

## מוחכם בתקופת ההתבגרות המינית

Marjolein E. A. Barendse\*, Theresa W. Cheng, Jennifer H. Pfeifer

המעבדה למדעי המוח החברתיים, המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת אורגון, יוג'ין, אורגון, ארצות הברית

### סוקר צעיר

BENJAMIN

גיל: 11



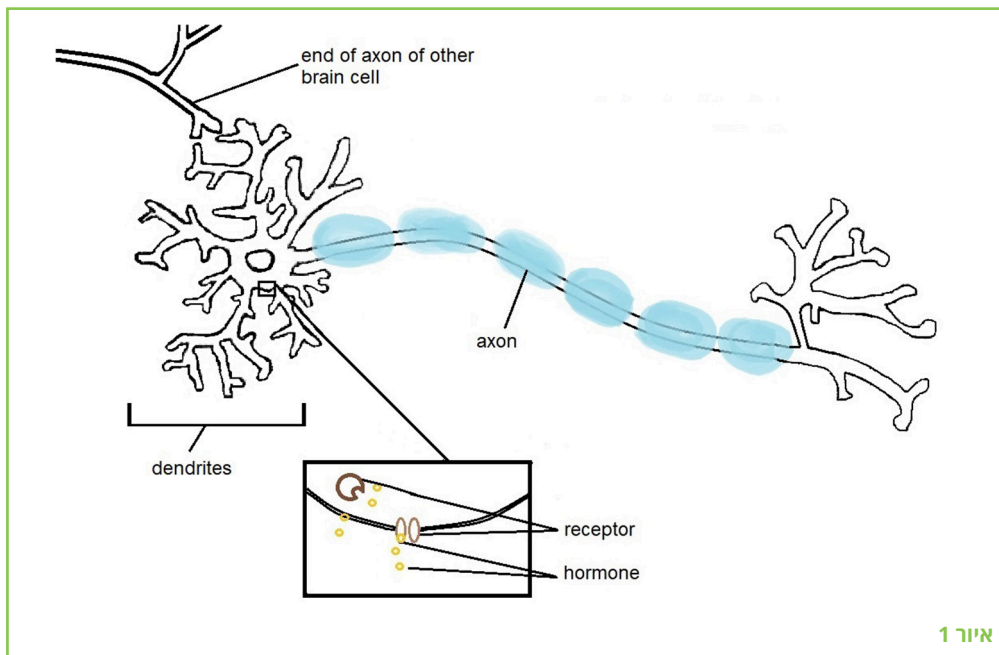
התבגרות מינית היא חלק נורמלי בהתפתחות, אולם היא שונה עבור כל אחד. עבור חלק מהמתבגרים, התבגרות מינית מגיעה מוקדם יותר מאצל אחרים, ועבור חלק היא מתרחשת מהר יותר מאצל אחרים. מסיבה זו, ילדים באותו הגיל יכולים להיראות שונים מאוד זה מזה – הגוף שלהם גדל בקצב שונה. אולם חוקרים גילו שהתבגרות מינית לא רק משנה את גופכם, אלא גם את מוחכם. הסיבה לכך היא שהתבגרות מינית מערבת שינויים בהורמונים שגם נקשרים לתאי המוח שלכם ומשנים את האופן שבו המוח גדל ולומד. השינויים האלה שימושיים מאחר שהם מסייעים לעצב את המוח עבור צורות למידה חדשות. הם גם עשויים להוביל ל"מהמורות בכביש" – לדוגמה, אתם עשויים לקחת סיכונים שלא ממש עובדים. במאמר זה אנו מסבירים מה התבגרות מינית עושה למוח, ומדוע שינויי המוח האלה חשובים כדי להיכנס לבגרות.

### מהי התבגרות מינית ומהם הורמונים?

התבגרות מינית היא חלק נורמלי בהתפתחות שמתרחש בשנות הנעורים המוקדמות. כשאתם חושבים על התבגרות מינית, אתם עשויים לחשוב על חצ'קונים, על ריח גוף ועל גדילת שיער, בין הרבה שינויים אחרים, לעיתים משונים, של הגוף – אולם האם אתם יודעים מה קורה בגופכם שגורם לשינויים האלה? המוח מאותת לגוף להתחיל את ההתבגרות המינית על ידי

**איור 1**

**תא מוח וכל חלקיו.** הריבוע המודגש הוא תמונה מוגדלת של האופן שבו הורמונים יכולים להתחבר לקולטנים בתוך התא או עליו. בכחול זהו המיאלין, יריעה שעוטפת את האקסון ומאפשרת לאותות להתקדם מהר יותר.



**איור 1**

**הורמונים**

**(Hormones)**

שליחים קטנים ש"מטיילים" במחזור הדם למקומות שונים בגוף. סטוסטרון ואסטרדינול הם שני הורמונים חשובים בהתבגרות המינית.

**קולטן**

**(Receptor)**

מבנה בתוך תא או על גבי תא שאליו הורמון או שליח אחר יכול להיקשר.

העברת הודעות ארוכות בצורה של **הורמונים**. הורמונים הם שליחים קטנים ש"מטיילים" במחזור הדם לאזורים שונים בגוף. סטוסטרון ואסטרדינול הם שני הורמונים חשובים להתבגרות המינית. הורמונים הם מולקולות קטנות שמורכבות על ידי גופכם ו"מטיילות" במחזור הדם שלכם לאזורים שונים בגוף, כולל למוח. הורמונים חשובים להעברת הודעות לאורך מרחקים גדולים בגופכם, כך שהאיברים השונים יכולים לתקשר זה עם זה. כאשר ההורמון מגיע ליעדו, הוא מתחבר למה שנקרא מבנה **הקולטן** שלו על התא או בתוכו (ראו איור 1). זה מעורר תגובה בתא שיכולה להשפיע על התנהגות התא ואפילו על שרידותו. כיצד תא מגיב תלוי בסוג התא ובסוג ההורמון.

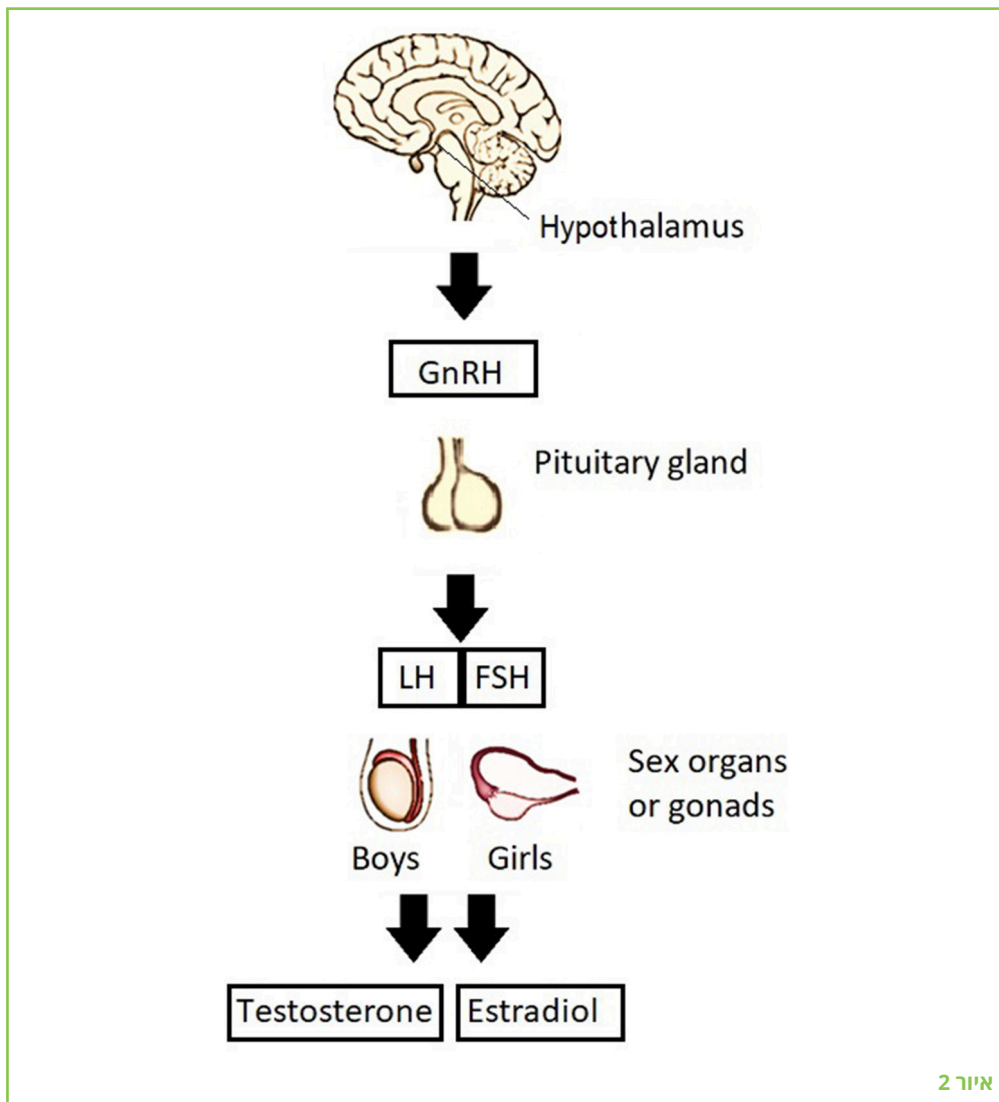
הורמונים חשובים מאוד להתנעת תהליך ההתבגרות המינית. הסיבה לכך היא שהתבגרות מינית מתחילה כאשר המוח מאותת לגוף לייצר כמות גדולה יותר מהורמונים מסוימים. איור 2 מסביר כיצד זה פועל.

סטוסטרון ואסטרדינול הם שני הורמונים חשובים שגורמים להרבה משינויי הגוף שאנשים מקשרים עם התבגרות מינית. רמות של סטוסטרון עולות הרבה יותר אצל בנים, בעוד שרמות של אסטרדינול עולות יותר אצל בנות. סטוסטרון יכול, לדוגמה, להגיע לתאי השיער, מה שמוביל לשיער כהה ועבה יותר, ולגדילת שיער בבתי השחי ועל הפנים. אסטרדינול חשוב להתפתחות החזה אצל נשים. גם סטוסטרון וגם אסטרדינול חשובים לפוריות, מה שמאפשר לאנשים להוליד ילדים.

הגיל שבו כל התהליך הזה מתרחש משתנה מאוד מאדם לאדם. בממוצע, בנות נוטות להתחיל את ההתבגרות המינית בגיל 10, בעוד שבנים מתחילים שנה מאוחר יותר. חלק מההבדלים האינדיבידואליים מבוססים על גנטיקה, אולם הם גם קשורים באופן חלקי לחוויות מוקדמות בילדות. לדוגמה, אצל ילדים שחוו הרבה רגעי סטרס בשלב מוקדם בחיים, ההתבגרות המינית נוטה להתחיל בגיל מוקדם יותר.

**איור 2**

איור זה מראה כיצד אותות מהמוח מובילים לעליות בהורמוני ההתבגרות המינית. זה מתחיל באזור במוח שנקרא ההיפוטלמוס. אזור זה מייצר הורמון שנקרא GnRH, ש"מטייל" לבלוטת יותרת המוח, בחלק התחתון של המוח. בבלוטת יותרת המוח, מיוצרים הורמונים אחרים (LH ו-FSH). לאחר מכן, הם מטיילים לאיברי הרבייה שלכם (האשכים בגוף זכרי והשחלות בגוף נקבי), אשר מייצרים סטטוסטרון ואסטרוגן.



איור 2

**הורמונים יכולים לשנות את האופן שבו המוח מאורגן, וכיצד תאי מוח מתנהגים**

הורמונים כמו סטטוסטרון ואסטרוגן יכולים להתחבר לתאי המוח שלכם. תא מוח נראה שונה מתאים באזורים אחרים בגוף: הוא מכיל את גוף התא, אולם גם יש לו חלקים שנראים כמו חוטים שמציצים החוצה (ראו איור 1). בתא מוח יש לעיתים קרובות הרבה "חוטים" קצרים יותר, שנקראים **דנדריטים**, אשר מקבלים אותות מתאים אחרים. לתאים האלה גם יש "חוטי" ארוך יותר שנקרא **אקסון**, ששולח אותות לתאים אחרים.

ישנן שתי דרכים עיקריות שבהן הורמונים יכולים להשפיע על תאי המוח שלנו [1].

ראשית, הורמונים יכולים להשפיע על האופן שבו המוח מאורגן, ואלה שינויים שלוקח להם זמן להתרחש. שינויים בארגון המוח יכולים לכלול שינויים במספר התאים, או שינויים בגודל ובצורה של דנדריטים ואקסונים. סטטוסטרון, לדוגמה, משפיע על התפתחות של תאים חדשים באזור במוח שנקרא **אמיגדלה** האמצעית. מאחר שבנים מייצרים יותר סטטוסטרון במהלך

**דנדריט (Dendrite)**

החלק בתאי מוח שמקבל אותות מתאים אחרים.

**אקסון (Axon)**

החלק בתאי מוח ששולח אותות לתאים אחרים.

**אמיגדלה (Amygdala)**

אזור קטן ליד תחתית המוח שחשוב עבור עיבוד רגשות כמו פחד.

ההתבגרות המינית, האזור הזה נעשה גדול יותר אצל בנים מאשר אצל בנות [2]. זה נמצא במחקרי בעלי חיים, אולם מחקרים בבני אדם שהסתכלו על רמות ההורמון ועל גודל האמיגדלה מציעים שהוא פועל אותו הדבר אצל בני אדם.

שנית, הורמון יכול להשפיע על האופן שבו תאי מוח נעשים פעילים בתגובה למצב או לסביבה. הורמונים עשויים לסייע לתא להחליף אותות עם תאים אחרים, או למנוע זאת מהתא. זה גם יכול להוביל לשינויים ארוכי-טווח בתאי המוח. לדוגמה, רמות הטסטוסטרון בעכברים (ובבני אדם) עולות במהלך תחרות או מאבק. מחקר אחד הראה כי עכברים שמנצחים במאבק מפתחים יותר קולטנים לטסטוסטרון באזורים במוח שחשובים לתגמול ולהתנהגות חברתית [3]. הקולטנים החדשים האלה עשויים גם לשנות את ההתנהגות של העכבר במאבק הבא. זה מראה תהליך שבו חוויות, כמו ניצחון במאבק, והורמונים פועלים יחד כדי לעצב את התפתחות המוח. התהליך הזה חשוב במיוחד במהלך ההתבגרות המינית, כאשר רמות ההורמון גבוהות יותר מאשר במהלך הילדות, והמוח עדיין מתפתח.

יש הרבה דברים שאיננו יודעים עדיין על האופן שבו הורמונים משפיעים על הארגון והפעולות של תאי המוח בבני אדם. אנו כן יודעים שההשפעות האלה שונות בדרכים מסוימות בין בנים לבנות, ובין אזורים במוח. חוקרים רק מתחילים להבין כיצד שינויים שקשורים בהורמונים במוח חשובים להתנהגות ולמידה, כך שישנן הרבה שאלות בלתי פתורות.

## התבגרות מינית עשויה להקשות על למידה של דברים מסוימים, אולם להקל על למידה של דברים אחרים

ילדים יכולים ללמוד דברים מסוימים טוב יותר מאשר מתבגרים או מבוגרים. לדוגמה, ילדים צעירים טובים במיוחד בלמידת שפות חדשות. נעשה הרבה יותר קשה ללמוד שפה שנייה אחרי גילאי 9-11. ככל הנראה זה בגלל שינויים באופן שבו המוח מעבד דיבור ומידע שפתי אחר. מחקר אחד התבונן על התפקיד של התבגרות מינית בשינויים האלה. חוקרים נתנו לילדים להקשיב לדיבור של "חייזר" מלאכותי, וחקרו כיצד המוח ניסה לפענח זאת [4]. הפעילות של כמה אזורים במוח שחשובים לשפה השתנתה כאשר הילדים גדלו. פעילות בחלק מאזורי המוח האלה שקשורים לשפה גם הייתה נמוכה יותר עבור ילדים שהיו בשלב מתקדם יותר בהתבגרות המינית. זה מציע שהתבגרות מינית עשויה לשחק תפקיד בתגובות המשתנות של המוח לשפה.

אולם התבגרות מינית עשויה לפתוח חלון חדש לסוגים אחרים של למידה. היא עשויה להביא להזדמנויות ללמידה על עצמכם, ולמידה של כישורים חברתיים ורגשיים אשר מכינים מתבגרים לבגרות. המוח עשוי להשתנות במהלך שנות הנעורים בדרכים שתומכות בלמידה כזו. לדוגמה, חלק חשוב אחד בלמידת כישורים חדשים הוא תגובה למשוב – כלומר, כיצד מוחכם משתמש במידע ואומר לכם אם עניתם את התשובה הנכונה או לא. מחקר אחד של יותר מ-200 ילדים, בני נוער ומבוגרים בחן את האופן שבו המוח מגיב בעת למידה ממשוב. כמה טוב אנשים למדו ממשוב היה תלוי בהפעלה של אזורים שונים ב**סטריאטום**, אזור מפתח ללמידה במוח. חלק מהאזורים ב**סטריאטום** היו פעילים יותר בבני נוער מאשר בילדים או במבוגרים, מה שמציע שאנשים עשויים ללמוד ממשוב באופן שונה במהלך שנות הנעורים שלהם [5].

### סטריאטום (Striatum)

אזור במרכז המוח שמעבד תגמולים ומשוב. הוא נקרא סטריאטום מאחר שסוגי הרקמה המתחלפים שבו גורמים לו להיראות מפוספס.



חלק חשוב אחר בלמידת כישורים חדשים דורש חקירה וסיכונים, כמו חלוקת מידע על עצמכם, התנסות בתחביבים חדשים שאתם עשויים שלא להיות טובים בהם, או ניסיון לדבר עם אנשים שאתם "דלוקים" עליהם. ההחלטה לקחת סיכון עשויה להיות סבירה יותר כשאתם חושבים שיש לכם מה להרוויח – כמו תגמול. מדענים ראו שחלק מהסטריאטום פעיל גם כאשר אדם מקבל תגמולים, כולל מזון וכסף. מחקר אחד של אנשים בגילי 8-27 התמקד על האזור הזה במוח. החוקרים מצאו שאנשים שהיו בשלב מתקדם יותר בהתבגרות המינית, ואנשים שהיה להם יותר טסטוסטרון בגוף הראו פעילות גדולה יותר באזור הזה של הסטריאטום כאשר הם זכו בתגמול. זה מציע שהורמונים עשויים להיות חלק חשוב בהפיכת המוח שלנו לרגיש יותר לתגמול במהלך ההתבגרות המינית [6].

המחקרים האלה מראים כי האופן שבו המוח מגיב למוחב ולתגמולים משתנה בסביבות ההתבגרות המינית. זה עשוי לעודד מתבגרים ללמוד עוד על עצמם ועל אחרים, מה שתומך בגילוי עצמי ובגדילה אישית. אולם השינויים האלה במוח עשויים גם להיות קשורים לעובדה שבעיות מסוימות שקשורות בבריאות הנפש ובהתמכרויות לסמים נוטות להתפתח במהלך שנות הנעורים. לדוגמה, אם מתבגרים רגישים יותר לתגמול, הם עשויים גם להיות רגישים יותר לתחושה המתגמלת שנובעת משתיית אלכוהול או לקיחת סמים. נוסף על כך ילדים שמתחילים את ההתבגרות המינית מוקדם יותר או מהר יותר מחבריהם יכולים לחוות יותר קשיים מנטליים, מה שחוקרים חושבים שיכול לנבוע באופן חלקי מהורמונים שיש להם השפעות שונות על המוחות שלנו, אולם נדרש מחקר נוסף כדי לראות אם זה נכון. מרבית הילדים עוברים את ההתבגרות המינית ללא כל בעיה בבריאות הנפשית, וחוקרים בוחנים דרכים לעודד תוצאות חיוביות גם לילדים נוספים.

## מסקנות

התבגרות מינית היא זמן של שינוי גדול, כולל שינויים שעשויים לעיתים להיות משונים, מבלבלים, או מציפים. חלק מהשינויים האלה מגיעים מפעולות של הורמונים בתאים ברחבי גופכם, כולל במוח. הורמונים יכולים להשפיע על מוחכם בטווח הארוך על ידי שינוי ישיר של האופן שבו הוא מאורגן, או על ידי שינוי האופן שבו הוא מגיב למצבים מסוימים. השינויים האלה עשויים להיות חשובים עבור פתיחת הזדמנויות חדשות ללמידה שמכנות מתבגרים לבגרות, אף על פי שאותם שינויים במוח עשויים גם לסגור אפשרויות של סוגים אחרים של למידה שמתרחשים בילדות המוקדמת. בתי ספר עשויים להיות מסוגלים לנצל לטובה את השינויים המוחיים האלה, לדוגמה על ידי יצירת הזדמנויות לצורות חיוביות של חקירה ולקיחת סיכונים. למידה כוללת יותר ממתמטיקה וקריאה – קבלת החלטות שמסייעת לנו להבין את עצמנו ואחרים טוב יותר היא סוג חשוב אחר של למידה שהמוח עשוי להיות רגיל לה, במיוחד במהלך ההתבגרות המינית.

## תודות

TC נתמכה על ידי המרכז הלאומי לפיתוח מדעי העברה של המכון הלאומי לבריאות, תחת מענק שמספרו TL1TR002371. התוכן היה אחריותן הבלעדית של המחברות, ואינו מבטא בהכרח את הדעות הרשמיות של המכון הלאומי לבריאות. המחברות רוצות להודות לאלה שסייעו בתרגום המאמרים באוסף הזה כדי לעשותם נגישים יותר עבור ילדים מחוץ למדינות דוברות אנגלית, ולקרן Jacobs עבור סיפוק הכספים הנדרשים לתרגום המאמרים. MB תרגמה את המאמר להולנדית.

## מקורות

- Schulz, K. M., Molenda-Figueira, H. A., and Sisk, C. L. 2009. Back to the future: the organizational-activational hypothesis adapted to puberty and adolescence. *Horm. Behav.* 55:597–604. doi: 10.1016/j.yhbeh.2009.03.010
- Ahmed, E. I., Zehr, J. L., Schulz, K. M., Lorenz, B. H., DonCarlos, L. L., and Sisk, C. L. 2008. Pubertal hormones modulate the addition of new cells to sexually dimorphic brain regions. *Nat. Neurosci.* 11:995–7. doi: 10.1038/nn.2178
- Fuxjager, M. J., Forbes-Lorman, R. M., Coss, D. J., Auger, C. J., Auger, A. P., and Marler, C. A. 2010. Winning territorial disputes selectively enhances androgen sensitivity in neural pathways related to motivation and social aggression. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107:12393–8. doi: 10.1073/pnas.1001394107
- McNealy, K., Mazziotta, J. C., and Dapretto, M. 2011. Age and experience shape developmental changes in the neural basis of language-related learning. *Dev. Sci.* 14:1261–82. doi: 10.1111/j.1467-7687.2011.01075.x
- Peters, S., and Crone, E. A. 2017. Increased striatal activity in adolescence benefits learning. *Nat. Commun.* 8:1983. doi: 10.1038/s41467-017-02174-z
- Braams, B. R., van Duijvenvoorde, A. C. K., Peper, J. S., and Crone, E. A. 2015. Longitudinal changes in adolescent risk-taking: a comprehensive study of neural responses to rewards, pubertal development, and risk-taking behavior. *J. Neurosci.* 35:7226–38. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4764-14.2015

פורסם אונליין: 07 בפברואר 2022

נערך על ידי: Jessica Massonnie

מנחה מדעי: Zoltan Sarnyai

**ציטוט:** Barendse MEA, Cheng TW and Pfeifer JH (2022) מוחכם בתקופת ההתבגרות המינית. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00053-he

**תורגם והותאם:** Barendse MEA, Cheng TW and Pfeifer JH (2020) Your Brain on Puberty. *Front. Young Minds* 8:53. doi: 10.3389/frym.2020.00053

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

**COPYRIGHT** © 2020 © Barendse, Cheng and Pfeifer. 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 (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.

## סוקר צעיר

### BENJAMIN, גיל: 11

הנושאים האהובים עליי בבית הספר הם מתמטיקה ואנגלית מאחר שאני אוהב ללמוד מידע חדש ולהיות מאתגר. הפעילות החוץ-לימודית שאני הכי נהנה ממנה היא כדור-מים מאחר שאני אוהב לעבוד בקבוצה, וכך הכרתי הרבה חברים חדשים. מאז שראיתי תא מוח חי יוֹרָה באוקספורד, אני עובד לקראת מטרתי להיות רופא. עשיתי זאת על ידי קריאת מאמרים רבים והקשבה להרצאות. אני גם אוהב כלבים.



## הכותבות

### MARJOLEIN E. A. BARENDSE

אני חוקרת פוסט-דוקטורנטית בתחום מדעי המוח החברתיים-ההתפתחותיים באוניברסיטת אורגון. לפני שהתחלתי לעבוד באורגון, למדתי בהולנד ובאוסטרליה. אני מרתקת מהאופן שבו המוח עובד, וכיצד התבגרות מינית עובדת, וכל הדברים שמשפיעים על התפתחות המוח אצל ילדים ונערים. בזמני הפנוי אני אוהבת לטפס על סלעים ולטייל למקומות שאף פעם לא הייתי בהם קודם. \* barendse@uoregon.edu



### THERESA W. CHENG

אני לומדת פסיכולוגיה ומדעי המוח במדינת אורגון היפה. בעבודתי, אני מפענחת כיצד התבגרות מינית, סטרס וחוויות חברתיות משנות את מוחם של מתבגרים. בעבר הייתי מורה למדעים בחטיבת ביניים ובבית ספר תיכון, ואחד החלקים הטובים ביותר בעבודה שלי היה לדבר עם אנשים על מדע. כשאני חוקרת אני אוהבת לבשל, לרקוד ולטפס. עבור פרויקט המדעים שלי בכיתה ח ניסיתי להראות כי המזון שהוגש בקפיטריה שלנו לא היה חוקי – במילים אחרות, לא היה מספיק מזין ביחס לחוקים הפדרליים!



### JENNIFER H. PFEIFER

אני חוקרת כיצד השינויים המרכזיים שמתבגרים חווים במוח, בגוף ובעולמות החברתיים שלהם קשורים לרווחתם. אני מתמקדת בזמנים שבהם הרבה שינויים מתרחשים בבת אחת – כמו כאשר אתם מתחילים את ההתבגרות המינית והולכים לחטיבת הביניים, או כאשר אתם מסיימים תיכון ומתחילים אוניברסיטה או עבודה. מעברי המפתח האלה יכולים להיות קשים, אולם הם הזדמנויות מצוינות להוביל אנשים צעירים לנתיבים חיוביים. אני אוהבת לנגן על פסנתר או לחפש אבני חן בחוף.



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