

## מוצא האדם מהארכיאה

כיום כבר ידוע למדע שמוצא האדם המודרני הוא מקופי אדם קדומים ששוטטו ביערות אפריקה. המידע הזה מושתת על שנים של השוואה גנטית למינים של קופים, חקר מאובנים וממצאים ארכיאולוגיים. אך כשמדובר במוצא החיים בכדור הארץ בכלל, התמונה הרבה פחות ברורה. איך ממרק קדמוני של מינרלים וחומרים אורגניים נוצרו החיים כמו שאנחנו מכירים אותם כיום? ממצאים חדשים מהשנים האחרונות שופכים אור על החוליה החסרה בהתפתחות החיים על כדור הארץ, ומגלים שבני האדם והחיידקים אולי לא רק בני דודים - אלא אחים של ממש. עד לאחרונה, האמנו שעולמנו מחולק לשלוש ממלכות נפרדות, או ליתר דיוק, לשלוש "על-ממלכות" נפרדות. ה"על-הממלכה" (domain) הראשונה כוללת את כל היצורים האיקריוטים - שמרים, צמחים, בעלי חיים וכמובן האדם. התכונה המשותפת לפיה הוגדרו כל היצורים המגוונים האלה כקבוצה אחת היא הנוכחות של גרעין תא ואברונים בעלי תפקיד ייחודי בתוך כל תא. העל-הממלכה השנייה מורכבת מכל המגוון העצום של החיידקים בעולמנו - כולם מחוסרי גרעין תא ואברונים תוך תאיים (לכן הם נקראים פרוקריוטים, מיוונית: פרו = לפני; קריון = גרעין). את שתי הקבוצות הללו כולנו מכירים, אך רבים מאתנו כנראה טרם התוודעו ל"על-הממלכה" השלישית - הארכיאה.

ארכיאה מסוג *salifodinae Halococcus* הארכיאה היא קבוצה של מיקרואורגניזמים חד-תאיים, שבדומה לחיידקים, גם הם יצורים פרוקריוטים - חסרי גרעין תא ומשוללי אברונים תוך תאיים. משום הדמיון הרב ביניהם, המדענים שגילו את הארכיאה חשבו שמדובר בסוג של חיידק ונתנו להם את הכינוי ארכי-בקטריה (חיידקים קדומים). רק בשנות ה-70 של המאה הקודמת, על סמך ממצאים שמתבססים על מקטעים של די-אן-אי, ביולוגים הבינו שמדובר בקבוצה נפרדת לחלוטין, בעלת מאפיינים ייחודיים, והוחלט כי קבוצה זו היא "על-ממלכה" בפני עצמה ונפרדת לחלוטין, שרחוקה מחיידקים מיליארדים של שנות אבולוציה. אמנם, בעבר חשבו שהארכיאה נמצאים באזורים בעלי תנאי מחייה קיצוניים - טמפרטורות קיצוניות או סביבות מאוד מלוחות, למשל - אך היום כבר יודעים כי בדומה לחיידקים, הם יכולים להימצא בכל מקום, כולל בגוף האדם. עד כה, תחום הארכיאה לא באמת זכה לחשיפה הרחבה שהוא ראוי לה. את התשובה האפשרית לשאלה מדוע זה כך, אפשר למצוא במעבדתו של פרופ' אורי גופנא, מאוניברסיטת תל אביב, שם חוקרים נושאים מרתקים מעולמם של הארכיאה. "חקר הארכיאה הוא חקר מתוך סקרנות אבולוציונית וסביבתית ומתוך הצורך להבין מאפיינים שלהם - בעיקר מה מקנה להם את היכולת לחיות בסביבות כה קיצוניות? ייתכן שהתחום פחות מופיע בכותרות, משום שבשונה מחיידקים עוד לא נמצא ארכיאון שהוא פתוגני (כלומר, מחולל מחלות) לאדם", מסבירה ישראלה תורג'מן, סטודנטית במעבדה שחוקרת במסגרת הדוקטורט שלה תחומים שונים מעולם הארכיאה.

### גנים משותפים

איפה, בכל זאת, פוגש תחום חקר הארכיאה את האדם? ייתכן שבאחד התהליכים החשובים ביותר בחיים: האבולוציה. עד כה, מדענים לא הצליחו להוכיח מה קרה

בתהליך ההתפתחות שגרם לפרוקריוטים להפוך לאיקריוטים. אחת התאוריות שצוברת קהל מעריצים גדול בקרב ביולוגים רבים, טוענת שהעולם בעצם מחולק לשתי על-ממלכות בלבד, חיידקים וארכיאה. לפי תאוריה זו, היצורים האיקריוטים (ובהם האדם, כאמור) הם רק תת קבוצה של על-ממלכת הארכיאה. לפי תאוריה זו, מבחינה אבולוציונית ההתפתחות שלנו מהארכיאה אירעה כנראה לפני יותר ממיליארד שנים וחצי. במאי 2015 התפרסם בכתב העת המדעי Nature [מאמר](#) של דוקטור אניה ספאנג, מאוניברסיטת אופסלה בשוודיה, וחוקרים אחרים, שבו הוצגו לראשונה תוצאות מעיינות חמים בפארק ילוסטון, ארה"ב.

במקומות כאלה נמצאו לראשונה ריכוזים גדולים של ארכיאה. תצלום: ZYjacklin, ויקיפדיה המאמר מתאר מערכה מסוימת של ארכיאה (Lokiarchaeota) שהיא בעלת דמיון גבוה ליצורים איקריוטים. החוקרים מצאו גנים משותפים בין הארכיאה לאיקריוטים, גנים שעד היום נחשבו ייחודיים ליצורים איקריוטים. במהלך המחקר, החוקרים השתמשו בטכניקות מורכבות שאפשרו להם לרצף את הדי-אן-אי המלא של מין אחד של ארכיאה ועוד רצף די-אן-אי חלקי של שני מינים נוספים של ארכיאה, שמקורם בסביבות ימיות. הם גילו שארכיאה אלה מכילים יותר גנים דומים לגנים איקריוטים מכל ארכיאה אחרים שאי פעם התגלו. אחת הדוגמאות לגנים שהחוקרים מצאו הם גנים שאחראיים על ייצור חלבון בשם אקטין, שהוא חלבון עיקרי בבניית שלד התא של כל היצורים האיקריוטים. לשם המחשה, במהלך האבולוציה האקטין כמעט ואינו השתנה, והזהות שלו בין אדם לשמר עומדת על 95 אחוז דמיון. דוגמה נוספת היא גנים שאחראים על ייצור יוביקוויטין, שמאזששות את התאוריה המהפכנית הזאת. חלבון חשוב ביותר שנמצא בכל התאים האיקריוטים ושאחראי על סימון של חומרים שהתא צריך להרוס בשביל למנוע נזק אפשרי לתא (אגב, גילוי היוביקוויטין בשנות ה-70 זיכה את החוקרים הישראלים אהרון צ'חנובר ואברהם הרשקו מהטכניון בפרס נובל לכימיה).

## הכלב והכבשה

בתוך תא של כמעט כל ייצור איקריוטי קיים אברון נוסף חשוב ביותר - המיטוכונדריה. אברון זה שאחראי על ייצור האנרגיה שלנו, דומה באופן מפליא ביותר לחיידקים. לכן, חוקרים רבים נוטים לחשוב שהמיטוכונדריה בעצם התחילה את קיומה בתור חיידק שנבלע על ידי תא איקריוטי. לאור הממצאים במחקר של ספאנג ושות', ההשערה של החוקרים היא שארכיאה בלעה חיידק ובין השניים התפתחה מערכת יחסים שיתופית שעם האבולוציה הפכה את שני היצורים האלה ליצור אחד - הייצור האיקריוטי. גופנא ותורג'מן הם חלק מהתומכים הנלהבים בתאוריה שמוצעת במאמר המהפכני. "ההוכחה במאמר מאוד מחוזקת, מציגה בצורה משכנעת חוליה קריטית שמקשרת בין איקריוטים לארכיאה ומאששת שלאיקריוטים ולארכיאה מקורות משותפים", אומרת תורג'מן. "כולנו

---

## ארכיאה מסוג Staphylothermus חוקרים

רבים, וגופנא ביניהם, סבורים שמחקרים מתחום הארכיאה עתידים להביא לעולם ממצאים מרעישים, שילמדו אותנו עוד על יסודות החיים ואף יזכו את חוקריהם בפרסי נובל. אחד הנושאים בחקר הארכיאה שאולי יובילו לפרס נובל הוא היכולת של תאי רוצים להבין מאין הגענו לפני שלב הקוף. בדומה למתרחש בתאי מין של בעלי חיים, תכונה ארכיאה לעבור איחוי זה עם זה, שהתגלתה לפני שנים במעבדה של פרופ' משה מברך באוניברסיטת תל אביב. כיום חוקרים תכונה זו במעבדה של פרופ' גופנא: תופעה ייחודית לארכיאה, שבמסגרתה מתבצע מעבר די-אן-אי מארכיאון אחד לשני על ידי איחוי התאים שלהם (בדומה לאיחוי העוברים בזרע וביצית). תופעה זו מתרחשת גם בין מינים שונים של ארכיאה ומכאן חשיבותה הגדולה. "זה כמו שתתרחש הכלאה ספונטנית בין כלב לכבשה, למשל", מסבירה תורג'מן עד כמה תופעה זו חריגה בעולם החי. "המחקר שלנו נובע מסקרנות טהורה למסתורין שבטבע. אנחנו בודקים כאן מדע בסיסי, אך מרתק, שמתאר מערכת גנטית שלא נצפתה בשום מקום אחר". המדע העוסק בחקר הארכיאה הוא מדע יחסית צעיר, ולכן העובדה שתוך זמן כה קצר נמצאו ממצאים כל כך פורצי דרך, מבטיחה לנו שאנו עוד עומדים בפתחו של עידן רווי תגליות קסומות. "כדי ללמוד עוד על המערכה החדשה יש להצליח לגדל אותם במעבדה ולשאול עוד ועוד שאלות שיביאו להבנה מקיפה לגבי אותה מערכה חדשה", אומרת תורג'מן. "אני מאמינה שעם חיפושים בסביבות נוספות בטבע ניתן יהיה למצוא עוד חוליות מקשרות בין הארכיאה לאיקריוטים ולקבל תמונה מהימנה ושלמה של עץ החיים".