

מאלפי הגנים

קובץ מחקרים בביוטכנולוגיה מדריך למורה

הדה פלק
יעל פיונטקביץ
גילת בריל
אילת ברעם-צברי
ענת ירדן



מטה מל"מ

המרכז הישראלי לחינוך מדעי טכנולוגי
ע"ש עמוס דה-שליט



משרד החינוך, התרבות והספורט
האגף לתכנון ולפיתוח תכניות לימודים



המחלקה להוראת המדעים

עריכה ועימוד במחשב:

ציפי עובדיה

עיצוב והפקה:

טליה מלול

תודה לכל המורים שהתנסו בהוראת המהדורה הראשונה, פתחו לפנינו את כיתותיהם, שיתפו אותנו בחומרים שהכינו, העירו ותרמו: **יהודית אופיר, דליה אורן, שגיא בן-בסט, מיקי גוטמן, אדל ג'יסלן, ירדנה דוד, אבשלום דרמון, נורית האן, מאיר ויסברד, רות ורון, עתי יפה, אסתר כהן, יונה כהן, תמר יוספוב, רומי ישראלי, חיה לוי, אורית למ, גילה מאיר, רבקה נויבאור, מיכאל פרידלנדר, תמי צור, פרננד קירנברג, חגית קליין, עליזה רוזן, רותי רוזנשיין, נעמי ריבשטיין, נורית שיזף, רותי שלו, מאשה שפי.**

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, להקליט, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבספר זה. שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בספר זה אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמוציא לאור.

©

כל הזכויות שמורות
משרד החינוך, התרבות והספורט
הודפס בישראל תשס"ו 2005
דפוס מאירי בע"מ

תוכן עניינים

הוראת ביוטכנולוגיה באמצעות מאמרי מחקר מעובדים: שיקולים תוכניים ופדגוגיים..5

- 5..... מאפיינים של מאמרי מחקר
- 8..... חשיבות ההוראה באמצעות מאמרי מחקר מעובדים
- 9..... רציונל פדגוגי ותוכני של "מאלפי הגנים" - קובץ מחקרים בביוטכנולוגיה
- 13..... אסטרטגיות הוראה באמצעות מאמרי מחקר מעובדים

תגובות תלמידים ומורים על הספר לתלמיד "מאלפי הגנים".....21

תשובות אפשריות לשאלות ולמשימות במבנית המבוא.....22

פיתוח חיישן ביולוגי לאיתור חומרים הפוגעים בחומר התורשתי.....32

- 32..... רעיונות מרכזיים
- 33..... תשובות אפשריות לשאלות המופיעות בסוף המאמר
- 35..... מאגר שאלות נוספות

ביטוי רעלן של חידק ה-Bt בכלורופלסטים של צמחי טבק מקנה לצמחים עמידות

נגד חרקים.....42

- 42..... רעיונות מרכזיים
- 42..... תשובות אפשריות לשאלות המופיעות בסוף המאמר
- 45..... מאגר שאלות נוספות

טיפול במחלה ADA-SCID על-ידי ריפוי גני של תאי גזע ממוח העצם.....49

- 49..... רעיונות מרכזיים
- 49..... תשובות אפשריות לשאלות המופיעות בסוף המאמר
- 52..... מאגר שאלות נוספות

למורים שלום

לפניכם מדריך למורה הכולל את רציונל המפתחים תשובות לשאלות שבספר ושאלות נוספות לשלושת המאמרים של היחידה. עיקר החומר שיכול לעזור לכם בתהליך ההוראה יהיה באתר:

<http://stwww.weizmann.ac.il/g-bio/biotech>

תמצאו שם בין השאר גלריית תמונות להכנת מצגות ושקפים, קישוריות לאתרים בנושא, אנימציות של תהליכים מולקולריים בליווי משימות לתלמיד, פעילויות לכל אחד מהמאמרים. ב"חדר המורים" של האתר תוכלו למצוא קבוצת דיון ובמשך הזמן יתווספו חומרים שיפותחו על-ידי המורים והמפתחים.

התשתית המקוונת מאפשרת לנו לעדכן ולשפר. מהדורת הדפוס שלפניכם תאפשר לכם גישה נוחה יותר לחלק מהחומרים של האתר.

אנא, שתפו אותנו בהתלבטויות, קשיים ו"דברים טובים" שקורים לכם ולתלמידיכם במהלך ההוראה של הנושא.

אנחנו נשתדל לעזור כמיטב יכולתנו, לרתום את הנסיון שלנו כדי לעזור בפתרון בעיות ולשמוח ביחד אתכם על ההצלחות והסיפוק שבהוראת "מאלפי הגנים".

בהצלחה,
צוות הפיתוח

הוראת ביוטכנולוגיה באמצעות מאמרי מחקר מעובדים: שיקולים תוכניים ופדגוגיים

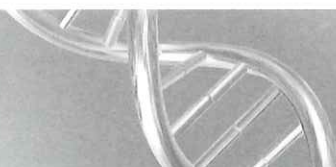
מאפיינים של מאמרי מחקר

מאמרי מחקר הם כלי הדיווח הראשוני והבלתי אמצעי של העשייה המדעית. הם משמשים את החוקרים לפרסום התוצאות של מחקריהם בקרב הקהילה המדעית. בדרך כלל המאמרים עוברים תהליך של ביקורת עמיתים לפני פרסומם בעיתונות המקצועית. המאמרים נשלחים לחוקרים אחרים באותו התחום, שנשארים בעילום שם, על מנת שיחוו עליהם את דעתם. בתהליך הביקורת נבדק אם החוקרים עמדו בכללים של עריכה נכונה של המחקר וכתובה מדעית תקינה. בנוסף לכך נבדק אם רמת הפירוט של שיטות החקר המובאות מאפשרת לחזור על הניסויים במעבדות אחרות. אחת מהמטרות החשובות ביותר של תהליך הביקורת היא בדיקת תוקף המסקנות שאליהן הגיעו החוקרים על סמך התוצאות של המחקר. יש שהמאמר מוחזר לחוקרים בצירוף בקשה להבהיר נקודות שאינן ברורות דיין, ולעיתים אף בקשה לערוך ניסויים נוספים על מנת לחזק את טענת החוקרים.

המבנה האופייני של מאמר מחקר הוא מבנה לוגי קבוע, המשחזר את רצף השלבים של שיטת החקר. גם אם התגלית היא מקרית, וההשערה נוסחה למעשה לאחר שהתגלתה התגלית – עדיין יוצגו הדברים בסדר המקובל להצגה במאמר (ולא כפי שהתרחש במציאות במקרה זה). שימו לב – אנו נתייחס כאן למאמר המחקר כפי שהוא מופיע בכתבי עת מקצועיים.

החלקים המרכיבים מאמר מחקר מדעי אופייני הם:

- **כותרת** – כוללת את שם המאמר, שמות המחברים והמוסדות האקדמיים שאליהם משתייכים החוקרים. חשוב להפנות את התלמידים לכותרת המלאה של המאמר כפי שהיא מופיעה בעמוד השער של כל מאמר. הם יוכלו להווכח שכיום מחקר מדעי הוא כרי עמלם של מספר רב של חוקרים, שלפעמים עובדים במוסדות מחקר שונים ואף בארצות שונות.
- **תמצית** – מציגה את עיקרי המאמר ומשמשת את אנשי המקצוע לשם קבלת ההחלטה האם להמשיך את קריאה המאמר. עבור התלמידים התמצית מהווה "טבילה" קרה לתוך המאמר, מכיוון שהיא מכילה שפע רב של מושגים שמתחסיים לכל המחקר המוצג במאמר.
- **מבוא** – מציג את תחום הידע שעומד בבסיס המחקר המתואר, ניסויים קודמים ותוצאותיהם, שאלות פתוחות בתחום ולבסוף את מטרות המחקר הנוכחי ושאלות המחקר העומדות בבסיסו.



- **חומרים ושיטות** – פרק שבו החוקרים מתארים בצורה דקדקנית (ברמה של כמויות מדויקות ושמות החברות שמיצרות את החומרים בהם השתמשו החוקרים) את הדרך שבה בצעו את הניסויים. הניסויים המוצגים בדרגת פירוט כזו שתאפשר ביצוע מדויק של הניסויים במעבדות אחרות.

- **תוצאות** – מציגות את הממצאים של המחקר (במלל, טבלאות, עקומות, צילומים או איורים).

- **דיון** – מסכם את המסקנות הנובעות מתוך התוצאות, דן במשמעות שלהן, מעמת בין מסקנות שונות, משווה בין התוצאות שהתקבלו במחקר הנוכחי לבין תוצאות שהתקבלו במחקרים דומים בעולם. בדיון מופיעות גם השאלות שיהוו את הבסיס להמשך המחקר, במחקרים שיתקיימו בעתיד.

- **מקורות (ביבליוגרפיה)** – כל אמירה המסתמכת על מחקרים קודמים חייבת לכלול את הציטוט המדויק של המקור.

אפשר לראות מאמר מדעי כבנוי מהכלל לפרט ושוב לכלל. הכלל ניכר ב"מבוא" וב"דיון" שמתייחסים לקשר בין המחקר המתואר במאמר למחקרים אחרים. הפרט ניכר ב"שיטות" וב"תוצאות" המתייחסות למחקר המתואר במאמר.

בסגנון הכתיבה של מאמר מחקר נשמרת אחדות. הסגנון מאופיין בהצגה מדויקת ועובדתית של המחקר, ובהפגנת שפע (שלפעמים גובל בעומס) של פרטים בעיקר בכל הקשור לשיטות העבודה ולתוצאות.

בדרך כלל לא ניתן למצוא אזכור מפורש של כל השלבים המאפיינים את "שיטת החקר" ברוח שבה הדבר מופיע בקטעי אנסין או במעבדות חקר של תלמידים. למשל, נדיר למצוא ניסוח של שאלת החקר או ההשערה או ציון מפורש של המשתנים או הגורמים הקבועים בניסוי.

מאמר "טוב":

- מציג את הפירות של מחקר שבו החוקרים מצליחים לתכנן ולבצע ניסויים המתאימים לשאלה שנשאלה, "תוקפים" את שאלת המחקר מכמה כיוונים, מקפידים על בקורת, שומרים על גורמים קבועים וכו'.

- מציג את המחקר בצורה ברורה ומדויקת.

- מציג את התוצאות שהתקבלו בדרך ברורה והולמת לאופיין.

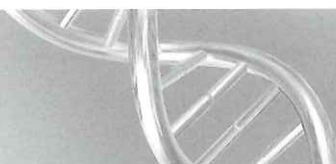
- מפגין גישה ביקורתית לתוקף התוצאות – אינו מתעלם מסתירות המתגלות בתוצאות עצמן או מתוצאות המפריכות את ההשערות שהועלו בו.

נראה לנו חשוב לדון עם התלמידים על המבנה של מאמר מחקר. חשיבותו של דיון זה היא כפולה:

- א. מבחינת **האוריינות המדעית** – בכך שהוא מציג לתלמידים את המאפיינים של מאמרי מחקר, וזו הזדמנות לחזרה על עקרונות "שיטת החקר" ולהשוואה בין מאמרי מחקר ובין צורות אחרות של דיווח מדעי שהתלמידים מכירים (מאמרים מסכמים, כתבות בעיתונות היומית).
- ב. מבחינה **מטקוגניטיבית** – בכך שהוא יכול להבהיר לתלמידים את מקור הקשיים שהם יכולים לצפות בעבודתם עם מאמרי המחקר ובכך להקל עליהם את ההתמודדות.

יש באפשרותכם להחליט אם ברצונכם לדון עם תלמידים על המאפיינים של מאמרי מחקר לפני קריאת המאמרים או לאחר שהתלמידים הכירו וניתחו לפחות מאמר אחד. רצוי שהדיון יעסוק בשאלות הבאות:

- מה הם החלקים המאפיינים מאמר מחקר?
- למה משמש מאמר מחקר?
- מהו מאמר "טוב"?
- כיצד הקורא (חוקר או תלמיד) יכול לוודא שהמידע הכתוב במאמר הוא נכון ואמין?
- מה בין ספרות מדעית כופולרית לספרות מדעית מקצועית?
- מה בין מאמר מסכם למאמר מחקר?
- האם תהליך המחקר המדעי מתרחש תמיד ברצף קבוע, לפי עקרונות "שיטת החקר"?



חשיבות ההוראה באמצעות מאמרי מחקר מעובדים

מהי תרומת ההוראה של נושא המבוסס על מאמרי מחקר מעובדים במסגרת הוראת הביולוגיה בחטיבה העליונה? באיזו מידה דרך ההוראה הזאת מקדמת את רכישת מיומנויות החקירה, שהיא מטרה מרכזית בהוראת הביולוגיה? האם צפוי שהתלמיד ידע להשתמש במיומנויות הנרכשות בדרך זו גם בדרכי לימוד אחרות (תופעה הנקראת בספרות המקצועית בשם transfer)? מה הם היתרונות לתלמיד המנסה להתמודד עם צורת הכתיבה המיוחדת של מאמרי מחקר (דיווח ראשוני), לעומת תלמיד שהכיר רק דרכים אחרות להצגת ידע מדעי, כמו למשל מאמרי סקירה בכתבי עת של מדע פופולרי (דיווח משני)?

אנחנו מקווים שהלמידה באמצעות מאמרי מחקר מעובדים תתרום לתלמיד בשלושה מישורים:

1. במישור הקוגניטיבי היא תהווה:

- הזדמנות להמחשה מציאותית של השלבים השונים של שיטת החקירה.
- היכרות עם שפת התקשורת המדעית.
- הזדמנות לבחון את הרציונל העומד מאחורי תכנון הניסויים ושיטות העבודה.
- התנסות בקריאה משמעותית וביקורתית.
- התנסות בפתרון הבעיות המוצגות בעבודת המחקר.

2. מבחינת התנסות חוויתית בפילוסופיה של המדע היא תאפשר:

- שותפות לפעילות האינטלקטואלית הכרוכה בעשייה מדעית, על הדינמיות האופיינית שלה.
- הבנה שבמדע מתרחשים שינויים תכופים בכיווני המחקר, בשאלות הנשאלות ובמכלול המושגים המשמשים בסיס ידע. לכן אין לראות את התהליך המדעי כמצטבר ובעל התקדמות חד-כיוונית.

3. במישור האפקטיבי-ריגושי היא תהווה:

- עיסוק בלמידה בדרך מאתגרת וחדשה, המכבדת את מיומנויות הלומד.
- אפשרות להזדהות עם החוקר על-ידי הצטרפות לעשייה מדעית (ולו רק בדרך וירטואלית).
- יצירת סקרנות ועניין, כאשר המאמר נקרא כסיפור מתח שסופו אינו ידוע מראש (ראה בהמשך דגם ה"דו-שיח").



רציונל פדגוגי ותוכני של הספר לתלמיד "מאלפי הגנים - קובץ מחקרים בביוטכנולוגיה"

מהי ביוטכנולוגיה בספר זה?

מבין שפע ההגדרות המת"חסות לתחום הביוטכנולוגיה, בחרנו בהגדרה פשטנית לכאורה: **"ביוטכנולוגיה היא פתרון בעיות באמצעות ידע ביולוגי"**, הגדרה שסביבה נבנה הרציונל הפדגוגי של הספר.

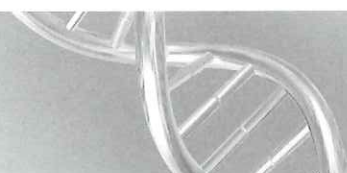
כאשר אנו אומרים **פתרון בעיות** אין בכוונתנו שיש בהכרח פתרון מוחלט. כאשר פותרים בעיה, הפתרון בדרך כלל הוא זמני: הוא פרי פועלם של החוקרים, הוא בא לענות על צרכים מסוימים, ונובע ממגבלות הקיימות בזמן הפעלתו. אולם קיימת אפשרות שבשלב מסוים, בגלל צרכים משתנים או בגלל תוצאות שלא נצפו בעבר ובעיות חדשות שמתעוררות בהפעלתו, הפתרון המוצע כבר לא יספק את הצרכים. לכן כאשר התלמידים קוראים את המאמרים, הם מוזמנים להיות ביקורתיים ולהתייחס לפתרונות המוצעים כדבר שאפשר לשפר. התלמידים יכולים גם להעלות פתרונות משלהם לבעיות המוצעות בספר או לבעיות שהם מעלים בעצמם. מכיוון שביוטכנולוגיה היא תחום המשתנה בהתמדה, יש לכבד פתרונות של תלמידים, גם אם אינם מיושמים (עדיין!)?), בתנאי שהם מבוססים על ידע ביולוגי נכון.

הידע הביולוגי שאמור לשרת את התלמיד בבואו להבין את הפתרונות המוצגים ובבואו להציע פתרונות נוספים, מקורו בנושאים שהתלמיד למד בשלושת נושאי הליבה וביניהם הפרק "מ-DNA לחלבון" במסגרת נושא התא. בנוסף לכך, מכיוון שהתלמיד נדרש לבצע סינתזה בין נושאי לימוד שונים, הלימוד של הספר "מאלפי הגנים" עשוי לתרום גם לשיפור יכולתו להתמודד עם שאלות חוצות תחומים, לפי תוכנית הלימודים החדשה וגם כחזרה על נושאים שנלמדו בעבר ואולי נשכחו חלקית.

תלמידים שלמדו נושאי בחירה כמו תורשה ומיקרואורגניזמים יוכלו ליהנות מחפיפה מסוימת עם תכני הספר "מאלפי הגנים". אך לפי דעתנו ועל-פי עדותם של מורים שלימדו את הספר "מאלפי הגנים" בכיתה י"א, לפני ההוראה של נושאי הבחירה, אין שום צורך ללמד נושא בחירה כלשהו כתנאי מקדים ל"מאלפים".

ביוטכנולוגיה חדישה מול ביוטכנולוגיה מסורתית

בחרנו להתרכז בנושאים השייכים לתחום הביוטכנולוגיה החדישה שמתבססת על הנדסה גנטית מכמה סיבות. בראש ובראשונה מכיוון שזהו תחום דינאמי, מעורר עניין ודמיון באפשרויות הטמונות בו. תחום שתופס היום את תשומת הלב הציבורית ומככב באמצעי התקשורת. זהו גם תחום



שמכריז על עצמו כמספק אפשרויות תעסוקה בהווה ובעתיד והתלמידים שלנו אינם אדישים גם להיבט זה. מכיוון שתוכנית לימודים, המשתרעת על 30-40 שעות, חייבת להיות ממוקדת, אנחנו מציגים בצורה מצומצמת ביותר את תחום ביוטכנולוגיה המסורתית. הדבר נעשה אך ורק לשם השוואה ועל מנת שהתלמיד יבין שביוטכנולוגיה, כפיתרון בעיות באמצעות ידע ביולוגי, התחילה לפני מאות שנים. גם את הקשר בין ביוטכנולוגיה לחיי היומיום, אפשר לעשות בקלות מתוך התייחסות לתחום הביוטכנולוגיה המסורתית של מוצרי המזון ושל תעשיית התרופות.

תחומי עניין תוכניים

מבחינת תכנים, מטרתנו המרכזית היא שהתלמידים יכירו את מגוון היישומים של הביוטכנולוגיה בחקלאות, ברפואה ובשמירה על איכות הסביבה. מטרה נוספת היא הבנתם של שני עקרונות מרכזיים בתחום הביוטכנולוגיה: עיקרון שבירת מחסום המינים (העברת גן מאורגניזם אחד לאורגניזם ממין אחר) ועיקרון מודולריות הגן (חיבור בין אזור בקרה של גן אחד לאזור המבני של גן או אופרון אחר, ליצירת גן תפקודי ביצור מסוים). הכרת התהליכים הביוטכנולוגיים (שיטות) היא משנית עבורנו. לכן, השיטות מוצגות באופן עקרוני, תוך הבלטת העקרונות הביולוגיים העומדים בבסיסן. מנגד, חשוב לזכור שהשיטות מאפשרות לתלמידים להבין את דרך העבודה של החוקר וממחישות את הקשר בין שיטת המחקר שנבחרה על-ידי החוקר לתוצאות שאליהן הוא מגיע. לכן, ומתוך מודעות לקושי בהוראת שיטות ברמת המיקרו, השתדלנו לשמור על איזון עדין ברמת ההעמקה של השיטות שאנחנו מביאים לתלמידים ובמספרן.

מבנית המבוא

מבנית המבוא בנויה סביב מספר סיפורי מקרים, שתפקידם:

- להמחיש את העובדה שהביוטכנולוגיה מספקת מענה לצרכים האמיתיים של החברה האנושית.
- להמחיש את החשיבות של השלבים הראשונים בפתרון בעיה ביוטכנולוגית בהם החוקר מנתח את הבעיה שנוצרה ואוסף את המידע הרלוונטי לפתרונה.
- להציג את המגוון הרב של שיקולים שבהם צריך להתלבט על מנת ליישם פתרון אפשרי בביוטכנולוגיה.
- לתת לתלמיד את ההזדמנות לקדם בעצמו, בעזרת הידע הביולוגי שלו, את המקרה הביוטכנולוגי הנחקר.
- להציג את העקרונות המשותפים לפתרון של בעיות שונות בתחום הביוטכנולוגיה.

שלושת המקרים המוצגים במבנית המבוא הם:

מקרה האריתרופואטיין, בפרק א'.

מקרה הורמון הגדילה מאדם שהונדס בחיידקים, בפרק ב'.

מקרה הצמחים העמידים לחרקים באמצעות גן המקודד לרעלן מחיידקי ה-Bt, בפרק ג'.

במבנית המבוא משולבות מספר רב של **משימות ושאלות**. הן מאפשרות לתלמיד, בין השאר, לקדם את המקרה בעצמו, להתלבט לפני קבלת התשובה באמצעות המורה או הספר וליצור מוכנות וסקרנות לקבלת מידע חדש. חלק מהשאלות מיועד לדיון בכיתה, בחלק אחר המורה יכול לעשות כל שימוש הנראה מתאים לו ולכיתתו. בפרקים בנושא "תשובות לשאלות" תוכלו למצוא התייחסות גם להצעותינו לגבי השימוש המתאים בשאלות שונות.

מבנית המבוא היא מודולרית בכמה מובנים:

- מבחינת **רצף ההוראה** המלצתנו היא לא ללמד את מבנית המבוא כמקשה אחת, אלא להתקדם ברצף הבא:

1. פרק א' וב' של מבנית המבוא.
2. המאמר: "פיתוח חיישן ביולוגי לאיתור חומרים הפוגעים בחומר התורשתי".
3. פרק ג' של מבנית המבוא.
4. המאמר: "ביטוי רעלן של חיידק ה-Bt בכלורופלסטים של צמחי טבק מקנה לצמחים עמידות בפני חרקים".
5. פרק ד' של מבנית המבוא.
6. המאמר: "טיפול במחלה ADA-SCID על-ידי ריפוי גני של תאי גזע ממוח העצם".

- **משימות הסיכום** של היחידה מחולקת לשניים:

1. בסוף הפרק הראשון התלמיד מתבקש להעלות בעיות אותן הוא משער שאפשר לפתור בעזרת כלים ביוטכנולוגיים.
2. בסוף הפרק האחרון של מבנית המבוא, התלמיד מתבקש לארגן לעצמו "ארגז כלים" מהידע הביוטכנולוגי שרכש במהלך כל הלימוד ולנסות להיעזר בכלים אלה כדי להציע פתרון לאחת הבעיות שהוא העלה בשלב הקודם.

- **פרקי הרחבה** (המסומנים באופן ברור על-ידי רקע ירוק) משובצים במבנית המבוא. ברוב הכיתות, הוראת פרקי ההרחבה יכולה לתרום להבנת התמונה השלמה על-ידי התלמידים וכתשובה לשאלות שהתלמידים יכולים להעלות בעצמם. עם זאת, בגלל מורכבותם, התכנים שבפרקי ההרחבה לא יכללו בתכנים הנדרשים להערכה.



בחירת המאמרים

הגורם המרכזי שקבע את בחירת המאמרים הוא יצירת גיוון מבחינת:

- האורגניזמים המעורבים בתהליך הביוטכנולוגי המתואר: חיידקים, צמחים, אדם.
- השלב שמתואר במאמר בדרך הארוכה שבין שולחן המעבדה ליישום בשדה.
- נושאי הליבה שמתוכם התלמיד מגייס את הידע שמאפשר לו להבין את המאמר.
- העקרונות הביולוגיים הבאים לידי ביטוי במאמר.

עקרונות נוספים שהנחו אותנו בבחירת המאמרים היו:

- רמת הרלוונטיות של הנושא לחיי היומיום.
- רמת החשיפה של הנושא בכלי התקשורת המדעיים הפופולריים ובכלי התקשורת היומיומיים.
- הכלים שהתלמיד מקבל לפתרון בעיות אחרות.
- "הקשר הישראלי" – שניים מתוך שלושת המאמרים הם כרי מחקר של קבוצות הפועלות בארץ.
- היכולת שלנו לעבד את המאמר בצורה ידידותית לתלמיד.

עיבוד המאמרים

בתהליך העיבוד של המאמרים היה לנו חשוב להשאיר על קנו את הרצף הלוגי של המאמר (ראו פרק בנושא "המאפיינים של מאמרי המחקר") על מנת שהתלמיד יכיר את הדרך שבה מדענים מדווחים על הממצאים שלהם. בתהליך העיבוד ניסינו לפשט את המאמרים מבלי לפגוע ברציונל החוקר ובמסרים העיקריים של המאמר.

תמצית: בתהליך העיבוד של התמצית לא ניסינו להשמיט את שפע המושגים המאפיינים את הפרק הזה. התמצית יכולה לשמש את המורה כ"קיש קפיצה" לתוך המאמר, למשל, לפי דגם הדו-שיח (ראו פרק בנושא "אסטרטגיות להוראה באמצעות מאמרי מחקר מעובדים"). דרך חלופית לטפל במידע הרב הנמצא בתמצית היא לדלג עליה בקריאה הראשונה של המאמר ולחזור אליה כסיכום, בסוף הקריאה.

מבוא: הרחבנו את פרק המבוא והבאנו בו גם ידע שלא הופיע במאמר המקורי על מנת לגשר על פערי הידע של התלמיד. בשניים מהמאמרים (צמחים עמידים וריפוי גני) המבוא יוצר קשר עם תכנים שהוצגו במבנית המבוא. המבוא של המאמר על החיישנים מתחבר לידע קודם של התלמיד בתחום של איכות הסביבה.



שיטות וחומרים: בפרק הזה הבאנו את עקרונות השיטות שבהן השתמשו החוקרים. מצד אחד, השארנו פרטים כמו הטמפרטורה שבה גודלו החיידקים, מספר התאים שהוחזר לחולות בתהליך הריפוי הגני או השם המדעי של אחד היצורים (עש), מכיוון שיש להם משמעות ביולוגית ועל מנת להמחיש לתלמיד את התכלית האמיתית של פרק ה"שיטות וחומרים" במאמר המקורי. מצד שני, את רוב השיטות הצגנו בעזרת תרשימים, או באופן שעושה שימוש בתכנים של מבנית המבוא. בכמה מקרים שבהם לא רצינו לפרט את השיטה הנדונה, אך לא רצינו לפגוע בסגנון המדעי, השתמשנו בביטוי "כפי שמפורט בעבודות אחרות", שנפוץ מאד בספרות המקצועית.

תוצאות: התרכזנו בתוצאות הקשורות בשאלת מחקר אחת או שתיים לכל היותר, מתוך כמה שאלות מחקר שבהם מטפל המאמר המקורי, על מנת להביא לתלמידים רק את התוצאות העיקריות של המאמר. עיבדנו את הגרפים על מנת שיהיו ברורים לתלמידים מבחינת הערכים של הצירים, אך הקפדנו להשתמש בתוצאות המקוריות, גם אם הן לא תמיד חד-משמעיות.

דיון: בפרק זה הדגשנו את המשמעות הביולוגית של התוצאות גם אם היא לא מופיעה במאמר המקורי. הוספנו גם התייחסות למחקרים רלוונטיים שהתפרסמו בזמן מאוחר יותר ולכן מחברי המאמר המקורי לא דנים בהן.

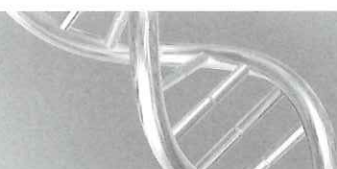
חשוב מאד לזכור שלמרות שמדובר בעיבוד, לא שינינו את התוצאות ואת מסקנות החוקרים. לכן יתכן, שלכם כמורים וכן לתלמידים תהיה ביקורת מוצדקת על חלק מהתוצאות. כמו כן, יתכן שהמאמרים המעובדים יעוררו שאלות רבות שלחלק מהן תתקשו למצוא תשובה במאמר עצמו. תוכלו לקרוא יותר על דרכי ההוראה בעזרת מאמרי מחקר בפרק "אסטרטגיות הוראה באמצעות מאמרי מחקר".

אסטרטגיות הוראה באמצעות מאמרי מחקר מעובדים

מגוון רחב של שיטות מומלצות להוראה באמצעות מאמרי מחקר משקף את המטרות השונות של ההוראה, את סגנון העבודה ואישיותם של המורים ואת הצרכים המיוחדים של תלמידי הכיתה.

סריקת ספרות לצורך איתור של מידע או על מנת להתעדכן בידע רב מאפיינת בעיקר חוקרים או תלמידים המצויים היטב בחומר העיוני. המודל המתאר קריאה מסוג כזה מכונה "סריקה – רפרוף – קריאה" (1), והוא לא יעסיק אותנו בהמשך, היות שלפי דעתנו הוא אינו מתאים למטרות הפדגוגיות של למידה באמצעות מאמרי מחקר.

לעומת זאת, קריאה לשם הגשמת המטרות הדידקטיות והקוגניטיביות שתוארו לעיל דורשת השקעת זמן ממושך יותר ומבוססת על יצירת "יחסי גומלין" בין התלמיד למאמר. יחסים אלה יכולים לנוע לאורך ציר בעל מורכבות משתנה, כפי שיומחש בהמשך.



על מנת להגשים מטרות אלה, אנו ממליצים על דגם הוראה שהגדרנו כדגם ה"דו-שיח", אשר נוסה בהצלחה בכיתות.

דגם ה"דו-שיח" לקריאת מאמרי מחקר

בדגם ה"דו-שיח" (3) התלמיד נדרש ללוות את החוקר בתהליך העשייה המדעית. התלמיד מעלה שאלות, מנסח השערות, מציע שיטות חקר מתאימות ומנסה לתכנן ניסויים שיענו על שאלות החקר. הוא מתאר את התוצאות שיחזקו או יפריכו את ההשערות שניסח ובודק את תקפותן של מסקנות החוקר. במילים אחרות, בכל שלב ושלב התלמיד מציע את הצעותיו בנוגע להמשך המחקר ומוצא להן חיזוק או הפרכה בהמשך הקריאה במאמר.

תפקיד המורים לתווך בין התלמיד למאמר על-ידי עידוד ההשתתפות של התלמידים בדיון המתקיים בכיתה, שאילת שאלות מנחות ויצירת אווירה נעימה המעודדת את מעורבות התלמידים.

על מנת להשתמש בדגם הוראה זה, מומלץ להתקדם לפי רצף העבודה המתואר להלן:

- קריאה מונוחית בשלבים של חלקי המאמר השונים: כותרת המאמר, התמצית, המבוא, השיטות וכו' עד לסוף המאמר. מצאנו שקריאה בקול רם מכי אחד התלמידים עוזרת לשמירת על קצב התקדמות אחיד, אך הדבר אינו הכרחי.
- בכל שלב ושלב, לאחר הפסקת הקריאה, עורכים דיון שבמהלכו התלמידים מנסחים שאלות. השאלות יכולות להיות שאלות הבהרה או שאלות ברמה גבוהה יותר, כמו אנליזה ויישום. בנוסף, בהתאם לחלק המאמר הנקרא, התלמידים מעלים הצעות ומציעים כיוונים אפשריים להמשך המחקר.
- מומשיכים בקריאת החלק הבא, ובודקים אילו שאלות שנשאלו בשלבים הקודמים קיבלו מענה במאמר עצמו, ואילו הצעות של התלמידים התאימו לדרך העבודה של החוקר.

דוגמה להמחשה (משיעור בו המורה דנה עם התלמידים על כותרת והתמצית של המאמר):

ס: עכשיו, תקראו בבקשה בשקט שוב את הכותרת ותנסו להעלות שאלות שנראה לכם חשוב לשאול על פי הכותרת עצמה. כרגע שאלות על פי הכותרת. שאלות ש... על דברים שאתם לא מבינים או דברים שהייתם רוצים לדעת, שאתם מבינים אבל הייתם רוצים לקבל עליהם מידע נוסף.

ת: איזה חומרים?

ת: כיצד מאתרים את החומרים?

ס: רגע, אחד אחד

ת: איזה חומרים פוגעים בחומר התורשתי?

מ: בואו נרשום את הדברים. אחד, את אומרת אילו חומרים פוגעים בחומר התורשתי?

ת: איך מאתרים את החומר, את החיישן?

מ: איך מאתרים את החיישן?

ת: מה זאת אומרת חיישן, איך הוא יראה, כאילו מה?

ת: איך הוא יראה החיישן, באיזה צורה הוא 'בוא'?

ת: איך הם פוגעים בחומר התורשתי?

מ: כשאתם אומרים הם למה אתם מתכוונים?

ת: לחומרים

מ: באיזו צורה החומרים פוגעים בחומר התורשתי. עוד שאלות? כי שימו לב זה לא מי יודע מה ברור. אנחנו ישר צללנו לתוך תחום שאנחנו לא מכירים ממש והכותרת נראית ברורה או לא? למי שלא נמצא בתחום?

כ: לא ברורה

מ: לא כל כך, נכון מאד. עכשיו אז בואו נראה, יש עוד איזה שהם שאלות שאתם הייתם רוצים לשאול לפי הכותרת? אין? בסדר. בואו נקרא עכשיו ביחד את התמצית וננסה לראות אם אנחנו יכולים כבר לקבל תשובה על חלק מהשאלות. מירב רוצה?

תלמידה קוראת את התמצית למאמר

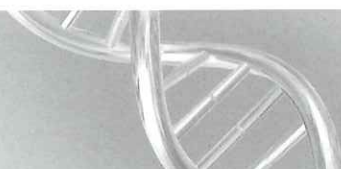
מ: מאה אחוז. תנסו עכשיו לראות אם אתם כבר יכולים לקבל כאן תשובה על חלק מהשאלות שהעלתם לגבי הכותרת. תקראו שוב בנחת ותנסו לראות. עכשיו חוץ מתשובות, כאן אנחנו נרשום תשובות אבל אתם יכולים גם להעלות שאלות חדשות. פה זה היה שאלות על הכותרת ופה אנחנו נרשום שאלות על התמצית (המורה מחלקת את הלוח לשתיים). אז תעברו שוב, תקראו ותנסו לראות אם אתם מוצאים תשובות לשאלות ששאלנו או שאלות חדשות שמטרידות אתכם. קחו לכם כמה דקות. לא לרוץ.

ת: החיישנים זה בעצם חיידקים ביולוגים

מ: החיישנים זה בעצם מה אמרת?

ת: חיידקים שהונדסו

מ: אתם אומרים שבעצם החיישנים זה חיידקים. זאת תשובה לאיזו שאלה ששאלנו?



ת: 3

ת: מה זה חיישן?

מ: אה, מה זה חיישן? אז אתן אומרות שהחיישנים הם חיידיקים

מ: אתם יכולים לדעת עוד משהו?

ת: כן, את שאלה 2

מ: לא לא לא, שניה, לגבי שאלה 3

ת: שהם הונדסו

מ: חיידיקים, עוד משהו לגביהם? עוד איזשהו פרט?

ת: הם עברו הנדסה גנטית

מ: שעברו תהליך של הנדסה גנטית

ת: הם גם מאירים יותר בנוכחות רעלן

מ: עכשיו, מכיוון שאנחנו דיברנו, זאת אומרת נאמר לנו שהם עברו תהליך של הנדסה גנטית.

מה אנחנו מבינים מזה? מה אנחנו מבינים מזה שהם עברו תהליך של הנדסה גנטית? איזשהו רעיון?

ת: שאולי השתילו בתוכם איזשהו גן?

מ: הכניסו לתוכם איזשהו גן. נכון. האם נאמר לנו איזה גן?

ת: כן, שהם מאירים יותר בנוכחות רעלנים

ת: לא איזה גן, כאילו מה הוא עושה, למה הוא גורם

כדאי לשים לב לכמה דברים:

- השאלות הנשאלות מגוונות מאד והן נעות בין שאלות אינפורמטיביות לשאלות מחקר.
- המורה רושמת על הלוח ומקבלת את כל השאלות המועלות, מבלי לפסול או לתקן אותן וגם מבלי לענות, אף כי התשובה ברוב המקרים ידועה לה מהמשך המאמר. יש לכך חשיבות כפולה:
- גם תלמידים חלשים, שבדרך כלל משתתפים כחות בשיעור, יכולים לתרום שאלות, גם אם הן ברמה נמוכה יותר.

- התלמידים מוצאים **בעצמם** את התשובות לחלק גדול מהשאלות על-ידי הקריאה של תמצית המאמר.

בדו-שיח של התלמידים עם המאמר אפשר להיעזר במרכיבים נוספים המופיעים במאמר:
דוגמאות להמחשה (משיעור בו מורה (אחרת) דנה עם התלמידים על התמצית של המאמר):

- מ: הציור מוסיף משהו?
 התלמידים מסתכלים על הקריקטורה המופיעה בשער של המאמר.
- ת: כן
 מ: אם כן, מה?
 ת: זה שהזה, הוא מציל
 ת: זה שהוא צועק, הוא מאיר
 ת: כאילו הוא מודיע עם הפנס
 מ: קורא, זה מה שאמרת?
 ת: זה החומר התורשתי שקורא
 מ: אה, את אומרת שזה החומר התורשתי שצועק
 ת: החייון מודיע על הבעיה של החומר התורשתי
 מ: למה?
 ת: למה כי החומר התורשתי לא מודיע
 ת: כי כשצועקים אס.א.אס. אז הוא קורא לעזרה
 מ: אה, את אומרת שזה יכול להיות ככה או ככה. או שהחייון מגלה תקלה וקורא לעזרה או שהחומר התורשתי קורא לעזרה. ויש עוד איזה פרטים בציור?
 ת: הוא שט כזה
 מ: איפה הוא נמצא? בים הוא נמצא, בנוזל. ומה הוא מחזיק ביד?
 כ: מנורה
 מ: הוא מחזיק ביד מנורה



אפשר לראות, שכבר בשלב ראשוני של העבודה על המאמר, התלמידים מתחילים להתייחס לנושאים שעליהם ימשיכו לקרוא בהמשך. דבר זה יוצר מוכנות להבנת התכנים והרציונל של החוקה.

אפשר לשלב במודל הדו-שיח שאלות המופיעות בדף "שאלות למודל הדו-שיח" על מנת לגוון ולהעשיר את ההוראה.

את השאלות לחלקים שונים של המאמר, שלא מוצאים להן תשובה על-ידי קריאת החלק הבא של המאמר, אפשר לרשום על שקף או על דף. אפשר לחזור לשאלות אלה עם הסיום של קריאת המאמר, לצורך דיון מסכם. אפשר להתייחס לחלק מהשאלות, שלא קיבלו תשובה במאמר, כשאלות המתאימות למחקרים שיבוצעו בעתיד.

לסיכום, אנו מוצאים ביישום דגם ה"דו-שיח" את היתרונות האלה:

- התלמיד מרגיש שותף במחקר ולכן המוטיבציה שלו להמשיך את הקריאה עולה.
- בדומה למדען, גם לתלמיד מותר "לטעות" ולשנות את השערתו.
- הדגם מתאים להוראה בכיתה הטרוגנית שכן ניתנת לגיטימציה לסוגים שונים של שאלות.
- בהמשך, התלמיד יכול להפנים את דגם ה"דו-שיח" וליישם אותו גם בקריאה עצמאית של מאמרי מחקר או בקריאה בקבוצות.

חשוב לציין שלדגם הדו-שיח יש גם מספר חסרונות:

- ההוראה באמצעותו איטית יחסית
- עם הזמן, יתכן שהתלמידים מתחילים לאבד עניין בחזרות המרובות על התהליך של שאילת שאלות ומציאת תשובות. לכן, רוב המורים שצפינו בהם העדיפו להשתמש בדגם הדו-שיח בחלקים הראשונים של המאמר.

דגמים נוספים להוראת מאמרי מחקר

גם אם המורים מוצאים שדגם ה"דו-שיח" מתאים לכיתתם, הצעתנו היא שלא להשתמש בו כדגם הוראה יחיד. מורים וחוקרים פיתחו דגמים וסגנונות נוספים להוראה באמצעות מאמרי מחקר, ואלה נמצאו יעילים לעבודה בחטיבה העליונה.

לפניהם חלק מהדגמים הללו:

1. **שימוש בשאלות מנחות** – קריאה עצמית של המאמר או של קטעים ממנו בצירוף שאלות מנחות. דגם זה יכול להתאים לאחר שהתלמידים תרגלו את דגם ה"דו-שיח", משום שבמהלך הקריאה העצמאית הם יכולים להיעזר במיומנויות שרכשו.



דרך זאת יכולה להתאים למשל לקריאת פרק התוצאות של המאמר הן בצמחים עמידים, בליווי שאלה 12 המופיעה בסוף המאמר.

לרשותכם שני סוגים של שאלות:

א. שאלות המופיעות בספר לתלמיד בסוף המאמרים – אלה שאלות ברמה יחסית פשוטה, שלרובן יש תשובה חד משמעית מתוך המאמר או בתכנים שעל התלמיד לדעת.

ב. שאלות ממאגר השאלות הנוספות המופיעות במדריך זה. אלה שאלות מכמה סוגים:

- שאלות ברמה גבוהה יחסית של ישום, אנליזה, סינתזה או הערכה
- שאלות לדיון בכיתה שהתשובה אליהן אינה תמיד חד-משמעית
- שאלות חזרה על תכנים רלוונטים מנושאים אחרים
- שאלות המשתלבות בהוראה בדגם הדו-שיח

על המורה להרגיש חופשי לבחור מבין השאלות שבמאגר אותן שאלות שמתאימות לדרך הוראתו ולרמת כיתתו.

2. **ניתוח נושא** – קריאה עצמית של המאמר וניתוח מונחה של נושא מסוים מתוכו שהוא בדרך כלל נושא בעייתי יותר או נושא שהמורה מעוניין להדגיש במיוחד, כמו שיטות עבודה מורכבות או מושגים חדשים. דרך זאת יכולה להתאים, למשל, להוראת שיטת ה-ELISA במאמר הצמחים העמידים.

3. **שיטת הג'גסו** – כל קבוצת תלמידים מקבלת קטע אחר של המאמר, מתמודדת עם קריאתו ומסכמת אותו. הצגת הקטעים לפני כל הכיתה נעשית לפי רצף הופעתם במאמר. בהמשך, חיוני שהתלמידים יקראו בצורה עצמית או בזוגות את כל המאמר, רצוי בצירוף שאלות מנחות על מנת להגיע להבנת המכלול השלם.

דרך זאת יכולה להתאים למשל ללימוד פרק התוצאות של המאמר הן בחיידקים ביולוגיים.

4. **שילוב עם מאמרים פופולריים או סרטים** – מאמרים פופולריים מתאימים או סרטים יכולים לשמש כנקודת התחלה קלה יותר להבנה מהמאמר המחקרי. למשל, על-ידי קריאת הכתבה "ילדת הבועה ניצלה בזכות החלפת גנים פגומים" (הכתבה נמצאת באתר המלווה את הספר "מאלפי הגנים") אפשר להעלות שאלות שיכוונו בהמשך את הלימוד באמצעות המאמר הן בריפוי גני. לסיום הלימוד של אותו המאמר, אפשר להביא כתבה פופולרית נוספת (גם כתבה זאת נמצאת באתר) שדנה במקרים בהם התפתחה לויקמיה בילדים שעברו ריפוי גני.

בספרות קיימים דגמי הוראה נוספים, אך אין בכוונתנו להציג סקירה שיטתית וממצה של הדרכים המוזכרות בספרות על קריאת מאמרים מדעיים. למשל, לא כללנו כאן שיטות הנסקרות בפירוט בספר "איך לקרוא מאמר מדעי" (2) או דרכים אחרות שאינן נראות לנו מתאימות ליחידה זאת. כמובן, שכל מורה יכול לפתח ולנסות דגמים נוספים המתאימים לכיתתו.



מומלץ להעדיף רצף של דגמי הוראה שיקנה יותר ויותר עצמאות לתלמיד הקורא, בלי לוותר על פיתוח מיומנויות החקר.

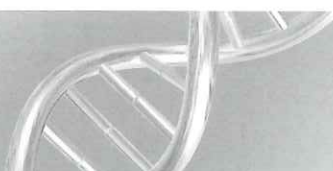
למשל: דגם הדו-שיח, דגם ניתוח נושא, דגם הג'יגסו.

אפשר ורצוי לשלב כמה אסטרטגיות הוראה במסגרת אותו מאמר.

כמו כן, רצוי להימנע מהטלת משימת קריאת מאמר חדש לתלמידים כשיעורי בית (לפחות בשני המאמרים הראשונים הנלמדים) מכיוון שקריאה מהסוג הזה מעודדת הבנה שטחית, שאינה משרתת את המטרות הדידקטיות אותן אנחנו מעוניינים להשיג באמצעות הנושא המחקרי.

ביבליוגרפיה

1. ספקטור-לוי, א' ושרץ, ז' (1999): תקשורת מדעית-טכנולוגית, המחלקה להוראת מדעים, מכון ויצמן למדע.
2. פלד, ל' וברנהולץ, ח' (1995): איך לקרוא מאמר מדעי?, המרכז הישראלי להוראת מדעים, האוניברסיטה העברית בירושלים.
3. Yarden, A. ,Brill, G. & Falk ,H. (2001): Primary literature as a basis for a high school biology curriculum. Journal of Biological Education 35(4), 190-195.



תגובות תלמידים ומורים שהתנסו בלמידה והוראה של הספר לתלמיד "מאלפי הגנים"

תגובות תלמידים

תגובות התלמידים הוקלטו במהלך שיחות בקבוצות מיקוד עם התלמידים בשני בתי ספר תיכוניים במרכז הארץ.

תלמידה 1: זה לא חומר תיאורטי. זה דברים שעשו באמת. הרבה יותר עוזר להבין מה קורה באמת, יותר מחומר תיאורטי. אנחנו יכולים להבין מה עשו באמת ולא רק מה צריך לעשות.

תלמידה 2: התמצית, המבוא, הדיון, באמת, כאילו זה חוזר על הדברים. אבל זה מה שזה טוב. זה חוזר על הדברים החשובים. זה מדגיש את הדברים שאנחנו באמת צריכים לדעת. את החלק התיאורטי. מדגיש גם את הקטע המציאותי. כמו שרותם אמרה, על הקטע של מקרים, של ניסיונות, של כאילו על הקטע של דברים שבאמת צריך ללמוד.

תלמידה 3: לא מוסבר יותר מדי דברים שלא צריך. מוסבר בדיוק מה שצריך, בצורה ברורה. למרות שזו שפה מדעית, שפה עדיין ברורה. בצורה נכונה, וכאילו באמת. בספרים אחרים היה לי הרבה יותר... לא הייתי לומדת מספרים אחרים. מהספר הזה ממש נוח.

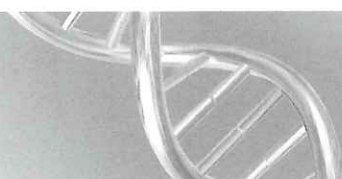
תלמיד 4: כי עכשיו המקצוע שצריכים זה ביוטכנולוגיה וביולוגיה ואז זה מאד חשוב שנלמד את זה.

תלמיד 5: ביוטכנולוגיה, אמרתי, יש מגמה שלמה לזה וזה נשמע נורא מלה מפוצצת כזאת, ביוטכנולוגיה. אבל זה היה ממש מרתק כזה, זה היה כאילו החומר הכי מעניין שלמדנו בביולוגיה.

תלמידה 6: כי זה כאילו משהו שהם ניסו, זה משהו אמיתי, לא? זה לא חומר יבש, כיתה: מוחשי, מוחשי

תלמיד 7: הצורה שבה כתובים שם המאמרים היא נורא מסודרת. שקודם כל אתה צריך שיהיה לך את למה אתה עושה את זה. אחר כך את איך אתה מבצע את הניסוי, את הכלים וזה, את הניסוי עצמו. תוצאות, ובעיני את הדיון אפשר לקצר כי הדיונים שם יותר מדי ארוכים ולפעמים מסתבכים בסוף. אחרי שהבנת את התוצאות, אחרי שהבנת הכל, מתחילים להגיד כל מיני דברים שאולי פוגעים לך בהבנה. אבל, בעיקרון, איך שהנושא בנוי, הרקע ביולוגי, הלמה צריך, הניסוי עצמו, התוצאות. אני חושב שלימד אותנו ש... אחר כך כשאנחנו עושים ניסוי בכיתה, אנחנו יותר מבינים מה שאנחנו עושים.

תלמידה 8: זה לא היה כזה קשה, כי זה מעניין. זה לא קשה.



תגובות מורים

בראיונות ובמהלך שיחות בקבוצות מיקוד עם מורים, הם ציינו שבעזרת ההוראה של הנושא המחקרי:

- חל שיפור ביכולתם של התלמידים להתמודד עם עבודת הבידוע או הביוטופ. גם המורים וגם תלמידיהם התייחסו לדמיון בין המאמר המחקרי לעבודות שהתלמידים צריכים לכתוב וניסו להפיק לקחים מתחום אחד לתחום שני.
- נוצרה בכיתה אווירה של למידה פעילה יותר. תלמידים הרבו לשאול שאלות, להעביר ביקורת על החוקרים ולהעלות הצעות.
- תלמידים הצליחו ליצור קשרי רוחב בין נושאים שונים שלמדו בעבר.
- מדובר בנושא שדורש בין 30-40 שעות הוראה.
- חשוב לערוך מבדקים במהלך ההוראה של הנושא, כמו בכל נושא לימודי אחר.

תשובות אפשריות לשאלות ולמשימות במבנית המבוא

משימה 1, עמ' 8

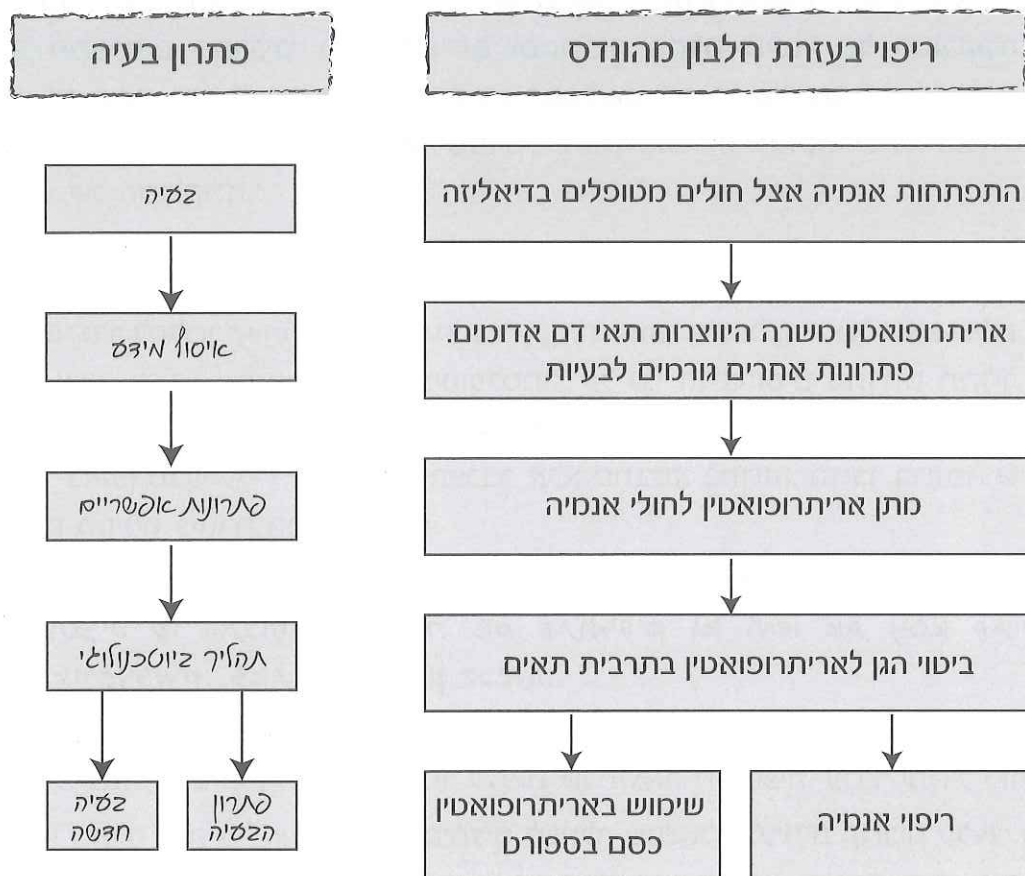
שאלה לאתגאמיה לדיון זכיה, היות וזממשך הגלמדיס מקצזיס גשזזה אשאלות ששאלות. היצט המוקצס הנצרט מהגלמדיס הוא מהנשטא "זיווליה של האצס".

דוגמה לשאלות שתלמידים יכולים להעלות על מנת לקבל מידע נוסף:

- מהי מידת הדמיון בין אריתרופואטין של בקר ושל בני אדם?
 - האם לעירוים תכופים עלולה להיות השפעה שלילית?
 - האם לאגמיה יכולות להיות מסכר סיבות?
1. תוספת תאי דם אדומים: זהו כתרונ סביר, אם כי הוא דורש עירוים תכופים, שעל חסרונם ידובר בהמשך. התלמידים יכולים להעלות בעיתיות במציאת תורמים מתאימים לסוגי דם נדירים.
 2. היות והאגמיה נגרמת בגלל מחסור בתאי דם אדומים, מתן ברזל לא אמור לשפר את מצב החולה.
 3. היות והאריתרופואטין מיוצר על-ידי הכליות בכמויות זעירות, הפקתו ממנות דם באופן מסחרי אינה אפשרית.

4. סביר להניח שאריתרופואטין שמקורו מבקר אינו זהה לחלוטין לאריתרופואטין של בני אדם, ולכן הזרקתו תגרום להופעת תגובה חיסונית.

משימה 2, עמ' 10



משימה 3, עמ' 10

משימה זאת חושפת את המאמצים למלאוון מחומי העיסוק של הזיוטכנולוגיה. היות והחדשות נקטו עד שנת 2003, המאמצים מבקשים לרשם את האקט. סעיף 6 מעודד העלאה של החדשות בהיבטים שונים, מחקריים או חברתיים.

שאלה לא ממוספרת, עמ' 15

משימה זאת מכוונת למנע זלזול אהמסורר זהמשך, כשהגלמידים יחשכו לדרכים שונות לייצוג המולקולה של ה-DNA.

בייצוג א' מתעלמים מהמבנה התלת מימדי של המולקולה.

בייצוג ב' מתעלמים ממרכיבי הנוקלאוטידים, ואי אפשר לדעת מהו הרצף של ה-DNA.

בייצוג ג' מתעלמים ממרכיבי הנוקלאוטידים ומהמבנה התלת מימדי של המולקולה. כל זוג נוקלאוטידים מיוצג רק על-ידי הקשר הקיים בין הנוקלאוטידים המשלימים.

בייצוג ד' מתעלמים מהמבנה של ה-DNA, ממרכיבי הנוקלאוטידים ומהקשרים ביניהם. הקו הרציף מייצג קטע של המולקולה.

משימה 1, עמ' 18

1. הגן המקודד לחלבון הזהר עובר תעתוק בגרעין התא ונוצרת מולקולה של RNA שלית. ה-RNA שלית עובר עריכה ושחבור ועובר לציטופלסמה. על גבי הריבוזומים מתרחש תהליך התרגום ונוצרת שרשרת חומצות אמיניות שמתארגנות ליצירת החלבון הזהר. היות וזהו חלבון שלא מקודד באופן טבעי על-ידי הגנים של העכבר, אלא מתבטא במדוזה, מדובר בדוגמה של שבירת מחסום המינים בעזרת הנדסה גנטית.

2. מטרה של שאלה זאת היא לחק את ההכנה של גלמידים אלגי השקטות אפסריות של מוטציה על הכוונת של יצור. אם הגלמידים לא למדו את נושא הגורשה או מיקרואורגניזמים, זאת שאלה לדיון בכיתה.

מוטציה יכולה לגרום להעלמות תכונה על-ידי השתקת גן, או לשינוי תכונה (שינוי הרגישות של חיידקים לאנטיביוטיקה) אך בלתי סביר לצפות שכתוצאה ממוטציה, עכבר יתחיל לזהר.

3. הוספנו שאלה זאת על מנת לתת לגיטימציה לשאלה שנשאלה לעיתים קרובות על-ידי תלמידים ומורים כאחד.

החלבון הזהר יכול לשמש כסמן ליכולת החוקרים להחדיר את הגן אלגלי. הגלמידים יפלוש זהמשך היחידה את השימוש בחלבונים זוהרים או מאירים בהצמניות שונות (שימוש זלן מדווח וקול מהונצס שגור הלעס שזו הוכנס הגן לחלבון הזהר במזנת המזוא; גן מאיר כלן מדווח במאמר על חיישנים ביולוגיים). דעגנו היא, שזשזל זה אפשר להגלט ולהשאיר את השאלה פגוחה עד לשלז מאוחר יותר של הלימוד. גישה זאת גואמת את הרציונל של דלס הדו-שיח אהוראל מאמרי מחקר (ראו באר המלווה את הספר) ויכולה להכין את הגלמידים לקראתה.

שאלה 1, עמ' 21

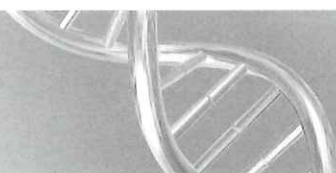
1. בתאי בלוטת יותרת המוח קיימים חלבוני בקרה שמאפשרים את הביטוי של הגן המקודד להורמון הגדילה. בתאים אחרים בגוף, גורמי הבקרה הללו חסרים, ולכן הגן אינו מתבטא.
2. זאת שאלה אודות זכירה, היות והמשוואה נמצאת בהמשך. מטרת הסעיף הראשון לחזור ולהדגיש את החשיבות של שילוב איסוף המידע ושילוב השאלות המכוונות איסוף זה. היות וזמנך האימונים, בדרך כלל גלמיים מקבלים מידע שהם לא בקשו זמנך, אנחנו רואים ששאלות אלה של אימון לקראת הפעלה דגש הדו-שיח להוראה באמצעות מאמרי מחקר.
- מידע נדרש: מקורות אפשריים להפקת החלבון מגוף האדם, דמיון במבנה החלבון בבעלי חיים ובאדם, יעילות ההזרקה של הורמון הגדילה לדם, אפשרות לייצר אותו בהנדסה גנטית (בדרך שהתלמידים הכירו בפרק הראשון של מבנית המבוא לגבי הורמון האריתרופואטין).
3. אם, לפי המידע שנאסף, אפשר ליצור הורמון גדילה בהנדסה גנטית ולהזריק אותו לילדים החולים, נסללת הדרך לרפא את הנסות.
4. היות והגן נמצא בכל התאים של הגוף, אפשר להפיק אותו מכל סוג תאים שנוח להוציא מהגוף. תאי דם לבנים (תאים בעלי גרעין בניגוד לתאי הדם האדומים) יכולים לשמש למטרה זאת. היות ואנחנו רוצים שהגן יתבטא בחיידקים, רצוי להשתמש באזור בקרה של גן מחיידק, שיוכר על-ידי חלבוני הבקרה הנמצאים בחיידק.
5. כפי שיוסבר בהמשך, אזור הבקרה צריך להיות מהאורגניזם אליו מחדירים את הגן המהונדס. במקרה זה – חיידקים. התלמידים יכולים להסתמך בשלב זה על העובדה שבתאי חיידקים ישנם חלבוני בקרה שמפעילים באופן ספציפי אזורי בקרה שמקורם בחיידקים ולכן נדרש שימוש באזור בקרה מחיידקים.

שאלה 2, עמ' 26

השימוש בגן מדווח זוהר, הנמצא על אותו הנשא עם גן שמעוניינים להחדיר לתאי העכבר, מאפשר לבדוק אם תהליך הטרינספורמציה הצליח ואם הגן המהונדס נמצא בכל תאי העכבר.

משימה 2, עמ' 29

1. מדובר במשימה שחוזרת על התכנים של תרשים הזרימה המאזיר בעמוד 30. מטרתה לאפשר לתלמידים לתרגל את המושגים החדשים הקשורים בתהליך השיבוט של גן. מטרה נוספת היא לאפשר הכללה מתהליך הייצור של הורמון הגדילה לתהליך הייצור של חלבון כלשהו. כשלב מכין



אפשר לערוך את רשימת המושגים ולבקש מהתלמידים להסביר את משמעותם. בהמשך ההסבר אפשר לבקש מהתלמידים להביא דוגמה מתהליך השיבוט של הגן להורמון גדילה. אפשר להיעזר בטבלה הבאה:

מושג	הסבר	תרומה לתהליך הייצור של הורמון הגדילה	תרומה לתהליך הייצור של חלבון כלשהו באדם
לדוגמה: RNA שליח	מולקולה בעלת רצף משלים לגדיל אחד של DNA, המכילה את המידע ליצירת שרשרת חומצות אמיניות (חלבון).	ה-RNA שליח של הורמון הגדילה שהופק מגידול במוח נוצל ליצירת DNA משלים של הורמון הגדילה.	יש יתרון בשימוש ב-RNA שליח לצורך הכנת DNA משלים היות והגנים בגנום האדם מכילים אזורים שעוברים עריכה לאחר התעתוק.

2. התרגום של רצף DNA מסוים, ללא קשר למקור ה-DNA, לרצף זהה של חומצות אמיניות, בכל היצורים, ממחיש את העובדה שהצופן הגנטי הוא אוניברסלי.

3. חשוב לבדוק את הדמיון בין החלבון המהונדס לחלבון הטבעי מכיוון שעלול להמצא הבדל בין שניהם מבחינת השינויים שעובר החלבון לאחר התרגום (הוספת קבוצות סוכר, למשל). הבדלים אלה עלולים לגרום ל:

- פעילות משופרת או דווקא עיכוב בפעילות החלבון המהונדס.
- אורך חיים שונה בגוף.
- תגובה חיסונית מוגברת (הופעת אלרגיה) כנגד החלבון המהונדס.

היות ואי אפשר לדעת מראש את ההשפעה של ההבדלים בין החלבון המהונדס לחלבון הטבעי, יש לערוך בדיקות בתרביות תאים, בחיות מעבדה ולבסוף לבדוק גם באדם עצמו, לפני התחלת השיווק.

היצע של מאזינים צריכים אלגייס לצורך הגשמה מלאה של ההנחיות מלן לחלוצן (מארחים שיוניים לאחר הגרלוס) זככניס של נשאוי הליזה (מארכה החיסון מליזה כנלד חומרים זרים אלול, בגוף הגאויס חלוצניס נצרים, אך גס נהרסיס). אנחנו ממליצים להשתמש במשימה כשיעורי זיג, אך אקייס לאחר מכן דיון זכיתה, היות והיא מזוססט של עקרונות שיחלרו בהמשך היחידה.

שאלה 3, עמ' 30

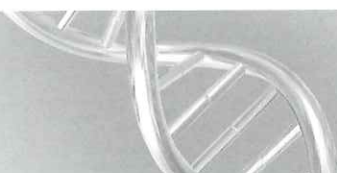
1. אי-אפשר לתת את הורמון הגדילה בצורת גלולות מכיוון שהוא חלבון והוא יפורק במערכת העיכול על-ידי אנזימים מפרקי חלבונים.
2. סכרת נעורים נגרמת על-ידי מחסור בהורמון אינסולין ומטופלת על-ידי הזרקת אינסולין. בהעדר יוד במי השתייה, חל עיכוב ביצור ההורמון שמיוצר על-ידי בלוטת התריס. עיכוב זה יכול לגרום לקצב חילוף חומרים נמוך במיוחד ואף לפיגור שכלי. במקרה זה הפתרון הוא העשרת מי השתייה בIOD (הדוגמאות מתוך הפרק "מערכת ההפרשה הפנימית" בספר "ביולוגיה של האדם").
3. בשני המקרים מדובר במולקולה שיכולה לרפא מחלות על-ידי הוספתה ממקור חיצוני ושקשה להפיקה ממקור לא מהונדס. מכיוון שהורמון הגדילה הוא חלבון שלא צריך לעבור עיבוד שלאחר תרגום הכרוך בהוספת קבוצות סוכר, הוא יכול להיות מיוצר נכון בתאי חיידקים; לעומתו האריתרופואטין חלבון גדול שיכול לעבור עיבוד נכון לאחר התרגום רק בתאים אנימליים. בשני המקרים הטיפול בהורמון המהונדס נמצא יעיל מאוד.

שאלה 4, עמ' 32 (הרחבה)

1. ניתן לגדל בתרבית תאים המתרבים בקצב מהיר: תאי רקמת חיבור, תאי אפיתל, תאי גזע של תאי דם, תאים שמקורם בעוברים בשלב ההתפתחות הראשונים, תאי סרטן.
2. צריך לספק לתאים:
 - מזון – בגוף, המזון מגיע דרך מערכת העיכול לדם ובאמצעותו לתאים.
 - חמצן – בגוף, מגיע דרך מערכת הנשימה לדם, ובאמצעותו לתאים.
 - טמפרטורה מיטבית – בגוף, אנרגיית החום המשתחררת בנשימה תאית ותהליכי חילוף חומרים נוספים, מועברת לכל התאים באמצעות הדם.

בנוסף לעורמים אלה, שסזיר שגלמיזים יסלו זסצמס, אפסר אצזר סל:

- דרך טיפול בהשפעת ההצטברות של הפחמן דו חמצני על החומציות – בגוף,
- הפחמן הדו-חמצני מגיע לדם ומשם מורחק על-ידי מערכת הנשימה, ובנוסף ישנן מולקולות שקושרות את מולקולות ה-CO₂ או את יוני המימן. תאים בתרבית מגדלים בתוך תמיסת בופר.
- הורמונים – מיוצרים על-ידי בלוטות להפרשה פנימית ומועברים לתאי המטרה על-ידי הדם.
- חומרים נוספים המעבירים אותות בין תאים – מיוצרים על-ידי תאים ומועברים לתאי המטרה על-ידי פעפוע או מגע ישיר בין תאים.



3. מולקולה זאת צריכה למלא מספר תנאים:

- החדרתה לתא אינה גורמת נזק לתא ולגוף בכלל
- בעלת יכולת להיכנס לסוג התא הרצוי
- יכולת להכיל את הגן אותו מכניסים ולאפשר את ביטוי
- יכולת לבטא את הגן למשך תקופה ארוכה בתוך תאי המטרה

משימה 1, עמ' 33

1. חומרי ההדברה גורמים נזק למערכת האקולוגית בכמה דרכים (מתוך נושא האקולוגיה):
 - רוב חומרי ההדברה הם רעילים לא רק לאורגניזמים אותם הם מיועדים להדביר.
 - חומרי ההדברה אינם מתפרקים בקלות ולכן מצטברים בתוך הגוף של האורגניזמים במארג המזון.
 - חומרי ההדברה מחלחלים למי התהום ומזהמים אותם.
 - חומרי ההדברה עלולים לגרום להישרדותם של אורגניזמים עמידים מבין האורגניזמים המשמשים יעד להדברה. בצורה זאת יופיעו אורגניזמים עמידים יותר מקודמיהם ויידרשו כמויות הולכות ועולות של חומרי הדברה.

2. גלאיזים יכולים להזיק:

- חומרים שמתפרקים במהירות ותוצרי הפירוק בלתי מזיקים.
- שימוש בחומרי הדברה בריכוזים נמוכים יותר.
- הימנעות מפיתוח עמידות באורגניזמים המודברים על-ידי חלקות לא מרוססות.
- שימוש בהדברה על-ידי אורגניזם אחר.

שאלה 1, עמ' 34

יש צורך להכניס את החרק הטורף מחדש מכיוון שלאחר שהוא מדביר את האורגניזם הנטרף, גם כמותו תרד (עקומת טורף-נטרף). אמנם, לאחר זמן מה, כאשר כמות האורגניזם המזיק תעלה, צפוי שגם החרק הטורף יתרבה שוב, אך החקלאי אינו מעוניין לחכות לכך ולספוג נזקים.

משימה 2, עמ' 34

אפשר להכניס את הגן המשובט לחיידקי אקולי, להפיק מהם את הרעלן בכמות גדולה ולרסס באמצעותו את היבולים. חיסרון של דרך זאת היא שחלבון הרעלן ייהרס במהירות גבוהה בהשפעת גורמי הסביבה ואולי גם ישטף בגשם או השקיה. דרך אחרת היא להכניס את הגן ישירות לתאי

צמח שם יוצר הרעלן. היתרון של שיטה זאת הוא בכך שבאופן תיאורטי, הצמח יהפוך להיות עמיד לחרקים למשך כל חייו. על מנת ליישם פתרון זה יש למצוא דרך להחדיר את הגן המקודד לרעלן לתוך כל תאי הצמח.

שאלה 2, עמ' 38 (הרחבה)

1. הגן לרעלן הוא גן פרוקריוטי, שאינו מכיל אזורים שעוברים עריכה ושחבור. לכן, אפשר לבודד אותו ישירות מתוך הגנום של החיידק באמצעות הכנת ספרייה גנומית. לעומתו, הגן של הורמון הגדילה, הוא גן איקריוטי, המכיל אזורים שלא מתורגמים. כדי להימנע משיבוט האזורים הללו, יוצרים DNA משלים של הגן, על-ידי תעתוק במהופך של מולקולות של RNA שליוח. 2. החיידק יכול את כל הגנים של החיידק א.קולי ורק קטע מסויים של גנום ה-Bt.

שאלה 3, עמ' 38

1. כדי שהגן לרעלן יתבטא בתאי הצמח יש צורך: 2. לחבר לגן לרעלן אזור בקרה של גן הפועל בתאי הצמח – על מנת שהגן יתבטא בתאי הצמח. 6. יש לחבר את גן הרעלן לנשא שיכול לחדור לתאי הצמח. 7. יש לחבר לגן הרעלן גן עמידות לאנטיביוטיקה – על מנת שנוכל לבודד את התאים שהנשא המהונדס חדר לתוכם.

שאלה 4, עמ' 41

המשותף לשתי שיטות הטרינספורמציה הוא החדרת הגן המהונדס לתא, בדרך שמאפשרת את שילובו לתוך ה-DNA של התא. כדי לבודד את התאים שלתוכם השתלב הנשא, מחדירים בעזרת הנשא גם גן המקנה עמידות לאנטיביוטיקה.

שאלה 3, עמ' 43

1. חשוב לבקר את ההרכב של מצע המזון מבחינת הלחץ האוסמוטי (כדי שהתאים לא יהיו במצב של פלסמוליזה), חומציות (כדי, בין השאר, לא לעכב פעילות אנזימים). יש להוסיף למצע המזון סוכרים שמשמשים להזנת הצמח. חשוב גם לבקר את ריכוז הגזים ואת הטמפרטורה. 2. א. צבעו הלבן של הקאלוס מצביע על כך שהוא ניזון באופן הטרוטרופי. מצב זה קיים כשהצמח המצב של נבט. ב. לכן, המצע של הקאלוס חייב להכיל גם חומרים אורגניים כמו סוכרים שימשו לקאלוס כמקור אנרגיה.



שאלה 4, עמ' 44

1. אפשר לקבוע ביטוי של חלבון מהונדס בכמה רמות:
אפשר לאתר את החלבון באמצעות גלאי המורכב מנוגדנים כנגד החלבון המבוקש.
אפשר לבדוק את הופעת התכונה שהחלבון כשתתך בקביעתה, לדוגמה: שינוי בתכונות הרכמה, למשל רכישת עמידות כנגד חרקים.
2. חיידקי המעיים של האדם בדרך כלל אינם גורמים למחלות ומקיימים עם גוף האדם יחסי קומנסליזם או אפילו סימביוזה מסוג הדדיות. עם זאת, רכישת תכונות של עמידות לאנטיביוטיקה יכולה להיות מסוכנת מכיוון שידוע שבמקרים מסוימים חיידקים אלה יכולים להפוך למסוכנים (במקרים בהם מערכת החיסון נחלשת) או אף יכולים להעביר את התכונה לעמידות לחיידקים, שגורמים למחלות שחדרו למעיים. חיידק שרכש עמידות לאנטיביוטיקה עלול לגרום למחלה אלימה בהרבה, היות ואי אפשר יהיה לספל בה באמצעות אנטיביוטיקה.
3. צמח בר שעמיד לקוטלי עשבים עלול להפוך ל"עשב רע" שיתחרה בהצלחה ביבולים ולא יהיה רגיש לשיטות בהם נהוג להדביר צמחים רעים.

שאלה 5, עמ' 48

1. היות והאדם הוא בעל חיים, עיבוד החלבון המקודד על-ידי גן מאדם נעשה בתאים של בעלי חיים בדרך הדומה ביותר לתאי האדם.
2. עדיף להפיק את החלבון ברקמות שיכולות להפריש אותו לסביבה החיצונית של הגוף, בכמות גדולה. לכן, יצירתו בבלוטות חלב נראית פתרון טוב.
3. א. אזור הבקרה יגרום ליצירה מוגברת של הורמון הגדילה, בתנאי הקור השוררים במי הים. הדבר יגרום לעלייה בקצב הגדילה של הסלמון.
ב. יש לוודא שהסלמון המהונדס עקר ואינו יכול להעביר את הגן המהונדס לזן הבר. יש לוודא גם שאין תחרות על משאבים שונים כגון מזון בין הסלמון המהונדס לסלמון הבר, תחרות שעלולה לסכן את סלמון הבר היות והסלמון המהונדס מתפתח מהר יותר.



1. בתהליך מחזורי שחזור על עצמו: כל מחזור כולל שלושה שינויי טמפרטורה.

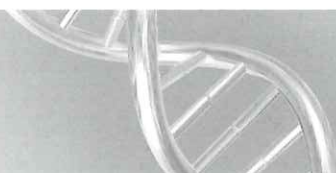
2.

מחזור	מס מולקולות לאחר המחזור
ראשון	2
שני	4
שלישי	8
רביעי	16
חמישי	32

3. הנוסחה היא 2^n . מספר המולקולות הצפוי במקרה זה יהיה $2^{30} = 1073741824 \sim 10^8$ מולקולות

4. בתוך אבקת כביסה ביו ישנם אנזימים המפרקים שומנים וחלבונים, את אנזימי ההגבלה שאותם מפיקים מחיידקים ופטריות.

5. האנזים שמופק מחיידקים החיים במעיינות חמים אינו עובר דנטורציה בחום ולכן אפשר להשתמש בו במהלך כל התהליך של ה-PCR, מבלי שיהיה צורך להוסיף אותו מחדש לאחר כל שלב חימום.



פיתוח חיישן ביולוגי לאיתור חומרים הפוגעים בחומר התורשתי

רעיונות מרכזיים

1. מערכת ניטור למזהמים יעילה כל עוד רגישותה גבוהה וזמן התגובה שלה קצר.
2. כדי לקבל תוצאות ניטור מהימנות ורלוונטיות לבריאות האדם יש להשתמש במגוון חיישנים כימיים וביולוגיים.
3. לשימוש בחיידקים כחיישנים ביולוגיים יש יתרונות משמעותיים: אוכלוסיית מבחן גדולה והומוגנית, התאמה לחיים בבתי גידול שונים, ישום קל של תהליכים של הנדסה גנטית, רגישות גבוהה ותגובה מהירה.
4. אפשר ליצור חיישן ביולוגי על-ידי חיבור של אזור בקרה הרגיש לחומר מסוים או לאירוע בתא (כמו שברים ב-DNA) לאזור המבני של גן מדווח. המקור של שני קטעי הגן יכול להיות מיצורים שונים.
5. מוטציה הגורמת לחוסר יכולתו של חיידק לסלק חומרים רעילים שחדרו אליו, מגבירה את רגישותו כחיישן ביולוגי לאותם חומרים.
6. במעבר בין שלב המחקר לשלב היישום יש לבדוק את ביצועי התוצר בתנאים שמדמים את המציאות.

משימה

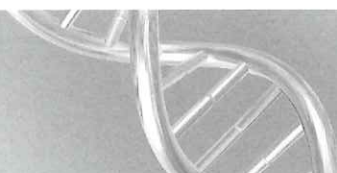
- להלן, רשימה של דוגמאות מתוך מאמר החיישנים. נסו למצוא לכל דוגמה מהרשימה את הרעיון המרכזי המתאים לה.
1. הגן המהונדס *SOS-lux* מורכב מאזור הבקרה של אופרון ה-*SOS* ומהאזור המבני של אופרון היוצר תגובת אור. אופרון ה-*SOS* מקורו בחיידק ה-*E. coli* ואופרון ה-*lux* מקורו בחיידק *Vibrio fischeri*.
 2. החוקרים בדקו את ההארה לאחר אחסון ב-4 מעלות.
 3. תגובה שלילית של החיישן לא מצביעה בהכרח על העדר חומרים גנוטוקסיים במים.
 4. חיישנים המורכבים מחיידקי *tolC*⁻ רגישים יותר למיטומיצין C מחיישנים המורכבים מחיידקים *tolC*⁺.
 5. חיישנים המורכבים מחיידקים מגיבים בדרך כלל מהר יותר מחיישנים שהם יצורים אוקריוטיים רב-תאיים.



6. חיידקי SOS-lux שאוחסנו בקור במשך חודשיים נחשבים לחיידקים פחות יעילים מאותם חיידקים שאוחסנו בקור במשך שבוע.

תשובות אפשריות לשאלות המופיעות בסוף המאמר

1. חיידקי SOS-lux רב-תאי דומה יותר מבחינה פיזיולוגית לאדם, ולכן קביעת הסיכון (ובעיקר העדר הסיכון) יהיו משמעותיים יותר עבור האדם. לעומת זאת, באורגניזם איקריוטי רב תאי מופעלים מנגנונים הומיאוסטטיים ומנגנוני תגודת, שיכולים להוריד את הרגישות של החיידק ולהעלות את זמן התגובה שלו.
2. החוקרים השתמשו באנזימי הגבלה על מנת לבדוד את אזור הבקרה של אופרון SOS ואת האופרון lux מתוך הגנום של החיידקים המתאימים. לאחר מכן הם השתמשו בליגאז על מנת לחבר ביניהם ועל מנת לחבר אותם לפלסמיד חתוך המשמש כנשא. הנוכחות של גן בורר אפשרה לבדוד אותן מושבות חיידקים שעברו טרנספורמציה עם הפלסמיד המהונדס (במשימה התלמיד אמור להביא את התהליך בצורת תרשים זרימה).
3. לא, היות והשתמשנו ביצירת הגן המהונדס רק באזור הבקרה של אופרון SOS, שאינו מקודד לחלבון, ולכן אינו מקודד לאנזים תיקון.
4. לא, מכיוון שתהליך ההארה דורש השקעת אנרגיה.
5. ככל שריכוז החומר הגנוטוקסי גבוה יותר בתוך החיידק, הוא יגרום ליותר נזקים ב-DNA ולכן ברמה מסוימת של נזק יגרום למוות החיידק.
6. גרף לוגריתמי נותן אפשרות להציב בצורה נוחה ערכים שהם שונים האחד מהשני במספר סדרי גודל. אין כל אפשרות אחרת להציג באותו הגרף ערכים שונים בין 0.001 ל-1,000,000.
7. בהעדר חומר גנוטוקסי, הערך של ההארה היחסית הוא בעצם הארת הרקע, ולכן היחס ביניהם שווה ל-1.
8. מכיוון שאנחנו מעוניינים לייצר חיידק שיזהה את ההשפעה של מספר רב של חומרים גנוטוקסיים, חשוב לבדוק את ההשפעה של לפחות שני חומרים המזיקים ל-DNA לפי מנגנון שונה. המיוחד בחיידק המדובר זאת העובדה שאינו ספציפי לחומר גנוטוקסי מסוים, אלא להשפעה של מספר רב של חומרים גנוטוקסיים.
9. א. המשתנים הבלתי תלויים הם סוג החומר הגנוטוקסי וריכוזו. המשתנה התלוי הוא ההארה היחסית של החיידק.
ב. יש לבדוק באיזה ריכוז הערך של ההארה היחסית מתחיל להיות גבוה מ-1, בנוכחות כל אחד משני החומרים שנבדקו. הערך הוא בקירוב 1000.



ג. זמן התגובה של החיפוש הוא כשעתיים מרגע החשיפה של החיידקים לחומר הגנוטוקסי. המידע הזה מובא באופן מילולי בפרק התוצאות.

השאלה נוסדה אחרי אל המשמעות השונה של המושגים "רגישות" ו"זמן גלוי", שגאמידיס נוהלים אלזל זיניהס.

10. א. המשתנים הבלתי תלויים הם סוג החיפוש, סוג החומר הגנוטוקסי וריכוזו. המשתנה התלוי הוא ההארה היחסית.

ב. (לפי אותה דרך קביעה כמו בתשובה לשאלה 9), החיפוש toIC^- רגיש פי 50-100.

11. כדאי להשתמש בחיידקים במשך לא יותר מחודש מתחילת האחסון, מכיוון שלאחר מכן ההארה היחסית יורדת ולכן רגישות החיפוש יורדת גם היא.

12. רצוי לבדוק את זמן התגובה של החיפוש; אם זמן התגובה יעלה מעבר לגבול מסוים, השימוש בחיפוש לא יהיה יעיל.

13. סדר הדגימות לפי ריכוז יורד של החומר הגנוטוקסי הוא: ב-א-ג.

בדגימה ב ההארה היחסית עולה לאחר המיהול. מכך ניתן להסיק שללא מיהול החומר הגנוטוקסי הרג את החיידקים בגלל ריכוזו הגבוה ולכן הם האירו בעוצמה נמוכה. בדגימה א, ללא מיהול התקבלה הארה יחסית גבוהה, ועל-ידי מיהול הדגימה, ההארה היחסית פחתה. מכאן ניתן להסיק שבדגימה המרוכזת ובדגימה המהולה החיידקים חיו, וההארה הנמוכה יותר בדגימה המהולה נגרמה מהריכוז הנמוך יותר של חומר גנוטוקסי, אליו החיידקים היו פחת רגישים. בדגימה ג ההארה היחסית שווה להארת הרקע בשני המיהולים, ומכאן אפשר להבין שלא הייתה הפעלה של החיפוש על-ידי חומר גנוטוקסי, כלומר לא הייתה נוכחות של חומר גנוטוקסי.

14. החיפוש יצטרכו לפעול בטמפרטורה השוררת במקורות מים שונים, בין 10-20 מעלות, בקירוב, לפי עונות השנה. יש לבדוק את ההארה היחסית (ואת זמן התגובה שלהם) בטווח הטמפרטורות הללו, כדי לבדוק את התאמתם לתנאי השטח.

15. גם אם חיידקים אינם נפגעים על-ידי דגימה מסוימת, קיים עדיין סיכוי שהאדם יפגע, או על-ידי נזק ברמת ה-DNA או על-ידי נזק ברמה אחרת (פגיעה באתר אחר בתא). לעומת זאת, אם הדגימה מכילה חומר הגורם לשברים ב-DNA של חיידק, יש סיכוי שהחומר יגרום לשברים גם ב-DNA ויזיק לתאי האדם בצורה דומה.

16. שימושים עתידיים אפשריים: חיפוש במוביל הארצי, במתקני שאיבה של חברת "מקורות", שימוש בחיפוש ניידים בידי כוחות הביטחון לגילוי ארועים של טרור כימי.

מאגר שאלות נוספות להוראת המאמר "פיתוח חיישן ביולוגי לאיתור חומרים הפוגעים בחומר התורשתי"

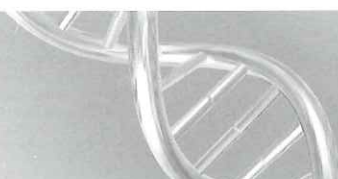
תמצית

1. רשמו שאלות שהתעוררו אצלכם בעקבות קריאת התמצית.
2. באיזה חלק של המאמר אתם מצפים למצוא להן תשובות? נמקו את קביעתכם.

מבוא

3. אלו מקרים של זיהום סביבתי שאירעו בארץ ובעולם מוכרים לכם?
 - העלו שלוש דוגמאות.
 - מי עלול להיפגע מן הזיהום בכל אחד מהמקרים (בני אדם שבאו במוגע עם החומר, יצורים חיים בסביבה הקרובה, מערכות אקולוגיות שלמות וכו')?
4. חיישנים נמצאים הן ביצורים חיים והן במכשירים המוכרים לכם. באילו מערכות ביולוגיות וטכנולוגיות משולבים חיישנים?
5. א. השלימו את הטבלה הבאה:

מערכת טכנולוגית	מערכת ביולוגית	
מצפן	ציפורים נודדות	הצופן המגנטי (דוגמה)
	תאי לבלב	ריכוז גלוקוז
תרמוסטט של דוד שמש		טמפרטורה
		גלי קול



ב. רשמו בטבלה הבאה כיצד מגיבות המערכות שציינתם לקליטת האות המשודר על-ידי החיישן?

מערכת טכנולוגית	מערכת ביולוגית	
		הצופן המוגנטי (דוגמה)
		ריכוז גלוקוז
		טמפרטורה
		גלי קול

6. במבוא מתוארות שתי גישות לניטור סביבתי: גישה כימית וגישה ביולוגית.
- סכמו בטבלה את יתרונותיהן וחסרונותיהן של שיטות הניטור הכימיות והביולוגיות.
 - כיצד עונות שתי הגישות על הדרישות ממערכת ניטור יעילה, כפי שהן מופיעות במאמר?
 - לאלו מקרים ולאלו צרכים הייתם משתמשים בשיטות הכימיות ובאלו מקרים הייתם מעדיפים את מבחני הרעילות הביולוגיים?
7. הרעיון להשתמש ביצורים חיים כחיישנים ביולוגיים אינו חדש. כורי פחם נהגו לשאת עמם כנריות לתוך המכרות, משום שציפורים אלו רגישות מאוד לנוכחות הגז הרעיל CO. אם הקנרית שבכלוב הייתה מראה סימני מצוקה – מתנדנדת על הענף שבכלובה, או נופלת ממנו – הכורים היו יודעים שעליהם לעזוב את המכרה במהירות. אפילו בשנת 1995, כששוטרים יפנים פשטו על מתקנים של כת שביצעה פיוגוע גז עצבים ברכבת תחתית בטוקיו, הם היו מצוידים בכלובים עם כנריות. במה שונה תגובת הכנריות מתגובתם של היצורים הרב תאיים המתוארים במבוא למאמר?
8. שחריר הנחלים הוא חילזון מים, שיכול להתקיים רק במקורות מים העשירים בחמצן מומס. האם ניתן להשתמש בו כחיישן ביולוגי? כיצד ולאילו מטרה?
9. החיישן הביולוגי המתואר במאמר, מכיל חיידק שהונדס גנטית כך שיגיב בצורה נראית לנוכחותם של חומרים הפוגעים בחומר התורשתי. לו רצו החוקרים ליצור חיישן ביולוגי המגיב לסוג אחר של חומרים, כמו מתכות כבדות, איזה חלק בחיידק המהונדס היה צריך לשנות?
10. אם ברצונכם להנדס חיידק שיגיב לנוכחות כספית בקרקע, מאיזה אורגניזם תבודדו את אזור הבקרה המתאים? מאיזה סוג של קרקע תבודדו את האורגניזם שהזכרתם? הסבירו.
11. לו הייתם מהנדסים חיישן ביולוגי, כמו זה שמתואר במאמר, האם הייתם משתמשים באזור בקרה הפועל כל הזמן או באזור בקרה שפועל רק בתגובה לאירוע מסוים? נמקו.

12. לפניכם שני היגדים ותגובות של תלמידים להיגדים אלו. בחרו את התגובה שנראית לכם ביותר, והסבירו מדוע בחרתם בתגובה זו. התייחסו לנכונות העובדות המובאות ולרלוונטיות שלהם להסבר שניתן להיגד. (יכולה להיות יותר מתשובה נכונה אחת):

היגד א:

לשיטות הניטור הכימיות יש מאה אחוזי הצלחה, לעומת השיטות הביולוגיות, שעליהן לא תמיד אפשר לסמוך.

- נכון, כי חיישנים ביולוגיים שונים זה מזה, אז כל אחד מגיב לרעל אחר ולכן השיטות הביולוגיות תלויות ביצור.
- נכון, יתכנו מקרים נדירים בהם לחיישנים הביולוגיים יש מוטציות שמגנות עליהם מהשפעת החומרים הרעילים והם לא יושפעו מהם. לעומת זאת, חומרים כימיים תמיד יגיבו עם חומרים אחרים באותה הצורה.
- לא נכון, לאף אחת מהשיטות אין מאה אחוזי הצלחה. בשיטות הכימיות יכולים לא לגלות את החומר המזהם כי פשוט לא עשו את הבדיקה הנכונה.

היגד ב:

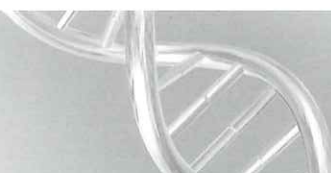
אוכלוסיה אחידה (הומוגנית) של חיידקים המשמשים כחיישנים מקנה למערכת הניטור יתרון.

- נכון, יתרונה של אוכלוסייה אחידה בכך שהשפעת החומרים עליה תהיה זהה בכל האוכלוסיה. כך קל יותר לכייל את המערכת.
- לא נכון, כי כל חיידק עומד בפני עצמו והוא זוהר בלי קשר לשאר האוכלוסייה.
- לא נכון, הומוגניות היא דווקא חסרון, כי צריך לבדוק מספר אוכלוסיות של חיידקים, כדי לוודא שאוכלוסיית החיידקים בה השתמשנו אינה פגומה מבחינה גנטית בדרך זו או אחרת.

שיטות וחומרים

13. מידת ההארה של החיידקים בוטאה במאמר כיחס בין ההארה של החיידקים, שנחשפו לחומרים גנוטוקסיים, להארה של קבוצת הביקורת שלא נחשפה לחומרים אלו.

- כיצד נמדדת מידת ההארה של קבוצת הביקורת?
- מדוע החיידקים בקבוצת הביקורת מאירים אם הם לא נחשפו לחומרים הפוגעים בחומר התורשתי שלהם?



14. מאמרים מדעיים הם הדרך בה המדענים מתקשרים זה עם זה ומדווחים לשאר הקהילה המדעית על התוצאות שהשיגו במחקריהם. המאמר נכתב כך שמדענים אחרים יוכלו לחזור על הניסוי. המאמר שבידיכם הוא מאמר מדעי שתורגם לעברית ועובד כך שיתאים לתלמידי תיכון. איזה מידע שאינו מופיע במאמר זה הייתם מצפים למצוא בפרק השיטות וחומרים במאמר המקורי? מדוע?

15. Lux הוא לא הגן היחיד הפולט אור, והוא גם לא הגן היחיד בו משתמשים להנדסה גנטית של יצורים מאירים. במדוזה, למשל, יש גן המייצר את החלבון הזוהר GFP. החלבון GFP זוהר ללא צורך בפעילות אנזימטית וללא השקעת אנרגיה. lux נקרא אופרון מאיר משום שהוא יוצר את האור ללא תלות בגורמים נוספים. GFP, לעומת זאת, נקרא חלבון זוהר כי הוא פולט אור רק כשמאירים עליו, ובאורך גל שונה. יש עוד כמה הבדלים בין שני הגנים המדווחים: האופרון המדווח lux יוצר את האנזים לוציפראז שמפיק אור. הפעילות האנזימטית מהירה יותר בהשוואה לחיידקים ביולוגיים על בסיס GFP בהם על החלבון הזוהר להצטבר בתא. מצד שני, לשימוש בחלבון יציב, כמו החלבון GFP יש גם יתרונות לעומת השימוש באופרון lux. האנזים לוציפראז מפיק אור תוך כדי השקעת אנרגיה, כך שדווקא בריכוזים גבוהים של חומרים גנוטוקסיים בהם החיידקים מתחילים למות, ההארה פוחתת ויש סכנה שהמזהמים לא יתגלו. לעומת זאת, החלבון GFP ממשיך לזהור גם בחיידקים מתים. זאת ועוד; הפעילות של האנזים לוציפראז דורשת נוכחות חמצן, לכן החיידקים הביולוגיים לא יוכלו לתפקד בסביבה אנארובית, לעומת חיידקים ביולוגיים המתבססים על החלבון GFP.

א. השוו בטבלה בין תכונותיהם של שני הגנים המדווחים:

GFP	lux	גן מדווח
		קריטריונים להשוואה
		מקור הגן
		השקעת אנרגיה
		מהירות תגובה
		תגובה בריכוזי מזהמים גבוהים
		נוכחות חמצן

ב. באלו מהמקרים הבאים תעדיפו להשתמש ב-GFP ובאלו תעדיפו את הגן המייצר לוציפראז, כשאתם מתכננים חיישן ביולוגי לגילוי מזהמים?

1. חיילים הגיעו לגדת נהר. עליהם לדעת אם מותר להם לחצות את הנהר ולבוא במגע עם המים. גורם הזמן משמעותי מאוד.

2. מקור מודיעיני מורה על כך שחומר רעיל מרוכז מאוד הוסווה בחנות לחומרי בניין בתוך אחד מכחי הצבע.
3. בפעילי איכות הסביבה טוענים כי הזרמת שפכים ממפעלים סמוכים יצרה זיהום סביבתי במעמקי הירקון. בעומק חלק זה של הירקון שוררים תנאים אנאירובים.

תוצאות

16. גרף 2 מתאר את תוצאות הניסוי בחיידק המוטנטי *tolC*.
 - מה יתרונו של מוטנט זה כחיישן ביולוגי?
 - מדוע מוטנט זה אינו נפוץ בטבע?
 - מה יכול להסביר את ההבדל בתגובתו של המוטנט לחומרים הגנוטוקסיים: מי חמצן ומיטומיצין C?
17. גרף 3 מתאר את התוצאות של אחסון החיידקים לזמן ממושך.
 - א. אלו תכונות הייתם מצפים למצוא בחיישנים ביולוגיים שהם מוצר מדף?
 - ב. מדוע היה צריך לאחסן את החיידקים בקירור, ולא בטמפרטורת החדר?
 - ג. האם תוצאות הניסוי מצביעות על כך שהחיידקים מתאימים לשמש כחיישנים ביולוגיים כעבור שישים ימי אחסון בקירור? נמקו.
18. לפניכם היגד ותגובות של תלמידים. בחרו את התשובה שנראית לכם ביותר, והסבירו מדוע: בניסוי האחסון לזמן ממושך לא היה בעצם צורך לשמור את החיידקים בקירור, משום שהם יכולים פשוט להמשיך ולהתחלק לאורך תקופה ארוכה.
 - א. לא נכון, החיידקים מוגבלים במקום ובמשאבים והמושבה היתה מתה.
 - ב. לא נכון, חיידקים לא יכולים להמשיך ולהתחלק במשך תקופה ארוכה כי משך זמן החיים שלהם מאוד קצר. אם נאט את פעילות החיים שלהם, הם יחיו לאורך יותר זמן.
 - ג. נכון, ניסוי האחסון נועד להראות את יעילותם ותגובתם של אותם חיידקים לאחר זמן ממושך בקירור. אך הם יכולים להתקיים גם בלי קירור.
 - ד. לא נכון, זו הטמפרטורה שהיתה נוחה לאנזימי הזהירה שנלקחו מחיידק אחר.
19. טווח-הטמפרטורות בו פועל *E. coli* שונה מזה של *V. fischeri*, החיידק ממנו נלקח האופרון *lux*, המקודד לאנזימי הזהירה.
 - א. לאור מידע זה, איך ייתכן שהחיישן הביולוגי פועל?
 - ב. לאלו בעיות עלול לגרום טווח הטמפרטורות השונה של *E. coli* ו-*V. fischeri*?



20. במאמר מתארים החוקרים כיצד ניסו לפתח חיידן ביולוגי לניטור סביבתי. במהלך המחקר הם ניסו לפתור מספר בעיות ולספק את דרישות מערכת הניטור. השלימו את הטבלה הבאה:

דרישות מערכת הניטור	ניטור/שיטה/פעולת החוקרים	האם נמצא פיתרון?
תגובה מהירה		
גילוי מגוון הרעלים		
רגישות גבוהה		
ניטור מתמשך		
חיי מדף ארוכים		
זיהוי רעלים בתערובת		

21. תכננו ניסוי על מנת למצוא את מהירות התגובה של החיידן לאחר אחסון בארבע מעלות.

22. תכננו ניסוי שיראה אם החיידן יכול לנטר חומרים גנוטוקסיים בתערובת.

דיון

23. בסוף הדיון מסייגים החוקרים את דבריהם, ואומרים כי אין לקבל תוצאה שלילית במבחן הרעילות שהם פתחו, כהכשר תברואתי לשימוש במים על-ידי בני אדם.

א. כמה יכולה לנבוע הסתייגות זו?

ב. כיצד מציעים החוקרים להתגבר על הבעיה? כיצד מועיל הפתרון שהם מציעים לפתרון הבעיה?

ג. מדוע לדעתכם לא משתמשים החוקרים רק בתאים ממקור אנושי ובכך פותרים את הבעיה?

24. החוקרים ציינו כי דרוש מחקר נוסף בטרם תוכל המערכת להיכנס לשימוש מסחרי.

א. אילו ניסויים נוספים הייתם עורכים במטרה להכניס את המערכת לשימוש מסחרי?

ב. בחרו את אחד הניסויים ופרטו לגביו: מהי השערת המחקר וכיצד יש לבדוק אותה.

25. אחד היישומים של חיידנים ביולוגיים הוא גילוי חומר נפץ וכן זיהוי רמות גבוהות מהמותר של מזהמים בקרקעות ששמשו בעבר לתעשייה ועתה מיועדות לבנייה.

- א. באיזה אזור בקרה, גן מדווח ויצור מארח הייתם בוחרים כדי ליצור חיישן ביולוגי המתאים לגילוי מוקשים בקרקע?
 - ב. באיזה אזור בקרה, גן מדווח ויצור מארח הייתם בוחרים כדי ליצור חיישן ביולוגי המתאים לגילוי מזהמים בקרקעות?
 - ג. הציעו עוד יישומים לחיישנים ביולוגיים.
26. מחקר מדעי מעלה בדרך כלל יותר שאלות מאילו שהוא עונה עליהן.
- א. נסחו לפחות שלוש שאלות, שיעניין אתכם לדעת את התשובה עליהן בנוגע לנושאים שהועלו במאמר.
 - ב. מבין השאלות שהעלתם בתשובה לשאלה הקודמת, אלו מהן ניתן לחקור באופן מדעי?
27. אתם עורכי כתב עת מדעי, והמאמר שקראתם מוגש אליכם לפרסום. האם יש לכם ביקורת מדעית על עבודתם של החוקרים? האם יש נקודות שתבקשו מהם להבהיר?
28. לפניכם ביקורת שהעלו תלמידים שקראו את המאמר. התייחסו לכל אחת מההערות וצינו האם אתם מסכימים איתן באופן מלא, חלקי או כלל לא, ומדוע.
- א. בניסוי שתואר בגרף 2 לא הייתה קבוצת ביקורת.
 - ב. לא צוין שכל הניסויים נערכו באותם התנאים – רמת חומציות של המים, טמפרטורה, לחות ועוד.
 - ג. ייתכן שתוצר הגן lux מעכב בדרך כלשהי את תגובת החיידקים לרעלים.
 - ד. היה צריך לחבר גנים מדווחים מסוגים שונים ולהשוות את תגובות החיידקים לשפכים המטוהרים.
 - ה. כשהשפכים לא יהיו בטמפרטורה האופטימלית של אנזים ההארה הוא לא יתפקד.
 - ו. אין דרך לדעת אם החיידקים לא מאירים פשוט משום שהחומר הנבדק הרג אותם.
 - ז. לפעמים חיידקים מאבדים את הפלסמיד שלהם במהלך החלוקה ואז אי אפשר לדעת אם החיידקים לא שינו את התכונות שלהם עוד לפני הכנסתם למים.



ביטוי רעלן של חיידק ה-Bt בכלורופלסטים של צמחי טבק מקנה לצמחים עמידות נגד חרקים

רעיונות מרכזיים

1. צמחים מהונדסים המכילים את הגן המהונדס בתוך הגרעין, יכולים להעביר אותו לצמחים אחרים בתהליך ההאבקה, בניגוד לצמחים מהונדסים המכילים את הגן המהונדס בכלורופלסט.
2. ביטוי גנים מהונדסים על-ידי צמחי בר יכול לגרום להפרת שיווי המשקל של המערכת האקולוגית.
3. בגלל הדמיון של גנום הכלורופלסט לגנום יצורים פרוקריוטיים, אזורי הבקרה של גנים המתבטאים בכלורופלסט שונים בדרך כלל מאזורי בקרה של גנים המתבטאים בגרעין.
4. כאשר קיימת התאמה ייחודית גבוהה בין מולקולה רעילה לקולטן שלה, נמנעת פגיעה לא ייחודית ביצורים אחרים בהם חסר הקולטן.
5. ניתן לבחון תוצאות של ניסוי ליצירת אורגניזם מהונדס גנטית ברמת ה-DNA, ברמת ה-RNA-שליח, ברמת נוכחות החלבון הזר וברמת פעילות החלבון.
6. כאשר חלבון מהונדס מיועד להשפיע על אורגניזמים אחרים, חשוב לבדוק את טווח פעילותו הביולוגית על מספר אורגניזמים, ביניהם אורגניזמים שמעוניינים שיפגעו או לחילופין - אורגניזמים שיש להימנע מפגיעה בהם.
7. הכרה ייחודית בין נוגדן לחלבון משמשת בסיס לשיטות אבחון וכימות של חלבונים.

משימה

קראו שוב את המאמר רשמו בשוליים וליד כל צילום או איור את הרעיון המרכזי המתאים. נסו לברר לעצמכם מהי חשיבותם של הרעיונות המרכזיים.

תשובות אפשריות לשאלות המופיעות בסוף המאמר

1. א. חומרי ההדברה ישמידו את החרקים הרגישים, אך מכיוון שקיימת שונות באוכלוסייה, קיים סיכוי סביר שלאחר מספר רב של ריסוסים, חרקים בעלי מידה מסוימת של עמידות ישרדו, ימשיכו להתרבות ויורישו את תכונת העמידות לצאצאיהם.
- ב. בהדברה ביולוגית סיכוי זה הרבה יותר נמוך, מכיוון שהמין המדביר עבר אבולוציה בהתאם לשינויים שהתרחשו במין המודבה. אם יופיעו שינויים חדשים במין המודבה, הם יגררו שינויים חדשים במין המדביר (תהליך של קו-אבולוציה).

ג. גם בשימוש בצמחים מהונדסים המייצרים את רעלן החיידק Bt קיימת אפשרות להופעת מוטנטים עמידים. אחת הדרכים להתגבר על הבעיה הזאת היא לגדל בכל שדה גם צמחים לא מהונדסים, שיאפשרו לכמות נמוכה של חרקים לא עמידים לשרוד ויקטינו בכך את הלחץ הברירתי.

2. משום שהחיידקים מתים או נשטפים בהשקיה.

3. גרגירי האבקה אינם מכילים כלורופלסטים ולכן הם לא יוכלו להעביר לצמחים אחרים את הגנים המהונדסים בגנום הכלורופלסט. לעומת זאת, גרגירי האבקה מכילים גרעין ולכן יוכלו להעביר לצמחים אחרים את הגן שהונדס בגרעין. יש לזכור שיכולה להתרחש הפריה (בהסתברות נמוכה) בין צמחים ממינים קרובים.

4. א. גן המקנה עמידות נגד חרקים יוכל להקנות יתרון הישרדותי לעשבים רעים, שלא יינזקו על-ידי חרקים ויוכלו להתפתח בקצב מוגבר.

ב. גן המקנה עמידות לקוטלי עשבים, יוכל להקנות עמידות לחומרים קוטלי עשבים בהם מרססים את השדות כנגד עשבים רעים. העשבים הרעים ישרדו ויוכלו להתחרות עם צמחי היבול ולגרום לנזקים.

5. רעלן החיידק Bt אינו פוגע ביונקים מכיוון שבגוף שלהם אין קולטנים ספציפיים אליהם הוא יכול להתקשר, לעומת חרקים שבהם קיימים קולטנים כאלה במערכת העיכול.

6. הרעלן שהונדס בכלורופלסטים נוצר בצורה גבישית. הגביש, שהוא בלתי פעיל, הופך לפעיל רק בסביבה בסיסית, שקיימת במערכת העיכול של חרקים מסוימים. סיבה נוספת היא העובדה שהגביש נוצר ונשאר בכלורופלסטים ולכן אינו פוגע בחרקים שניזונים מחלקים אחרים של הצמח ובחרקים שחיים באדמה, בקרבת הצמח.

7. המרכיב שמבטיח את ביטוי הרעלן רק בכלורופלסטים הוא אזור הבקרה שהוצמד לגן. היות שמקורו של אזור הבקרה בכלורופלסט, הוא מוכר רק על-ידי חלבוני בקרה שנמצאים בכלורופלסט ולא על-ידי חלבוני בקרה במדורים אחרים בתא הצמח.

8. הגן לעמידות לא יוכל להתבטא בגרעין, מכיוון שהתעתוק שלו נמצא תחת בקרה של אזור בקרה שמקורו בכלורופלסט. לכן, התאים שאליהם חדר הנשא לגרעין יהיו רגישים לטיפול באנטיביוטיקה וימותו.

9. נוגדן לוכד – יקשור את החלבון המבוקש לבארית.

נוגדן מוגלה – יקשר את החלבון המבוקש הקשור לנוגדן הלוכד ויגלה אותו בעזרת אנזים שיוצר תגובת צבע שקשור לנוגדן.



שטיפה אחרי הכנסת הנוגדן המגלה – תרחיק עודפים של נוגדן מגלה שאליו קשור האנזים שיוצר תגובת צבע. סובסטרט – מאפשר יצירת תגובת צבע עם האנזים הקשור לנוגדן המגלה.

עקומת כיוול – מאפשרת לכמת את החלבון המבוקש על-ידי השוואה לתגובת הצבע שהוא יוצר בריכוזים ידועים.

בקרה מתאימה יכולה להיות בקרה שלילית באמצעות דגימה שאינה מכילה את החלבון המבוקש, אלא חלבון אחר.

10. שאלות המחקר: האם קיים הבדל בכמות הרעלן בין צמחים שבהם הגן הוחדר לגנום הגרעין לבין צמחים שבהם הגן הוחדר לגנום הכלורופלסט? האם הבדל זה תלוי גם בגיל העלים? משתנים בלתי תלויים: סוג הצמח (מהונדס בכלורופלסט או בגרעין) והמצב של העלים. משתנה תלוי: כמות הרעלן מסך כל החלבון המסים.

נבחר גרף עמודות מכיוון שהמשתנה הבלתי תלוי הוא בדיד (מצב העלים).

11. שאלות המחקר: כיצד תשפיע אכילת צמחים מהונדסים בשתי צורות (בגרעין).

ובכלורופלסט) על תמותת זחלים של עשים ממינים שונים? מהו קצב התמותה של הזחלים? משתנים בלתי תלויים: סוג הטבק (לא מהונדס, מהונדס בגרעין, מהונדס בכלורופלסט), מין הזחלים וזמן. משתנים תלויים: מצב העלים, מצב הזחלים.

12. למרות שכמות הרעלן שנוצר בעלים שהונדסו בכלורופלסט גדולה פי יותר מ-100 לעומת עלים שהונדסו בגרעין (לפי התוצאות בגרף 1), אין הבדל גדול כל כך בין ההשפעה של שני סוגי העלים על הזחלים (טבלה 1). הדבר יכול לנבוע מכך שבשני המקרים הרעלן נמצא בכמות שמספיקה לפגיעה בחרקים. יתכן שבתנאי שדה, ההבדלים בין ההשפעה של שני סוגי העלים יהיו משמעותיים יותר.

13. הפעלת גלאי המורכב מקטע DNA המשלים למולקולה של RNA שליווה של הגן המקודד לרעלן תספק מידע על ביטוי הגן בתאים. הפעלת גלאי המורכב מנוגדן כנגד חלבון הרעלן תספק מידע על היווצרות חלבון הרעלן שמעיד על ביטוי הגן. המבחן הביולוגי יספק מידע לגבי ההשפעה של הרעלן המהונדס על החרקים, כלומר על התכונה של הרעלן שבה מעוניינים.



מאגר שאלות נוספות להוראת המאמר: "ביטוי רעלן של חיידק ה-Bt בכלורופלסטים של צמחי טבק מקנה לצמחים עמידות נגד חרקים"

תמצית

1. קראו את תמצית המאמר "ביטוי של רעלן ה-Bt בצמחי טבק מקנה לצמחים עמידות כנגד חרקים".
 - א. סמנו את המושגים המופיעים בו.
 - ב. העתיקו את המושגים בשני טורים כך שבאחד יופיעו כל המושגים המוכרים לכם ובשני כל המושגים שאינם מוכרים לכם.
 - ג. הסבירו בקצרה את המושגים המוכרים לכם.
2. משימה לא אמאיה זמיוחז אטיסוף זממזית המאמר הזה, מכיוון שכאן, זנילוד אמאמר החיישנים, חלק גדול מהמושגים זממזית מוכרים ממך פרק ג' של מזנית המזוא.
3. מהו לדעתכם תפקיד התמצית במאמר?
4. רשמו לפחות חמש שאלות שמתעוררות בכם לאחר קריאת התמצית, ציינו היכן במאמר תצפו למצוא תשובות לשאלות אלו.

מבוא

4. מהם ההבדלים העקרוניים בין גביש רעלן ה-Bt לרעלן Bt מסיס, מבחינת הפגיעה שלהם בחרקים?
5. יש המכנים את הגביש רעלן ה-Bt פרו-רעלן.
 - א. הסבירו כמה נובע שם זה
 - ב. מהו העיקרון הביולוגי בייצור פרו-רעלן?
 - ג. ציינו מערכות ביולוגיות אחרות בהן בא לידי ביטוי עיקרון זה.
6. חוקרים מכירים מספר זנים של חיידקי בצילוס היוצרים רעלים דומים אך לא זהים. נמצא שכל זן פוגע במיני חרקים שונים.
 - א. שערו מה יכול להיות ההסבר לתופעה זו.
 - ב. איזה עקרון ביולוגי מודגם בתופעה זו?
 - ג. תנו דוגמאות נוספות לחומרים שנקשרים לקולטנים הנמצאים על פני קרום התא.



7. א. ציירו באופן סכמתי זרע של שעועית וסמנו את העובר.
ב. מהו המקור של החומר התורשתי המצוי בתאי העובר?
8. כתבו תרשים המתאר רמות ארגון שונות במערכת הרבייה (הזכרית והנקבית) של צמח עילאי, התחילו את התרשים בצמח השלם וסיימו ב-DNA.
9. בתהליך ההאבקה נוצר עובר הנמצא בזרע המכיל מידע תורשתי שמקורו בגרגר האבקה והביצית. מהו הסיכון בכך שגרגר האבקה נושא את הגן המהונדס?
10. הציטופלסמה של הביצית מכילה את הגנום של הכלורופלסט בתוך אברונים בלתי ממוינים המכונים פרופלסטידות, מהם ייווצרו כלורופלסטים במהלך התפתחות הצמח, בתנאים מתאימים. מדוע הימצאותו של הגן המהונדס בתאי הביצית אינה גורמת לחשש לעומת המצאותו של הגן המהונדס בגרעין של גרגירי האבקה?
11. תלמידים העלו מספר רעיונות כיצד למנוע מעבר מהגן המהונדס לצמחי בר. קראו את הרעיונות השונים וציינו אילו מהם יפתרו את הבעיה באופן מוחלט, אלו יפתרו את הבעיה באופן חלקי ואילו רעיונות אינם רלוונטים כלל. נמקו את תשובתכם.
- א. להחדיר לצמחים הנושאים את הגן המהונדס גן נוסף המשנה את מבנה גרגירי האבקה ומונע את ההכרות בינם לבין צלקת הפרח של צמח בר.
ב. להכניס את הגן המהונדס כך שיתבטא רק בכלורופלסט.
ג. להחדיר את הגן המהונדס למיטוכונדריון.
ד. לגדל את הצמחים המהונדסים בשדות נפרדים מצמחי הבר.
12. אופרון הוא יחידה של כמה גנים המתבטאים תחת בקרה אחת. ניתן להחדיר את אופרון רעלן ה-Bt שמקורו בחיידק הבצילוס לגנום הכלורופלסט אך לא לגנום גרעין תא הצמח. כיצד מסבירה התאוריה האנדוסימביוטית עובדה זו?

שיטות וחומרים

13. אזור הבקרה שהוצמד לאופרון ה-Bt היה במקורו אזור בקרה של גן המעורב בפוטוסינתזה. הסבירו כיצד בחירת אזור הבקרה מאפשרת ביטוי האופרון בתאים ירוקים אך מונעת את ביטוי הגן בתאים אחרים כגון תאי השורש, או תאי הפרי?
14. אנשי איכות הסביבה מוטרדים מאוד מכך שהנשא המהונדס מכיל גן המקנה עמידות לאנטיביוטיקה. שערו אילו סכנות טמונות בכך שהנשא מכיל גן זה. הציעו פתרון אפשרי לבעיה זאת.



15. מהו העיקרון הביולוגי שעל פיו פותחה שיטת ה-ELISA? ציינו שני תהליכים נוספים הממחישים אותו עיקרון.

16. בתחילת ההיריון רמת הורמון ה-hCG (Human Choriongonadotropin) הורמון המופרש על-ידי השליה (הכוריון) ומשפיע לשימור הגופיף הצהוב בתחילת ההריון בשתן האישה גבוהה מאוד. תכננו ערכה לבדיקת הריון. כתבו בתרשים זרימה את השלבים הנדרשים לקביעת רמת ההורמון.

17. כאשר אדם נדבק בנגיף האיידס (HIV), ניתן לאתר בדמו נוגדנים כנגד הנגיף. לאיתור הנוגדנים ניתן להשתמש בשיטת ה-ELISA. על שולחנכם הונחו מספר צלחות פלסטיק המשמשות בשיטת ה-ELISA. בצלחת 1 הבאריות מכוסות בחלבון אלבומין, בצלחת 2 הבאריות מכוסות בנוגדן כנגד הנגיף, בצלחת 3 הבאריות מכוסות בחלבון שמקורו במעטפת הנגיף. עליכם לבחור בצלחת המתאימה כך שתוכלו לאתר בדם הנבדק נוגדנים כנגד נגיף ה-HIV, נמקו את בחירתכם.

תוצאות

18. האם לדעתכם עלים מצהיבים של צמחים מהונדסים יכולים לסנטז את רעלן ה-Bt? נמקו.
19. כתבו את שאלת המחקר לתוצאות המפיעות בטבלה 1. ציינו את המשתנים השונים (שימו לב! בשאלת המחקר יש יותר ממשתנה בלתי-תלוי אחד).

דיון

20. הצבע האדום של פרי העגבניה נוצר על-ידי כרומופלסטים (כרומו=צבע, כרומופלסטים הם אברונים המכילים צבע) המתפתחות מכלורופלסטים (צבע פירות לפני הבשלה הוא ירוק כתוצאה מנוכחות כלורופלסטים). במחקר ביוטכנולוגי מייצרים צמחי עגבניות שמכילים חיסון כנגד צהבת A. את הגן המהונדס מכניסים לכלורופלסטים.

- א. האם לדעתכם יכול פרי העגבניה את תוצרי הגן המהונדס? אם כן, באיזה אברון ימצא הגן המהונדס ואיזה אזור בקרה כדאי להצמיד לגן הזר?
- ב. מה היתרונות והחסרונות של חיסון באמצעות פירות לעומת החיסון המוכר לכם מחיי היום יום?

21. גרגר האבקה בצמחים מפרה את הביצית ליצירת עובר. בצמחים מהונדסים קיימת סכנה שהתכונה הזרה תועבר לצמחים לא מהונדסים באמצעות האבקה.

- א. מה הסכנה במעבר תכונה זרה באמצעות גרגרי אבקה לצמחים אחרים?
- ב. באיזה צורה הכנסת הגן לכלורופלסטים מהווה מענה לסכנה זו?



22. חזרו לתשובתכם לשאלה מספר 1, עברו על רשימת המושגים שציינתם כלא מוכרים, סמנו אילו עדיין לא מוכרים לכם, ולאחרים כתבו הסבר קצר.

23. חזרו לתשובתכם לשאלה מספר 3 סמנו ✓ ליד שאלה שמצאתם לה מענה במאמר, ציינו היכן נמצא המענה, וכתבו בקצרה את התשובה לשאלה.



טיפול במחלה ADA-SCID על-ידי ריפוי גני של תאי גזע ממוח העצם

רעיונות מרכזיים

1. בדרך כלל, במחלות תורשתיות קיים פגם בגן בכל תאי הגוף, אולם המחלה מתבטאת רק בתאים שבהם גן זה רלוונטי לתפקודם התקין.
2. תאי גזע הם תאים שיכולים להתמייין למגוון של סוגים של תאים וכן ליצור תאי גזע אחרים – לכן שינוי גני שלהם יכול להשפיע לאורך זמן.
3. נגיפי רטרו משמשים כנשאים לחומר תורשתי זה, משום שיש להם אפשרות לחדור לתאים ולשלב בגנום את החומר התורשתי שלהם.
4. ניסויים בבני אדם מוגבלים על-ידי אמונות בינלאומיות, ומתנהלים על פי כללים המבוססים על אתיקה.
5. בכל מהלך שבו מהונדס גן לתא, לא די להראות שהגן חדר – יש לבדוק את תפקודו על מנת להראות שמטרת ההנדוס הושגה.
6. שיטת ה-PCR יכולה לשמש לשכפול של מקטעי DNA ולבדיקת כמותם.
7. כניסה אקראית של גן מהונדס לתאים יכולה להיות מסוכנת.

משימה

1. קראו את הרעיונות המרכזיים של המאמר.
2. עבור על אחד מהרעיונות המרכזיים הביאו דוגמה מתוך המאמר.
3. במידת האפשר, הביאו דוגמה נוספת לכל רעיון מרכזי, מתוך הספר או מתוך הידע הביולוגי שלכם.
4. במקרים בהם לא הצלחתם להביא דוגמה נוספת, רשמו לאיזה מידע נוסף תהיו זקוקים על מנת להביא דוגמה כזאת.

תשובות אפשריות לשאלות המופיעות בסוף המאמר

1. למרות שהגן הפגום נמצא בכל תאי הגוף, פעולתו התקינה דרושה בתאי מוח העצם, שכן המחלה מתבטאת בעיכוב בהתמיינות תאי הגזע של מוח העצם. לכן, גן תקין בתאי הכבד לא ירפא את המחלה.



2. מכיוון שהריפוי הגני מבוצע בתאים ממוח העצם, תאי הזויג של החולה לא יעברו ריפוי וימשיכו לשאת את המוטציה. לכן, ילדיו (אם הם ירשו את הגן הפגום) ימשיכו לשאת את המוטציה.
3. יש לחזור ולהזריק את האנזים ADA מכיוון שכמו כל חלבון בגוף הוא עובר פירוק על-ידי אנזימים מפרקי חלבונים.
4. מדובר במחלה קטלנית ולכן קל יותר לקבל אישור לבצע ניסויים בבני אדם. התאים בהם מתבטאת המחלה (תאי גזע ממוח העצם) הם תאים שקל יחסית להוציא אותם מהגוף, לבודד אותם מתאים אחרים, לגדל אותם בתרבית ולהחזיר אותם לגוף.
5. חשוב להשאיר בנגיפי הרטרו גנים האחראים על ההדבקה הספציפית של התאים ועל השתלבות הגנום של הנגיף בתוך הגנום של האדם. חשוב להוציא גנים שגורמים לנזק לתא, למשל גנים שמאפשרים את התרבות הנגיף.

6.

מספר עותקי ה-DNA במבחנה שנייה	מספר עותקי ה-DNA במבחנה ראשונה	מחזורי שכפול
2	1	0
4	2	1
8	4	2
16	8	3
32	16	4
64	32	5
128	64	6
256	128	7
512	256	8
1024	512	9
2048	1024	10

- עוצמת הסימון תהיה כפולה במבחנה השנייה.
7. הגן המקודד לאנזים ADA התקין יופיע בסוגים שונים של תאים מכיוון שתאי הגזע ממוח העצם מתמיינים לסוגים שונים של תאי דם.
 8. למרות שאצל שתי הילדות אחוז תאי ה-T שהכילו את הגן התקין הגיע ל-100, כמות האנזים שנוצרה אצל החולה הראשונה הייתה גבוהה יותר בהשוואה לחולה השנייה. יש צורך בבדיקות נוספות על מנת לאשר אם אכן שתיהן נרפאו.



9. רצוי לערוך בדיקה שתאפשר בדיקת התגובה החיסונית של החולות, על מנת לאשר שאכן אצל שתיהן ישנם תאי T שיכולים להגיב באופן תקין למגע עם גורם זר ולהמשיך לבדוק נוכחות תאים התאים אצל הילדות גם בשנים הבאות.

10. בדיקת האנזים היא בדיקת הפעילות של התוצר החלבוני, (כלומר של התכונה). אפשר היה לבדוק גם היווצרות RNA שליח באמצעות גלאי המורכב מ-DNA חד-גדילי או מ-RNA או לבדוק ברמת התכונה, את התגובה החיסונית של החולות.

11. מצד אחד, שתי חולות אינן מהוות מדגם גדול ומיצג. קבוצות גדולות יותר מקובלות במחקרים ביולוגיים. אך בשלבים הראשונים של מחקר קליני, הרופאים מבצעים את הטיפול במספר מצומצם ביותר של חולים ובודקים בקפדנות את התוצאות לפני שממשיכים לטפל בחולים נוספים.

12. לחוקרים מספר הסברים להצלחת הטיפול:

- הם השתמשו בתאי גזע ולא בתאים שעברו התמיינות מסוימת (ולכן קיים מקור בלתי פוסק לתאים חדשים עם הגן התקין לעומת חיים קצרים יותר של תאים כמוינים).
- הרס חלקי של תאי מוח העצם של הילדות לפני החזרת תאי הגזע שאליהם הוחדר הגן התקין
- לא הוזרק לילדות האנזים ADA. לכן, תאי הגזע המטופלים זכו ליתרון בתחרות עם תאי הגזע הלא מטופלים שנשארו בגוף ויכלו להתרבות ולהתמייין.

13. סיכונים אפשריים בריפוי גנים :

- א. מערכת החיסון עלולה להגיב כנגד הנגיפים המשמשים כנשאים.
- ב. השתלבות אקראית של הנשא המכיל אזור בקרה "חזק" ליד גנים אחרים, יכולה להפעיל גם את הגנים האלה בכמות עודפת. אם מדובר בגנים בעלי תפקיד במחזור התא, התאים יכולים להתרבות בקצב מוגבר, דבר העלול לגרום לסרטן.



מאגר שאלות נוספות להוראת המאמר: "טיפול במחלה ADA-SCID על-ידי ריפוי גני של תאי גזע ממוח העצם"

מבוא

1. כיצד יכולים סגמים בגנים שונים לגרום לאותה מחלה (במקרה זה SCID)?
2. סכמו בצורת טבלה את המאפיינים של שלושת סוגי הטיפולים המוצעים למחלת ה-ADA-SCID. התייחסו לנוחות הטיפול, הצורך לחזור על הטיפול, בעיות של תואם רקמות וסיכון לחולה.
3. מאפייניה של המחלה SCID תרמו לכך, שמחקרי החלוץ בריפוי גני נעשו דווקא בחולים במחלה זאת. ציינו מאפיינים כאלה ב-SCID לעומת:
 - א. חולים במחלה תורשתית המתבטאת באי תפקוד של תאי כליה.
 - ב. חולים באי תפקוד חיסוני אחר, שבו הפגם הגנטי אינו ידוע.
 - ג. חולים באי תפקוד מסוים במערכת החיסון שאינו חמור, ואינו גורם למוות.

שיטות

4. סכמו מה הם התפקידים של החלבונים המקודדים על-ידי גיף רטרו הנחוצים להתרבות בתוך תאים. אילו גנים יש להרחיק מתוך הגנום של הנגיף המשמש כנשא בריפוי גני על מנת לא לגרום נזק לגוף?
5. מדוע הסתפקו החוקרים בהחדרת הגן ADA התקין לתאים של החולה, ולא הוציאו מהם לפני כן את הגן הפגום?
6. ערכו רשימה של השיטות שבהן נעשה שימוש במאמר ליד כל שיטה, רשמו למה נועדה (הפרדת תאים, סימון, כימות וכדומה). נסו לשער, לאיזה שלב בתהליך הריפוי הגני של החולות יכולה השיטה לשמש? חזרו לרשימה שערכתם כשתהיו בפרק התוצאות.
7. על מנת להפריד את תאי הגזע מתוך מגוון התאים הקיימים במוח העצמות, החוקרים עשו שימוש בנוגדנים המזהים חלבונים "יחודיים" על גבי הקרומים של התאים. אף כי שיטת הפרדה זו אינה מתוארת במאמר, הידע שרכשתם עד עכשיו יכול לעזור לכם על מנת לתכנן שיטה מתאימה ברמה עקרונית.
 - א. נסו לסכם את השיטה לבידוד תאי גזע מתוך מוח העצמות בצורת תרשים זרימה.
 - ב. ציינו לאיזה מידע נוסף תזדקקו על מנת להביא את השיטה משלב התכנון לשלב היישום.

8. חזרו על עיקרי שיטת ה-PCR המתוארים במבנית המבוא של היחידה (עמודים 50-53). ציינו לעצמכם בתרשים זרימה או באיור את רצף האירועים המתרחשים במהלך תגובת PCR.
9. בפרק השיטות במאמר נאמר: "שיטה זו (PCR כמותי) מבוססת על כך, שכאשר מופסקת תגובת ה-PCR זמן קצר לאחר תחילתה (כלומר, לאחר מספר קטן של מחזורי שכפול) מתקבלת כמות של DNA הנמצאת ביחס ישר לכמות ה-DNA ההתחלתית שקדמה לשכפול". הסבירו את הדברים לפי תשובותיכם לשאלה 18.
10. מהי הסיבה לכך, שהגן לעמידות לניאומיצין שימש כסמן לתאים של החולות שמכילים את הגן התקין ל-ADA ולא הגן ADA עצמו?

תוצאות

11. התבוננו בתוצאות המובאות גרף 1:
- נסחו את שאלת המחקר.
 - ציינו את המשתנה התלוי והבלתי תלוי.
 - מדוע לדעתכם בחרו החוקרים כמשתנה התלוי את "אחוז התאים המכילים את הגן המקנה עמידות לניאומיצין"? על מה הוא מעיד?
12. התבוננו בגרף 2:
- תארו את התוצאות באופן מילולי.
 - מהי הביקורת בניסוי? ומה תפקידה?
 - מדוע בחרו החוקרים להציג את התוצאות בגרף עמודות?
13. אחד הקריטריונים שנבדק במחקר הוא פעילות האנזים, המקודד על-ידי הגן התקין שהוכנס לתאי החולות ADA (גרף 2). לפניכם תרשים המתאר את הקשר בין DNA לתכונה:



- ציינו על גבי הסכמה איזה שלב נבדק על-ידי החוקרים בגרף 2.
- ציינו לפחות עוד שתי בדיקות אפשריות שיצביעו על כך שהגן התקין אכן הוחדר לתאי החולות.



14. במאמר מתוארות תוצאות של שני ניסויים שונים בסדר הבא:
 א. השתנות מספר תאי T תקינים לאחר החזרת התאים המהונדסים לחולות.
 ב. פעילות האנזים ADA בפלסמת הדם של החולות לאחר הטיפול. הסבירו מדוע לדעתכם בחרו החוקרים בסדר הצגה זה של התוצאות?
15. התוצאות המתוארות במאמר התקבלו בשיטות מחקר שונות. חיזרו לרשימת השיטות שהכנתם בפרק השיטות (שאלה 7). רשמו ליד השערתכם לגבי השלב בריפוי הגני שבו נעשה שימוש בשיטה את התוצאות שהתקבלו בעזרתה. האם יש התאמה בין השערותיכם מפרק השיטות לגבי השלב שבו נעשה בהן שימוש, ובין פרק התוצאות?

דיון

16. (שאלה שמיועדת לאלמנדים שאמצו גורשה) מחלת ADA-SCID היא מחלה תורשתית הנובעת מכגם רצסיבי בגן ל-ADA – כיצד לדעתכם יכולה להשפיע תורשה דומיננטית או רצסיבית של מחלה על הגישה שבה יש לנקוט בריפוי גני של אותה מחלה?
17. מדוע קל יותר לבצע ריפוי גני ל-ADA-SCID לעומת ריפוי גני לסרטן בתאי מוח עצם?
18. ריפוי גני יכול להיות מסוכן, אם הגן משתלב בגנום בקרבת גן אחר ומפעיל אותו ברמת ביטוי גבוהה. אירוע מסוג זה התרחש בשני ילדים שטופלו על-ידי קבוצות אחרות – מספר שנים לאחר הריפוי הגני של מחלת ה-SCID הילדים חלו בלויקמיה. האם לפי דעתכם יש לשקול הפסקת טיפולים בריפוי גני עד שתמצא דרך אחרת להחדיר את הגן התקין? איזה מידע יש לקחת בחשבון על מנת לדון בשאלה הזאת?



משרד החינוך
הגף לאישורי ספרי לימוד
רחוב זבורה הנביאה 2, בניין לב-רם, ירושלים

שלום למורה,

לאחרונה, המשרד יזם מהלך, שמטרתו לקבל משוב על עזרי הוראה-למידה חדשים שנכללו בחוזר המנכ"ל "ספרי לימוד מאושרים". במסגרת זו, אני פונה אליך באמצעות טופס זה בבקשה לקבל את חוות דעתך. חוות דעתך תתבסס הן על עיון בספר, והן על השימוש בו בכיתות. הערותיהם של המורים שיועברו לגף אישורי ספרי לימוד ירכזו ויבדקו וכל הערה תיבדק לגופה. הערות שימצאו ראויות להתייחסות יועברו מטעם גף אישורי ספרי לימוד למו"ל. המו"ל יהיה מחויב להתייחס אליהן במהדורה הבאה של הספר.

אודה לכם, אם תעזרו לנו בשיפור הספר.

אנא מלאו את השאלון ושלחו אותו בדואר או בפקס: 02-5603488 עד ל-1 בפברואר של כל שנה.

בתודה,

בנימין לוי

מנהל גף אישור ספרי לימוד

ההערכה של מורה על הספר

תאריך: _____ שם הספר: _____ שם המחבר: _____

לכיתה: _____ שם המורה: _____ מספר הטלפון: _____

	קביעה	כן	לא	הערות או עמודים שבהם יש שיבושים
1	הספר מכסה את כל הנדרש על-פי תכנית הלימודים.			
2	הספר מדויק מבחינה מדעית.			
3	העברית בספר תקינה.			
4	הספר מתאים פדגוגית ודידקטית, לשכבת הגיל.			
5	הגרפיקה (מפות, איורים, צילומים, טבלאות וכו') משרתות את הבנת הטקסט.			
6	בספר אין אפליה בין המינים, אין תיאור סטריאוטיפי של גברים ונשים.			
7	בספר אין פרסומת מסחרית, מפלגתית או פוליטית.			
8	בספר אין הוראות כתיבה.			
9	אין בספר פגיעה במיעוטים, בקבוצה, בעדה או בתרבות כלשהי.			
10	צורת הספר נאה והולמת את דרכי החינוך וההוראה.			
11	הערות נוספות.			



