

מדידת גלי מוח בכיתה

Nienke van Atteveldt^{1*}, Tieme W. P. Janssen¹, Ido Davidesco²

¹הפקולטה למדעי ההתנהגות והתנועה, המחלקה לפסיכולוגיה התפתחותית קלינית ומכון Learn!, האוניברסיטה החופשית של אמסטרדם, אמסטרדם, הולנד

²המחלקה לפסיכולוגיה חינוכית, אוניברסיטת קונטיקט, סטורס, קונטיקט, ארצות הברית

סוקרים צעירים

THE SCHOOL
FOR SCIENCE
AND MATH AT
VANDERBILT



גיל: 14-15

גלי מוח

(Brain Waves)

מעגלים של זרמים חשמליים שמוצרים על ידי קבוצות של תאי עצב שהן פעילות באותו הזמן.

תאי עצב

(Neurons)

תאים במוחכם שמתקשרים זה עם זה באמצעות העברת אותות חשמליים.

חוקרי מוח נוהגים לחקור את הפעילויות של המוח רק במעבדות מיוחדות באוניברסיטאות או בבתי חולים. לאחרונה, חוקרים התחילו להשתמש במכשירים ניידים שאותם אנשים יכולים לחבוש על ראשיהם מחוץ למעבדה. לדוגמה, המכשירים האלה מאפשרים לחוקרים למדוד את הפעילות המוחית של תלמידים בכיתה בזמן שהם נמצאים בבית הספר. זה נשמע עתידי, ואולי זה גם קצת מרתיע. במאמר זה נסביר מה מכשירים כאלה מודדים ומה אינם מודדים – לדוגמה, הם לא יכולים לקרוא את מחשבותיכם! אנו גם נסביר כיצד סוג המחקר הזה עשוי להיות שימושי לכם ולחברי כיתתכם.

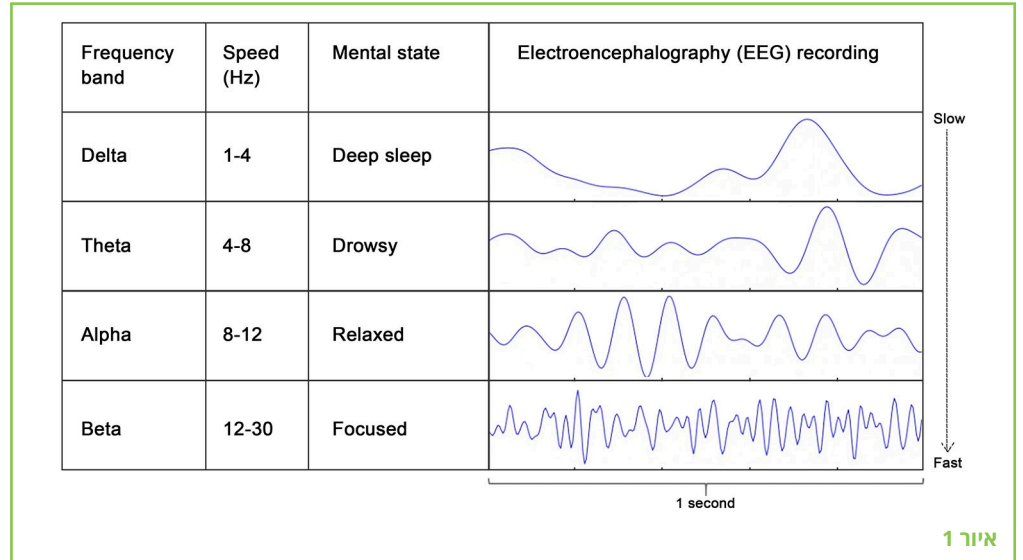
האם אי פעם שמעתם על **גלי מוח**, ואולי תהיתם מה הם? במאמר זה נסביר מהם גלי מוח, כיצד אפשר למדוד אותם במעבדה ובכיתה, ומדוע מעניין למדוד אותם.

אלקטרואנצפלוגרפיה: מדידת פעילות חשמלית במוח

התאים במוחכם נקראים **תאי עצב** (ניורונים), ומוחכם מכיל 86 מיליארד מהם בקירוב. תאי העצב האלה פטפטנים מאוד, ממש כמו תלמידים בכיתה. במקום להשתמש במילים, תאי

איור 1

תחום תדרים של אלקטרואנצפולוגרפיה, מאיטיים למהירים, והאופן שבו הם קשורים למצב המנטלי. תדר גלי המוח נמדד בהרץ (Hz), שזה מספר הגלים שמתרחשים בשנייה.



אלקטרואנצפולוגרפיה (EEG)

שיטה שבה חיישנים קטנים, שנקראים אלקטרודות, ממוקמים על קרקפתו של אדם באמצעות קסדה או אוזניות. אלקטרואנצפולוגרפיה מודדת פעילות חשמלית של קבוצות תאי עצב שמעבירות אותות חשמליים דומים באותו הזמן.

אלקטרודה (Electrode)

חיישן שממוקם על הקרקפת, ומשמש באלקטרואנצפולוגרפיה כדי לרשום את הזרמים החשמליים שמוצרים על ידי תאי עצב במוח.

תדר (Frequency)

מהירות של גל מוח; מספר הפעמים שגל מוח עולה ויורד בשנייה אחת. יחידת התדר היא הרץ (Hz); הרץ אחד הוא מחזור אחד בשנייה.

תחום תדרים (Frequency Band)

טווח של תדרים מוחיים שמקושרים עם מצבים מנטליים מסוימים. לדוגמה, תדרים בטווח של 1-4 הרץ נקראים תחום דלתא, ותחום זה מקושר עם שינה עמוקה.

עצב מתקשרים באמצעות אותות חשמליים זעירים שהם מייצרים. האותות האלה עולים ויורדים באינטנסיביות שלהם, בדומה לגלים: אלה גלי המוח שלכם. אנו יכולים למדוד גלי מוח באמצעות שיטה שידועה כ**אלקטרואנצפולוגרפיה (EEG)**, שבה חיישנים קטנים, שנקראים **אלקטרודות**, ממוקמים על ראשו של האדם [1]. בדרך כלל, כל האלקטרודות האלה (עד ל-256!) מוחזקות במקום על ידי כיסוי לראש, אף על פי שלאחרונה פותחו מכשירים ניידים שמתמשים בפחות אלקטרודות ומגיעים בצורת אוזניות ויקרתיות. אלקטרואנצפולוגרפיה לא יכולה למדוד פעילות חשמלית של תאים בודדים במוח מאחר שהזרמים החשמליים שתא עצב אחד מייצר קטנים מדי. הזרמים האלה יכולים להימדד רק כשהרבה תאי עצב מעבירים אותות דומים באותו הזמן. דמיינו פסטיבל מוזיקלי עם אלפי אנשים. כאשר רק אדם אחד מוחא כפיים הלהקה שעל הבמה לא תשמע אותו, אולם כשכל הקהל מוחא כפיים באותו הזמן, היא ודאי תשמע.

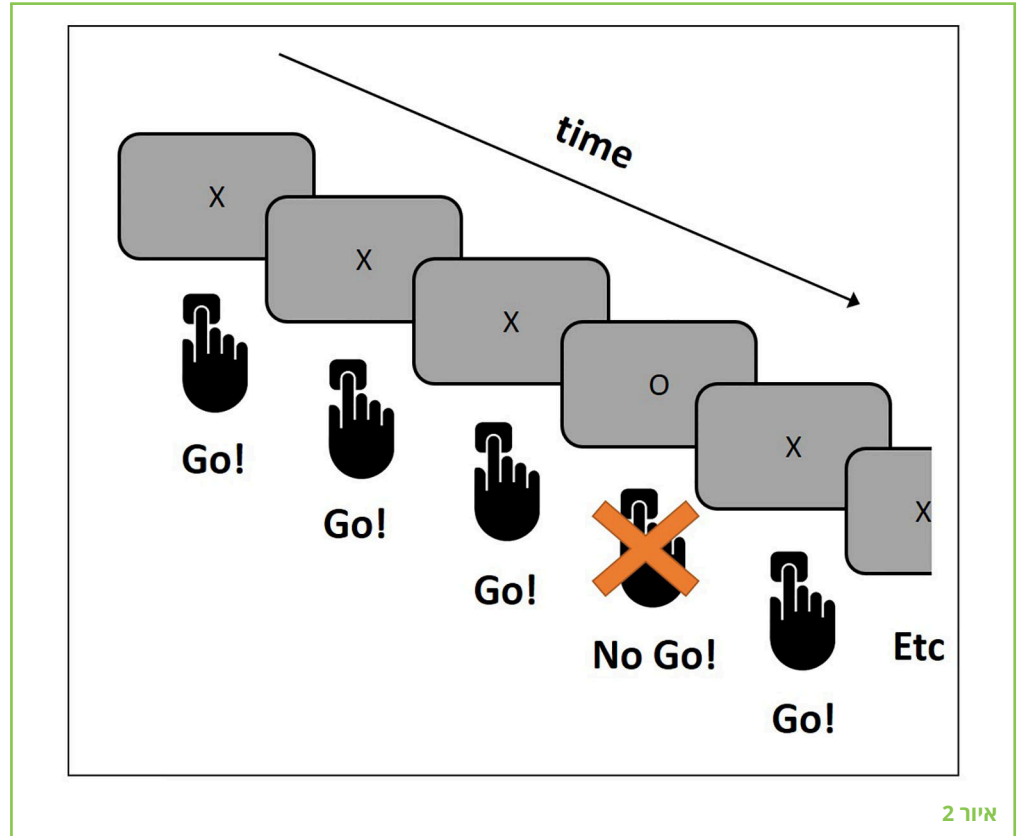
גלי מוח: איטיים ומהירים

גלי מוח שונים במהירותם. אתם יכולים לחשוב על גלי מוח איטיים כמו גלים גדולים באוקיינוס, שמזיזים ספינה למעלה ולמטה, ועל גלי מוח מהירים כאדוות קטנות על פני השטח של המים. כאשר אנו משתמשים באלקטרואנצפולוגרפיה אנו מקבלים שילוב של גלי מוח מהירים ואיטיים שמתקיימים באותו הזמן.

אם כן, מדוע זה מעניין? דמיינו שעכשיו מוקדם בבוקר, ואתם חצי ערים וחצי ישנים. אם היינו מודדים את גלי המוח שלכם באמצעות אלקטרואנצפולוגרפיה באותו הרגע, היינו רואים גלי מוח איטיים יחסית. כעת, דמיינו שאתם נבחנים בבית הספר, ומתמקדים במבחן באופן אינטנסיבי. בסיטואציה הזו, אנו עשויים ל**אָתֵר** גלי מוח מהירים יותר. הדוגמאות האלה מראות שמהירות גלי המוח קשורה למצב שבו אתם נמצאים. מהירות גלי המוח נקראת **תָדֵר**. אנו יכולים לזהות טווחי תדרים שונים באמצעות אלקטרואנצפולוגרפיה. לדוגמה, טווח דלתא מתייחס לגלי מוח איטיים יחסית שעולים ויורדים 1-4 פעמים בשנייה, או בתדר של 1-4 הרץ, שהיא יחידה של תדר. איור 1 מציג מבט כללי על טווחי תדרים (נקראים גם **תחום תדרים**), וכיצד הם מקושרים למצב המנטלי שלכם.

איור 2

מטלת Go/No-Go. האותיות O ו-X מופיעות על מסך, אחת בכל פעם. המשתתפים מתבקשים ללחוץ על הכפתור כמה שיותר מהר כשהם רואים את ה-X, ולא ללחוץ על הכפתור כשהם רואים O. ה-X מופיעה לעיתים קרובות מאוד וה-O רק לעיתים רחוקות. זה מקשה על היכולת לעצור את הדחף ללחוץ על הכפתור כאשר ה-O מופיעה על המסך.



איור 2

מעבר ללאט ולמהר: פוטנציאלים קשורי-אירוע

אף על פי שתחומי תדר של אלקטרואנצפולוגריהם מעניינים מאוד, לא על כל השאלות אפשר לענות על ידי בחינתם. לדוגמה, מה אם הייתם רוצים לדעת כיצד המוח מבין את המילים שאתם שומעים, או כיצד הוא שולט בדחפים כמו למשל לא להרביץ לאחותכם אם היא משגעת אתכם? עבור שאלות כאלה, חוקרים מנתחים גלי מוח בדרך אחרת: על ידי חישוב **פוטנציאל קשור-אירוע (ERP)**. פוטנציאלים קשורי אירוע הם תגובות מוחיות חשמליות לאירועים מסוימים, כמו למשל קריאה של מילה או שליטה בדחף. בשיטת פוטנציאל קשור-אירוע, נבחנים חלקי אות האלקטרואנצפולוגרפיה שנגרמים על ידי האירועים המסוימים האלה. כדי להשתמש בשיטה הזו, אלקטרואנצפולוגרפיה נרשמת בזמן שהמשתתף מבצע מטלה ממוחשבת שעוצבה במיוחד כדי לחקור תפקוד מסוים של המוח, כמו למשל שליטה בדחפים.

הנה תיאור של מטלת שכזו, הנקראת "Go/No-Go" (איור 2). אותיות שונות מופיעות על המסך, אחת אחרי השנייה. "X" משמעותו תלחצו על הכפתור (Go!), ו-"O" משמעותו אל תלחצו על הכפתור (No Go!). ה-"X" במטלה הזו מוצג לעיתים הרבה יותר קרובות מה-"O", ולכן משתתפים באופן אוטומטי מתכוונים להגיב מתי שאות מופיעה על המסך – אפילו כשהיא "O". המשתתפים צריכים לשלוט בדחף שלהם ללחוץ על הכפתור במקרה של "O". כאשר המטלה מסתיימת החוקרים בוחנים את רישומי האלקטרואנצפולוגרפיה במהלך הופעות ה-Xים וה-Oים על המסך. האם אתם יכולים לנחש באלו אותיות הם הכי מתעניינים?

פוטנציאל קשור-אירוע (ERP)

נמדד באמצעות אלקטרואנצפולוגרפיה. פוטנציאלים קשורי אירוע הם התגובות החשמליות במוח לאירועים מסוימים, כמו למשל שמיעת צליל או קריאת מילה. בשיטת הפוטנציאל קשור-אירוע, משתתפים מבצעים מטלה ממוחשבת שבה האירוע המעניין המסוים לעיתים קרובות חוזר על עצמו. חלקי אות האלקטרואנצפולוגרפיה שנגרם על ידי האירועים האלה ממוצעים יחד. המיצוע הזה גורם לפעילות מוחית אקראית להיות ממוצעת החוצה, ולחלקים הרלוונטיים של האלקטרואנצפולוגרפיה להישאר; זהו הפוטנציאל קשור-אירוע.

חוקרים הכי מתעניינים בתגובת אלקטרואנצפלוגרפיה ל-“O”, מאחר שזה הזמן שבו המשתתפים צריכים לשלוט בדחף שלהם ללחוץ על הכפתור. כדי לבחון את תגובת המוח ל-“O”-ים, החוקר מבודד את תגובת האלקטרואנצפלוגרפיה לכל הופעה של “O” וממַצֵּע את כל התגובות האלה יחד. הממוצע של תגובת האלקטרואנצפלוגרפיה לאירוע המסוים הזה היא הפוטנציאל קשור-אירוע, והוא משקף את נסיונו של המוח לשלוט בדחף. אתם יכולים לחשוב על התהליך של חישוב הפוטנציאל קשור-אירוע כמסננת שמסננת פיסות של אותות אלקטרואנצפלוגרפיה שאינן מעניינות, ומשאירה רק את האותות שהחוקרים הכי מתעניינים בהם.

המגבלות של ניסוי מעבדה

מדענים למדו הרבה מאוד על האופן שבו המוח פועל באמצעות ביצוע אלקטרואנצפלוגרפיה וניסויי פוטנציאל קשור-אירוע במעבדות. כשאנו עושים ניסויים כאלה אנו בדרך כלל מודדים פעילות מוחית בזמן שאנשים מבצעים מטלות ממוחשבות. מטלות כאלה מעוצבות במטרה למדוד תפקוד מוחי מסוים, כמו למשל קריאת מילים, ביצוע אריתמטיקה, או שליטה בדחפים. בדרך כלל, מטלות מעבדה כאלה די שונות מדברים שאנו עושים בחיי היומיום שלנו.

לדוגמה, חשבו על המטלה עם “א”-ים שכיחים ו”O”-ים נדירים שמשמשת לחקור שליטה בדחפים. האם זה אותו הדבר כמו שליטה בדחפים שלכם כדי לזוז בחלל או לדבר עם תלמיד אחר בזמן שהמורים שלכם מדברים? במעבדת אלקטרואנצפלוגרפיה, הייתם יושבים לבד, בחדר שקט, מבצעים מטלה כמו לחיצה על כפתורים ומדי פעם מנסים שלא ללחוץ על כפתור. ניסוי המעבדה הזה יכול להגיד לנו דברים מסוימים על האופן שבו המוח שולט בדחפים, אולם מה זה אומר לנו על האופן שבו ילדים מתמודדים עם דחפים בבית הספר? זוהי מגבלה של ניסוי מעבדה: הם מודדים פעילות מוחית במצבים די לא טבעיים [2].

שימוש באלקטרואנצפלוגרפיה נייד בכיתה

היבט אחר של התנהגות אנושית שקשה לחקור במעבדה הוא האופן שבו אנשים מתקשרים זה עם זה, לדוגמה, האופן שבו תלמידים מתקשרים בבית הספר. ניסוי מעבדות מוגבלים ביותר במענה על השאלה הזו, אולם פיתוחים חדשים באלקטרואנצפלוגרפיה נייד מאפשרים למדענים לערוך מחקרי מוח מחוץ למעבדה.

זה בדיוק מה שקבוצת חוקרים באוניברסיטת ניו-יורק עשו לאחרונה [3]. הם חברו לבית ספר תיכון מקומי ומדדו את הפעילות המוחית של מורה ושל קבוצת תלמידים במהלך 11 שיעורי ביולוגיה (איור 3A). בכל שיעור, התלמידים השתתפו בפעילויות למידה שונות, כמו למשל הרצאות, קטעי וידיאו לימודיים ודיונים קבוצתיים. החוקרים מצאו שבמהלך פעילויות הכיתה האלה, גלי המוח של תלמידים היו **מסונכרנים**. במילים אחרות, גלי המוח עלו וירדו יחד, בתיאום. אפילו מעניין יותר מכך, תלמידים שדיווחו על היותם מעורבים יותר בכיתה, היו מסונכרנים יותר עם תלמידים אחרים (איור 3B).

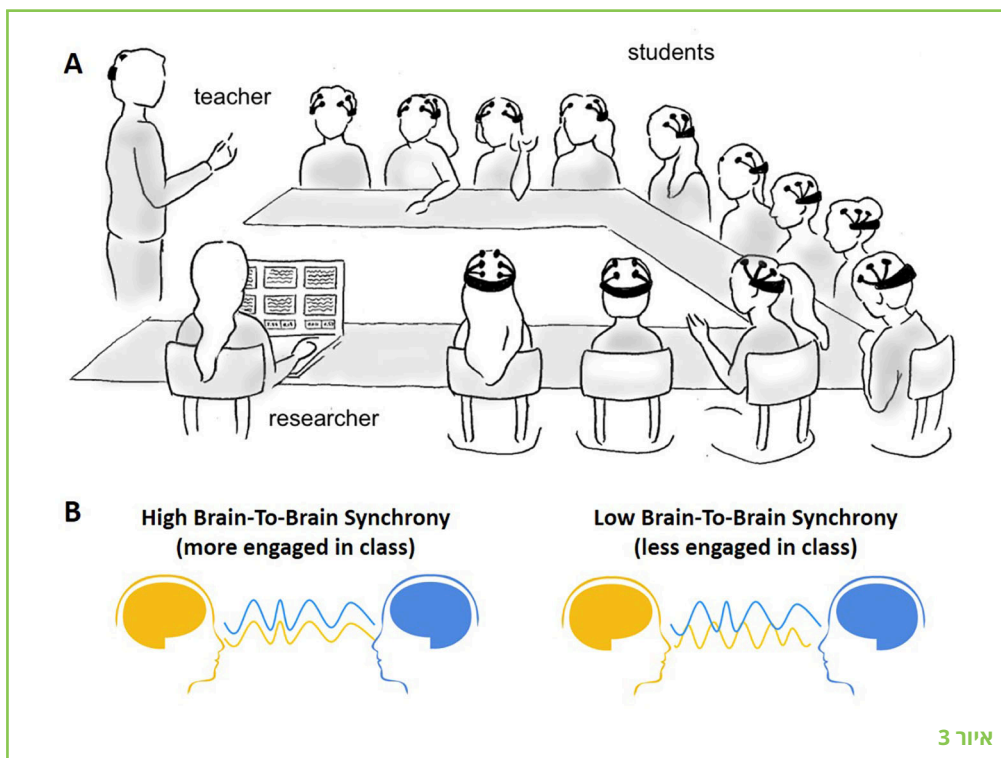
מכשירי אלקטרואנצפלוגרפיה ניידים הם מרגשים מאחר שהם יכולים לשמש לא רק עבור מחקר אלא גם למטרות הוראה. ב-“BrainWaves”, תוכנית תיכון במדעי המוח שפותחה

סנכרון (Synchrony)

כשגלי המוח עולים למעלה ולמטה יחד. זה יכול להיות בתוך מוח אחד (כלומר, גלי מוח מאזורים שונים באותו המוח), או בין מוחות. הדוגמה השנייה נקראת סנכרון בין מוח (brain-to-brain synchrony).

איור 3

(A) אלקטרואנצפלוגרפיה יכול לשמש למדידת גלי המוח של תלמידים בכיתה בית ספר תיכון (לקוח מ: Dikker et al. [3]). **(B)** גלי מוח של תלמידים יכולים להראות סנכרון גדול עם תלמידים אחרים, מה שנמצא עבור תלמידים שהיו מעורבים יותר בכיתה (משמאל). סנכרון נמוך עם תלמידים אחרים (מימין) נמצא עבור תלמידים שהיו פחות מעורבים.



איור 3

באוניברסיטת ניו-יורק, תלמידים משתמשים באלקטרואנצפלוגרפיה כדי ללמוד על המוחות שלהם ועל האופן שבו מדעי המוח פועלים. התלמידים עובדים עם מדענים כדי לפתח את פרויקטי המחקר שלהם. לדוגמה, הם משתמשים באלקטרואנצפלוגרפיה כדי לחקור את האופן שבו המוח מגיב לתמונות של פרצופים מפורסמים ולא מפורסמים, או כיצד הקשבה למוזיקה משפיעה על היכולת שלנו להתרכז.

אלקטרואנצפלוגרפיה נייד לא הומצא כדי להחליף מחקרי אלקטרואנצפלוגרפיה במעבדה. למעשה, הוא משלים את המחקר במעבדה על ידי מתן תובנות על תהליכים מוחיים במצבים בחיי היומיום. אולם היתרון של חקירת המוח בסביבה טבעית יותר מגיע עם חסרונות. איכות הנתונים שנאספים באמצעות אלקטרואנצפלוגרפיה נייד אינה גבוהה כמו הנתונים שנאספים במעבדה מאחר שלמכשירים ניידיים יש הרבה פחות אלקטרודות והמשתתפים זזים יותר. נוסף על כך הסביבה שמחוץ למעבדה לא נמצאת בשליטה של החוקרים, ולכן תוצאות הניסויים עשויות להיות קשות יותר לפירוש.

האם זה נשמע כמו מדע בדיוני?

אם כן, אחרי שקראתם את כל זה, מה אתם חושבים? האם הייתם מתעניינים בחבישת מכשיר אלקטרואנצפלוגרפיה בכיתתכם, או האם זה קצת מפחיד אתכם? בשביל להרגיע אתכם, עד כה אלקטרואנצפלוגרפיה נייד מספק רק מדד כללי של פעילות המוח. אלקטרואנצפלוגרפיה בהחלט לא יכול לקרוא את מחשבותיכם. לכן, אינכם צריכים לדאוג שחוקרים או שהמורים שלכם יוכלו לקרוא את מחשבותיכם, אם אי פעם תחבשו את אחד ממכשירי האלקטרואנצפלוגרפיה האלה בבית הספר. אנו רוצים להרגיע אתכם שקריאת מחשבות היא עדיין מדע בדיוני!

חלק מהחברות התעשייתיות שמייצרות מכשירי אלקטרואנצפלוגרפיה ומוכרות אותם טוענות שאלקטרואנצפלוגרפיה יכול לשמש כדי לנטר תלמידים על ידי קריאת העוצמה של גלי מוח שונים ופענוחם למצב של "מרוכז" או "מוסח". איננו חושבים שזה רעיון טוב, מכמה סיבות. ראשית, אנו צריכים לעשות הרבה יותר מחקר לפני שנבין מספיק מה המשמעות של אותו אות אלקטרואנצפלוגרפיה במונחים של תפקודים מוחיים. שנית, תלמידים לא בהכרח צריכים להתרכז כל הזמן. אנו יודעים שהמוח צריך גם זמן מנוחה, ושחלימה בהקיץ יכולה למעשה להיות מועילה ללמידה [4].

מסקנות

מכשירי אלקטרואנצפלוגרפיה נייזים מציעים הזדמנויות נהדרות, כמו למשל היכולת לחקור כיצד המוח פועל בסביבות טבעיות, כמו כיתות. חקר המוח בסביבות טבעיות יכול לתרום במיוחד להבנה של אינטראקציות חברתיות מאחר שאלקטרואנצפלוגרפיהנייד יכול לשמש למדידת הפעילות המוחית של כמה אנשים במקביל, בזמן שהם מתקשרים זה עם זה. יתרה מזו אלקטרואנצפלוגרפיהנייד יכול גם לסייע לתלמידים להבין טוב יותר כיצד המוח פועל. אולם המדע מתקדם בצעדים קטנים, אז בואו נשאיר את קריאת המחשבות לסרטי מדע בדיוני, ובינתיים נדון בשאלה אם אנו רוצים שזה אי פעם יהפוך למציאות [5].

תודות

אנו רוצים להודות מעומק הלב לאלה שסייעו בתרגום המאמרים באוסף זה כדי לעשותם נגישים יותר עבור ילדים מחוץ למדינות דוברות אנגלית, ולקרן ג'ייקובס על סיפוק הכספים הנדרשים לתרגום המאמרים. NA תרגמה את המאמר הזה להולנדית.

האילוסטרציה של איור 2 הודפסה מ-Dikker et al. ואחרים [3], זכויות יוצרים (2017), עם אישור מאלסבייר.

אנו רוצים להודות לחברים ולמממנים של Emerging Field Group Portable של Brain Technologies in Educational Neuroscience Research, שמומנו על ידי EARLI וקרן ג'ייקובס. NA ו-TJ נתמכים גם על ידי Starting Grant ממועצת המחקר האירופית (#716736).

תוכנית BrainWaves פותחה עם תמיכה של תוכנית Science Education Partnership program במכון האמריקאי הלאומי למדעי הרפואה הכלליים.

מקורות

1. Biasiucci, A., Franceschiello, B., and Murray, M. M. 2019. Electroencephalography. *Curr. Biol.* 29:R80–5. doi: 10.1016/j.cub.2018.11.052
2. van Atteveldt, N., van Kesteren, M. T. R., Braams, B., and Krabbendam, L. 2018. Neuroimaging of learning and development: improving ecological validity. *Frontline Learn. Res.* 6:186–203. doi: 10.14786/flr.v6i3.366

3. Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., et al. 2017. Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Curr. Biol.* 27:1375–80. doi: 10.1016/j.cub.2017.04.002
4. Immordino-Yang, M. H., Christodoulou, J. A., and Singh, V. 2012. Rest is not idleness: implications of the brain's default mode for human development and education. *Perspect. Psychol. Sci.* 7:352–64. doi: 10.1177/1745691612447308
5. Williamson, B. 2018. Brain data: scanning, scraping and sculpting the plastic learning brain through neurotechnology. *Postdigit. Sci. Educ.* 1:65. doi: 10.1007/s42438-018-0008-5

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Stephan E. Vogel

מנחה מדעי: Menton Deweese

ציטוט: van Atteveldt N, Janssen TWP and Davidesco I (2022) מדידת גלי מוח בכיתה. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00096-he

תורגם והותאם: van Atteveldt N, Janssen TWP and Davidesco I (2020) Measuring Brain Waves in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:96. doi: 10.3389/frym.2020.00096

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

COPYRIGHT © 2020 © van Atteveldt, Janssen and Davidesco 2022. זהו מאמר בנישה 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

15-14 גיל: THE SCHOOL FOR SCIENCE AND MATH AT VANDERBILT

אנו כיתה של תלמידים מכל רחבי נשוויל, שמתאספים פעם בשבוע בוונדרבילט כדי ללמוד עוד על מדע, על טכנולוגיה, על הנדסה ועל מתמטיקה. אנו עורכים ניסויים בכיתתנו ובמעבדות בקמפוס!



הכותבים

NIENKE VAN ATTEVELDT

Nienke היא מדענית מוח והיא משלבת בין שיטות שונות במטרה לחקור הבדלים אישיים בלמידה ובמוטיבציה. יש לה תשוקה למציאת דרכים שבהן חקר מדעי המוח על למידה והתפתחות יכול להיות רלוונטי ללומדים ולמורים. המטרה האולטימטיבית שלה היא לתרום לידע ולכלים להיות בשימוש בחינוך כדי לאפשר



ליותר ילדים ליהנות מלמידה. Nienke מובילה מעבדה של למידה באוניברסיטה החופשית של אמסטרדם, ראו: *n.m.van.atteveldt@vu.nl www.laboflearning.com



TIEME W. P. JANSSEN

Tieme הוא מדען מוח ולעיתים קרובות עובד עם אלקטרואנצפלוגרפיה (EEG). יש לו תשוקה להבנת האופן שבו המוח פועל, וכיצד מוחות פועלים אחרת, לדוגמה אצל ילדים עם הפרעת קשב וריכוז. אחד מקווי המחקר שלו מערב יישום של מדעי המוח לצרכים חברתיים. לדוגמה, הוא משתמש במשוב עצבי של EEG כדי לאמן קשב בהפרעות קשב וריכוז, או להראות לילדים שיש להם שליטה על מוחותיהם. Tieme לוקח מחקר במדעי המוח מחוץ למעבדה ואל תוך כיתות עבודה והקשרים אחרים בחיים האמיתיים, ומשתמש בטכנולוגיית EEG ניידת.



IDO DAVIDESCO

Ido הוא חוקר מוח שמתעניין ביצירת קשרים בין מדעי המוח לבין חינוך. הוא עורך מחקר בכיתות באמצעות מכשירים ניידים שמאפשרים מדידה של הפעילות המוחית של תלמידים ושל מורים. הוא גם מתעניין בפיתוח דרכים עבור סטודנטים לתקשר עם מדענים ולהיות מעורבים במחקר בעולם האמיתי שקשור למוח ולהתנהגות.

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



הוצאת פרונטייה מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK