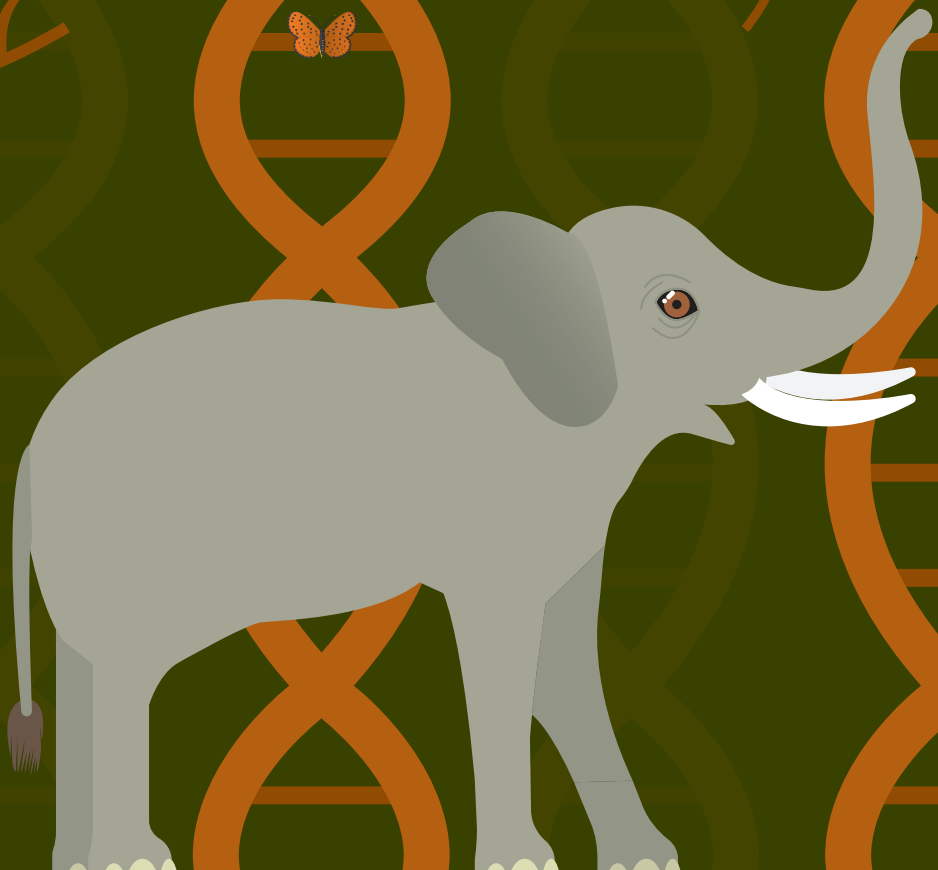


# סקס - רבייה מינית ממולוקולות עד פילים

פרופ' מיכאל ברנדייס  
ד"ר מיכל רמות



קורס מקוון

# סקס - רבייה מינית ממולוקולות עד פילים

<https://bit.ly/2S5WpDT>

פרופ. מיכאל ברנדייס  
ד"ר. מיכל רמות  
האוניברסיטה העברית

## מבוא

ברוכים הבאים לקורס – "סקס – רבייה מינית ממולוקולות עד פילים". קורס זה הופק על ידינו ונועד לסטודנטים באוניברסיטה, לתלמידי תיכון, למורים ולקהל הרחב. ספר זה מכיל את התמלול של כל הסרטונים (כ 60 במספר) של הקורס. מאחר ומדובר בתמלול הטקסטים לא עברו עריכה לשונית כמו בספר. הספר מכיל גם את הטקסטים הכתובים בקורס. הוא אינו מכיל את התרגילים. הספר נועד לסייע בלמידת הקורס אבל לא מכון להחליף את הסרטונים והחומר היוזאלי שבהם. כל הסרטונים ניתנים לצפייה ישירה גם מאתר יוטיוב עם כתוביות בעברית ובערבית. בנוסף הקורס הופק גם באנגלית וניתן לצפות בו הן באתר קמפוס והן באתר EdX.

אנחנו מודים מקרב לב לדודי איבן – עורך הוידאו והאפטרסט המוכשר שלנו, ליובל פאן, רועי ברנדייס, ערן ברנדייס ונעה ברנדייס על הצילומים המופלאים, לנטע כשר על האיורים המרהיבים ולבני הזוג שלנו שתמכו ועזרו. תודה מיוחדת לביתנו האקדמי האוניברסיטה העברית ולישראל דיגיטאלית ולמועצה להשכלה גבוהה על האמון, המימון והליווי.

**מיכל רמות ומיכאל ברנדייס אביב 2019**

**רשימת הסרטונים של הקורס המקוון**  
**”סקס – רבייה מינית ממולקולות עד פילים”**  
[https://campus.gov.il/course/course-v1-huji-acd\\_huji\\_85002/](https://campus.gov.il/course/course-v1-huji-acd_huji_85002/)  
**הזמינים לצפייה ביוטיוב**

**פרופ. מיכאל ברנדייס**  
[michael.brandeis@mail.huji.ac.il](mailto:michael.brandeis@mail.huji.ac.il)

**יחידה 1 – המגוון הביולוגי**

- א. מבוא ליחידה 1 <https://youtu.be/2iqwLshx2cg>
- ב. ילוסטון וראשית החיים <https://youtu.be/j8yavrqaF9Y>
- ג. ספארי באפריקה <https://youtu.be/PJJMKVywRKA>
- ד. הכרות עם עולם החי – סיור במוזיאון הטבע בתל אביב <https://youtu.be/r8-iHBqWg7M>
- ה. מהו מין ביולוגי <https://youtu.be/BXrvibgTu3A>
- ו. סיסטמטיקה <https://youtu.be/-QHFtIWGmA0>
- ז. היסטוריה ביולוגית מהפיצוץ הקמברי ועד ימינו <https://youtu.be/V14aTTD1pkE>
- ח. האנטרופוקן <https://youtu.be/g2kc1PAOfJl>
- ט. שונות האלמוגים באילת [https://youtu.be/g\\_iW-jaAOol](https://youtu.be/g_iW-jaAOol)

**יחידה 2 – אבולוציה ותורשה**

- א. מבוא ליחידה 2 – אבולוציה <https://youtu.be/Hvo-zgqUPV0>
- ב. עקרונות הברירה הטבעית <https://youtu.be/R7bT-l3q-Fo>
- ג. דניא <https://youtu.be/U2NflcRSRC0>
- ד. תורשה <https://youtu.be/4z4HBWGbNhw>
- ה. יצירת מינים חדשים [https://youtu.be/b\\_i1mKmuS9s](https://youtu.be/b_i1mKmuS9s)
- ו. אבולוציה מינית – מדוע חיות מתקשטות <https://youtu.be/8HKZu8H9mXo>
- ז. הג'ראפה כמשל <https://youtu.be/ypzxtpwWbeY>

**יחידה 3 – מחזור התא, מיזוזה, המחזור החודשי ויצירת תאי מין**

- א. מבוא ליחידה 3 <https://youtu.be/XXRQg71jEz4>
- ב. מחזור התא <https://youtu.be/wzDBU9PHMI4>
- ג. מיזוזה <https://youtu.be/k9OcmWNDp0>
- ד. איזוגמיה ואנאיזוגמיה <https://youtu.be/kKnnoMJYoZI>
- ה. ביציות ומחזור הפוריות באדם <https://youtu.be/EpX4Ov-LGFw>
- ו. יצירת תאי זרע בחגב ובאדם <https://youtu.be/gBRh0kSHUNU>
- ז. מלריה <https://youtu.be/KSzbGr0qZxw>



#### יחידה 4 – זוויגים – בן או בת?

- א. מבוא ליחידה 4 משמעות ההפרדה לזכרים ונקבות <https://youtu.be/p3jpsrC7ixQ>
- ב. קביעת זוויג <https://youtu.be/yb1ukM3Clk8>
- ג. הרמפרודיטים <https://youtu.be/71EcGzGgPD4>
- ד. גמישות זוויגית והיפוך מין בדגים [https://youtu.be/\\_pVwGq3mGo0](https://youtu.be/_pVwGq3mGo0)
- ה. דו צורתיות זוויגית <https://youtu.be/hcqmNKJUgkE>

#### יחידה 5 – דגמי רבייה בבעלי חיים

- א. מבוא ליחידה 5 <https://youtu.be/hclOZtCTW6I>
- ב. הפרייה חיצונית ופנימית <https://youtu.be/zj1GTkiKUuY>
- ג. מונוגמיה בציפורים [https://youtu.be/0f9U\\_0Qx6aw](https://youtu.be/0f9U_0Qx6aw)
- ד. מבנים חברתיים ביונקים <https://youtu.be/RyLg8NCbGZ8>
- ה. קופים <https://youtu.be/qL1pzNSDitA>
- ו. רבייה שיתופית <https://youtu.be/v2WSiP3Kilw>
- ז. פילים <https://youtu.be/kzrzlNJDLqE>
- ח. ביקור בתמול שלשום <https://youtu.be/ipamLyMdTzl>
- ט. מה זאת אהבה – ראיון עם פרופ. יורם יובל <https://youtu.be/ars6Z5XT0o8>

#### יחידה 6 – התפתחות עוברית וטיפול הורי

- א. מבוא ליחידה 6 <https://youtu.be/zlt4VWNRLiw>
- ב. ביקור ביחידה להפריה חוץ גופית <https://youtu.be/0iptpr7Gv3I>
- ג. התפתחות עוברית מוקדמת <https://youtu.be/B7magNDSg5I>
- ד. עקרונות ההתפתחות – יחידות חוזרות <https://youtu.be/hyhL6cobzqxg>
- ה. גלגול בחרקים <https://youtu.be/yjM59cY5VpM>
- ו. התפתחות עוברית מאוחרת <https://youtu.be/Vvq50Yk7s1M>
- ז. טיפול הורי <https://youtu.be/hclOZtCTW6I>

#### יחידה 7 - פרחים

- א. מבוא ליחידה 7 <https://youtu.be/Fzjb9BkUQXw>
- ב. האבולוציה של צמחים <https://youtu.be/o1Llc-WG-tE>
- ג. רבייה בטחבים ושרכים <https://youtu.be/H7ze9YVM7Aw>
- ד. האבקת רוח <https://youtu.be/Qska1IXVzgo>
- ה. מבנה הפרח <https://youtu.be/SIIVcslazCQ>
- ו. האבקה <https://youtu.be/oMolhP8V7Mg>
- ז. מאביקים <https://youtu.be/xP0MXzdw8>
- ח. הפרייה כפולה <https://youtu.be/X2IDuANcPk8>

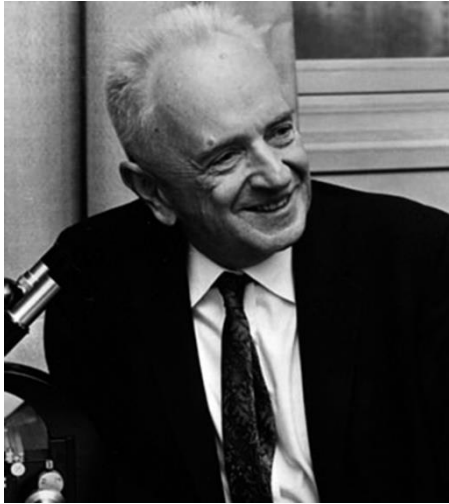
# יחידה 1 – המגוון הביולוגי





## 00 מבוא ליחידה 1 – המגוון הביולוגי

<https://youtu.be/2iqwLshx2cg>



ברוכים הבאים ליחידה הראשונה בקורס שלנו – סקס - רבייה מינית ממולקולות עד פילים. רבייה מינית היא המחזה הגדול ביותר על פני כדור הארץ וביחידה זו נערוך הכרות עם השחקנים. הגנטיקאי המפורסם תיאודוסיוס דובז'נסקי אמר: "בביולוגיה אין משמעות לדבר אלא לאור תורת האבולוציה". נתחיל לכן בביקור בפארק הלאומי ילוסטון בארצות הברית. פארק זה עשיר בתופעות געשיות. החיידקים הפשוטים והקדומים שנפגוש במעיינות החמים כאן יפתחו לנו חלון לעבר הביולוגי הרחוק שלנו. נלמד מה הם תאים חיים וכיצד נוצרו התאים האוקריוטיים

המהווים את הבסיס לכל היצורים הרב תאיים. מילוסטון נמשיך לספארי באפריקה ולהכרות ראשונה עם היונקים הגדולים – המגה-פאונה – השולטים בעולמנו היום. נשוב ונפגוש בעלי חיים אלה – ג'יראפות, פילים, אריות ורבים אחרים לכל אורך הקורס. בסרטון שלאחר מכן נבקר במוזיאון הטבע החדש בתל אביב ונעשה קצת סדר בעולם החי. נלמד מה היא סיסטמטיקה וכיצד מסווגים בעלי חיים. יחידת המיון הבסיסית בעולם החי והצומח היא המין הביולוגי ואנחנו נבקר בתחנת הצפרות בירושלים על מנת לעמוד על משמעות המושג ולראות שאינו כה פשוט. אחרי הכרות עם עולם החי העכשווי הסרטון הבא יקח אותנו לגיחה קצרה לעבר ולהתפתחות בעלי החיים בחצי מיליארד השנים האחרונות. נלמד על הפיצוץ הקמברי ועל חמש ההכחדות הגדולות שעיצבו את עולם החי. נראה כיצד הם איפשרו את עליית הדינוזאורים, את העלמותם ואת עליית היונקים. נסיים בשאלה האם עולם החי עומד בפני הכחדה שישית מעשה ידי אדם. שאלה זו תלווה אותנו ביתר שאת בביקור באוסף הביולוגי המרשים באוניברסיטת תל אביב. לסיום תצללו אתנו באילת כדי לערוך היכרות עם עולם החי התת מימי הקסום.

## 01 מבט לראשית החיים - ביקור בילוסטון

<https://youtu.be/j8yavrqaF9Y>

סיירנו בפארק משך חמישה ימים ארוכים, ומרתקים כדי למצוא עבורכם את המקומות היפים, ובעיקר המשמעותיים ביותר מבחינה ביולוגית. אנחנו נתחיל בסיור קצרצר לתת לכם טעימה של הנופים. לצערנו לא נוכל לכלול כאן את ריחות הגופרית ואת הכפור בבוקר, לא את טעם המרשמלו על המדורה בערב או את קולות הברד על האוהל שלנו בלילה.

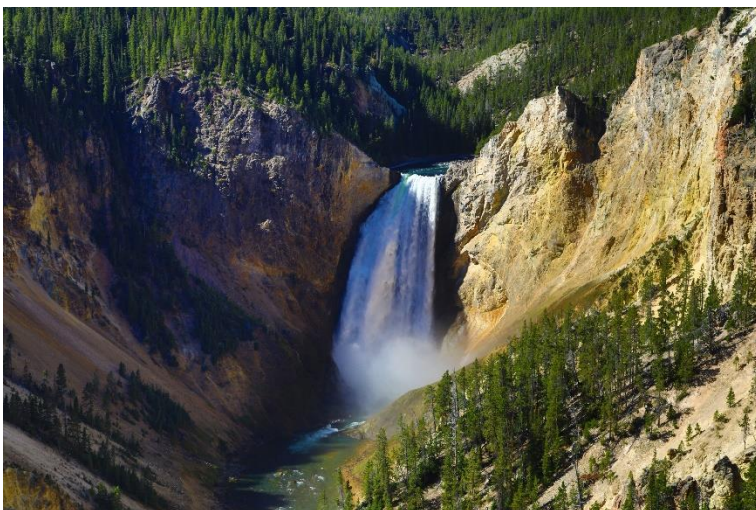
השראה חשובה קיבלנו מספרם  
היפהפה של ברוס פוק (Bruce Fouke) ותום מורפי –  
The art of Yellowstone science- האומנות  
של המדע של ילוסטון. במבוא  
לספר כותבים המחברים – "אומנות  
ומדע מקורם באותה התשוקה  
האנושית להבין את העולם



שבתוכנו ושמסביבנו, מהיכן? כיצד? ומדוע? באנו, ולאן אנו הולכים? בחיפושנו אחר תשובות המדע זקוק להשראה מהאומנות, והאומנות שואפת לתובנות מהמדע. יחסי גומלין אלה מציתים את הדמיון ומעודדים את הסקרנות". סוף ציטוט. קטע זה מתמצת לא רק את הביקור שלנו בילוסטון אלא את הקורס כולו. אתם תלמדו שסקרנות, חוש ליופי, יצירתיות ודמיון מקורם כולם בצורת הרבייה המינית שלנו. שאפנו לכן להפיק קורס שידבר אל כל הרבדים האלה ויצג את היופי והמסתורין שבטבע, יגרה

את דמיונכם ויעודד אתכם לחשוב בצורה יצירתית.

אנחנו עומדים ליד המפל התחתון בנהר הילוסטון שנתן לפארק את שמו – ילוסטון פרושו אבן צהובה באנגלית, וכאן אתם יכולים לראות למה. חלק גדול מהפארק הוא לוע התמוטטות - קלדרה ענקית של הר געש. רוב התופעות שאנחנו רואים כאן נובעות ממים החודרים לסדקים בקרום,



מתחממים ופורצים חזרה ברעש גדול או בקול דממה דקה - בגייזרים, בארובות אדים, במעיינות חמים ובבריכות בוץ מבעבעות. כשהולכים כאן ניתן להתרשם ולחוות עד כמה דק הקרום עליו אנחנו

חיים ואיזו פעילות רוחשת מתחתיו. זה יהיה לא מפתיע כלל עם הכל יתפוצץ כאן כל רגע, אבל אם אתם צופים בסרט אתם מבינים שחזרנו בשלום.

אני עומד כאן בפארק ילוסטון בארצות הברית ומאחורי נמצא גייזר ה Old faithful המפורסם. גייזר שמתפרץ כל 90 דקות ואנחנו בקרוב נראה אותו מתפרץ. המקום הזה הוא שמורת הטבע הראשונה

בעולם, היא הוכרזה בשנת 1872 ומייצגת את מה שרבים רואים בו את הרעיון האמריקאי הנעלה ביותר, הרעיון של שמורות טבע ושמירת טבע. באנו לכאן משתי סיבות עיקריות. סיבה אחת היא שיש לנו כאן מגה-פאונה מאד גדולה ומעניינת. אולי אחת הגדולות



והמעניינות ביותר שיש מחוץ לאפריקה. יש ביזונים, אלקים, דובים, זאבים ועוד הרבה מאד חיות אחרות שחיות פה במערכת אקולוגית יחד עם מיליוני המבקרים שאתם רואים כאן מסביבכם. הסיבה השנייה שהגענו לכאן הן התופעות הגיאותרמיות האלה, שאנחנו נראה כאן החל מהגייזר הזה וכלה בעשרת אלפים גייזרים ומעיינות חמים שונים. באותם מעיינות חיים סוגים שונים של חיידקים. מה שאנחנו רואים כאן למעשה מייצג חלון זמן לתוך העבר המאד רחוק שלנו כייצורים חיים ואנחנו נעקוב אחריהם כאן, אנחנו נראה מעיינות שונים בטמפרטורות שונות ונראה כיצד היצורים האלה חיים בתנאים שאולי מייצגים את התנאים על פני כדור הארץ לפני הרבה מאד שנים.

הביקור בילווסטון מאפשר לנו הצצה מרתקת לא רק אל מתחת לקרום הדק עליו אנחנו חיים אלא גם מאפשר לנו להישיר מבט לעבר הרחוק של כדור הארץ. משערים שכדור הארץ נוצר לפני כ 4.5



מיליארד שנה. חיים התחילו להופיע לפני כמעט 4 מיליארד שנה, אבל אנחנו רחוקים מאד מלהבין כיצד. אחת ההשערות היא שזה קרה במעיינות חמים על קרקעית האוקיינוס. במעיינות האלה קשה לבקר, אבל כאן ב Mammoth, בצפון ילוסטון, מתרחשים

לנגד עיננו תהליכים גיאולוגיים דומים ובקצב מטורף. המים הנובעים כאן מהאדמה מקורם בגשם שירד לפני אלפי שנים ושעבר בשכבות סלע עמוקות בהם הוא המיס מינרלים שונים. כשהתמיסה החמה הזאת מגיעה לפני השטח היא משקיעה סלע גירני בשם טרוורטין. סלע זה אופייני למערות נטיפים ולקומקום חשמלי בבית אבל כאן כמות הטרורטין השוקע היא עצומה. אחרי שהמים יוצאים

מהסדקים הם מתקררים בהדרגה והחומציות שלהם משתנה. הטרורטין שוקע ויוצר בריכות קטנות. האופי המשתנה של המים יוצר מגוון בתי גידול המאכלסים בצורות חיים יחודיות שצובעות את הסלעים במגוון צבעים. יצורים אלה הם הבסיס לשרשרת מזון שלמה. משך רוב ההיסטוריה של כדור הארץ חיו עליו יצורים חד תאיים בלבד – חיידקים. עד כמה שזה ישמע משעשע אחת הסיבות שבאנו הנה היא לראות חיידקים. זה משעשע כי הרי חיידקים יש בכל מקום, אפילו בגוף שלנו יש מספר עצום של חיידקים. אבל בדרך כלל לא רואים אותם בעין בלתי מזוינת. כאן בילוסטון אפשר לראות חיידקים ולעשות ממש ספארי חיידקים. למשל כאן ב Great prismatic spring, המעיין החם הגדול ביותר באמריקה, יש מרבדים גדולים של חיידקים. עד לפני מספר עשרות שנים נהוג היה לחשוב שהחיידקים היא קבוצה אחת. כולם תאים קטנים, פשוטים ונטולי אברונים פנימיים המתרבים על ידי חלוקה. פיתוח של שיטות ריצוף מולקולריות איפשרו לקארל וז (Carl Woese), החוקר הכי מפורסם עליו לא שמעתם, לגלות בשנות השבעים של המאה הקודמת שהחיידקים מורכבים משתי קבוצות שונות מאד. ארכיאה וחיידקים אמיתיים. כמו מדענים פורצי דרך רבים נתקל וז זמן רב בזלזול ובעוינות משאר הקהילה המדעית אבל החלוקה לארכיאה וחיידקים מקובלת היום על הכל.

פרוש השם ארכיאה הוא יצורים עתיקים כמו שארכיאולוגיה הוא מדע העתיקות. רבים ממיני הארכיאה חיים בתנאי טמפרטורה, חומציות ומלח קיצוניים. אם אני אפול לתוך אחד המעינות



החמים כאן ב Norris basin אתבשל ולא אשרוד יותר מכמה דקות אבל הארכיאה כאן חיים בטמפרטורות של מעל ל 100 מעלות ובחומציות גבוהה.

הקבוצה השניה - החיידקים ה"אמיתיים" מוכרים לנו היטב. למשל בגופנו, בעיקר במערכת העיכול שלנו, יש כמות גדולה

מאד של חיידקים החיים איתנו בשיתוף פעולה פורה. מספר החיידקים בגופנו קרוב למספר התאים שלנו. אמנם אנחנו רגילים לחשוב על חיידקים כגורמי מחלות אבל מספר מיני החיידקים המזיקים קטן מאד ולרוב החיידקים אין השפעה שלילית ולחלקם השפעה חיובית על הגוף שלנו. למען האמת ללא חיידקים העוזרים לנו לעכל את המזון שלנו היינו מתקשים מאד לשרוד לאורך זמן. יצורים מעלי גירה כמו האיילים האלה עוד יותר תלויים בחיידקים שיעזרו להם לעכל את העשבים אותם הם אוכלים.

במעיינות החמים והרותחים כאן יש חיידקים בעלי עמידות לתנאי חום וחומציות. חלק מהחיידקים מנצל את אנרגית השמש ופולט חמצן לאטמוספירה. אבות אבותיהם של חיידקים אלה אחראיים לכך שהאטמוספירה שלנו עשירה בחמצן. אפשר לזהות את סוגי החיידקים השונים לפי הצבע של המרבדים שהם יוצרים. אחת הסיבות לצבע הכתום היא חומר שחיידקים מסוימים מייצרים כדי להתגונן מקרינת השמש. חומרים דומים נמצאים בגזר ובעגבנייה וגם בעלים של עצים. כאשר



הכלורופיל הירוק שבעלים מתפרק בסתיו, לקראת השלכת, צבע זה מתגלה בכל הדרו. מחיידקים הגדלים כאן הפיקו חלבונים עמידים לחום המשמשים בתהליכים עליהם מתבססת היום כל תעשיית הביוטכנולוגיה, כמו גם שיטות אבחון רפואי, זיהוי פלילי וריצוף הגנום עליהם נדבר בהמשך.

בשלב זה אתם בוודאי מתפלאים מדוע אנחנו מדברים על חיידקים. הקורס הזה אמור הרי להיות על

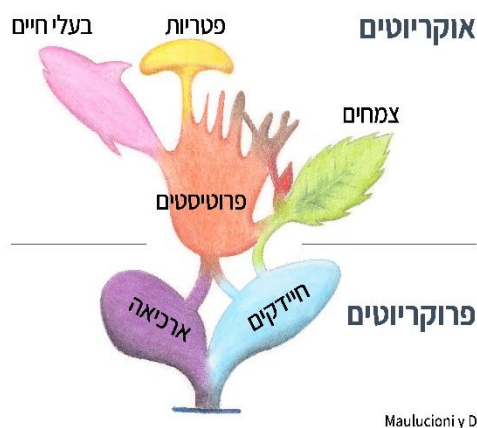
סקס ולחיידקים, אין סקס, הם מתרבים על ידי חלוקת תאים.

סקס היא תופעה הייחודית ליצורים אוקריוטיים. רבים מכם שומעים כאן את המילה אוקריוט בפעם הראשונה. בקורס הזה נמעט ככל האפשר להשתמש במונחים מדעיים שאתם לא



מכירים אבל אוקריוט הוא מונח חשוב מכדי לדלג עליו. ראשית כי אתם, אם לא ידעתם, אוקריוטים, ושנית כי הם מתרבים על ידי רבייה מינית מה שהופך אותם לשחקנים המרכזיים בקורס שלנו. המילה אוקריוט פרושה בעל גרעין אמיתי. כי לכל התאים האוקריוטיים יש גרעין. כל היצורים הרב תאיים – בעלי חיים, צמחים ופטריות הם אוקריוטיים. יש גם אוקריוטים רבים שהם יצורים חד תאיים כמו השמרים שעושים לנו את הלחם ואת הבירה או שגורמים למחלת המלריה. היצורים שאין להם גרעין – החיידקים והארכיאה – נקראים פרוקריוטים.

ליצורים החיים היום על פני כדור הארץ – פרוקריוטים ואוקריוטים יש מספר רב של תכונות משותפות אבל אנחנו נזכיר כאן רק שתיים. הראשונה היא שלכל התאים יש קרום חדיר למחצה המאפשר מעבר חומרים מסוימים כגון מים, מבקר מעבר של חומרים אחרים כגון מלחים, ומונע לחלוטין מעבר חומרים רבים אחרים. קרום זה מאפשר לתאים לבקר את הסביבה הפנימית שלהם ולשמור אותה שונה מהסביבה החיצונית.



Maulucioni y Doridí

התכונה המשותפת השנייה היא שלכל היצורים מידע תורשתי המקודד בדיוק באותה הצורה. כלומר למרות ההבדלים העצומים ביניהם, הם מדברים אותה שפה בדיוק. בטבע וגם במעבדה יצורים שונים מאד יכולים אם כך להחליף ביניהם מידע. אנחנו נלמד על המידע התורשתי ביחידה הבאה.

המשמעות של תכונות משותפות אלה היא

שכולנו קרובי משפחה ושכולנו היה מזמן מאד

אב קדמון משותף. זו הסיבה שאילן יוחסין שווז הציע מכיל שלושה ענפים המסתעפים מנקודת מוצא

אחת המסמלת את האב הקדמון המשותף לכולנו. ואם כולנו קרובי משפחה אז לנו בתור האחים הנבונים תפקיד חשוב לשמור על אחינו על כוכב הלכת הזה השט בחלל העצום. אחרי שדיברנו על מה משותף לכל החיים נסביר עכשיו במה שונה התא האוקריוטי מתא החיידק. תאים אוקריוטיים גדולים לרוב בהרבה מתאים פרוקריוטיים. כמו כן יש להם מגוון של אברונים פנימיים שלא קיימים בחיידקים. האברון המרכזי ביותר הוא הגרעין, על שמו תאים אלה קרויים אוקריוט, פרושו בעל גרעין אמיתי. בגרעין מרוכז החומר התורשתי, הדנ"א, עליו נלמד ביחידה הבאה. אברון חשוב נוסף הוא המיטוכונדריה המייצרת את רוב האנרגיה של התא. זוהי לין מרגוליס שהעלתה את הרעיון המהפכני שהתאים האוקריוטיים נוצרו מכך שסוג אחד של חיידק עבר לגור בתוך סוג אחר של חיידק. -התיאוריה של מרגוליס מקובלת כיום על הכל, אבל כאשר היא הציעה אותה היא זכתה בתגובות מזלזלות ועוינות. המיטוכונדריה מקורה, ככל הנראה מחיידק "אמיתי". התא המארח ממנו התפתח התא האוקריוטי היה כנראה ארכיאה. אילן יוחסין זה, המראה שגם חיידקים וגם ארכיאה הם האבות המשותפים של האוקריוטים, מייצג לכן ביתר דיוק את הצורה בה אנו מבינים את התפתחות החיים. נסיים את הביקור שלנו כאן בילוסטון במפגש עם האוקריוט הגדול ביותר ביבשת אמריקה – הביזון. מאחורי נמצא עדר גדול של ביזונים. הביזונים או הבפאלו היו פעם חיה נפוצה מאד באמריקה ומיליוני פרטים הסתובבו בשדות ובמישורים הגדולים. למרבה הצער הם כמעט כולם נכחדו. באמצע המאה ה-19 החליטו שצריך לשקם אותם. ב-1880 כשהתחילו לשקם אותם לא היו כאן כבר בכלל ביזונים. השיקום שלהם היה מאד מוצלח והיום כפי שאתם יכולים לראות יש פה עדרים מאד גדולים של החיה המעניינת הזאת שחיה בעדרים משפחתיים גדולים.





## 02 ספארי באפריקה

<https://youtu.be/PJJMKVywRKA>



בסרטון הקודם ניסינו להתחקות אחר היצורים החד תאיים שחיו כאן לפני המצאת הסקס וכיצד היצורים האלה – ארכיאה וחיידקים חברו ויצרו תאים אוקריוטיים שהמציאו את הרבייה המינית. ביקרנו גם בסביבות הקיצוניות בהם יצורים אלה חיים. בסרטון הנוכחי נדלג כל הדרך לקבוצה של היצורים המפותחים ביותר

ה"שולטים" היום – היונקים הגדולים. לשם כך נצא ביחד לספארי בארצות אפריקה הדרומית. בשונה מכל הסרטונים האחרים בקורס, סרטון זה יכול מעט מאד מלל. אני לא אסביר בשלב זה על בעלי החיים שתראו כאן ורק אספר קצת על היכן אנחנו נמצאים. אל דאגה בשלבים שונים במהלך הקורס נשוב ונפגוש יצורים אלה ונלמד בפירוט על הבטים שונים של הרבייה שלהם. אבל זה לא אומר שאתם הולכים להתבטל. הכנו לכם מגדיר מצולם של בעלי החיים אותם עשויים לפגוש. קפצו לרכב שלנו קחו משקפת ותתחילו לסמן. זכרו לתצפית יש רק ערך אם יש תיעוד מדויק של זמן ומקום. לכן כל פעם שאתם רואים בעל חיים אתם צריכים לצעוק לי לעצור ואחרי שתזהו אותו עליכם לסמן היכן ומתי (לפי זמן הסרט) צפיתם בו. כמובן שאם אתם כבר כאן נזדקק לכם אם ניתקע בחול או נצטרך להחליף צמיג וכמובן שאתם יכולים לעזור לנו לבשל בערב. יאללה זזנו...



נחתנו בוונדהוק בירת נמיביה. נמיביה היא מדינה עניקית, פי 40 משטחה של מדינת ישראל. רובה מדברית והיא מיושבת בדלילות רבה. יש כאן דיונות מרהיבות המהוות מוקד משיכה לתיירים. אחד הצמחים היחידים הגדל כאן הוא הוולויטשיה – צמח עתיק מאד מבחינה אבולוציונית מוזר ומרתק. בדרכנו נעבור ונבקר בציורי סלע שמראים שגם לפני אלפי שנים בני אדם התעניינו, כמוכם בבעלי חיים. בתקופה ההיא בעלי חיים היו נפוצים בכל מקום אבל היום רוב העושר נמצא בשמורות. יחד עם זאת בדרכנו פגשנו את פילי המדבר המרתקים החיים כאן בתנאי יובש. העדר מצליח לשרוד כאן בזכות ההנהגה של המטריארכית נקבה מבוגרת ועתירת ניסיון שיודעת בדיוק היכן למצוא מים.

אתושה היא אחת השמורות המרשימות ביותר באפריקה. בגלל האופי המדברי שלה הרבה מאד יצורים מתרכזים ליד בריכות מים. אני אשתוק עכשיו קצת ואתן לכם לזהות את בעלי החיים.



יש כאן בעלי חיים שתראו גם במקומות אחרים וסוג מיוחד של אנטילופות שיש רק כאן. נראה האם תצליחו לזהות אותן. היום יש לנו נסיעה ארוכה מאד במרחבי אפריקה העצומים בדרכנו לבוצאנה, המדינה הידידותית ביותר לבעלי חיים ביבשת. אסור לצוד כאן וחלק גדול מהמדינה המדברית הזו הן שמורות טבע.

הפעם נבקר רק בשמורה אחת קטנה יחסית. שמורת צ'ובה השוכנת לאורך נהר ובזכות שפע המים היא מאוכלסת בצפיפות בבעלי חיים. שימו היטב לב למה שאתם רואים כי אני צריך להיזהר שלא להיתקע בחול.

אחרי החוויות בצ'ובה אנחנו עוברים את הגבול לזימבבואה וכאן נבקר בשמורת הוואנגה. שנים של חוסר יציבות פוליטית במדינה הזאת הביאו להזנחה ולירידה בתיירות. אבל בזכות זה הוואנגה, השמורה הגדולה ביותר בזימבבואה, מרגישה כמו מקום פראי ובראשיתי. אנחנו נישן כאן ליד מגדלי תצפית הממוקמים ליד מקורות מים כדי שנוכל לצפות בבעלי החיים בכל שעות היממה. זה מאד מרגש והרפתקני אבל באוהל שלנו על גג הרכב אנחנו מרגישים בטוחים.

אחרי כל הספארי והמדבר נסיים בחוויה רטובה ונבקר כאן במפלי ויקטוריה. מבין המפלים הגדולים ביותר בעולם. מקור כל שפע המים הזה הוא במרכז אפריקה ויש לו חשיבות עצומה גם לתושבים וגם לבעלי החיים. אנחנו מקווים שנהניתם מהטיול שלנו ושזיהיתם את כל בעלי החיים. אם לא הספקתם יש לכם את הסרט ואתם יכולים לחזור ולצפות בו.

### 03 – הכרות עם עולם החי – ביקור במוזיאון הטבע בתל אביב

<https://youtu.be/r8-iHBqWg7M>

כשהייתי ילד קטן סבא לקח אותי פעמים רבות למוזיאון הטבע הישן בירושלים. מוזיאון זה שוכן בבית עתיק ופיפה בלב גינה גדולה ומומלץ מאד לבקר בו. סבא היה צריך להרים אותי כדי שאוכל ללחוץ על הכפתורים המפעילים את הדגמים של המוח ושל הלב. כשגדלתי קצת הרווחתי דמי כיס כשומר

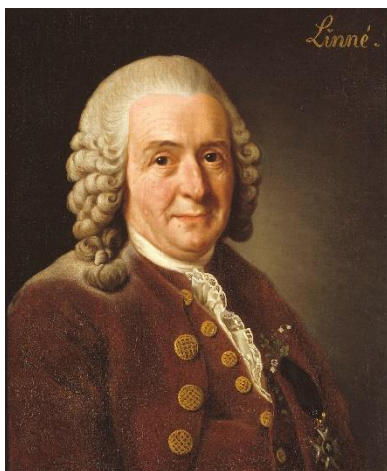
בתערוכות.

היו לי מדריכים נפלאים במוזיאון שהפגישו אותי לראשונה עם המדע. מאז ביקרתי במוזיאוני טבע רבים ברחבי העולם. כמדען אני מעריך את חשיבותם העצומה של מוזיאונים אלה ואת תפקידם הכפול כמוקדי מחקר וכמוסדות המנגישים את המדע לציבור בדרך חינוכית ומהנה. אני נרגש לעמוד לפני מוזיאון הטבע החדש על שם



שטינהרדט בתל אביב. אנחנו אסירי תודה לפרופ תמר דיין ולאילון ספן על הרשות לצלם כאן עוד לפני שהמוזיאון נפתח.

מאז ומעולם עסקו בני האדם במיון עולם הטבע שסביבם. הסיווג של עולם החי הוא אינסטינקט אנושי בסיסי החיוני ללימוד והבנת החיים. אופן הסיווג מבוסס על שיטה בת 250 שנה אותה פיתח קרל לינאוס. לינאוס שהיה בוטנאי שוודי כתב בספרו "אם אינך יודע את שמותיהם של דברים, הידע עליהם חסר משמעות".



טקסונומיה היא תחום מחקר העוסק בסיווג ומיון שיטתי של אורגניזמים. למרבה הצער, במשך שנים רבות, הטקסונומיה נחשבה למיושנת. לאור תפקידה החיוני בהבנת המגוון הביולוגי ושימור הטבע, חשיבותה הרבה זוכה כעת להערכה מחודשת. בנוסף לשימוש המסורתי במאפיינים על צורניים לצורך מיון, הטקסונומיה מתבססת יותר ויותר על ניתוח רצפי דנ"א. היחידה הטקסונומית הבסיסית היא מין. בדרך כלל, אורגניזמים שייכים לאותו מין אם הם יכולים להביא לעולם צאצאים פוריים. אנחנו נרחיב על כך מאוחר יותר בקורס. מעל רמת המין יש מספר רמות - 'סוג', 'משפחה', 'סדרה', 'מחלקה', 'מערכה' וכל הדרך למעלה עד 'ממלכת החי'. יש עוד



ממלכות, ובראשן ממלכת הצומח. לינאוס פיתח את השיטה הדו-שמית. לכל מין יש שני שמות זה של הסוג וזה של המין.

למשל השימפנזים שייכים לסוג שימפנזה בו יש שני מינים - שימפנזה מצויה ושימפנזה ננסית. סוג זה שייך למשפחת קופי האדם, לסדרת הפרימטים, למחלקת היונקים, לתת מערכת החולייתנים ולממלכת החי.

חולייתנים הם בעלי חיים שיש להם עמוד שדרה. הם מהווים פחות מחמישה אחוזים ממספר המינים של בעלי החיים. אבל אם הייתי מבקשת מכם לחשוב על בעל חיים כלשהו, מן הסתם הייתם בוחרים באחד מהחולייתנים. אתם בוודאי יודעים שחולייתנים מחולקים למספר קבוצות. דגים חיים במים ונושמים באמצעות זימים. הם בעלי קשקשים וסנפירים והם לא יכולים לזוז את טמפרטורת הגוף שלהם. רוב הדגים מטילים ביצים. בהמשך הקורס נדגים באמצעות הדגים מהי גמישות זווית, ונלמד גם על הדרך המעניינת בה חלקם מטפלים בצאצאיהם. ארבע המחלקות הנותרות של החולייתנים הן דו-חיים, זוחלים, ציפורים ויונקים. לכולם ארבע גפיים ורובם יבשתיים.



מחלקת הדו-חיים כוללת סלמנדרות וטריטונים בעלי זנב וצפרדעים וקרפדות חסרות זנב. העור שלהם לח וחלק והם מטילים את ביציהן העדינות מצופות הג'לי בתוך מים. נפגוש דו-חיים בקורס כאשר נדון בהפרייה חיצונית. נלמד גם על המטמורפוזה הייחודית שהם עוברים מראשנים למבוגרים.

מחלקת הזוחלים כוללת צבים, נחשים, לטאות ותנינים. גם הדינוזאורים שנכחדו היו זוחלים. זוחלים הם בעלי עור קשקשי המאפשר להם לחיות בסביבות יבשות מאוד. רוב הזוחלים מטילים ביצים. ביצים אלה שונות מאוד מן הביצים של דו חיים או דגים. הן מוטלות מחוץ למים והן בעלות קליפות רכות המסייעות להגנה על העוברים. נדון בזוחלים כאשר נלמד על קביעת זווית.



ציפורים הן בעלי החיים היחידים בעלי נוצות. הן גם בעלות שתי רגליים וכנפיים. לא כולן יכולות לעוף. הציפורים בעלות דם חם כלומר יש להן טמפרטורת גוף קבועה. הן מטילות ביצים, אבל בניגוד לביצים של זוחלים, קליפתן קשה. אנחנו נפגוש ציפורים פעמים רבות במהלך הקורס. נדון בזוגיות שלהם, בהורות, בקביעת הזווית ועוד. הקבוצה האחרונה של חולייתנים עליה נדבר היא היונקים. כבר ראיתם יונקים שונים בסרט שצילמנו באפריקה. כמו הציפורים, יונקים הם בעלי טמפרטורת גוף קבועה ונושמים אוויר. אפילו יונקים חיים במים חייבים לעלות כדי לשאוף אוויר. ליונקים יש פרווה או שיער. פילים,

בעלי החיים היבשתיים הגדולים ביותר, ולווייתנים, בעלי החיים הימיים הגדולים ביותר, הם יונקים. כמעט כל היונקים ממליטים וולדות חיים וכולם מניקים בחלב אם את הוולדות שלהם. אנחנו נפגוש יונקים רבים בקורס זה. בקורס זה נפגוש בעלי חיים רבים שאינם חולייתנים. באופן מסורתי הם נקראים חסרי חוליות, אבל זה מונח מיושן. גלריה זו מוקדשת למערכת פרוקי הרגליים, הקבוצה העשירה ביותר



במינים בעולם החי. התערוכה מציגה את הסדרות השונות של פרוקי הרגלים. אתם יכולים למצוא פה חרקים, עכבישים, עקרבים, סרטנים ורבי-רגליים. פה אתם יכולים למצוא את סרטן פרסת-הסוס החי בעיקר במים רדודים באוקיינוסים, על קרקעית בוץ או חול. סרטן זה הוא בעצם מאובן חי. ממאובנים בני 450 מיליון שנה של סרטנים אלו נראה שהוא לא השתנה הרבה בתקופה ארוכה זו. האם ידעתם שיש למעלה מ-300,000 מיני חיפושיות? כ-60% מכל מיני בע"ח הם חרקים. לפרוקי

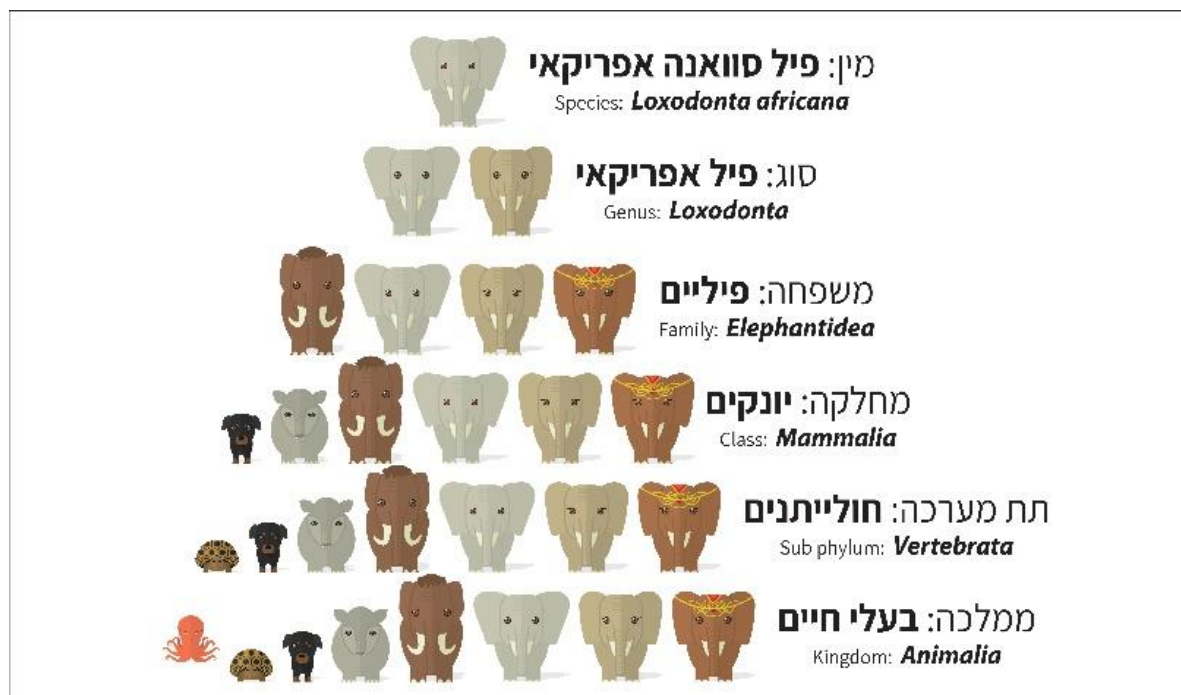


הרגליים יש שלד חיצוני שאותו הם מחליפים כשהם מתפתחים. כשהם מתבגרים, רבים מהם עוברים גלגול מלא או חלקי. גם בזה נדון בהרחבה בהמשך הקורס. כאן אתם יכולים לראות תבנית של קן נמלים המזכיר לנו שחלק מהחרקים חיים במושבות ענקיות. גם על חיי החברה והמין שלהם נלמד בהמשך.

## 04 סיסטמטיקה

<https://youtu.be/-QHFtIWGmA0>

הבה נדגים את עקרונות הסיסטמטיקה. זוהי משפחה של פילי סוואנה אפריקאים שצילמנו בשמורת קידפו באוגנדה. פיל הסוואנה הוא בעל החיים היבשתי הגדול ביותר ומשקלו יכול להגיע ל 6 טון וגובה הכתף שלו מעל 4 מטר. הפיל הוא יצור אינטליגנטי בצורה בלתי רגילה ובעל יכולות תקשורת מפותחות והתנהגות חברתית מרתקת. ניחשתם - זו החיה האהובה עלי ביותר ולא בכדי היא מופיעה בשם הקורס. כאן אנחנו רואים עדר של נקבות והפילונים שלהם בדרכם למים. הזכרים שהם גדולים יותר חיים בדרך כלל בעדרים נפרדים. אנחנו נשוב ונפגוש פילים בהמשך פיל הסוואנה שייך לסוג פילים אפריקאים שיש בו עוד מין – פיל היערות האפריקאי. בפיליים יש מספר מינים של פילים אסייתיים. בעבר גם הממותה הייתה חלק מהמשפחה. הפיליים שייכים למחלקת היונקים. היונקים שייכים לתת מערכת החולייתנים השייכת לממלכת החי.



## 05 מהו מין ביולוגי – ביקור בתחנת הצפרות בירושלים

<https://youtu.be/BXrvibgTu3A>

אני עומד בתחנת הצפרות ליד הכנסת בירושלים ואנחנו נלמד כאן על המושג מין ביולוגי, קבוצת ההגדרה הטקסונומית הבסיסית בעולם החי. שני יצורים שייכים לאותו המין אם הם יכולים להזדווג ולהוליד צאצאים פוריים. לכאורה הגדרה יפה ופשוטה אבל כפי שתלמדו החיים מורכבים יותר.



כשהייתי בן 12 הייתי בחוג צפרות עם עמיר בלבן שייסד כאן, יחד עם גדעון פרלמן את התחנה. ההבדל ביננו היה ונשאר שעמיר ידע לזהות את מיני הציפורים השונים בעוד שאני לרוב לא הצלחתי בכך. הסיבה שלא הצלחתי היא כי הרבה ציפורים מאד דומות. פעמים רבות ההבדלים בין זכרים לנקבות מאותו המין בולטים יותר מההבדלים בין מינים שונים. הביטו למשל בציפור הזאת – זהו סבכי טוחנים וזו נקבה של סבכי שחור כיפה. נכון כאן יש הבדלים די בולטים, בעיקר אם אתה יכול להחזיק את הציפורים ביד ולבחון אותן ביסודיות. לרוב רק רואים אותן מרחוק ולרגע קצר ולכן קשה לזהות אותן. ויש מינים, למשל שחפים שעוד הרבה יותר דומים זה לזה. כלומר דמיון במראה לא יכול להעיד האם שני פרטים שייכים לאותו המין. אם אנחנו כבר כאן נבקש מעמיר שיספר לנו קצת על המקום הייחודי הזה ועל העבודה המעניינת שהם עושים.

**עמיר בלבן:** ברוכים הבאים לתחנה לחקר ציפורי ירושלים. אנחנו אתר טבע עירוני קהילתי שעוסק בשימור אתר צפרות מאד חשוב. אתר נדידה שמשרת אלפי ציפורי שיר נודדות ועוסק בחינוך לשמירת טבע בתוך העיר. אנחנו נמצאים פה ליד הכנסת בלבן קריית הלאום וכל ציפור שנודדת בדרך

מאירופה לאפריקה פעמיים בשנה חולפת על פני ישראל וכשהיא מגיעה לשדרת ההר אין להן הרבה ברירות והן נוחתות אצלנו בתחנה. כדי ללמוד מי עובר, מתי עובר ומה הן עושות פה אנחנו עוסקים בטיבוע ציפורים. שיטה מאד פשוטה. בעזרת רשתות ערפל אנחנו תופסים את הציפורים, עונדים להן טבעות, אנחנו לוקחים נתונים ביומטריים, אנחנו גם לוקחים נתונים מיקרוגיאוגרפיים בתחנה של בתי הגידול השונים ואנחנו לומדים באמצעות העבודה הזאת מה הציפורים עושות.

הבעיה העיקרית עם הגדרת המין הביולוגי היא שבמקרים רבים אנחנו לא באמת יכולים לדעת האם קבוצות מסוימות שייכות לאותו המין. למשל ג'יראפות – את אלה צילמנו בשמורת קידפו בצפון אוגנדה, את אלה בשמורת דרום לואנגה בזמביה, ואת אלה בשמורת אתושה שבנמיביה. עד לאחרונה כולן נחשבו למין אחד המחולק לתת מינים שונים. לפני שנתיים התפרסם מאמר המבוסס על ריצוף גנומי הטוען שאלה שלושה מינים שונים. מאחר והיום אוכלוסיות הג'יראפות מבודדות אחת מהשנייה ורובן חיות בשמורות אין להן הזדמנות להתרבות זו עם זו כך שאי אפשר באמת לדעת אם הן מסוגלות לכך בטבע.

יש לזיהוי המינים השונים משמעות למאמצי שימור הג'יראפות שכן בחלק מהמינים נותר רק מספר קטן מאד של פרטים. אם ביצורים גדולים וחיים כמו ג'יראפות קשה לדעת האם הם מינים נפרדים הדבר קשה שבעתיים לגבי בעלי חיים שנכחדו ושיש לנו רק מאובנים שלהם.

נמשיך את הסרטון בגינת הכלבים הסמוכה בה ניתן לשחרר כלבים ולתת להם לרוץ חופשי. כאן אפשר להדגים עד כמה הכלבים השייכים כולם לאותו המין יכולים להיות שונים בצורה, גודל, צבע ואופי. נכון הסיבה לכך היא ברירה על ידי האדם של הגזעים השונים ובטבע קשה למצוא מין כה מגוון. יחד עם זאת הבדלים אלה נוצרו מבלי שנוצר מחסום התרבותי. אמנם הגודל עשוי לפעמים להיות גורם מגביל בהזדווגות בין זנים גדולים וקטנים. אבל מאחר וגם הכלבים הגדולים וגם הקטנים יכולים להזדווג עם כלבים בגודל בינוני, מקובל להגיד שכולם שייכים למין אחד.

אתם עשויים לקבל את הרושם שזיהויי מינים הוא שאלה תיאורטית המטרידה חוקרים. אבל לזיהויי מינים משמעות עצומה לבעלי החיים עצמם. כדי להצליח להתרבות עליהם להיות בטוחים שהפרט איתו הם מזדווגים שייך למין שלהם. במידה והם טועים כל המאמץ ההזדווגותי ותאי המין יורדים לטמיון. יש לכן מנגנונים רבים ויעילים המאפשרים לפרטים לזהות את בני מינם. מנגנונים אלה מתבססים על חושי הריח, השמיעה והראיה. לסיום נצפה לכן במינים שונים של שרקקים. לכל שרקק דגם צבעים יחודי ומרשים. יתכן ודגם צבעים זה משמש לזיהוי המין אבל כמובן שאין לנו דרך לדעת. מה שאנחנו כן יודעים הוא שלציפורים מרהיבות אלה חוש ראייה מפותח מאד המאפשר להן לצוד ביעילות דבורים וחרקים מעופפים אחרים. אני מניח שקצת בבלתי אתכם אבל זה לא נורא, זה אפילו בכוונה. רציתי להראות לכם שגם מושג לכאורה פשוט כמו מין עשוי להיות מורכב ודורש חשיבה.



## 06 ההיסטוריה הביולוגית מ"הפיצוץ הקמברי" ועד היום

<https://youtu.be/V14aTTD1pkE>

בסרט על ילוסטון דיברנו על היצורים הפשוטים והעתיקים ביותר. בספארי פגשנו את היצורים המפותחים ביותר החיים היום. בסרטון זה ננסה לגשר על התקופה באמצע וננסה להבין כיצד הגענו עד הלום.



רוב מה שאנחנו יודעים מקורו במאובנים. כדי שנדע משהו על בעל חיים או צמח עליו לשרוד תהליך של התאבנות. מאובנים נוצרים מיצורים שיש להם מרכיבים קשיחים – כמו גזע, עצמות, קונכיה ועוד. אלו מרכיבים ששוקעים בסביבה מימית. השלד עצמו התפרק עם הזמן והוחלף במינרלים.

מסיבה זו אנחנו יודעים מעט מאד על האבולוציה של יצורים רכים שלא היו להם מרכיבים קשיחים. סלעים והרים נשחקים כל הזמן ולכן ככל שאנחנו מרחיקים אחורה בזמן כמות הסלעים עם מאובנים שניתן למצוא קטנה מאד. יחד עם זאת במספר מקומות בעולם, בעיקר בקנדה ובסין נמצאו סלעים עם כמות גדולה של מאובנים מלפני כ 500 מיליון שנה.

ממאובנים אלה ניתן ללמוד שלפני קצת יותר מ 500 מיליון שנה חלה התפתחות מהירה של בעלי חיים מורכבים. ההתפתחות המואצת הזאת זכתה בכינוי הפיצוץ הקמברי על שם התקופה הגיאולוגית בה היא התרחשה הקמבריון.

מה שמדהים שכל הסדרות ומבני הגוף שאנחנו מכירים היום כמו פרוקי רגליים, אבות החולייתנים, רכיכות ועוד מיוצגים במאובנים האלה. גם צורות חיים שנכחדו מאז. ברור שיצורים אלה התפתחו על פני תקופה ארוכה יחסית קודם לכן.



אחוז ניכר מכל המינים. ההכחדה החמורה מכולן התרחשה לפני כ 250 מיליון שנה ובמהלכה נכחד הרוב הגדול של מיני בעלי החיים בים וביבשה.

רוב הסלעים בארץ הם סלעי גיר שנוצרו בקרקעית הים אחרי ההכחדה ההמונית הזאת והם עשירים במאובנים. סלעים אלה עברו קימוטים והרמות ונוצרו מהם הרים הבונים את ארץ ישראל לכל אורכה מהחרמון בצפון ועד הרי הנגב בדרום. רק באזור אילת ניתן לראות על פני השטח סלעים עתיקים יותר אבל בסלעים האלה אין מאובנים.



ההכחדה החמישית והאחרונה התרחשה לפני כ 65 מיליון שנה, בה נכחדו הדינוזאורים. תוצאות ההכחדה הזאת ניכרות היטב במאובנים בארץ. כדי ללמוד עליה נבקר בקיר האמוניטים דרומית למכתש רמון שבנגב. האמוניטים היו קבוצה גדולה של רכיכות גדולות ואינטליגנטיות.

בעלי החיים הקרובים ביותר אליהם החיים כיום הם תמנונים ודינונים. הקונכיה שלהם היתה מחולקת לתאים. האמוניט חי בתא החיצוני. כל פעם שהוא גדל הוא עבר לתא חדש וגדול יותר. את כמות המים והאוויר בשאר התאים הוא היה מווסת כדי לבקר את הציפה שלו כמו צוללת.

המאובנים שרואים כאן הם גדולים ומרשימים אבל היו מינים גדולים בהרבה שקוטר הקונכיה שלהם הגיע לשניים וחצי מטר! ולמשקל של טונה וחצי. מעבר לגודל מה שמרשים הוא מספר המינים הרב והכמות העצומה שלהם. כשסלעים אלה לידם אני עומד נוצרו בקרקעית הים לפני כ 90 מיליון שנה היו האמוניטים קבוצה נפוצה ביותר. בהרבה מקומות אחרים בארץ ניתן למצוא מאובנים שלהם. יש לי בבית ארגז שלם של אמוניטים שאספתי בתור ילד בסביבות ירושלים באזורים עליהם בנו לאחר מכן שכונות. בתקופה זו טרם נחשבו המאובנים מוגנים והינו אוספים אותם. היום אנחנו יודעים שאסור לאסוף מאובנים ובוודאי לא להוציא אותם מסלעים.



האמוניטים היא הדוגמה הבולטת ביותר לעין בארץ כיצד קבוצה גדולה שכללה מינים רבים שהיו נפוצים מאד נכחדה תוך פרק זמן קצר ולא נותר ממנה אף לא מין אחד. ההכחדה שלהם היתה במקביל לזו של הדינוזאורים וקרוב לוודאי מאותה הסיבה – פגיעה של מטאוריט ענק בכדור הארץ לפני 65 מיליון שנה. פגיעה זו הביאה לשינוי אקלימי שנמשך מספר שנים והביאה להכחדה ההמונית

החמישית. לא ברור מדוע שינוי זה גרם לאמוניטים להיכחד. אחת השערות רלוונטיות במיוחד לקורס הזה שכן היא קשורה לאסטרטגית הרבייה שלהם. האמוניטים התרבו כנראה על ידי הטלת ביצים המונית לקראת סוף חייהם. גם הביצים וגם האמוניטים הצעירים שהיו זעירים כמו פלנקטון חיו קרוב לפני האוקיינוס והושמדו כתוצאה מהפגיעה של המטאור ו/או השינויים האקלימיים שהתרחשו בעקבותיו. בכל אופן מדובר בהשערה ויתכנו הסברים אחרים. מה שברור אבל שהם היו ואינם. מאובנים של דינוזאורים לא רואים בארץ ואמוניטים לעומת זאת אני רואה כמעט בכל טיול. כל פעם שאני רואה אחד אני נזכר עד כמה שבריריים החיים על פני כדור הארץ, עד כמה קל לגרום על ידי שינוי קטן להכחדה מוחלטת של קבוצה שלמה של יצורים חיים ונפוצים. כל הכחדה המונית הייתה מלווה בהתאוששות ובהופעה של יצורים מורכבים יותר. למשל הכחדה גדולה שהתרחשה לפני כ-210 מיליון שנה אפשרה את פריחת הדינוזאורים. כשאלה נכחדו לפני 65 מיליון שנה אפשר הדבר ליונקים להתפתח ולהשתלט. כל עוד העולם נשלט על ידי הדינוזאורים הגדולים היו רוב היונקים מכרסמים קטנים וליליים. הכחדת הדינוזאורים פינתה מקום וחיסלה את התחרות והטריפה מצידם. היונקים מיהרו לנצל זאת והם עלו ופרחו מבחינת הגודל, המורכבות, איכלוס בתי גידול ומספר המינים כפי שראיתם בסרטון הספארי.

פעילות האדם גרמה בשנים האחרונות להעלמות של מספר מינים עצום. רבים סבורים שהיקף ההכחדה מצדיק להגדיר אותה כהכחדה המונית השישית. כדי לדון בשאלה זו נמשיך עכשיו לאוספים הביולוגיים באוניברסיטת תל אביב.

## 07 האם אנחנו בעיצומה של ההכחדה השישית?

<https://youtu.be/g2kc1PAOfJI>

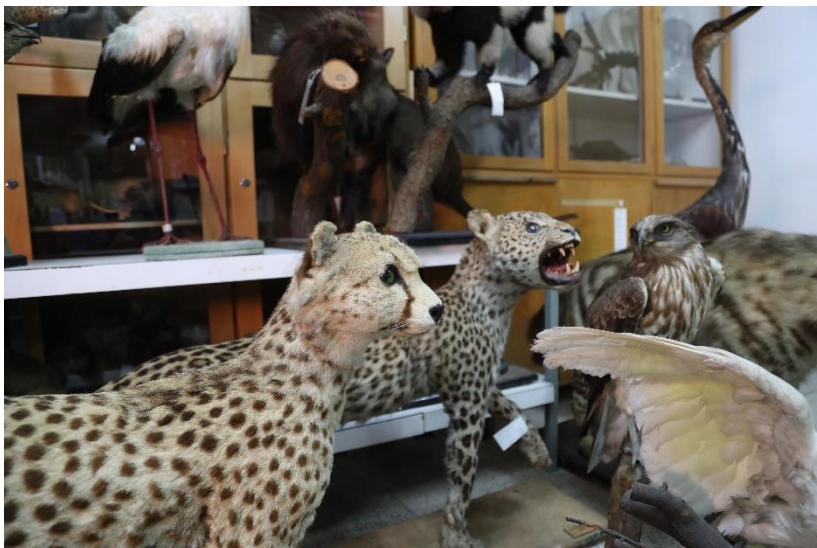
לא, לא הגעתם בטעות לסרט אימה אתם עדיין בקורס. אנחנו מבקרים היום באוספים הביולוגיים במוזיאון תל אביב. נכון אחרי שראינו כל כך הרבה בעלי חיים באפריקה ובמקומות אחרים קשה מאד לצפות בפוחלצים האלה. שאלתי את ד"ר עמוס בלמקר אוצר אוסף העופות שמארח אותנו כאן מה החשיבות של האוסף הזה?

**עמוס בלמקר:** הרעיון העיקרי בלעשות אוסף ביולוגי כזה הוא שתהיה לנו איזו תמונת סטילז של המגוון הביולוגי במרחב ובזמן. כדי שאחר כך נוכל לחזור אחורה ולחקור את אותם פריטים לראות איך הם משתנים עם הזמן בהתאם לשינויי אקלים, בהתאם להשפעה אנושית וכל שאלה שאולי תעלה לאיזה חוקר עתידי בראש.

האוסף כאן הוא עצום בהקיפו ומכיל כחמישה מיליון פריטים. שאלנו את ד"ר בלמקר כיצד בונים אוסף כה גדול?

**עמוס בלמקר:** אז אוסף כזה כמובן שלוקח הרבה מאד זמן לאסוף. יש לנו כאן פריטים החל מ 1880 עד ימינו. אנחנו ממשיכים לאסוף כל הזמן. אנחנו גם מקבלים אוספים קטנים יותר שאנחנו מטמיעים לתוך האוסף שלנו מאספנים פרטיים, עושים החלפות עם מוסדות אחרים ולאט לאט בונים אוסף גדול.

אני עומד ליד אוסף שמיץ המפורסם. האב ארנסט שמיץ שהיה נזיר קתולי וזואולוג נלהב פעל בארץ בשנים 1908-1914. הוא הקים את מוזיאון הטבע הראשון בארץ ויצר אוסף מרשים של פוחלצים. האוסף נעלם לשנים רבות והתגלה מחדש ב 1978 על ידי פרופסור יוסי לשם. האוסף כולל פריטים



רבים של בעלי חיים ששמיץ צד או שצדו עבורו ושמייצגים את בעלי החיים שחיו בארץ בתחילת המאה ה 20. רבים מהמינים, בעיקר חולייתנים גדולים, שמיוצגים כאן כמו תנין, ברדלס, פרס ונמר נכחדו זה מכבר מהטבע בארץ בשנים שחלפו מאז. גם מינים אחרים שהזואולוג העברי הראשון ישראל

הארוני תיאר כגון יענים ודובים כבר אינם.

בחורף 1983 טיילתי עם החברה שלי בנחל צאלים במדבר יהודה. ליד המעיין השופע היחיד בנחל הקרוי עין נמר פגשנו לפתע זוג נמרים. מאז נצפו עוד נמרים בארץ אבל נראה שהם נכחדו סופית לפני מספר שנים.

פעילות האדם הפכה, בעיקר מאז תחילת המהפכה התעשייתית, לגורם המשפיע ביותר על הסביבה. לאחרונה החלו לכנות את העידן בו אנחנו חיים בשם אנטרופוקן – עידן האדם.

למדנו זה עתה על חמשת ההכחדות הגדולות שהתרחשו מאז הופעת היצורים הרב תאיים בהתפוצצות הקמברית. בשנים האחרונות אנחנו עדים לצערנו להכחדה של יותר ויותר מינים בגלל פעילות האדם. כתוצאה מציד ודיג, כתוצאה מהרס בתי גידול, כתוצאה מהרעלות וכתוצאה מהחדרת מינים פולשים.

בדו"ח של ארגון הקרן העולמית לשימור חיות הבר משנה זו נכתב שבפחות מחמישים שנה נצפתה ירידה של 60% באוכלוסיות של החולייתנים היבשתיים. מכאן שהיקף ההכחדות בעידן האנטרופוקן מתקרב בקצב מבהיל להיקף של הכחדה המונית, השישית במספר. בדו"ח גם נכתב שעדיין לא מאוחר ולפעול כדי להפוך מגמה זו. נסיים את היחידה בביקור במכון הבינאוניברסיטאי לחקר הים באילת בו נלמד על שוניות האלמוגים ועל שימורן.



## 08 שוניית האלמוגים באילת – ראיון עם פרופ. מעוז פיין

[https://youtu.be/g\\_iW-jaAOoI](https://youtu.be/g_iW-jaAOoI)

שוניות אלמוגים הן הסביבות הימיות העשירות והמורכבות ביותר באוקיינוסים. אנחנו עומדים על החוף של המכון הבינאוניברסיטאי לחקר הימים שמארח אותנו כאן באילת. האלמוגים שבונים את השוניית הן מושבות גדולות של בעלי חיים זעירים ממערכת הצורבים כמו מדוזות ושושנות הים. יצורים אלה המכונים פוליפים מפרישים סידן הבונה את האלמוג ואת השוניית כולה. מבחינת מגוון



ביולוגי שוניית האלמוגים תופסות כאלפית משטח האוקיינוסים ומאכלסות על ידי לפחות רבע ממיני היצורים הימיים. שוניית אלמוגים נמצאות בעיקר במים רדודים באזורים טרופיים ושונית האלמוגים כאן באילת היא בעצם הצפונית ביותר בעולם. למרבה הפלא כל העושר הזה משגשג באזורים בהם המים עניים במיוחד במזון.

שוניות האלמוגים מעלות שאלות שקשורות בהיווצרותה של מערכת חיים כל כך מורכבת. אפשר להשוות את השוניית לנווה מדבר בתוך אוקיינוסים. הפוליפים המרכיבים את האלמוג אוספים מזון מהים באמצעות זרועות הציד הקטנטנות שלהם אבל בסביבה כה עניה מזון זה פשוט אינו מספיק לכן הפוליפים חיים לכן בסימביוזה עם אצות חד תאיות שבעצם חיות בתוך הפוליפים ומספקות להן חלק ניכר מהמזון שלהם.



**פרופ. מעוז פיין:** לשמאלי שוניית האלמוגים של מפרץ אילת. שהיא אחת מסביבות החיים העשירות ביותר. מימינו המדבר העני בצורות חיים וכל ההבדל ביניהם זה מים. מפרץ אילת הוא מיוחד גם בקונטקסט העכשווי כיוון שהוא אחת משוניית האלמוגים בעולם שנמצאת במצב טוב יחסית. בחמישים השנים האחרונות איבדנו אחוזים גבוהים מכלל שוניית האלמוגים בעולם. ה Great barrier reef האיקוני איבד למעלה מ 30% משטחו רק בשנים האחרונות. כך גם הקאריביים שאיבדו למעלה מ 80% משטח השוניית שם. ולמעשה במפרץ אילת

מעולם לא חזינו באירוע של תמותה, או כמו שאנחנו מתייחסים לזה, הלבנה של אלמוגים שנגרמת מעליית טמפרטורת מי הים. זאת על אף שטמפרטורת מי הים במפרץ אילת עולה בקצב גבוה מזה שבאוקיינוסים כולם. ושאלנו את עצמנו מדוע זה המצב. איך יכול להיות שכאן אירוע כזה של הלבנה לא התקיים. בדרך כלל מתייחסים לחוק הבליצינג, חוק ההלבנה שבו כשהטמפרטורה עולה במעלה עד שנתיים מעל למקסימום הממוצע באתר התופעה הזו מופיעה של הלבנה שהאלמוגים מאבדים אל האצות השיתופיות ברקמתם, הופכים לבנים ובהמשך גם מתים. וכאן אלמוגים לא נשמעים לחוק הלבנה, הם לא עוברים הלבנה אפילו כשמעלים את הטמפרטורה ב 5 מעלות מעל המקסימום הממוצע למפרץ אילת. הכיצד? אנחנו חושבים שהדבר הזה קשור להיסטוריה ולמבנה המיוחד של מפרץ אילת. לפני בערך כ 20000 שנה בזמן תקופת הקרח האחרונה המים נסוגים ממפרץ אילת ומים סוף אל מעבר למיצרי באב אל מאנדב. המפלס כאן יורד ומרבית האלמוגים והחי והצומח של ים סוף מת. ורק לפני כ 7000, 6000 שנה כשהמפלס חוזר לפחות או יותר למה שהוא היום אלמוגים מתחילים לחזור דרך מיצר באב אל מאנדב בדרום ים סוף אל תוך ים סוף ומפרץ אילת. אבל כדי לעשות זאת הם צריכים ראשית להתיישב באזור מאד מאד חם בדרום ים סוף שם הטמפרטורות מגיעות לכ 34-35 בקיץ, בשיא הקיץ. טמפרטורות מאד מאד חמות. רק אלמוגים שיכלו להתיישב באזור הזה, לשרוד, לגדול, להגיע לגיל רבייה ולהעמיד צאצאים שיתקדמו צפונה הם בעצם אלה שנמצאים כאן כרגע בצפון מפרץ אילת באילת ובעקבה. כלומר נעשתה סלקציה בדרום ים סוף שמאפשרת לאלמוגים שנמצאים כאן במפרץ אילת להיות עמידים לטמפרטורות הדומות לאלה של דרום ים סוף.

במתקן שמאחורי שאנחנו קוראים לו ה Red sea simulator שמדמה תנאים עתידיים בים סוף אנחנו מביאים לכאן אלמוגים שאספנו אותם כאן במפרץ ונותנים להם להתרבות במערכת הניסויית כשהם חשופים לתנאים שונים. בואו נסתכל רגע על אלמוג. אלמוג זו החיה עצמה אלו האצות הסימביוטיות בתוך הרקמה שלה, זה הקיפוד פה שמפנה אצות, והדגים שנמצאים בין ענפי האלמוגים ומאוררים את האלמוג והסרטנים האלה שאנחנו יכולים לראות שמרחיקים טורפים פוטנציאליים.

באלמוגים גמטות ישתחררו למים, לעמודת המים, יעברו את ההפרייה בעמודת המים ליצירת הפלנולה, הפגית השוחה שתשהה בפלנקטון שעות עד ימים ותמצא לה מקום בריף בחזרה להתיישב. את תוצרי הרבייה, אותן פלנולות שמשתחררות מהאלמוגים אנחנו יכולים אז לאסוף ולבדוק את השרידות שלהם, את המטמורפוזת וההתיישבות שלהם ואת קצבי הגידול שלהם בדור הבא שאותו אנחנו מיישבים כאן במעבדה. לאלמוגים לוקח המון זמן לגדול. פלנולות כאלה שמשתחררות כאן אצלנו באקווריומים צריכות כעשור כדי להגיע לגיל רבייה.

יש כאן הזדמנות בלתי רגילה לשמר את מפרץ אילת כמקלט לשוניות מפני climate change ו ocean acidification. החמצת הים ועליית הטמפרטורה שכרגע משמידים שוניות אדירות בעולם וכאן לא. אבל גם מניסויים שעשינו כאן וגם ממה שידוע מרחבי העולם הפרעות מקומיות כגון זיהומים מביוב מנוטריינטים או חומרי הזנה שנכנסים מקורות שונים, זיהומי נפט, פגיעה פיזית והיום מדברים

אפילו על זיהום של תאורה, תאורת חוף. זיהום אור וזיהום אקוסטי. כל אלה מאיימים על הפנינה הזאת שיש לנו כאן בידיים שהיא אולי השונית האחרונה לשרוד את העידן הזה שבו אנו נמצאים כרגע של עליית טמפרטורה והחמצת הים. לשמר אותו ככזה אנחנו חייבים להסיר את כל האימוים האלה יחד עם השכנים שלנו הירדנים המצרים והסעודים כי רק כך אפשר לעשות את זה. השונית והזיהום כמובן לא מכירים בגבולות מדיניים. הכל עובר ממדינה למדינה זורם עם הים ואנחנו מרגישים בזה כאן יום יום. לכן אם נשכיל לשתף פעולה סביב העניינים הסביבתיים האלה כל תושבי ים סוף בזמן הנוכחי ובעתיד, כשאנחנו מסתכלים על כמה תכניות יש ליישב את חופי ים סוף כדאי שנחשוב גם על העתיד. זה אפשרי, זה חלון הזדמנויות וכדאי שננצל אותו.





## יחידה 2 - אבולוציה ותורשה





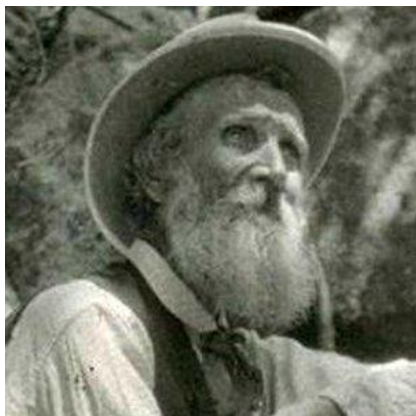
## 00 מבוא ליחידה 2 – באגן האבולוציה

<https://youtu.be/Hvo-zgqUPV0>

מזה שמונה ימים הבן שלי רועי ואני מטיילים בשביל ג'ון מיר שבקליפורניה. השביל הזה הולך לאורך הרי הסיירה נבדה, והיום הגענו לאגן האבולוציה. באגן האבולוציה ההרים הגבוהים, מהגבוהים שיש בארצות הברית, מכונים לכבוד גדולי חוקרי האבולוציה: יש לנו פה את קר דארווין, את קר מנדל, את קר האקסלי, את קר וולאס, את קר למארק, על שם חוקרים חשובים ששינו את הצורה שבה אנחנו מבינים את החיים על פני כדור הארץ.



משחר ההיסטוריה מחפשים בני האדם הסבר כיצד נברא העולם. ספר בראשית, כתבי המצרים הקדמונים, אשור, המאיה והאינקה, ועד המדענים בימינו. כולם עסקו בניסיונות להסביר כיצד נוצר העולם. ההישג הגדול של למארק ובני דורו בתחילת המאה ה-19, ושל דארווין ווולאס באמצע המאה



ה-19, הייתה ההכרה שעולם החי איננו קבוע אלא משתנה כל העת. כלומר עובר אבולוציה. זאת מילה שפירושה שינוי והתפתחות. זהו הישג תודעתי עצום שטבוע עמוק בתרבות שלנו היום. גם אם לא תמיד מלמדים על האבולוציה בבתי הספר, כל ילד יודע כבר בגן שהיו דינוזאורים ואינם עוד. שהיה אדם קדמון ושהוא התפתח, ושהעולם סביבנו משתנה ללא הרף. דיון זה מביא אותנו לג'ון מיר, שאל מעבר ההרים הקרוי על שמו אנחנו עולים כעת. ג'ון מיר ורבים רבים אחריו

הבינו שלא רק שהעולם משתנה אלא שהאדם הוא שמשנה את העולם, ושבאחריותו של האדם למנוע שינויים הפוגעים בטבע. דארווין הציע מנגנון לפיו עובדת האבולוציה, והמבוסס על ברירה

טבעית. הסרטון הראשון ביחידה זו יתאר את המנגנון הזה וידגים כיצד הוא מבוסס על שלוש דרישות פשוטות: שונות באוכלוסייה, סלקציה ותורשתיות. בהמשך היחידה נעסוק במנגנון התורשתיות, נלמד על הדנ"א המקודד את המידע הדרוש לבנייתו של כל יצור חי, ועל כיצד הוא מועבר מדור לדור. מכאן נוכל להבין ביתר קלות כיצד חוקי התורשה שמנדל גילה, ושאותה נתאר בקצרה בסרטון השלישי, עובדים. בסרטון הרביעי ביחידה נדון בשאלה כיצד נוצרים מינים חדשים. הסרטון שלאחר מכן ידון באבולוציה מינית, שזאת אבולוציה הנגרמת כתוצאה מהעדפות של זכרים ונקבות. למשל, זנבו המפואר של הטווס. הסרטון האחרון של יחידה זו עוסק בג'ירפות. מעבר לכך שמדובר בחיה מרתקת ויפהפייה, הג'ירפה מציגה בפנינו גם את השאלה אלו כוחות של סלקציה גרמו להופעתו של הצוואר הארוך שלה. הסרטון יראה לנו עד כמה שאלות אבולוציוניות יכולות להיות מורכבות ומסתוריות.

## 01 עקרונות הברירה הטבעית

<https://youtu.be/R7bT-I3q-Fo>

ברירה טבעית, הכוח המניע את האבולוציה, היא תהליך בסיסי ביותר ופשוט להבנה. כדי שברירה



טבעית תתרחש אנחנו זקוקים בסך הכול לשלושה תנאי יסוד: שונות באוכלוסייה, סלקציה ותורשתיות. התנאי הראשון הוא שונות באוכלוסייה, שכן באוכלוסייה בה כל הפרטים זהים, אין לברירה על מה לעבוד. אני למשל אוהבת לרוץ מרתון, וחלק חשוב מהתחרות היא שיש אצנים מהירים יותר ויש איטיים יותר. אם כולם היו רצים באותה מהירות התחרות הייתה משעממת מאד. התנאי השני הוא סלקציה, כלומר תנאים בהם פרטים יכולים לבטא את השונות שלהם בצורה בה פרטים מסוימים יצליחו יותר מאחרים. אם כל האצנים יושבים בבית קפה, לא נדע מי רץ יותר מהר. רק אם נתחרה, נוכל לדעת מי הכי

מהיר. בניגוד לתחרות ריצה, מידת ההצלחה בטבע נמדדת לפי קנה מידה אחד ויחיד: למי יש יותר צאצאים. הסלקציה בטבע יכולה להיות מסוגים שונים ונובעת בין השאר מכך שהמשאבים בסביבה מוגבלים. למשל מי מצליח לברוח יותר מהר מטורפים או לרדוף מהר יותר אחרי טרף. למי יש חושים חדים יותר, מי מסתווה טוב יותר, איזה צמח מצליח לגדול יותר גבוה ולנצל יותר טוב את אור השמש או אפילו לחיות בתנאי יובש קיצוניים יותר. ישנן אינספור תכונות נוספות. כפי שאתם רואים מהדוגמאות האלה, הסלקציה מגוונת מאד ובזכותה יש לנו עושר רב בטבע. אם למשל נערוך בין האצנים תחרות שירה אני מניחה שהאצן המהיר ביותר הוא לא בהכרח גם הזמר המוכשר ביותר. התנאי השלישי הוא היכולת להוריש את התכונות לדור הבא. בטבע הצלחה נמדדת לפי מספר הצאצאים לאורך דורות. לכן חיוני שהתכונה שמקנה הצלחה לפרט מסוים תוכל לעבור בתורשה מדור לדור. התנאי הזה הוא לא מובן מאליו, כי יש תכונות שלא בהכרח עוברות בתורשה. ילדים של אצנים מהירים לא בהכרח רצים מהר. במהלך הקורס תלמדו כיצד תכונות עוברות בתורשה. מבחינה זו מצבכם טוב בהרבה מזה של צ'ארלס דרווין, שניסח את כללי הברירה הטבעית. דרווין הבין שתכונות צריכות לעבור בתורשה, אבל עד יומו האחרון לא היה לו מושג כיצד. אתם רק צריכים להמשיך לעקוב אחרינו וכבר בסוף היחידה הזאת תדעו את הכללים הבסיסיים של התורשה. נעבור עכשיו לניסוי כדי להדגים את הברירה הטבעית ואת שלושת תנאי היסוד שלה: שונות, סלקציה ותורשתיות. בניסוי נראה גם שברירה טבעית לא מוגבלת ליצורים מורכבים אלא קיימת ביצורים פשוטים כמו חיידקים. יש לנו כאן במבחנה אוכלוסייה המורכבת מחיידקים שהם כולם בני אותו המין

והם זהים אחד לשני, חוץ מאשר בשתי תכונות. התכונות בהן קיימת שונות היא עמידות לאנטיביוטיקה וביטוי של חלבון שגורם לחיידקים להיצבע בצבע כחול. כל החיידקים העמידים הם כחולים בעוד שהלא עמידים הם לבנים. הסיבה שאנחנו משתמשים בצבע הכחול היא כדי להבחין בין החיידקים העמידים לאחרים. לצבע עצמו אין חשיבות מכל בחינה אחרת. קשה לראות את החיידקים בתרבית ולעמוד על השונות שלהם, לכן אנחנו מכינים מצע מוצק. אנחנו מרתיחים מצע נוזלי יחד עם אגר שיוצר ג'ל כאשר הוא מתקרר. מיכל זורעת את החיידקים על הצלחת עם המצע המוצק ואנחנו נדגיר את הצלחת עד מחר בחדר בטמפרטורה של 37 מעלות. בטמפרטורה זו כל חיידק מתחלק מספר רב של פעמים ויוצר מושבה שניתן לראות בעין. עכשיו אנחנו יכולים לראות את השונות של החיידקים. יש כאן על הצלחת מושבות כחולות ומושבות לבנות. עד כה עמדנו בתנאי הראשון של הברירה הטבעית, שונות. עכשיו נעבור לתנאי השני, יצירת תנאים בהם פרטים מסוימים יכולים להתרבות יותר מאחרים. נזרע את החיידקים על צלחת בה יש אנטיביוטיקה ונדגיר אותה שוב למשך הלילה ב-37 מעלות. כפי שאתם רואים כאן יש לנו עכשיו רק מושבות כחולות. בתנאי הסלקציה שהפעלנו, רק החיידקים העמידים שרדו. האנימציה כאן משווה בין מה שקורה לאוכלוסייה עם השונות בנוכחות ובהעדר סלקציה אנטיביוטית. חשוב לציין שבמקרים רבים הסלקציה אינה דרסטית כל כך ולא גורמת להכחדה מיידי של פרטים פחות מוצלחים. בתנאים אלה אחוז הפרטים היותר מוצלחים עולה רק בהדרגה. יש אבל מקרים בהם ההכחדה היא מהירה כמו למשל הכחדת הדינוזאורים והאמוניטים. התנאי השלישי של האבולוציה היא שהפרטים המוצלחים, במקרה זה העמידים, יוכלו להוריש את היתרון הסלקטיבי שלהם לדור הבא. זה בדיוק מה שקורה כאן, שכן כבר ראינו שמקור כל מושבה בחיידק בודד שהתחלק מספר רב של פעמים ובכל מחזור חלוקה הוריש לצאצאיו את התכונה של עמידות לאנטיביוטיקה. אמרתי שלא כל סלקציה היא כל כך דרסטית כמו הכחדת הדינוזאורים. הבה נשתמש בחיידקים שיש לנו כאן להדגים את זה. לשם כך נגדל את החיידקים העמידים והכחולים שלנו בתרבית נוזלית ללא אנטיביוטיקה למספר ימים ונבדוק את אחוז החיידקים הכחולים על צלחת שאינה מכילה אנטיביוטיקה. אחרי יומיים אחוז החיידקים הכחולים קטן משמעותית ואחרי שבוע כבר אין בכלל חיידקים כחולים. מדוע? מה קרה כאן? מסתבר שהביטוי של החלבון הכחול והחלבון לעמידות דורשים מהחיידק להשקיע משאבים הבאים על חשבון שאר פעילותו ושמאטים במקצת את קצב ההתרבות שלו. בתנאים שאין כל יתרון לביטוי חלבונים אלה, לחיידקים שלא מבטאים אותם יש יתרון התרבותי קטן אבל מצטבר. לכן אחרי מספר ימים הם מצליחים להשתלט על האוכלוסייה ולדחוק כליל את הכחולים העמידים.

## סיכומון – ברירה טבעית

### ברירה טבעית מבוססת על שלושה תנאים:

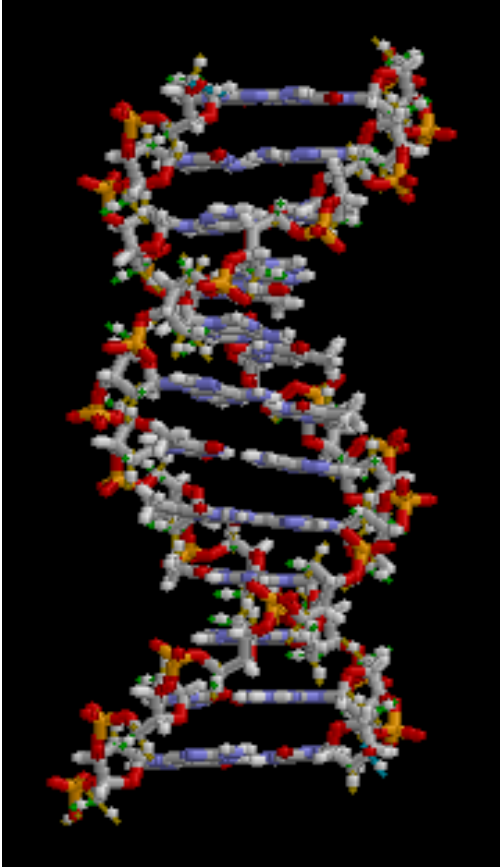
**שונות** – לפרטים שונים תכונות שונות

**סלקציה** – תכונות בהן קיימת שונות משפיעות על ההצלחה הרבייתית.

**תורשתיות** – התכונות עוברות בתורשה מדור לדור.

## 02 דנ"א

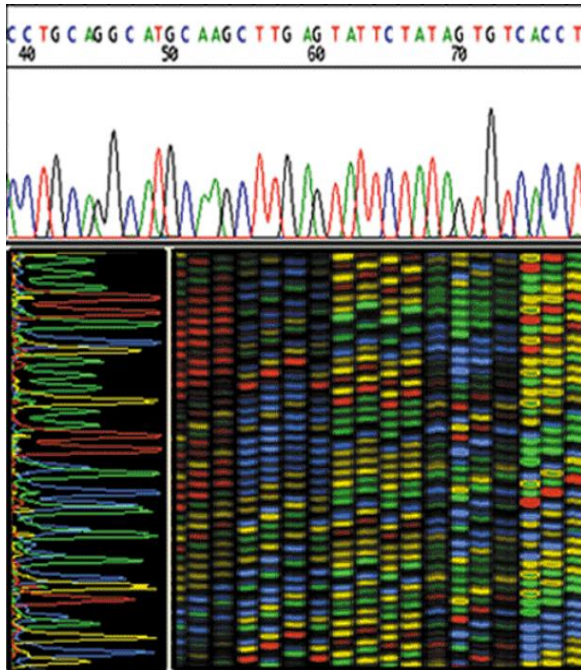
<https://youtu.be/U2NfIcRSRC0>



שם הקורס שלנו הוא רבייה מינית ממולקולות עד פילים. פילים כבר ראינו, ונראה בהמשך, אבל היום נפגוש לראשונה את המולקולות, מולקולות הדנ"א. התרבות שלנו מבוססת על העברת ידע מדור לדור. צורת ההעברה המקובלת בתרבות האנושית היא שפה, שפה כתובה, כמו גם שפה מדוברת. בזכותה אנחנו לא צריכים להמציא את הגלגל כל דור מחדש אלא יכולים להמשיך ולהתפתח מהידע הקיים. התפתחות היכולת של קידוד והעברת מידע מדור לדור היא הבסיס לקיום החיים שכן, כל יצור חי בונה את עצמו באמצעות מידע זה. העברה של מידע מדור לדור עומדת לכן בבסיסו של כל תהליך רבייתי. למנגנון המאפשר את ההעברה הזאת אנחנו קוראים תורשה או גנטיקה. השפה בה כל היצורים החיים על פני כדור הארץ משתמשים מקודדת במולקולה המכונה דנ"א. עד כמה שהדבר מדהים, כל היצורים

לא רק משתמשים בדנ"א, אלא גם באותה שפה בדיוק. דנ"א היא מולקולה ארוכה המורכבת מתת יחידות המחוברות זו לזו. כמה ארוכה? למשל הדנ"א שנמצא בכל תא שלנו מורכב מ-3 מיליארד תת יחידות ואם היינו פורשים אותה, אורכה היה מגיע ל-4 מטרים. ככל הידוע לנו, מולקולות הדנ"א הן המולקולות העתירות ביותר במידע משמעותי ביקום. לפחות עד שנמצא במקום אחר יצורים חיים שהמידע שלהם מקודד בצורה שונה. הדנ"א מורכב מארבע תת יחידות שונות וברצף בו הן מחוברות זו לזו מקודד המידע הנחוץ לבניית יצור חי שלם. הדבר משול לשפה בת ארבע אותיות: A, C, G ו-T. שפה זו מורכבת ממילים באורך שלוש אותיות כל אחת. כל אחת מהשלשות האלה מתורגמת בתא לאחת מ-20 אבני הבניין היסודיות של החלבונים. חלבונים בונים את הגוף ומבצעים בו את כל הפעולות החיוניות לחיים. אורכו של כל חלבון נע בין עשרות בודדות לאלפי תת יחידות, כך שמגוון האפשרויות לחלבונים שונים הוא בלתי מוגבל. כל מולקולת דנ"א מקודדת לאורכה מספר גדול מאד של חלבונים. כל אחד מהקטעים המקודדים לחלבון מכונה גן. יש גם גנים שלא עוברים תרגום לחלבון וגם אזורים בעלי תפקידי בקרה. בכל אחד מהתאים שלנו יש את אותו הדנ"א המקודד לבניית אדם שלם. אצלנו הדנ"א ארוז ב-23 כרומוזומים שונים. מספר הכרומוזומים שונה ביצורים השונים. מכרומוזום אחד במין מסוים של נמלים, ועד 200 במין מסוים של פרפר. לרוב היצורים מספר עשרות





כרומוזומים. מספר הכרומוזומים לא כל כך עקרוני, כי את אותו הדנ"א והמידע ניתן לארוז במספרים שונים של כרומוזומים. כמו שכל ספר ניתן לחלק למספר שונה של כרכים. הסט השלם של הכרומוזומים, הנמצא כאמור בכל תא ותא, מכונה גנום. סוג מסוים מאד של תאים, עליו נדבר ביחידה הבאה, תאי המין, מעבירים את המידע לדור הבא בתהליך של רבייה מינית. אנחנו כאן ביחידה הגנומית של המכון למדעי החיים באוניברסיטה העברית. גנומיקה היא המדע העוסק בגנומים, בעיקר על ידי קביעת הרצף שלהם והניתוח של המידע

בשיטות חישוביות. כאן ביחידה יש מכשירים משוכללים המסוגלים לקבוע את הרצף של מולקולות דנ"א. באמצעות מכשירים דומים פוענח לראשונה לפני כ-15 שנה הרצף של כל הגנום האנושי. שיטות הריצוף השתכללו מאד מאז, וריצוף הגנום, שארך שנים, ניתן לביצוע היום בימים בודדים. גנומים של בני אדם רבים רוצפו מאז ומרוצפים כל העת כדי למצוא הבדלים ולזהות מחלות תורשתיות. בנוסף רוצפו גנומים של אינספור יצורים אחרים. מיכל תדגים לכם עכשיו כיצד ניתן להפיק דנ"א מתותים או מפירות אחרים.

שלום. היום אנחנו הולכים לבודד דנ"א מתותים. זה תהליך מאוד מאוד פשוט, שאתם בעצם יכולים לעשות גם אצלכם בבית. אז בואו נתחיל. בחרתי בתותים כי קל להפיק מהם דנ"א, אבל אפשר להשתמש גם בפירות אחרים. ראשית אני ארסק את התותים כדי לשבור את התאים שלהם, כדי שהדנ"א ייצא לתמיסה. כדי להפיק את הדנ"א מרסק התותים, נערבב חצי כפית מלח ביסול, ושתי כפיות של סבון. נוסיף אותם לחצי כוס מים. נוסיף את תמיסת הסבון והמלח לתותים המרוסקים. הסבון ימיס את המעטפות השומניות של התא וגרעין התא, והמלח יגרום לדנ"א להיפרד מהחלבונים אליו הוא קשור. בשלב זה הדנ"א מומס בתמיסה, אבל יש בה הרבה שברי תותים, מהם ניפטר על ידי סינון דרך פד גזה. כדי להשקיע את הדנ"א מתוך התמיסה המסוננת, נשתמש באתנול קר. נוסיף לתוך התמיסה כמות זהה של אלכוהול, ומייד נוכל לראות שתי שכבות שונות: שכבה אדומה עם כל תאי התותים השבורים, ושכבה שקופה-לבנה המכילה את הדנ"א. את הדנ"א אפשר להוציא מהכוס עם קיסם. אתם מוזמנים כמובן לנסות גם בבית.





## סיכומון – דנ"א

**תורשה/גנטיקה** – המנגנון המאפשר **העברת** תכונות **מדור לדור**.

**דנ"א** – המולקולה **המקודדת** את המידע התורשתי של כל היצורים החיים. הדנ"א היא מולקולה ארוכה המורכבת מ 4 **תת היחידות** A, T, C, G. הרצף בו מסודרות תת יחידות אלה אינו אקראי ואינו חוזר על עצמו אלא הוא **מקודד מידע**, כמו אותיות המקודדות טקסט.

**חלבון** – מולקולות הבונות את הגוף ומבצעות בו את רוב הפעולות החיוניות לחיים. החלבונים מורכבים ממאות או אלפי **תת יחידות** המכונות חומצות אמיניות. יש 20 חומצות אמיניות שונות. הרצף של החלבון **מקודד** במולקולות הדנ"א. כל חומצה אמינית מקודדת **בשלושה** שונה של תת היחידות A, T, C, G. לשפה הזאת קוראים **הקוד הגנטי**.

**גן** – מקטע דנ"א המקודד לחלבון אחד. כל הגנים של היצור מכונים **גנים**.

**כרומוזום** – מולקולות הדנ"א **ארוזות** בתא בגופיפים המכונים כרומוזומים. כל כרומוזום מקודד למאות או אלפי **גנים** שונים. מספר הכרומוזומים שונה מאד ביצורים השונים מכרומוזומים בודדים עד עשרות ואפילו מאות. למספר הכרומוזומים עצמו אין משמעות כי מדובר רק במספר האריזות ולא בתוכן שלהם.

**בכל אחד מתאי הגוף יש בדיוק את אותו הדנ"א המקודד את כל המידע לבניית יצור שלם.**

**גנומיקה** – המדע החוקר **גנומים** באמצעות **ריצופם** והפיענוח שלהם באמצעים חישוביים.

## 03 תורשה

<https://youtu.be/4z4HBWGbNhw>



בפרק הקודם למדנו על הדנ"א ועל כיצד הוא מקודד מידע. עכשיו נסביר כיצד התכונות עוברות מדור לדור ביצורים המתרבים ברבייה מינית. את חוקי התורשה גילה גרגור מנדל, שהיה נזיר בסלובקיה. בעיני מנדל הוא אולי גדול הביולוגים בכל הזמנים. הוא הצליח להקים יש מאין מערכת ניסויית מוצלחת ביותר ולפענח באמצעותה לגמרי לבד את חוקי התורשה.

רבייה מינית היא תהליך בו שני תאים מתאחים ויוצרים תא אחד חדש. כל אחד מהתאים שהתאחו הכיל מטען תורשתי המקודד את כל המידע הנחוץ. באדם, למשל, 23 כרומוזומים. התא המאוחד מכיל שני עותקים שונים

של מידע זה, באדם 46 כרומוזומים. המצב בו תא מכיל עותק אחד מכונה הפלואידי. מצב של שני עותקים מכונה דיפלואידי. מונחים אלה, הפלואידי ודיפלואידי, הם בסיסיים מאד וילוו אותנו לאורך הקורס וחשוב לזכור אותם. כל יצור אוקריוטי, המתרבה ברבייה מינית, הוא בשלב מסוים של חייו דיפלואידי. הסיבה לכך היא שהוא נוצר מאיחוי של שני תאים הפלואידיים. כאשר בבוא העת אותו היצור ישוב להתרבות, עליו ליצור תאי מין הפלואידיים. ברוב היצורים הרב תאיים, השלב העיקרי הוא דיפלואידי. למשל כל אחד מתאי גופנו הוא דיפלואידי ויש בו שני עותקים של הגנום, אחד מאימא והשני מאבא שלנו. כדי להתרבות עלינו ליצור תאי מין שהם הפלואידיים. יצירת תאים אלה דורשת תהליך מיוחד של חלוקת הפחתה המכונה מיזוזה. ביחידה הבאה נעסוק בפירוט בחלוקת תאים בכלל ובחלוקת הפחתה בפרט, שכן המיזוזה היא הבסיס לכל הרבייה המינית. בשלב זה ניתן להסתפק בידיעה שבכל יצור יש שני עותקים של כל הגנום ובאמצעות ידיעה זו ניתן להסביר את חוקי התורשה אותם גילה מנדל. שני העותקים של הגנום, של כל דיפלואיד, דומים מאד אחד לשני ומכילים כל אחד את כל הגנים הנחוצים ליצירת הפרט. למרות הדמיון הרב ביניהם, שני העותקים לא זהים ובהבדלים ביניהם גלומה השונות הקיימת באוכלוסייה. לשני העותקים של הגן הקיימים בגנום הדיפלואידי קוראים אללים. בגנום הדיפלואידי יש שני אללים של כל גן. אללים אלה יכולים להיות זהים או שונים. כל פרט מעביר לכל אחד מצאצאיו רק אלל אחד. את האלל השני הצאצא יורש מהורה השני. בכלל האוכלוסייה יש לכל גן אלל אחד, שניים או יותר אללים שונים. למשל בפרחי האפונה של מנדל היו לגן האחראי על קביעת צבע הפרח שני אללים אפשריים: סגול ולבן. כאשר הוא זיווג פרח סגול, שיש לו שני אללים סגולים, עם פרח לבן, שיש לו שני אללים לבנים, הוא קיבל רק פרחים סגולים. מדוע? כל אחד מהפרחים העביר לצאצאים שלו את אחד האללים, כפי שאתם יכולים לראות כאן בטבלה.

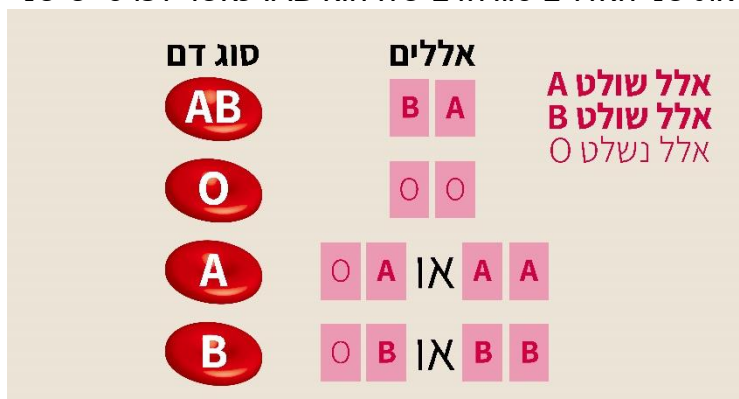
מאחר ולפרח הסגול היו רק אללים סגולים וללבן רק לבנים ברור שכל צאצא קיבל אלל אחד סגול ואחד לבן. מסתבר שהשפעה של אללים יכולה להיות שונה. יש כאלה שהם חזקים יותר מאחרים. למשל האלל הסגול הוא אלל שולט. די שלפרט יהיה אלל אחד כזה כדי שהוא יהיה סגול. מה אתם

חושבים יקרה כאשר נזווג שני פרטים סגולים כאלה שיש לכל אחד מהם אלל סגול ואלל לבן? זכרו שכל פרט מעביר לכל צאצא רק אלל אחד. בטבלה הזאת, שמראה את תוצאות הזיווג, אפשר לראות שרבע מהצאצאים יקבלו שני אללים לבנים והם יהיו, נכון, לבנים. רבע מהצאצאים יקבלו שני



אללים סגולים והם יהיו כמובן סגולים. כל שאר הצאצאים יקבלו אלל אחד לבן ואחד סגול והם יהיו סגולים כמו ההורים שלהם. בגדול זו כל תורת הגנטיקה על רגל אחת. ברגע שאנחנו מבינים את העיקרון הבסיסי הזה נוכל להבין בקלות את כל השאר. יש למשל הרבה מחלות תורשתיות באדם, בהם המחלה נגרמת על ידי האלל הנשלט. כאשר שני הורים נושאים את האלל הנשלט, אין הדבר משפיע עליהם כלל שכן יש להם גם אלל שולט ובריא. כאשר שניהם מעבירים את האלל הנשלט לתינוק שלהם, התינוק יהיה חולה. מה ההסתברות שזה יקרה? ההסתברות שהאבא יעביר את האלל החולה היא חצי וההסתברות שהאימא תעביר אותו היא גם חצי. מכפלת ההסתברויות היא רבע, וזו ההסתברות שהתינוק יהיה חולה. לא כל התכונות הנשלטות הן מחלות וגם לא כל המחלות התורשתיות נגרמות על ידי אללים נשלטים.

לא תמיד היחס בין האללים הוא של שולט ונשלט. לפעמים לשני אללים אותה מידה של השפעה. דוגמה יפה היא סוגי דם. כאן יש שני טיפוסים של שולטים וגם אלל אחד נשלט. שני האללים השולטים הם A ו B. כאשר לפרט יש את שני האללים סוג הדם שלו הוא AB. כאשר לפרט יש שני



אללים נשלטים סוג הדם שלו הוא O. כאשר יש לו שני אללים שולטים A או אלל שולט A ואלל נשלט O, יש לו סוג דם A. וכאשר יש לו שני אללים שולטים B או אלל שולט B ואלל נשלט O, יש לו סוג דם B.

הרבה מאד תכונות נקבעות על ידי יחסי גומלין בין גנים שונים. למשל הגובה שלנו הוא לא תוצאה של גן אחד אלא של מספר גנים. במצב זה קשה הרבה יותר לפענח במדויק את התורשה של תכונה זו. אני מודע לכך שסרטון זה הוא קצת מסובך עבור תלמידים שלא למדו ביולוגיה וקצת פשטני עבור תלמידים שכן למדו. יחד עם זאת ידע זה חשוב להמשך הקורס מצד אחד, ומצד שני הוא כל הרקע לו תזדקקו.

## סיכומון – תורשה

**רבייה מינית היא תהליך בו שני תאים מתאחים ויוצרים תא אחד חדש.**

**כל אחד מהתאים שהתאחו הכיל מטען תורשתי המקודד את כל המידע הנחוץ.**

**הפלואידי – מצב בו לתא יש עותק אחד של הגנום.**

**דיפלואידי – מצב בו לתא יש שני עותקים של הגנום. לכל יצור המתרבה ברבייה מינית יש שלבים דיפלואידיים והפלואידיים.**

**תאי הגוף של יצורים רב תאיים הם דיפלואידיים ותאי המין הם הפלואידיים.**

**תא דיפלואידי הופך להפלואידי במיזוזה עליה נלמד ביחידה הבאה.**

**שני העותקים של הגנום בתא דיפלואידי דומים מאד אבל לא זהים. בהבדלים אלה גלומה השונות באוכלוסייה.**

**אללים – שני העותקים של כל גן בגנום. אללים יכולים להיות זהים או שונים.**

**כל פרט מעביר לכל צאצא שלו רק אלל אחד מכל גן.**

**אלל יכול להיות שולט או נשלט.**

**המופע של פרט שלו שני אללים שולטים או אלל שולט אחד ונשלט אחד דומה, ושונה מהמופע של פרט שיש לו שני אללים נשלטים.**

**לסוג דם – יש שלושה אללים באוכלוסייה – שניים שולטים A ו B ואחד נשלט O.**

**לכל פרט כמובן רק שני אללים ומכאן אפשריים ארבע סוגי הדם: A, B, AB, O.**



## כללי התורשה

בזיווג בין שני פרטים שלהם **אלל שולט** מתקבלים רק צאצאים עם מופע שולט.

אב/אם	<b>שולט</b>	<b>שולט</b>
<b>שולט</b>	<b>שולט/שולט</b>	<b>שולט/שולט</b>
<b>שולט</b>	<b>שולט/שולט</b>	<b>שולט/שולט</b>

בזיווג בין שני פרטים שלהם **אלל נשלט** מתקבלים רק צאצאים עם מופע נשלט.

אב/אם	נשלט	נשלט
נשלט	נשלט / נשלט	נשלט / נשלט
נשלט	נשלט / נשלט	נשלט / נשלט

בזיווג בין שני פרטים שלאחד מהם **אללים שולטים** ולשני שני **אללים נשלטים** לכל הצאצאים יהיה אלל אחד מכל סוג אבל המופע שלהם יהיה שולט.

אב/אם	<b>שולט</b>	<b>שולט</b>
נשלט	<b>שולט / נשלט</b>	<b>שולט / נשלט</b>
נשלט	<b>שולט / נשלט</b>	<b>שולט / נשלט</b>

בזיווג בין שני פרטים שלשניהם אלל אחד שולט ואחד נשלט נקבל צאצאים עם שני המופעים (ביחס של 1:3 שולט:נשלט).

אב/אם	נשלט	<b>שולט</b>
<b>נשלט</b>	<b>שולט / נשלט</b>	<b>שולט / שולט</b>
נשלט	נשלט / נשלט	<b>שולט / נשלט</b>

בזיווג בין שני פרטים שלאחד מהם אלל אחד שולט ואחד נשלט ושני שני אללים שולטים נקבל רק צאצאים עם מופע שולט

אב/אם	<b>שולט</b>	<b>שולט</b>
<b>שולט</b>	<b>שולט / שולט</b>	<b>שולט / שולט</b>
נשלט	<b>שולט / נשלט</b>	<b>שולט / נשלט</b>

בזיווג בין שני פרטים שלאחד מהם אלל אחד שולט ואחד נשלט ולשני שני אללים נשלטים נקבל צאצאים עם שני המופעים (ביחס של 1:1 שולט:נשלט).

אב/אם	נשלט	שולט
נשלט	נשלט / נשלט	שולט / נשלט
נשלט	נשלט / נשלט	שולט / נשלט

## 04 יצירת מינים חדשים

[https://youtu.be/b\\_i1mKmuS9s](https://youtu.be/b_i1mKmuS9s)

ביחידה הקודמת למדנו את המונח מין. זאת קבוצת ההגדרה הטקסונומית הבסיסית בעולם החי. כזכור, שני יצורים ששייכים לאותו המין, רק אם הם יכולים להזדווג ולהוליד צאצאים פוריים. ביחידה הזאת למדנו על דנ"א ועל תורשה. העברה של דנ"א מדור לדור נעשית ברמה מרשימה מאוד של מהימנות, עם מספר זעום של שגיאות. יחד עם זאת, שגיאות בהכפלת הדנ"א מתרחשות, והן

למעשה המקור לכל השונות

בטבע והדלק של האבולוציה.

לו המהימנות של העברת

הדנ"א הייתה מושלמת,

האבולוציה הייתה נעצרת כי לא

הייתה נוצרת שונות. לו

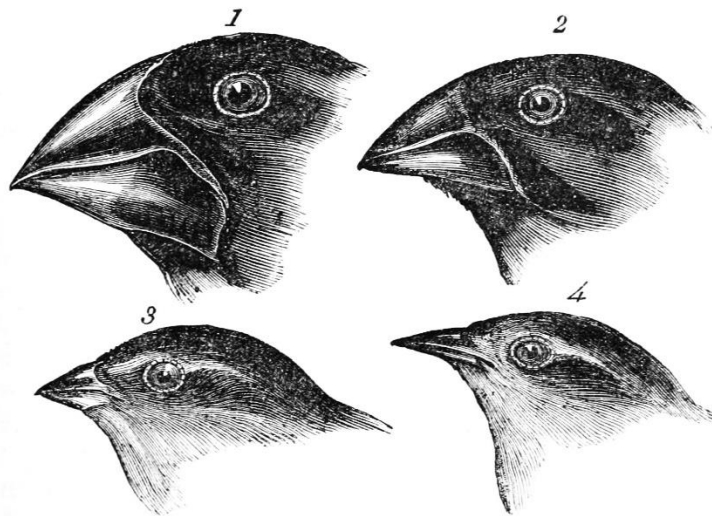
המהימנות של העברת הדנ"א

הייתה נמוכה מדי, העיקרון של

התורשתיות היה נפגע, כי

תכונות לא היו עוברות בצורה

מהימנה מדור לדור. שינויים



1. *Geospiza magnirostris*.  
3. *Geospiza parvula*.

2. *Geospiza fortis*.  
4. *Certhiidea olivacea*.

בדנ"א מכונים מוטציות. מוטציות מתרחשות כתוצאה משגיאות בהכפלת הדנ"א, תהליך אותו נזכיר ביחידה הבאה. מוטציות נגרמות גם כתוצאה ממגוון גורמים חיצוניים: קרינת שמש או קרינה אחרת, חומרים מוטגנים הנמצאים בסביבה, כגון עשן סיגריות או עשן מכונות, והרבה מאוד חומרים טבעיים ומלאכותיים. עשן הסיגריות גורם למשל למוטציה בתאי הריאה שלנו ועלול להפוך אותם לתאים סרטניים המתחלקים בלי להתחשב בגוף. מוטציה היא תהליך אקראי. בעיקרון, לכל תת יחידה בדנ"א שלנו אותה הסתברות לעבור שינוי. הסבירות שמוטציה תהיה מזיקה גדול לכן בהרבה מהסבירות שהיא תהיה מועילה. למשל, אם נשנה באופן אקראי את בעמוד, סביר מאוד שאני אקלקל מילה. הרבה פחות סביר שאני אשפר את הטקסט. יחד עם זאת, למרות הסבירות הנמוכה, הדבר קורה מדי פעם. עובדה, כל החיים המופלאים והמורכבים על פני כדור הארץ התפתחו מחיידקים חד תאיים פשוטים בהרבה. כבר למדנו שכל יצור חי מקורו ביצור חי קודם. גם מינים חדשים נוצרים ממינים קיימים. בעיקרון יש שתי אפשרויות להיווצרות מין חדש. האפשרות הנפוצה והפשוטה יותר להסבר היא במאצעות בידוד גיאוגרפי חלקי או מלא בין אוכלוסיות של אותו המין. במצב כזה מתקבעים בכל אוכלוסייה שינויים, חלקם אקראיים וחסרי משמעות וחלקם בהשפעת סלקציה לתנאי הסביבה השונים. בשלב מסוים הפרטים משתי האוכלוסיות כבר לא מסוגלים להזדווג, גם כאשר הם נפגשים. ניקח לדוגמה את האזור הזה בו חי מין של לטאות חומות. בשלב מסוים נוצר נהר שפיצל את

אוכלוסיית הלטאות. האזור השמאלי גם נעשה ירוק יותר בזכות המים. מוטציה אקראית שהתרחשה בלטה אחת שינתה את הצבע שלה לירוק. מאחר והיא נהנתה מהסוואה טובה יותר, הצאצאים שלה היו מוגנים יותר מטריפה. יתרון סלקטיבי זה גרם לכך שבהדרגה כל אוכלוסיית הלטאות בגדה השמאלית הפכה לירוקה. מוטציות נוספות, פחות גלויות לעין, גרמו לכך שהלטאות החומות והירוקות כבר לא יכלו להזדווג ולהעמיד צאצאים. לכן, גם כאשר הנהר התייבש, נשאר שני מינים שונים בשטח. הדוגמה המפורסמת ביותר לסוג זה של ספציאציה, היווצרות מינים, היא הפרושים שדארווין גילה באיי הגלפגוס, ליד חופי אמריקה הדרומית. על כל אי יש מין שונה של פרוש, עם הבדלים גדולים בצורת המקור, המתאים לסוגי המזון הנמצאים על אותו האי. האמת שציפורים אלה כה שונות זו מזו, שדארווין כלל לא זיהה את הקרבה ביניהן, ורק חוקר הציפורים ג'ון גולד הגדיר את כולן כפרושים. מכאן הסיק דארווין שלכולם היה אב קדמון משותף. לתצפית זו היה תפקיד חשוב בפיתוח תורת האבולוציה, אותה תאר דארווין בספרו "מוצא המינים". אבל כפי שתראו מייד, הפרדה גיאוגרפית בין אוכלוסיות היא לא הדרך היחידה בה נוצרים מינים חדשים. אנחנו נמצאים כאן ליד אגם מלאווי. אגם מלאווי הוא האגם הדרומי ביותר בשקע הסורי-אפריקאי. האגם הצפוני ביותר הוא הכנרת. האגם הזה הוא אגם ענק, הוא האגם התשיעי בגודלו בעולם. ומה



שמיחד אותו מבחינתנו הוא שהוא עשיר מאוד במיני דגים. אני הורדתי את הזקן כדי שנוכל

לצלול פה במים, ולעקוב אחרי הדגים האלה מקרוב. במשפחת הנוניים, הציקלידים, אחת ממשפחות החולייתנים הגדולות ביותר, יש למעלה מ-2,000 מינים. מתוכם זהו באגם מלאווי לא פחות מ-900 מינים שונים, שכמעט כולם אנדמיים. כלומר, חיים אך ורק כאן. בתוך האגם הזה נוצרו, אם כך, מספר חסר תקדים של מינים חדשים. רוב הציקלידים מעדיפים, כפי שאתם רואים, לשחות בין סלעים שמספקים מזון ומחסה. מאחר ובין החופים הסלעיים יש כאן גם לא מעט חופים חוליים, יש כאן הפרדה גיאוגרפית מסוימת בין אוכלוסיות. הפרדה שוודאי היה לה תפקיד בספציאציה. אבל זה לא כל הסיפור. שילוב לא לגמרי ברור בין מאפייני האגם לתכונות הציקלידים אחראי לפלא האבולוציוני הזה, שאין לו אח ורע. המים כאן צלולים מאוד ומאפשרים לציקלידים לזהות זו את זה לפי דגם הצבעים. ואכן ידוע שנקבות בוחרות זכרים לפי דגם זה. יתכן שכשמופיעים, באמצעות מוטציות, דגמי צבע חדשים, נקבות נמשכות אליהם, כי החדש לעיתים מרגש ומושך. מהעדפות כאלה נוצרים בהדרגה עוד ועוד מינים חדשים. יתכן מאוד שלסלקציה מינית, נושא לו יוקדש הסרטון הבא, תפקיד מכריע בספציאציה זו. באופן כללי לחוש הראייה ולנטייה של ציקלידים לחיות במים צלולים יש חלק בהצלחה הגדולה שלהם גם במקומות אחרים. דגים אלה הם בין היחידים ששומרים על הצאצאים שלהם, דבר אותו ניתן לעשות ביתר יעילות כאשר המים צלולים וניתן לראות טורפים מרחוק. אחת הדרכים ליצירת בידוד רבייתי היא באמצעות שינויים כרומוזומליים. למשל הכפלה של כל הגנום. תהליך שקרה פעמים רבות במהלך האבולוציה. למשל, קרפדת הזנופוס לווים *Xenopus laevis*

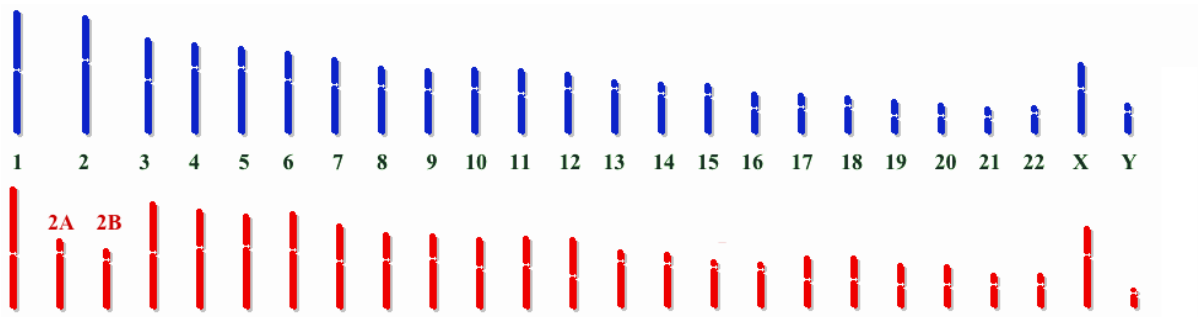




נוצרה כתוצאה מהכפלת כל הגנום, ויש לה 36 כרומוזומים. למין אחר מאותו הסוג, זנופוס טרופיקליס, *Xenopus tropicalis* יש רק 20 כרומוזומים. שינוי כרומוזומלי אחר הוא שבירה של כרומוזום אחד לשניים, או העברת זרוע בין הכרומוזומים, בתהליך המכונה טרנסלוקציה. למשל, בתמונת כרומוזומים זו אנחנו רואים הבדל בין הקוצן המצוי, מכרסם קטן החי בארץ,

והקוצן המצוי החי בסיני. שני המכרסמים דומים מאוד בצורתם, אבל לאחד יש 18 כרומוזומים, בעוד לשני 19. בולט לעין שהכרומוזום הנוסף נוצר משבירתו של אחד הכרומוזומים, או מאיחוי של שני כרומוזומים לאחד.

לקופי האדם, הגורילות, אורנג אוטנג ושימפנזים 24 כרומוזומים, בעוד שלאדם רק 23. גם כאן ההבדל נוצר כנראה מטרנסלוקציה בין כרומוזומים.



בנוסף, בעיקר בצמחים, יש תופעה של יצירת בני כלאיים המסוגלים ליצור מין חדש. למשל, החיטה אותה אנחנו אוכלים היא בת כלאיים שנוצרה בשני שלבים משלושה מינים שונים. בגנום הדיפלואידי



של אם החיטה 14 כרומוזומים. בעוד שבזה של חיטת הלחם 42 כרומוזומים.

## סיכומון – יצירת מינים חדשים

שני יצורים שייכים לאותו המין אם הם יכולים להזדווג ולהוליד צאצאים פוריים

**מוטציות** – שינויים **אקראיים** בדנ"א.

דנ"א עובר מדור לדור עם מספר זעום של שגיאות. יחד עם זאת שגיאות בהכפלת הדנ"א מתרחשות.

מוטציות הן המקור לכל **השונות** בטבע. **רוב המוטציות מזיקות**.

**האבולוציה מבוססת על מוטציות אקראיות ועל תהליך סלקציה** המאפשר למוטציות המוצלחות להתרבות.

**כל יצור חי מקורו ביצור חי קודם. גם מינים חדשים נוצרים ממינים קיימים.**

**בידוד גיאוגרפי** - בין אוכלוסיות של אותו המין הוא אחד הגורמים להיווצרות המינים חדשים.

מינים יכולים גם להיווצר **ללא** **בידוד גיאוגרפי**.

**שינויים כרומוזומליים** – **שבירת** כרומוזום, **איחוי** בין כרומוזומים **והכפלת הגנום** גם כן עשויים להביא **ליצירת מינים חדשים**.

## 05 אבולוציה מינית

<https://youtu.be/8HKZu8H9mXo>



תראי את מכונית המרוץ  
האדומה היפה שלי, נכון  
שהיית רוצה לבוא איתי  
לסיבוב? האמת שהמכונית  
היפה הזאת לא שלי.  
המזדה החבוטה הזאת היא  
המכונית שלי. יש לה המון  
יתרונות: יש בה הרבה יותר  
מקום, הבן שלי יכול לשרוט  
אותה וזה לא משנה והיא  
מעבירה אותי בנוחות

וביעילות ממקום למקום. אז מדוע בכל זאת אנשים נמשכים למכוניות יפות כאלה? המשל של המכונית הוא אנלוגיה למושג המכונה ברירה מינית. עד עכשיו דיברנו על סלקציה של תכונות מועילות. אימפלה שרצה מהר תצליח לשרוד ולהתרבות בעוד שאחת שרצה לאט תיטרף ולא תעמיד צאצאים. יש מספר גדול מאד של תכונות עליהן הברירה הטבעית יכולה לעבוד. דארווין ניסח את כללי הברירה הטבעית והכל היה טוב ויפה, עד שהוא ראה טווס. וזה לדבריו גרם לו ללבטים מאוד קשים. הרי לזנב הארוך של הטווס אין כל ערך הישרדותי. גרוע מכך, צריך להשקיע בו אנרגיה, הוא מסייע לטורפים לגלות אותו, והוא מאט את המעוף שלו, שגם ככה מאוד מסורבל. והטווס לא לבד, יש הרבה מאד יצורים שיש להם תכונות טווסיות כאלה. אחד המאפיינים של תכונות אלה הוא שהן יקרות, צריך להשקיע בגידולם אנרגיה וזמן. והתכונות האלה מגדילות את הסיכון להיטרף. דרווין ניסח לכן את כללי הברירה המינית. ההיגיון פשוט מאד, ונדגים את זה בתכונה של אורך הזנב בטווסים. כמו כל ברירה טבעית, גם ברירה מינית מתבססת על שונות. במקרה זה באורך הזנב. היא גם מתבססת על תורשתיות, אורך זנב עובר בתורשה. אבל זה לא מספיק. בשביל ברירה מינית תכונה נוספת צריכה לעבור בתורשה, ההעדפה של נקבות. אם נקבות לא תעדפנה זכרים עם זנבות ארוכים, לא יהיה לארוכי הזנב כל יתרון. למען האמת, יהיה להם חסרון כי הסיכוי שלהם להיטרף גדול יותר משל קצרי הזנב. אבל אם נקבות מעדיפות זכרים ארוכי זנב, כפי שכנראה קורה אצל טווסים, והעדפה זו עוברת בתורשה, אזי נקבל מצב בו זנב הטווס ילך ויתארך במהלך האבולוציה בתהליך של ברירה מינית. הכיצד? לנקבה "כדאי" להזדווג עם זכר ארוך זנב כי לצאצאים הזכרים שלה יהיו זנבות ארוכים ונקבות יעדיפו להזדווג איתם. וכך יהיו לה יותר נכדים, שגם להם זנבות ארוכים, שגם הם יהיו פופולריים מאוד אצל הטווסיות. בצורה זו התכונה לזנב ארוך תתפשט

באוקלוסייה כמו גם ההעדפה של טווסיות להזדווג עם ארוכי זנב. טווסים הם רק דוגמא אחת מיני רבות. למשל לזכר של ציפור קטנה זו, הקרויה שזן ארוך זנב, זנב באורך חצי מטר. בניסויים בהם



קיצרו או האריכו את הזנב של השזרנים נתגלה שנקבות מעדיפות זכרים עם הזנב הכי ארוך. ברירה מינית היא אם כך תוצאה של שתי תכונות העוברות בתורשה: התכונה בזוויג אחד, לרוב הזכר, וההעדפה של הזוויג השני, לרוב הנקבה. במידה מסוימת זו שאלה של ביצה ותרנגולת, מה הופיע קודם, ההעדפה או

התכונה? חוקר בשם מייקל ריאן חקר מגוון תופעות של ברירה מינית. הוא הגיע למסקנה שההעדפה קודמת לתכונה. עד שהתכונה מופיעה באקראי בזכר, ההעדפה בנקבה נשארת נסתרת. ריאן חקר את קרקור החיזור של מין מסוים של קרפדות. הוא הראה שהקרקור קיים רק במין אחד, אבל שהמשיכה שיש לקרקור הזה על הנקבות קיימת בכל המינים האחרים שבדק. כמו תכונות יופי אחרות, לקרקור זה מחיר, שכן הוא חושף את הקרפדות לטריפה על ידי עטלפים, כפי שאתם רואים כאן. מחקרים אחרים בדקו את הסייף הארוך בזנב בדגי סייפן. כאשר הדביקו סייף מלאכותי לזכרים במין שאין לו סייף, הנקבות ממין זה נמשכו לזכרים עם הסייף המלאכותי. תצפיות אלו מראות שההעדפה קדמה לתכונה. השאלה היא מדוע שנקבות תעדפנה זנבות ארוכים, או כל תכונה לכאורה בלתי מועילה אחרת? בדגי סייפן הסתבר שהסייף גורם לזכרים להראות גדולים יותר ונקבות פשוט מעדיפות זכרים גדולים. בדגי גופי הנקבות מעדיפות זכרים כתומים בולטים. הדבר קשור כנראה לכך שדגים אלה ניזונים לרוב מפירות כתומים. המשיכה למזון כתום גרמה לנקבות כנראה משיכה כללית לצבע הכתום, גם לשם בחירת בני זוג. לרוב אנחנו לא יודעים מה מקור ההעדפה, אבל יכול להיות שהיא מסמלת דבר מה. אם נחזור לאנלוגיה של מכונת המרוץ האדומה, אחת הסיבות שמישהי, או מישהו, ימשך למכונת מרוץ היא שהיא מעידה על כך שבעליה עשיר ושהוא יכול להרשות לעצמו מכונת יקרה. ואם הוא עשיר אז הוא יכול גם לדאוג לצאצאים שלו יותר טוב. החוקר הישראלי הנודע, אמוץ זהבי, שנפטר לאחרונה, הציע הסבר מתוחכם ושנוי במחלוקת. לפי זהבי, עצם העובדה שלפרט מסוים יש יכולת לשרוד עם זנב כזה ארוך מאותת שיש לו גנים טובים ושהוא בריא ולא סובל ממחלות וטפילים ושלכן כדאי לנקבה להזדווג איתו. זהבי כינה עיקרון זה בשם עיקרון ההכבדה. פרט מסוים, למרות ההכבדה שהוא סובל ממנה, יכול להצליח, וזה מראה שהוא מוצלח במיוחד. אני אישית לא בטוחה שעיקרון ההכבדה חיוני כדי להסביר את הברירה הטבעית המינית. בעוד שזנב של ציפורים וקרקור הקרפדות נראות כתופעות שוליות הן למעשה מייצגות את השאלה מהו חוש ליופי. ולא רק ליופי חזותי אלא גם ליופי קולי, לניחוח נעים וליופי שניתן למשש. הרי גם לנו, בני האדם, משיכה ליופי. זאת משיכה שמפרנסת בין השאר תעשייה עצומה המנסה להגביר את היופי והמשיכה באמצעים מלאכותיים: בגדים, ניתוחים פלסטיים, איפור, בשמים ומכונות אדומות. תהא אשר תהא הסיבה לברירה מינית היא זו שבזכותה עולמנו מלא בחיות ובצמחים יפהפיים בשלל צבעי הקשת.

# סיכומון – ברירה מינית

## ברירה מינית מבוססת על העדפות של בני זוג

**ברירה טבעית** - מביאה להצלחה רבייתית של פרטים על פי מידת התאמתם לתנאי הסביבה.

**ברירה מינית** - מביאה להצלחה רבייתית של פרטים על פי העדפה של בת (או בן) הזוג.

ברירה מינית נובעת מקו-אבולוציה של תכונות ושל ההעדפה שלהן.

בניגוד לברירה טבעית ברירה מינית לא בהכרח משפרת את ההתאמה של פרטים לסביבתם. במקרים רבים היא אפילו פוגעת בהתאמה זו. הדוגמה המפורסמת ביותר היא זנב הטווס.

מקור התכונות וההעדפות המניעות את הברירה מינית לרוב לא ברור.

יש הטוענים שתכונות אלה משדרות שבן הזוג הפוטנציאלי הוא מוצלח במיוחד. אחת התיאוריות, עיקרון ההכבדה, אף מרחיקה לכת וטוענת שפרטים מאותתים באמצעות תכונות מכבידות אלה, את היכולת שלהם להתמודד עם הכבדה זו. תיאוריות אלה הן בעייתיות וקשה להוכיח כמו גם להפריך אותן.

מחקרים עדכניים הראו, שהופעה אקראית של תכונה, לגביה היתה העדפה קיימת שנשארה נסתרת עד להופעה התכונה, היא, לפחות בחלק מהמקרים, הבסיס לברירה המינית. מרגע שתכונה והעדפה מוצאות זו את זו הן יכולות לעבור קו-אבולוציה מזורזת ולהביא להגברה קיצונית של תכונות אלה.

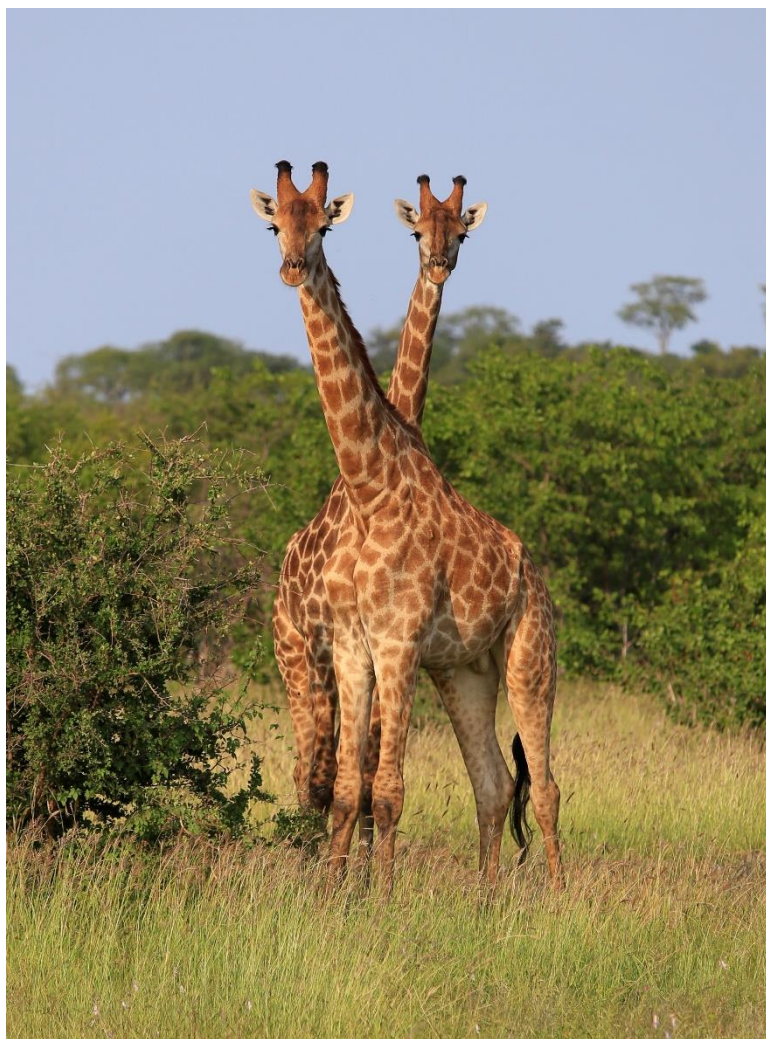
**ברירה מינית היא הבסיס ליופי ולחוש האסטטי ואחת הסיבות החשובות לעושר העצום של המינים בעולמנו.**



## 06 הג'ירפה כמשל

<https://youtu.be/ypzxtpwWbeY>

אני אוהב ג'ירפות. הן החיות הגבוהות ביותר בעולם ואחת החיות היותר מוזרות ויפות שזכיתי להכיר. חוקרי אבולוציה גם כן אוהבים ג'ירפות, כי באמצעותן ניתן להדגים תופעות של ברירה טבעית. הם טוענים שהברירה הטבעית עיצבה את הצוואר הארוך והרגליים הארוכות כדי להגיע למזון שנמצא



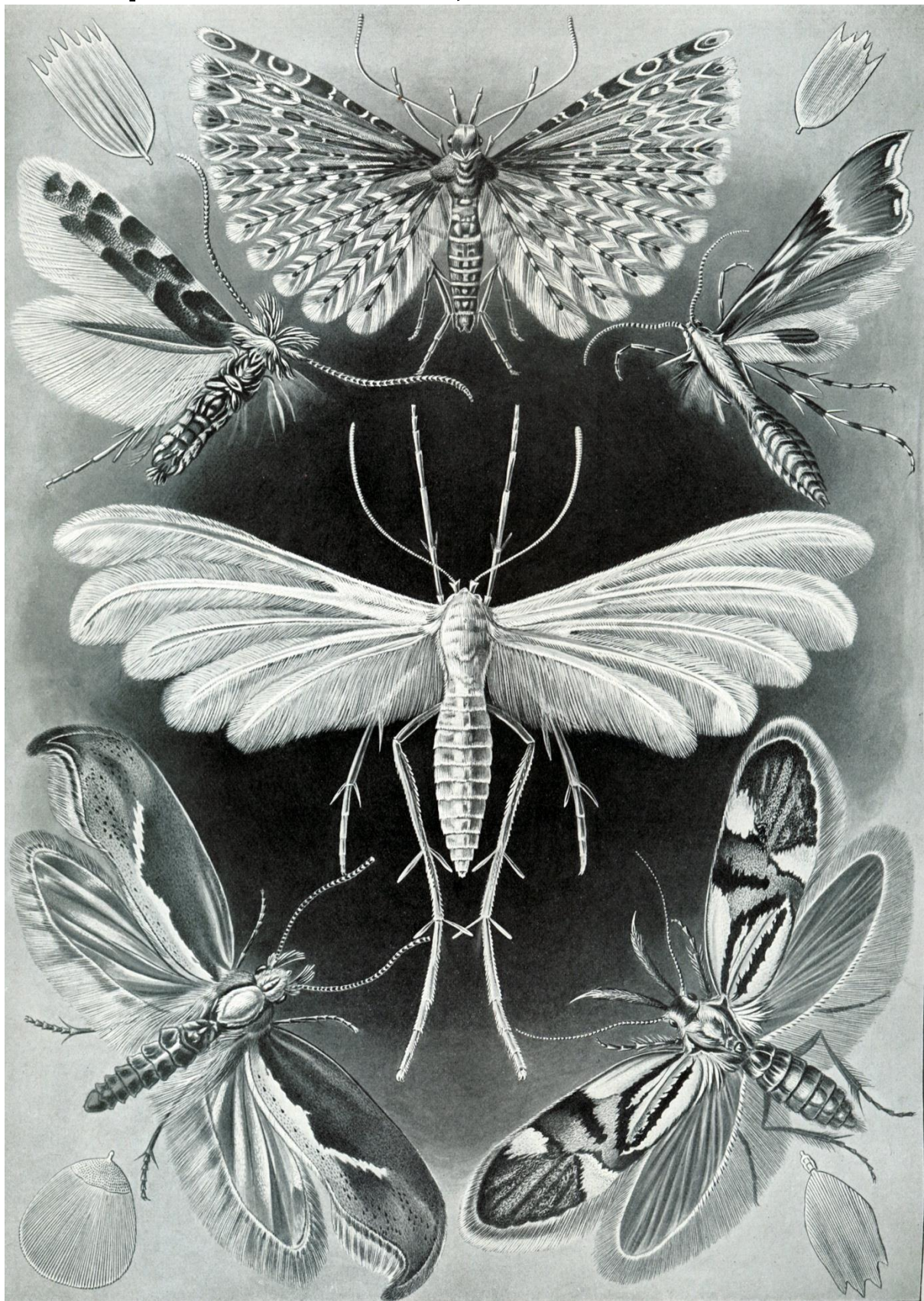
הרחק מהישג פיהם של יצורים אחרים. לא רק שיש להן צוואר ארוך, גם החוליה האחרונה מאפשרת להן לכופף את הראש אחורה ולהגיע גבוה יותר. בנוסף יש להן לשון באורך כמעט חצי מטר שמגדילה את הטווח עוד יותר. הלשון שלהן מוגנת מהקוצים של עצי השיטה אותן הן אוהבות לאכול. ג'ירפות מעלות גירה, כפי שאתם רואים כאן, ובצורה זו מנצלות את המזון שלהן בצורה מיטבית. הן אוכלות עלים ואחרי לעיסה מורידות אותם לקיבה לסיבוב ראשון של עיכול. לאחר מכן הן מעלות אותם חזרה לאורך הצוואר הארוך שלהן לסבב נוסף של לעיסה. הגובה מאפשר לג'ירפות לצפות למרחקים, באמצעות הראיה והשמיעה

הטובות שלהן ולגלות טורפים ממרחק בטוח. האיבים היחידים שלהן הם אריות וגם להם מסוכן לצוד ג'ירפות, שכן בעיטה של ג'ירפה עלולה להיות קטלנית. מצד שני, ג'ירפה היא ארוחה דשנה במיוחד. אנחנו צפינו במשפחה הזאת של ארבע לביאות וגוריהן חוגגים על הג'ירפה הזאת בפארק צ'ובה שבבוטסואנה משך חמישה ימים רצופים. גם כשנאלצנו לבסוף לעזוב ולהמשיך בדרכנו, הלביות המשיכו לשמור על הטרף ולאכול ממנו. כל טרף אחר אריות מחסלים תוך שעות ספורות. זה למשל מה שנשאר מאימפאלה שאריות טרפו בלילה, מרחק עשרות מטרים בלבד מהאוהל שלנו בפארק הואנגה שבזימבבואה. כפי שאתם רואים, לא נשאר הרבה לעשרות הנשרים שהתגודדו על העצים

בסביבה בתקוה לשאריות. שתייה מסוכנת לכל בעלי החיים, שכן היא מחייבת להתקרב למקור מים ולהוריד את הראש. טורפים כמובן יודעים את זה, וכל שעליהם לעשות הוא להמתין שהארוחה תגיע מעצמה. בעלי חיים מתקרבים לכן למקורות מים בזהירות רבה ושומרים על ערנות מרבית. הסכנה גדולה במיוחד בעונה היבשה כשמספר מקורות המים מצומצם. זו גם העונה הטובה ביותר לספארי, כי קל למצוא את בעלי החיים ולצפות בהם. כמו כן בשמורת אתושה המדברית למחצה בנמיביה. מעבר לסכנות הרגילות, לג'ירפה קשיים ייחודיים. כדי לשתות מים עליה לעשות התעמלות מסובכת. כאן אפשר לראות את זה שוב בהילוך איטי. בנוסף בעת שתייה, הראש שלהן נמוך בהרבה מתחת לגובה הלב וכך עלול להיווצר לחץ דם עצום במוח. כדי למנוע נזק מוחי, לג'ירפה מנגנונים מיוחדים המונעים זרימה של דם לראש כשהיא מתכופפת. עוד התאמה מופלאה. ג'ירפות הולכות כמו גמלים: שתי הרגליים בכל צד נעות ביחד. הן יכולות גם לרוץ ואז הן מדלגות כמו ארנבים, כשהרגליים האחוריות נוחתות לפני הקדמיות. הבה נשוב לשאלה מדוע יש לג'ירפות צוואר ארוך. האם זה באמת כדי להשיג מזון? ברוב המקומות בהם צפיתי בג'ירפות, לא היה מחסור במזון נמוך יותר. פעמים רבות הן אפילו נאלצו להתכופף כדי לאכול משיחים נמוכים. וכפי שאתם רואים כאן אפילו לאכול עשב מהקרע. מדוע שלא נשקול אפשרויות נוספות? אפשרות אחת כזאת היא סלקציה מינית. אולי נקבות של ג'ירפות מעדיפות זכרים עם צוואר ארוך כפי שטווסיות מעדיפות זכרים עם זנבות ארוכים. הסבר כזה יכול להסביר היטב סלקציה להארכת הצוואר. יתכן גם שזכרים מעדיפים נקבות עם צוואר ארוך. סלקציה מינית יכולה לעבוד לשני הכיוונים כתלות בזווית שבוחר. כאן אפשר לראות זכר מחזר אחר נקבה ונראה שהוא הבוחר. זכרים זוכים להזדווג לא לפי בחירת הנקבות אלא לפי מאבקים בין זכרים. מאבק זה נעשה, איך לא, באמצעות הצוואר. אנחנו נתקלנו באתושה בג'ירפות אלה, הנלחמות באמצעות הצווארים הארוכים שלהן. מה שמעלה את האפשרות שהצוואר התפתח ככלי נשק. הקרב הזה נראה אמנם, כמו כל דבר שהג'ירפות עושות, כריקוד מסוגן אבל הגולגולת החזקה והקרניים של הג'ירף בקצה צוואר באורך שני מטרים, הוא כלי נשק אימתני ולעיתים אפילו קטלני. הקרבות האלה משמשים לקביעת דומיננטיות, כשהזכרים הדומיננטיים זוכים להזדווג עם הנקבות. כאן בשמורת דרום לואנגה בזמביה הקרב עבר תפנית דרמטית. הניצים מנסים שוב ושוב להרים את הרגליים של היריב ולהפיל אותו. וכאן אתם רואים שאחד מהם הצליח. עבור ג'ירפה נפילה מסוכנת מאד. כאן הזכר שנפל מצליח לקום בחזרה ולא נראה שהוא נפצע. וזה מחזיר אותנו לג'ירפה ולאריות בהם צפינו בשמורת צ'ובה. אחד המדריכים שפגשנו בשמורה סיפר לנו שמי שהרג את הג'ירף היה ג'ירף אחר ושהאריות רק סיימו את המלאכה, מה שמדגים שלקרבות עלולות להיות תוצאות קטלניות. אף אחד מההסברים האלה לא סותר את השני. הסלקציה הטבעית שעיצבה את צוואר הג'ירפות הייתה יכול להיות קשורה למזון, להעדפה של בני או בנות זוג ו/או לשימוש בצוואר ללחימה ולקביעת דומיננטיות. הצגתי את האפשרויות השונות כתרגיל מחשבתי וכדי להדגים את האפשרויות השונות של הסלקציה. אנחנו רואים שאפילו בדוגמאות מוכרות היטב אנחנו לא באמת יכולים לדעת מה בדיוק יוצר את היתרון הסלקטיבי שמביא להופעת תכונות מסוימות. עבורי הקושיה הפתוחה הזאת רק מגבירה את העונג בתצפית בבעל חיים יפהפה ומאיים זה.



### יחידה 3 – מחזור התא, מיוזה ויצירת תאי מין

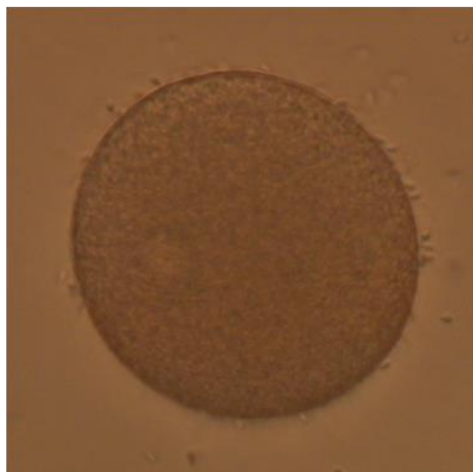


## 00 מבוא ליחידה 3

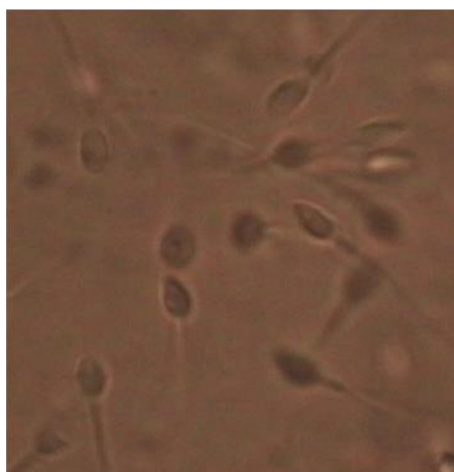
<https://youtu.be/XXRQg71jEz4>

רבייה מינית מורכבת משני שלבים המתרחשים לסירוגין והתלויים זה בזה: יצירת תאי מין והפרייה. יחידה זו תוקדש ליצירת תאי מין. תחילה נלמד בקצרה על מחזור חלוקת התא האוקריוטי, הדרך בה תאים בגוף, כמו גם יצורים חד תאיים, מתרבים. נלמד כיצד הכרומוזומים מוכפלים וכיצד הם מופרדים לשני תאי בת, הזחים מבחינת המטען התורשתי שלהם. מחזור התא הוא גם הבסיס למיזוה, שהיא לב ליבה של הרבייה המינית ושעליה נלמד בסרטון השני. במיזוה תא דיפלואידי אחד מתחלק בשני שלבים לארבעה תאים. תאים אלה שונים מבחינת המטען התורשתי שלהם, לא רק זה מזה אלא גם מכל תאי המין האחרים. במיזוה נוצרת, אם כך, שונות עצומה שיש לה חשיבות אבולוציונית מכרעת. מעבר ליצירת השונות, המיזוה השמורה מאוד באבולוציה בכל היצורים האוקריוטיים, גם חיונית לשמירה ותחזוקה של הגנום מדור לדור. בסרטון השלישי נראה שבעוד שביצורים חד תאיים רבים, תאי המין דומים בגודלם ובמאפייניהם, בבעלי החיים וצמחים יש הבדל עצום בין התכונות של תאי המין הנקביים, שהם התאים הגדולים ביותר בגוף, לבין תאי המין הזכריים, שהם התאים הקטנים ביותר בגוף. הבדל זה עומד במידה רבה בבסיס כל ההבדלים בין הזכרים לנקבות, הבדלים בהם נעסוק בפירוט ביחידות הבאות. בעוד המיזוה העומדת בבסיס יצירת כל תאי המין זהה בכל היצורים, הבשלת תאי המין עצמם הוא תהליך מורכב השונה מאוד בין הנקבות לזכרים ובקבוצות השונות של היצורים. בסרטון הרביעי נלמד על מחזור הפוריות החודשי באדם, על הבקרה ההורמונלית שלו, על הבייץ ועל הבשלת הביציות. מהנקבה נעבור לזכר. בסרטון החמישי נסקור את דרך ייצורם של תאי המין בזכר. הגנטיקאית ד"ר כרמלית ריצ'לר תדגים לנו הכנה של תאים משלבים שונים של מיזוה מאשכים של חגב. בחלק מהיצורים החד תאיים, כגון שמרים, תאי המין זהים, אבל לא בכולם. למשל לטפיל המלריה החד תאי, תאי מין משני סוגים שונים,

### ביציות



### תאי זרע



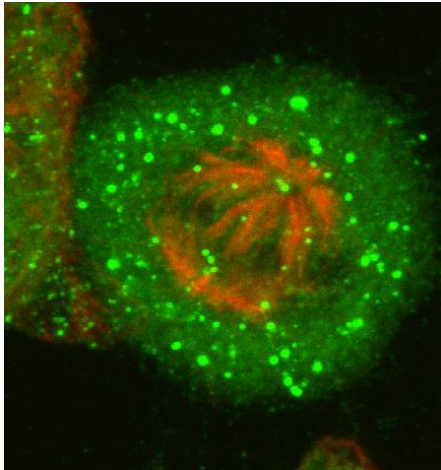
הדומים  
במקצת לתאים  
זכריים  
ונקביים. לכן  
נסיים את  
היחידה עם  
טפיל המלריה  
ועם מחזור  
יצירת תאי  
המין שלו.



## 01 מחזור חלוקת התא

<https://youtu.be/wzDBU9PHMI4>

תאים מתרבים על ידי חלוקה לשני תאי בת בתהליך המכונה מחזור התא. היכולת של תא להכפיל את עצמו באמצעות המידע האצור בו וחומרי גלם מהסביבה היא מעשה פלא. תהליך מתוחכם זה



הוא אחד התהליכים הביולוגיים הבסיסיים ביותר. כל תא מקורו מהתא הראשון שפיתח מנגנון זה לפני אינספור דורות. עד כה טרם המצאנו ולו חפיץ אחד המסוגל לשכפל את עצמו בצורה זו. למחזור התא בתאים אוקריוטיים שני שלבים עיקריים. שלב בו התא מכפיל את התכולה שלו, ושלב החלוקה בו הוא מפריד את תכולתו לשני תאי בת. התא מכיל מגוון גדול של חומרים ואברונים המופרדים לבנותיו, המטען התורשתי המקודד על הכרומוזומים מוכפל ומופרד ברמת דיוק גבוהה ביותר. כשלמדנו ביחידה הקודמת על דנ"א,

התעלמנו מהתכונה הבולטת והמפורסמת ביותר שלו, שהוא סליל כפול. הסליל הכפול מכיל שני גדילים. גדיל אחד מקודד את המידע התורשתי והגדיל השני משלים אותו. מול כל A יש T ומול כל C יש G. בצורה זו המידע הנמצא בגדיל המשלים מאפשר את הכפלת המידע. כאשר התא מכפיל את הכרומוזומים, הסליל הכפול נפרם ועל וכל אחד מהגדילים נבנה גדיל חדש המשלים אותו. בסופו של התהליך יש לנו שני סלילים כפולים זהים. כל אחד מהסלילים האלה יוצר כרומטידה אחת של הכרומוזום. שתי הכרומטידות האחיות של הכרומוזום מחוברות זו לזו באמצעות חלבונים מיוחדים. בשלב זה הכרומוזומים לא מכווצים ואין דרך לראות אותם. בתום ההכפלה ובתום תהליכים נוספים, התא נכנס בהדרגה לשלב החלוקה המכונה מיטוזה. הכרומוזומים מתכווצים לצורה המוכרת לנו ומעטפת הגרעין מתפרקת. במקביל נוצר הכישור המיטוטי: רשת סיבים הנקשרים בקצה אחד, לאחד משני הקטבים של התא ובקצה השני לכרומוזומים. בסוף התהליך, כל אחת משתי הכרומטידות של כל כרומוזום, תהיה קשורה לסיבים המושכים אותה אך ורק לקוטב אחד. החלבונים המחברים את שתי הכרומטידות האחיות של כל כרומוזום מונעים בשלב זה את ההפרדה שלהן. כוחות המשיכה לקטבים והחלבונים המחברים בין האחיות יוצרים שיווי משקל המציב את כל הכרומוזומים על מישור באמצע התא. לתא מנגנון המוודא שהמיטוזה תתקדם רק כאשר כל הכרומטידות קשורות בצורה נכונה לכישור. כדברי הסיסמא "לא נוסעים עד שכולם חגורים". בשלב זה מפורק החלבון המחבר את הכרומטידות האחיות והן נפרדות לשלום ונמשכות אל הקטבים המנוגדים של התא. מנגנון זה עובד בדיוק מרבי גם בתאים בהם מספר גדול מאד של כרומוזומים. בשלב האחרון של המחזור, התא עצמו מתחלק לשניים.



## 02 מיוזה

<https://youtu.be/k9OcmWNDp0>



Abb. 138. *Stenobothrus lineatus*. Interkinese und zweite Reifungsteilung der Spermatozyten. a Beginn der regressiven Veränderung der Chromosomen (Auftreten der Karvakuole), b, c, d Fortschreiten der regressiven Veränderungen (d einzelne Spermatozyte 2. Ordnung).

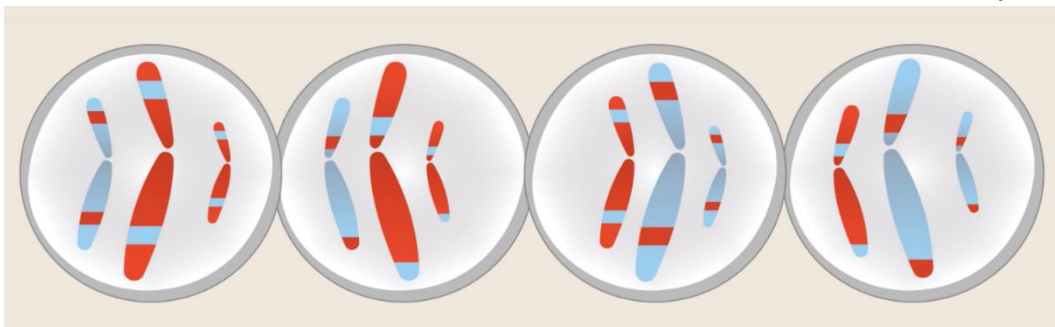
ברבייה מינית שני תאי מין מתמזגים ויוצרים תא אחד ממנו מתפתח הצאצא. כל אחד משני התאים המתמזגים תורם לצאצא את סט הכרומוזומים המלא שלו ולכן לצאצא שני סטים של כרומוזומים. כדי שמספר הכרומוזומים לא יוכפל כל דור יש מנגנון שמפחית בחצי את מספרם בעת יצירת תאי מין. מנגנון זה מכונה מיוזה. המיוזה גם יוצרת צרופים חדשים. ביחידה הקודמת למדנו את המושגים הפלואידי, בעל סט אחד של כרומוזומים, ודיפלואידי, בעל סט כפול של כרומוזומים. תאי המין המתמזגים הם הפלואידיים והצאצא הוא דיפלואידי. התפקיד של המיוזה היא להפוך תאים דיפלואידיים לתאי מין הפלואידיים. מיוזה היא לב ליבו של תהליך הרבייה המינית וחיוני להבין את העקרונות שלה. כדי להתקדם עלינו ללמוד תחילה מונח אחד נוסף והוא כרומוזומים הומולוגים. הסט הדיפלואידי מורכב

משני סטים הפלואידיים שלמים. כרומוזום 1 מהאבא וכרומוזום 1 מהאימא, כרומוזום 2 מהאבא וכרומוזום 2 מהאימא וכן הלאה. לשני הכרומוזומים מכל סוג קוראים כרומוזומים הומולוגים. יש לנו שני הומולוגים מכל אחד מ-23 הכרומוזומים שלנו מ-1 עד 22, ועוד שני כרומוזומי מין בהם נדון ביחידה הבאה. כל אחד משני האללים של כל גן, עליהם למדנו בסרטון על התורשה, נמצאים על אחד הכרומוזומים ההומולוגיים. התפקיד של המיוזה היא ליצור מתאים המכילים שני סטים של

כרומוזומים תאים המכילים כל אחד סט אחד. לשם כך יש למיין ולהפריד את כל הומולוגיים לשני תאים. הדרך הפשוטה ביותר להבין את המיוזה היא להתייחס אליה כאל מיטוזה עם שלב ביניים. לפני המיטוזה, מוכפלת, כזכור לכם בוודאי, הכרומטידה הבודדת של כל כרומוזום שהוא ירש מתא האם שלו. אחרי ההכפלה, לכל הכרומוזומים יהיו שתי כרומטידות אחיות. למדנו

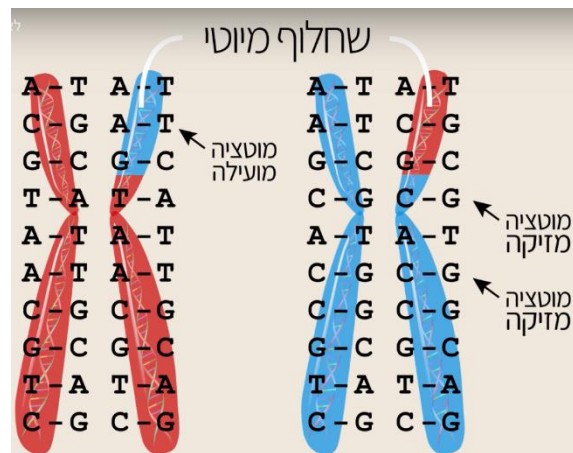


שכדי לאפשר הפרדה מהימנה של האחיות הן צריכות להישאר מחוברות באמצעות חלבונים עד לשלב ההפרדה במיטוזה. יצירת הזיווג בין האחיות פשוט, שכן החלבונים מחברים אותן תוך כדי הכפלתם. לאחר ההכפלה, במהלך המיטוזה, הכרומוטידות האחיות מופרדות ומחולקות לשני תאי בת שלהן גנום זהה לחלוטין. במיזזה יש שלב ביניים, בין ההכפלה והפרדת הכרומוטידות האחיות, שלב בו מופרדים הכרומוזומים ההומולוגיים. בניגוד לכרומוטידות אחיות, המחוברות מרגע היווצרותן ועד להפרדתן, ההומולוגיים הם כרומוזומים עצמאיים, שרוב הזמן לא מחוברים זה לזה. אולם כדי להיפרד במיזזה צריך להיווצר תחילה זיווג בין כל שני הומוולוגיים. זיווג זה מתבצע באמצעות הדמיון הרב ברצף הדנ"א, למעלה מ-99 אחוזים, הקיים ביניהם. אחרי שההומולוגיים מצאו זה את זה, הם מסתדרים באמצעות הכישור על מישור אמצע התא בצורה דומה למתרחש במיטוזה. בשלב הבא ההומולוגיים נפרדים ונמשכים לשני הקטבים של התא. מחלוקת התא, המכונה החלוקה המיטוטית הראשונה, מתקבלים שני תאים שכל אחד מהם מכיל סט אחד של הומוולוגים, שלכל אחד מהם שתי אחיות. השלב הבא הוא חלוקה מיטוטית רגילה בה מופרדות האחיות. בסופו של שלב זה, החלוקה המיטוטית השנייה, מתקבלים ארבעה תאים הפלואידיים שכל אחד מהם מכיל סט אחד של כרומוזומים הומוולוגים ושלכל אחד כרומוטידה אחת. מבחינת ההרכב הגנומי, תאים אלה יכולים עכשיו לשמש כתאי מין. הבשלת תאי המין עצמם היא תהליך מורכב ומגוון, השונה בין זכרים לנקבות וביצורים השונים ונדון בו בהמשך. בעוד שבמיטוזה מתקבלים שני תאי בת זהים לחלוטין מבחינת המטען התורשתי שלהם, במיזזה מתקבלים ארבעה תאים שלכל אחד מטען תורשתי שונה. לשונות זו שתי סיבות. הסיבה הראשונה היא שכאשר מופרדים ההומולוגיים, הם מופרדים בצורה אקראית בין שני תאי הבת. נדגים זאת באמצעות אנלוגיה פשוטה. קיבלתי מאבא שלי סוודר, חולצה ומכנסיים ירוקים ומאימא שלי סוודר, חולצה ומכנסיים צהובים. אני אעביר לילדים שלי סוודר, חולצה ומכנסיים. כמה צירופי צבעים אפשריים? כגון סוודר ירוק, חולצה ומכנסיים צהובים, או סוודר וחולצה צהובים ומכנסיים ירוקים וכן הלאה. מספר הצרופים האפשריים במקרה זה הוא 2 בחזקת 3, שהם 8. לעומת זאת באדם 23 כרומוזומים ומספר הצרופים האפשריים הוא 2 בחזקת 23, שהם יותר מ-8 מיליון. לפרדה זו הייתה הסיבה היחידה לשונות, תאי הבת של החלוקה המיטוטית הראשונה היו שונים אמנם אבל שני תאי הבת שלהם היו זהים. לעובדה שכל ארבע תאי הבת שונים, אחראי תהליך נוסף המכונה שיחלוף. כאשר הכרומוזומים ההומולוגיים מתחברים זה לזה במיזזה הראשונה הם משחלפים ביניהם מקטעים. בצורה זו ההומולוגיים לא עוברים לדור הבא בצורתם המקורית, כפי שהם התקבלו.



אני לא אעביר סוודר ירוק לדור הבא, אלא סוודר ירוק עם שרוול צהוב וסוודר צהוב עם שרוול ירוק. אנחנו יכולים, אם כך, לסכם את תהליך המיזוג באנימציה זו המציגה את שני השלבים שלה: זיווג בין ההומולוגיים ושיחלוף ביניהם בחלוקה המיוטית הראשונה והפרדת האחיות במיזוג השנייה. אתם רואים כאן שכתוצאה מהשחלוף, כרומוזומים לא עוברים מדור לדור בשלמותם ויש לכך משמעות עצומה הרבה מעבר לעצם יצירת השונות. משמעותה היא שהאבולוציה לא עובדת על כרומוזומים שלמים אלא על גנים בודדים. מוטציות מתרחשות כל הזמן, רובן מזיקות ורק מיעוטן מועילות. ללא שיחלוף, המוטציות המועילות היו נשארות כלואות לעד באותו הכרומוזום יחד עם המזיקות. השחלוף המיטי מאפשר למוטציות אלה לברוח מהמזיקות ולהתפשט באוכלוסייה. השחלוף הופך את המיזוג לתהליך בו הכרומוזומים מתוקנים ומסלק מהם מוטציות מזיקות או אזורים פגומים. תהליך המיזוג הוא עתיק מאד מבחינה אבולוציונית. המיזוג זהה

בפרטיה הקטנים ביותר בבעלי החיים, בצמחים, בפטריות ובאוקריוטים חד תאיים. כלומר, האב הקדמון המשותף לכל אלה כבר עשה מיזוג, בדיוק כמו שעושים אותה היום כל היצורים האוקריוטיים. תפקידה של הרבייה המינית והעובדה שהיא קיימת בכל היצורים האוקריוטיים היא אחת השאלות האבולוציוניות המרכזיות ביותר והבלתי פתורות מלכת השאלות לפי דארווין. אחת ההשערות



המנסה להסביר את חשיבות הרבייה המינית היא שהמיזוג חיונית לשימור הגנום במהלך האבולוציה. השערה אחרת, ולא בהכרח מנוגדת לתפקיד הרבייה המינית, היא שהיא יוצרת שונות באמצעות תהליך המיזוג, שונות המאפשרת ליצורים להסתגל לתנאי סביבה משתנים. תהא אשר תהא הסברה הנכונה, המיזוג היא ללא ספק השחקן המרכזי. התחלנו סרטון זה בהסבר שהמיזוג חיונית לייצר תאים הפלואידיים מדיפלואידיים. לאור התפקיד הקריטי שלה, אפשר אולי להציע הסבר הפוך והיא שהרבייה המינית נועדה ליצור מצב דיפלואידי כדי לאפשר את המיזוג.

# סיכומון – מיזזה

רבייה מינית היא תהליך בו שני תאים מתאחים ויוצרים תא אחד חדש.

**מיזזה היא התהליך בו נוצרים שני התאים שעוברים איחוי.**

כזכור:

**הפלואידי** – מצב בו לתא יש **עותק אחד שלם** של הגנום.

**דיפלואידי** – מצב בו לתא יש **שני עותקים שלמים** של הגנום.

**כרומוזומים הומולוגים** – זוג כרומוזומים **הזהים בגנים אותם הם מקודדים**, **בגודלם ובצורתם**. אחד ההומולוגים מכל סוג התקבל **מהאב** והשני **מהאם**.

למרות הדמיון הרב ביניהם כרומוזומים הומולוגים **אינם** זהים, שכן הם מקודדים את **האללים השונים** של אותם הגנים.

זאת **בניגוד לכרומטידות האחיות שהן זהות לחלוטין**.

## משמעויות המיזזה

כל עותק של הגנום מורכב מסט של **כרומוזומים הומולוגים**. בתהליך המיזזה שני הסטים של הכרומוזומים ההומולוגים עוברים **מיון והפרדה**. בסופו של התהליך לכל אחד מתאי הבת יהיה **סט אחד שלם** של כרומוזומים הומולוגים. הסט המתקבל בכל תא הוא תערובת **אקראית** של הומולוגים שהתקבלו מההורים.

מספר **הצרופים האפשריים** הוא ריבוע מספר הכרומוזומים ביצור (למשל לאדם 23 כרומוזומים הומולוגים, מספר הצרופים האפשריים הוא  $23 \times 23$ ).

בנוסף למיון והפרדה של הכרומוזומים ההומולוגים מתבצע **שיחלוף** ביניהם. בשיחלוף **מוחלפים קטעים** בין ההומולוגים שהתקבלו משני ההורים. לכן כל אחד מהכרומוזומים המתקבל במיזזה הוא **תערובת של שני הכרומוזומים שהתקבלו משני ההורים**.

המשמעות של החלפת קטעים זו היא שמספר הצרופים האפשריים הוא כמעט בלתי מוגבל ושאף תא מין לא זהה למשנהו ומכאן כמובן שאף שני יצורים אינם זהים מבחינה גנטית\*

## שלבי המיזזה

תהליך המיזזה מורכב משני שלבים המכונים החלוקה המיוטית הראשונה והשנייה (מיזזה 1 ומיזזה 2).

**בחלוקה המיוטית הראשונה** – מתבצע תהליך הפרדת ההומולוגים. לשם כך מתבצע זיווג ההומולוגים, שכן בניגוד לכרומטידות אחיות הדבוקות זו לזו, ההומולוגים לרוב לא קשורים זה לזה. במהלך הזיווג מתבצע השיחלוף בין ההומולוגים.

מחלוקה זו מתקבלים 2 תאים שבכל אחד מהם סט אחד (מעורב) של הומולוגים עם קטעים משוחלפים.

**בחלוקה המיוטית השנייה** – כל אחד מהתאים שהתקבל בחלוקה הראשונה עובר תהליך רגיל של חלוקת תא אבל ללא שלב ביניים של הכפלת הגנום. בתום חלוקה זו נקבל ארבע תאים שבכל אחד מהם מטען תורשתי שונה.

**בתהליך המיזזה תא דיפלואידי מתחלק ל 4 תאים הפלואידיים\*\*.**

## קצת אבולוציה

תהליך המיזזה חשוב ויתכן מאד שהוא חיוני כדי לתקן ולשמר את הגנום.

המיזזה עתיקה מאד מבחינה אבולוציונית. לא ידוע מדוע היא הופיעה. אמנם מקובל להגיד שהתפקיד של המיזזה היא לאפשר את הרבייה המינית ואכן היא חיונית ליצירת תאי מין. אבל יתכן מאד שהביצה קדמה לתרנגולת ושהתפקיד של הרבייה המינית היא לאפשר את המיזזה.

\* זולת תאומים זהים.

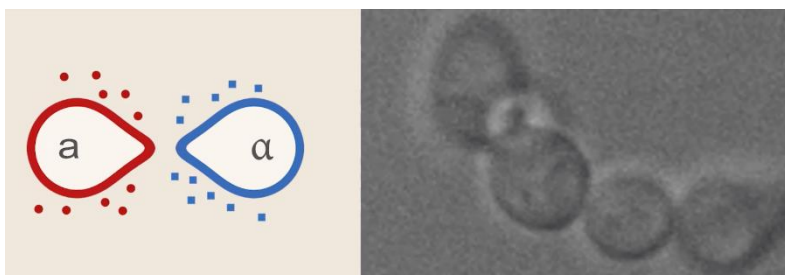
\*\*כפי שנלמד בהמשך במיזזה בתהליך הבשלת הביצית נוצר רק תא מין אחד ולא 4.



### 03 איזו-גמיה ואנ-איזו-גמיה

<https://youtu.be/kKnoMJYoZI>

למדנו זה עתה על המיזזה ועל כיצד נוצרים תאים הפלואידיים. כדי ששני תאים הפלואידיים יוכלו להתמזג, עליהם להיות שונים זה מזה. בחלק מהיצורים החד תאיים המתרבים ברבייה מינית, כגון שמרים, תאי המין לא עוברים תהליכי התמיינות משמעותיים מעבר למיזזה. ביצורים אלה תאי המין



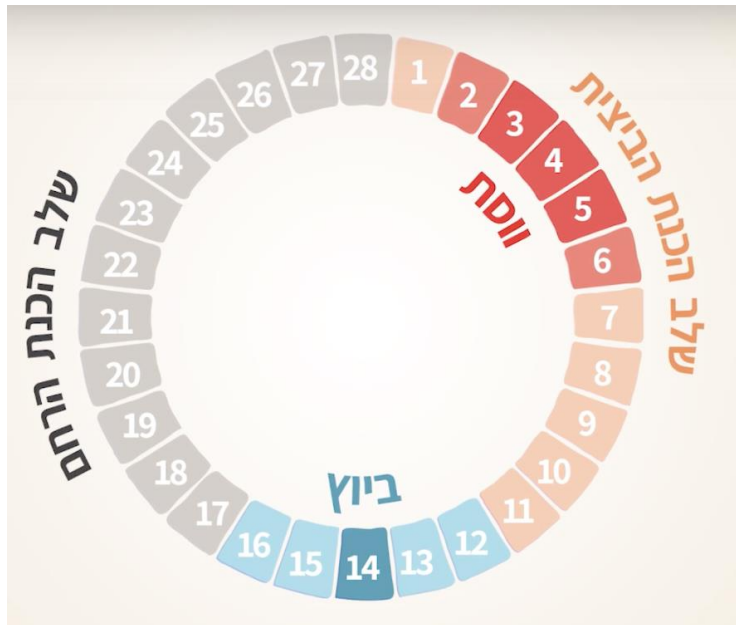
זהים בגודלם וצורתם ואין זכרים ונקבות של ממש אלא שני טיפוסים הזדווגות mating types המכונים a ואלפא. ההבדל בין תאי a ואלפא הוא באלל אחד בלבד היכול לעבור

היפוך כך שתא יכול להמיר את מינו. בצורה זו מושבה הנוצרת מתא בודד תכלול לרוב תאים משני הטיפוסים. תאי a מפרישים חלבון בשם פקטור a, הגורם לתאי אלפא לגדל בליטה. גם תאי אלפא מפרישים חלבון המכונה פקטור אלפא, הגורם לתאי a לגדל בליטה. שני התאים מתמזגים באמצעות בליטות אלה, כפי שאתם רואים בסרטונים כאן, ונוצר "צאצא" דיפלואידי. תא זה יכול לעבור תהליך של מיזזה שנוצרים בו ארבע תאים, כפי שאתם רואים כאן בתמונה. כאן גם ביצורים חד תאיים רבים אחרים, ההבדל בין תאי המין מוגבל לביטוי של אלל אחד והתאים זהים בצורתם וגודלם. תופעה זו מכונה איזו-גמיה שפרושה תאי מין דומים. ביצורים רב תאיים, תאי המין של שני הזוויגים לרוב שונים מאד זה מזה. תופעה המכונה אנ-איזו-גמיה. זוויג אחד מייצר תאי מין גדולים נייחים ועשירים בחומרי מזון ובמיטוכונדריות. זוויג זה מכונה נקבה ותאי המין שלו מכונים ביציות. הזוויג השני מייצר תאי מין קטנים מאד וניידים. זוויג זה מכונה זכר ותאי המין שלו מכונים תאי זרע. הנקבה מייצרת מספר קטן בהרבה של ביציות ומשקיעה בהם משאבים רבים. הזכר, לעומת זאת, מייצר כמות עצומה של תאי זרע. לדוגמא באדם, אישה מייצרת במהלך חייה פחות מ 500 ביציות. הגבר, לעומת זאת, מייצר מיליוני תאי זרע מידי יום. בסרטונים הבאים נדון ביתר פרוט בתהליכי יצור תאי המין בנקבות ובזכרים. האנ-איזו-גמיה הופיעה מספר פעמים במהלך האבולוציה בצורה בלתי תלויה בבעלי חיים, בצמחים ובחלק מהפרוטיסטים. המשמעויות של האנ-איזו-גמיה הן מרחיקות לכת ביותר. כל ההבדלים בין זכרים לנקבות וכל יחסי הגומלין המורכבים להפליא ביניהם, בהם נעסוק בהרחבה רבה ביחידות הבאות, מקורם בהבדל זה בין תאי המין הנקביים לזכריים. בין הביציות המעטות, הגדולות והנייחות של הנקבה לבין הזירעונים הרבים והניידים של הזכר.

## 04 יצירת ביציות ומחזור הפוריות החודשי באדם

<https://youtu.be/EpX4Ov-LGFw>

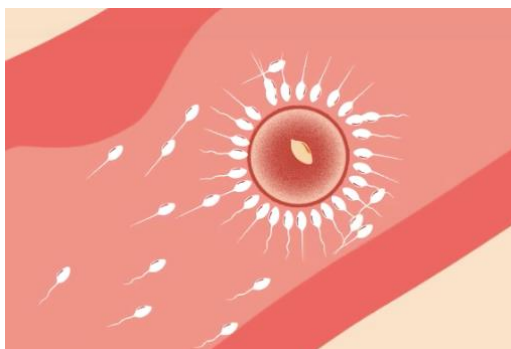
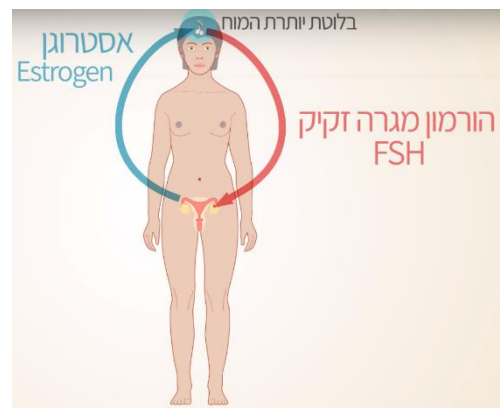
ביצורים רב תאיים, בעלי חיים וצמחים, תאי המין עוברים, בנוסף למיזוזה, תהליכי התמיינות



דרמטיים. תא המין הנקבי, הביצית, הוא אחד התאים הגדולים ביותר בגוף. תא המין הזכרי, הזרעון לעומת זאת, הוא התא הקטן ביותר בגוף. הדבר היחיד המשותף לזרע ולביצית הוא ששניהם הפלואידיים. תכונה זו גם מייחדת אותם מכל שאר תאי הגוף שהם דיפלואידיים. יצור תאי הזרע בזכר לרוב רציף, כך שהם פוריים בכל עת. נקבות, לעומת זאת, מייצרות ביציות רק במועדים מסוימים. במינים רבים יצור ביציות

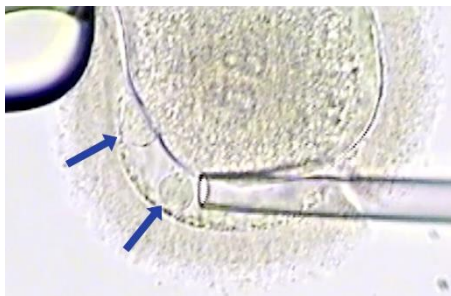
קורה בצורה עונתית פעם בשנה. בבעלי חיים אחרים יצור הביציות מבוקר על ידי מגוון גירויים חיצוניים או פנימיים. באדם יצור הביציות נעשה במחזור של 28 ימים. המחזור החודשי מורכב מהבשלת ביצית, מהביוץ ומתהליך של הכנת הרחם לקראת קליטת הביצית המופרית. מחזור זה

מתחיל בהפרשת ההורמון מגרה הזקי, ה-FSH ובלוטת יותרת המוח. הורמון זה גורם לביציות במספר זקיקים לגדול ולהתפתח, ולזקיקים עצמם להפריש את הורמון האסטרוגן. העלייה ברמת האסטרוגן מאותתת ליותרת המוח להפסיק להפריש את ההורמון מגרה הזקי ולהגביר את הפרשת ההורמון המחלמן, ה-LH. הורמון זה גורם לביוץ. בקיעה של ביצית מהזקי וממעבר שלה לחצוצרה, כ-10 עד 16 ימים מהיום הראשון של המחזור.



בכל מחזור בוקעת רק ביצית אחת משחלה אחת. הזקי ממנו בקעה הביצית הופך לגופיף הצהוב, המשחרר את הורמון הפרוגסטרון, הגורם לדופן הרחם להתמלא בדם ובחומרים מזינים כהכנה לקליטת הביצית המופרית. היריון יכול להתרחש רק אם הביצית מופרית בחצוצרה על ידי תא זרע תוך 24 שעות מהביוץ. מתוך מיליוני תאי הזרע

המתחילים את המסע אל הביצית, רק בודדים מצליחים להגיע לקו הסיום. מתוכם רק תא אחד יחיד יצליח לחדור לביצית ולהפרות אותה. ברגע ההפרייה הביצית עוברת תהליך מיידי המונע חדירה של תאי זרע נוספים. העובר נקלט ברחם חמישה ימים אחרי ההפרייה, כשהוא מורכב מכ-100 תאים. אם לא מתרחשת הפרייה, רמת הפרוגסטרון והאסטרון של הגוף יורדות. ריפוד הרחם מפסיק להתמלא ומתחיל להתפרק. דם ורקמות עוזבים את הגוף ויוצרים את הווסת. לאחר מכן המחזור מתחיל מהתחלה. בשחלות אלפי זקיקים, כשכל אחד מכיל ביצית אחת. זקיקים אלה מתפתחים כבר בעובר, וכשתינוקת נולדת יש לה למעשה כבר את כל הביציות שלה. הביצית בזקיק עצורה במיזזה הראשונה. אומנם למדנו שבמיזזה נוצרים ארבעה תאים מתא אחד, אבל במיזזה של הביצית נקבל רק ביצית אחת. כאשר ביצית שהייתה עצורה במיזזה הראשונה משך שנים רבות מבשילה, היא מסיימת את החלוקה המיוטית הראשונה, בה מתקבלים שני תאים: האחד גדול ויהפוך לביצית. והשני, המכונה הגופיף הפולרי, הוא קטן ויתנוון. הביצית תסיים את המיזזה השנייה, שהופכת אותה



להפלואידית, רק אם וכאשר היא מופרית על ידי תא זרע. גם כן מתקבלת ביצית גדולה, ובשלב זה מופרית, וגופיף פולרי קטן נוסף שהתנוון. את הסרט הזה קיבלנו מהיחידה להפרייה חוץ גופית בה נבקר ביחידה 6. אנחנו רואים כאן ביצית עם שני הגופיפים הפולריים שלה. התפקיד של הגופיפים הפולריים הוא אך ורק להקטין את הפלואידיות של הביצית, והם כאמור מתנוונים. כאן משתמשים בגופיפים אלה לאנליזה גנטית. בסרט זה אפשר לראות בזמן אמת ביצית מופרית העוברת את החלוקה המיוטית השנייה. למטה מימין ניתן להבחין בגופיף הפולרי שנוצר בחלוקה זו.

## סיכומון – יצירת ביציות והמחזור החודשי

יצור תאי הזרע בזכרים לרוב רציף יחסית כך שהם פוריים בכל עת.

בנקבות מבשילות ביציות רק במועדים מסוימים - בצורה עונתית, או בתגובה לגירוי חיצוני או פנימי. למשל הרג הגורים של לביאה מגרה ביוץ חדש.

באשה מבשילה ביצית אחת כל 28 ימים, מגיל ההתבגרות ועד בערך גיל 50. מחזור הבשלת הביציות והביוץ מתוזמן באמצעות הורמונים המופרשים מהמוח ומהשחלה.

בשחלות אלפי זקיקים שכל אחד מכיל ביצית. זקיקים אלה מתפתחים בעובר וכשתינוקת נולדת יש לה כבר את כל הביציות שאי פעם יהיו לה. ביציות אלה עצורות בשלב מוקדם של התמיינות במהלך המיזוזה הראשונה.

המחזור החודשי מורכב מהבשלת ביצית, מהביוץ ומהכנת הרחם לקראת קליטת הביצית המופרית.

### הבקרה ההורמונלית של המחזור החודשי

המחזור מתחיל בהפרשת ההורמון מגרה הזקיק ה FSH, מבלוטת יותרת המוח הגורם לביציות במספר זקיקים לגדול ולהתפתח ולזקיקים עצמם להפריש את הורמון האסטרוגן.

העלייה ברמת האסטרוגן מאותתת ליותרת המוח להפסיק להפריש FSH ולהגביר את הפרשת ההורמון המחלמן, ה LH. הורמון זה גורם לביוץ - בקיעה של ביצית מהזקיק לחצוצרה, 10-16 ימים מתחילת המחזור.

הזקיק ממנו בקעה הביצית הופך לגופיף הצהוב המשחרר את הורמון הפרוגסטרון הגורם לדופן הרחם להעריך לקליטת הביצית המופרית.

### אחרי הביוץ

הריון יתרחש אם הביצית מופרית בחצוצרה על ידי תא זרע תוך 24 שעות מ הביץ.

רק תא זרע אחד חודר לביצית ומפרה אותה. מיד לאחר מכן מתרחש תהליך המונע חדירה של תאי זרע נוספים. ביונקים הביצית המופרית נודדת במורד החצוצרה, תוך כדי חלוקות מיטוטיות עד קליטתה ברחם.

אם לא מתרחשת הפרייה, רמות הפרוגסטרון והאסטרוגן של הגוף יורדות, רירת הרחם מתפרקת. דם ורקמות עוזבים את הגוף, ויוצרים את הווסת. לאחר מכן, המ חזור מתחיל מהתחלה

## המיזזה של הביצית

במיזזה נוצרים ארבעה תאים מתא אחד אבל במיזזה של הביצית נקבל רק ביצית אחת.

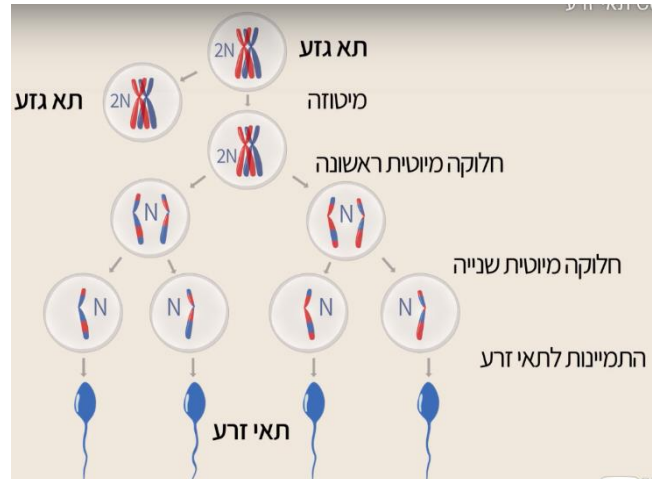
כאשר הביצית שהייתה עצורה במיזזה הראשונה משך שנים רבות מבשילה היא מסיימת את החלוקה המיוטית הראשונה בה מתקבלים שני תאים. האחד גדול ויהפוך לביצית והשני, המכונה הגופיף הפולרי, הוא קטן ויתנוון. הביצית תסיים את המיזזה השנייה, שהופכת אותה להפלואידית רק אם וכאשר היא מופרית על ידי תא זרע. גם כאן מתקבלת ביצית גדולה ובשלב זה מופרית, וגופיף פולרי קטן נוסף שיתנוון.



## 05 יצירת תאי זרע בחגב ובאדם

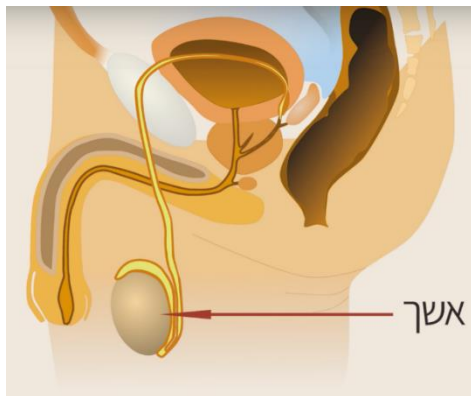
<https://youtu.be/gBRh0kSHUNU>

אחרי שתיארנו כיצד נוצרות הביציות בשחלה, נתאר עכשיו כיצד נוצרים תאי זרע בזכר. תאים אלה מתפתחים באשך מתאי גזע דיפלואידיים, המסומנים כאן כמקובל ב  $2N$ . תאי הגזע עוברים תחילה חלוקה מיטוטית. כמחצית מתוצרי החלוקה נשארים תאי גזע דיפלואידיים ומחציתם השנייה עוברת מיזוג לתאים הפלואידיים, בהתמיינות לתאי זרע. מנגנון זה מבטיח שימור



והתחדשות מאגר תאי הגזע מחד גיסא, ומאפשר ייצור כ-100 מיליון תאי זרע ביום מאידך גיסא. תאי זרע נוצרים באשך מגיל ההתבגרות ובמהלך כל החיים. תא זרע הוא תא משוכלל ביותר המותאם

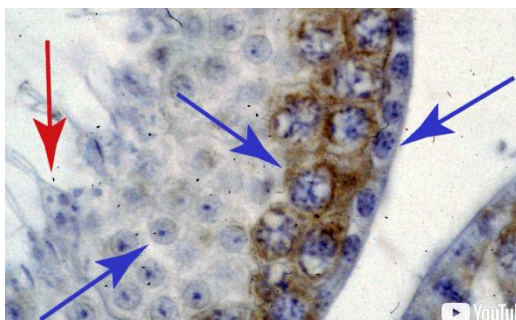
היטב לתפקידו, להוביל את הגנום במהירות וביעילות ולהחדיר אותו לביצית תוך כדי התבגרות על מכשולים עצומים בשטח. לשם כך מסולק מהתא כל מה שלא משרת מטרה זו. הגרעין תופס את כל נפח הראש והדנ"א דחוס בו בצורה ייחודית. הראש מצופה באקרזום, אברון המכיל אנזימים המאפשרים לו לחדור לביצית. בבסיס השוטון נמצאות מיטוכונדריות המייצרות אנרגיה לתנועתו המהירה של השוטון. מיטוכונדריות אלה לרוב לא חודרות לביצית ולא



עוברות לדור הבא, שיכיל רק מיטוכונדריות אימהיות מהביצית. כל תהליך ההבשלה הכולל שלבים רבים ולוקח באדם כשלושה חודשים, מתבצע בתוך צינוריות באשך. כאן אנחנו רואים חתכים של צינוריות אשך של עכבר. ניתן לראות תאים מהשלבים השונים של ההתמיינות המסומנים בחצים

כחולים. תאי זרע עם שוטונים מסומנים בחץ אדום.

אנחנו שמחים מאוד לארח במעבדה שלנו את ד"ר כרמלית ריצ'לר, אשר תכין עבורנו תאים מיטויים מאשך של חגב. ד"ר ריצ'לר היא גנטיקאית שעבדה שנים רבות במחלקה לגנטיקה של האוניברסיטה העברית, בהן היא הייתה יד ימינו של פרופ' יעקב ורמן ז"ל, חלוץ חוקרי הכרומוזומים בישראל.





**ד"ר ריצ'רד:** כדי ללמוד על תהליך יצירת תאי הזרע למעשה בכל עולם החי, נבחר החגב, שיש לו מבנה קל לבדיקה. מספר הכרומוזומים הוא קטן יחסית. אנחנו יכולים להכיר ולהבין את השלבים שאנחנו מעוניינים בהם. אנחנו מוצאים את האשך,

שנמצא באזור הגב של החגב. עכשיו הוצאתי את האשך, שהוא מצופה בהרבה תאי שומן שנותנים לו את הגוון הצהוב. את האשך אנחנו נעביר עכשיו לחומר צבע, שהוא גם חומר מקבע. הצבע הזה הוא צבע שנקרא אצטו אורצאין. הוא צובע את הגרעינים וממיס את הציטופלזמה, האזור שבתוכו נמצאים

הגרעינים. זה עוזר לנו להבחין בין השלבים השונים של הגרעינים. עכשיו אני אצטרך למעוך את האיבר שבתוכו תאי הזרע נמצאים, אז אני שמה הרבה חומר צבע. אנחנו קוראים לזה השלב של האומנות. צריך ללחוץ, שתאי הזרע ייצאו בצורה טובה מתוך הפוליקולי. אנחנו נחתום מסביב, כדי שהוא לא יתנדף, והתנאים ישמרו היטב. זה השלב שכל זוג כרומוזומים נצמד אחד לשני. כאן, שני ההומולוגים צמודים. והמילה בלטינית היא פכטון, שפרושה חוטים עבים. אני חושבת שכדאי עכשיו

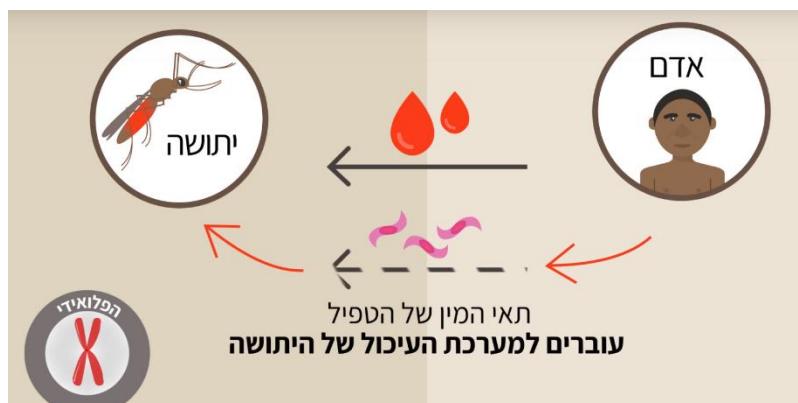


לצלם את מה שאנחנו רואים, כי אנחנו רואים פה תאים בשלבים שונים. הרבה תאים. כאן אנחנו רואים כבר את ראשי תאי הזרע הבשלים. מה שנראה כזנבות הם לא זנבות תאי הזרע, הם הראשים. הנה, אלה ראשי תאי הזרע. אלה התאים, אנחנו קוראים להם ספרמטיידים. הם גמרו כבר את כל התהליך ליצור תאי זרע.

## 06 מלריה

<https://youtu.be/KSzbGr0qZxw>

רבייה מינית קיימת בכל הקבוצות של אוקריוטיים חד תאיים ורב תאיים. דיברנו על שמרים, שהן פטריות חד תאיות ועל תאי המין הזחים האיזוגאמיים שלהם. בסרטון זה נעסוק בטפיל המלריה, שהוא פרוטיסט חד תאי אנ-איזו-גאמי. זו הדוגמה היחידה של פרוטיסט שנדון בו בקורס. בחרנו בו הן בגלל מחזור החיים המרתק שלו והן בגלל החשיבות הרפואית הניכרת שלו. המלריה פוגעת במאות מיליוני בני אדם באזורים נרחבים של כדור הארץ. כיום, בעיקר בעולם השלישי, שכן היא הודברה בשאר המדינות. עד לפני 100 שנה המחלה הייתה נפוצה בכל העולם. המחלה גורמת לתמותה של כחצי מיליון בני אדם בשנה. מספר עצום זה הוא שיפור לעומת 3 מיליון קורבנות בשנה עד לא מזמן. תרופות שונות פותחו במהלך השנים כנגד המלריה. הטפיל הצליח לפתח עמידות כנגד רובן. האמצעי היעיל ביותר להתגונן, וזה שהביא לירידה הרבה ביותר בתמותה, הוא רשתות וחומרים דוחי יתושים. כסטודנט עבדתי על מלריה וגידלתי את הטפיל. בביקורנו האחרון באפריקה, כשנסענו לצלם בזמביה, לא הקפדנו על רשת, ויעל אשתי ואני נדבקנו במחלה. המחלה התבטאה רק אחרי שחזרנו לארץ, וקיבלנו טיפול מהיר ויעיל בבית החולים שערי צדק. אבל עדיין ממש לא נעים וכדאי להקפיד על מיגון. טפיל המלריה הוא יצור חד תאי המתרבה ברבייה מינית ועובר בין שלבים הפלואידיים, שסימנתי כאן בכרומוזום אחד, ושלבים דיפלואידיים שסימנתי כאן בשני כרומוזומים. מחזור החיים של הטפיל מתחלק בין היתושה, בה הוא מתרבה בצורה מינית, והאדם בו הוא מתרבה בצורה א-מינית. מוצצת את דמו של האדם, ובמקביל היא מזריקה לו רוק המכיל חומרים מונעי קרישה. כשהיתושה נגועה בטפיל המלריה, הטפיל עובר מהרוק שלה לדם של האדם העקוץ. הטפיל מגיע דרך מחזור הדם



לכבד, ושם הוא מתרבה על ידי חלוקות מיטוטיות בקצב מהיר, תוך ימים ספורים לעשרות אלפי טפילים. הוא מתמין לקראת יציאתו למחזור הדם. הטפילים יוצאים מהכבד אל מחזור הדם ופולשים אל תאי דם אדומים. בתוך התא האדום הטפיל

מכפיל את עצמו מספר פעמים תוך 48 עד 72 שעות. בשלב זה תא הדם מתפוצץ. הטפילים משתחררים לדם ופולשים לתא דם חדש. הסימפטומים של מחלת המלריה נגרמים כתוצאה ממחזורי התרבות אלה בדם. בכל מחזור, חלק קטן מהטפילים עוברים התמיינות לתאי מין. כשהיתושה מוצצת את דמו של האדם החולה, היא בולעת גם טפילים שיעברו התמיינות לתאי מין, הם מגיעים למערכת העיכול שלה. טפיל המלריה מתרבה ברבייה אנאיזוגאמית. תאי המין שלו עוברים התמיינות לתאי מין

גדולים, אנלוגיים לביציות נקביות, ולתאי מין קטנים, האנלוגיים לתאי זרע זכריים. תאי מין זכריים מפרים את תאי המין הנקביים ומתקבלת זיגוטה, טפיל דיפלואידי. מאחר והיתושה פעמים רבות מוצצת דם של בני אדם שונים, יש אפשרות שטפילים שהגיעו משני חולים שונים יפרו זה את זה במערכת העיכול שלה. הפרייה חיצונית זו עשויה להגדיל את השונות הגנטית של הטפיל ולסייע לו לפתח עמידות למערכת החיסון של חולים ולתרופות. לכן אחת הבעיות העיקריות של פיתוח חיסונים



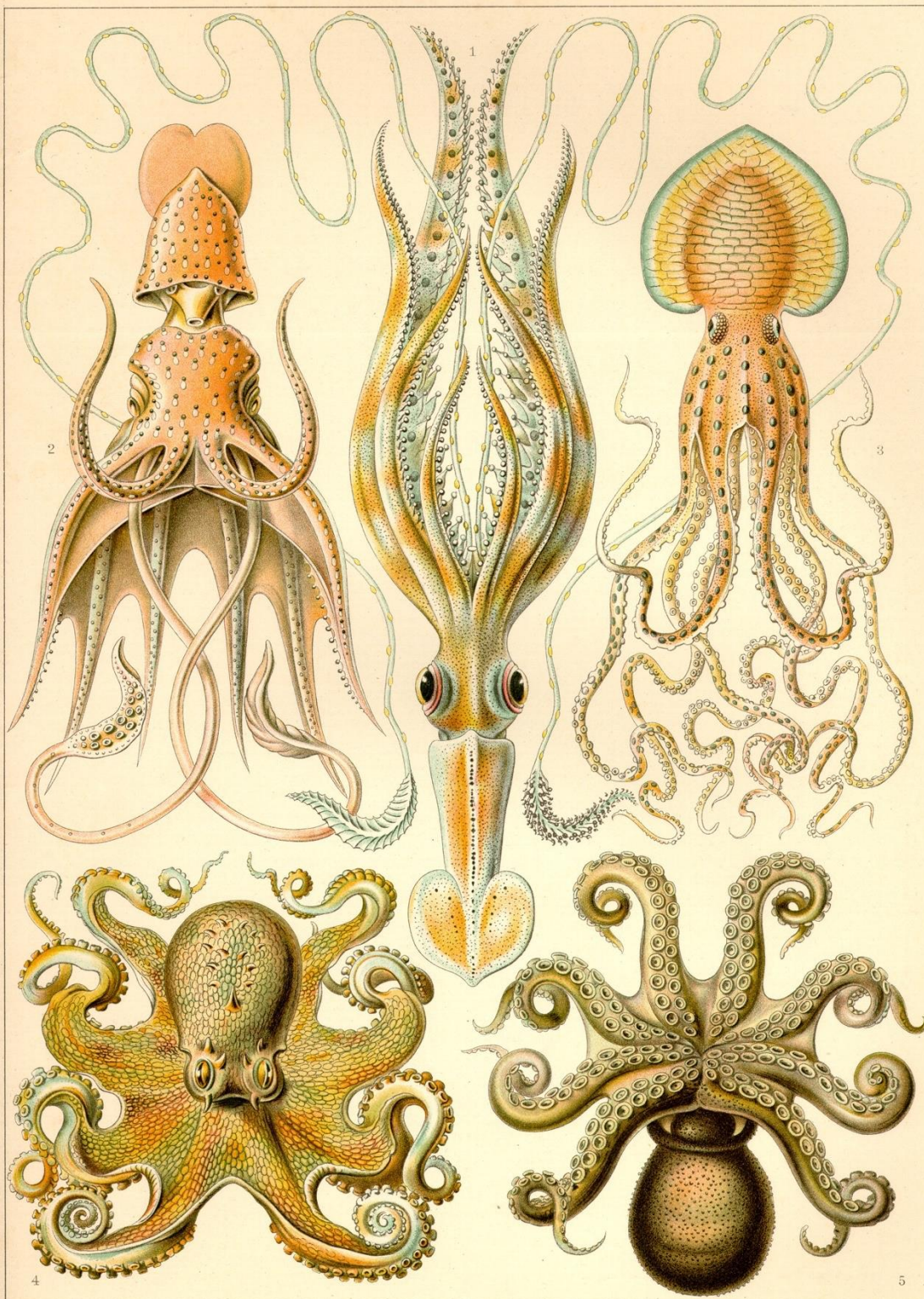
בתרופות למלריה נובעת מהקצב המהיר בו הטפילים מפתחים עמידות. הטפילים הדיפלואידיים עוברים לדופן הבטן, ושם הם עוברים מיוזה, שבסופה, ניחשתם נכון, נקבל שוב טפיל הפלואידי. טפילים הפלואידיים אלה עוברים לבלוטות הרוק של היתושה ומשם לקורבן נוסף.



# יחידה 4 - זויגיות

Haeckel, *Kunstformen der Natur*.

Tafel 54 — *Octopus*.



Gamochonia. — Trichterkraken.



## 00 מבוא ליחידה 4

<https://youtu.be/p3jpsrC7ixQ>

כשנולד תינוק, השאלה הראשונה שנשאלת היא בן או בת? בשאלה הזאת נדון בפירוט ביחידה. אבל לפני שניגע בה, אנחנו רוצים לשאול מדוע? מדוע בכלל צריך שני זוויגים? וזה מחזיר אותנו שוב



לדארווין ולהיבט פחות ידוע של עבודתו. היבט זה, שלו הקדיש את מירב זמנו, היה ניסויים על לא פחות מ-57 מיני צמחים שונים בגינה שלו. דארווין גילה שכאשר הוא מאלץ צמחים להפרות את עצמם, הצאצאים יוצאים פחות מוצלחים. תופעה זו של ירידה בפוריות ובבריאות של תוצרי ההפרייה העצמית תועדה במגוון רחב

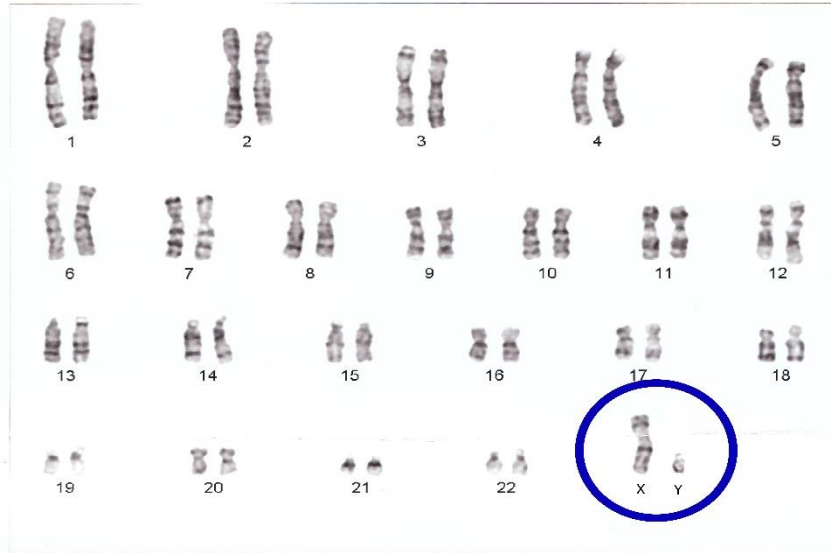
מאוד של יצורים חיים. דארווין אפילו חשד שמשפחתו סובלת מהבעיה, בגלל שהוא התחתן עם בת דודתו, וחלק מילדיהם היו חולים. יש מספר היפותזות המנסות להסביר מדוע הפרייה עצמית או הפרייה בין קרובים מזיקה. ולמרבה הפלא הנושא רחוק מאוד מלהיות פתור בצורה משכנעת. מה שכן משכנע הוא עצם קיום התופעה, כפי שמעידים המנגנונים שהתפתחו במהלך האבולוציה כדי למנוע אותה. המנגנון הבולט והנפוץ ביותר הוא הפרדה לשני זוויגים. ביצורים רב תאיים יש ביציות גדולות ומושקעות ותאי זרע קטנים וזריזים. ברוב הגדול של בעלי החיים שני סוגי תאי מין אלה מיוצרים בשני פרטים שונים: נקבות וזכרים. הפרדה זו לזכרים ונקבות מונעת כמובן לחלוטין הפרייה עצמית, אבל יש לה מחיר עצום. בלעדיה לא היה צורך כלל בזכרים, שהם כידוע, לפחות ביונקים, זוויג הולל ובטלן וחסר תועלת למדי. בציפורים הזכרים לפחות עוזרים לגדל גוזלים. להפרייה חיצונית מחירים נוספים, למשל שבירה של תכונות מוצלחות. אם אני ממש מוצלחת, מדוע שאני לא אלד בנות זהות לי מבחינה גנטית? מדוע שאני אהמר על כל הקופה ואמהל את הגנים המוצלחים שלי עם אלה של זכר שאני לא יודעת יותר מדי על הגנים שלו? נכון, אולי יש לו עיניים, קרניים או נוצות יפות, אבל אלה הן עדויות עקיפות מאוד למה שקורה באמת בתוך הגנים שלו. ויש את כל המחירים האלה ונוספים, כמו חיפוש בן זוג והסתכנות בטריפה, שיש לשלם כדי למנוע הפרייה עצמית. אז גם אם אנחנו עוד לא יודעים בדיוק מדוע הפרייה עצמית מזיקה, ברור לחלוטין, מהמחיר הגבוה שלה, שהיא אינה מותרות אלא הכרח. קביעת הזוויג היא אחד ההיבטים המגוונים ביותר של הרבייה המינית ואחד הגמישים ביותר מבחינה אבולוציונית. נפתח יחידה זו בתיאור מגוון המנגנונים הקובעים אם פרט מסוים יתפתח לנקבה או לזכר. מנגנונים היכולים להיות כרומוזומליים או סביבתיים. כרומוזומי המין והתורשה הנובעת מקיומם הם נושאים מרתקים, עליהם תלמדו בקטעים אותם תקראו אחרי הסרטון. כשבוקע חילזון מהביצה, לא צריך לשאול בן או בת, שכן התשובה תהיה גם וגם. חלזונות

וגם יצורים לא מעטים אחרים הם הרמאפרודיטים. מונח המגדיר יצורים שהם גם זכרים וגם נקבות. נצא לסיור באוסף הרכיכות הגדול שבאוניברסיטה העברית בהדרכתו של חוקר הרכיכות, פרופ' יוסי הלר, שיספר לנו על הרמאפרודיטיות. למרות שיש לכל אחד גם תאי זרע וגם ביציות, רוב ההרמאפרודיטים לא מפרים את עצמם, שכן כבר למדנו שהדבר מזיק. אני אזמין אתכם לגינה שלי ואני אצפה בהזדווגות הכפולה של חלזונות ובהטלת ביצים שלהם. אם חשבתם שזכרים ונקבות והרמאפרודיטים זה כל מה שיש לטבע להציע, צפויה לכם הפתעה. כשדגית הפזית הכתומה והיפה בוקעת מהביצה, היא תמיד נקבה. ורק אחרי שהיא גדלה היא עשויה להפוך לזכר. פרופ' אמציה גנין, מהמכון הבין-אוניברסיטאי למדעי הים באילת, יספר לנו על פזיות ועל דגים אחרים ההופכים מנקבות לזכרים ומזכרים לנקבות, בהתאם למצב בלהקה. ניקח אתכם לצלול בשוניות האלמוגים באילת ובסיני כדי לפגוש דגים אלה. נקבות וזכרים לא רק מייצרים תאי מין שונים, אלא פעמים רבות יש להם מאפיינים אנטומיים שונים, תופעה המכונה דו-צורתיות זוויגית, ולה מוקדש הסרטון הרביעי ביחידה. המנעד של דו-צורתיות זו רחב מאוד בקבוצות השונות. הוא בולט לרוב ביונקים, הרבה פחות נפוץ בציפורים, והוא קיצוני במינים מסוימים של דגים ועכבישים.

# 01 קביעת זוויג

<https://youtu.be/yb1ukM3Cik8>

בקביעת זוויג שני היבטים. ההיבט הראשון הוא מערכת גנים המקודדת לחלבונים הנחוצים להתמיינות של מערכות מין נקביות וזכריות. גנים אלה מקודדים ברובם הן בגנום של הזכר והן של



הנקבה, והם שמורים מאוד באבולוציה. ההיבט השני הוא מנגנון הגרלה, הקובע איזו מערכת מין תתמין בכל פרט. מנגנונים אלה מגוונים מאוד וגמישים מבחינה אבולוציונית. בחלק גדול מבעלי החיים מנגנון ההגרלה הוא גנטי, כלומר הזוויג

נקבע על ידי כרומוזומים המכונים כרומוזומי מין. כרומוזומים אלה והמעורבות שלהם בקביעת הזוויג נתגלו לראשונה על ידי נטי סטיבנס. בכל היונקים ובהרבה קבוצות נוספות של בעלי חיים, כרומוזומי המין מכונים X ו Y. כל שאר הכרומוזומים מכונים אוטוזומים. בבני האדם, למשל של הנקבה, בנוסף לשני הסטים של האוטוזומים, 1 עד 22, שני כרומוזומי X. לזכרים, לעומת זאת, יש בנוסף לאוטוזומים כרומוזום X אחד וכרומוזום Y אחד. כשנוצרים תאי זרע, מקבל כזכור כל אחד מארבעת תוצרי המיוזה סט אחד של אוטוזומים, ובנוסף הוא מקבל כרומוזום X או כרומוזום Y. מחצית מתאי הזרע של הזכר מכילים, אם כן X, והמחצית השנייה Y. לעומת זאת, מאחר ולנקבה רק כרומוזומי X, כל הביציות שלה יכולו X אחד. כפי שאתם רואים כאן בטבלה, ההסתברות ללידת זכר או נקבה היא תמיד חצי. מכאן, שיחס הזכרים לנקבות באוכלוסייה הוא 1 ל-1. קל גם להבין שהזכר הוא זה שקובע מה יהיה הזוויג של הצאצא. מערכת הרבייה בעובר מתמיינת למערכת נקבית או זכרית, בהתאם להיעדר או נוכחות כרומוזום Y. ברירת המחדל היא מערכת נקבית. אולם כאשר יש כרומוזום Y, גן ה SRY המקודד אליו מביא להתפתחות מערכת זכרית. החלבון המקודד על ידי ה-SRY גורם לביטוי מספר חלבונים, שרובם מקודדים על האוטוזומים, ואשר מביאים להתפתחות מערכת זכרית. באדם, מספיק שיהיה כרומוזום Y אחד כדי שנקבל זכר, גם אם כתוצאה מבעיה כרומוזומלית יש יותר מ-X אחד, כמו שאנחנו רואים כאן. מערכת ה-XX/XY זו קובעת את הזוויג ביונקים, וחלק מהחולייתנים האחרים ובחלק מהחרקים. למשל ברוב החיפושיות והזבובים. מנגנון קביעת זוויג אחר מכונה XX/XO, ובו מספר כרומוזומי ה-X קובע. פרט שיש לו שני כרומוזומי X הוא

נקבה, ופרט שיש לו רק אחד זכר. מערכת זו נפוצה בעכבישים, בחגבים, בתיקנים, בשפיריות ובהרבה חרקים אחרים. בציפורים, לעומת זאת, גם בחלק מהזוחלים והדו-חיים, יש מערכת הפוכה המכונה ZZ/ZW, כאן לנקבה שני כרומוזומי מין שונים W ו Z. לזכרים לעומת זאת, יש שני כרומוזומי מין זהים מסוג Z. מנגנון קביעת זוויג זה קיים גם בפרפרים. סוג נוסף של קביעת זוויג קיים בנמלים, דבורים וצרעות. בקבוצה הזו הזכרים בוקעים מביצים בלתי מופרות והם הפלואידיים, בעוד שהנקבות בוקעות מביצים מופרות והן דיפלואידיות. קביעת זוויג באמצעות כרומוזומים היא דרך נפוצה, אבל לא הדרך היחידה. יצורים רבים, בעיקר בזוחלים, קביעת הזוויג נעשית באמצעות תנאים סביבתיים, בעיקר טמפרטורה. למשל, מביצי צבים המודגרות בטמפרטורה נמוכה, בוקעים זכרים, ומביצים המודגרות בטמפרטורה גבוהה נקבות. בתנינים הדגם שונה. מביצים המודגרות בטמפרטורה גבוהה או נמוכה בוקעות נקבות. ומביצים המודגרות בטמפרטורת ביניים זכרים. התנינים הם הקרובים ביותר לדינוזאורים מבין הזוחלים החיים כיום. יתכן מאוד, לכן, שקביעת הזוויג של הדינוזאורים הייתה גם כן תלויה טמפרטורה. הכחדת הדינוזאורים נגרמה בזמן וכנראה כתוצאה משינוי האקלים שנגרם מפגיעת מטאוריט בכדור הארץ. סיבה אפשרית היא ששינוי אקלימי זה גרם לעיוות משמעותי ביחס בין הזכרים והנקבות של הדינוזאורים, שכן מערכות קביעת זוויג תלויה טמפרטורה רגישות מאוד להבדלים קטנים של כמעלה או שתיים. בשנים האחרונות אקלים כדור הארץ מתחמם בגלל פעילות האדם. בין שלל ההשפעות ההרסניות של התחממות זו עלולה להיות השפעה על יחס הזוויגים במינים, בהם יחס זה נקבע על ידי טמפרטורת ההדגרה. תמונה זו, המסכמת סקירה מקיפה של דגמי קביעת זוויג, נותנת לכם, מבלי להיכנס לפרטים, רושם על העושר העצום של מנגנונים אלה. מגוון זה מפתיע, בהתחשב בשמרנות האבולוציונית הרבה של רוב ההיבטים האחרים של סקס, מהמיזזה ועד האנאיזוגמיה. הסיבה למגוון זה היא, בין השאר, שכרומוזומי מין Y ו-W אינם יכולים לעבור רקומבינציה במיזזה, כי אין להם הומולוגים. באופן

פרדוקסלי, הכרומוזומים

המאפשרים את הרבייה

המינית לא נהנים מפירותיה:

רקומבינציה מתקנת במיזזה.

ולכן הם לא יציבים. זו

הסיבה שהאבולוציה צריכה

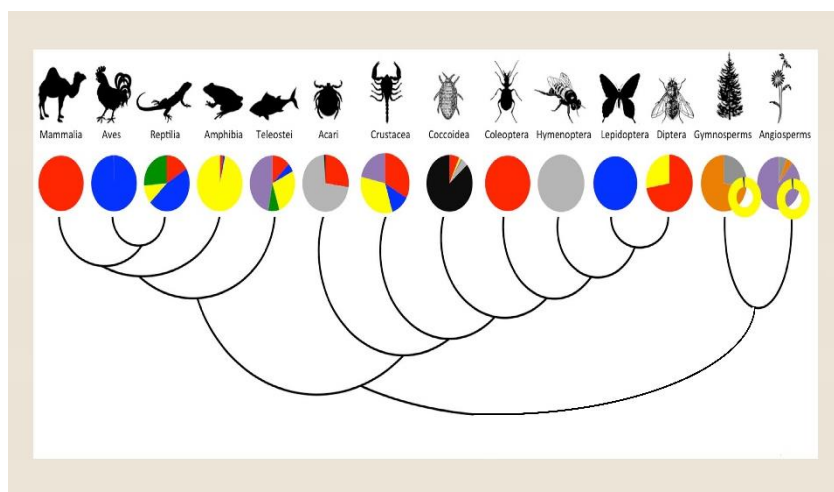
להמציא ללא הרף כרומוזומי

מין ומנגנוני הגרלה חדשים

לקביעת הזוויג. הטקסט

שבא אחרי סרטון זה ידון

ביתר פירוט בכרומוזומי מין.



## 02 תורשה אחוזה בכרומוזום זוויג

(טקסט)

ביחידה השנייה למדנו את חוקי התורשה. כפי שאתם ודאי זוכרים חוקים אלה מבוססים על כך שלכל פרט שני עותקים או אללים של כל גן. אם אתם לא זוכרים זו הזדמנות טובה לדלג אחורה ולהיזכר.

תורשה התלויה בכרומוזומי זוויג היא שונה, שכן בעוד שלנשים יש שני עותקים של כרומוזום X, לגברים יש עותק אחד של כרומוזום X ועותק אחד של כרומוזום Y.

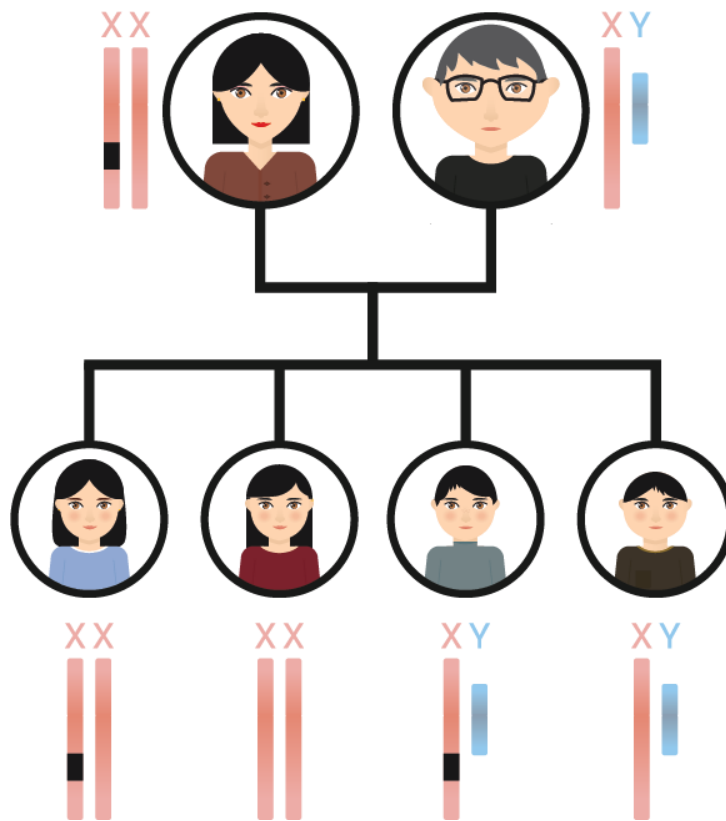
כרומוזום Y הוא קטן ואין עליו הרבה גנים. כרומוזום X לעומת זאת מקודד לכ 800 גנים. לגברים יש עם כר רק עותק אחד של כל אחד מהגנים האלה.

גברים מעבירים את כרומוזום Y לבנים שלהם ואת כרומוזום X לבנות שלהם.

לתורשה של אלל נשלט המקודד על כרומוזום X יש לכן את המאפיינים הבאים:

1. לגבר עם עותק של גן נשלט המקודד על כרומוזום X יהיה את המופע הנשלט.
2. גברים לא יעבירו את האלל לבנים שלהם.
3. גברים יעבירו את האלל לכל הבנות שלהם.
4. אם לאמא של בנות אלה אין את האלל, בנות אלה תהיינה נשאיות. יהיה להן אלל אחד שולט ואחד נשלט ומופע שולט.
5. נשאיות אלה תעברנה את האלל הנשלט הן לבנים והן לבנות שלהן בסבירות של 50%.
6. הבנים שיקבלו את האלל הנשלט יבטאו אותו.
7. הבנות שתקבלנה את האלל הנשלט לא יבטאו אותו (אבל יוכלו להעביר אותו לצאצאים שלהם).





## דוגמא

רגישות לפול היא תכונה נפוצה למדי באוכלוסיות מסוימות. הרגישות נגרמת מאלל נשלט.

גבר רגיש לפול יעביר את האלל הנשלט רק לבנות שלו. בנות אלה תהיינה נשאיות ותעברנה את האלל הזה למחצית הצאצאים שלהם. הבנים שיקבלו אותו יהיו רגישים לפול. הבנות שתקבלנה אותו לא תהיינה רגישות לפול.

מאפיין כללי של הורשה כזו היא שהיא מדלגת דור והיא מופיעה בשכיחות גבוהה בהרבה בזכרים מאשר בנקבות.

## הערות

1. אם לנקבה יש שני אללים נשלטים כמובן שגם לה יהיה מופע נשלט. למשל אם לאב רגיש לפול ולאם נשאית תיוולד בת יש לה סבירות של 50% להיות רגישה לפול.
2. דגם זה כמובן לא מוגבל לבני אדם אלא לכל בעלי החיים בהם קביעת הזוויג מתבצעת במערכת כרומוזמלית XY.
3. בבעלי חיים בהם הגדרת הזוויג מתבצעת באמצעות מערכת כרומוזמלית "הפוכה" ZW (כלומר נקבות הן ZW וזכרים ZZ) התורשה עובדת באותה צורה רק הפוך כמובן.

### 03 הרמפרודיטים – גם זכר וגם נקבה

<https://youtu.be/71EcGzGgPD4>

ברוב בעלי החיים ביציות ותאי זרע מיוצרים על ידי פרטים שונים של אותו המין, נקבות וזכרים. יחד עם זאת, בעשרות אלפי מינים של בעלי חיים מקבוצות שונות, אין הפרדה בין זכרים לנקבות. במינים אלה, כל פרט מייצר הן תאי מין נקביים והן זכריים. מינים אלה מכונים הרמאפרודיטים. ברוב הגדול



של המינים ההרמאפרודיטים אין הפרייה עצמית. הקבוצה הגדולה ביותר של ההרמאפרודיטים שייכת לקבוצת הרכיכות. אנחנו שמחים לבקר עכשיו את פרופ' יוסי הלר, חוקר הרכיכות, באוסף הגדול שלו באוניברסיטה העברית.

#### פרופ' יוסי הלר:

ההרמאפרודיטיות או דו-מיניות היא תופעה די נפוצה בטבע, ועם זאת אין לה שום הסבר. יש בהרמאפרודיטיות יתרון רב בכך שבמצבים שבהם יש אוכלוסייה דלילה וקשה למצוא בן זוג, יש יתרון בכך שהפרט הראשון שתפגוש מקרב בני מינך יהיה ממין שאפשר להזדווג עמו. אז זה היתרון הגדול שבהרמאפרודיטיות על פי התיאוריה. במציאות הדבר הזה לא נבדק דיו, וכשאתה לוקח וסוקר מערכה שלמה, את כל הרכיכות, שזה כולל את כל החלזונות ואת כל הצדפות ואת כל הסילוניות למיניהם ועוד קבוצות נלוות נוספות, מרבית הפרטים ההרמאפרודיטיים משתייכים לקבוצה אחת שהיא כוללת את כל שבלולי היבשה, הרבה מאוד שבלולים של מים מתוקים וכן גם חשופיות ים למיניהם. וזה יוצר את התחושה שהמדובר הוא באילוץ תורשתי שנקבע לפני מאות מיליוני שנים. קשה מאוד לשבור את זה, וזה יהיה כך ויהיה להם את שני המינים, בין אם המדובר באוכלוסיות דלילות או באוכלוסיות צפופות. בין אם המדובר ביבשה, בין אם מדובר בים. בין אם המדובר במים מתוקים אלה ואחרים, אגמים, נהרות, פלגים וכיוצא בכך, לא פעם הם הרמאפרודיטיים עוקבים. לאמור, פרט צעיר שהוא תחילה הופך לזכר, לאחר מכן לנקבה, והוא אז הן זכר והן נקבה. ולאחר מכן יתכן גם שהוא יהפוך לנקבה בלבד, ככל שהוא יגדל. האוסטריות, ששוכנות באזורים סלעיים באזור הקריט ובאזור שמתחת לקריט, מחליפים את המין אחת לעונה. הם מתחילים, נאמר, כזכר, בעונה הבאה הופכים לנקבות. לאחר מכן זכר, לאחר מכן נקבה, וחוזר חלילה.

**מיכאל ברנדייס:** אחרי הביקור באוסף יצאתי לטבע. ליתר דיוק לגינה שלי, לעקוב אחר חלזונות. מיד אחרי הגשם המשמעותי הראשון בסתיו, החלזונות החלו להזדווג ולהטיל ביצים. העברתי מספר

פרטים לקערת זכוכית קונית עם אדמה, וכאן ניתן לראות שניים מהם בהזדווגות הדדית. הזדווגות אורכת שעות רבות. נדלג עכשיו ארבע שעות קדימה. אתם יכולים לראות כאן את הפרט משמאל מוציא את איבר המין הזכרי שלו מתוך האיבר הנקבי של הפרט מימין. נדלג קדימה עוד רבע שעה ונראה שהפרט הימני מוציא גם כן את האיבר שלו. אחרי שמונה ימים, שני הפרטים חפרו חורים באדמה, והטילו כל אחד כמה עשרות ביצים לבנות. מאחר והקערה הייתה קונית, המחילות עם



הביצים הגיעו לדפנות השקופות, דרכן יכולנו לעקוב אחר התפתחותן. אחרי כשבועיים בקעו מהביצים חלזונות קטנים. מאחר וחלזונות אלה הם מין נפוץ, פולש ומזיק למדי, גם אתם מוזמנים לאסוף אותם ולעקוב אחריהם כאשר הם מזדווגים אחרי הגשם הראשון.

## 04 גמישות זוויגית בדגים

<https://youtu.be/pVwGq3mGo0>

אני נמצא כאן על המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי למדעי הים, ואני שמח מאוד שפרופ' אמציה גנין, מנהל המכון, מארח אותנו והוא יספר לנו על שינוי מין בדגים.



**פרופ. אמציה גנין:** בדגים ישנה תופעה בלתי רגילה שנקראת חילופי מין. שדגים הופכים מזכרים לנקבות או מנקבות לזכרים, והתופעה הזאת התגלתה לראשונה ממש פה, על ידינו. פרופ' לב פישלזון מאוניברסיטת תל אביב עקב אחרי דגים שנקראים פזיות.

הפזית מתחילה את חייה כנקבה. ברגע שהיא מגיעה לבגרות מינית, כל הפרטים הן נקבות. ואחר כך, כשהיא גדלה, חלק מהנקבות מחליפות את מינן לזכרים. הדג הזה, פזית ים סוף, והיום אנחנו יודעים שהרבה מאוד דגים ממינים אחרים גם כן, חיים בקבוצות חברתיות שהם מתרבים בתוך הקבוצה. בפזית למשל היחס הוא בערך זכר אחד על שבע נקבות. ברגע שזכר אחד נטרף או מת מסיבה כלשהי, הנקבה הכי גדולה משנה את

מינה תוך מספר ימים, היא מתחילה לתפקד בתור זכר. כעבור שבועיים-שלושה, היא כבר מתרבה עם הנקבות. זכר שהוא גדול יותר יתרבה עם יותר נקבות. זאת אומרת, יש יתרון לגדולים להיות זכר, בגלל זה הנקבה שתחליף את מינה לזכר זו הנקבה הכי גדולה. זה מעין פרדוקס, אם נסתכל על גודל הגוף ולא נכיר את ההתנהגות. כי בדגים מספר הביצים שפרט מייצר הוא פרופורציונלי לגודל הגוף. ככל שהנקבה גדולה יותר, היא תייצר יותר ביצים. וזה ידוע מעולם החי באופן כללי. ולכן יש פרדוקס. מדוע כשהם גדלים הם יהפכו לזכר ולא לנקבה? כי מספר תאי הזרע אינו תלוי בגודל הגוף. תאי זרע הם קטנים ואין מגבלה לייצר הרבה מהם, ולכן זה לא תלוי בגודל הגוף. זאת אומרת, זכר קטן יכול לייצר את אותו מספר תאי זרע כמו פרט גדול. ולכן ניתן לחשוב שאם הפרט גדל, כדאי לו להפוך את

המין שלו מזכר שהוא

קטן, לנקבה כשהוא יגדל,

כי אז כשהוא גדול יותר

הוא יכול לייצר יותר

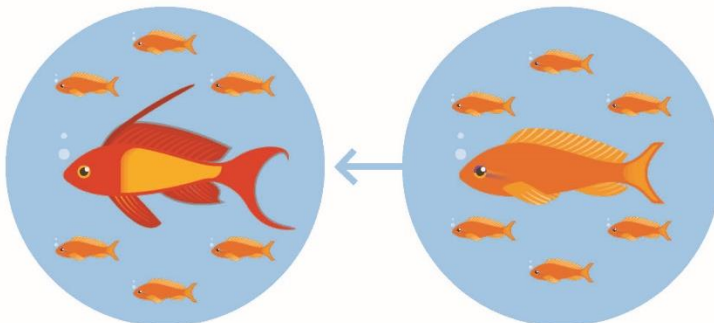
ביצים. ופה זה בדיוק

להיפך. כשהם גדלים הם

מחליפים את מינם

לזכרים. מדוע? כי יש פה

את הסיפור החברתי. כי



נקבות יתרבו איתם. ואיפה יש לנו חילופי מין עם מין אחרים? כשפרטים מתחילים את חייהם בתור זכרים והופכים אחר כך לנקבות כשהם גדלים, כי מייצרים יותר ביצים, בדגים שהרבייה בהם היא לא חברתית. שם הם יכולים להתרבות במסה של כולם ביחד, או יתרבו בתקופה מסוימת ואז ישחררו תאי זרע וביצה למים, והם יפרו זה את זה. אבל זה לא יהיה תלוי ברבייה שנקבה בוחרת זכר או זכר בוחר נקבה, ואז אין השפעה על הגודל, ואז באמת חילופי המין יהיו מזכרים שהם קטנים ומייצרים המון תאי זרע, שיהפכו את מינם לנקבות כשהן גדולות ותייצרנה הרבה מאוד תאי ביצה.





## 05 דו צורתיות זוויגית

<https://youtu.be/hcqmNKJUgkE>



נקבות וזכרים שונים זה מזה בתאי המין שהם מייצרים ובמערכת הרבייה שלהם. בחלק מבעלי החיים יש הבדלים קטנים או גדולים בין איברים נוספים של נקבות וזכרים, שלא קשורים ישירות לרבייה. דו-צורתיות זוויגית זו מתבטאת במה שמכונה סימני מין משניים. למשל, לעובדה שלי צומח זקן ולמיכל לא, אין משמעות

ישירה על התפקוד הרבייתי שלנו כזכר ונקבה. אנחנו כאן בפארק הלאומי מג'טה (Majete) בדרום מלאווי. פארק זה הוא דוגמה יפה כיצד אזור בו הוכחדו חיות הבר יכול לעבור שיקום ואכלוס מחדש. הפארק מנוהל על ידי ארגון אפריקן פארקס ([African Parks](#)), הדוגל בשיטה של עירוב האוכלוסייה המקומית בשימור הטבע. ארגון זה מקים בתי ספר, בתי חולים ומספק מקורות תעסוקה לכפריים, ובכך מעודד אותם לשמור על בעלי החיים ועל הפארקים. ארגון זה מנהל כ-20 פארקים ברחבי אפריקה, ועושה עבודת שימור ושיקום חשובה מאוד. באנו לכאן לראות את הניאלות היפות והמרשימות האלה. הן נחשבות לאנטילופות עם הדו-צורתיות המינית הבולטת ביותר. לולא היינו מגלים לכם, לא הייתם מנחשים שמדובר באותו המין, והייתם חושבים שמדובר במינים שונים. הדגם והצבעים של הניאלות משמשים להסוואה בסבך, ואצל הזכרים הם כדי להרשים זה את זה בתחרות שלהם על הנקבות. ברוב האנטילופות יש דו-צורתיות מינית המתבטאת בעיקר בכך שהזכרים יותר גדולים מהנקבות. לרוב, גם יש לזכר קרניים, כמו כאן לקודו, לקובוס המים ולאימפלה. במינים אחרים, כמו באנטילופות הסוס השחורות היפהפיות האלה, גם לנקבות יש קרניים. את האנטילופות האלה פגשנו בפארק הלאומי ליוונדה (Liwonde), אף הוא במלאווי ואף הוא מנוהל על ידי אפריקן פארקס. בקצה הפארק יש את עץ הבאובב העצום והחלול הזה, שחוקר אפריקה הנודע, דיוויד ליווינגסטון, כבר הסתתר בו. העץ הוא מקום מפגש למקומיים, הם חוצים לידו את הנהר כדי לסחור בצד השני וכדי לדוג בו. לעץ מטפסת תאנה ענקית, כך שזה למעשה עץ כפול או אפילו משולש.

כאן אנחנו צופים בעדר זברות בשמורת האוונגה (Hwange) בזימבבואה. אף אחד מכם, וגם לא מומחים, יכולים להגיד בוודאות מי כאן זכר ומי נקבה. הבדלים בין זכרים לנקבות קטנים מאוד. רוחב פס בישבן שלהם. כמובן שאם אנחנו רואים את הסייח הזה יונק, הוא עושה את זה מנקבה. קיום או היעדר דו-צורתיות זוויגית והמאפיינים שלה בבעלי החיים השונים יכולה ללמד אותנו רבות על אסטרטגיות הרבייה שלהם. ביונקים, לזכר תפקיד מצומצם למדי והוא להפרות את הנקבה. בחלק מהמינים עליו להילחם עליה עם זכרים אחרים ו/או להרשים אותה ולחזר אחריה. לשם כך עליו להיות גדול וחזק ויפה. ואכן ראינו כבר שביונקים רבים יש דו-צורתיות בולטת, הן מבחינת המראה וגודל הגוף, והן, כפי שנלמד ביחידה הבאה, מבחינה התנהגותית. בניגוד ליונקים ולרוב בעלי החיים האחרים, אסטרטגיית הרבייה של ציפורים ייחודית ושוויונית. רוב הציפורים מקננות כזוג. ומעבר לכך שהזכר מפרה את הנקבה, התפקידים שלהם, דגירה וטיפול בצאצאים, דומים מאוד זה לזה. גם על כך נרחיב ביחידה הבאה. שוויוניות זו מתבטאת בכך שברוב הגדול של מיני הציפורים אין כלל דו-צורתיות זוויגית, או שהיא מצומצמת למדי. יש כמובן לא מעט מיני ציפורים בהם יש דו-צורתיות זוויגית, למשל ביענים, אותם אנחנו רואים כאן. הבדלים שניתן להסביר בצרכים של חיזור ובחירת בן זוג. למרבה העניין, יענים הם אחד ממיני הציפורים הבודדות בהן לזכר יש הרמון של כמה נקבות. רוב מיני הציפורים חיות במונוגמיה חברתית, בה נדון בהמשך הקורס. במינים היפים והצבעוניים ביותר, בשרקרקים, שלדגים וכחלים, זכרים ונקבות זהים לחלוטין. דמיון רב בין הזוויגים קיים גם במינים רבים אחרים, מציפורי שיר דרך עופות מים ועד דורסים ונשרים. מבחינתי זו שאלה פתוחה. מדוע שני זוויגים משקיעים בייצור נוצות מרהיבות ובולטות לעין, השקעה שעבור חלקם אף מגבירה את הסיכון בטריפה? יתכן מאוד והדבר מצביע על כך ששניהם בוחרים, מה שלא יהיה מפתיע כלל לאור אורח החיים השוויוני שלהם. יתכן גם שדגם הצבעים מסייע לוודא שבן ובת הזוג הם מאותו המין. מבחינת פרט, הזדווגות עם פרט ממין אחר היא בזבוז משאבים מוחלט, שכן מהזדווגות כזאת לא ייווצרו צאצאים כלל.



נעבור עכשיו לקבוצה אחרת של בעלי חיים, לחרקים, עליהם תספר לנו ד"ר נטע דורצ'ין, אוצרת אוסף החרקים במוזיאון הטבע בתל אביב. **ד"ר נטע דורצ'ין:** אנחנו נמצאים ביחידה האנטומולוגית של מוזיאון הטבע על שם

שטיינהרדט, וזו היחידה הגדולה ביותר במוזיאון. יש לנו, אנחנו מעריכים, משהו כמו 3 מיליון פריטים באוסף החרקים. חרקים הם היצורים המוצלחים ביותר על פני כדור הארץ. אנחנו מודדים הצלחה אבולוציונית במספר מינים. וההערכה היא כרגע ש-70 ומשהו עד 80 אחוז מכלל היצורים החיים הם חרקים, והם דומיננטיים בכל מערכת אקולוגית יבשתית. הם לא נמצאים באוקיינוסים, אבל בכל מערכת אקולוגית יבשתית, כולל מים מתוקים, חרקים מהווים מרכיבים דומיננטיים, אם זה כמפקדי חומר אורגני, אם זה כמזון לבעלי חיים אחרים, אם זה כטורפים, כטפילים. יש להם תפקיד מאוד

חשוב במערכת האקולוגית והמגוון הוא עצום. מגוון המינים הוא עצום. היום אנחנו יודעים על בערך מיליון מינים מתוארים של חרקים. מינים מתוארים, זאת אומרת שיש להם שם שמישהו תאר אותם ואנחנו יודעים מה הם, אבל ההערכה היא שלמעשה מה שיש לנו בטבע זה בין פי 5 לפי 20. אין ספק בקשר לחשיבות האקולוגית העצומה של חרקים, וכמובן, אם אנחנו מדברים על עצמנו כבני אדם, אז החרקים והאדם זה נושא בפני עצמו. יש הרבה מאוד חרקים שיש להם ערך כלכלי חיובי לנו: אם זה מאביקים, אם זה להדברה ביולוגית. וכמובן חשיבות שלילית: מעבירי מחלות, גורמי מחלות בעצמם, מזיקים למיניהם.

**ד"ר מיכל רמות:** דיברנו הרבה על דו-צורתיות זוויגית בחולייתנים. מה את יכולה לספר לנו על

ההבדלים בין נקבות לזכרים בחרקים?

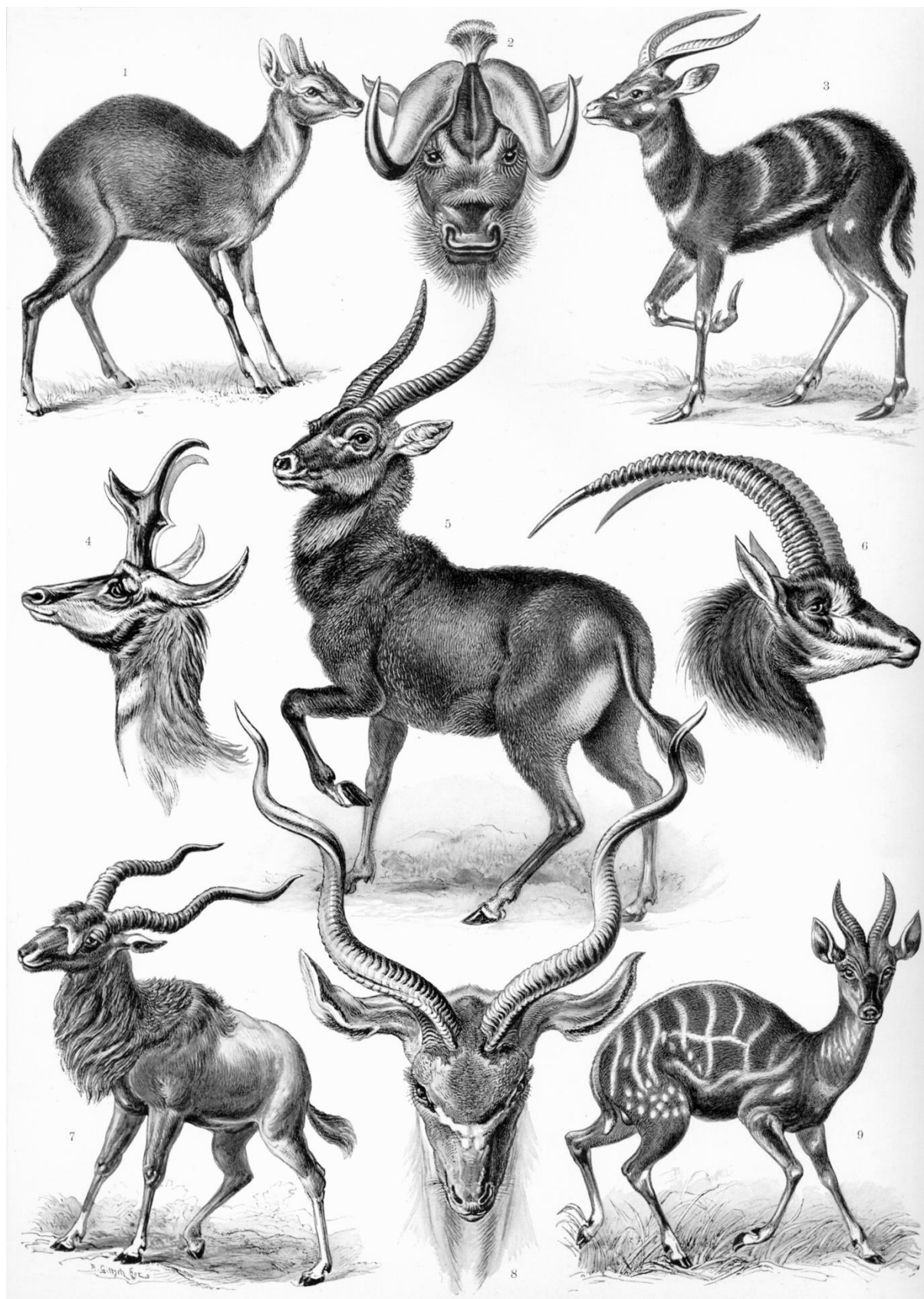
**ד"ר נטע דורצ'ין:** האיברים הראשונים שהייתי מדברת עליהם בהקשר שוני, של הבדלים בין זכרים לנקבות אילו איברי ההזדווגות. כמו בבעלי חיים אחרים, יש איברי הזדווגות זכריים, יש נקביים, ואז מסתכלים על החרק ורואים את הדברים האלה. לפעמים זה מוסתר. לפעמים אי אפשר לדעת. בהרבה חיפושיות למשל, צריך לשלוף את זה החוצה כדי לראות אם זה זכר או נקבה, ולפני שעושים את זה לא רואים. אבל בהרבה מאוד חרקים יש הבדלים מאוד ברורים, כשמסתכלים על החרק. אם זה הבדלים בצבעים, אז הרבה פעמים הזכרים הרבה יותר צבעוניים, במיוחד הדוגמה המתבקשת, פרפרים נגיד, אבל גם בהרבה חיפושיות יש את זה. הזכר צריך למשוך את הנקבה ולמצוא חן בעיניה, והוא מתהדר בצבעים יותר יפים, והנקבה נראית קצת יותר משעממת. אז בהקשר של צבעים. יש גם מבנים שונים. יש הרבה חיפושיות נגיד שאצלם, אצל הזכרים יש מחושים מאוד מרשימים, ארוכים, או רגליים קדמיות מאוד ארוכות או לסתות ענקיות. ובכל המקרים האלה מדובר באמצעים או למלחמה בין זכרים על חסדיה של נקבה, או ממש למצוא חן בעיני הנקבה, כי היא בוחרת את הזכר לפי ההופעה החיצונית שלו. אז אלה הבדלים ממש ויזואליים שאפשר לראות בין זוויגים בחרקים. באמת יש הרבה מאוד מקרים שהזכרים והנקבות של אותו מין תוארו כמינים שונים, כי פשוט לא ידעו את זה. היום, בעשרות השנים האחרונות, כשיש לנו גם אמצעים מולקולריים גנטיים, אז יותר קל להשתמש בזה, ואז מייד יש את הקישור הזה. זה תיקן ישראלי שנמצא לאורך מישור החוף, והוא נקרא תיקנחול, כי הם מחופרים בתוך החול. זה בית הגידול שלהם. אחד הדברים המעניינים פה זה שהנקבות חסרות כנפיים והזכרים מכונפים. אז הזכרים יכולים לעוף, והרבה פעמים לאורך מישור החוף הם נמשכים לאור, ואפשר למצוא אותם בחדרי מדרגות. נקבות כמובן לא, כי הן לא מעופפות. אז כן, אז אלה הנקבות. אתם רואים שהנקבות אין להן כנפיים. אופס, תראו את התיק מחובר לקצה הבטן שלה. היא עוד לא סיימה להטיל. -אז... היא הטילה את זה, אבל הוא מחובר כמה זמן. הנה הזכר. רואים את הזכר עם הכנפיים. -הא, יופי. הכנפיים, זה חשוב.

**מיכאל ברנדייס:** בדוגמאות הקיצוניות ביותר של דו-צורתיות זוויגית, הזכר מוקטן לממדי התפקיד המוגבל שלו. תופעה המופיעה שוב ושוב במהלך האבולוציה בקבוצות שונות מאוד זו מזו. כאן אנחנו



רואים זכר זעיר של עכביש גלגלן, שבא להזדווג עם נקבה הגדולה ממנו עשרות מונים. הוא מנצל את ההזדמנות שהיא עסוקה עם טרף גדול ועסיסי ממנו, כדי להזדווג איתה מבלי שהיא תטרוף אותו. נסיים בחכאים, דגים החיים במעמקים, במקום בו האוכלוסייה דלילה וקשה מאוד למצוא בן זוג. זכרי החכאים זעירים, ואחרי שהם מוצאים נקבה, הם מתמזגים איתה וחיים בתוכה. הם מתנוונים בהדרגה, ורק אשכיהם ממשיכים לתפקד ולייצר תאי זרע.

# יחידה 5 - דגמי רבייה בבעלי חיים





## 00 מבוא ליחידה 5 – הקונפליקט המובנה בין נקבות לזכרים

<https://youtu.be/hclOZtCTW6I>

ברוכים הבאים ליחידה 5, שתעסוק במבנים החברתיים של בעלי החיים, או במילים אחרות, בסקס ובפוליטיקה. כדי להתרבות, על תאי המין של הזכרים והנקבות להיפגש. כפי שנראה בסרטון הראשון, לא תמיד מפגש זה מחייב שהפרטים עצמם יפגשו. יש פרטים שמעצם טבעם הם נייחים, ולכן הם משגרים את תאי המין שלהם כדי שיפגשו באופן עצמאי. תופעה זו מכונה הפרייה חיצונית, והיא נפוצה ביצורים ימיים רבים, מאלמוגים ועד דגים. ביחידה האחרונה בקורס נשוב ונפגוש אותה בצמחים. ביצורים יבשתיים ההפרייה כמעט תמיד פנימית ומחייבת מפגש בין זכרים לנקבות. ברוב מיני בעלי החיים המפגש הזה מוגבל להזדווגות עצמה, אבל בבעלי חיים מפותחים רבים, הרומן ממושך יותר ויכול להימשך לעונה אחת או יותר. או כפי שאומרים, עד שהמוות יפריד בינינו. בסרט השני נלמד על ציפורים שרובן הגדול מונוגמיות, כלומר חיות בזוג של זכר אחד ונקבה אחת. הזוג הזה נושא בנטל בצורה שוויונית והוא מגדל את הגוזלים או האפרוחים. בציפורים קיימות צורות חברתיות נוספות, שאותן נסקור בקצרה. ביונקים הגדולים, בהם עוסק הסרטון השלישי, יש בנוסף למונוגמיה מבנים חברתיים מורכבים יותר. מכאן והלאה טריטוריה והיררכיה בין פרטים הן תופעות שנפגוש שוב ושוב. הרמון הוא דגם חברתי בו לזכר אחד יש נקבות אחדות או רבות, איתן הוא מזדווג ועליהן הוא שומר בקנאות. למלך שלמה ולסולטן התורכי היו כידוע הרמונות, אבל הם לא המציאו אותם. אנחנו נבקר בהרמונות של היפופוטמים, של פילי ים ושל זברות. דגם חברתי זה מעודד התפתחות זכרים גדולים וחזקים יותר, ואכן הדו-צורתיות הזוויגית מגיעה כאן לעיתים לביטוי קיצוני למדי. יכולות קוגניטיביות ומבנים חברתיים, בראש ובראשונה למטרות רבייתיות, התפתחו יד ביד. מסתבר שרבייה מינית הביאה לא רק להתפתחות היופי אלא גם לזו של תבונה ויכולת תקשורת. מה שמביא אותנו לסרטון הרביעי העוסק בקופים, בהם יש לרוב דגמים של מספר נקבות ומספר זכרים החיים ביחד במבנה חברתי משוכלל ודינמי. אינטליגנציה ויכולות תקשורת מפותחות חיוניות כדי לקיים מבנים אלה וכדי לאפשר לפרטים להתקיים ולשגשג בהם. בסרטון החמישי נפגוש ברבייה חברתית, בה קבוצה שלמה מסייעת לטיפול בצאצאים של אחד הזוגות. נפגוש זנבנים, זאבים טלואים וחרקים חברתיים, וננסה לעמוד על פשר התופעה. פילים הם, חוץ מקופים, היצורים המפותחים ביותר מבחינה קוגניטיבית ותקשורתית. מרתק לראות שיכולות אלה התפתחו בפילים ובקופים באופן עצמאי ובלתי תלוי לחלוטין, בתהליך המכונה אבולוציה מתכנסת. נתאר את חיי הפילים ואת הדגם החברתי המטריארכלי שלהם, המבוסס על קבוצות של נקבות המונהגות על ידי נקבות בכירות. הפרק האחרון יעסוק בבני אדם. נבקר בבית הקפה "תמול שלשום", המשמש מקום מפגש בו נוצרו זיווגים לרוב. ונפגוש את דוד ארליך שהקים אותו. לסיכום, נראיין את הפסיכיאטר פרופ' יורם יובל, המתמחה במערכות יחסים אנושיות, וכתב את רב המכר "מה זאת אהבה".

## 01 הפרייה חיצונית ופנימית

<https://youtu.be/zj1GTkiKUuY>

**מיכאל ברנדייס:** רוב ההיסטוריה של החיים התרחשה בים. צמחים ובעלי חיים החלו ליישב את היבשה לפני כחצי מיליארד שנה. זה נשמע כמו הרבה זמן, אבל תקופה זו היא פחות מחמישית הזמן של חיים על פני כדור הארץ. כמובן שגם הרבייה המינית התפתחה בים, ותאי המין של היצורים החיים מותאמים היטב לסביבה הימית. התאמה זו מאפשרת ליצורים השונים להפריש תאי מין לסביבתם. תאי המין שוחים או צפים במים, ומוצאים ומפרים זה את זה. סוג זה של הפרייה מכונה הפרייה חיצונית. שלום, אנחנו נמצאים כאן עם תום שלזינגר, דוקטורנט במעבדה של פרופ' יוסי לזיה מאוניברסיטת תל אביב, והוא יספר לנו עכשיו על רבייה של האלמוגים.

**תום שלזינגר:** שוניות האלמוגים של הים האדום, ובפרט של האזור הצפוני, מפרץ אילת ועקבה, הן שוניות אלמוגים מהמיוחדות ביותר שיש בעולם. ראשית, המגוון הביולוגי שיש לנו כאן עבור מטר רבוע של שונית הוא מהגבוהים ביותר שנמדדו אי שם ברחבי העולם. כמות המינים של אלמוגים ודגים ושאר דיירי השונית שיש לנו כאן היא פשוט אדירה, כולל המון מינים אנדמיים, כלומר שייחודיים רק לסביבה הזאת. אז איך בעצם אלמוגים מתרבים? או כל מיני בעלי חיים בסביבה הימית שקשורים וצמודים לקרקעית הים. אני לא יודע אם אי פעם חשבתם על זה, אבל איך בעל חיים שצמוד למצע ולא יכול לזוז, מוצא בכלל בן זוג להתרבות איתו? דגים, בעלי חיים יכולים לנוע במרחב, למצוא את בני הזוג לצורך רבייה. לעומת זאת אלמוגים והרבה מדיירי השונית אשר צמודים למצע, אין להם את היכולת הזאת. אז איך הם מוצאים בעצם בן זוג לרבייה באוקיינוס הגדול, אם הם לא יכולים לזוז ולחפש אחד את השני? אז התופעה שהתפתחה בטבע, בשביל לפתור את הבעיה הזאת של מגוון בעלי החיים האלה, ביניהם אלמוגים ועוד רבים אחרים שצמודים למצע, היא לעשות מה שנקרא Spawning. לשחרר לגוף המים את תוצרי הרבייה שלהם, את הביציות והזרע, פשוט לפלוט אותם



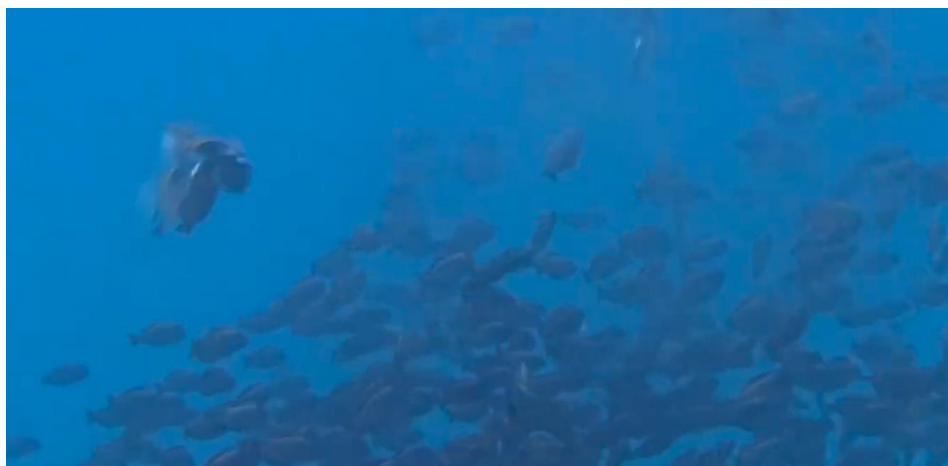
ברגע מאוד מדויק לגוף המים. שם כל החומר הזה, הביציות והזרע צפים לפני המים, נסחפים עם הזרמים ועם הרוחות, מתערבלים, עד שבסוף זרע פוגש ביצית, יש הפרייה וחיים חדשים נוצרים. עכשיו, התופעה הזאת של ה-Spawning צריכה להיות כל כך מדויקת, כי ביציות בטבע של בעלי חיים ימיים לא מחזיקות מעמד יותר מכמה שעות בודדות,

ככה שהאירוע הזה של ה-Spawning חייב להיות מתוזמן ומנוצח בצורה מושלמת. הסנכרון חייב להיות מופתי בשביל שתהיה איזושהי המשכיות, שיהיה עתיד למין הזה, לחברה הזאת ולשוניות אלמוגים בכלל. תהליך הרבייה באלמוגים קורה במחזורים שנתיים, כלומר פעם אחת בשנה בלילה מאוד מסוים. אחת התופעות הכי מוכרות בטבע בעולם הימי היא תופעת ה-Mass Spawning ב-Great Barrier Reef, בשונית המחסום הגדולה באוסטרליה. אותה תופעה שבה מאות מינים של אלמוגים, אלפי ועשרות אלפי פרטים לאורך קילומטרים של שונית עושים את ה-Spawning, אותו אירוע של רבייה, שחרור תוצרי הרבייה, הביציות והזרע למים בשבוע מאוד מסוים בשנה, בדרך כלל בשבוע שלאחר הירח המלא בחודש נובמבר. בתזמון מופתי, בניגוד לאותו תזמון כל כך מדויק וצר של כלל חברת האלמוגים, כלומר של כל המינים או לפחות הרבה מאוד מינים ביחד שקורה באוסטרליה ובמקומות אחרים בעולם, במפרץ אילת קורית תופעה די שונה, ואנחנו קוראים לזה בידוד רבייתי בזמן של מינים שונים. כלומר, כל מין של אלמוג, ישנו תזמון מאוד שונה ואינדיבידואלי לו, ייחודי לו, שבו הוא עושה את הרבייה של האלמוגים. אז האלמוגים במפרץ אילת, לכל מין של אלמוג יש את השעה המסוימת שהוא עושה את ה-Spawning בלילה. בלילה מאוד מסוים בחודש, בהתאם למופע הירח, לאו דווקא בירח מלא. כל מין של אלמוג מתוזמן למופע ירח אחר, בחודש שונה, אבל בעיקר בעונת הקיץ. בכל לילה, בכל שעה יש איזושהי אוכלוסייה שמבצעת את הרבייה שלה.

**פרופ. צבי דובינסקי:** עם הגידול של עקבה ואילת, גוברת ההשפעה של האור שקורן מהם בלילות, והוא בעצם מטשטש את האות לרביית האלמוגים שמתקבל ממופעי הירח. אנחנו קוראים לתהליך הזה זיהום אור.

**מיכאל ברנדייס:** מהפרייה חיצונית לא מוגבלת ליצורים נייחים הקשורים למצע, אלא נפוצה גם ביצורים בעלי יכולת תנועה, כגון דגים, כפי שיספר לנו עכשיו פרופ' אמציה גנין.

**פרופ. אמציה גנין:** הפרייה אצל כל הדגים היא הפרייה חיצונית, זאת אומרת, אתם יכולים לראות את הפזיות האלה, הנקבה בוחרת את הזכר. הם שוחים בשחיית תזזית למעלה. הנקבה מוציאה את הביצים והזכר מפרה אותם. וזוהי הרבייה של הנתחנים. גם הרבייה הזאת התגלתה פה באילת על ידי שני חוקרים מארצות הברית, אחד מפלורידה, אחד מאריזונה, שבאו לפה ונכנסו על יד המגדלור. אתם רואים את המגדלור על ההר, הם נכנסו מתחת למגדלור והם עקבו אחרי דגים צמחוניים שנקראים נתחנים. והם ראו שכל יום לקראת ערב, בקיץ, החל מחודש יוני וכלה בחודש אוגוסט. כל ערב, כשהשמש עמדה לשקוע, הם התחילו לראות שיירות של דגים, ושיירות הדגים מהמין הזה, וחלק מהשיירות שחו לכיוון המגדלור וחלק שחו לכיוון אחר, לכיוון שמורת הטבע. ויום אחד מסיבה כלשהי הם נשאר על יד השיירות. הם ראו שהשיירות האלה מתגודדות באיזשהו מקום. החוקרים נשאר על יד ההתגודדות האלה, הצברים שבכל התגודדות כזאת ישנם סדר גודל של כמה מאות עד כמה אלפי דגים. ופתאום באור אחרון, ממש באור אחרון, הדגים האלה מתחילים להסתובב, להסתובב, ובאור אחרון פתאום בבום אדיר, וזה מחזה שבאמת חובה לראות אותו. בבום אדיר יש מעין אורגיה כזאת במים. כל הדגים קופצים למעלה, וזה לוקח משהו כמו עשר דקות. הם קופצים



וחוזרים וקופצים  
וחוזרים  
ומתרוממים  
למעלה, וכל  
הנקבות מוציאות  
ביצים, כל הזכרים  
מוציאים תאי זרע,  
והמים הופכים  
להיות לבנים.

כמובן מי מחכה בצד? אותם דגים שאוכלים פלנקטון, והם מחכים לביצים הללו שיש בהם הרבה מאוד חלמון וחלבון, והם ניזונים מהם. אבל מכיוון שזה באור אחרון, הם לא מצליחים לאכול כפי הנראה יותר מדי, וגם מדובר בשחרור של מאות אלפי ביצים בבת אחת. באחד המחקרים שנעשו פה במכון הסתבר ששיעור ההפרייה, אחוז הביצים המופרות שהם משחררים למים, וגודל הצבר הוא כמה מטרים על כמה מטרים, אחוז הביצים המופרות הוא בערך 98 אחוז, שזה באמת בלתי רגיל. **מיכאל ברנדייס:** התנאים ביבשה לא מתאימים לתאי מין, ואם יצור יבשתי היה מפריש את תאי המין שלו לסביבה, תאים אלה היו מתייבשים ומתים תוך זמן קצר. לשם כך התפתחו מנגנונים מורכבים של הפרייה פנימית. הפרייה פנימית דורשת הזדווגות, כלומר מגע ישיר בין זכר ונקבה, והעברה של



תאי מין זכריים אל תוך הנקבה, זאת מבלי שאף אחד מתאי המין נחשף לסביבה. כיצורים יבשתיים אנחנו כמובן מתעניינים מאוד בהפרייה פנימית ובהזדווגות. הצורך בהזדווגות הביא להתפתחות מגוון מרתק של מנגנונים אנטומיים והתנהגותיים, בהם נעסוק בהמשך. יתרון חשוב של ההפרייה הפנימית היא שתאי המין הזכריים מגיעים ישירות ליעדם. יתרון זה קיים כמובן

גם בים, ואכן הפרייה פנימית התפתחה באופן עצמאי ביצורים ימיים מקבוצות שונות. חלק מהיצורים הימיים, כגון הדולפינים והלווייתנים, התפתחו מיצורים יבשתיים. ההפרייה הפנימית ביונקים ימיים אלה היא, כמו התלות בנשימת אוויר, שריד מהתקופה היבשתית שלהם. אבל יש גם יצורים שמעולם לא עזבו את הים, בה התפתחה הפרייה פנימית באופן עצמאי. בסרטון זה של תום שלזינגר אנחנו רואים זוג תמנונים מזדווגים. התמנון הזכר שולח את אחת משמונת הזרועות שלו ושותל את תאי

המין שלו בתוך הגלימה של הנקבה. זרוע זו עברה התאמה מיוחדת לתפקיד זה. גם אצל כרישים אין שלב אבולוציוני יבשתי, וגם הם מזדווגים ומבצעים הפרייה פנימית.

**מיכל רמות:** שלום, נמצאת איתי פה אנה. אנה היא מדריכה במצפה התת ימי, והיא הולכת לספר לנו את כל מה שהיא יודעת על כרישים ועל רבייה של כרישים. תודה אנה.

**אנה אוסטרובסקי:** אנחנו נמצאים עכשיו בבריכת הכרישים. יש פה חמישה סוגים שונים של כרישים, שאת כולם פה אפשר למצוא גם בים שלנו, זו בעצם הפואנטה של הפארק. רוב הכרישים כאן הם כרישי מים פתוחים, שכמה עובדות מאוד מעניינות לגביהם זה בין היתר שהם לא יכולים לעצור אף פעם. הם בעלי חיים שחייבים להישאר בתנועה. בשנייה שהם עוצרים הם לא יכולים לנשום. וזו הסיבה לזה שהם גם עושים את כל הדברים בתנועה: הם אוכלים בתנועה, ישנים בתנועה וגם מתרבים בתנועה. בגלל זה כמעט לכל כרישי המים הפתוחים, יש שני איברי רבייה, יותר גבריים מכל גבר על כדור הארץ. בעצם יש להם שניים, כי הם מתרבים מהצד. הם תופסים את הנקבה מאחד סנפירי הצד שלה, וכל איבר מין הולך לצד שצריך. הנקבות של הכרישים מוציאות ולד חי, בדרך כלל לא יותר מאחד. במקרים מאוד נדירים שניים, כי הצאצאים אוכלים אחד את השני ברחם של האם. כשהיא משריצה, היא חייבת להתרחק כמה שיותר מכל שאר הכרישים שהיא עלולה לפגוש בסביבה, כי הריח של הדם ושל הלידה עצמה עלול מאוד מאוד לסכן אותה. רוב הכרישים ניזונים מבעלי חיים חולים, פצועים וגוססים. אז הריח של הלידה עלול לגרום לתקיפה מצד כרישים אחרים באזור. אבל מנגד לזה יש גם כרישי חול. יש פה גם אחת נפלאה בבריכה, שהם הכרישים היחידים שמטילים ביצים. גם עטלפי הים וחתולי הים, שהם קרובי המשפחה של הכרישים, גם אצלם, הנה אחד מתחיל לעלות, אפשר לראות שיש גם להם שני איברי מין, בדיוק מאותה הסיבה כמו לכרישים, חייבים להגיע מהצד.





## 02 מבנים חברתיים – מונוגמיה בציפורים

[https://youtu.be/0f9U\\_0Qx6aw](https://youtu.be/0f9U_0Qx6aw)



לצורך סרטון זה, נגדיר מבנה חברתי כמצב בו פרטים שונים חיים ביחד מעבר להזדווגות עצמה. מבנה כזה קיים כמעט בכל העופות: ביונקים רבים, בחלק מהדגים, וכמובן בחרקים חברתיים, והוא נדיר ברוב הקבוצות האחרות. המבנה וההתנהגות החברתיים של בעלי חיים משמשים לצורכי רבייה, להגנה מפני טריפה, ובמידה פחותה יותר להשגת מזון. אנחנו נתמקד כמובן בהיבט הרבייתי של המבנה, אבל נסקור ברקע את ההיבטים האחרים. המבנים החברתיים משרתים את אסטרטגיית הרבייה של שני הזוויגים. הם מושפעים מהתחרות בין זכרים לזכרים, בין נקבות לנקבות, ומהקונפליקט המובנה בין זכרים ונקבות. במינים רבים המבנה משרת גם טיפול

בצאצאים. חיי החברה של בעלי חיים הם אחד ההיבטים המרתקים והמגוונים ביותר. ממינים שונים שהדמיון בין הדנ"א שלהם הוא 99 אחוזים, יש לעיתים חיי חברה שונים בתכלית. הצורה הפשטנית ביותר לבחון את המבנים השונים היא ביחס הקיים בהם בין מספר הזכרים למספר הנקבות. רובינו חיים בחברה המבוססת על תא משפחתי של זכר אחד ונקבה אחת. מה שמכונה מונוגמיה. מבנה זה קיים בעיקר ביצורים בהם שני בני הזוג תורמים לטיפול בצאצאים. הקבוצה העיקרית בה מבנה זה נפוץ היא העופות. כדי לקנן, לדגור על הביצים ולטפל בגוזלים צריך בדרך כלל את שני ההורים. אנחנו נמצאים כאן בצמח, שלחוף הכנרת. יש כאן מושבות דגירה גדולות מאוד של ענפיות בקר, מגלנים



וקורמורנים. במינים אלה, כמו גם במינים אחרים של ציפורים, זוג, זכר ונקבה, מגדל את הגוזלים ביחד, כמו אנפיות בקר אלה כאן. דגירה רציפה על ביצים, שכמעט ואינה קיימת בבעלי חיים אחרים, מחייבת נוכחות של שני בני הזוג. שני בני זוג גם יעילים יותר בהשגת מזון והאכלה של יותר גוזלים יותר מהר. העובדה שדגם זוגי זה כה נפוץ ברוב הגדול של מיני הציפורים, מעיד על כך שזו ככל הנראה שותפות מוצלחת. עד לא מזמן נחשבו

הציפורים כמין מונוגמי מכל בחינה. אבל ברגע שהופיעו הבדיקות הגנטיות ובדקו את הגוזלים ואת ההורים, נתגלתה תמונה שונה לחלוטין. בכמעט כל מין שנבדק, נתגלה שהנקבות והזכרים מזדווגים לא רק זו עם זה, אלא גם עם פרטים אחרים. בחלק גדול מהקינים זכרים מטפלים בגוזלים שהם בחלקם לא צאצאים שלהם. דגם זה מכונה מונוגמיה חברתית. בייטמן טעה, נקבות בציפורים לא מסתפקות בזכר אחד, והעובדה שתופעה זו כה נפוצה מעידה שיש להן כנראה סיבות טובות. בין הסיבות האפשריות בציפורים היא גוון גנטי של הצאצאים והזדווגות עם זכרים יותר מוצלחים מאלה שיש לנקבות בקן. למרות שכאמור הרוב הגדול של הציפורים מגדלות את הגוזלים או האפרוחים בזוגות, מעניין לשמוע על יוצאים מן הכלל. בעופות אלה, הזכר מזדווג עם הנקבה, אבל מסיים בכך את תפקידו. בחלק ממינים אלה הזכרים מתרכזים בזירות רבייה, LEK באנגלית. הנקבות באות לזירות ובחרות את הזכר המוצא חן בעיניהן ומזדווגות איתו. משם הן ממשיכות לבנות קן להטיל בו ביצים, לדגור עליהן ולגדל את הגוזלים או האפרוחים שלהן לגמרי בגפן. אנחנו רואים כאן חוברה



אפריקאית מרשימה. הציפור הגדולה ביותר באפריקה המסוגלת לעוף. חוברה זו מתרבה בזירות רבייה. מה שמעניין בזירות היא שחלק קטן מהזכרים מצליחים להזדווג עם הרבה נקבות, בעוד שאחרים עם מעט או בכלל לא. לא ברור על סמך מה הבחירה מתבצעת. אולי לפי היופי של הזכר, כפי שלמדנו בסרטון על אבולוציה מינית. יתכן גם שנקבות רואות נקבות אחרות מזדווגות עם זכרים מסוימים ומחקות אותן, ומכאן הדרך לפופולריות קצרה. אין דבר מצליח כמו

הצלחה. לקוקיות, כמו קוקיית קלאס הזאת שראינו במלאווי, לא רק הזכרים אלא אפילו הנקבות לא מטפלות בצאצאים. הן מטילות את הביצים בקן של ציפורים אחרות, ואלו מטפלות בגוזלים שלהן מבלי ידיעתן. זו כמובן התנהגות טפילית. בסרטון משעשע זה שצולם על ידי ד"ר אשל אופיר, ניתן לראות קוקייה מצויצת צעירה, שכנראה גודלה על ידי עורבים אפורים. היא אומנם כבר ממש גדולה, אבל ממשיכה לדרוש אוכל מההורה המאמץ שלה. הוא לא כל כך מתייחס, ורק בא לטבול את הלחם שמצא במים. נסיים סקירה זו של רבייה וציפורים בתנשמות, עליהן יספר לנו ד"ר יואב מוטרן ממשרד החקלאות.

**ד"ר יואב מוטרן:** פרויקט הדברת מכרסמים בעזרת תנשמות הוא פרויקט שבעצם מתבסס על תנשמות בר, על ההבנה של הביולוגיה של התנשמת. אנחנו מכירים את הביולוגיה של הצייד שלה, אנחנו מכירים את העדפות המזון שלה. אנחנו מכירים את היתרונות שלה ובכך היא צדה את המכרסמים. אנחנו גם מכירים את החסרונות שלה, בזה שהיא לא בונה קן. למעשה היא, מה

שנקרא, מקננת חורים משנית. זה אומר שהיא מקננת בחורים גדולים שלא היא בונה. ואין הרבה כאלה במצאי. אנחנו מספקים לה את זה בצורת תיבות קינון, כמו שרואים בסרט. ובעצם בכך אנחנו מכוונים את הציד של התנשמות מהבר לצוד בשדות. אנחנו משתמשים בעוד כמה תכונות יפות שלהן, כמו למשל זה שיש להן הטלה. יש להן תכנון משפחתי לפי כמות המכרסמים שיש. בשנים שיש המון מכרסמים, הן מטילות תטולות הרבה יותר גדולות. בשנים שיש מעט מכרסמים, הן מטילות פחות ביצים. השנה ראינו שלושה גוזלים, שני גוזלים בכל תיבה, שזה מעט יחסית כי יש מעט מכרסמים בשדות. בשנים כמו לפני שנתיים, שהיו הרבה, היו עד 11 גוזלים. לא רק שהן מטילות לפי מספר הגוזלים שיש, גם יש להן תופעה שנקראת בקיעה אסינכרונית. מה זה אומר? שום ציפור לא מטילה את כל הביצים ביום אחד. כל יום-יומיים ביצה. מרבית ציפורי השיר או עופות שיש להם אפרוחים, מטילים את כל הביצים, מטילים, מטילים, מטילים, ורק אחרי שהאחרונה הוטלה, אז מתחילים לשבת ולדגור. בעצם אז מתחילה ההתפתחות העוברית בתוך הביצה. ואז גם כולם בוקעים ביחד. תסתכלו על אפרוחים של תרנגולת, כולם נראים כאילו בני אותו גיל. הם לא הוטלו באותו זמן. אצל תנשמת מה שהיא עושה, היא מטילה, דוגרת, מטילה, דוגרת, מטילה, דוגרת, מטילה, דוגרת, ובעצם ככה הראשון שהוטל הוא גם הראשון שיבקע, ובהפרש אדיר מ... כאילו, בדרך כלל כשהתטולה גדולה, כשהאחרון נולד, הראשון כבר שוקל יותר מההורים. כשהוא בוקע. וזה יוצר מצב שאם בדיעבד יש מחסור במזון, כי שוב, עשו איזשהו תכנון משפחתי מראש, איזה גודל תטולה לעשות. אם בדיעבד חסר מזון, ברור מי ישרוד ומי לא. הגדולים שורדים, הקטנים לא שורדים. אגב, הם הופכים לאוכל לאחיהם הגדולים. די מזעזע, אבל זה כנראה ככה בטבע. מה שעוד הם עושים, בשנים של שפע, זה ברגע שהגוזלים כבר מתחילים להסתדר לבד, האימא עוזבת את הקן. האימא היא היחידה שמטילה, היא היחידה שדוגרת, היא מאכילה את הצעירים כשהם קטנים. האבא כל הזמן מריץ אוכל. ברגע שהגוזלים יכולים להסתדר לבד ויש שפע גדול, האימא עוזבת את הקן,



מוצאת זכר אחר ומתחילה קן חדש. האבא נשאר להאכיל את הגוזלים. ובעצם ככה הם מצליחים להספיק שתיים, לפעמים שלוש תטולות במהלך עונה. לנו בתור אנשים שמחפשים הדברה ביולוגית של מכרסמים זה מצוין. כנראה שגם את התנשמות זה מספק. אגב, הדברה ביולוגית של מכרסמים, זה יצר מצב שבישראל מפזרים פחות מחצי מהרעל שפיזרו לפני הפרויקט הזה כנגד מכרסמים בשדות, שמבחינת מבט של משרד החקלאות או של סתם חובבי סביבה, זה פשוט יוצר פתרון שהוא פנטסטי לבעיה שהיא בעיה רצינית בחקלאות.

### 03 מבנים חברתיים ביונקים

<https://youtu.be/RyLg8NCbGZ8>

נעבור עכשיו ליונקים, בהם יש מגוון רחב יותר של מבנים חברתיים. מחקר שהתפרסם לאחרונה ניתח את המבנים השונים בלמעלה מ-2,500 מיני יונקים. מתוכם נמצא שכ-68 אחוזים חיים בגפם, 9 אחוזים הם מונוגמיים, ו-23 אחוזים חיים בקבוצות חברתיות. המחקר משער שברוב הקבוצות של היונקים, המצב הקדום היה של בעלי חיים שחיו בגפם ונפגשו רק לצורך הזדווגות. מצב שכאמור נכון בכשני שלישי מהיונקים.



למשל נמרים. שני הזוויגים מגנים על טריטוריות מפני הזוויג שלהם. נקבות בוחרות טריטוריות לפי מצאי הטרף ולפי מאורות בהן ניתן לגדל גורים. זכרים בוחרים טריטוריות לפי מצאי הנקבות. הטריטוריות

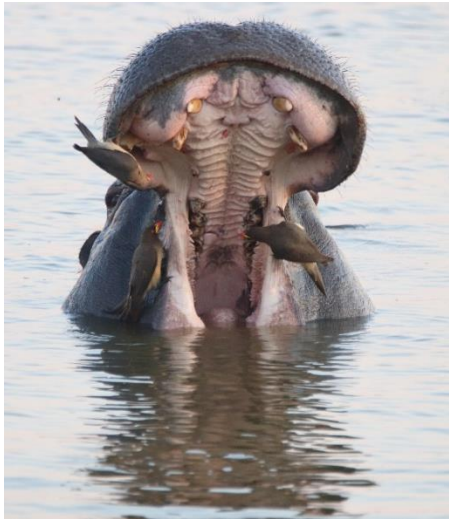
של זכרים לרוב גדולות יותר וחופפות טריטוריות של מספר נקבות. מחברי המאמר מציעים שמונוגמיה התפתחה במצבים בהם זכרים לא יכלו להגן יותר על יותר מנקבה אחת בטריטוריה שלה. דוגמה למצב מונוגמי כזה הוא הדיקדיק הזה, אנטילופה קטנה אשר חיה בזוגות בטריטוריה המשותפת. לכרבע מכלל מיני היונקים מבנה חברתי שיש בו מספר נקבות ו/או מספר זכרים. מבנים



חברתיים מורכבים אלה נפוצים במיוחד ביונקים הגדולים, בהם נעסוק עכשיו. נתחיל עם דגם שיש בו זכר אחד ומספר נקבות, הרמון. היפופוטמים הם אחד היונקים הגדולים ביותר. זכרים יכולים להגיע למשקל של 3 טון, ונקבות בערך טון וחצי. כדי ללמוד על היפופוטמים הגענו לכאן, לנהר הזמבזי, שהוא בין זימבבואה בצד ההוא וזמביה בצד הזה. אנחנו כאן בלודג' שקוראים לו Mvuu, שפירושו היפופוטם בשפת המקום. ואנחנו נשוט בסירה

כדי שנוכל לראות את היפופוטמים מהצד של הנהר, שזו הזווית הכי נכונה, כי הם כולם נמצאים בתוך המים כאן, ו/או שהם עולים על הגדות וקופצים למים. היפופוטמים נחשבים לבעלי החיים המסוכנים ביותר לאדם באפריקה. הם לא תוקפניים, אבל אם הם חוששים שדרכם למים נחסמת, הם יכולים להגיע למהירות 40 קמ"ש ולרמוס כל דבר בדרכם. האמת שזה קצת מוזר שהם מרגישים





כל כך לא בטוחים על היבשה, כי אין להם שם אויבים טבעיים. חוסר הביטחון שלהם הודגם כאן בצורה משעשעת למדי. כשהתקרבונו עם סירת המנוע שלנו לחוף עליו הם התחממו בשמש, הם מיהרו לקפוץ למים, למרות שמקור הסכנה לכאורה בא מכיוון המים. היפופוטמים ניזונים מעשב, אותו הם אוכלים בעיקר בלילה. לשם כך הם יוצאים מהמים. חוינו לילה מפחיד למדי באוגנדה, כאשר מסביב לאוכל שלנו התרוצצו היפופוטמים וקצרו את העשב. הם לא תוקפים אוהלים, אבל עדיין זה היה קצת מפחיד. כאן אפשר לראות אימא

וגור יוצאים, רועים עשב על החוף בלילה. הזכר הוא טריטוריאלי וקנאי ביותר. מה שאנחנו רואים כאן זה זכר המסמן את הטריטוריה שלו באמצעות התזת צואה שלו לכל עבר באמצעות הזנב הקטן והגוף שלו. כאן יש עוד דוגמה כזאת. גם הפיהוקים האלה נועדו להפגין עליונות. השיניים החדות האלה לא משמשות לאכילת עשב אלא ככלי נשק להגנה מפני טורפים, כגון תנינים וללחימה עם זכרים אחרים. קשה להאמין, אבל היפופוטמים לא יודעים לשחות. הם עומדים על הקרקעית. העיניים, האוזניים וגם הנחיריים, כולם נמצאים למעלה בראש, כך שההיפופוטם יכול לנשום, לראות ולשמע כשהוא שקוע כמעט לגמרי במים. השהות במים עוזרת להם לחסוך אנרגיה. מי ששוכב כל היום ולא עושה כלום משמין, למרות שהוא אוכל רק קצת עשב. בעוד שבבעלי חיים מונוגמיים, לרוב אין הבדלים גדולים בין זכרים לנקבות, לבעלי חיים החיים בהרמון יש לרוב דו צורתיות בולטת, והזכרים גדולים בהרבה מהנקבות. כמו בהיפופוטמים, בהם משקלם הוא לרוב כפול ממשקלן. נדלג עכשיו לקליפורניה, לפגוש כמה יונקים ימיים, בהם לזכרים הרמונות גדולים.

שלום. לקורס שלנו קוראים "סקס ממולקולות עד פילים". אנחנו באנו לפה לקליפורניה כדי לראות את פילי הים. יש פה מושבה. זו מושבה ייחודית. יש כמה מושבות כאלה לאורך החוף, מושבה גדולה של פילי ים. בעונה הזאת הם מחליפים את הפרווה שלהם, ואנחנו בעיקר רואים פה זכרים. אחר כך הזכרים האלה חוזרים לים, הם אוכלים במשך מספר חודשים. בחורף הם חוזרים לכאן. בחורף גם

הנקבות עולות לחוף. הנקבות ממליטות תינוקות בגודל של 30-40 קילו. זה 30-40 קילו האלה גדלים עד ל-100 קילו תוך חודש. הם יונקים חלב, חלב מאוד מאוד עשיר, משהו כמו 50 אחוז שומן. האימהות חוזרות לים והתינוקות צריכים להסתדר לבד לגמרי באופן עצמאי עם החברים שלהם. מהחברים שלהם הם לומדים איך לשחות, איך





לאכול, האם הם זכרים או נקבות, וכל הדברים האלה הם לומדים מהחברים שלהם, ואז הם עוברים לים, והם חיים בים במשך חודשים ארוכים. פילי הים חיים בהרמון של זכר אחד המגן על עד 25 נקבות, איתן הוא מזדווג מספר פעמים אחרי שהן ילדו. לזכר זה מסייע לעיתים זכר זוטר יותר, ושמדי פעם יש לו הזדמנות להזדווג גם כן. הנקבות מותשות בשלב זה מההמלטה, ההנקה ובעיקר מהצום של חודש על החוף. מסיבה זו ההיריון שלהן מושהה, והעובר מתחיל להתפתח ברחם שלהן רק אחרי שהן שבו לים, אכלו, התאוששו וחזרו למשקל סביר. ואז שוב הן עולות לחוף בחורף הבא וממליטות את הוולדות שלהן. אלו אריות ים קליפורניים שהתנחלו בפיר 39 בלב סן פרנציסקו. הזכרים משתלטים על טריטוריות והנקבות נודדות ביניהם ומזדווגות עם הזכרים לפי בחירתן. בדומה לזירות הרבייה, ה-LEK, שתיארנו במיני ציפורים מסוימים. מאחר וגם הלידה וגם ההזדווגות הן על החוף, הנקבות מתזמנות את שני האירועים על ידי היריון מושהה של מספר חודשים. אחרי הלידה האימהות נשארות כמה ימים על החוף ואז יוצאות לצוד בים וחוזרות לגורים כל כמה ימים. הגורים והאימהות מזיהם זה את זה לפי הקול שלהם. פה אנחנו רואים דובי ים, Fur seals, במושבה בחוף נמיביה. דובים אלה, הקרובים לאריות הים, ואורח החיים והרבייה שלהם דומה. הגענו לכאן בעונת ההמלטות ואפשר לראות כאן גור שזה עתה נולד והוא עוד מחובר לשלייה שלו. המין הימי האחרון, אותו אנחנו רואים כאן, שוב בקליפורניה, הם כלבי ים ממין פוקת המפרץ, Harbor seal. על הרבייה שלהם יודעים פחות כי הם מזדווגים בים, כלומר אין הרמונות ואין טריטוריות. ההמלטות הן על החוף וגם שלב החלפת הפרווה.



נחזור עכשיו לאפריקה. בסוואנה יש מינים רבים של פרסתנים, אוכלי עשב עם מגוון רחב של דגמים חברתיים. אנחנו נסקור כמה דוגמאות: אימפלות, וילדביסט וזברות. שני היבטים מרכזיים לדיון בשאלת המבנה החברתי הם היררכיה וטריטוריה. מרגע שבעלי חיים חיים

בקבוצה, מופיעה תופעה של קיום היררכיה, דירוג חברתי. המשמעות של היררכיה בין הזכרים משפיעה על הגישה שלהם לנקבות איתן הם יכולים להזדווג. בדרך כלל הזכר רק הבכיר או הזכרים הבכירים זוכים להתרבות. קיימת גם היררכיה בין נקבות, שתפקידה פחות ברור, ושברוב המקרים לא משפיעה על סיכויי ההתרבות. מאחר והנגישות של מזון ומים משתנה בצורה עונתית, אוכלי עשב רבים אינם טריטוריאליים, לפחות לא רוב ימות השנה. זאת לעומת טורפים כמו אריות ונמרים המחזיקים טריטוריה קבועה, שהיא לרוב גדולה למדי. אימפלות הן אחת האנטילופות המצליחות ביותר, וניתן לראות עדרים גדולים שלה בכל הפארקים ברחבי אפריקה הדרומית ומזרח אפריקה. האימפלות חיות בעדרים של נקבות ושל זכרים. במהלך עונת הרבייה הזכרים הבכירים ביותר משתלטים על טריטוריות. נקבות עוברות בהן ומזדווגות עם הזכרים. אחרי שעופרים זכרים מגיעים לבגרות, הם מגורשים מעדר הנקבות ומצטרפים לעדר של זכרים. בעדר הם עולים בהדרגה

בהיררכיה הנקבעת באמצעות קרבות קרניים, כפי שאנחנו רואים כאן. כאשר זכרים מגיעים למעמד הבכיר ביותר הם מוכנים להשתלט על טריטוריה, אשר תאפשר להם להזדווג עם נקבות. אחת הסיבות להצלחה הגדולה של האימפלות באפריקה הדרומית נובעת מכך שכל הנקבות ממליטות בחלון זמן קצרצר של מספר שבועות. לפתע יש שפע עצום של עופרים. אומנם רבים מהם נטרפים, אבל יש רבים ששורדים. הגנו, המכונה גם וילדביסט, הוא אחת האנטילופות הנפוצות ביותר. הנדידות הגדולות שלה במזרח אפריקה מפורסמות במיוחד. גם כאן לזכרים טריטוריות בעונת הייחום. בדרך כלל הווילדביסט נעים בעדרים גדולים המגנים עליהם מפני טריפה. זכרים המגנים על טריטוריה הם בודדים, ולכן פגיעים במיוחד לטורפים. אבל, מאחר ורק זכרים עם טריטוריות יזכו להזדווג עם נקבות, סיכון זה הכרחי כדי להתרבות. עונת הרבייה מסונכרנת כך שהעופרים ייולדו בעונה הגשומה, בה יש שפע של עשב ירוק. נסיים דיון זה בדגם רבייה נוסף, זה של הזברות היפהפיות האלה. הזברות חיות בעדרים גדולים המחולקים למשפחות של ארבע עד שש נקבות, השייכות כל אחת לזכר אחד במבנה דמוי הרמון. הזברות אינן טריטוריליות, ובמקום שטח הזכרים מגנים על הנקבות שלהם. כשסיחה מתייחמת פעם ראשונה בגיל 15 חודשים, הדבר מושך תשומת לב של זכרים מהסביבה. הם מנסים לחטוף אותה. חלק מהזכרים הם רווקים צעירים, שזו להם הסיחה הראשונה במשפחה, וחלקם מרחיבים את המשפחה שלהם. אחרי החטיפה הראשונה היא עלולה להיחטף עוד מספר פעמים, עד שהיא תהפוך לבסוף לחלק ממשפחה אחרת. אחרי שזה יקרה והיא תיכנס להיריון, היא תישאר במשפחה זו כל חייה. יתכן ולחטיפה אלימה זו תפקיד במניעת הזדווגות קרובים, כי לו הסיחה הייתה נשארת עם המשפחה, אביה היה עלול בשלב כלשהו להזדווג איתה. לסייח הזכר קשר ידידותי חזק עם אביו. אומנם בשלב כלשהו גם הוא עוזב את המשפחה ומצטרף לקבוצה של זכרים צעירים. זכרים נשארים בקבוצה זו עד השלב בו הם יכולים לחטוף לעצמם נקבות ולהקים משפחה. בין הנקבות במשפחה יש היררכיה ברורה, המתבססת בעיקר על סדר הצטרפותן למשפחה. הסיחה הראשונה שהזכר הצליח לחטוף כדי להקים משפחה תהיה הסיחה הבכירה ביותר. היא זאת שתוביל את הטור של הנקבות הצועדות תמיד לפי סדר ההיררכיה שלהן. הזכר הוא הפרט הבכיר ביותר, והוא צועד ליד הטור או מאחוריו, כדי להגן עליו. הבאתי את הסיפור המורכב הזה כדי להדגים עד כמה מבנה חברתי ויצירתו יכולים להיות מורכבים ומרתקים, דבר שקשה לדמיין כשרואים עדרים גדולים של זברות. נסיים כאן, למרות שיש עוד בעלי חיים רבים מעניינים עם מבנים חברתיים מרתקים.



## 04 קופים

<https://youtu.be/qL1pzNSDitA>



אנחנו נמצאים כאן באוגנדה, ביער קלינזו, שיש בו שימפנזים, ואנחנו נעקוב אחרי השימפנזים ונדבר על חיי המין וחיי החברה המעניינים שלהם. אז בואו עקבו אחריי לתוך היער. השימפנזים הם בעלי החיים הקרובים ביותר אלינו מבחינה אבולוציונית. הם ואנחנו התפצלו מאב קדמון משותף לפני כ-6 מיליון שנה. הקבוצה הזאת רגילה לבני אדם והנוכחות שלנו לא הטרידה אותה. הם יושבים כאן גבוה על העצים, ויכולנו לצפות בהם רק מלמטה.

השימפנזים חיים בקבוצות, שהזכרים בהם קבועים. נקבות צעירות המגיעות לבגרות מינית, לרוב עוברות לקבוצות אחרות. כפי שתראו, זהו מוטיב חוזר בקבוצות של קופים, בו אחד הזוויגים, לרוב הזכרים, אבל כאן אלו הן הנקבות, עוברות לקבוצות אחרות. המעבר מונע הזדווגות בין קרובי משפחה, דבר שיש לו השלכות גנטיות שליליות. לשימפנזים מבנים חברתיים מורכבים וגמישים כאחד. לרוב הנקבה המיוחמת מזדווגת עם מספר זכרים, ולכן כנראה לשימפנזים אשכים גדולים במיוחד, כי הזרע שלהם צריך להתחרות בזה של זכרים אחרים. מבנה חברתי של גורילות, אותן לצערנו לא ראינו, הוא הרמון של זכר אחד עם קבוצת נקבות. לזרע של זכר זה אין תחרות, ולכן הוא לא צריך לייצר כמויות גדולות, כמו זכרי השימפנזים, ואשכיו קטנים בהרבה. הרס יערות וציד מסכנים מאוד את הישרדות השימפנזים בטבע. ג'יין גודול החלה לחקור שימפנזים בשנות השישים, והממצאים שלה שינו לחלוטין את הצורה בה אנו מבינים בעלי חיים בכלל ושימפנזים בפרט. כשהיא גילתה לראשונה ששימפנזים משתמשים בכלים, במקרה שלה קיסם, כמו שאנחנו רואים כאן, כדי לדוג טרמיטים ולאכול אותם, לא האמינו לה, וטענו שרק בני האדם משתמשים בכלים. כיום מקובל שהשימפנזים וגם בעלי חיים רבים אחרים, כמו הדיונון הזה בתמונה, יוצרים ומשתמשים בכלים. בעוד שהאדם הוא ללא ספק הקוף המצליח ביותר, למקום השני מגיע לא אחר מהבבון. הבבונים עקפו בסיבוב את כל קופי האדם בעלי המוח הגדול מהם, שנדחקו לבתי גידול מצומצמים ושנמצאים בסכנת הכחדה חמורה. איך הם עשו את זה? הבבונים ירדו, כמו בני האדם, מהעצים ולמדו לחיות על הקרקע. החיים בסוואנה הם לא פיקניק. ליתר דיוק הם פיקניק לטורפים הגדולים, ואתה הכיבוד. לכן כדי לשרוד על הקרקע צריך ללמוד ולהסתגל. אבל אחרי שמסתגלים לשרוד בסוואנה, אפשר להתמודד עם כל אתגר. ואכן, הבבונים נפוצים ומצליחים מדרום אפריקה בדרום ועד גבול הסהרה בצפון, יותר מכל קוף אחר. אני חושב שזה מקום טוב לדבר על בבונים ועל חיי המשפחה שלהם, כמו



המשפחה הזאת שיושבת לנו על שולחן הפיקניק ולא נותנת לנו לאכול ארוחת צהריים. הבבונים אוכלים מגוון גדול של צמחים. כאן אפשר לראות אותם מחפשים מטעמים שלא עוכלו בגללים של פילים. לעיתים בבונים גם אוכלים בשר. אימפלות ובבונים נמצאים פעמים רבות ביחד, כמו כאן, כי האימפלות אוהבות לאכול פירות שהבבונים הפילו מהעצים. בנוסף, בסבך תמיד עדיף כמה שיותר עיניים ואוזניים כדי להבחין

בזמן בסכנות ולהזהיר מפניהן. בבונים לא דופקים חשבון כמעט לאף אחד. בנמיביה, כשפתחתי את המכונת, זינק אליה בבון גדול וגנב את דגני הבוקר של הבן שלי. באוגנדה נכנס בבון למושב הנהג וחטף את כלי הרחצה שלנו. רוב הטורפים מכבדים בבונים ומעדיפים לא להסתבך איתם, למרות שמדי פעם הם כן נטרפים. כאן זה היה נראה שהתנן הזה עלול לטרוף את אחד הבבונים, אבל זה לא קרה. בלילה הם ישנים ליתר ביטחון על עצים. כקופים בעלי ראיית צבעים מפותחת, כמונו, יש להם ראיית לילה חלשה יחסית. המפתח להצלחה של הבבונים הוא, בנוסף לניבים המפחידים שלהם, חיי חברה מפותחים ביותר. הם חיים בקבוצות יציבות של מספר עשרות פרטים. הנקבות הן המרכיב היציב ביותר בקבוצה, והן לרוב נשארות בקבוצה כל חייהן. לכל נקבה משפחה המורכבת מצאצאים שלה. בין הנקבות יש יחסים מורכבים של ידידות, כמו גם של דומיננטיות. יחסים אלה משפיעים גם על המשפחות של הנקבות ועל יחסי הגומלין ביניהן. זכרים, שנולדים בקבוצה, עוזבים אותה בשלב מסוים ומצטרפים לקבוצה אחרת. בקבוצה החדשה הזכר עולה לאיטו בהיררכיה. עלייה זו מתבססת על יצירת קשר חברות עם נקבות ועם המשפחות שלהן. כאן אנחנו רואים זכר צעיר כזה מתיידד עם נקבה והתינוק שלה. לאחר מכן הוא מפתח קשרים עם זכרים ועולה באמצעות קשרים אלה, כמו גם באמצעות קרבות, במעמד החברתי. הבנתם כבר שלבבונים מערכת חברתית מורכבת ביותר, ושכל בבון צריך ללמוד להכיר הרבה פרטים אחרים והרבה מאוד צורות התנהגות ותקשורת. לנקבת הבבון מחזור ביוץ של כשישה חודשים. כשנקבה מתקרבת לביוץ ומתייחמת, אזור הישבן שלה מתנפח ומשנה את צבעו לוורוד, כפי שאתם רואים כאן. ככל שהביוץ מתקרב, האזור מתנפח יותר והצבע מתחזק ונעשה אדום. בתחילת הייחום הנקבה ניגשת לזכרים צעירים ומשדלת אותם להזדווג איתה. בשיאו של הייחום, כשהסיכוי להפרייה הוא מרבי, הנקבה תזדווג עם אחד, שניים או אפילו כל הזכרים הבוגרים בזה אחר זה. ההיריון נמשך כשישה חודשים. העובדה שזכרים שונים בקבוצה מזדווגים עם הנקבות מגדיל את הגיוון הגנטי בקבוצה. בנוסף, הגירוש של הזכרים שנולדו בקבוצה מונע זיווג בין פרטים קרובים מבחינה גנטית. כשבבונים נולדים הם שחורים ויש להם פנים



ורודות. לא רק אנחנו, אלא גם הבבוני חושבים שזה חמוד, והם נמשכים מאוד לתינוקות שחורים. אחרי שהם נולדים, חברי קבוצה רבים באים לראות, לגעת ולשחק עם התינוק. לפעמים זכרים מאוימים חוטפים תינוק כזה מהאימא שלו, כחלק מתהליך התגוננות מפני זכר דומיננטי המאיים עליהם. ולרוב המגן הקופי הזה אכן עוזר להם לסיים את העימות. התינוקות מאבדים את הצבע השחור בגיל חצי שנה. הבבוני מבליים שעות ארוכות ביום בטיפוח הדדי, Grooming. לטיפולים אלה תפקיד חברתי חשוב, וכמובן הוא שומר על פרוותם נקייה ממזיקים. טיפוח הדדי קיים גם בקופים רבים אחרים וגם ביונקים אחרים, כגון אימפלות. משחק הוא אחד הפעילויות העיקריות של בבונים צעירים מעל ומעבר למה שאנחנו רואים ביונקים אחרים. משחק הוא דרך טובה לפיתוח כישורים חברתיים וגופניים, ואתם רואים שזה יכול להיות מאוד מאוד פרוע. בנוסף לבבוני פגשנו, בעיקר באוגנדה, לא מעט קופים אחרים. לקולובוסים השחורים האלה יש רק ארבע אצבעות, ואין להם אגודל. אולי בגלל זה הם נראים כל כך עגומים. הם חיים בקבוצות טריטוריאליות של מספר נקבות וזכר אחד, והם מאוימים על ידי ציד והרס בתי הגידול שלהם. מדי פעם גם השימפנזים צדים אותם ואוכלים אותם. קופי ה-L'Hoest's המקסימים האלה חיים על עצים בקבוצות קטנות של נקבות יחד עם זכר אחד. הם נדירים יחסית והתפוצה שלהם מוגבלת ליערות באוגנדה, בורונדי, רואנדה ומזרח קונגו. הגענו עכשיו לשמורת מפלי מרצ'יסון מנהר הנילוס הלבן באוגנדה. כאן נפגוש את קופי ה-patas. קופים אלה חיים בעיקר על הקרקע בקבוצות גדולות של עשרות נקבות. רוב ימות השנה בקבוצה רק זכר אחד, ובעונת הרבייה מצטרפים לקבוצה זכרים נוספים שחיים בדרך כלל בקבוצות רווקים או כבודדים. נפוצים במיוחד הם קופי ה-vervet השוברים האלה. הם מכונים גם קופים כחולים, בגלל האשכים הכחולים שהזכרים הדומיננטיים אוהבים להציג לראווה, כפי שאתם רואים כאן. גם הם חיים בקבוצות, בהן הנקבות הן הגורם היציב. בדרך כלל זכרים צעירים עוזבים את הקבוצה לפני עונת הרבייה, ביחד עם אח או חבר. אחרי העזיבה הקבוצה מקבלת ביתר סובלנות זכרים צעירים חדשים שרוצים להצטרף. לקופים האלה גם התנהגות הורית קבוצתית. נקבות צעירות שטרם הגיעו לבגרות מינית מטפלות בתינוקות. אפשר לסכם שיש דמיון רב בין המבנים החברתיים



של הקופים השונים. רובם כוללים מספר נקבות, ולרוב גם מספר זכרים. בתוך הקבוצות יש היררכיות מורכבות ויש מנגנונים המונעים או מצמצמים מאוד הזדווגות בין קרובים. הם מבוססים על היכולות הקוגניטיביות המפותחות של הקופים. מבנים חברתיים אלה שונים מהמבנים המוכרים לנו בחברות אנושיות, נושא עליו נרחיב בהמשך.



## 05 רבייה שיתופית

<https://youtu.be/v2WSiP3Kilw>



שלום, אנחנו עומדים כאן לפני המרכז לשימור זאב טלוא בזימבבואה, בהאונגה נשיונל פארק. הזאב הטלוא הוא חיה מאוד מאוד מעניינת. הוא חיה שחיה בקבוצות, קוראים לזה Pack או קבוצה, שיש להם בסביבות 15 פרטים. ובקבוצה הזאת יש למעשה רק זוג אחד שהוא זוג האלפא, הזוג שהוא זה

שמזדווג והוא זה שמביא צאצאים. יש שם זכר ונקבה. כל השאר משרתים למעשה ועוזרים לזוג הזה להתרבות. הם עוזרים לו להביא לו אוכל ושומרים על הצאצאים, עוזרים בציד. הציד שלהם מאוד מאוד אפקטיבי, הם מסוגלים לצוד חיות יחסית גדולות. הם הטורף עם יעילות הציד הכי גבוהה, 85 אחוז מניסיונות הציד שלהם מוצלחים בגלל שהם עובדים כקבוצה. כל קבוצה כזאת של זאב טלוא מורכבת מאחים זכרים, שכל הזכרים הם אחים וכל הנקבות הן אחיות, וכאשר בגיל מסוים האחים צריכים לעזוב את הקבוצה שלהם, הם עוזבים את הקבוצה כאחים ומחפשים קבוצה של נקבות שהן אחיות, ויוצרים ביחד קבוצה. מתוך הקבוצה הזאת רק לזוג אחד יהיו צאצאים. יש בקבוצה גם זכר בטא ונקבה בטא, אם משהו קורה לזכר אלפא או לנקבה אלפא, אז הזכר בטא או הנקבה בטא מחליפים אותם. יכולים להיוולד עד 13 גורים, אולי אפילו יותר, וכל הקבוצה צדה בשבילם. חלק נשארים לשמור על הגורים, האחרים הולכים לצוד. וכשהם צדים אז הם אוכלים את האוכל אבל הם לא לועסים אותו, הם בולעים אותו שלם. הם חוזרים לגורים, הם מקיאים את האוכל, כך שהגורים יכולים לאכול אותו וגם אלה שנשארו לשמור. הם בסכנת הכחדה בגלל ציד באמצעות תיל. יש הרבה חיות פה שהמקומיים צדים כדי לאכול אותם, והם משתמשים בתיל כדי לתפוס אותם, והזאב הטלוא נתפס בתיל הזה וגם מת. יש להם פה פרויקט מאוד מעניין בו שמים להם צווארון משוריין על הצוואר, שגם יש בו משדר רדיו, והצווארון הזה מגן עליהם באופן חלקי. כשהתיל נסגר על הצווארון, אז הוא יכול לקרוע אותו. בכל מקרה זה מגן עליו מפני חנק כי הצווארון הזה הוא משוריין. אחת הבעיות, כשאנחנו מדברים על שימור טבע באפריקה, זה שהרבה מאוד מסוכנויות השימור וארגוני השימור, כמו למשל כאן של הזאב הטלוא, זה ליצור מצב שבו למקומיים תהיה הכנסה חלופית. למשל על ידי הכנה של כל מיני עבודות, ואז הם יכולים למכור אותם לתיירים. ואז הם רואים שחיה שהיא חיה מביאה להם יותר

הכנסה מחיה מתה, כי חיה מתה אפשר לאכול פעם אחת, וחיה חיה, שהיא בחיים, תביא להם תיירים שנה אחר שנה. ובצורה כזאת על ידי חינוך ועל ידי יצירת מקורות הכנסה חלופיים אנחנו מקווים שהארגונים האלה יעזרו לשימור החיות.



באנו לכאן לשמורת שיזף, ליד חצבה בערבה, כדי לצפות בזנבנים. הציפור החברתית היחידה בישראל ואחת מבעלי החיים החברתיים שנחקרו בצורה היסודית ביותר. פרופ' אמוץ זהבי, שנפטר לאחרונה, עקב אחרי הזנבנים משך עשרות שנים, וביסס על תוצאות מחקריו את תיאוריית עיקרון ההכבדה המפורסם שלו. אנחנו נעקוב כאן

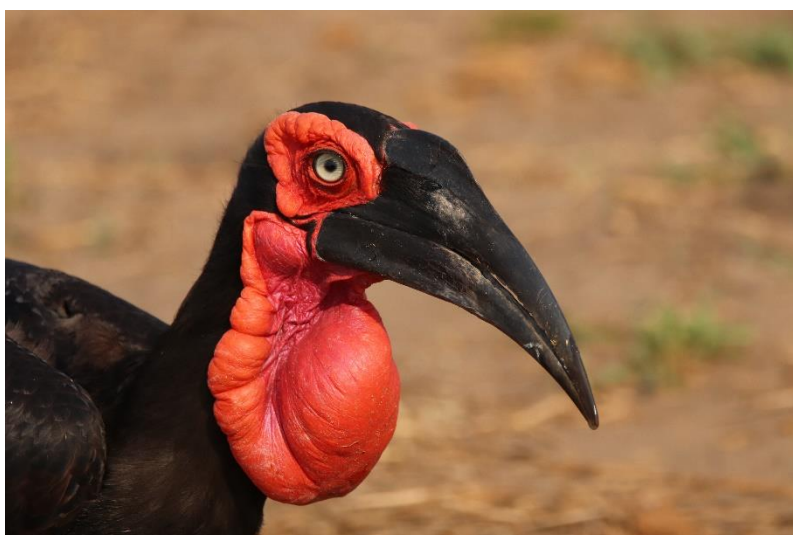
קצת אחרי הזנבנים, ונספר על צורת החיים המיוחדת שלהם. במחקר שעוסק בהתנהגות, חשוב לזהות את הפרטים. המחקר בזנבנים מתבסס על הסימון של כל אחד מהפרטים בטבעות צבעוניות על הרגליים שלהם. כפי שאתם רואים כאן. לכל פרט יש שם שהאותיות שלו מורכבות מהצבע. למשל לפרט הזה יש טבעת אדומה וכסופה על רגל ימין וסגולה וצהובה על רגל שמאל, ולכן השם שלו הוא יהיה ATPZ. ממאגר המידע שלנו אנחנו יודעים שזו נקבת האלפא של הלהקה הזאת. אחרי הסרטון ניתן לכם לתרגל את זה בעצמכם. מהמעקב אחרי הזנבנים השונים ניתן ללמוד את ההיררכיה ביניהם: מיהו זכר האלפא, מי השני במדרג וכן הלאה. אותו הדבר נכון לגבי נקבות. גם אצלן יש נקבת אלפא, שנייה, שלישית וכו'. מה שמייחד את הזנבנים היא העובדה שרק נקבת האלפא זוכה להטיל ביצים שמפורות בעיקר על ידי זכר האלפא, ולעיתים נדירות על ידי זכר הבטא. כלומר, יש לנו רק זוג אחד שמתרבה, בעוד שכל שאר הזנבנים בקבוצה מסייעים בהאכלה ובטיפול בצאצאים. הנה כאן למשל אנחנו רואים פרט שמצא זחל, ובמקום לאכול אותו הוא מביא אותו לקן שנמצא כאן בסבך. זאת למרות שהגוזלים הם לא שלו. ההיררכיה נקבעת תחילה על ידי התגוששות, אבל לאחר מכן היא נשמרת בקפדנות. עופות בכירים מבטאים את מעמדם הבכיר בין השאר על ידי תרומה מוגברת לקבוצה. למשל, הם שומרים יותר שעות, כמו הזנבן הזה שעומד כאן על העץ למעלה ומזהיר את חברי הקבוצה כשמתקרב דורס או טורף. כשהוא שורק, כל הזנבנים המחפשים מזון בשטח הפתוח ממהרים להסתתר בין ענפי העצים, בו הם מוגנים יותר. באפריקה יש מגוון של מינים הדוגרים בצורה שיתופית, ונכיר כמה מהם כאן. הפיזור של מינים אלה בין הקבוצות השונות של הציפורים מעיד שזאת התאמה שהתפתחה פעמים רבות במהלך האבולוציה, ושכנראה יש לה יתרונות בתנאים אקולוגיים מסוימים. זרזירי הבקר האלה חיים בשיתוף פעולה עם מגוון רחב של יונקים, מהם הם מסירים חרקים, טפילים וקרציות. גם זרזירים אלה מקננים בקבוצות של מספר פרטים, כשרק זוג



אחד מתוכם מטיל ביצים, וכל השאר מסייעים בבניית הקן וגידול הגוזלים. בשרקרקים לבני סנטר אלה, הצאצאים הבוגרים של הזוג הדוגר מסייעים בדגירה של הוריו. יש אפילו תצפיות בהן האימא מטרידה נקבות אחרות שמנסות ליצור

קשר עם אחד הבנים שלה, כי היא מעוניינת שהוא ימשיך ויסייע לה לטפל בגוזלים שלה. תופעות של רבייה שיתופית קיימות גם אצל הקלאו אדום הפנים הענק הזה. לזוג הדוגר יש לפחות שני עוזרים צעירים. כדי להיות מסוגלים לדגור צריך לצבור ניסיון של לפחות שש שנים כעוזרים.

הגוזלים ממשיכים להיות תלויים בהורים ובעוזרים שלהם במשך שנה או שנתיים. זוהי תקופת התלות הארוכה ביותר בעופות. עקב כך הקלאו דוגר רק כל שלוש שנים, ומכל דגירה יוצא רק צאצא אחד. גם ליענים דגם



דגירה שיתופית מעניין. לזכר אחד מספר נקבות. אחת היא הנקבה הראשית, והיא היחידה שדוגרת על הביצים. בנוסף יש עוד נקבות, וגם הן מטילות ביצים באותו הקן. הביצים של הנקבות המשניות הן



בדרך כלל בשוליים ויותר פגיעות. נדלג עכשיו לקבוצה אחרת בה יש רבייה שיתופית. חרקים חברתיים: טרמיטים, נמלים וחלק מהדבורים. אנחנו רואים כאן את מעוף הכלולות השנתי של נמלת הקציר הנפוצה בארץ. פעם

בשנה, אחרי הגשם הראשון, זכרים ונקבות מגדלים כנפיים ויוצאים במעוף כלולות מטורף. נקבות מזדווגות עם זכר אחד או יותר. חלק קטן מאוד מאותן נקבות תזכנה להקים קן ולהפוך למלכות. תאי הזרע, אותם הם קיבלו בהזדווגויות בודדות אלה במעוף הכלולות, ישמשו אותן כל חייהן, שיכול להגיע לעשרות שנים, בו הן מטילות כמויות עצומות של ביצים מדי יום. זו עובדה מדהימה כי תאי הזרע, ברוב היצורים, חיים רק שעות או ימים ספורים. כל שאר דיירי הקן הן בנות או בנים שלה. הנקבות בוקעות מביצים מופרות והן דיפלואידיות, בעוד שהזכרים בוקעים מביצים בלתי מופרות והם הפלואידים. דיירי קן אלה לא מתרבים אלא עוסקים בתחזוקה כפועלות ובהגנה כחיילות. כאן אנחנו רואים מבנה קן של נמלות קציר אלה. כדי ללמוד על דבורים נעבור עכשיו לפרופ' גיא בלוך מהאוניברסיטה העברית.



**פרופ' גיא בלוך:** רוב מיני הדבורים הן דבורים יחידאיות, זאת אומרת הנקבה מזדווגת עם זכר ובדרך כלל היא אפילו לא מטפלת בצאצאים. היא מטילה את הביצה על איזשהו מצע שמכיל את המזון, שזה יהיה אבקה תמיד, אבקה וצוף, והיא לא רואה אפילו את הצאצאים שלה כשהם מגיחים. לעומת זה, במינים חברתיים קיים טיפול מאוד מאוד מפותח בזחלים והמערכת היא מאוד מאוד שונה. במקרה של דבורת דבש, למרות שמושבה יכולה

לכלול עשרות אלפי ואפילו יותר מ-100,000 פרטים, יש רק אימא אחת, יש רק נקבה אחת שהיא הנקבה שמזדווגת והיא כמעט היחידה, במצב נורמלי לפחות, שמטילה ביצים, וזאת היא המלכה. כל הנקבות האחרות, כל עשרות אלפי הנקבות האחרות שישנן במושבה, אנחנו קוראים להן פועלות, והן בעצם נקבות שהן סטריליות, הן עקרות או לפחות הן לא יכולות להזדווג. וגם המלכה, חיי המין שלה הם די ייחודיים. חיי המין שלה מתחילים אומנם כשהיא יוצאת מהקן ברגע שהיא מגיעה לבגרות מינית, וזה מתחיל באורגיה סוערת כשהיא מזדווגת עם... מאמינים שבין 10 ל-20 זכרים ביום אחד, וזה נקרא מעוף כלולות שמתבצע באוויר. מזדווגים באוויר. והמלכה, אחרי שהיא מופרית, היא חוזרת לקן. ואם הקן צריך מלכה זה כבר קן שקיים, הם יקבלו אותה והיא עוברת מספר שינויים פיזיולוגיים ובעצם מהרגע שהיא חזרה למושבה והיא מתחילה להטיל ביצים, בעצם היא לא תזדווג יותר. ואז איך זה יכול להיות שהיא יכולה לחיות מספר שנים, היא יכולה להטיל עד 2,000 ביצים ביום לפי הספרות, ואיך היא יכולה לעשות את זה אחרי שהיא הזדווגה רק פעם אחת? והטריק הוא שיש להן איבר מיוחד, שנמצא ליד פתח המין שלהן, בין פתח המין שלהן לבין השחלות, שנקרא ספרמטקה. והמלכה בעצם יכולה לשלוט האם היא משחררת זרע שיפורה את הביצית או לא. נקודה מאוד מעניינת נוספת לגבי דבורים היא מערכת קביעת הזוויג שלהם. מה שקובע האם הדבורה תהיה דבורה זכר או דבורה נקבה. וזה נקבע על ידי מספר הכרומוזומים. ביצים לא מופרות מסוגלות להתפתח לדבורים, אבל אלה יהיו דבורים שהם הפלואידים, יש להם רק סט אחד של כרומוזומים והם יהיו זכרים. במצב



נורמלי הביצים המופרות מתפתחות לנקבות. בעונת האביב, המלכה תייצר הרבה מאוד זכרים כדי שהזכרים האלה ייצאו מהמושבה ויזדווגו עם נקבות מקינים אחרים.

**מיכאל ברנדייס:** אני נמצא כאן על גדות הזמבזי, ויושב על קן טרמיטים גדול. טרמיטים הם חיה מדהימה. אפילו אתם יכולים לראות את העץ הענק הזה. העץ הזה צמח מתוך זרע שהטרמיטים



שתלו בתוך התל שלהם לפני מן הסתם איזה 100 שנה. הם כבר מזמן לא גרים פה, אבל הם משאירים את הסימנים שלהם בכל רחבי אפריקה. טרמיטים אינם נמלים והם די רחוקים מהם מבחינה אבולוציונית. לטרמיטים מלך ומלכה. ובניגוד לנמלים, בהם המלכה מזדווגת רק פעם אחת, הזוג הטרמיטי המלכותי מזדווג כל כמה ימים. המלכה יכולה להגיע לגודל מפלצתי של עד 10 סנטימטר ולהגיע לגיל מופלג של עד 50 שנה, יותר מכל חרק אחר. כמו בנמלים, יש טרמיטים מעמדות. בנוסף למלך והמלכה יש פועלות וחיילות. חלק מהטרמיטים בונים את הקינים המשוכללים האלה, שיכולים, כפי שאתם רואים כאן, להגיע לגובה מטרים רבים. הם בנויים מחול מעורבב בהפרשות של טרמיטים, והוא קשה כמו בטון. יש להם מערכת אזורית מתוחכמת ששומרת בתוכו על טמפרטורות ממוזגות, למרות החום הרב בחוץ.

למי שמעונין ללמוד עוד על הזאבים הטלואים ועל העמותה הפועלת לשימורם מומלץ [לצפות בסרטון הנוגע ללב](#) בו ניתן לראות כיצד פעילות שימור משפיעה לחיוב על הקהילה ועל הילדים הכפריים ותורמת לטבע ולאדם כאחד באחת המדינות העניות ביותר באפריקה.

למי שמעונין ללמוד עוד על הזנבנים מומלץ לצפות בסרטו המעולה של ארנון דטנר [למה לעזור?](#)



## 06 עקרון ההכבדה – האמנם?

(טקסט)

בסרטון בו צפיתם זה עתה הצגנו רבייה שיתופית במגוון בעלי חיים. סוג זה של רבייה מגרה מזה זמן את סקרנותם של החוקרים המנסים להבין את היתרונות שלה. פרופ. [אמוץ זהבי](#) (1928-2017) שנפטר לאחרונה היה חוקר מעולה שתרום תרומה מכרעת לשמירת הטבע בארץ ולמחקר התנהגות בעלי חיים בכלל וזנבנים בפרט. זהבי שהיה מדען מקורי וכריזמטי הציע את [עקרון ההכבדה](#) שזכה לפרסום רב ושזוכה לפופולריות רבה בארץ והרבה פחות בעולם הרחב.

הבסיס של העיקרון הוא אמינות בתקשורת בין פרטים שונים, בין אם הם בני אותו המין ובין אם הם בני מינים שונים כמו טורף ונטרף. זהבי טען שכדי שתקשורת תהיה אמינה עליה להיות יקרה מבחינה אנרגטית כלומר עליה להכביד. אני לא אעסוק כאן בעקרון ההכבדה בהקשר של טורף ונטרף למרות שגם כאן לדעתי עיקרון זה אינו תקף, ואתמקד בזו של תקשורת בין פרטים בני אותו המין. פגשנו את העיקרון לראשונה בסרטון העוסק בביריה מינית נושא שהוא עדיין שנוי במחלוקת ורחוק מלהיות פתור. לפי עיקרון ההכבדה תכונות יפות ויקרות מתפתחות כדי להראות לבת (או בן) הזוג עד כמה אני מוצלח ומסוגל לשרוד למרות הזנב הארוך שלי או הקירקור שלי שגורם לעטלפים לאכול אותי. ניתן להסביר הופעת תכונות אלה בצורה פשוטה יותר כפי שהראנו באנימציה עם הטווסים. ברגע שמופיעה העדפה כלשהי ועוברת קו-אבולוציה עם תכונה – כלומר "משיכה ליופי" באחד הזוויגים ו"יופי" בשני די בכך כדי לגרום להעצמה של התכונה ואבולוציה שתגביר אותה. כדי שהתכונה תתפתח ותתגבר אין כל צורך שיהיה לה ערך מוסף כלשהו או שהיא תהווה אות למשהו נוסף. נכון קשה לקבל את זה שדברים קורים "סתם כך" ושאינן להם משמעות נסתרת אבל כך עובדת האבולוציה שכן די בכך שמנגנון כלשהו יגרום להצלחה רבייתית. זה לא אומר בהכרח שעיקרון ההכבדה בהקשר זה אינו נכון אלא רק שאינו חיוני להסבר של התופעה. בנוסף אין כל דרך לא להוכיח או להפריך את עיקרון ההכבדה בצורה ניסויית ו/או בדרך של מודל מתמטי מה שהופך אותו לבעייתי עוד יותר.

נעבור עכשיו לרבייה שיתופית ונתחיל עם הזנבנים. זהבי הסביר את התנהגותם האלטרואיסטית לכאורה כחלק מעיקרון ההכבדה. אני אציג כאן הסבר יותר סביר ומקובל ליתרון של רבייה שיתופית באמצעות עיקרון [ברירת שארים](#) ה kin selection שנוסח על ידי [ויליאם המילטון](#).

חשוב לזכור שבעיקרון **כל רבייה מינית היא שיתופית**. זכר ונקבה משתפים פעולה וכל אחד מהצאצאים שלהם מעביר רק 50% מהגנום של כל אחד מהם לכל צאצא. זה דרך אגב אחד המחירים הגבוהים של הרבייה המינית בהשוואה לרבייה לא מינית בה הפרט מעביר 100% מהגנום שלו לצאצאיו וראינו כבר שזה מקור לקונפליקטים רבים ברחבי עולם החי.

כאשר בעל חיים משקיע ומאפשר לאחיו לגדל צאצא הוא מעביר 25% מהגנום שלו לדור הבא. זה אמנם רק חצי מאשר לו הוא היה משקיע בצאצא שלו, אבל התשואה על ההשקעה היא מכפלה של מספר הצאצאים. למשל אם במקום להעמיד צאצא אחד לבד הפרט עוזר לאחיו להעמיד שלושה צאצאים הוא "הרוויח".

ההגדרה של אלטרואיזם, זולתנות בעברית, היא עזרה לזולת ללא תמורה. ברבייה שיתופית הפרטים של הקבוצה עוזרים לגדל גוזלים שיש להם מידה רבה של קירבה גנטית ולכן בהחלט יש תמורה להשקעתם. קל גם להסביר מדוע הפרטים הבכירים משקיעים יותר. הרי בסופו של דבר הגוזלים הם שלהם ולא של הפרטים האחרים. יש להם יותר "מניות" בקבוצה ולכן סביר שהם יעבדו יותר קשה. כמו שמצופה מהמנכ"ל לעבוד יותר קשה מאשר מעובד זוטר.

אפשר לחשוב על תסריטים שונים בהם סוג זה של רבייה יהיה מועיל יותר מאשר רבייה רגילה. אחד התסריטים היא תנאים קשים. כמו כאן במדבר. לו כל זוג של זבנבים היה מנסה לקנן במקביל יתכן שסך כל ההצלחה שלהם הייתה קטנה יותר מאשר ברבייה השיתופית. יתרון אפשרי נוסף הוא שרבייה שיתופית מאפשרת ויסות יותר מדויק של גודל האוכלוסיה כך שתתאים למשאבים בסביבה.

בזאבים הטלואים התועלת ברבייה שיתופית בולטת אולי עוד יותר. כל הזכרים בלהקה הם אחים וכל הנקבות הן אחיות. נקבות יכולות להמליט מספר גדול של גורים אבל לגדל אותם כבר דורש מאמץ קבוצתי כדי להאכיל אותם. קל להבין שמאחר ומדובר בטורפים קטנים יחסית לו הם היו חיים בזוגות או בגפם ההצלחה שלהם בטריפה היתה קטנה בהרבה.

בחרקים חברתיים יש מצבים שונים של קירבה. בחלק מהמינים זכרים בוקעים מביצים לא מופרות והדבר משפיע על יחסי הקירבה הגנטית בין הפועלות. אנחנו נמנע מלעסוק כאן בנושא מורכב זה אבל אתם מוזמנים לקרוא ולהרחיב באופן עצמאי.

חשוב לי לציין שכעוסקים בניתוח אבולוציוני קשה מאד להוכיח (או להפריך) הסברים. מה שכתבתי מייצג את דעתי (ולא רק אותה) אבל היא בוודאי אינה תורה מסיני וכל אחד מכם יכול להחזיק בדעה אחרת, כולל כמובן בזאת של עקרון ההכבדה.

## 07 פילים

<https://youtu.be/kzrzINJDLqE>



פילים הם נבונים ומפותחים מבחינה קוגניטיבית, יותר מכל יונק אחר. חוץ מאשר מקופים ואולי מדולפינים ומלווייתנים. לפילים תרבות חברתית מפותחת ויכולת תקשורת המזכירות מאוד תרבות אנושית. אחד ההיבטים המרתקים בקיום יכולות אלה היא שהאב הקדמון המשותף לנו ולהם

היה יונק פרימיטיבי שחי לפני מאה חמישים מיליון שנה. היכולות הקוגניטיביות בקופים ובפילים התפתחו, אם כך, במקביל ובאופן עצמאי, והם דוגמה לאבולוציה מתכנסת. אבולוציה מתכנסת היא תופעה בה תכונות או איברים דומים התפתחו באופן בלתי תלוי. למשל העין של התמנון והעין של חולייתנים דומה מאוד, אבל התפתחה בצורה עצמאית, שכן לאב הקדמון של תמנונים וחולייתנים אין עיניים כלל. הופעה של תכונות כה דומות בצורה עצמאית יכולה ללמד אותנו רבות על הצורה בה האבולוציה עובדת, ועל האילוצים והסיבות להופעת תכונות אלה. הדבר מרתק במיוחד כשאנחנו עוסקים בקוגניציה, מבנים חברתיים ותקשורת, שהן מהתכונות המפותחות והמורכבות ביותר שהופיעו על פני כדור הארץ. באנו לעת ערב למגדל התצפית "ביג טום", בשמורת הוונגה שבזימבבואה. ולמזלנו הגענו בדיוק בזמן כדי לראות קבוצה גדולה מאוד של פילות באות לשתות. פילים חיים במבנה של איחוי ופיצול, Fission-Fusion במספר רמות. זכרים בוגרים ונקבות חיים במבנים חברתיים נפרדים. רוב המחקר נעשה על קבוצות של נקבות, שהיחידה הבסיסית שלהן היא המשפחה הגרעינית המונהגת על ידי מטריארכית. במשפחה נקבות בוגרות הקשורות למנהיגה בקשרי משפחה. לרוב אחיות, בנות או נכדות שלה. מפילות ומפילים צעירים יותר. מספר הפרטים במשפחה נע בין שניים לעשרות אחדות. הנקבות נשארות לרוב במשפחה בה הן נולדו כל חייהן. זכרים, לעומת זאת, עוזבים את המשפחה כשהם מתבגרים. הכישורים החברתיים והזיכרון המפותח של פילים מאפשר להם להכיר בצורה אישית עשרות ואולי מאות פרטים שונים, וליצור קשרים חברתיים מורכבים לא רק בתוך המשפחה אלא גם בין משפחות שונות המתאגדות ונפרדות לסירוגין. לפי המספר הגדול כאן, נראה שמדובר במספר משפחות. ולפי האינטראקציות בין הפרטים, ברור

שכולן מכירות את כולן. אגד משפחה כזה יכול להיווצר למשל מהתפצלות של משפחה שגדלה.



ההיריון של הפילה אורך 22 חודשים, והוא הארוך ביותר בטבע. אחרי שהפילון נולד הוא ממשיך להיות תלוי באמו עוד שנים רבות. בשנתיים הראשונות עיקר התזונה של פילונים הוא חלב אם, והוא נגמל רק לקראת גיל שלוש. השקעת האנרגיה של האם בהנקה גדולה משמעותית מההשקעה שלה בהיריון. באחד הקטעים המרגשים ביותר שצילמנו אנחנו רואים כיצד פילה מעודדת עם החדק את הפילון שלה לחצות את הנחל. עד גיל שמונה פילים מבלים את מחצית מזמנם במרחק של מטר או פחות מבני משפחה אחרים, וכ-80 אחוזים מהזמן לא יותר מחמישה מטרים מהאימא שלהם. גם נקבות אחרות, סבתא, דודות או אחיות בוגרות ממלאות תפקיד חשוב בגידול הפילונים, ואפילו נותנות להם לינוק קצת כדי להרגיע אותם. בכלל, מגע פיזי וקירבה חשובים מאוד ומזכירים קצת את ההתנהגות של הקופים המטפלים זה בזה כל העת. פילות בדרך כלל ממליטות את הפילון הראשון שלהן בגיל 15, והן מסוגלות להמשיך להמליט כל ארבע עד חמש שנים לכל אורך חייהן. פילים חיים עד גיל 60 או 70, ותוחלת החיים שלהם נקבעת בעיקר על ידי השיניים. לפילים שישה סטים של שיניים המוחלפות בממוצע בכל עשור. אחרי השיניים האחרונות נשחקות והפיל כבר לא יכול לאכול יותר בצורה יעילה, הוא מת. זכרים צעירים עוזבים בהדרגה את משפחתם בין גיל 9 ל-18. הדבר חשוב כדי למנוע הזדווגות עם קרובי משפחה, דבר שפילים זכרים אכן נמנעים ממנו. עזיבה זו מזכירה מאוד את מה שקורה בבבונים ובקופים אחרים.

זכרים צעירים מצטרפים לרוב לקבוצה של זכרים המונהגת על ידי בוגר מנוסה ודומיננטי, אבל קבוצות אלה הן כנראה פחות מגובשות מהמשפחות של הנקבות, ואנחנו יודעים עליהם הרבה פחות. דוגמה מרתקת ליחסים בין זכרים בוגרים לצעירים ניתן למצוא בסיפור הבא. בשל ציד נותרו בשמורה מסוימת בדרום אפריקה רק זכרים צעירים. צעירים אלה גילו התנהגות תוקפנית כלפי קרנפים והרגו רבים מהם. התנהגות זו הייתה בגדר תעלומה, שכן פילים, כפי שאתם רואים כאן בשמורת אתושה בנמיביה, בדרך כלל לא תוקפים קרנפים. כאשר הביאו זכר מבוגר לשמורה, הרג הקרנפים פסק

באופן מידי. מסתבר שהפיל הבוגר חינוך את הצעירים והעביר להם מסר שפגיעה בקרנפים היא התנהגות בלתי הולמת. תצפית זו מעידה על הכישורים התקשורתיים של פילים, שמסוגלים להעביר מסר חברתי מורכב. יש גם דוגמאות רבות נוספות בהם פילים הצליחו להעביר מידע לפרטים אחרים. זכרים מתחילים אומנם לייצר זרע במהלך שנות העשרה שלהם, אבל הם עדיין קטנים בהרבה מזכרים מבוגרים, והמעמד החברתי שלהם נחות מכדי להזדווג. מאחר והם ממשיכים לגדול כל חייהם, בדרך כלל רק זכרים מבוגרים זוכים להזדווג. לכן, רוב הפילונים הם צאצאים של מספר מצומצם של הזכרים הדומיננטיים ביותר. נקבות מעדיפות להזדווג עם זכרים בוגרים. עצם הגעתם לגיל מבוגר מעידה על הגנים הטובים שלהם. הזדווגות פילים היא תהליך מורכב הדורש ניסיון ואיבר מין גדול, כפי שאתם רואים כאן. איבר מין של זכרים צעירים קצר יותר, ולכן הסיכויים להפרייה קטן יותר. הזכרים הבוגרים מאפשרים לצעירים להתבונן בהזדווגות וללמוד. נקבות בוגרות מאפשרות רק לפילים הדומיננטיים להזדווג איתן, אבל פילות צעירות מתקשות יותר להרחיק זכרים אחרים. בפילים זכרים קיימת תופעה המכונה Musth המאופיינת בעלייה של עשרות מונים בריכוז הורמון המין הזכרי, הטסטוסטרון. ניתן לזהות זכר שנמצא ב-Musth לפי ההפרשות מהבלוטות שמאחורי העין, ומדליפת השתן על הרגליים האחוריות, כפי שרואים כאן. זכרים אלה פעילים יותר מינית ומחפשים נקבות מיוחמות. הם גם תוקפניים יותר. בפילים צעירים תקופת ה-Musth מוגבלת למספר ימים במהלך השנה, אבל בהדרגה היא מתארכת ומגיעה בפילים בשיא אונם לשלושה, ארבעה חודשים בשנה במחזור שנתי מתוזמן.

תודעה, זיכרון מפותח ויכולות תקשורת חיוניים כדי להתקיים בבתי גידול לא אופטימליים. נסו לרגע לחשוב באלו תנאי אקלים היינו אנחנו שורדים בלי יכולות אלה. אנחנו כאן במדבר בנמיביה, אחד האזורים הצחיחים ביותר בעולם. מפתיע לגלות כאן פילים, הזקוקים כידוע להרבה צמחיה ומים. היכולת של פילים לחיות כאן נובעת מהידע הרב שהמטריארכית צברה ושמאפשר לה למצוא מים ומזון אפילו בשנים שחונות. פילים נודדים בהתאם לעונות השנה מרחקים גדולים. נדידות אלה מוגבלות היום בגלל גבולות של שמורות ושל מדינות. אנחנו כאן בשמורת צ'ובה שבבוטסואנה, המדינה הידידותית ביותר לבעלי חיים בכלל ולפילים בפרט. בזכות תנאים טובים אלה משגשגת אוכלוסיית הפילים במדינה, מה שמביא לעיתים לעימותים עם חקלאים. השמורה היא בגבול עם נמיביה, אותה אנחנו רואים כאן מעבר לנהר, ועם זימבבואה, בה ביקרנו גם כן. הגבולות בין מדינות אלה פתוחים לנדידה של פילים.

אני עומד כאן על עץ באובב בשמורת צ'ובה בבוטסואנה. עצי הבאובב הם עצים מאוד מאוד גדולים, כפי שאתם רואים, וכבר ב"נסיך הקטן" נאמר "היזהרו מעצי הבאובב כי הם יכולים לפוצץ כוכב קטן". אז הכוכב שלנו הוא לא כל כך קטן, הוא קצת יותר גדול, וגם אין שום סכנה שהבאובבים יפוצצו אותו. אולי אנחנו, בני האדם, עלולים לפוצץ אותו. אז אחת המטרות שלנו בקורס היא להראות לכם כמה הכוכב שלנו יפה ומעניין, ושלא כדאי לנו לפוצץ אותו. מה שאני מחזיק כאן זה קליפה של עץ הבאובב, שהפילים גילפו מפה לפני לא כל כך הרבה זמן. העץ הזה, בניגוד לעצים אחרים, עמיד לפילים. הם יכולים לקלף אותו והעץ הזה, לא יקרה לו שום דבר. אתם רואים יש מלא מלא צלקות, אבל זה לא



מזיק. והם אוהבים ללעוס את הקליפה המתוקה והלחה שלו. אתם יכולים לראות כאן את הצלקות של העץ, חלקן ישנות אבל חלקן ממש טריות. אנחנו עוד מצאנו פה את החלקים האלה שנראה שהורידו אותם לפני כמה ימים, אולי כמה שבועות.



פילים הם מין מפתח מבחינה אקולוגית. הם אומנם לא טורפים וכמעט לא נטרפים, אבל ההשפעה שלהם על סביבתם היא מכרעת. פילים שוברים עצים ומונעים בכך את השתלטותם על הסוואנה. רוב היונקים הגדולים מותאמים יותר לסוואנה, וניזונים מהצמחייה העשבונית עליה מבוססת כל פירמידת המזון.

עצי מופאני, אותם הפילים כאן בצ'ובה אוכלים, הם בלתי אכילים עבור רוב המינים האחרים. אכן, כאשר פילים מרסנים את עצי המופאני ועצים אחרים, הם מאפשרים לצמחייה העשבונית ולכל מי שניזון מהם לשגשג. אני מחזיק כאן ביד גלל של פיל. הפיל אוכל המון, הוא צריך לאכול הרבה והעיכול שלו הוא יחסית לא טוב. בניגוד לרוב המינים שאנחנו רואים כאן מסביב, הוא לא מעלה גרה, ולכן האוכל שנכנס, יוצא פחות או יותר ב-50 אחוז מהצד האחורי שלו, ולכן הוא צריך לאכול הרבה. אבל הדבר הזה יכול לשמש להרבה יצורים אחרים. אנחנו כל הזמן רואים פה ציפורים מנקרות בזה, המון חיות יכולות לאכול מה שיש פה בפנים כי זה עדיין לא עבר עיכול. יש הרבה מאוד זרעים של עצים שעוברים את מערכת העיכול, ורק אז הם יכולים לנבט.

פילים אוהבים לשתות מים נקיים. לשם כך הם חופרים בשעת הצורך בורות אליהם מתנקזים מים דרך החול. בורות אלה שימושיים לחיות אחרות, וגם אנחנו השתמשנו בהם בשעת הצורך בספארי הליכה בשמורת קרוגר. פילים אוהבים מאוד מים ובוץ, ויכולים לבלות שעות במים. פילים שוחים מצוין. הם יכולים גם לצלול ולהיעזר בחדק שלהם כשנורקל. הם אוהבים מאוד להתפלש בבוץ, ולפעמים, כפי שאתם רואים כאן, זה פתח לצרות צרורות. צפינו במחזה הדרמטי הזה בשמורת קידפו באוגנדה. לצערנו היינו קצת רחוקים ולכן איכות הסרט לא מושלמת. פילון קטן שקע בבוץ ואימא שלו ניסתה שוב ושוב לחלץ אותו, וקראה לבסוף לעזרתה את כל המשפחה. למרבה השמחה החילוץ מצליח בכוחות משותפים. אחרי הבוץ צריכים להתגרד על עצים. שני הפילים האלה בחרו את עץ הגירוד הזה וחסמו את דרכנו שעה ארוכה. גם פודרה היא חלק חשוב משגרת הטיפול היומי. דרך אגב, זהו הפיל של הלוגו של הקורס. האיבר הייחודי ביותר של הפיל הוא כמובן החדק, המשמש לשתייה, להשפצה, להרמת משאות, לליטוף, לקילוף ענפים, להרחה וללחימה. מצד אחד זהו איבר חזק ושרירי מאין כמותו, ומצד שני פילים מסוגלים לעשות איתו פעולות עדינות להפליא. גם האוזניים

של הפיל מיוחדות ומשמשות בין השאר לוויסות חום הגוף, וגם כדי להביע מגוון רגשות. לפילים חוש ריח חד פי כמה וכמה של כלבים. אפשר לראות כאן פיל מרים את החדק שלו כדי להריח. הראייה של פילים חלשה יחסית, אבל יש להם תקשורת חזותית עשירה באמצעות תנועות גוף, אוזניים, חדק ועוד. אין לדעתי אף בעל חיים אחר בעל יכולות ביטוי חזותי כה מגוונות. השמיעה שלהם מצוינת והתקשורת הקולית ביניהם מרשימה, וכוללת אוצר צלילים עשיר מאוד. חלק מהקולות שלהם נמוכים מטווח התדרים של האוזן האנושית, והם משמשים לתקשורת למרחק קילומטרים רבים. לפילים כפות רגליים מיוחדות עליהן הם יכולים ללכת בשקט מבלי שאפשר לשמוע אותם. בדרך כלל שומעים פילים רק בגלל שהם מזיזים את הצמחייה. הרפתקה לילית שהייתה לנו בבוטסואנה מדגימה זאת היטב. חנינו בערב באתר קמפינג וראינו שמישהו מתקן את הברז. בלילה שמענו פתאום רעש של מים זורמים, וכשהצצנו בחשש מהאווהל שעל גג הרכב עמד מולנו פיל ענק שתלש את הברז, שזה עתה תוקן, ושתה ממנו לרוויה. כנראה שהפיל עושה את זה כל לילה, והפועלים שבים ומתקנים אותו כל יום. הפיל הלך כל כך בשקט שלא שמענו בכלל כשהוא סיים והסתלק. פילים הם החיה היחידה המהווה סכנה לאדם, גם כאשר הוא במכונת, וצריך ללמוד לכבד ולהיזהר ממנו. יש כללים ברורים כיצד ועד כמה להתקרב לפילים, והדבר תלוי במידה רבה בשמורה, ועד כמה הפילים רגילים לבני אדם ולמכונות. למשל, מה שאנחנו רואים כאן בעייתי למדי, כי פיל לחוץ הוא פיל מסוכן. וחוץ מזה, אסור להטריד חיות בר. ציד, אפילו מבוקר של פילים, שהם יצורים מפותחים מאוד מבחינה קוגניטיבית, משול בעינינו לרצח. עיקר הצייד נעשה בגלל החטים שלהם, וגרם להשמדה של כ-90 אחוזים מהפילים באפריקה והוריד את מספרם מכ-5 מיליונים לכ-400 אלף. ציד זה מכונן בעיקר נגד זכרים בוגרים, והוא פוגע אנושות בניסיון החיים של המין כולו. במקומות אחרים צדים פילים כדי לווסת את גודל האוכלוסייה שלהם. בעבר כשהפילים יכלו לנדוד, גודל האוכלוסייה ווסת לפי תנאי האקלים המשתנים ויכולת הנשיאה של בתי הגידול העצומים שעמדו לרשותם. היום, כשהתנועה שלהם מוגבלת, יש אזורים בהם מספרם גדל מאוד מעבר ליכולת הנשיאה של השטח. אחד הפתרונות לכך הוא העברה של פילים מאזורים צפופים לאזורים בהם הם



נכחדו, או שמספרם ירד מאוד בגלל ציד. אנחנו מקווים מאוד שבני האדם ישכילו לחלוק את כדור הארץ עם יצורים נבונים ומופלאים אלה.

## 08 חיזור בבני אדם - ביקור בתמול שלשום

<https://youtu.be/ipamLyMdTzI>

**מיכאל ברנדייס:** הרבינו לדבר ביחידה זו על חיזור זוגיות ברחבי עולם החי. ועכשיו הגענו לבני האדם. אנחנו יושבים כאן בבית הקפה הספרותי הקסום "תמול שלשום" בלב ירושלים, שהוא מקום מועדף למפגשים רומנטיים. הסופר דוד ארליך, שהקים את בית הקפה ומנהל אותו מזה 25 שנה, מארח אותנו ויספר לנו על התצפיות שלו בבני אדם. דוד, בבקשה.

**דוד ארליך:** המון המון אנשים באים לפה לבליינד דייטים. כל כך הרבה שהוצאנו על זה ספר שנקרא "ספר האהבות של תמול שלשום", שמספר סיפורים אמיתיים על זוגות אמיתיים עם תמונות שנפגשו כאן, שעברו פה



את סיפור ההיכרות שלהם. חלק מן הזוגות אלה זוגות שפה היו הצעות הנישואין שלהם. עכשיו, זו דרמה אמיתית. זו דרמה הולכת ונמשכת. זה קורה כל הזמן. אתמול פגשתי פה זוג, הם נראים ילדים אבל הם שש שנים נשואים. לא דתיים, אמריקאים. יש להם שתי בנות והם ישבו אתמול בביקור קצר בארץ, הם באו לשולחן שבו הם נפגשו לבליינד דייט הראשון שלהם. מרגש. מרגש. עכשיו, אתה לא להיות ציני על סיפורים כאלה. אתה לא יכול. אומנם עוד זוג ועוד זוג וזה, אבל כל אחד עם הסיפור שלו. ואנחנו נורא אוהבים את זה. תשמע, זו באמת זכות גדולה. אנשים בחרו דווקא במקום הזה. הוא משמעותי בהיסטוריה שלהם. עכשיו, למה אנשים נפגשים דווקא בבית קפה בבליינד דייט? מצד אחד זה די ברור, מצד שני הרבה פעמים יש לזה מסתורין סביב זה. ברור שיש את כל העניין של להיפגש בחלל קצת פחות מחייב. בוודאי שזה נכון אצל דתיים, למרות שיש פה מיליון בליינד דייטים גם של לא דתיים. ספציפית ל"תמול שלשום" יש את היתרון שמצד אחד אנחנו ממש במרכז העיר, מצד שני אנחנו כזה קצת חבויים מהעין. אז יש בדיוק את מה שאתה רוצה כשאתה בבליינד דייט. אתה לא רוצה שכל העולם יידע שאתה עכשיו בבליינד דייט. אתה לא רוצה שבדיוק בת הדודה... - האקסית שלך תעבור. -כן, בדיוק. אפרופו האקסית, נזכרתי שפעם בא לפה איזה זוג והסתובב, וקלטתי שיש סיפור וניגשתי. והתברר שהאישה לוקחת את בעלה לסיבוב האקסים שלה. הם נשואים כבר כמה שנים ויש ילדים, אבל איכשהו יצא, לא יודע איך הם הגיעו לזה, תודה, ש... את בסרט, עמליה. את חיה בסרט. באמת? -כן, את נכנסת לסרט. איזה בכיף. אגב, בספר האהבות שלנו שהוצאנו לפני כמה שנים עם הסיפורים המנצחים, יש גם טקסט שכתבה מלצרית שסיפרה איך נראה



בליינד דייט מהזווית של מלצרית. למשל, יש שאלה שזה מדע שלם בתורת המסעדה, מה מזמין זוג בבליינד דייט? אז בדרך כלל זוג בבליינד דייט לא מזמין אוכל. זה יכול להיות מאוד מביך כשאתה מתחיל, אתה יודע, עם החסה בין השניים וזה. אז זה בדרך כלל קולה וקפה, קפה ותה, תה ומיץ תפוזים. יש לנו בספר לפחות זוג אחד של שני מלצרים, מלצר ומלצרית, שעבדו פה. יש לנו כמובן גם זוג גיי. למרבה הצער, הספר יצא לפני עשר שנים, הם לא רצו להצטלם. אין פה את השם המלא. אני בטוח שאם זה היה היום, אז זה לא היה כל כך קשה להשיג, לשכנע זוג להצטלם בספר האהבות של "תמול שלשום". ואכן אנחנו מתחילים לתכנן את ספר האהבות, את ה... החלק השני. -המשך, את חלק ב', את ספר האהבות השני. הדור השני, כבר הילדים שלהם. -בדיוק. בלי ספק. אנחנו חוגגים עכשיו 25 שנה ל"תמול שלשום". זה מקום עם הרבה מאוד היסטוריה וידוע בזכות כל מיני דברים. הוא ידוע בזכות בליינד דייטים, זה דבר אחד. אבל הוא ידוע גם בזכות דברים אחרים. הוא ידוע, בין השאר, בזכות זה שהרבה מאוד סופרים ומשוררים, סופרות ומשוררות מאוד מאוד מפורסמים ומפורסמות מופיעים כאן כל השנים. יהודה עמיחי היה המשורר הראשון שהופיע כאן בפתיחה של "תמול שלשום" בשנת '94, והרבה בזכותו כולם צועדים בסך עד היום ושמחים להופיע כאן. אנחנו גם מסעדה לכל דבר עם תפריט שהלך והתרחב, העמיק ועלה במשך השנים. ובאמת זכינו שאחרי כל כך הרבה שנים אנחנו מקום שמעט ירושלמים לא מכירים או לא אוהבים חלילה.

**מיכאל ברנדייס:** מצוין. תודה רבה.

**דוד ארליך ז"ל נפטר ב 22.3.20. הוא היה אהוב על הרבה מאד אנשים וחסרונו ניכר מאד. יהי זכרו ברוך.**



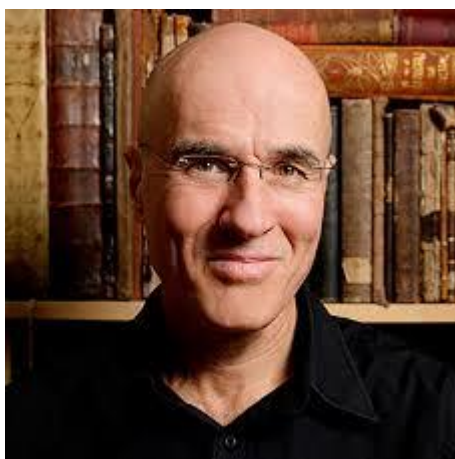




## 09 מה זאת אהבה – ראיון עם פרופ. יורם יובל

<https://youtu.be/ars6Z5XT0o8>

**מיכל רמות:** שלום לכולם. הצטרף אליי כאן פרופ' יורם יובל, שהוא מומחה לנוירוביולוגיה של רגשות. ואתם שלחתם לנו שאלות שיכולות לעניין אתכם בהקשר של אהבה בין בני אדם, ואני פה כדי לראיין ולשאל את כל מה שמעניין אתכם. אז שלום. -שלום. שלום. אז השאלה הראשונה שהסטודנטים רצו לדעת, והרבה מהם שאלו, זה על מונוגמיה. כי אנחנו דיברנו על זה בהקשר של מבנים חברתיים בבעלי חיים, והרבה רצו לדעת האם זה אפשרי גם אצלנו בבני אדם.



**פרופ. יורם יובל:** אני חושב שעל פניו זה נראה כמו ברירת המחדל. אם מסתכלים על מה שיש, אז כמעט בכל התרבויות שאנחנו מכירים, כולל תרבויות שהתפתחו בלי שום קשר ביניהם, עושה רושם שזה המבנה העיקרי. בנקודה הזאת בקורס אני משער שלא צריך להגיד לכם שהמבנה הזה הוא נדיר אצל יונקים. הוא שכיח באופן יחסי אצל ציפורים, ואצל יונקים זה די נדיר. אני חושב רק בסביבות 3 אחוזים מכל היונקים, אנחנו רואים אצלם משהו, מבנה חברתי שמזכיר את המונוגמיה. ועכשיו יש כל מיני

הסברים מדוע זה ככה. אבל אני רוצה פה לסייג את זה ולהגיד שזאת בעצם הבעיה שיש לי עם הסברים של פסיכולוגיה אבולוציונית. ההסברים שלנו מסבירים נהדר את מה שיש בפסיכולוגיה אבולוציונית. אנחנו מאוד מאוד טובים בלהסביר איך מה שקרה, כן? קרה היום, והמבנה הקלאסי של אישוש או הפרכה של היפותזות במדע, אני חושב שהוא פחות חל על התחום הזה מטבע הדברים. אז זה יכול להיות סיפור יפה או ניחוש טוב. קשה מאוד להיות בטוחים. ההסבר הדומיננטי של זה הוא שכל כך קשה לגדל תינוק אנושי אחד עד לבגרות, שזאת משימה שהיא מעל לכוחותיו של אדם אחד, גם אם הוא משוכלל ומלא כוונות טובות כמו אימא. אז שצריך עזר כנגדה, דווקא לא עזר כנגדו, ושכך יתפתח המבנה הזה. אינני יודע אם זה נכון או לא נכון, אבל זה כן נכון שעושה רושם שזה המבנה הדומיננטי של בני אדם, כן. עושה רושם, עד כמה שאפשר לנו לשער אחורה, שאנחנו כנראה התפתחנו ככה הרבה מאוד זמן. כמה הרבה מאוד? עשרות אלפי שנים לפחות. אוקיי.

**מיכל רמות:** השאלה הבאה שהסטודנטים שלנו רצו לדעת, האם משיכה מינית זה משהו שהוא תלוי גנטיקה? או שזה לא קשור. זה תלוי תרבות?

**פרופ. יורם יובל:** - לא, מה איתכם? מה זה? זה נמצא תחת בקרה גנטית חזקה שעברה ברירה טבעית ממושכת. פה אין בכלל שאלה. אם אבולוציה יכולה להסביר משהו, כן? אז היא יכולה להסביר את הדברים האלה. והאסטרטגיות של חיזור הן אסטרטגיות שעוברות סלקציה גנטית מאוד מאוד חזקה, כי מי שמצליח מתרבה, מי שלא מצליח לא מתרבה. וכן, בטח, אנחנו יודעים גם על הרמה

הביולוגית וההורמונלית. אנחנו גם מכירים חלק גדול מהמערכות שעושות את זה גם בצורה דומה בגברים ונשים וגם בצורה שונה בגברים ונשים. וכל הדברים האלה הם דברים שאנחנו רואים הומולוגים בבעלי חיים, החל מההורמונים שהם מאוד מאוד דומים סטרוקטורלית, וכלה בנתיבים מוחיים שהם מאוד מאוד שמורים. זאת אומרת החלקים האלה של המוח שלנו, החלקים שמקדדים את הנטיות המיניות הבסיסיות ואת האסטרטגיות הבסיסיות ואת ההעדפות הבסיסיות שלנו מבחינה מינית הם אזורים יחסית מוקדמים במוח. אז אנחנו מוצאים להם הומולוגים גם ביונקים אחרים. כן, בהחלט.

**מיכל רמות:** עכשיו שאלה נוספת, זה באותו הקשר, האם מושא האהבה הרומנטית זה משהו שהוא תלוי תרבות?

**פרופ. יורם יובל:** זה יותר גמיש באופן כללי. זאת אומרת, פרויד אמר את זה מאוד מאוד יפה. הוא אמר: הדחף הוא קבוע, האובייקט הוא גמיש ומשתנה. וזה חלק מהמורכבות או זה חלק מהצ'ופר שאנחנו קיבלנו בתור בני אדם על היכולות הקוגניטיביות הרחבות שלנו. כי השאלה את מי אתה תאהב, כן? היא כנראה הרבה יותר גמישה מאשר השאלה איך אתה תאהב אותו, שאלה דברים שהם יותר טבועים אצלנו. ופה בהחלט יש ניסיונות ילדות, תרבות, מוסכמות, הרגלים, הדברים האלה.

**מיכל רמות:** שאלה נוספת היא האם האהבה יכולה להימשך לכל החיים?

**פרופ. יורם יובל:** האם האהבה יכולה להימשך לכל החיים? יש אהבות שכמעט תמיד נמשכות לכל החיים. והקלאסי זה אהבה לילדים, כן? זה חזק, יושב, לא הולך לשום מקום. בוודאי שכן. אנחנו יודעים חברויות. אני חושב שכשאנשים שואלים את השאלה הזאת, בדרך כלל שואלים על אהבה רומנטית. פסיכואנליטיקאי חכם בשם מיטשל שאל את השאלה הזאת. הוא כתב על זה אפילו ספר שנקרא Can love last? האם האהבה יכולה לשרוד? ונקודת המוצא שלו היא נקודת מוצא חשובה להסתכל עליה בהקשר הזה. הוא אמר משפט נהדר. הוא אמר: safety kills romance. הביטחון, תחושת הביטחון קוטלת את הרומנטיקה. וצריך להגיד שכולנו בתור בני אדם, או כמעט כולנו, יש לנו בעצם שני רצונות מאוד מאוד חזקים באהבה שהם סותרים אחד את השני, אוכלים אחד את השני. זאת אומרת, מצד אחד אנחנו רוצים להרגיש בטוחים, אנחנו רוצים להרגיש אהובים ונאהבים ושזה מובטח לנו ושתמיד יאהבו אותנו ושיישארו איתנו ושהכול ככה. ומצד שני רובינו רוצים להרגיש גיוון. התרגשות, פרפרים בבטן, התחלה חדשה וכו'. והדברים האלה, מסתבר, הם לא... זה נחמד אבל זה מנוגד. כן? והשאלה היא, בהינתן שזה ככה, זאת אומרת בהינתן שיהיה קשה מאוד כשאתה נשוי 60 שנה לאותו בן אדם, לשחזר את תחושת הפרפרים בבטן והדייט הראשון וכו', מה מחזיק את האהבה שלנו אז? אז על זה יש כל מיני תיאוריות פסיכו-ביולוגיות מתקופות יותר ומתקופות פחות, שאומרות איך זה קורה לפחות בתרבויות שלנו, בתרבות המערבית שבה אתה יכול לעסוק בזה. מעשית זה גם נכון בכל התרבויות. זאת אומרת, היום התרבויות הדומיננטיות, התרבויות ששולטות בעולם, יש בהם את הדפוס הזה של מונוגמיה, מקסימום מונוגמיה סדרתית, אבל זה הכלל. ואם אני צריך להכליל, אז אני אגיד שרואים שבהתחלה יש מרכיב מיני מאוד חזק, ומרכיב של החידוש וחוסר הוודאות.

והדברים האלה נוטים לדעוך עם הזמן. זה לא אומר שהם נעלמים. ואם הם נעלמים זאת קטסטרופה, זאת בעיה. אז נשארתי זוגיות שאין בה מיניות, וזה לא טוב בכל גיל. אבל האופי שלהם משתנה ואולי גם העוצמה שלהם משתנה. ובתנאים אידיאליים מה שיתפתח וימלא את המקום הזה או ימלא את החסר או ישנה את הגוון הכללי זאת תחושה של חברות. זאת תחושה של קירבה או חברות בין בני זוג. זאת אומרת שהם אוהבים וחברים טובים. וזה יכול להחזיק. זאת אומרת, מעבר לשיקולים שהם שיקולים שלא לשמע, כן? כמו אנחנו לא רוצים לעבור את התהליך הנורא של פרידה, מה נעשה עם הילדים וכו'. זאת אומרת, מעבר לשיקולים כאלה, אלא שיקולים מתוך הקשר, אני חושב שהרבה מאוד מה שמפצה אנשים על האובדן של הפרפרים בבטן שכל כך... כל כך אנחנו אוהבים להתאהב, כן? ומה שמפצה על האובדן של זה, זו בדרך כלל תחושה של קשר מעמיק עם אותו בן אדם שאתה מכיר אותו יותר טוב, אתה מכיר את השני. זה נהיה לא רק יותר בטוח, זה גם נהיה יותר עמוק, יותר מסועף. אבל צריך להגיד, את הפרפרים בדרך כלל מאבדים. וזאת הסיבה, אני חושב, אני כבר מדברים, זאת הסיבה העיקרית שבמיניות, בכל מיניות יש אלמנט של משחק ויש אלמנט של העמדת פנים, של נדמה לי. טוב, זה ראינו גם בבעלי חיים שונים. כן, אבל אצלנו, אבל לנו יש יותר מוח, אז אנחנו יכולים לשחק את המשחק הזה יותר. היכולת שלנו לפנטזיה היא כנראה יותר גדולה מאשר של החיות, אז אנחנו יכולים לקחת את זה לכל מיני מקומות מעניינים. אני אגיד שהשאלה האם זאת ברירת המחדל שלנו או לא היא שאלה שהיא לא סגורה, מפני שהמבנים החברתיים עד לא כל כך מזמן דבר ראשון היו לא זהים מבחינה... פעלו אחרת על שני המגדרים. ולמשל אחת האמונות התפלות שאפילו היו... עוד פעם, תיאוריות של פסיכולוגיה אבולוציונית אומרות שגברים מטבעם בוגדים יותר מנשים. היו כל מיני תיאוריות שזה משתלם לזכר להפיץ את זרעו ולנקבה... חרטא ברטא. איך אנחנו יודעים שזה חרטא ברטא? כי בכל מקום שבו נשים קיבלו זכות בחירה וקיבלו את היכולת להיות מחוץ לבית, כן? שיעורי הבגידות מתאזנים, כן? זה כנראה לא נכון. זו כנראה הייתה פונקציה של הזדמנות ולא משהו אחר. אז האם באמת אנחנו יכולים להישאר נאמנים לאותו בן אדם לאורך זמן גם במקום שבו אנחנו חופשיים לחלוטין? אין ספק שבני אדם מסוגלים לעשות את זה. זאת אומרת, אנחנו יודעים שיש, כולם מכירים כאלה זוגות. אני חושב שדווקא בתקופה הזאת, שכל כך קל לראות מה אתה מפספס והפחד מהחמצה הוא כל כך חזק ברשתות החברתיות וכל אחד, אנשים שקועים בלראות איך חיים האחרים או מה קורה אצלם. היכולת לשמור על קשרים לטווח ארוך, נראה שהיא הולכת להיות יותר ויותר קשה. יש נתון מדהים בארצות הברית, שמעל מחצית הזוגות שיש להם ילדים מתגרשים, ושנכון להיום 2019 רוב הילדים בארצות הברית גדלים במשפחה שהיא אחרת מאשר אבא ואימא וילדים. בדרך כלל אימא חד הורית, הורים גרושים וכו'. אבל מעל מחצית, הדבר שאנחנו התרגלנו ושבספרי הלימוד שלנו עדיין מופיע בתור המשפחה הגרעינית הקלאסית, אז נכון להיום בארצות הברית למשל הוא פחות מאשר 50 אחוז מהמקרים. ולאו דווקא בזוגות נשואים. גם זוגות שחיים ביחד, מן הסתם. זוגות שחיים ביחד נכנסים לקטגוריה של אבא, אימא וילדים. לא, אני מדבר על כל הדברים האחרים, של זוגות גרושים, ילדים עם משמורת משותפת, המון אימהות חד הוריות, מעט מאוד אבות חד הוריים, אבל יש גם כן. זוגות של

הומוסקסואליים ולסביות, של שני גברים או שתי נשים מגדלות יחד ילדים. כל הדברים האלה הם מעל 50 אחוז מסך הכול הילדים. לפחות לגבי הילדים של זוגות הומוסקסואליים ולסביות, שעל זה יש מחקרים ואני מכיר אותם, לא רק שזה נראה כאילו הילדים לא פחות מאושרים ולא פחות מוצלחים. זה אם כבר, זה נראה קצת יותר, כן? שהם יותר מוצלחים ויותר מאושרים. ולמי שזה מעניין אותו, הם גם לא יותר הומוסקסואליים ולסביות מאשר הממוצע בעולם. כנראה שזה בגלל שההורות הזאת היא הורות משובחת. זאת אומרת, זה בדרך כלל כשזוגות כאלה, אז בדרך כלל שני בני הזוג מבוגרים יותר, יש להם מוטיבציה אדירה, המעמד הסוציו-אקונומי שלהם יותר גבוה, ההשכלה שלהם יותר גבוהה. אומרים שאם אתה רוצה להשוות, אז אתה צריך להשוות לא לממוצע הארצי אלא להשוות לזוגות של גבר ואישה שנמצאים באותו סטטוס חברתי, שנמצאים באותה רמת השכלה, שנמצאים באותה רמת מוטיבציה. אבל כך או כך זה נראה שזה עובד בסדר. חד הוריות זה בעיה. ועל ילדים להורים גרושים, יש לנו נתונים על זה, ובסך הכול יש פגיעה. הדברים, פה בארץ חוקרת את זה פרופ' רחל לוי שיף מהמחלקה לפסיכולוגיה בבר אילן. שווה לדבר איתה על זה, אם לא דיברתם. אבל פה יש הרבה מאוד נתונים שמראים שזה לא כל כך טוב. אבל שורדים.

**מיכל רמות:** השאלה הבא היא שאלה מצוינת שסטודנט שלח לנו. יש הרי כמה סוגים של אהבה: יש אהבה הורית, אהבה של חברים, אוקיי? בני אותו מין, לא בהכרח... ויש אהבה רומנטית. האם במוח זה יושב על אותו מקום?

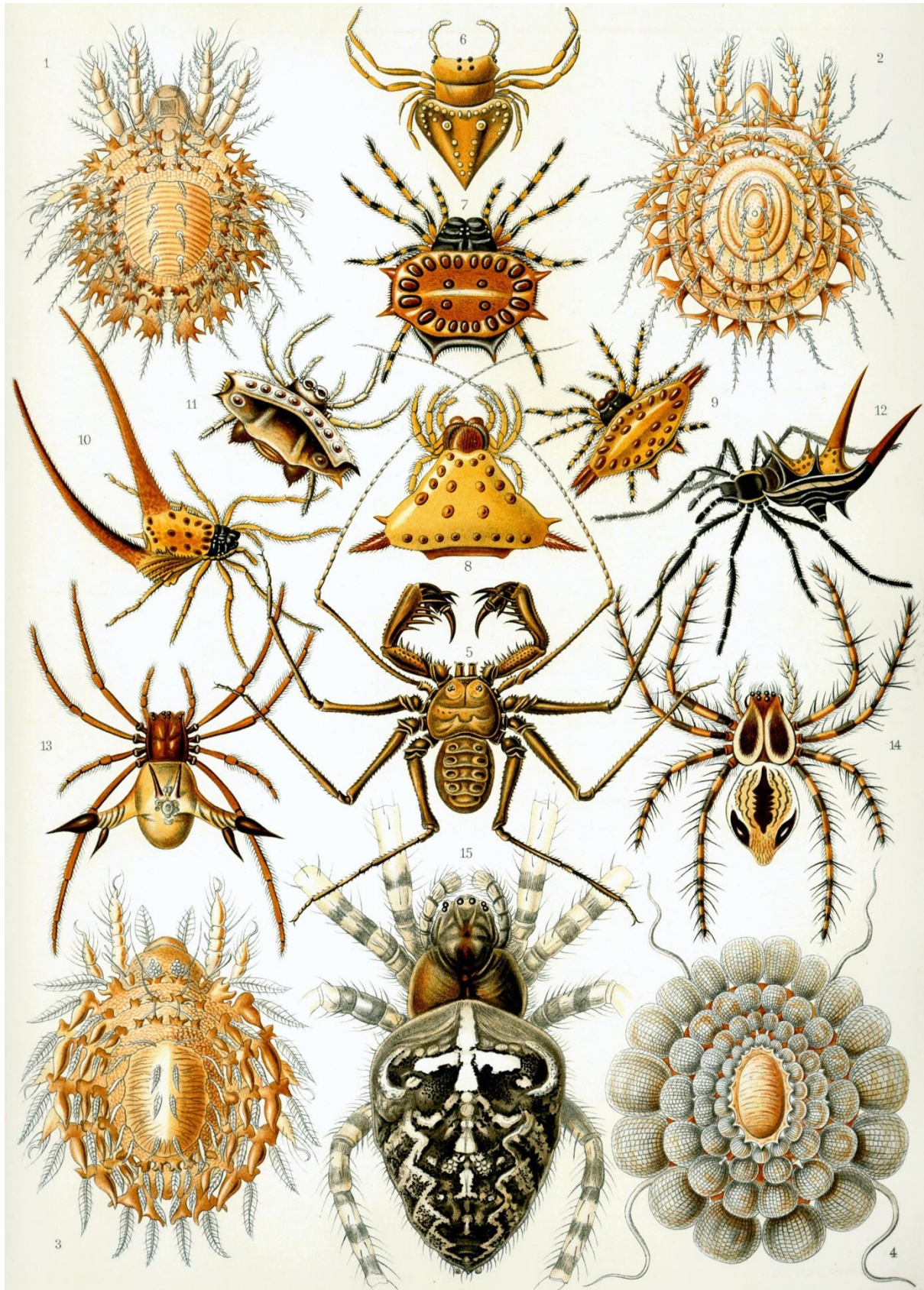
**פרופ. יורם יובל:** מה הופך שאלה טובה לשאלה מצוינת? זה כשאתה יודע את התשובה. בתחום הזה באמת ב-30, 40 השנים האחרונות הייתה התקדמות מאוד מאוד גדולה בהבנה של הקלידים של המנגינה הרגשית שלנו. הייתה בפסיכולוגיה שאלה האם יש דבר כזה בכלל רגשות בסיסיים? והיו אנשים שחשבו שלא. שבעצם כל מה שאנחנו קוראים לו רגשות זה תוצאה של שני משתנים רציפים כמו עוצמת העוררות והאם זה מרגיש טוב או לא טוב, ודברים כאלה. אז היום אין ספק שישנם רגשות בסיסיים ויש לנו מערכות מוחיות שמתווכות אותן, מפיקות אותן, שולטות עליהן. וגם קל מאוד לראות את הקשר בין המערכות האלה לבין שרידות שלנו כמין, ובעצם שלנו כמחלקה, כמחלקת היונקים. כי המנעד הזה של שבע מערכות הרגש הבסיסיות, ופה אני מצטט את המודל של איש בשם [יאק פאנקס](#), שהכרתי אותו ואהבתי אותו, הוא היה מנטור שלי, אחרי זה היה קולגה שלי, ונפטר לא מזמן. והוא בעצם ייסד את הענף הזה של Affective Neuroscience, של מדעי המוח של הרגש. והוא אפיין, זה לא רק מחקרים שלו, אבל. זאת הפרדיגמה השלטת היום, שבע מערכות מוחיות שהן לא עצמאיות לחלוטין. זאת אומרת הן כן משפיעות אחת על השנייה, אבל הן קיימות כל אחת כשלעצמה. הן יכולות להיות קיימות כל אחת כשלעצמה. ובין המערכות האלה יש שלוש, ארבע מערכות שהן רלוונטיות לנושא האהבה. מערכת אחת, שהיא המערכת הבסיסית, זו מערכת שהוא קרא לה SEEK או לשחר. שזאת, אם תרצי, זאת המערכת הבסיסית ביותר שהיא המנוע המוטיבציוני הלא ספציפי שלנו. זה גורם לנו לרצות דברים. כמעט כל דבר שאנחנו רוצים, אנחנו רוצים אותו דרך המערכת הזאת. כשאתה מרגיש צורך, כשאתה מרגיש רצון למשהו, זה הדבר הזה. יש מערכת שהוא קרא לה מערכת LUST, תשוקה או תאוה. והמערכת הזאת זה בעצם דומה

למה שהביהיוריסטים קראו לו מערכת תגמול. זאת מערכת שעושה לנו "נעימי". ובהקשר של מיניות היא מאוד מאוד חזקה, אבל לא רק. יש מערכת, ופה הייתה הפתעה. יש מערכת שנקראת מערכת CARE או nurturance, וזאת מערכת שגורמת לנו לוותר על טובתנו לטובת מישהו אחר. לטפח, לפנק, לשמור, להגן. וזאת כמובן קומפוננטה מאוד חזקה באהבה הורית. ומה שאנחנו רואים אצל בני אדם זה שהדבר הזה נרתם לעגלת האהבה הזוגית. זאת אומרת, כשדיברתי קודם על זה שמה שמפצה על התשוקה, שלפעמים האינטנסיביות שלה או לפעמים לרוב האינטנסיביות שלה פוחתת בקשרים ארוכי טווח, זה העובדה שהדבר הזה צומח. זאת אומרת, אתה אוהב את בן או בת הזוג, אתה רוצה לדאוג לו, אתה רוצה לשמור עליו, זה כשזה הולך טוב. אנחנו כמובן יכולים ליישם את זה גם במגוון הקשרים אחרים. אנשים לא צריכים להיות הורים בשביל זה ולא צריכים להיות בזוגיות בשביל זה. אנשים יכולים לאהוב בעלי חיים, אנשים יכולים לאהוב אידיאל, אנשים יכולים להתנדב ברופאים ללא גבולות. זאת אומרת, כל אחד יכול לעשות משהו אחר עם הדברים האלה, האובייקט משתנה. המערכת הרביעית והמאוד מאוד חשובה, מערכת שמוכרת מכל היונקים וכל הציפורים, זאת המערכת שפאנקספ קורא לה LOSS, שזאת המערכת שקשורה לחרדת נטישה. זאת אומרת, זאת המערכת שמופעלת אצל גורים כשהם מורחקים מדמות ההתקשרות שלהם. ודרך אגב זה נשמע אותו דבר אצל כל היונקים. כשזה קורה אז שומעים ככה (יללה ארוכה)... תינוקות עושים את זה, קופיפים עושים את זה, כלבלבים עושים את זה, חתלתולים עושים את זה. עגלים עושים את זה. כל היונקים עושים את זה. ומה שמאפיין אותנו בתור בני אדם, וזה גם כן אני משער משהו שעלה בקורס הזה, זה תופעה שנקראת נאוטניה. ונאוטניה זה השתמרות של תכונות צעירות אל תוך הבגרות. ואפשר לאפיין את המין האנושי, את ההומו ספיאנס בתור מין שאצלו הנאוטניה מאוד מאוד חזקה. זאת אומרת, יש לנו הרבה מאוד מאפיינים תינוקיים או גוריים שנשארו לבגרות. למשל, היחס בין גודל הגוף לגודל הראש, העובדה שאין לנו הרבה שערות. העובדה שהשובבות והמשחק והסקרנות שאנחנו רואים אצל גורים נשארו אצלנו לכל החיים. וכאן כדי להמחיש את זה, אז אפשר להשוות בין חתולים וכלבים. כי גורי חתולים, כמו גורי כלבים, כמו ילדים אנושיים הם סקרנים וזריזים וכל דבר מצחיק אותם ומעניין אותם והם אוהבים לשחק. חתול מבוגר, תזרוק לו כדור צמר, הוא יסתכל עליך ככה, כן? גם זאב מבוגר, כשתזרוק לו כדור הוא יסתכל עליך ככה. וכלבים הם גורים נצחיים. זאת אומרת בעצם כלבים במובן הזה הם זאבים שעברו נאוטניה. ואנחנו גם עברנו נאוטניה. והיכולת להתקשרויות רגשיות עמוקות שנמשכות כל החיים, שזה יש לגורים אבל אצל רוב היונקים בזה זה נגמר, זה אחרי זה יהיה לאימא, לגורים שלה, אבל בזה זה נגמר. זאת אומרת הקשרים החברתיים בין בני להקה הם לא כאלה. אצלנו היכולת הזאת נשארת כל החיים, וזה כנראה גם כן תורם ללכידות החברתית ולקשרים האמיצים שנוצרים. אז לסכם את הדבר הזה, יש לנו במוח לפחות ארבע מערכות מוחיות שכל אחת מהן קשורה לנוירוכימיה אחרת. זאת אומרת, אנחנו יודעים את המתווכים העצביים העיקריים בכל אחת מהן. כל אחת מהן, דרך אגב, שיוצאת משליטה קשורה להפרעות פסיכיאטריות. ולא רק זה, אלא שכמעט כל התרופות הפסיכיאטריות שיש לנו מגדילות או מקטינות את הפעולה של אחת או יותר מהמערכות האלה, וככה הן עובדות בעצם. אז יש לנו את



הקלידים האלה במוח, ובמובן הזה כולנו אותו דבר. וכל אחת מאיתנו מנגן או החיים מנגנים בו את המנגינה הפרטית שלו, כולל באהבה. **מיכל רמות**: תודה רבה. זה היה נפלא. אני בטוחה שהסטודנטים שלנו קיבלו מענה על השאלות המצוינות שלהם. נתראה בקורס. -תודה.

## יחידה 6 – התפתחות עוברית וטיפול הורי



## מבוא ליחידה 6 – התפתחות עוברית וטיפול הורי

<https://youtu.be/zlt4VWNRliw>

הפריית הביצית היא אחד השיאים של הרבייה המינית אבל היא רק שלב הכרחי אחד בדרך ארוכה: הביצית המופרית מתחילה להתחלק ולעבור תהליך התפתחותי מרתק, שבסופו נוצר פרט חדש. ברוב המקרים הפרט שנוצר בתהליך ההתפתחות העוברית צריך לעבור תהליכים רבים נוספים עד שהוא עצמו מגיע לבגרות מינית. תהליך שבמקרים רבים מעורבים בו ההורים שלו ואף פרטים נוספים. ביחידה זו ניגע על קצה המזלג בהיבטים השונים של ההתפתחות העוברית. נתחיל בביקור ביחידה להפרייה חוץ גופית בבית החולים שערי צדק בירושלים, ונלמד כיצד זוגות שלא הצליחו להגיע להפרייה בדרך הטבע, בכל זאת זוכים לילדים משלהם. בסרטון השני נדלג אחורה באבולוציה ונעקוב אחרי תהליכי ההפרייה וההתפתחות המוקדמת בקיפוד הים. אחת התובנות המרתקות של סרטון זה היא עד כמה דומים תהליכי ההתפתחות המוקדמת ביצורים שונים מאוד זה מזה, כמו קיפוד הים ובני אדם. בסרטון השלישי נשוב ונבקר במוזיאון הטבע בתל אביב כדי לראות שבעלי חיים בנויים מתת יחידות חוזרות, חלקן דומות זו לזו וחלקן שונות. באמצעות גיוון בצורה, בגודל היחסי ובמספר של יחידות אלה, נוצר מגוון כמעט אינסופי של צורות. שינויים אלה מתאפשרים באמצעות מערכת גנים המבקרים את בניית העובר ואשר גם הם שמורים מאוד במהלך האבולוציה. ביצורים מסוימים הבוגר מתקבל רק אחרי שעבר במספר שלבי ביניים. פרוקי רגליים למשל, הקבוצה הגדולה ביותר בעולם החי, עוברים מספר גלגולים במהלך ההתפתחות שלהם. בסרטון הרביעי אנחנו נלמד על הגלגול בקבוצות השונות של פרוקי הרגליים. קבוצה נוספת של בעלי חיים העוברים שינויים במהלך ההתפתחות שלהם הם דו-חיים. גידלנו ראשנים של אילנית ועקבנו אחרי ההתפתחות שלהם ונציג אותה כאן. מדו-חיים נדלג לסקור את ההתפתחות העוברית האנושית, אשר כמובן מעניינת אותנו ביותר. הרי בסופו של דבר, כולנו עברנו את אותה התפתחות לפני שנים ספורות. כל היצורים משקיעים בצאצאים שלהם את מירב המשאבים כדי להבטיח להם את היכולת להתרבות בעצמם בבוא העת. ברוב היצורים, ההשקעה מוגבלת למה שהאמא אורזת בביצה. אבל יש כמובן יצורים רבים מקבוצות שונות מאוד בהם ההורים ממשיכים לטפל בצאצאים אחרי שלב ההפרייה. נסיים יחידה זו לכן, בהיכרות עם ההיבטים השונים של הטיפול הורי.

## טקסטים ביחידה 6 – Evo Devo

ה **Evo-Devo** הוא תחום מחקר גדול העוסק בהתפתחות עוברית ושייך לפענח תהליכי יסוד מרתקים בשנים האחרונות. ביחידה זו נשלב, בנוסף לסרטונים, מספר **קטעים כתובים** שיעסקו על קצה המזלג בהיבטים שונים של התפתחות זו. קטעים אלה הם כמובן חלק אינטגרלי של חומר הלימוד וחיוניים כדי לפתור את התרגילים.

**הקטע הראשון** יבוא אחרי הסרטון על קיפודי ים ויתאר את שלבי ההתפתחות העוברית המוקדמת - את **הפרדת קו הנבט וקו הגוף** ואת **יצירת שלוש שכבות הנבט**.

**הקטע השני** יבוא לאחר הסרטון במוזיאון תל אביב ויתאר את הבסיס הגנטי של ההתפתחות העוברית באמצעות **חלבוני "ארגז הכלים"**.

**הקטע השלישי** יבוא לאחר הסרטון על הראשנים ויעקב בקצרה אחרי ארבעים השבועות של התפתחות **העובר האנושי**.

## 01 הפרייה חוץ גופית

<https://youtu.be/0iptpr7Gv3l>

כל התפתחות עוברית מתחילה באירוע חשוב, בהפרייה. נפתח, לכן, את היחידה שלנו בביקור במרפאה להפרייה חוץ גופית IVF במרכז הרפואי שערי צדק בירושלים. מרפאה זו היא אחת המרפאות המובילות בארץ ובעולם בתחום המרגש הזה. תחום המאפשר לזוגות, שבדרך הטבע לא מצליחים להביא ילדים, להפוך בכל זאת להורים. הליך ה-IVF פותח לקראת סוף שנות השבעים של המאה הקודמת, ומאז 1978 נולדו כ-5 מיליון תינוקות מבחנה. ביחידה הקודמת למדנו שיש הפרייה פנימית והפרייה חיצונית. הפרייה ביונקים היא תמיד פנימית, חוץ מאשר כאן בהפרייה החוץ גופית. הליך ההפרייה החוץ גופית מאפשר לנו, לכן, לחזות בפלא של הפרייה והשלבים הראשונים של ההתפתחות העוברית. אירועים שביצורים עם הפרייה פנימית, כמונו, נסתרים בדרך כלל מן העין. אז בוודאי יש לכם הרבה שאלות: מתי נזקקים להפרייה חוץ גופית? איך ההליך מבוצע בפועל? מה הסיכויים להיכנס להריון? אנחנו נפגוש כעת את ד"ר אושרת שונברגר, מנהלת המרפאה, והיא תענה לנו על הכל ותראה לנו איך התהליך מתבצע.

**מיכל רמות:** שלום ד"ר שונברגר. הייתי שמחה לשמוע ממך למה אנשים מגיעים להפרייה חוץ גופית?

**ד"ר שונברגר:** זוגות מגיעים ליחידות להפרייה חוץ גופית מכיוון שהם סובלים מחוסר פוריות, ולמעשה חוסר פוריות מוגדרת מחלה. והמשמעות שלה היא שהזוגות האלה ניסו בערך בתקופה של כשנה להרות, תוך כדי קיום יחסים לא מוגנים, ולא השיגו הריון.

**מיכאל ברנדייס:** יש סיבות נוספות שפונים ליחידה?

**ד"ר שונברגר:** הסיבות הנוספות קשורות למחלות והרצון לשמור על פוריות בעיקר. אם הזוגות סובלים מאיזושהי מחלה גנטית שהם לא רוצים להעביר אותה לילדים, לא רוצים ללדת ילדים חולים, או שנולד ילד חולה.

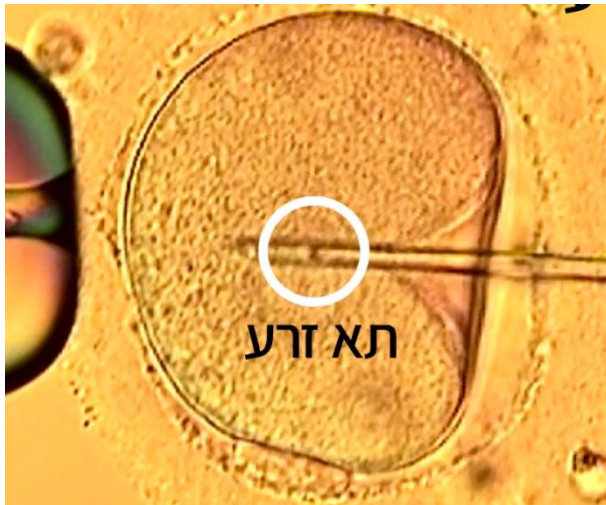
**מיכל רמות:** כיצד מתגברים על בעיית חוסר פוריות אצל ההורים, אצל הגבר ואצל האישה?

**ד"ר שונברגר:** התהליך בגדול מתחלק לכמה וכמה שלבים. מתחלק לטיפול בזוג והטיפול במעבדה. אני מדרך הטבע אפרט יותר על הטיפול במעבדה. אבל צריך לזכור שהזוג עובר אבחונים וטיפולים מסוגים שונים עד שהוא מגיע למעבדה להפרייה חוץ גופית. הזוג, יחד עם הרופא, מתכננים מחזור של הפרייה חוץ גופית. השראה של ביוץ, של גיוס של כמה שיותר ביציות. ובמועד מסוים שנקבע על ידי הרופא מתבצעת שאיבת ביציות. ומהרגע הזה אנחנו נכנסים לתמונה. התהליך כולל מספר שלבים רציפים אחד אחרי השני, שהמטרה העיקרית היא להפרות את הביציות, לטפל בהן עד ההפרייה, לאבחן את הפרייה, את שלב ההפרייה, ולעקוב ולתעד את השלבים של חלוקת הביצית ויצירת העובר. אנחנו גם נרצה שבאותה הזדמנות נוכל גם לשמר, בעיקר בהקפאה עוברים לשימוש עתידי של הזוגות האלה.



**מיכאל ברנדייס:** אתם מזריקים את הזרע לתוך הביצית, או אתם נותנים לו להפרות את הביצית בצורה טבעית?

**ד"ר שונברגר:** אנחנו מאוד שואפים לתת לטבע לעשות את שלו, והמשמעות של זה ומה שהיה קיים מאז ומתמיד מזה 40 שנה, מאז שנולדה ילדת ה-IVF הראשונה, לואיס בראון, זה להדגיר את הזרע עם הביצית. כמות מדודה של תאי זרע עם ביצית, ולתת לביצית לעשות את העבודה. זאת אומרת לבחור את הזרע שיפרה אותה. אבל מה לעשות שבשביל לקיים את התהליך הזה ואת השיטה הזאת אנחנו צריכים מינימום של ספירה של תאי זרע ותנועתיות, שבלעדיה זה לא יקרה. ולפעמים יש לנו את התנאים הנדרשים וזה לא קורה כי בסופו של דבר זו אינטראקציה בין תאים. אינטראקציה



מולקולרית שיכול להיות שהכול נראה תקין והכל בסדר, אבל היא לא קורית. אז במקרים אלה אין לנו ברירה אלא ליישם את השיטה השנייה של הפרייה חוץ גופית, השיטה שמאוד מקובלת בכל העולם, וזה איקסי, מיקרומניפולציה. החדרה של תא זרע לתוך ביצית. בעצם אנחנו עושים את כל העבודה. **מיכל רמות:** כיצד מבצעים בדיקות גנטיות לעובר לפני שמחדירים אותו בחזרה לרחם?

**ד"ר שונברגר:** אנחנו אחת מהמעבדות בארץ ובעולם שמבצעים אבחון גנטי ברמה של העובר. מה שנקרא (Pre-implantation Genetic Diagnosis) PGD. וגם אנחנו מבצעים סקירה גנטית, מה שנקרא (Preimplantation Genetic Screening) PGS. ה-PGD מתבצע במקרה שידועה מחלה, שההורים נשאים או שנולד ילד לא תקין. הפרוצדורה כוללת הוצאה של תא אחד או צבר של תאים מעובר. היא יכולה להתבצע גם על ביצית בהוצאה של Polar body. והתאים האלה נשלחים למעבדה לאבחון גנטי, בינתיים רוב העוברים שלנו ממשיכים לגדול אחרי הפרוצדורה באינקובטור, והם מוחזרים למחרת לאישה, במידה והם נמצאו תקינים. זאת אומרת, התשובה הגנטית מתקבלת כבר למחרת בבוקר.

**מיכל רמות:** מהו בעצם תהליך הקפאת ביציות ובשביל מה עושים אותו? האם יש לכם עוד תהליכים שאתם משתמשים באותה טכניקה של הקפאה?

**ד"ר שונברגר:** מדרך הטבע, היות שהזוגות עוברים פה תהליך מורכב, שהוא מורכב גם מבחינת הזמן שמוקדש לזה, גם מבחינת הפרוצדורות הרפואיות, גם מבחינה כספית, אז אנחנו שואפים במחזור טיפולי להשיג כמה שיותר עוברים. ואת העוברים הנותרים באיכות טובה אנחנו מקפואים לשימוש עתידי. הקפאת ביציות נעשית בדומה למטרות של שימור פוריות בעיקר ולמטרות של שימור פוריות לחולות אונקולוגיות, שיוכלו להשתמש בביציות שלהן בעתיד.

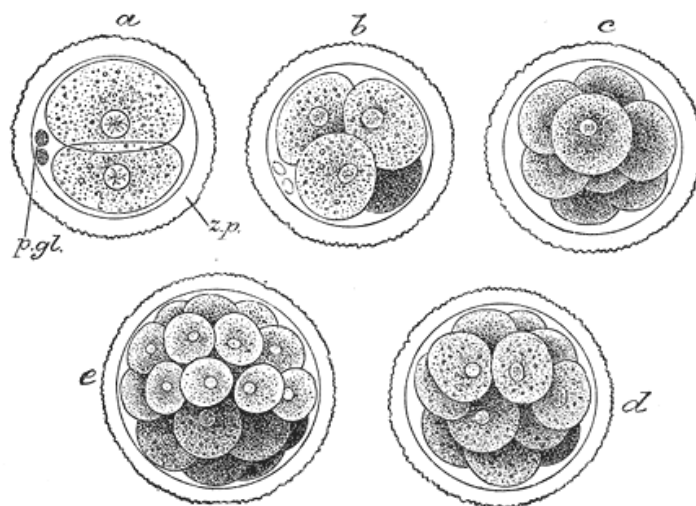
## 02 התפתחות עוברית מוקדמת

<https://youtu.be/B7magNDSg5I>

קיפודים משמשים מזה למעלה מ-100 שנה כחיית מודל לחקר התפתחות עוברית מוקדמת. יצורים אלה, כמו יצורים רבים החיים במים, מתרבים באמצעות הפרייה חיצונית. הן הנקבה והן הזכר מפרישים את תאי המין שלהם, ביציות ותאי זרע לים. תאי הזרע הקטנים הרבים והניידים מוצאים שם את הביציות ומפריים אותן. כדי לעקוב אחרי התהליך במעבדה מזריקים לקיפודים תמיסת אשלגן כלורי. בתגובה מטיילות הנקבות ביצים והזכרים מפרישים תאי זרע למים. את הביצים העברנו לצלוחית למעקב באמצעות מיקרוסקופ, והוספנו תאי זרע. אתם יכולים לראות כאן את תאי הזרע הזעירים סביב הביצית. בשלב מסוים אחד מתאי הזרע חודר לביצית, והחדירה מביאה לתגובה קורטיקלית מיידית של הביצית המונעת הפרייה נוספת. מדובר בתהליך קריטי יעיל ביותר ושומר מאוד באבולוציה, המונע הפרייה כפולה. פוליספרמיה. התגובה הקורטיקלית מתרחשת על ידי שחרור מאגרי סידן בתוך הביצית, מה שגורם לאלפי שלפוחיות להתאחות עם ממברנת הביצית. איחוי זה גורם לגידול משמעותי בשטח הממברנה ולהתרוממות שלה מפני הביצית. את הממברנה המורמת ניתן לראות היטב כאן בסרטון, והיא מהווה מחסום בפני חדירת תאי זרע נוספים. מייד אחרי ההפרייה, הביצית משלימה את המיזזה השנייה ומתחילה להתחלק. סרטון זה מורכב מתמונות שצילמנו כל שלוש דקות משך כעשר שעות. הסרטון מראה כיצד הביצית המופרית עוברת כשבעה מחזורי חלוקה מתא בודד למעל למאה תאים. השלב הראשון מכונה התלמה, כי נוצרים תלמים בביצית. בהמשך העובר הופך למורולה ולבלסטולה. הסרטון מסתיים כשהעובר בוקע מהמעטפת הראשונית שלו ובורח. בהמשך התאים עוברים התמיינות ונוצרות שכבות הנבט השונות. בסרטון הבא אנו עוקבים אחרי אותם השלבים בביצית אדם מופרית. הסרטון נעשה ביחידת ההפרייה החוץ גופית בשערי צדק בה ביקרנו. התהליך אורך פי עשר זמן. במקום עשר שעות, מאה שעות. אבל זה ההבדל היחיד הבולט לעין. אחרי שנוצרת הבלסטולה, היא בוקעת מהמעטפת. בניגוד כמובן למקרה של קיפודים, העובר עובר השרשה בדופן הרחם. בתמונה מסכמת זו שקיבלנו מד"ר סמדר בן טבו דה-לאון מאוניברסיטת חיפה, ניתן לראות השוואה בין התפתחות עוברית בקיפודים ובאדם. ניתן לראות שלמרות המרחק האבולוציוני הרב, כ-500 מיליון שנה, הדמיון בשלבים הראשונים רב.

## ההתפתחות העוברית המוקדמת (טקסט)

הפיכת ביצית מופרית ליצור מורכב היא תהליך מרתק של חלוקת תאים והתמיינותם לסוגי תאים שונים הבונים רקמות ואיברים. למדנו ביחידה 3 כיצד תא בודד מתחלק ומתרבה. כפי שראינו זה עתה הן אצל קיפודי ים והן אצל בני אדם תוצרי **החלוקות הראשונות הן צבר של תאים זהים**. בסרטון על הפרייה חוץ גופית ראינו שניתן להסיר תא כזה מעובר לצרכי בדיקה גנטית מבלי שהדבר יפגע בהתפתחותו.



אחרי מספר מחזורי חלוקה התאים בצבר מתחילים לעבור תהליכים של **התמיינות**. המשמעות הבסיסית של ההתפתחות המוקדמת היא יצירת **ציר וכיווניות** – **קדימה אחורה, למעלה למטה**. לאחר מכן על כל תא לדעת היכן בדיוק הוא נמצא ולעבור תהליכי התמיינות היחודיים למיקום שלו. בשלב בו העובר עובר השרשה ברחם (מה שקורה כמובן רק ביונקים בעלי שלייה) הוא כדורית המורכבת משכבה חיצונית אשר תיצור את השלייה ורקמות חיצוניות, ומקבוצת תאים פנימית אשר ממנה יוצר העובר עצמו. תאים אלה יוצרים דסקית שטוחה שתורכב בהדרגה משלוש שכבות הנבט. דסקית זו תעבור קיפולים מהם יוצר העובר. התהליך שמור מאד אבולוציונית ודומה מאד בכל בעלי החיים. אמנם אין השרשה ויצירת שלייה אבל הפרדה לתאים חיצוניים ופנימיים וקיפולים קיימת ברובם.

### שלוש שכבות הנבט

ברוב קבוצות בעלי החיים העובר מתפתח לשלוש **שכבות נבט**:

**ההשכבה החיצונית** - **האקטודרם** - מתפתחים בין השאר **העור ומערכת העצבים**.

**ההשכבה האמצעית** - **המזודרם** - מתפתחים בין השאר **השרירים ותאי הדם**.

**ההשכבה הפנימית** - **האנדודרם** - מתפתחים **האיברים הפנימיים** כגון **מערכת העיכול והנשימה**.

לבעלי חיים השייכים לקבוצות פרימיטיביות כגון מדוזות יש רק את השכבה החיצונית והפנימית.

[בסרטון הזה](#) ניתן לראות החל מדקה 1.00 את התהליך באדם כיצד נוצר העובר, כיצד נוצרות שלוש השכבות וכיצד הן מתקפלות ויוצרות את העובר. גם [סרטון זה](#) מדגים זאת היטב.

### קו הנבט וקו הגוף

אחד האירועים המוקדמים ביותר הוא הפרדה בין **קו הנבט** ממנו יתפתחו תאי המין של העובר לכשיגדל ויתפתח לבין **קו הגוף** ממנו מתפתחים תאי הגוף. הפרדה מוקדמת זו היא מהותית מאד שכן פרושה שאירועים המתרחשים בקו הגוף כגון מוטציות בדנ"א לא יעברו בתורשה לדורות הבאים. את המושגים של קו הנבט וקו הגוף ניסח [אוגוסט וייסמן](#) לפני כ-150. וייסמן היה מהביולוגים האבולוציוניים החשובים ביותר בכל הזמנים, טען שבעוד שקו הנבט יוצר את קו הגוף (של הדור הבא) אין מעבר של תכונות או השפעות מקו הגוף לקו הנבט. מחסום חד כיווני זה מכונה [מחסום וייסמן](#). המשמעות של הפרדה זו היא שהגוף הוא המיכל או הנשא המתכלה של תאי המין המייצגים למעשה **קו תאים "נצחי"**. התפקיד של הגוף הוא להגן על תאים אלה, להבטיח את התפתחותם התקינה ולדאוג בבוא העת **להפגיש אותם עם תאי מין של פרט אחר מהזוג השני**.

## 03 עקרונות ההתפתחות

<https://youtu.be/hyhL6cobzxc>

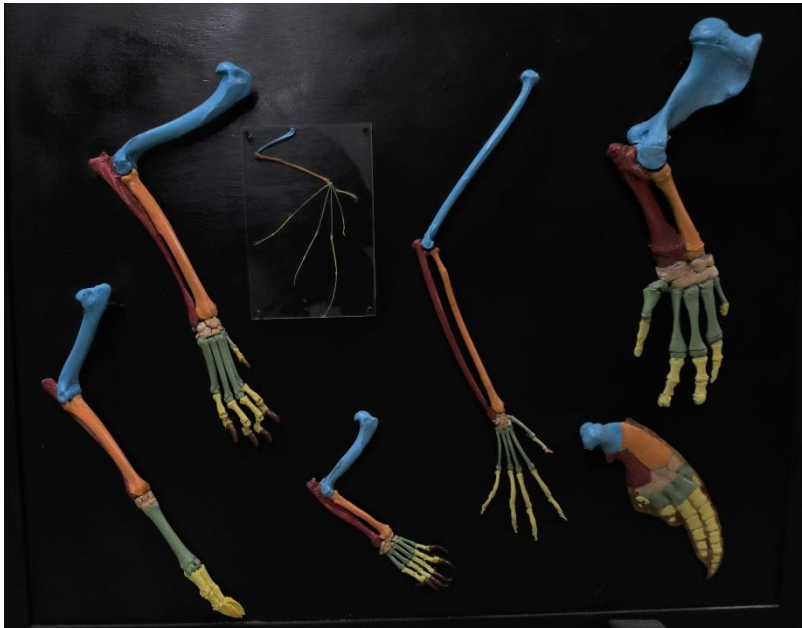
באולם הזה מוצג מגוון רחב של יצורים מקבוצות שונות של חולייתנים. כבר דיברנו על קבוצה זו רבות בקורס. הפעם אנחנו נתעכב לרגע על משמעות החוליות שנתנו לקבוצה הזו את שמה. פה מאחוריי בשלדים של היען והאורנגאוטן, אפשר לראות את החוליות האלה בצורה מאוד ברורה. הדבר הבולט



הוא שיש מספר חוליות שהן דומות אבל לא זהות, וגם חוליות שהן שונות יותר. גוף החולייתן מורכב, אם כך, מתת יחידות חוזרות. למשל ליען יש מספר חוליות צוואר בעלות צורה מסוימת. אם נלך אחורה לאורך הגוף, נראה חוליות שיוצאות מהן

צלעות. ובהמשך אנחנו נוכל לראות את חוליות הזנב ששוב נראות אחרת. מספר החוליות שונה בין בעלי החיים השונים, כמו גם גודלם וצורתם. למרות השוני הרב בין הפרקים השונים, ברור גם הדמיון ביניהם ושהם נוצרו מאותה תבנית בסיסית. נסייר כעת בין בעלי החיים השונים כאן בתערוכה ונראה עד כמה התופעה הזאת כללית. במבט מקרוב נמצא נקודות דמיון נוספות בין החיות השונות. בואו נבחן לרגע את הגפיים. גפיים הופיעו לראשונה לפני 375 מיליון שנה בדגים שחיו במים רדודים. מדגים אלה התפתחו דו חיים שיכלו לצאת מהמים וללכת על היבשה, ומהם כל שאר החולייתנים היבשתיים כמו זוחלים, עופות ויונקים. לגפיים יש עיצוב בסיסי שזוהה בכל החולייתנים בעלי הרגליים. כולן מורכבות מעצם אחת שמחוברת לגוף. אליה מחוברות שתי עצמות ואליהן הרבה עצמות. באדם עצם אחת מחוברת לגוף, אליה מחוברת במרפק ובברך שתי עצמות, ואליהן מתחברות הרבה עצמות של כף היד או כף הרגל. כבר למדנו שהאבולוציה אינה מתוכננת מראש אלא פועלת על פי רוב כטלאי על טלאי. אחת הדוגמאות הנפלאות לכך היא הדמיון בגפיים. תוכלו לראות שביונקים האצבעות דומות פחות או יותר, רק שכל אחת התארכה או התקצרה ועברה התאמות ייחודיות. אצל עטלפים עברו האצבעות התאמה למוטת הכנפיים. אצל חפרפרות התארכו האצבעות והתעקלו על מנת לאפשר חפירה. ואצל הלווייתן האצבעות התארכו ליצירת הסנפיר. אצל הקופים התפתח האגודל שמאפשר לפיתה. לכאורה מבנים שונים עם ייעודים שונים, אך תוכנית האב זהה בכולם: גפה עם חמש אצבעות. התופעה של יחידות חוזרות אינה מוגבלת לחולייתנים וקיימת בכל הקבוצות של הרב תאיים. עברנו עכשיו לאולם בו מוצגים פרוקי הרגליים, המערכה העשירה ביותר במינים מבין בעלי





החיים. גם כאן נתעכב על השם פרוקי רגליים. הם בנויים מפרקים. למעשה לא רק הרגליים שלהם אלא כל הגוף שלהם בנוי מפרקים. פרוקי הרגליים, החרקים, העכבישים, מרבה הרגליים והסרטנים, כולם בנויים מתת יחידות החוזרות על עצמן. חלק דומות זו לזו. הביטו למשל במרבה הרגליים הזו, כל הפרקים

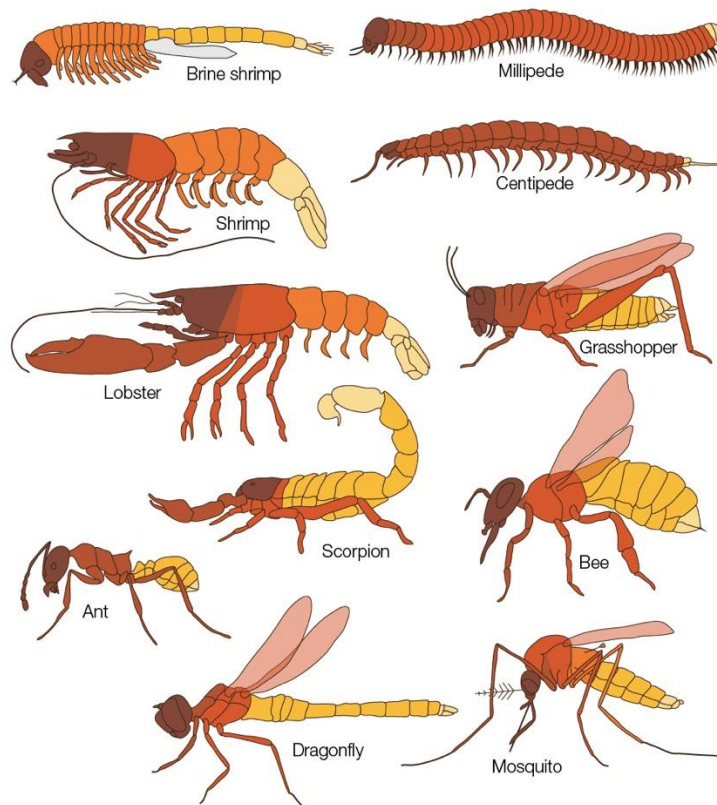
שלו זהים. לעומת זאת בסרטן הזה לכל פרק צורה שונה. מתת יחידה מסוימת יוצאת רגל. מתת יחידה אחרת מחוש. מתת יחידה שלישית צבת. תת היחידות השונות יכולות לשנות צורה וגודל באופן מוחלט ובאופן יחסי אחת לשנייה. בצורה זאת ניתן ליצור כמעט כל צורה אפשרית על ידי שינויים כמותיים, מבלי להמציא תת יחידות חדשות.

## בקרת ההתפתחות (טקסט)

הבקרה על ההתפתחות מתבצעת באמצעות חלבונים המכונים חלבוני "ארגז כלים". חלבונים אלה הם פקטורי שיעתוק שהתפקיד שלהם לבקר את הביטוי של חלבונים רבים אחרים. כל אזור בגוף מבטא חלבוני ארגז כלים שונים והם גורמים להתפתחות של האיברים השונים. יש חלבונים האחראיים להתפתחות הפרקים של הגוף, גפיים, עיניים, ועוד. צורות חדשות ומינים חדשים נובעים משינויים בביטוי חלבוני ארגז כלים.

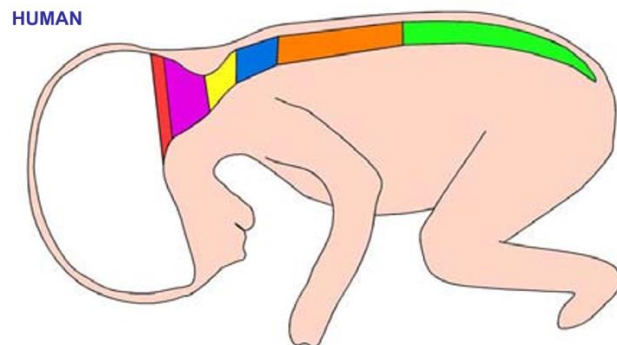
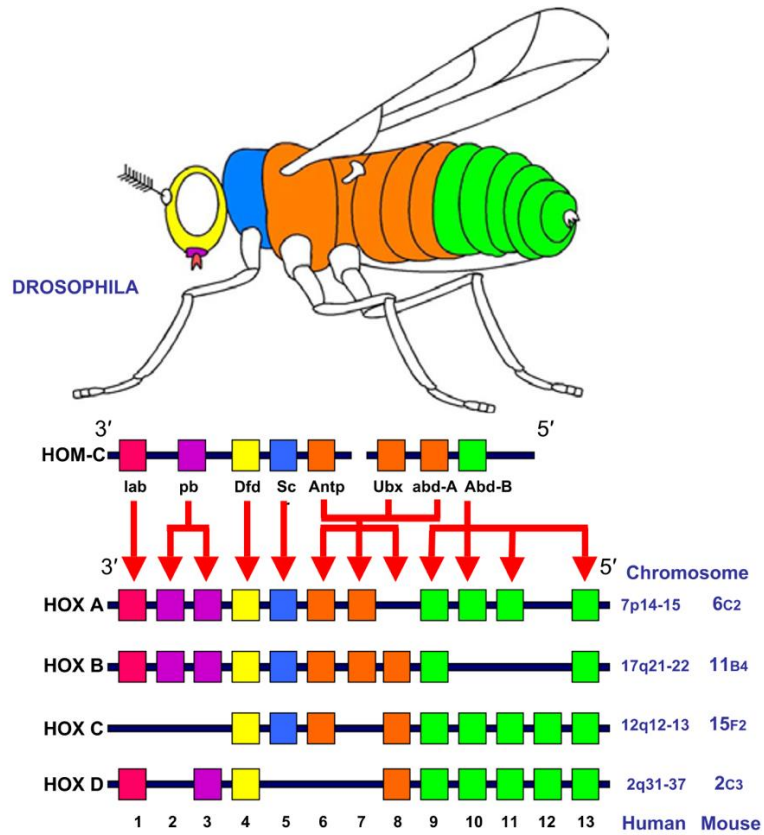
בסרטון בו זה עתה צפיתם ראיתם שבעלי חיים בנויים מתת יחידות מודולריות החוזרות על עצמן בחוליות ובגפיים. באמצעות שינויים עדינים בפעילות חלבונים אלה ניתן להאריך או לקצר איברים, להוסיף פרקים ולייצר מגוון בלתי מוגבל של צורות. כאשר צורות אלה מועילות מבחינה אבולוציונית, כלומר משפרות את השרידות וההתרבות של פרטים עם הצורות החדשות, יש אפשרות שהן יתקבעו.

כאן בתמונה אפשר לראות את המגוון הגדול של צורות של פרוקי רגליים המבוקרים על ידי שינוי ברמת ומיקום הביטוי של חלבוני ארגז הכלים.



למרבה הפלא חלבוני ארגז הכלים שמורים מאד באבולוציה. חלבונים דומים מבקרים התפתחות איברים בעלי תפקיד דומה אבל בעלי מבנה שונה לחלוטין. למשל העיניים של חרקים ושל חולייתנים שונות מאד מכל בחינה אפשרית אבל אותו חלבון ארגז הכלים אחראי להתפתחות עיניים בכל היצורים.

בעוד תת יחידות, איברים ופרקים דומים **בתוך** הקבוצות – למשל פרוקי הרגליים והחולייתנים הם שונים כמובן מאד **בין** הקבוצות. חלבוני ארגז הכלים לעומת זאת שמורים גם בין הקבוצות. כאן בתמונה אפשר לראות עד כמה דומה דגם הביטוי שלהם בזבובים ובבני אדם.



## 04 גלגול בפרוקי רגליים

<https://youtu.be/yjM59cY5VpM>

חרקים, שהם כזכור הקבוצה העשירה ביותר במיני בעלי חיים, עוברים שינויים קיצוניים במהלך מחזור החיים שלהם. מהשלב בו הם בוקעים מהביצה ועד לשלב הבוגר. אני מניח שרובכם מכירים את הספר "הזחל הרעב", שמסכם יפה מאוד את התופעה של גלגול. אבל אנחנו נפרט קצת יותר. לחרקים יש שלד חיצוני נוקשה שמגן עליהם, מייצב את הגוף ומונע התייבשות. שלד זה מגביל את הגדילה ואת ההתפתחות וכדי לגדול ולהתפתח, עליהם להחליף את הנשל בתהליך המכונה



התנשלות. החלקים מתחלקים לאלה שעוברים גלגול מלא ואלה שעוברים גלגול חסר. הגלגול החסר קדום יותר באבולוציה. הוא קיים בתיקנים, חגבים ופשפשים, כמו למשל פשפש החלבולב הזה, האונקופלטוס. הצעירים הבוקעים מן הביצה נראים כמו בוגרים קטנים ויש להם כבר את רוב האיברים של הבוגר. בתהליך הגידול והתזונה שלהם דומים בצעירים ובבוגרים. ההבדל העיקרי הוא שאין להם כנפיים, שקיימות רק בחרק הבוגר, ושהם לא

יכולים להתרבות. חרקים בעלי גלגול חסר גדלים בסדרה של נשלים. בכל שלב הם אוכלים וגדלים ומתנשלים ועוברים לשלב הבא. כשהם מגיעים לשלב של בוגר, יש להם כנפיים ואיברי מין והם מפסיקים לגדול ולהתנשל. הגלגול המלא מופיע אצל חרקים מפותחים יותר מבחינה אבולוציונית. זבובים, יתושים, חיפושיות, דבורים, פרפרים ועוד כמה קבוצות של חרקים. הפרט הצעיר נראה שונה לחלוטין מהבוגר, ולרוב גם ניזון גם ממזון אחר לגמרי מהבוגר. זחל קטן בוקע מהביצה ונראה קצת כמו תולעת. הוא אוכל וגדל, אוכל וגדל, עד שהוא מגיע לגודל מסוים. בשלב זה הוא מתגלם, כלומר הוא מתכסה במעטפת המגנה עליו. בתוך הגולם מתרחש תהליך דרמטי מאוד. כל האיברים משתנים: הוא מצמיח כנפיים, מצמיח איברי חוש חדשים ולבסוף הוא בוקע מהגולם כחרק בוגר עם כנפיים ואיברי מין. החרקים הם חלק מהמערכה של פרוקי רגליים, שיש בה קבוצות נוספות כמו עקרבים, נדלים, סרטנים ועכבישים. רוב הסרטנים ממשיכים לגדול ולהתנשל גם כבוגרים ואין להם שלב סופי. מרבית רגליים וחלק מהנדלים כמו הרב נדל הארסי הזה, בוקעים מהביצה בלי כל זוגות הרגליים. הם מוסיפים רגליים במהלך ההתנשלות. מרבית רגליים יכולים להמשיך ולהתנשל, לגדול ולהוסיף עוד ועוד רגליים. אמנם לא בלי הגבלה, אבל הם יכולים להגיע למספר גדול מאוד של זוגות רגליים. עכבישים לעומת זאת מגיעים לשלב סופי בו הם לא ממשיכים לגדול.

## 05 התפתחות עוברית מאוחרת

<https://youtu.be/Vvq50Yk7s1M>

בציור הזה של ארנסט היקל (Haekel) אנחנו רואים השוואה של עוברים של בעלי חיים שונים. היקל, שחי במאה ה-19, עמד על דמיון זה וטען שההתפתחות העוברית משחזרת את האבולוציה. למשל, לעובר של אדם יש זימים והוא עובר דרך שלב של דג במהלך התפתחותו. החוק הביו-גנטי של היקל איננו מקובל היום. פון באר (Von Baer), שקדם להיקל, הציע לעומת זאת שיצורים שונים עוברים דרך שלבים עובריים דומים. זה אכן בעיקרון מה שקורה. לרוב אנחנו לא יכולים לעקוב אחרי



ההתפתחות העוברית בחולייתניים יבשתיים כי היא מתרחשת בתוך ביצה או בתוך הרחם. ראשנים של דו-חיים לעומת זאת, מאפשרים לנו הצצה זו להתפתחות עוברית. גידלנו ראשנים אלה של האילנית משך שבועות ארוכים ועקבנו אחרי ההתפתחות שלהם. בתחילה, הם בעיקר

גדלו ונשמו באמצעות הזימים חמצן מומס במים. למרות שנראה כאן שהם גם נושמים אוויר באמצעות הפה. בשלב הבא הם התחילו לפתח גפיים. בתחילה רגליים אחוריות זעירות, שגדלו בהדרגה והפכו לרגליים של ממש, ובהמשך רגליים קדמיות. הסרט הזה הוא מהבוקר, ובמהלך היום הראשן איבד את הזנב שלו כמעט כליל. במהלך הלילה הוא החליף צבע ובבוקר למחרת הוא הפך



לאילנית של ממש. אמנם עדיין זעירה, אבל דומה לאילנית בוגרת שהיא בעל חיים יבשתי הנושם אוויר באמצעות ריאות. מיד אחרי סרטון זה, נעבור לתיאור ההתפתחות של העובר האנושי. תהליך שכולנו עברנו לא מזמן ושאותו אנחנו לא ממש זוכרים. כמובן לא יכולנו לצלם בתוך הרחם, אבל נפנה אתכם להרצאת ה-Ted המדהימה של אלכסנדר ציארס, שפיתח שיטות מדהימות לדימות התפתחות עוברית ברחם.



## 06 התפתחות עוברית באדם

(טקסט)

בסרטונים הקודמים ראינו כיצד עוברים מתפתחים משלב ההפרייה ועד לשלב הבוגר. ראינו שהשלב העוברי המוקדם **שמור מאד** וכמעט זהה ביצורים שהמרחק האבולוציוני ביניהם הוא רב כמו קיפודים והאדם. בהמשך ראינו שגם בשלבים מאוחרים יותר של התפתחות, עוברים של יצורים שונים דומים יותר זה לזה מאשר הפרטים הבוגרים.

כולנו עברנו לפני אי אלו שנים תהליך של התפתחות עוברית ורובנו מן הסתם לא זוכרים יותר מידי פרטים. נסקור לכן בקצרה את התהליך שעברנו ואת אבני הדרך העיקריות. מאחר וההתפתחות הזאת נסתרת מהעין לא יכלנו כמובן לצלם אותה בעצמנו אבל **הסרט המעולה של אלכסנדר צ'אראס** מציג את ההתפתחות באמצעות שיטות הדמייה מתוחכמות, ומומלץ ביותר לצפות בו **עכשיו**. אפשר להתחיל בדקה 2.00 וניתן להפעיל כתוביות בעברית.

ההתפתחות העוברית באדם אורכת 38 שבועות שהן 40 שבועות מהווסת האחרון. סקרנו כבר ביחידה זו את חמשת הימים הראשונים בחיי העובר מהפרייה ועד שלב הבלסטוציסט בן מאה התאים. כפי שראינו בסרט על היחידה להפרייה חוץ גופית שלב זה יכול להתבצע ב"מבחנה" מחוץ לרחם. בגיל חמישה ימים העובר משתרש ברחם.

בשלב זה העובר מייצר **הורמון שלייתי אנושי (hCG)** שמשפיע הורמונלית על **הגופיף הצהוב** ומגרה אותו לייצר את שני הורמוני המין הנשיים **אסטרוגן** ו**פרוגסטרון**, המעבים את השכבה הפנימית של הרחם ועוזרים לעובר להיקשר אל דופן הרחם. תפקידו העיקרי של ההורמון הוא לדכא את המערכת החיסונית של האם ובכך למנוע מהאם לתקוף את העובר. בדיקה של רמת hCG בדם מהווה כיום את **הבדיקה האמינה והמוקדמת ביותר לקביעת הריון**.

רוב האיברים הפנימיים נוצרים כבר במהלך **השליש הראשון** של ההריון, בשלושת החודשים הראשונים. מערכת העצבים היא אחת הראשונות להתפתח. כעבור כארבעה שבועות הלב מתחיל לפעום. בהמשך מתפתחות שאר המערכות - עיכול, נשימה, הפרשה, שרירים ואיברי הרבייה. בסוף השליש הראשון כבר אפשר לזהות שמדובר באדם. מביצית שקוטרה כעשירית המילימטר מתקבל עובר באורך שישה ס"מ. משקלו - 14 גרם, כמשקל ענב גדול.

מאחר ובשליש הראשון של ההריון נוצרות רוב המערכות של העובר הוא רגיש במיוחד להפרעות ולחומרים העלולים להזיק לו. **אחד החומרים המזיקים ביותר להתפתחות עוברית הוא אלכוהול** וחשיפה אליו במהלך כל ההריון וביחוד בשליש הראשון עלול לגרום ל**תסמונת אלכוהול עוברית** (FAS). מעבר לבעיית חוסר **המודעות לנזק של אלכוהול בהריון** יש מקרים רבים שבתחילת השליש הראשון נשים לא יודעות עדיין שהן בהריון. מאחר ואלכוהול מזיק למוח המתפתח לכל אורך ההריון, יש להמנע ממנו לכל אורכו. תרופות רבות וחומרים אחרים עלולים גם הם להזיק לעובר.

במהלך **השליש השני** להריון, מתפתחים האיברים ומקבלים את צורתם הסופית. זהו שלב של "גימור". למשל, אצבעות נוצרו כבר קודם לכן, ועכשיו נוצרות הציפורניים בקצותיהן. פלומה רכה מתחילה לכסות את גוף העובר. היא תנשור בסוף ההריון. העובר מתחיל לנוע: לקפוץ, לבעוט ואפילו לעשות גלגולים. בשבוע ה-24 אורכו של העובר מגיע ל-32 ס"מ. אם הוא ייוולד בשלב זה, יהיו סיכוייו לשרוד 50% בלבד, משום שמוחו עדיין לא הושלם, והוא אינו יכול לבקר פעולות חשובות כמו נשימה ושמירה על חום הגוף.

**השליש האחרון** של ההתפתחות מוקדש בעיקר לגדילה ולהכנה לקראת חיים עצמאיים. הריאות



מבשילות, העצמות מתחילות להתקשות והעור הופך משקוף לאטום. העובר צובר מתחת לעור מאגר של שומן מסוג מיוחד - שומן חום. שומן זה יעזור לו לשמור על חום גופו מחוץ לרחם. בלידתו שוקל הוולד כשלושה ק"ג ואורכו כ-52 ס"מ.

## 07 טיפול הורי

<https://youtu.be/HlsKc9f0vsY>

טיפול הורי כולל את כל המשאבים, חומריים והתנהגותיים, שדור ההורים מעמיד לרשות צאצאיו. ברוב המינים של חסרי חוליות, משאבים אלה מוגבלים למה שהאם אורזת בביצה שהיא מטילה, ואותה היא לא רואה יותר. יש יוצאים רבים מכלל זה, כמו חיפושיות זבל. הן אוספות זבל ויוצרות ממנו כדור בו הן מטילות ביצים. הזבל ישמש מקור מזון לזחלים שיבקעו. יש אפילו מינים בהם ההורים נשארים לשמור על הכדור. לעומתם, ביצורים מפותחים, טיפול יכול לארוך עשרות שנים ולכלול את שכר הלימוד באוניברסיטה. כזכור, כל אחד משני ההורים תורם לעובר סט אחד של כרומוזומים. בנוסף, לאימא תרומה ייחודית, מיטוכונדריות, חלבונים ורנ"א אימהיים הנחוצים להתפתחות העובר. כל זה ארוז בביצה, שהיא אמצעי הרבייה האוניברסלי בכל היצורים המתרבים בצורה מינית. הביצה היא המצאה אבולוציונית מדהימה, שהמשיכה והתפתחה בהתאם לאורח החיים של היצורים השונים. ביצים אשר מוטלות במים הן לרוב קטנות יחסית וחדירות למים, והצאצא הבוקע מהן הוא לרוב עצמאי. יש יצורים המטילים ביצים במים, ואחד מההורים שומר עליהם. נקבות של ציקלידים אלה, החיים באגם מלאווי, מדגירות את הביצים בפה. גם אחרי בקיעת הביצים, האימא ממשיכה לשמור על הדגיגים בפה עד שהם גדלים קצת. אותו טיפול קיים גם בקרובים שלהם, האמנונים החיים בכנרת. אבל כאן הזכרים הם המדגירים והמטפלים. בצפרדעים מסוימות האב לוקח את הביצים על הגב, ובסוסוני ים האב מדגיר את הביצים בבטנו. בין האתגרים הגדולים של העלייה ליבשה היה הצורך לאטום את הביצים למים, כדי למנוע התייבשותם על ידי אידוי. אלו ביצים של התיקן שהנקבה נושאת בתיקן. מכאן השם תיקן. ואלו ביצים של פרפרים. אז בואו נדבר על ביצי חולייתנים. לחולייתנים המטילים את הביצים שלהם ביבשה, רוב הזוחלים, והעופות שהתפתחו מהם, קליפות אטומות למים. הן גם מכילות כמות גדולה יחסית של חלמון, המאפשרות התפתחות של עוברים גדולים הבוקעים במצב מפותח יחסית. ברוב הזוחלים הפרטים הבוקעים צריכים להיות מסוגלים לתפקד בצורה עצמאית. בחלק מהציפורים הפרטים בוקעים כאפרוחים, ויכולים לקום וללכת, והם יחסית עצמאיים מבחינה תזונתית. יחד עם זאת, ההורים לרוב ממשיכים להגן עליהם ולטפל בהם, כפי שהסיקסוק הזה עושה. ברוב מיני הציפורים הפרטים בוקעים כגוזלים חסרי ישע, כמו ירגזים אלה, ודורשים טיפול הורי אינטנסיבי. אצל היונקים התפתחו בלוטות חלב, שבאמצעותן מזינה האם את הצאצאים. יש כיום שלוש קבוצות של יונקים. הברוזן וקיפודנים שייכים לקבוצה הפרימיטיבית ביותר המכונה בעלי ביב, שיש בה כיום רק חמישה מינים. בקבוצה זו האימהות מטילות ביצים והן גם מניקות את הצאצאים הבוקעים מהן בחלב. הקבוצה השנייה הם יונקי הכיס. בקבוצה זו חיים כיום כ-300 מינים. רובם באוסטרליה ומיעוטם באמריקה. ביונקי הכיס, כמו הקנגורו, הצאצאים נולדים זעירים ומטפסים לתוך הכיס ונצמדים לפטמה, ממנה הם ניזונים. בכיס זה הם ממשיכים לגדול ולתפוס בו מחסה עד גיל מתקדם למדי, כפי שאנחנו רואים כאן. הקבוצה המפותחת

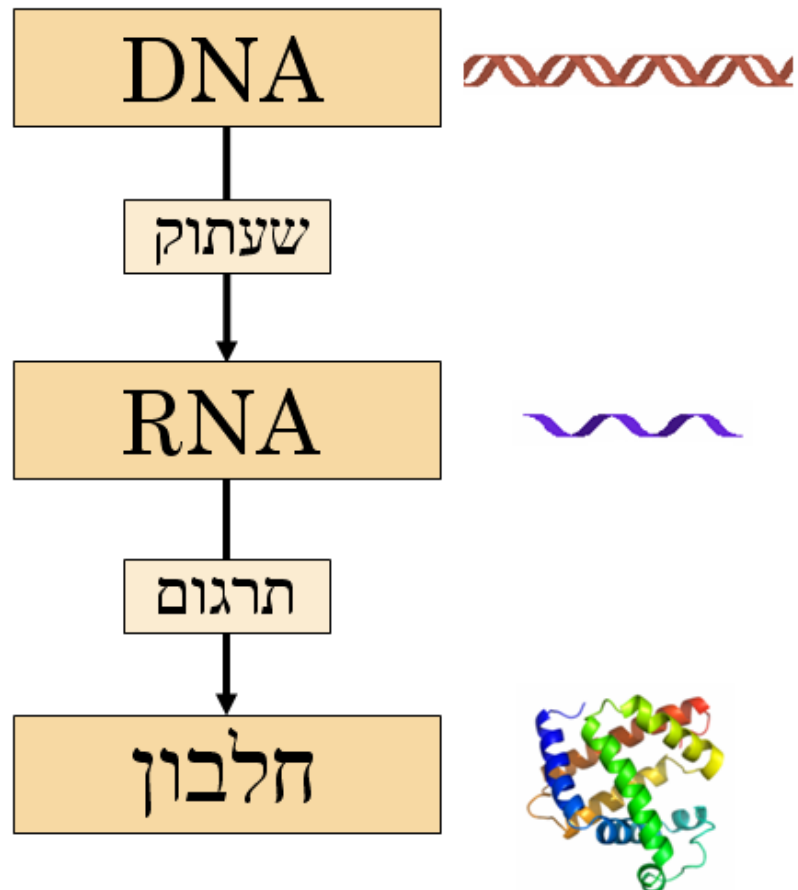
והעשירה ביותר במינים של יונקים הם יונקי השלייה. בבעלי חיים אלה הביצית זעירה ואינה כוללת חלמון. הביצית המופרית עוברת מספר מחזורי חלוקה, וכשהיא מגיעה בערך ל-100 תאים היא עוברת השרשה ברחם ומפתחת שלייה, דרכה העובר מקבל את המזון שלו מהאם. השלייה היא איבר זמני שנוצר בחלקו האחד מתאי העובר וחלקו השני מתאי הרחם של האם. העובר מחובר לשלייה באמצעות חבל הטבור. אין מעבר דם ישיר בין האם לעובר, אבל דרך השלייה עוברים חומרי מזון וחמצן לעובר, ומסולקים חומרי פסולת ופחמן דו חמצני מהעובר. השלייה מפרישה גם הורמונים התומכים בהריון. השלייה יוצאת מהרחם אחרי הלידה של הוולד, וחבל הטבור מנותק. מידת ההתפתחות של הגורים שונה מאוד במינים השונים, כתלות באורך ההריון ובהתאמות אקולוגיות. לזברה הריון באורך שנה והסייח יכול לקום על רגליו כמעט מייד ולהתחיל ללכת תוך זמן קצר, כך שהוא יכול לברוח על נפשו. מצב דומה קיים ברוב מיני אוכלי העשב. ביצורים אלה המזון לא בורח והריון ארוך והאטה של האם פחות בעייתיים מאשר בטורפים כמו אריות, שצריכים לרדוף אחרי טרפם. לביאה כבדה מדי לא תוכל לצוד ותרעב. ואכן ההריון שלה ארוך רק כשלושה וחצי חודשים וגוריה נולדים לא מפותחים. בכל היונקים הצאצאים ממשיכים לקבל תזונה מהאם בצורת חלב. בחלקם במשך שנים. החלב מכיל חלבונים, שומנים וסוכרים, בעיקר לקטוז, מינרלים וויטמינים שונים. מייד אחרי הלידה החלב מכיל גם נוגדנים שעוזרים לוולד להתגונן מפני מחלות, בזמן שהוא מפתח את מערכת החיסון שלו. אנחנו צופים עכשיו בהנקה בה צפינו במקומות שונים באפריקה. למען האמת הנקה היא אחת הצורות ההתנהגותיות הקשורה לרבייה, שהיה לנו הכי קל לצפות בה. כמעט כל היבט אחר הוא תחום זמן ועונה ספציפית. הנקה, לעומת זאת, נמשכת חודשים ארוכים ואף יותר. כדי לשרוד על מינים לשמור על מספר קבוע יחסית של פרטים. לשם כך מספר הצאצאים השורדים בכל דור עד לגיל הפוריות צריך להיות בממוצע ולטווח ארוך דומה לזה של הדור הקודם. זה לא אומר שאין תנודות, לעיתים חריפות מאוד, בגודל האוכלוסייה, בהתאם לתנאי הסביבה המשתנים. יש יצורים כמו אלמוגים או דגי נתחן שמטילים מספר עצום של ביצים קטנות ולא מטפלים בהן או שומרים עליהן. מטבע הדברים אחוז הצאצאים שיגיעו לבגרות מינית ויצליחו להקים צאצאים בעצמם הוא זעום. בקצה השני של הסקאלה נמצאים יצורים כמו פילים המעמידים צאצא בודד רק כל כמה



שנים, וממשיכים לטפל בו שנים רבות. כמעט שלושה מכל ארבעה מהפילונים הנולדים מגיעים לבגרות מינית. אחוז שרידות מרשים ביותר והגדול ביותר בעולם החי. אפילו יותר מבני אדם בעולם הלא מערבי. כל בעלי החיים נמצאים אי שם על המנעד בין רבייה המונית זו לזו של מעט מאוד צאצאים בהם מושקעים משאבים עצומים.

## רנ"א והדוגמה המרכזית של הביולוגיה (טקסט)

למדנו על דנ"א וחלבונים ביחידה 2 ובסרטון הזה הזכרנו לראשונה [רנ"א](#). הרנ"א (RNA) היא מולקולה המתווכת בין דנ"א לחלבון. בתהליך ה**שעתוק** של הדנ"א נוצר רנ"א והוא מתורגם לחלבון. המסלול של דנ"א – רנ"א – חלבון המתואר באיור מכונה [הדוגמה המרכזית של הביולוגיה המולקולרית](#).



לדוגמה הזאת יש יוצאים מהכלל, מצבים בהם רנ"א הופך לדנ"א – למשל [בקצות הכרומוזומים](#) או בנגיף הגורם ל**איי.די.טי.** יש גם הרבה סוגים של רנ"א שממלאים תפקידים בתא ולא מתורגמים לחלבון. לענייננו יש חשיבות רבה להמצאות רנ"א אימהי בביצית כי היא מאפשר יצירת חלבונים בשלבים עובריים מוקדמים, **חלבונים בעלי תפקיד מכריע בהתפתחות המוקדמת** כגון **קביעת כוונות העובר**.



יחידה 7 - פרחים



## 00 מבוא ליחידה 7 – חיי המין של צמחים

<https://youtu.be/Fzjb9BkUQXw>

בשש היחידות הראשונות של הקורס למדנו על רבייה בבעלי חיים וביחידה זו נעבור לצמחים. אחרי הקונפליקטים והתחרויות אותם פגשנו בקורס, נסיים בשיתוף פעולה חסר תקדים ששינה את עולמנו לבלי היכר. שיתוף הפעולה בין צמחים לבעלי חיים. צמחים ובעלי חיים חולקים את עולמנו משחר ההיסטוריה האאוקריוטית המשותפת שלנו. צמחים סיפקו מאז ומתמיד את המזון ואת החמצן לבעלי החיים. אבל יחסי גומלין אלה לא הבשילו ברוב המקרים לשיתוף פעולה משמעותי. ואז, מתישהו לפני 130 עד 200 מיליון שנה, התפתחו צמחי הפרחים שהם המצאה אבולוציונית מופלאה כדרך לרתום את בעלי החיים לסייע להם להתרבות באמצעות שיתוף פעולה פורה מאין כמותו. אנחנו בשוק מחנה יהודה בירושלים ורואים את שפע הפירות של שיתוף הפעולה הזה. כל מה שאנחנו רואים כאן וכל מה שאנחנו אוכלים מקורו בצמחים עם פרחים. האבולוציה של הצמחים היא סיפור מרתק המבוסס על מספר המצאות אבולוציוניות מהפכניות. המצאה ראשונה שנזכיר היא הפוטוסינתזה, אשר באמצעותה צמחים מנצלים את אנרגיית השמש ליצירת סוכר. כל האנרגיה של צמחים ובעלי חיים מקורה בתהליך זה בו גם משתחרר חמצן. למען האמת, את הפוטוסינתזה המציאו כבר הפרוקריוטים, אני מקווה מאוד שאתם עדיין זוכרים מה הם פרוקריוטים. אחרת נשלח אתכם להתבשל באיזה גייזר חמים בילוסטון כדי שתיזכרו. ההתקדמות הבאה שמבוססת למעשה על סדרה שלמה של המצאות, היא העלייה ליבשה. נפתח את היחידה בגינת האבולוציה בקמפוס גבעת רם של האוניברסיטה העברית. נעקוב אחרי הופעת הצמחים היבשתיים ונכיר את הקבוצות הקדומות שלהם. טחבים, שרכים ומחטניים ששלטו בעולמנו עד לפני כ-100 מיליון שנה, ושעדיין מכסים חלקים ניכרים מהיבשות. הטחבים הם מחלוצי העלייה ליבשה. אחד האתגרים שעמדו בפני צמחים בעלייתם ליבשה, היה פיתוח דרכי רבייה חדשות. בסרטון השני נלמד לכן על הרבייה בטחבים, בשרכים ובשבטבטים, המתרבים באמצעות נבגים ושיש להם שלב הפלואידי ודיפלואידי. זרעים הם ההמצאה האבולוציונית החשובה הבאה, והיא מאפשרת לא רק הפצה של צאצאים במרחב, אלא גם בזמן. בזרע עובר קטן של צמח ארוז יחד עם חומרי מזון המספיקים לגידול הראשוני שלו. האריזה היא לרוב אטומה, ושומרת על הזרע מהתייבשות. אנחנו חוזים כאן בערבה בפריחה נדירה המתרחשת רק אחת להרבה שנים. התופעה מתאפשרת בזכות היכולת של הצמחים ליצור זרעים העמידים לשנים רבות בתנאי יובש קיצוניים. הפגשת תאי המין הזכריים עם הנקביים הוא אחד האתגרים הגדולים ביותר העומדים בפני הצמחים הקבועים כידוע למקומם. ראינו כיצד בעלי חיים ימיים ניחים כמו אלמוגים מתגברים על הבעיה על ידי שחרור תאי מין למים. אבל ביבשה הדבר מורכב עוד יותר. על תאי המין הזכריים להגיע אל התאים הנקביים הנמצאים על הצמחים דרך האוויר. עד הופעת הפרחים העברה זו נעשתה בעיקר על ידי רוח עליה נדון בסרטון השלישי. עד היום יש צמחים רבים בהם ההאבקה נעשית על ידי רוח כמו עצי מחט אלה. יש גם מיני צמחים בעלי פרחים, כמו

העשבונים או עצי התמר, אותם נפגוש במטעי התמרים בקיבוץ אלמוג. האבקה באמצעות הרוח היא מאוד לא יעילה ודורשת ייצור כמויות עצומות של תאי מין. היא עובדת בעיקר בצמחים הגדלים בצפיפות כמו מחטניים או עשבונים. ההמצאה של הפרחים שהם למעשה מודיפיקציות של עלים, החלה את שיתוף הפעולה הפורה בין צמחים ובעלי חיים. הפרח תורם אבקה וצוף המזינים את בעל החיים, ובתמורה בעל החיים מאביק אותו. בסרטון הרביעי נדבר על מבנה הפרחים ונראה שיש להם שלושה מרכיבים תפקודיים. פרסומת, גמול ואיברי רבייה. נלמד גם על המבנה האנטומי שלהם. בסרטון החמישי נדבר על יחסי הגומלין של פרחים עם בעלי חיים, ובסרטון השישי נכיר כמה מהמאביקים עצמם, בעיקר חרקים. כמו דבורים האחראיות לחלק גדול מאוד מהמזון שלנו. בסרטון השביעי נלמד על תהליך ההפרייה הכפולה בפרחים, המאפשר את יצירת העובר ואת מאגר המזון בזרע. גם הפצת הזרעים מבוססת במקרים רבים על בעלי חיים. למשל האבוקדו הזה התפתח כפרי המזין ביותר שקיים, בזכות הקצאל שמפיץ את הזרעים שלו. גם פילים מפיצים זרעים כפי שאנחנו רואים כאן. מערכת העיכול של הפיל לא יעילה במיוחד, ולכן הזרעים לא ניזוקים. חלקם אפילו צריכים לעבור את מערכת העיכול כדי לנבט. כאן אנחנו רואים כיצד קיק האגוזים האמריקאי מפיץ את הזרעים של האורן על ידי כך שהוא קובר אותם בעשרות מחסנים ברחבי היער. את חלקם הוא יאכל ואת חלקם הוא לא ימצא, והם ינבטו ויגדלו לעצים חדשים. ראינו שיש פירות גדולים ופירות קטנים. אלה הם בין השיאנים של הפירות לדעתי, ואף פעם אל תשבו מתחת לעץ כזה, כי אם זה ייפול לכם על הראש זה יעשה לכם חור בראש.

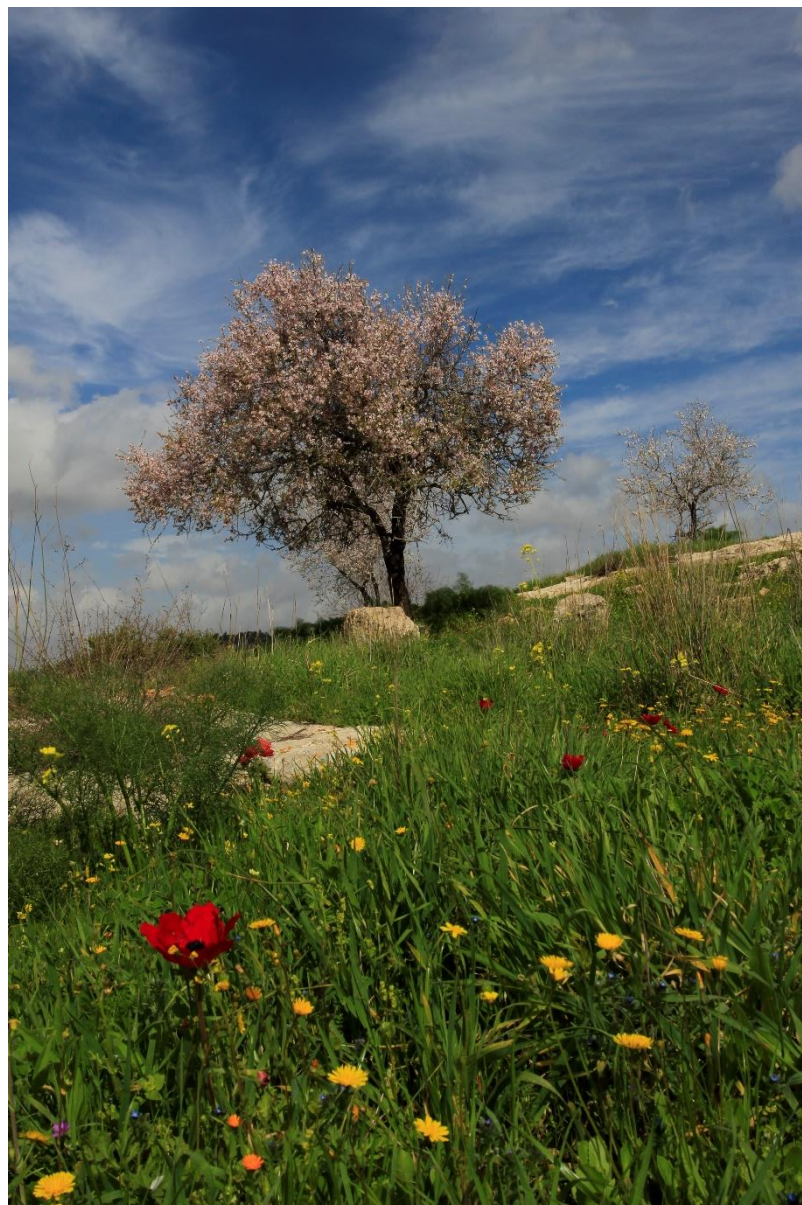


## 01 מבוא לאבולוציה של צמחים

<https://youtu.be/o1Llc-WG-tE>

צמחים הם הכוח המניע של האבולוציה מאז הופעת חיים על פני כדור הארץ לפני 3.5 מיליארד שנה. ברוכים הבאים לקמפוס אדמונד ג'יי ספרא של האוניברסיטה העברית בירושלים. אני עומד כאן לפני הצמח הזה שמכונה ברוגמנסיה, שמקורו בדרום אמריקה, ושיש לו את הפרחים הכי גדולים בקמפוס. הצמח הזה לא יוצר לנו פירות כאן כי אין לנו כאן את הקוליברי שמאביק אותו בארצות מהן הוא מגיע. אבל אנחנו נדבר על פרחים ועל כיצד הם הפכו את כוכב הלכת שלנו למקום צבעוני, ריחני וטעים בהמשך היחידה, וקודם אנחנו נדבר קצת על התפתחויות אבולוציוניות אחרות שבאמצעותן צמחים שינו את פני כדור הארץ. לשם כך נעבור עכשיו לגינת האבולוציה שנמצאת כאן בקמפוס. ההמצאה הראשונה וקרוב לוודאי המשמעותית ביותר של צמחים, או ליתר דיוק של חיידקים פוטוסינטטיים היא הפוטוסינתזה. בתהליך זה צמחים מנצלים את אנרגיית השמש כדי לפרק מים ופחמן דו-חמצני כדי לייצר סוכר ולשחרר חמצן. לפוטוסינתזה יש שני היבטים חשובים: הראשון הוא שימוש באנרגיית השמש ליצירת סוכר, החומר המשמש באופן ישיר או עקיף כמקור האנרגיה של כל החיים על פני כדור הארץ. ההיבט השני הוא שחרור החמצן אותו נושמים כל היצורים הרב תאיים. צמחים שינו את הרכב האטמוספירה שלנו בצורה קיצונית. עד שצמחים החלו לשחרר חמצן, לא היה כלל חמצן באטמוספירה. פעילות הצמחים היא זו שהעלתה את ריכוזו לעשרים אחוז. צמחים יצאו מהמים והחלו ליישב את היבשות לפני כ-500 מיליון שנה. המעבר ליבשה דרש פיתוח איברים ואסטרטגיות חדשניות, גם לצרכי רבייה. צמחים הצליחו מאוד ביבשה, ואם צמח מים טיפוסי הוא אצה חד תאית, צמח יבשה טיפוסי הוא עץ גדול שחי שנים רבות. התנחלות הצמחים ביבשה אפשרה לבעלי החיים לבוא בעקבותיהם. הקבוצה הראשונה של צמחי יבשה: טחבים, שרכים ושבתבטים, מיוצגים כולם כאן. טחבים הם זעירים, אבל לשרכים כבר יש שורשים, גזעים ועלים, והם יכולים להגיע לגובה רב. צמחיה זו יצרה את היערות הענקיים עליהם ניזונו הדינוזאורים ורוב הפחם והדלק בו אנו משתמשים מקורו ביערות אלה. שרכים לא יוצרים זרעים, אלא מתרבים באמצעות נבגים. אנחנו נרחיב עליהם ועל חיי המין המרתקים שלהם בסרטון הבא. השלב הבא הוא התפתחות צמחים יוצרי זרעים. זרעים הם המצאה מדהימה המאפשרת לצמחים להפיץ את צאצאיהם הרחק, בזמן ובמרחב. לצמחי הזרעים הראשונים, חשופי הזרע, אין פרחים. עץ הגינקו שאנחנו רואים כאן הוא אחד הנציגים העתיקים ביותר של קבוצה זו, ובעצם מוגדר כמאובן חי. לגינקו לוקח 20 שנה להגיע לבגרות מינית ולגבי העץ הזה כאן נדע רק ב-2025 האם הוא נקבה וייצור זרעים, או שהוא זכר. עצי הציקס כאן הם נציגים אחרים של קבוצה זו. המחטניים הם הקבוצה המשמעותית ביותר של חשופי הזרע. עושר המינים של חשופי הזרע, כאלף מינים, קטן משמעותית מזה של צמחי פרחים. יחד עם זאת, המחטניים הם מינים מאוד מוצלחים, המכסים אזורים נרחבים של כדור הארץ. בצפון אסיה, אירופה או אמריקה, אפשר לנסוע במשך ימים ארוכים ולא לראות דבר חוץ מעצי מחט. מחטניים עמידים

לתנאי טמפרטורה קיצוניים ומגיעים לגודל רב ולגיל מופלג. המחטניים מחזיקים בכמה שיאים: היצור החי מאריך החיים ביותר על כדור הארץ הוא Bristle cone pine, הגדל בקליפורניה ויכול להגיע לגיל 5000 שנה. גם היצור החי הגדול ביותר, הסקוויה, הוא מחטני. כאן אנחנו רואים פרט קטן וצעיר יחסית שלו, וכאן גם יש לנו חתך בגזע של סקוויה בת אלפי שנים. אבל חשופי זרע אלה לא יצרו פרחים. הפריצה הגדולה הגיעה לפני כ-200 מיליון שנה, כאשר הופיעו הפרחים הראשונים. ההצלחה שלהם הייתה מרשימה, וכיום יש כנראה מעל 300 אלף מינים שונים של צמחי פרחים, או מכוסי זרע, כפי שהם מכונים בעגה המקצועית. אחד ההיבטים המיוחדים של צמחים אלה היא הקואבולוציה שלהם עם בעלי חיים לצורכי האבקה והפצת זרעים. אנחנו נדון בנושא זה לעומק בהמשך.





## 02 רבייה בטחבים ושרכים

<https://youtu.be/H7ze9YVM7Aw>

בסרטון הזה נלמד על רבייה מינית של צמחים המתרבים באמצעות נבגים - טחבים, שרכים ושבטבטים. צמחים אלה הם קדומים באבולוציית צמחי הזרעים עליהם נלמד בהמשך. זרע הוא מבנה מורכב המכיל עובר של צמח, ורקמה המספקת לו מזון לשלבים הראשונים בחייו. קליפה המגנה עליו



מתנאי הסביבה, ולרוב גם איברים המסייעים לו לעבור ממקום למקום. נבג הוא לעומת זאת תא בודד. תא זה צריך למצוא מקום מתאים לנביטה, מקום שיספק את כל התנאים מהרגע הראשון. נפתח בטחבים המייצגים את הצמחים הקדומים ביותר

שהתבססו על היבשה והקיימים עד היום. לטחבים אין עלים, גבעולים או שורשים של ממש והם קטנים מאוד ביחס לצמחים אחרים ומסוגלים לחיות רק בסביבה לחה. הם אולי לא צמחים מרשימים במיוחד, אבל הם מהווים חוליה אבולוציונית מרתקת המאפשרת לנו ללמוד על התפתחות הרבייה המינית בצמחים. אני זוכר עד היום כיצד המורה שלי לטבע לימד אותי על הרבייה המרתקת הזאת בבית הספר היסודי. זה הזמן להיזכר במונחים הפלואידי ודיפלואידי אותם למדנו בשיעורים הקודמים. בתא הפלואידי יש סט אחד של כרומוזומים בעוד שתא דיפלואידי מכיל סט כפול. אחד שהתקבל מכל אחד מההורים. תא הפלואידי נוצר בתהליך המיזוגה מתא דיפלואידי. תא דיפלואידי נוצר משני תאים הפלואידיים בתהליך של הפרייה. שני סוגי התאים יכולים להתחלק בתהליך של מיטוזה ולשמר את הפלואידיות שלהם. למשל מתא דיפלואידי שעובר מיטוזה נוצרים שני תאי בת שכל אחד מהם הוא דיפלואידי. מתא הפלואידי שמתחלק במיטוזה נוצרים שני תאי בת הפלואידיים. במחזור החיים של כל היצורים המתרבים בצורה מינית יש שלב הפלואידי ושלב דיפלואידי. אצל רוב היצורים העילאיים, בין אם זה צמח או בעל חיים, השלב הדיפלואידי הוא השלב העיקרי אותו אנחנו רואים. השלב הפלואידי, שלב תאי המין, הוא לרוב חבוי מן העין. בטחבים המצב הפוך, הצמח הקטן שאנחנו רואים כאן הוא הפלואידי. מצב הפלואידי בו יש רק סט אחד של כרומוזומים נהוג לסמן באות n. הצמח מכונה גמטופיט כי הוא מייצר גמטות, תאי מין. הגמטופיט יכול להיות נקבי ואז יהיה לו איבר מין נקבי בו יש ביציות, או הוא יכול להיות זכרי, ואז יש בו תאי זרע. כמו בכל עולם החי

והצומח השאלה הגדולה היא כיצד ייפגשו אותם תאי המין? הטחב זקוק לטיפת מים דרכה שוחים תאי הזרע מאיבר המין הזכרי לנקבי. מדובר בתופעה ייחודית בצמחים, שכן לרוב תאי המין הזכריים בצמחים אינם בעלי יכולת תנועה עצמאית. אחרי שתא המין הזכרי הגיע בשלום לביצית והפריה אותה, צומח מתוך איבר המין הנקבי גבעול ארוך שבקצהו קופסית. הגבעול והקופסית מכונים ספורופיט כי יש בו נבגים, ספורות בלועזית. הספורופיט נוצר מהפרייה, כלומר מאיחוי של שני תאי מין הפלואידיים ולכן הוא דיפלואידי, מכיל שני סטים של כרומוזומים. מצב דיפלואידי בו יש שני סטים של כרומוזומים נהוג לסמן ב- 2n. בתוך הקופסית מתרחשת מיזזה, חלוקת הפחתה. כל תא דיפלואידי מתחלק בתהליך המיזזה לארבעה תאים הפלואידיים. אחרי המיזזה משתחררים הנבגים, ואם יש להם מזל הם נוחתים במקום מתאים. מקום שלא נתפס קודם לכן ויש בו די לחות, הוא נובט ויוצר ספורופיט חדש. אספנו נבגים מתוך המנבגים האלה והנבטנו אותם כפי שאנחנו מראים כאן מתחת למיקרוסקופ. לאחר מכן, העברנו אותם לצלחת עם אדמה והם הצמיחו גמטופיט. שרכים הם כבר צמחים הרבה יותר מפותחים, עם שורשים, גזעים ועלים אמיתיים. כפי שרואים כאן ביער הטרופי באוגנדה הם מגיעים לגובה עשרות מטרים לעתים. גם שרכים מתרבים על ידי נבגים, אבל בניגוד לטחבים, בהם הצמח העיקרי הוא הפלואידי, בשרכים השלב העיקרי הוא דיפלואידי כמו אצל רוב היצורים הרב-תאיים המפותחים. עתי יפה מגדל שרכים מאז שהיה נער, הוא אחד המומחים הגדולים ביותר לשרכים בארץ. עתי הקים לפני 50 שנה גן בוטני נהדר בקיבוץ נתיב הל"ה שבמעמק האלה. בגן עתי מגדל אוסף מרשים ביותר של צמחי ארץ ישראל בתנאים טבעיים. לשרכים ולשבטבטים יש בגן מקום של כבוד. עתי יספר לנו על הרבייה של שרכים. **עתי יפה:** אז כאן אנחנו רואים צד תחתון של עלה של שרך. והנקודות שאנחנו רואים, כל נקודה זה בעצם צבר מנבגים. כל נקודה כזאת יש בה בערך 50-60 מנבגים כשכל מנבג זו בעצם קופסה שבתוכה מתפתחים נבגים,



ויש לה מנגנון שנפתח רק ביובש. זאת אומרת, כשהמנבג הזה בשל, הוא נשאר סגור עד שמתחיל להיות יבש ואז יש טבעת של תאים שקורעת אותו והנבגים עפים והם מיקרוסקופיים כמובן, ויכולים להגיע לכל מקום בכדור הארץ כי

זה ממש אבק. אבק קטן. עכשיו בתוך כל קופסה כזאת, בתוך מנבג אחד, ספרתי פעם וראיתי שיש שם 64 נבגים, והמספר הזה הוא לא מקרי, זו כפולה של שתיים, זאת אומרת שזה בעצם תא שעבר

מיוזה ואחר כך עבר כמה חלוקות נוספות. מיוזה זה שתי חלוקות, אז אחרי זה הוא עבר עוד ארבע חלוקות, ויש לנו 64 נבגים. הנבג הזה כמו שאמרתי, עף, יכול לעוף רחוק מאוד, יכול להגיע ליבשות אחרות. ואם יש לו הרבה מאוד מזל והוא מגיע למקום שהוא לא תפוס על ידי מישהו אחר, ויש שם תנאים מתאימים להתפתחות שלו, מהנבג מתפתח צמח שהוא לא דומה בכלל לשרך שאנחנו רואים, צמח קטן מאוד בגודל של בערך חצי סנטימטר-סנטימטר. בצמח הזה שאנחנו קוראים לו פרוטליון יש איברי מין. ותאי המין הזכריים יש להם שוטונים, והם שטים, שוחים, אל הביציות כשיש מים חופשיים, מספיק טיפת מים, הם יכולים לשחות ולהגיע לביציות, ואז מתרחשת הפרייה ואנחנו מקבלים תא דיפלואידי שממנו מתפתח אחרי זה העובר ומהעובר השרך הבוגר שאנחנו מכירים, שאנחנו קוראים לו ספורופיט כי הוא מייצר ספורות. זאת אומרת פה המיוזה היא בשלב של יצירת הנבגים ולא בשלב של יצירת תאי המין. תאי המין נוצרים בצמח שהוא כולו הפלואידי. אז הם בעצם נוצרים במיטוזה רגילה.

שבשבטים הם קבוצה נוספת של צמחים המתרבים באמצעות נבגים. בדומה לשרכים ולצמחים



העילאיים השלב של הצמח הוא השלב הדיפלואידי. לנבגים יש ארבע רגליים והם מסוגלים ללכת קצת על הרגליים האלה. וכאשר הם נרטבים, הם מקפלים את הרגליים, כפי שאנחנו רואים כאן.





## 03 האבקת רוח

<https://youtu.be/Qska1IXVzgo>

עד העלייה ליבשה נעשה האיחוי בין תאי המין הזכריים והנקביים בתווך מימי. תאי הזרע שחו במים ומצאו ביציות והפרו אותן. השימוש בתווך מימי נשמר בטחבים, שרכים ושבטבטים, כפי שראינו בסרטון הקודם. גם בבעלי החיים ההפרייה היא כמובן בתווך נוזלי. עליית הצמחים ליבשה הביאה איתה אתגרים רבים. אחד מהם הוא ההגעה של תאי המין הזכריים לתאי המין הנקביים. בעוד שבעלי חיים יכולים לנוע ולחפש בני זוג, צמחים קבועים במקום וזקוקים לאמצעים אחרים כדי להפגיש את תאי המין שלהם. בצמחים, בדומה לבעלי חיים, יש תאי מין זכריים קטנים המכונים תאי אבקה - פולן, ותאי מין נקביים המכונים ביציות. תאי המין הנקביים קבועים במקום, בשחלה של הפרח, בעוד שתאי האבקה אמורים להגיע אליהם. התווך בו נמצאים צמחי היבשה הוא אוויר, ולכן לתאי האבקה להיות מסוגלים לנוע בתווך זה. בניגוד לתאי המין בבעלי חיים, לתאי האבקה אין יכולת תנועה עצמאית, הם זקוקים למשהו או מישהו עליו הם יכולים לתפוס טרמפ. במשך מאות מיליוני שנים הרוח הייתה האמצעי היחיד באמצעותו הגיעו תאי האבקה לשחלות והאביקו את הביציות. חשופי הזרע, צמחי הזרעים הראשונים, הופיעו לפני כמעט 400 מיליון שנה. זמן רב לפני הופעת צמחי הפרחים. בקבוצה זו, אליה משתייכים עצי המחט כמו האורן, האבקת רוח, כפי שאתם רואים כאן, היא אמצעי ההאבקה היחיד. למרות שמדובר בהאבקה קדומה, היא עדיין אמצעי האבקה פופולרי ביותר. האלונים והאלות, עצי הבר הנפוצים ביותר באזורנו, מאביקים באמצעות הרוח. האבקת רוח נפוצה מאוד בדגניים, קבוצת צמחים צעירה יחסית מבחינה אבולוציונית. דגניים הופיעו לפני כ-66 מיליון שנה, זמן קצר לפני הכחדת הדינוזאורים. קבוצה זו נקראים קבוצת הצמחים הנפוצה ביותר על פני כדור הארץ. דגניים מספקים את רוב המזון שבני האדם אוכלים. חיטה, אורז, תירס ועוד ועוד. גם רוב המזון של היונקים הגדולים מבוסס על עשב. הופעת הצמחים העשבונים והכחדת הדינוזאורים הם שניים מהאירועים החשובים ביותר שהובילו להתפתחות היונקים והפיכתם לקבוצת החולייתנים הדומיננטית ביותר. האבקת רוח דורשת יצירה של כמויות גדולות של אבקה. וכפי שאתם רואים כאן, כל השלוליות מכוסות באבקה צהובה של אורנים באביב. אבקה זו חודרת לכל מקום, כפי שכל מי שמנקה עכשיו את הבית לקראת פסח בוודאי שם לב. מצד שני, צורת האבקה זו אינה דורשת השקעה ביצירת פרחים, ותחרות בלתי פוסקת על תשומת לבם של מאביקים. היא יעילה במיוחד בצמחים הגדלים בצפיפות רבה כמו יערות מחטנים, יערות האלונים, כמו גם העשבונים בסוואנה. אחרי סקירה קצרה זו של האבקת רוח, נדון עכשיו בהיבט החקלאי שלה. לשם כך נבקר במטע התמרים של קיבוץ אלמוג שעל שפת ים המלח. חוקר התמרים ד"ר יובל כהן ממרכז וולקני של מנהל המחקר החקלאי, יספר לנו על התמר ועל האבקה שלו. בוקר טוב ד"ר כהן.

**ד"ר יובל כהן:** שלום, התמר הוא אחד מצמחי המטע החשובים במדינת ישראל. בטבע התמר מאפיין את נאות המדבר. נאות המדבר הן מבודדות, ולכן ההפרייה נעשית באמצעות הפצת גרגירי האבקה



על ידי הרוח. התמר הנו עץ דו-ביתי חד-מיני, כלומר יש פרטים, עצי תמר, שהם זכריים, ועצי תמר שהם נקביים. בעצי הזכר כל התפרחות יכולו פרחים זכריים, עצי הנקבה יכולו כולם פרחים נקביים, כאלה שאין בהם גרגירי אבקה, מצד שני, יש בהם צלקות גדולות שמתאימות לקליטת האבקה על ידי הרוח. הרוח יכולה להעיף את גרגירי האבקה מרחק קילומטרים רבים כדי שיגיעו לכל העצים המבודדים. במטע אין צורך בכל כך הרבה עצי זכר, ובמטע המודרני רק אחד מכל כ-50 עצים במטע יהיה זכר. שאר העצים יהיו עצי נקבה כי רק מהם אפשר בסוף לקבל פרי. אבל, ועץ התמר הוא מיוחד בזה, בהיותו גבוה וקשה להגיע לצמרות הגבוהות, העבודה שדרושה להאבקה עכשיו כאשר יש מעט עצי זכר, היא די רבה. היא כוללת איסוף של תפרחות הזכר מהעצים הזכריים, הגעה לכל עץ כמעט כל יום בעונת הפריחה, הסרה של תפרחת שלמה וייבושה בחדר סגור עד שהאבקה נושרת מהתפרחת. לאחר מכן מפיקים את האבקה על ידי נייעור חזק של התפרחת, ומסננים את הגרגירים מהפסולת של הפרחים. לאחר מכן צריך לקחת את האבקה ולהביא אותה באופן פיזי-מכני אל התפרחות הנקביות. בעבר היו מטפסים לכל עץ, לוקחים חלק מהתפרחת הזכרית, ושמים אותה הפוכה בתוך התפרחת הנקבית וקושרים. היום עדיין יש חקלאים שעושים את זה, מאביקים ברמה של התפרחת הבודדת. מגיעים לכל פרח ומתיזים עליו או מעיפים עליו מעט מהאבקה. אבל גם העבודה הזאת מאוד מסובכת, ולכן ניתן היום להגיע לפרחים בהאבקה בצורה הרבה יותר מסיבית, יש מפוחים גדולים, תותחים שיורים את האבקה, מלמטה היא מגיעה גם 15 ו-20 מטר למעלה לעצים הגבוהים, לעצי התמר הגבוהים, כדי להאביק את התפרחת.



## 04 מבנה הפרח

<https://youtu.be/SiIVcslazCQ>

סוף סוף אנחנו מגיעים לצמחי פרחים, הקבוצה הגדולה והרבגונית מכל הצמחים המכילה מעל ל-400 משפחות ו-300 אלף מינים. צמחים אלה מכונים גם מכוסי זרע, שכן הזרעים שלהם מכוסים בתוך פירות, וזאת בניגוד לחשופי הזרע, בהם המחטניים, בהם הזרעים חשופים באצטרובלים. צמחים אלה הופיעו לראשונה לפני כ-250 מיליון שנה, ואין ספק שהם שינו את פני כדור הארץ לבלי היכר. כפי שלמדנו זה עתה, עד להופעת הפרחים הייתה הרוח אמצעי ההאבקה היחיד שעמד לרשות צמחים. הופעת הפרחים אפשרה לצמחים לראשונה לנצל בעלי חיים כדי להעביר אבקה מפרט לפרט. בסרטון הזה נכיר את מבנה הפרח. אפשר להתייחס למבנה הפרח בצורה תפקודית או בצורה מורפולוגית. אנחנו נדבר כאן על שניהם. מבחינה תפקודית, ניתן לחלק את הפרח לשלושה חלקים: פרסומת, גמול ואברי רבייה. הפרסומת, הצבעים של הפרח והריחות שהוא מפיץ, פונים לחושי הראייה והריח של מאביקים פוטנציאליים. אני עומד כאן לפני הוויסטריה המדהימה בכניסה לקמפוס ספרא של האוניברסיטה העברית בירושלים. אפשר בקלות להתרשם מהפרסומת, ולצערך אתם לא יכולים להריח את הריח המתוק אותו אני מריח. לפרסומת צריך כמובן להיות כיוון, כלומר גמול למאביקים שבאים לבקר בפרח ולהאביק אותו. הגמול הראשון שהיה לפרחים להציע הוא האבקה עצמה. אמנם הצמח מייצר את האבקה כדי להאביק ולהפירות את הביציות, אבל האבקה משמשת מזון מעולה ועשיר בחלבונים לבעלי חיים. פרחים רבים מייצרים כמויות גדולות של אבקה, שרובה נאכלת על ידי המאביקים ורק מיעוטה מגיע ליעד - הפריית ביציות. גמול נוסף שפרחים רבים מציעים הוא צוף, נוזל עשיר בסוכר. מבחינת הצמח, צוף קל וזול יותר לייצר והוא מושך מאביקים ביעילות רבה, ויכול לספק תחליף או תוספת לאבקה. יש מקרים בהם יש גמול מסוג אחר, למשל מחסה או מקום לינה בלילה. החלק השלישי ומבחינת הצמח החשוב ביותר, הם אברי הרבייה: האבקנים הזכריים והעלי הנקבי. האיברים מייצרים או מכילים את תאי האבקה הזכריים ואת הביציות הנקביות. מבחינת הצמח, מטרת הפרח היא לגרום למאביק להעביר את תאי האבקה מפרח של פרט אחד להפרות את הביציות של פרט אחר של אותו מין צמח. חלקים תפקודיים אלה מתבססים על מבנה הפרח, ולכן נערוך עכשיו היכרות קצרה עם המורפולוגיה של הפרח. הפרח בנוי מארבעה דורים, או שכבות, מבחוץ פנימה. עלי הגביע, עלי הכותרת, אבקנים ועלי. עלי הגביע הם הדור החיצוני והוא מורכב מעלים ירוקים החופנים את הניצן לפני שהפרח נפתח. עלי הגביע גם מגינים על בסיס הפרח. עלי הכותרת הם לרוב החלק הגדול והצבעוני ביותר בפרח, והם משמשים לפרסומת. האבקן הוא האיבר הזכרי, הוא מורכב מעמוד דק הקרוי זיר, עליו נישא שק האבקה המכונה מאבק. העלי, האיבר הנקבי, נמצא כמעט תמיד בלב הפרח. הוא מורכב משלושה חלקים: מהשחלה בה נמצאות הביציות, מעמוד העלי ומהצלקת. את תהליך ההפרייה עצמו נלמד בסרטון הבא. הבה נביט בפרח של חצב, שהוא בעל מבנה פשוט יחסית. אתם רואים שיש כאן שישה עלי כותרת, שישה אבקנים, וצלקת, עלי

ושחלה אחת היושבים באמצע. המגוון העצום של הפרחים נוצר כולו על ידי שינוי בגודל, מספר וצורה של איברים אלה, וכמובן גם בצבע שלהם. אנחנו נראה כאן תמונות של פרחים שונים ונראה כיצד שינויים אלה יוצרים מגוון אינסופי של אפשרויות. במקרים רבים נוצר איחוי בין איברים שונים, למשל יצירת צינור מעלי הכותרת המאוחים. פרחים מתחלקים לכאלה שיש להם סימטריה רדיאלית, או במילים פשוטות - פרחים עגולים. בפרחים אלה לרוב, עלי הכותרת דומים זה לזה בצורתם ובגודלם. לפרחים אחרים יש סימטריה בילטרלית, כלומר יש להם ציר סימטריה אחד. בפרחים אלה לעלי הכותרת השונים צורות וגדלים שונים. פרחים בדרך כלל לא פורחים לבד, אלא בקבוצות גדולות, כמו בעץ כליל החורש הזה, או כמו יחנוק זה החי כטפיל על שורשים של שיח המלוח במדבר, ואשר רק עמוד הפריחה הבוהק שלו עולה מעל פני האדמה. ככל שהפרט מצליח להפיק יותר פרחים, הוא יותר מושך מאביקים על חשבון פרטים שמצליחים להפיק פחות פרחים. פעמים רבות, מה שאנחנו מכנים פרח הוא למעשה תפרחת המורכבת מפרחים בודדים רבים. הדוגמה הבולטת ביותר הם פרחים ממשפחת המורכבים. בתפרחות של פרחים ממשפחה זו, הפרחים לרוב קטנים, צינוריים ומצופפים. פעמים רבות המקבץ הפנימי מוקף בפרחים עם עלה כותרת גדול, מה שמקנה לפרח את צורתו האופיינית ומגביר את אפקט הפרסומת.



## 05 האבקה

<https://youtu.be/oMolhP8V7Mg>

למדנו זה עתה על המבנה הבסיסי של הפרח. ראינו כיצד שינויים בגודל, במספר, בצורה ובצבע של אברי הפרח השונים אפשרו ומאפשרים את יצירת המגוון העצום של פרחים. כמו כן למדנו על הקבוצות העיקריות של המאביקים. בסרטון הנוכחי נראה כיצד הקואבולוציה בין צמחים למאביקים שלהם היא הגורם המעצב את צורתם של הפרחים. "המטרה", במירכאות כמובן, של הצמחים היא



למקסם את שירותי ההאבקה שהם מקבלים ממאביקים במחיר האנרגטי הנמוך ביותר. או במילים אחרות, כמה שיותר אבקה להפרייה וכמה שפחות לקיבה של המאביק. הפרחים הפשוטים ביותר הם צלחת גדולה שיש בהם שפע של אבקנים ואבקה, שכל חרק יכול לאכול ממנה כפי יכולתו. למרות ששיטה זו בזבזנית למדי, היא

עובדת לא רע עבור צמחים רבים. בחורף, נופי הארץ נצבעים באדום על ידי כלניות. אחרי שהכלניות מסיימות לפרוח, מופיעים פרחים אדומים גדולים נוספים: הנוריות והפרגים. גם הצבעוני הוא פרח אדום וגדול הפורח בחורף. בארץ ובמזרח התיכון יש אם כך מגוון גדול של פרחים גדולים ואדומים שהתפוצה הנרחבת שלהם היא כנראה בזכות האבקת חיפושיות, המבחינות בצבע אדום. מעניין לציין שהפרחים האדומים האלה הם מינים בודדים בתוך משפחות בהן במקומות אחרים בעולם לרוב לפרחים צבעים אחרים, בדרך כלל צהוב. בצמחי צלחת אחרים יש צוף ולעיתים אפילו נתיבי צוף, המכוונים את המאביקים לצוף בצורה ויזואלית. בפרחים כאלה יש לרוב מספר אבקנים קטן בהרבה, כי במקום באבקה, הם משלמים למאביקים בצוף, שהוא מטבע זול יותר. במשפחות רבות של פרחים התפתחו מבנים מורכבים יותר שנועדו לנתב את המאביקים אל עבר הצוף בצורה פיזית כמו בלוע הארי הזה. תוך כדי ניתוב, המאביק מתכסה באבקה, אותה הוא מעביר מפרח לפרח. יש מגוון של מבנים כאלה. בחלק מהמקרים על המאביק ממש להידחק דרך פתח צר בו נמצאים האבקנים והצלקת, בדרכו לצוף הנכסף. האבקה נדבקת לגב ולבטן שלו. אנחנו רואים כאן צהרון מצוי, אירוס קטן ונפוץ שפורח בשעות הצהריים. כדי להגיע לצוף על המאביק, במקרה זה דבורה, להיכנס אל תוך המנהרה. בדרך לצוף הדבורה מתחככת באבקן החבוי בתוך המנהרה. אפשר לראות כיצד הגב שלה מכוסה באבקה. מבנה מסוג שונה במקצת ניתן למצוא במשפחת הפרפרניים. אחירותם החורש הוא



שיח גדול ונפוץ ביותר בארץ. עכשיו באביב פרחיו הצהובים בולטים למרחוק. לפרח חמישה עלי כותרת. הגדול והאחורי מכונה "מפרש", הוא לרוב אנכי. מתחתיו ולפניו יש שני עלי כותרת אופקיים המכונים "משוטים". בין המשוטים יש עוד שני עלי כותרת המאוחים זה לזה ויוצרים כעין סירה. בתוך הסירה מוסתרים האבקנים ועמוד העלי. כדי להגיע לצוף הנמצא בבסיס המפרש, על המאביק לעמוד על המשוטים. ואז כאשר הוא מפעיל את כובד משקלו על המשוטים, כפי שאני עושה כאן עם האצבעות שלי, נפרדים עלי הכותרת של הסירה, והאבקנים והעלי קופצים החוצה ומפזרים אבקה על הבטן שלו. אחת המשפחות מבנה הפרח המשוכלל ביותר הם הסחלבים. משפחה זו היא העשירה ביותר במינים מכל משפחות הפרחים. במקרים רבים הסחלבים פשוט מרמים מאביקים פוטנציאליים, ולא נותנים להם כל תמורה לשירותי ההאבקה שלהם. הדבורניות הן אחת הקבוצות היפות ביותר של הסחלבים. הפרח שלהם דומה לדבורה ומריח כמו דבורה, ודבורים זכריות באות להזדווג איתו. בעוד הן מנסות להזדווג, נדבק על הראש שלהן מאבק אחד, או אפילו שני מאבקים. כאן אני מדגים בעזרת קיסם כיצד המאבק נדבק לראש הדבורה. את המאבק הדבורה נושאת עימה לדבורנית הבאה איתה היא מנסה להזדווג. הדבורניות הן אולי רמאיות, אבל בסך הכל הנזק שהן גורמות למאביקים שלהן שולי יחסית. יש צמחים הנוקטים בשיטות נבזיות עוד יותר, ושובות את המאביקים התמימים שלהם כבנות ערובה. אחד הצמחים האלה הוא הלוף. כדי לשמוע על מעלליו של הלוף, ביקרנו בגן הבוטני של עתי יפה מקיבוץ נתיב הל"ה שבעמק האלה. עתי בבקשה.

**עתי יפה:** בדרך כלל היחסים בין הצמחים והחרקים הם יחסים הדדיים. הפרחים עושים תעמולה, עושים פרסומת, נותנים לחרקים גמול, והם מקבלים בתמורה שירותי האבקה. הלוף הוא לא רק רמאי, הוא גם מתעלל בחרקים. איך הוא עושה את זה? קודם כל מה שאנחנו רואים זה לא פרח, זה עלה שיש לו אפילו שם, קוראים לזה מתחל, והוא עוטף עמוד, בחלק התחתון של העמוד פרחים נקביים עם ביציות, ומעליהם יש פרחים זכריים, הכל בחלק התחתון של העמוד הזה. התפרחת הזו מפרישה ריח מסריח שמושך זבובים, שבדרך כלל הם נמשכים לריחות מסריחים בשביל להטיל את הביצים שלהם. רוצים לצאת החוצה, לא יכולים לצאת החוצה, כי יש כאן שערות שפונות כלפי מטה, בעיקר בשלב הראשון של הפריחה, פונות כלפי מטה, הזבובים יכולים להיכנס, לא יכולים לצאת. עכשיו, הצמח הזה לא טורף אותם. הוא כולא אותם יום יומיים, זה גם תלוי בטמפרטורה, עד שמבשילים הפרחים האבקניים, בשלב הראשון הפרחים הנקביים עם הביציות מבשילים. ובשלב השני מבשילים הפרחים האבקניים, הזכריים, ואז השערות, חלק מהן מתייבשות וחלק פשוט מסתובבות ופונות עלפי מעלה, והוא משחרר את הזבובים. ולפני שהם השתחררו, הם כבר היו מאוד עצבניים והתרוצצו בפנים והתמלאו באבקה, בשלב השני של הפריחה, שכבר האבקנים הפיצו את האבקה שלהם, ואז הם יוצאים עמוסים באבקה, ומכיוון שלזבוב בדרך כלל יש גם שכל של זבוב, אז הוא נכנס לתפרחת אחרת בשלב הנקי. קודם כל תראו איך שהזבובים בורחים מפה, יש כאן מלא מלא זבובים. וזה כנראה, לא כנראה, זה בשלב הראשון שהפרחים האבקניים בכלל לא נפתחו. נשחרר את הזבובים הכלואים המסכנים האלה. תראו כמה זבובים.



## 06 מאביקים

<https://youtu.be/xP0MXzdw8>

עד כה התייחסנו למאביקים בצורה כללית. בסרטון הנוכחי נערוך היכרות קצרה עם הקבוצות העיקריות שלהם. הרוב הגדול של המאביקים הם חרקים. כפי שלמדנו ביחידה קודמת, החרקים היא קבוצת בעלי החיים הגדולה ביותר, והיא מונה כנראה מעל למיליון מינים. אחת הסיבות לכך שיש לנו כל כך הרבה מיני חרקים היא הקואבולוציה שלהם עם צמחים, שמביאה לכך שיש כל הזמן יותר מיני צמחים ויותר מיני חרקים. לא כל קבוצות החרקים מאביקות. יש הרבה קבוצות שיחסי הגומלין שלהן עם צמחים הן מסוגים אחרים. חרקים אלה משתמשים בצמחים בעיקר כמקור מזון. מבחינת הצמחים מדובר לכן באויב איתו מתנהל מרוץ חימוש ממושך. הקבוצות העיקריות של חרקים מאביקים הם: חיפושיות, פרפרים, זבובים, צרעות וכמובן דבורים. חיפושיות ניזונות בעיקר מאבקה בצמחים ומפרחים פתוחים כמו צלחת, כמו הכלניות הצובעות את הארץ באדום בחורף, ועבורן חיפושיות הן המאביק המרכזי. אבל גם של כל צמח אחר בו האבקה נגישה, כמו למשל כלך דנין הנדיר בנגב, שאנחנו רואים כאן. לפרפרים רבים חדרק ארוך מאוד והם ניזונים רק מצוף. בפרחים המואבקים על ידי פרפרים, בדרך כלל הצוף חבוי עמוק בתוך צינורית דקה. פרפרים פעילים בעיקר ביום. לפרפרים ראיית צבע טובה ויש אפילו כאלה עם 15 קולטנים לצבעים שונים. פרחים מאובקי פרפרים הם פעמים רבות אדומים או ורודים. פרחים המאובקים על ידי פרפרים, קבוצה של פרפרים ליליים, בדרך כלל גדולים ולבנים וריחניים. גם צרעות וזבובים הן קבוצות חשובות של מאביקים. הדבורים היא קבוצה גדולה של מאביקים משוכללים. יש מעל 20 אלף מיני דבורים, ורובן הגדול הן יחידאיות. רק מינים מעטים הן חברתיות כמו דבורת הדבש. פרופסור גיא בלוך, החוקר דבורים מזה שנים רבות, יספר לנו עליהן עכשיו. פרופסור בלוך בבקשה.

**פרופ. גיא בלוך:** מה שמאפיין דבורים זה שיש להן שיערות מנוצות. אנחנו מסתכלים במיקרוסקופ אלקטרוני, או אפילו במיקרוסקופ טוב שהוא לא אלקטרוני, אנחנו נראה שהן מנוצות, יש להן שטח פנים מאוד מאוד גדול והן יכולות לאסוף אבקה. במינים שכבר מתחילים להראות התמחות יותר גדולה של הרגליים באיסוף אבקה, נוצרים להם סלי איסוף אבקה שאצל הקבוצה של האפידה, שזה כולל את הדבורים החברתיות ביותר מתקדמות, זה מבנה מאוד מאוד מורכב. היא אוספת אבקה עם השערות שעל כל הגוף שלה ועם מסרקים שעל חלק מהרגליים היא אוספת אותה ויוצרת מזה איזשהו גוש. יש לה משהו שמקביל למרפק אצלנו אבל זה לא המרפק, יש לה מין מלחץ כזה וזה עובר לסלי האבקה שלה, וזה לאט לאט מצטבר בסלי האבקה. האינטרס של הצמח הוא שהדבורה תעביר את האבקה שלו לפרח מאותו המין. אחרת, היא סתם לקחה לו את האבקה. ישנם מנגנונים שגורמים לזה שתהיה עקביות באיסוף האבקה, זאת אומרת שדבורה שלומדת לטפל בפרח מסוים, היא תאסוף כמעט רק מהפרח הזה והיא תלך עם האבקה לפרחים נקביים של אותו המין והיא תעשה את שירותי האבקה, ההפרייה. בחלק מהפרחים קשה ללמוד לטפל ולכן דבורה שלומדת פרח אחד תשתדל לאסוף רק מאותו המין ולא ללכת להשקיע עוד הרבה זמן בלימוד פרחים ממין אחר. יש גם

מנגנונים ביופיזיקליים, אם מסתכלים על גרגרי אבקה בהגדלה רואים שיש להם מבנה מאוד מורכב. הם בנויים ככה שהם יכולים להיצמד אחד לשני וליצור גוש שהוא לא ייפול מתוך הסלים האלה. עכשיו אם היא מנסה לערבב מינים שונים של אבקה, הם לא מתחברים טוב ביחד, ולכן היא לא יכולה להביא את גושי האבקה המאוד מאוד גדולים האלה. דבורה כשהיא באה לקון, אז אתה יכול לראות שהיא באה עם גוש כחול-אפור, שזה פה יהיה רוזמרין, כי רוזמרין זה הצמח מרעה המרכזי שלהן, וזה יכול להיות כתום, וזה יכול להיות צהוב אם היא עפה לגן הבוטני או מסתובבת בקמפוס, ובאמת זה בדרך כלל צבעים מאוד מאוד אחידים בשביל הלכידות הזאת.

**מיכאל ברנדייס:** מבין החולייתנים, הציפורים היא הקבוצה המאביקה העיקרית. יש אמנם גם עטלפים מאביקים, אבל לא נדון בהם כאן. בסוירים שלנו באפריקה, בעיקר באוגנדה, ראינו מינים רבים של צופיות. יש מגוון ביולוגי ענק של ציפורים אלה. כאן במגדיר הציפורים הזה יש, כפי שאתם רואים, מעל 50 מיני צופיות שונות רק במזרח אפריקה. צופיות תלויות באופן מוחלט בפרחי הצוף מהם הן ניזונות. לכן צופיות יכולות לחיות רק במקומות שצמחים אלה פורחים כל השנה. כלומר, בעיקר באזורים טרופיים. בארץ יש מין אחד של צופית, הצופית הבהקת. עד לפני כמה שנה מין זה חי רק באזור יריחו. באזור בו יש את הרנוג השיטים, שפורח כל השנה, ושפרחיו האדומים והצינוריים מותאמים לצופית. בעשרות השנים האחרונות, עם התפשטות גינות הנוי ברחבי הארץ, נשתלו צמחים רבים נוספים המהווים מקור צוף לצופיות. הצופיות נפוצות לכן היום בכל רחבי הארץ. למשל שיח ההיביסקוס בגינה שלי פורח כל השנה והצופיות באות אליו כל יום, אפילו בחורף. גם במרכז ודרום אמריקה יש ציפורים הניזונות מצוף ומאביקות פרחים הקרויים קוליברים, כמו יונקי דבש. כאן בתמונות אתם רואים יונקי דבש שצילמתי בניקרוגואה. לציפורים אלה תכונות דומות לצופיות, הן קטנות, צבעוניות ובעלות מקור ארוך וגם הן מעדיפות פרחים אדומים. המין הקטן ביותר שלהן שוקל רק שני גרם. הבדל בולט אחד בין יונקי הדבש לצופיות הוא שיונקי הדבש יונקים צוף תוך כדי ריחוף. הצופיות לעומת זאת, כפי שראינו, יונקות צוף פעמים רבות תוך כדי עמידה על הפרח.



## 07 הפרייה כפולה

<https://youtu.be/X2IDuANcPk8>

ההפרייה בצמחים היא תהליך מורכב בהרבה מאשר הפרייה בבעלי חיים. זה הזמן להיזכר במונחים הפלואידי ודיפלואידי, אותם למדנו בשיעורים הקודמים. בתא הפלואידי יש סט אחד של כרומוזומים, בעוד שתא דיפלואידי מכיל סט כפול, אחד שהתקבל מכל אחד מההורים. תא הפלואידי נוצר בתהליך המיוזה מתא דיפלואידי. תא דיפלואידי נוצר משני תאים הפלואידיים בתהליך של הפרייה. שני סוגי התאים יכולים להתחלק בתהליך של מיטוזה ולשמר את הפלואידיות שלהם. למשל מתא דיפלואידי שעובר מיטוזה, נוצרים שני תאי בת שכל אחד מהם הוא דיפלואידי. מתא הפלואידי שמתחלק במיטוזה נוצרים שני תאי בת הפלואידיים. נעבור עכשיו לפרח, נבחן תחילה את הצד הנקבי, את השחלה. תא הביצית עובר מיוזה, תהליך שבסופו הביצית מכילה ארבעה תאים הפלואידיים. אחרי המיוזה כל אחד מהתאים עובר מיטוזה, כך שבסופו של התהליך יש בביצית שמונה תאים הפלואידיים. אחד מהם הוא תא הביצה ממנו ייווצר אחרי ההפרייה העובר. שני התאים במרכז הביצית עוברים איחוי לתא אחד גדול, המכיל שני גרעינים המכונים הגרעינים הפולריים, מתא זה תפתח אחרי ההפרייה רקמה שמזינה את העובר. רקמה זו מכונה אנדוספרם. לפני שנעבור להפרייה, נבחן עכשיו את הצד הזכרי. גם כאן השלב הראשון הוא מיוזה היוצרת ארבעה תאים הפלואידיים. מכל אחד מארבעת התאים ייווצר גרגיר אבקן אחד. בשלב הבא התא הפלואידי שבגרגיר האבקה עובר מיטוזה, כך שהגרגיר מכיל עכשיו שני תאים: אחד מהם הוא תא המין והשני הוא תא הנחשון. כאשר גרגיר האבקה מגיע לצלקת תא זה מנביט נחשון הצומח דרך עמוד העלי אל עבר הביצית. כמו כן הגרעין של תא המין מתחלק פעם נוספת. כאשר הנחשון מתקרב לביצית, יש בו, אם כך, שלושה גרעינים. גרעין תא הנחשון שלא משתתף בהפרייה, ושני גרעיני מין. כאשר הנחשון מגיע לביצית אחד מגרעיני המין חודר לתא הביצה. תא זה מכיל עכשיו, אם כך, שני גרעינים הפלואידיים, כלומר הוא דיפלואידי. מתא זה יתפתח העובר ובהמשך הצמח החדש. גרעין המין השני חודר לתא ממנו מתפתח האנדוספרם. כזכור תא זה כבר מכיל שני גרעינים הפלואידיים, אחרי ההפרייה הוא יהיה טריפלואידי, כלומר יכיל שלושה סטים של כרומוזומים. הפרייה זו מאפשרת את



התפתחות האנדוספרם. בעקבות הפרייה כפולה זו של תא הביצה ושל תא האנדוספרם מתפתח זרע. הזרע נובט וממנו מתפתח צמח חדש.

## מניעת הפרייה עצמית בפרחים

(טקסט)

בבעלי חיים נהוג לדבר על **המחיר הכפול של הרבייה המינית** הנובע מהצורך **בזכרים ובנקבות** לעומת רבייה א-מינית בה אין צורך בזכרים. העובדה שרבייה מינית כה נפוצה למרות מחירם הגבוה של הזכרים ושל מגוון דברים נוספים עליהם כבר דיברנו במבוא ליחידה 4 מעיד על כך שהיא **חיונית**. מדוע היא חיונית, היתה ונשארה, כפי שכבר דארין צ'ין, **מלכת השאלות של האבולוציה**.

**הרמפרודיטים** – פרטים שהם **גם זכרים וגם נקבות** היא, כפי שראינו ביחידה 4, תופעה הקיימת בבעלי חיים לא מעטים. יחד עם זאת **ברוב הגדול של בעלי החיים הזוויגים מופרדים נקבות וזכרים הם פרטים שונים**. **בצמחים** המצב הוא הפוך ורובם הגדול כ-95% הם הרמפרודיטים. בצמחים נהוג להשתמש במונח **חד-ביתי**. כלומר הזכרים והנקבות גרים באותו הבית. לרוב, הפרחים מכילים איברים זכריים (אבקנים) ונקביים (עלי ושחלה) גם יחד. מצב זה מכונה חד-ביתי דו-מיני. יש מקרים בהם יש פרחים זכריים ונקביים נפרדים עם אותו הצמח (חד-ביתי חד-מיני). **צמחים בהם יש פרטים זכריים ונקביים בנפרד מכונים דו-ביתיים**.

רוב הצמחים מצליחים עם כך **להימנע מהמחיר הכפול** של הרבייה המינית. הם אמנם מייצרים תאי מין זכריים ונקביים ומשקיעים משאבים רבים בהפרייה (פרסומת וגמול) אבל הם לא מייצרים פרחים ופרטים נפרדים לזכרים ונקבות.

במבוא ליחידה 4 דיברנו גם על **הבעייתיות של הפרייה עצמית**. מסיבות שגם הן עדיין לא ברורות לגמרי, הפרייה עצמית בין תאי מין של קרובים או של הפרט עצמו (במידה והוא מייצר תאי מין זכריים ונקביים) עלולה להביא לצאצאים פחות מוצלחים. ראינו שהחלזונות ההרמפרודיטיים אמנם מייצרים תאי מין זכריים ונקביים אבל הם מזדווגים זה עם זה ונמנעים בכך מהפרייה עצמית.

שאלה מרתקת היא **כיצד והאם פרחים חד ביתיים בהם יש אבקנים ועמוד עלי סמוכים זה לזה מצליחים להמנע מהפרייה עצמית?**

במקרים רבים אכן יש אחוז גבוה של הפרייה עצמית ויתכן והאחוז הקטן של הפרייה חיצונית מספיק. בקבוצות רבות אחרות התפתחו מנגנונים מורכבים שנועדו למנוע שתאי אבקה של פרח יפרו את הביציות של אותו הפרח או פרחים מאותו הפרט.

חלק מהמנגנונים קשורים לתזמון של ההבשלה של תאי המין השונים. מנגנונים אחרים מונעים נביטת נחשון של תא האבקה על הצלקת של הפרח ממנה הוא בא. מנגנון זה מכונה **אי סבילות עצמית** והוא קיים בוורדניים (תפוחים, משמשים, שקדים ועוד המון פירות), סולניים (עגבניות, אבטיחים וכו') ובעוד משפחות רבות של צמחים.

