



## מתי כדאי לבעוט ברופא: רפלקסים פשוטים

Jennifer M. Jakobi\*, Sienna Kohn, Samantha Kuzyk, Andrey Fedorov

המעבדה לחקר הזדקנות והתעמלות בריאה, בית הספר למדעי הבריאות וההתעמלות באוניברסיטת קולומביה הבריטית, קמפוס אוקנגאן, קלוונה, קולומביה הבריטית, קנדה

### סוקר צעיר

FRANCISCO

גיל: 15



### רפלקס (Reflex)

תגובה לא-מודעת (שהמוח לא משתתף בה) של הגוף לגירויים מסוימים.

לבני אדם ולבעלי חיים יש רפלקסים שתפקידם להגן עליהם מסכנה. רפלקס הוא תגובה לא-מודעת, כלומר היא אוטומטית והמוח לא משתתף בה. יש סוגים רבים של רפלקסים. הבסיסי ביותר הוא רפלקס פשוט, שבו המידע צריך לעבור רק מרווח אחד בין שני נוירונים (תאי עצב) בחוט השדרה. המרווח בין נוירונים נקרא סינפסה. רפלקס פשוט נקרא גם "רפלקס חד-סינפטי" משום שהוא עובר רק סינפסה אחת. ברפלקס כזה מעורבים ארבעה חלקים בגוף. הראשון הוא קולטן חישה, הקולט מה קורה לגוף; השני הוא נוירון תחושת, המעביר את המידע לחוט השדרה; השלישי הוא נוירון תנועת, המעביר את המידע הלאה מחוט השדרה אל החלק הרביעי – השריר המבצע פעולה. כשרופאים רוצים לבדוק רפלקסים, הם מקישים על הגיד שמתחת לברך, מה שאמור לגרום לרגל לבעוט. זוהי דוגמה לרפלקס חד-סינפטי פשוט.

ודאי שמתם לב שכשאתם נוגעים במשהו דוקר או לוחט, אתם מיד מושכים ממנו את היד בלי לחשוב אפילו. זוהי תגובה טבעית של הגוף, שנועדה להגן עליכם [1]. היא נקראת **רפלקס** ומתרחשת בלי מחשבה או תכנון מודעים – המוח לא מעורב בה כלל. בכך היא שונה לגמרי מרוב הפעולות שאתם עושים כל יום. אם אתם משחקים בלגו, מסתרקים, חותכים את האוכל בצלחת, נותנים "כִּיף" לחברים – אתם משתמשים במוח. ההבדל העיקרי בין הפעולות שהזכרנו לבין

רפלקסים הוא שרפלקסים קורים במהירות רבה ובלי מעורבות של המוח. רבים מהם מהירים יותר ממצמוץ!

## הרפלקסים שומרים עליכם

אמנם ממליצים לנו תמיד לחשוב לפני שפועלים, אבל רפלקסים הם כלל לא דבר רע. להיפך, הם מגנים עלינו ומאפשרים לנו לנוע במרחב בלי צורך לחשוב על כל תגובה ועל כל פעולה. הם חיוניים לנו מפני שיש דברים שקורים לגוף, וכוחות שפועלים בתוכו כשהוא נע, שמצריכים תגובה מהירה ביותר. הרפלקסים מאפשרים לגוף להתגונן מפגיעות, לעמוד זקוף, ולהיות פעיל.

דמיינו יום טיפוס בייכנס. אולי אתם בדרך לבית הספר, או חושבים על אימון הספורט או שיעור הנגינה של אחר הצהריים, או מכינים לעצמכם משהו לאכול. במהלך כל הפעולות האלה אתם אמנם חושבים, אבל במקביל גם פועלים בגופכם רפלקסים שאינם מודעים להם, והם חלק טבעי ממנגנון הגוף. אנחנו נולדים איתם, והם משתנים לאורך חיינו. אפשר לראות בהם מנגנוני בטיחות והשרדות, שמאפשרים לנו לנוע בתגובה לשינוי בסביבה. הם שומרים עלינו במגוון דרכים – בזכותם, למשל, אנחנו מרחיקים את היד במהירות מחפץ לוחט או דוקר, או מתכופפים כשנשמע רעש פתאומי. פעולות מהירות אלה הן תגובות רפלקס! העובדה שהן אוטומטיות מראה שהן מהירות בהרבה ממה שהיה מתאפשר לו המוח היה מעורב בתהליך. פעולות המתבצעות בלי מעורבות של המוח נקראות "פעולות לא רצוניות" – לעומת פעולות מתוכננות שהמוח מעורב בהן, כמו למשל נגינה או משחק בכדור, הנקראות "פעולות רצוניות". אחרי שפעולת הרפלקס מתרחשת, המוח קולט שהיא התרחשה ומסביר לכם מה קרה. לפעמים המוח גם גורם בשלב זה לפעולות נוספות. אם, למשל, רעש חזק גרם לכם להתכופף באמצעות רפלקס (הקריו רפלקס הבהלה), המוח שלכם יכנס לעניינים מיד אחר כך, יסביר לכם למה התכופפתם, וישלח לכם הוראה לגבי הפעולה הבאה – להתיישר, למשל.

## פוטנציאל פעולה

כדי שהרפלקסים יוכלו להתקיים, מסרים חייבים לעבור ממקום למקום בגוף. מסר או אות כזה הוא **פוטנציאל פעולה**, והוא עובר ממקום למקום לאורך ה**ניירון (תא העצב)**. לניירון יש שלושה חלקים שמאפשרים לאותות להיקלט, לנוע לאורכו, ואז לעבור לניירון אחר או לשריר. שלושת חלקי הניירון הם הֶדְנְדְרִיטִים, האקסון, וקצוות האקסון (הטרמינל) (איור 1). הדנדריטים מקבלים מידע מקולטן החישה או מניירונים אחרים. רפלקסים רבים מתחילים בשריר או בעור, ומגיעים אל חוט השדרה. פוטנציאל הפעולה עובר מהדנדריטים שבקצה אחד של הניירון, דרך האקסון אל הטרמינל שבקצה השני, ומשם אל הניירון הבא. כשפוטנציאל הפעולה מגיע לטרמינל של ניירון אחד הוא עובר משם הלאה לניירון אחר, למשל **ניירון תנועתי** או ניירון מקשר. בשלב הבא, פוטנציאל הפעולה יוצא מחוט השדרה ומגיע לשריר. בכל סוגי הניירונים – **ניירון תחושתי**, ניירון מקשר או ניירון תנועתי – פוטנציאל הפעולה נע מהדנדריטים אל האקסון ומשם אל הטרמינל. אבל הניירונים לא נוגעים זה בזה בתוך חוט השדרה, וגם לא בסביבת השרירים: יש ביניהם מרווחים זעירים הנקראים סינפסות, ופוטנציאל הפעולה "מדלג" עליהם כשהוא עובר מניירון לניירון.

### פוטנציאל פעולה (Action potential)

אות העובר מניירון לניירון.

### ניירון (Neuron)

תא עצב. תא המסוגל ליצור ולהעביר אותות עצביים.

### ניירון תנועתי (Motor neuron)

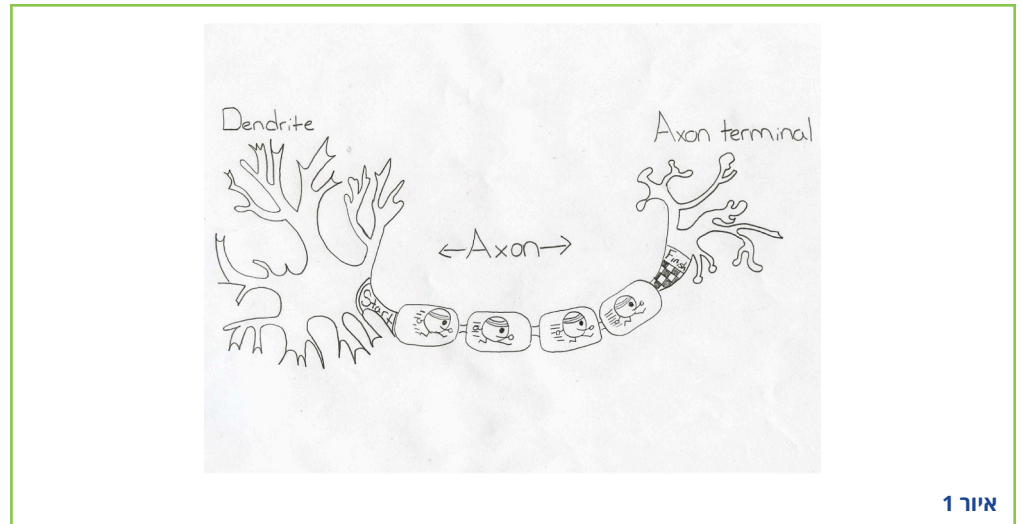
ניירון המוליך אות עצבי מחוט השדרה אל השריר.

### ניירון תחושתי (Sensory neuron)

ניירון המוליך אות עצבי מהקולטנים אל חוט השדרה.

**איור 1**

תרשים של נירון. באיור מופיעים הדנדריטים, שם פוטנציאל הפעולה מתחיל את דרכו; האקסון, המוליך אותו; וקצה האקסון (הטרמינל), שממנו פוטנציאל הפעולה ממשיך וחוצה את הסינפסה אל נירון אחר או אל שריר.  
 Dendrite = דנדריט  
 Axon = אקסון  
 Axon terminal = קצה האקסון, טרמינל.



איור 1

**ממה "עשוי" רפלקס?**

רופאים בודקים לפעמים אם הרפלקסים של המטופלים תקינים, כי התפקוד שלהם משתנה לפעמים עם המצב הבריאותי והגיל. הבדיקה היא כזו: אתם יושבים על מיטת הבדיקה והרופא מקיש בפטיש גומי על רגלכם, קצת מתחת לברך. מיד אחר כך הרגל שלכם נעה מעצמה בתנועת בעיטה. יש לקוות שהרופא הספיק לזוזו! התגובה הזו נקראת "רפלקס פיקת הברך". זהו רפלקס מסוג הנקרא **רפלקס חד-סינפטי**, שהוא הסוג הפשוט ביותר [2]. הוא נקרא כך משום שמעורבת בו רק סינפסה אחת. סינפסה היא המרווח בין שני הניורונים שביניהם עובר המסר. ברפלקס כמו רפלקס פיקת הברך מתרחש רק מעבר אחד כזה, ולכן הוא נקרא חד-סינפטי. מתארים אותו כ"פשוט" כי מעורבים בו רק ארבעה חלקים בגוף, בעוד המנגנון של רוב הרפלקסים כולל חמישה חלקים, והם:

- קולטן (רֶצֶפְטוֹר) החש בשינוי.
- נירון (תא עצב) תחושת המוליך את המסר מהקולטן אל חוט השדרה.
- נירון מקשר, שמשמש "תחנת ממסר" בין נירונים.
- נירון תנועתי המוליך את המסר מחוט השדרה אל השריר.
- סיב שריר שמתכווץ וגורם לתנועה.

הרפלקס החד-סינפטי אינו עובר דרך נירון מקשר, ומשתתפים בו רק הקולטן, הניורון התחושתי, הניורון התנועתי וסיב השריר (איור 2). ברפלקס כזה, המסר עובר מהניורון התחושתי ישירות לניורון התנועתי, כך שהוא חוצה בדרך רק סינפסה אחת. אפשר להשוות זאת למרוץ שליחים: הֶרֶץ עם המקל הוא פוטנציאל הפעולה, והוא מתקדם לאורך הניורון כמו לאורך מסלול ריצה. כשהרץ והמקל מגיעים לנקודה מסוימת, המקל עובר לרץ הבא וממשיך להתקדם לאורך המסלול. באופן דומה, פוטנציאל הפעולה מתקדם מניורון לניורון (איור 3).

ברפלקס חד-סינפטי כזה לא מעורב נירון מקשר. כדי להבין איפה הוא נכנס לתמונה, פשוט דמיינו עוד רץ המעביר את המקל בין הרץ הראשון לאחרון, אבל עובר רק

**רפלקס חד-סינפטי (Monosynaptic reflex)**

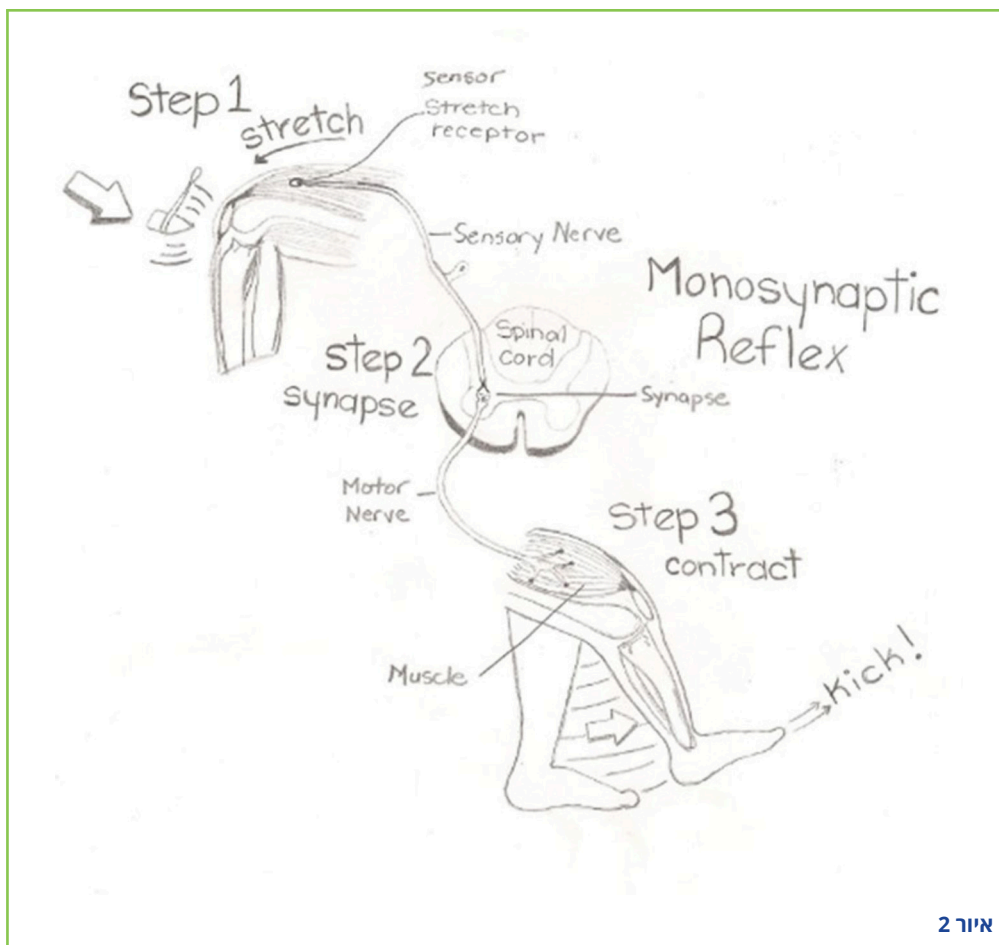
רפלקס שבו פוטנציאל הפעולה חוצה רק סינפסה אחת כדי לעבור בין הניורון התחושתי לתנועתי.

**קולטן חישה/רֶצֶפְטוֹר (Receptor)**

חלק בעור או בשריר המסוגל לחוש בגירוי.

**איור 2**

רפלקס פיקת הברך - רפלקס פשוט.  
 הרופא מקיש על הרגל מתחת לברך ומפעיל קולטן בתוך השריר. הקולטן שולח אות לאורך הניורון התחושתי אל חוט השדרה, שם האות חוצה סינפסה ועובר אל ניורון תנועתי, המחזיר אותו אל אותו שריר. השריר מתכווץ וגורם לרגל לבעוט.



איור 2

מרחק קצרצר. בגוף שלנו, הניורונים המקשרים נמצאים בחוט השדרה. כשניורונים כאלה משתתפים ברפלקס, פוטנציאל הפעולה צריך לחצות יותר מסינפסה אחת, והרפלקס נקרא "רפלקס מורכב".

**לא כל הרפלקסים הם פשוטים**

בגוף יש סוגים רבים של רפלקסים, חלקם מורכבים וכוללים כמה וכמה ניורונים מקשרים וסינפסות. רפלקסים כאלה נקראים "רפלקסים רב-סינפטיים", וגם הם קיימים אצל יצורים חיים - בייחוד בני אדם - כדי לשמור על בטיחותם. יש רפלקסים הגורמים לשתי תנועות או יותר. דמיינו למשל שאתם מרימים בבת אחת את הרגל מהרצפה כי דרכתם על משהו דוקר, כמו פיסת לגו. אילו הייתם מרימים את הרגל בלי להניח את הרגל השנייה על הרצפה, הייתם נופלים וזה היה כואב עוד יותר! לכן, רפלקס הרתיעה הגורם לכם להרים את הרגל פועל יחד עם רפלקס בצד השני של הגוף, הגורם לכם להניח את הרגל השנייה. הוא נקרא "הרפלקס הפושט-צולב". כל הפעולות שהזכרנו נעשות בלי מחשבה וכלי תכנון, אבל המוח נכנס לפעולה מיד אחר כך ומבצע הערכת מצב. הוא עשוי לחשוב, למשל, "איי, זה כאב! מי השאיר שם לגו?"

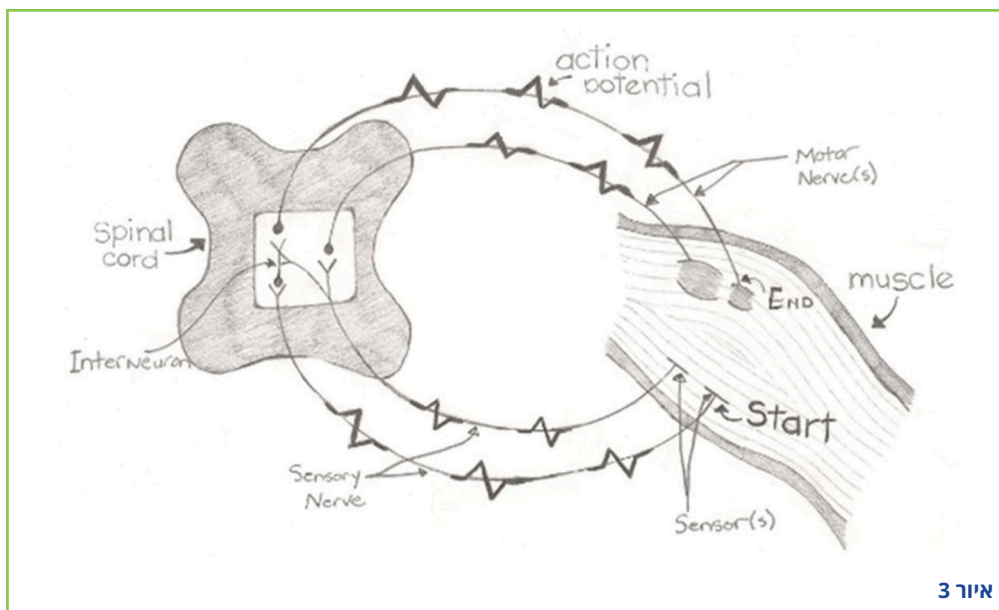
**רפלקס רב-סינפטי (Polysynaptic reflex)**

רפלקס מורכב, שבו יש כמה וכמה מעברים בין ניורונים.

**איור 3**

רפלקס מורכב. העיגול החיצוני באיור מראה את המסלול שבו נע רפלקס רב-סינפטי, עם חמישה מרכיבים - מצד ימין למטה ובכיוון השעון: קולטן, נירון תחושי, נירון מקשר (קצר מאוד, בתוך חוט השדרה), נירון תנועתי ושריר. העיגול הפנימי מראה את מסלול הרפלקס החד-סינפטי: קולטן חישה, נירון תחושי, נירון תנועתי ושריר, שמבצע את הפעולה הנדרשת. פוטנציאל פעולה הוא אופן העברת המידע במערכת העצבים. Start = התחלה  
Sensor = קולטן  
Sensory Nerve = נירון תחושי

Inter Nerve = נירון מקשר  
Spinal cord = חוט השדרה  
Action potential = פוטנציאל פעולה  
Motor Nerve = נירון תנועתי  
Muscle = שריר  
End = סיום.



איור 3

**ומה עושה המוח?**

שמתם לב שהמוח לא נכלל ברשימה של חמשת מרכיבי הרפלקס? רפלקסים מתבצעים על-ידי מערכת העצבים ההיקפית, שמתאמת את הפעולות שאנחנו עושים. מערכת העצבים היא כל רשת הנוירונים, שמוליכים פוטנציאלי פעולה. קולטן החישה והנוירונים נמצאים מחוץ לחוט השדרה (פרט לנוירון המקשר), ושייכים למערכת העצבים ההיקפית. החלק השני של המערכת הוא מערכת העצבים המרכזית, הכוללת את המוח ואת חוט השדרה. באמצעותה אנחנו חושבים, מתכננים ולומדים. שני החלקים של מערכת העצבים משתפים פעולה, גם בתחום הרפלקסים. זוכרים את הדוגמאות - התכופפות בתגובה לרעש חזק, או הרמת רגל בתגובה לדריכה על חפץ מכאיב? במקרים האלה, מערכת העצבים המרכזית אמנם לא גורמת לתנועה, אבל היא מאפשרת לנו להבין מה היה הרעש או מה הייתה הסיבה לתזוזה הפתאומית שלנו. היא גם מתכננת את התנועות הרצוניות שיבואו אחרי תגובת הרפלקס. ייתכן, למשל, שתתכופפו ותרימו את פיסת הלגו; זוהי תנועה רצונית.

**סיכום**

כשהרופא מקיש על הברך שלכם, הוא בודק אם התגובות של גופכם תקינות. יש סוגים רבים של רפלקסים המגנים על גופכם. הרפלקס שהרופא בודק הוא רפלקס חד-סינפטי פשוט, שבו מעורבים קולטן חישה, נירון תחושי, נירון תנועתי, ושריר. כשהנירון התחושי מופעל, פוטנציאל הפעולה עובר לאורכו עד לחוט השדרה, חוצה את הסינפסה ועובר לנוירון תנועתי, ויוצא בחזרה מחוט השדרה. ברפלקסים מורכבים יותר משתתף גם נירון מקשר, והם נקראים רפלקסים רב-סינפטיים. מערכת העצבים המרכזית לא משתתפת בתגובת הרפלקס הראשונית, שתפקידה להגן על הגוף במהירות; אבל מיד אחר כך, המוח עוזר לנו להבין מה קרה. אף על פי שרפלקסים לא קשורים למחשבה, הם חלק חשוב ממערכת העצבים שלנו.

## תודות

הכותבים מבקשים להביע את תודתם והערכתם הכנות לג'נה קופר, תלמידה בתיכון ורנון, על איוריה. הם מודים לג'ייקוב ג'ונס, תלמיד בבית הספר היסודי Beirsto, ולהת'ר ג'קובי, סגנית מנהלת בתיכון Arthur Voaden, על הערותיהם לגבי גרסה קודמת של המאמר.

## מקורות

1. Perenboom, M. J. L., Van de Ruit, M., De Groot, J. H., Schouten, A. C., and Meskers, C. G. M. 2015. Evidence for sustained cortical involvement in peripheral stretch reflex during the full long latency reflex period. *Neurosci. Lett.* 584:214–8. doi: 10.1016/j.neulet.2014.10.034
2. Chen, H., Hippenmeyer, S., Arber, S., and Frank, E. 2003. Development of the monosynaptic stretch reflex circuit. *Curr. Opin. Neurobiol.* 13:96–102. doi: 10.1016/S0959-4388(03)00006-0

פורסם אונליין: 31 בינואר 2019

נערך על ידי: Rich Ivry, University of California, Berkeley, USA

**ציטוט:** Jakobi JM, Kohn S, Kuzyk S and Fedorov A (2019) מתי כדאי לבעוט ברופא: רפלקסים פשוטים. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2017.00010-he

### תורגם והותאם:

Jakobi JM, Kohn S, Kuzyk S and Fedorov A (2017) When Kicking the Doctor is Good—A Simple Reflex. *Front. Young Minds* 5:10. doi: 10.3389/frym.2017.00010

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

**COPYRIGHT** © Jakobi, Kohn, Kuzyk and Fedorov 2017. 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.

## סוקר צעיר

### FRANCISCO, גיל: 15

שמי פרנציסקו ואני תלמיד תיכון מאזור סן פרנציסקו. המקצוע והתחום שאני אוהב במיוחד הוא מדעים, ואני גם משחק סקווש. כשאני לא עסוק בלימודים, אפשר למצוא אותי מצייר או מבשל.



## הכותבים

### JENNIFER M. JAKOBI

ג'ניפר מ. ג'קובי היא פרופסורית עמיתה בבית הספר למדעי הבריאות וההתעמלות באוניברסיטת קולומביה הבריטית, קמפוס אוקאנגאן. היא חוקרת את תחום המוח ומערכת העצבים, ובייחוד את השוני בין תהליכי ההזדקנות של גברים ושל נשים. כמנהלת תכנית iSTAND המלמדת מדעים וטכנולוגיה ומקדמת מגוון, היא מארגנת ומובילה מחנות נוער במדעי המוח, המשלבים לימוד תכנות והנדסה עם מדעי המוח והתנועה.

\*jennifer.jakobi@ubc.ca

### SIENNA KOHN

סיינה קוהן היא סטודנטית שנה רביעית לקינטיקה אנושית ולפסיכולוגיה באוניברסיטת קולומביה הבריטית, קמפוס אוקאנגאן. היא סטודנטית-חוקרת פעילה בתחום של פיזיולוגיית עצב-שריר, ומדריכה בתכנית iSTAND. היא חובבת נלהבת של כושר ובריאות, בייחוד בהקשר של אנטומיה ופיזיולוגיה. המחקר שלה עוסק בהערכת המאפיינים האלסטטיים של הגידים.

### SAMANTHA KUZYK

סמנת'ה קיז'וק לומדת לתואר שני בלימודים רב-תחומיים באוניברסיטת קולומביה הבריטית, קמפוס אוקאנגאן. בעבר הייתה מדריכה פעילה במחנות iSTAND המקדמים את מדעי המוח בקהילה, וכן עסקה במחקר במעבדה לחקר הזדקנות והתעמלות בריאה. כחוקרת היא מתעניינת באופן ההסתגלות של הגיד לתנועה ולרטט. היא אוהבת במיוחד לסייע לאנשים וללמוד עוד על הגוף האנושי. היא התאהבה בתחום המחקר המדעי מכיוון שהוא מציע אפשרויות להשתמש בממצאי המחקרים שלה כדי לעזור לבני אדם לחיות טוב יותר בעת ההזדקנות.

### ANDREY FEDOROV

אנדריי פֶדורוב הוא סטודנט שנה רביעית לקינטיקה אנושית. הוא אוהב מאוד ללמוד ולחקור את כל הקשור לגוף האנושי. הוא מיישם כל הזמן את מה שלמד – במעבדה, בספורט, ובעבודתו עם ילדים במועדוני הילדים המקומיים ובתכנית iSTAND. הוא מתעניין במיוחד באופן שבו תנועה משפיעה על שרירים ועל גידים.



Hebrew version  
provided by

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

