



מהפכת הדנ"א העתיק – מה מספרת לנו הגנטיקה על העבר?

Yoav Mathov^{1,2}, Liran Carmel^{1*}

¹המחלקה לגנטיקה, האוניברסיטה העברית בירושלים
²מרכז אדמונד ולילי ספרא למדעי המוח, האוניברסיטה העברית

סוקרים צעירים

GIFTED
CLASS,
HASHARON
JUNIOR
HIGH,
RAANANA
גיל: 13-14



מולקולה

מבנה קטן מאוד של חומר, שבנוי ממספר אטומים. רוב החומרים סביבנו, בסופו של דבר, בנויים מהמון מולקולות. דוגמאות למולקולות מוכרות: מים, פחמן דו חמצני, מלח שולחן ודנ"א.

הדנ"א הוא מרכיב מרכזי בתאי הגוף, שאוצר בתוכו את המידע שחשוב ליצירת הגוף שלנו ולהפעלתו. כיום, בזכות פיתוחים טכנולוגיים חדשים, מדענים למדו להפיק דנ"א ישירות משרידים של בני אדם וחיות שחיו לפני זמן רב. היכולת לקרוא דנ"א עתיק מאפשרת לנו ללמוד עובדות חדשות על חייהם של הקדמונים, ועל מה שהשתנה בדנ"א עם הזמן. כך זכינו לתובנות חדשות בשאלות רבות. למשל, כיצד תושבי אירופה למדו להכיר את החקלאות, כיצד התפתח האדם הניאנדרתלי, ומדוע נכחדו הממותות. בזכות דנ"א עתיק, מדענים אפילו הצליחו לגלות קבוצה חדשה ומסתורית של בני אדם, בלי לדעת כלל איך הם נראים. מידע מסקרן נוסף מתגלה כאשר מסתכלים על אופן הפעולה של גנים דרך אפיגנטיקה (מנגנוני בקרת גנים). כך, למשל, הצלחנו לזהות שינויים מרתקים במבנה של תיבת הקול בבני אדם מודרניים, שייתכן שאפשרו לנו להפיק יותר צלילים ולפתח שפה מורכבת. מהפכת הדנ"א העתיק נותנת לנו כלי חדש שבאמצעותו אנחנו יכולים ללמוד מה קרה לפני שנים רבות.

ללמוד לקרוא את הדנ"א העתיק

הדנ"א הוא אחד הדברים המופלאים ביותר בטבע. זוהי אמנם **מולקולה** קטנטנה שאינה נראית לעין, אך היא מכילה בתוכה את כל המידע התורשתי שנחוץ כדי ליצור יצור חי מתא

דנ"א

מולקולה ארוכה הנמצאת בכל תא בגופנו ועוברת בתורשה מהורים לילדיהם. הדנ"א בנוי מארבעה סוגים של אבני בניין, ומכיל מידע חשוב לבניית הגוף והפעלתו.

ריצוף דנ"א

קריאת רצף אבני הבניין (האותיות) שממנו מורכבת מולקולת הדנ"א, פעולה שנעשית לרוב כדי לפענח את המידע שטמון בתוך רצף הדנ"א.

בודד, וכדי לתחזק את תהליכי החיים. ניתן לדמות **דנ"א** לספריה ענקית, שהספרים שבתוכה, שנקראים גנים, מכילים הוראות הרכבה והפעלה כמעט לכל פעולה שמתרחשת בגוף שלנו. הדנ"א כתוב בשפה בעלת ארבע אותיות בלבד, הנקראת הקוד הגנטי. אם נדע לפענח את שפת הדנ"א, נוכל להבין טוב יותר כיצד הגוף שלנו עובד. מסיבה זו פותחו עם השנים שיטות לקרוא את רצף האותיות לאורך מולקולת הדנ"א, תהליך שנקרא בפי הביולוגים **"ריצוף דנ"א"**. עם הזמן, תהליך ריצוף הדנ"א הפך ליעיל, למהיר ולזול יחסית, והיום בידינו רצפי דנ"א של עשרות אלפי בני אדם, ועשרות אלפי יצורים חיים אחרים.

היכולת לרצף דנ"א פותחת בפנינו אפשרויות חדשות למחקר שעד היום נחשב למדע בדיוני. אחת האפשרויות המרתקות הללו היא מחקר של דנ"א עתיק. הכוונה היא לריצוף דנ"א שהופק מתוך עצמות ושרידים אחרים של יצורים שחיו לפני זמן רב. מולקולות הדנ"א הן יציבות ביותר, ומסוגלות במקרים מסוימים לשמור על המידע הגנטי שמקודד בהן אפילו עד מיליון שנים. כך ניתן לקבל מידע גנטי של אנשים קדומים, או של יצורים שכבר נכחדו מזמן. צריך להבין שחקר העבר הרחוק הינו משימה קשה ביותר. למשל, ארכיאולוגים מנסים לחקור כלים שהשאירו בני אדם קדומים מאחוריהם, וגיאלוגים מנסים להבין כיצד השתנו יבשות וימים. אולם למרות הידע הרב וההבנה שהם צוברים, עדיין קשה לענות על שאלות בסיסיות כמו "למה נכחדו הממותות?" או "מתי בני אדם המציאו את השפה?". היכולת לרצף את הדנ"א של יצורים קדומים נותנת זווית הסתכלות חדשה, אפשרות להעמיק את היכרותנו עם עברנו, ויכולת לענות על שאלות שעד היום לא ניתן היה לתת להן מענה.

ההתחלה הייתה קשה. הדגימות העתיקות הראשונות שרוצפו התגלו כטעויות. אבל לאט לאט תוצאות אמיתיות החלו להתקבל. הדגימה המשמעותית הראשונה התפרסמה בשנת 1984, כאשר ראסל הינצ'י ועמיתיו דיווחו כי הצליחו לרצף חתיכה קטנה מדנ"א של קואגה, קרובת משפחה של הזברה שנכחדה לפני 150 שנה. מאז, התווספו עוד ועוד דגימות שרוצפו באיכות הולכת ועולה, והיום יש בידינו **דנ"א עתיק** של מאות בני אדם, של קבוצות בני אדם קדומות כמו **ניאנדרתלים**, של גידולים חקלאיים מלפני אלפי שנים, של חיות מתקופת הקרח האחרונה (שהתקיימה לפני עשרות אלפי שנים) כמו ממותות ועצלני ענק, ושל בעלי חיים שנכחדו רק לאחרונה כמו הדודו במאוריציוס, הזאב הטסמני באוסטרליה, והיונה הנוודת באמריקה.

סיפורו של האדם הניאנדרתלי

כיום, כל בני האדם שהולכים על פני כדור הארץ שייכים לאותה קבוצה, אותה אנחנו נוהגים לכנות בשם "האדם המודרני". אבל עד לפני כשלושים אלף שנה, חיו פה גם בני אדם אחרים. הידועים ביותר מהם מכונים ניאנדרתלים. ניאנדרתלים חיו במשך עשרות אלפי שנים באירופה, באסיה, ובמזרח התיכון. במקביל, התפתחו בני אדם מודרניים באפריקה. שתי הקבוצות נפגשו רק לאחר שבני אדם מודרניים החלו לצאת מאפריקה ולגלות את העולם. איש לא יודע להגיד מה היה טיב המפגשים בין שתי קבוצות האדם, אבל את הסוף אנחנו מכירים היטב – אנחנו עדיין כאן, ואילו הניאנדרתלים נכחדו זה מכבר. הניאנדרתלים היו מאוד דומים לנו, אך בכל זאת קצת שונים. למשל, הייתה להם גולגולת נמוכה יותר, ומעט יותר מאורכת, מוח מעט גדול יותר, פנים משוכות קדימה, שיניים גדולות יותר, ועצמות רחבות שמעידות על כך שהם היו מוצקים יותר מאתנו (איור 1). את כל אלה רואים בשלדים הניאנדרתלים הרבים שנמצאו לאורך השנים. למעשה, רוב מה שאנחנו יודעים על ההבדלים בינם לביןנו קשור בשלד, משום שהוא שורד

דנ"א עתיק

דנ"א שהופק משרידים של בני אדם או יצורים אחרים שמתו לפני שנים רבות.

האדם הניאנדרתלי (ניאנדרתל)

קבוצה של בני אדם שהייתה נפוצה באירופה, אסיה והמזרח התיכון, ונכחדה לפני כ-30,000 שנים. נקראים על שם עמק ניאנדר בגרמניה, שם נמצאו השרידים הראשונים של אוכלוסייה זו.

איור 1

השוואה של גולגולת ניאנדרטלית (מימין) לאדם מודרני (משמאל). שימו לב לרכסי הגבות העבים וללסת הגדולה של הניאנדרתל, ולמצח הגבוה של האדם המודרני. נפח המוח של שתי קבוצות האדם היה דומה, אך מוחם של הניאנדרתלים מוארך ושטוח יותר. (מקור: Wikimedia).



טוב יותר את מבחן הזמן משאר רקמות הגוף. אבל, שאלות מרתקות רבות נשארו ללא מענה – האם הניאנדרתלים פיתחו שפה בדומה לבני אדם מודרני? האם פיתחו תרבות? אם כן, איך נראתה תרבות זו? האם המפגש ביננו לבינם היה אלים או שליו? האם נכחדו באשמתנו? האם היו לנו צאצאים משותפים?

מהפכת הדנ"א העתיק לא פסחה על הניאנדרתלים. עם השנים רוצפו יותר ויותר חלקים מהדנ"א הניאנדרתלי, שנלקחו משרידים שנמצאו במקומות שונים בעולם. בשנת 2014 פרסמו לראשונה סבנטה פאבו ושותפיו ריצוף באיכות גבוהה של דנ"א של ניאנדרתל שחי לפני עשרות אלפי שנים בסיביר [1]. התגלה ש-99.7% מהדנ"א הניאנדרתלי זהה לשלנו. חוקרים רבים עמלים כדי לנסות להבין מה המשמעות הביולוגית של אותם 0.3% בהם אנחנו שונים. למשל, הראו שהייתה לניאנדרתל גרסה קצת אחרת של גן הקרוי MC1R. זהו גן שאחראי על צבע העור והשיער, והגרסה הניאנדרתלית כנראה הקנתה להם גוון עור בהיר ושיער אדמדם. מכך למדנו שחלק מהניאנדרתלים היו כנראה נינג'ים. בציורים ושחזורים של ניאנדרתלים שנעשו בשנים האחרונות, האמנים אכן בדרך כלל צבעו את שערם באדום. מכיוון ששיער ועור כולל אינם שורדים את פגעי הזמן, זהו מידע שלא ניתן היה להסיק ממצאים ארכיאולוגיים.

ומה לגבי האינטראקציות ביננו לבינם? מסתבר שהדנ"א הניאנדרתלי מהווה כ-1-2% מהדנ"א של בני אדם מודרניים מאירופה, מאסיה ומאמריקה. פירוש הדבר, שהיה מגע בין ניאנדרתלים לאדם המודרני, ושהם הולידו ילדים בני תערובת. רובנו בעצם צאצאים של אותם בני תערובת עתיקים.

האדם הדניסובי - הקרוב המסתורי שלנו

אחד הסיפורים המפתיעים של הדנ"א העתיק לוקח אותנו הרחק אל מערת דניסובה שבסיביר. חוקרים מצאו שם חלק קטן של עצם זרת, וכן כמה שיניים. החוקרים שיערו שהשרידים הם של ניאנדרתלים. אולם כאשר הם ריצפו את הדנ"א [2] הסתבר שהוא שונה משמעותית גם מזה של הניאנדרתלים וגם מזה של בני האדם המודרניים. לכן, הסיקו החוקרים כי מדובר בקבוצה

האדם הדניסובי (דניסובן)

קבוצה נוספת של בני אדם שהייתה נפוצה באסיה ונכחדה. עדיין לא נמצאו שלדים מלאים של דניסובנים. נקראים על שם מערת דניסובה בסיביר (רוסיה), שם נמצאו לראשונה שרידים של אוכלוסייה זו.

חדשה של בני אדם, שונה מכל מה שהכרנו עד היום, והוחלט לקרוא לה בשם "דניסובן". זו הייתה הפעם הראשונה בהיסטוריה של המדע, שקיומה של קבוצת בני אדם חדשה הוסקה רק על סמך דנ"א. עד היום, איננו יודעים כמעט דבר על הדניסובן, לא איך הוא נראה, לא כיצד הוא חי ולא מה היו המאפיינים התרבותיים והשכליים שלו.

הדנ"א הדניסובני מאפשר לנו ללמוד כמה דברים על אנשים מסתוריים אלה. בדנ"א של תושביה הילידים של אוסטרליה (האבוריג'ינים) ושל תושבי ניו גינאה והאיים הסמוכים, מוצאים עקבות לדנ"א דניסובני. סביר, אם כן, שהדניסובן חי לא רק בסיביר, אלא גם במקומות אחרים באסיה, שם פגש בני אדם מודרניים והעמיד איתם צאצאים משותפים. הדנ"א מלמד אותנו גם שהדניסובנים היו מותאמים לחיים בגובה ובקור, וכנראה שדנ"א דניסובני הוא זה שעוזר לטיבטים של היום לחיות בגובה רב, ולאינואיטים (אסקימואים) של היום לחיות בקור עז. באזורים שונים באסיה נמצאו לאורך השנים שרידי אדם שהיו שונים מאלה של ניאנדרתלים. ייתכן ששרידים אלה הם של דניסובנים, אולם עד שיצליחו להפיק מהם דנ"א ולהשוות אותו לזה שנמצא במערת דניסובה, לא נדע בוודאות כיצד האדם הדניסובי נראה.

מדוע נכחדו הממותות?

מהפכת הדנ"א העתיק סיפקה לנו ממצאים מעניינים לא רק על בני אדם, אלא גם על מינים אחרים. דוגמה מפורסמת היא הממותה הצמרית, קרובת המשפחה של הפילים המודרניים (איור 2). הממותות הצמריות חיו באזורים הצפוניים של אמריקה ואסיה. רובן נכחדו לפני כעשרת אלפים שנה, אולי מפני שהאקלים נעשה חם יותר, אולי מפני שהן ניצודו על ידי בני אדם, ואולי בגלל שילוב של השניים. אוכלוסייה קטנה של ממותות שרדה באיים קטנים בלב האוקיינוס הארקטי, היכן שמזג האוויר היה קר יותר ולא היו בני אדם שיצודו אותם. האוכלוסייה הזו שרדה זמן רב, ונכחדה רק לפני פחות מ-4000 שנה. מפתיע לחשוב, שכאשר נבנו הפירמידות במצרים, עדיין היו ממותות על פני כדור הארץ.

האקלים הקר בו הממותות חיו אפשר לדנ"א שלהן להשתמר מצוין, וחוקרים הצליחו לרצף דנ"א ממספר ממותות מתקופות שונות. דנ"א זה מאיר באור חדש את סיפור הכחדתן [3]. למשל, הדנ"א של ממותה בת 4000 שנים מאחד האיים הארקטיים מראה הרבה מוטציות

איור 2

הממותה הצמרית הייתה קרובת משפחה של הפיל האסיאתי. בזכות תכונות כמו פרווה סבוכה, שכבת שומן עבה, ואוזניים קטנות, היא הייתה מותאמת לחיים באקלים קר (מקור: Shutterstock).



איור 2

מזיקות (שהן שינויים ברצף הדנ"א) שניתן לקשור למחלות שונות. זו תופעה שלפעמים מתרחשת באיים מבודדים. מכיוון שהאוכלוסייה באי הייתה קטנה, לממותות לא היה מבחר גדול של בני ובנות זוג, והן הזדווגו עם קרובי משפחה, מה שידוע כמנדיל מאוד את הסיכוי למוטציות מזיקות. עם השנים, הצטברו אצל הממותות עוד ועוד מוטציות, אשר ככל הנראה גרמו לאוכלוסייה לקטון ולקטון, עד שבסוף היא נכחדה לחלוטין. לקריאה נוספת על החזרת ניאנדרתלים וממותות לחיים ראו תיבה 1.

אפיגנטיקה - דרך חדשה להבין את העבר

הדנ"א של צפרדע בוגרת זהה לחלוטין לדנ"א שהיה לה כשהייתה ראשן. למרות זאת, היא נראית שונה מאוד. הראשן הוא בעל זנב, חסר רגליים, ונושם במים. לעומת זאת, צפרדע בוגרת היא חסרת זנב, עם רגליים, ונושמת ביבשה. כיצד אותו דנ"א בדיוק יכול ליצור חיות כל כך שונות? התשובה טמונה בתהליכים הנקראים בקרת גנים. נחזור לדימוי של הדנ"א בתור ספריה ענקית, והגנים בתור ספרי הוראות. עכשיו תארו לכם שאפשר למתוח חבל אדום ולחסום את הגישה לאזורים שונים בספריה שלנו. כעת, למרות שהספרים נמצאים שם, אף אחד לא יכול לגשת אליהם ולקרוא אותם. בראשנים, נחסמת הגישה לגנים של "צפרדע" ובצפרדעים, נחסמת הגישה לגנים של "ראשן". מרכיב משמעותי של תהליכי הבקרה מורכב משינויים כימיים בדנ"א או בדרך בה הוא ארוז. שינויים אלה נקראים בשם הכולל "אפיגנטיקה" (איור 3).

מכיוון שהדנ"א של אדם מודרני דומה מאוד לזה של בני אדם עתיקים, חושבים החוקרים שהרבה מאוד מההבדלים בין הקבוצות לא נובעים מהבדלים ברצף הדנ"א עצמו, אלא מהבדלים בתהליכי הבקרה. הבעיה היא שקשה מאוד להבין מה הם תהליכי הבקרה רק מתוך הסתכלות ברצף הדנ"א, ולכן לא הייתה דרך לדעת איך פעלה בקרת הגנים ביצורים עתיקים. בשנת 2014, קבוצת המחקר שלנו, ביחד עם קבוצתו של פרופ' ערן משורר,


אפיגנטיקה


תהליכי בקרה שמונעים או מאפשרים גישה למידע שטמון בתוך הדנ"א. שינוי בתהליכי הבקרה האלה יכול להוביל לשינוי במראה או בהתנהגות גם אם מולקולת הדנ"א עצמה לא תשתנה כלל.

איור 3


השפעתם של שינויים גנטיים ואפיגנטיים. 1: שינוי ברצף האותיות שמרכיב את הקוד הגנטי שינה את צבעה של הקרן של חד הקרן מכחול לאדום. זהו שינוי גנטי. 2: אין שינוי ברצף האותיות של הדנ"א, אבל יש שינוי בבקרת הגנים. העיגולים האדומים מסמנים כי הדנ"א עבר תהליך בקרה שנקרא "מתילציה" דנ"א שגורם לגן להיות "חסום" לגישה". כתוצאה מחסימת הגישה לגן, צבע הקרן משתנה לירוק.


1.

ATCTCGCTCACACTCGATCAA 

ATCTCGCTCACACCTAATCAA 

2.

ATCTCGCTCACACTCGATCAA 

ATCTCGCTCACACTCGATCAA 

איור 3

עשתה פריצת דרך [4], וגילתה דרך לשחזר תבניות אפיגנטיות בדנ"א עתיק, ומתוך כך להבין תהליכי בקרת גנים. באופן יותר ספציפי, גילינו איך לשחזר תבניות אפיגנטיות הנקראות "מתילצית דנ"א", ואשר מהן ניתן להבין אילו גנים פועלים ואילו מושקעים. שחזרנו את תבניות המתילציה של קבוצות אדם עתיקות כמו הניאנדרתל והדניסובן, וגילינו גנים, שהקוד הגנטי שלהם זהה בין קבוצות בני האדם השונות, אבל פועלת עליהם בקרה שונה לחלוטין.

כך קיבלנו רשימה של גנים שמייחדים את האדם המודרני, שכן תהליכי הבקרה שלהם שונים בין אדם מודרני לבין ניאנדרתלים ודניסובנים. זו רשימה מרתקת ובה גנים רבים הקשורים לתפקוד המוח ולמחלות נוירולוגיות. הרבה גנים אחרים ברשימה קשורים למבנה תיבת הקול שלנו. כאשר משווים אדם לשימפנזה, רואים שתיבת הקול של שימפנזים נמצאת במקום גבוה יותר בגרון מאשר תיבת הקול שלנו, וכן שהפנים שלנו הרבה פחות בולטות משלהם. אנחנו יודעים משיפנזות שגודלו בשבי, שגם אם נלמד שימפנזה לדבר, היא תתבטא על ידי שימוש בשפת הסימנים ולא בקול. אחת הסברות לסיבה לכך היא המבנה השונה של תיבת הקול של שימפנזות, שלא מאפשר להן להגות את מגוון הצלילים אותם אנחנו מסוגלים להפיק. באופן מרתק, ברשימת הגנים שמייחדות את בני האדם המודרניים, גילינו גנים הגורמים בדיוק לשני השינויים הללו – השטחת הפנים והורדת מיתרי הקול מטה במורד הגרון. לכן ייתכן שלניאנדרתלים ולדניסובנים הייתה תיבת קול גבוהה יותר, ואולי דבר זה היה חלק מתהליך שאפשר לנו להפיק יותר צלילים, וכתוצאה מכך לפתח שפה מורכבת.

שחזר תבניות אפיגנטיות פותח אפשרויות חדשות בחקר העבר. למשל, ידוע שבניגוד לדנ"א עצמו אפיגנטיקה משתנה בהתאם לסביבה בה חי האדם. לכן, עקרונית, ניתן יהיה להשתמש בתבניות האפיגנטיות על מנת לשחזר את התנאים שבהם חיו הקדמונים. למשל, האם סבלו מרעב? מלחץ נפשי? מקור? רמזים ראשוניים שקיבלנו מצביעים על כך שהניאנדרתלים והדניסובנים חיו במשטר תזונה דומה לזה של **ציידים-לקטים**. היכולת לרצף דנ"א עתיק, ולשחזר תהליכי בקרת גנים, מהווים מהפכה של ממש. יחד, הם צפויים לסייע לנו בלימוד פרטים חדשים על הפרקים האבודים בתולדות המין האנושי ולהבין איך הפכנו להיות מי שאנחנו היום.

ציידים לקטים

אוכלוסיית בני אדם המתקיימת מציד בעלי חיים וליקוט מזון מן הצומח. לרוב, ציידים לקטים מנהלים אורח חיים של נוודים. בעבר, כל בני האדם היו ציידים לקטים, אך לאחר המהפכה החקלאית הם עברו להתיישב בבתי קבע ולגדל את האוכל של עצמם.

תיבה 1 - האם ניתן להחזיר את הניאנדרתלים והממותות לחיים?

בעבר המחשבה על השבתם לתחייה של בני אדם עתיקים וחיות שנכחדו, נשמעה כמו מדע בדיוני לחלוטין. אבל מהפכת הדנ"א העתיק שינתה את התמונה. תינוקות ועוברים מתפתחים משני תאים: ביצית זרע, האחד מגיע מהאב והשני מהאם. לאחר שהתאים האלה נפגשים הם מתאחדים לתא אחד הקרוי "ביצית מופרת" (זיגוטה, בלועזית). הביצית המופרת מכילה דנ"א שהגיע הן מהאב (דרך הזרע) והן מהאם (דרך הביצית). המידע שמופיע בדנ"א שלה יקבע איך היא תפתח, ואיזה עובר יפתח ממנה. באופן תיאורטי, אם ניקח ביצית מופרת של פילה, נוציא ממנה את הדנ"א, ונכניס לתוכה דנ"א של ממותה, אפשר לשער שאם הכל יתנהג כשורה, הפילה הזו תמליט ממותה קטנה (או בן כלאיים של פיל וממותה). יש היום מספר קבוצות מרחבי העולם שבוחנות את הנושא, והמדען ג'ורג' צ'רץ' כבר הצהיר: "אני יכול ליצור תינוק ניאנדרתל, כל מה שאני צריך הוא אישה אחת אמיצה שתנדב". אלא שכנראה שבפני החוקרים עומדים לא מעט מכשולים טכניים בדרך. רחם של פילה הוא שונה מעט מזה של ממותה, וייתכן שההבדל במבנה יכול להשפיע על העובר. בנוסף, ישנו הבדל אפיגנטי, וחשוב להבין מה שונה בבקרת הגנים בין ממותה לפיל לפני שמתחילים בתהליך. כמו כן, אנחנו צריכים לשאול את עצמנו האם באמת נכון להחזיר לעולם בעלי חיים, ובפרט בני אדם, שהיום כבר לא קיימים בו, האם זה מוסרי והאם יש בעיות אתיות בכך. אלו שאלות שצריכות להישאל כבר כיום, כי בעתיד הנראה לעין ייתכן בהחלט שהטכנולוגיה תוכל לאפשר לנו להשיב את הניאנדרתלים והממותות לחיים.

מקורות

1. Prüfer, K., Racimo, F., Patterson, N., Jay, F., Sankararaman, S., Sawyer, S., et al. 2014. The complete genome sequence of a Neanderthal from the Altai mountains. *Nature* 505:43–9. doi: 10.1038/nature12886
2. Meyer, M., Kircher, M., Gansauge, M. T., Li, H., Racimo, F., Mallick, S., et al. 2012. A high-coverage genome sequence from an archaic Denisovan individual. *Science* 338:222–6. doi: 10.1126/science.1224344
3. Rogers, R. L., and Slatkin, M. 2017. Excess of genomic defects in a woolly mammoth on Wrangel island. *PLoS Genet.* 13:e1006601. doi: 10.1371/journal.pgen
4. Gokhman, D., Lavi, E., Prüfer, K., Fraga, M. F., Riancho, J. A., Kelso, J., et al. 2014. Reconstructing the DNA methylation maps of the Neandertal and the Denisovan. *Science* 344:523–7. doi: 10.1126/science.1250368

פורסם אונליין: 01 באפריל 2019

נערך על ידי: Idan Segev, Hebrew University of Jerusalem, Israel

ציטוט: Mathov Y and Carmel L (2019) מהפכת הדנ"א העתיק – מה מספרת לנו הגנטיקה על העבר? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00024-he

תורגם והותאם:

Mathov Y and Carmel L (2019) The Revolution of Ancient DNA—What Does Genetics Tell Us About the Past? *Front. Young Minds* 7:24. doi: 10.3389/frym.2019.00024

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2019 © Mathov and Carmel 2019. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחבר(ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקרים צעירים

14-13 גיל: GIFTED CLASS, HASHARON JUNIOR HIGH, RAANANA

אנחנו כיתת מחוננים בשכבת ח' שלומדת בחטיבת ביניים "השרון" רעננה, לומדים יחד זו השנה השנייה. אנחנו נערים ונערות סקרנים וסקרניות, שרוצים ללמוד דברים חדשים. מפגינים חשיבה יצירתית היוצאת מן הקופסה, ואוהבים אתגרים בתחומים דעת שונים. פרויקט זה התאים לנו ככפפה ליד.



הכותבים

YOAV MATHOV

דוקטורנט למדעי המוח באוניברסיטה העברית בירושלים. המחקר שלי עוסק בשינויים שקרו במוח ובגוף עם התפתחות האדם. מאוד מעניין אותי לדעת מה הופך דווקא את בני האדם לחכמים ואינטליגנטים. אני אוהב ללמוד דברים חדשים, לקרוא, לעשות ספורט ולטייל בעולם.

LIRAN CARMEL

פרופסור לביולוגיה חישובית במחלקה לגנטיקה באוניברסיטה העברית בירושלים. מעניינת אותי אבולוציה של בני אדם, איך הפכנו להיות מה שאנחנו היום, ואיך אפשר להבין מה קרה בעברנו מתוך הסתכלות בדנ"א. בזמני החופשי אני בעיקר משחק שחמט, ויש לי שני חתולים שלאחד מהם קוראים קספרוב.
*liran.carmel@huji.ac.il



Hebrew version
provided by

מזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem

