



אלברט סנט-גיירגי – המדען שגילה את ויטמין C

Hana Shiref, Michelle A. Sahai*

המחלקה למדעי החיים, אוניברסיטת רוחאמפטון, לונדון, בריטניה

סוקרים צעירים

ALESSIO

גיל: 15



ANTONIO

גיל: 14



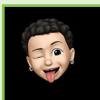
DAVIDE

גיל: 15



GIOVANNI

גיל: 14



בשנות ה-1920 וה-1930, דוקטור אלברט סנט-גיירגי, פרופסור הונגרי לכימיה רפואית, גילה כמה תגליות חשובות שמסייעות לנו להבין את עקרונות התזונה. בזמן שערך סדרת ניסויים מוקדמים על צמחי פירות הדר, הוא מצא שהשקמת צמחים יכולה להיגרם על ידי פרוקסידאז, אנזים צמחי שפעיל במהלך חמצון. על ידי הוספת מיץ הדרים לפרוקסידאז, אפשר היה לעצור את תהליך ההשחמה. בניסוי זה, הוא בודד את החומר שהוא קרא לו חומצה הקסורונית, שהוא חשב שפעיל במיץ הדרים. זה היה אחד הצעדים לקראת התגלית של מה שידוע היום כוויטמין C. סנט-גיירגי גם ערך ניסויים על חזירי ים, שדומים לבני אדם בכך שהם צריכים לצרוך חומצה הקסורונית, כדי להישאר בריאים. הוא החליט לשנות את השם של חומצה הקסורונית לחומצה אסקורבית, או ויטמין C, מה שמבטא את התכונות האנטי-צפדיניות (לחימה בצפדינה) שלה. לקח שנים רבות למצוא דרך להפיק כמויות גדולות של חומצה אסקורבית ממקורות טבעיים. היה זה ממש במקרה שהוא מצא את התשובה בארוחת הערב שלו! הסיפור היה שהוא לא רצה לאכול את הפפריקה בארוחת הערב, אז הוא לקח אותה למעבדה וגילה שהיא מכילה כמויות גדולות ויטמין C. בלי התגלית שלו, לא היינו יודעים שוויטמין C חשוב לתפקוד תקין של מערכת החיסון שלנו. על ידי אכילת מנת הפירות והירקות היומית שלנו, שמכילה ויטמין C, אנו משפרים את השיקום והגדילה של הרקמות ושל גורמים נוספים רבים ששומרים עלינו בריאים. סנט-גיירגי קיבל פרס נובל בפיזיולוגיה או רפואה

בשנת 1937 עבור התגלית של ויטמין C. הוא גם ידוע עבור תרומתו המאוחרת יותר למה שאנו מכירים כמעגל חומצה ציטרית (קרבס).

“תגלית כוללת לראות את מה שכולם כבר ראו, ולחשוב את מה שאף אחד לא חשב”.

- אלברט סנט-גיירגי בספרו של אירוויין גוד, “The Scientist Speculates” (1962)

התגלית של **ויטמין C** מתחילה עם מחלה שנקראת **צֶפְדִינָה**. מחסור ארוך-טווח בויטמין C מוביל לצפדינה, ואם אינו מטופל הוא עלול להיות קטלני. תסמינים של צפדינה כוללים תחושת דימום בחניכיים וחבורות בעור. כשהתסמינים האלה מחמירים, מטופלים עשויים לפתח פצעים פתוחים, לאבד שיניים, ואפילו למות. תסמינים אחרים כוללים שיבוש בהחלמת פצעים, חולשה שרירית ודימום (ברichtung דם מכלי דם פגועים). נשמע די מזוועה, לא? אנשים התלוננו על המחלה הזו מאז העת העתיקה. חלק מהרישומים על צפדינה תוארכו לסביבות שנת 1500 לפני הספירה במצרים [1]. צפדינה היתה בעיה גדולה עבור מלָחִים במאה השמונה עשרה. הם אכלו הרבה בשרים מיובשים וגרגירים, ולא כללו פירות וירקות בדיאטה שלהם. הסיבה לכך הייתה שהמזונות האלה לא נותרו טריים במסעות ימיים ארוכים. בשנת 1757, ג'יימס לינד, רופא סקוטי, גילה שפירות הדר טריים יכולים למנוע צפדינה. לאחר מכן זו נהייתה חובה עבור מלחים בצי הבריטי לצרוך פירות הדר ומיץ לימון [2].

בשנת 1907, מדענים אחרים כמו אקסל הולסט ואלפרד פרוליק הציעו שקיים חומר מיוחד בפירות האלה [2] בעוד שקזימיר פונק טָבַע את המושג “ויטמין C” בשנת 1912 [3]. הוא פיתח את התפיסה של **ויטמינים**, והראה שהחומרים ה“חיוניים” האלה נדרשים כדי לשמור על אנשים בריאים וחופשיים ממחלות. הטרמינולוגיה שלו, כמו גם התגלית שבוצעה על ידי הולסט ופרוליק, הובילו לחומר שנקרא “מסיס במים C”, אשר בסופו של דבר היה לוויטמין C. רק בשנת 1928 המדען אלברט סנט-גיירגי זיהה את החומר הייחודי הזה, שהוא התייחס אליו כ**חומצה הקסורונית** [2].

מה זה ויטמין C?

חומצה אסקורבית (ויטמין C) היא תרכובת אורגנית שמורכבת מפחמן, מימן ומחמצן (איור 1). היא מוצק לבן, שמויצר באופן סינתטי מסוכר גלוקוזה, כשהוא נמצא בצורה הטהורה ביותר שלו. אפשר להשתמש בה גם כתוסף ויטמין או כמְשַׁמֵר מזון [4].

מדוע ויטמין C חשוב כל כך?

האם ההורים שלכם אמרו לכם שאתם צריכים לשתות מיץ תפוזים כשהייתם חולים? הסיבה לכך היא שבמיץ תפוזים יש רמות גבוהות של ויטמין C, והוא יכול לסייע לשמור עלינו בריאים, או לטפל בהתקררות. גוף האדם לא מסוגל לייצר ויטמין C לבד, ולכן אנו צריכים לקבל כמות מספקת ממנו דרך המזון שלנו, או על ידי נטילת **מולטי-ויטמין**.

ויטמין C (Vitamin C)

ויטמין מסיס במים שחשוב לבריאות העור, השיניים, העצמות וכלי הדם. הוא נמצא בעיקר בפירות הדר, עגבניות, תפוחי אדמה ועלים ירוקים. נקרא גם חומצה אסקורבית.

צפדינה (Scurvy)

מחלה שנגרמת על ידי מחסור בויטמין C, ומאופיינת על ידי אנמיה, חניכיים ספוגיים, דימום תת-עורי, ו(אצל תינוקות) דפורמציה של העצמות והשיניים.

ויטמין (Vitamin)

ויטמינים הם קבוצה של מיקרו-נוטריאנטים אורגניים שהנוף זקוק להם עבור גדילה, התפתחות ותפקוד מערכת חיסון בריאה.

חומצה הקסורונית (Hexuronic Acid)

כל חומצה אורגנית שמופקת מהקסוז. הייתה ידועה גם כחומצה אסקורבית (ויטמין C).

חומצה אסקורבית (Ascorbic Acid)

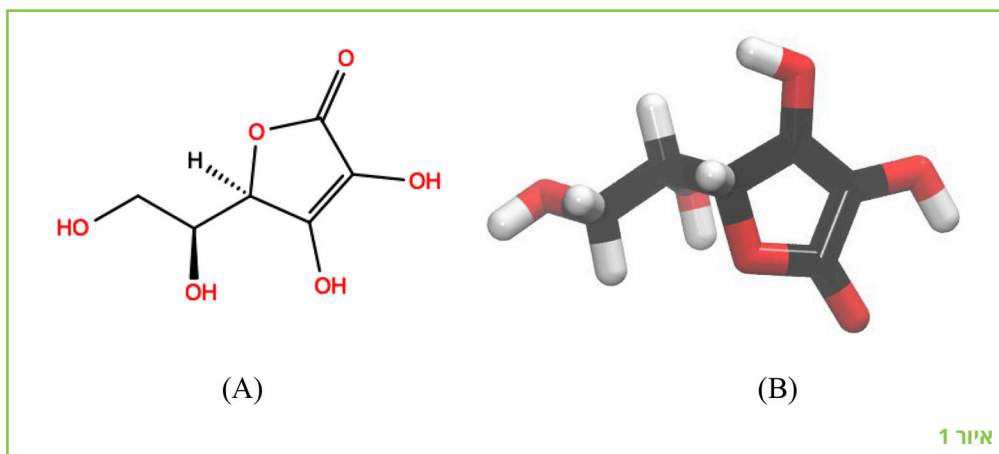
ראו ויטמין C.

מולטי-ויטמין (Multivitamin)

גלולה או כמוסה שמכילה כמה ויטמינים.

איור 1

חומצה אסקורבית או ויטמין C. (A) נוסחה מבנית דו-ממדית של חומצה אסקורבית. (B) מבנה תלת-ממדי של חומצה אסקורבית. הצבעים שחור, אדום ולבן מייצגים את היסודות האטומיים פחמן, חמצן ומימן, בהתאמה.



איור 1

ויטמין C מאפשר לגוף להשתמש בפחמימות, בשומנים ובחלבונים. הוא משמש כנוגד חמצון, כלומר הוא יכול להיקשר כימית ולנטרל את ההשפעות של פגיעה ברקמה של חומרים שנקראים רדיקלים חופשיים. הוא חשוב לגדילה ולבריאות העצמות, השיניים, כלי הדם, החניכיים והרצועות. הוא גם מעורב ביצירת קולגן, חלבון המבנה העיקרי בתוך הגוף. קולגן חיוני לתפקוד תקין של איברים פנימיים.

מקורות מזון עם ויטמין C

האם ידעתם שהרבה פירות וירקות יכולים לספק לכם את הכמות המתאימה של ויטמין C? הם כוללים מזונות כמו תפוזים, לימונים, תרד, קיווי, תותים, ליים, עגבניות, אשכוליות, כרוב ניצנים, פלפלים אדומים וירוקים, כרוב, תפוחי אדמה וברוקולי. בישול המזון שלכם עשוי להרוס את הויטמין C, ולכן אלה חדשות טובות שיש כל כך הרבה מקורות לוויטמין C ששומרים עליכם בריאים! [4].

חיי המוקדמים ותגלית החומצה הקסורונית

אלברט סנט-גיירגי נולד ב-16 בספטמבר 1893 בבודפשט, הונגריה. משפחתו העמידה שלושה דורות של מדענים [2]. כתוצאה מכך, הוא פיתח עניין במדע מגיל צעיר. הוא למד רפואה באוניברסיטת בודפשט וגם עבד במעבדה של דודו לפני מלחמת העולם הראשונה. הוא שירת בצבא במהלך המלחמה, ובשנת 1917 נאלץ לעזוב את הצבא לאחר שנפצע. הוא גם קיבל מדליית כסף עבור גבורה צבאית במהלך שירותו. אחרי קבלת התואר הרפואי שלו, הוא המשיך לחקור באוניברסיטאות אירופאיות שונות [2].

הקריירה המדעית שלו החלה עם חקירת השינויים הכימיים שמתרחשים כאשר תאים בגוף שלנו משתמשים בחלבונים, בשומנים ובפחמימות. התהליך הזה נקרא "נשימה תאית". הוא חקר את התהליך על ידי בידוד של מולקולה בבלוטות האדרנל, שהן בלוטות קטנות שממוקמות בחלק העליון של כל כליה, ומייצרות מגוון הורמונים. המולקולה הזו מסוגלת לאבד אטומים של מימן ולהשיגם מחדש, ומכילה שישה אטומי פחמן. היא בעלת תכונות של סוכר ושל חומצה גם יחד. אלברט סנט-גיירגי קרא לה "חומצה הקסורונית" בשל התכונות הללו.

בשנות ה-1920, עניינו של סנט-גיירגי הופנה לנשימה תאית והפקת אנרגיה בצמחים. הוא התחיל לחקור את תהליכי ההשחמה שמפריעים לגדילה ולתפקוד תקינים. הוא מצא שצמחים מתחילים להשחים בגלל נזק תאי. הנזק הזה משפיע על המנגנון שמספק מימן, אשר עוצר חמצון – תהליך שבו אטום אחד מסיר אלקטרונים מאטום אחר, ולוקח עליהם בעלות כשלו. הוא מצא שהשחמה יכולה להיגרם על ידי פרוקסידאז, אנזים צמחי שפעיל במהלך חמצון. על ידי הוספת מיץ הדרים לפרוקסידאז, אפשר היה לעצור את תהליך ההשחמה. בניסויים שלו, סנט-גיירגי בודד את חומר החומצה ההקסורונית שהוא חשב שהיה פעיל בתוך מיץ ההדרים.

הוא התחיל לעבוד עם כימאי בשם ג'י. ל. סבירבלי. סבירבלי וסנט-גיירגי ערכו ניסויים על חזירי ים. חזירי ים דומים לבני אדם, מאחר שהם צריכים לצרוך ויטמין C כדי להישאר בריאים. הסיבה לכך היא שלא ניתן לייצר אותו בתוך הגוף שלהם.

בניסוי הזה, החיות חולקו לשתי קבוצות. קבוצה אחת של חזירי ים קיבלה מזון מבושל, כאשר תהליך הבישול הרס את הויטמין C. קבוצה אחרת הוזנה במזון שהיה מועשר בחומצה הקסורונית. הקבוצה השנייה שגשגה ונותרה בריאה, בעוד שהקבוצה הראשונה פיתחה תסמינים דמויי-צפדינה ולאחר מכן מתה. סנט-גיירגי וסבירבלי החליטו לשנות את שמה של חומצה הקסורונית לחומצה אסקורבית, מה שביטא את התכונות האנטי-סקורביות (לחימה בצפדינה, שנקראת scurvy) שלה [4]. עד 1933, סנט-גיירגי השתמש בכל החומצה ההקסורונית שהוא בודד מבלוטות אדרנל של חזירי ים. לאחר מכן, הוא היה צריך למצוא מקורות טבעיים של ויטמין C כדי להשלים את המחקר שלו.

ויטמין C בפפריקה!

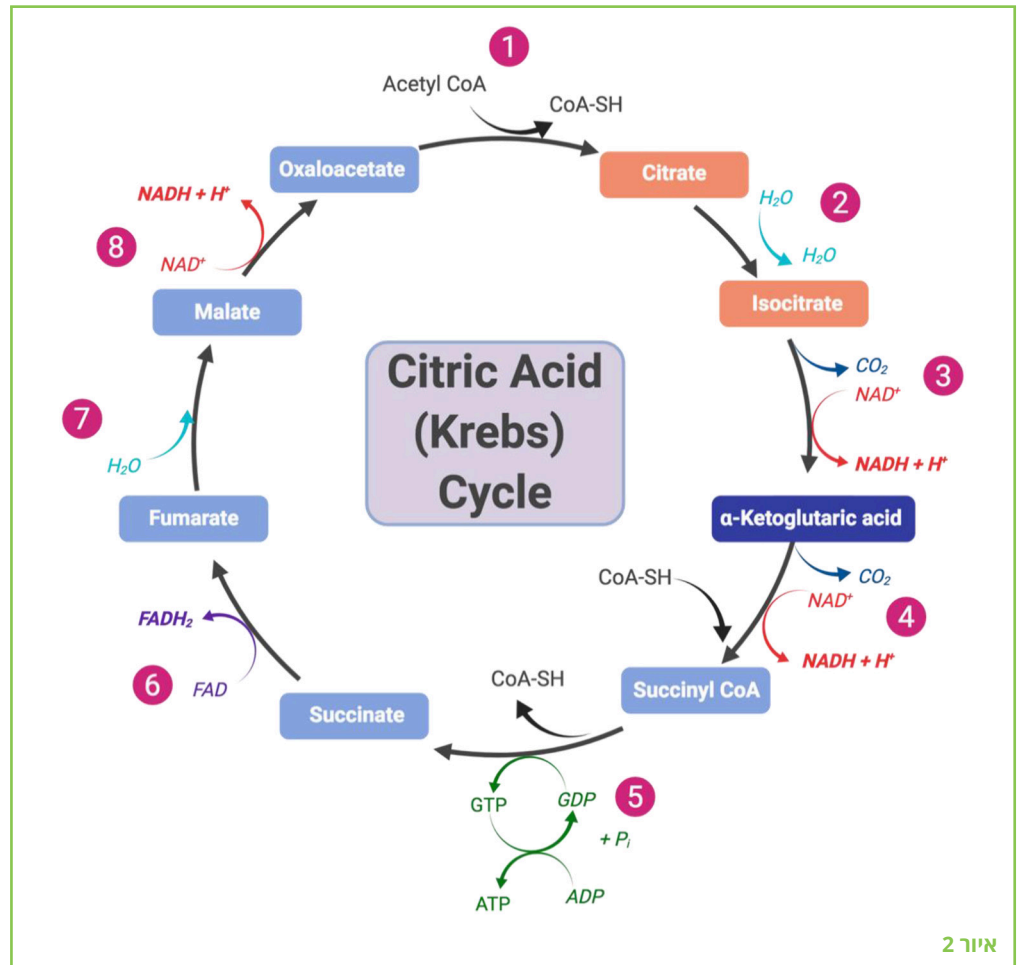
מיץ תפוזים ומיץ לימון מכילים רמות גבוהות של חומצה אסקורבית. הם גם מכילים הרבה סוכרים שמקשים על קבלת דגימה טהורה. לכן, סנט-גיירגי חשב על פתרון מפתיע – שימוש בפפריקה. פפריקה היא צמח מקומי בסג'ד, הונגריה. סנט-גיירגי כתב באוטוביוגרפיה שלו שלילה אחד אחרי שאשתו הגישה פפריקה לארוחת ערב: "לא רציתי לאכול אותה, אז חשבתי על פתרון. לפתע, הבנתי שזה אחד הצמחים שמעולם לא בדקתי. לקחתי אותו למעבדה... [ועד] בערך בחצות ידעתי שזה היה אוצר מלא בוויטמין C". במעבדה שלו הוא השתמש בפפריקה כדי להפיק כ-1.4 קילוגרמים של חומצה אסקורבית גבישית. זה היה מספיק כדי לתת ויטמין C לחזירי הים בעלי מחסור בוויטמין C, והוא קבע שהחומצה הזו הייתה שקולה לוויטמין C [5].

עבודה ששווה פרס נובל: מעגל החומצה הציטרית (קרבס)

האם אתם זוכרים את עבודתו המוקדמת של אלברט סנט-גיירגי על נשימה צמחית? הוא חקר תהליכי נשימה תאית בתוך תאי שריר, וערך ניסויים על שרירי החזה של יונים. הוא הסתכל על תהליכים במעגל הביוכימי הזה אשר מייצרים אנרגיה בצורה של אדנוזין טרי-פוספט (ATP) מחלבונים, פחמימות ושומנים. ATP ידוע כמקור אנרגיה בתוך תאים. הוא הבחין של-ATP יש תפקיד חשוב מאוד. הוא גם זיהה את התפקיד של חומצה פומרית בתהליך הזה. בשנת 1937, סנט-גיירגי קיבל פרס נובל בפיזיולוגיה או רפואה עבור התגליות האלה.

איור 2

סקירה של מעגל החומצה הציטרית (קרוב) שמכיל שמונה צעדים. האיור נוצר באמצעות BioRender.com.



איור 2

מעגל חומצה ציטרית (Citric Acid Cycle)

ידוע גם כמעגל קרבס; נתיב מטאבולי שנמצא באורגניזמים אירוביים אשר מחמצן קבוצות אצטיל קואנזים A לקבוצות של פחמן דו-חמצני ומים, ומייצר מולקולת ATP אחת ומספר קואנזימים שממלאים תפקיד חיוני בצעד הבא של נשימה פוספורילציה מחמצנת.

מדען אחר, האנס קרבס, גילה שציטראט (או חומצה ציטרית, לאחר פרוטונוציה), המולקולה הראשונה שנוצרת במהלך תגובות המעגל, הייתה חשובה מאוד. המעגל הזה ידוע כמעגל החומצה הציטרית (קרוב), ומתייחס הן לעבודתו של סנט-גייירגי והן לעבודתו של קרבס (איור 2). היא גם נקראת חומצה טרי-קרבוקסילית, על שם שלוש קבוצות הקרבוקסיל שנמצאות על שני תוצרי הביניים הראשונים שלה.

המעגל הזה מכיל שמונה צעדים שמתרחשים בתוך המטריצה של מיטוכונדריה בתא, והוא חלק מרכזי בנשימה תאית. המולקולה בעלת ארבעת הפחמנים, אוקסלואצטט, אשר מתחילה את המעגל, נוצרת מחדש אחרי שמונת השלבים (איור 2). הצעדים האלה הם סדרה של תגובות חמצון-חיזור, הידרציה, דה-הידרציה וסילוק קרבוקסיל. מחזור אחד של המעגל משחרר שתי מולקולות פחמן דו-חמצני, ומייצר שלוש מולקולות NADH, מולקולת FADH₂ אחת, ומולקולת ATP/GTP אחת. בהמשך, המולקולות האלה ישמשו לצעדים נוספים של נשימה תאית, לשם הפקת ATP עבור התא [6].

עבודה מאוחרת ומוקדמת

בשנת 1947, אחרי קבלת פרס הנובל, אלברט סנט-גייירגי היגר לארצות הברית. הוא עבד במכון לחקר השריר בוודס הול, מסצ'וסטס. הוא המשיך לחקור ולבחון את הגורמים לחלוקה

תאית ולסרטן. אלברט סנט-גיירגי נפטר ב-22 באוקטובר, 1986. אין ספק שאנו חבים הרבה למדען הדגול הזה, שתגליותיו מהוות נקודות ציון חשובות, והן הניחו את היסודות לתזונה נאותה.

מקורות

1. garwal, A., Shaharyar, A., Kumar, A., Bhat, M. S., and Mishra, M. 2015. Scurvy in pediatric age group—a disease often forgotten? *J. Clin. Orthop. Trauma* 6:101–7. doi: 10.1016/j.jcot.2014.12.003
2. Baron, J. H. 2009. Sailors' scurvy before and after James Lind—a reassessment. *Nutr. Rev.* 67:315–32. doi: 10.1111/j.1753-4887.2009.00205.x
3. Piro, A., Tagarell, A., and Quattrone, A. 2019. The discovery of beri-beri and scurvy vitamins—two hundred and two years from its discovery. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 89:225–6. doi: 10.1024/0300-9831/a000435
4. Lykkesfeldt, J., Michels, A. J., and Frei, B. 2014. Vitamin C. *Adv. Nutr.* 5:16. doi: 10.3945/AN.113.005157
5. Svirbely, J. L., and Szent-Györgyi, A. 1933. The chemical nature of vitamin C. *Biochem. J.* 27:279–85.
6. Kelly, D. J., and Hughes, N. J. 2001. *The Citric Acid Cycle and Fatty Acid Biosynthesis*. Available online at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21290715> (accessed August 31, 2019).

פורסם אונליין: 07 במרץ 2022

נערך על ידי: Pasquale Maffia

מנחה מדעי: Claudia Mazzarella

ציטוט: Shiref H and Sahai MA (2022) אלברט סנט-גיירגי – המדען שגילה את ויטמין C. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00019-he

תורגם והותאם: Shiref H and Sahai MA (2020) Albert Szent-Györgyi—The Scientist Who Discovered Vitamin C. *Front. Young Minds* 8:19. doi: 10.3389/frym.2020.00019

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

COPYRIGHT © 2020 © Shiref and Sahai. זהו מאמר בנישה 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

ALESSIO, גיל: 15

אני תלמיד תיכון. אני גר בנפאל, אוהב לשחק במשחקי וידיאו ולצפות ב"אָנִימָה". הספורט האהוב עליי הוא כדורגל.



ANTONIO, גיל: 14

היי, קוראים לי Antonio, אני לומד אלקטרוניקה ואני נהנה מכדורגל וממוזיקה.



DAVIDE, גיל: 15

היי, קוראים לי Davide. אני תלמיד לאלקטרוניקה בנפאל, אני אוהב את כל סוגי הספורט וסדרות הטלוויזיה, ואני אוהב מאוד שפות זרות, בעיקר אנגלית.



GIOVANNI, גיל: 14

קוראים לי Giovanni, אני בן 14 והולך לבית ספר תיכון נפוליטני. אני מנגן על גיטרה ואוהב מְטָאל.



הכתבות

HANA SHIREF

אני בוגרת טרייה מאוניברסיטת רוהאמפטון, שם למדתי מדעי ביו-רפואה לתואר הראשון שלי, ומדעי מוח קליניים לתואר השני שלי. אני מתעניינת במיוחד בשימוש בשיטות חישוביות כאמצעי לחקירת נְשָא הדופמין. יש לי תשוקה למדע, ואני מקווה שיהיה לי עתיד מזהיר בתחום הזה. חוץ מהמחקר שלי, אני נהנית להיפגש עם חברים ולנגן על הגיטרה והקלידים שלי.



MICHELLE A. SAHAI

אני מרצה בכירה באוניברסיטת רוהאמפטון. אני מלמדת ביולוגיה מולקולרית וביוכימיה, כמו גם ביואינפורמטיקה וכימיה חישובית ברמת תואר ראשון ותארים מתקדמים. אני משתמשת במחשבי-על כדי לחקור מולקולות ביולוגיות גדולות, במיוחד חלבוני מְמֶבְרָנָה. אני מתעניינת במיוחד באינטראקציות של מולקולות קטנות או תרופות בלתי חוקיות עם החלבונים האלה. חוץ ממחקר והוראה, אני נהנית לבלות עם המשפחה שלי, לקרוא ולטייל. *michelle.sahai@roehampton.ac.uk



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