

האם מוחם של מטופלים בתרדמת יכול להגיב לצלילים?

Athina Tzovara^{1*}, Marzia De Lucia²

¹מכון הלן ווילס למדעי המוח, אוניברסיטת קליפורניה, ברקלי, ברקלי, קליפורניה, ארצות הברית
²המעבדה למחקר בנוירו-הדמיה, המחלקה למדעי מוח קליניים, בית החולים האוניברסיטאי של לוזן ואוניברסיטת לוזן, לוזן, שווייץ

סוקרים צעירים

FLORIMONT
גיל: 15-16



כאשר אנשים נמצאים בתרדמת הם מחוסרי הכרה ואינם יכולים לתקשר עם הסביבה. אינם יכולים לדבר ועיניהם סגורות. הם נראים כאילו שהם ישנים. אולם המוח של מטופל בתרדמת עשוי להמשיך לפעול. הוא עשוי "לשמוע" את הצלילים בסביבה, כמו צעדים של מישהו שמתקרב או קולו של אדם שמדבר. במאמר זה נראה כיצד אנו יכולים למדוד את הפעילות המוחית של מטופלים מחוסרי הכרה, וכיצד המוחות של מטופלים בתרדמת מגיבים לצלילים. התגובות האלה יכולות ליידע את הרופאים אם המטופלים מתעוררים מהתרדמת.

מה קורה כשמישהו בתרדמת?

דמיינו בן אדם שנכנס לתרדמת. תרדמת יכולה להתרחש ממגוון סיבות כמו למשל פגיעה מוחית טראומטית, שבץ או אובדן חמצן כתוצאה מטביעה. אדם מחוסר הכרה שוכב דומם על המיטה, עם עיניים סגורות. האדם אינו מראה כל סימני תקשורת עם הסביבה. אנו מדברים על האדם שנמצא בתרדמת, אולם היא או הוא אינם מגיבים ונראים אדישים לכל מה שמתרחש. כשאדם נמצא בתרדמת, האדם הזה נמצא במצב שאנו מכנים "חוסר הכרה". אולם, האם מוחו של האדם עדיין פעיל?

אלקטרואנצפלוגרפיה (EEG - Electroencephalography)

כלי שמסייע לקלינאים ולחוקרים למדוד את הפעילות החשמלית שמויצרת על-ידי המוח, באמצעות הצבת אלקטרודות על ראשו של המטופל.

ישנו סיכוי טוב שמוחו של האדם שנמצא בתרדמת ממשיך לעבד אירועים מהסביבה, כמו למשל את הצעדים של מישהו שמתקרב או את צליל קולכם כשאתם מדברים אליו [1]. כדי למדוד את הפעילות המוחית של אדם שנמצא בתרדמת אנו משתמשים במכשיר שנקרא **אלקטרואנצפלוגרף (EEG)**. EEG מסייע לנו לרשום את הפעילות של תאים במוח שנקראים תאי עֶצֶב (נוירונים). אנו יכולים למדוד את הפעילות החשמלית של תאי המוח באמצעות מיקום אלקטרודות על ראשו של המטופל. האלקטרודות האלה נמצאות בתוך כובע. דמיינו משהו כמו כובע שחייה עם הרבה חורים בתוכו. אלקטרודות מוכנסות לתוך החורים האלה ונוגעות בעור הקרקפת. בכל פעם שאנו רואים או שומעים משהו, תאי העצב במוח "יורים". הירי הזה יכול לשנות את הפעילות החשמלית שאנו מודדים על הראש באמצעות ה-EEG. אנו משתמשים ב-EEG כדי לחקור את התפקודים של תאי העצב של אנשים בתרדמת מאחר שקל להשתמש במכשיר הזה במיטתו של המטופל, בלי לגרום לכאב או לחוסר נחת.

באופן חשוב, אפשר להשתמש ב-EEG כדי לסייע לרופאים לאבחן עד כמה התרדמת של מטופלים חמורה, לפי התפקודים המוחיים של המטופלים. בדרך כלל, עיניהם של מטופלים בתרדמת סגורות והם אינם יכולים לראות מה מתרחש סביבם. אולם האוזניים שלהם ממשיכות לקבל צלילים מהסביבה. במקרים מסוימים, מוחותיהם של מטופלים בתרדמת מעבדים צלילים כמו למשל את קולו של מי שמדבר אליהם [2]. מטופלים בתרדמת עשויים שלא להבין את הצלילים האלה ולא לזכור אותם כשהם מתעוררים. עדיין, המוחות שלהם עשויים לקלוט את הצלילים ולעבד אותם עד לרמה מסוימת. באמצעות EEG יש לנו הזדמנות ייחודית לחקור אם המוח של מטופלים בתרדמת מגיב לצלילים, אפילו כשהמטופלים אינם יכולים לתקשר איתנו. מה שמדהים באמת הוא שעל-ידי מחקר התגובות המוחיות לצלילים, רופאים יכולים להעריך אם מטופל צפוי להתעורר מהתרדמת, ולעיתים אפילו לקבוע מה צפוי להיות מצבו הניורולוגי אחרי ההתעוררות [3].

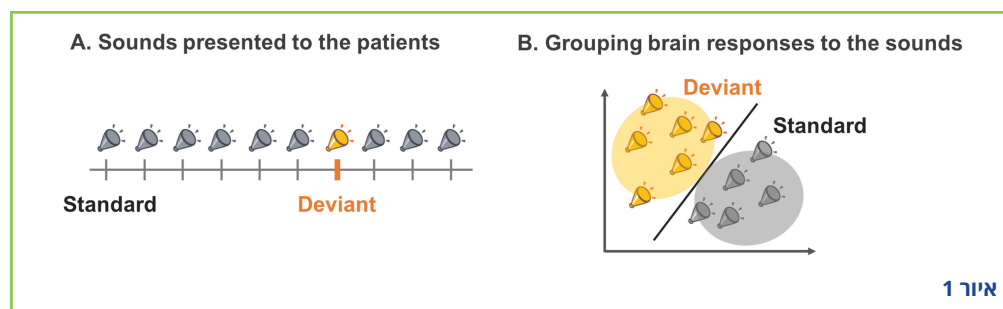
חקירת תגובות מוחיות לצלילים כאמצעי לחזות אלה מטופלים יתעוררו מהתרדמת

בואו נדון בגורם אחד של תרדמת – ירידה באספקת החמצן למוח. תאי המוח שלנו, כמו כל התאים, זקוקים לחמצן כדי לתפקד. תאי המוח מקבלים את החמצן הזה ממחזור הדם שעובר במוח. אם הלב מפסיק לפעול לא יגיע חמצן למוח. במקרה כזה מאבדים את ההכרה ולעיתים נכנסים לתרדמת. טיפול אחד שניתן למטופלים בתרדמת הוא הפחתת טמפרטורת הגוף במטרה להגן על המוחות שלהם מפני טראומה עודפת. מטופלים נשארים במצב הזה של טמפרטורת גוף מופחתת במשך 24 שעות ואז מחממים שוב את גופם. בתקווה, מטופלים יכולים לאחר מכן להתעורר מהתרדמת שלהם ולחזור למצב של מודעות.

חשוב לרופאים למצוא דרכים לדעת אלה מטופלים בתרדמת צפויים להתעורר. המידע הזה מסייע להם לספק את הטיפול הטוב ביותר עבור המטופלים, וגם ליידע את משפחות המטופלים לגבי סיכויי ההתאוששות. במרבית בתי החולים ישנם מבדקים קליניים שבודקים אלה מטופלים בתרדמת נמצאים במצב טוב. אולם ישנם מעט מבדקים שחוזים מתי המטופל יתעורר, ולעיתים קרובות קשה לספק הערכה מדויקת. במחקר שלנו רצינו לפתח מבדק שיחזה אם מטופל יתעורר מתרדמת. עבור המבדק הזה חקרנו את התגובות המוחיות של מטופלים בתרדמת לצלילים [4]. הכנסנו אוזניות לאוזניהם של המטופלים והשמענו להם צלילים (איור 1).

איור 1

(A) השמענו למטופלים בתרדמת סדרה של צלילים. במרבית הזמן הצלילים היו זהים זה לזה (standard). לעיתים, הצליל הסטנדרטי הוחלף על-ידי צליל אחר (Deviant). מדדנו את התגובות המוחיות של מטופלים בתרדמת לכל צליל שהם שמעו באמצעות מכשיר שנקרא אלקטרואנצפלוגרף. זה מאפשר לנו לחקור כיצד המוח של מטופלים מגיב לצלילים ואם הוא יכול להבחין בין צלילים סטנדרטיים (באפור) לצלילים יוצאי דופן (בצהוב). **(B)** איגדנו יחד תגובות מוחיות לסוגים שונים של צלילים, באמצעות מודלים מתמטיים. העיגולים האפורים והצהובים מראים קבוצות של תגובות לצלילים סטנדרטיים ולצלילים יוצאי דופן. לאחר מכן השתמשנו בקבוצות האלה כדי לבחון אם המוח של מטופל יכול להבחין בין צלילים סטנדרטיים ובין צלילים יוצאי דופן.



הצלילים שהשמענו היו צלילי "ביפ" מלאכותיים וקצרים מאוד, והשמענו אותם באופן קצבי ומהיר. דמיינו למשל סדרה של צלילים המגיעים מתיפוף מהיר של האצבעות שלכם או מנגינת צליל מסוים בפסנתר. דמיינו שאתם מאזינים לנגינתו של אותו הצליל שוב ושוב. אם הצליל הזה מוחלף בפתאומיות על-ידי צליל אחר המוח שלכם יפגין תגובת "הפתעה" לצליל השונה מאחר שהוא בלתי צפוי. במחקר שלנו אנו קוראים לצלילים שחוזרים על עצמם "צלילים רגילים" ("Standard sounds") ולצלילים יוצאי הדופן אנו קוראים "צלילים שונים" ("Deviant sounds"). אתם יכולים לראות דוגמאות לצלילים באיור 1, שבו הם מוצגים באפור (צלילים רגילים) ובצהוב (צלילים שונים). אתם גם יכולים לשמוע את הצלילים האלה בקובץ אודיו 1. השמענו את הצלילים האלה למטופלים בזמן שמדדנו את הפעילות המוחית שלהם באמצעות EEG. המטרה שלנו הייתה לחקור אם המוחות שלהם מגיבים לסדרות הצלילים.

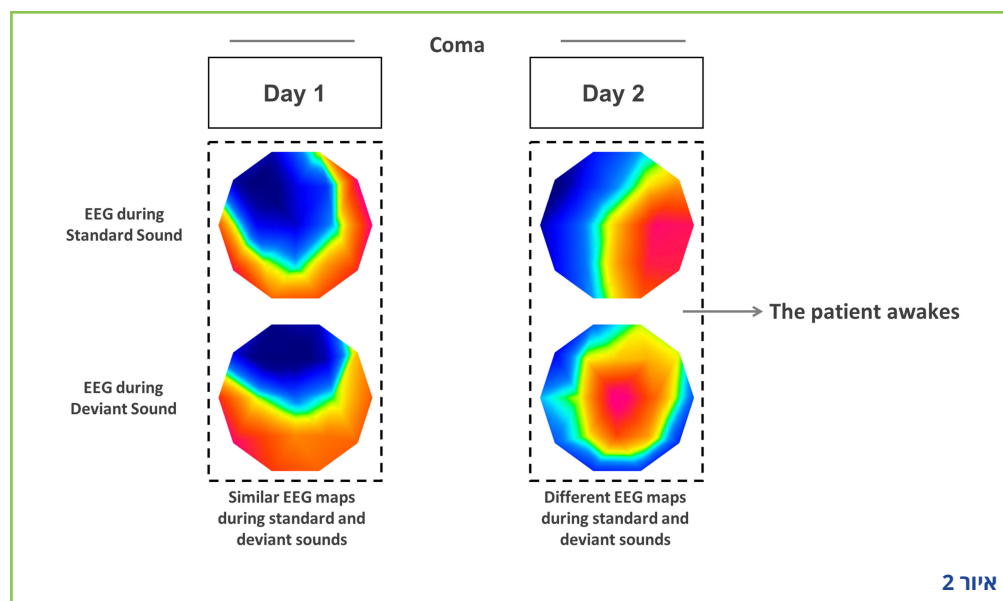
את הפעילות המוחית שאנו מודדים באמצעות EEG אפשר "לצייר" באמצעות צבעים שונים שיוצרים מפה (איור 2). צבעים שונים במפה מראים שאזורים שונים במוח פעילים בתגובה לצלילים. תפקודים מסוימים יכולים להיות שונים ממטופל אחד לאחר. מסיבה זו חישבנו את המודל המתמטי כדי למצוא את התבניות בתגובות המוחיות לצלילים רגילים ולצלילים שונים (איור 1B). השתמשנו בתבניות האלה כדי למדוד אם מוחותיהם של המטופלים מסוגלים להבחין בין סוגי הצלילים השונים (איור 1B). חזרנו על הניתוח הזה פעמיים, ביום הראשון והשני של התרדמת. בפעם הראשונה שביצענו את המדידות, טמפרטורת גופם של המטופלים הייתה מופחתת. בפעם השנייה הטמפרטורה חזרה למצב הרגיל [5]. לאחר מכן חישבנו כיצד השתנתה יכולתם של מוחות המטופלים להבחין בין סוגי צלילים שונים בין היום הראשון ליום השני.

EEG כחלון למוחם של מטופלים בתרדמת

כל המטופלים שכללנו במחקר הזה היו מחוסרי הכרה לחלוטין. הגוף שלהם לא הגיב למרבית הדברים שהתרחשו סביבם. מה לגבי המוחות שלהם? באופן מעניין מאוד, המוחות של מטופלים מסוימים הגיבו לצלילים שהשמענו להם. מרבית המוחות של המטופלים הציגו מפות עם צבעים שונים, כתלות בסוג הצליל שהושמע (רגיל או שונה). זה מציע שהמוחות של מטופלים יכולו להבחין בין הצלילים שהם שמעו. היכולת הזו לשים לב להבדל שבין צלילים הייתה מדויקת כמעט כמו אצל אנשים בריאים וערניים, לפחות ביום הראשון של התרדמת. ביום השני יכולת ההבחנה בין הצלילים הייתה מופחתת עבור מטופלים שנפטרו מאוחר יותר.

איור 2

רשמנו את התגובות המוחיות של מטופל ביום הראשון וביום השני של התרדמת. עבור כל אחד מהימים אתם יכולים לראות את מפות ה-EEG של התגובות המוחיות לצלילים (Standard sounds) וצלילים שונים (Deviant sounds). כל מפה מציגה את המדידות שבוצעו באלקטרודות שמוקמו על ראשו של המטופל כדי לכסות באופן אחיד את משטח הקרקפת. צבעים שונים מציגים ערכים שונים של פעילות חשמלית שיוצרה על-ידי המוח ונמדדה ב-EEG. אתם יכולים לראות שבים הראשון של התרדמת (משמאל) התגובות המוחיות לצלילים רגילים וצלילים שונים sounds היו כמעט זהות זו לזו, ולכן ייצרו מפות עם צבעים דומים (כחול למעלה, אדום למטה). ביום השני (מימין) אתם יכולים לראות שהתגובות לצלילים רגילים ולצלילים שונים שונות מאוד זו מזו והמפות כבר לא נראות דומות. משמעות הדבר היא שיכולתו של מוחו של המטופל להבחין בין הצלילים השתפרה מהיום הראשון ליום השני של התרדמת. בניסויים שלנו מצאנו שהשיפור הזה מעיד על כך שהמטופל ככל הנראה יתעורר מהתרדמת. אכן, כמה ימים אחרי הרישומים שלנו המטופל הזה התעורר מהתרדמת.



משמעות הדבר היא שהמוחות שלהם לא יכלו להבחין בקלות אם הצליל הוא רגיל או שונה. השאלה הבאה ששאלנו הייתה אם יכולת ההבחנה הזו קשורה למצבו של המטופל.

עבור כל מטופל מדדנו עד כמה יכולתו של המוח להבחין בין צלילים השתנתה מהיום הראשון ליום השני של התרדמת. רק מטופלים שהתעוררו מאוחר יותר מהתרדמת שלהם הראו שיפור ביכולת של מוחם להבחין בין צלילים בין שני הימים. באיור 2 אתם יכולים לראות את תגובות ה-EEG לצלילים רגילים וצלילים שונים עבור מטופל שהתעורר מאוחר יותר. ביום השני של התרדמת מוחו של המטופל היה מסוגל להבחין טוב יותר בין שני סוגי הצלילים מאשר ביום הראשון של התרדמת. כמה ימים מאוחר יותר המטופל התעורר מהתרדמת. המטופל היה יכול לתקשר עם חבריו ועם משפחתו שוב.

מסקנות ומחקר עתידי

EEG הוא כלי מלהיב שמאפשר חלון הצצה לתפקודיהם המוחיים של מטופלים, אפילו כשהם אינם מסוגלים לתקשר איתנו. באמצעות השיטה המרתקת הזו מצאנו שמוחות של מטופלים בתרדמת יכולים להגיב לצלילים. המטופלים עצמם היו מחוסרי הכרה לחלוטין ולא יכלו לתפוס את מה שהתרחש סביבם. במחקר שלנו השתמשנו בצלילים מלאכותיים פשוטים מאוד. בעתיד אנו יכולים לחזור על הניסוי באמצעות צלילי דיבור או מוזיקה. לאחר מכן נוכל לבחון אם היכולת המוחית להגיב לדיבור חִנְזָה את סיכוייהם של מטופלים לשוב למצב של הכרה.

מקורות

1. Laureys, S., Owen, A. M., and Schiff, N. D. 2004. Brain function in coma, vegetative state, and related disorders. *Lancet* 3:537–46. doi: 10.1016/S1474-4422(04)00852-X
2. Cossy, N., Tzovara, A., Simonin, A., Rossetti, A. O., and De Lucia, M. 2014. Robust discrimination between EEG responses to categories of environmental sounds in

- early coma. *Front. Psychol.* 5:155. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00155
3. Juan, E., De Lucia, M., Tzovara, A., Beaud, V., Oddo, M., Clarke, S., et al. 2016. Prediction of cognitive outcome based on the progression of auditory discrimination during coma. *Resuscitation* 106:89–95. doi: 10.1016/j.resuscitation.2016.06.032
 4. Tzovara, A., Rossetti, A. O., Juan, E., Suys, T., Viceic, D., Rusca, M., et al. 2016. Prediction of awakening from hypothermic postanoxic coma based on auditory discrimination. *Ann. Neurol.* 79:748–57. doi: 10.1002/ana.24622
 5. Tzovara, A., Rossetti, A. O., Spierer, L., Grivel, J., Murray, M. M., Oddo, M., et al. 2013. Progression of auditory discrimination based on neural decoding predicts awakening from coma. *Brain* 136:81–9. doi: 10.1093/brain/aws264

פורסם אונליין: 29 באוקטובר 2020

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

ציטוט: Tzovara A and De Lucia M (2020) האם מוחם של מטופלים בתרדמת יכול להגיב לצלילים? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00019-he

תורגם והותאם: Tzovara A and De Lucia M (2019) Can the Brain of a Patient in a Coma React to Sounds? *Front. Young Minds* 7:19. doi: 10.3389/frym.2019.00019

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

COPYRIGHT © 2019 © 2020 Tzovara and De Lucia. 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

FLORIMONT, גיל: 15-16

בקבוצת הסוקרים שלנו הייתה אווירה נפלאה. כולם עבדו טוב יחד. צחקנו הרבה במהלך סקירת המאמר על תרדמת.

הכתבות

ATHINA TZOVARA

אני חוקרת מוח שמתמשת בשיטות חישבויות במטרה לחקור תפקודים של מוח האדם. אני מתעניינת בתודעה ובאופן שבו המוח מעבד גירויים מהסביבה בהתאם לרמות תשומת הלב והמודעות שלנו. כיום אני עובדת באוניברסיטת ברקלי, קליפורניה, בארצות הברית. *athina.tz@gmail.com



**MARZIA DE LUCIA**

אני חוקרת שמתעניינת בתפקודים מוחיים שנשארים שמורים כאשר התודעה מתפוגגת, כמו למשל במהלך תרדמת או בהפרעות שונות של התודעה. אני עובדת בבית החולים האוניברסיטאי בלזון, ואני משתפת פעולה באופן הדוק עם בתי חולים אחרים בשווייץ במטרה לאסוף קבצי נתונים מסביבות קליניות שונות.

Hebrew version
provided by

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

