

## כיצד יכולים בני אדם הסובלים מתסמונת הנעילה לתקשר עם ממשק מוח-מחשב?

Christoph Guger<sup>1,2\*</sup>, Rossella Spataro<sup>3</sup>, Brendan Z. Allison<sup>4</sup>, Alexander Heilinger<sup>2</sup>, Rupert Ortner<sup>2</sup>, Woosang Cho<sup>2</sup>, Vincenzo La Bella<sup>3</sup>

<sup>1</sup>טכנולוגיות גוגר, OG, גראץ, אוסטריה

<sup>2</sup>הנדסה רפואית, ג' טק, GmbH, שידלברג, אוסטריה

<sup>3</sup>המרכז למחקר קליני של ALS, BioNeC, אוניברסיטת פלרמו, פלרמו, איטליה

<sup>4</sup>המחלקה למדע קוגניטיבי, אוניברסיטת קליפורניה, סאן דייגו, לה ג'ולה, קליפורניה, ארצות הברית

### סוקרת צעירה

ANIRUDH

גיל: 12



בני אדם הסובלים מתסמונת נעילה מוחלטת איבדו את היכולת לשלוט בתנועות מכל סוג שהוא. הם אינם יכולים לדבר, להזיז את ידיהם או אפילו למצמץ או להזיז את עיניהם, אף שהמוח שלהם עובד. לכן, קשה מאוד לתקשר עם חולים אלה. קבוצות רבות פיתחו מערכות ממשק מוח-מחשב (BCI) היכולות להעניק תקשורת לאנשים אלה, גם אם אינם יכולים לזוז. מערכת ה-BCI יכולה לתרגם את פעילות המוח של המשתמש לאותות לצורך תקשורת, למשל: השבת כן או לא. לרוע המזל, רוב המערכות האלה אינן יעילות עבור חולים שאינם יכולים לראות. כאן אנו מציגים תוצאות חדשות שהתקבלו ממערכת המשתמשת בהתקנים קטנים שרוטטים. המערכת נקראת mindBEAGLE (ביגל של המוח), והיא יכולה לרטוט על פרק כף היד השמאלית והימנית. החולה יכול לענות כן או לא על-ידי כך שהוא סופר בשקט את הגירויים שבשורש כף היד האחת או האחרת. המערכת מורכבת על שורש כף היד, כי קל לחולה להבחין בין שתי הידיים. בדקנו את המערכת הזו על 12 חולים הסובלים מתסמונת הנעילה, והשגנו תקשורת מוצלחת עם 9 מהם. אפילו הצלחנו לגרום לשני חולים בתסמונת נעילה מוחלטת לתקשר. התקשורת המוצלחת נראתה מבטיחה, והייתה לה השפעה רבה על חייהם של חלק מהחולים.

## מהם חולים הסובלים מתסמונת נעילה מוחלטת?

חולים הסובלים מתסמונת נעילה מוחלטת אינם יכולים להניע אזור כלשהו בגוף שלהם, ולכן אינם יכולים לתקשר עם משפחתם ועם חבריהם. רבים מהחולים האלה סובלים ממחלה הנקראת טרשת אמיוטרופית צידית (ALS), הגורמת להם לאבד שליטה על שריריהם. לפני הגיעם לנעילה מוחלטת, חולים אלה נמצאים במצב נעילה מופחת, כלומר הם עדיין יכולים להשתמש בחלק מהשרירים שלהם, והם יכולים למצמץ. במצב זה, אפשר להשתמש במצמוץ כדי לבסס תקשורת. ישנם מתקנים רבים היכולים לעזור לחולים לתקשר, גם אם אינם יכולים להקליד או לדבר, על-ידי שימוש בנשימה שלהם; במצמוץ; בשרירי הלחי או בפעילות שרירית אחרת שהם עדיין יכולים לשלוט בה. אבל, כאשר חולים אינם יכולים לשלוט יותר על תנועה מכל סוג שהוא, הם עלולים לחוש מבודדים מאוד. אפילו רופאים ובני משפחה עלולים לא לדעת מה אותם חולים רוצים, והם אפילו לא יודעים אם החולים עדיין מספיק בריאים בנפשם כדי לתקשר.

חולים אלה, הסובלים מתסמונת נעילה מוחלטת, זקוקים לדרכים חדשות שיעזרו להם לבסס תקשורת. מסיבה זו, חוקרים התחילו לפתח **ממשקי מוח-מחשב**, הנקראים גם מערכות BCI. כדי ללמוד יותר על מערכות BCI אנו ממליצים על שני ספרים, האחד מאת וולפו וולפו [1], והאחר מאת נאם ועמיתיו [2].

ממשקי מוח-מחשב יכולים לזהות פעילויות מוח מסוימות באמצעות **רשם גלי מוח (EEG)**. רשם גלי מוח מודד את הפעילות החשמלית של נוירונים (תאי עצב) במוח. בכל פעם שאתם חושבים; מרגישים; מחליטים החלטות או מבצעים פעולה כלשהי במוח שלכם, הפעילות החשמלית של המוח שלכם משתנה. אם מיליונים רבים של נוירונים פועלים יחד, התוצאה היא שהשינויים בפעילות החשמלית הם גדולים דיים כך שאנו יכולים למדוד אותם בעזרת דיסקים קטנים ממתכת, הנקראים אלקטרודות. אפשר למקם את האלקטרודות האלה בכובע אלקטרודות, שאותו מניחים על הראש. הפעולה אינה דורשת ניתוח כלשהו ואינה מכאיבה. כובע האלקטרודות פשוט מונח על הראש, בדומה לכובע מצחייה.

כובעי אלקטרודות מתוכננים כך שכל אלקטרודה ממוקמת מעל אזור מוח מסוים. כך, האלקטרודות מודדות את גלי המוח ואת פעילות המוח באזורי מוח שונים. על-ידי בדיקת הפעילות של המוח באלקטרודות שונות ובזמנים שונים, ה-BCI יכול להמיר חלק מהמידע הזה לאותות בקרה עבור מכשירים מסוגים שונים. למשל, מערכות BCI שימשו לשליטה על מתקנים רובוטיים; למשחקי מחשב; להזזת סמן על מסך של מחשב ולתקשורת. באופיין, מערכות BCI איטיות הרבה יותר ממתקנים אחרים המשמשים לתקשורת ולבקרה כגון מקלדות, עכברים או פקדים. זו הסיבה העיקרית לכך שכיום אנשים אינם משתמשים במערכות BCI, אבל עבור אנשים שאיבדו את היכולת לזוז, מערכות ה-BCI עשויות לגרום לשינוי משמעותי בחייהם.

## כיצד יכול BCI להשתמש בגלי מוח כדי לשלוט על התקן תקשורת?

במשך שנים רבות, חוקרים השתמשו במערכות BCI המבוססות על דימויי תנועות כדי לבסס תקשורת עם חולים הסובלים מתסמונת הנעילה. למשל, החולים התבקשו לדמיין תנועות של ידיהם השמאליות או הימניות. עצם המחשבה על תנועה של יד שמאל מפעילה את

### ממשק מוח-מחשב (Brain-Computer interface, BCI)

מערכת שיכולה לתרגם את פעילות המוח של המשתמש לאותות, לצורך תקשורת.

### רשם גלי מוח (Electroencephalogram, EEG)

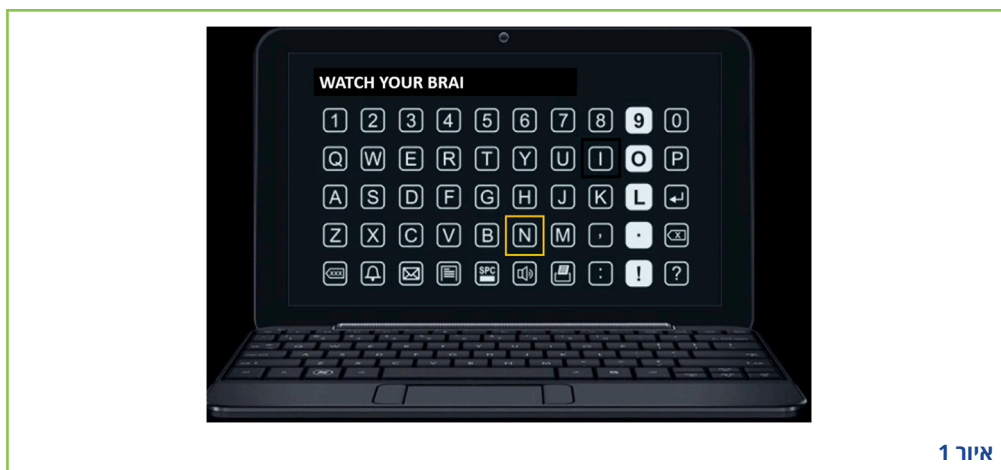
מודד את הפעילות החשמלית של הנוירונים (תאי העצב) שבמוח.

## איור 1

ממשק מוח-מחשב (BCI) מסוג P300, המאפשר לחולה לכתוב מילים ומשפטים, תוך שימוש בגלי מוח בלבד. החולה מתמקד באות שהוא רוצה לכתוב, הנקראת אות המטרה, וסופר בשקט כל פעם שהיא מהבהבת. בכל פעם שאות זו מהבהבת, המוח מייצר גלי מוח, כולל גל P300. אחר כך, ה-BCI מנסה לזהות את אות המטרה על-ידי זיהוי ההבדל שמייצר את ה-P300. ככה, אפשר לבחור אות אחר אות. בדוגמה זו, החולה כבר כתב WATCH YOUR BRAI (תשמור על המוח...). האות הבאה במילה היא "N" ("ח" בעברית), ולכן האות הזו מודגשת בדוגמה זו. הטור המודגש בלבן מראה כיצד נראה המסך כאשר טור שלם מהבהב. היות שהטור המהבהב אינו כולל את אות המטרה, החולה יתעלם מההבהב הזה, ולא ייווצר גל P300. העבודה שלנו משתמשת ברעיון דומה, אבל עם קטטים במקום עם גירויים ויזואליים.

## P300

גל קטן שאפשר לראותו ברישום גלי מוח.



איור 1

הצד הימני של המוח. מחשבה על תנועה של יד ימין מפעילה את הצד השמאלי של המוח. אחר כך, מערכת ה-BCI קובעת אם החולה חשב על הזנת יד ימין או שמאל. לבסוף, מערכת ה-BCI משתמשת בפעילות המוח של החולה כדי להזיז סמן לצידו השמאלי או הימני של מסך מחשב, למשל.

סוג אחר של BCI משתמש בסוג מסוים של גל מוח הנקרא **P300**. ה-P300 הוא סוג של גל מוח שנגדל כאשר אדם שם לב לאירוע פתאומי. אירוע זה יכול להיות סמל שמהבהב על מסך מחשב. בדוגמה זו, כל אותיות האלף-בית וכל המספרים מופיעים על המסך. חלק מהאותיות מהבהבות (ראו איור 1). המשימה של החולה היא להביט באות שהוא רוצה לומר, וכאשר אות זו מהבהבת, המוח מייצר P300. פירושו של דבר שגל המוח מייצר שיא קטן זמן קצר לאחר ההבהב, המאפשר ל-BCI "לדעת" איזו אות החולה מנסה לתקשר.

## מדוע אנו זקוקים לסוג חדש של מערכת BCI עבור חולים הסובלים מתסמונת הנעילה?

בשתי מערכות ה-BCI שתוארו למעלה יש כמה בעיות. ה-BCI המבוסס על כך שהחולה חושב על תנועה אינו אמין במיוחד, ודורש אימון רב.

לחולים הסובלים מתסמונת הנעילה עלול להיות קשה להתרכז במשימה, והם עלולים להתעייף מהר מאוד, כך שיהיה קשה מאוד לאמן אותם, ואולי אף בלתי אפשרי. מערכות ה-BCI המבוססות על P300 אינן דורשות אימון של המשתמש, אבל רובן משתמשות בגירוי ויזואלי כגון אותיות על מסך, כמתואר למעלה. היות שחולים הסובלים מתסמונת נעילה מוחלטת אינם רואים, הם זקוקים ל-BCI שאינו דורש ראייה. לכן, חוקרים חיפשו מערכות BCI שאינן דורשות אימון רב, אשר יעילות גם עבור אנשים שאינם יכולים לראות. חולים רבים הסובלים מתסמונת נעילה מוחלטת עדיין יכולים לחוש על שורש כף היד שלהם קטטים או גירוי מגע אחרים. גם הקבוצה שלנו וגם קבוצות אחרות הוכיחו כי אפשר לייצר מערכות BCI מסוג P300 המבוססות על תחושת קטטים.

## איור 2

התקנים רוטטים מחוברים ליד ימין של החולה, ליד שמאל של וולרג'ו, והם מופעלים באופן אקראי למשך זמן קצר מאוד. החולה מחובר למערכת ממשק מוח-מחשב (BCI) בעזרת אלקטרודות של רשם גלי מוח (EEG) שנמצאות בכובע המונח על ראשו. למעלה מימין (העֵרְכָה): המוח מגיב לרֵטְטִים שהחולה סופר בגל P300 (הקו הירוק) במשך 0.5 שניות. יש תגובה קטנה בלבד לרֵטְטִים האחרים (הקו הכחול). מערכת ה-BCI מוצאת את ההבדלים שבין הקווים הכחולים לאלה הירוקים. בדיוק מתחת לגלי המוח האלה, תמונה נוספת המראָה את הדיוק של ה-BCI אחרי רֵטְט מטרָה אחד בלבד, הדיוק של המערכת היה קצת פחות מ-75%. זו הסיבה לכך שאנו חוזרים על הרֵטְטִים פעמים רבות ומשלים בין התוצאות, כדי להגדיל את הדיוק. בדוגמה זו, המערכת הגיעה ל-100% דיוק אחרי שלושה רֵטְטִים בערך, ונשארה ב-100% גם אחרי 20, 10 ו-30 רֵטְטִים. בחולים הסובלים מתסמונת נעילה, לעיתים קרובות נדרשים מאיתנו יותר משלושה ניסיונות כדי להגיע לדיוק טוב. שמאל (תקשורת): אחרי שמגיעים לרמת דיוק גבוהה, המטפל יכול לשאול את החולה שאלות. החולה פשוט סופר בשקט את הרֵטְטִים שבידו השמאלית כדי להשיב כן, ואת הרֵטְטִים שבידו הימנית כדי להשיב לא. אחר כך, העיגולים הקטנים נעים לפתע לכֵן או ללא, והמטפח וארה את התשובה!



איור 2

## מערכת BCI המבוססת על רֵטְטִים

כדי לפתח BCI שיהיה שימושי עבור חולים הסובלים מתסמונת נעילה מוחלטת, החלטנו להשתמש בהתקנים קטנים שרוטטים. במקרה זה, התקן רוטט (כגון זה שבטלפון הסלולרי שלכם, שמופעל כאשר נכנסת הודעה או שיחה) ממוקם על שורש כף יד ימין; התקן נוסף ממוקם על שורש כף יד שמאל, והתקן שלישי ממוקם על הרגל של החולה (ראו איור 2, באמצע). אחר כך, מפעילים את כל אחד מההתקנים למשך זמן קצר מאוד. הנקודה החשובה עכשיו היא שאנו מבקשים מהחולה לספור את מספר הרֵטְטִים במיקום מסוים, למשל בשורש כף יד שמאל. כאשר החולה סופר את הרֵטְטִים על שורש כף יד שמאל, הדבר מייצר P300, כמו ה-P300 מהאותיות המהבהבות שבאיור 1. היות שהחולה מתעלם מהרֵטְטִים שביד ימין ושברגל, רֵטְטִים אלה יוצרים גלי P300 קטנים בהרבה. הדבר מאפשר למערכת ה-BCI לזהות את העובדה שהחולה סָפַר את הרֵטְטִים שבשורש כף יד שמאל בלבד.

החולים יכולים להשתמש בגישה זו כדי להשיב על שאלות, גם אם אינם רואים. אם אימא של חולה שואלת: "האם אתה נמצא באיטליה?" (ראו איור 2, שמאל), החולה יכול לבחור לספור את הרֵטְטִים שביד ימין כדי לומר כן. אם החולה אינו נמצא באיטליה, ספירת הרֵטְטִים שביד שמאל תשיב לא. החולה אף פעם אינו סופר את הרטטים שברגלו, כי גירויים אלה נחוצים רק כדי לְחַזֵק את הרֵטְטִים שבידיים. מערכת ה-BCI צריכה גם לחזור על הגירויים ליד שמאל וליד ימין כמה פעמים, כדי לקבל החלטה מדויקת על אודות התשובה שהחולה מנסה לתקשר. זה נובע מכך שהאותות מהמוח חלשים ורועשים מאוד.

## המשימות המוטלות על ה-BCI

כל המשימות האלה נעשות על-ידי מערכת הנקראת mindBEAGLE (ביגל של המוח). ביגל הוא סוג של כלב המפורסם בחוש הריח שלו. כלבי ביגל אנדתיים ביכולתם למצוא אנשים אבודים, בדומה למה שאנו מנסים לעשות כאן. כמובן, איננו מנסים למצוא אנשים בעזרת הריח אלא על-ידי הוכחה כי יש להם יכולת לתקשר, ועל-ידי מתן אמצעי תקשורת. גם אוניית הוד מלכותו, "הביגל", הייתה אונייה מפורסמת בהיסטוריה של המדע – צ'ארלס דארווין חקר מגוון רחב של מינים שונים בזמן מסעו על אוניית "הביגל", דבר שעזר לו לפתח תיאוריות רבות בנושא האבולוציה.

מערכת ה-BCI צריכה לבצע הרבה משימות שונות כדי לפרש את גלי המוח נכון. ראשית, היא צריכה להגביר את האותות של המוח, כי האותות המגיעים מהמוח הם קטנים מאוד. אחר כך, האותות נשלחים למחשב שמבצע רצף של חישובים. כך, מערכת ה-BCI לומדת איך נראים גלי המוח עבור הרקטים שבשורש כף יד שמאל, ימין וברגל. מידע זה משמש כדי לאמן את המערכת עבור כל חולה וחולה. איור 2 (ימין) מראה את תגובת המוח בזמן שהחולה ספר את הרקטים שביד שמאל (הקו הירוק). האיור גם מראה את התגובה לרקטים של יד ימין, שאותם החולה לא ספר (הקו הכחול). תהליך אימון זה נמשך 2.5 דקות. מערכת ה-BCI מספקת ציון למידת הדיוק, המלמד את המדען עד כמה המערכת יכולה לזהות היטב באיזה צד החולה סופר את הרקטים.

## תוצאות

אם ציון רמת הדיוק במערכת ה-BCI הוא 100%, המשמעות היא שהמערכת פועלת באופן מושלם (איור 2, ימין, הערכה). הדבר מלמד את המדען כי המוח של החולה מסוגל לחלוטין לבצע את המשימה, ושחלולה יש את פעילויות המוח הנדרשות לספירת רקטים וליצירת P300. אם רמת הדיוק היא 0%, ייתכן כי המשמעות היא שהחולה ישן או אולי איבד לנצח את היכולת לבצע משימות שכליות הנחוצות עבור ה-BCI הזה. זו הסיבה לכך שיש לחזור על התהליך כמה פעמים. אם חולה כלשהו אינו מגיע לביצועים טובים, ייתכן שזה פשוט נובע מכך שביצענו את הבדיקה בזמן לא מתאים. עבור חולים הסובלים מתסמונת נעילה מוחלטת, אפילו רופאים עלולים להתקשות לקבוע אם החולים ערים ומגיבים בזמן ביצוע הבדיקה.

אם ציון רמת הדיוק גבוה מ-60%, אפשר להשתמש במערכת ה-BCI כדי לעזור לחולים לענות על שאלות. במקרה כזה, אנו שואלים את החולה 10 שאלות שונות, שעבורן אנו יודעים את התשובה הנכונה. אנו גם שואלים שאלות שאמורות להיות פשוטות מאוד, ושאפשר לענות עליהן כן או לא כגון: "האם נולדת באיטליה?" או "האם שמך רוזילה?" אחר כך, אנו סופרים את התשובות הנכונות. הדבר מלמד אותנו אם המערכת פועלת כשורה, ואם החולה יכול להשתמש בה. אחר כך, אפשר לעבור לשאלות כן/לא שעבורן איננו יודעים את התשובה כגון: "קר לך?" או "האם את רוצה לנסות פגישת תקשורת BCI נוספת מחר בשעה 10:00 בבוקר?"

לאחרונה, היה לנו מקרה מלהיב! אימא אחת השתמשה במערכת BCI, אחרי שהייתה נעולה לחלוטין במשך יותר מ-10 שנים. לפתע, היא ענתה נכון על 9 מתוך 10 השאלות. הדבר הוכיח

לנו שהיא עדיין יכולה להבין מה קורה סביבה. בני משפחתה התרגשו מאוד לגלות שהיא יכולה להבין אותם. נוסף על כך הדבר יאפשר לבני משפחתה לשאול אותה שאלות נוספות בעתיד.

חולה נוסף הצליח לענות נכון על 7 מתוך 10 השאלות. המערכת עשתה טעות אחת, ופעמיים היא לא הייתה בטוחה מהי תשובתו של החולה. עבור חולה אחר הסובל מתסמונת נעילה מוחלטת, המערכת לא הצליחה לבסס תקשורת כלל. במקרה זה, יש להשתמש במערכת על אותו חולה אבל בזמן אחר, כדי לראות אם יתקבלו תוצאות שונות.

סך הכול, בדקנו את המערכת על 12 חולים הסובלים מתסמונת נעילה מוחלטת, ו-9 חולים מתוך ה-12 הצליחו לענות נכון על שאלות. בשלושה חולים לא הצלחנו לבסס תקשורת, ולכן נחזור על התהליך.

## עבודה עתידית

בעתיד, נמשיך להקטין את מערכת ה-BCI, ולעשותה פשוטה יותר לשימוש. גם נשתמש בדרכים חדשות לפעול עם החולים כדי ללמוד על פעילות המוח שלהם וכדי להגיע לתקשורת טובה יותר. למשל, אנו רוצים להתקדם מעבר לתקשורת כן/לא על-ידי הוספת התקנים רוטטים באזורים נוספים של הגוף, שיוכלו לעזור לחולים לבחור תשובות רבות-ברירה או אולי אפילו לאיית. לבסוף, אנו מתכננים טכנולוגיה שתהיה זמינה לשימוש בבית, כדי לאפשר לבני המשפחה לתקשר בכל זמן שירצו, ללא צורך במומחים שיעזרו להם לתפעל את מערכת ה-BCI.

## מאמר המקור

Guger, C., Spataro, R., Allison, B. Z., Heilinger, A., Ortner, R., Cho, W., et al. 2017. Complete locked-in and locked-in patients: command following assessment and communication with vibro-tactile P300 and motor imagery brain-computer interface tools. *Front. Neurosci.* 11:251. doi: 10.3389/fnins.2017.00251

## מקורות

1. Wolpaw, J. R., and Wolpaw, E. W. 2012. *Brain-Computer Interfaces: Principles & Practice*. Oxford: Oxford University Press.
2. Nam, C. S., Nijholt, A., and Lotte, F., editors. 2018. *Brain-Computer Interfaces Handbook: Technological and Theoretical Advances*. CRC Press.

פורסם אונליין: 03 במרץ 2020

נערך על ידי: Sabine Kastner, Princeton University, United States

**ציטוט:** Guger C, Spataro R, Allison BZ, Heilinger A, Ortner R, Cho W and La Bella V (2020) כיצד יכולים בני אדם הסובלים מתסמונת הנעילה לתקשר עם ממשק מוח-מחשב? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2018.00024-he

### תורגם והותאם:

Guger C, Spataro R, Allison BZ, Heilinger A, Ortner R, Cho W and La Bella V (2018) How Can Completely Locked-in Persons Communicate With a Brain-Computer Interface? Front. Young Minds 6:24. doi: 10.3389/frym.2018.00024

**הצהרת ניגוד אינטרסים:** מערכת ה-BCI המוזכרת בפרסום נקראת mindBEAGLE. היא מיוצרת על-ידי חברה בשם g.tec באוסטריה, שבה CG הוא המנכ"ל. שאר הכותבים מצהירים כי המחקר נערך בהיעדר כל קשרים מסחריים או פיננסיים שיכולים להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

**COPYRIGHT** © 2018 © 2020 Guger, Spataro, Allison, Heilinger, Ortner, Cho and La Bella. 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.

## סוקרת צעירה

### ANIRUDH, גיל: 12

אני בן 12, וגר במלבורן, אוסטרליה. הנושאים האהובים עליי ביותר בבית הספר הם מדע ויפנית. כשאגדל, ארצה ללמוד מדעי המוח כי יש כל כך הרבה מה ללמוד ולגלות, כך שאף פעם לא ישעמם לי! כתבתי כמה מאמרים בנושא מדעי המוח עבור תחרויות בבית הספר, ואני מתכנן לעשות יותר בעתיד! אני גם נהנה מקריאת ספרים; מהאזנה למוזיקה; ממשחקים עם אחי הצעיר וממשחק טניס עם חברים.

## הכותבים

### CHRISTOPH GUGER

כריסטוף גוגר הגיע מעיירה קטנה בהרי אוסטרליה, הנמצאת במרחק של כשעתיים מגרמניה. הוא אוהב לטייל ברנל, לעשות סקי ופעילויות ספורט הרים נוספות. הוא סיים את עבודת הדוקטורט שלו בהנדסה ביו-רפואית בשנת 1999, באוניברסיטת עילית באוסטרליה הנקראת האוניברסיטה הטכנולוגית של גרץ (TUG). הוא הקים את ג' טק חברה בע"מ, ומאז הוא המנכ"ל שלה. הוא חוקר ומפתח מערכות BCI עבור אנשים שונים, כולל חולים שעברו שֶבֶץ או הסובלים מהפרעת מודעות (DOC). הוא גם מרצה כמה פרויקטים בינלאומיים של מחקר, יחד עם אנשים ממדינות שונות שעזרו לנו בחקר לצורך כתיבת מאמר זה. \*guger@gtec.at

### ROSSELLA SPATARO

רוזלה ספטארו היא רופאה מאגרינטו, סיציליה, שבדרום איטליה. היא עבדה שנים רבות בפרלמו. היא נויורולוגית קלינית, כלומר היא מתמחה בעזרה לאנשים פגועי מוח או הסובלים מהפרעות מוח. היא עבדה עם חולים רבים שסובלים מהפרעת מודעות (DOC) או מתסמונת הנעילה (LIS). בשנים האחרונות, היא החלה להשתמש במערכות BCI עם חולים אלה, דבר שהוביל לעבודה המתוארת במאמר זה, ולפרסומים עדכניים נוספים.





### BRENDAN Z. ALLISON

ברנדן אליסון נולד בדרום קליפורניה, וסיים את תואר הדוקטור שלו במדעי הקוגניציה באוניברסיטת קליפורניה, סנטיאגו. הוא עובד עם מערכות BCI יותר מ־20 שנה. במשך רוב הקריירה שלו הוא עסק במערכות BCI כדי לעזור לחולים הסובלים מתסמונת הנעילה. הוא גם עובד עם מערכות BCI עבור חולים מסוגים אחרים, כולל אנשים הסובלים מהפרעת מודעות (DOC), כמתואר במאמר זה. מחקר BCI דורש מומחים בעלי כישורים שונים, כולל מדעי המוח; הנדסה; פסיכולוגיה ורפואה, וברנדן נהנה לעבוד עם אנשים שהגיעו מרקעים שונים.



### ALEXANDER HEILINGER

אלכסנדר היילינגר למד ביו-פיזיקה – שדה מחקר העוזר לנו להבין איך פועלים גלי מוח. הוא גם מתכנת מנוסה. מר היילינגר עובד בחברת ג' טק, והוא גם סיים את עבודת הדוקטורט שלו באוניברסיטה סמוכה. מחקר הדוקטורט שלו עסק בסוגים שונים של מערכות BCI המבוססות על רשם גלי מוח עבור משתמשים בעלי מוגבלויות, כולל בדיקת מידת יעילותן עם חולים שונים. הוא עזר לנתח ולפרש פעילות רשם גלי מוח בכמה מחקרים הכרוכים בשיתוף פעולה עם בתי חולים שונים במדינות שונות.



### RUPERT ORTNER

רופרט אורטנר הוא אחד המתכנתים הטובים ביותר בחברת ג' טק, ועבד שנים רבות עם מערכות BCI המבוססות על רשם גלי מוח. הוא מנהל כמה פרויקטים בתכנות ובפיתוח, כולל עבודה עם חולים שעברו שבץ מוחי או שאובחנו כסובלים מהפרעת מודעות (DOC). ד"ר אורטנר סיים את עבודת הדוקטורט שלו באוניברסיטה הטכנולוגית של גרץ (TUG) באוסטריה, כמו ד"ר גוגר. במהלך עבודת הדוקטורט שלו הוא פיתח כמה מערכות BCI בלתי פולשניות שונות עבור משתמשים בעלי מוגבלויות. למשל, הוא פיתח SSVEP כדי לשלוט במכשיר עזר אורתופדי העוזר לאנשים בעלי מוגבלויות להזיז את הזרועות שלהם. ד"ר אורטנר גם נהנה לעשות סקי ולטייל.



### WOOSANG CHO

ווסאנג צ'ו הוא מקוריאיה, ולאחרונה סיים את עבודת הדוקטורט שלו באוניברסיטה בגרמניה. הוא הצטרף למחלקת המחקר של חברת ג' טק ב־2016, שם הוא עובד על מערכות BCI כדי לעזור לאנשים להשיב לעצמם את יכולת התנועה. הוא חוקר כיצד משוב וגירוי למוח יכולים לעזור לאנשים ללמוד לנוע מחדש. ייתכן כי לאנשים שעברו שבץ מוחי, פציעות או מצבים אחרים יש גוף בריא, אבל המוח שלהם כבר לא מצליח לשלוט נכון בתנועות. ד"ר צ'ו מקווה לעזור לאנשים להשתמש במערכות BCI ובטכנולוגיות נוספות, כחלק מתרפויית עתידיות שעשויות לעזור להם ללכת, ללפוט או ללבוש שוב.



### VINCENZO LA BELLA

גם וינסנזו לה-בלה הוא נויורולוג מהאי סיציליה, כמו ד"ר ספטארו, והם עובדים יחד באוניברסיטת פלרמו. ד"ר לה-בלה גם עבד בארצות הברית ובצרפת, וכיום הוא מנהל את מרכז המחקר הקליני של ALS באוניברסיטת פלרמו. הוא חוקר כמה מהסיבות לכך שאנשים מסוימים מאבדים את היכולת לנוע. הוא עובד עם חולים רבים שאינם יכולים לזוז, כולל אנשים הסובלים מהפרעת מודעות (DOC).

Hebrew version  
provided by

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

