים	קריטריונים להשוואה	
			מבנה
			גודל
			אברונים
			דרך הרבייה
			ביצוע פעולות חיים
			נזק לאדם
			תועלת לאדם
			רגישות לאנטיביוטיקה
			*
			*

- א. מהן נקודות הדמיון בין חיידק לנגיף? (ציינו לפחות שתיים).
 ב. ציינו שני הבדלים משמעותיים בין חיידק לנגיף.
 ג. על סמך מה שלמדתם, האם אנטיביוטיקה יכולה לשמש כטיפול במחלות נגיפיות?

להרחבה

- אנימציה - מהו ההבדל בין וירוס לחיידק Ynet 18.3.13 <https://tinyurl.com/hevdel-animation>
- דוסטר (2015) על ההבדל הדק בין וירוס לחיידק MAKO <https://tinyurl.com/hevdel-dak>
- בר ניר, 2009, חיידק או נגיף, גליליאו <https://tinyurl.com/haidak-nagif>
- בר ניר, 2008, על נגיפים, חיידקים ומה שביניהם, The Pharma <https://tinyurl.com/ma-binehem>

3.1 מחלת השפעת



סקר מקדים בין תלמידי הכיתה:

1. האם בעבר חלית בשפעת? כן/לא
 2. האם שפעת יכולה להיות מסוכנת? כן/לא/לפעמים
 3. האם אנטיביוטיקה יעילה לטיפול בשפעת? כן/לא/לפעמים
 4. האם קיבלת בעבר חיסון נגד שפעת? כן/לא
- סכמו את תוצאות הסקר, ודונו במשמעות תוצאותיו.

מבוא

מחלת השפעת תוקפת בכל שנה. לפעמים היא מתפשטת לרמה של מגפה המתפרצת בקנה מידה עולמי. לאורך ההיסטוריה, משנת 1700, מתועדות תשע התפרצויות של מגפת שפעת, בהן מתו מיליוני אנשים. בין גורמי התמותה הקיימים היום, השפעת היא המחלה הנגיפית הגורמת לתמותה הגבוהה ביותר.

מדוע בכל שנה מתפרצת שפעת מחדש? כיצד ומדוע היא מתפשטת באוכלוסייה? כיצד הנגיף גורם לתופעות המחלה? ועל פי מה נחליט האם להתחסן כנגדה?

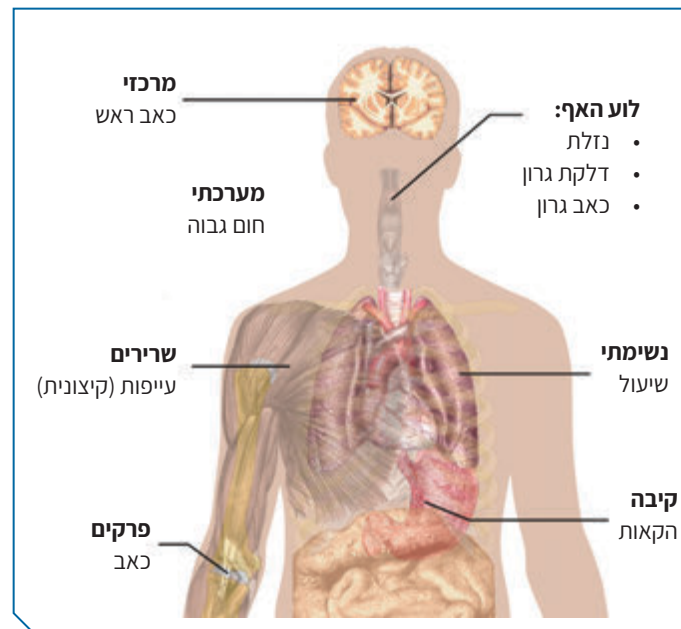
על שאלות אלו ועוד בפרק שלפנינו.

ההדבקה בשפעת מאדם לאדם מתרחשת דרך האוויר. נגיף השפעת עובר מאיברי הנשימה של החולה אל איברי הנשימה של אנשים אחרים באמצעות שיעול, התעטשות או שימוש בחפצים בהם נגע אדם חולה.

הנגיף מדביק את התאים בדרכי הנשימה העליונות ויכול להגיע גם לריאות, ולגרום לעליה חדה בחום מלווה בהצטננות, כאב ראש, עייפות שרירים ודלקת בגרון. המחלה נמשכת בדרך כלל ימים ספורים וההחלמה מהירה. במקרים מסוימים יש סכנה לסיבוכים, בדרך כלל בעקבות החלשת מערכת החיסון כתוצאה מהמחלה, שעלולה לגרום להתפשטות זיהום נוסף של חיידקים.

מדי שנה, חולים 3-5 מיליון איש בשפעת קשה, מתוכם 25,000 עד 50,000 מתים מן המחלה. אצל רוב החולים מתפתחת חסינות לזן הנגיף בו נדבקו. אולם, מכיוון ששינויים גנטיים מתרחשים תדיר בנגיפי שפעת, נוצרים זנים חדשים ונגדם אין חסינות.

תסמיני המחלה



תסמינים של פגיעת נגיפים (מסוגים שונים) יכולים להופיע במספר אופנים:

- הפרשת חומרים (ציטוקינים) על ידי תאי מערכת החיסון, כחלק ממעורר ההגנה על הגוף, יכולה לגרום לתופעות של חום, כאבי שרירים וכאבים לא ספציפיים.
- הרס של תאים על ידי הנגיף עלול לשבש תפקוד של הרקמה הפגועה (למשל, הרס תאים במעיין על ידי נגיפים יכול לגרום לשלשול, הרס תאים במערכת העצבים על ידי נגיף הפוליו יכול לגרום לשיתוק).
- הרס תאים שהודבקו על ידי הנגיף, כתוצאה מתגובה של תאי מערכת החיסון ההורגים תאים המכילים נגיפים (למשל, הרס תאי כבד בדלקת כבד נגיפית).

1. נסו להסביר גורמים לשלושה תסמיני שפעת המתוארים באיור.

פעילות דרמה 1: הדבקת תא על ידי נגיף השפעת

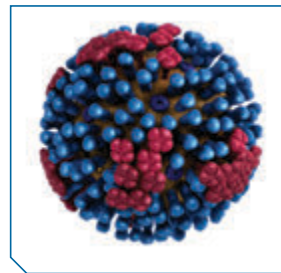


במהלך הפעילות הדרמטית התלמידים יתחלקו לשתי קבוצות: קבוצה א' תייצג תא וקבוצה ב' תייצג נגיף.

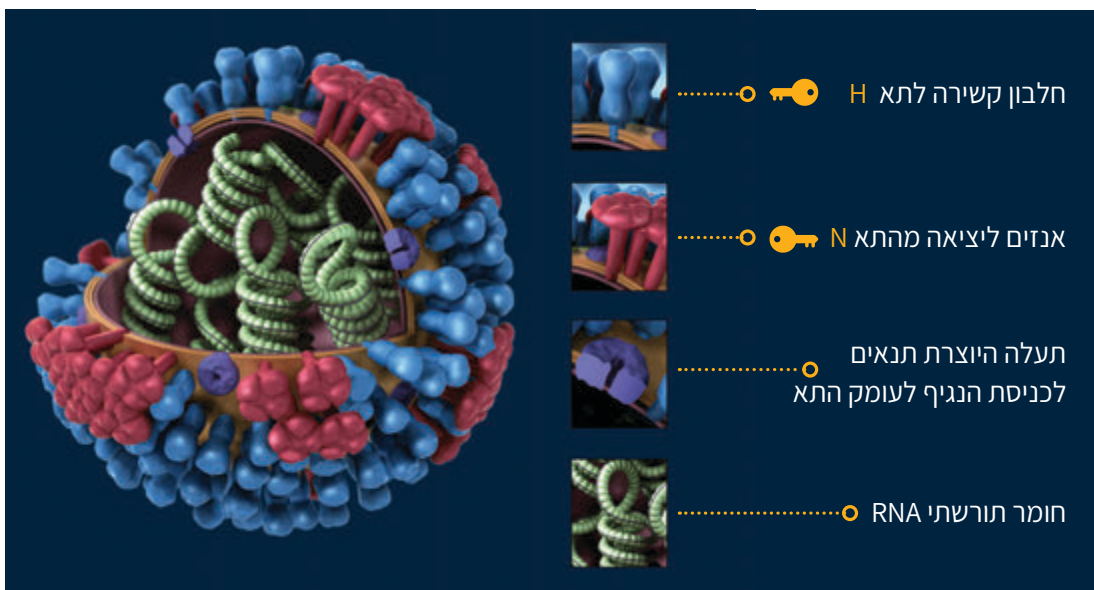
התהליך: הדבקת תא (קבוצה א') על ידי נגיף (קבוצה ב').

שלב א': רקע

לפניכם דגם של נגיף השפעת, שאורכו 80 ננומטר.



ניתן לזהות בדגם מספר מרכיבים של הנגיף: חלבון האחראי על התקשרות הנגיף לתא, אנזים המאפשר יציאת הנגיף מהתא, תעלה המאפשרת כניסת הנגיף לתוך התא, החומר התורשתי של הנגיף.



תהליך הדבקה נגיפית ניתן לתיאור במספר שלבים:

1. חדירת נגיפים לגוף.
2. חדירת הנגיפים לתאים [בשפעת - קליטה בעיקר בדרכי הנשימה העליונות].
3. התרבות הנגיף בתוך התאים שהודבקו.
4. התפוצצות התאים.
5. הדבקת תאים נוספים והתפשטות הנגיף בגוף המאכסן.

שלב ב': תכנון משותף לשתי קבוצות התלמידים

- תכנון תפקידי קבוצה א': כיצד אתם מציעים להציג את התא באמצעות קבוצת התלמידים? אילו תפקודים נדרשים בתא? איך תייצגו אותם? מי מהתלמידים ייצג כל תפקוד, ובאיזה אופן? האם דרושים לכם עזרים כלשהם?
- תכנון תפקידי קבוצה ב': כיצד אתם מציעים להציג את הנגיף באמצעות קבוצת התלמידים? אילו תפקודים נדרשים בייצוג הנגיף? איך תייצגו אותם? מי מהתלמידים ייצג כל תפקוד? האם דרושים לכם עזרים כלשהם?
- תכנון התהליך: כיצד תציגו את תהליך ההדבקה? מהם השלבים השונים ואיך יתרחש כל שלב?
- צרו תרשים זרימה המייצג את שלבי ההצגה.

שלב ג': הכנות וחזרות להצגה. תכנון של צילום ההצגה. מי יצלם, ומאיזה זווית בכל שלב?

שלב ד': -- ההצגה--

שלב ה': דיון ורפלקציה לאחר צפייה בהצגה. ניתן להיעזר בווידיאו שצולם בהצגה

- האם ניתן לשפר את ההדמיה של התהליך?
 - מה דומה ומה שונה בין ההצגה לבין התהליך הביולוגי?
 - במה הפעילות סייעה לכם להבין את תפקוד נגיף השפעת?
2. על פי הדגם של נגיף השפעת, הסבירו אילו מרכיבים עשויים לסייע לנגיף בשלבי ההדבקה השונים.

פעילות דרמה 2: יצירת זן שפעת חדש

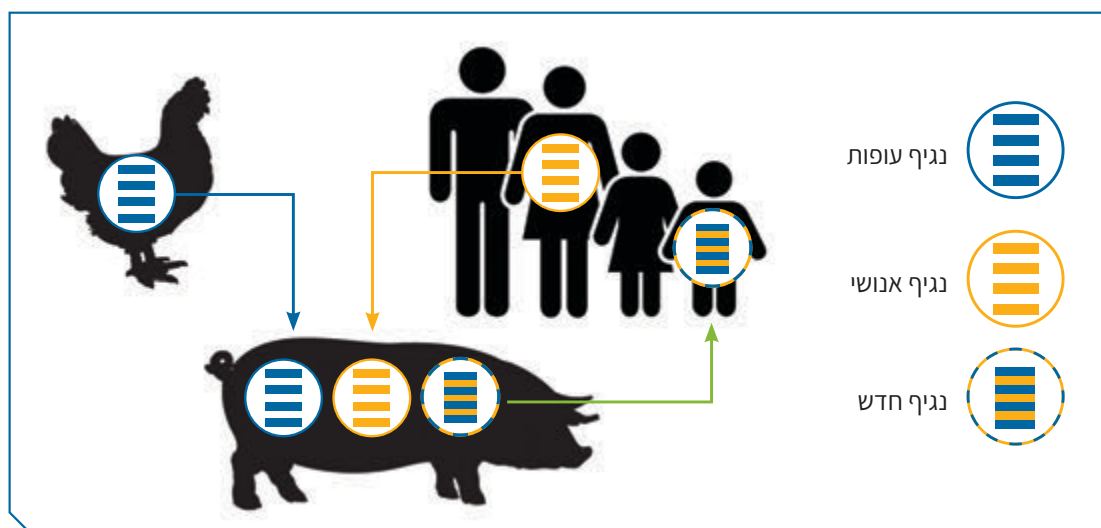


שלב א': רקע תיאורטי

איך נוצרים שינויים כל כך משמעותיים בזני השפעת?

כפי שלמדנו, כשנגיף מדבק תא הוא מפעיל בתא מנגנונים לשכפולו וכך מתרבה. ישנם מצבים שבהם תא אחד יכול להיות מודבק במספר נגיפי שפעת מזנים שונים, בעלי הרכב גנטי שונה. במקרים אלו התא יכול לייצר נגיפים המכילים הרכב גנטי משולב, מה שיוצר כל הזמן שינויים גנטיים בנגיפי שפעת.

באיור שלפניכם מתואר מצב בו חזיר נדבק מאדם חולה בשפעת וגם מעוף חולה בזן אחר של שפעת, שאינו תוקף תאי אדם.



א. מה קורה בתאי החזיר?

ב. באיזה נגיף החזיר יכול להדביק אדם שבא עמו במגע? ובאיזה נגיף האדם לא יידבק?²⁴

שלב ב': תכנון

- כיצד תייצגו את הנגיפים האנושיים ונגיפי העופות? כיצד תייצגו את הנגיף החדש שנוצר?
- כיצד תייצגו את האדם, החזיר והעוף?
- כיצד תייצגו את תהליך יצירת הנגיף החדש? איך תציגו את ההדבקה?
- האם אתם זקוקים לעזרים?
- חלקו תפקידים.
- צרו תרשים זרימה המייצג את שלבי ההצגה.

שלב ג': הכנות וחזרות להצגה. תכנון של צילום ההצגה. מי יצלם ומאיזה זווית בכל שלב?

שלב ד': -- ההצגה--

שלב ה': דיון ורפלקציה לאחר צפייה בהצגה. ניתן להיעזר בווידיאו שצולם בהצגה

- מהן המגבלות של הייצוג? האם ניתן לשפר את ההדמיה לתהליך?
- מה דומה ומה שונה בין ההצגה לבין התהליך הביולוגי?
- במה הפעילות סייעה לכם להבין את יצירת זני השפעת החדשים?

3. מה יכולות להיות ההשלכות של ההידבקות של האדם מנגיף שמקורו בחזיר?

4. מתוך ניתוח ההרכב הגנטי של זן שפעת החזירים, שיערו חוקרים שהתפתחות הנגיף התרחשה בדרך שתוארה כאן. קראו על שפעת החזירים במרשתת, ונסו להסביר מדוע הגדיר ארגון הבריאות העולמי מחלה זו כ"מגפה עולמית"?

24 יחד עם זאת, נגיף השפעת הוא נגיף RNA, חסר מנגנוני תיקון, ולכן הגורם העיקרי להופעת זני שפעת חדשים הוא כנראה הצטברות מוטציות בחומר הגנטי של הנגיף הגורמת לשונות.

5. בנו, בעזרת התהליך שלמדתם והמידע הבא, תרשים זרימה שיסביר כיצד מופץ זן שפעת חדש:
- מערכת החיסון מונעת מחלה לאחר הדבקה בנגיפים שאליהם נחשפה בעבר (למשל, השפעת בה האדם חלה בשנה שעברה).
 - בנגיף השפעת חלים שינויים גנטיים (מוטציות) בקצב מהיר (למשל, במבנה חלבוני מעטפת הנגיף H,N, המוצגים במודל הנגיף). כך נוצרים זנים חדשים.
 - מערכת החיסון אינה מזהה את הזנים החדשים. כך נמנע נטרול של הנגיף על ידי הנוגדנים.

מגפת השפעת הספרדית

נגיפי השפעת גרמו לכמה מהמגפות הקטלניות ביותר שידעה האנושות. להלן מידע אודות מגיפות שפעת במאה השנים האחרונות:²⁵

את הסוגים השונים של נגיפי השפעת, נהוג לסווג לפי סוג חלבוני המעטפת ה-H וה-N (אותם הכרנו בדגם של נגיף השפעת).

שם המגפה	שנים	זן השפעת (סוגי חלבוני H,N)	מקור ההתפרצות המשוער	מספר הנפטרים (הערכה)
שפעת ספרדית	1918-1920	H1N1	סין	40-50 מיליון
שפעת אסיאתית	1957-1958	H2N2	סין	1-2 מיליון
שפעת הונג קונג	1968-1970	H3N2	סין	0.5-2 מיליון
שפעת החזירים	2009-2010	H1N1	מקסיקו	מעל 575,000

השפעת הספרדית מוכרת כמגיפה הגדולה ביותר. מספר הנספים בה היה פי שלושה בערך ממספר ההרוגים במלחמת העולם הראשונה, שהסתיימה באותה השנה, 1918. למרות שהשפעת לא החלה את התפרצותה בספרד, אלא כנראה בסין, היא כונתה "ספרדית". הימים היו ימי מלחמת העולם הראשונה ובמדינות השונות הופעלה צנזורה. ספרד לא השתתפה במלחמה, ולכן שם לא צנזרו את הדיווחים אודות המחלה וכך זכתה לכינוי.

6. לשפעת הספרדית מספר מאפיינים:
- א. השפעת פגעה בעיקר בצעירים ללא מחלות רקע.
 - ב. השפעת התפשטה במהירות בכל העולם.
 - ג. יש הטוענים ששני מאפיינים אלו נגרמו בשל העובדה שהמגיפה התחוללה בזמן מלחמת העולם הראשונה. נסו להסביר את הטענה.
7. השערה נוספת למותם של הצעירים היא שרבים מהמבוגרים באוכלוסייה נחשפו לשפעת הרוסית שהתפרצה בשנת 1889. הסבירו טענה זו.

Saunders-Hastings, P. R., & Krewski, D. (2016). Reviewing the History of Pandemic Influenza: Understanding 25
Patterns of Emergence and Transmission. Pathogens, 5(4), 66



בתמונות שלמעלה מוצגים מחלק עיתונים בניו יורק ב-1918, שוטרים בסיאטל, וכרטיסן בסיאטל המוודא שכל העולים לרכבת הקלה יחבשו מסכה. במספר אזורים הייתה חובה חוקית ללבישת מסכות.

8. מה דעתכם על הוראה זו? כיצד ניתן להחליט האם ההוראה מוצדקת?

9. אילו פעולות הייתם מציעים לבצע למניעת התפשטות המגיפה?

בשנת 2005 דווחו חוקרים שהצליחו לשחזר את הרצף הגנטי של נגיף השפעת הספרדית²⁶ מדגימות שבודדו מגופת אישה שהייתה קפואה מאז נקברה באלסקה ומריאות של חיילים שנספו במגיפה ועברו שימור. החוקרים מצאו שההבדל בחלבון ההתקשרות (H) בין נגיף שפעת העופות, שכאמור אינו תוקף תאי בני אדם, לנגיף השפעת הספרדית הוא מזערי, אבל הבדל זה איפשר את התקשרות נגיף השפעת הספרדית לתאים של בני אדם.

10. מה עשוי לתרום מחקר זה לקידום הבריאות כיום?

קישורים להרחבה

- [אנימציה שמדגימה את פעילות נגיף השפעת ויצירת זנים חדשים \(אנגלית\)](https://tinyurl.com/peilut-nagif)
<https://tinyurl.com/peilut-nagif>
- על השפעת הספרדית: [עופרן ינאי \(2001\) סודה של המגיפה הגדולה מכולן. הארץ.](https://tinyurl.com/magefa)
<https://tinyurl.com/magefa>
- [סרט היסטורי על השפעת הספרדית 1918 \(באנגלית\)](https://tinyurl.com/sfaradishpaat)
<https://tinyurl.com/sfaradishpaat>
- להרחבה בנושא השפעת: דרור בר ניר, 2009:
(1) [שפעת - מחלה \(לא רק\) עונתית עם נגיפים משתנים דרור בר ניר](https://tinyurl.com/shapaat1)
<https://tinyurl.com/shapaat1>
- (2) [השתנות נגיפי השפעת](https://tinyurl.com/shapaat2)
<https://tinyurl.com/shapaat2>
- (3) [שפעת חורפית ושפעת החזירים](https://tinyurl.com/shapaat3)
<https://tinyurl.com/shapaat3>
- סרט: [ארגון הבריאות העולמי \(2015\) שפעת, איום בלתי צפוי \(אנגלית\)](https://tinyurl.com/WHO-shapaat)
<https://tinyurl.com/WHO-shapaat>
- להרחבה בנושא נגיפים:
[טלמון \(2002\) יחידת לימוד בנושא מחלת הפה והטלפיים, האוניברסיטה העברית, הפקולטה לחקלאות.](https://tinyurl.com/pe-tlafaim)
<https://tinyurl.com/pe-tlafaim>

3.2 עוד מחלות נגיפיות

דוגמאות למחלות נגיפיות:

חזרת (Mumps)	שיתוק ילדים (Polio)
כלבת (Rabies)	הרפס (Herpes)
חצבת (Measles)	צהבת נגיפית (Viral Hepatitis)
אדמת (Rubella)	אייДС (AIDS)
אבעבועות רוח (Chicken pox)	

שלב א': עבודה בקבוצות



על כל קבוצה לבחור אחת מהמחלות הנגיפיות שמופיעה ברשימה, לקרוא עליה במקורות מידע אמין באינטרנט, ולבנות מצגת המכילה את השקופיות הבאות:

- שם הנגיף
- תסמינים עיקריים של המחלה
- אופן הדבקה
- מבנה הנגיף וסוג החומר התורשתי (DNA או RNA)
- דרכים לטיפול במחלה ומניעתה
- האם יש חיסון כנגד המחלה, ולמי ניתן?
- ניתן להוסיף עובדות מעניינות, רקע היסטורי ועוד.

שלב ב': דיון בכיתה לאחר הצגת התוצרים



- א. צרו טבלה כיתתית המשווה את אופן ההדבקה, דרכי הטיפול, המניעה, וההמלצות לחיסון כנגד המחלות השונות.
- ב. אילו פעולות לדעתכם צריך משרד הבריאות לנקוט כדי למנוע מחלות אלו?
- ג. מהן הפעולות הנדרשות מהציבור למניעת המחלות הללו, וכיצד ניתן להשיג שיתוף פעולה של הציבור?
- ד. מהי האחריות האישית הנדרשת מכל פרט למניעת הפצת המחלות הללו?
- ה. כנגד אילו מחלות מתוך הרשימה הייתם ממליצים להתחסן?

לסיכום



- עיינו ברשימת השאלות שנאספו בתחילת הפרק.
- סכמו: על אילו שאלות אתם יכולים לענות עתה, לאחר שלמדתם על נגיפים.
 - פעילות בזוגות: בחרו שאלה מתוך רשימת השאלות שלא נענו, ונסו לחפש באינטרנט מידע שיכול לעזור לענות על השאלה.
- שתפו את הכיתה בתשובתכם.

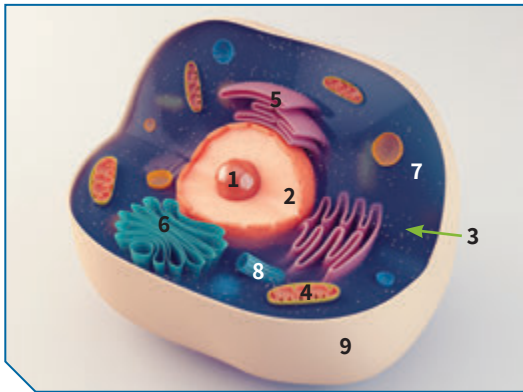
סיכום הפרק

- ✓ נגיפים בנויים מחומר תורשתי ומעטפת חלבונית.
- ✓ הנגיפים הם טפילים שהתרבותם תלויה בניצול משאבי התא המאכסן.
- ✓ הנגיף אינו פעיל מחוץ לתא החי.
- ✓ התרבות נגיף פוגעת בגוף המאכסן ועלולה לגרום למחלה.
- ✓ קשה למצוא תרופות כנגד נגיפים כיוון שפגיעה בהם גורמת לפגיעה בתאי המאכסן.
- ✓ ניתן למנוע מחלות (הידבקות והתפשטות) הנגרמות על ידי מיקרואורגניזמים באמצעות שמירה על תנאי היגיינה ו/או חיסונים.

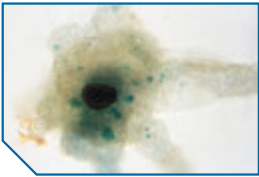
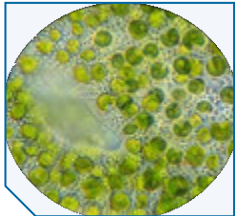


פרק 4: מיקרואורגניזמים אאוקריוטים

בניגוד לחיידקים, חלק מן המיקרואורגניזמים הם בעלי תא אאוקריוטי.



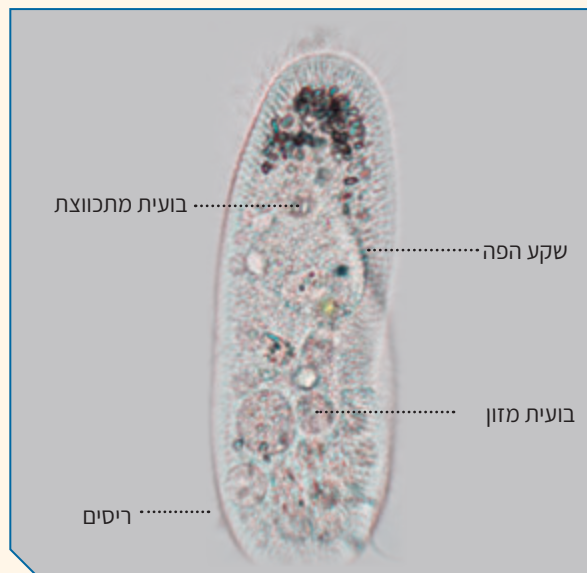
- לפניכם איור של דגם של תא אאוקריוטי. כתבו, כל תלמיד בנפרד, אילו אברונים אתם מזהים (אינכם אמורים לזהות את כולם).
- השוו בין חבריכם לכיתה - אילו אברונים זהו על ידי כלל תלמידי הכיתה?
- ציינו תפקודים שונים של אברוני התא האאוקריוטי.
- מה מאפיין תא אאוקריוטי?
- עיינו בטבלה שלפניכם, המתארת מגוון של מיקרואורגניזמים אאוקריוטים. נסו להסביר מה מגדיר את המיקרואורגניזמים האאוקריוטים.

קבוצה	מבנה תאי	דוגמאות
פרוטוזואה - בעלי חיים חד תאיים	חד תאיים	 אמבה
אצות	חד תאיים או רב תאיים	 כלורלה
פטריות	חד תאיים או רב תאיים	 עובש

מעבדה 7: מיקרואורגניזמים אוקריוטים



סנדליות הן אורגניזמים חד תאיים, פרוטוזואה, ממחלקת הריסניות. התא שלהן גדול יחסית (50-300 μm), ולכן ניתן לזהות פרטים שונים בתוך התא ולהבחין בתפקודם.



- צפייה בסנדליות מאפשרת הצצה לדרך בה חד תא מתפקד. אילו תפקודים הכרחיים לקיום של חד תא כאורגניזם שלם ועצמאי? בחרו בתפקוד אחד והסבירו כיצד לדעתכם תצפית בסנדלית תאפשר להכיר את הדרך בה הוא מתבצע?

ציוד וחומרים

תרבית סנדליות²⁷, תרחיף שמרים צבועים בקונגו אדום, 2 זכוכיות נושאות עם שקע. פיפטת פסטור. מתיל צלולוז 30%.

הכינו תכשיר מתרבית הסנדליות. נשתמש בזכוכית נושאת עם שקע, שמאפשרת לסנדליות לנוע.

טפטפו לתוך השקע טיפת מים מתרבית הסנדליות. כדי להאט את תנועת הסנדלית הוסיפו 2 טיפות של מתיל צלולוז שמסמין את התמיסה. כסו בזכוכית מכסה. והתקדמו להגדלות גדולות יותר.

1. בכמה סנדליות הבחנתם בכל הגדלה?
אם יש צורך בהאטת תנועת הסנדליות, ספגו את עודף הנוזלים באמצעות נייר סופג. לאחר האטה, הסתכלו בהגדלה גדולה.
2. צלמו סנדלית, והשוו בין הפרטים אותם אתם מצליחים לזהות, לבין הפרטים המופיעים באיור.
3. ציירו סנדלית בהתאם לתצפיותיכם, וציינו את הפרטים בהם הצלחתם להבחין.
4. תארו את אופן התנועה של הסנדלית. באיזה כיוון היא נעה? האם הריסים פועלות במתואם?
5. נסו לזהות בועית מתכווצת. האם כל הבועיות מתכווצות בו-זמנית?

מעקב אחר בועית מזון

שימו טיפה של תרבית סנדליות על זכוכית נושאת, וטיפת מתיל צלולוז. בדקו את דרך ההזנה של הסנדלית: האכילו את הסנדלית בטיפה של שמרים הצבועים בצבע קונגו אדום. חומר זה הוא אינדיקטור המשנה צבעו בהתאם לרמת החומציות או הבסיסיות. רמה זו משתנה עם עיכול השמרים.

התבוננו כעשר דקות בתהליך הבליעה והעיכול. עקבו אחר בועיות המזון וצבען. הצבע משתנה בהתאם לשינויי החומציות או הבסיסיות המתרחשים בתוך הבועיות. צבע כחול מעיד על חומציות, וצבע אדום מעיד על בסיסיות. צלמו תמונות במשך התהליך.

6. מהם התהליכים שהתרחשו בשלבים השונים של הבליעה והעיכול? מה ניתן ללמוד מהצביעה בקונגו אדום?

צפו: היכרות עם מבנה הסנדלית, סנדלית אוכלת שמרים צבועים בקונגו אדום, אמבה בולעת סנדלית



<https://tinyurl.com/sandalit1> , <https://tinyurl.com/sandalit-congo> , <https://tinyurl.com/ameoba-sandalit>

7. השוו בין תפקודי הסנדלית לבין התפקודים של יצור רב תאי לפי הקריטריונים הבאים: מבנה הגוף; אברי התנועה ואופן התנועה; אברונים בתא; הזנה; רבייה; הפרשה; נשימה.

שמרים

שמרים הם יצורים השייכים לממלכת הפטריות. במעבדה זו נכיר מאפיינים של שמרים, כפי שניתן לראותם בהגדלות שונות.

1. מאפיינים בקנה מידה מאקרוסקופי (ניתן לראות בעין)

מלאו בקבוק שתיה קטן ב-100 מ"ל מים פושרים.

הוסיפו כף שמרים וכפית סוכר, וערבבו בתנועה סיבובית.

נפחו בלון ורוקנו את האוויר כדי להגביר את גמישותו. הרכיבו את הבלון הריק על צוואר הבקבוק.

עקבו אחר הבלון במשך השיעור. מדדו את היקף הבלון כל 10 דקות.

1. מהו התהליך שגרם לניפוח הבלון?

2. כיצד תוכלו להשפיע על קצב ניפוח הבלון? הציעו מספר גורמים.

3. משימה להרחבה: תכננו ניסוי שיבחן את השפעת אחד הגורמים שהצעתם.

2. מאפיינים בקנה מידה מיקרוסקופי

הסתכלו בשמרים שהושרו במים פושרים וסוכר למשך שעותיים, מבעד למיקרוסקופ.

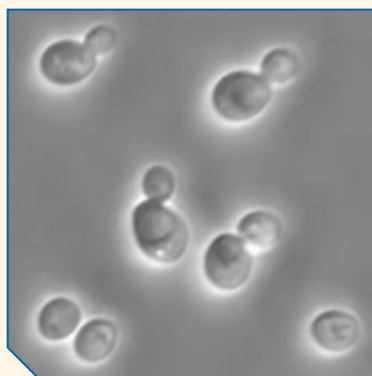
צלמו את השמרים בהגדלות השונות: קטנה, בינונית וגדולה.

חפשו האם אתם רואים הנצה של שמרים (בליטה קטנה היוצאת מתוך תא שמר, כפי שתוכלו לראות בתמונה).

4. מהו לדעתכם תהליך ההנצה וכיצד מתרחש?

5. בפרק 3 הגדרתם מאפיינים של יצורים חיים. אילו מאפייני חיים מצאתם בתצפיותיכם על השמרים? נמקו.

6. אילו אברוני תא זיהיתם בשמרים?



4.1 מחוללי מחלות אאוקריוטים

חלק מן המחלות שנגרמות על ידי מיקרואורגניזמים מקורן ביצורים אאוקריוטים. בטבלה שלפניכם מתוארים מחוללי מחלות אאוקריוטים נפוצים:

קבוצה	דוגמאות למחוללי מחלות	המחלה
פרוטוזואה - בעלי חיים חד תאיים	פלסמודיום	מלריה
	אמבה	דיזנטריה
פטריות	קנדידה, <i>Candida albicans</i> , הנמצאת באופן טבעי בכל הגוף. במצבים שונים הפטריה מתרבה יתר על המידה וגורמת לזיהומים קשים	קנדידה

- בחרו מחלה אחת הנגרמת על ידי מיקרואורגניזמים אאוקריוטים. חפשו מידע אודות המחלה והכינו רשימת אפיוני המחלה:

- ← שם המחלה
- ← סימני מחלה עיקריים
- ← גורם המחלה
- ← אופן ההדבקה במחלה
- ← דרכי מניעה או טיפול

- הציגו לכיתה את התוצרים: מה משותף למיקרואורגניזמים אאוקריוטים מחוללי מחלות ומה ההבדלים ביניהם?

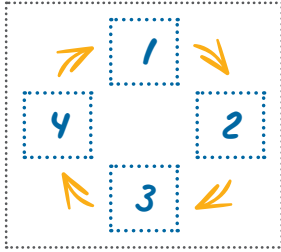
4.1.1 מה הקשר בין מחלה, הרחבת ישובים וחיות בר?



באזורים שונים בארץ התפשטה בשנים האחרונות תופעה של אנשים שחלו בפצעים עמוקים שנשארו פתוחים במשך חודשים. הפצעים הופיעו אצל מספר אנשים באזור. חלק מהחולים זכרו שהרגישו עקיצה קטנה כחודשיים לפני הופעת הפצע. הפצעים אובחנו כמחלת הלישמניה, שמכונה בשם העממי "שושנת יריחו". שם זה ניתן בעבר מכיוון שהמחלה תקפה אנשים באזור יריחו וים המלח.

כיצד ניתן למנוע את הלישמניה? הדיון דורש התייחסות לכל המשתתפים בהפצת המחלה: האדם, שבמקרה הזה הוא הקורבן; טפיל הלישמניה, שגורם בפועל למחלה; שפן הסלע, בדרך כלל בעל חיים חביב, אך במקרה זה מהווה סכנה מאחר שהוא משמש נשא של טפילי הלישמניה; והאורגניזם הרביעי הוא זבוב החול, שעוקץ את שפן הסלע ומעביר את הטפיל ממנו אל בני האדם ובחזרה.

עבודה קבוצתית



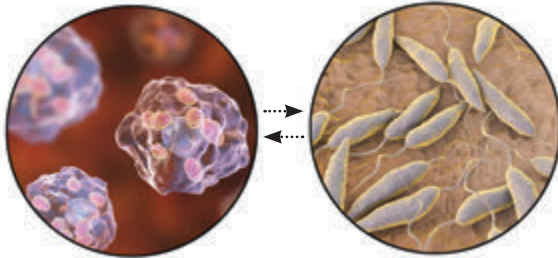
- הכיתה תתחלק לקבוצות בנות 8-12 תלמידים.
- כל קבוצה תחלק משימות לארבעה צוותים בתוכה (2-3 תלמידים):
(1) אדם, (2) שפן הסלע, (3) זבוב החול, (4) המיקרואורגניזם האוקריוטי לשימניה.
- **שלב 1. משימת הצוותים:** על כל צוות לייצג בתרשים את חלקו של אחד האורגניזמים בגרימת המחלה.
- **שלב 2. משימה קבוצתית:** בשלב זה יתכנסו ארבעת הצוותים לקבוצתם. הצוותים יחלקו ביניהם את המידע ויבנו תרשים המתאר את תפקידי ארבעת האורגניזמים בהתפתחות המחלה.
- **שלב 3. משימה כיתתית:** הקבוצות השונות יציגו את התרשים שלהן בפני הכיתה. הכיתה כולה תגבש הצעות לדרכים למניעת המחלה.

שלב 1: עבודה בצוותים (2-3 תלמידים)

- תארו באמצעות תרשים את חלקו של אחד האורגניזמים בגרימת המחלה

מידע ראשוני לכל צוות:

צוות 1: התפתחות הלישמניה



מצב ב'
תא קטן בתוך תא
דם לבן של יונק

מצב א'
תא מאורך גדול
מתפתח בזבוב החול

הלישמניה הוא בעל חיים חד-תאי (פרוטוזואה).

בארץ מוכרים שני מינים של לישמניה: לישמניה טרופיקה, ולישמניה מייג'ור. אנו נתמקד בלישמניה טרופיקה.

מחזור החיים שלה הלישמניה כולל שתי צורות:

1. תא מאורך בעל שוטון המקנה לו יכולת תנועה.
אורך התא: $15\mu - 20\mu$ = אלפית המילימטר. במצב זה, התא חי במערכת העיכול של נקבת זבוב החול. התא מתרבה באמצעות חלוקה בטמפרטורה של 27°C. התפתחותו אורכת 8-20 יום. בבשלותו הוא נע לכיוון גפי הפה של הזבוב, באופן שמאפשר מעבר ליונק בזמן עקיצה.
2. תא מעוגל אליפטי ללא שוטון וללא יכולת תנועה. אורכו $2 - 4\mu$. הוא מתפתח בטמפרטורה של 37°C, בתוך תאי דם לבנים של יונקים. הטפיל נבלע על ידי תאי המאכסן ומתרבה בתוכם באמצעות חלוקה.
התא עובר מזבוב החול למאכסן וכן להיפך באמצעות עקיצה.

סרטון (באנגלית) המדגים את מחזור החיים של לישמניה בתוך הזבוב <https://tinyurl.com/lishmania-zvuv>



סרטון (באנגלית) המדגים את מחזור החיים של לישמניה בגוף האדם



<https://tinyurl.com/lishmania-adam>

צוות 2: מחזור חיים של זבוב החול

זבוב החול הוא בגודל של יתוש קטן. הוא מטיל ביצים בקרקע יבשה יחסית. מחזור החיים שלו אורך כחמישה שבועות עד חודשים אחדים, וכולל ארבעה שלבים:

1. **ביצה.** הנקבה מטילה 30-70 ביצים בקרקע יבשה יחסית. ארוחת דם לנקבה הכרחית ליצירת הביצים. לאחר כשבועיים בוקעים הזחלים.
2. **זחל.** התפתחות הזחלים אורכת שבועיים, במהלכם הם ניזונים מחומר אורגני. לבסוף הם נצמדים לקרקע לקראת שלב הגולם.
3. **גולם.** שלב ניח שנמשך 5-10 ימים ואין במהלכו כל תזונה ותזונה. במשך שלב הגולם, מתפתחים אברי הזבוב הבוגר כולל הכנפיים.
4. **בוגר.** בקיעת הבוגרים מתרחשת בלילה, לאחר התפתחות כנפיים בצורת V. הזכרים ניזונים מנוזלי צמחים. הנקבות מוצצות דם יונקים. נקבת זבוב החול פעילה בעיקר עם שקיעת החמה ולכן רוב העקיצות מתרחשות בלילה.



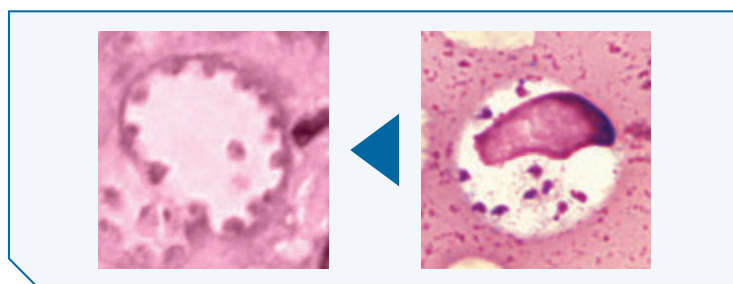
צוות 3: התפתחות הטפיל באדם

עקיצה של אדם על ידי נקבת זבוב החול (במהלך "ארוחת דם") עלולה להעביר טפילי לישמניה לעור. תאי דם לבנים "בלעניים" בולעים את הטפיל. הטפיל מתרבה בתוך התאים ולבסוף הצאצאים שלו משתחררים מהתא הבלען ויכולים להיבלע על ידי תאים בלעניים אחרים, או להיות מועברים לפרט אחר באמצעות עקיצת זבוב החול.

לאחר כחודש מהעקיצה מופיע פצע בעור, כאשר טפילי לישמניה מתרכזים בשולי הפצע.

בצילום מיקרוסקופי ניתן לראות את התרבות טפילי הלישמניה בתוך תא הדם הלבן הבלען. בשלב הבא הטפיל משתחרר מהתא.

סרטון (באנגלית) המדגים את מחזור החיים של לישמניה בגוף האדם <https://tinyurl.com/lishmania-adam>



צוות 4: שפני סלע – נשאי טפיל לישמניה

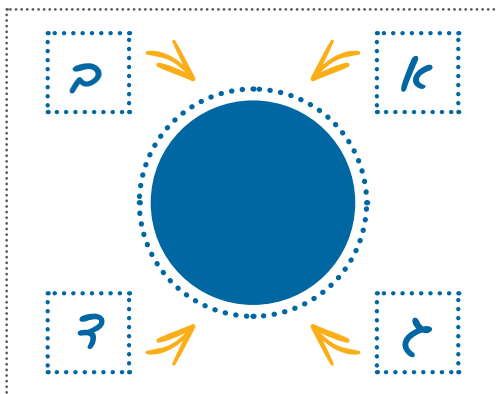


הנשא העיקרי של טפילים מסוג לישמניה טרופיקה הוא שפן הסלע. בלישמניה מסוג שני הנפוצה בארץ – לישמניה מייג'ור – הנשאים הם המכרסמים: פסמונים, מריונים וגרבילים. השפנים חיים בטבע, במשך 8-9 שנים, ויכולים לשאת את טפיל הלישמניה במשך תקופות ארוכות. זבוב החול הוא המעביר של הלישמניה מהשפן אל האדם ולהיפך. כאשר זבוב החול עוקץ את השפן, הוא מעביר אליו את הלישמניה. הלישמניה מתפתחת ומתרבה בגופו של השפן (בדומה לאדם).

שפני הסלע חיים באזורים סלעיים, בלהקות המורכבות מכמה משפחות המונות עד כשמונים פרטים. מתוך סקר שנעשה בשנים 2012-2015, כעשרה אחוזים משפני הסלע בארץ שנדגמו היו נגועים בלישמניה. שפני הסלע הם פעילי יום שמוצאים את מזונם בקרבת המסלעות שבהן הם מסתתרים. הם בעלי חיים צמחוניים, הניזונים ממגוון רחב של צמחים. לשפני הסלע נטייה לנדוד ממקום למקום, הם ניחנו בכושר טיפוס מעולה, מסוגלים להתגבר בקלות על רוב סוגי הגדרות ועקב כך יכולים להיכנס לגינות פרטיות ללא קושי. עקב יצירת בתי גידול מלאכותיים – בעיקר מסלעות סמוך לאזורי יישוב – חלה עלייה בתפוצת שפני הסלע ביישובים ובערים. צמצום של אוכלוסיית שפן הסלע בקרבת בתי מגורים מפחיתה באופן ניכר את אחוז הזבובים נושאי הטפיל ומפחיתה את סיכויי ההדבקות במחלה.²⁸

קישור: וינר, גלי (2016) משרד הבריאות חסר אונים: השפן שהפך לאויב העם, גלובס 26/06/16

<https://tinyurl.com/shafan-oyev>



שלב 2: משימה קבוצתית (התכנסות של ארבעה צוותים)

1. על כל צוות להציג בפני הקבוצה את התרשים שיצר.
2. בהתאם למידע שהתקבל, בנו תרשים המתאר את תפקידי ארבעת האורגניזמים בהתפתחות המחלה.
3. אחת הדרכים המוצעות להפחתת ההידבקות בלישמניה היא הסברה. הסבירו באילו דרכים הסברה עשויה לגרום למניעת נזקי הלישמניה.

תוכלו לעיין בעלון ההסברה המופיע [בקישור](#):

<https://tinyurl.com/leishmaniasis-sviva>

שלב 3: דיון כיתתי מסכם



לפניכם רשימת גורמים, שבכל אחד מהם ניתן להתמודד עם טפיל הלישמניה:

- ➡ גורם המחלה
- ➡ אוכלוסיית המעביר
- ➡ אוכלוסיית המאגר
- ➡ בית הגידול
- ➡ פעילות האדם התורמת להתפתחות הלישמניה

1. העזרו בהצעות של יועץ סביבתי. אילו פעולות ניתנות לביצוע בכל חזית?

2. באיזה גורם, לדעתכם, ההתמודדות היא היעילה ביותר?

הצעות של יועץ סביבתי²⁹:

פעולות למניעת עקיצת זבוב החול ברמת משק הבית

- ✓ התקנת רשתות צפופות ושימוש בכילות
- ✓ שימוש בחומרים דוחי יתושים
- ✓ ביציאה החוצה – עדיפה לבישת מכנסיים ארוכים ואי-הפשלת השרוולים בשעות החשיכה.
- ✓ בעת טיול בשטח – מעבר לביגוד ארוך, מומלץ לישון בגובה של יותר מ- 20 ס"מ מפני הקרקע.
- ✓ מסביב לבית יש למנוע הצטברות פסולת, וכן למנוע יצירתם של אזורים לחים שמקורם בדליפות מים וביוב.

טיפול באמצעות הרחקת שפני סלע לבתי הגידול הטבעיים – תכניות אופטימליות עם שיקולי עלות תועלת

כתוצאה מהתפתחות יישובים ובניית שכונות, נוצרים מערומי סלעים המהווים בחלקם בתי גידול לאוכלוסיית שפני הסלע. כושר הנשיאה של בתי הגידול החדשים עולה אף כתוצאה מטיפול גינות, וכך מתרבה אוכלוסיית שפני הסלע המקומית. כדי להפחית את התרבות שפני הסלע, יש לטפל במסלעות ולהפחית את בתי הגידול האפשריים עבור שפני הסלע. במסגרת תכניות הטיפול, אנו מבצעים מיפוי של מוקדים בהם קיימת אוכלוסייה של שפני סלע, וכן של מוקדי התפשטות פוטנציאליים. במוקדים אלה אנו מציעים מגוון פעולות לטיפול הכולל:

כיסוי סלעים (טיפול מקומי), פינוי סלעים, גידור יעיל המותאם ליכולות ולאורח החיים של שפני הסלע ועוד. הפעולות נשקלות ביחס לאפשרות הביצוע, ביחס להיבטים הסביבתיים וביחס לעלות. כמו כן קיימים מקרים בהם נמליץ על דילול מבוקר של אוכלוסיית שפני הסלע, באישור רשות הטבע והגנים.

לסיכום: מיון האורגניזמים השונים בפרק

1. הכינו רשימה של האורגניזמים השונים שהכרתם בפרק
2. היעזרו באינטרנט ומיינו אותם לקבוצות בהתאם לאזור
3. ציינו תכונות המאפיינות את קבוצת האורגניזמים.



סיכום הפרק

- ✓ קיים מגוון של מיקרואורגניזמים שהם בעלי תא אאוקריוטי:
 - פרוטוזואה: למשל סנדלית ולישמניה.
 - פטריות: למשל שמרים.
- ✓ לישמניה מועברת באמצעות עקיצה של זבוב החול המעביר את הטפיל משפן הסלע הנושא אותו לאדם וגורם למחלה "שושנת יריחו".
- ✓ ניתן למנוע מחלות על ידי טיפול בסביבת גורמי המחלה והתאמות התנהגותיות.



קישורים להרחבה

- גל, איתי, מגיפת "שושנת יריחו" בעלייה: אלו האזורים הנגועים. Ynet 27.9.17 <https://tinyurl.com/shoshanat-yericho>
- אליזרע, רותם (2016) 100 מתושבי צופים נעקצו ע"י זבוב החול. Ynet 18.04.16 <https://tinyurl.com/100nekzoo>
- המשרד להגנת הסביבה: זבוב החול ומחלת הלישמניאזיס <https://tinyurl.com/shoshanat-seret>
- סרטונים: כהן, ערן (2015) על מחלת שושנת יריחו <https://tinyurl.com/lishmaniawho>
- מידע מאתר ארגון הבריאות העולמי <https://tinyurl.com/lishmaniawho>

פרק 5: חיסון



מה מעניין אותך לדעת על מערכת החיסון ועל חיסונים?
על כל תלמיד/ה לכתוב שאלות על פתק (אין חובה לציין את שמך).
צרו מאגר של כל השאלות שנשאלו בכיתה כדי שתוכלו להשתמש בהן במהלך או בסיכום הפרק.

מבוא

דייויד וטר נולד בשנת 1971 ואובחן כחולה במחלה תורשתית נדירה שמחלישה מאד את מערכת החיסון.

- מה לדעתכם עלול לקרות לתינוק עם מערכת חיסון חלשה מאד?

דייויד היה הילד השלישי במשפחה. אחותו הגדולה נולדה בריאה. אחיו נפטר בגיל 7 חודשים מאותה מחלה, ועל כן לידתו של דייויד התקיימה בתנאים סטריליים בבית החולים בטקסס, ארצות הברית. מיד לאחר הלידה, הועבר דייויד לתוך בועת פלסטיק סטרילית ושם חי רוב חייו.

<https://tinyurl.com/yeledbooah> סרט (באנגלית) על חייו של דייויד



- בתמונה שלפניכם ניתן לראות את דייויד בבועה, משחק עם הרופא שנמצא מחוץ לבועה. מהם היתרונות של החיים בבועה זו?
- מה על דייויד לקבל מהסביבה החיצונית, ובאיזה אופן ניתן לספק צרכים אלו?



כדי לאפשר לדייויד לחיות חיים רגילים עלה צורך בהשתלת מח עצם, שיאפשר לו לפתח מערכת חיסון, אודותיה נלמד בפרק זה. מח העצם נתרם על ידי אחותו, אך ההשתלה לא הצליחה. דייויד נפטר בגיל 12.

מאז התפתחה טכנולוגיית ההשתלות וכן טכנולוגיות גנטיות המגבירות את הסיכויים לריפוי מחלה תורשתית זו. דוגמה לכך תוכלו לראות בכתבתו של [איתי גל \(2017\) בזכות תרומת מח העצם: ילד הבועה חזר לחיים Ynet](https://tinyurl.com/booah-truma)

<https://tinyurl.com/booah-truma> 17.01.17

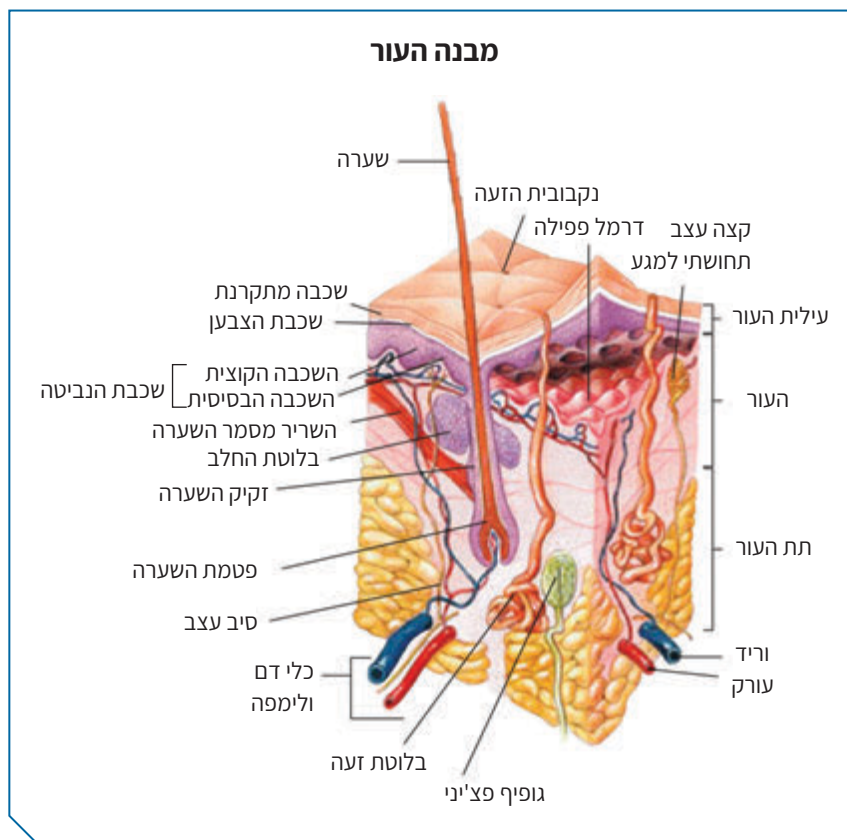
5.1 מערכת החיסון – היכרות כללית



מתוך מה שלמדתם על מיקרואורגניזמים, כיצד לדעתכם ניתן למנוע מגורמי מחלות לחדור לגוף?

דרכי מניעה של חדירת גורמים זרים לגוף

- 1. הגנה מכאנית:** התבוננו באיור של מבנה העור וכתבו כיצד לדעתכם מונע מבנה העור כניסת מיקרואורגניזמים לגוף?
- 2. הגנה כימית:** חפשו באיור בלוטות הפרשה. אילו חומרים המופרשים מהעור עשויים לדעתכם למנוע חדירת מיקרואורגניזמים?
- 3.** בפרק 1 למדתם אודות המיקרוביום. מהם התנאים המאפשרים למיקרואורגניזמים אלו להתקיים על העור?
- 4.** כיצד לדעתכם יכול המיקרוביום להגן על הגוף מפני מחוללי מחלות?



למרות שהעור עוטף אותנו מבחוץ, קיימים פתחי כניסה לגוף, כמו פתחי העיכול, הנשימה, השתן, השמיעה ועוד. פתחים אלה מצופים מבפנים בתאים מיוחדים (אפיתל) המספקים הגנה מכאנית והמפרישים נוזל רירי המשמש הגנה כימית. הגנות אלו מונעות כניסת מיקרואורגניזמים לסביבה הפנימית של הגוף - למשל למערכת הדם.

5. עישון עלול לפגוע בציפוי הפנימי של מערכת הנשימה: תאי אפיתל, ריריות וריסים. כיצד תסבירו את העובדה שמעשנים הם בעלי סיכון גבוה לזיהומי ריאות, הצטננויות ושפעת?

6. מה לדעתכם תהיה השפעה של פגיעה בעור, למשל כתוצאה מכוויה או פציעה, על ההגנה מפני מיקרואורגניזמים?

דלקת – תגובה לחדירת גורם זר

למרות המנגנונים המכניים והכימיים היעילים, יש מקרים שבהם מיקרואורגניזם מצליח לחדור לגוף. בתמונות הבאות מתואר רצף תהליכים המתרחש במקרה כזה.

1. התאימו את התהליכים הבאים למספרים המופיעים באיור:

➡ תאים לבנים באזורים מיקרואורגניזמים

➡ תאי הדם הלבנים מתקדמים לעבר התאים שנפגעו, שם ריכוז "חומרי האזעקה" הוא הגבוה ביותר.

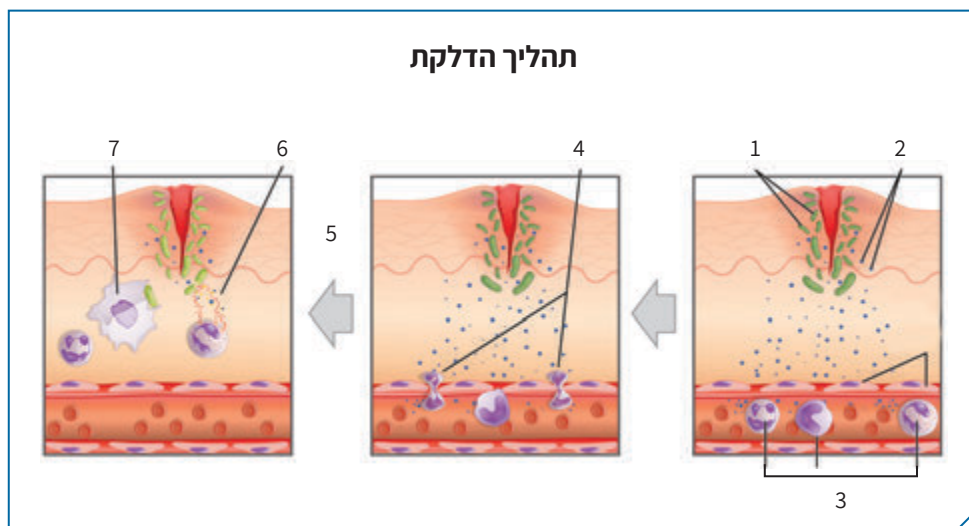
➡ מיקרואורגניזמים חוזרים לאזור

➡ תאי הדם הלבנים בנימי הדם, נקשרים ל"חומרי האזעקה"

➡ תאי הדם הלבנים נחלצים ועוברים בין תאי דפנות נימי הדם

➡ תאי הגוף שנפגעו מפרישים "חומרי אזעקה"

➡ תאים לבנים מסוימים מפרישים חומרים שמפרקים את המיקרואורגניזמים



2. הסבירו כיצד מזהים תאי הדם הלבנים פגיעה של מיקרואורגניזמים בגוף? כיצד מתקבצים תאים רבים למקום התקיפה? כיצד התאים הלבנים נלחמים במיקרואורגניזמים?

תופעת **הדלקת**, כפי שכולנו מכירים, כוללת אודם, נפיחות, חום, וכמובן כאב. היא נגרמת כתוצאה מרצף התהליכים שתואר באיור. כלי הדם באזור הזיהום מתרחבים ודם ונוזלי גוף מתרכזים במקום. כך, אזור הדלקת מתמלא בתאי דם לבנים וגם בחומרים שמספקים אנרגיה לפעילות המוגברת שלהם, כגון חמצן ומזון. התוצאה היא אדמומיות, חום מקומי, נפיחות הנגרמת על ידי נוזלים ולחץ הגורם לכאב. חומרים נוספים גורמים לעלייה בטמפרטורת הגוף. בזיהום חידקי נוצרת מוגלה המורכבת מחיידקים, תאי גוף מתים וחומרי פסולת. מנוחה מאפשרת לגוף להפנות משאבים כדי להילחם בזיהום.

3. הסבירו כיצד הדלקת מגינה על הגוף, ומדוע חשים בעקבותיה כאב, אדמומיות וחולשה?

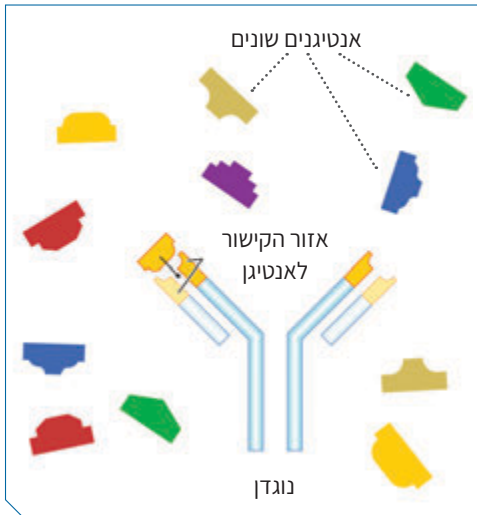
[תוכלו להיעזר בסרטון (באנגלית) <https://tinyurl.com/daleket-1>].



התגובה הייחודית של מערכת החיסון

כאשר מיקרואורגניזם מצליח לחדור את מערכי ההגנה שתוארו קודם ולהיכנס לסביבה הפנימית בגוף, מופעלת מערכת החיסון הייחודית. דרכי הפעולה של המערכת הן באמצעות נוגדנים ותגובה תאית.

נוגדנים



לנוגדנים, שהם מולקולות חלבון, חשיבות רבה בפעילות המערכת החיסונית. הנוגדנים נוצרים על-ידי תאי הדם הלבנים (מסוג B), בדרך כלל כתגובה על חדירת גורם זר. הנוגדנים מזהים באופן ייחודי מרכיבים (למשל חלבונים) על פני גופים זרים (=אנטיגנים) כגון חיידקים, נגיפים, ארס או תאי גוף שעברו שינוי, למשל תקיפת נגיפים או הפיכה לתאים סרטניים. הנוגדן מותאם באופן ייחודי למבנה האנטיגן. כאשר נוגדנים הנמצאים בדם או בנוזלי גוף אחרים מזהים אנטיגן, הם נקשרים אליו ובכך מנטרלים את השפעתו, או מפעילים מנגנוני חיסון נוספים.

1. כיצד מדגים האיור את ההתאמה הייחודית בין הנוגדן לאנטיגן?

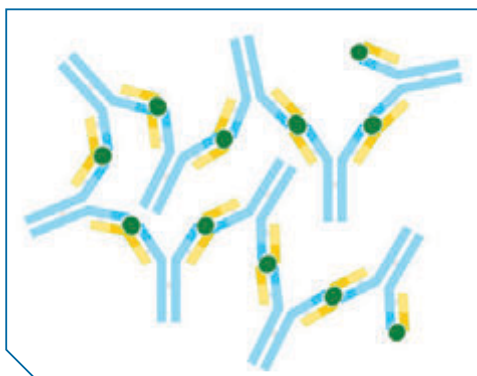
הייחודיות מתבטאת בכך שלא כל מערכת החיסון מופעלת בכל פעם שגורם זר החדר לגוף, אלא רק אותם מרכיבים המותאמים לו. כך לדוגמה, נוגדנים הפועלים נגד חלבון ייחודי לחיידק השחפת לא יפעלו נגד חיידק הכולירע, ואלו הפועלים נגד ארס הצפע לא יפעלו נגד ארס של נחש אחר וכדומה.

2. כיצד הייחודיות מגבירה את הצלחת התמודדות הגוף עם גורמי מחלה?

בפעילות הבאה נדמה את פעולת הנוגדנים

התחלקו לקבוצות של 10-12 תלמידים.

- על תלמיד אחד לצלם את הפעילות מלמעלה.
- על שאר התלמידים לעמוד במעגל.
- פזרו בתוך המעגל 7 בלונים.
- בהינתן האות, על כל תלמיד להחזיק בכל יד בלון אחר.
- מספר תלמידים יכולים להחזיק באותו בלון.
- עצרו כאשר כל התלמידים מחזיקים בבלונים בשתי ידיהם.



1. איזה מרכיב במערכת החיסון מדמים התלמידים ואיזה מדמים הבלונים?

2. התהליך שדימיתם בפעילות נקרא "צימות". התהליך יוצר התלכדות של הגורמים הזרים. שערו כיצד תהליך זה מסייע בנטרול גורמי מחלה בגוף.

שאלת הרחבה: בעירו דם מקפידים מאד על זיהוי סוג דם התורם. סוג הדם נקבע על פי חלבונים שנמצאים על פני תאי דם אדומים: חלבון A וחלבון B. חלבונים אלו לא נמצאים אצל כל אדם. יש אנשים בעלי חלבון A על גבי תאי הדם האדומים שלהם - כלומר בעלי סוג דם A, יש בעלי חלבון B - בעלי סוג דם B, ויש בעלי סוג דם AB המכילים את שני החלבונים. לאנשים בעלי סוג דם O אין חלבון A או B על גבי תאי הדם האדומים. לאדם שבדמו אין חלבון A יהיו נוגדני אנטי-A (מותאמים לחלבון A), ולאדם חסר חלבון B יהיו נוגדנים אנטי-B.

3. על סמך הפעילות שביצעתם, הסבירו מדוע עירוי דם מסוג שאינו מתאים לסוג הדם של מקבל מנת הדם מהווה סכנה.

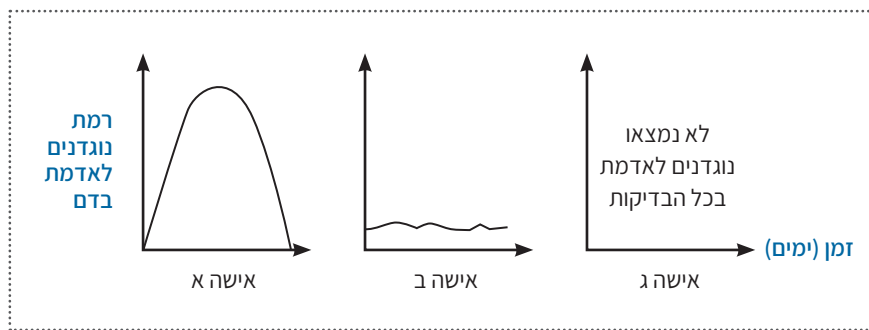
זיכרון חיסוני

זיכרון חיסוני מתבטא בכך שלאחר שתאי דם לבנים באו במגע עם גורם זר, נשאר חלק מהם בדם למשך תקופה ארוכה. אותם תאים ארוכי-חיים, שחלקם מסוגלים ליצור נוגדנים, נקראים תאי זיכרון. כשתאי הזיכרון באים במגע חוזר עם אותו גורם, הם מגיבים מהר יותר ובעוצמה גבוהה יותר. אם הגורם הוא מחולל מחלה, לא יופיעו סימני המחלה, או שהם יופיעו בצורה קלה.

היווצרות זיכרון חיסוני נגד גורם אחד אינה מקנה זיכרון חיסוני נגד גורם אחר, שכן המערכת החיסונית היא ייחודית. כך, זיכרון חיסוני נגד נגיף החזרת (שנוצר אצל מי שחוסן נגד חזרת, או שחלה בחזרת והחלים) לא יועיל נגד נגיף החצבת.

אדמת היא מחלה הנגרמת על-ידי נגיף, ובדרך כלל חולפת ללא טיפול וללא סיבוכים. לא כן הדבר במקרה של הריון: נגיף האדמת עלול לגרום לפגיעה בעובר, במיוחד בחדשי ההיריון הראשונים. הפגיעה יכולה להיות, למשל, בצורת חירשות, מומי לב, או פגיעה מוחית.

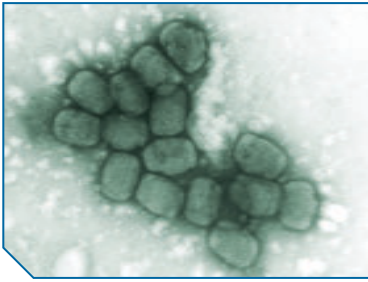
משלוש נשים הוות (א, ב, ג) נלקחו במשך שבוע דגימות דם ונבדקה כמות הנוגדנים נגד אדמת בדמן. לפניכם התוצאות:



1. מי לדעתך נדבקה באדמת? על סמך מה קבעת?
2. למי מהנשים זיכרון חיסוני נגד אדמת? כיצד היתה יכולה לרכוש אותו?
3. מי מהנשים לא נחשפה מעולם לנגיף האדמת? על סמך מה קבעת?
4. מה לדעתך תהיה ההמלצה הרפואית לכל אחת מהנשים?
5. דרג את ההמלצות שהעלית בסעיף הקודם לפי רמת הוודאות: באיזו המלצה הסיכוי הקטן ביותר לטעות ובאיזו הסיכוי הגדול ביותר לטעות?
6. מחלות כמו אדמת ואבעבועות רוח מכונות "מחלות ילדים" מכיוון שהן מופיעות בדרך כלל בגיל צעיר, ואדם שחלה בהן לא יחלה שנית. הסבירו מדוע.
7. כתוצאה ממפגש עם אנטיגן, נוצר זיכרון חיסוני. כלומר, נוצרים תאים ייחודיים המייצרים נוגדנים כלפי אותו אנטיגן ותאי דם לבנים המסוגלים לגרום להרס תא שעל פניו נמצא אנטיגן אותו הם זוכרים. כיצד ניתן לנצל את המידע הזה כדי למנוע מחלות?

5.2 מהבנת מערכת החיסון ועד למניעת מחלות

כך זה החל...



אבעבועות שחורות נחשבה לאחת המחלות הקשות והמדבקות ביותר. המחלה נגרמת על ידי נגיף. הנגיף חודר לגוף דרך דרכי הנשימה ומתפשט בדם. כשבוע לאחר ההדבקה, חום הגוף עולה, מופיעים כאבי ראש, כאבי גב והקאות. לאחר יומיים, מופיעים פצעים אופייניים - אבעבועות בכל הגוף. המגיפה, שהתרחשה במאה ה-18, הייתה קטלנית ביותר. היקף התמותה עם הופעת האבעבועות בגוף היה 50-75%. תיעוד מתקופה זו דיווח על תמותה של 98% מילדי ברלין ו-80% מילדי לונדון מאבעבועות שחורות. השורדים נשארו במקרים רבים נכים, עיוורים או חירשים.

כבר במאה החמש עשרה נהגו הסינים להכין אבקה מגלדים יבשים של אבעבועות שנלקחו מחולים שעברו את המחלה בצורה קלה יחסית. את האבקה ערבבו עם חומרים מהצומח והכניסו לצינור ששימש לשאיפת האבקה באמצעות האף. קנה השאיפה היה עשוי מכסף. הבנים שאפו את האבקה בנחיר ימין, והבנות בנחיר שמאל. שיטה זו הופצה למדינות נוספות, והגיעה לאירופה בשנת 1700.



1. על סמך מה שלמדתם בפרק על מערכת החיסון, הסבירו כיצד סייעה שיטה זו למנוע את המחלה. האם לדעתכם יש סיכון בשיטה? נמקו.



אדוארד ג'אנר היה רופא כפרי שחי באנגליה במאה השמונה עשרה. הוא ראה שנשים שחלבו פרות חלו לעיתים באבעבועות הפרות, מחלת עור שאינה מסוכנת. מעקב ממושך אחר חולות אלו הביא את ג'אנר לשים לב לתופעה מיוחדת: נשים שחלו באבעבועות הפרות לא נדבקו במחלת האבעבועות השחורות.

2. התופעה אותה גילה ג'אנר לא הייתה חדשה. מה הידע הקודם שהיה לג'אנר, ומה גרם לו לגלות את התופעה?

3. מתוך הידע שלכם אודות מערכת החיסון, שערו מה יכול לגרום לתופעה שבה חשיפה למחלה אחת (אבעבועות הפרות) תגרום ליצירת חיסון למחלה אחרת (אבעבועות שחורות)?



אדוארד ג'אנר ערך ניסוי: חולבת הפרות שרה נלמס חלטה באבעבועות הפרות. ביום 14 במאי 1796, לקח ג'אנר מעט חומר מהאבעבועות שלה והחדיר לעור של ג'יימס פיליפ בן השמונה, הבן של הגנן שלו. ג'יימס חלה באבעבועות הפרות, ולאחר שהחלים הדביק ג'אנר את ג'יימס במחלה המסוכנת - אבעבועות שחורות. ג'יימס לא חלה במחלה הנוראית.

4. צרו איור או תרשים זרימה המתאר את שלבי הניסוי של ג'אנר.
5. מדוע ג'יימס לא חלה באבעבועות השחורות? הסבירו את התהליך שהתרחש במערכת החיסון.
6. במה דומה שיטת החיסון של ג'אנר לשיטה הסינית העתיקה ובמה היא שונה ממנה?

במשך 20 שנה, פיתח ג'אנר את החיסון כנגד אבעבועות שחורות וכך הונחה תשתית של חיסונים, באמצעותם נמנעו באופן ניכר מחלות חשוכות מרפא.

כיום נקראים כל החיסונים בלועזית *vaccination*, שם הנגזר מהמילה הלטינית *vacca* - פרה.



7. כיום, כשבוחנים את הפיתוח של ג'אנר, יש המבקרים מוסרית את השיטות בהן הוא השתמש. כתבו **טיעון** המתייחס למוסריות המעשה של ג'אנר. בססו את טענתכם על פי הסעיפים הבאים:

א. הגדירו את הדילמה שבמעשה של ז'אנר - על סמך אילו ערכים אפשר להצדיק אותו ועל סמך אילו ערכים יש להתנגד לו. איזה ערך ראוי לדעתכם להעדיף?

ב. **שאלת הרחבה:** בחנו את מוסריות השיטות לאור הטכנולוגיות המדעיות שהיו בתקופתו, לאור הידוע לנו על המצב בתקופתו, ולאור התמורות שחלו מאז ועד היום.

בשנת 1980 הכריז ארגון הבריאות עולמי על מיגור מחלת האבעבועות השחורות. כיום, הנגיף קיים רק במעבדות, ולכן החיסון אינו ניתן יותר לציבור, כיוון שמעריכים שאין בו צורך. מספר תנאים מאפשרים למגר מחלה נגיפית: נגיף שבאופן טבעי מדביק רק בני אדם, נגיף שנמצא בגוף רק במצב פעיל ולא רדום, נגיף יציב שאינו משנה את האנטיגנים שעליו, הזיכרון החיסוני ארוך טווח, החיסון לנגיף יעיל וזול.

8. לאור תנאים אלו, הסבירו מדוע הצליחו למגר את האבעבועות השחורות ולא את נגיף השפעת?

5.3 חיסונים – טכנולוגיה רפואית למניעת מחלות

חיסון פעיל



החיסונים מחקים את ההיווצרות הטבעית של זיכרון חיסוני למחולל מחלה כלשהו, מבלי שהאדם יצטרך לחלות במחלה לשם כך. בחיסון כזה, הנקרא חיסון פעיל, מחדירים לגוף גורם מחלה מוחלש או מומת. בפיתוח חיסונים מעוניינים לגרום למערכת החיסונית ליצור זיכרון חיסוני ייחודי לגורם המחלה המוחלש או המומת, המוחדר לגוף כחיסון. הציפייה היא שהחיסון יהיה יעיל כנגד אותו גורם מחלה כשהוא בצורתו הטבעית, המזיקה. גורמי המחלה המוחלשים או המומתים, הניתנים כתרכיבי חיסון, יכולים להיות חיידקים, נגיפים או חומרי רעל שונים.

במהלך הכנת החיסון מטפלים במעבדה בחיידק, נגיף או רעלן (חומר רעל) כדי לשנות את תכונותיהם, כך שמצד אחד יהיו בלתי מזיקים לגוף, ומצד שני ישמרו על מבנה האנטיגן.

1. מתוך היכרותכם את הדרך בה מערכת החיסון פועלת, הסבירו מדוע שני תנאים אלו נחוצים ליצירת חיסון פעיל יעיל?

2. הסבירו מדוע מכונה החדרת גורם מחלה מוחלש או מומת בשם "חיסון פעיל"?

בנוסף לגורמי מחלה שלמים, כיום מייצרים גם בשיטות של הנדסה גנטית, חלקים של גורמי מחלה שונים, כדי להשתמש בהם כתרכיבי חיסון. בשיטה זו אין משתמשים בגורם המחלה בשלמותו, אלא בחלק ממנו, החלק שבא במגע עם המערכת החיסונית. באופן זה, הסיכוי שתרכיב החיסון יגרום בעצמו למחלה, קטן יותר.

לאחר שגורם מחלה מוחלש חודר לגוף, המערכת החיסונית מגיבה ונוצר זיכרון חיסוני נגדו. אם גורם המחלה האמיתי יחדור לגוף בעתיד, המערכת החיסונית תגיב מהר יותר וחזק יותר וכתוצאה מכך לא יופיעו סימני מחלה, או שהם יופיעו בצורה קלה.

3. הסבירו את המשפט: בפיתוח חיסונים, הרפואה מנצלת שתי תכונות: ייחודיות וזיכרון, הקיימות במערכת החיסונית.

4. צהבת מסוג A היא דלקת כבד נגיפית. המחלה מועברת באמצעות מזון, שתייה או צואה המכילים את הנגיף. המחלה פוגעת בתיפקודי הכבד, ומאופיינת בהופעת צבע צהוב בלחמית העין ובעור ובשתן כהה. נזק לכבד עלול לגרום לעיתים רחוקות לצורך בהשתלת כבד ואף לסכנת חיים. לפניכם נתוני תחלואה בצהבת A בין השנים 1992-2009 בישראל.

שנה	מס. מקרי צהבת A (בקירוב)	שנה	מס. מקרי צהבת A (בקירוב)
1992	1000	2001	800
1993	3000	2002	100
1994	3500	2003	120
1995	2000	2004	170
1996	2500	2005	110
1997	4000	2006	80
1998	2000	2007	100
1999	2100	2008	70
2000	1200	2009	100

- שרטטו גרף המציג את השתנות מספר המקרים של צהבת A לאורך השנים.
- באיזה סוג גרף תבחרו? מדוע?
- מדוע נצפו עליות וירידות במקרי צהבת בשנים 1992 עד 1999?
- בשנת 1999 החלו לחסן באופן שגרתי נגד צהבת A. כיצד מסייעת עובדה זו להסביר את הנתונים שבטבלה?

חיסון סביל

במצב בו אדם נחשף לגורם מחלה המהווה סיכון מיידי, ניתן למנוע את הסכנה באמצעות טיפול המכונה "חיסון סביל".

החיסון הסביל מכיל נוגדנים ייחודיים המוזרקים לאדם. נוגדנים אלו מופקים מבעל חיים לאחר חשיפתו לגורם המחלה או לרעלן. משתמשים בחיסון סביל להצלת חיים במקרה של חשיפה למחלות מסוכנות שמחייבות הגנה מיידי. בין המחלות הללו נמצאות כלבת, צהבת וטטנוס. שימוש בחיסון סביל נעשה גם בעקבות הכשה על ידי בעל חיים ארסי להגנה מפני הארס.

מחלת הטטנוס (צפדת) היא מחלה הנגרמת על ידי רעלן (חומר רעיל) המופרש מהחידק. הרעלן גורם להתכווצויות מכאיבות של שרירים שונים בגוף, כולל שרירי הנשימה, ועל כן הוא מסכן חיים. החידק נפוץ ביותר בטבע ונמצא במצב רדום בקרקע, באבק הבית, במעי בעלי חיים ובהפרשותיהם, וכן בצואה של בני

אדם. בעת פציעה, החיידק עלול לחדור לגוף. בכל פציעה קיימת סכנה להתפתחות המחלה אצל אדם שאינו מחוסן. פציעות עמוקות מסוכנות במיוחד.

הוראות משרד הבריאות למתן חיסון מונע טטנוס לאחר פציעה:

פצעים עמוקים		פצעים קלים ונקיים		מספר הפעמים שבה ניתן חיסון פעיל לטטנוס לפני הפציעה
יש לתת חיסון סביל	יש לתת חיסון פעיל	יש לתת חיסון סביל	יש לתת חיסון פעיל	
כן	כן	לא	כן	לא ידוע, לא בטוח 0 עד 2
לא	לא (אם ניתנו בחמש השנים האחרונות)	לא	לא (אם ניתנו בעשר השנים האחרונות)	3 או יותר

5. א. הסבירו מדוע מכונה החדרת נוגדנים בשם "חיסון סביל".

ב. הסבירו מדוע יש הבדל בהנחיות למתן החיסונים בין המקרים השונים.

ג. מדוע לדעתכם נמנעים מלתת חיסון סביל נגד טטנוס בכל פציעה? [רמז: כיצד מערכת החיסון מגיבה לחשיפה לנוגדנים שמקורם בבעל חיים?]

חיסון סביל **טבעי** מתרחש כאשר נוגדנים עוברים במהלך הריון ולידה מהאם לעובר, או בהנקה באמצעות חלב האם. הקולוסטרום, חלב האם הנוצר לאחר הלידה, מכיל נוגדנים ותאי דם לבנים בכמות גבוהה. נוגדנים אלו מקנים חסינות לוולד בתחילת חייו, כאשר מערכת החיסון שלו בתקופה זו עדיין אינה מפותחת דיה.

6. השווה בין חיסון סביל טבעי זה לבין חיסון סביל מלאכותי, לפחות על פי שלושה קריטריונים שונים.

7. "טכנולוגיות חדשות מקדמות ידע מדעי וכן להיפך". הדגימו את הרעיון באמצעות הידוע לכם על חיסונים.

קישורים להרחבה

- [משרד הבריאות \(2010\) חוברת: חיסונים בגיל הילדות](https://tinyurl.com/tochnit-hisun) <https://tinyurl.com/tochnit-hisun>
- [אתר משרד הבריאות: חיסונים](https://tinyurl.com/briut-hisun) <https://tinyurl.com/briut-hisun>
- [חיסונים: כל מה שחשוב לדעת, היחידה למחלות זיהומיות לילדים, מרכז רפואי וולפסון](https://tinyurl.com/hisun-ladaat) <https://tinyurl.com/hisun-ladaat>
- [מכון דוידסון \(2012\) אשכול כתבות על מערכת החיסון](https://tinyurl.com/eskol-hisun) <https://tinyurl.com/eskol-hisun>

5.4 על חיסונים ועל מתנגדים

עבודה בקבוצות



שאלון הוא אחד האמצעים לאיסוף ידע על דעות נפוצות באוכלוסייה בנושא מסוים. בפעילות זו, כל קבוצה תבנה שאלון אלקטרוני בן כחמש שאלות בנושא חיסונים, שיופץ באמצעות רשת חברתית או בכל דרך אחרת שבה תבחרו. זכרו - משתתפי הסקר שלכם אינם מהווים מדגם מייצג של כל חלקי האוכלוסייה. השאלון מאפשר התרשמות בלבד ולא הסקת מסקנות על תפיסות בנושא. לפניכם דוגמאות לשאלות שנוסחו על ידי ארגון הבריאות העולמי³⁰ ועוסקות בהיבטים שונים של עמדות כלפי חיסונים. בחרו אילו שאלות מעניין אתכם לחקור. תוכלו לבחור מתוך הרשימה או לחבר שאלות בעצמכם. סכמו את תוצאות הסקר, בנו גרפים, תנו הסברים, והציגו את הממצאים לכלל הכיתה.

מבחר שאלות - עמדות כלפי חיסונים

← ידע, מודעות ואמונות

- עד כמה אתה מבין כיצד חיסון פועל? (בסולם של 1-5)
- האם אתה חושב שיש צורך לחסן כנגד שיתוק ילדים? (כן/לא)
- האם לדעתך חיסונים מחזקים את מערכת החיסון? כן/לא
- האם אתה מאמין שללא חיסונים ניתן למנוע מחלות? כן/לא

← מקורות מידע

- כיצד תברר אמינות של שמועה אודות חיסונים:
- א. תשאל חבר ב. תפנה לאדם מקצועי בתחום הבריאות ג. תחפש מידע באינטרנט ד. אחר _____

← השפעת תומכי או מתנגדי חיסונים

- ישנן קבוצות המתנגדות לחיסונים מסיבות שונות. באיזו מידה אתה מסכים איתן? (1-5)
- האם רוב האנשים בסביבתך מתחסנים או מחסנים את ילדיהם (לחיסוני חובה)? כן/לא
- האם אתה מכיר אדם שנמנע מחיסון בעצמו או שאינו מחסן את ילדיו מסיבות עקרוניות? כן/לא
- האם לדעתך הוא מסכן את בריאותו/ בריאות ילדיו? כן/לא
- האם הוא מסכן את סביבתו? כן/לא

← ניסיון עבר

- האם אתה זוכר אירוע שבגללו נמנעת או מנעת מילדיך להתחסן? כן/לא, פרט _____
- האם אתה מכיר מישהו שניזוק מחיסון (נכות, מוות וכד')?
- האם אתה מכיר אדם שניזוק (סכנה/ נכות/ מוות) כיוון שלא חוסן? (כן/לא)

← אמון

- האם אתה סומך על מקבלי ההחלטות לגבי המלצות להתחסן? (1-5)
- האם לדעתך יש לחייב את כלל הציבור להתחסן? כן/לא

← סיכונים

- האם אתה חושב שלחיסונים יתרונות גדולים יותר מאשר סיכונים? כן/לא
- האם לדעתך המידע אודות בטיחות חיסונים מספק? כן/לא

30 מבוסס על: WHO (2013) The determinants of vaccine hesitancy: sample survey questions: http://www.who.int/immunization/sage/meetings/2013/april/4_survey_questionsRevised.pdf

דילמת החיסונים



יעל בת השש חזרה הביתה מבית הספר והגישה להוריה דף מידע להורים לפני מתן חיסון נגד אדמת, חצבת, חזרת ואבעבועות רוח (<https://tinyurl.com/meyda-lahorim>). רועי, אביה של יעל, הודיע: "מחר את לא תלכי לבית הספר כי אני לא מוכן שתקבלי חיסון". שירה, אמה של יעל: "קראתי שישנן לאחרונה התפרצויות של חצבת ואני חוששת שיעל לא תהיה מחוסנת נגדה. למשל, מצאתי כתבה ב-Ynet: התפרצות חצבת בהרדוף: 10 ילדים שלא חוסנו חלו (<https://tinyurl.com/hazevet-10>). חובתי לדאוג לבריאותה של יעל! וגם לבריאות של חבריה". רועי: "אם כבר מדברים על בריאות, עמותת חסון המתנגדת לחיסונים טוענת שהחיסון הזה גורם לאוטיזם (<http://www.hisunim.org.il>). חובתנו כהורים לדאוג לבריאותה של יעל ולכן היא לא תלך מחר לבית הספר". שירה: "קראתי ב-Ynet על "תרמית הקשר בין חיסונים לאוטיזם: הסוף המביש" (<https://tinyurl.com/tarmit-hisun>) לפיו החוקר ווייקפילד, שפרסם מחקר בכתב העת היוקרתי Lancet שהוכיח קשר בין החיסון נגד חזרת, חצבת ואדמת לבין אוטיזם, למעשה קיבל שוחד, וגם ביסס את הקשר בסך הכל על 12 ילדים. כתב העת מחק את המאמר. אפילו באתר המרכז לאוטיזם טוענים: "אין כיום שום שביב של מידע מדעי מבוסס המעיד על קשר בין מתן חיסונים לילדים לבין הופעתן של הפרעות על הרצף האוטיסטי" (<https://tinyurl.com/mevusass>). אז אולי בכל זאת נשלח מחר את יעל לקבל את החיסון?"

ומה דעתכם?

1. צפו בסרטון:

ד"ר קרן לנדסמן (2012) VAXX ON VAXX OFF (<https://tinyurl.com/vax-onoff>)



למה צריך להתחסן? למה דווקא בגיל צעיר? האם החיסונים מגינים רק עלינו?

עבודה שיתופית



2. התחלקו לארבע קבוצות עבודה (או 8 קבוצות, 2 מכל סוג). כל קבוצה תייצג בדיון את אחד מהמעורבים הבאים בנושא:

← **משרד הבריאות**

← **הנהלת בית הספר**

← **הורים תומכי חיסונים**

← **הורים מתנגדי חיסונים**

המשימות הנדרשות מכל קבוצה:

- הגדירו שאלות מדעיות שאותן עליכם לברר כדי לבסס את עמדתכם.
- הגדירו שאלות מוסריות בסוגיה:
 - אילו ערכים מוסריים יש לברר? (למשל, אמת, אחריות, יושרה ועוד)
 - שאלות על זכויות וחובות: של מי? כלפי מי?
 - תועלת ונזק - מהן הפעולות שימנעו יותר נזקים? יגבירו את התועלת?
 - למי מחויב כל אחד מארבעת המעורבים בנושא? מהי המחויבות שלנו על פי החוק? על פי כללי אתיקה מקצועית? על פי המוסר האישי? על פי הדת?
- התחלקו, בתוך הקבוצה, לזוגות, כאשר כל זוג יענה על שאלות אחרות על פי מקורות מידע. כתבו את התשובה כנימוק לעמדה אותה קבוצתכם מציגה: בססו אותה על ראיות מדעיות או שיקולים אתיים והסבירו.

בחנו את אמינות המידע שמצאתם בהתאם לקריטריונים שלמדתם: סמכות הגוף המפרסם, סמכות הכותב, אובייקטיביות ועדכניות.

מקורות מידע

בפרק 5.3 הוצגו קישורים להיבטים מדעיים של חיסונים. להלן מקורות נוספים:

- אתר משרד הבריאות: חיסונים בבית הספר, אתר משרד הבריאות חיסונים (כללי)
- מדעת- מדע ומידע למען בריאות המשפחה: אתר המכיל מידע רחב בנושא חיסונים: סרטונים, כתבות, מחקרים ותשובות לשאלות רבות. <http://midaat.org.il/midaat>
- סרטון: הנשיא פרס: בני חלה בפוליו והיה משותק שנה וחצי. <https://tinyurl.com/perespolio>
- חוק נפגעי חיסון התש"ן 1989: שאלות ותשובות- משרד הבריאות, <https://tinyurl.com/hok-nifgaei>, <https://tinyurl.com/hok-gov>
- משרד הבריאות: התפשטות החצבת בישראל - בשיאה, 06.11.18, Ynet, <https://tinyurl.com/hazevet2018>
- סרטון: בראיין זיקמונד-פישר, (2015) למה אנחנו לא מפחדים יותר מחצבת? <https://tinyurl.com/mefachdim>
- הלכה יהודית: פרופ' אברהם שטיינברג, חיסונים; הרב אבינר: חובה לחסן את הילדים. <https://tinyurl.com/steinberg-hisun>, <https://tinyurl.com/aviner-hisun>

הייתי מהבוקר במיון בית חולים רמב"ם. בשלב מסוים, היה חשד לחולת חצבת במיון וביקשו לא לצאת למרחב בו היא נמצאת. אני ילידת 1973, קיבלתי מנה אחת בוודאות לפני כשנתיים (לפני נסיעה לחו"ל). אני יודעת שאני מוגנת ב 93 אחוז לפחות. אני יודעת שהמערכת החיסונית שלי חזקה. אבל מה עם חולת הסרטן ששכבה מיטה לידי? מה עם שאר החולים שהמערכת החיסונית שלהם חלשה? חוסר אחריות לא מתחיל לתאר את מתנגדי החיסונים. מתנחמת בעובדה שלפחות מיון ילדים מופרד פה לחלוטין (בבנין אחר).

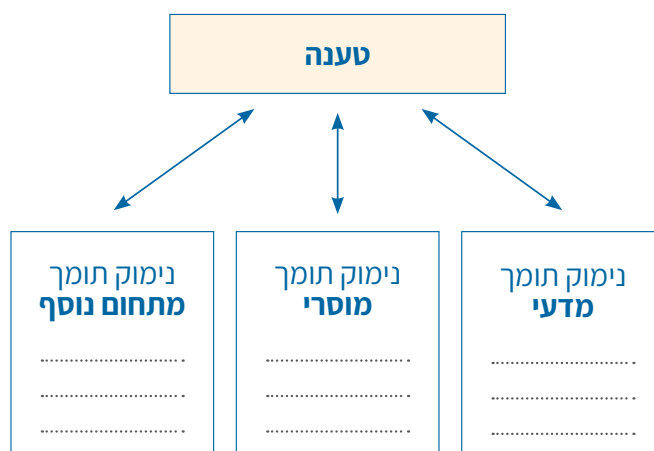
31 🙄 🤔 👍

המלצה...
לכל המתלבטים לגבי חיסון וירוס הרוטה מסיבות כאלה ואחרות... ממש ממליצה לחסן.. שימו לב שהמנה הראשונה מוגבלת בזמן של עד גיל 14 שבועות.
הילד שלי לא חוסן ונדבק בגן מילדים שקיבלו את החיסון והגיעו לגן...
וירוס ממש אכזרי. היינו מאושפזים שבוע וזה לא נגמר.
בהצלחה

46 ❤️ 👍 🤔

זקוקה לעזרתכם באופן בהול!
אתמול התגלתה חשיפה בגן של הבן שלי (גן חובה) לחצבת.
נתתי לו מנה ראשונה בגיל שנה מאז אני לא מחסנת.
החלטנו (אני ובעלי) בכובד ראש שאם הוא נחשף לחסן אותו.
חוסן רומו בלי אבעבועות (כמה שפחות)
החשיפה היתה ביום חמישי. להבנתי תוך 72 שעות צריך להתחסן רק אתמול הגננת שיתפה אותנו שנכנסה גננת שילוב לגן והיא ככל הנראה נדבקה.
בכל אופן, בבית יש לי 2 בנות בגילאים שנתיים וחצי ושנה וחצי. שתיהן לא מחוסנות כלל.
מה אתם ממליצים לעשות??

ד. אספו את המידע מכל חברי הקבוצה ובנו מפת טיעון מבוסס המציג את עמדת בעלי התפקיד: מהי הטענה? כתבו נימוקים תומכים המבססים אותה, בהתאם לחומרים שהכינו חברי קבוצתכם.



ה. ארגנו את הכיתה בקבוצות חדשות, שבכל אחת מהן נציגים מכל קבוצות בעלי התפקידים. היעזרו במפות הטיעונים שהכנתם בקבוצת האם. בקבוצה הנוכחית, הכינו טבלה משותפת המציגה טענות מדעיות ומוסריות בעד ונגד חיסונים:

שאלות/ היבטים	נימוקים בעד חיסונים	נימוקים נגד חיסונים
היבטים מדעיים	1.	
	2.	
	3.	
	4.	
היבטים מוסריים	1.	
	2.	
	3.	
	4.	

ו. הציגו את הטבלאות לכלל הכיתה לאחר ששמעתם טענות שונות ונחשפתם למידע בנושא.

דיון כיתתי



על מנת לגבש דעה אישית בנושא, דונו בכיתה בהיבטים הבאים:

- איזו החלטה תגרום לנזק הקטן ביותר? ואיזו תגרום לתועלת הגדולה ביותר?
- הערכים שהצגתם עשויים לסתור זה את זה - איזה ערך תעדיפו ומדוע?

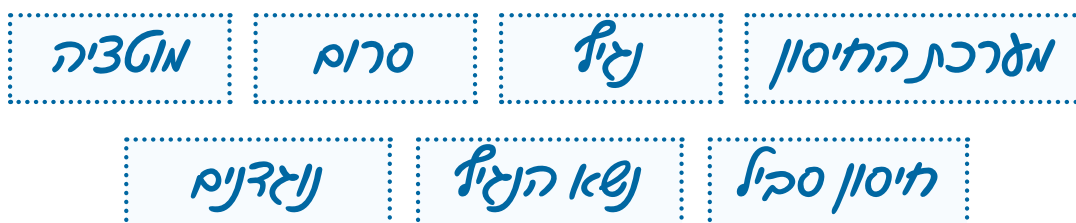
כתבו את הכרעתכם האישית באמצעות טיעון מבוסס ומנומק, השוקל את שתי העמדות ומכריע ביניהן. תוכלו גם לנסח עמדה מורכבת, שבה תוכלו לפרט באילו תנאים תכריעו בעד ובאילו תנאים נגד.

5.5 פעילות סיכום לפרק החיסון

צפו בסרט התפרצות (וולפגנג פטרסן, 1995), סרט דרמה אמריקאי, המעלה דילמה ההמתעוררת בעקבות התפרצות נגיף אלים בעיירה בקליפורניה.



- פרטו באילו הקשרים מופיעים המושגים הבאים בסרט:



הכינו 5 כרטיסיות עם המושגים הבאים, והכינו לפחות 5 חיצים בהם תוכלו לכתוב מילות קישור.



- בחרו את המושג המרכזי והציבו אותו בראש דף.
- חברו בחיצים את המושגים האחרים וכתבו על כל חץ מילות קישור שיציגו את הקשר בין המושגים.
- לאחר שתגיעו להסכמה, הדביקו את המושגים במקומם על גבי הדף.
- הוסיפו 3 מושגים נוספים למפה.

הרחבה

- לפניכם בקישור מדריך חיסוני מטיילים שפירסמה קופת חולים מכבי. בחרו שני יעדי טיול ביבשות שונות ומצאו אילו חיסונים מומלץ לקבל לקראת נסיעה לכל יעד. <https://tinyurl.com/hisun-hul>
- מדוע יש הבדלים בהמלצות בין אזורים שונים? תוכלו להיעזר גם במידע על חיסונים לנוסעים לחו"ל באתר משרד הבריאות. <https://tinyurl.com/hisun-hul2>

לסיכום



- עיינו ברשימת השאלות שנאספו בתחילת הפרק.
- סכמו: על אילו שאלות אתם יכולים לענות עתה, לאחר שלמדתם על חיסון.
- בחרו בזוגות שאלה מתוך רשימת השאלות שלא נענו ונסו לחפש באינטרנט מידע שיכול לעזור לענות על השאלה. שתפו את הכיתה בתשובתכם.

סיכום הפרק

- ✓ הגנה מכנית וכימית מונעת חדירת מיקרואורגניזמים
- ✓ דלקת היא תהליך של הגנה על הגוף מפני זיהומים באמצעות תאי דם לבנים
- ✓ מערכת החיסון הייחודית פועלת באופן ייחודי נגד גורמים זרים ותאי גוף ששינו את תכונותיהם
- ✓ נוגדנים מותאמים באופן ייחודי לאנטיגנים ומונעים התפשטותם בגוף
- ✓ זיכרון חיסוני נוצר לאחר חשיפה לאנטיגנים
- ✓ בחיסון פעיל חושפים את הגוף לאנטיגנים מוחלשים או מומתים על מנת שיווצר נגדם זיכרון חיסוני
- ✓ חיסון סביל מכיל נוגדנים וניתן במצב שבו הגוף נחשף לאנטיגן מסוכן ודרוש טיפול מיידי



פרק 6: ביוטכנולוגיה

מה משותף לתהליכים המופיעים בתמונות ובמושגים הבאים?



כבר משחר ההיסטוריה האנושית, ניצל האדם תהליכים שונים המתבצעים ביצורים חיים לצרכיו. לדוגמה, המאכל הבסיסי ביותר של האדם, הלחם, מבוסס על תהליכים ביולוגיים, שהאנושות ידעה לנצל, גם ללא ידע מדעי. עם זאת, הידע הביולוגי העכשווי מאפשר פיתוח טכנולוגיות חכמות המשכללות ומייעלות תהליכים אלה לטובת האדם.

ביוטכנולוגיה היא תחום רחב, המנצל יצורים חיים, תאים או מרכיבי תאים, לפיתוח טכנולוגיות חדשות לתועלת האדם. פיתוחים ביוטכנולוגיים שימושיים קיימים בחקלאות, בתעשיית מזון, בניהול סביבה, ברפואה, במחקר ועוד.

כשהמדע פוגש מציאות...

ביוטכנולוגיה, כמו טכנולוגיות רבות אחרות, מנצלת את הידע המדעי לשימוש האדם. עם זאת, תחום זה מזמן סוגיות שהן אינן רק מדעיות אלא גם חברתיות. למשל, לשימוש בהנדסה גנטית יש השלכות מוסריות, סביבתיות וכלכליות בהן נדון בהמשך.

בפרק זה נכיר פיתוחים ביוטכנולוגיים בתחומים של תעשיית המזון, סביבה והנדסה גנטית. בנושאים אלו גם נברר סוגיות חברתיות-מוסריות.

6.1 מיקרואורגניזמים בתעשיית המזון

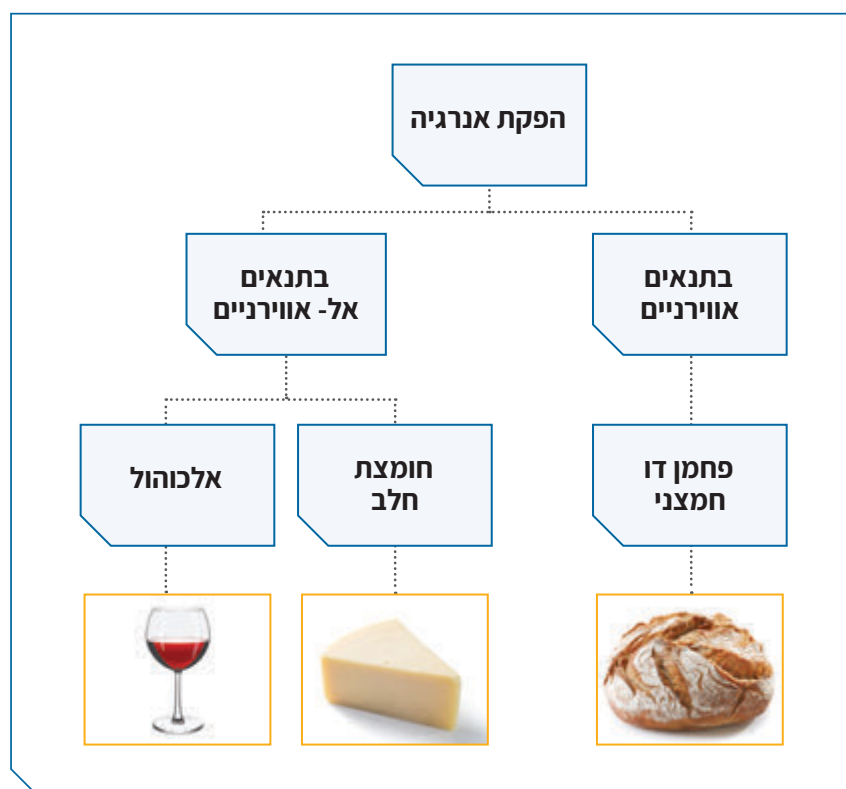
בפרק זה נכיר מספר דוגמאות לניצול של ידע ושיטות מדעיות לפיתוח מזון.

תהליכים שונים המתרחשים אצל מיקרואורגניזמים מנוצלים ליצירת מזונות שונים. תהליך מרכזי הוא הפקת אנרגיה. מיקרואורגניזמים מסוגלים להפיק אנרגיה במגוון גדול של תהליכים. ניתן לחלק אותם לתהליכי נשימה אווירנית (אירובית), המתבצעים בנוכחות חמצן, ותהליכי נשימה אל-אווירנית (אנאירובית), ללא שימוש בחמצן.

בתהליכים אווירניים, החומרים האורגנים שבמזונם של המיקרואורגניזמים מתפרקים לפחמן דו חמצני ומים.

מיקרואורגניזמים רבים מסוגלים להפיק אנרגיה בתהליכים אל-אווירניים ללא שימוש בחמצן, למשל תהליכי תסיסה. במקרים אלו הם מפרקים את מזונם לתוצרים אחרים.

בפרק נכיר שימוש בתהליכי הפקת אנרגיה אווירניים, למשל בהתפחת לחם, ולעומתם תהליכי הפקת אנרגיה אל-אווירניים, למשל ביצירת אלכוהול בתעשיית המשקאות האלכוהוליים, או יצירת חומצות המנוצלות בתעשיית החלב והלחם.



6.1.1 לחם

לחם נחשב למאכל בסיסי, אולי המאכל הקדום ביותר שייצר האדם. עם זאת, בהכנת חומרי הגלם ללחם, הבצק והאפייה, מתרחשים תהליכים מורכבים. מגוון הדרכים להכנת לחם הוא עצום. ההבדלים ביניהן רבים ונובעים מסוג הקמח, השמרים, שיטות ההכנה, צורות טעמים ועוד. ביצירת הלחם חמישה מרכיבים עיקריים:

- (1) **שמרים** המקיימים תסיסה שהתוצר שלו הוא פחמן דו חמצני;
 - (2) **קמח המכיל גלוטן**. גלוטן הוא חלבון דביק, הכולא את בועות הפחמן הדו חמצני הנוצר על ידי השמרים, ובכך משפר את התפיחה;
 - (3) **סוכר** אותו צורכים השמרים במהלך התסיסה;
 - (4) **מלח** המאט את פעילות השמרים, ועל כן בריכוז מתאים מאזן את התפיחה;
 - (5) **מים** מאפשרים פעילות יצורים חיים, כגון השמרים. האיזון בין הקמח והמים מאפשר את יצירת המרקם המתאים.
- תהליך הכנת הלחם מתבסס על תהליכים מיקרוביולוגיים וכימיים אותם נחקר בפרק זה.

מעבדה 8: פיתוח מתכון לאפיית לחם



לפניכם רשימת חומרי גלם להכנת פיתות:

- 1 ק"ג קמח
- 1/4 כוס שמן
- 1/2 כוס סוכר
- 50 גרם שמרים טריים
- 1/2 כפית מלח
- 2 כוסות מים פושרים

1. עיינו ברשימת מרכיבי הלחם שבטבלה. השלימו את תפקידו כל מרכיב. תוכלו להיעזר במדריכים להכנת לחם, כמו למשל באתרים: www.baking.co.il, <https://tinyurl.com/lechem1>, איך להכין לחם, <https://tinyurl.com/lechem-afia> Ynet מדריכים לאפיית לחם.
2. ניתן להשתמש ברעיון המדעי, לפיו מיקרואורגניזמים יכולים לפעול בצורה מיטבית בטווח מסוים של תנאים לתכנון שיטות להכנת לחם. הסבירו מדוע.
3. בהתבסס על הידע שלכם אודות שמרים (פרק 4), ואודות תנאים להתפתחות מיקרואורגניזמים (מבוא), מלאו בטבלה את השערותיכם לגבי ההשפעה של סילוק, העלאה או הפחתה של כמות כל מוצר על תהליך ייצור הלחם:

השפעה על תהליך ייצור הלחם		תפקיד בתהליך	
הורדת הכמות	העלאת הכמות		
	השערה:		קמח
	נימוק:		
	השערה:		שמן
	נימוק:		
	השערה:		סוכר
	נימוק:		
	השערה:		שמרים
	נימוק:		

	השערה:		מלח
	נימוק:		
			מים פושרים
	נימוק:		

ניתן למצוא דרכים שונות ומגוונות להכנת לחם. לכל אחד מהגורמים הבאים השפעה על טעמו ומרקמו של הלחם:

- סוג הקמח (לבן, מלא, שיפון ועוד)
- סוג השמרים (טריים בקובייה, טריים מפוררים בשקית, יבשים, מחמצת - ראו הרחבה)
- כמות וסוג הסוכר (האם בסביבה נטולת סוכר השמרים ישתמשו בעמילן שבקמח?)
- מלח (האם חובה להפריד אותו מהשמרים בעת יצירת הבצק?)
- סוג הנוזלים (מים, חלב וכדומה)
- זמן ואופן הלישה
- אופן כיסוי הבצק בזמן ההתפחה (מגבת או ניילון נצמד?)
- טמפרטורת התפחה (חדר, ליד תנור או במקרר?)
- מספר ההתפחות לפני האפייה

במעבדה ניתן לשנות כל אחד מהגורמים הללו, ולבדוק את השפעתו על תהליך יצירת הלחם ועל איכותו.

- בידוד משתנים: על הכיתה לתכנן סדרת ניסויים. בכל ניסוי יש לקבע את כל הגורמים, פרט לגורם אחד, שהוא המשתנה המשפיע (למשל טמפרטורת ההתפחה).
- קבעו דרכי בדיקה לאיכות התהליך או התוצר: למשל, נפח הבצק לאחר זמן, או משך תפיחה עד להכפלת נפח, או מבחן פריכות וטעם בסוף התהליך.



התחלקו לקבוצות עבודה.

כל קבוצה תחקור את ההשפעה של משתנה אחד.

על הקבוצה לקרוא אודות המשתנה במדריכי אפייה (כמו האתרים שצוינו לעיל).

על הקבוצה להגדיר מהו המשתנה המשפיע (למשל, סוג השמרים/ כמות השמרים/ כמות הסוכר).
על כל שאר התנאים בניסוי להיות שווים.

מהלך הניסוי המוצע

כלים לקבוצה

- משורה של 250 מ"ל או כלי מדידה
- מגש
- 4 כוסות (ניתן להשתמש בכוסות חד פעמיות)
- מד טמפרטורה
- סרגל
- טוש בלתי מחיק לסימון

חומרים

- 200 גר' קמח (סוג - בהתאם לניסוי), מים, שמרים (מסוג המתאים לניסוי), מלח, שמן.

מהלך העבודה

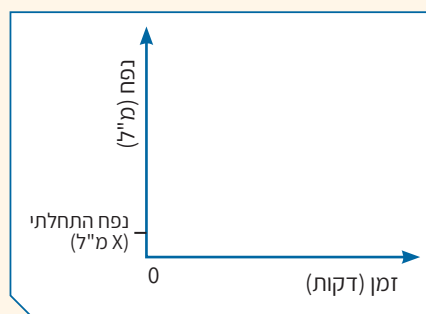
- סמנו נפחים בארבע הכוסות: שפכו 20 מ"ל מים מתוך המשורה לכוס וסמנו את הגובה בקו. הכניסו 20 מ"ל נוספים וסמנו, וכך כל 20 מ"ל עד לקצה הכוס.
- העתיקו את השנתות שסימנתם לכל ארבע הכוסות.
- בהתאם לשאלה הנבדקת, על כל קבוצה ליצור שני גושי בצק, כל אחד מ-100 גרם קמח.
- על הקבוצה להתאים את המתכון שלה בהתאם למתכון הבסיסי, ביחס מתאים ל-100 גרם קמח:

כמויות ל-1 ק"ג קמח	כמות ל- 100 גר' קמח	בצק א (ניסוי)	בצק ב (בקרה)
1 ק"ג קמח			
1/4 כוס שמן			
1/2 כוס סוכר			
50 גר' שמרים טריים או 2 כפות שמרים יבשים			
1/2 כפית מלח			
2 כוסות מים פושרים			

- כתבו את תנאי הלישה, תנאי ההתפחה ותנאי האפייה.

הוראות הכנה

- לאחר הכנת הבצק, את בצק א' יש לחלק לשני כדורים, וכך את בצק ב'.
- יש להניח כל כדור בתחתית כוס (חד פעמית) מסומנת. סמנו את מספר הכוס.
- מדדו את נפח כדור הבצק ההתחלתי בכל אחת מארבעת הכוסות.
- בדקו את הנפח כל 5 דקות, עד להכפלתו.
- שרטטו גרף המציג את השתנות נפח הבצק לאורך הזמן.



4. על פי תוצאות הניסוי, מהם התנאים הטובים יותר לתפיחה של הבצק?

5. האם תפיחה מהירה וגבוהה קובעת את איכות הפיתה?

- לאחר סיום התפיחה, רדדו כל כדור לפיתה עגולה.
- הניחו כל 4 פיתות על נייר אפיה בתבנית.
- התפיחו כ-15 דקות נוספות.
- אפו בתנור ב-200°C במשך כ-15 דקות.

בדקו טעם, פריכות, מרקם וצבע, ובחרו את השיטה המועדפת עליכם.

6. מדוע חזרתם פעמיים על כל אחד מהתנאים?

7. מהי ההמלצה שלכם לגבי המשתנה אותו בדקתם?

דיון כיתתי



- השוו את התוצאות שלכם לתוצאות שאר חברי הכיתה.
 - האם מתוך התוצאות שהתקבלו בכלל הכיתה תוכלו להמליץ על שיטה טובה להכנת פיתות?
 - בנו מתכון משופר לפיתות על בסיס מסקנותיכם.
- עתה תוכלו להכין פיתות לכל הכיתה על פי המתכון שהכנתם.
- סכמו -** מהו טווח התנאים המאפשר התפתחות מיטבית של השמרים בתהליך ייצור הלחם?

הרחבה: כיצד מכינים מחמצת שאור?

הכנת לחם יכולה להיעשות גם על ידי שימוש בשמרים טבעיים (שמרי פרא, בר) וחידקים. מיקרואורגניזמים אלו נמצאים באופן טבעי בקמח ובאוויר. הם גדלים על קליפות זרעי החיטה וכן על פירות שונים, כגון ענבים ותפוחים. תהליך הכנת המחמצת (המתבססת על שמרי בר) אורך מספר ימים. המחמצת מופקת מקמח (מלא) ומים בכמויות שוות. ניתן להשתמש במים שהושרו בהם צימוקים או תפוחים כדי להעשיר את המחמצת במיקרואורגניזמים שגדלו על הפירות. כדי ליצור מחמצת, יש לערבב כמויות שוות של קמח ומים לתערובת אחידה, וביומיום הראשונים לערבב שוב לאחר כל 12 שעות. השמרים והחידקים ניזונים מהקמח ותוססים. לאחר שהמחמצת מוכנה, ניתן להכניס כל פעם לבצק חדש חלק מהמחמצת וכך להמשיך ולגדל את המחמצת לאורך זמן במקרר. כדי לתחזק את המחמצת, יש להוסיף לה קמח לפחות פעם בשבוע. תהליך התסיסה של המחמצת יוצר טעמים מיוחדים בלחם, המתקבלים מנוכחות מיקרואורגניזמים שיוצרים חומצות שונות.

1. מהם התהליכים המתרחשים בתאי המיקרואורגניזמים במהלך התפתחות המחמצת?

2. מה תפקיד הקמח בתערובת זו?

3. ניתן לזהות על פי ריח האם המחמצת במצב מתאים לשימוש. מה לדעתכם גורם למחמצת להתקלקל?

4. מה ההבדלים בין שמרים תעשייתיים לבין שמרים טבעיים? מתי עדיף לדעתכם להשתמש בכל אחד מהם?

5. יש הטוענים ששימוש במחמצת מתאים יותר למיקרוביום של מערכת העיכול. על פי מה שלמדתם בפרק א', מדוע לדעתכם חשוב להתאים את המזון למיקרוביום?

6.1.2 י"ן

משקאות אלכוהוליים הם חלק מן התרבות של רוב החברות האנושיות על פני כדור הארץ. בהיסטוריה של ארץ ישראל, יש ליין - המשקה האלכוהולי המיוצר מענבים - מקום נכבד. ייצור היין בארץ ישראל החל בתקופה הכנענית הקדומה, לפני כחמשת אלפים שנה. היו תקופות שבהן תעשיית היין פרוחה ושגשגה, כמו בתקופת המלכים בישראל (586-1000 לפני הספירה), או בתקופה הביזנטית (מאות 4-6 לספירה). לעומת זאת, היו תקופות שבהן, בגלל מדיניות השלטון המוסלמי, נעקרו גפנים וממדי תעשיית היין הצטמצמו (אם כי, תמיד רק באופן זמני).

ייצור משקה אלכוהולי הוא תהליך ביוטכנולוגי: שימוש ביצורים חיים לצורכי האדם.

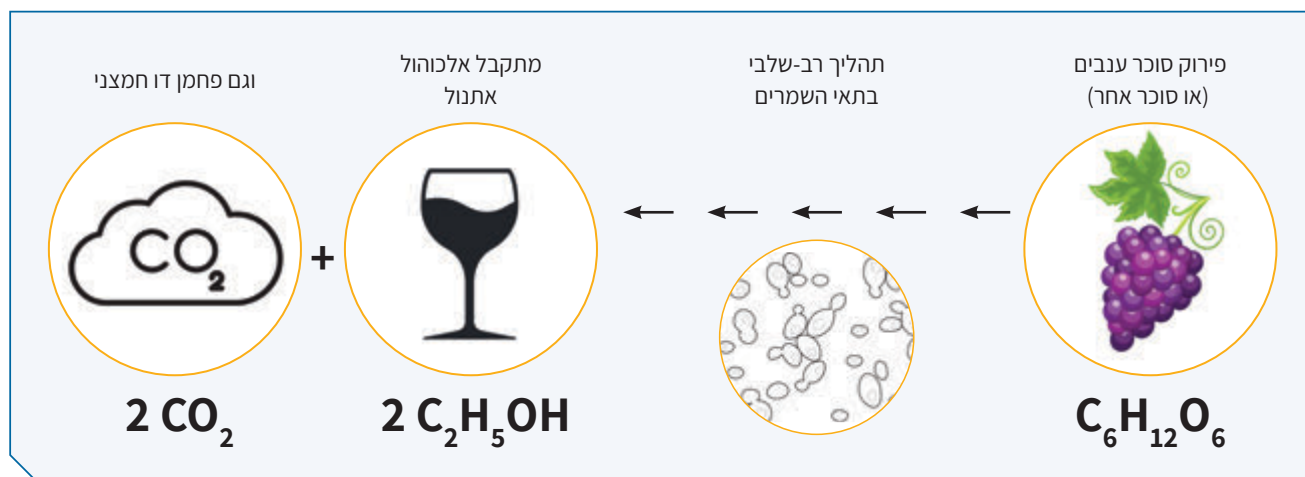
היצורים החיים בהם מדובר הם **השמרים**.

השמרים (מזנים שונים מאלו שהכרנו בתעשיית הלחם) נמצאים באופן טבעי על קליפת הענב. את קיומם חשף לראשונה המדען הצרפתי לואי פסטר בשנת 1856 בקביעתו, המהפכנית לזמנו, כי "שמרים אלה הם חיים. אין זאת כי השמרים הם הם ההופכים סלק-סוכר וגם סוכר ענבים לכוהל".

השמרים מסוגלים לחיות בתנאי חמצן (תנאים אווירניים) וכן ללא חמצן (תנאים אל-אווירניים).

היין מיוצר בתוך כלים סגורים. בשלב ראשון, השמרים משתמשים בחמצן לנשימה תאית, המספקת אנרגיה לתאים. לאחר זמן קצר, אוזל החמצן ובשמרים מתבצע תהליך הנקרא **"תסיסה כוהלית"**. בתהליך זה, הם מפיקים אנרגיה על ידי פירוק הסוכר לאלכוהול ולפחמן דו-חמצני.

תסיסה כוהלית היא תהליך כימי: תהליך שבו מחומרים (מגיבים) נוצרים חומרים חדשים (תוצרים). התהליך מתרחש בתאי השמרים (ובתאים של יצורים אחרים בטבע). בתהליך שלבים רבים. להלן סיכום התהליך:



שלבבים ביצירת יין בשיטה מסורתית ובשיטות מודרניות

א. קביעת מועד הבציר

1. על פי רמת הבשלת הענבים.



2. על פי רמת סוכר.

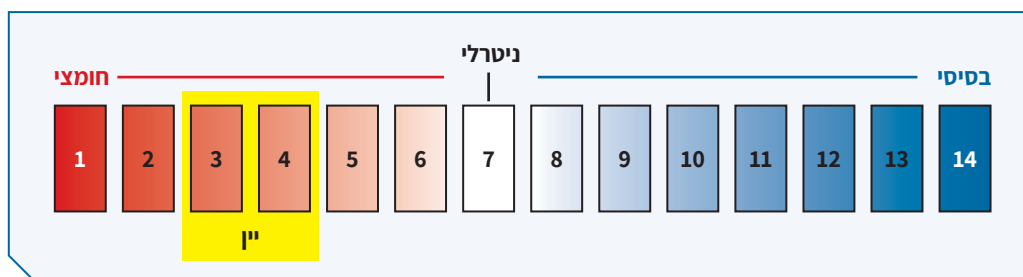
בדיקת רמת סוכר במכשיר הנקרא רפרקטומטר:

1. מרגע הבציר רמת הסוכר בענבים לא תעלה. התבססו על נוסחת התסיסה והסבירו מה החשיבות של רמת הסוכר בתהליך יצירת היין?



3. על פי רמת חומציות הענבים.

הענבים נבצרים כשהם ברמת חומציות מתאימה לתהליך. אם החומציות אינה מתאימה, מאזנים אותה על ידי הוספת חומצה או בסיס.



ב. בציר

ניתן לבצור באופן ידני או מכאני



בציר מכאני



בציר ידני

ג. יצירת תירוש

- **בעת העתיקה:** דריכה בגת.
- **כיום:** מעיכת הענבים, וריסוק או הפרדת השזרות והשריגים. [שזרה היא הקנה המסועף שאליו מחוברים הענבים. שריג הוא הענף הירוק של הגפן].

2. מדוע מעיכת הענבים היא שלב ראשון הכרחי בייצור היין?



כיום (שיטה מודרנית)



בעת העתיקה (שיטה מסורתית)

- השהיית היין עם החרצנים והקליפות: עיתוי הפרדת הקליפות והחרצנים תלוי בסוג היין אותו מייצרים. בינות אדומים, למשל, השריה עם הקליפות מחזקת את הצבע ומוסיפה טעמים וניחוחות אופייניים.
- סחיטה והפרדה מהקליפות והחרצנים (עיתוי - לפני/אחרי תסיסה - בהתאם לסוג היין הרצוי).



ג.1. חיטוי התירוש (בשיטת הכנת יין מודרנית בלבד)

ניתן לחטא את התירוש (משמרי הבר וחידקים) בשתי שיטות: הוספת חומר החיטוי גופרית דו חמצנית SO_2 או פיסטור. פיסטור הוא חימום לטמפרטורות שבין $60-70^{\circ}C$.



שמרי יין

בתמונה ניתן לראות מיקרואורגניזמים טבעיים (בעיקר שמרים) על גבי הענבים ולצדם שמרים מסחריים. לאחר החיטוי מוסיפים לתירוש שמרים מסחריים.

3. מהו לדעתכם היתרון של השיטה המודרנית, בה מחטאים את התירוש ומוסיפים שמרים מסחריים על פני השיטה המסורתית, בה משתמשים במיקרואורגניזמים הנמצאים על גבי הענבים באופן טבעי?

ד. תסיסה כוהלית

שהיית התירוש במכלי תסיסה סגורים. בעבר השתמשו בכדי חרס או בחביות עץ. ביקבים מודרניים - ממשיכים להשתמש בחביות עץ וגם במיכלי נירוסטה, המאפשרים בקרה טובה יותר על תנאי הסביבה. משך התסיסה וטמפרטורת התסיסה (בין $12-37^{\circ}\text{C}$) משתנים בהתאם לסוג היין.



4. על אילו שתי תכונות של היין ישפיע משך התסיסה? הסבירו כיצד.

ה. המשך התהליך ביינות מסוגים שונים

- בסוגי יין מסוימים מתבצעת תסיסה נוספת, הנקראת תסיסה מלולאקטית, על ידי הוספת חיידקים מתאימים. התסיסה גורמת לירידת החומציות והוספת ניחוחות וטעמים.
- ישנם יינות העוברים תהליך יישון בחביות עץ אלון למשך שנה לפחות, לקבלת ניחוחות העץ.
- הצללת היין וסינון - לקבלת יין צלול.

ו. ביקבוק

היין מועבר לבקבוקים הנפקקים בדרך כלל בפקקי שעם. יינות רבים עוברים תהליך התיישנות בבקבוק למספר חודשים.

5. בטבלה הבאה, התאימו את השלבים השונים, והסבירו באמצעות התהליך הכימי של התסיסה, את תפקידו של כל שלב:

שלב	שיטה מסורתית	שיטות מודרניות	תפקיד ביצירת היין

בתוספתא³¹ (מקור מהמאה 1-2 לספירה) מופיעות הוראות ליצירת יין משובח: " (א) לא היו בוצרים ענבים וכורמין [אוספים] אותן אלא בוצרים אותן ודורכים אותן מיד... (ב) ואינו ממלא חבית על פיה... כדי שיהא ריחה נודף... (ג) נוקבה ונוטלה משלישה ומאמצעה".

6. א. מדוע בשיטת ההכנה המסורתית יש לדרוך את הענבים מיד לאחר הבציר?
 ב. עיינו שוב בנוסחת תהליך התסיסה והסבירו מדוע אין למלא את מיכל התסיסה עד סופו ומדוע חשוב לעשות בו נקב (חור קטן).

7. משקה אלכוהולי אינו חייב להיות על בסיס של ענבים. ניתן לייצר משקה אלכוהולי גם על בסיס של פירות אחרים, שעורה, חלב ועוד.

מה דומה בתהליך הייצור של יין ושל משקאות אלכוהוליים אחרים? ומה גורם להבדלים ביניהם?

8. לפניכם ציור מצרי עתיק. מה ניתן ללמוד מציור זה על שיטות ייצור היין במצרים העתיקה?

9. סכמו: מהו טווח התנאים המאפשר התפתחות מיטבית של השמרים בתהליך ייצור היין?



סרטונים ומאמרים להרחבה

- [סוד התסיסה תרבות היין העולמית, מסע אחר](https://tinyurl.com/sod-wine) <https://tinyurl.com/sod-wine>
- [הפורטל הישראלי להכנת יין](https://tinyurl.com/wine-hachana) <https://tinyurl.com/wine-hachana>
- [תהליך ייצור יין, יקבי רמת הגולן](http://golanwines.co.il) <http://golanwines.co.il>

6.1.3 מוצרי חלב

גבינות ומוצרי חלב רבים אחרים מיוצרים תוך שימוש במיקרואורגניזמים. חיידקי חומצת חלב, למשל, ניזונים מסוכר החלב, לקטוז, ומייצרים ממנו בתהליך תסיסה, חומצת חלב, הגורמת להתקרשות החלב. בדומה ללחם, גם בהכנת מוצרי חלב נעזרים בתרביות של מיקרואורגניזמים. במקרה זה, תפקיד המיקרואורגניזמים הוא לגרום להתקרשות הגבינה על ידי שינוי החומציות שלה (עקב יצירת חומצת חלב) וליצור טעמים שונים. בגבינות מסוגים מסוימים משתמשים בפטריות עובש שונות הנותנות צבע אופייני (כחול או לבן) וטעמים ייחודיים (למשל, בגבינות קממבר או רוקפור).

מעבדה 9: הכנת יוגורט ולבנה



יוגורט נוצר בתהליך של תסיסת חיידקים. חיידקים צורכים את סוכר הלקטוז שבחלב ויוצרים חומצת חלב בתהליך נשימה אנאירובית (ללא נוכחות חמצן). החומציות המוגברת על ידי חומצת החלב משנה את המרקם של חלבוני החלב וכך נוצר יוגורט חמצמצ וסמיך.

החלב: ניתן להשתמש בחלב המכיל 3% עד 4.5% שומן (אפשר להשתמש בחלב מועשר). על החלב להיות משקית ולא מקרטון, כיוון שיש בו פחות תוספים. אם יש אפשרות, מומלץ להשתמש בחלב פרה מהרפת, או בחלב עיזים ישירות מהדיר, אך הכרחי לבצע פסטור לפני שימוש.

כלים וחומרים

חלב, יוגורט, כלי לחימום החלב, פלטת חימום או גזייה, צנצנות זכוכית עם מכסים, מד טמפרטורה, כף, כפיות חד פעמיות, בד גזה או נייר מגבת, נייר pH.

עבודה בקבוצות



שלב א. הכנת יוגורט

1. לפני ביצוע, קראו את הוראות הכנת היוגורט³² ומלאו את הטבלה הבאה:

הסיבה לפעולה	הוראות הכנה	
	חממו חצי ליטר חלב ל-70 מעלות	א
	הניחו לחלב להתקרר עד שיגיע לטמפרטורה של 40 מעלות	ב
	שפכו מים רותחים לתוך ומסביב לצנצנת זכוכית של כ-750 מ"ל ולאחר מכן שפכו את החלב שהתקרר לצנצנת	ג
	הוסיפו 1-2 כפות יוגורט מבלי לערבב (יוגורטים שונים ייצרו טעמים שונים)	ד
	כסו את פתח הצנצנת בבד גזה או בנייר מגבת, והדקו עם גומייה	ה
	הניחו בטמפרטורת החדר או במקום חמים	ו

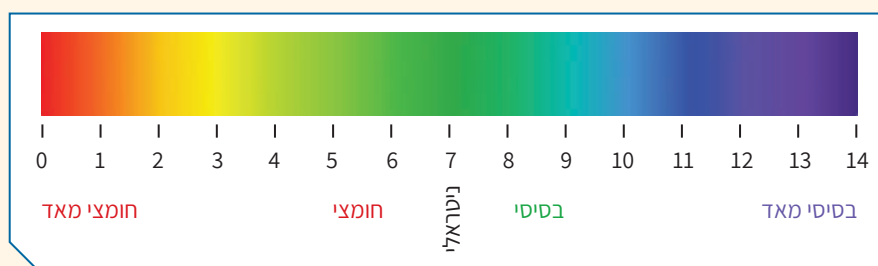
2. קיימות שיטות שונות להכנת יוגורט. אילו תנאים מתוך השלבים א-ו ניתן לשנות לדעתכם? החליטו בקבוצתכם איזה גורם בהכנת היוגורט מעניין אתכם לחקור.

3. תכננו ניסוי הכולל שני טיפולים: כלי הניסוי (שבו תשנו גורם אחד - המשתנה אותו בחרתם לחקור) וכלי הבקרה (הכנה על פי ההוראות המופיעות בטבלה). בקשו מהמורה לאשר את תכניתכם לפני ביצוע הניסוי.

4. אתם מתבקשים לבצע רק חזרה אחת על כל טיפול. עם זאת, כתבו מהו היתרון לביצוע חזרות רבות על כל טיפול?

ביצוע הניסוי: הכינו את היוגורט בשני כלים, על פי התכנית שאושרה על ידי המורה.

- בדקו את היוגורט בשלושה מועדים: מיד, אחר שעה, ולמחרת. הוציאו דוגמה בכפית נקיה. א. ציינו עד כמה היוגורט סמיך, ב. טעמו מעט וציינו עד כמה החלב חמוץ, ג. לבסוף, טבלו פיסת נייר pH ביוגורט שבכפית ולפי הצבע שיתקבל תוכלו לבדוק עד כמה החלב חומצי. אין לטעום את היוגורט לאחר הכנסת נייר ה-pH לכפית שכן הנייר מכיל חומר רעיל.



5. הציגו את תוצאותיכם בטבלה.

6. כיצד תסבירו את השינויים שהתרחשו במהלך ההחמצה?

7. הסבירו את ההבדלים שקיבלתם בשני הטיפולים. התייחסו בהסבר לרעיון המדעי "מיקרואורגניזמים יכולים לפעול בצורה מיטבית בטווח של תנאים חיצוניים".

- לאחר יום, כסו את צנצנות היוגורט במכסה ושמרו במקרר עד לשלב ב.

8. ניתן להכין יוגורט חדש תוך שימוש במעט מהיוגורט שהכנתם. הסבירו מדוע.

9. ניתן להוסיף לחלב 1-2 טבליות של חיידקים פרוביוטיים (תוספי מזון המכילים חיידקים ידידותיים) במקום יוגורט. הסבירו מדוע.

דיון כיתתי



אספו את התוצאות משאר הקבוצות בכיתה. מה למדתם מהניסויים השונים?

שלב ב: הכנת גבינת לבנה

- הניחו מסננת מרופדת בבד גזה על קערה. שפכו למסננת את היוגורט שהכנתם (להשבחה ניתן להוסיף ליוגורט עשבי תיבול).
- חכו מספר שעות עד לקבלת גבינת לבנה. ככל שהתהליך יהיה ממושך יותר, תתקבל לבנה סמיכה יותר.
- הכניסו את הגבינה לקערית סגורה במקרר.

10. יש הממליצים לשתות את המים שנטפו מהמסננת כיוון שהם מכילים חיידקים פרוביוטיים. לאור הידע שלכם על מיקרוביום, האם אתם תומכים בהמלצה? נמקו.

שלב ג: יצירת כדורי לבנה

- צרו כדורים של לבנה סמיכה.
 - הניחו את הכדורים בצנצנת מלאה בשמן זית.
 - על השמן לחצוץ בין הכדורים למניעת הדבקות.
- תוכלו לאכול עתה פיתות עם לבנה מעשי ידיכם. בתאבון!**



הכרת שיטות להכנת גבינות

עבודה קבוצתית



בחרו מתכון להכנת גבינה כרצונכם, מתוך מגוון הקישורים הבאים:

- מתכוני גבינה של איה <https://tinyurl.com/gvina-matcon>
 - אתר עושים גבינות בבית <http://home-cheese.com>
 - סרטון הדרכה להכנת גבינות פשוטות <https://tinyurl.com/gvinot-pshutot>
 - יעל גרטי 2008, <https://tinyurl.com/gabnoo> גבנו זאת בעצמכם: איך מייצרים גבינות בבית בקלות, Ynet
- הכינו תרשים זרימה המתאר את התהליכים הביולוגיים המתרחשים בשלבי הכנת הגבינה (מומלץ להציג כמצגת).
 - הציגו לכלל הכיתה תהליכי הכנת גבינות שונות.
 - סווגו את הגבינות השונות לסוגים על פי תהליכי הכנתם.
 - מהם סוגי המיקרואורגניזמים השונים שניתן להשתמש בהם להכנת הגבינות שהצגתם? מה תפקידם ביצירת הגבינות?

6.2 הארכת חיי מדף

לא פעם מצאנו פרוסת לחם שנשכחה או ירקות ששהו זמן ארוך במקרר מכוסות בעובש. מהו העובש? האם הוא מזיק? כיצד ניתן למנוע את הופעתו במזון?

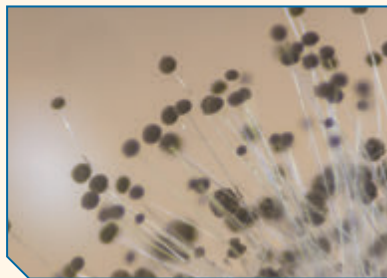
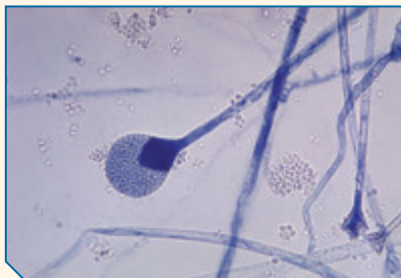
מעבדה 10: הסתכלות בעובש מבעד למיקרוסקופ



אזהרה: תלמידים אסתמטיים או אלרגיים לעובש או לפניצילין לא יבצעו מעבדה זו.³³

כלים וחומרים

- עובש שגדל במשך שבועיים על לחם
- מתילן כחול
- זכוכיות נושאות ומכסות
- קיסם
- מחט מתקן
- נייר סופג
- כפפות חד פעמיות



מהלך העבודה [יש לעבוד עם כפפות]

חלק א

התבוננו בעובש מבעד לזכוכית מגדלת. צלמו ותארו.

חלק ב

- טפטפו טיפת מתילן כחול על זכוכית נושאת
- באמצעות קיסם העבירו מעט עובש ופזרו בתוך הטיפה
- מקמו את קצה הזכוכית המכסה בזווית של 450 בקצה הטיפה והניחו אותה בסיוע מחט מתקן
- וודאו שאין בועות
- ספגו עודפי נוזלים באמצעות נייר סופג
- הסתכלו במיקרוסקופ בהגדלה קטנה, ולאחר מכן בהגדלה בינונית ובגדולה
- צלמו את ממצאיהם
- ציירו, תארו והסבירו את אשר ראיתם.



33 יש להתאים את המעבדה להנחיות מעודכנות של משרד החינוך <https://tinyurl.com/chozer-mankal>

העובש הוא פטריה. כמו כל פטרייה, היא בנויה מקורים דקים המאורגנים ברשת הנקראת תפטיר. למרות האירגון היוצר רשת גדולה, העובש נחשב למיקרואורגניזם³⁴. הוא ניזון מחומרים אורגניים הנמצאים בתוך המצע עליו הוא גדל (לדוגמה לחם, צמחים ואף נעליים וקירות). מהתפטיר נפרשים קורי יניקה הקולטים את חומרי המזון. העובש מתרבה על ידי נבגים המתפתחים בתוך גופי פרי (מנבגים), הנוצרים לאחר שהעובש מתבסס במקום גידולו. הנבגים מופצים באוויר ונובטים על מצע מזון בתנאים מתאימים. קיימים מינים רבים של עובש, הנבדלים בצבעיהם, בחומרים שהם מייצרים ועוד.

1. הסבירו כיצד מבנה העובש מסייע לגידולו ולהתרבותו.
2. ישנם מיני עובש המזיקים לבריאות ואילו מינים אחרים מנוצלים על ידי האדם לצרכיו. תנו דוגמאות לשימושים ולנזקים של עובש.
3. עובש במזון ידוע כבעיה כלכלית משמעותית. תנו דוגמאות לנסיבות בהן עובש עלול להתפתח בפירות וירקות. היעזרו [בהנחיות לאחסון פירות וירקות](https://tinyurl.com/ichsun-perot) של משרד החקלאות. <https://tinyurl.com/ichsun-perot>

הצעה לחקר: איחסון לחם – שמירת טריות תוך מניעת התפתחות עובש



4. מהם התנאים הנדרשים לשמירה על טריות הלחם?
מהם התנאים הנדרשים להתפתחות עובש? התייחסו בתשובתכם לטווח התנאים המאפשרים פעילות מיטבית של מיקרואורגניזמים.
- אחד האתגרים ביצירת פתרונות אריזה הוא הארכת חיי מדף של מוצרים.
5. איספו סוגים שונים של אריזות לחם ואחסנו בכל אחת מהן פרוסת לחם.

בדקו לאורך זמן את משקל הלחם ואת התפתחות העובש. תוכלו למלא לכל פרוסה את הטבלה הבאה:

מדד	תחילת הניסוי (תאריך)	לאחר יום (תאריך)	לאחר שבוע (תאריך)	לאחר שבועיים (תאריך)	לאחר 3 שבועות (תאריך)
משקל הפרוסה (גרמים)					
מידת לחות (מ-1 יבש מאד עד 5 לח מאד)					
כיסוי של העובש (אחוזים)					
צבעי העובש					
ריח					
תמונה של הפרוסה					

Hibbett, D. S., Binder, M., Bischoff, J. F., Blackwell, M., Cannon, P. F., Eriksson, O. E., ... & Lumbsch, H. T. (2007). A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological research*, 111(5), 509-547

6. בחרו את אחת האריזות שבדקתם. שרטטו גרף המתאר את משקל הלחם בזמני המדידה השונים. על גבי אותה מערכת צירים, שרטטו את אחוז כיסוי העובש בזמני המדידה השונים. האם לדעתכם יש קשר בין השינוי במשקל הלחם לבין השינוי בכיסוי העובש? כיצד ניתן להסביר זאת?
7. הסבירו את ההבדלים בהתפתחות העובש בין עטיפות הלחם השונות.
8. מה לדעתכם צריכות להיות התכונות של אריזה אידיאלית ללחם? הסבירו את חשיבותה של כל תכונה שצייתתם.
9. על אילו תנאי סביבה אחרים החשובים לאיחסון לחם תוכל להמליץ?

לסיכום

ציירו תרשים הכולל את המושגים הבאים:
תסיסה, חמצן, אנאירובי, כהל, חומצת חלב, יין, גבינות, לחם, שמרים, עובש, סוכר.

החמצת מלפפונים

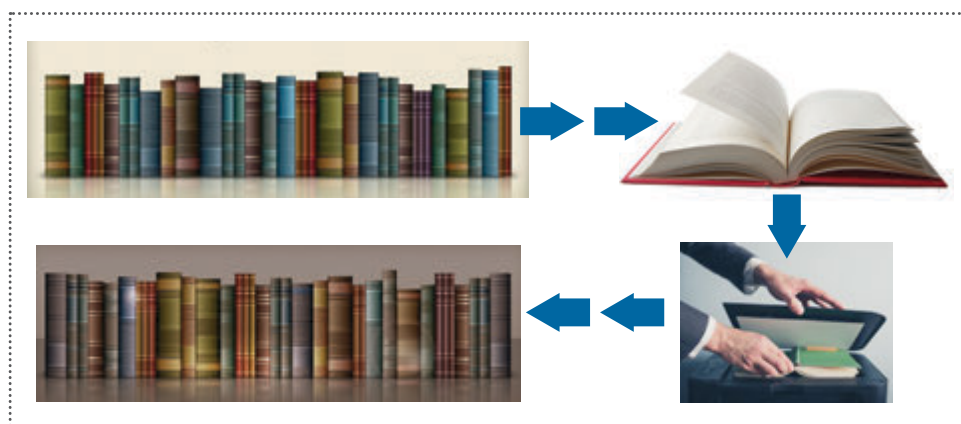
החמצת מלפפונים נעשית באמצעות תסיסת חומצת חלב, על ידי מיקרואורגניזמים שנמצאים על קליפת המלפפונים. חפשו מידע על הכנת מלפפונים חמוצים והסבירו את טווח התנאים המאפשרים תסיסה זו. מה דומה ומה שונה בין תהליך החמצת מלפפונים לבין כל אחד מן התהליכים של הכנת לחם, יין וגבינה?

6.3 מזון מהונדס גנטית



מה מעניין אותך לדעת על הנדסה גנטית?
על כל תלמיד/ה לרשום שאלות על פתק (אין חובה לרשום את שמך).
צרו מאגר של כל השאלות שנשאלו בכיתה, כדי שתוכלו להשתמש בהם במהלך או בסיכום הפרק.

ניתן לדמות את ההנדסה הגנטית להעברת מידע מתוך ספר מתכונים מספרייה אחת לספר מתכונים מספרייה אחרת.



הנדסה גנטית היא טכנולוגיה שמאפשרת העברת תכונות על ידי העברת החומר DNA בין יצורים שונים. העברת תכונות תורשתיות נעשית באופן טבעי בתהליך של רבייה זוויגית, בו משלבים תכונות של זכר ונקבה ליצירת צאצא משותף.

תהליך הרבייה מנוצל לביצוע הכלאות מכוונות בין פרטים רצויים, שיטה בה השתמש האדם להשבחת מינים המשמשים לצרכיו לאורך אלפי שנים.

לעומת זאת, בהנדסה גנטית ניתן להעביר תכונות תורשתיות בין יצורים ממינים רחוקים מאד זה מזה, שאינם מתרבים זה עם זה. למשל, מחיידק לעגבנייה. אפשר גם להגביר ייצור של חומרים ביצור עצמו. למשל, להגביר את התהליך של ייצור ויטמין בעגבנייה ולגרום לה לייצר את הוויטמין בכמות גבוהה יותר.

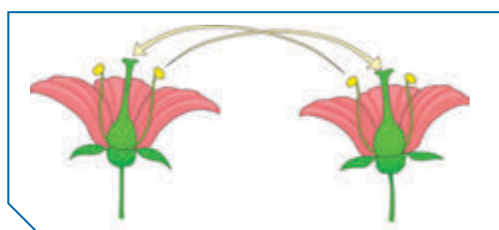
1. תארו כיצד ניתן להשתמש בדג קוטב על מנת ליצור עגבנייה עמידה לקרה. אתם יכולים לתאר את התהליך בעזרת תרשים ולהיעזר בתמונות.



לאורך אלפי שנים של חקלאות, האדם הביא להשבחה של התכונות התורשתיות (השבחה גנטית) בצמחים ובבעלי חיים. השבחה גנטית נעשית באמצעות הכלאות וריבוי של הצאצאים בעלי התכונות הרצויות לחקלאי. אם כך, מה השינוי הגדול שחוללה ההנדסה הגנטית?

ראשית נכיר את השיטה המסורתית להשבחה.

הכלאה בצמחים מתבצעת באמצעות העברת אבקה מפרט אחד לעמוד עלי מפרט שני.



מתוך מגוון הצאצאים שנוצרים, בוחרים את בעלי התכונות המתאימות ביותר ואותם ממשיכים להכליא. כך ניתן להגיע, אחרי מספר דורות, לצמחים בעלי תכונות רצויות.

דוגמה להשבחה גנטית היא טיפוח כרוב הבר לאורך אלפי שנים.

כרוב הבר

גבעולים ופרחים
(ברוקולי)

ניצנים
(כרוב ניצנים)

עלים
(כרוב עלים)

אשכולות פרחים
(כרובית)

גבעולים
(קולורבי)

2. התרשים מתאר את האיברים השונים בצמח שהושבחו ויצרו קולרבי, כרובית, כרוב עלים, כרוב ניצנים, וברוקולי. בחרו את אחד הירקות שטופחו מכרוב הבר והדגימו באמצעות איור כיצד יצרו אותו.
3. מדוע תהליך הטיפוח של כרוב הבר ארך אלפי שנים?
4. באופן דומה למינים שהוצגו, טיפחו מיני מאכל רבים אחרים, כגון חיטה, עגבניות ואף גזעים של בעלי חיים, כולל כלבים. מה ההבדל בין הכלאות לבין הנדסה גנטית?

איך מעבירים מידע גנטי מיצור אחד ליצור שני?

בשלב ראשון יש להפיק DNA המכיל את התכונה שברצוננו להעביר.

אנו נתנסה בהפקת DNA מתאים בגופנו.

מעבדה 11: הפקת DNA אנושי



חומרים וכלים³⁵

- 5 מ"ל תמיסת 8% מלח בכוסות חד פעמיים.
- תמיסת דטרגנט 25% (ניתן להשתמש בנוזל לשיטפת כלים)
- 5 מ"ל אתנול 95% קר (יש לאחסן אותו במקרר עד לשימוש).
- כחול מתילן
- קיסם עץ
- 2 מבחנות
- משפך

מהלך העבודה

- שטפו היטב את הפה עם 5 מ"ל תמיסת 8% מלח במשך 30 שניות. השתדלו להוסיף רוק למים.
- העבירו את המים שבפה באמצעות משפך למבחנה.
- קחו פיפטה נקיה. הוסיפו 2 מ"ל תמיסת דטרגנט 25%.
- פקקו את המבחנה וערבבו בעדינות את תוכנה ע"י היפוך המבחנה מצד לצד 5 פעמים.
- המתינו שתי דקות.
- החזיקו את המבחנה בזווית של 45°. מזגו לתוכה לאט, על דופן המבחנה, 5 מ"ל אתנול 95% קר.
- האלכוהול ייצור שכבה מעל לשכבת הנוזל התחתונה. אל תערבבו את שתי השכבות! ה-DNA יצטרב בגבול שבין שתי השכבות.
- המתינו 10-3 דקות, וצפו ב-DNA היוצא מהשכבה התחתונה אל השכבה העליונה.
- ניתן לטפטף טיפה של האינדיקטור כחול מתילן כדי לצבוע את ה-DNA.
- בעזרת קיסם עץ משכו את ה-DNA שנדבק לקיסם, והעבירו אותו למבחנה נקיה.

35 יש להתאים את המעבדה להנחיות מעודכנות של משרד החינוך <https://tinyurl.com/chozer-mankal>

5. הסבירו מהו החומר שהתקבל ומה מקורו.

6. מה לדעתכם ניתן לעשות עם חומר זה?

כיצד ניתן לקבל כמות גדולה של הגן הרצוי?

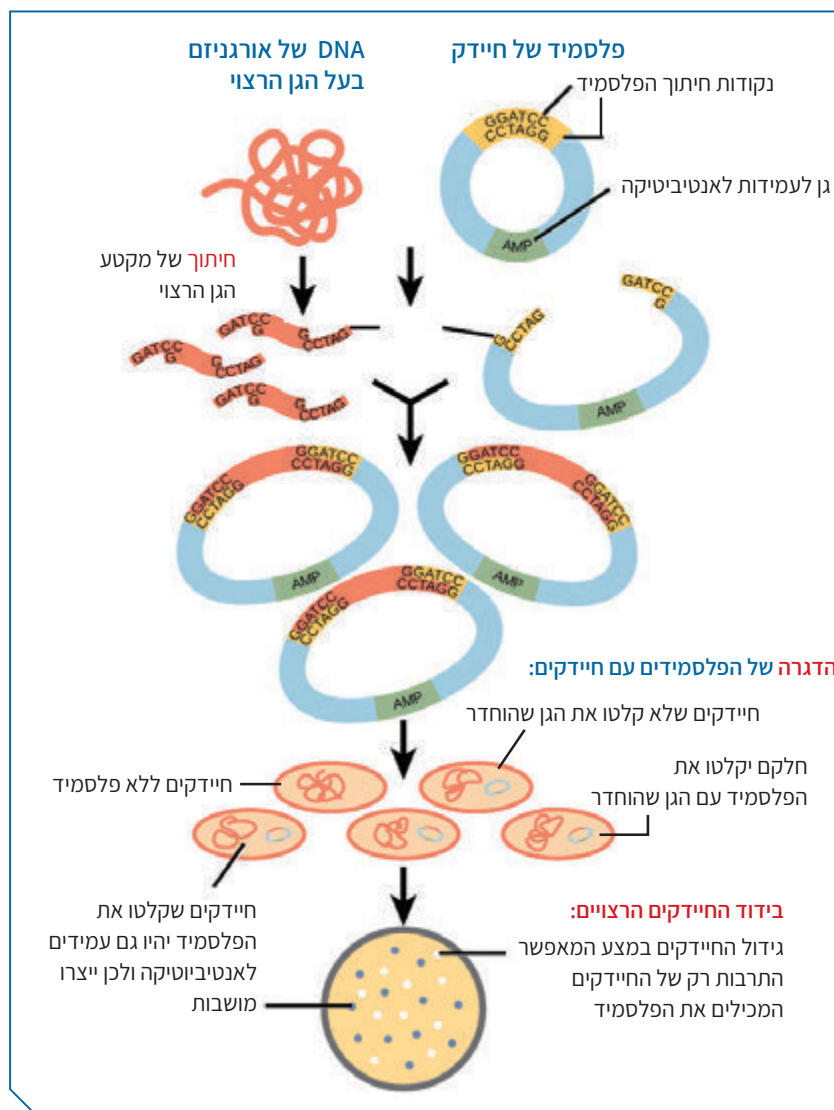
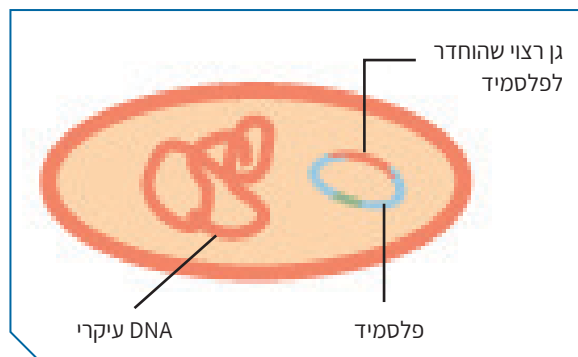
- מאתרים גן רצוי (גן = יחידת מידע תורשתית) מתוך הגנום (מכלול המידע הגנטי בתא)
 - מפיקים את מקטע ה-DNA הרצוי
 - משכפלים את המקטע הרצוי כדי לקבל כמות גבוהה
- שיטה נפוצה לשכפל במהירות את מקטע ה-DNA היא באמצעות מכשיר ה-PCR המוצג בתמונה. באמצעות ה-PCR ניתן לשכפל את מקטע ה-DNA פי יותר ממיליארד בתוך כשעתיים.



הרחבה: שיטות להעברת מקטע DNA מאורגניזם לאורגניזם:

1. החדרת גנים באמצעות פלסמיד

בתאי חיידקים, פעמים רבות מצוי, בנוסף ל-DNA העיקרי שלהם, מקטע DNA קטן הנקרא פלסמיד. הפלסמידים מסוגלים לעבור מחיידק אחד לחיידק אחר, מאותו מין או ממין אחר. בהנדסה גנטית, משתמשים לעיתים קרובות באותם מקטעי DNA הקרויים פלסמידים. באיור הבא, מוצג תהליך העברת מידע תורשתי מאורגניזם כלשהו לחיידק.



1. הסבירו על פי האיור את שלבי העברת המידע הגנטי מיצור כלשהו לחיידק.
2. עם החדרת הגן המבוקש מוחדר גם גן לעמידות לאנטיביוטיקה. התבוננו באיור וכתבו מהי חשיבות השיטה.
3. הפיתוחים הראשונים בהנדסה גנטית היו של חיידקים שהוחדרו אליהם גנים מיצורים שונים. אילו תכונות טבעיות של החיידקים מאפשרות להשתמש בהם לצורך זה?

סרטון הפלסמיד כאמצעי להנדסה גנטית, מכון דוידסון <https://tinyurl.com/plasmid-handasa>



2. העברת גנים בין אורגניזמים באמצעות נגיפים

4. בפרק 3.1 למדתם כיצד נגיפים מחדירים חומר תורשתי לתאים. באיזה אופן ניתן לנצל תכונה זו להעברת גנים רצויים ליצורים שונים?

ייצור אינסולין

בצורות מסוימות של סוכרת ניתן לטפל על ידי הזרקת ההורמון אינסולין.

צפו בסרטון: ארון התרופות: מה גורם לסוכרת, מה ההבדל בין סוכרת סוג 1 וסוג 2 ואיך מטפלים בה?



(5 דקות) <https://tinyurl.com/sukeret-tipul>

אינסולין הוא החלבון הראשון, שמדענים הצליחו לפענח את מבנהו המפורט. ב-1954 הצליח החוקר האנגלי סאנגאר לקבוע את סדר החומצות האמיניות של אינסולין שבודד מתמצית לבלב, ועל עבודתו זו זכה ב-1958 בפרס נובל. ב-1964 הורכב (סונתז) האינסולין על ידי חוקרים סיניים ובכך היה גם לחלבון הראשון אשר הורכב במעבדה.

מה מקורו של ההורמון אינסולין, הנדרש לוויסות של רמת הסוכר בדמם של חולי הסוכרת?

בעבר, הופק ההורמון מרקמות בעלי חיים, בעיקר חזירים. למקור זה חסרונות אחדים: הייצור הטבעי של הורמונים בבעלי חיים נעשה בכמויות זעירות, ואילו לטיפול תרופתי ממושך יש צורך בכמויות גדולות. בנוסף, חומר שמקורו בבעלי חיים יכול להעביר גורמי מחלות, וכן יכול לגרום לתגובות של מערכת החיסון של האדם נגדו.

כיום, ייצור תעשייתי של אינסולין נעשה בשיטות של הנדסה גנטית. המדענים בודדו את הגן האנושי לייצור אינסולין. המידע ליצירת האינסולין האנושי הוחדר (באמצעות פלסמיד) לתוך תא של חיידק אשריכיה קולי, שהחל לייצר את החלבון האנושי. החיידק מתחלק כל 20 דקות, ובתוך זמן קצר מתקבלים מיליארדי חיידקים אשר מפיקים חלבון חיוני המסייע להציל חיי חולים.

5. מהן הדרכים באמצעותן חולה סוכרת יכול/ה לקבל אינסולין?

6. איזו דרך היא המוצלחת ביותר לדעתכם? הסבירו.

7. היעזרו באיור המתאר החדרת גנים לחיידקים באמצעות פלסמידים והסבירו כיצד מייצרים אינסולין בהנדסה גנטית.

להרחבה

אשחר, יונת (2016) חוקרים מארצות הברית הצליחו לגדל במעבדה תאים מייצרי אינסולין ולרפא באמצעותם עכברים חולי סוכרת, מכון דוידסון. <https://tinyurl.com/yezur-insulin>

6.3.1 דילמה ביו-אתית: מזון מהונדס גנטית

1. פתיחה

צפו בסרטון ובמאמר התגובה:



סרט "אוכל למחשבה": מה מתבשל במעבדות המזון המהונדס? (ערוץ 10, 2014)

<https://tinyurl.com/mabadot-mazon>

או: מזון מהונדס גנטית: הציבור צריך לדעת <https://tinyurl.com/mazn-tsibur>

ומנגד: תגובתו של שי פליישון (2014) [מה באמת מתבשל בעולם ההנדסה הגנטית?](https://tinyurl.com/ma-mitbashel)

<https://tinyurl.com/ma-mitbashel>

2. איסוף מידע

לסוגית המזון המהונדס היבטים רבים. לפניכם טבלה ובה קישורים למאמרים רבים העוסקים ב-16 היבטים שונים של הסוגיה.

א. עבודה בזוגות



על כל זוג לחקור **היבט אחד** של הקשור למזון המהונדס. חפשו מידע מתוך המאמר המופיע בקישור המתאים (לפעמים המאמרים המצורפים מכילים היבטים שונים, אך מתוכם יש להתמקד בהיבט אותו בחרתם).

שימו לב **למהימנות המקורות**: האם המקור מהימן? מי פרסם אותו? מתי? אילו אינטרסים יכולים לעמוד מאחורי הפרסום? ועוד. לפני ביצוע המשימה, קבעו מדרג לפיו תדרגו את אמינות מקור המידע בין 1-5.

תחום	קישורים להיבטים שונים
בריאות	1. ויטמינים https://tinyurl.com/gmovitaminim
	2. שיפור ערכים תזונתיים https://tinyurl.com/shipur-tzuna
	3. חשש לאלרגנים https://tinyurl.com/hashash-alergan
	4. חשש להחדרת גנים זרים לגוף https://tinyurl.com/genim-zarim
סביבה	5. סביבה מופחתת חומרי הדברה ומנגד https://tinyurl.com/hadbara-bead , https://tinyurl.com/hadbara-neged
	6. עמידות לקוטלי עשבים; ומנגד https://tinyurl.com/amidut-bead , https://tinyurl.com/amidut-neged
	7. פלישת מינים מהונדסים לטבע https://tinyurl.com/plisha
	8. תקנות זרעים מהונדסים https://tinyurl.com/takanot-gmo

9. חברות הזרעים ומנגד https://tinyurl.com/zraim1, https://tinyurl.com/zraim2 10. מניעת רעב https://tinyurl.com/menia-raav 11. גידול מהיר https://tinyurl.com/gidul-mahir	כלכלה
12. התערבות בטבע, התערבות 2 https://tinyurl.com/hitarvut1, https://tinyurl.com/hitarvut2 13. כלאיים, כלאיים מקוצר https://tinyurl.com/kilayim1, https://tinyurl.com/kilayim2 14. כשרות https://tinyurl.com/kashrutgmo	הלכה (למעוניינים)
15. בעד ונגד צמחים מהונדסים; ועוד https://tinyurl.com/mehundas1, https://tinyurl.com/mehundas2 16. הפיקוח על הנדסה גנטית בישראל https://tinyurl.com/genknesset 17. סימון מזון מהונדס, סימון 2 https://tinyurl.com/simun1, https://tinyurl.com/simun2	פיקוח

מקורות להרחבה ולהבהרה:

- סרטון: [ידידיה גפני מזון מהונדס גנטית](https://tinyurl.com/gafnigmo)
<https://tinyurl.com/gafnigmo>
- ומנגד: [גרינפיס – מזון מהונדס גנטית](https://tinyurl.com/negedgmo)
<https://tinyurl.com/negedgmo>
- סרטון: [שי פליישון \(2014\) תכל'ס מהי הנדסה גנטית בצמחים?](https://tinyurl.com/gmoshay)
<https://tinyurl.com/gmoshay>
- [פייסבוק – הנדסה גנטית, כל מה שרצית לדעת](https://tinyurl.com/gmokol)
<https://tinyurl.com/gmokol>
- [פרידמן \(2013\) האם מזונות שעברו הנדסה גנטית הם דבר רע? סיינטיפיק אמריקן ישראל](https://tinyurl.com/gmo-ra)
<https://tinyurl.com/gmo-ra>
- [מרים טננבאום \(2018\) יוצר, יצור ויצירה: הרהורים על הנדסה גנטית](https://tinyurl.com/gmokol)
<https://tinyurl.com/gmokol>

1. צרו קובץ שיתופי ובו הטבלה הבאה. כל זוג יכתוב בטבלה טענה בעד וטענה נגד מזון מהונדס גנטית, וייתן לכל טענה נימוק מדעי ונימוק ערכי (ראו טבלה).

נימוק ערכי יכול להתבסס על ערכים, כגון אמת, צדק, הגינות, יושרה, זכויות/חובות, ואחריות. ניתן לשקול, למשל, כיצד להקטין נזקים, או להתייחס לשמירת חוק וכדומה.

נימוק מדעי מתבסס על ידע מדעי, כמו על תהליכים בגוף האדם, מיקרואורגניזמים, אקולוגיה, תאים, גנטיקה, חומרים וכדומה.

היבט	נימוק	טיעונים נגד	טיעונים נגד	אמינות מקור המידע
1	מדעי			
	ערכי			
2	מדעי			
	ערכי			
3	מדעי			
	ערכי			
ועוד...	מדעי			
	ערכי			

ב. עבודה אישית

השתתפות בקבוצת דיון מקוונת (כגון במודל, קבוצת גוגל, רשת חברתית סגורה וכדומה):

2. דונו בטיעונים שהועלו במסמך השיתופי. על כל תלמיד להגיב לפחות להיבט אחד בנימוק מדעי, ולהיבט אחר בנימוק ערכי (בסך הכול, לפחות שתי תגובות).

ג. נקיטת עמדה אישית

א. בהתאם למידע שצברתם בקובץ השיתופי, קבעו (כל תלמיד באופן אישי) עמדה:

1. תומך מאד, 2. תומך למדי, 3. מתנגד למדי, 4. מתנגד מאד.

ב. על הכיתה להתחלק לקבוצות תלמידים בהתאם לעמדותיהם 1-4.

ג. על כל קבוצה ליצור כרזה שתשכנע בעמדתה ביחס למזון מהונדס גנטית.

ד. דיון מסכם כיתתי



נסו להציע כיצד ניתן לנצל את יתרונות המזון המהונדס גנטית תוך מניעת נזקים.

בדיון מומלץ להתייחס לשאלות הבאות:

- מהם היתרונות הקיימים והעתידיים של הנדסה גנטית?
- מהם הסיכונים בטכנולוגיה זו? מהם הנזקים שנעשו בפועל ואילו נזקים אפשריים מעלים חששות?
- האם ההתנגדות היא **לשיטה עצמה** או **לדרכי היישום** שעלולות לגרום נזקים?

- אילו בעלי עניין (בעלי אינטרס) פועלים בסוגיה זו? מי יכול להרוויח ומי להפסיד?
- באיזו דרך ניתן לנצל טכנולוגיה זו לרעה? האם ניתן למנוע זאת?
- מה עדיין לא ידוע לנו בסוגיה זו?
- מהן החלופות (אלטרנטיבות)? האם ניתן להשיג את היתרונות הצפויים מההנדסה הגנטית בדרכים אחרות?

לסיכום



- עיינו ברשימת השאלות שנאספו בתחילת הנושא.
- סכמו: על אילו שאלות אתם יכולים לענות עתה.
- בחרו בזוגות שאלה מתוך רשימת השאלות שלא נענו ונסו לחפש באינטרנט מידע שיכול לעזור לענות על השאלה. שתפו את הכיתה בתשובתכם.

6.4 מיקרואורגניזמים וסביבה

בפרק זה נדגים טכנולוגיות מבוססות מיקרואורגניזמים לטובת איכות הסביבה. אנו נתמקד בסוגיית הפסולת. לפי נתוני המשרד להגנת הסביבה, משפחה בישראל מייצרת 1.7 ק"ג פסולת מדי יום, 612 ק"ג פסולת בשנה. להלן איור המדגים את משך הזמן הנדרש לפירוק מרכיבי אשפה שונים³⁶

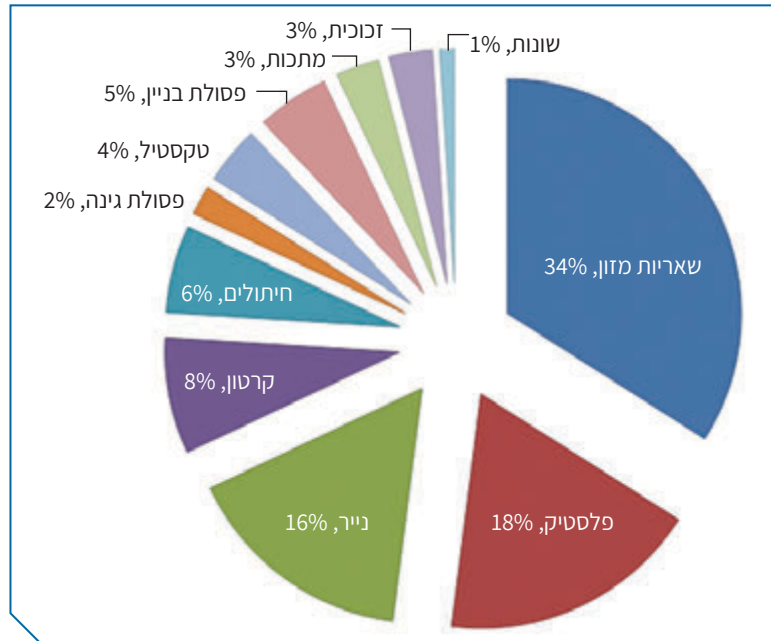


1. משאית אשפה אוספת את הפסולת הביתית ומעבירה אותה להטמנה. על פי הנתונים שבאיור, הסבירו מה יקרה למרכיבים שונים באשפה (קליפות בננות, עיתונים, שקיות ניילון, קופסאות שימורים, בקבוקי פלסטיק וזכוכית) לאחר חודש, שנה, מאה שנים ואלף שנים? מה משמעות נתונים אלו?
2. מה לדעתכם גורם להבדל בקצב הפירוק של סוגי הפסולת השונים?
3. לפי מה שלמדתם על מיקרואורגניזמים, כיצד הם יכולים לפרק אשפה?
4. צפו בסרטון [מסעה של שקית אשפה](https://tinyurl.com/zevel-massa) (7:37 דק'). מהן דרכי הטיפול בפסולת? כיצד ניתן להתמודד עם בעיית הפסולת? (<https://tinyurl.com/zevel-massa>)

36 מקורות הנתונים: U.S. National Park Service; Mote Marine Lab, Sarasota, FL (decomposition times); National Oceanic and Atmospheric Administration Marine Debris Program

הרכב הפסולת בישראל, (% מהמשקל הכולל)

על פי סקר הרכב הפסולת הארצי לשנים 2012-2013



5. מה ניתן ללמוד מהנתונים הללו על הדרכים להפחית את כמות האשפה? איזה מידע נוסף נדרש?

6. הסתמכו על כלל הנתונים שהוצגו והסבירו מדוע כדאי להשקיע בפיתוח טכנולוגיות לטיפול באשפה רטובה.

ערכו סקר כיתתי בנושא מחזור ואיסוף פסולת³⁷ (כן/לא)



1. האם אתם מקפידים להעביר בקבוקי פלסטיק למחזור?
2. האם אתם מקפידים להעביר למחזור נייר וקרטון?
3. האם אתם מחזירים לחנות בקבוקי פלסטיק קטנים, בקבוקי זכוכית ופחיות תמורת פיקדון?
4. האם אתם נוהגים להעביר למחזור סוללות?
5. האם אתם נוהגים להעביר מוצרי חשמל ואלקטרוניקה למחזור?
6. האם אתם מחזירים תרופות לבית מרקחת או לקופת חולים?

סכמו את תוצאות הסקר. מה תוכלו, ככיתה, לעשות כדי להקטין את נזקי האשפה?

6.4.1 מיחזור החומרים בטבע

כמות החומרים בעולמנו קבועה. החומרים עוברים שינויים, בדרך כלל שינויים כימיים ו/או שינויים במצב הצבירה של החומר.

החומרים עוברים בצורה מחזורית: מהאטמוספירה ליצורים החיים, לקרקע ולמים ומהם בחזרה לאטמוספירה. למיקרואורגניזמים חשיבות רבה במיחזור החומרים בטבע. ללא פעולת הפירוק של המיקרואורגניזמים, היו מצטברים על פני כדור הארץ יצורים מתים והחומרים המרכיבים את גופם לא היו מנוצלים לשימוש מחדש.

37 מבוסס על סקר הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה 2016, גלי מגדון, לשכת המדענית הראשית, המשרד להגנת הסביבה

קיים מגוון עצום של מיקרואורגניזמים, הצורכים חומרים מסוגים שונים, ומפרקים אותם לחומרים, הנצרכים על ידי מיקרואורגניזמים אחרים. באופן זה, חומרים מתפרקים בשרשרת של תהליכים, כאשר בכל שלב משתתפים יצורים אחרים. חלק מתהליכי הפירוק נעשים על ידי מיקרואורגניזמים בסביבה אווירנית (אירובית) המכילה חמצן, וחלק בתנאים אל-אווירניים (אנאירוביים).

את מחזור החומרים בטבע נדגים באמצעות מחזור החנקן.

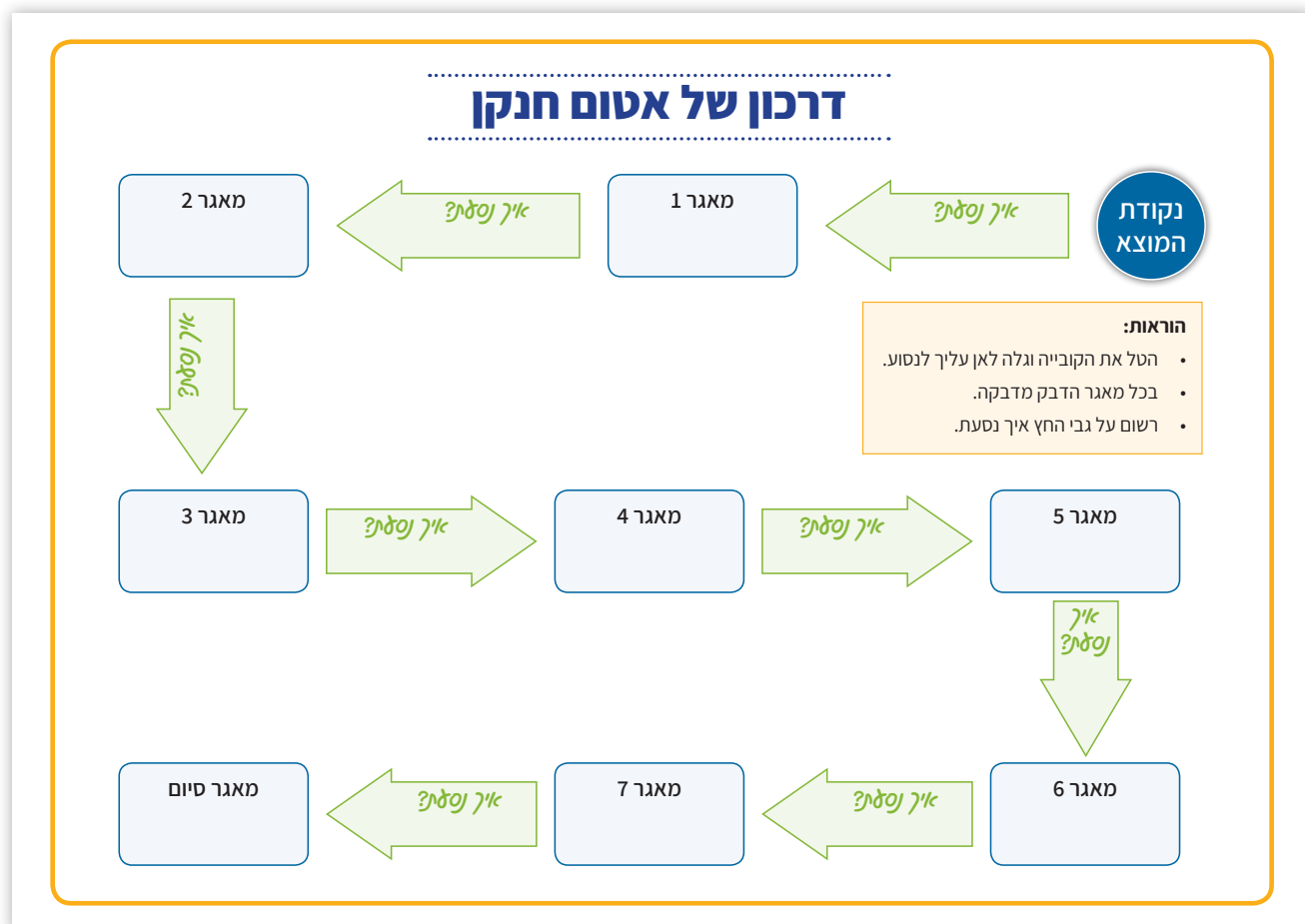
1. סימולציה של מחזור החנקן³⁸

על גבי הכיתה ממוקמות 10 תחנות הנקראות "מאגרי חנקן": אטמוספירה, גשם, מים עיליים, מי תהום, דשנים, צמחים, אדמה, אוקיינוס, בעלי חיים, הפרשות בע"ח, בע"ח וצמחים מתים. בכל תחנה מוצב דף התחנה ("דפי מאגרים", המופיעים להלן), קובייה, ודף מדבקות עגולות בצבע מתאים, עם שם המאגר.

כל תלמיד משחק בתפקיד כאטום חנקן, ועליו לעבור בין המאגרים.

כשתלמיד מגיע למאגר עליו להדביק מדבקה מתאימה בדרכון שלו, ולכתוב באיזה אופן ביצע את המסע (לדוגמה: נשטפתי בזרם, נקלטתי בשורשי צמח).

בכל מאגר עליו להטיל קובייה, ובהתאם לתוצאה להתקדם למאגר הבא.



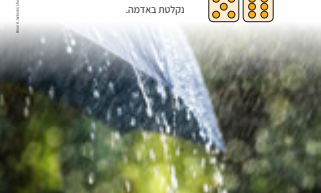
גשם

הגעת לאגם או נחל-מים עיליים.

זרמת לאוקיינוס.

החלפת לעומק והגעת למי תהום.

נקלטה באדמה.



מים עיליים

נקלטה בצמח.

זרמת דרך הנהר לאוקיינוס.

החלפת לעומק והגעת למי תהום.



אטמוספירה

ברק גרם לנו התחנן להפוך לתרכובת שהגיעה לאדמה.

גד התחנן נקלטה באימת הפך לתרכובת שבערה לאדמה.

נקלטה בחיידקים בשרשי ששעוץ, הפ-צור תרכובת שנקלטה בצמחים, והגיעה לאדמה.

נקלטה בעננים והגיעה לגשם.



אדמה

נקלטה בצמח.

התמוססת ונשטפת למים עיליים.

התמוססת ונשטפת למי תהום.

חיידק פרק אותך לגז תענן והגיעה לאטמוספירה



דשנים

התפרקת, התמוססת ונשטפת בדרם למים עיליים.

הפכת לחלק סמאדמה.

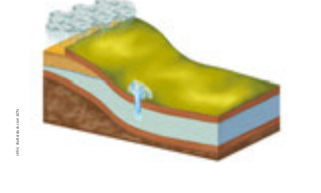
נקלטה בצמחים.



מי תהום

עלית לאגם או נחל-מים עיליים.

זרמת לעבר האוקיינוס.



בע"ח חיים

החיה בה שכבת מתה, עבור לבע"ח וצמחים מתים.

עברת להפרשת החיה, עבור להפרשת בעלי חיים.



צמחים

הצמח בו שכבת מת, עבור לבע"ח וצמחים מתים.

חיה אכלה את הצמח, עבור לבע"ח חיים.



אוקיינוס

נקלטה בצמח.

נשטפת למי תהום.

חיידק פרק אותך לגז תענן והגיעה לאטמוספירה



דפי מאגרים:

אטמוספירה

מים עיליים

מי תהום

דשנים

אדמה

אוקיינוס

צמחים

בע"ח חיים

הפרשות בע"ח

בע"ח וצמחים מתים

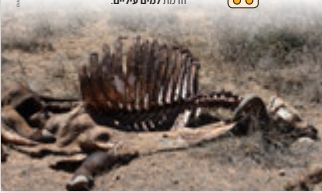
בע"ח וצמחים מתים

התפרקת באדמה.

היער בו היית נשרף, והשתחררת לאטמוספירה.

התפרקת והתמוססת במים, וזרמת לאוקיינוס.

התפרקת והתמוססת במים, וזרמת למים עיליים.



הפרשות בע"ח

התפרקת באדמה.

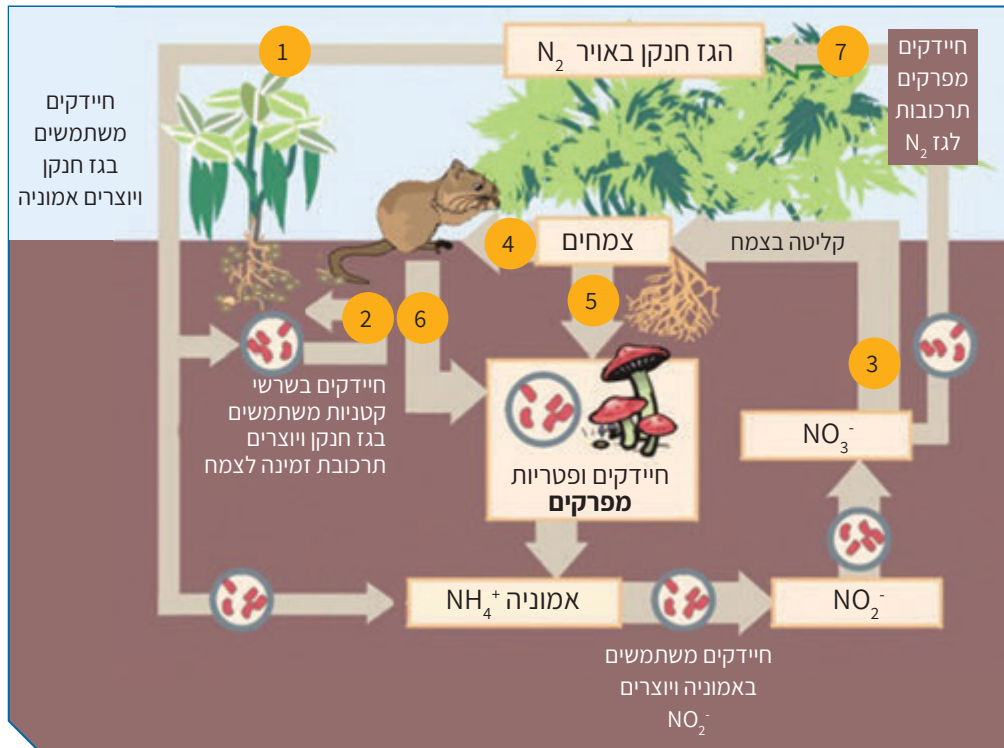
נאספת על ידי חברת דשנים, שיצרה ממך דשן.

התמוססת והגיעה למים עיליים.



2. תהליכים במחזור החנקן

חלבונים הם מרכיב חיוני לכל תא חי. אחד האטומים המרכיבים את מולקולת החלבון הוא חנקן שסימנו הכימי הוא האות N. כל יצור שמת, וכן הפרשות של היצורים החיים, מכילים חלבונים. עם זאת, צמחים אינם יכולים לנצל את החנקן כשהוא חלק מחלבון וגם לא את החנקן שבאוויר. חלק משמעותי מתהליך הפירוק נעשה על ידי מיקרואורגניזמים. בלעדיהם, הצמחים לא היו יכולים להשתמש בחומרים מחדש כדי לגדול, וללא צמחים לא היה מזון לבעלי החיים. חיידקים מסוג מסוים, הנקראים קושרי חנקן, ונמצאים באדמה, מסוגלים לנצל את הגז חנקן N_2 , המרכיב כ- 80% מהאוויר, ולהפוך אותו לחומרים זמינים הנקלטים על ידי הצמחים.



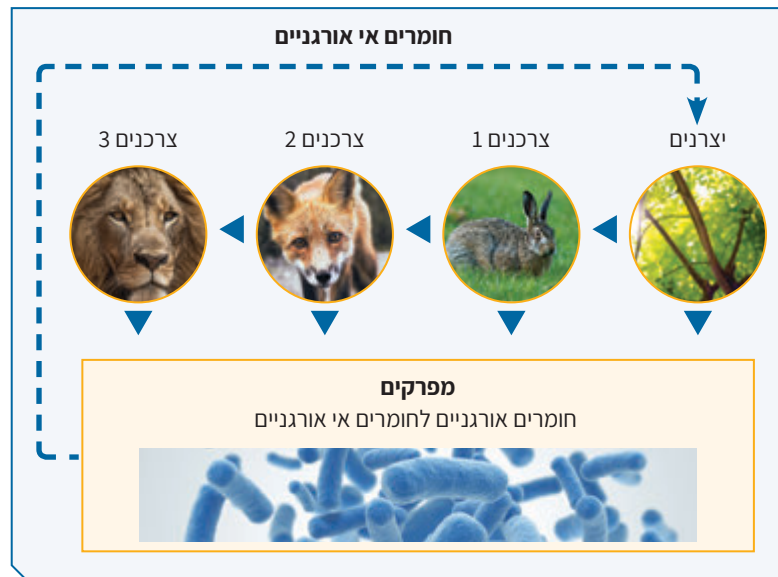
1. רשמו בטבלה את התהליכים העיקריים במחזור החנקן, על פי המתואר באיור.

מס.	תיאור התהליך	האורגניזמים המבצעים	מגיבים	תוצרים
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

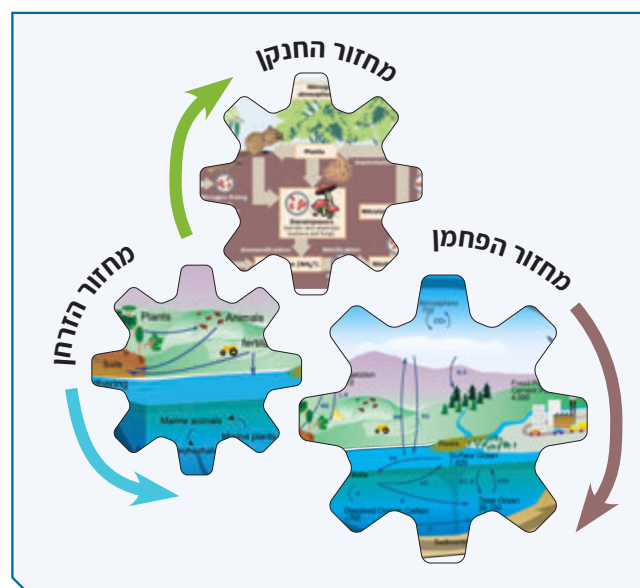
2. תארו את המסע שלכם, כפי שתיעדתם ב"דרכון", במונחים שלמדתם באיור של מחזור החנקן.

להרחבה: מחזור החומרים בטבע

צמחים מייצרים מפחמן דו-חמצני מים ומינרלים, מגוון רחב של חומרים אורגניים כמו פחמימות (סוכרים), חלבונים, שומנים ו-DNA. הצמחים משתמשים בחומרים אלו ונאכלים על ידי בעלי חיים צמחוניים (צרכנים ראשוניים). הצרכנים הראשוניים משתמשים בחומרים, אך גם נאכלים על ידי טורפים (צרכנים שניוניים), המשתמשים בחומרים ונאכלים גם הם על ידי טורפים (צרכנים שלישיניים). בשרשרת מזון זו, כל הפרשות היצורים וכן יצורים מתים מפורקים על ידי מיקרואורגניזמים (מפרקים) לחומרים פשוטים יותר - אנאורגניים.



בדומה למחזור החנקן, מתקיימים מחזורים של כל היסודות: מחזור הפחמן, מחזור הגופרית, מחזור החמצן, מחזור הזרחן וכדומה.



שאלות לדיון כיתתי



- מדוע המסע שונה אצל כל תלמיד?
- האם למסע של אטום חנקן יש סיום?

- האם חומר יכול "להיתקע" במסע?
- מה תפקיד המיקרואורגניזמים במיחזור?
- מה תוכלו לומר על בעיית האשפה בהתאם למידע על מחזוריות חומרים?
- מה קורה כשחורפים יותר מדי עצים או דלקים (שהם תוצרים של צמחים ובעלי חיים שמתו לפני שנים רבות)?
- פלסטיק מיוצר מנפט גולמי. על פי המידע שקראת על משך פירוק פלסטיק, כיצד משפיע ייצורו על מחזוריות החומרים בטבע?
- מה תהיה תרומת מיחזור האשפה האורגנית למחזורי החומרים בכדור הארץ?

6.4.2 מיחזור אשפה אורגנית

סרטון פתיחה: מהפכת המיחזור ברשויות המקומיות, המשרד להגנת הסביבה 2014



<https://tinyurl.com/michzoor>

ביוגז – להפוך זבל לאוצר

לפניכם איור הדרכה להפרדת פסולת רטובה של המשרד להגנת הסביבה:

1. מה מאפיין את מרכיבי הפסולת הרטובה?
2. הסתכלו באיור של מחזור החומרים בטבע והסבירו מה מקומם של המרכיבים השונים שציינתם בשרשרת המזון.
3. על פי אותו איור, כיצד ניתן למחזר אותם?

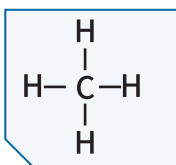


אחת הדרכים לניצול הפסולת האורגנית היא הפקת ביוגז.

ביוגז הוא תערובת גזים הכוללת בעיקר את הגזים מתאן ופחמן דו-חמצני.

מתאן הוא החומר האורגני הפשוט ביותר. גז זה נוצר באופן טבעי במערכות עיכול של בעלי חיים, בביצות, וכן במטמנות אשפה.

ישנם חיידקים אל-אווירניים, החיים ללא חמצן, המסוגלים לפרק חומרים אורגניים מסוגים שונים לגז מתאן.



אם ניקח פסולת אורגנית, כמו זבל פרות או שאריות מזון, ונכניס למיכל אטום המכיל גם חיידקים יוצרי מתאן ונמצא בתנאים מתאימים, נוכל להפיק את הגז. בתמונה הבאה ניתן לראות מערכת מעבדתית פשוטה להפקת מתאן.



לתוך אמבט מים, בו ניתן לשמור על טמפרטורה קבועה, הוכנסו בקבוקים המכילים חומרים אורגניים וחיידקים יוצרי מתאן.

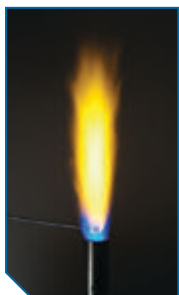
הגז הנוצר עובר בצינורות אל תוך בקבוקי איסוף.

4. מהם התנאים הדרושים לחיידקים להפקה יעילה של מתאן?

5. מדוע חשוב לדאוג לאטימה של המערכת?

תוצרי התהליך הם ביוגז - הכולל בעיקר את הגז מתאן (CH_4) ופחמן דו חמצני (CO_2). המתאן יכול לשמש כמקור אנרגיה בעיקר לייצור חשמל וחום.

בנוסף, בסיום התהליך שבו נוצר המתאן נשארת במיכלים שארית הנקראת בוצה. מן הבוצה ניתן לייצר קומפוסט, המשמש לזיכול אורגני של גידולי נוי או חקלאות. מהזבל האורגני, בשונה מהדשן הכימי, משתחררים באופן אטי ומדורג חומרי הזנה לקרקע. בנוסף, הוא מעלה את אחוז המים ואת ריכוז החמצן בקרקע.



ניתן לבדוק את איכות הביוגז על ידי הדלקתו. ככל שאחוז המתאן בביוגז גבוה יותר (והפחמן הדו חמצני נמוך יותר), הלהבה תהיה כחולה יותר והאנרגיה שניתן להפיק ממנה תהיה גבוהה יותר.

6. מהם היתרונות של הפקת הביוגז מפסולת אורגנית?

מהדגם המעבדתי לשימוש הביתי

ניצול האשפה הביתית להפקת גז לשימוש ביתי מוצג בסרטון הבא:



סטארט-אפ מהזבל: היזמים מישראל שמייצרים גז מאשפה ביתית כאן 11, 19.10.17

<https://tinyurl.com/biogas-ashpa>

7. במה דומה ובמה שונה המערכת הביתית מהמערכת הניסויית במעבדה?

תוכלו גם לצפות בפרסומת למתקן ביוגז ביתי <https://tinyurl.com/biogas-bayit>



מערכות ביוגז אזוריות

בישראל הוקמו מספר מתקני ביוגז אזוריים. המתקן בנוי ממיכל גדול בו מתבצעת תסיסה - פירוק של החומר האורגני בתנאים אל-אווירניים (ללא חמצן). בגג המיכל נמצאת תקרת איסוף הביוגז.



8. לפניכם איור המתאר ייצור חשמל ודשן מפסולת אורגנית. תארו את תהליך הייצור.



”בישראל פועלים מספר מתקנים בהיקפים שונים, לייצור חשמל מביוגז בטכנולוגיה של פירוק אנארובי, וכן על ידי איסוף ביוגז הנפלט באופן טבעי ממטמנות. כמו כן, מקודם מכרז להקמת מתקן מיון והפרדה של פסולת עירונית באזור השפד”ן (שפכי גוש דן), הכולל מתקן להפקת חשמל מביוגז בהספק של 8-12 מגה-וואט. לחשמל המופק באמצעות מתקני ביוגז יתרון בהיותו רציף ולא תנודתי כדוגמת החשמל המופק ממקורות של רוח ושמשי” (מתוך אתר משרד האנרגיה).

9. הסבירו את היתרון בהפקת חשמל באמצעות מתקני ביוגז המוזכר בקטע.

דיון כיתתי



האם ביוגז יכול להוות פתרון לפסולת האורגנית במדינת ישראל?

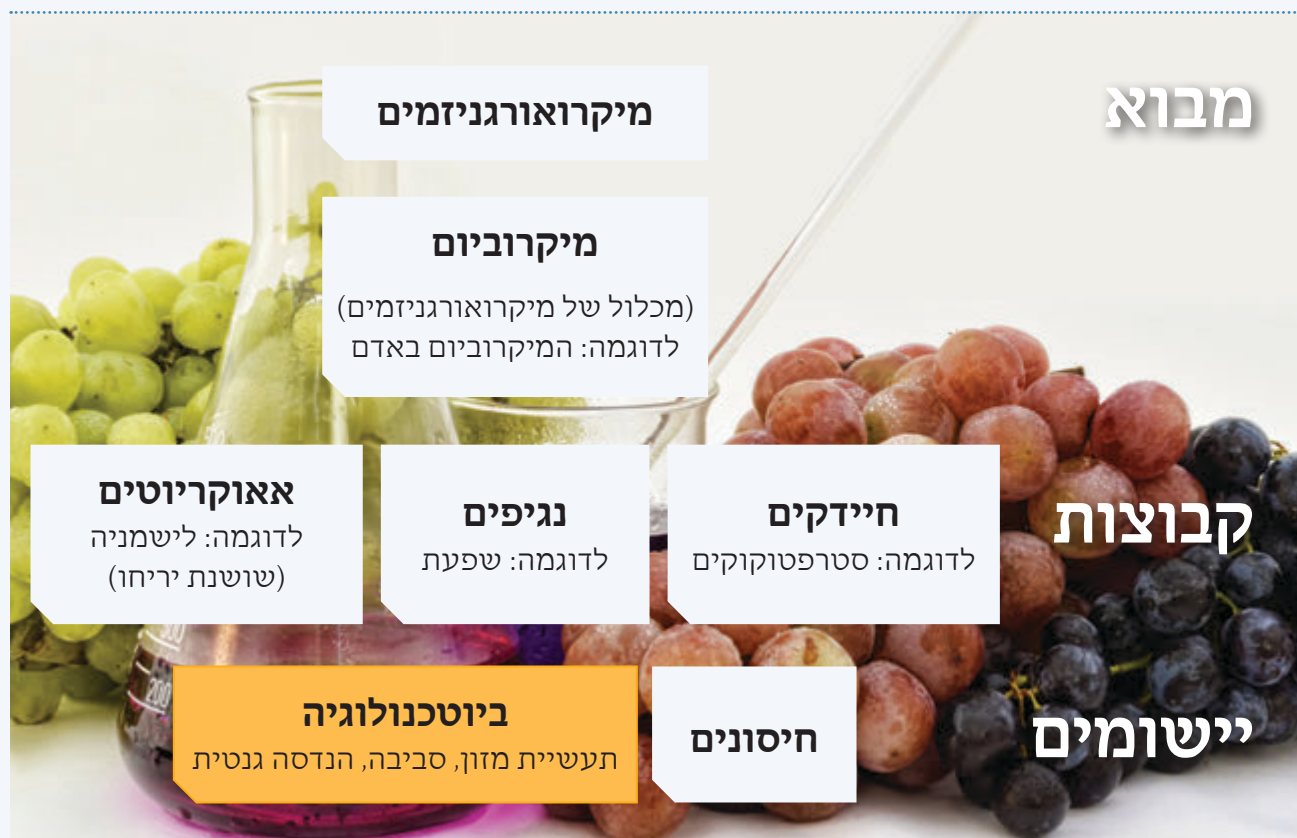
למערכת הביוגז פוטנציאל לקידום פתרון למספר בעיות: אשפה, אנרגיה, וזיהום האוויר.

- כיצד עשויה המערכת לסייע לפתרון כל אחת מהבעיות הללו?
- למרות היתרונות, לא כל מקבלי ההחלטות משוכנעים כי יש לקדם את ייצור הביוגז באופן נרחב בישראל. מה יכולות להיות הסיבות להתנגדות?
- כיצד יש לדעתכם לבחון את יעילות השיטה?
- אילו היבטים כלכליים יש לבחון?
- מהם הגורמים שיגרמו לדעתכם לשיתוף פעולה מצד האוכלוסייה בישראל?

10. בהתאם לעקרונות שלמדנו, כיצד אתם, ככיתה, יכולים לקדם את איכות הסביבה?

סיכום הפרק

- ✓ למיקרואורגניזמים חשיבות בתעשיות המזון: מוצרי מאפה, מוצרי חלב, משקאות אלכוהוליים, החמצת ירקות.
- ✓ תעשיות המזון מבוססת על הרעיון המדעי שמיקרואורגניזמים יכולים לפעול בצורה מיטבית בטווח מסוים של תנאים. שינוי התנאים יכול לגרום מצד אחד להתרבותם ומצד שני למותם.
- ✓ בנוסף לחשיבותם בתעשיות המזון, למיקרואורגניזמים יש שימוש גם ברפואה, בחקלאות, ובשמירה על איכות הסביבה.
- ✓ ליישומי ההנדסה הגנטית יש השלכות חברתיות, מוסריות, משפטיות וכלכליות.



סרטונים ומאמרים להרחבה

- מתקן ביוגז ברמת הגולן, 2011, ערוץ 2 <https://tinyurl.com/biogaz-mitkan>
- מהפכת המיחזור ברשויות המקומיות, המשרד להגנת הסביבה <https://tinyurl.com/michzoor2>
- עיריית רעננה- הפרדת פסולת, ואשפה רטובה 2012 <https://tinyurl.com/psolet>
- הפרדת פסולת אורגנית בעמק חפר ופתרון הקצה, מועצה אזורית עמק חפר <https://tinyurl.com/psolet-kaze>
- הראלה סטוצקי-באר, נותנים גז <https://tinyurl.com/notnim-gas>
- היקף הפרדת פסולת אורגנית בישראל (2011) <https://tinyurl.com/hekef-hafrada>
- כהן, א. (2010) הפקת אנרגיה ומוצרים ידידותיים מפסולת – מידע ליזמים <https://tinyurl.com/meyda-yazamim>

סיכום יחידת הלימוד

ביחידה זו נלמדו העקרונות הבאים. כתבו דוגמה לכל אחת מהן:

- ✓ מיקרואורגניזמים כוללים יצורים מיקרוסקופיים מקבוצות שונות.
- ✓ מיקרואורגניזמים חיוניים להתרחשותם של תהליכים רבים בטבע.
- ✓ מיקרואורגניזמים שונים המשתתפים בתהליכים בגוף חיוניים לתפקודו התקין.
- ✓ בין המיקרואורגניזמים קיימת קבוצה קטנה הגורמת למחלות.
- ✓ לא כל מחלה נגרמת על ידי מיקרואורגניזמים.
- ✓ קיימות דרכים למניעת מחלות, ולעומתן קיימות דרכים לטיפול במחלות הנגרמות על ידי חיידקים ונגיפים.
- ✓ מיקרואורגניזמים משמשים בביוטכנולוגיה בתעשיית המזון, בתעשיית התרופות, בחקלאות ובשמירה על איכות הסביבה.

מקורות האירים והתמונות בספר

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
כריכה (מימין לשמאל ומלמעלה למטה)			
רקע	סטרפטוקוקוס פנאמוניה	ktsdesign/ shutterstock.com	shutterstock.com
קדמית	ענבים וכלי מעבדה	FotisR/ shutterstock.com	shutterstock.com
קדמית	צלחת פטרי	Jarun Ontakrai / shutterstock.com	shutterstock.com
קדמית	חיידקי סטרפטוקוקוס מותקפים	National Institutes of Health (NIH)	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Streptococcus_pyogenese_Bacteria.jpg
קדמית	DNA	Yang Nan/ shutterstock.com	shutterstock.com
קדמית	התרבות טפילי לישמניה	CDC/Dr. L.L. Moore, Jr.	https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Leishmania_donovani_01.png
קדמית	גבינה	Andrey Starostin/ shutterstock.com	shutterstock.com
קדמית	עובש על לחם	CDC/Dr. Lucille K. Georg [Public domain]	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mature_sporangium_of_a_Mucor_sp._fungus.jpg
קדמית	כדורים	Roman Samokhin/ shutterstock.com	shutterstock.com
אחורית	ארנב	Shirui Cheng	Photo by Shirui Cheng on Unsplash
אחורית	נבטים	andriano.cz/ shutterstock.com	shutterstock.com
אחורית	עץ קקאו	Aedka Studio / shutterstock.com	shutterstock.com
אחורית	סוכרת	ratmaner/ shutterstock.com	shutterstock.com
אחורית	פטריית עובש פניציליום	Rattiya Thongdumhyu/ shutterstock.com	shutterstock.com
אחורית	אשכול ענבים עם שמרים	Bukhta Ihor/ shutterstock.com	shutterstock.com
אחורית	נגיפים	dreamerb/ shutterstock.com	shutterstock.com
אחורית	מזרק ובקבוק	Billion Photos/ shutterstock.com	shutterstock.com
הקדמה			
1	ארנב	Shirui Cheng	Photo by Shirui Cheng on Unsplash
1	נבטים	andriano.cz/ shutterstock.com	shutterstock.com
1	עץ קקאו	Aedka Studio/ shutterstock.com	shutterstock.com
1	סוכרת	ratmaner/ shutterstock.com	shutterstock.com
1	פטריית עובש פניציליום	Rattiya Thongdumhyu/ shutterstock.com	shutterstock.com
1	אשכול ענבים עם שמרים	Bukhta Ihor/ shutterstock.com	shutterstock.com
1	נגיפים	dreamerb/ shutterstock.com	shutterstock.com
1	מזרק ובקבוק	Billion Photos/ shutterstock.com	shutterstock.com
9	איור מיקרואורגניזמים	Verock/ shutterstock.com	shutterstock.com
10	כוס אימון	Rob Hainer/ shutterstock.com	shutterstock.com
11	איור פח אשפה	naulicrea/ shutterstock.com	shutterstock.com

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
11	עמוד חשמל	aaabbbccc/ shutterstock.com	shutterstock.com
	גבינה	Andrey Starostin/ shutterstock.com	shutterstock.com
	כדורים	Roman Samokhin/ shutterstock.com	shutterstock.com
13	מכתב מקורי של ואן לוונהוק	Photograph by Mike Peel (www.mikepeel.net)	Photographed at the Royal Society, London, with the kind permission of the Royal Society Library, as part of WikiProject Royal Society. Permission: PD-old, CC-0
14	גדלי יצורים חיים (מעובד)	Guillaume Paumier, Philip Ronan, NIH, Artur Jan Fijałkowski, Jerome Walker, Michael David Jones, Tyler Heal, Mariana Ruiz, Science Primer (National Center for Biotechnology Information), Liquid_2003, Arne Nordmann & The Tango! Desktop Project	https://en.wikipedia.org/wiki/File:Biological_and_technological_scales_compared-en.svg Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 Generic
15	שמרים	Andre Nantel/ shutterstock.com	shutterstock.com
	נגיף שפעת החזירים	C. S. Goldsmith and A. Balish	https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=11214
	הליקובקטר פילורי	Janice Carr	https://phil.cdc.gov/details.aspx?pid=5715
	סנדלית ובתוכה אצות ירוקות	Anatoly Mikhaltsov	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paramecium_bursaria.jpg Creative Commons Attribution 4.0 International License
16	צילום חיידקי שיניים	David Gregory & Debbie Marshall	Credit: David Gregory & Debbie Marshall. CC BY https://wellcomecollection.org/works/y2x8qsu3
18	חיידקים ירוקים (ימין)		https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anabaena_sperica2.jpg Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	חיידקים ירוקים (שמאל)	NASA	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyanobacteria_guerrero_negro.jpg?uselang=he
	אמבה	Cymothoa exigua	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amoeba_proteus.jpg Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	סנדלית	HernanToro	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Grupo_de_Paramecium_caudatum.jpg Creative Commons Attribution 4.0 International License
	עיננית	David Shykind	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Euglena_pellicle_2.jpg
	אצות זהוביות צורניות (ימין)	Kristian Peters	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Achnanthes_lanceolata.jpeg Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	אצות זהוביות צורניות (שמאל)	Kristian Peters	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyclotella_commensis.jpeg Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	גלגיליות (ימין)	Sofdrakou	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brachionus_plicatilis.jpg Creative Commons Attribution 4.0 International License
	גלגיליות (שמאל)	Bob Blaylock	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bdelloid_Rotifer.jpg Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	כלורלה	VladiDamian	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlorella.png Creative Commons, Attribution-Share Alike 4.0 International, 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
18	אצות מושבתיות	PaquitoGon	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tmp_Scenedesmus_y_Pediastrum1921611804.JPG Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
20	נגיפים	David Gregory & Debbie Marshall	https://wellcomecollection.org/works/jf8ggj5u?query=%20virus CC BY
	חיידקים	David Gregory & Debbie Marshall	https://wellcomecollection.org/works/yxuunwcv?query=bacteria CC BY
	פרוטיסטה	David Gregory & Debbie Marshall	https://wellcomecollection.org/works/a6d5cf9z CC BY
	בעלי חיים	Eric Isselee/ shutterstock.com	shutterstock.com
	פטריות	mikaelawill13/ shutterstock.com	shutterstock.com
	צמחים	Jan Martin Will/ shutterstock.com	shutterstock.com
21	תמונת סיכום מיקרואורגניזמים	Rost9/ shutterstock.com	shutterstock.com
פרק 1 - מיקרוביום			
22	שן	Wolfilser/ shutterstock.com	shutterstock.com
	סוכרת	ratmaner/ shutterstock.com	shutterstock.com
23	כדורים	Roman Samokhin/ shutterstock.com	shutterstock.com
24	ציורים של ואן-ליוונהוק	Anton van Leeuwenhoek	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/Yeast-Anton_van_Leeuwenhoek.jpg CC-PD-Mark
	רוברט קוך	Unknown	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robert_Koch_in_seine_Laboratorium.jpg Permission: PD-old
	איור DNA	Aha-Soft/ shutterstock.com	shutterstock.com
25	זריעה	אסתר לסלו	צולם במכללה האקדמית צפת
27	רך נולד	Echo Grid	Photo by Echo Grid on Unsplash
	תינוק	Colin Maynard	Photo by Colin Maynard Unsplash
	ילד	Ben White	Photo by Ben White on Unsplash
	גבר צעיר	Rhone	Photo by Rhone on Unsplash
	גבר מבוגר	Gus Moretta	Photo by Gus Moretta on Unsplash
28	עכברים	yod67	Depositphotos.com
	דמויות אנשים	leremy	Depositphotos.com
29	מערכת העיכול	Kateryna Kon/ shutterstock.com	shutterstock.com
30	תמונת סיכום מיקרוביום	Kateryna_Kon	stock.adobe.com
פרק 2 - חיידקים			
33	חיידק הסלמונלה	nobeastsofierce/ shutterstock.com	shutterstock.com
	חיידק הסטרפטוקוקוס	ktsdesign/ shutterstock.com	shutterstock.com

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
33	חיידק העכברת	Sebastian Kaulitzki/ shutterstock.com	shutterstock.com
34	תא חיידק	Anton Nalivayko/ shutterstock.com	shutterstock.com
	תא בעל חיים	eranicle/ shutterstock.com	shutterstock.com
	תא צמח	3d_man/ shutterstock.com	shutterstock.com
36	עץ קקאו	Aedka Studio/ shutterstock.com	shutterstock.com
	פולי קקאו מיובשים	Aedka Studio/ shutterstock.com	shutterstock.com
	מיכל תסיסה	Angela N Perryman/ shutterstock.com	shutterstock.com
	תחילת התסיסה	Nabilah Khalil/ shutterstock.com	shutterstock.com
	שלבי התסיסה	Nabilah Khalil/ shutterstock.com	shutterstock.com
	פולים מיובשים	ub-foto/ shutterstock.com	shutterstock.com
	שוקולד	Dima Sobko/ shutterstock.com	shutterstock.com
38	סטפילוקוקוס אראוס	Pradeep Halebeedu Prakash/ shutterstock.com	shutterstock.com
	קלוסטרידיום טוני	Kateryna Kon/ shutterstock.com	shutterstock.com
39	בורדטלה פרטוזיס	Kateryna Kon/ shutterstock.com	shutterstock.com
	אשריכיה קולי	AuntSpray/ shutterstock.com	shutterstock.com
42	סטרפטוקוקים (ימין)	Content Providers: CDC	https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=14341
	סטרפטוקוקים (שמאל)	Content Providers: CDC/ Sarah Bailey Cutchin Illustrator: Jennifer Oosthuizen	https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=22884
	אגר דם	אסתר לסלו	המכללה האקדמית צפת
	צלחת פטרי	אסתר לסלו	המכללה האקדמית צפת
43	חיידקי סטרפטוקוקוס מותקפים	National Institutes of Health (NIH)	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Streptococcus_pyogenese_Bacteria.jpg
	קפסולות	אסתר לסלו	המכללה האקדמית צפת
	אנטיביוטיקה	אסתר לסלו	צולם במעבדות בית החולים פוריה באדיבות ד"ר אבי פרץ
44	פענוח משטח גרון	באדיבות חברת רימיפארם בע"מ	
	גרון	Suzanne Tucker/ shutterstock.com	shutterstock.com
45	אמפטיגו	Anukool Manoton/ shutterstock.com	shutterstock.com
48	אלכסנדר פלמינג מקבל פרס נובל	לא ידוע	https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A7%D7%95%D7%91%D7%A5:Nobelp ristagare_Fleming_Midi.jpg
	פטריית עובש פניציליום	Rattiya Thongdumhyu/ shutterstock.com	shutterstock.com
51	מנגנון הפעולה של אנטיביוטיקה	Kendrick Johnson	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antibiotics_Mechanisms_of_action.png

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
51	פגיעה בבניית DNA (א)	Designua/ shutterstock.com	shutterstock.com
	פגיעה בייצור חלבונים (ב)	Timonina/ shutterstock.com	shutterstock.com
51	פגיעה בייצור אבני בניין DNA (ג)	chromatos/ shutterstock.com	shutterstock.com
	פגיעה בייצור דופן החיידק (ד)	Kallayane Naloka/ shutterstock.com	shutterstock.com
53	מסלול התרופה בגוף	Martial Red/ shutterstock.com	shutterstock.com
55	תיאור הניסוי	פותח עבור משרד החינוך על ידי אלנט	http://edu.lnet.org.il/PizaN/PizaN_Bacterias.html
	רפת	Suslov Denis/ shutterstock.com	shutterstock.com
56	צלחת פטרי	Jarun Ontakrai/ shutterstock.com	shutterstock.com
60	תמונת סיכום חיידקים	Jezper/ shutterstock.com	shutterstock.com
פרק 3 - נגיפים			
61	מסננת שמברלן	Science Museum, London. CC BY	https://wellcomecollection.org/works/ru4qcxv3 Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) terms and conditions
62	פלפלים נגועים	Image: UF/IFAS Pest Alert Web site/Pamela Roberts	https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.0040015
	נגיפים תוקפים חיידק	Dr Graham Beards	https://en.wikipedia.org/wiki/File:Phage.jpg GNU Free Documentation License
63	מבנה הנגיף	SkyPics Studio/ shutterstock.com	shutterstock.com
64	תהליך הדבקה והתרבות של נגיף	CNX OpenStax	https://cnx.org/contents/GFy_h8cu@10.53:rZudN6XP@2/Introduction
66	תסמיני השפעת	Mikael Häggström	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Symptoms_of_influenza.svg
67	דגם נגיף השפעת	Dan Higgins, Douglas Jordan, USCDCP	https://pixnio.com/science/microscopy-images/influenza/3-dimensional-model-of-influenza-subtypes-found-in-people-are-influenza-a-h1n1-and-influenza-a-h3n2-viruses
	דגם מפורט של נגיף השפעת	Dan Higgins, Douglas Jordan, USCDCP	https://pixnio.com/science/microscopy-images/influenza/3-dimensional-model-of-influenza-virus
69	איור חזיר, עוף	Sabelskaya / shutterstock.com	shutterstock.com
	איור בני אדם	Zoart Studio/ shutterstock.com	shutterstock.com
70	מחלק עיתונים בניו יורק		https://www.archives.gov/exhibits/influenza-epidemic/records-list.html
	שוטרים בסיאטל		https://www.archives.gov/exhibits/influenza-epidemic/records-list.html
	כרטיסן בסיאטל		https://www.archives.gov/exhibits/influenza-epidemic/records-list.html
73	תמונת סיכום נגיפים	dreamerb/ shutterstock.com	shutterstock.com
פרק 4 - מיקרואורגניזמים אוקריוטים			
74	דגם תא אוקריוטי	eranic/ shutterstock.com	shutterstock.com
	אמבה	ggw/ shutterstock.com	shutterstock.com

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
74	כלורלה	VladiDamian	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlorella.png Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International , 3.0 Unported , 2.5 Generic , 2.0 Generic and 1.0 Generic license
	עובש	nito/ shutterstock.com	shutterstock.com
75	סנדלית	Rattiya Thongdumhyu/ shutterstock.com	shutterstock.com
76	שמרים	Andre Nantel/ shutterstock.com	shutterstock.com
77	פצע לישמניה	Layne Harris	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leishmaniasis_ulcer.jpg
78	שני שלבי הלישמניה	Kateryna Kon/ shutterstock.com	shutterstock.com
79	זבוב החול - ביצים	Alan R Walker	Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	זבוב החול - זחל	Alan R Walker	Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	זבוב החול - גולם	Alan R Walker	Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	זבוב החול - בוגר	CDC/ Frank Collins	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phlebotomus_pappatasi_bloodmeal_continue2.jpg
	התרבות טפילי לישמניה	CDC/Dr. L.L. Moore, Jr.	https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Leishmania_donovani_01.png
	הטפיל משתחרר מהתא (שמאל)	CDC	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leishmania_mexicana.jpg
80	שפן סלע	Traveller/ shutterstock.com	shutterstock.com
81	נגיפים	David Gregory & Debbie Marshall	https://wellcomecollection.org/works/jf8ggj5u?query=%20virus CC BY
	חיידקים	David Gregory & Debbie Marshall	https://wellcomecollection.org/works/yxuunwcv?query=bacteria CC BY
	פרוטיסטה	David Gregory & Debbie Marshall	https://wellcomecollection.org/works/a6d5cf9z CC BY
	בעלי חיים	Eric Isselee/ shutterstock.com	shutterstock.com
	פטריות	mikaelawill13/ shutterstock.com	shutterstock.com
	צמחים	Jan Martin Will/ shutterstock.com	shutterstock.com
82	תמונת סיכום אורגניזמים אאוקריוטים	Kateryna Kon/ shutterstock.com	shutterstock.com
פרק 5 - חיסון			
83	דייויד וטר, ילד הבועה	Michelle Goebel	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:David_Vetter_and_John_R_Montgomery.JPG
84	מבנה העור	US-Gov	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skin_heb.jpg
85	תהליך הדלקת	OpenStax College	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1906_Emigration.jpg Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
86	נוגדן ואנטיגן (מעובד)	Color version of Image:Antibody.png, originally a Work of the United States Government Author: Fvasconcellos	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antibody.svg
	צימות	Alejandro Porto	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antigen-antibody-complex.png Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
88	נגיף האבעבועות השחורות	Everett Historical/ shutterstock.com	shutterstock.com
	חולה באבעבועות שחורות	Everett Historical/ shutterstock.com	shutterstock.com
	עטינים נגועים	Jones, Joseph, 1833-1896	https://www.flickr.com/photos/internetarchivebookimages/14576047638
	אדוורד ג'אנר	Pastel by John Raphael Smith	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Edward_Jenner._Pastel_by_John_Raphael_Smith._Wellcome_L0026138.jpg
89	מזרק ובקבוק	Billion Photos/ shutterstock.com	shutterstock.com
94	צילומי מסך מתוך פייסבוק		facebook.com
97	תמונות סיכום חיסון	Numstocker/ shutterstock.com	shutterstock.com
פרק 6 - ביוטכנולוגיה			
98	פחי מיחזור	Andrea Danti/ shutterstock.com	shutterstock.com
	חביות יין	Zsolt Biczó/ shutterstock.com	shutterstock.com
	נבטים	andriano.cz/ shutterstock.com	shutterstock.com
	גבינה	Roman Babakin/ shutterstock.com	shutterstock.com
	DNA	Yang Nan/ shutterstock.com	shutterstock.com
	מבחנות	angellodeco/ shutterstock.com	shutterstock.com
99	לחם	MaraZe/ shutterstock.com	shutterstock.com
	גבינה	Sloniki/ shutterstock.com	shutterstock.com
	יין	natalushka/ shutterstock.com	shutterstock.com
104	לואי פסטר	Albert Edelfelt (1854–1905)	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albert_Edelfelt_-_Louis_Pasteur_-_1885.jpg
	אשכול ענבים	robuart/ shutterstock.com	shutterstock.com
	תאי שמרים	Kallayanee Naloka/ shutterstock.com	shutterstock.com
	גביע יין	iconohk/ shutterstock.com	shutterstock.com
	איור CO2	Irina Medvedeva Meig/ shutterstock.com	shutterstock.com
105	הבשלת ענבים, מימין לשמאל - 1	Licvin/ shutterstock.com	shutterstock.com
	שלב 2	Obraz/ shutterstock.com	shutterstock.com
	שלב 3	Andrew Hagen/ shutterstock.com	shutterstock.com
	שלב 4	Jennifer Larsen Morrow/ shutterstock.com	shutterstock.com
	רפרקטומטר (ימין)	Gyuszkó-Photo/ shutterstock.com	shutterstock.com
	רפרקטומטר (שמאל)	Gyuszkó-Photo/ shutterstock.com	shutterstock.com
106	בציר ידני	goodluz/ shutterstock.com	shutterstock.com

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
106	בציר מכאני	באדיבות יהודה וינברג	https://www.webstagram.one/media/BoKF-ISH4Qm
	גת	דגנית סטניצקי	
	דריכת ענבים	Celiafoto/ shutterstock.com	shutterstock.com
	סחיטה מודרנית	Josef Mohyla/ shutterstock.com	shutterstock.com
	סחיטה מודרנית	Thomas Barrat/ shutterstock.com	shutterstock.com
	ענב עם חרצן	NinaM/ shutterstock.com	shutterstock.com
107	שמרי יין	BW Folsom/ shutterstock.com	shutterstock.com
	אשכול ענבים עם שמרים	Bukhta Ihor / shutterstock.com	shutterstock.com
	כד יין	Lipskiy/ shutterstock.com	shutterstock.com
	חביות יין	Zsolt Biczó/ shutterstock.com	shutterstock.com
	מכלי נירוסטה	El Choclo/shutterstock.com	shutterstock.com
108	איור מצרי - ייצור יין	Metropolitan Museum of Art [CC0]	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nakht_and_Family_Fishing_and_Fowling,_Tomb_of_Nakht_MET_DT12059.jpg Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication
110	סרגל חומציות (מעובד)	ararat.art/ shutterstock.com	shutterstock.com
111	לבנה	hadasit/ shutterstock.com	shutterstock.com
112	עובש על לחם (ימין)	Rattiya Thongdumhyu/ shutterstock.com	shutterstock.com
	עובש על לחם (שמאל)	CDC/Dr. Lucille K. Georg [Public domain]	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mature_sporangium_of_a_Mucor_sp._fungus.jpg
	גולמי עובש	Rattiya Thongdumhyu/ shutterstock.com	shutterstock.com
113	כיכר לחם בשקית	kocetoiliev/ shutterstock.com	shutterstock.com
114	שורת ספרים	creatOR76/ shutterstock.com	shutterstock.com
	ספר בודד	STILLFX/ shutterstock.com	shutterstock.com
115	דייגים בקוטב	vladimir salman/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דג קוטב	FedBul/ shutterstock.com	shutterstock.com
	DNA	Blackboard/ shutterstock.com	shutterstock.com
	עגבניה	Jacek Fulawka/ shutterstock.com	shutterstock.com
	הכלאה בצמחים	Sergey Merkulov/ shutterstock.com	shutterstock.com
	סריקת ספר	Lolostock/ shutterstock.com	shutterstock.com
	כרוב הבר	4028mdk09	https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%9B%D7%A8%D7%95%D7%91_(%D7%A1%D7%95%D7%92)#/media/File:Oktober_2011_Feld_bei_Plankstadt.JPG Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	קולורבי	Coyau	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chou-rave_10.jpg Coyau / Wikimedia Commons / CC BY-SA 3.0
	כרובית	Jennifer Schmidt	Photo by Jennifer Schmidt on Unsplash
	כרוב עלים	Michael Walter	Photo by Michael Walter on Unsplash

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
115	כרוב ניצנים	Keenan Loo	Photo by Keenan Loo on Unsplash
	ברוקולי	Reinaldo Kevin	Photo by Reinaldo Kevin on Unsplash
116	DNA	אסתר לסלו	המכללה האקדמית צפת
117	PCR	אסתר לסלו	מעבדות בית החולים פוריה באדיבות ד"ר אבי פרץ
118	פלסמידים	CNX OpenStax	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Figure_17_01_06.png
123	בננה	Charles	Photo by Charles on Unsplash
	עיתונים	Mr Cup / Fabien Barral	Photo by Mr Cup / Fabien Barral on Unsplash
	שקיות ניילון	Trosmisiek	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plastic_bags.jpg
	פחיות	Ja San Miguel	Photo by Ja San Miguel on Unsplash
	בקבוקי פלסטיק	Christian Chen	Photo by Christian Chen on Unsplash
	בקבוקי זכוכית	Bhavyesh Acharya	Photo by Bhavyesh Acharya on Unsplash
126	דף מאגרים - אטמוספירה	studio23/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - מים עיליים	Nikolay 007/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - גשם	Brian A Jackson/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - מי תהום	stihii/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - דשנים	Fotokostic/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - אדמה	Nik Merkulov/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - אוקיינוס	Tuanjai Pratumma/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - צמחים	Ricardo Saraiva/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - בע"ח חיים	John Michael Vosloo/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - הפרשות בע"ח	Various images/ shutterstock.com	shutterstock.com
	דף מאגרים - בע"ח וצמחים מתים	Elsbet9/ shutterstock.com	shutterstock.com
127	מחזור החנקן	U.S. Environmental Protection Agency	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nitrogen_Cycle.jpg
128	יצרנים	D. Jameson RAGE	Photo by D. Jameson RAGE on Unsplash
	צרכנים 1	Shirui Cheng	Photo by Shirui Cheng on Unsplash
	צרכנים 2	Sunyu	Photo by Sunyu on Unsplash
	צרכנים 3	Luke Tanis	Photo by Luke Tanis on Unsplash
	חיידקים מפרקים	Jezper/ shutterstock.com	shutterstock.com
	מחזור הפחמן	Kevin Saff	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_cycle-cute_diagram.svg
	מחזור הזרחן	Bonniemf Incorporates work by NASA Earth Science Enterprise	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phosphorus_cycle.png

מספר העמוד	תיאור התמונה	שם הצלם/היוצר	רשיון/קישור
129	הדרכה להפרדת פסולת רטובה	אתר המשרד לאיכות הסביבה (פברואר 2019)	http://www.sviva.gov.il מתן הזכות לשימוש בחומרים, אינה מתן חסות של המשרד לפרסום בכללותו או לגוף המפרסם.
130	מערכת ביוגז	ליאור בן אילוז	צולם ע"י ליאור בן אילוז במעבדת הישיבה התיכונית חיספין
	להבת ביוגז	Søren Wedel Nielsen	https://he.m.wikipedia.org/wiki/%D7%A7%D7%95%D7%91%D7%A5:Fla%20metest--Na.swn.jpg Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
	מתקן ביוגז	ShDrohnenFly/ shutterstock.com	shutterstock.com
	איור מפעל ייצור חשמל ודשן	tele52/ shutterstock.com	shutterstock.com
132	תמונת סיכום ביוטכנולוגיה	FotisR/ shutterstock.com	shutterstock.com

יחידת הלימוד "הסמויים מן העין" עוסקת בנושאים במיקרוביולוגיה באמצעות סוגיות מעולמם של התלמידים, ומפתחת כלים לנקיטת עמדות מושכלות ומבוססות ידע. הלימוד מעודד חשיבה המבוססת על ידע מדעי, מפתח תפיסות אודות מהות המדע, ועוסק גם בהיבטים חברתיים ומוסריים.

היחידה עוסקת בנושאים מתחומי הבריאות, הסביבה והביוטכנולוגיה. הוראת הנושאים השונים יוצאת מתוך שאלות המועלות על ידי התלמידים בתחילת כל פרק, ועוסקת בסוגיות העולות בשיח הציבורי. הלימוד נעשה תוך שימוש במגוון רחב של פעילויות כגון מעבדות, הוראה מבוססת דרמה וסימולציות, למידה שיתופית, ודיונים מדעיים-ערכיים.

מקצת הסוגיות הנדונות בספר:

- על השמנה, מיקרוביום ואחריות ● חיידקים בייצור השוקולד ● מחלות, גורמי אלימות זיהוי חיידקים
- עמידות חיידקים ושימוש מושכל באנטיביוטיקה ● התפתחות זני שפעת חדשים, והחלטה מושכלת האם להתחסן נגדם
- תהליכים ביוטכנולוגים בתעשיית המזון ● דילמת המזון המהונדס גנטית ● הקשר בין מחלה, הרחבת יישובים וחיות בר
- על חיסונים ועל מתנגדים ● ביוגז- להפוך פסולת לאוצר

