



# סודות הבקרה – מסע אל תוך החקר

השתלמות מורים, קיץ תשפ"ב 2022



המרכז לפיתוח ותמיכה  
במעבדות הביולוגיה  
בבתי הספר

"... אתם עושים ניסוי, אתם צריכים לדווח על כל מה  
שדעתכם עלול לשלול ממנו את תוקפו – לא רק על מה  
שאתם חושבים שהיה בסדר איתו; סיבות אחרות שאולי  
יכולות להסביר את התוצאות שקיבלתם....

אני מדבר על סוג ספציפי נוסף של יושר שאיננו 'לא לשקר'  
אלא לעשות שמיניות באוויר כדי להראות שאולי אתם  
טועים....

זאת האחריות שלנו כמדענים...."

"אתה בטח מתלוצץ מיסטר פיינמן", (1995)

ריצ'רד פיינמן

פיזיקאי יהודי-אמריקאי,  
זוכה פרס נובל  
לפיזיקה לשנת 1965

<https://he.wikipedia>.

# השערה, הסבר חלופי ובקרה

- השערה, היא הסבר אפשרי לתופעה, מבוססת על ידע מדעי קודם
- בניסוי נבדקת השפעת גורם כלשהו (משתנה בלתי תלוי) על תהליך או תופעה (משתנה תלוי)
- על פי ההשערה, המשתנה הבלתי תלוי משפיע על המשתנה התלוי
- על פי ההסבר החלופי המשתנה התלוי אינו מושפע מהמשתנה הבלתי תלוי
- באמצעות הבקרה אפשר לוודא כי המשתנה הבלתי תלוי בניסוי אכן משפיע על המשתנה התלוי
- הבקרה מאפשרת לשלול הסברים חלופיים הנוגעים למשתנה התלוי

בקורות מתאימות תומכות בכך שהמסקנה נכונה ומבוססת על תוצאות הניסוי.  
הבקרה מקנה **תוקף** למסקנות מהניסוי, ועונה על השאלה האם מערך הניסוי המוצע אכן עונה על מה שרציתי למדוד (שאלת המחקר)

# ניסוי: הכרה של תכונות האנזים אינברטאז

## הסבר אפשרי: אנזים שבתסנין מזרז את פירוק הסוכרוז

| הסבר חלופי                                       | תיאור בקרה           | מאפיין הבקרה                                                          |
|--------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| בתנאי הניסוי סוכרוז מתפרק באופן ספונטני          | סוכרוז + מים         | בלי המשתנה הבלתי תלוי                                                 |
| בתסנין יש חומר שאיננו אנזים, שגורם לפירוק סוכרוז | סוכרוז + תסנין מורתח | בלי המשתנה הבלתי תלוי (המשתנה הבלתי תלוי לא הורחק, אלא בוטלה פעילותו) |

הבקרות אינן מוכיחות שבתסנין יש אנזים, אך הן שוללות את ההסברים החלופיים



המרכז לפיתוח ותמיכה  
במעבדות הביולוגיה  
בבתי הספר

## ניסוי: נשימה בשמרים מקובעים

ההשערה: ככל שריכוז תמיסת גלוקוז גבוה יותר (עד גבול מסוים) , כך יגבר קצב הנשימה של השמרים  
שיטת המדידה: טיטרציה של התמיסה בה שהו השמרים, עם בסיס, בנוכחות אינדיקטור

| הסבר חלופי (אותו שוללים)                                                                                                                                        | תיאור הבקרה                                                       | מאפיין הבקרה                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| מהשמרים נפלטים חומרים חומציים שאינם תוצר של תהליך הנשימה                                                                                                        | שמרים מקובעים + מים                                               | בלי המשתנה הבלתי תלוי                  |
| פליטת פד"ח אינה נגרמת מהשפעת ריכוז גלוקוז                                                                                                                       | השוואה בין הטיפולים השונים בהם יש שינוי בריכוז גלוקוז             | בקרה פנימית                            |
| תמיסת גלוקוז חומצית, ולכן ככל שריכוזה גבוה יותר כך התמיסה יותר חומצית / בהשפעת הטמפרטורה תמיסת גלוקוז מתפרקת במשך הזמן, וככל שריכוזה גבוה יותר כך התמיסה חומצית | תמיסת גלוקוז, בריכוז הגבוה (ללא שמרים)                            | השפעת המשתנה הבלתי תלוי על שיטת המדידה |
|                                                                                                                                                                 | השוואה של הצבע בסיום הטיטרציה לצבע בסיום הטיטרציה של תמיסת גלוקוז | השוואת הצבע (בלנק)                     |



## ניסוי: השפעת טמפרטורה על קצב נשימה של שורשוני לוביה

השערה: ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר, בטווח שבין  $4^{\circ}\text{C}$  -  $40^{\circ}\text{C}$  קצב נשימת השורשונים יגבר  
שיטת המדידה: טיטרציה עם בסיס. אין טיפול בקרה בלי המשתנה הבלתי תלוי (טמפרטורה)

| הסבר חלופי (אותו שוללים)                       | תיאור הבקרה                                                                                      | מאפיין הבקרה                           |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| פליטת פד"ח אינה נגרמת מהשפעת הטמפרטורה         | השוואה בין הטיפולים השונים (טמפרטורות שונות)                                                     | בקרה פנימית                            |
| שינויי הטמפרטורה משפיעים על הצבע של האינדיקטור | תמיסת אינדיקטור בכל אחת מהטמפרטורות                                                              | השפעת המשתנה הבלתי תלוי על שיטת המדידה |
| שינויי הטמפרטורה משפיעים על הצבע של האינדיקטור | טיטרציה של התמיסה בה היו השורשונים תוך השוואה למבחנה עם אינדיקטור (ללא שורשונים), באותה טמפרטורה | בקרת צבע                               |



המרכז לפיתוח ותמיכה  
במעבדות הביולוגיה  
בבתי הספר

## ניסוי: נשימה בזרעים ונבטים

השערה: ככל שהזרעים היבשים תופחים ונובטים כך עולה קצב הנשימה.  
בנבטים מורתחים, בנבטים מוקפאים ומופשרים – לא מתרחשת נשימה.

| מאפיין הבקרה                                   | תיאור הבקרה        | הסבר חלופי (אותו שוללים)                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| השוואה בין התקדמות הצבע בפיפטה בטיפולים השונים | בקרה פנימית        | <ul style="list-style-type: none"><li>• הטיפולים בזרעים / נבטים אינם משפיעים על קצב הנשימה שלהם</li><li>• תפיחת הזרעים ונביטתם אינה משפיעה על קצב הנשימה שלהם</li></ul> |
| בקרה לשיטת המדידה                              | מערכת ללא אורגניזם | התקדמות הצבע בפיפטה מושפעת משינויי טמפרטורה / לחץ במערכת                                                                                                                |
| בקרה לשיטת המדידה                              | מערכת ללא אורגניזם | התקדמות הצבע בפיפטה נגרמת מהתרכבות פד"ח עם בסיס הסידן והקטנת הנפח במערכת                                                                                                |



המרכז לפיתוח ותמיכה  
במעבדות הביולוגיה  
בבתי הספר

## ניסוי: השפעת עוצמת אור על קצב פוטוסינתזה

השערה: ככל שעוצמת האור גבוהה יותר (עד גבול מסוים) כך גובר קצב תהליך פוטוסינתזה

| הסבר חלופי (אותו שוללים)                                          | תיאור הבקרה        | מאפיין הבקרה                                    |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------|
| השינוי בעוצמת האור אינו משפיע על קצב הפוטוסינתזה                  | בקרה פנימית        | השוואה בין התקדמות הנוזל בפיפטה בטיפולים השונים |
| דחיקת הנוזל בפיפטה מושפעת משינויי טמפרטורה / לחץ במערכת           | מערכת ללא אורגניזם | בקרה לשיטת המדידה                               |
| דחיקת הנוזל בפיפטה מושפעת מעוצמת האור (שאולי משפיעה על הטמפרטורה) | מערכת ללא אורגניזם | השפעת המשתנה הבלתי תלוי על שיטת המדידה          |

## סוגים שונים של בקרות

- בקרה ללא המשתנה הבלתי תלוי
- בקרה פנימית (השוואתית)
  - בניסויים שבהם אי אפשר להשמיט את המשתנה הבלתי תלוי
  - בניסויים כמותיים שבהם המשתנה הבלתי תלוי משתנה בהדרגה (רציף) או בדיד
- בקרת צבע (בלנק)
  - כאשר שיטת המדידה מבוססת על שינויים בצבע, יש להשוות את הצבע בטיפולים השונים, לטיפול שבו לא חל שינוי צבע.



המרכז לפיתוח ותמיכה  
במעבדות הביולוגיה  
בבתי הספר

# בקרה לשיטת המדידה

| תיאור הבקרה                                                                                                         | הסבר חלופי (אותו שוללים)                                          | מאפיין הבקרה                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| בניסוי שבו בדקנו השפעת טמפרטורה על נשימת שורשונים בכל אחת מהטמפרטורות מבחנה ובה תמיסת פנול אדום <b>ללא שורשונים</b> | צבע תמיסת אינדיקטור פנול אדום הופך יותר צהוב בהשפעת הטמפרטורה     | המשתנה הבלתי תלוי משפיע על שיטת המדידה                     |
| בניסוי שבו ריכוז אנזים /ריכוז שמרים קבוע, וריכוז סובסטרט משתנה, בקרה <b>ללא אנזים / ללא שמרים</b>                   | ככל שריכוז הסובסטרט עולה כך יורדת דרגת pH                         | המשתנה הבלתי תלוי משפיע על שיטת המדידה                     |
| בניסוי שבו בדקנו השפעת עוצמת אור, על פוטוסינתזה, מערכת ובה תמיסת ביקרבונט <b>ללא אורגניזם, באור</b>                 | מתמיסת ביקרבונט משתחרר גז (פד"ח?) שמשפיע על תזוזת הנוזל בפיפטה    | גורם קבוע משפיע על שיטת המדידה                             |
| בניסוי שבו בדקנו השפעת עוצמת אור על פוטוסינתזה, בכל אחת מעוצמות האור מערכת ללא אורגניזם                             | הטמפרטורה (אמורה להיות גורם קבוע) השתנתה וגרמה לשינוי בלחץ הגזים, | השפעה אפשרית של גורם שתוכנן להיות גורם קבוע על שיטת המדידה |



המרכז לפיתוח ותמיכה  
במעבדות הביולוגיה  
בבתי הספר

# טיפול בתוצאות הבקרה

- כאשר בטיפול הבקרה נמדד ערך כלשהו יש להפחית ערך זה מתוצאות הטיפולים השונים
  - לדוגמה: הנוזל בפיפטה ללא אורגניזם התקדם / נסוג ב... מ"מ
  - לדוגמה: בטיטרציה של התמיסה ללא אורגניזם נדרשו ... טיפות



המרכז לפיתוח ותמיכה  
במעבדות הביולוגיה  
בבתי הספר

# קשיים ושגיאות נפוצות

- **זיהוי** הבקורות בניסוי בדרך כלל אינו מהווה קושי
- קושי בהבנת **חשיבות** הבקרה למערך הניסוי
- הסבר שטחי ולא מדויק של חשיבות הבקרה
- שימוש במושג בקרה "חיצונית" / "עם... בלי"
- שימוש בסיסמאות המבוססות על שינון סוגי הבקורות
- חוסר הבחנה בין בקרה לחזרות
- תיאור טיפול הבקרה במקום הסבר חשיבותה



המרכז לפיתוח ותמיכה  
במעבדות הביולוגיה  
בבתי הספר

# המלצות להוראה

- מומלץ לבסס את ההסבר של הבקרה כדרך לשלילת הסבר חלופי
- אין תועלת במתן שמות לסוגי הבקרות אלא יש לדון בחשיבותן
- תרגול בניסויים / בקטעי מחקר ודיון בבקרות השונות
- הצגת מערך ניסוי ללא בקרה - דיון בהסברים חלופיים לתופעה, תכנון הבקרות שיש להוסיף למערך הניסוי
- רצוי לא להשתמש במהלך ההוראה במושגים תוקף ומהימנות אלא להסביר את חשיבות הבקרות וחשיבות החזרות
- בביוחקר, כדי לתכנן בקרות מתאימות נדרשת הבנה של כל מערך הניסוי: המשתנים, שיטות המדידה והגורמים הקבועים



המרכז לפיתוח ותמיכה  
במעבדות הביולוגיה  
בבתי הספר

# המלצות לקריאה נוספת

**שני מאמרים באתר בר אילן**

+ סודות הבקרה מסע אל תוך החקר

+ לקט שאלות בנושא בקרה

+ **מאמר במרכז הארצי למורי ביולוגיה:**

+ זיהוי ותכנון בקרה והבנת חשיבותה, א. לינק, י. בוסתן