

אבולוציה - לא "סתם תאוריה"

ארז גרטי¹

תורת האבולוציה הנה אחד המודלים המקיפים והמבוססים ביותר הקיימים בתחום הביולוגיה, היא נותנת מענה למגוון עצום של תופעות ומהווה את אחד אבני היסוד של התחום כולו. לא לחינם נאמר "שום דבר במדעי החיים אינו הגיוני למעט לאורה של תורת האבולוציה". פעמים רבות אף משווים אותה לחוקי ניוטון ולחוקי התרמודינמיקה בשל חשיבותה לתחום ובשל היותה אחת מאבני היסוד של מדעי החיים.

מסוים משנה את התפלגותו באוכלוסייה, ולא משנה מה הסיבה לכך, זו אבולוציה. השונות בתוך האוכלוסייה נוצרת בידי מוטציות אקראיות, כאשר ההתפלגות מוכתבת בידי בְּרָה טבעית. למשל, בעל חיים שיש לו מוטציה שגורמת לשרירי רגליו להיות מפותחים יותר, יעמוד בהצלחה רבה יותר במבחן הבררה הטבעית, ולכן יעמיד יותר צאצאים שיתחרו בהצלחה על המשאבים מול שאר האוכלוסייה. היות שמשאבי הסביבה מוגבלים, ככל שנתקדם עם הדורות, תעדיף הבררה הטבעית את אלו המותאמים יותר לסביבתם, במקרה זה את בעלי השרירים החזקים יותר (ולפיכך נמלטים מטורפים ביתר קלות). היות שהסביבה משתנה ללא הרף, כך גם הבררה הטבעית משנה את העדפותיה, וייתכן מצב שבו תכונה שהייתה מועדפת במצב אחד תהווה מגרעת במצב אחר. בואו נסתכל על דוגמת השרירים החזקים: אם יופיע טורף-על שעולה ביכולות הריצה שלו על כל הפרטים באוכלוסייה (נניח צייד עם רכב) - הרי שגודל השרירים שוב לא יהווה יתרון, ולפעמים אף חיסרון, משום שמדובר בנתח בשר גדול יותר עבור הטורף. כאן תלך ותרד התפלגות התכונה באוכלוסייה, וגם זו אבולוציה. כאשר אנחנו מסתכלים על פרקי זמן ארוכים, השינויים שחלו הולכים ומצטברים צעד אחר צעד, עקב בצד אגודל, ואנחנו מקבלים התפתחות והתאמה לסביבה בצורה שנראית מתוכננת. מובן שיש מקרים יוצאים מן הכלל כמו הכחדות המוניות, שינויים גנטיים דרמטיים, [אפקט המייסד](#) או סתם מזל עיוור, אך בהם לא נעסוק במאמר זה.

תורת האבולוציה הנה אחד המודלים המקיפים והמבוססים ביותר הקיימים בתחום הביולוגיה, היא נותנת מענה למגוון עצום של תופעות ומהווה את אחד אבני היסוד של התחום כולו. לא לחינם נאמר "שום דבר במדעי החיים אינו הגיוני למעט לאורה של תורת האבולוציה" (Dobzhansky, T. 1973) פעמים רבות אף משווים אותה לחוקי ניוטון ולחוקי התרמודינמיקה בשל חשיבותה לתחום ובשל היותה אחת מאבני היסוד של מדעי החיים. תורת האבולוציה מבוססת על עקרונות פשוטים של הורשה עם שינוי ובְּרָה טבעית, ולמרות שהיא מבוססת מאוד ואינטואיטיבית, אנו עדיין נתקלים בהתנגדות רבה, בייחוד בקרב חוגים שמרניים. אחד הטיעונים המושמעים תדיר הנו "אבולוציה היא "רק תאוריה", וככזאת אין חשיבות ללמד אותה בבתי הספר". מעבר לשימוש הלא נכון בזרזון המדעי, טיעון זה מצביע גם על חוסר היכרות עם המסה העצומה והמגוונת של הראיות בזכות תורת האבולוציה, מסה שהולכת ותופחת ויכולה למלא כרכים רבים של ספרים. במאמר זה אחלק את סוגי העדויות למספר קטגוריות, שבהן אציג דוגמאות ספורות ומייצגות על מנת להראות עד כמה מדובר בתאוריה חזקה ומבוססת.

אבולוציה על רגל אחת

לפני שנדון בראיות לאבולוציה, ברצוני להגדיר מה היא אבולוציה על רגל אחת. ההגדרה המדעית של תהליך אבולוציוני היא "שינוי בהתפלגות האללים במאגר גנטי נתון", כלומר: כאשר אלל

¹ ד"ר ארז גרטי, מכון דוידסון לחינוך מדעי, הזרוע החינוכית של מכון ויצמן למדע.



מין מעבר הוא האַרכאופטריקס (ראו איור 1).

מדובר במאובן שעל פי התארוך חי לפני כ-150 מיליוני שנים ונושא גם מאפיינים של זוחלים, כמו הזנב והשיניים, וגם כנפיים ונוצות כשל ציפור. זו איננה הדוגמה היחידה. קיימת [רשימה ארוכה](#) מאוד של מאובנים שנמצאו עם מאפיינים של שני סוגים של מינים.

קיימות דוגמאות לא רק לאב קדמון משותף של שני מינים אלא גם לרצף התפתחותי מסוים, כלומר, לרצף של מאובנים בגילאים שהולכים ומתכנסים המראים שינוי הדרגתי לאורך זמן. דוגמה מפורסמת היא האבולוציה של סוסים המכילה [רצף מרשים](#) של מאובנים המתארים את התפתחות הסוסים לאורך האבולוציה מיצור דמוי כלב שחי לפני כ-55 מיליוני שנים ועד לסוס המודרני של היום. ניתן לראות בצורה ברורה מגמות של התכנסות האצבעות אל הרגל, כאשר כמו גם תופעה שבה אצבע אחת מובילה בסופו של דבר אל הפרסה. ראיות מסוג זה מרמזות כי לכל שני מינים יש אב קדמון משותף כלשהו, וכי אותו אב קדמון יכול היה להתקיים לפני מיליון שנים, לפני עשרה מיליוני שנים או אפילו 500 מיליוני שנים, אבל הוא קיים במקום כלשהו במורד האילן האבולוציוני. עם זאת בשל הנדירות של היווצרות המאובנים קיימים הרבה מאוד חללים בפאזל אשר מקשים עלינו לבנות את התמונה הכוללת. עדויות המאובנים נותנות לנו תמונה כללית על סדר התפתחות המינים, אך היות שהם מהווים תמונה של בעל חיים יחיד שחי לפני X מיליוני שנים - אין די בהם לבדם כדי לבסס את תורת האבולוציה.

דמיון מורפולוגי

סיווג בעלי החיים לקבוצות על פי דמיון החל עוד בזמנו של אריסטו, אך את עבודת המיון המשמעותית הראשונה עשה [קארולוס לינאוס](#) - אבי הטקסונומיה. לינאוס חילק את בעלי החיים לפי קבוצות היררכיות (ממלכה, מערכה, מחלקה וכו') על פי הדמיון המורפולוגי ביניהם. כיום אנו יודעים כי אין הכרח שדמיון בין מינים יהיה רק מורפולוגי-חיצוני, אלא יכול להיות גם דמיון במערכות הגוף. בעזרת דמיון מורפולוגי ניתן לתאר בצורה גסה התפתחות אבולוציונית. כך למשל, אם ניקח את מבנה הלב: אצל דגים הלב הוא איבר צינורי בעל עלייה אחת וחדר אחד, והדם המחומצן מתערבב עם הדם הלא מחומצן. כאשר אנחנו



איור 1. האַרכאופטריקס, מאובן המעיד על מין מעבר הכולל מאפיינים של זוחל ומאפיינים של עוף.

עדויות מאובנים - תמונות מהעבר

קטגוריית העדויות המפורסמת ביותר היא המאובנים. מאובן הוא מעין חותמת שהטביע בע"ח בקרקע לפני שגופתו התפרקה לחלוטין. [יצירה של מאובן](#) מצריכה צירוף נדיר מאוד של תנאי סביבה, כך שעדויות המאובנים הן מוגבלות מאוד, אך בהחלט ניתן ללמוד מהן על היצורים שחיו בכדור הארץ, וגם על גילו של המאובן באמצעות שיטות [תארוך רדיואקטיבי](#). עדות מאובן מהווה תמונה של יצור שחי באותו מקום בעבר. ייתכן שנכחד וייתכן שלא נכחד, אך זוהי תמונת מצב שיצור ממין X התהלך כאן לפני Y מיליוני שנים. הגביע הקדוש של מאובנים הוא מה שנקרא "מיני מעבר" כלומר, מינים שמכילים מאפיינים של שני מינים שונים ולמעשה מהווים אב קדמון משותף לשני מינים שונים. דוגמה מצוינת למאובן המעיד על



איור 2. חפרפרת אירופית - העיניים שלה מכוסות בקרום עור דק הסוגר אותן מכל הכיוונים - כלומר, יש איבר בשלבי התנוונות.

גנים שונים. ישנם גנים שהם שמורים היטב מיצורים פרוקריוטיים ועד ליונקים. אותם גנים השתנו אך במעט בשל חשיבותם וחשיבות הרצף שלהם. כל שינוי קל באותם גנים הוא בעל פוטנציאל הרסני לאורגניזם הנושא אותו, על כן יש לנו מעט מאוד שינויים בפרק זמן ארוך מאוד באותם הגנים. לעומתם ישנם גנים אשר מסוגלים "לסבול" שינויים, משום שהשינויים קריטיים פחות לשרידות האורגניזם הנושא אותם, בשל המבנה שלהם שמתיר מרווח טעות מסוים או בשל קיום מספר עותקים שלהם המגבים זה את זה. במקרה כזה נראה הצטברות שינויים רבים לאורך זמן ותהיה לנו היכולת להעריך בצורה טובה יותר את מידת הקרבה בין מינים שונים הנושאים את אותו הגן.

איברים מנוונים

כאשר אנחנו מסתכלים על תהליכים אבולוציוניים, אנחנו הרבה פעמים טועים וסוברים שיש כאן יצירה של מורכבות, אך פעמים רבות אין העדפה לקיומו של אזור או איבר מסוים, ולפעמים הוא אפילו מפריע לתפקודו של האורגניזם. במקרה כזה המוטציות יצטברו, האיבר לאט לאט ישתנה, יתנוון ובמקרים מסוימים אף ייעלם לחלוטין או לחילופין יקבל תפקיד שונה. הדוגמאות לכך רבות מספור. החפרפרת הנה חיה מותאמת לחיים מתחת לאדמה, יש לה כפות רגליים קדמיות ארוכות ומעוקלות עם טפרים חזקים המאפשרים לה לחפור לעומק. מתחת לאדמה היא מוצאת את רוב מזונה, היא נתקלת באויבים רק לעתים

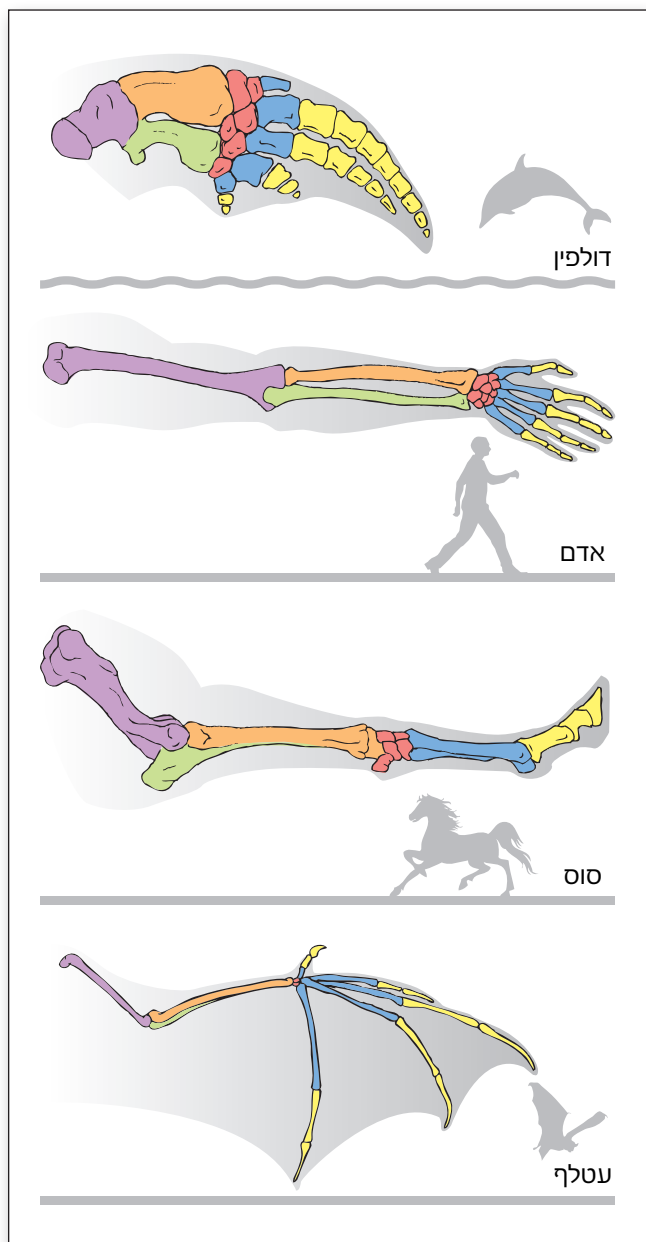
מתבוננים בדו-חיים, בזוחלים ובשאר היצורים במעלה האילן האבולוציוני, נוספים מבנים - כמו שסתומים, הפרדה לעליות וחדרים - המשפרים את יכולת השרידות של האורגניזם ותואמים את המורכבות שלו (Bishopric, 2006). הלב הוא דוגמה אחת לדמיון מורפולוגי; ניתן לזהות תבניות התפתחות גם במערכת הנשימה, במוח, בשלד ועוד.

מובן שקיימות הטיות כמו התנוונות של איברים או התפתחות מקבילה של איברים דומים אצל בעלי חיים מענפים אבולוציוניים שונים, אך עדיין דמיון מבני נחשב כעדות נוספת להתפתחות אבולוציונית. חשוב מאוד לציין כי הדמיון הגנטי, שבו אדון בחלק הבא, נתן גושפנקה מדעית לדמיון המורפולוגי. העובדה שברוב המקרים דמיון מורפולוגי מגובה גם בדמיון גנטי, מהווה ראיה חזקה מאוד לקרבה אבולוציונית בין מינים ולאב קדמון משותף.

דמיון גנטי - אב קדמון משותף

עם המהפכה הגנטית שהחלה באמצע המאה העשרים התווסף נדבך קריטי לשורת הראיות - היכולת להשוות רצפים העניקה לנו את היכולת לבנות אילנות יוחסין (עצים פילוגנטיים) על בסיס מקטע DNA זה או אחר, ולכמת את הקרבה בין שני מינים. תודות למהפכת האינטרנט, כל אדם יכול היום לקחת רצפי DNA של כל גן שהוא בוחר ממגוון עצום של מינים [ולבנות](#) בעצמו בקלות יחסית עץ פילוגנטי, להשוות בין גנים שונים ולראות איך זה מתיישב עם עדויות המאובנים. נוסף על כך פענוח תהליך התורשה ומנגנוני תיקון ה-DNA הביאו לנו מנגנון מולקולרי המלמד (או כל פועל מתאים אחר) כיצד המוטציות - חומר הגלם של האבולוציה - מופיעות.

גם לשיטה זו יש המגבלות שלה. הראשונה היא שהיא מצריכה דגימת DNA, דבר שלא ניתן לקחת ממאובנים, כך שלמעשה רוב העדויות הגנטיות מגיעות ממינים חיים. ישנם מקרים מסוימים ונדירים של [DNA עתיק](#) אך גם שם מדובר בדגימות בנות אלפי שנים או עשרות אלפי שנים (הרף עין מבחינה אבולוציונית) ובאיכות לא גבוהה. אם כן לא ניתן לקחת דגימות של דינוזאורים, אבל כן ניתן להצליב את המידע הגנטי עם המידע המורפולוגי, להעריך מתי היו קיימים ולוודא שזה מתאים לתארוך המאובנים. מגבלה שנייה היא חוסר האחידות בבחירה הטבעית שחלה על



איור 3. מבנה גפיים אצל יונקים שונים.

האצבעות והתעקלו על מנת לאפשר לה לחפור באדמה; אצל הסוסים התאחו העצמות והתארכו, והאצבע השלישית (אמה) עברה התאמה לעצם שעליה הסוס דורך (הפרסה). אצל הדולפין האצבעות התארכו ליצירת הסנפיר; אצל האדם התפתחה האגודל, והיא מאפשרת לפיתה של חפצים וכו'. לכאורה מבנים שונים עם ייעודים שונים, אך תכנית האב זהה

רחוקות, ויש לה הרבה פחות מתחרים על המזון מאשר מעל האדמה. מסיבות שונות כמו חושך או מגבלת ראות פיזית (לא ניתן לראות דרך מחסום האדמה), ראייה חדה אינה נותנת לחפרפרת יתרון, וניתן לראות כי עם הדורות חלה אצל יצורים תת-קרקעיים כמו החפרפרת או החולד התדרדרות בראייה. היות שהעיניים הן אזור רגיש לזיהומים ויש צורך להגן עליהן מהחול, אצל החפרפרת האירופית נמצא פתרון שלפיו העיניים שלה מכוסות בקרום עור דק הסוגר אותן מכל הכיוונים. כלומר, יש איבר בשלבי התנוונות, שאינו משרת את תפקידו המקורי, ועל מנת שלא יגרום נזק - נמצא פתרון אבולוציוני לכיסוי העיניים (ראו איור 2).

דוגמה שנייה היא ה**גפיים האחוריות** של הלווייתן. לאבותיו הקדומים של הלווייתן היו ארבע גפיים מתפקדות שאפשרו להם להתהלך על האדמה. עם הדורות ועם היתרון שבחיפוש מזון והגנה במים, הלכו הגפיים האחוריות והתנוונו. התנוונות הגפיים האחוריות אפשרה לאב הקדמון של הלווייתן לשחות בצורה יעילה ומהירה יותר, ולבסוף עם התפתחות הזנב (שאינו מבוסס על הגפיים האחוריות) - הן נעלמו כמעט לחלוטין. בפלג גופו האחורי של הלווייתן עמוק בתוך הבשר ניתן עדיין למצוא שרידים של עצמות הגפיים האחוריות ללא תפקיד תנועתי נראה לעין. שריד דומה לגפיים אחוריות ניתן למצוא אצל **נחשים**.

גם אצל בני אדם ניתן למצוא איברים מנוונים או איברים שאינם משמשים לייעודם המקורי כמו עצם הזנב, התוספתן ושיני בינה כמו גם תכונת "עור הברווז" שאצל אבותינו הקדמונים גרמה להסתמרות שיערות להגדלת הבידוד ושמירה על טמפרטורת הגוף.

עיצוב של טלאי על גבי טלאי

האבולוציה מסתמכת על חומר קיים, כלומר, לוקחת מבנים קיימים ועושה בהם שינויים. התוצאות המתקבלות דומות הרבה פעמים לתיקון של "טלאי על טלאי" יותר מאשר לתכנון מכוון מראש. דוגמה אחת לכך היא הדמיון בגפיים אצל היונקים. את האצבעות ביונקים מרכיבות אותן עצמות פחות או יותר, רק שכל אחת התארכה או התקצרה ועברה את ההתאמות הייחודיות בהתאם לאורגניזם שבו היא נמצאת. אצל עטלפים עברו האצבעות התאמה למוטת הכנפיים; אצל חפרפרות התארכו

בכולם - [גפה עם 5 אצבעות](#).

דוגמה בולטת נוספת היא אחת משלוחותיו של עצב הוואגוס (vagus) הקרויה גם עצב בית הקול התועה (ראו איור 4). אצל דגים שלוחה זאת יוצאת מהמוח, חולפת על פני הלב ומגיעה אל קשתות הזימים. עם ההתקדמות בסולם האבולוציוני התנוונו קשתות הזימים וקיבלו תפקידים שונים, וחלקן הפכו לשרירי הלסת. אם כן אצל בעלי חיים מפותחים יותר אבולוציונית, השלוחה מעצבת את אזור בית הקול, אך עדיין חולפת על פני הלב. למעשה, מה שקרה הוא שבאחד השלבים בסולם האבולוציוני מצא עצמו העצב "בצד הלא נכון של הלב", כלומר, הוא יוצא מהמוח, מסתובב סביב הלב וחוזר למעלה חזרה אל תיבת הקול. במקרים קיצוניים כמו הג'רפה מדובר במרחק מרשים של כ-5 מטרים, בעוד שהמרחק הישיר מהמוח לבית הקול קטן בהרבה (ראו איור 4).

ישנן עוד תופעות דומות רבות כמו מיקום [צינור השופכה](#) ביונקים, מיקום עצב הראייה וכו', ומה שמשותף לכולן הוא המאפיין של התפתחות טלאי על גבי טלאי, תוך כדי שימוש בחומר הקיים, ולא תכנון מוקדם של הכול.

אבולוציה בשירות האדם

עוד משחר ההיסטוריה עשה האדם כל שביכולתו כדי לנצל את המשאבים שהעמיד לרשותו הטבע. כבר בתקופות הפרהיסטוריות השתמש האדם בכלים אבולוציוניים בשביל להשביח מינים של צמחים ובעלי חיים כך שיתאימו לצרכים שלו. כאן התווה האדם את הברכה הטבעית והחליט אילו מינים יתרבו ואילו יוגשו בצלחת. לו למשל היה לו עדר של פרות, הוא היה בורר את הפר החזק והגדול ביותר ואת הפרה המניבה הכי הרבה חלב ומרבה אותם בשביל ליצור דור חדש של פרות חזקות שמניבות הרבה חלב. הפרות שלא היו עומדות בתקנים המחמירים שקבע היו מיועדות למאכל בעוד שהאחרות היו מורשות להתרבות. כך נוצרו במהלך הדורות שחלפו פרות המניבות יותר ויותר חלב עד לכמויות מפלצתיות של עשרות ליטרים ביום שאילו היו חיות בטבע לא היו שורדות. אותו הדבר

נכון גם בצמחים כמו החיטה: האדם ברר את השיבולים הטובות ביותר עם מספר הגרעינים הרב ביותר וזרע אותן בשדה, בעוד שבשאר השיבולים השתמש לעשיית קמח. בעונה הבאה היה לו שדה שלם של שיבולים איכותיות, ומתוכן ברר שוב את הטובות ביותר וחוזר חלילה עד שהתקבלה הגזרה המבויתת שקיימת היום שהיא שונה לאין שיעור מאם החיטה (Gegas et al., 2010). בשני המקרים התרחשו שינויים הגנטיים באופן אקראי לחלוטין, אך הברכה הטבעית הוכתבה בידי האדם לקבלת התוצר הרצוי. בעת המודרנית השתכללו הדרכים להשבחת מינים והן מתבטאות באמצעים להשריית מוטציות מהירה יותר כמו חשיפה לחומרים מוטגנים או הקרנה בקרינה רדיואקטיבית. גם כאן היו שינויים גנטיים אקראיים (אך מוגברים) וברירה של התוצר הרצוי. השימוש בכלים אבולוציוניים קיים היום בתעשייה ובמחקר, בהנדסה של אנזימים בכלים אבולוציוניים (מוטציות אקראיות וברירה טבעית של אנזימים שהראו שיפור בפעילות).

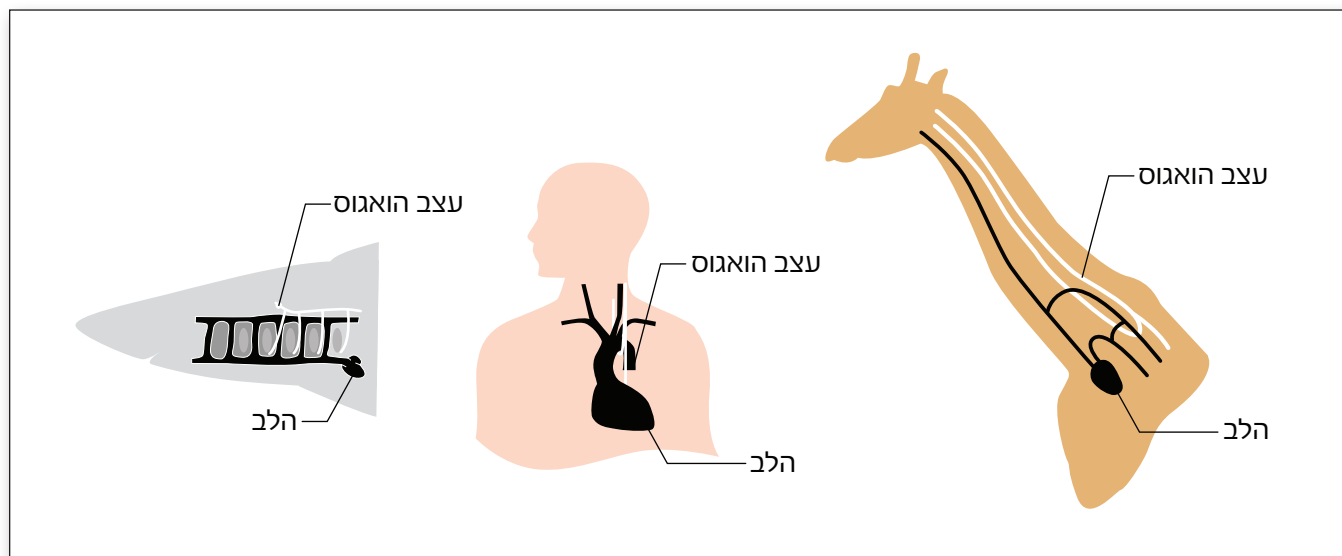
אבולוציה עכשיו!

אחת הבעיות העיקריות בעבודה עם עדויות לתהליכים אבולוציוניים היא זמן ההתרחשות שלהן. האבולוציה הנה תהליך אטי מאוד, וקשה לראות דוגמאות לתהליך אבולוציוני משמעותי ומהיר דיו, כך שאדם יוכל לחזות בהתרחשותו בזמן אמת. העדויות

הקודמות שהצגתי היו תמונות מן העבר, אך האם ניתן לראות תהליכים אבולוציוניים קצרים? דוגמה נפוצה מאוד לתהליך אבולוציוני כזה היא התפתחות העמידות לאנטיביוטיקה. חיידקים שנחשפים למינון נמוך של אנטיביוטיקה או למינון לא-רציף יכולים עם הזמן לפתח עמידות בעזרת שינויים אקראיים עד אשר השינוי גורם אצל חיידק בר מזל אחד לחוסר רגישות לאנטיביוטיקה. זהו תהליך לא ארוך שניתן לראות אותו מתרחש במעבדה בטווח של ימים ולאפיין אותו עד לרמת המוטציה. דוגמה נוספת היא עמידות לחומרי הדברה, חלקם מעשי ידי אדם כמו אורגנו-פוספטים אשר חרקים מצליחים להתגבר עליהם.

דוגמה נוספת לאבולוציה קצרה היא הניסוי המפורסם של [ריצ'רד לנסקי](#) בחיידקי *E. coli*. ב-1988 זרע לנסקי 12

תודות למהפכת האינטרנט, כל אדם יכול היום לקחת רצפי DNA של כל גן שהוא בוחר ממגוון עצום של מינים ולבנות בעצמו בקלות יחסית עץ פילוגנטי, להשוות בין גנים שונים ולראות איך זה מתיישב עם עדויות המאובנים.



איור 4. מסלול עצב בית הקול אצל ג'ירפה, אדם וכריש (בשחור).

נדיר אך אפשרי. וכששילוב מוטציות זה התרחש בפרוקריוטים קדומים, הוא פתח בפניהם נישא חדשה ובלתי מנוצלת של מקורות אנרגיה. [הניסוי](#) נמשך עד ימינו ומתקרב לדור ה-60,000.

דוגמה מאלפת נוספת היא מחקר שנערך באיים בים האדריאטי. במסגרת המחקר אספו החוקרים 5 זוגות של לטאות והעבירו אותן לאי שכן שבו לא היו לטאות מסוג זה. כעבור 36 שנים הגיעו חוקרים לבדוק את אוכלוסיית הלטאות באי וגילו התאמות מדהימות לבית הגידול החדש. באי זה נאלצו הלטאות לעבור התאמה מתפריט המבוסס בעיקרו על חרקים לתפריט המבוסס בעיקרו על צמחים. שינויים בולטים חלו במבנה הלסת שנועדו לאפשר להן ללעוס צמחים, אך שינוי מדהים עוד יותר היה מבנה דמוי שסתום שהתפתח במעי אשר אפשר למזון לנוע

לאט יותר ולחיידיקים מפרקי תאית לשגשג. למעשה, בפרק זמן קצר של 36 שנה התקבלה התחלה של איבר תסיסה במעיים של הלטאות. (Herrel, et al., 2008).

מושבות שמקורן בחיידק בודד בתרבות נוזלית ונתן להן לגדול. בכל יום הוא הפריד 10% מכל תרבות וזרק את ה-90% הנותרים. פעם ב-500 דורות הוא גיבה את התרבויות בשביל

בדיקות עתידיות. תוצאות הניסוי היו מרתקות. בכל 12 המושבות חלו שינויים דומים בנפח ובקצב הגידול של החיידקים - התאמות סבירות למקדם הברירה הטבעית שהוא הכתיב (איסוף 10% מהאוכלוסייה), וכל המושבות פיתחו תלות מלאה בתמיסת הגידול גם ברמת המזון וגם ברמת הלחץ האוסמוטי. כולן חוץ מתרבות אחת. ב-2008 (כ-20 שנה לאחר תחילת הניסוי) זיהה לנסקי מושבה אחת שהחלה להתרבות בקצב שהיה גדול משמעותית מהשאר. בדיקה העלתה שהיא פיתחה את היכולת לפרק ציטראט (אחד מתוצרי השימה התאית) ולנצל אותו כמקור אנרגיה נוסף. הדבר

נתן יתרון מובהק לבעל התכונה, והיא השתרשה מהר מאוד באוכלוסייה. הסיבה שבגללה התעכבה כל כך הופעתה של תכונה זו נעוצה בצירוף הנדיר של המוטציות הדרוש לקיומה,

החוזק העצום של הראיות הוא לא בכמותן אלא במגוון העצום שלהן. מאובנים אינם ראיה מספיקה, הומולוגיה מבנית גם היא איננה ראיה מספיקה, ואפילו הומולוגיה גנטית איננה ראיה מספיקה; אך כאשר אנחנו מאחדים את העדויות ורואים כי ניתן לחזות מאובנים של שלבי ביניים מסוימים בשכבות קרקע של תקופה מסוימת, וכי הדמיון הגנטי תואם את הדמיון המבני ואת אילן היוחסין שתוארך ממאובנים - זוהי עדות מרשימה מאוד וקשה להפרכה.



רשימת ספרות

Bishopric, N.H. (2006). Evolution of the heart from bacteria to man. ANNALS of the New York Academy of Sciences. 1047, The Communicative Cardiac Cell pages 13–29. DOI: 10.1196/annals.1341.002

Dobzhansky, T. (1973). Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution. Transcribed from The American Biology Teacher, March 1973 (35:125-129). Retrieved from; <http://www.2think.org/dobzhansky.shtml>

Herrel, A., Huyghe, K., Vanhooydonck, B., Backeljau, T., Breugelmans, K., Grbac, I., Van Damme, R. and Irschick, D. J. (2008). Rapid large-scale evolutionary divergence in morphology and performance associated with exploitation of a different dietary resource. PNAS, 105 (12), 4792-4795. DOI: 10.1073/pnas.0711998105

Gegas, V.C., Nazari, A., Griffiths, S., Simmonds, J., Fish, L., Orford, S., Sayers, L., Doonan, J.H., and Snape, J.W. (2010). A genetic framework for grain size and shape variation in wheat. Plant Cell. 22(4), 1046-1056. doi: 10.1105/tpc.110.074153.

ואיך הכול משתלב בתמונה הגדולה?

במאמר זה תיארת מספר קטגוריות לראיות לתורת האבולוציה, בין שמדובר בראיות מאובנים, בהומולוגיה מבנית, בהומולוגיה גנטית, ובין שמדובר באיברים מנוונים ובאבולוציה בשירות האדם והמחקר. קיימות עוד המון קטגוריות כמו אקולוגיה של איים, הומולוגיה בין מינים סמוכים גאוגרפית, מאובנים דומים ביבשות שהיו פעם שכנות, מיני טבעת, התפתחות עוברית ועוד. החוזק העצום של הראיות הוא לא בכמותן אלא במגוון העצום שלהן. מאובנים אינם ראיה מספיקה, הומולוגיה מבנית גם היא איננה ראיה מספיקה, ואפילו הומולוגיה גנטית איננה ראיה מספיקה; אך כאשר אנחנו מאחדים את העדויות ורואים כי ניתן לחזות מאובנים של שלבי ביניים מסוימים בשכבות קרקע של תקופה מסוימת, וכי הדמיון הגנטי תואם את הדמיון המבני ואת אילן היוחסין שתוארך ממאובנים - זוהי עדות מרשימה מאוד וקשה להפרכה. כאשר אתם תבואו ללמד אבולוציה בכיתה, נסו להראות לתלמידים את העושר העצום של הראיות ושאלו אותם מה המסקנה שאלה ניתן להגיע מראיות אלו. הוסיפו לאט לאט עוד ועוד ראיות מעוד ועוד קטגוריות ונסו לבנות להם את התמונה בהדרגה כמו מדען שאוסף ראיות. בסופו של דבר ניתן לראות שכל קטגוריה בפני עצמה אינה מספיקה, אבל סך כל העדויות משלימות זו את זו, מפצות על המגרעות של העדות האחרת ומספקות תמונה גדולה ורחבה של האבולוציה, גם אם חסרים פה ושם חלקים.

קריאה נוספת

[אשכול כתבות וסרטונים בנושא אבולוציה באתר דוידסון אונליין](#)

קוין, ג'א. (2013). למה האבולוציה נכונה. הוצאת משכל.

דטקינס, ר. (2012). ההצגה הגדולה בתבל. הוצאת כנרת זמורה ביתן.

