

הגודל לא קובע – מה יכול כתב היד ללמד אותנו על המוח?

Naama Kadmon Harpaz*, Tamar Flash

מכון ויצמן למדע, רחובות, ישראל

סוקר צעיר

BEN
גיל: 11



כאשר אתם כותבים על הלוח אתם מבצעים תנועות גדולות יותר מאשר התנועות שמבצעים בעת כתיבה במחברת. למרות זאת האותיות הגדולות שנכתבות על הלוח ייראו דומות מאוד לאותיות הקטנות שכתובות במחברת. איך המוח שלכם יוצר את תנועות הכתיבה השונות האלה? האם המוח עושה שימוש בסדרת פקודות אחת הן עבור הלוח הן עבור המחברת, או שמדובר בפקודות שונות? במאמר זה נציג ניסוי שבו מדדנו את הפעילות המוחית של אנשים בזמן שכתבו אותיות בגדלים שונים, ונדון בקמה שלמדנו מניסוי זה על פקודות המוח אשר יוצרות את התנועות האלה.

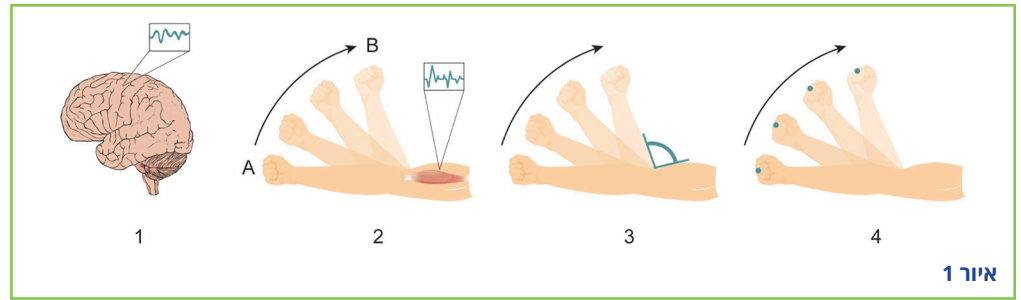
לבני האדם יש טווח תנועות נרחב. אנו הולכים, רוקדים, כותבים, מקלידים, מדברים ועוסקים בסוגי ספורט שונים בלי לחשוב יותר מדי על איך אנחנו נעים. אנו גם יכולים לבצע את אותן פעולות תוך שימוש בתנועות גדולות או קטנות, למשל צעד רחב או קטן, או בתנועות איטיות או מהירות, למשל הקלדת הודעת טקסט כשאתם ממהרים. אבל, איך המוח שולט על תנועות מגוונות אלה?

מציאת קשר בין התנועות ובין פעילות המוח

אפילו תנועה פשוטה כגון נפנוף יד לשלום, מעורבת בשרשרת של תגובות שעוברות דרך אזורים רבים בגוף כולל המוח, השרירים, העצמות והמפְרָקִים (שהם אזורים שבהם שתי עצמות נפגשות). כדי ליצור תנועה המוח שולח אותות לשרירים דרך עצבים במערכת העצבים. השרירים מתכווצים ופועלים יחד עם המפרקים כדי להזיז את העצמות. לבסוף, תנועת

איור 1

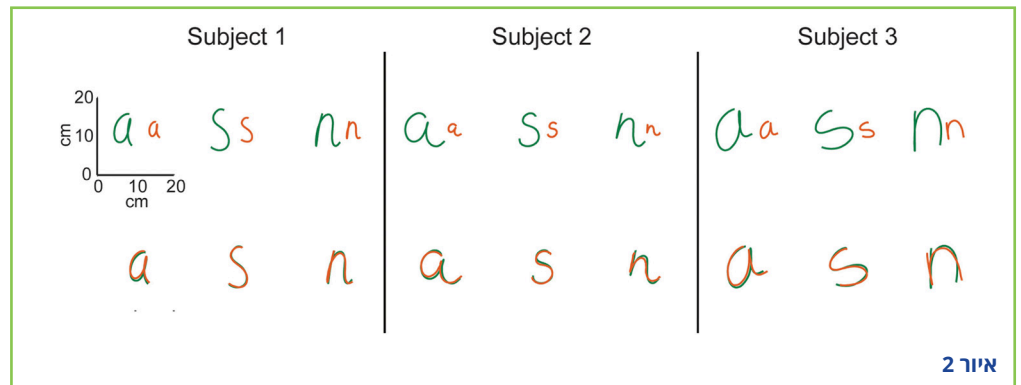
כאשר נוצרת תנועה מועברת שרשרת של תגובות מהמוח שלנו לחלקי גוף מרובים. כאן, תנועה של האמה מנקודה A לנקודה B מתחילה בהפעלת תאים במוח (1) המנחה את השרירים בזרוע העליונה להתכווץ (2), ובכך גורמת לשינוי בזווית מפרק המרפק (3) ולשינוי במיקום הזרוע במרחב (4).



איור 1

איור 2

בשורה העליונה אפשר לראות דוגמאות לאותיות קטנות וגדולות (בערך פי 2), שאותן כתבו 3 משתתפים. הסולם משמאל מראה את גודל האותיות. האותיות הירוקות הן האותיות הגדולות, והאותיות הכתומות הן האותיות הקטנות. בשורה התחתונה הגדלנו את האותיות הקטנות וציירנו אותן על גבי האותיות הגדולות. שימו לב למידת הדמיון בין האותיות.



איור 2

העצמות גורמת לשינוי בעמדת הגוף. איור 1 מראה תנועה של האמה, יחד עם ארבעה סוגים שונים של מדידות שניתן לבצע כדי ללמוד על התנועות: (1) פעילות התאים במוח, (2) פעילות השרירים של הזרוע העליונה הגורמת לאמה לנוע, (3) הזווית במפרק המרפק המחבר את עצמות הזרוע העליונה ואת האמה ו(4) מיקום קצה היד במהלך התנועה. בחינת כל אחד מהמדדים האלה ואופן השינוי בהם במהלך התנועה יכולה לעזור לנו להבין כיצד המוח שולט על פעולותינו.

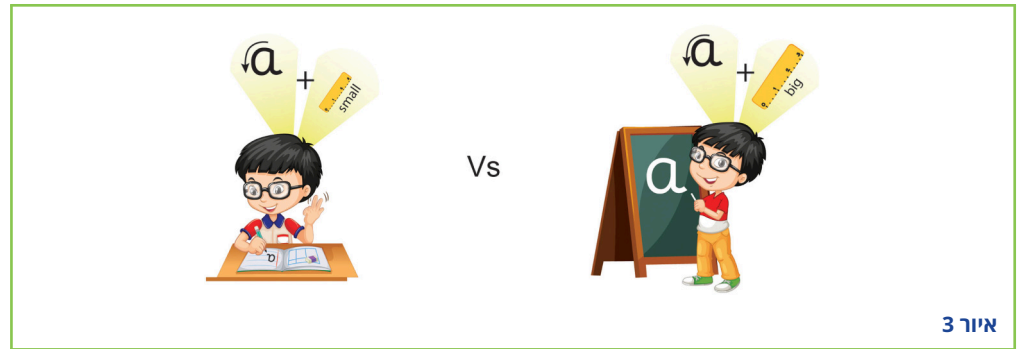
מה יכולות תנועות הכתיבה ללמד אותנו על האופן שבו המוח שולט על התנועות?

דוגמה מעניינת שיכולה לרמז לנו על האופן שבו המוח שלנו יוצר מגוון תנועות מגיעה מחקר כתב היד. מדענים שמו לב שצורת האותיות בכתיבה במחברת או בכתיבה על הלוח היא זהה, אף שהתנועות שבהן אנו משתמשים כדי לכתוב על הלוח גדולות הרבה יותר. על-ידי מדידת מיקום קצה היד במהלך התנועה הם הראו שצורת האותיות נשארת כמעט זהה בלי קשר לגודל האותיות (איור 2). נוסף על כך הזרוע מאיצה או מאטה באופן דומה מאוד במהלך תנועות הכתיבה [1, 2]. דמיון זה נצפה לא רק בתנועות כתיבה בגדלים שונים אלא גם כשמשתמשים בחלקי גוף שונים לכתיבה, למשל כאשר אוחזים בעט בעזרת הרגליים או אפילו בפה! [1, 3].

הסבר אפשרי לדוגמאות אלה הוא שמנגנון אחד במוח אחראי לצורת התנועה, בעוד שמנגנון אחר אחראי לגודל התנועה. במילים אחרות, לא משנה אם אתם כותבים אות קטנה או גדולה, פקודות המוח שקובעות את צורת האותיות יהיו דומות, בעוד שפקודות המוח הקובעות את גודל האותיות יהיו שונות (איור 3). איך נקבע מה מונח ביסוד פעילות המוח?

איור 3

כאשר כותבים את אותה אות בגדלים שונים, צורת האות נשארת דומה. הסבר אפשרי לכך הוא שיש שני מנגנונים שונים במוח, האחד אחראי לצורת התנועה והאחר אחראי לגודל התנועה.



איור 3

דימות תהודה מגנטית (Magnetic resonance imaging, MRI)

סורק דימות תהודה מגנטית נראה כמו מנהרה קטנה, שבתוכה שוכב אדם. הסורק עושה שימוש בשדה מגנטי ובגלי רדיו כדי לצלם את המוח. זוהי שיטה לא פולשנית, כלומר היא מאפשרת לנו לקבל תמונה של המוח מבחוץ, בדומה לצילום רנטגן המאפשר לנו לקבל תמונה של העצמות. השיטה שבה אנו משתמשים כדי למדוד את הפעילות המוחית נקראת fMRI – הדמיה תפקודית של המוח בתהודה מגנטית. שיטה זו מאפשרת לנו לזהות את זרימת הדם לאזורים הפעילים במוח. למשל, כאשר אנו צופים בסרטים אזורים במוח המעורבים בראייה יהיו פעילים, וזרימת הדם אליהם תוגבר. סורק MRI ייתן לנו מדד לזרימת הדם, ואנו יכולים להשתמש במדד זה לבחינת הפעילות המוחית.

החריץ התוך-קודקודי הקדמי

(Anterior intraparietal sulcus)

אזור במוח הממוקם באונה הקודקודית אשר מעורב בתכנון תנועות ובתיאום עין-יד.

האזור המוטורי העיקרי (Primary motor cortex)

אזור במוח הממוקם באונה המצחית אשר מעורב בשליחת פקודות תנועה לשרירים.

מה קורה במוח במהלך תנועות הכתיבה?

כדי לבחון את הרעיון שהמוח עושה שימוש בפקודה דומה לקביעת הצורה של התנועה, ללא קשר לגודל האותיות, ערכנו ניסוי שבו מדדנו את הפעילות המוחית של המשתתפים בזמן שהם כתבו אותיות בגדלים שונים [4]. המשתתפים התבקשו לכתוב שלוש אותיות שונות – a, s, ו-n – בשני גדלים שונים. בזמן שהמשתתפים כתבו את האותיות, סרקנו את המוח שלהם בעזרת **סורק דימות תהודה מגנטית (MRI)** (ראו איור 4A). סורק ה-MRI מודד את פעילות המוח תוך שימוש בשדה מגנטי ובגלי רדיו, ונותן לנו מדד לפעילותם של אזורי מוח שונים.

מצאנו ששני אזורים במוח הופעלו באופן דומה במהלך תנועות הכתיבה בגדלים שונים. אזור אחד, שנקרא **החריץ התוך-קודקודי הקדמי**, ידוע כי מעורב בתכנון התנועה ובתיאום בין העיניים לידיים, למשל כאשר מושיטים את היד לאחוז בכוס מים. האזור השני נקרא **האזור המוטורי העיקרי**, אשר סבורים כי הוא אחת ה"תחנות" הסופיות ששולחות פקודות תנועה לשרירים (איור 4B). העובדה שאזורי מוח אלה הופעלו באופן דומה כשכתבו למשל "a" קטנה ו-"a" גדולה, מעידה על כך שאזורי מוח אלה שולחים פקודות תנועה דומות לגוף כאשר אדם כותב את אותן צורות בגדלים שונים. ומה בנוגע לגודל התנועה? ייתכן והפקודות שקובעות את גודל התנועה מגיעות מאזור אחר במוח, אך איננו יודעים עדיין מהו אזור זה, ואיך בדיוק מאותת המוח על גודל התנועה.

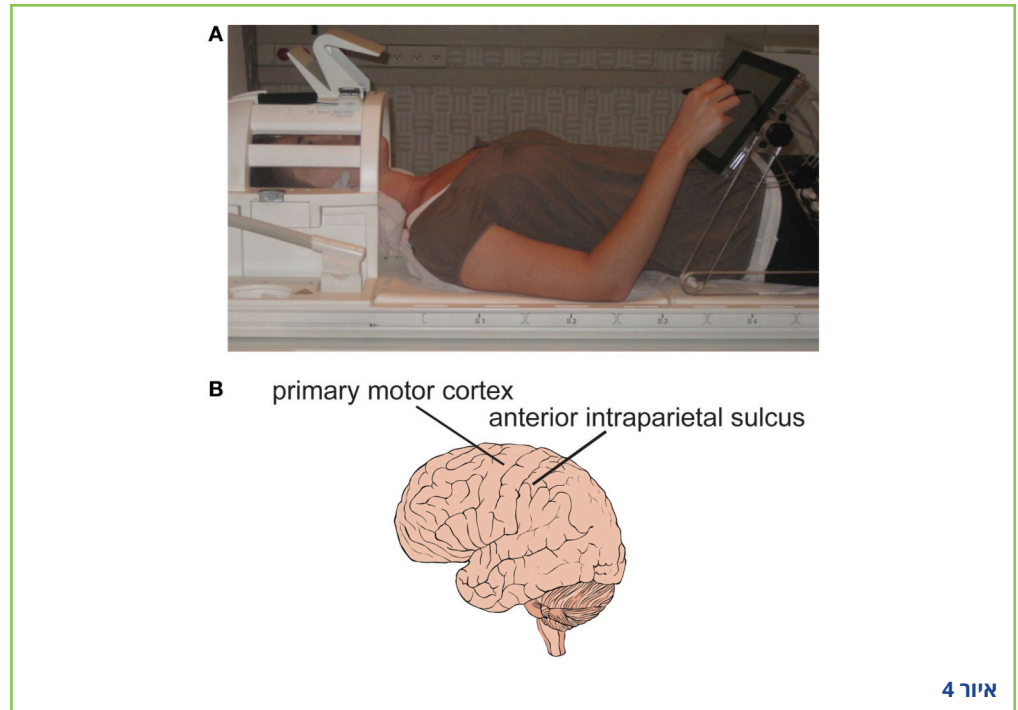
ממצאים אלה עוזרים לנו להבין איך המוח יוצר את כל טווח התנועות של הגוף. למשל, על-ידי שימוש בפקודות שונות כדי ליצור את צורת התנועה וגודלה, איננו צריכים ללמוד מחדש לכתוב את האות "a" כאשר אנו ניגשים ללוח. אמנם זהו חלק קטן בתצורה, אבל אנו יכולים לנסות להשתמש בממצאים אלה כאשר אנו מבצעים תנועות שונות. מה יקרה אם נכתוב בעזרת הזרוע כולה או על-ידי הנעת הגוף כולו? האם אפשר להשתפר בביצוע תנועות ריקוד אם נתרגל אותן על-ידי תנועות קטנות של הגוף בלבד? ללא ספק נחוצים ניסויים נוספים כדי להשיב על שאלות אלה, ואנו מעודדות אתכם לנסות ולגלות זאת בעצמכם!

תודות

אנחנו מודות לד"ר זהר שיינמן שיצרה את האיורים למאמר זה.

איור 4

A. משתתף בניסוי שוכב על מיטת סורק דימות תהודה מנגנטית וכותב על מסך מגע. **B.** איור של המוח. החיצים מצביעים על שני אזורים מסוימים במוח אשר נקראים "האזור המוטורי העיקרי" ו"החריץ הקודקודי הקדמי". שני אזורים אלה הופעלו באופן דומה כאשר המשתתפים כתבו את אותן אותיות בגדלים שונים.
 = Primary motor cortex
 האזור המוטורי העיקרי
 Anterior intraparietal sulcus = החריץ התוך-קודקודי הקדמי.



איור 4

מאמר המקור

Kadmon Harpaz, N., Flash, T., and Dinstein, I. 2014. Scale-invariant movement encoding in the human motor system. *Neuron* 81(2):452–62. doi: 10.1016/j.neuron.2013.10.058

מקורות

1. Wright, C. E. 1990. Generalized motor programs – reexamining claims of effector independence in writing. In: Jeannerod M, editor. *Attention and Performance XIII*. Hillsdale: Erlbaum. p. 294–320.
2. van Galen, G. P., and Teulings, H. L. 1983. The independent monitoring of form and scale factors in handwriting. *Acta Psychol.* 54:9–22. doi: 10.1016/0001-6918(83)90020-3
3. Raibert, M. H. 1977. *Motor Control and Learning by the State-Space Model (Tech. Rep. AI-TR-439)*. Cambridge, MA: Artificial Intelligence Laboratory, MIT.
4. Kadmon Harpaz, N., Flash, T., and Dinstein, I. 2014. Scale-invariant movement encoding in the human motor system. *Neuron* 81:452–62. doi: 10.1016/j.neuron.2013.10.058

פורסם אונליין: 31 בינואר 2019

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

ציטוט: Kadmon Harpaz N and Flash T (2019) הגודל לא קובע – מה יכול כתב היד ללמד אותנו על המוח? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2018.00018-he

תורגם והותאם:

Kadmon Harpaz N and Flash T (2018) Size Doesn't Matter—What Can Handwriting Tell Us About the Brain? Front. Young Minds 6:18. doi: 10.3389/frym.2018.00018

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

COPYRIGHT © Kadmon Harpaz and Flash 2018. 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

BEN, גיל: 11

בן אוהב דינוזאורים. הדינוזאור האהוב עליו הוא פרוזאורולופוס. הוא גם אוהב משחקי וידאו וקריאה. המשחקים האהובים עליו הם טרריה (Terraria) ועולם היורה. הספרים האהובים עליו הם פארק היורה, כל סדרת שר הטבעות, מיינקראפט האי, סדרת 999 של פֶרֶש המשחקים (כל ה־18!), כנפי האש, סדרת מצפן הזהב והספר השני של סדרת ארץ-ים. הוא גם אוהב פילים ומתנגד בכל תוקף לכל סוג של ציד.

הכותבים

NAAMA KADMON HARPAZ

אני חוקרת בתחום מדעי המוח, ומעוניינת להבין איך בני אדם ובעלי חיים אחרים נעים, ומהם המנגנונים במוח ששולטים על תנועות אלה. לכן אני חוקרת את פעילויות תאי המוח, ובוחנת איך פעילויות אלה משתנות במהלך ביצוע פעולה, למשל הושטת הזרוע לכיוון מטרה מסוימת. ההבנה כיצד המוח שולט על התנועה עשויה בסופו של דבר לעזור לנו לגלות מה קורה במחלות מסוימות המשפיעות על היכולת לזוז, כגון מחלת פרקינסון. תוכלו למצוא אותי במעבדתו של פרופ' Bence Ölveczky, שם אני עושה פוסט דוקטורט במרכז למדעי המוח, באוניברסיטת הרווארד. *naamakadmon@gmail.com

TAMAR FLASH

אני פרופ' במחלקה למדעי המחשב ולמתמטיקה שימושית במכון ויצמן למדע, ישראל. את התואר הראשון והשני שלי בפיזיקה קיבלתי מאוניברסיטת תל אביב, ואת תואר הדוקטור שלי בפיזיקה רפואית קיבלתי מ-MIT קמברידג', מְסָצ'אָסְטס. יחד עם הסטודנטים והעמיתים שלי אני מתמקדת במחקר בנושאים אלה: מדעי המוח החישוביים, שליטה מוטורית בבני אדם והפרעות תנועה ושליטה על התנועה במערכות ביולוגיות (למשל תמנון) ובמערכות רובוטיות רפות.



Hebrew version provided by

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

