



התרומה הקסומה של דימות תהודה מגנטית לַחֶקֶר המוח הקורא

Nora Maria Raschle^{1*}, Réka Borbás¹, Carolyn King², Nadine Gaab^{2,3}

¹מרכז ג'ייקובס להתפתחות נוער פרודוקטיבית, אוניברסיטת ציריך, ציריך, שווייץ

²מעבדות למדעי המוח הקוגניטיביים, בית החולים לילדים בוסטון, בית הספר לרפואה הרווארד, בוסטון, מסצ'וסטס, ארצות הברית

³בית הספר לתארים מתקדמים בחינוך הרווארד, קיימברידג', מסצ'וסטס, ארצות הברית

סוקרים צעירים

CASCADIA
ELEMENTARY

גיל: 9-8

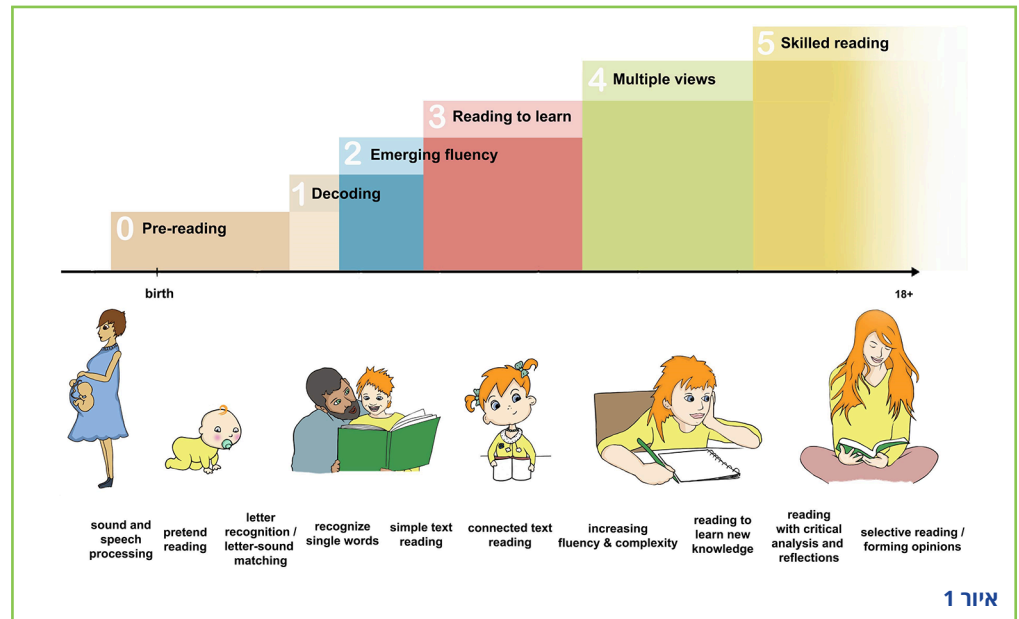


בסדרת ספרי הארי פוטר, לחש ה"לגילמנס" שימש לקריאת מחשבות של אנשים אחרים. למרות זאת, שימוש בקסמים דורש אחריות רבה ויש לעשות זאת בזהירות. באופן דומה, דימות תהודה מגנטית (או MRI - Magnetic Resonance Imaging) הוא מכשיר בעל עוצמה המאפשר לנו לצלם תמונות מפורטות של חלקים שונים בגוף, אפילו של המוח. בדומה לקסמים, עלינו לנקוט במשנה זהירות גם בעת שימוש במידע המגיע ממכשיר התהודה המגנטית (MRI) ופענוחו. מכשיר ה-MRI נותן לנו הזדמנות להסתכל מבחוץ על חלקים שונים בגוף. יש אנשים (לא קוסמים) המשתמשים ב-MRI כדי לחקור את הסודות של המוח האנושי. בעוד שאי אפשר להשתמש ב-MRI כדי לקרוא מחשבות, המכשיר כן נותן לנו מידע לגבי איך נראה המוח, איך הוא עובד, מתפתח ולומד. לדוגמה, MRI יכול לעזור לנו להבין כיצד המוח לומד לקרוא, ומה יכול להיות שונה בקרב ילדים המתקשים ללמוד לקרוא.

האם אתם אוהבים לקרוא? האם קראתם את ספרי הארי פוטר? קריאה היא יכולת הנלמדת דרך הוראות (הורה או מורה שמלמד אותנו), ודורשת הרבה תרגול בבית ובבית הספר. ישנם גורמים

איור 1

צעד אחר צעד, אנו לומדים לקרוא. ישנם כמה שלבים שאנו עוברים כדי לקרוא באופן שוטף. למידת קריאה מתחילה מהזמן שבו תינוק גדל וממשיכה עד גיל בית הספר והבגרות המוקדמת (איורים: ראשל; החלק העליון של התמונה הוא על פי המודל של צ'ול [1]).



רבים ומגוונים שעוזרים לנו להיות קוראים טובים. אנו עוברים הרבה חוויות במהלך הגדילה כך שהגוף, המחשבות, הרגשות והסביבה שלנו משתנים כל הזמן. מוקדם בחיים, אנו לומדים את המיומנויות הקלות יותר כמו הבנת המשמעות של צלילים מסוימים, זיהוי פרצופים והליכה. למעשה, למידה מתחילה עוד לפני שאנו נולדים! כשאנו גדלים, אנו לומדים מיומנויות מורכבות יותר כמו הפקת מלים ומשפטים, קריאה וכיצד לתקשר עם אחרים. למידת מיומנויות חדשות מתרחשת בד בבד עם התפתחות המוח. אבל דברים רבים משפיעים על אופן ההתפתחות שלנו, לרבות שינויים בסביבתנו, חוויות הלמידה שלנו, או אפילו הדנ"א שלנו, שהוא המידע הביולוגי המועבר אלינו מההורים.

זה נכון גם עבור קריאה. קריאה היא יכולת שאנו מתרגלים במשך תקופה ארוכה לפני שאנו נהיים קוראים מיומנים. התרגול הזה מתחיל עוד לפני שאנו אוחזים בספר בפעם הראשונה, ואפילו לפני שהולכים לבית הספר. אפילו לפני שאנו נולדים, אנו מקשיבים לקולות ושומעים חלקים בסיסיים של השפה. החוויות האלו מעצבות אזורים במוח שלאחר מכן עוזרים לנו בפיתוח מיומנויות קריאה. ב-1983, פרופסור בשם ג'ין צ'ול [1] הציעה כי למידת קריאה מתרחשת בכמה שלבים (איור 1). כיום אנו יודעים כי גורמים רבים יכולים להשפיע על שלבי הקריאה הללו, וכי למידת קריאה יכולה להשתנות בקרב ילדים וסביב לעולם. הבדלים כאלה קיימים כיוון שגורמים רבים יכולים להשפיע על התפתחות הקריאה כגון המקום שבו גדלנו, איזו שפה אנו דוברים, אוצר המילים שלנו, יכולתנו לשחק משחקים עם צלילי דיבור (כמו למשל לומר את המילה "בננה" בלי להגיד את הצליל "ב"), וכמה טוב אנו מבינים סיפורים [2].

כיצד המוח לומד לקרוא?

טכניקות דימות מוחי, כמו **דימות תהודה מגנטית** (באנגלית magnetic resonance imaging-MRI) מאפשרות למדענים לצלם תמונות של כל החלקים בגוף האנושי. המכשיר עובד באמצעות שדה מגנטי חזק וגלי רדיו, וכך מאפשר לחקור כיצד המוח לומד. מכשיר ה-MRI פועל דומה למצלמה גדולה שמצלמת תמונות של חלקים שונים בגוף, למשל המוח. MRI פועל

דימות תהודה מגנטית (magnetic resonance imaging-MRI)

ה-MRI מאפשר למדענים לצלם תמונות של כל החלקים בגוף האנושי, באמצעות מגנט חזק וגלי רדיו.

באמצעות מדידת אותות המגיעים ממולקולות מים בגוף. כל אחד מהחלקים בגופנו שונה במקצת, ולכן האותות המגיעים ל-MRI מהאיברים השונים, משתנים גם כן. באמצעות שימוש במחשבים, מדענים יכולים ליצור תמונות מפורטות מאותם האותות (אם תרצו לדעת עוד על נושא הפיזיקה של מכשיר ה-MRI, תוכלו לקרוא את "The physics of MRI and how to use it reveal the mysteries of the mind", שנכתב על ידי קתרין ברודהאוס במיוחד עבור ילדים [3]). מכשיר ה-MRI מאפשר לנו לחקור הן כיצד המוח פועל במהלך מטלה או כשאנו חווים רגשות מסוימים (כלומר בדיקת התפקוד המוחי) הן כיצד המוח בנוי (מבנה מוחי).

נירון

(Neuron)

תא עֶצֶב בתוך המוח ובחוט השדרה.

אקסון

(Axon)

חלק מתא העצב שמסוגל להתחבר לתאים אחרים ובדרך הזו להעביר מידע מתא אחד לתא אחר.

סיב חומר לבן

(White Matter Tract)

אוסף של הרבה אקסונים המחוברים אזורים שונים במוח.

כשהמוח גדל ולומד, נוצרים קשרים בין חלקיו השונים. לאורך זמן, הקשרים הללו יוצרים רשתות. רשתות הן אזורים שונים במוח הפועלים יחדיו. בדומה ללהקה מוזיקלית מאומנת היטב, הרשתות המוחיות עוזרות לנו ללמוד מיומנויות כמו קריאה. בתהליך הלמידה, תאי המוח (הנקראים **ניירונים**) מתחברים אחד לשני דרך זרועותיהם הזעירות (הנקראות **אקסונים**), או אפילו דרך גידול זרועות חדשות. לאורך זמן, הרבה אקסונים מתחברים אחד לשני ובונים כבישים ארוכים הנקראים **סיב חומר לבן**. הכבישים הללו מאפשרים למידע לעבור מאזור אחד במוח לאזור אחר. באמצעות שימוש במכשיר MRI, מדענים מצאו כי אנו יכולים לקרוא, כיוון שחלקים שונים במוח נעשים פעילים יותר וּמְתַקְשָׁרִים אחד עם השני כשאנו לומדים. לאזורי המוח האלה יש שמות מצחיקים: האזור העורפי-רקטי (באנגלית: האוקסיפיטו-טמפורלי), או "קופסת האותיות" של המוח (אזור עיבוד אותיות ומילים); האזור הרקטי-קודקודי (באנגלית: הטמפורו-פריאטלי) – עוזר לנו לשחק עם הצלילים בשפה שלנו, כמו להבין שהמילה "בננה" ללא הצליל /ב/ זה "אננה"; והאזור המצחי התחתון ("ה"קפטן" המכוון אותנו). כשאזורי המוח "מדברים" אחד עם השני לעיתים תכופות, הכבישים ביניהם יכולים להתחזק.

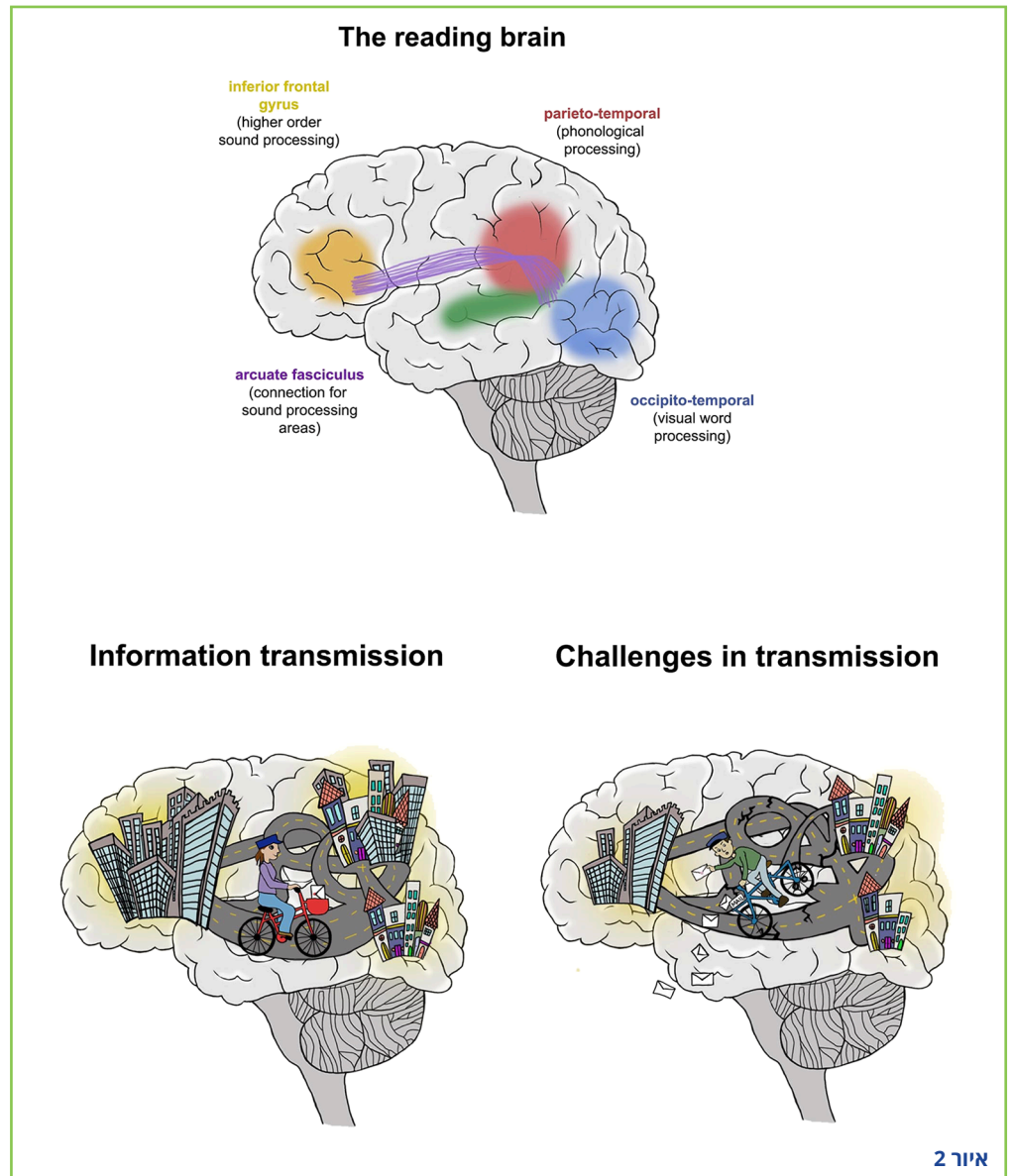
כביש חשוב בתהליך הקריאה הוא אוסף אקסונים שנקרא "the arcuate fasciculus", כיוון שהוא מעוצב בצורת קשת (arc). בתוך הרשת של האזורים המוחיים שתומכים בתהליך הקריאה, שבילים כמו ה-arcuate fasciculus מאפשרים הולכת מידע מאזור אחד לאחר. בקרב ילדים המתקשים לקרוא, רשת הקריאה במוח לעתים בנויה קצת אחרת או שהמידע עובר במסלולים אחרים. במוחות מסוימים, הכביש המוליך מידע בין אזורי הקריאה עשוי להיות צר, בדומה למצב שיש נתיב תנועה אחד במקום שניים. כמו כן, יכול להיות שהכביש פחות חלק, כמו כביש משובש או כביש עם הרבה רמזורים. ההבדלים האלה גורמים לתקשורת בין האזורים השונים במוח להיות מאתגרת מאוד, ובקרב חלק מהילדים, קריאה הופכת למטלה קשה (איור 2).

דיסלקציה התפתחותית ופרדוקס הדיסלקציה

התפתחות המוח היא דבר מורכב, וזה לא מפתיע שחלק מהמוחות מתפתחים באופן שונה מאחרים. לפעמים להבדלים אלה יש השלכות שמגלים רק מאוחר יותר בחיים. בשיעור רגיל בבית הספר, למידת קריאה תהיה מאתגרת ביותר עבור בערך תלמיד אחד או שניים בכיתה של 20 ילדים. חוקרים רבים רוצים להיות מסוגלים לנבא, בהקדם האפשרי, איזה ילדים עשויים להתקשות בקריאה. הרבה יותר קל לעזור לילד כשהבעיות מתחילות מאשר לחכות ואז לנסות לעזור לו שנים לאחר מכן. כשאנו צעירים, מוחנו הרבה יותר גמיש עבור רכישה ושיפור של יכולות כמו שפה, וזה מקל על למידת דברים חדשים וטיפול בבעיות. נוסף על כך, אם העזרה ניתנת מאוחר מאוד, חלק מהילדים המתקשים בקריאה עלולים להיות עצובים, מתוסכלים,

איור 2

המוח הקורא. בחלק העליון, אפשר לראות את השם והתפקיד של כל אחד מאזורי המוח הנדרשים לקריאה. יחד, אזורים אלה יוצרים את רשת הקריאה במוח. במהלך הקריאה, אזורים אלה מופעלים יותר ו"מדברים" אחד עם השני. לפעמים העברת המידע ברשת מתבצעת באופן חלק (החלק השמאלי התחתון), אבל לפעמים זה יכול להיות מאתגר יותר (החלק הימני התחתון). (אילוסטרציות: Raschle N. M.).



איור 2

או לחוות בריונות, ואפילו יפסיקו לרצות ללמוד. חלק מההורים עלולים להיות חסרי סבלנות ולחשוב שהילדים שלהם לא משתדלים מספיק. אלה חלק מהסיבות שמדענים רוצים לעזור לנבא הכי מוקדם שאפשר אלה ילדים יתקשו בקריאה.

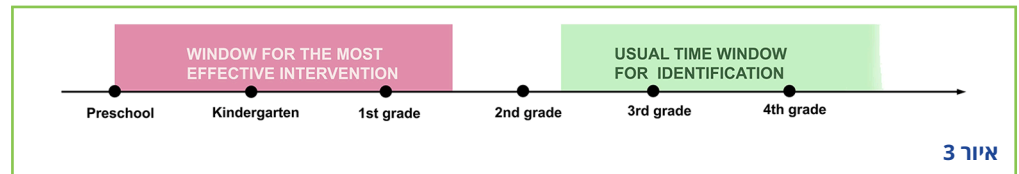
חלק מהילדים בעלי קשיי קריאה יאובחנו עם **דיסלקציה** התפתחותית שהיא סוג של לקות בקריאה. בדרך כלל, האבחון נעשה לאחר שהילדים ניסו ללמוד לקרוא במשך זמן מה (כיתה ב או ג). הקושי לקרוא איננו קשור לאי תרגול, עצלנות, או חוסר ניסיון. למרות זאת, בזמן הזה, על הילדים להשלים פערים כדי להצליח בבית הספר, וזה אתגר גדול עבורם. כפי שהוזכר קודם לכן, הוכח מחקרית כי הזמן הטוב ביותר לעזרה לילדים בקריאה הוא בגיל הגן או בכיתה א, כשהמוח עודנו הרבה יותר גמיש. ההבדל בין הזמן שבו מאבחנים ילדים שמתקשים לקרוא לבין הזמן שבו אפשר לעזור להם בצורה הטובה ביותר נקרא פרדוקס הדיסלקציה, כיוון שזה דבר הסותר את עצמו (איור 3).

דיסלקציה (Dyslexia)

לקות למידה המתאפיינת בקושי בקריאה כתוצאה מבעיות שקשורות לצלילי הדיבור, והקושי ללמוד כיצד הצלילים מתקשרים לאותיות ולמילים.

איור 3

פרדוקס הדיסלקציה. בקרב רוב הילדים, בעיות בקריאה מאובחנות רק בכיתה ב או ג (האזור הירוק). עם זה חלון הזמן הטוב ביותר והיעיל ביותר לעזרה לאותם ילדים הוא הרבה יותר מוקדם (האזור הורוד).



מדענים הראו כי אנו יכולים לזהות סימנים מוקדמים לקשיי קריאה באמצעות מבחנים הבוחנים את יכולת הדיבור, מבחנים כתובים או מבחנים ממוחשבים. היינו סקרנים לדעת האם מכשיר ה-MRI יכול לעזור בזהוי הבדלים מוקדמים במוחות של ילדים שבסופו של דבר יחוו קושי בקריאה. נמצא כי בקרב ילדים צעירים אשר בהמשך יתקשו עם למידת קריאה, יש כנראה רשת קריאה שונה [4-6]. אבל, עם תמיכה והוראה נכונה, אפשר לשנות זאת.

הקסם בעזרה לאחרים

בשונה מקוסמים בספרי הארי פוטר, מדענים אינם יכולים לקרוא מחשבות או להשתמש בכל סוג אחר של קסמים. אבל, המצאנו כמה שיטות וטכנולוגיות לחקר המוח הלומד, אחת מהן היא מכשיר ה-MRI. מכשיר זה מאפשר לנו ללמוד על חלקים שונים במוח העוזרים בתהליך הקריאה, וגם מראה לנו מה יכול לקרות במוח של ילדים המתקשים בקריאה. בכל מחקר, המדענים לומדים יותר לגבי תהליך הלמידה ועל הסיבות שעבור אנשים מסוימים הלמידה היא קשה יותר. בסופו של דבר, המידע הזה יכול לעזור לנו לתמוך בכל אחד מהילדים לצורך השגת מטרות או מטרתה, ועצם זה שאנו מסוגלים לעשות זאת זה קסם אמיתי.

תודות

אנו רוצים להודות לכל מי שסייע בתרגום המאמרים ועשייתם זמינים יותר עבור ילדים שאינם דוברי אנגלית, ולקרן ג'ייקובס על התמיכה הכספית ההכרחית לצורך תרגום המאמרים. בגין המאמר הזה, אנו רוצים להודות באופן מיוחד לניאנקי ואן אטוולדט וסאבין פיטרס על התרגום להולנדית. אנו מבקשים לומר תודה ולהקדיש את המאמר הזה לכל הילדים המתקשים או שהתקשו בקריאה וכמו כן למחנכים, הורים ואנשי המקצוע שעזרו להם.

המאמר תורגם לעברית על ידי ראייה מרי וציפי הורוביץ-קראוס, מהמרכז לדימות מוחי בילדים, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה והפקולטה להנדסה ביורפואית, הטכניון.

מקורות

1. Chall, J. S. 1983. *Stages of Reading Development*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company.
2. Castles, A., Rastle, K., and Nation, K. 2018. Ending the reading wars: Reading acquisition from novice to expert. *Psychol. Sci. Public Interest*. 19:5-51. doi: 10.1177/1529100618772271
3. Broadhouse, K. 2019. The physics of MRI and how we use it to reveal the mysteries of the mind. *Front. Young Minds* 7:23. doi: 10.3389/frym.2019.00023

4. Raschle, N. M., Zuk, J., and Gaab, N. 2012. Functional characteristics of developmental dyslexia in left-hemispheric posterior brain regions predate reading onset. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109:2156–61. doi: 10.1073/pnas.1107721109
5. Raschle, N. M., Chang, M., and Gaab, N. 2011. Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage* 57:742–9. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.09.055
6. Langer, N., Peysakhovich, B., Zuk, J., Drottar, M., Sliva, D., Smith, S., et al. 2017. White matter alterations in infants at risk for developmental dyslexia. *Cereb. Cortex* 27:1027–36. doi: 10.1093/cercor/bhv281

פורסם אונליין: 24 באוגוסט 2021

נערך על ידי: Stephan E. Vogel, University of Graz, Austria

ציטוט: Raschle NM, Borbás R, King C and Gaab N (2021) התרומה הקסומה של דימות תהודה מגנטית לחקר המוח הקורא. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00072-he

תורגם והותאם:

Raschle NM, Borbás R, King C and Gaab N (2020) The Magical Art of Magnetic Resonance Imaging to Study the Reading Brain. *Front. Young Minds* 8:72. doi: 10.3389/frym.2020.00072

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

COPYRIGHT © 2020 © 2020. Raschle, Borbás, King and Gaab. 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.

סוקרים צעירים

CASCADIA ELEMENTARY, גיל: 8-9

אנחנו כיתת כלב הים המצוי! אנחנו קבוצה של ילדים בכיתה ג' שאוהבים קריאה ומתמטיקה. אנחנו בנות ו-14 בנים בכיתה. אנחנו חבורה אנרגטית שאוהבים לדון ברעיונות שלנו ביחד וללמוד על דברים חדשים. התמקדנו הרבה בשיתופי פעולה, בדיבור, ובהקשבה הזדדית השנה, ואנחנו נרגשים להיות חלק מקהילת פרונטיר!

הכותבות

NORA MARIA RASCHLE

Nora היא פרופסורית לפסיכולוגיה במרכז ג'ייקובס להתפתחות נוער פרודוקטיבית באוניברסיטת ציריך בשווייץ. הקבוצה שלה במעבדת הילדים ב-NMR רוצה לדעת עוד על האופן שבו מוחות אנושיים גדלים, משתנים, ולומדים. Nora גם אוהבת לצייר קריקטורות מדע, ומאמינה שידע יכול להילמד באופן



שיהיה כיף ומובן לכולם. היא אוהבת לנסות דברים חדשים עם שלושת ילדיה, כמו אפייה של עוגייה ענקית, שירת קריוקי אפילו שהיא זמרת איומה, ובניית דברים (כמו רובוטים), או ביקור במקומות מרגשים.
*nora.raschle@jacobscenter.uzh.ch



RÉKA BORBÁS

Réka היא דוקטורנטית לנוירופסיכולוגיה במכון ג'ייקובס להתפתחות נוער פרודוקטיבית באוניברסיטת ציריך בשווייצריה. היא עובדת עם משפחות, והיא מאד מתעניינת באופן שבו מוחות של ילדים והוריהם פועלים. לשם כך, היא מכינה משפחות להיכנס לסורק MRI ולהציץ במוחות שלהם. בתוך מעבדת הילדים של NMR, היא מנסה להפוך את המחקר לכיף לכולם, והיא מפתחת משחקים מרגשים שאנשים משחקים בהם בתוך הסורק. בזמנה הפנוי, היא נהנית לשחק משחקי קופסא, להתכרבל עם החתול הפרוותי שלה, ולאפות עבור חבריה ומשפחתה.



CAROLYN KING

Carolyn היא עוזרת מחקר במעבדות למדעי המוח הקוגניטיביים בבית החולים לילדים בבוסטון ובבית הספר לרפואה בהרווארד. היא עובדת עם ילדים בכל יום על מנת להבין כיצד חלק מהילדים לומדים לקרוא ולפתור תרגילים במתמטיקה באופן שונה מאחרים. היא מבלה חלק גדול מזמנה במשחקי חשיבה עם ילדים לפני בית ספר יסודי ובגן, והיא גם זוכה לטייל ברחבי ארצות הברית על מנת לבחון משחקים חדשים. Carolyn אוהבת לטייל להרים הגבוהים ביותר שהיא מסוגלת למצוא, ולשחק עם אלפקות, ארנבים, וחתולים בחוות האלפקות של סבתה. אחת האלפקות אפילו טיפסה על הר, ו-Carolyn מקווה לטייל איתה באחד הימים!



NADINE GAAB

Nadine היא פרופסורית בבית החולים לילדים בבוסטון ובבית הספר לרפואה בהרווארד. שבוע העבודה הרגיל שלה כולל התבוננות במוחות של ילדים, שיחות עם הסטודנטים שלה, הוראה בכיתה, השתתפות בישיבות משעממות, או משחקים עם ילדים שמגיעים למעבדה. היא גם מטיילת למקומות (רובם מגניבים), ומספרת לאנשים על דיסלקציה, על התפתחות קריאה, ועל המוח. בזמנה הפנוי, היא אוהבת לשחק משחקי קופסא עם שלושת ילדיה, ונהנית לצפות בבתה משחקת כדורגל ובבנה משחק בייסבול. היא אוהבת מאכלי ים וגלידת שוקולד. כשהיא תגדל, היא רוצה להיות שפית.

Hebrew version
provided by

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

