

שימוש באור במטרה להבין כיצד המוח פועל בכיתה

Mojtaba Soltanlou^{1,2,3,4*}, Christina Artemenko^{1,2}

¹המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת טובינגן, טובינגן, גרמניה

²בית ספר ללימודים מתקדמים ורשת מחקר LEAD, אוניברסיטת טובינגן, טובינגן, גרמניה

³מכון מוח ומיינד, אוניברסיטת מערב אונטריו, לונדון, אונטריו, קנדה

⁴המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת מערב אונטריו, לונדון, אונטריו, קנדה

האם ידעתם שאנו יכולים לחקור את המוח בכיתה? הרבה אנשים חושבים שחקירת המוח אפשרית רק במעבדות מורכבות עם מכשירים עצומים ומסובכים. ספקטרוסקופיה פונקציונלית כמעט-אינפרא-אדום (fNIRS) היא שיטה חדשה שמשתמשת באור במטרה לנטר כמה המוח פעיל. ל-fNIRS יש כמה יתרונות שגורמים לה להיות טובה במיוחד לצפייה במוחות של תינוקות ושל ילדים. נוסף על כך היא אחת השיטות הטובות ביותר לחקור את תפקוד המוח בחיי היומיום ובמצבים אמיתיים, כמו למשל בכיתה או במהלך שיחה. אולם כמו כל שיטות מדידת המוח האחרות, אי אפשר להשתמש בה לכל מטרה, כלומר יש לה מגבלות. במאמר זה נדון באופן שבו fNIRS פועלת וכיצד אפשר להשתמש בה, ביתרונותיה ובמגבלותיה. נסכם בכך שכאשר משתמשים בה בתחום של מדעי המוח החינוכיים, fNIRS יכולה לסייע למדענים להבין כיצד ילדים לומדים.

מהי ספקטרוסקופיה פונקציונלית כמעט-אינפרא-אדום (fNIRS)?

ספקטרוסקופיה פונקציונלית כמעט-אינפרא-אדום (fNIRS) היא שיטה חדשה שמסייעת לחוקרים לנטר בקלות כיצד המוח פועל. fNIRS משתמשת בסוג מיוחד של אור שנקרא **אור**

סוקרים צעירים

ISTITUTO
EUROPEO
LEOPARDI

גיל: 11-12



ספקטרוסקופיה

פונקציונלית

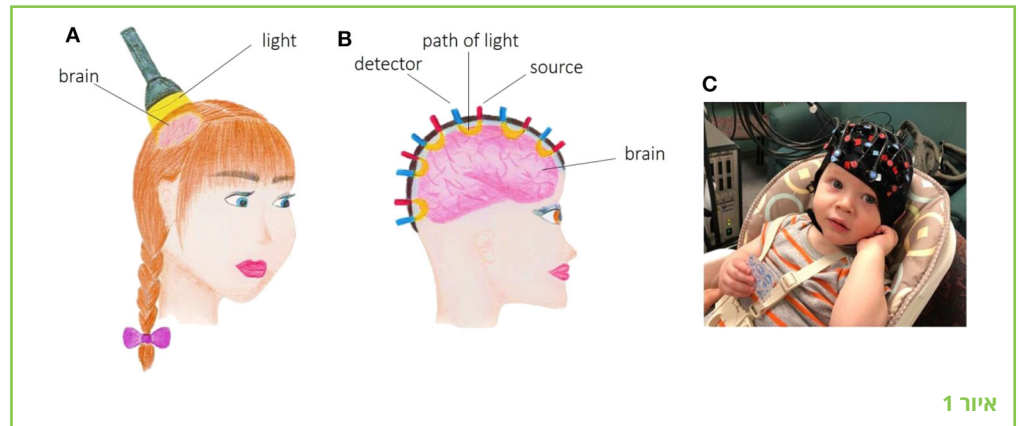
כמעט-אינפרא-אדום

(fNIRS - Functional
Near-infrared
Spectroscopy)

שיטה חדשה שיכולה לסייע למדענים לנטר בקלות כיצד המוח פועל על ידי שימוש בסוג מיוחד של אור שנקרא אור כמעט-אינפרא-אדום.

איור 1

(A) fNIRS משתמשת באור במטרה להסתכל על תפקוד המוח. **(B)** מקורות (באדום) וחיישנים (בכחול) של אור ב-fNIRS. האור שעובר דרך המוח מוצג כצורות בננות צהובות. **(C)** קסדת fNIRS על ראשו של תינוק.



איור 1

אור כמעט-אינפרא-אדום (Near-infrared Light)

סוג מיוחד של אור שיכול לעבור דרך עור, עצמות ומוח ולשמש למדידת מה שקורה במוח.

כמעט-אינפרא-אדום (איור 1A). אור כמעט-אינפרא-אדום הוא מיוחד מאחר שהוא יכול לעבור דרך העור, העצמות והמוח. האור נשלח לתוך המוח ממקור האור (1B איור, באדום) ואז נקלט על ידי חיישן כשהוא מגיע חזרה החוצה (1B איור, בכחול). ההבדלים בכמות האור שנשלחת אל המוח וכמות האור שמתקבלת מראים כמה המוח פעיל. אולם מדוע ישנם הבדלים בין האור שנשלח ושהתקבל? האם חלק מהאור נאבד בדרכו בתוך המוח?

כדי לענות על השאלות האלה, אנו צריכים להבין כיצד המוח פועל. המוח פועל על ידי שימוש בחמצן. חמצן מובא אל המוח באמצעות הדם. כאשר המוח פעיל, ישנה זרימת דם מוגברת, וזה אומר שישנו יותר חמצן במוח. חמצן סופג אור כמעט-אינפרא-אדום, ולכן כשאנו שולחים את האור הזה לתוך המוח הפעיל, פחות אור חוזר, מאחר שחלקו נספג על ידי הדם. אם כן: ככל שיותר אור נספג, כך אנו מקבלים פחות אור חזרה החוצה, והמוח פעיל יותר.

מהם היתרונות, השימושים והמגבלות של fNIRS?

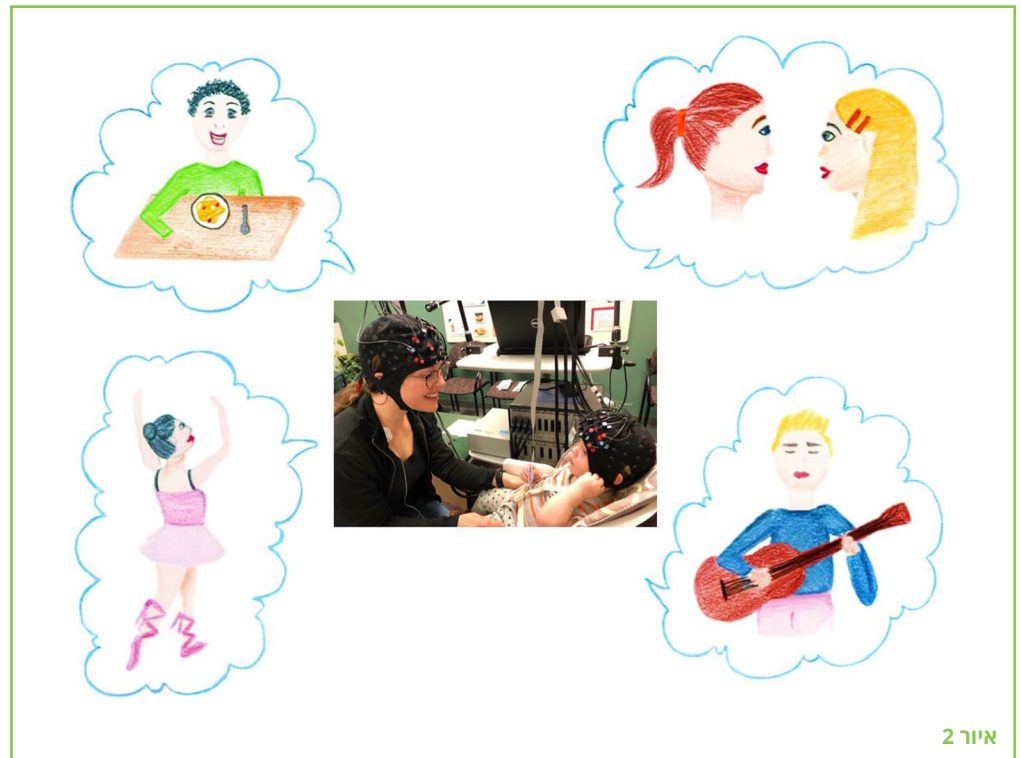
ל-fNIRS יש כמה יתרונות, בכלל זה:

- הוא מאפשר בחינה בזמן שמשותפים יושבים או עומדים
- הוא קל לנשיאה ויכול לשמש כמעט בכל מקום
- הוא קל לתפעול ולוקח רק כמה דקות להתקין אותו
- הוא זול לשימוש
- הוא מודד תפקוד מוחי כמה פעמים בשנייה
- הוא לא מכאיב ולא עושה רעש
- הוא יכול לשמש יחד עם שיטות מדידה מוחית אחרות
- הוא מסוגל להתמודד עם תנועות גוף כמו דיבור, כתיבה, או הליכה.

היתרונות האלה עושים את fNIRS טוב עבור כמה שימושים (איור 2). ראשית, אנו יכולים לחקור את המוח בסביבתו הטבעית ובנסיבות יומיומיות ולא רק במעבדות. זה אפשרי מאחר שחלק ממכשירי ה-fNIRS קטנים מספיק כדי שיוכלו להינשא לכל מקום שבו המחקר מבוצע. יתרה

איור 2

fNIRS יכולה לשמש בהרבה מצבים שונים בחיי היומיום כמו למשל במהלך אכילה, שיחה, ריקוד, או נגינת מוזיקה. אפשר להשתמש בה במטרה לראות מה קורה במוחות של אימהות ושל התינוקות שלהן כשהם מתקשרים זה עם זה.



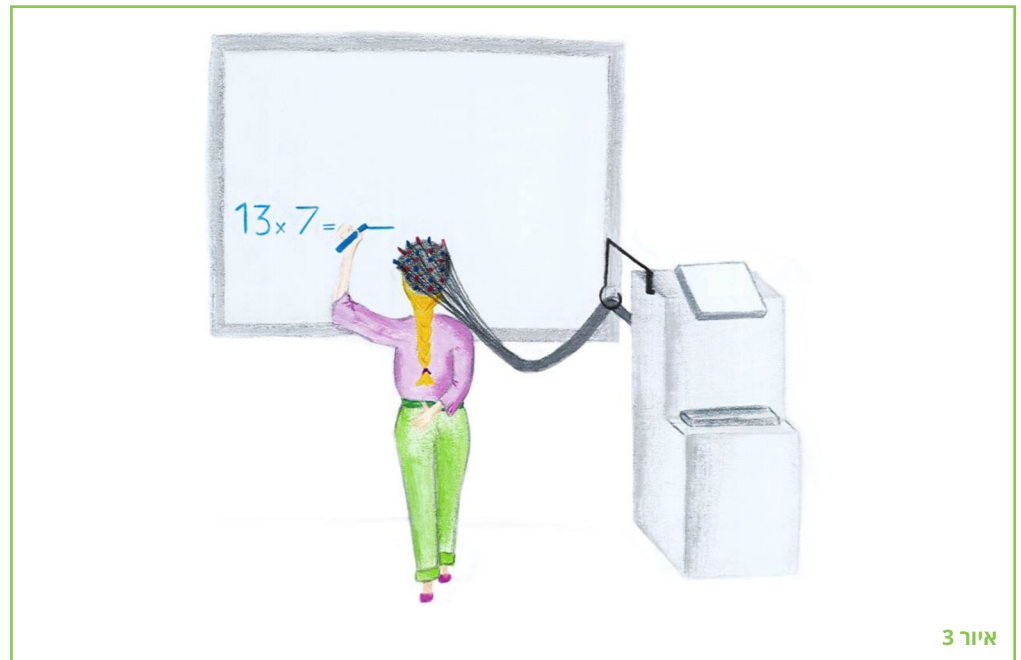
איור 2

מזו במהלך המדידות המשתתפים אינם צריכים לשכב. הם יכולים לשבת מאחורי שולחן ולהכין שיעורי בית או לעבוד על מחשב. fNIRS יכול לשמש לחקור מטלות מנטליות מסובכות יותר משיטות אחרות למדידה מוחית, ולא רק מטלות עם בחירה מרובה. כמו כן, fNIRS הוא די נוח עבור המשתתפים. משמעות הדבר היא שאנו יכולים לחקור אפילו מוחות של תינוקות ושל ילדים (איור 1C). בדרך כלל קשה לחקור את המוח בקרב האוכלוסיות הצעירות האלה מאחר שהן זזות הרבה, מה שגורם לשיטות אחרות למדידה מוחית להיות בלתי אפשריות לשימוש. נוסף על כך אפשר למדוד את תפקוד המוח במשך זמן ארוך (עד לשעה אחת), ועבור הרבה משתתפים באותו הזמן. מרבית היתרונות האלה גורמים ל-fNIRS להיות שיטה ייחודית לחקירת המוח במצבים ובקרב אנשים שבדרך כלל קשה ולעיתים בלתי אפשרי לגשת אליהם בעזרת שיטות אחרות.

אולם היתרונות והשימושים האלה מגיעים עם מחיר. אנו צריכים להיות מודעים למגבלות של fNIRS. ראשית, fNIRS מודדת בסביבות שלושה סנטימטרים מהמוח בזמן מסוים. כשאנחנו מדברים על המוח זהו אזור גדול, מאחר שאזורים שונים במוח קטנים כל כך. לכן מדידת fNIRS עשויה לכלול אזורים במוח בעלי תפקודים שונים, ולפיכך היא לא תהיה מדויקת כמו מדידות שנעשות באמצעות שיטות אחרות [1]. נוסף על כך fNIRS יכולה למדוד רק את הפעילות של אזורים בעומק של כ-1.5-2 סנטימטרים במוח. לכן היא לא טובה למדידת תפקודים שממוקמים עמוק בתוך המוח. כמו כן, fNIRS מספקת מידע רק על תפקודים ולא על מבנים [1]. משמעות הדבר היא שאנו יכולים להבין כיצד המוח פועל, אולם לא כיצד המוח נראה. יתרה מזו מאחר שהיא מודדת את כמות הדם, fNIRS רגישה לפעימות הלב, ללחץ הדם ולוורידים בעור. לכן שינויים שאינם קשורים במוח עשויים להתערבב עם מדידות של תפקודים מוחיים. לבסוף, מאחר ש-fNIRS היא שיטה חדשה, לא כולם משתמשים באותה שיטה של ניתוח נתונים. ניתוח נתונים הוא תהליך שמטרתו לשלב את הנתונים שנאספו מהמוחות של אנשים שונים

איור 3

בזמן שהילדה פותרת בעיה מתמטית, התפקוד המוחי שלה נרשם על ידי fNIRS.



ולהציגם בצורה שכולם יבינו. לסיכום, כאשר מדענים רוצים למדוד תפקוד מוחי עם fNIRS הם צריכים להיות מודעים גם ליתרונות השיטה וגם למגבלותיה.

כיצד fNIRS מבוצעת וכיצד משתמשים בנתונים שלה?

כתלות במחקר ובשאלת המחקר, משתתפים יכולים להימדד באופן פרטני או בקבוצות. כדי לבצע fNIRS, אנו צריכים לעקוב אחרי כמה צעדים. ראשית, אנו מודדים את ראשיהם של המשתתפים כדי למצוא נקודות חשובות, כמו למשל את מרכז הראש. על ידי שימוש בנקודות האלה, אנו יכולים להעריך אלה אזורים במוח נמדדים על ידי כל חיישן. שנית, אנו מחברים מקורות של אור וחיישנים לראש, באמצעות קסדה אלסטית. שלישית, אנו מבקשים מהמשתתפים לבצע מטלה בזמן שהתפקוד המוחי שלהם נמדד על ידי fNIRS (איור 3). המטלה יכולה להיות כל דבר, לדוגמה בעיות מתמטיות. רביעית, אחרי שהמשתתפים סיימו את המטלה, אנו מכבים את מכשיר ה-fNIRS ומסירים את הקסדות מראשיהם של המשתתפים, והניסוי מסתיים.

בדרך כלל אנו חוזרים על אותו הניסוי עם משתתפים רבים (כ-40 ילדים). לאחר מכן אנו יכולים לנתח את הנתונים מכל המשתתפים. אולם מה זה אומר? בואו נדמיין ששאלת המחקר שלנו היא "אלה אזורים במוח פעילים במהלך חישוב?" כדי לענות על השאלה הזו אנו מודדים תפקוד מוחי בשתי סיטואציות: כאשר משתתפים פותרים בעיות מתמטיות, וכאשר הם רק נחים. באמצעות תוכנת מחשב, אנו יכולים לקרוא ולשלב את הנתונים מכל המשתתפים. לאחר מכן אנו מחשבים את רמות התפקודים המוחיים במהלך החישובים ובמהלך מנוחה עבור כל המשתתפים. אז אנו משווים את רמות התפקודים המוחיים האלה. אנו צופים בהבדלים ענקיים בין רמות תפקודים מוחיים בין חישוב למנוחה באזורים מסוימים במוח, אולם לא באחרים.

לכן אנו יכולים להסיק שרק האזורים האלה במוח אשר הראו הבדלים גדולים בין חישוב לבין מנוחה, חשובים עבור חישוב.

מסקנות

fNIRS היא שיטה שמאפשרת את מדידת תפקוד המוח, אפילו בקרב קבוצות מיוחדות כמו למשל תינוקות וילדים [2], ובמצבים בחיים האמיתיים כמו למשל בכיתה [3]. היכולות האלה גורמות ל-fNIRS להיות טובה מאוד עבור מחקר במדעי המוח החינוכיים [4]. מדעי המוח החינוכיים משתמשים בשיטות כמו למשל fNIRS במטרה לחקור את המוח, ומשתמשים בתוצאות של מחקרי המוח כדי לשפר את החינוך בבתי הספר. בעוד שמרבית שיטות מחקר המוח השכיחות טובות יותר לחקר מבוגרים, יש להן כמה מגבלות כשהן בשימוש על ילדים, וזו הסיבה לכך שעדיין איננו יודעים הרבה על האופן שבו המוח משתנה כשאנו גדלים מתינוקות למבוגרים. למרבה המזל, fNIRS מאפשרת לנו לנטר את שינויי המוח והלמידה בקרב ילדים [5, 6]. אנו מאמינים ששימוש ב-fNIRS במדעי המוח החינוכיים בסופו של דבר יסייע לנו להבין כיצד ילדים לומדים לקרוא, לכתוב ולחשב.

תודות

אנו רוצים להודות ל-Bahar Rad, אומנית בת 16, על איורי התמונות, ל-Merle Bode על העריכה, ול-Zoë Kirste על קריאת הגהות השפה. אנו גם רוצים להודות ל-Megan Warren עבור הרשות להשתמש בתמונותיהם משתתפים במחקר fNIRS. אנו גם מעוניינים להודות לאלה שסייעו בתרגום המאמרים באוסף הזה כדי לעשותם נגישים יותר עבור ילדים מחוץ למדינות דוברות אנגלית, ולקרן ג'ייקובס עבור סיפוק הכספים הנדרשים לתרגום המאמרים. בגין המאמר הזה, אנו רוצים להודות במיוחד לניינקה ון אטאסאלדט ולסבינה פיטרס על התרגום להולנדית.

מקורות

1. Hoyos, P., Kim, N., and Kastner, S. 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086
2. Edwards, L. A., Wagner, J. B., Simon, C. E., and Hyde, D. C. 2016. Functional brain organization for number processing in pre-verbal infants. *Dev. Sci.* 19:757–69. doi: 10.1111/desc.12333
3. Obersteiner, A., Dresler, T., Reiss, K., Vogel, A. C. M., Pekrun, R., and Fallgatter, A. J. 2010. Bringing brain imaging to the school to assess arithmetic problem solving: chances and limitations in combining educational and neuroscientific research. *ZDM* 42:541–54. doi: 10.1007/s11858-010-0256-7
4. Soltanlou, M., Sitnikova, M. A., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. Applications of functional near-Infrared spectroscopy (fNIRS) in studying cognitive development: the case of mathematics and language. *Front. Psychol.* 9:277. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00277

מדעי המוח החינוכיים (Educational Neuroscience)

תחום של מחקר מוח שמטרתו ליצור חינוך טוב בבתי הספר.

5. Artemenko, C., Soltanlou, M., Ehlis, A.-C., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. The neural correlates of mental arithmetic in adolescents: a longitudinal fNIRS study. *Behav. Brain Funct.* 14:5. doi: 10.1186/s12993-018-0137-8
6. Soltanlou, M., Artemenko, C., Ehlis, A.-C., Huber, S., Fallgatter, A. J., Dresler, T., et al. 2018. Reduction but no shift in brain activation after arithmetic learning in children: a simultaneous fNIRS-EEG study. *Sci. Rep.* 8:1707. doi: 10.1038/s41598-018-20007-x

פורסם אונליין: 20 באפריל 2022

נערך על ידי: Stephan E. Vogel

מנחה מדעי: Ruggero Bettinardi

ציטוט: Soltanlou M and Artemenko C (2022) שימוש באור במטרה להבין כיצד המוח פועל בכיתה. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00088-he

Soltanlou M and Artemenko C (2020) Using Light to Understand How the Brain Works in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:88. doi: 10.3389/frym.2020.00088

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

COPYRIGHT © 2020 © Soltanlou and Artemenko 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 (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

ISTITUTO EUROPEO LEOPARDI, גיל: 11-12

אנו קבוצת תלמידים מ-Istituto Europeo Leopardi ואנו בשנה הראשונה של חטיבת הביניים. שמותינו הם Emma, Marco, Matteo, Francesco, Eleonora, Benedetta, Sofia, Lucrezia, Greta e Lidia. אנו חיים במילנו (איטליה) ואנו בני 11-12. אנו כיתה מצחיקה, נחמדה ויצירתית, אוהבים מדע וספורט. דרישת שלום מה-A הראשון!

הכותבים

MOJTABA SOLTANLOU

אני חוקר באוניברסיטת מערב אונטריו בקנדה. לפני שנכנסתי למחקר, עבדתי כתרפיסט, וסייעתי לילדים בעלי לקויות שונות. במחקר שלי, אני רוצה להבין מה קורה במוח כשילדים לומדים משהו כמו מתמטיקה, ומדוע חלק מהילדים חווים קשיי למידה. בזמני הפנוי אני אוהב לעשות ספורט, לנגן על טאר ולקרוא על היסטוריה. *mojtaba.soltanlou@gmail.com



**CHRISTINA ARTEMENKO**

אני חוקרת באוניברסיטת טובינגן בגרמניה. המחקר שלי עוסק במתמטיקה ובחישוב. אני רוצה לדעת מה קורה במוח כשמישהו מְחַשֵּׁב, ואני משתמשת ב-fNIRS כדי לחקור את המוח. אני רוצה להבין מה גורם לחישובים להיות קשים, ומדוע לחלק מהאנשים יש קשיים עם מתמטיקה. חוץ ממחקר, אני נהנית לנגן על חליל, לרקוד בלט ולשחק כדורעף.

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