

כדאי לספור את החומר הלבן: חיבורים במוח מסייעים לנו לחשב $2+2$

Anna Matejko

המעבדה לקוגניציה נומרית, המחלקה לפסיכולוגיה ולמוח ונפש, אוניברסיטת מערב אונטריו, לונדון, אונטריו, קנדה

סוקר צעיר

NIKOLA
גיל: 15



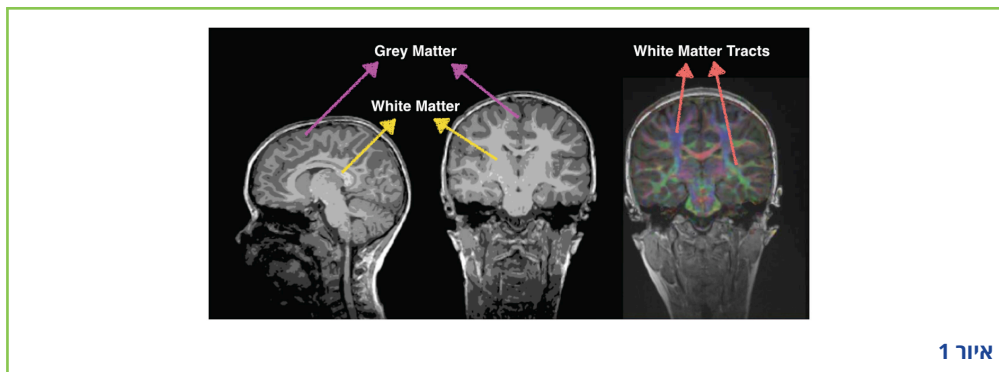
המוח בנוי ממיליונים רבים של תאים, ולסוגים שונים של תאים יש פונקציות, או תפקודים, שונים. החלק במוח שנראה כהה יותר בתמונות נקרא חומר אפור (ראו איור 1). התאים בחלק הזה של המוח מסייעים לנו לעשות דברים כמו לחשוב ולעבד מידע. חומר לבן (ראו איור 1) נראה בהיר יותר והוא מכיל סוגי תאים שונים בעלי שכבת שומן מבודדת סביבם שמכנה מיאלין. שכבה זו מסייעת לאותות חשמליים להתקדם לאורך התאים ומאיצה את מהירות העברת המידע. השכבה השומנית היא גם מה שגורם לחומר הלבן להיראות לבן! חומר אפור וחומר לבן פועלים יחד כדי לסייע לנו לבצע כל מיני פעולות שאנו יודעים לעשות כמו לחשוב, לשיר ולהכין שיעורי בית.

הכבישים המהירים של המוח

אפשר לדמות את החומר הלבן במוח לכבישים מהירים (איור 1). כבישים האלה מחברים אזורים שונים במוח ומעבירים ביניהם מידע. ככל שהכבישים בנויים טוב יותר, כך קל יותר לעשות דברים כמו לקרוא ולעסוק במתמטיקה. כל אסופה כזו של קשרים, או כבישים, מכנה באנגלית Tract, וכל אחת מהן מחברת בין אזורים שונים במוח. ישנה שיטה מיוחדת לדימות של המוח

איור 1

תמונות מוח של ילד. החומר הלבן (חץ צהוב) והחומר האפור (חץ סגול) מוצגים בתמונות השמאלית והאמצעית. התמונה מימין היא סריקת DTI שנותנת מפה צבעונית של אסופות הקשרים (Tracts) של החומר הלבן ("הכבישים המהירים").



איור 1

שנקראת דימות טנזור הדיפוזיה (DTI – diffusion Tensor Imaging), אשר מסייעת לנו לחקור את החומר הלבן ואת מידת החוזק של הקשרים שבתוכו. בשנים האחרונות מחקרים רבים עשו שימוש ב-DTI כדי להסתכל על האופן שבו הקשרים במוח שלנו עשויים לסייע לנו לחשוב. אפשר גם לקבל תמונות צבעוניות מגניבות מאוד מסריקות DTI שמראות את הכיוון של כל אסופת קשרים (איור 1: בכחול – הקשרים שעוברים ממעלה הראש אל תחתית הראש, באדום/ורוד – הקשרים שעוברים משמאל לימין, בירוק – הקשרים שעוברים מחזית הראש לאחורי הראש).

לכל אזור במוח אפשר לחשב מספר בין 0 ל-1 שאומר לנו מהי עוצמת הקשרים באותו האזור. המספרים האלה מכונים ערכי FA (fractional anisotropy, FA), כאשר fractional anisotropy – "נְשָׁבְרִי" – מתייחס לעובדה שהערך המתקבל הוא שבר בין 0 ל-1, ו-Anisotropy – "אנאיזוטרופי" – מתייחס לעובדה שהקשרים שונים זה מזה בכיוונים שונים במוח). כאשר ערך ה-FA קרוב ל-1 משמעות הדבר היא שהקשרים הם חזקים, וכשהוא קרוב ל-0 משמעות הדבר היא שהקשרים הם חלשים. ישנן הרבה אסופות קשרים במוח. בטבלה 1 אתם יכולים לראות חלק מאלה שנזכיר במאמר הזה.

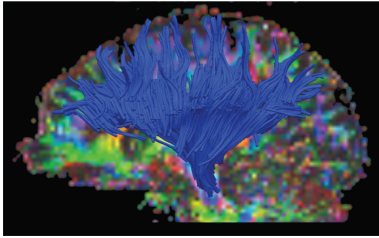
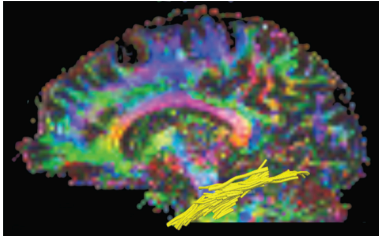
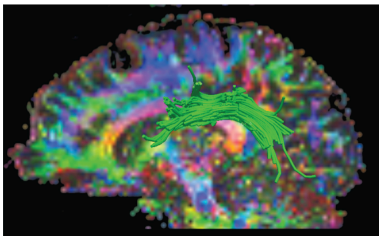
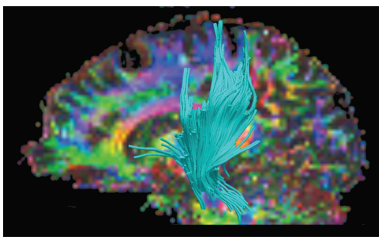
איצד הקשרים במוח מסייעים לנו לעסוק במתמטיקה?

אתם עשויים להשתמש באזורים רבים במוח שלכם כשאתם פותרים בעיות של חיבור או חיסור, כמו $2+2=4$ או $3-1=2$ [1, 2] (איור 2). כדי שאזורי המוח האלה יתקשרו אחד עם השני המידע מאזור אחד צריך להיות מועבר לאזור אחר דרך אסופות החומר הלבן, או הכבישים המהירים של המוח. זכרו, FA הוא מספר שאומר לנו עד כמה הקשרים במוח חזקים. אם תמצאו ערך FA של 0.9 משמעות הדבר היא שהקשרים חזקים מאוד, בעוד שערך של 0.1 מורה על קשרים חלשים. אנו יכולים להשתמש בערכי FA כדי לראות אם קשרים חזקים מתבטאים בכישורים מתמטיים גבוהים אצל ילדים ואצל מבוגרים.

כדי לנסות לענות על השאלה אם שינויים בחומר הלבן בין אנשים שונים קשורים להבדלים ביכולות מתמטיות, חוקרים במעבדתנו מדדו את החומר הלבן אצל ילדים בגילאי 7-9 [3]. הילדים גם השלימו שני מבחנים מתמטיים. המבחן הראשון כלל פתרון בעיות חשבוניות פשוטות כמו חיבור, חיסור, כפל וחילוק. המבחן השני כלל שאלות מתמטיות מורכבות יותר, כמו למשל זיהוי תבניות וניתוח גרפים. החוקרים חישבו ערכי FA מאסופות חומר לבן שונות במוח של כל אחד מהילדים, כדי לראות אם חוזק האסופות האלה קשור לביצועי הילדים במבחנים

טבלה 1

טבלה זו מציגה חלק מאסופות (tracts) החומר הלבן במוח: את שָׁמֶן המלא (משמאל), את שמן המקוצר (באמצע) ואת איך שהן נראות בסריקת DTI של המוח (מצד ימין).

White matter tract name	Short name	What it look like
Superior Corona Radiata	SCR	
Inferior Longitudinal Fasciculus	ILF	
Superior Longitudinal Fasciculus	SLF	
Corticospinal Tract	CST	

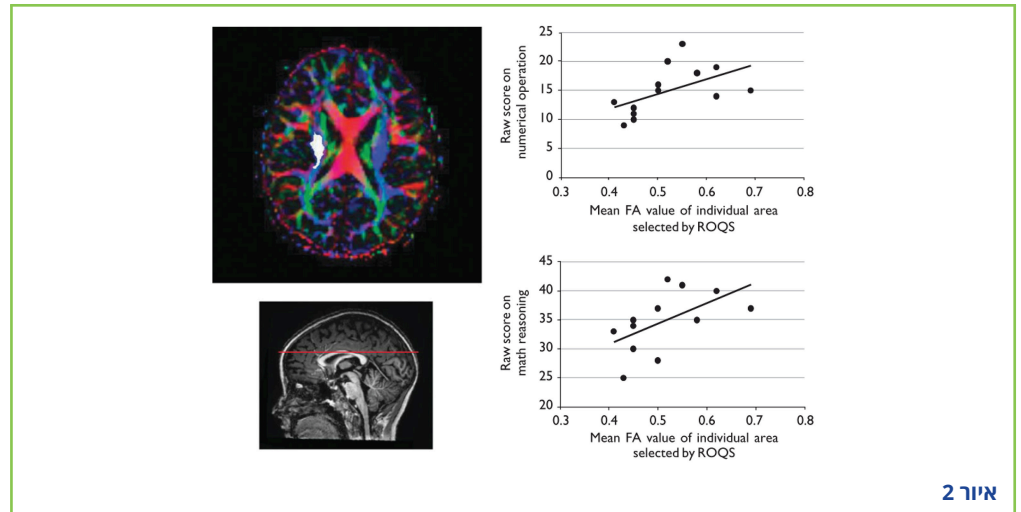
טבלה 1

במתמטיקה. שתי אסופות חומר לבן נראו חשובות במיוחד בחיזוי מידת ההצלחה של הילדים במבחני המתמטיקה: אחת נקראת SCR (Superior Corona Radiata) והשנייה נקראת ILF (Inferior Longitudinal Fasciculus). ה-SCR עוברת מתחתית המוח אל מעלה המוח, וה-ILF עוברת מהחזית אל אחורי המוח (ראו טבלה 1, שורות 1 ו-2 בהתאמה). במילים אחרות, ילדים שיש להם קשרים חזקים יותר באסופות סיבי העצב האלה (כלומר שהם בעלי ערכי FA קרובים ל-1), הצליחו יותר במבחנים המתמטיים!

במחקרנו רצינו גם לבחון אם אסופות של חומר לבן עשויות להיות קשורות לכישורים מתמטיים ברמת בית ספר תיכון [4]. תלמידי כיתה י"ב הגיעו למעבדה שלנו ומוחותיהם נסרקו באמצעות סורק DTI. ידענו מראש מה הייתה מידת ההצלחה של כל אחד מהתלמידים במבחן לאומי במתמטיקה תיכונית. מצאנו שלוש אסופות חומר לבן שהיו קשורות לכישורים המתמטיים האלה: ה-SCR (אותה אסופה כמו קודם!), אסופה שנקראת SLF (Superior Longitudinal Fasciculus) ואסופה שנקראת CST (Cortico-Spinal Tract). ה-SLF מחברת

איור 2

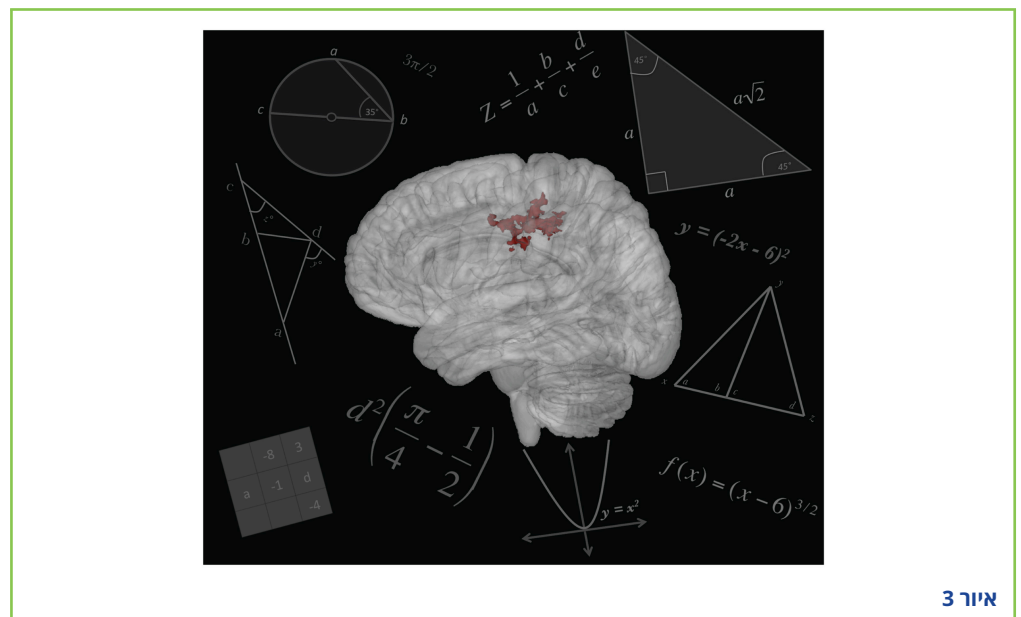
משמאל: למטה - מיקום אזור של יריעת חומר לבן במוח שנקרא SCR (Superior Corona Radiate), עליו בוצעו סריקות ה-DTI (משמאל למעלה, במבט מלמעלה). מימין: גרפים שמקשרים בין ערכי FA ממוצעים שהתקבלו מניתוח סריקות ה-DTI ובין יכולות מתמטיות של ביצוע פעולות מספריות (למעלה) ושל הנמקה מתמטית (למטה). התמונה נלקחה מהפניה [3].



איור 2

איור 3

תמונה זו מראה את אזורי החומר הלבן שהיו קשורים לכישורים המתמטיים של מבחנים ברמה תיכונית.



איור 3

בין אזורים שונים רבים במוח, ומרביתה עוברת מהחזית אל אחורי המוח (טבלה 1, שורה 3). ה-CST עוברת כל הדרך מתחתית המוח עד לחלק העליון ביותר שלו (טבלה 1, שורה 4). תלמידי תיכון עם קשרים חזקים יותר בשלושת האסופות האלה הצליחו טוב יותר בפתרון בעיות מתמטיות. משמעות הדבר עשויה להיות שאסופות דומות קשורות הן לכישורי מתמטיקה בסיסיים הן לכישורים מתמטיים מורכבים יותר (ראו איור 3 להמחשה).

מחקרים אלה הראו שלפחות חלק מהכבישים המהירים במוח קשורים לכישורים מתמטיים, אולם כיצד אסופות החומר הלבן האלה עשויות להיות קשורות לפעילות המוחית שלכם כשאתם פותרים בעיות מתמטיות? כמה חוקרים מהמעבדה שלנו שאלו את עצמם את השאלה הזו והחליטו לראות אם יש קשר בין אסופות חומר לבן לבין האופן שבו מבוגרים משתמשים במוחם בעת פתרון בעיות מתמטיות [5]. החוקרים נתנו למבוגרים לפתור בעיות מתמטיות כמו $2+8=10$, ובו בזמן סרקו את מוחם באמצעות דימות תהודה מגנטית (MRI - Magnetic Resonance Imaging). הסריקות הראו אלה אזורים במוח היו פעילים כשהמבוגרים ניסו לפתור את הבעיות המתמטיות האלה. החוקרים סרקו את המוחות גם

באמצעות DTI, כדי לראות אם אסופות חומר לבן קשורות לפעילות המוחית. אתם זוכרים שהאסופה המשותפת לשני המחקרים (על הילדים ועל תלמידי התיכון) נקראת SCR? מתברר שחוזק הקשרים באותה האסופה עצמה קשור לפעילות המוחית בזמן פתרון בעיות מתמטיות! החוקרים מצאו שהקשר שבין האסופה הזו ובין פעילות המוח היה חזק במיוחד כאשר הבעיות המתמטיות היו בסיסיות, ואז המשתתפים גם נטו לזכור את התשובות לבעיות. משמעות הדבר היא שגם החומר האפור וגם החומר הלבן פועלים יחד כדי לסייע לנו לזכור עובדות מתמטיות כמו $2+2=4$!

האם אנו יכולים לשנות את הקשרים במוח שלנו?

אתם עשויים לחשוב לעצמכם: אם החומר הלבן קשור לכישורים מתמטיים, האם אנו יכולים לשפר את הקשרים במוח שלנו ולהשתפר במתמטיקה? או האם אנו פשוט נולדים עם קשרים טובים יותר או פחות? המחקרים שציינו כאן הסתכלו על המתמטיקאים (קורלציות) שבין חומר לבן ובין מתמטיקה, אולם אינם יכולים לספר לנו מה מוביל למה; כלומר, אם קשרים מוחיים טובים גורמים לנו להיות מוצלחים במתמטיקה, או אם פיתוח כישורים מתמטיים טובים מחזק את הקשרים במוח שלנו. דרך אחת להסתכל על זה היא לראות אם למידה משפרת את הקשרים בחומר הלבן. אתם עשויים לשמוח לשמוע שהחומר הלבן אכן יכול להתחזק יותר בעקבות תרגול. לדוגמה, חלק מהחוקרים מצאו ששכלול כישורי להטוטנות (ג'אגלינג) מחזק אסופות מסוימות של החומר הלבן! [6]. אימון בקריאה יכול גם הוא לשפר את קשרי החומר הלבן שלכם [7]. אנו חושבים שככל הנראה אותו הדבר קורה כשאנו מתרגלים מתמטיקה. בקיצור, ככל שאתם משתמשים יותר באסופות החומר הלבן כך הן נעשות חזקות יותר. לכן זכרו שכאשר אתם עושים שיעורי בית במתמטיקה אתם למעשה מחזקים את הקשרים במוח שלכם!

מקורות

1. Ansari, D. 2008. Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nat. Rev. Neurosci.* 9:278–91. doi: 10.1038/nrn2334
2. Arsalidou, M., and Taylor, M. J. 2011. Is $2+2=4$? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *Neuroimage* 54:2382–93. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.10.009
3. Van Eimeren, L., Niogi, S. N., McCandliss, B. D., Holloway, I. D., and Ansari, D. 2008. White matter microstructures underlying mathematical abilities in children. *Neuroreport* 19:1117–21. doi: 10.1097/WNR.0b013e328307f5c1
4. Matejko, A. A., Price, G. R., Mazocco, M. M. M., and Ansari, D. 2013. Individual differences in left parietal white matter predict math scores on the Preliminary Scholastic Aptitude Test. *Neuroimage* 66:604–10. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.10.045
5. Van Eimeren, L., Grabner, R. H., Koschutnig, K., Reishofer, G., Ebner, F., and Ansari, D. 2010. Structure-function relationships underlying calculation: a combined diffusion tensor imaging and fMRI study. *Neuroimage* 52:358–63. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.04.001
6. Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E. J., and Johansen-Berg, H. 2009. Training induces changes in white-matter architecture. *Nat. Neurosci.* 12:1370–71. doi: 10.1038/nn.2412

7. Keller, T. A., and Just, M. A. 2009. Altering cortical connectivity: remediation-induced changes in the white matter of poor readers. *Neuron* 64:624–31. doi: 10.1016/j.neuron.2009.10.018

פורסם אונליין: 11 בינואר 2019

נערך על ידי: Robert T. Knight, University of California, Berkeley, USA

ציטוט: Matejko A (2019) כדאי לספור את החומר הלבן: חיבורים במוח מסייעים לנו להשג $2+2$. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2014.00019-he

תורגם והוטאם:

Matejko A (2014) White matter counts: brain connections help us do $2 + 2$. *Front. Young Minds*. 2:19. doi: 10.3389/frym.2014.00019

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

COPYRIGHT © 2014 Matejko. 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 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.

סוקר צעיר

NIKOLA, גיל: 15

אני גר בסרביה. אין לי הרבה מה לספר על עצמי מאחר שאני רק בן 15. אני מתעניין במדע מאחר שאני אוהב מסתורין, ובשבילי תמצית המדע היא שאילת שאלות שאין לנו תשובות עליהן. הדיסציפלינה המדעית שהכי מעניינת אותי היא אסטרונומיה. יש באסטרונומיה כל כך הרבה תיאוריות והשערות שונות שזה באמת עוצר נשימה.

הכותב

ANNA MATEJKO

אני דוקטורנטית באוניברסיטת מערב אונטריו, קנדה. אני חוקרת כיצד ילדים משתמשים במוח שלהם כשהם חושבים על מספרים ומבצעים חישובים כמו $2+2$. אני רוצה לסייע בהבנת הסיבה שבגינה חלק מהילדים כל כך מצליחים במתמטיקה, בעוד שאחרים מתקשים יותר. בזמני הפנוי אני מנגנת על צ'לו, רוכבת על האופניים שלי וצופה בסרטים.



Hebrew version
provided by

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

