



האם חשמל יכול לסייע למוחותינו ללמוד מהר יותר?

Rachel Donaldson, Sicong Liu | Lawrence Gregory Appelbaum *

המעבדה לאופטימיזציה של תפקוד האדם, המחלקה לפסיכיאטריה ולמדעי ההתנהגות, בית הספר לרפואה באוניברסיטת דיוק, דרהאם, קרוליינה הצפונית, ארצות הברית

סוקרים צעירים

DILWORTH
MIDDLE
SCHOOL
גיל: 12-14



האם אי פעם חשתם מתוסכלים כשפספסתם קליעה לסל, או כשהציור שלכם התקבל אחרת על הנייר לעומת האופן שבו דמיינתם אותו בראש? נכון שהיה יכול להיות נחמד, לוי הייתה דרך להאיץ את תהליך הלימוד במטרה לסייע למוחותינו ולידינו לעבוד טוב יותר יחד? גם אנשים המתאמנים להיות מנתחים מרגישים כך. לפני שהם מספיק טובים כדי לבצע ניתוחים אמיתיים, עליהם להתאמן על תרגילים שונים בסביבה מדומה שנקראת 'סימולטור'. אימון זה מְדַמָּה ניתוח ומְקַנָּה תחושה של ביצועו, אך אינו מְסַכֵּן את ביטחונם של מטופלים אמיתיים. כיוון שהמוח האנושי משתמש בחשמל כדי לתקשר עם הגוף, בָּחֲנוּ אם נוכל לעזור לאנשים לשפר את ביצועיהם מבחינת מהירות, על ידי הזרמת חשמל למוחותיהם בזמן שהם התאמנו על התרגילים הללו. גילינו שזה עובד! המשמעות היא שחשמל יכול לעזור למוח האנושי ללמוד מהר יותר, במיוחד כשמדובר בכישורים המצריכים תיאום בין העיניים לידיים.

כיצד ניתוחים יכולים לסייע לנו להבין איך לומדים מיומנויות?

רופאים מסייעים לנו להישאר בריאים, ומתקנים את גופינו כאשר משהו משתבש. לפעמים הם בודקים אם אנו חולים, ובפעמים אחרות הם מטפלים באיברים שכואבים לנו, או שנשברו. המשמעות של ניתוח היא שהרופא צריך להיכנס אל תוך הגוף כדי לתקן איבר החבוי תחת העור. ישנו מגוון רחב של סוגי ניתוחים. עבור חלק מהניתוחים יש לבצע חתכים גדולים בעור, ואילו ניתוחים אחרים מצריכים חתכים קטנים שדרכם מכניסים מצלמה וכלי ניתוח שונים אל תוך הפתח. ניתוחים מסוג זה נקראים **ניתוחים לפרוסקופיים (איור 1A)**, והם יעילים מאוד, כיוון שהחולים יכולים להתאושש הרבה יותר מהר מחתכים קטנים שבוצעו בגופיהם מאשר מחתכים גדולים.

ניתוח לפרוסקופי (Laparoscopic Surgery)

ניתוח שבו מכניסים מצלמה זעירה וכלי ניתוח זעירים אל תוך גופו של חולה דרך חתכים קטנים המבוצעים בעור.

איור 1

ניתוח לפרוסקופי וההכנה לקראתו. (A) ניתוח

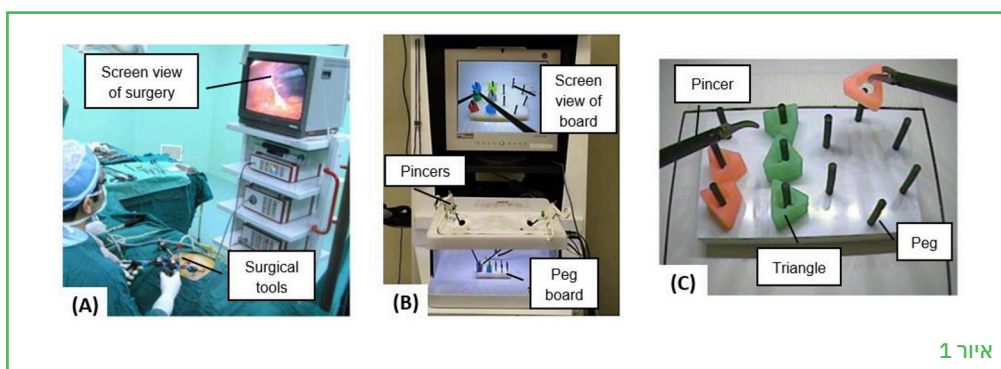
לפרוסקופי. המסך מציג את מה שהמצלמה קולטת בתוך הגוף. מקרא (משמאל לימין): מסך המציג את הניתוח – כלי ניתוח. (B) משימת העברת היתד, שעליה רופאים מתאמנים כדי להתכונן לניתוחים לפרוסקופיים. מקרא (משמאל לימין): מצבטים – מסך המציג את הלוח – לוח היתדות. (C) תמונה נוספת של משימת העברת היתד. מקרא (משמאל לימין): מצבטיים – משולש – יתד.

תיאום עין-יד (Eye-hand Coordination)

היכולת לבצע פעולות הדורשות שימוש בו-זמני של ראייה המנחה את תנועות הידיים.

סימולטור (Simulator)

מתקן המאפשר לאנשים להתאמן על פעילות מסובכת בדרך המדמה את המציאות, כמו ניתוח, נהיגה ברכב או הקטת מטוס.



איור 1

אם אי פעם השחלתם חוט לתוך קוף של מחט, או ציירתם דיוקן, אתם ודאי יכולים להבין עד כמה קשה לגרום לידיים שלנו לעשות בדיוק מה שהמוח רוצה שיעשו. ניתוח הוא משימה מאתגרת באותה מידה, משום שהוא מצריך רמה גבוהה מאוד של תיאום בין מה שהרופאים רואים למה שידיהם מבצעות (מכונה **תיאום עין-יד**). ניתוח הוא משימה קשה גם משום שטעויות קטנות מצד המנתחים עלולות להוביל לבעיות גדולות עבור המטופלים. מסיבות אלה, רופאים חייבים להתאמן לפני שהם יכולים לנתח מטופלים אמיתיים, כפי שאתם אולי התאמתם בשלב ראשון ברכיבה על אופניים עם גלגלי עֶזָר כדי שלא להיפצע. הואיל וניתוחים מצריכים שימוש בכישורים שאנו נתקלים בהם בחיי היומיום, ביכולתנו להיעזר בתחום זה כדי להבין איך אפשר ללמוד לבצע דברים חדשים.

כיצד רופאים מתאמנים?

כְּשֶׁם שאתם מתאמנים על תרגילים מסוימים כדי להשתפר בספורט, רופאים מבלים זמן רב באימונים על תרגילים ב**סימולטור**, במטרה להשתפר בניתוחים. סימולטור של ניתוחים הוא מתקן שבו הרופאים משתמשים כדי להרגיש כאילו הם מנתחים באמת, אך אין שָׁם גוף אמיתי של אדם. אחד התרגילים שעליו רופאים עשויים להתאמן בסימולטור נקרא משימת העֶבְרַת הִיתָד (איור 1B, C). מטרת התרגיל הזה היא להשתמש במצבטים כדי להזיז שישה משולשים קטנים מיתד אחת ליתד אחרת. משימה זו מלמדת את המנתחים איך להזיז דברים במהירות, בעזרת אותם הכלים שבהם נעשה שימוש בניתוח אמיתי.

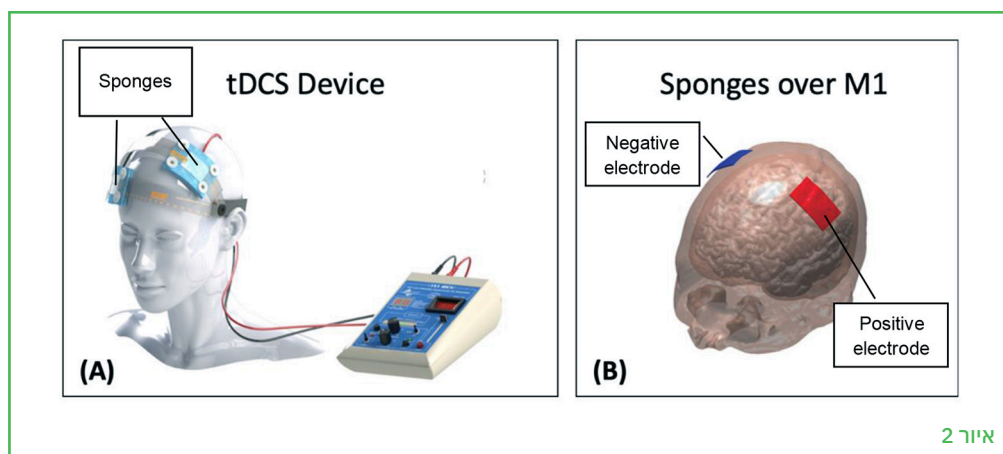
רופאים יודעים שהם התאמנו מספיק, כשהם עוברים מבחן מאתגר הדורש מהם לבצע את התרגילים שעליהם התאמנו, כמו משימת העברת היתד, או משימות אחרות כגון קשירת

קשרים או חיתוך צורות. כדי לעבור את המבחן, הרופאים צריכים להיות מהירים מאוד ואסור להם לטעות. המבחן הוא שלב חשוב, כיוון שהוכח כי רופאים שמצליחים יותר במבחן, מנתחים את המטופלים שלהם בצורה טובה יותר [1].

האם חשמל יכול לסייע לנו ללמוד כישורים חדשים במהירות רבה יותר?

כולנו יודעים כי אנו משתמשים בחשמל מדי יום כדי להפעיל את הטלוויזיה או להדליק את האור, אבל ייתכן שאינכם יודעים כי גם בתוך הגוף יש חשמל. מוח האדם מורכב מהרבה תאים זעירים הנקראים **תאי עצב**. תאים אלה שונים מרוב התאים באיברים אחרים בגוף, משום שהם יכולים להשתמש בחשמל כדי לתקשר זה עם זה. תאי העצב מסייעים לנו לבצע משימות כמו לדבר, לנשום ולראות. קבוצה מיוחדת של תאי עצב מסייעת לנו להזיז את הגוף, ומכונה **האזור המוטורי העיקרי**, או בקיצור M1. ללא ה-M1 שלכם, לא הייתם יכולים להזיז את ידיכם כדי להכין כריך, או להניע את רגליכם כדי לרוץ. רופאים משתמשים באזורי ה-M1 שלהם כשהם מזיזים את ידיהם בזמן הניתוח.

כיוון שבאזור ה-M1 נעשה שימוש בחשמל כדי להורות לגוף כיצד לזוז, הגיוני כי תוספת של חשמל לאזור זה עשויה לסייע לאנשים ללמוד כישורים חדשים המצריכים תנועה. אחת הדרכים שבה מדענים יכולים לעשות זאת היא **גרייה מוחית בזרם ישר (tDCS) (איור 2)**. גירוי זה עובר ישירות דרך הגולגולת.



בגרייה מוחית בזרם ישר, מזרימים כמויות זעירות של חשמל למוח דרך ספוגים רטובים הצמודים לראש [2]. יש צורך בשני ספוגים כדי להכווין את זרם החשמל; החשמל זורם מהספוג בעל המטען החשמלי השלילי אל הספוג בעל המטען החשמלי החיובי, ועובר דרך המוח בין שני הספוגים. הגרייה המוחית אינה מכאיבה – היא גורמת לתחושה של עקצוץ קל. למרות שבתהליך זה נעשה שימוש בזרם חשמלי חלש בלבד, חלק ממנו מגיע לתאי העצב, ועוזר להם 'לדבר' זה עם זה. כאשר התקשורת בין תאי העצב הופכת קלה יותר, הגרייה המוחית יכולה לסייע למוח לרכוש כישורים חדשים⁴.

תא-עצב (Neuron)

תא ייעודי הנושא אותות חשמליים. מכונה גם נוירון.

האזור המוטורי העיקרי (Primary Motor Cortex)

החלק במוח שמקושר באופן הישיר ביותר לשרירים. זהו גם מקור עיקרי של שליטה בתנועות הגוף. מכונה בקיצור M1.

גרייה מוחית בזרם ישר (Transcranial Direct Current Stimulation [tDCS])

הזרמה של חשמל אל המוח כדי לעזור לתאי העצב לתקשר זה עם זה בקלות רבה יותר.

איור 2

(A) גרייה מוחית בזרם ישר. מכשיר גרייה מוחית בזרם ישר (tDCS Device) עם ספוגים (Sponges). כמויות זעירות של חשמל זורמות דרך המוח, מהספוג השלילי אל הספוג החיובי. **(B)** תמונה של ראש הפונה אל הפינה השמאלית התחתונה של המסגרת, המציגה את המוח בתוך הגולגולת, כאשר מחוץ לגולגולת יש ספוג חיובי (אדום) ושלילי (כחול), מעל לאזור M1. מקרא (משמאל לימין): ספוגים על אזור M1 – מוליך חשמל (אלקטרודה) שלילי – מוליך חשמל חיובי.

⁴אזהרה: אל תנסו זאת בבית! גרייה מוחית תמיד מתבצעת בתנאי מעבדה מבוקרים, כדי לוודא שלא נגרם נזק עקב השימוש בחשמל.

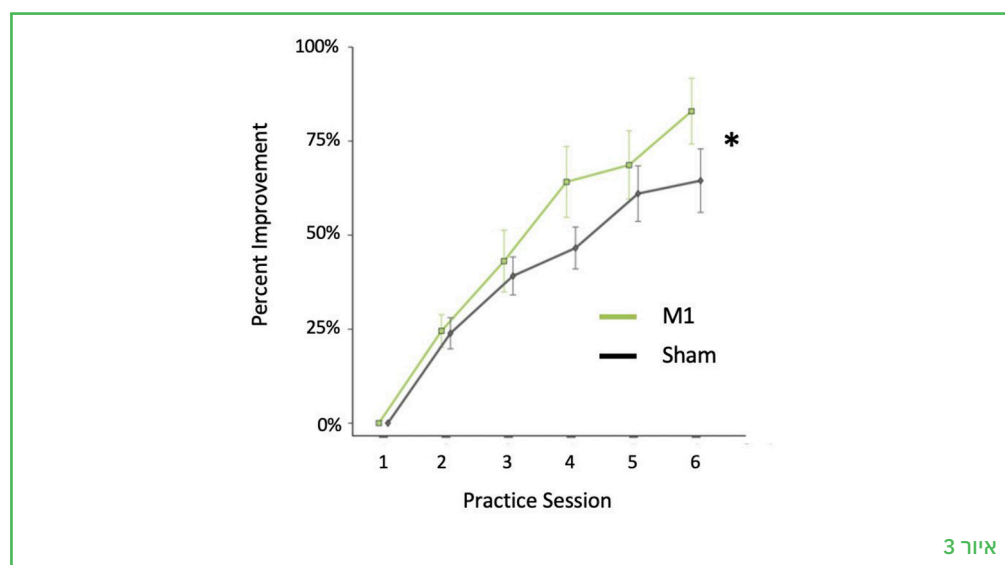
האם גרייה מוחית בזרם ישר יכולה לעזור לנו להיות טובים יותר ומהירים יותר?

אולי תהיתם אם גרייה מוחית בזרם ישר יכולה לשפר את כושר השימוש שלנו בידיים כדי לשחק במשחקי וידיאו, או לנגן בפסנתר. ניסויים קודמים הראו כי ניתן להשתמש בגרייה מוחית בזרם ישר כדי להאיץ למידה של משימות הדורשות שימוש ביד אחת [3], אך אנו החלטנו לבדוק אם גרייה מוחית יכולה לעזור להאיץ למידה גם עבור שתי ידיים. בדקנו זאת על ידי הזרמת חשמל למוחותיהם של אנשים בזמן שהם התאמנו על משימת העברת היתד בסימולטור הניתוחים. שעה שהם התאמנו, בדקנו כמה מהר הם מזיזים את המשולשים, וכמה טעויות הם ביצעו. אצל כולם הונחו ספוגים על אזור ה-M1, כפי שרואים באיור 2B. קבוצה אחת של משתתפים התאמנה כשזרם החשמל כוון לרמה נמוכה, כך שהם בקושי יכלו להרגיש זאת. הקבוצה האחרת התאמנה ללא זרם חשמל. שיטה זו מכונה הדמיית תרמית, מלשון 'רמאות'. היא נקראת כך, משום שהמשתתפים אינם יכולים לדעת שזרם החשמל כבוי, למרות שכך הדבר. קבוצת הדמיית התרמית מסייעת לנו להבין כמה מהר אנשים לומדים ללא עזרת החשמל. כך יש לנו עמדת מוצא, שבעזרתה אנו יכולים לשפוט אם הוספת החשמל אכן תורמת ללמידה.

מצאנו כי חברי הקבוצה שהתאמנה עם הזרמת חשמל ל-M1 שלהם למדו מהר יותר, וקיבלו ציונים גבוהים יותר מאשר חברי קבוצת התרמית (הביקורת) (איור 3). ממצא זה מצביע על כך שהאנשים שהתאמנו עם חשמל השתפרו מהר יותר מאשר אלה שהתאמנו ללא חשמל.

איור 3

חשמל יכול לסייע ללמידה.
הקו הירוק מייצג את קבוצת M1, שהתאמנה עם תוספת של זרם חשמלי. הקו השחור מייצג את קבוצת התרמית, שהתאמנה ללא חשמל. כפי שניתן לראות, עקומת הקו הירוק עולה גבוה ומהר יותר, מה שמצביע על העובדה שהחשמל סייע לאנשים ללמוד בצורה טובה יותר. הקווים האנכיים הדקים בכל נקודת מידע נקראים 'קווי טעויות', והם מראים שקיים חוסר ודאות מסוים בנתונים, שאי אפשר להימנע ממנו. הכוכבית (*) מצביעה על כך שיש הבדל משמעותי בין נתוני M1 ובין התרמית. מקרא – במאונך: אחוזי שיפור (Percent Improvement); אופקי: מספר אימונים (Practice Session).



איור 3

מדוע המחקר הזה חשוב?

תוצאות המחקר שערכנו מלמדות אותנו כי הוספת חשמל למוח יכולה לסייע לאנשים לרכוש מיומנויות עין-יד מהר יותר. אפשר להשתמש בממצא זה כדי לסייע לרופאים כשהם מתאמנים עבור הסמכתם כמנתחים, או כדי לעזור לאנשים לרכוש כישורים מסוגים אחרים. כיוון שתיאום חשוב לפעילויות כמו ספורט, מוזיקה ומשחקי וידיאו, ייתכן כי הוספת חשמל למוח תוכל לזרז אף את הלמידה של מיומנויות אלה. טכניקת הגרייה המוחית בזרם ישר

עשויה גם לעזור בסוגים אחרים של למידה, כמו פתרון בעיות או זיכרון, אך אנו זקוקים למחקרים נוספים כדי להבין אם הדבר נכון. לכן, עקבו אחרינו כדי לגלות בדיוק אילו סוגי למידה ניתן לשפר כשמוסיפים כמויות זעירות של חשמל למוח!

מימון

כתמיכה להכנת מאמר זה ניתן לכותבים פרס המשרד למחקר של צבא ארצות הברית (W911NF-15-1-0390).

מאמר המקור

Cox, M. L., Deng, Z.-D., Palmer, H., Beynel, L., Watts, A., Young, J. R., et al. 2020. Utilizing transcranial direct current stimulation to enhance laparoscopic technical skills training: a randomized controlled trial. *Brain Stimulat.* 13:863–72. doi: 10.1016/j.brs.2020.03.009

מקורות

1. McGaghie, W. C., Issenberg, S. B., Cohen, E. R., Barsuk, J. H., and Wayne, D. B. 2011. Medical education featuring mastery learning with deliberate practice can lead to better health for individuals and populations. *Acad. Med.* 86:e8–9, doi: 10.1097/ACM.0b013e3182308d37(2011)
2. Berg, M., Morrow, A., and Hout, M. 2019. Wake up, brain!: using electricity to think and feel differently. *Front. Young Minds.* 7:62. doi: 10.3389/frym.2019.00062
3. Reis, J., Schambra, H. M., Cohen, L. G., Buch, E. R., Fritsch, B., Zarahn, E., et al. 2009. Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106:1590e5. doi: 10.1073/pnas.0805413106

פורסם אונליין: 30 בינואר 2025

נערך על ידי: Mubarak H. Syed

מנחים מדעיים: Taissa Lytchenko

ציטוט: Donaldson R, Liu S | Appelbaum LG (2025) האם חשמל יכול לסייע למוחותינו ללמוד מהר יותר? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2022.767519-he

תורגם והותאם מ: Donaldson R, Liu S and Appelbaum LG (2022) Can Electricity Help Our Brains Learn Faster? *Front. Young Minds* 10:767519. doi: 10.3389/frym.2022.767519

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

זכויות יוצרים © Donaldson, Liu | Appelbaum 2025. 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.

סוקרים צעירים

12-14 גיל: DILWORTH MIDDLE SCHOOL

המאמר נסקר על ידי גב' Ellis ותלמידי המדעים הנפלאים שלה בכיתה ח בחטיבת הביניים דילוורת' בעיר ספארקס שבמדינת נבאדה. התלמידים היו מרותקים מכך שחשמל יכול להאיץ את הלמידה שלנו. בסקר שנערך בכיתה, התלמידים נשאלו אם היו רוצים להשתמש במכשיר כזה באופן קבוע, לו היו יכולים; 11 תלמידים ענו בחיוב, ו-6 ענו בשלילה. הם הסכימו שהטכנולוגיה הזו מגניבה מכדי לוותר עליה!

הכותבים

RACHEL DONALDSON

Rachel Donaldson היא בוגרת אוניברסיטת דיוקן משנת 2020. למדה בחוג למדעי המוח, סיימה את התואר בהצטיינות והייתה סגנית הנשיא של איגוד תלמידי החוג למדעי המוח.

SICONG LIU

דוקטור Sicong Liu הוא עמית מחקר בבית הספר 'אנברג' לתקשורת שבאוניברסיטת פנסילבניה. הוא בעל תואר דוקטור בפסיכולוגיה של ספורט והתעמלות, ותואר שני במדידה וסטטיסטיקה מאוניברסיטת מדינת פלורידה.

LAWRENCE GREGORY APPELBAUM

דוקטור Lawrence Gregory Appelbaum הוא פרופסור באוניברסיטת קליפורניה, סן דייגו, שם הוא עומד בראש מעבדת אופטילאב (OptiLab). זוהי מעבדה למדעי הקוגניציה והמוח המיועדת למחקר גישות להאצת תהליכי למידה ולשיפור ביצועים. *lg.appelbaum@gmail.com

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



קרן משפחת
שעשוע
Shashua Family Foundation