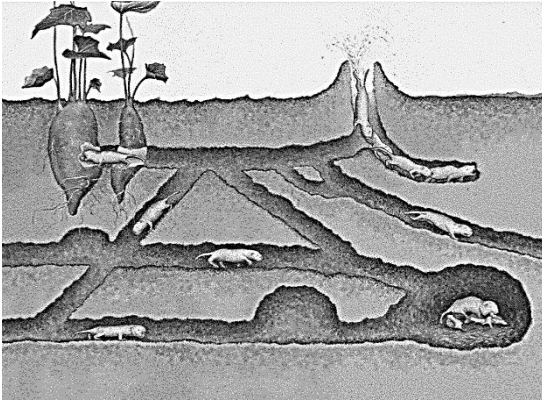


החולד העירום – היונק המוזר בעולם



הנחיות:

מלא את הפרטים בדף זיהוי לתלמיד.
בראש כל דף תשובות רשום את שמך ואת מספר העמוד.

משך הבחינה שעה וחצי

בשאלון עשר שאלות. יש לענות על כל השאלות ועל כל הסעיפים בשאלות.
אין שימוש בחומר עזר
בסוף הבחינה מסור את דפי התשובות, הדף לזיהוי תלמיד והשאלון.

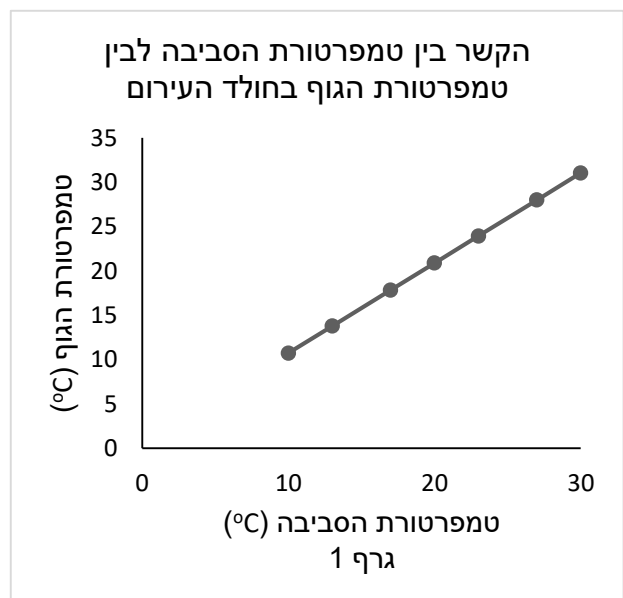
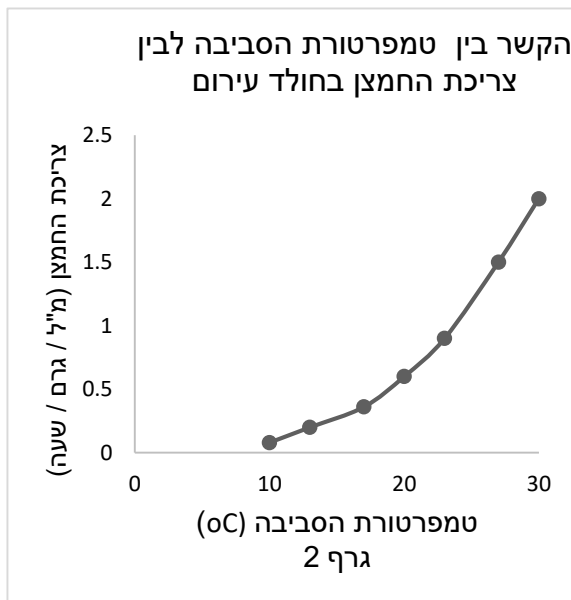
לו היה עלינו לבחור את היונק המוזר ביותר בעולם- החולד העירום החי במזרח אפריקה, היה בוודאי אחד המועמדים המובילים לזכייה בפרס.

ראשית, שמו מעיד עליו שבניגוד למיני חולדים אחרים הוא חסר פרווה.

שנית, אורח חייו מזכיר נמלים או טרמיטים יותר מאשר יונקים. החולד העירום חי במחילות תת קרקעיות, במושבות בנות כמה מאות פרטים. בכל "מושבה" יש רק נקבה ממליטה אחת ("המלכה"), ומספר מצומצם של זכרים המעמידים צאצאים. שאר הפרטים במושבה מתפקדים בשמירה, כריית המחילות, טיפול בצאצאים ואיסוף המזון (שורשים, פקעות ובצלים).

תכונה מפתיעה של החולד העירום התגלתה כאשר נבדקו טמפרטורת הגוף וצריכת החמצן שלו בטמפרטורות סביבה שבין 10°C ל 30°C.

גרף 1 וגרף 2 מציגים את תוצאות הניסוי:



שאלה 1

- א. הסבירו מדוע התוצאות המוצגות בגרף 1 מפתיעות. (5 נקודות)
- ב. אילו חזרו החוקרים על הניסוי עם עכברים, תארו את התוצאות להן הייתם מצפים בגרף 1 ו-2? (אפשר תיאור מילולי או תיאור על ידי ציור / סרטוט גרפים) (5 נקודות)

שאלה 2

עורו של החולד העירום חסר פרווה, חסר בלוטות זיעה והוא בעל שכבת שומן תת-עורי דקה ביותר. הסבירו כיצד משפיעה כל אחת משלוש תכונות אלו על ויסות טמפרטורת הגוף של החולד העירום. (9 נקודות)

חוקרים מניחים שטמפרטורת הגוף המשתנה של החולד העירום היא חלק מהתאמתו לתנאי הסביבה: הטמפרטורה במחילה היא קבועה פחות או יותר (היא משתנה בטווח של עד 4°C בלבד במשך כל השנה), ושוררים בה תנאים של מחסור בחמצן.

טבלה 1: ריכוז החמצן והפחמן הדו-חמצני באוויר הפתוח ובאוויר המחילות

ריכוז החמצן (%)	ריכוז הפחמן הדו-חמצני (%)	
21	0.03	באוויר הפתוח
6	10	באוויר המחילות

הסיבות להבדלים המוצגים בטבלה הן האורור הלקוי של המחילות (שעומקן כ-2.5 מטר), צפיפות החולדים (עד 300 פרטים במושבה אחת!) והימצאותם של יצורים חיים נוספים במחילות, כגון שורשי צמחים וחיידיקים החיים באדמה.

שאלה 3

- א. החמצן חיוני להפקת אנרגיה. הביאו דוגמה אחת לתהליך צורך אנרגיה המתרחש בחולד, ודוגמה אחת לתהליך אחר הצורך אנרגיה המתרחש בשורשי הצמחים. (4 נקודות)
- ב. בין החולד העירום לבין צמחים עשויים להתקיים לפחות שני סוגים של יחסי גומלין. ציינו שני סוגים של יחסי גומלין שיכולים להתקיים ביניהם ונמקו את קביעתכם לגבי אחד מהם. (6 נקודות)

שאלה 4

נמצא שהרקמות בגופו של החולד העירום עמידות במיוחד לנוקי חומצה. הסבירו כיצד עמידות לנוקי חומצה מהווה התאמה לסביבת החיים הייחודית של החולד. בתשובתכם התבססו על נתוני טבלה 1. (8 נקודות)

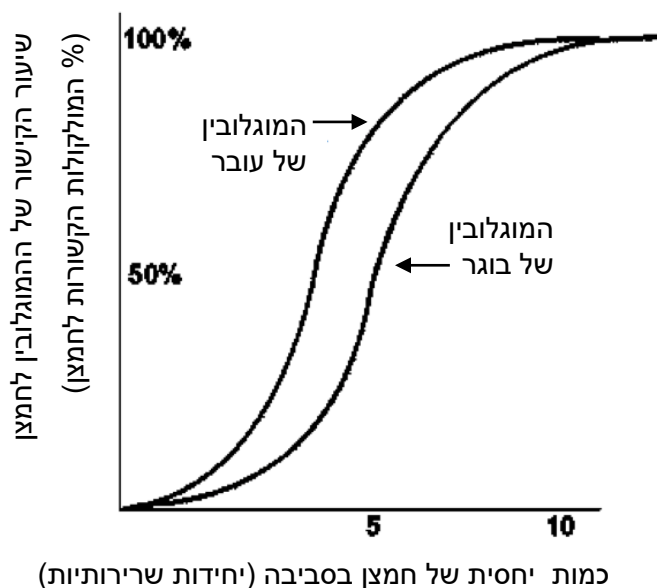
חוקרים מצאו שחולד עירום בוגר יכול לחיות אפילו חמש שעות בסביבה דלה מאוד בחמצן ולשרוד 18 דקות ללא חמצן בכלל. לשם השוואה – עכברים בוגרים אינם יכולים לשרוד יותר מדקה אחת ללא חמצן, וכ-15 דקות בסביבה דלה מאוד בחמצן.

התאמתו של החולד העירום למחסור בחמצן מזכירה את ההתאמה של עוברים ושל וולדות¹ של יונקים ממינים שונים. ביונקים העובר מתפתח ברחם בתוך גוף האם, ובסביבה זו ריכוזי חמצן הם נמוכים יחסית. בעוברים ובוולדות מוכרים מספר מנגנונים המקנים להם סבילות לריכוז חמצן נמוך, וחוקרים רצו לבדוק האם בחולד העירום הבוגר פועלים מנגנונים דומים.

ההמוגלובין של החולד העירום הבוגר דומה במבנהו להמוגלובין העוברי הקיים אצל יונקים בשלב עוברי.

גרף 3 מתאר את ההשפעה של ריכוז החמצן בסביבה על שיעור הקישור של ההמוגלובין לחמצן, באדם בוגר ובעובר.

גרף 3



שאלה 5

עיינו בגרף 3 והסבירו את היתרון של המוגלובין עוברי על פני המוגלובין של אדם בוגר בסביבה דלה בחמצן 8) (נקודות)

במינים רבים של יונקים המוח רגיש במיוחד למחסור בחמצן. מחסור בחמצן מעורר בתאי המוח שרשרת תהליכים שעלולה לגרום לכניסה מוגברת של יוני סידן מהסביבה החוץ-תאית אל תוך התאים. ריכוז גבוה של סידן מעל בתוך התאים מפעיל אנזימים המפרקים חלבונים (אנזימים מסוג פרוטאזות) הפוגעים במרכיבים חיוניים בתא ועלולים להביא למותו.

בניסוי שבא לבחון את עמידותו יוצאת הדופן של החולד העירום לתנאים של מחסור בחמצן, נבדקה השפעת המחסור בחמצן על כמות הסידן התוך-תאי במוחותיהם של עכברים וחולדים, וולדות ובוגרים.

המדידה נעשתה באמצעות חומר צבע פלואורסנטי מיוחד. חומר צבע זה חודר לתוך התא ופולט קרינה.

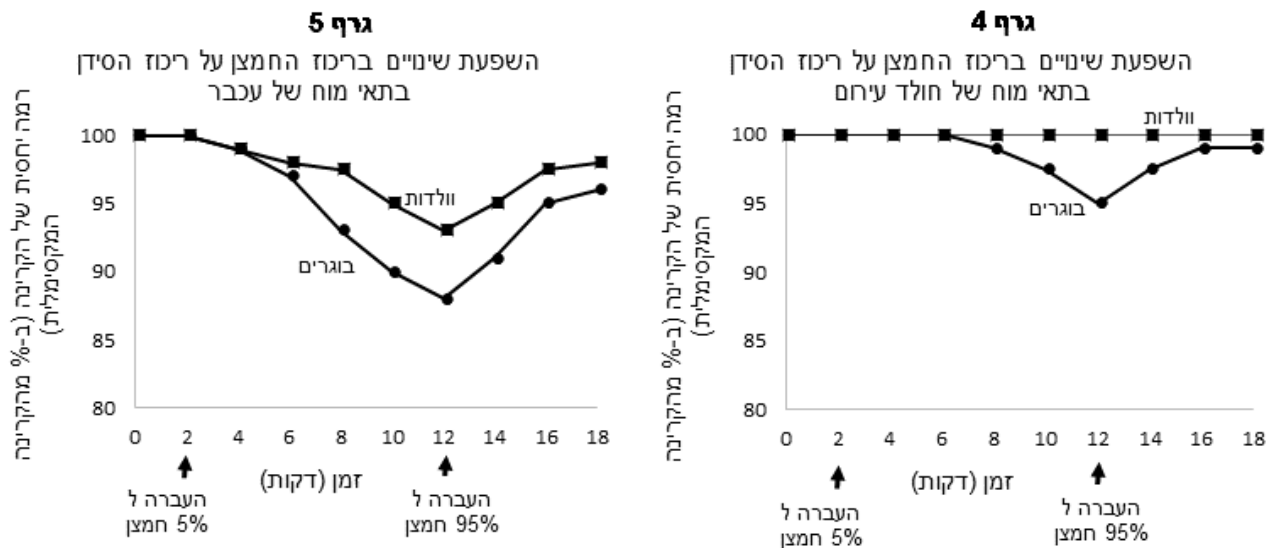
חומר הצבע הפלואורסנטי משתנה כשהוא מגיב עם סידן. ככל שרמת הסידן גבוהה יותר עוצמת הקרינה הנפלטת

מחומר הצבע יורדת.

¹ וולד – צאצא של יונק בימיו הראשונים

ניסוי 1

גידלו תאי מוח של חולד ושל עכבר בתרבויות נפרדות. בתחילת הניסוי שהו התאים בתערובת גזים עשירה בחמצן (95% חמצן) במשך שתי דקות. רמת הקרינה שהתקבלה בתנאים אלה, הוגדרה כרמה המקסימלית. לאחר מכן הועברו התאים לתנאים של מחסור חריף בחמצן (תערובת שהכילה 5% חמצן בלבד) למשך 10 דקות, ואז הוחזרו שוב לתערובת גזים עשירה בחמצן (95% חמצן). עוצמת הקרינה שנפלטת מהתאים נמדדה בכל שלבי הניסוי. בגרפים 4 ו-5 מתוארת הרמה היחסית של קרינה שנפלטת מתאי המוח של החולד ותאי המוח של העכבר במהלך הניסוי. רמת הקרינה המקסימלית, שנמדדה בתנאים של 95% חמצן, הוגדרה כ 100% קרינה.



שאלה 6

- א. מדוע לא הסתפקו החוקרים בבדיקה של תאי חולד בלבד, ובידקו במקביל גם תאים של עכבר? (4 נקודות)
- ב. מהם המשתנים הבלתי תלויים בניסוי שתוצאותיו מתוארות בגרפים 4,5? (4 נקודות)
 1. ציינו שני גורמים שנשמרו קבועים בניסוי המתואר, והסבירו לגבי אחד מהם מדוע חשוב לשמור אותם קבוע. (6 נקודות)
 2. התוצאות חושבו באחוזים מהקרינה הפלואורסנטית המקסימלית שהתקבלה בתחילת הניסוי (בסביבה עשירה בחמצן). מדוע היה צורך לחשב כך ולא הסתפקו בתיאור עוצמת הקרינה הפלואורסנטית שהתקבלה בכל טיפול? (4 נקודות)

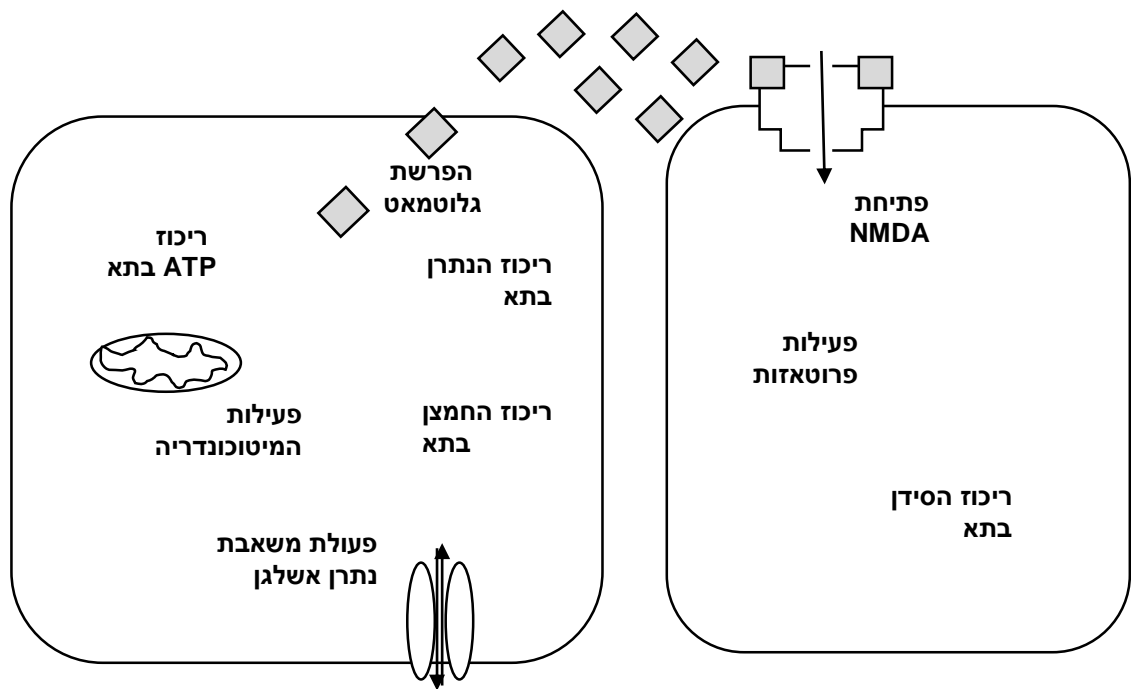
שאלה 7

אילו מסקנות ניתן להסיק מהניסוי? התייחסו לשניים מהמשתנים הבלתי תלויים שנבדקו. (10 נקודות)

כניסת יוני הסיידן לתאי המוח היא תוצאה של שרשרת תהליכים. המחסור בחמצן גורם למחסור ב-ATP בתאים. כתוצאה מכך נפגעת פעילותה של משאבת נתרן-אשלגן בקרומי התאים, וריכוז הנתרן התוך תאי עולה. העלייה בריכוז הנתרן בתאי העצב במוח גורמת להפרשת הניורטרנסמיטור גלוטמאט מהתאים לסביבה. הגלוטמאט נקשר לתאי עצב הנושאים קולטן לגלוטמאט הנקרא NMDA. קישור של גלוטמאט ל-NMDA גורם לשינוי במבנה הקולטן, והוא הופך לתעלה

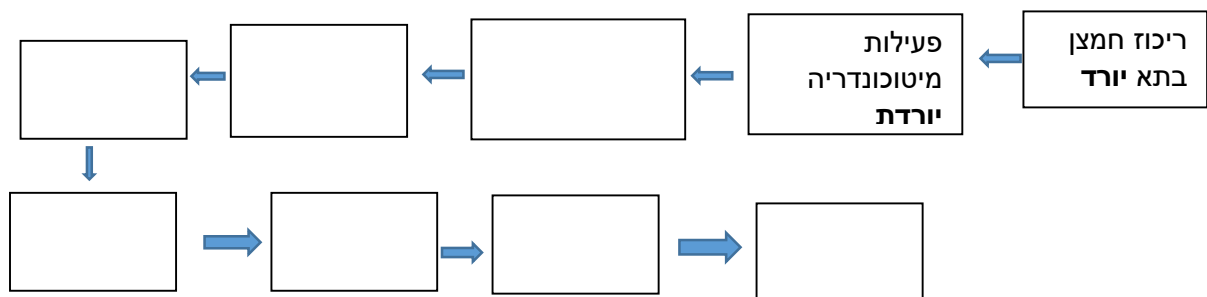
המאפשרת כניסת סידן לתא. כפי שצוין קודם, הסידן מפעיל אנזימים הפוגעים במרכיבים חיוניים לתא. מכאן, של-NMDA תרומה משמעותית לנזק הנגרם לתאי המוח כתוצאה ממחסור בחמצן.

לפניכם תרשים המתאר את האירועים והתהליכים המתרחשים בתאים מוח בעת מחסור בחמצן.



שאלה 8

השלימו את תרשימי הזרימה המתאר את הסדר הנכון של האירועים המתרחשים בתאים בתגובה למחסור בחמצן, ואת מגמת השינוי (עולה/ יורד). עליכם להשתמש בכל המושגים הרשומים באיור שלמעלה. (7 נקודות)



הקולטן NMDA הוא חלבון המורכב מארבע תת-יחידות המסומנות באות N – שתיים קבועות מטיפוס N1 ועוד שתי יחידות N2 מבין ארבעה סוגי יחידות N2 אפשריות.

בוולדות עכברים מהלידה ועד גיל 3-4 שבועות משתנה הרכב תת-היחידות של הקולטנים בתאי המוח, ובמקביל יורדת גם הסבילות למחסור בחמצן.

לאחר שמצאו שבתנאי מחסור בחמצן חל שינוי בכמות הסידן בתאי המוח, החליטו החוקרים לבדוק את ההבדל בהרכב הקולטנים מסוג NMDA בעכברים ובחולדים, בוולדות ובבוגרים. בניסוי נבדקו שתיים מהיחידות שאינן קבועות בקולטן: יחידות N2B N2D.

ניסוי 2

החוקרים לקחו דגימות של תאים ממוחותיהם של חולדים ושל עכברים בגילאים שונים, מיצו מהם את החלבונים, והוסיפו נוגדנים ייחודיים (ספציפיים) לכל אחד מסוגי תת-היחידות המרכיבות את הקולטנים. הנוגדנים היו מסומנים בסימון רדיואקטיבי – ככל שרמת הנוגדנים שנקשרו לדגימה הייתה גבוהה יותר, הסימון הרדיואקטיבי שהתקבל היה חזק יותר. המדענים חישבו לכל תת-יחידה, את היחס בין רמת הרדיואקטיביות של תאי מוח בוגר לבין רמת הרדיואקטיביות של תאי מוח של וולד, באחוזים.

להלן נוסחת החישוב:

$$\frac{\text{רמת רדיואקטיביות בוגר}}{\text{רמת רדיואקטיביות וולד}} \times 100$$

תוצאות הבדיקה של שתיים מתת-היחידות מובאות בטבלה 2:

היחס בין הרדיואקטיביות של תאי מוח בוגר לבין הרדיואקטיביות של תאי מוח וולד (%)		עוצמת הסימון
חולד עירום	עכבר	סוג הנוגדן
71.4	64.6	נוגדן נגד תת-היחידה N2B
66.1	12.7	נוגדן נגד תת-היחידה N2D

שאלה 9

בהנחה שלהרכב תת-היחידות של הקולטן יש השפעה על הסבילות למחסור בחמצן, ובהתייחס לכך שלוולדות יש סבילות גדולה יותר למחסור בחמצן, ציינו איזו תת-יחידה (N2B או N2D) מקנה עמידות למחסור בחמצן. נמקן את קביעתכם והתבססו על הנתונים המוצגים בטבלה 2. (12 נקודות)

שאלה 10

נמצא שלהרכב תת-היחידות של הקולטן יש השפעה גם על משך הזמן שהקולטן משמש כתעלת סידן. הסבירו מה עשויה להיות השפעתה של תת-היחידה שציינתם בשאלה 9 על משך כניסת הסידן לתאי המוח. בהסברכם התבססו על גרף 4 ועל טבלה 2. (8 נקודות)

ממחקרים רבים שנערכו על החולד העירום עלו מספר תובנות חשובות לגבי אורך חיים, סביבות חיים חריגות ואפילו על מחלת הסרטן. יתכן ובעתיד נצליח ללמוד ממנו דברים שיעזרו לבריאות באדם והבנה מעמיקה יותר על תהליכי חיים בכלל.