

דרור רוזנגרטן, קרל סקורצקי, חיים בן-עמי

ארכיאולוגיה גנטית: כרומוזום Y, כוהנים וקהילות ישראל

בכל תא בגופנו מצויים שני העתקים של החומר התורשתי המורכב ממולקולת דני"א. מולקולת הדני"א מכילה כשלושה ביליון אותיות כימיות הנקראות בסיסים. פריצות דרך בביווגיה מולקולרית שהתרחשו באחרונה הראו ש-99.9% מבסיסים אלו זהים בקרב כל בני-האדם. ממצא זה מלמד שהאנושות כולה מורכבת מצאצאי אב קדמון אחד. הצטברות מוטציות במהלך הדורות מאתו אב קדמון ועד ימינו גרמה לשונות של החומר התורשתי בבני-האדם המתבטאת ב-0.1% בלבד מבסיסי הדני"א. המחקר שערכנו התמקד בחלק משונות זו המכונה פולימורפיזם. בדקנו שינויי בסיסים מסוימים שנמצאים על כרומוזום Y. בניגוד לשאר הכרומוזומים, לכרומוזום Y אין העתק נוסף והוא מופיע בגברים בלבד. לפיכך, הפולימורפיזם על כרומוזום Y משקף תורשה אבהית. באמצעות בדיקת פולימורפיזם זה היינו יכולים לשחזר דפוס פילוגנטי של מגוון אוכלוסיות באזורים גאוגרפיים שונים. לפי המסורת היהודית, הכהונה מהווה שושלת אבהית, שנוסדה על-ידי אהרון הכהן הגדול. ממנו עברה הכהונה במהלך הדורות מאב לבן עד לצאצאיו הנוכחים – הכוהנים בני זמננו. באמצעות בדיקת דני"א יכולנו לאמת מסורת זו ואף להעריך את מועד ייסודה של שושלת הכהונה. מחקרים נוספים הראו שמבנה מסוים של כרומוזום Y השכיח בכוהנים מהווה מעין חותם גנטי של האוכלוסייה העברית הקדומה. לקבוצות שונות ברחבי העולם ישנה מסורת של קשר היסטורי עם האוכלוסייה העברית הקדומה או עם ממלכת יהודה. ההתקדמות במחקרים שביצענו העמידה כלים מדעיים לבדיקת מסורות אלו. לבסוף יש להדגיש: אף שמסקנות המחקר מספקות תובנה לגבי חקר התפתחות שושלת היוחסין היהודית, אין בהן כדי ללמד על הזהות היהודית של פרט או של קבוצה. שאלת הזהות היהודית היא שאלה רגישה שנידונה בכלים חברתיים והלכתיים-דתיים. תחומים מקיפים אלו שייכים לממד רוחני המצוי מעבר לעולמו של המחקר הגנטי.

מהי ארכיאולוגיה גנטית?

ארכיאולוגיה מוגדרת כחקר ההיסטוריה האנושית באמצעות השרידים שנשארו מן העבר. בארכיאולוגיה גנטית הדני"א (החומר התורשתי — Deoxyribonucleic Acid) הוא השריד

* מאמר זה מבוסס על הרצאה שנישאה בכנס השישי לתורה ומדע, מכון לב, ירושלים, ניסן תשנ"ט.

הנבדק, ובאמצעותו אפשר ללמוד על העבר. חומר זה יכול להיות דנ"א עתיק באמת, שמקורו בשרידי עצמות שהוצאו מהאדמה. כמובן, שמחקר מסוג זה כרוך בבעיות הלכתיות קשות. לעומת זאת, המחקר שאנו ערכנו מבוסס על שחזור דנ"א עתיק על-ידי ניתוח דיגמות שנלקחו מאנשים החיים בקרבנו היום.

לפי הגדרתה, ארכיאולוגיה גנטית עוסקת בחקר השונות האנושית והבנתה. ניתן לתאר שני מנגנונים כלליים התורמים להיווצרות שוני זה. האחד הוא המנגנון התרבותי, היוצר הברלים בין קבוצות שונות. בתוכו כלולים תהליכים חברתיים, דמוגרפיים, דתיים ועוד. המנגנון השני הוא המנגנון הגנטי. ישנם שני תהליכים גנטיים התורמים להיווצרות השונות האנושית: מוטציה ורה-קומבינציה. במאמר זה ננסה להתמקד בהבנת תהליכים אלה, ולהראות כיצד הארכיאולוגיה הגנטית נותנת בידינו כלים ללמוד על ההיסטוריה היהודית ככלל ועל שורשי קהילות ישראל השונות בפרט.

כדי להבין את הנושא לעומקו כדאי להביא סקירה קצרה על המושגים הבסיסיים, הקשורים במבנה הדנ"א ותפקידו.

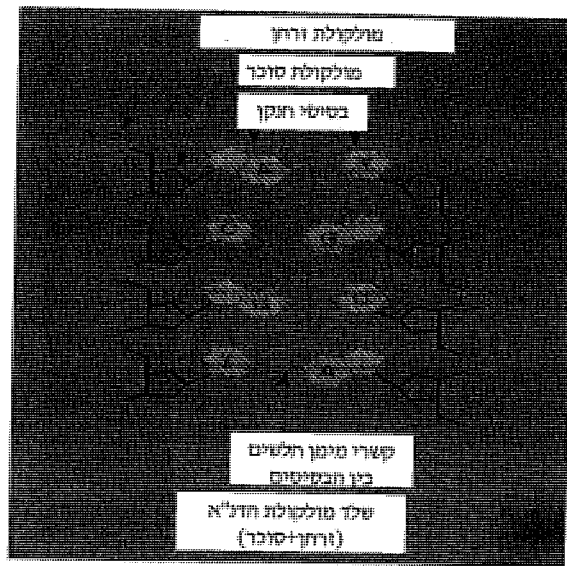
מושגי יסוד בגנטיקה

אבני הבניין של הדנ"א נקראות נוקלאוטידים. אלה בנויים משלושה רכיבים: בסיס חנקני המחובר באמצעות אחד החנקנים שלו אל מולקולת הסוכר הטבעית, וזו מצדה קשורה לנגזרת של חומצה זרחתית. ישנם ארבעה סוגי בסיסים: אדינין, גואנין, טימין וציטוזין (נהוג לסמנם לפי האותיות הלועזיות: C, T, G, A בהתאמה). הבסיסים מתחברים לגדיל ארוך אחד באמצעות קבוצות סוכר וזרחן אלו (תרשים 1). מולקולת הדנ"א מורכבת מזוג גדילים כזה, המסודרים בהתאמה בסיס מול בסיס. הבסיסים קשורים ביניהם בקשרי מימן ומופיעים תמיד בזוגות תואמים — אדינין מול טימין וגואנין מול ציטוזין (AT, GC). מבנה זה נקרא מבנה הסליל הכפול (double helix)¹, והוא מהווה יסוד לשני התפקידים העיקריים של הדנ"א:

- שכפול (replication) — במהלכו נפרדים שני הגדילים זה מזה, כאשר כל גדיל מכפיל עצמו בנפרד ויוצר מבנה דו-גדילי חדש.
- שעתוק (transcription) — במהלכו נוצרת מולקולה הנקראת RNA-שליח. גם בתהליך זה נפרדים גדילי הדנ"א זה מזה, אולם רק אחד מהם מהווה תבנית ליצירת RNA-שליח, אשר תפקידו לצאת מגרעין התא ולשמש תבנית ליצירת מולקולת חלבון (תהליך הנקרא תרגום — translation). כל רצף בסיסים בדנ"א, האחראי להיווצרות RNA-שליח, שפועל להיווצרות חלבון, נקרא גן.

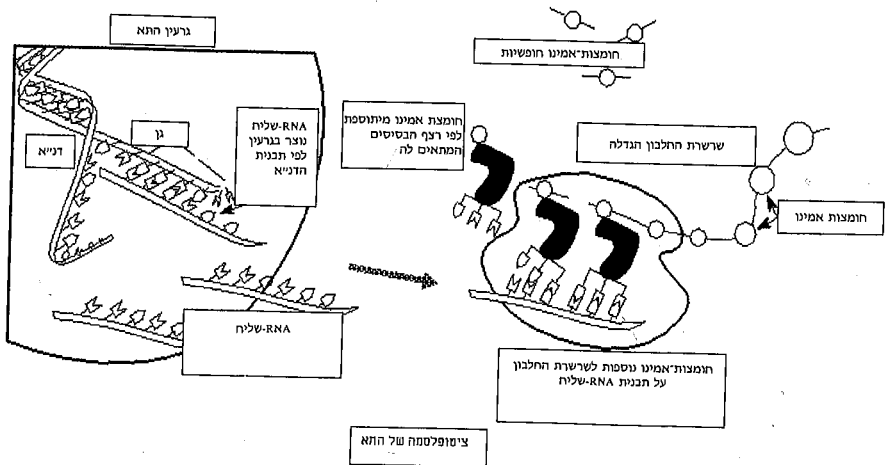
זהו תהליך הבנייה המרכזי בביוLOGיה: הדנ"א מכפיל את עצמו, עובר שעתוק למולקולת RNA-שליח, אשר יוצרת חלבון בתהליך התרגום. (תהליכים אלו מודגמים בתרשים 2). אולם התהליך מורכב יותר ממה שראינו עד כה. אמנם, כאמור, מולקולת דנ"א מורכבת מקטעים המסוגלים ליצור RNA-שליח, שממנו נוצר החלבון. קטעים אלו נקראים אקסונים (exons). אולם גם בתוך הגן עצמו, בין האקסונים, ישנם קטעי דנ"א שתוצריהם

J. D. Watson and F. H. C. Crick, "A Structure for Deoxyribonucleic Acid", *Nature* 171 1
(1953), p. 737



תרשים 1 מבנה הדנ"א

שלד של שני גדילים המורכבים משרשרת של מולקולות זרחן וסוכר, ביניהם מצויים הבסיסים התנקיים השונים: אדין, גורנין, טימין וציטוזין (מסומנים באותיות G,T,C,A בהתאמה)



תרשים 2 מנגנון הבנייה המרכזי בתא

תיאור המנגנון המשמש לבניית החלבונים בתא: רצף הדנ"א, המהווה תבנית ליצירת החלבון נקרא גן, לפי מבנהו נוצר ה-RNA שליו בתוך גרעין התא, ה-RNA שליו עוזב את גרעין התא ומשמש תבנית ליצירת חלבון, המורכב מרצף של חומצות-אמינו, שמיוספות לשרשרת אחת, זו אחר זו, לפי רצף הבסיסים על-פני ה-RNA שליו.

אובדים בתהליך ייצור חלבון ואינם באים לידי ביטוי. קטעי דנ"א אלה נקראים אינטרונים (introns). למעשה, רק 5% מכל הדנ"א משמש כתבנית ליצירת חלבונים, ואילו 95% ממנו הם אינטרונים או קטעים גדולים של בסיסים המפוזרים בין הגנים. במבט כללי על חומר התורשה האנושי אפשר להצביע על המאפיינים הבאים:

- בגרעין כל תא של האדם ישנם שלושה מיליארד בסיסים, שנתרמו על-ידי הוריו.
- כאמור, רק 5% מאותם שלושה מיליארד בסיסים אחראים ליצירת חלבונים.
- כל החומר הגנטי מאורגן ב-23 זוגות מבנים הנקראים כרומוזומים. כרומוזום אחד מכל זוג מייצג תרומה של אחד ההורים.
- החומר התורשתי כולו מכיל כ-100,000 גנים המקודדים ל-100,000 חלבונים.
- אם נשווה בין שני אנשים שאינם קרובי משפחה, נראה שכל ההבדל ביניהם מתבטא ב-0.1% מהחומר התורשתי בלבד. במלים אחרות, 99.9% מרצף הבסיסים שבדנ"א זהה בין כל בני-אדם בלא קשר למקומם, גזעם, שפתם ותרבותם.
- ואולי אף משמעותי מכך: השונות הממוצעת של רצפי הדנ"א בין שני אנשים באותה קהילה — גדולה מהשונות הממוצעת של רצפים אלו בין קהילות שונות.

לפי הסקירה הנ"ל, ניתן להתייחס לשתי התיאוריות האנתרופולוגיות המרכזיות בנוגע לשאלת מוצאו של האדם המודרני. שתי התיאוריות המובילות הן "תיאוריית גן העדן" מצד אחד, ו"התיאוריה הרב-אזורית" מצד שני.² לפי "תיאוריית גן-העדן", מוצא האדם המודרני הוא באדם אחד, שחי בצפון-אפריקה או במזרח-התיכון; אם כן, כל האנשים בעולם היום הם צאצאי אותו אב קדמון. בניגוד לכך, לפי "התיאוריה הרב-אזורית", האנושות נוצרה ממספר מקורות שונים, שהתפתחו במקביל ביבשות שונות בעולם. נראה כי מבנה הגנים האנושי, המראה על דמיון כה רב בין הפרטים השונים, תומך בכיורר במקור אחד לכל האנושות, כפי שהדבר בא לידי ביטוי ב"תיאוריית גן-העדן".

מוטציה

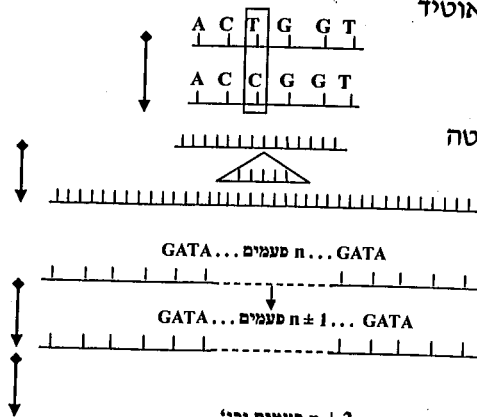
אם השכפול של הדנ"א היה מתרחש בדיוקנות מושלמת, אזי כל העולם היה מלא בהעתקים של מולקולת הדנ"א המקורית. במלים אחרות, היינו מגיעים למצב שבו לא היתה כל שונות בדנ"א, וכתוצאה מכך גם לא היה מגוון של צורות חיים שונות. בניגוד לכך, ההופעה המובנית של "טעויות" בזמן שכפול הדנ"א, משמשת מקור למגוון צורות החיים בעולם, ובכלל זה — המגוון הנפלא הקיים בקרב בני-האדם. לרוע המזל יש גם מחיר להופעת "טעויות" בשכפול הדנ"א. מחיר זה בא לידי ביטוי בהופעת מחלות עקב מוטציות מסוימות.

את המוטציות בשכפול הדנ"א אפשר לחלק לשתי קבוצות עיקריות (תרשים 3):

- מוטציות שהופיעו בממוצע רק פעם אחת לאורך התפתחות היסטוריית המין האנושי. במקרה השכיח ישנה החלפה, השמטה או הוספה של בסיס אחד במקום מסוים לאורך

M. F. Hammer and S. L. Zegura, "The Role of the Y Chromosome in Human Evolutionary Studies", *Evol. Anthropol.* 5 (1996), pp. 116-134 2

חד-פעמית
החלפת נוקלאוטיד



כניסה/השמטה

רב-פעמית
שינוי מספר חזרות בגלל הצמדה לא מדויקת

$n \pm 2$ מעמים וכו'

3 תרשים מוטציות

שני סוגים עיקריים של מוטציות: 1. חד-פעמיות – מאופיינות בחלפה של בסיס אחד או בכניסה / השמטה של רצפי דנ"א קטנים; 2. רב-פעמיות – מאופיינות בשינוי מספר החופעות של רצפי דנ"א קטנים.

מולקולת הדנ"א. במקרים אחרים ישנה כניסה או השמטה של קטעי דנ"א קטנים. סוג זה של פולימורפיזם (רב-גוניות) קרוי (Unique Event Polymorphism) UEP.³ ישנן מוטציות שהופיעו פעמים רבות במהלך התפתחות הדנ"א. לדוגמה: יש אזורים בדנ"א שבהם רצף מסוים של בסיסים (לדוגמה GATA) מופיע פעמים מספר בזה אחר זה. מספר זה של חזרות יכול להשתנות עקב הצמדה בלתי מדויקת (slippage) בזמן שכפול הדנ"א. תופעה זו יכולה להתרחש בשלבים שונים של שכפול הדנ"א, ובעקבותיה, שינוי מספר החזרות בא לידי ביטוי במולקולת הדנ"א החדשה. אחת הצורות השכיחות של מוטציות מסוג זה מכונה microsatellite.⁴

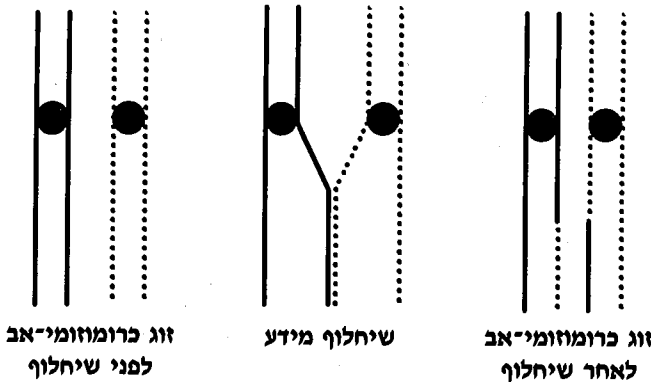
יש לציין, שמוטציות המתרחשות בזמן שכפול הדנ"א יכולות להופיע בתאי הגוף, שאינם תאי מין. למוטציות כאלו לא תהיה כל השפעה על הדורות הבאים. מאידך, מוטציות המתרחשות בזמן שכפול הדנ"א, תוך התפתחות תאי הביצית והזרע, יכולות לעבור לדורות הבאים ולהותיר את רישומן על ההיסטוריה האנושית. גם מוטציות המופיעות בתאי המין ניתנות לחלוקה למוטציות "פעילות" המשנות את המבנה ו/או התפקוד של התוצר החלבוני מחד, ומוטציות הנחשבות פשוטות, שאין להן כל השפעה על ייצור החלבון מאידך. מוטציות פשוטות מסוג זה מופיעות בקטע של דנ"א שאינו חלק מהגן.

3. K. Skorecki et al., "Y Chromosome of Jewish Priests", *Nature* 385 (1997), p. 32
4. Luca L. Cavalli-Sforza, "The DNA Revolution in Population Genetics", *Trends in Genetics*, 14, 2 (1998) pp. 60-65

גם מוטציות המופיעות בתוך הגנים עצמם לא בהכרח ישפיעו על מבנה החלבון או על תפקודו. אם מוטציה מופיעה באינטרון, היא אינה משפיעה על הקידוד הגנטי, וכך לא יתרחש שום שינוי בתוצר החלבוני הסופי. מוטציות אלו "חבויות" ואין להן כל ביטוי חיצוני. מאידך, מוטציות "חבויות" אלו מועברות מדור לדור וניתנות לגילוי בבדיקת רצף הדנ"א.

רה-קומבינציה

המנגנון השני האחראי לשינויים ברצף הדנ"א הוא רה-קומבינציה. כפי שהוזכר לעיל, ישנם עשרים ושלושה זוגות כרומוזומים לכל התאים בגוף (למעט תאי מין). אלה מורכבים מ-22 זוגות של כרומוזומים אוטוזומים (שאינם קשורים למין), וזוג אחד של כרומוזומי מין. בכל זוג כרומוזומים, מוצאו של האחד הוא ממקור אבהי, ומוצאו של השני הוא ממקור אימהי. בעת ייצור תאי-המין, כל אחד מכרומוזומי-האב האוטוזומים בכל זוג מחליף אינפורמציה עם כרומוזום האב בן-זוגו. כך נוצר כרומוזום חדש, אשר לו ייצוג מכל אחד מכרומוזומי-האב של הדור הקודם. החלפה זו של קטעי דנ"א נקראת רה-קומבינציה, והיא מתרחשת בזמן חלוקת ההפחתה (מיטוזה), שיוצרת את תאי המין. לפיכך, בתא מין יש מחצית הכרומוזומים (אחד מכל זוג כרומוזומי-אב), אולם במחצית זו ישנו מידע שהגיע מכל כרומוזומי-האב של הדור הקודם אחרי תהליך רה-קומבינציה. דוגמה לתהליך רה-קומבינציה בזוג אחד של כרומוזומים מודגם בתרשים 4.



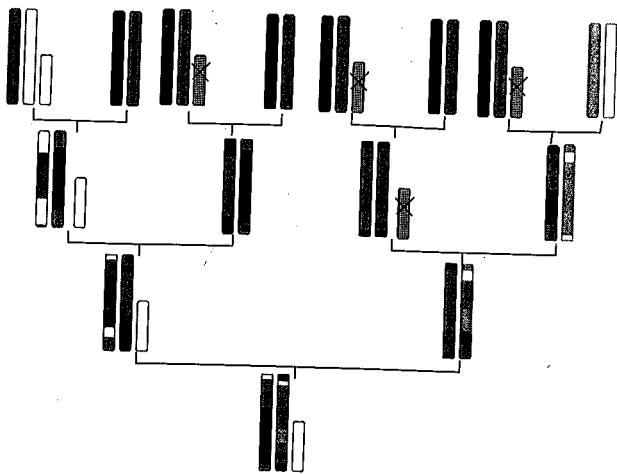
תרשים 4

תהליך רה-קומבינציה

תהליך רה-קומבינציה מודגם בזוג כרומוזומים אחד: כרומוזום אחד נושא בעיקר מידע שמקורו באב של אותו אדם (צבע בהיר), בעוד שהכרומוזום השני נושא בעיקר מידע שמקורו באם (צבע כהה). בתהליך הרה-קומבינציה מחליפים הכרומוזומים בזוג זה מידע ביניהם, ונוצרים שני כרומוזומים חדשים, המכילים מידע מעורב מהצד האמהי ומהצד האבהי. כל תא מין של אדם מכיל אחד מהכרומוזומים החדשים הללו, המשלבים בתוכם תרומה מהאב והאם של הדור הקודם.

קיימים שני סוגים של כרומוזומי המין: X ו-Y. בנשים יש שני כרומוזומים מסוג X, אחד מהאם ואחד מהאב, ואילו בגברים יש כרומוזום X אחד שמקורו מהאם, וכרומוזום Y אחד שמקורו מהאב. תופעת ה-הקומבינציה מתייחסת רק לכרומוזומים אוטוזומים ולכרומוזומי המין מסוג X, בעוד שלכרומוזום ה-Y אין בן זוג להחלפת מידע. לכן, בחינה של כרומוזום Y בגבר מספקת תצפית מעניינת, שיכולה ללמד רבות על ההיסטוריה המשפחתית שלו. לדוגמה, בתרשים 5, מוצג עץ משפחתי של ארבעה דורות, המציג בכל דור זוג כרומוזומים רגילים וכרומוזום Y. כאשר בוחנים כרומוזום רגיל, מגלים "פיסות" דנ"א המייצגות תרומה מ-16 הכרומוזומים הרגילים של ארבעת הדורות הקודמים. עובדה זו משקפת ה-הקומבינציה שהתרחשה במהלך חלוקת התפתחה בכל דור בין הכרומוזומים הרגילים. מנגנון זה אינו מביא עמו מידע חדש לחומר התורשתי, אלא הוא מערבב מחדש את המידע הקיים.

בניגוד לכך, אם נבחן את כרומוזום ה-Y הזכרי, בדור הרביעי הוא יהיה זהה לכרומוזום ה-Y של אחד מהאבות הזכרים בכל ארבעת הדורות הקודמים. שינויים בכרומוזום ה-Y של הזכר יכולים להתבצע כתוצאה ממוטציה בלבד, ולא כתוצאה מרה-קומבינציה. במלים אחרות, ה-הקומבינציה לא תורמת להיסטוריית ההתפתחות של כרומוזום ה-Y. זו הסיבה שכרומוזום זה משמש כלי מושלם לחקר ההיסטוריה המשפחתית בגברים. בנוסף לאמור לעיל, לכרומוזום Y ישנם יתרונות נוספים, שבגללם הוא מתאים ללימוד הארכיאולוגיה הגנטית. כפי שניתן היה לשער, הוא עניי, יחסית, בגנים חשובים. הרי אנו



תרשים 5

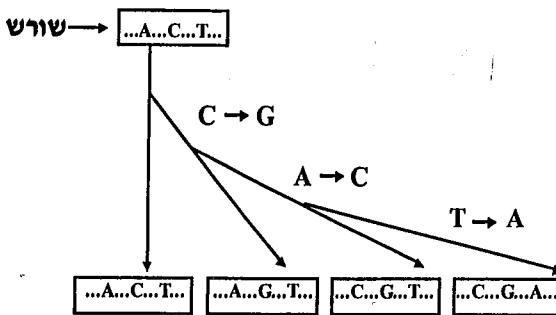
עץ משפחתי המציג ארבעה דורות

לשם ההפשטה מוצג זוג כרומוזומים אחד בכל פרט (שני פסים ארוכים), וכרומוזום Y (פס קצר), כאשר מדובר בגבר. הצבעים והצורות מתארים מבנים שונים של דנ"א, שנמצאים בכל פרט. אפשר לראות בצורה ברורה שכרומוזום אוטוזומי משלב בתוכו רצפי דנ"א משני הוריו, בעוד שכרומוזום Y מועבר מהאב בלבד. כך בדור הרביעי הכרומוזומים האוטוזומים מכילים תרומה מעורבת מארבעת הדורות הקודמים, בעוד שכרומוזום Y יהיה זהה לכרומוזום ה-Y של אחד מהאבות הזכרים בכל הדורות הללו.

יודעים, כי מחצית מאוכלוסיית העולם (הנשים) מסתדרת יפה בלעדיו. אנו מעריכים שיש כ-30 גנים על כרומוזום Y, רובם קשורים בקביעת המין הזכרי. זאת בניגוד לאלפי הגנים הנמצאים על כל כרומוזום רגיל, או על כרומוזום X. כיוון שיש גנים ספורים כל-כך על כרומוזום Y, רוב הדני"א שבו אינו מקדר חלבונים, ולכן מוטציות בכרומוזום זה נחשבות פולימורפיזם ללא כל השפעה על התוצר החלבוני ולא מוטציות פעילות. כמו במקרה של מוטציות בכלל, כך גם על כרומוזום Y יש שני סוגי פולימורפיזם:

- אלה המופיעים רק פעם אחת בהיסטוריה האנושית (UEP). אלה מאפשרים לנו ליצור "עץ משפחתי" המתאר את סדר הופעת המוטציות.
- אלה המופיעים פעמים רבות בהיסטוריה האנושית, מאופיינים ע"י רצפי דנ"א חוזרים, ומכונים microsatellites. פולימורפיזם מסוג זה, כפי שנפרט בהמשך, מאפשר לנו לתאר "שעון דנ"א פנימי", שבאמצעותו ניתן לקבוע את זמן הופעתה של מוטציה חדשה. כך ניתן גם להעריך את זמן הופעתו של מייסד השושלת הנבדקת.

הפלוטיפ פירושו שילוב של שני פולימורפיזם, כגון UEP's או microsatellites, או יותר. הפולימורפיזם הללו אינם חייבים להיות סמוכים זה לזה. ברור שבהעדר רה-קומבינציה, שלושה UEP's יכולים לתת ארבעה הפלוטיפים שונים לכל היותר, מפני שכל מוטציה מסוג UEP's, המגדירה הפלוטיפ חדש, יכולה להופיע רק פעם אחת במהלך ההיסטוריה. לכן, אם אנו מכירים את ההפלוטיפים הקדמונים (ניתן להעריך זאת ע"י השוואה להפלוטיפים של יונקים עילאיים אחרים), אפשר לבנות עץ הפלוטיפים באופן חד-משמעי ולקבוע את סדר הופעתן של כל אחת מהמוטציות. תרשים 6 מתאר מבנה

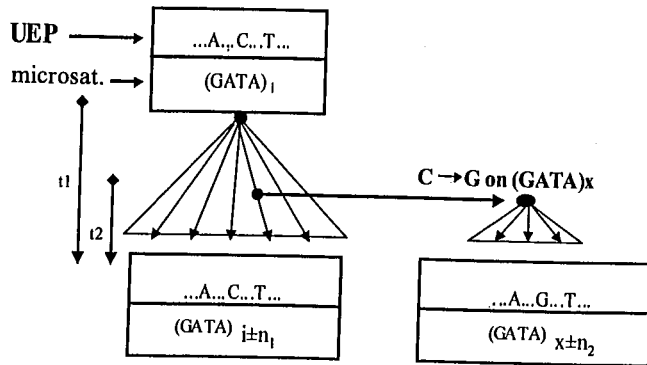


מספר ההפלוטיפים המקסימלי = מספר ה-UEP's + 1

תרשים 6 עץ הפלוטיפים

עץ המדגים היווצרות ארבעה הפלוטיפים, ע"י שלושה פולימורפיזם מסוג UEP's. ההפלוטיפ הקדום מסומן באותיות A.C.T. כל אות מסמנת חומצת-אמינו באחד מהפולימורפיזם. הפולימורפיזם עצמם אינם בהכרח צמודים זה לזה. הופעת המוטציה הראשונה גרמה לחילוף C-G, ויצרה הפלוטיפ חדש: A.G.T., וכך שתי המוטציות הבאות יצרו עוד שני הפלוטיפים חדשים. בסופו של תהליך זה מתקבלים ארבעה הפלוטיפים, שאחד מהם הוא ההפלוטיפ הקדום.

היפותטי של עץ הפלוטיפים (Haplotype), המבוסס על שלושה UEP's בכרומוזום Y שאינם עוברים רי-קומבינציה.
 חרף העובדה שסדר הופעות ההפלוטיפים ניתן להגדרה, הזמן המדויק שבו הופיע כל הפלוטיפ לא ניתן לקביעה על-ידי תהליך זה בלבד. כדי לעזור בהגדרת זמן הופעת כל הפלוטיפ יש לנצל את "שעון הדנ"א הפנימי". למטרה זו אנו מנצלים את ה-microsatellites, אשר נוצרים בקצב ידוע לכל דור. שיטה זו מודגמת בתרשים 7.



תרשים 7
שונות ב-microsatellite

"שעון הדנ"א הפנימי" – הערכת זמן הופעת פולימורפיזם מסוג UEP's מתבצעת בעזרת פולימורפיזם מסוג microsatellite. ההפלוטיפ הקדום המתואר בתרשים בנוי משלושה UEP's ומתואר באותיות: A.C.T. כמרכן, בפולימורפיזם מסוג microsatellite, המופיע בהפלוטיפ זה, מספר החזרות של קטע הדנ"א: GATA במצב הקדום מסומן באות i. כעבור זמן מסוים מתרחש שינוי באחד ה-UEP's: (C-G), באותו זמן מספר החזרות של קטע הדנ"א: GATA מסומן באות x. מספר החזרות המשוער מזמן הופעת ההפלוטיפ מסומן באות n. מאחר ששינויים במספר החזרות לאותו microsatellite ימשיכו להופיע בקצב קבוע במשך הדורות, בהפלוטיפ A.C.T. נמצא $i \pm n_1$ חזרות, ובהפלוטיפ A.G.T. נמצא $x \pm n_2$ חזרות. טווח השינויים במספר החזרות בצאצאי השושלת הנושאים הפלוטיפ A.G.T. יהיה קטן מטווח השינויים במספר החזרות בצאצאי השושלת הנושאים הפלוטיפ A.C.T., משום שזמן השושלת A.G.T. (t_2) קצר מזמן השושלת A.C.T. (t_1). כך נוכל לקבוע את זמן הופעת ההפלוטיפים השונים.

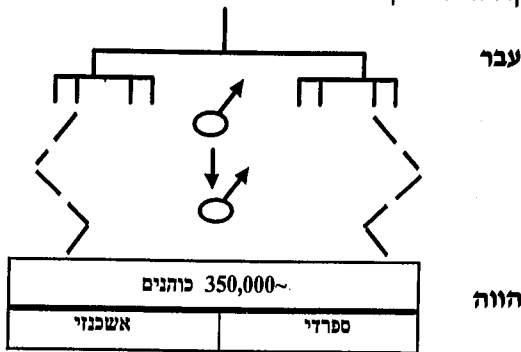
לאדם שייסד את השושלת יש הפלוטיפ מסוים, למשל A.C.T. אנו יכולים לבחור microsatellite אחד הנמצא על כרומוזום Y, שבו יהיה לאותו אדם מספר חזרות מוגדר (למשל רצפי GATA, החוזרים i פעמים). מכאן ואילך מתרחשים שינויים במספר החזרות באותו microsatellite בצאצאי אותו אדם, כאשר טווח השינויים במספר החזרות גדל ככל שהזמן מייסודה של השושלת ארוך יותר. כאשר מתרחשת מוטציית UEP חדשה באחד הצאצאים (למשל G-C), לאותו צאצא יהיה באותו זמן מספר מסוים של חזרות רצפי GATA (למשל x). באותו זמן נוצרת שושלת חדשה, שכל צאצאיה נושאים את

ההפלוטיפ A.G.T. שינויים במספר החזרות באותו microsatellite ימשיכו להופיע בקצב קבוע במשך הדורות של צאצאי אותו אדם. טווח השינויים במספר החזרות בצאצאי אותו אדם ($x \pm n_2$) יהיה קטן מטווח השינויים במספר החזרות, שמופיעות באנשים הנושאים את ההפלוטיפ של הדורות הקודמים ($i \pm n_1$), משום שמשך הזמן של השושלת האחרונה (t1) קצר יותר ממשך הזמן של השושלת הקדומה (t2). השוואת טווחים אלו מאפשרת לארכיאולוגיה הגנטית להעריך מתי הופיע אותו הפלוטיפ חדש.

כרומוזום Y ושושלת הכהונה

בהסתמך על הרקע הכללי דלעיל, התחלנו, יחד עם עמיתים מאנגליה וארה"ב, בניתוח השונות במבנה כרומוזום Y בקרב קהילות יהודיות שונות – כוהנים, לווים וישראלים. תבנית המחקר התבססה על המסורת המקראית, כפי שמופיעה בספר שמות כח, א: "ואתה הקרב אליך את אהרן אחיך ואת בניו אתו מתוך בני ישראל לכהנו לי ...". בעוד שבארכיאולוגיה הרגילה היו מחפשים שרידים מאותו מעמד שבו התמנה אהרן כמייסדה של שושלת הכהונה, הרי שבמחקר גנטי אפשר ללמוד על מסורת זו על-ידי חיפוש בכרומוזום Y של צאצאי אהרן החיים עמנו היום. הכהונה עוברת בתורשה ברורה מאב לבן, ומוגדרת כקבוצה ייחודית בעלת חובות וזכויות דתיות עד ימינו. בשל צורת תורשה זו היה מקום לצפות לייחודיות של כרומוזום Y בקבוצה זו. לפי ההיפותזה שעמדה לנגד עינינו (תרשים 8), כרומוזום Y של כוהנים מעדות שונות ואזורים שונים אמור להיות דומה במבנהו בכוהנים יותר מאשר בגברים יהודים שאינם כוהנים. יתרה מזאת, גם בקבוצת כוהנים כרומוזום Y אמור להיות דומה יותר מאשר שאר הכרומוזומים הרגילים שלהם אשר עברו רה-קומבינציה במהלך הדורות.

הנחת עבודה פשוטה זו היתה הבסיס למחקר, וקיבלה סימוכין נוספים, שלב אחר שלב, עם התקדמות המחקר.

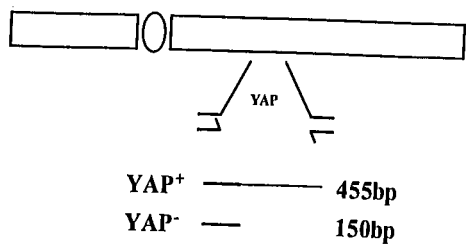


תרשים 8
אהרן – לפני 3300 שנים

התרשים מתאר את השערת המחקר: כרומוזומי Y של כוהנים הפזורים, מבחינה היסטורית וגיאוגרפית, צריכים להיות דומים יותר מהכרומוזומים האוטוזומים שלהם, ודומים יותר מאשר כרומוזומי Y של קבוצות אחרות.

Y.A.P.

Y - Alu - Polymorphism



תרשים 9

Y - Alu - Polymorphism

תיאור פולימורפיזם, הנובע מכניסה של קטע דנ"א אל הזרוע הארוכה של הכרומוזום. YAP⁺ מסמן את הכרומוזום עם התוספת. YAP⁻ מסמן את הכרומוזום ללא התוספת. (bp=זוגות בסיסים).

בראשית המחקר נלקחו דגימות דנ"א, באמצעות מברשת, מריית הלחי של 188 גברים יהודים. ניתוח הדגימות בוצע בבדיקת UEP אחד המכונה YAP⁺. בנוסף לכך נברק microsatellite אחד המכונה DYS19. במקביל לבדיקות אלו, שבוצעו בכרומוזום Y, בוצעה בדיקה של פולימורפיזם בכרומוזום רגיל, כביקורת. פרטים לגבי הפולימורפיזם הייחודיים ששימשו למחקר אפשר למצוא בפרסום המקורי או על-ידי התקשרות עם המחבר.

את התוצאות המעניינות הראשונות סיפק ניתוח פולימורפיזם של ה-YAP⁻. פולימורפיזם זה מודגם בתרשים 9. הוא נוצר על-ידי כניסת רצף של 305 בסיסים של דנ"א למקום מסוים בכרומוזום Y. כל גבר בעולם ניתן לתאר כ-YAP⁺ אם נמצא אצלו רצף בסיסים זה, או כ-YAP⁻ אם רצף זה איננו. בבדיקת דנ"א יחסית פשוטה הנלקחת מריית הלחי אפשר לקבוע אם פרט מסוים הוא YAP⁺ או YAP⁻. התברר כי בעולם קיים שוני בין גברים מאוכלוסיות שונות בשכיחות YAP⁺ בכרומוזום Y. נמצא כי במרבית תושבי אסיה התיכונה ואירופה שכיחות YAP⁺ היא כ-20%. שכיחות כזו נמצאה גם בגברים יהודים. אולם, בניגוד לכך, בגברים כוהנים נמצאה שכיחות נמוכה בהרבה (כ-2%).

מקובל להניח במחקר המדעי, בעקבות השוואה ליונקים עילאיים אחרים, שכרומוזום Y הראשוני של האדם התאפיין כ-YAP⁻. כניסת רצף הבסיסים המכונה YAP⁺ לתוך כרומוזום Y התרחשה בזכר מסוים באפריקה, ומאז חותמת זו מוטבעת בכל צאצאיו (YAP⁺). כמוכן, מוטציות נוספות התרחשו בצאצאיו אותו זכר ומוגדרות תת-קבוצות של

M. F. Hammer, "A Recent Insertion of an Alu Element on the Y Chromosome is a Useful Marker for Human Population Studies", *Mol. Biol. Evol.* 11 (1994), pp. 749-761

כרומוזום Y, הנושא את החותמת YAP+. כך למשל, ניתן למצוא תת-קבוצות קדומות של YAP+, השכיחות באוכלוסייה אסייתית, בעוד שתת-קבוצה אחרת, מאוחרת יותר, שכיחה באוכלוסייה האפריקאית המיושבת דרומית לסהרה.

נתונים נוספים של קבוצת YAP+ בגברים יהודים מראים שתת-קבוצה הקדומה יותר, האסייתית, נמצאת בשכיחות גבוהה יותר מאשר תת-קבוצה האפריקאית מהאוכלוסייה המיושבת דרומית לסהרה. במחקר תת-קבוצות נוסף שביצענו, אישרנו את שכיחות תת-קבוצה זו של כרומוזום Y, המשותפת הן לקהילות ספרד והן לקהילות אשכנז. נקודה זו ראויה להדגשה מיוחדת על רקע ההפרדה הגיאוגרפית בין קהילות אלו משך מאות שנים.

דוגמאות אלו נבדקו גם באמצעות DYS19. על-ידי שילוב הנתונים מבדיקת שני הסמנים YAP ו-DYS19 בכל נבדק, הצלחנו למפות מספר רב של מבנים בכרומוזום Y. כאשר השווינו את שכיחות המבנים הללו בין כוהנים לישראלים, מצאנו הבדלים משמעותיים ביניהם.

גם בהשוואה זו, כמו בקודמתה, השכיחות השונה נמצאה באופן דומה הן לגבי קהילות ספרד והן לגבי קהילות אשכנז. מבט כללי על תוצאות ראשוניות אלו הוביל אותנו למסקנות הבאות:

- האב הקדמון המשותף לרוב הכוהנים בני זמננו התאפיין במבנה YAP של כרומוזום Y. צאצאי שושלת הכהונה, שראשיתה באב קדמון זה, נושאים בקרבם את חותמת אותו מבנה.
- ייסודה של שושלת זו אירע באופן ברור לפני התפצלות הקהילות היהודיות לאשכנזים וספרדים.
- היתה כניסה משמעותית של מבנים מסוג YAP+ למאגר הגנטי של גברים ישראלים, שאינם כוהנים.

מסקנות אלו אפשרו לנו ליצור מודל מחקרי שהיווה בסיס למחקרים נוספים. תכלית מחקרים אלה היתה לאשר או להפריך מודל מחקרי זה, ולחשב את הזמן, שבו חלה התהוות שושלת הכהונה. כמו כן, ניסינו לגלות מבנה מדויק יותר של כרומוזום Y, אשר ממנו אפשר יהיה להקיש על מוצאה של שושלת הכוהנים (כלומר שבטי-ישראל הקדומים). מבנה מדויק זה של כרומוזום Y יאפשר לחקור את ההיסטוריה של קהילות הפזורה היהודית בת-זמננו.

לאחרונה, אנו בודקים כיצד אפשר להשתמש בכלים ושיטות מעין אלה לחקר מתלות מורכבות ונפוצות כמו יתר-לחץ-דם, אסטמה ועוד.

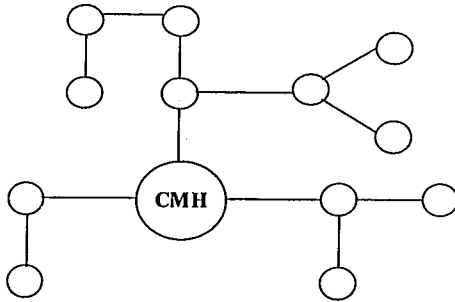
כפי שציינו, המטרה הראשונה היתה להרחיב את המחקר, כדי לאשר או לשלול את הנחת היסוד של המודל המחקרי שלנו. כדי לאפשר זאת, המחקר הורחב על-ידי בדיקת מספר גדול יותר של דגימות, ואפשרויות הניתוח הורחבו על-ידי הוספת עוד סמנים, שאפשרו לנו לחקור אתרים פולימורפיים נוספים בכרומוזום Y. נלקחו דגימות מ-306 גברים, וניתוח כרומוזום Y של כל אחד מהם התבצע באמצעות 12 אתרים פולימורפיים — שישה מהם מסוג UEP, ושישה אחרים מסוג microsatellites.

בדיקות אלו מורכבות, ודורשות גישה אוטומטית לניתוח מספר רב של תגובות מעבדתיות מסוג PCR באופן סימולטני (Polymerase Chain Reaction=PCR) — שיטה מעבדתית המאפשרת הגברה של רצף דנ"א מסוים, שאותו מעונינים לחקור). ד"ר מארק תומאס וניל בראדמן מאוניברסיטת לונדון, יחד עם דוד גולדשטיין מאוניברסיטת אוקספורד, פיתחו שיטה מתימטית-מעבדתית, שהועילה בניתוח התוצאות (פרטים אודות שיטה זו אפשר להשיג מהפרסומים המקוריים).

הניתוח הראשוני הסתמך על ששת סמני UEP. סמנים אלה הגדירו באוכלוסייה הנבדקת שלושה מבנים (הפלוטיפים) של כרומוזום Y שכוננו: A, B ו-C. השוואת פיזור המבנים בין כוהנים לישראלים גילתה הבדלים בולטים. בעוד שקבוצת הישראלים התאפיינה בפיזור הטרונגי של המבנים A, B ו-C, הרי שהכוהנים התגלו כקבוצה הומוגנית המורכבת בעיקר ממבנה A. למשל, מבין הגברים האשכנזים הישראלים 62% היו ממבנה A, 18% ממבנה B ו-20% ממבנה C. ממצאים אלה מניבים תוצאת שונות גנטית של 0.54 (diversity score). תוצאה זו נחשבת למרד שונות גבוה, הקובע כי הקבוצה היא הטרונגית. בניגוד לכך, 96% מבין הכוהנים הנבדקים נמצאו בעלי מבנה A, 4% בעלי מבנה B, ולא נמצאו גברים כוהנים בעלי מבנה C. כך, לגבי קבוצת הכוהנים מתקבלת תוצאת שונות של 0.08, הנחשבת לנמוכה מאוד והמצביעה על קבוצת הכוהנים כקבוצה הומוגנית מובהקת.

בדיקות של קבוצת הגברים הספרדים הניבו ממצאים דומים לאלה של האשכנזים. בדגימות הללו ביצענו גם ניתוח לפי ששת סמני ה-microsatellites. חשוב לציין, כי עבור כל UEP ייתכנו שתי אפשרויות בלבד. בניגוד לכך, עבור כל microsatellite ייתכן מספר רב של אפשרויות. לפיכך, ניתוח דנ"א באמצעות 12 סמנים אלה מאפשר קבלת מאות מבנים אפשריים. ב-306 הדגימות שניתחנו בעזרת הסמנים הנ"ל, נמצאו סה"כ 112 מבנים שונים. לכאורה, ניתן היה לצפות ליחס ממוצע של כשלוש דגימות לכל מבנה של כרומוזום Y. אולם, כשהתבוננו היטב נתגלתה תוצאה מדהימה. מבנה אחד מבין אותם 112 מבנים גילה עדיפות בולטת ומרשימה בקרב הכוהנים, אשכנזים וספרדים כאחד. מבנה זה שכונה "המבנה השכיח בכוהנים" (The Cohen Modal Haplotype — CMH) נמצא ב-45% מהכוהנים האשכנזים, 56% מהכוהנים הספרדים, 13% מהישראלים האשכנזים ו-10% מהישראלים הספרדים. משום שמבנה זה הוא השכיח ביותר באוכלוסיית הכוהנים, הן האשכנזית והן הספרדית, ניתן לראותו כמבנה הראשוני שעמד בעת ייסוד שושלת הכהונה.

יתרה מזאת, מאחר שמבנה זה הוא השכיח ביותר מבין שאר המבנים, CMH מייצג את מבנה כרומוזום Y של הקהילה אשר ממנה נוסדה שושלת הכהונה. כלומר, CMH הוא חותמת של קהילת שבטי-ישראל הקדומה אשר ממנה נבעה שושלת הכהונה. חשוב לציין, שהאחוזים המוזכרים לעיל לגבי המבנה השכיח בכוהנים, לא כוללים הרבה ממצאי הכוהנים השייכים לקבוצת A לפי סמני UEP, אשר בהם התרחש שינוי ב-microsatellites במהלך הדורות מאז נוסדה שושלת הכהונה. לפיכך, מוצדק להגדיר "אשכול" מבנים השכיח בכוהנים (Cohen Modal Cluster — CMC), אשר יכול בתוכו הן את המבנה השכיח בכוהנים (CMH) והן את כל המבנים האחרים, אשר יכולים לנבוע ממנו ע"י מוטציה אחת ב-microsatellite. הדבר מודגם בתרשים 10, בו ה-CMH נמצא במרכז, וסביבו כל אותם מבנים אשר אין ביניהם מרחק גדול יותר משינוי microsatellite אחד. הגדרת ה-CMC מאפשרת לנו להכיר בצורה נכונה יותר את בעלי



תרשים 10 אשכול המבנים השכיח בכוהנים

אשכול המבנים השכיח בכוהנים מופיע כרשת, העיגול המרכזי הוא ה-CMH, ואליו קשורים כל החפלוטיפים, שהמרחק ביניהם אינו עולה על שינוי microsatellite אחד. האשכול כולו מכונה Cohen Modal Cluster.

אותה חותמת גנטית קדומה, כפי שהיא מתבטאת היום בצאצאיהם. בנקודה זו התקדמנו שלב נוסף, שאפשר תיארוך משוער של זמן התהוות שושלת הכהונה. חישוב זמן ייסודה של הכהונה מבוסס על שיטה סטטיסטית — Average Square Difference (ASD), שפיתח עמיתנו למחקר דוד גולדשטיין. שיטה זו מבוססת על גודלם של שינויים ועל קצב התרחשותם.

לפי החישוב הנ"ל הגענו להערכה, שהתהוות זמן שושלת הכהונים עד ימינו נמשכה כ-106 דורות, שהם כ-3,200 שנים. הערכות זמן נפרדות לקהילות אשכנז וספרד, שברצונו בשיטת ASD, הביאו למסקנה דומה.

השגת תוצאות כמעט זהות לחלוטין עבור הכהונים בשתי קהילות אלו, שהתגבשו באזורים גיאוגרפיים נפרדים משך מאות בשנים, מחזקת באופן משמעותי את מסקנות המחקר, כולל חישוב תיארוך זמן ייסוד הכהונה.

חשוב להדגיש, שישנו מרווח טעות סטטיסטי מסוים בהערכת הזמן הנ"ל, כך שב-95% בטחון אפשר לומר כי כרומוזום Y, שהיווה מקור לשושלת הכהונה, היה לפני כ-84-130 דורות. מבחינה היסטורית, תוצאות אלו ממקמות את כרומוזום Y, שממנו נוסדה שושלת הכהונה, בתקופת המשכן — דבר שתואם את המסורת המקראית.

תוצאות המחקר מאפשרות לנו להגיע למסקנות מסוימות בבטחון רב ולמסקנות אחרות בבטחון יחסי, לעת עתה. ניתן לומר בוודאות, שהכוהנים בני-זמננו הם צאצאי תורשה אבהית, באופן שייסוד שושלת הכהונה אירע לפני פיצול העם היהודי לקהילות אשכנז וספרד.

ממצאים אלה תואמים בעקביות את המסורת המקראית, המתארת את מיסוד וביסוס הכהונה בתקופת המדבר והמשכן.

הלוויים - תוצאות ראשוניות ומשמעותן

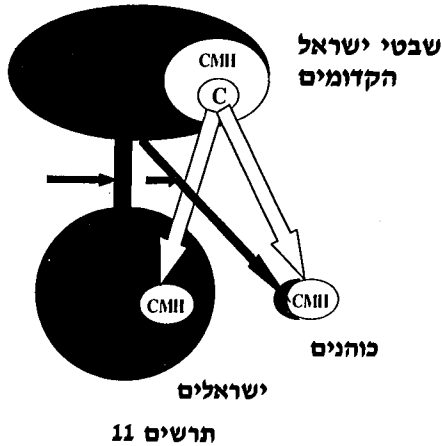
במחקר זה לא בדקנו את מקורם של הלוויים, אך בדיקות ראשוניות שערכנו, מצביעות על מגמה שונה מזו שנמצאה אצל הכוהנים. נראה, שהלוויים אינם מהווים קבוצה הומוגנית על-פי ניתוח המאפיינים הגנטיים שבדקנו. אפשר אולי להסביר זאת מתוך עיון בפרשנות הלכתית-תלמודית:

- לאחר חורבן הבית נותרו דינים מהתורה הנוגעים לכוהנים, שחייבו הקפדה יתרה על שמירת מסורת הכהונה. כגון: איסור על כוהן להיטמא למת ואיסור על נישואי כוהן לגרושה. ואילו לגבי הלוויים נשאר בעיקר דין סדר עלייתם לתורה אחרי הכוהן, שהוא מדרבנן בלבד. ייתכן ששוני זה גרם באופן יחסי להקפדה יתרה על מסורת הכהונה יותר מאשר על מסורת הלווייה.
- במסכת בכורות מז ע"א נאמר: "אמר רב אדא בר אבהו: לווייה שילדה, בנה פטור מה' סלעים. דאיעבר ממאן... אמר רב פפא: דאיעבר מעובד כוכבים..." וכך פוסק להלכה הרמב"ם במשנה תורה, הלכות בכורים פי"א, ה"א: "לווייה המעוברת מעכו"ם — בנה פטור, וכהנת המעוברת מעכו"ם — בנה חייב, שהרי נפסלה אמו מן הכהונה בבעילת העכו"ם". וכן נפסק בשו"ע יו"ד סימן שה סעיף יח. לפי זה אפשר לומר, שבמהלך הדורות התאפשרה חדירת מבנה זר של כרומוזום Y למשפחת הלווייה על-פי דין, מה שלא יכול היה להתרחש במשפחת הכהונה. אמנם דין זה, שהוולד נחשב "הולך אחר" אמו, קיים גם בכהנת ולווייה שנישאות לישראל, וזאת משום שאין חובת פדיון הבן תלויה באב אלא באם, שנאמר בספר שמות יג, ב: "פטור כל רחם בבני ישראל". לכאורה לפי זה, לא יחול שם לוי על בן הנכרי על-אף היותו פטור מפדיון הבן. אך נראה, שניתן להבין אחרת ממספר מקורות: רש"י בבכורות שם מסביר: "הואיל ואית ליה שמא דלוי — פטור". נראה מדבריו, שנקרא לוי על-אף היותו "לוי פטול" כדברי הגמרא שם. הרב חיים הלוי בחידושויו על הרמב"ם הלכות איסורי ביאה פט"ו, ה"ט כותב, שיש לחלק בין שני דינים הקיימים בלוי: א. היותו שייך למשפחת לווייה — דין זה הולך אחר משפחת אב כשאר ייחוסין. ב. היותו בעל שם לוי — לפטרו מה' סלעים אף-על-פי שנקרא לוי פטול. אם כן, בנכרי הבא על הלווייה אפשר שיקבל שם לוי, הואיל ואמו לווייה. נראה שדברים אלו יכולים להוות נדבך נוסף בהבנת ההבדל בין תוצאות הלוויים לבין תוצאות הכוהנים במחקר שערכנו.⁷

השלכות המחקר על חקר ההיסטוריה של קהילות ישראל

נחזור לניתוח התוצאות. המחקר מצביע באופן ברור על קשר היסטורי של הכוהנים בני-זמננו לשבטי ישראל הקדומים מחד, ולישראליים בני-זמננו מאידך. עובדה זו מודגמת בתרשים 11. שבטי ישראל הקדומים כללו גברים בעלי כרומוזום Y המאופיין כ-CMH.

7 הפניה למקור זה התקבלה מהרב יעקב וינר שליט"א, ראש מכון ירושלים לפסיקה הלכתית: רפואה והלכה.

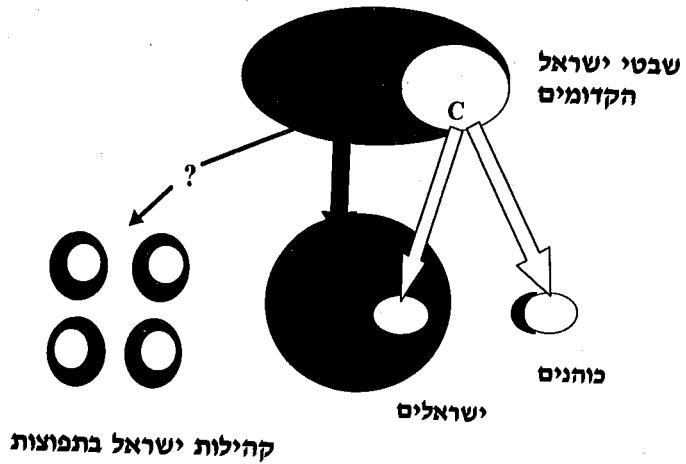


תיאור הקשרים הגנטיים בין הכוהנים וישראלים היום לבין שבטי ישראל הקדומים. ה־CMH היה אחד ההפלוטיפים שהופיעו בשבטי ישראל הקדומים. הוא נשמר ברוב קבוצת הכוהנים בני-זמננו, פרט לכניסה מעטה של הפלוטיפים אחרים במהלך ההיסטוריה. לעומת הכוהנים, בקבוצת הישראלים ישנה כניסה מרובה של הפלוטיפים אחרים, אך עדיין ה־CMH מצוי בקבוצה זו באופן משמעותי.

וכן מספר מסוים של גברים בעלי מבנה אחר של כרומוזום Y. בגלל צורת התורשה של שושלת הכהונה, המועברת מאב לבן בלבד, הכוהנים בני-זמננו שמרו על היותם קבוצה הומוגנית, המתאפיינת במבנה ה־CMH של כרומוזום Y. מבנה זה נפוץ גם בקרב הישראלים שאינם כוהנים. מבנים אחרים, המצויים בשכיחות גבוהה באוכלוסייה הישראלית, מצביעים על "כניסת" כרומוזום Y מאוכלוסיות אחרות, או מאותם עברים קדמונים שלא היה להם CMH. דבר זה מאשר את קיום ההלכה היהודית הקובעת שזהות יהודית אינה קשורה כלל לתורשה אבהית. מאידך, תורשה אבהית היא תנאי הכרחי למעמד הכהונה.

במלים אחרות, בשבטי ישראל הקדומים היו גברים בעלי מאפיינים של ה־CMH. הכוהנים בני-זמננו הם צאצאים מאותו CMH, שלפי המסורת היה אהרן, הכוהן הגדול הראשון, אבי שושלת הכהונה. מקורו של כרומוזום Y בישראלים בני-זמננו הוא אותו CMH של שבטי ישראל, בצד תרומה מקהילות אחרות; למשל, כל התגיירות יכולה להוביל לכניסת מבנה נוסף, שיצטרף למאגר מבני כרומוזום Y הקיים באוכלוסייה הישראלית. אפשר להציע תיאוריה חלופית, לפיה מקורו של מבנה ה־CMH הוא בקבוצת אוכלוסייה נפרדת לחלוטין, אשר ממנה "נכנס" לאוכלוסייה היהודית. מסיבות רבות תיאוריה זו מאוד לא סבירה.

כפי שמודגם בתרשים 12, גילוי ה־CMH נתן בידינו כלי לחקור קשר בין קהילות שונות בנות-זמננו לבין שבטי ישראל הקדומים. נסיונות לגילוי קשרים היסטוריים מעין אלו נעשו בעבר באמצעים רבים: ארכיאולוגיים, בלשניים ואחרים וזכו לכינוי העממי: "החיפוש אחר עשרת השבטים האבודים".



פרקים 12

היחסים בין קהילות ישראל בתפוצות לבין שבטי ישראל הקדומים. כשם ששכיחות ה-CMH בקרב הישראלים עולה על 10%, אנו מצפים לשכיחות דומה בקרב קהילות בעלות קשר היסטורי לשבטי ישראל הקדומים.

בכל מקום בעולם שבו קיימת קהילה, הטוענת לקשר היסטורי לשבטי ישראל הקדומים, יש לצפות לשכיחות גבוהה של ה-CMH. לפי המחקר שערכנו, שכיחות שלמעלה מ-10% תתמוך בטענה הקושרת את ההיסטוריה של אותה קהילה לשבטי ישראל הקדומים. אולם, שכיחות נמוכה של ה-CMH עדיין איננה יכולה לשלול לחלוטין קשר כזה. חשוב לציין, שחישובי "וודאות אבהית" בוצעו בנתונים שהתקבלו במחקר זה והראו תוצאות ייחודיות. מושג הוודאות האבהית מתייחס לסבירות, שבכל דור נתון, מקורו של מבנה כרומוזום Y מסוים נובע מכרומוזום Y מייסד השושלת, ולא ממקור זר. במלים אחרות, הסיכוי שכן למשפחה מסוימת הוא אכן בנו הגנטי של אבי המשפחה ולא נולד כתוצאה מיחסים של אמו עם גבר זר. הוודאות האבהית שנצפתה בכוהנים היתה הגבוהה ביותר, שנצפתה במחקרים מסוג זה בכל העולם. ממצא זה מצביע על רמה גבוהה ביותר של נאמנות בין בני-זוג בקרב משפחות הכוהנים לאורך כל הדורות. עובדה זו מוארת על רקע המסורת היהודית, הדוגלת בקדושת התא המשפחתי. למחקר מסוג זה יש גם השלכות מוסריות וחברתיות רבות. לפיכך, מצאנו לנכון להדגיש את הנקודות האלה:

- ההבדלים ברמה הגנטית בין פרטים בתוך קבוצה גדולים יותר מההבדלים בין הקבוצות עצמן. לפיכך, היחידה הגנטית המשמעותית ביותר במחקר היא הגנטיקה של הפרט עצמו, ולא הגנטיקה של האוכלוסייה שממנה הוא בא.
- הדרך הנכונה להעריך כל פרט היא על-פי מעשיו והתנהגותו, ולא לפי ממצא משני, כגון: מקורותיו הגנטיים או מבנה הדנ"א שלו.

- אתגר המחקר הגנטי הוא ללמד אותנו לשלוט בתורשת הדנ"א בנסיון למנוע מחלות ולטפל בהן, ולא לאפשר לדנ"א לשלוט בגורל חברתנו.

הזהות היהודית מול המחקר הגנטי

באופן ייחודי לגבי המשמעויות החברתיות וההשלכות של ה-CMH, ישנה הסכמה בין חוקרים וסמכויות רבניות בנקודות האלה:

- תוצאות המחקר נוגעות להבנת תהליכים היסטוריים הקשורים למסורת ישראל בכללה, ולא כמכשיר לקביעת זהות יהודית או מעמד כהונה לפרטים או לקהילות.
- בהתייחסות לשאלת הזהות היהודית, הרי שזו שאלה הנתונה לשיקולים הלכתיים, המבוססים על מעמד אישי ותרבותי, ולא על קביעה גנטית כלשהי.

היהדות קובעת, כי יהודי הוא מי שנולד לאם יהודייה או שנתגייר כהלכה. כמוכן שגר אינו מבסס את יהדותו על תורשה גנטית. אולם גם מי שנולד לאם יהודייה, יהדותו נובעת מתורשה אמהית, ואולי רק מעצם היותו נישא ברחמה של אשה יהודייה, כמו שנראה להלן. לכן, כרומוזום Y, המלמד רק על תורשה אבהית, אינו יכול לספק כל מידע רלוונטי בנושא זה.

דוגמה חיה לעניין זה אפשר להביא ממחקר שנערך בשבט דרום-אפריקאי, שמכונה למבה.⁸ שבט זה, המונה כ-80,000 איש, נושא מסורת בעל-פה אודות נדידת אבותיו מממלכת יהודה הקדומה, דרך תימן, אל החוף המזרחי של אפריקה, עד למקומם בהווה בדרום היבשת, במדינות זימבבואה ומוזמביק. במחקר שבוצע בשבט זה נמצא, כי אחוז גבוה מחברי השבט הגברים נושא את מבנה ה-CMH, נתון המחזק את מסורתם ההיסטורית.⁹ אולם חשוב לציין שחברי שבט זה אינם רואים עצמם כיהודים – חלקם הגדול נוצרים וחלק אחר מוסלמים.

במלים אחרות, השכיחות הגבוהה של ה-CMH מאפשרת לגלות קשרים היסטוריים, שנסתרו מעינינו, בין קהילות שונות ובין שבטי ישראל הקדומים. אולם עניין הזהות היהודית הוא עניין שונה לחלוטין, העונה לחוקי התורשה האמהית ולכללי הגיור על-פי ההלכה.

לפני סיום אנו מבקשים לשתף את הקוראים במחשבות, שעלו בנו כיהודים מאמינים לנוכח תוצאות מחקר זה.

כאשר צריך להחליט בדבר זהותו של תינוק שנולד, הספק היחיד שנוצר לגבי שאלה זו הוא: מאיזה רחם בא אותו תינוק. נראה כי כלל הלכתי זה משקף את הדרך הקלה והפשוטה

A. B. Spurdle and T. Jenkins, "The Origins of The Lemba 'Black Jews' of Southern Africa: Evidence from P12f2 and other Y-Chromosome Markers", *Am. J. Hum. Genet.* 59 (1996), pp. 1126-1133

Mark G. Thomas et al., "Y Chromosomes Traveling South: The Cohen Modal Haplotype and the Origins of the Lemba — the 'Black Jews' of Southern Africa", *Am. J. Hum. Genet.* 66, (2000), pp. 674-686

ביותר לקבוע את ייחוס הוולד, משום שהיא נראית לעיניים, ולא יכול להתעורר בה כל ספק. כיום, פתח בפנינו המדע המודרני אופקים חדשים ע"י שיטות פוריות שונות: הפריה מחוץ לגוף, אם פונדקאית, הפריה מתורם ועוד. שיטות אלו יוצרות מגוון אפשרויות לגבי מקורו הגנטי של כל ולד. עם זאת, חלק גדול מפוסקי דורנו, שהתמודדו עם סוגיה זו, פסקו כי בעלת הרחם שממנו נולד התינוק לבסוף — היא אמו. בכך הבטיחה ההלכה, שלא ימצא ילד שאין לו שיוך משפחתי ברור, אפילו אם שיוכו הגנטי לוט בערפל. ניתן לראות את התבונה בחוקי ההלכה, שביססו את הזהות היהודית על-פי תורשה אמהית בלבד, או ליתר דיוק על-פי זהות היולדת, גם לאור תוצאות מחקר זה. הווי אומר, לו זהות יהודית היתה נקבעת בתורשה אבהית, מחקר זה היה צריך להתמודד עם אפשרות גילוי זהות יהודית בעזרת בדיקה גנטית. לדעתנו, יש ברכה בכך, שקביעת הזהות היהודית לפי האם מונעת מהמחקר הגנטי לתור אחר "הגן היהודי". דבר זה מדגיש כי היהדות אינה עניין פיזיולוגי גנטי בלבד, כי אם שורשה ועיקרה של היהדות נעוץ במהות, ייעוד וגורל רוחניים.

לבסוף, אנו נשאלים פעמים רבות, האם ישנן תכונות המאפיינות ע"י ה-CMH של כרומוזום Y, ובאות לידי ביטוי בכוהנים. התשובה לכך שלילית בהחלט. כפי שצוין לעיל, כרומוזום Y עני יחסית בגנים תפקודיים (למעט, כמובן, תפקידו בקביעת מין העובר). לעומת זאת, הוא מהווה כלי עיקרי במחקרי ארכיאולוגיה גנטית. רצפי הדנ"א הנבדקים על-ידינו אינם נמצאים באזורים תפקודיים כלל.

אכן, רעיון זה נראה ממשנתו של הלל הזקן, שאמר: "הווי מתלמידיו של אהרן, אוהב שלום ורודף שלום, אוהב את הבריות ומקרבן לתורה" (אבות א, יב). ההדגשה בדבריו היא על תלמידיו של אהרן ולא על בניו. כנראה, כוונתו בכך, שתכונות נעלות אלו של אהרן הכהן, מייסד שושלת הכהונה, ניתנות לרכישה על-ידי כל אחד שיבחר ללכת בדרכו. גם אם אינו מצאצאיו הגנטיים, הרי הוא ממשיכי דרכו הרוחנית.

חדש בהוצאה



הוצאת
אוניברסיטת
בר-אילן
BAR-ILAN
UNIVERSITY
PRESS

משה חלמיש

הקבלה

בתפילה בהלכה ובמנהג

הספר דן ביחסי הגומלין בין מחקר הקבלה המודרני לבין עולם הליטורגיקה, ההלכה והמנהג. יחסי גומלין אלה לא זכו עד כה למלוא תשומת הלב המחקרית הראויה, וספר זה פותח צוהר רחב להמשך מחקר מקיף בנושא.

המחבר מברר בפרקי הספר את ההשלכות ההדדיות של העולמות הללו – הקבלה מזה, והתפילה, ההלכה והמנהג מזה – מבחינה עיונית, היסטורית, גאוגרפית וביבליוגרפית, ובראייתו המקיפה שופך אור חדש על הדינמיקה בין התחומים ועל דרכי חלחולה של הקבלה לתחומים אלה. הספר מיועד לתלמידי חכמים, לחוקרים במדעי היהדות ולציבור המשכיל הרחב המתעניין בתרבות היהודית.

686 עמ', כריכה קשה, תשי"ס

למידע נוסף נא לפנות להוצאת אוניברסיטת בר-אילן,

רמת-גן 52900, טל' 5318575, 03-5318401

פקסי 03-5353446