



מהו ריצוף גנטי של הדור הבא ומדוע אנו זקוקים לו?

Subhrajit Barua^{1*}, Shinjini Bandopadhyay², Soham Biswas³ | Prabuddha Gupta^{2†}

¹המעבדה לכימיית תמיסות של חומרים וטכנולוגיות מתקדמים, אוניברסיטת סנט פטרסבורג לטכנולוגיית מידע, מכניקה ואופטיקה, סנט פטרסבורג, רוסיה

²מכון אָמִיטִי לביוטכנולוגיה, אוניברסיטת אמיטי קולקטה (לשעבר פלפּוֹתֵה), קולקטה, מערב בנגל, הודו

³בית הספר למדעי החיים, אוניברסיטת הידראבאד, הידראבאד, הודו

סוקרים צעירים

AYDEN
גיל: 14



KALOMOIRA
MARIA
גיל: 11



SANTIAGO
גיל: 12



SOPHIA
גיל: 13



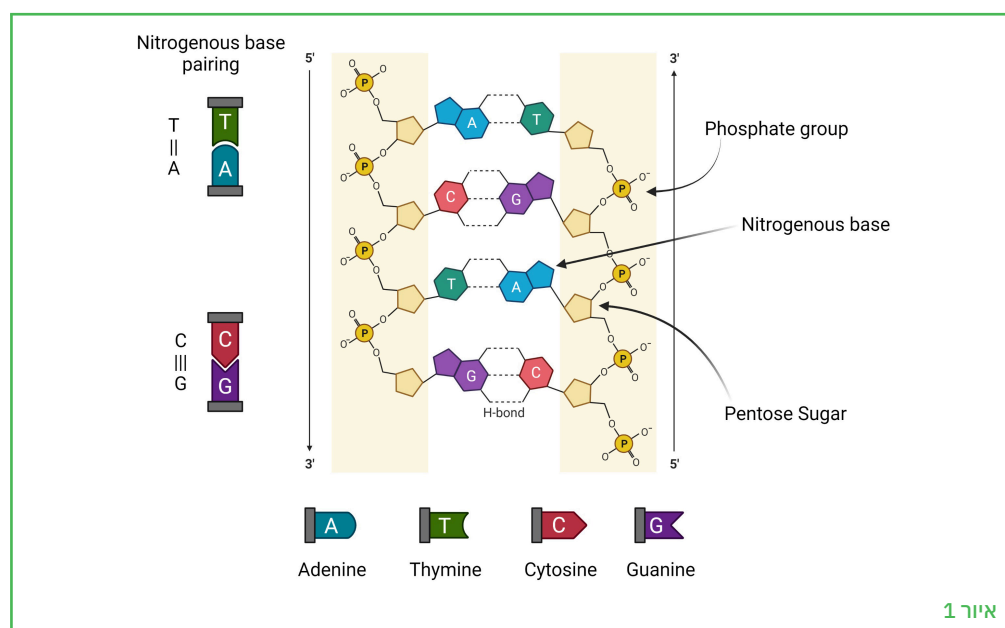
ZOE
גיל: 10



האם ידעתם שניתן לקרוא את הדנ"א שלכם? אנו יודעים כי דנ"א הוא מקום אחסון מידע אשר הופך אותנו למי שאנו. כדי להבין מידע זה באמת, תחילה עלינו ללמוד לקרוא אותו. גֵנִים הם מקטעי דנ"א הפועלים יחד כמו מדריך הפעלה השולט בתאי הגוף, בדיוק כפי שקודים מורים למחשב מה לבצע. במשך שנים רבות, לא היו בידינו הכלים לקריאת הקודים הגנטיים הללו. בשנות של המאה הקודמת, טכנולוגיה בשם 'ריצוף גנטי' אפשרה לקרוא את הקוד הגנטי של הדנ"א, ולפענחו. באמצעות הריצוף הגנטי, מדענים יכלו לקרוא מידע גנטי, להבינו ולהשוות בין מקטעי מידע שונים. זו הייתה פריצת דרך משמעותית בהבנתנו את תחום הביולוגיה. כיום, טכנולוגיות ריצוף ממלאות תפקיד חשוב בתחומים רבים, הַחֵל מטיפול במחלות, וְכֵּן בחקלאות. ריצוף גנטי היה גורם מכריע בזמן מגפת נגיף הקורונה שסייע לנו לחקור את הנגיף ולפתח עבורו חיסון במהירות.

גילוי ATCG

חומצה דאוקסיריבונוקלאית (דנ"א), החומר הגנטי של כל אורגניזם חי, התגלתה ב-1869 על ידי החוקר השווייצרי פרידריך מיֶיֶר. במקור ניסה מיֶיֶר לחקור תאי דם לבנים, ובמהלך המחקר בודד מגרעין התא (ששמו הלטיני 'נוקלאוס'), מולקולה חדשה, אשר לה הוא קרא נוקלאין. בשנת 1953 המבנה של מולקולת הדנ"א זוהה על ידי הגנטיקאי האמריקאי ג'יימס ווטסון בשיתוף עם הביולוג והביופיזיקאי האנגלי פרנסיס קריק, בעזרת מידע משמעותי שתרמה רוזלינד פרנקלין, מדענית יהודייה אנגליה [1]. מבנהו של הדנ"א דומה לסולם מפותל (איור 1). ה'מוטות' הצידיים התומכים בכל שלב, מורכבים מקבוצת פוספט [זָרְחָה, (PO_4^{3-})] וממולקולת סוכר הנקראת פֶּנְטוֹז, אשר לה חמישה אטומי פחמן. השלבים עצמם עשויים ארבעה רכיבים הנקראים **בסיסים חנקניים**: אַדֶּנִין (A); צִיטוֹזִין (C); גִּיאַנִין (G) וְתִימִין (T). חוק צ'רְגֶף (על שם הביוכימאי היהודי אמריקאי ארווין צ'רגף) מסביר כי בסיסים אלה מסתדרים בזוגות באופן זה: A הוא תמיד בן הזוג של T, ו-G הוא תמיד בן הזוג של C. יחד, מולקולת פוספט, סוכר פנטוז ובסיס חנקן יוצרים מבנה בשם **נוקלאוטיד**. סידור הבסיסים בדנ"א חשוב מאוד, משום שְרָצֶף זה מייצג את הקוד הגנטי, בדיוק כשם שארגון נכון של אותיות האלף-בית מייצר מילים בעלות משמעות. ה'מילים', או 'אבני הבניין' הללו, המכילות מידע, הן הַגֵּנִים. הגנים מספקים הוראות ליצירת מאפיינים שונים, החל מצבע העיניים, וכלה בסוג הדם. המונח לתיאור אוסף כל הגנים הנמצאים בגוף הוא **גֶנוֹם**. לכל בני ובנות זן מסוים יש גנום דומה, אך לא זהה. תכונותיו של הגנום האנושי ייחודיות לבני האנוש, אך שינויים קטנים בגנים יוצרים הבדלים בין אדם אחד למשנהו.



איור 1

בסיסים חנקניים (Nitrogenous Bases)

מולקולות המכילות חנקן. מהוות רכיבים חשובים של הדנ"א.

נוקלאוטיד (Nucleotide)

רכיב בדנ"א אשר מכיל מולקולת פוספט, מולקולת סוכר ובסיס חנקני.

גֶּן (Gene)

חלק מרצף דנ"א המכיל את הקוד לייצור חלבון.

גֶנוֹם (Genome)

מכלול הגנים של יצור חי.

איור 1

הסליל הכפול – מבנה הדנ"א דמוי-הסולם, לפי המודל של ווטסון וקריק. צֶדִי הסולם עשויים סוכרי פנטוז (Pentose Sugar, בעלי 5 פחמנים), וקבוצות פוספט (Phosphate group). שלבי הסולם הם ארבעת הבסיסים החנקניים (Nitrogenous bases). הבסיסים מסתדרים בזוגות קבועים: אַדֶּנִין (Adenine, A) וְתִימִין (Thymine, T); צִיטוֹזִין (Cytosine, C) וגִּיאַנִין (Guanine, G) – באמצעות חיבור מולקולרי שנקרא 'קשר מימן' (H-bond). (האיור נוצר בעזרת <https://biorender.com/>).

ריצוף גֶנְטִי (DNA Sequencing)

תהליך קביעת רצף הבסיסים החנקניים במקטע דנ"א.

ניסיונות ראשונים לפיצוח הקוד: שיטת סֶנְגֶר לריצוף

לאחר ההצלחה אשר לה זכו ממצאיהם של ווטסון וקריק, מדענים הבינו באופן ברור את מבנה מולקולת הדנ"א ובסיסה השונים. כעת הגיע תורה של השאלה: מה קובע את הסדר, או הרצף, שבו מופיעים הבסיסים לאורך הדנ"א? תהליך זה נקרא **ריצוף גֶנְטִי**.

בשנת 1975, הביוכימאי האנגלי פֶרְדְּרִיק סְנֶגֶר ביצע פריצת דרך עצומה בתחום הריצוף הגנטי, כאשר פיתח שיטה בשם 'תחיתת מקטעים' (מניעת המשך התארכות שרשרת ה-דנ"א) [2]. דנ"א משתכפל בתאי הגוף האנושי כדי לייצר עותקים זהים של עצמו, בעזרת שימוש בנוקלאוטידים (A, T, G, C) כאבני בניין. שיטת הריצוף של סְנֶגֶר התבססה על 'השתלטות' על התהליך הטבעי של שכפול הדנ"א. לנוקלאוטידים הרגילים, הוא הוסיף נוקלאוטידים שאותם שינה בתהליך כימי, כל אחד מהם בעל סימון רדיואקטיבי (מאוחר יותר, את הסמנים הרדיואקטיביים החליפו סמנים פְּלואוֹרֶסְצֵנְטִים, שהם פחות מסוכנים). הנוקלאוטידים הללו ששוננו כימית, קטעו את שכפול הדנ"א בנקודות אקראיות כאשר שילבו אותם בגדיל הדנ"א המשתכפל. השכפול נקטע באופן אקראי ויצר כמה מקטעי דנ"א באורכים שונים, שכל אחד מהם מסתיים בנוקלאוטיד שעבר שינוי כימי, בעל סימון רדיואקטיבי (או צבעוני). כאשר סְנֶגֶר בחן את כל המקטעים הללו, הוא הצליח לפענח את ריצוף גדיל הדנ"א המקורי על ידי ארגון המקטעים בסדר הנכון והרכבתם יחד – מהקטן ביותר לגדול ביותר, כדי לְדַמּוֹת את רצף הדנ"א השלם. לדוגמה, המקטע הקטן ביותר, באורך נוקלאוטיד אחד בלבד, הוא גרסה ששונתה כימית של A, T, C או G. דבר זה הצביע על הבסיס הראשון של הדנ"א המקורי שרָצַף (אִיור 2). השיטה של סנגר סללה את הדרך לפרויקטים של ריצוף גנטי בקנה מידה גדול, כמו פרויקט הגנום האנושי.

פרויקט הגנום האנושי (Human Genome Project)

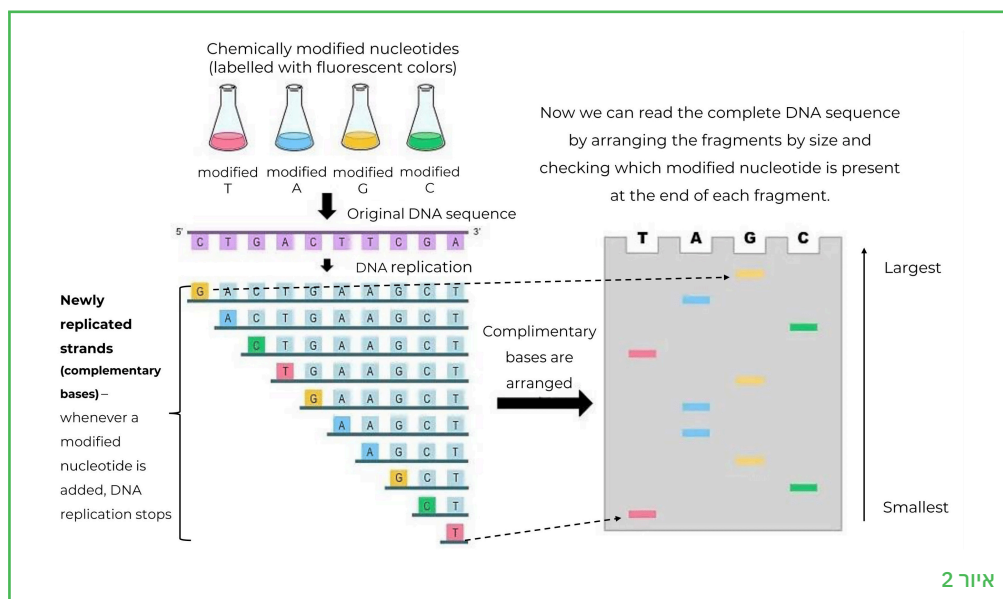
מיזם מחקר בינלאומי שמטרתו הייתה קביעת רצף כל הגנים בגוף האנושי.

איור 2

**הוספה של נוקלאוטידים
A, T, G שינוי כימי
המסומנים בצבעים
(C-ו)
פלאורסצנטיים, לתערובת
השכפול הגנטי
(DNA replication mixture).**

כאשר מוסיפים נוקלאוטידים שעברו שינוי כימי לסליל הדנ"א, תהליך השכפול נפסק. דבר זה מייצר מקטעי דנ"א תואמים באורכים שונים, שניתן לארגן כדי לקבוע את הרצף המקורי של הדנ"א, על ידי חוק התאמת זוגות הבסיסים (A מקשר ל-T ו-G נקשר ל-C). זהו תהליך מורכב שיש בו מקום רב לטעויות. מקרא (מלמעלה למטה, ובעקבות החיצים):

נוקלאוטידים שעברו שינוי כימי (מסומנים בצבעים פלאורסצנטיים) ← רצף הדנ"א המקורי ← תהליך שכפול דנ"א ← גדילים חדשים ששוכפלו (בסיסים תואמים) – כאשר מוסיפים נוקלאוטידים ששוננו כימית לגדיל הדנ"א, תהליך השכפול נפסק ← ארגון הבסיסים התואמים (מהקטן לגדול) ← עכשיו ביכולתנו לקרוא את רצף הדנ"א השלם על ידי ארגון המקטעים לפי הגודל, ובדיקה איזה נוקלאוטיד שעבר שינוי כימי נמצא בקצה כל מקטע.



איור 2

פרויקט הגנום האנושי

פרויקט הגנום האנושי (HGP) היה מיזם בינלאומי עצום, שבו לקחו חלק מדענים מכל רחבי העולם. הם החלו את המחקר ועבדו בקדחתנות במשך 13 שנים במטרה להבין את הגנום האנושי. המדענים שקידמו את המחקר השלימו את ריצוף הגנום האנושי העצום (אשר מכיל 3.2 מיליארד זוגות בסיסים) בשנת 2003 – ועדיין הצליחו להקדים את לוח הזמנים! פרויקט זה היווה ציון דרך משמעותי. לראשונה, למדענים הייתה היכולת לקרוא את כל 'תוכניות ההפעלה' הגנטיות של בני האדם, שפתחו דלתות לתגליות חדשות ומרגשות. ריצוף הגנום האנושי השלם היה צעד אדיר בשיפור בריאות האדם [3].

ריצוף גנטי מהדור הבא (Next-generation Sequencing, NGS)

שיטה חדשנית ומהירה של ריצוף גנטי, המסוגלת לקרוא נפחים גדולים של מקטעי דנ"א בו בזמן.

איור 3

בתהליך ריצוף הדור הבא, מסירים מהתאים גדילי דנ"א רבים, וחותרים אותם למקטעים קטנים יותר. לאחר

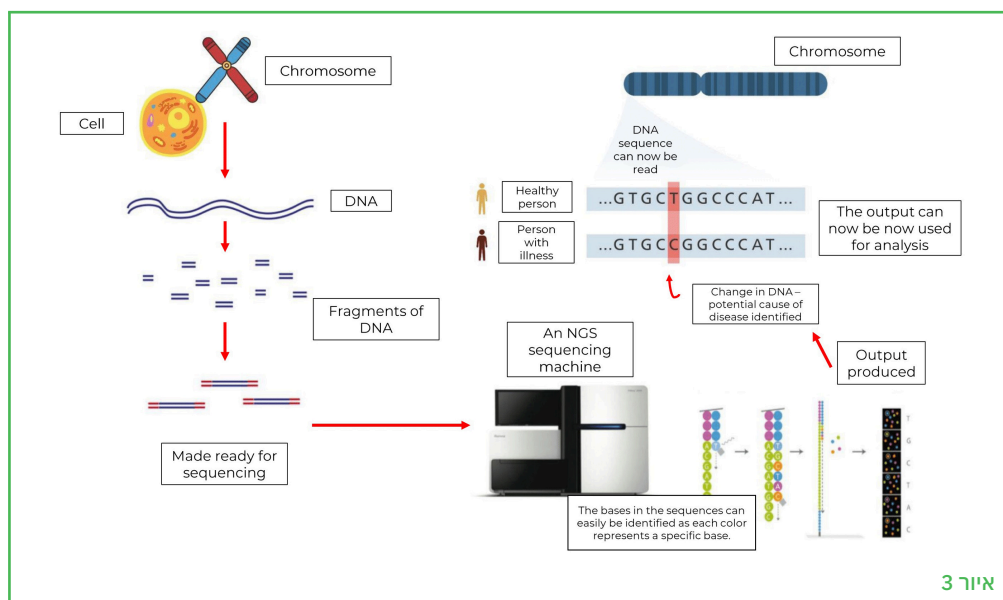
מכן מכינים את המקטעים הללו לריצוף על ידי הנתחם בצלחת המכונה 'תא זרימה' (Flow cell), המכילה את תערובת התגובה (Reaction mixture). כמה תגובות כימיות וקורא את הרצפים, בכך שהוא מזהה את הצבעים הפלואורסצנטיים המשתחררים מתא הזרימה בכל פעם שבסיס חדש מתווסף. ניתן לפענח את הסימנים הללו באמצעות תוכנה, אשר בונה עותק דיגיטלי של הרצף המקורי של הדנ"א. כעת, מדענים יכולים להשתמש במידע זה כדי לחפש שינויים בגנים שעשויים לגרום למחלות, כמו סרטן, מקרא (מלמעלה למטה, ובעקבות החיצים):

- ← כרומוזום ← תא ← דנ"א ←
- ← מקטעי דנ"א ← מוכנים לריצוף ← מכונת ריצוף מהדור הבא ← ניתן לזהות בקלות את הבסיסים ברצפים, כאשר כל צבע מייצג בסיס מסוים ← תוצר ← כעת ניתן להשתמש בתוצר עבור ניתוח נתונים ← ניתן לקרוא את רצף הדנ"א ← אדם בריא. או לחלופין: תוצר ← שינוי בדנ"א – זוהו גורם אפשרי למחלה ← כעת ניתן להשתמש בתוצר עבור ניתוח נתונים ← ניתן לקרוא את רצף הדנ"א ← אדם המתמודד עם מחלה.

עם זה חשוב לדעת כי טכניקות הריצוף הגנטי שבהן השתמשו להשגת תוצאות אלה צרכו זמן רב, ולא היו יעילות. למרות התוצאות פורצות הדרך של פרויקט הגנום האנושי, לידתן של טכנולוגיות מתקדמות יותר כגון **ריצוף הדור הבא** (NGS), תרמה באופן ניכר למזעור הטעויות בריצוף הגנטי, ושיפרה את מידת הדיוק שלו. ריצוף הדור הבא שינה את פני תעשיית שירותי הבריאות בכך שהפחית את עלויות הריצוף ואת הזמן הדרוש לאבחון. נכון לזמן כתיבת מאמר זה, ניתן לרצף את כל הגנום האנושי בתוך שש שעות בלבד!

מהו ריצוף גנטי של הדור הבא?

ב-2006, החברה אמריקאית בשם אילומינה (Illumina) הודיעה על פיתוח משמעותי בתחום הריצוף הגנטי. חוקריה הצליחו לרצף בו בזמן מספר גדול של גדילי דנ"א. מהירות גבוהה זו אפשרה ריצוף גנטי של כל הגנום האנושי בתוך פחות מיום אחד. ההבדל בין שיטה זו לשיטות ריצוף קודמות הוא השיטה החדשה אינה מסתמכת על תחימת מקטעים. במקום זאת, בשיטה החדשה, כאשר מוסיפים בסיס חדש לגדיל הדנ"א המשתכפל, נפלטת אות פלואורסצנטי תואם, המזהה בזמן אמת (איור 3).



איור 3

ריצוף גנטי – שימושים עכשוויים טיפול בסרטן

מחלת הסרטן תמיד אתגרה את עולם הרפואה, כיוון שישנם סוגי סרטן שונים, ואפילו אותו סוג סרטן עשוי להתנהג בצורה שונה בקרב חולים שונים. סרטן עלול להיגרם עקב טעויות ייחודיות בדנ"א, שאותן אפשר לזהות על ידי ריצוף גנטי. כיום, מדענים משתמשים בריצוף בטכניקת הדור הבא כדי לנתח את נתוני הגנום של חולה פרטני, ולזהות את הטעויות בדנ"א הייחודיות לכל אדם. הדבר עוזר לרופאים לגבש תוכנית טיפול המותאמת אישית לצרכיו של כל חולה. לדוגמה, שני חולים המתמודדים עם סוג זהה של סרטן עשויים להגיב לאותה תרופה באופן שונה. כך, טיפול שירפא חולה אחד, לא יהיה יעיל עבור החולה האחר. ניתן לזהות שינויים קלים בגנום של שני אנשים פרטניים, וזה יכול לסייע לרופאים להבין איך

להתאים טיפול לבני אדם שונים, בהתבסס על ההבדלים הגנטיים בין בני האדם [4]. טיפול מסוג זה נקרא 'רפואה מותאמת אישית'.

אבולוציה

החיים על פני כדור הארץ החלו מאורגניזמים בעלי תא יחיד, אשר הפכו מורכבים יותר ויותר. חיות הן צורות החיים המורכבות ביותר בכדור הארץ. כיום, עושים שימוש בריצוף הדור הבא כדי להשוות את הגנום האנושי לגנום של חיות אחרות. הדבר עשוי לספק לנו פרטים מדהימים על אודות מידת הדמיון או השוני בינינו לבין חיות אחרות. נוסף על כך למוטציות (תמורות בדנ"א) קטנות, הקיימות באורגניזמים בני אותו זן, תפקיד חשוב באבולוציה, כיוון שכל מוטציה עשויה לשנות לעד חלק מהגנום של אותו הזן. ריצוף בטכניקת הדור הבא מאפשר למדענים לחקור כיצד מוטציות הצטברו לאורך תהליך האבולוציה.

חיסונים

מתהליך ההתחקות אחר מוצאו של נגיף סארס-קוב-2 הגורם למחלת קוביד-19, ועד לפיתוח המהיר של החיסונים, ריצוף גנטי הציע סיוע עצום במהלך מגפת הקורונה. החיסונים מלמדים את המערכת החיסונית לזהות איומים ולחסלם. ריצוף הדור הבא סייע למדענים לרצף את נגיף סארס-קוב-2, וכך ללמוד עוד על המאפיינים הגנטיים של הנגיף אשר מציבים איום בפני מערכת החיסון, כמו זיזי החלבון (המכונים 'ספייקים'). ריצוף הדור הבא היה שימושי אף במעקב אחר וריאנטים חדשים של הנגיף, כלומר גרסאות שונות שלו – גם נגיפים מתפתחים!

אלרגיות

ודאי שמעתם על אודות אלרגיה לגלוטן, או על רגישות ללקטוז. ריצוף הדור הבא מסייע למדענים לזהות אם אדם עשוי להיות אלרגי לגלוטן או רגיש ללקטוז, על ידי ניתוח נתוני הגנום של אותו אדם. רצפי דנ"א מסוימים עלולים לגרום לאדם להיות מועד יותר לפיתוח אלרגיות.

מיקרואורגניזמים מועילים

לא כל המיקרואורגניזמים החיים בתוך גוף האדם מזיקים. מיקרואורגניזמים 'טובים' מסייעים לנו להילחם בזיהומים. המיקרוביוטה של מערכת העיכול היא קהילה של מיקרואורגניזמים החיים במערכת העיכול של בני האדם. אפשר לחשוב על מיקרואורגניזמים אלה כעל היגנום השני שלנו, מאחר שהם משפיעים על מערכת החיסון ועל בריאותנו הכללית [5]. לא קל לחקור את המיקרוביוטה של מערכת העיכול במעבדה, אך אפשר להיעזר בריצוף הדור הבא כדי לנתח את נתוני הגנום של האורגניזמים הללו, וכך להבין כיצד הם מתפקדים. 'פרויקט מערכת העיכול האמריקני'¹ היה יוזמת המדע האזרחית הגדולה ביותר בעולם, ועסק בנייתו נתוני המיקרואורגניזמים שחיים בתוך המעי של כ-11,000 אנשים. דבר זה התאפשר הודות לריצוף הדור הבא.

סיכום

לסיים, ניתן לומר כי ריצוף דנ"א חולל מהפכה במחקר מדעי החיים, וסלל את הדרך למפתן שירותי בריאות מדויקים ויעילים יותר. ריצוף הדור הבא הפך את הטכניקה הזו מהירה יותר ובהישג יד בהיבט עלותה. בשנים האחרונות פותחו טכניקות מתקדמות יותר של ריצוף דנ"א,

מוטציה (Mutation)

כל שינוי ברצף הדנ"א העשוי להשפיע על תפקוד הגן, או שלא להשפיע עליו.

דוגמת ה'אוקספורד ננופּוֹר' (Oxford Nanopore). שיטות אלה מהירות ומדויקות אפילו יותר! עם זה על אף שאנו יכולים לְרַצֵּף דנ"א, עדיין לא פותחה שיטה לריצוף חלבונים. זֶהוֹ אחד הפיתוחים שאנו מצפים להם יותר מכל בתחום הביולוגיה. אנו מקווים כי אחת או אחד מכם, קוראינו הצעירים, יצליחו להגיע להישג הגדול הזה!

הערות שוליים

למידע נוסף על אודות המיזם, ראו עמוד הפייסבוק של הפרויקט, בכתובת: <https://www.facebook.com/AmericanGut>.

מקורות

1. Watson, J., and Crick, F. 1953. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 171:737–38. doi: 10.1038/171737a0
2. Heather, J. M., and Chain, B. 2016. The sequence of sequencers: the history of sequencing DNA. *Genomics* 107:1–8. doi: 10.1016/j.ygeno.2015.11.003
3. Green, E. D., Watson, J. D., and Collins, F. S. 2015. Human genome project: twenty-five years of big biology. *Nature* 526:29–31. doi: 10.1038/526029a
4. Gupta, A. K., and Gupta, U. D. 2014. "Next generation sequencing and its applications," in *Animal Biotechnology* (Elsevier). p. 345–67. doi: 10.1016/b978-0-12-416002-6.00019-5
5. Cao, Y., Fanning, S., Pross, S., Jordan, K., and Srikumar, S. 2017. A review on the applications of next generation sequencing technologies as applied to food-related microbiome studies. *Front. Microbiol.* 8:1829. doi: 10.3389/fmicb.2017.01829

פורסם אונליין: 30 בינואר 2025

נערך על ידי: Michal Letek

מנחים מדעיים: Ricardo Wesley Alberca, Demetrios A. Arvanitis, Andres Contreras, I, Thomas M. Li

ציטוט: Barua S, Bandopadhyay S, Biswas S | Gupta P (2025) מהו ריצוף גנטי של הדור הבא ומדוע אנו זקוקים לו? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2022.746502-he

תורגם והותאם מ: Barua S, Bandopadhyay S, Biswas S and Gupta P (2022) What Is Next-Generation Sequencing and Why Do We Need It? Front. Young Minds 10:746502. doi: 10.3389/frym.2022.746502

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

זכויות יוצרים © Barua, Bandopadhyay, Biswas | Gupta 2025. 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 למחברים 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

AYDEN, גיל: 14

קוראים לי Ayden. המקצועות האהובים עליי הם היסטוריה ואנגלית, מאחר שאנו לומדים בהם עובדות מרתקות וקוראים ספרים מעניינים. אני חבר בנבחרת הריצה של בית הספר שלי, וכעת מתעניין במשחק גולף. נהנה לבלות עם חברים ולשחק משחקי וידאו.

KALOMOIRA MARIA, גיל: 11

אני אוהבת טבע (יערות מחטניים ואגמים); משחקים; ספרים ומוזיקה (במיוחד פסנתר). נהנית ממקצועות האנגלית והמתמטיקה. לאחרונה, מדע התווסף לתחומי העניין שלי. סדרת הספרים האהובה עליי היא Pages & Co, וגיבורות הספרות האהובות עליי הן טילי מהספר Bookwanderers, אן מהחווה ירוקה (סדרת ספרי האַסּוּפּיּת), והרמיוני גריינג'ר המפורסמת, מסדרת הארי פוטר.

SANTIAGO, גיל: 12

שלום, שמי הוא Santiago, אתם יכולים לקרוא לי Santi. בקרוב אהיה בן 13. ענף הספורט האהוב עליי הוא כדורגל, ואני משחק בקבוצה בעמדת קשר. אני אוהב לשחק עם החברים שלי. לומד בכיתה ז, ואוהב היסטוריה ומדעים – במיוחד כימיה או ניסוי מעבדה.

SOPHIA, גיל: 13

קוראים לי Sophia, אני בת 13 ומגיעה מברזיל. אוהבת לשחק עם החברים שלי ולצפות בסרטונים ברשת.

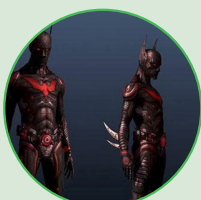
ZOE, גיל: 10

שמי הוא Zoe ובקרוב אתחיל ללמוד בכיתה ד. אחד התחביבים האהובים עליי הוא ריקוד, והזיכרון הטוב ביותר שלי הוא כשרקדתי בתיאטרון ג'ויס בניו יורק. אני אוהבת לצאת לטיולי מחנאות עם משפחתי, והדבר האהוב עליי בהם הוא צליית מרשמלו! אחרי יום ארוך בבית הספר, אני מבלה עם כלבי שהוא מסוג טרייר וולשי ושמו Duke.

הכותבים

SUBHRAJIT BARUA

אני דוקטורנט באוניברסיטת סנט פטרסבורג לטכנולוגיית מידע, מכניקה ואופטיקה (ITMO) שברוסיה. חוקר את ההשפעות של מולקולות ביולוגיות על מערכת העצבים. במחקרי, אני עושה שימוש נרחב בריצוף הדור הבא בעת ניתוח מיקרוֹבִּיּוֹם המעיים של בני אדם ושל עכברים. אני גם אסטרובילוג החוקר את השפעות המסע בחלל על גנומים של עכברים ושל אורגניזמים אחרים, תוך שימוש בריצוף הדור הבא. הישארו איתי בקשר דרך לינקדאין – <https://www.linkedin.com/in/subhrajit-barua> ודרך טוויטר – <https://twitter.com/AstroSubhrajit>. subhrajit.barua11@gmail.com*



**SHINJINI BANDOPADHYAY**

אני תלמידת תואר ראשון בשנה השלישית, המשלימה כעת תואר בביוטכנולוגיה באוניברסיטת אמיטי שבקולקטה, (לשעבר כלכותה), הודו. תחומי המחקר הנוכחיים שלי הם ביולוגיה תאית ומולקולרית בסרטן. לאחרונה עבדתי על פרויקט מחקר העוסק בעמידות אימונוֹ־רפּיִית בחולי לימפומה עורית של תאי T, במסגרתו אנו עושים שימוש בטכניקות ריצוף הדור הבא. הישארו איתי בקשר דרך לינקדאין: <https://www.linkedin.com/in/shinjinibandopadhyay>.

**SOHAM BISWAS**

אני סטודנט לתואר שני טכנולוגי בביואינפורמטיקה באוניברסיטת היידראבאד שבהודו (UoH), שמתעמה קיבלתי מענק מחקר ממשלתי להמשך לימודיי. אני גם עובד כחוקר בתואר שני במעבדה לביולוגיה מולקולרית ומבנית, בבית הספר למדעי החיים באוניברסיטת היידראבאד. מתעניין במציאת חלבונים חיוניים, ההכרחיים להשרדותם של פְּתוּגָּנִים מחוללי מחלת 'שושנת יריחו' (לְיִשְׁמֵנְיָה). צרו עמי קשר דרך לינקדאין: <https://www.linkedin.com/in/soham-biswas>.

**PRABUDDHA GUPTA**

Gupta Prabuddha עֶסֶק במחקר חלוקה תאית בחיידקים; ביולוגיה של תאי חיות והתפתחות דג הזברה. מלמד באוניברסיטת אמיטי בקולקטה (לשעבר כלכותה). הוא מתעניין בשיפור הכלים להוראת ביוטכנולוגיה, ומעוניין ללמוד ולחלוק את הידע שלו לגבי גישות חדשות להוראה מקוונת. orcid.org/0000-0003-1009-2781

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK



קרן משפחת
שעשוע
Shashua Family Foundation