

נוירופדגוגיה

כשמוח וחינוך נפגשים

אורית אלגאוי-הרשלר

מוקדש לכל מי שיש בו אהבה למוח,
אהבה לחינוך ואמונה בחיבורים חדשים.

Neuropedagogy: When Brain Science Meets Education

Orit Elgavi-Hershler

כותבת:

אורית אלגאוי-הרשלה, מכללת אפרתה - המכללה האקדמית לחינוך; המכללה האקדמית
הרצוג, מכון מופ"ת

הוצאת הספרים של מכון מופ"ת:

עורכת ראשית: תמי ישראלי

עורכות אקדמיות: שרה שמעוני, יהודית שטיימן

עורכת לשון וטקסט: עדי רופא

עורכת גרפית ומעצבת העטיפה: אורית לידרמן

חברי הוועדה האקדמית של הוצאת הספרים:

פרימה אלבז-לוביש, אילנה אלקד-להמן, חנוך בן-פזי, יעל דר, יורם הרפז,

נצה מובשוביץ-הדר, אייל נווה, יעל פישר, שי פרוגל

איורים ותמונות: Shutterstock אלא אם כן צוין אחרת.

תמונות העטיפה: Shutterstock

מסת"ב: 978-965-530-224-0

עשינו כמיטב יכולתנו לאתר את בעלי הזכויות של כל חומר ששולב
בספר ממקורות חיצוניים. אנו מתנצלים על כל השמטה או טעות.
אם יובאו אלה לידיעתנו, נפעל לתקן במהירות הבאות.

© כל הזכויות שמורות למכון מופ"ת, תשפ"ג/2023

טל': 03-6901428 <http://www.mofet.macam.ac.il>

דפוס: דפוס הניצחון

תוכן העניינים

7.....תודות

9.....הזמנה למפגש

שער ראשון | מערכות הרגש

29.....על השער הראשון

31.....פרק 1 | רגשות מתווכים למידה

59.....פרק 2 | המוח החברתי

90.....פרק 3 | מה מניע אותנו?

שער שני | מערכות התפיסה והלמידה

125.....על השער השני

127.....פרק 4 | ללמוד זה לחבר

153.....פרק 5 | המדע של הלמידה

שער שלישי | מערכות הניהול

191.....על השער השלישי

193.....פרק 6 | המוח הגמיש

228.....פרק 7 | מי מנהל לנו את המוח

256.....פרק 8 | שולחן העבודה של המוח

284.....סוף דבר ותחילת מעשה

הערה: הביבליוגרפיה לכל פרק מופיעה בהערות שוליים.

תודות

לפני כמה שנים, כשעבדתי בחברה חינוכית, פגש אותי במקרה פרופ' יורם הרפז, ושאל אותי בדרך אגב אם ארצה לכתוב ספר על המפגש בין מדעי המוח לחינוך. במופע מובהק של רגש המשתלט על השכל (ראו פרק 1) מצאתי את עצמי עונה "כן" לפני שבאמת חישבתי את השלכות ההחלטה. כך יצאתי למסע בין מאות ספרים ומאמרים, חוקרים, מורים וסיפורים מרתקים. שוחחתי עם מומחי חינוך, עם מדעני מוח ונוירופדגוגים, ולמדתי להתבונן מחדש על כל מה שלמדתי על המוח במהלך כתיבת הדוקטורט. גיליתי עולם מופלא, מסקרן, המאפשר הסתכלות רעננה על החינוך תוך שהוא מציב בסיס ביולוגי ומדעי לנושאים חינוכיים מרכזיים. ובעיקר פגשתי קהילה של שותפים רבים לדרך, מורים, מורי מורים, חוקרי מוח, מנהלים וחוקרי חינוך, וכולנו יחד נפעמנו מהקשרים הנגלים לנו בין ממצאים ממדעי המוח לבין סוגיות מרכזיות בחינוך. יצאתי למסע לבד, אך כמו בשיר, עד מהרה פגשתי אנשים טובים ורבים באמצע הדרך, ודברי התודה האלו נכתבו עבורם.

בתחילת המסע התמזל מזלי ופגשתי את אביגיל פרידמן, אז ראש המסלול לגיל הרך במכללת אפרתה, ואת שירה רוזנברג, אז ראש תחום החינוך המיוחד במכללת הרצוג. שתיהן, כל אחת לחוד, התלהבו מהחלום לחבר בין מדעי המוח לחינוך, והזמינו אותי לפתח אותו במסגרת קורסים במכללה. חלק גדול מהחומרים בספר פותחו לראשונה עבור הקורסים הללו, והשיחות, הדיונים והתובנות שהתפתחו בכיתה מצאו את דרכם אל תוך הספר.

תודה לדינה לרמן, מרצה לחינוך מיוחד במכללת הרצוג ומרפאה בעיסוק. דינה מלמדת את הסטודנטים שלה "להיות בלשים במוח" - במוחם שלהם ובהמשך גם במוחם של תלמידיהם. כך הפכנו לחברות ולשותפות בקורסים ובפרויקטים שונים. דינה, תודה על החשיבה המשותפת, המילים החמות בדרך, ובמיוחד על החברות.

עד מהרה הבנתי שאני לא חולמת לבד. אילת קצוף הזמינה אותי לקבוצת החשיבה לנוירופדגוגיה במכון מופ"ת, וכך הצטרפתי לקהילה שלמה של מורים, מרצים, הוגים וחוקרים שכולם דיברו נוירופדגוגיה. בהמשך זכיתי להיות חלק

מהצוות המוביל של ההתמחות בנורופדגוגיה במסגרת בית הספר ללימודי התמחות מקצועית במכון מופ"ת. הרציתי, הקשבתי להרצאות של אחרים, ניהלנו שיחות ודיונים, והפכנו, כל הצוות, לחברות אמת. אני מודה מקרב לב לחברות שלי בצוות "המשושה": לאילת קצוף, לאפרת לוצאטו, למיה שלום, לגל בן יהודה, לאתי גרובגלד, וכמובן לפרופ' יצחק פרידמן, המקדיש אנרגיה בלתי נדלית כדי לקדם את תחום הנורופדגוגיה בישראל. תודה גם ליעל עדיני ולאהוד נורי, שחידדו אצלי תובנות רבות באשר לבניית הגשר בין תחום מדעי המוח לחינוך.

מאז שאני זוכרת את עצמי רציתי להיות מורה וחוקרת מוח. את ההכשרה שלי קיבלתי במרכז הבינתחומי לחישוביות עצבית באוניברסיטה העברית, כיום מרכז ספרא לחקר המוח. תודה מיוחדת לפרופ' שאול הוכשטיין, המנחה שלי לעבודת הדוקטורט, ולסגל של המרכז - אנשים שעיצבו אותי כחוקרת מוח.

יש כמה אנשים שבלעדיהם הספר הזה לא היה בא לעולם. תודה לצוות ההוצאה לאור במכון מופ"ת: תודה לדודו רוטמן, ראש ההוצאה והעורך הראשי לשעבר, ולתמי ישראלי, ראשת ההוצאה והעורכת הראשית שלה; ליהודית שטיימן, שקיבלה את הספר בהיותה ראשת ההוצאה והעורכת הראשית, ובתהליכו הסופיים תרמה לו כקוראת אקדמית; לשרה שמעוני, שקראה את הגרסה הראשונה והעירה הערות חשובות; לעדי רופא, עורכת הלשון והתוכן, שבסבלנות אין קץ תיקנה, שכתבה, שאלה וביררה; לאורית לידרמן העורכת הגרפית המקצועית ולחני שושתרי היעילה, רכזת הוצאת הספרים. תודה גם ליורם הרפז ולאמיר עמדי שקראו והעירו על גרסה מוקדמת של הספר. ואחרון חביב, לאהרון, האיש שאיתי, תודה על הקריאה החוזרת ובדיקת העברית ועל הסבלנות בדיונים האינסופיים. אהרון, אתה אהבת חי.

התודות האחרונות הן לקבוצה של אנשים שלא היו קשורים ישירות לכתיבת הספר. לד"ר לונה כדורי, לד"ר תמר פרץ, ולכל הצוות של טיפול יום במכון שרת לאונקולוגיה בהדסה עין כרם: במשנה כתוב ש"כל המקיים נפש אחת, מעלים עליו כאילו קיים עולם מלא" (מסכת סנהדרין פרק ד'). ובכן, זה העולם שלי. תודה שאפשרתם לי לשתף אותי.

לאהרון, יונתן, מיכאל, הודיה וישי - תודה שאתם איתי.

הזמנה למפגש

בכיתה ג' 3 של המורה מזל חסון מתרחש משהו מיוחד. תלמידיה של מזל הם חלק מהחינוך המיוחד, כאלה שמסיבות שונות אינם לגמרי משתלבים בחינוך הרגיל. התלמידים הללו לרוב סובלים מדימוי עצמי נמוך, בייחוד בכל הקשור ללמידה ולבית הספר. אך בכיתה של מזל יש אווירה אחרת. העיקרון המנחה את הכיתה, שמתנוסס באותיות גדולות מעל הלוח, הוא: "כיתה ג' 3 מפעילה את הראש", ותלמידיה של מזל משוחחים על תאי עצב ועל גמישות מוחית. בהנחייתה, הם לומדים על דפוסי חשיבה מצמיחים, ועל איך דווקא ההתמודדות עם אתגרים יוצרת מסלולים מוחיים חדשים. מזל היא חלק מקבוצת מורים ייחודית וחלוצית שלמדה נירופדגוגיה, תחום חדש המחבר בין ממצאים מדעיים עדכניים על המוח לבין פרקטיקה חינוכית יישומית.^{3,2,1} "האווירה בכיתה השתנתה", מספרת מזל. "בעבר, כשתלמידים נתקלו בקשיים כלשהם, חלקם נטו לוותר. כעת הם מגיבים זה לזה בשפה מצמיחה, ומעודדים זה את זה להתמודד עם האתגרים".

זהו ספר על חינוך ועל המוח ועל הפוטנציאל הגלום במפגש בין שני התחומים הללו. ההתקדמות במדעי המוח היא עצומה. בפעם הראשונה בהיסטוריה אנו מסוגלים להתבונן אל תוך המוח ולהבין מה מתרחש בו בזמן שאנו לומדים, מרגישים, חושבים, מתנהגים ומחליטים. אנו יכולים לראות, בזמן אמת, כיצד נוצרים קשרים בין תאי עצב או איך נוצרים הזיכרונות, ולהבין את הקשרים ההדוקים בין רגש ללמידה. ההתקדמות המהירה בתחום מדעי המוח בעשורים האחרונים מאפשרת לנו גם לחבר בין מנגנונים מוחיים לבין ידע וכלים חינוכיים ולהבין מהי הנירופדגוגיה שבבסיסם.

נירופדגוגיה, המכונה באנגלית גם educational neuroscience או neuro-education, מגשרת בין מדעי המוח, פסיכולוגיה, פדגוגיה וחינוך כדי לפתוח זווית ראייה חדשה על מושגים חינוכיים ופדגוגיים כמו למידה, יצירתיות,

1 Thomas, M. S., Ansari, D., & Knowland, V. C. (2019). Annual research review: Educational neuroscience: Progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60(4), 477-492.

2 פרידמן, י', טייכמן-וינברג, א' וגרובגלד, א' (2016). מודל אחווה לנירופדגוגיה - יישום ממצאי חקר המוח בהוראה ובלמידה. המכללה האקדמית אחווה.

3 עדיני, י', נורי, א', קרני, א' וקרן, ת' (2011). נירופדגוגיה - קווי מתאר ללמידה. אתר נירופדגוגיה ישראלית.

מוטיבציה, ניטור רגשי ותקשורת בין-אישית.⁴ בכך הנוירופדגוגיה תורמת להבנה עמוקה יותר של ההיבטים הרגשיים, הקוגניטיביים והמטה-קוגניטיביים של הפדגוגיה ושל החינוך.

ספר זה מציג בפני מורים את תחום הנוירופדגוגיה בשלושה שערים המתכתבים עם שלושה היבטים מרכזיים של המוח האנושי: ההיבט הרגשי, ההיבט הלימודי וההיבט של תפקודי הלומד ותכנון הפעולה, המכונה גם תפקודים ניהוליים. רוב המורים מכירים את הצירים הללו מהעבודה בשטח, מתוך ידע, ניסיון ואינטואיציה חינוכית בריאה. כל פעולה חינוכית חייבת לכלול התייחסות למרכיבים הרגשיים והלימודיים גם יחד, ואף מחייבת חשיבה על החלק הפעיל שייקח התלמיד בלמידה. מבחינה זו הספר אולי אינו מחדש הרבה. עם זאת החידוש המשמעותי שלו טמון בהמשגה של המודל הזה בעזרת ממצאים חדשים על אודות המוח, כאלה שלרוב תומכים באינטואיציה החינוכית של מורים רבים, אך לעיתים הם גם הפוכים לה, ולכן יש חשיבות גם לידע שהצטבר בחקר המוח. המודל מאפשר למורים להעמיק את הידע ואת הפרקטיקה החינוכית שלהם, ולהתבונן בצורה מפוכחת על מכלול המרכיבים שיחד מכונים חינוך.

כשמוח וחינוך נפגשים

בשנות התשעים של המאה הקודמת, השידוך בין מדעי המוח לחינוך היה נראה מבטיח. תנועת החינוך מבוסס המוח גרסה ששיטות החינוך מיושנות ואינן עולות בקנה אחד עם ממצאים עדכניים על אודות המוח, ושיש להמציא את החינוך מחדש ולפתח שיטות חינוכיות וכלים פדגוגיים שיתבססו על פריצות הדרך המדעיות שנעשו בתחום.⁵

בעקבות זאת נחשפו אנשי חינוך לשפע של סדנאות ושל כלים שהתיימרו לתרגם את הממצאים המדעיים העדכניים לכלים פדגוגיים חדשניים ויישומיים. הסדנאות דנו למשל בהבדלים בין מוח ימין למוח שמאל, והמליצו למורים לזהות את הצד הדומיננטי של כל לומד או לסווג את התלמידים לפי 'צורת

4 Howard-Jones, P. A., Varma, S., Ansari, D., Butterworth, B., De Smedt, B., Goswami, U., ... & Thomas, M. S. (2016). The principles and practices of educational neuroscience: Comment on Bowers. *Psychological Review*, 123(5), 620-627. <https://doi.org/10.1037/rev0000036>

5 Bruer, J. T. (1999). In search of... brain-based education. In Jossey-Bass Publishers (Eds.), *The Jossey-Bass Reader on the Brain and Learning*, (pp. 51-69).

הלמידה המועדפת' עליהם כלומדים שמיעתיים, תנועתיים או ראייתיים. אולם לרוב עשו הכלים החדשים שימוש שגוי ומכליל בתוצאות של מחקרי מעבדה מבוקרים, ולכן ברבות הימים נתנה להם הקהילה המדעית את השם הכולל 'נוירו-מיתוסים'.⁶ התובנות על מוח ימין ומוח שמאל, למשל, היו מבוססות בעיקר על ממצאי מחקרם של מיכאל גזניגה ושל מורו רוג'ר ספרי,⁷ שהתבצע על קבוצה קטנה מאוד של נבדקים שעברו ניתוחים לניתוק הקשר בין שני צידי המוח כדי להקל עליהם את התקפי האפילפסיה. התוצאות של גזניגה וספרי אומנם הובילו להבנה טובה יותר של המוח האנושי בתחום התפיסה, מעבר המידע בין חלקי המוח ואף מודעות, אך הניסיון להשליך מהן לתחום החינוך היה בוסרי.⁸

ההבטחה הגדולה של התנועה לחינוך מבוסס מוח לא התגשמה. בהתפכחות שכנראה לא הפתיעה אף איש חינוך, התברר שלא ניתן ליישם תובנות וממצאים מתוך מחקרים שהתבצעו בתנאי מעבדה, הישר אל תוך הכיתות בבתי הספר. התחומים היו פשוט רחוקים מדי. בשנת 1997 כתב איש החינוך ג'ון ברואר מאמר שכותרתו "גשר אחד רחוק מדי", ובו הוא קרא תיגר על היכולת של מדעי המוח להוביל אל ידע ואל כלים חינוכיים מעשיים ויעילים.⁹ המאמר של ברואר נחשב לקו פרשת המים בתחום הנוירופדגוגיה, והוא שם קץ לתקופה של ניסיונות לייבא ידע ביולוגי תאורטי אל בין כותלי בית הספר.

אך בינתיים, לצד הגינוי של החינוך מבוסס המוח כמה כבר בסוף שנות התשעים ובתחילת המאה ה-21 תנועה חדשה שניסתה לבנות את הגשר בין שני התחומים בצורה אחרת. התחום החדש היה מצד אחד יומרני פחות, ומצד שני מבוסס וממוקד יותר. חוקרים שהתחקו אחרי הבסיס הנוירוביולוגי של הפרעות למידה כמו דיסלקציה, למשל, דווקא הצליחו לחבר את הממצאים שלהם לשיטות חינוך שונות, ואף להפיק מהם השלכות מעשיות. אחת התגליות המרכזיות הייתה שדיסלקציה נובעת בין היתר מליקויים בחיבורים העצביים בין אזורי ראייה שקולטים את צורת האות והמילה, לבין אזורי שפה ושמיעה

6 Pasquinelli, E. (2012). Neuromyths: Why do they exist and persist? *Mind, Brain, and Education*, 6(2), 89-96.

7 Gazzaniga, M. S. (2005). Forty-five years of split-brain research and still going strong. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(8), 653-659.

8 Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: From research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7(5), 406-413.

9 Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, 26(8), 4-16.

המעבדים את הפונולוגיה, כלומר את הצליל של האות והמילה.¹⁰ הממצאים החדשים הראו שקריאה שוטפת תלויה בעיקר במודעות פונולוגית, וששיטות הוראה המדגישות את הפונולוגיה של מילים וצלילים, מצליחות לייצר ולשקם את הקשרים העצביים הדרושים. התגליות הללו קירבו בין קבוצות של חוקרי מוח ואנשי חינוך, והם יצרו שיתופי פעולה כדי לפתח יחד כלים מעשיים ושיטות יעילות להקניית הקריאה.¹¹ במשך השנים הובילה ההצלחה בתחום האוריינות לחיבורים נוספים בין חוקרי מוח לאנשי חינוך בתחומים כמו דיסקלקוליה, הוראת המתמטיקה, מוטיבציה, דפוסי חשיבה ומקומו של הרגש בלמידה.

מה הם ההבדלים המהותיים בין גישת חינוך מבוסס המוח, שלא צלחה, לנירופדגוגיה המודרנית? מטרת הנירופדגוגיה החדשה היא לפענח את התהליכים הנורוביולוגיים שבבסיסה של פדגוגיה טובה, ולחבר בין מדעי המוח התאורטיים לידע פדגוגי קיים ויישומי תוך כדי ניהול שיח של שווים בין מדעני מוח לאנשי חינוך. הנירופדגוגיה החדשה מציבה את עצמה כגשר מולטידיסציפלינרי המחבר בין תאוריות ומודלים ממדעי המוח, הפסיכולוגיה והחינוך.

הפסיכולוג הקוגניטיבי דניאל וילינגהם ניסח שלושה אתגרים מרכזיים לתחום החדש, שיחד יכולים להתוות שלושה עקרונות פעולה למפגש פורה בין הדיסציפלינות:¹²

1. מטרת הנירופדגוגיה היא לא לקבוע מטרות חינוכיות, אלא לקדם שיח שיכול להציע דרכי פעולה, להעצים את הידע והמקצועיות של מורים ולפענח את המנגנונים המוחיים שבבסיס החינוך.

לאתגר הראשון קרא וילינגהם אתגר המטרות. מדעי המוח הם ביסודם מדע טהור או מדע תיאורי, שמטרתו לתאר את עקרונות הפעולה של המוח. חינוך, לעומת זאת, הוא מדע יישומי, שמטרתו לקבוע פרקטיקות חינוכיות. נוסף על כך, חינוך כולל גישות פילוסופיות-חינוכיות, שכל אחת מהן מציבה מטרות שונות מעט. החינוך ההומניסטי, לדוגמה, חותר למימוש האדם וחירותו, החינוך לערכים מבקש להנחיל ללומדים ערכי יסוד של החברה,

10 Gabrieli, J. D. (2009). Dyslexia: A new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science*, 325(5938), 280-283.

11 Eden, G. F., & Moats, L. (2002). The role of neuroscience in the remediation of students with dyslexia. *Nature Neuroscience*, 5(11), 1080-1084.

12 Willingham, D. T. (2009). Three problems in the marriage of neuroscience and education. *Cortex*, 45(4), 544.

והחינוך לחשיבה מנסה ליצור לומדים חושבים וביקורתיים.¹³ ביצירת השיח בין התחומים חשוב לזכור שלמדעי המוח למעשה אין עמדה באשר למטרות או לגישות החינוך. גם כאשר מדעי המוח מצביעים על החשיבות של הפן הרגשי בלמידה, או יכולים להציע צורות יעילות יותר להוראת החשיבה, קביעת התפיסה החינוכית והיעדים החינוכיים חייבת להיעשות מתוך תחום החינוך עצמו.

2. שיח יעיל בין מדעי המוח לחינוך חייב להתמקד בנושאים ספציפיים תוך כדי חיבור לממצאי מחקרים במדעי ההתנהגות והפסיכולוגיה ולידע המקצועי והיישומי של מורים.

מדעי המוח מרתקים אותנו, ורב הפיתוי לנסות להשליך ממצאים מתחום זה לתחום יישומי כמו חינוך. כישלונן של תנועות חינוך מבוסס מוח של שנות התשעים מבטא את הסכנות שבפיתוי. לרוב לא ניתן להפיק תובנות חינוכיות משמעותיות וכלליות מהתבוננות בממצאים מחקרניים של מדעי המוח בלבד. כדי ליצור תרגום יעיל של ידע מתוך מדעי המוח חשוב להתבונן בממצאים כמכלול, תוך כדי חיבור לידע ולגישות חינוכיות ופסיכולוגיות ותוך מיקוד בנושאים ספציפיים, כגון נושאים בתוך הוראת המתמטיקה או תובנות על התפתחות הדיסלקציה. לדוגמה, פריצת הדרך הגדולה בחקר הדיסלקציה התרחשה לא כשמדעני מוח איתרו את המנגנונים המוחיים הפגומים בסוגים שונים של דיסלקציה, אלא בעיקר ברגע שאנשי חינוך, פסיכולוגים ומדעני מוח שיתפו פעולה כדי להוכיח ששיטות פדגוגיות מסוימות יכולות לשקם ולחזק את הקשרים הפגומים. את האתגר הזה כינה וילינגהם אתגר התרגום או האתגר האופקי, כי הוא מתייחס לצורך במיקוד בנושא מסוים מתוך אופק רחב של נושאים והעמקה אופקית דווקא בנושא הזה.

3. לאנשי חינוך יש מקום מרכזי ומכריע בהבנת המשמעות של ממצאים ממדעי המוח בהקשר חינוכי רחב, ובתרגום של הממצאים הללו לפרקטיקות חינוכיות.

האתגר השלישי והאחרון בסיכום של וילינגהם הוא אתגר הרמות או האתגר האנכי, ומקורו בהבדלים המרכזיים בין דרכי הפעולה ובין רמות ההסבר במחקרי מוח לעומת אלו בחינוך. המדע מטבעו שואף לבודד תופעות ומנסה לנטרל את ההשפעות ההדדיות בין מנגנונים שונים. כך לדוגמה, חוקר מוח המתמקד במנגנוני זיכרון, לא יביא בחשבון את ההשפעה של היבטים רגשיים

על הלמידה. חוקרי מוח מנסים להסביר את פעולות המוח ברמות שונות של הסבר, החל ברמה המולקולרית, דרך רמת תא עצב יחיד, וכלה ברשתות של תאים ומנגנונים מוחיים רחבים. אנשי חינוך, לעומת זאת, לרוב אינם יכולים להרשות לעצמם לערוך הפרדות לרמות שונות. כל החלטה חינוכית חייבת להשתלב במערכת של שיקולים הרואה את הלומד כמכלול, אך גם מתחשבת בהשפעות הדדיות בין הלומד, המורה, הסביבה החינוכית וחומר הלימוד.¹⁴ לכן, לאנשי חינוך יש מקום מרכזי במפגש הבין תחומי כמי שיכולים להבנות את הידע החדש ולבדוק את הרלוונטיות של הממצאים מתוך הפרקטיקה היומיומית והפרספקטיבה החינוכית המקצועית.

שלושת האתגרים הללו יכולים לשמש כמעין עקרונות ל"תיאום ציפיות" של המפגש הבינתחומי. אך כל שיח בינתחומי מצריך גם מסגרת תאורטית כלשהי המאפשרת לצדדים להבין זה את זה. המפגש בין מדעי המוח לחינוך הוא מאתגר במיוחד. בהערכה גסה, בתחום מדעי המוח מתפרסמים מדי שנה מעל 50 אלף מחקרים חדשים, וכמות דומה של מאמרים מתפרסמים בתחום החינוך. איך ניתן להשתלט על כמות כזו עצומה של ממצאים ולייצר מהם שיח פורה? מה שנחוץ הוא מודל שמצד אחד מופשט דיו כדי להתחבר לשאלות הגדולות של החינוך, ומצד שני מדויק מספיק כדי לכלול את הממצאים המדעיים העדכניים מתחום מדעי המוח. למזלנו, מודל כזה כבר קיים.

להרגיש, ללמוד, לחשוב

עוד כשהיה מורה בתיכון, החל חוקר החינוך דוד רוז להתעניין במדעי המוח ובקשר שלהם להוראה ולחינוך. בכל שיעור הוא התפלא מחדש מהקשת הרחבה של צרכים, של תחומי עניין ושל יכולות שפגש בכיתה. השוני בין התלמידים לא היה מוגבל רק להיבט הלימודי והקוגניטיבי, אלא בלט גם בהיבט הרגשי, במוטיבציה, בהתעניינות בנושאי הלימוד וביכולת ההתארגנות והבקרה העצמית. השאלות שהעסיקו את רוז מוכרות למורים רבים: מהו מקור ההבדלים הגדולים בין תלמידים שונים? איך ניתן לעצב את ההוראה כך שתתאים לצרכים של כמה שיותר לומדים?

רוז החליט לחקור מקרוב את המקורות להבדלים בין תלמידים עם דגש על ההתפתחות המוחית של ילדים. הוא יצא ללימודי נירופסיכולוגיה, וברבות

14 Schwab, J. J. (2013). The practical: A language for curriculum. *Journal of Curriculum Studies*, 45(5), 591-621, DOI: 10.1080/00220272.2013.809152

הימים החל לעבוד כנוירופסיכולוג התפתחותי. עם הצוות בקליניקה שלו הוא אבחן מאות רבות של תלמידים ואפשר להם התאמות והקלות שונות. למרות העבודה המדוקדקת, רוז הרגיש שהאבחונים וההתאמות לא באמת פתרו את הקושי של המורים ושל התלמידים. בריאיון עימו סיפר כי הם אבחנו מאות ילדים, אך כשיצאו למעקב וראינו את התלמידים ואת המורים, הבינו שהאבחונים וההתאמות לא שינו את מצבם של התלמידים באופן מהותי. בסופו של דבר, הם לא באמת סיפקו מענה להוראה, ולא ענו על הצרכים השונים של התלמידים.¹⁵

הבעיה, כך חשב רוז, הייתה עצם ההתאמה של שיטה חינוכית יחידה לצרכים כה שונים של לומדים. ההתאמות הללו נעשו תמיד לאחר מעשה, בדיעבד, אך רוז הרגיש כי נחוץ מודל חדש לפיתוח ההוראה, שיעזור לעצב את הלמידה מלכתחילה כך שתותאם לצורכי הלומדים. הוא יצא למסע מחקרי במסגרת לימודי דוקטורט באוניברסיטת הרווארד והפך לחוקר חינוך. ברבות הימים הוא פיתח יחד עם קבוצת עמיתים מודל מחשבתי חדש לעיצוב ההוראה בשם "עיצוב אוניברסלי ללמידה" (UDL - Universal Design for Learning).¹⁶

המודל "עיצוב אוניברסלי ללמידה" מחלק את מרחב הצרכים של הלומדים לשלושה היבטים חינוכיים עיקריים: ההיבט הרגשי (להלן מערכות הרגש: למה ללמוד?), ההיבט התפיסתי-לימודי (להלן מערכות התפיסה והלמידה: מה ללמוד?) וההיבט התפקודי (להלן מערכות הבקרה והניהול: איך ללמוד?). כל אחד מההיבטים הללו מתקשר למערכות שונות במוח האנושי ומתכתב עם שאלה חינוכית מרכזית. לפני שנבחן את החלוקה של מודל UDL, חשוב לציין שלמעשה לא ניתן להפריד בין המערכות השונות. כלומר, גם אם היבט חינוכי מסוים מזוהה בעיקר עם אזור מוחי מסוים, בפועל כל תפקוד מוחי מערב מספר רב של אזורים במוח כולו. המוח דומה לתזמורת המנגנת בהרמוניה, עם השפעות הדדיות רבות בין אזורים ובין תפקודים שונים.

מערכות הרגש: למה ללמוד?

במרכז המוח שוכנת המערכת הלימבית, קבוצה של אזורים וגרעינים המשחקים תפקיד חשוב בעיבוד רגשות ובמוטיבציה. המערכת הלימבית אחראית לרגשות

15 Nelson, Loui Lord, Ph.D., *Interview on the podcast*. <https://theudlapproach.com/podcasts/udl-research-in-15-minutes/episode-1-david-rose/>

16 Rose, D. H., & Meyer, A. (2002). *Teaching every student in the digital age: Universal Design for Learning*. Association for Supervision and Curriculum Development.

שליליים כמו כעס, פחד, חרדה ולחץ, אך גם לרגשות חיוביים כמו מוטיבציה, תשוקה, אהבה, שמחה ואמפתיה.¹⁷ בשנים האחרונות התחזקה התובנה שרגשות הם מרכזיים ללמידה. מחקרים רבים מראים שתחושות שליליות כמו לחץ וחרדה משפיעות לרעה על הלמידה ועל הזיכרון, ורגשות חיוביים יכולים לסייע בלמידה ולהגביר את המוטיבציה ללמוד.¹⁸ המערכת הרגשית עומדת במרכז הלמידה, ולמעשה לא ניתן ללמוד או ללמד מבלי להתייחס לצרכים הרגשיים ולמעורבות הרגשית של הלומדים.

מערכות התפיסה והלמידה: מה ללמוד?

מודל העיצוב האוניברסלי ללמידה, כמו כל מודל טוב, חייב לעשות הכללות והפשטות מסוימות כדי ליצור מסגרת מחשבתית שדרכה ניתן לראות את העולם בצורה בהירה יותר. במערכת הלומדת, המודל עושה את ההכללה הגדולה ביותר. מערכת זו כוללת למעשה את כל האזורים האחראים לקליטה ולפירוש של קלטים הנכנסים מהחושים (אזורי הראייה, השמיעה, המישוש, הריח והטעם), אך גם אזורים המפרשים את המידע הנכנס, כמו לדוגמה אזורי שפה, אזורי זיכרון ואזורים המזהים פרצופים או חפצים. במונחים מדעיים, מערכות התפיסה והלמידה כוללות את האונה העורפית, האונה הקודקודית והאונה הרקתית, שלוש מבין ארבע אונות המוח שיחד מהוות את הקורטקס, החלק החיצוני של המוח. מבחינת המודל, העיסוק המרכזי של המערכת הלומדת הוא הצגה והקניה של ידע חדש: מה ללמוד ובאילו דרכים כדאי להציג את המידע בפני הלומדים.

מערכות הבקרה והניהול: איך ללמוד?

בכל רגע המוח מעבד מאות רבות של קלטים, מחשבות ומשימות. אחד התפקידים המרכזיים של המוח הוא לתעדף בין שלל הגירויים והיעדים שמוצבים בפנינו ולהחליט על דרכי פעולה. יכולות כמו חשיבה מסדר גבוה, מיקוד הקשב והתמודדות עם מסיחים, בקרה עצמית ודחיית סיפוקים, תכנון וקביעת יעדים, התארגנות וניהול זמן נקראות תפקודים ניהוליים, פונקציות ניהוליות,

17 Morgane, P. J., Galler, J. R., & Mokler, D. J. (2005). A review of systems and networks of the limbic forebrain/limbic midbrain. *Progress in Neurobiology*, 75(2), 143-160.

18 Immordino-Yang, M. H. (2015). *Emotions, learning, and the brain: Exploring the educational implications of affective neuroscience (the Norton series on the social neuroscience of education)*. WW Norton & Company.

או במונחים חינוכיים, תפקודי הלומד. התפקודים הניהוליים מאפשרים עבודה והתמדה מכוונות מטרה. המערכות האחראיות לתפקודים הניהוליים למעשה מפוזרות במוח כולו, אך לאונה המצחית, שמיקומה בדיוק מאחורי המצח, יש ככל הנראה תפקיד מיוחד בבקרה של התפקודים האלו.¹⁹ מבחינה לימודית וחינוכית, התפקודים הניהוליים חשובים בכמעט כל מפגש של הלומד עם חומר הלימוד, בייחוד בכל הנוגע ללמידה פעילה, לחשיבה ולבקרה עצמית בלמידה. כמו כן, הם ממלאים תפקיד חשוב בחיים המקצועיים, הרגשיים והחברתיים של כולנו. במדעי המוח, לאונה המצחית תפקיד מפתח בתפקודים הניהוליים. במודל UDL, השאלה המרכזית הקשורה למערכות אלו היא איך ללמוד, והיא כוללת שאלות ממוקדות יותר, כמו איך לאפשר ללומדים לקחת חלק פעיל בלמידה, איך לעורר תהליכי חשיבה, איך להציב מטרות ואיך לתת משוב מקדם למידה ללומדים שונים.

חשוב לציין שמודל העיצוב האוניברסלי ללמידה אינו מכתוב יעדים ואינו מבקש למיין תלמידים לפי סגנונות למידה. זוהי מערכת של עקרונות ושאלות, מסגרת מחשבתית שיכולה לעזור לאנשי חינוך להתמודד עם הכמות העצומה של ממצאים, כלים ושיקולים חינוכיים המעורבים בהוראה.

בספר זה נכיר את הממצאים העדכניים בתחום מדעי המוח בהקשר החינוכי, ונשתמש בחלוקה שפיתח דוד רוז כדי להכיל את המידע. **בשער הראשון** של הספר נעסוק במערכות הרגש ובתפקיד של רגשות בלמידה ובמוטיבציה. **בשער השני** נעסוק במערכות התפיסה והלמידה ובמשמעות הלמידה מבחינה נוירוביולוגית, וכמו כן נכיר אסטרטגיות לשיפור הלמידה והזיכרון. **בשער השלישי** והאחרון של הספר נדון במקומם של התפקודים הניהוליים בלמידה, ונבין כיצד הקשרים בין האונה המצחית למערכת הלימבית אחראים למוטיבציה ולהתנהגות מכוונת מטרה.

רוז פיתח את המודל שלו בתחילת שנות התשעים, ומאז חלה התקדמות משמעותית בתחום מדעי המוח, אך מודל העיצוב האוניברסלי ללמידה עדיין תקף. הממצאים העדכניים על המקום המרכזי של רגשות בלמידה, התגליות על מנגנוני למידה וזיכרון, והתובנות בנוגע לחשיבות של תפקודים ניהוליים, כל אלה מוצאים מקום במודל של רוז.

19 Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: A conceptual view. *Psychological Research*, 63(3-4), 289-298.

Badre, D., & Nee, D. E. (2018). Frontal cortex and the hierarchical control of behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(2), 170-188.

ספר זה דן בקשרים בין המוח לפדגוגיה ולחינוך, אך המוח אינו פועל לבדו. בשנים האחרונות התגלו ממצאים רבים המצביעים על הקשר החזק והחשוב בין המוח לשאר מערכות הגוף, כמו לדוגמה התגלית שפעילות גופנית משחררת במוח חלבונים (BDNF - Brain-Derived Neurotrophic Factor) המסייעים לתאי עצב לצמוח.²⁰ תנועה, תזונה, שתייה ושינה, כולן משפיעות על תפקודי המוח בצורה ניכרת. אך הקשר בין המוח ליתר מערכות הגוף הוא אף הדוק מזה. מחקרים עדכניים מצביעים על ההשפעה של מערכת העיכול על המצב המנטלי, על הפעילות הקוגניטיבית ועל יכולות הלמידה. המעיים כוללים כ-100 מיליון תאי עצב המתקשרים ישירות עם המוח. התקשורת בין המוח למערכת העיכול היא דו-כיוונית, כלומר מהמוח אל מערכת העיכול, אך גם ממערכת העיכול בחזרה אל המוח. כולנו מכירים את התופעה שבה התבוננות במאכל טעים, המתרחשת למעשה במוח, יכולה לגרום לקרקורי בטן. אך מתברר שההרכב המיקרו-ביוטי של מערכת העיכול יכול גם להשפיע על המצב המנטלי ועל יכולת הלמידה. בסדרה של מחקרים מרתקים הראו חוקרים שהנוכחות של חיידק מסוים בתזונה של עכברים גרמה לירידה בתסמיני החרדה ולעלייה ביכולת הלמידה שלהם.²¹ בבני אדם, מחקרים עדכניים מצביעים על קשר אפשרי בין בריאות המעיים לבין מחלות קוגניטיביות ומנטליות כמו דיכאון, חרדה, דמנציה ומחלת אלצהיימר.²² חוקרים אחרים מתעניינים באופן שבו הגוף וחויית הגוף מעצבים למעשה את התודעה ואת יכולת החשיבה שלנו. לפי הגישה הזו, הנקראת embodied cognition או בעברית תודעה נטועת גוף, לא ניתן להבין או לחוות תהליכים רגשיים, מנטליים או קוגניטיביים ללא התייחסות לגוף, לסביבה, למערכות החישה ולתנועה. רגש, למידה, זיכרון וחשיבה - כולם נטועים במידה כזו או אחרת ביחסים ההדוקים בין המוח לגוף.

20 Szuhany, K. L., Bugatti, M., & Otto, M. W. (2015). A meta-analytic review of the effects of exercise on brain-derived neurotrophic factor. *Journal of Psychiatric Research*, 60, 56-64.

21 Matthews, D. M., & Jenks, S. M. (2013). Ingestion of *Mycobacterium vaccae* decreases anxiety-related behavior and improves learning in mice. *Behavioural Processes*, 96, 27-35.

22 Dinan, T. G., Stilling, R. M., Stanton, C., & Cryan, J. F. (2015). Collective unconscious: How gut microbes shape human behavior. *Journal of Psychiatric Research*, 63, 1-9.

מבנה ותפקוד במוח האנושי

מודל שלוש מערכות המוח של דוד רוז מהווה נקודת התחלה טובה לשיח המתהווה בין חוקרי מוח לאנשי חינוך, בין הממצאים העדכניים על המוח לבין חוכמת הפרקטיקה החינוכית היום-יומית. למרות זאת, חשוב גם להכיר את החלוקה הנוירו-אנטומית המקובלת בקרב הקהילה המדעית.

המוח האנושי שוקל בממוצע בין 1,300 ל-1,400 גרם, והמרקם שלו דומה במעט לג'לי. כשמתבוננים במוח מבחוץ ניתן להבחין בקלות שהוא בנוי משני חצאים הנקראים ההמיספרה הימנית וההמיספרה השמאלית. כל אזור וכל גרעין מוחי קיימים גם בצד ימין וגם בצד שמאל, בדומה לאיברים אחרים בגוף כמו העיניים, הרגליים או הידיים. שתי ההמיספרות קשורות זו לזו על ידי צרור עבה של סיבים עצביים, הנקראים יחד כפיס המוח, שתפקידו להעביר מידע מצידו האחד לצידו השני של המוח.

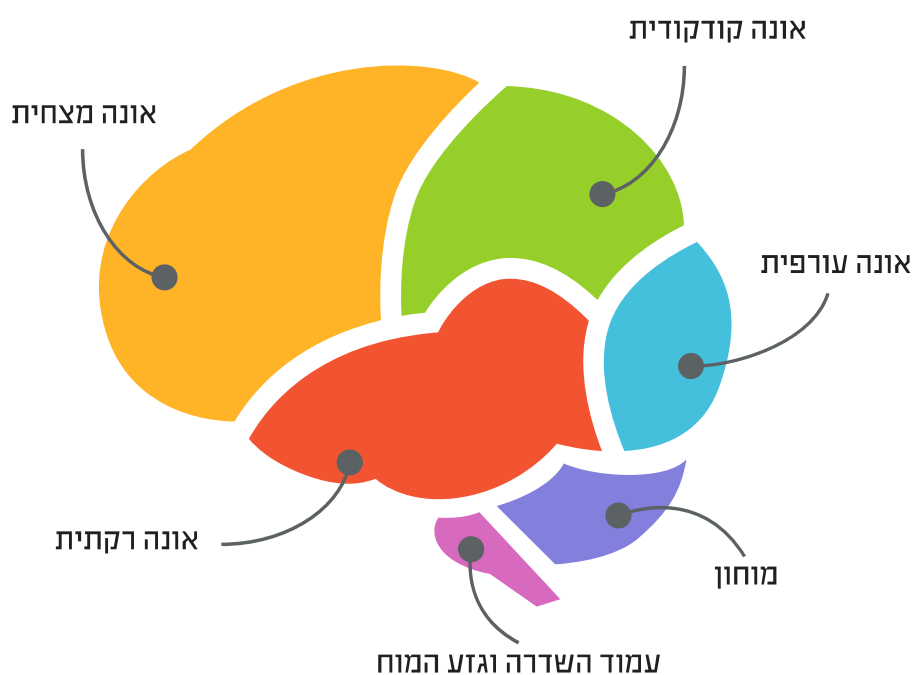
השכבה החיצונית של המוח נקראת הקורטקס או קליפת המוח, והיא שכבה דקה (בין 2 ל-4 מילימטרים) המורכבת ממיליארדים של תאי עצב. השכבה הזו למעשה מקופלת בתוך הגולגולת ומשווה למוח את מראה הקיפולים האופייני לו. קליפת המוח נחשבת לאחראית המרכזית לתפקודי המוח "הגבוהים", כמו עיבוד המידע המגיע מהחושים, שליחת פקודות מוטוריות לשרירים, תהליכי חשיבה, מודעות, דיבור, הבנת שפה וקבלת החלטות.

תאי עצב אינם יכולים לפעול לבדם. הם מקיימים קשרים עם אלפי תאי עצב אחרים. ואכן, בדיוק מתחת לקליפת המוח, שצבעה בדרך כלל אפור, נמצאת שכבה גדולה של חומר לבן, שמורכבת ממיליוני סיבים עצביים זעירים המחברים בין תאי העצב. ניתן לחשוב על החומר הלבן כעל מערכת התקשורת של המוח. החומר הלבן נקרא כך מכיוון שהוא אכן לבן יותר בצבעו מהחומר האפור של תאי העצב עצמם. החומר הלבן מקבל את צבעו מהנוכחות של תאים נוספים הנקראים תאי גלייה. התאים הללו תומכים בתאי העצב, מזינים אותם ומחזקים את הקשרים ביניהם.

מתחת לשכבה העבה של החומר הלבן שוכנים הגרעינים העמוקים של המוח, המהווים יחד את המערכת הלימבית, האחראית העיקרית לעיבוד הרגשות, המוטיבציה ולקשרים בין למידה, רגש וזיכרון. האזורים המוחיים הנמצאים מתחת למערכת הלימבית נקראים יחד גזע המוח, והוא מחבר בין המוח לגוף ואחראי בין היתר לנשימה ולפעילות הלב.

מדענים נוהגים לחלק כל ההמיספרה במוח לארבע אונות, כך שכל אונה קיימת גם בצד הימני וגם בצד השמאלי של המוח (ראו תמונה). האונה המצחית שוכנת

מאחורי המצח. היא אחראית בין היתר להעברת פקודות מוטוריות לכל שרירי הגוף ומזוהה גם עם התפקודים הניהוליים. האונה העורפית שוכנת בצד האחורי של הראש ובעיקר מעבדת מידע חזותי ראשוני המגיע אל המוח מהעיניים. האונה הרקתית ממוקמת באזור הרקה, והיא חשובה בין היתר לתהליכי זיכרון, לזיכרון רגשי ולהבנת שפה. האונה האחרונה, האונה הקודקודית, שוכנת בצד העליון של הראש ואחראית בין היתר לחוש המישוש, לעיבוד ולשילוב של המידע המגיע מהחושים השונים ולהבנה מרחבית. כמו במודל ה-UDL, גם כאן חשוב לזכור שפירוט תפקידיה של כל אונה הוא הפשטה מסוימת. בפועל, המוח הוא תזמורת מקושרת היטב, וכל תפקוד מוחי מערב מספר רב של אזורים ברחבי המוח וקשרים שונים בין האונות וההמיספרות.



ארבע אונות המוח. אונות אלו קיימות גם בחצי המוח הימני וגם בחצי המוח השמאלי

בצד האחורי של המוח, בדיוק מתחת לאונה העורפית ומאחורי גזע המוח, שוכן אזור מוחי נוסף, הנקרא המוחון או בלועזית צֶרֶבֶלּוּם (Cerebellum). המוחון אחראי בין היתר לתכנון, לוויסות וללמידה של תנועות מוטוריות. החלוקה לשתי המיספרות ולארבע אונות היא מרכזית למדעי המוח. כמעט בכל מאמר מדעי על המוח ניתן לקרוא, לדוגמה, על האונה הקודקודית הימנית

או על האונה הפרונטלית השמאלית, וכל אזור כזה מחולק לתת-אזורים עם כינויים שונים. החלוקה הזו שימושית מאוד עבור מדעני מוח, אך היא אינה מתכתבת ישירות עם היבטים שונים של החינוך, כפי שעושה מודל ה-UDL. לכן, הספר הזה נעזר בחלוקת שלושת המוחות של דוד רוז.

מורים מעצבים מוחות

כולנו אוהבים סיפור טוב. סיפורים מאפשרים לנו להתנתק מההווה ומהעצמי, להזדהות עם גיבורי הסיפור, להרגיש ולהתרגש. היכולת להתחבר לרגשות ולמחשבות דרך סיפורים היא יכולת אנושית ייחודית. כדי לגלות מה מתרחש במוח בעת ההקשבה לסיפור טוב, חוקר ישראלי בשם אורי חסון, כיום באוניברסיטת פרינסטון, ביקש ממתנדב לספר סיפור על חוויה שעבר בחיים, בעודו שוכב בתוך מכשיר דימוי מוחי בשם fMRI.²³ הינה הצצה דמיונית אל תוך המעבדה של אורי חסון:

הנבדק נשכב בתוך מכשיר ה-fMRI, שהחוקרים מכנים בשם חיבה 'המגנט'. עוד מעט הם יבקשו ממנו לספר סיפור. אורי מבצע בדיקות אחרונות למכשירים ומוודא שהוא מצליח לשמוע את הנבדק. מכשיר ה-fMRI מאפשר לחוקרים למדוד את זרימת הדם המחומצן במוח, וכך לגלות בזמן אמת אילו אזורים מוחיים פעילים יותר ואילו אזורים פעילים פחות. הנבדק מתחיל לספר את סיפורו. על המסך בחדר הבקרה מרצדים הצבעים בחתכי רוחב ואורך של המוח. בסוף הניסוי יבצעו החוקרים ניתוח סטטיסטי כדי להבין מה בדיוק התרחש במוחו של מספר הסיפורים בזמן הבדיקה. בהמשך הניסוי ייכנסו נבדקים אחרים למגנט, ויקשיבו לסיפור המוקלט של מספר הסיפורים. גם אצלם יבדקו החוקרים את הפעילות המוחית. השאלה הגדולה של הניסוי היא עד כמה הפעילות המוחית של מספר הסיפורים תהיה דומה לפעילות המוחית של מאזיניו? ועד כמה הפעילות המוחית של המאזינים השונים תהיה דומה במשכה למשך הסיפור?

בסדרה של ניסויים מרתקים גילתה קבוצת המחקר של חסון שבעת ההקשבה לסיפור, הפעילות המוחית של המאזינים השונים נעשית דומה להפליא לפעילות

23 Stephens, G. J., Silbert, L. J., & Hasson, U. (2010). Speaker-listener neural coupling underlies successful communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(32), 14425-14430.

המוחית של מספר הסיפור, וכך היא נמשכת לאורך הסיפור. בתופעה שאורי כינה סנכרון מוחי, המוחות של המאזינים ושל הדובר מתחילים לפעול בהתאמה, ולאורך העלילה אזורים זהים במוחם של כל הנבדקים פועלים בה-בעת. במידה מסוימת, ניתן לומר שהסיפור מאפשר לדובר להעביר את המחשבות, את הרגשות ואת הדימויים מראשו הישר לראשם של המאזינים. במחקר המשך גילה אורי שמידת ההתאמה המוחית קשורה גם למידת התקשורת וההבנה. ככל שההתאמה המוחית בין המאזין לבין מספר הסיפורים הייתה גדולה יותר, כך הבין המאזין את הסיפור טוב יותר וגם זכר אותו טוב יותר.

בהרצאת TED שנשא אורי על אודות המחקר שלו, הוא פנה לקהל ושאל שאלה שנשמעה קצת כמו מדע בדיוני: מה היינו עושים אילו היה לנו מכשיר שיכול להעביר ידע ורעיונות, מחשבות ורגשות הישר מהמוח של אדם אחד למוח של אדם אחר? תשובתו לשאלה זו הייתה, כי כבר יש ברשותנו מכשיר שכזה, שמו תקשורת אנושית.²⁴

התוצאות הללו מפתיעות במיוחד לנוכח המורכבות הרבה של המוח. עם משקל ממוצע של קצת יותר מקילוגרם ומרקם הדומה לג'לי, המוח האנושי כולל 86 מיליארד תאי עצב, שכל אחד מהם מתפקד כמחשב זעיר. כל תא עצב מתקשר במישרין ובעקיפין עם עשרות אלפי תאי עצב אחרים. כך התאים מייצרים יחד מערכת מורכבת ומסועפת של טריליוני קשרים עצביים, הפועלים במוחנו בכל רגע נתון. כל מחשבה, כל תנועה, כל החלטה וכל יצירה אנושית הן התוצאה של שיתוף הפעולה העדין בין מאות אלפי תאי עצב בתוך המוח, המתקשרים בתיאום מדויק ומייצרים יחד את כל עושרה של החוויה האנושית ורבדיה.

אם המורכבות של המוח היא בסיס העושר של החוויה האנושית, הרי היא גם זו הגורמת להבדלים בין-אישיים, וזאת בדיוק הנקודה ההופכת את הממצאים של חסון ושל חוקרים אחרים לכל כך מעניינים. אנו שונים זה מזה בתחומי עניין, במחשבות, בצרכים וברגשות, אך על אף השוני, מחקרים מראים שבסופו של דבר, המוחות של כולנו די דומים. החלוקה הפנימית של המוח לאזורים ולתפקודים שונים היא ברובה זהה עבור כולנו, והמוחות של כולנו מגיבים לגירויים שונים בדרכים דומות. הדמיון הזה בין המוחות, אומר חסון, הוא למעשה בסיס יכולת התקשורת האנושית. אנו מבינים זה את זה כי על אף המורכבות של המוח, המוחות שלנו בעיקר דומים.

24 https://www.ted.com/talks/uri_hasson_this_is_your_brain_on_communication

התוצאות של חסון ושל חוקרים רבים אחרים שופכות אור על שאלה המעסיקה את האנושות בכלל ואת אנשי החינוך בפרט מאז ומתמיד. מה חשוב יותר בהתפתחות המוח, התורשה או הסביבה? מחקרים עדכניים מציינים תשובה מורכבת לשאלה זו של התפתחות האדם מלידה ועד בגרות.

מצד אחד המוח הוא גמיש ומשתנה בהתאם לסביבה, לחוויות ולצרכים. החוויות שלנו לאורך השנים וכן והסביבה שאנו חיים בה מעצבות את המוח ומייצרות בו מסלולים עצביים חדשים, המחברים בין אזוריו השונים. הורה המחייך לתינוק, מייצר ומחזק מסלולים מרכזיים בין מרכזי תפיסה ורגש, כך שהתינוק לומד לקשר את פני הוריו לחום ולאהבה. ילדים הלומדים לרכוב על אופניים מחזקים במוחם מסלולים המחברים בין מרכזי שיווי המשקל, הראייה והמוטוריקה. מורה המלמדת ילדים לקרוא, מייצרת במוחם קשרים חזקים בין צורת האות לצליל שלה ובין צורת המילה למשמעותה, וכך מעצבת במוחם מסלולים שישרתו אותם לאורך כל חייהם. כל אלו הן דוגמאות המעידות כי הסביבה משפיעה על התפתחות המוח בצורה מכרעת.

מצד שני, תוצאות כמו אלו של אורי חסון מראות שאנו נולדים עם תשתית בסיסית של מסלולים עצביים, שברובה זהה עבור כולנו. כל יכולת ומיומנות חדשה שאנו לומדים במשך החיים נבנית על בסיס מסלולים עצביים קיימים. היכולות של התינוק לזהות את הוריו, של ילד לרכוב על אופניים או של ילדים ללמוד לקרוא, תלויות בקיומם של מסלולים מולדים בסיסיים המחברים בין מרכזי המוח השונים. אם מסלולים אלה חסרים או חלשים מדי, לא ניתן יהיה ללמוד מיומנות חדשה מבלי לשקם או ליצור את המסלולים הללו. לעומת זאת, אם המסלולים העצביים מפותחים יותר באופן טבעי, אנו נוטים לקרוא לכך כישרון מולד.

אם כן, המולד והנרכש הם שני היבטים של ההתפתחות המוחית, המעורבים ביצירה של הבדלים בין-אישיים. בני אדם נולדים עם מערכת מסלולים בסיסית, שהיא ברובה זהה, אך יש בה גם הבדלים בין-אישיים. במשך החיים, ההתפתחות של המוח תלויה בחוויות שאנו חווים. מסלולים מסוימים מתחזקים בשימוש תדיר, בעוד שמסלולים שאינם בשימוש, מתנוונים. ליכולת הזו של המוח להשתנות בהתאם לחוויות ולנסיבות חדשות קוראים גם נויורופלסטיות או גמישות מוחית, והיא תלויה בשילוב בין הגנטיקה שעימה נולדנו, המבנה של המוח בכל רגע נתון והחוויות שלנו.

כיום מקובל להבדיל בין תקופות קריטיות (critical periods) בהתפתחות המוחית לבין תקופות רגישות (sensitive periods). תקופות קריטיות הן זמנים

קבועים ומכריעים בהתפתחות המוקדמת של המוח, שבהם הוא זקוק לגירויים מסוימים כתנאי הכרחי להתפתחות התקינה של תפקוד מסוים. דוגמה טובה היא התפתחות הראייה - ילדים שנולדו עיוורים ועברו ניתוח להחזרת הראייה בגיל מאוחר יותר, בדרך כלל אינם מצליחים לפתח את הראייה שלהם כראוי, מכיוון שבתקופה הקריטית של תפקוד זה (בערך מגיל לידה עד 3), מוחם לא התנסה בו כלל.²⁵

המושג 'תקופות רגישות' הוא גרסה מרוככת של המושג 'תקופות קריטיות', והוא נוצר בעקבות תגליות עדכניות על הפלסטיות המוחית. תקופה רגישה היא חלון הזדמנויות שבו המוח רגיש ומוכן במיוחד ליצירת מסלולים מסוימים. אם הילד אינו מקבל הזדמנויות או מתנסה בחוויות מתאימות בתקופה זו, המוח יוכל אומנם לסגור את הפער, אך לצורך כך יידרש מאמץ מיוחד. כך לדוגמה, התקופות הרגישות להתפתחות השפה, למוטוריקה, לחשיבה כמותית, לבקרה העצמית, לוויסות רגשי וליצירת קשרים חברתיים, כולן נמשכות מלידה עד בערך גיל 6.

כדי ליצור את כל המסלולים הללו המוח עובר שינויים מרחיקי לכת במהלך ההתפתחות, המתבטאים בכמות היחסית של החומר האפור (תאי העצב) והחומר הלבן (החיבורים בין אזורים): הכמות היחסית של החומר האפור יורדת, ואילו הכמות היחסית של החומר הלבן דווקא עולה. כלומר, במהלך ההתפתחות, שמסתיימת בערך בגיל 25, המוח מתייעל. תאי עצב מיותרים נעלמים, וחיבורים נחוצים מתחזקים. כך המוח הופך למכונה יעילה, משומנת ומחוברת היטב.

כיום אנו יודעים שהמוח ממשיך להתפתח ולהשתנות לאורך החיים, אך השינויים המשמעותיים והמהירים ביותר מתרחשים דווקא בגיל הינקות, הילדות וההתבגרות, ולכן חוויות מוקדמות הן קריטיות להתפתחות המוח. למערכת החינוך, על כל מרכיביה, תפקיד מכריע בהתפתחות זו. בתי הספר, תוכנית הלימודים, האקלים הכיתתי, החברים והמורים, כולם גורמים לשינויים עצביים במוחם של התלמידים, שיכולים להוביל להתפתחות של ידע, של כישורים ושל יכולות חדשות. מכל הגורמים הללו, מחקרים חינוכיים מצביעים שוב ושוב על המקום המרכזי של מורים בתוך מערכת החינוך. במידה רבה ניתן לומר שהממצאים העדכניים על אודות המוח מראים שהעיסוק במוח ועבודה חינוכית הם שני צדדים של אותה מטבע. אנשי חינוך פוגשים את הנושאים שחוקרי המוח

25 McKyton, A., Ben-Zion, I., Doron, R., & Zohary, E. (2015). The limits of shape recognition following late emergence from blindness. *Current Biology*, 25(18), 2373-2378.

חוקרים במעבדה בכיתות ובבתי ספר על בסיס יומיומי. ניתן לומר שמורים הם למעשה מעצבי מוחות.

זהו ספר על חינוך, על המוח ועל מה שביניהם. הסיפור של הנוירופדגוגיה הוא בעיקר סיפור על בניית גשר, על היצירה של קשרים בין הידע והחוכמה של אנשי השטח לבין החוקרים והמדענים במעבדה. יש לתחום החדש הרבה מה לתרום לעולם החינוך, אך התרומה הגדולה לא תבוא משדה מדעי המוח או שדה החינוך בלבד. השאלות המעניינות והתובנות המהותיות עולות דווקא מהשיח המתהווה בין שני התחומים הללו, בין חוכמת השטח לתגליות במעבדה. הספר הזה הוא הזמנה להצטרף לשיח זה, ולכן כל פרק מסתיים בשאלות לדיון וברעיונות ליישום, שיכולים להוות בסיס לשיח עמוק ולשאלות חדשות. אני מקווה שתיהנו מהמפגש.