

נאווה דקל

חבנה המכון לחקר המוח באוניברסיטת בר אילן מעורר התפעלות. זהו מבנה משוכלל וחדש המתנשא מעל המבנים הישנים של האוניברסיטה וכמו מכריז: העתיד שייך לחקר המוח. "כאשר נשיא האוניברסיטה השיג תרומה נכבדה במיוחד ממשפחת גונדה", מספרת הניה גל, ראש המנהל של המרכז, "הוא החליט להועיד אותה לנושא החשוב הזה". המרכז, כמו רוב המרכזים לחקר המוח, הוא רב־תחומי. פרופ' משה אבלס העומד בראשו אסף אליו חוקרים מדיסציפלינות שונות – מדעי החיים, מדעים מדויקים, פסיכולוגיה, קרימינולוגיה ובלשנות. אין

קרובה לחינוך. אמצעי ההדמיה שעומדים כיום לרשות החוקרים, מתברר, מאפשרים להם לחקור מוחות באופן לא פולשני. את חקר המוח והשלכותיו על חינוך, מסביר וקיל, אפשר לחלק לשני היבטים: חקר אוכלוסיות עם קשיים דוגמת דיסלקציה, הפרעות קשב, אוטיות ופיגור וחקר של אוכלוסייה נורמטיבית.

פרופ' וקיל מדבר קודם כול על התובנות החדשות שחקר המוח מציע לתחום לקויות הלמידה. בעבר התייחסו רק ללקויות אקדמיות, כלומר לתפקודי שפה וחשבון הקשורים לאונה השמאלית של המוח. כיום, לעומת זאת, יודעים שיש עולם שלם בהמיספרה הימנית ושהיא אחראית לתפקודים לא מילוליים כגון התמצאות מרחבית, מוזיקה ויצירתיות.

שכלי, שבו הוא מנסה להבין מהי המשמעות של אינטליגנציה. יחד עם פרופ' ליפשיץ מהמחלקה לחינוך הוא בוחן אסטרטגיה של פתרון בעיות אצל נערים ונערות עם פיגור שכלי.

לפרופ' וקיל חשוב להדגיש שחקר המוח מוביל לאופטימיות באשר ליכולות של בני האדם ללמוד ולהתפתח. "היום יודעים שהמוח גמיש יותר ממה שחשבנו בעבר וזה אומר שאנחנו יכולים להשפיע על האופן שבו הוא מתעצב ועל ידי כך לשפר את הכישורים שלנו. הבשורה לכולנו היא שגם מוח מבוגר מתפתח בעקבות חשיפה לידע ותרגול."

וקיל רואה בכך שילוב בין ידע שנותן לנו תקווה לבין ידע המטיל עלינו אחריות כפרטים וכחברה, "כי ברור שלסביבה תפקיד חשוב בעיצוב המוח של כל אחד ואחת.

ביקור במרכזי העצבים

מיטב המדענים חוקרים את המוח במרכזים חדישים בארץ ובעולם ומגלים יותר ויותר מסודותיו של האיבר המורכב והמסתורי ביותר. שיחה עם שני חוקרים ישראלים, פרופ' אלי וקיל ופרופ' נפתלי תשבי, מגלה לאן המחקר כבר הגיע ואיך זה קשור לבית הספר

במכון חוקר מתחום החינוך, אך היבטים חינוכיים של הממצאים נידונים בו. המרכז מקיים פעילות מחקרית ומכשיר סטודנטים. במעבדות של המכון, מספרת גל, עורכים מחקר על המנגנונים הגורמים לפרקינסון, אפילפסיה ואלצהיימר ומחקר על הקשר הרגשי בין אמהות לתינוקות והשפעתו על מוח התינוק. במעבדה אחת שוחות רכיכות חומות בברכה קטנה. גל מסבירה שהרכיכות הן בעצם ארנבוני ים בשם אפליזיה, שיש להם מוח מפותח יחסית (20,000 תאים), מה שמאפשר לחוקרים ללמוד על תפקודים ראשוניים של המוח. בתום הסיוור במעבדות (לא הכול נחשף לפני האורחת) הצביעה גל על חדרי הישיבות של חוקרי המכון ואמרה: "מכאן יוצאת הבשורה".

גם מוח מבוגר מתפתח

אחד מנושאי הבשורה הוא הנוירי פסיכולוג פרופ' אלי וקיל. נויריפסיכולוגיה היא תת־תחום של חקר המוח, והיא הכי

פרופ' וקיל עצמו חוקר את המנגנון המוחי העומד ביסוד היכולת ללמוד. אפשר, לדבריו, להעביר את הידע שיש על פגועי מוח להבנת לקויות הלמידה. גם כאן מנסים להבין איזה אזור במוח לא מתפקד. "כשאת כותבת את לא חושבת על תהליך הכתיבה, אך כשילד לקוי כותב, הוא חושב איך לצייר את האותיות. אנחנו שואלים אם הליקוי שלו הוא בעצם היכולת להפוך את תהליך הכתיבה לאוטומטי. צורת החשיבה הזאת מאפשרת הבנה טובה יותר של דרכי הטיפול".

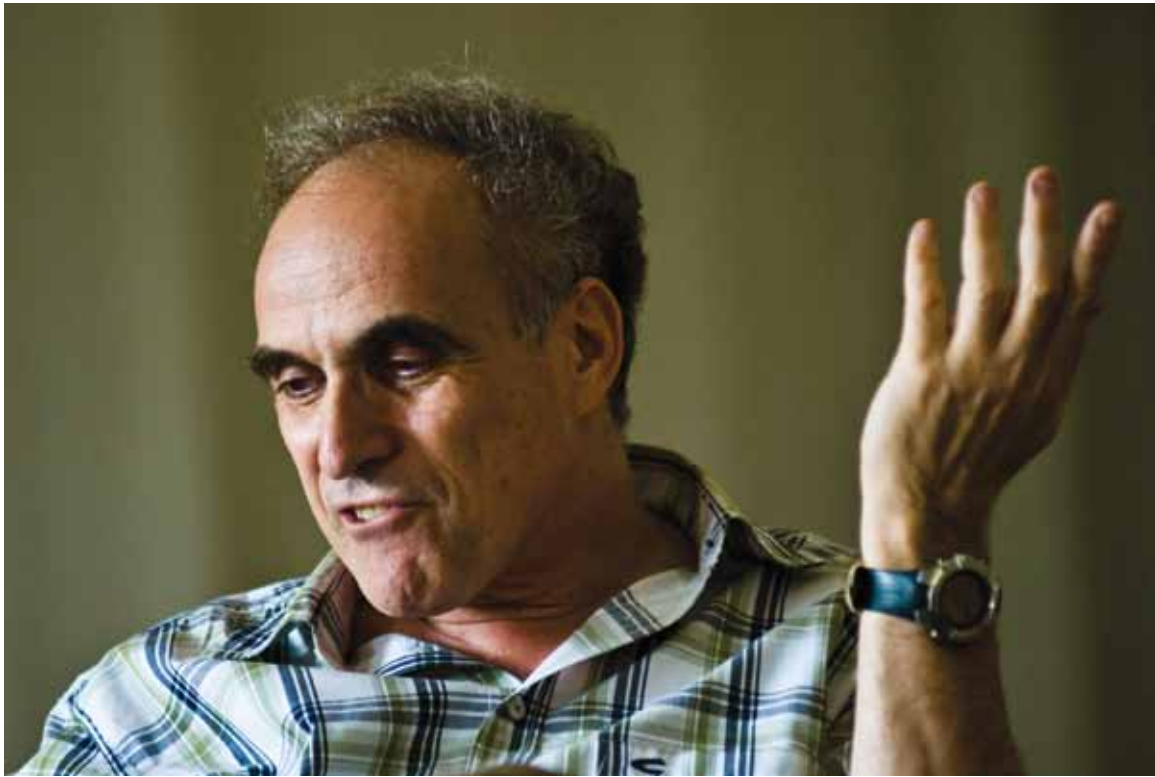
למרות הידע המוחי הרב שהולך ונצבר על לקויות למידה, וקיל מזהיר מפני התהליך החברתי המייצר עודף אבחונים והקלות. "נוצר מנגנון שמערב הרבה מאוד כספים ואינטרסים של גופים מאבחנים ומטפלים. המנגנון הזה רוכב אמנם על גל נכון ולגיטימי אך הוא לוקח אותו לכיוונים בעייתיים. צריך לעמוד על המשמר. להשתמש בתבונה ובוזהירות בידע שהמחקר מקנה לנו".

פרופ' וקיל מתמקד במחקר של פיגור

הפרופיל הקוגניטיבי שלנו שונה, טווח היכולות שלנו שונה, אבל אפשר להרחיב ולפתח אותם."

נקודת המוצא של וקיל היא הידע והניסיון שרכש מתחום הפגיעות המוחיות. כשהוא עובד עם נפגעים הוא יכול למפות את המוח, למצוא את אזור הפגיעה, ובהתאם לכך להתוות את התכנית השיקומית. ההמיספרות הימנית והשמאלית הן בעצם שני מחשבים שכל אחד מהם פועל אחרת. למי שנפגע בצד השמאלי יהיו יותר בעיות בזיכרון של חומר שפתי־מילולי, אבל הוא יוכל לזכור מידע המעובד בהמיספרה הימנית, מידע שהוא צורני־מרחבי. כשעובדים עם מי שנפגע מלמדים אותו להעביר את כובר המשקל ממה שלקוי למה ששמור, "להעביר לרגל הבריאה", לדוגמה: לסרטט במקום לומר מילולית.

ברומה, גם אצל ילדים נורמטיביים אפשר למפות את נקודות התורפה שיש לחזק ואת נקודות החוזק (היכולות הבולטות) שאפשר



פרופ' נפתלי תשבִי. "לימוד מוקדם או מאוחר מדי שאיננו מתאים לשלב ההתפתחות של המוח הוא ברכה לבטלה"



פרופ' אלי וקיל. "אי־אפשר לוותר על למידה עם מורים, אבל אפשר להפוך את המורים למאמני כושר טובים יותר"

צילומים: רפי קוץ



לפתח. "זה לא נכון לומר 'אם נשקיע נגיע'; אנשים 'מגיעים' בתחומים מסוימים שהם מצטיינים בהם. את התחומים האלה יש לאתר ולפתח". וקיל מוטרד מכך שלעתים קרובות אנחנו מחמיצים את הכישרונות שילדים נולדו אתם: "מי יודע כמה ילדים נולדו עם כישרון מוזיקלי או מתמטי ואף אחד לא אמר להם. מה שברור לנו בספורט לא ברור במקצועות אקדמיים למרות שהעיקרון זהה. כשאנחנו חושבים על עיסוק בספורט אנחנו מביאים בחשבון מבנה גוף, אבל בלמידה עיונית אנחנו מתייחסים לכולם באופן שווה. היום יש לנו כלים לראות את 'הגובה והרוחב' של הכישורים הקוגניטיביים, לדעת במה כל אחד יכול להצליח וכך לגרום לו להיות מאושר יותר. אפשר ללמד ילדים להתמקד בצד החזק שלהם, מילולי או צורני, ואפשר גם ללמד לעשות קוד כפול – לגייס את שתי ההמיספרות לעיבוד מידע; למשל, לדמיין מילים ולחשוב יצירתית. השילוב בין ההמיספרות מאפשר לנו לזכור מידע טוב יותר כי אנחנו מרחיבים את תחום הפעולה". הדברים האלו נשמעים מוכרים, אני אומרת לו, מורים יודעים שלילדים שונים יש כישורים שונים ודרכי למידה שונות. וקיל ערוך לשאלה ומסביר מיד כי יש הבדל בין אינטואיציה להוכחה אמפירית: "כמדען חשוב לי לומר שמה שאני אומר אינו אינטואיטיבי אלא מוכח מדעית. מורים צריכים להבין את הרציונל המדעי וליישם ידע מדעי על מצבים בכיתה". חינוך מעסיק אותו מאוד והוא חושב שצריך כבר להתחיל ליישם את הממצאים בשטח. לדעתו "זה תהליך שמצריך הרבה אורך רוח אבל הוא ירחוף את החינוך קדימה".

■ **במה היית מתחיל?**

"הייתי מנסה בית ספר אחד. מתכנן אבחון שיברוק כישורים קוגניטיביים ויאפשר לנו למצוא ילדים עם יכולות ייחודיות. כך נוכל לפתח כישורים שאולי כרגע איש אינו מודע להם".

רעיון נוסף שווקיל מעוניין לקדם הוא מפגש בין אנשי חקר המוח לאנשים מעולם החינוך – מורים, מפקחים, כותבי ספרי לימוד ותכניות. "נחשוף לפניהם את הידע שצברנו בחקר המוח. הם יציבו לנו שאלות ואתגרים בנושאי חינוך. אנחנו נחזור ונבחן את השאלות האלו במעבדות ונוכל לתת תשובות. המפגש הזה בין שני התחומים יקדם גם את החינוך וגם את המחקר המדעי".

■ **מנקודת מבטו של חקר המוח, למורים יש חשיבות?**

"בוודאי. למורים יש השפעה משמעותית על המוח של התלמידים. אייאפשר לוותר על למידה עם מורים, אבל אפשר להפוך את המורים למאמני כושר טובים יותר, לשפר את האסטרטגיות שלהם. קחי דוגמה מהספורט: ברור לכול שאייאפשר להתפתח בתחום בלי מאמן. כך גם בשאר התחומים: צריך להסתכל על הכישורים הקוגניטיביים שלנו כמו על יכולות ספורטיביות. חדר הכושר המתאים יאפשר לנו להגיע להישגים".

מחשב ביולוגי ומחשב טכנולוגי

וקיל נשמע משכנע אבל בימינו קשה, כידוע, לוותר על "סקנד אופיניון". פרופ' נפתלי תשבי הוא חוקר במרכז לחישוביות עצבית באוניברסיטה העברית בירושלים. הוא הגיע לחקר המוח מתחום הפיזיקה, ויש לו גאוות יחידה: "המרכז שלנו קיים כבר

פרופ' וקיל:

"מי יודע כמה ילדים נולדו עם כשרון מוזיקלי או מתמטי ואף אחד לא אמר להם... כשאנחנו חושבים על עיסוק בספורט אנחנו מביאים בחשבון מבנה גוף, אבל בלמידה עיונית אנחנו מתייחסים לכולם באופן שווה"

עשרים שנה. הוא חלוץ בעולם בבניית המודל של שיתוף חוקרים מתחומים שונים בלמידה על המוח. המרכז כבר אילן הוקם על פי תפיסה זו, ובגרמניה הקימו לאחרונה חמישה מרכזים לפי המודל הירושלמי".

תשבי וחבריו המדענים משמשים יועצים לבניית מרכזים לחקר המוח בעולם כולו. לאחרונה הצליחו לגייס עשרות מיליוני דולרים למרכז חדש של שיקום בגבעת רם. במרכז ספרא לחקר המוח יהיו שלושים מעבדות מדיסיפלינות שונות, בדגש על מדעי מחשב ופיזיקה.

■ **עם כל כך הרבה השקעה בחקר המוח ועם ושיתוף פעולה בין מיטב המוחות, מה אתם יכולים ללמד אותנו, המורים, על למידה, זיכרון ושינוי שאיננו יודעים מניסיוננו?**

"המרע מספק תשובות מבוססות. בעוד שהמורים פועלים על בסיס ניסיונם, המרע

מספק ידע שהוא מעבר לניסיון זה או אחר. אבל יותר מכך, חשוב שנבין מהי למידה ונדע שיש תבניות שונות של למידה. לשם כך צריך להבחין בין למידה לזיכרון".

למידה, מסביר תשבי, זה לא סתם לזכור מידע. מה שחשוב בלמידה זו יכולת ההכללה – הסקת מסקנה כללית מתוך מקרים מסוימים. "אנחנו יודעים שבלי שינוי אין למידה; שינוי מבסס את הקשרים הסינפטיים במוח, אבל שינוי זה לא כל הסיפור. כדי להגיע ליכולת הכללה צריך להשתמש בכלים אחרים, למשל ציור שימחיש את הרעיון או בניית מודל. היום אנחנו מבינים שיש תבניות למידה שונות. אנחנו מסוגלים להבחין בין למידה הדרגתית לבין למידה המתרחשת בבת אחת, ולדעת מה אפשר ללמוד בכל דרך".

כשאני מבקשת דוגמה, פרופ' תשבי מדבר על התחום הקרוב אליו, מתמטיקה, ומציג לי תובנה חשובה לכל מורה שמלמד את המקצוע המורכב הזה: "כדי להבין מתמטיקה יש אלמנט של סף פנימי שצריך להשתנות. שינוי אינו המפתח לכך כי הוא לא יעזור לי להבין הוכחה. כדי להבין לעומק צריכה להתהוות אצלי תמונה פתאומית".

■ **למה חקר המוח חשוב אם ידוע שהמוח גמיש וניתן לעיצוב בידי הסביבה?**

"אמנם הרבה מהתכונות שלנו ניתנות להשפעה חיצונית, אבל המוח מציב אילוצים משלו. חוקרי המוח מספרים לנו מה ניתן להשפעה. יש דברים שאפשר ללמוד רק בגילים מסוימים. יכולות מוטוריות, למשל, נלמדות בקלות בגילים צעירים. מבטא של שפה זרה קשה לרכוש אחרי גיל 14. לעומת זאת יכולת ההפשטה מתבססת על ידע קודם ולכן מתפתחת בגיל מאוחר יחסית. יש שלבי התפתחות טבעיים. לימוד מוקדם או מאוחר מדי שאינו מתאים לשלב ההתפתחות של המוח הוא ברכה לבטלה".

נוסף על כך, מסביר תשבי, יש הבדלים אישיים גדולים מאוד. "היום יודעים למשל ששפה נרכשת בצורות שונות אצל אנשים שונים. אנחנו פוגשים ילדים שבגיל עשרה חודשים כבר יכולים לומר מילים ברורות, ולעומתם יש ילדים שעד גיל שלוש לא מדברים ופתאום בבת אחת אומרים משפטים שלמים. אנחנו לומדים מכך שקשרים במוח מתפתחים בצורות שונות".

גם הבדלים בלמידה בין בנות לבנים מוסברים בעזרת התכונות מחקר המוח. בנות משתמשות בשתי ההמיספרות של המוח כדי ללמוד שפה, ואילו בנים משתמשים רק



המכון לחקר המוח באוניברסיטת בר אילן

משוב מחזק. מורים יודעים שצריך לתת משוב מידי על הצלחות וכישלונות אבל חקר המוח מאפשר להבין את המשמעות והחשיבות של המשוב הזה. במוח, מסביר תשבי, יש מנגנון כימי של משוב פנימי. המנגנון הזה מבוסס על החומר הנקרא דופמין, הנמצא בחלק הפרונטלי של המוח, שמופקד כאמור על ההתנהגויות. על כל תנועה שאנחנו עושים אנחנו מקבלים משוב, וכשהתנועה שעשינו נכונה, המשוב חיובי. כל המערכת המוטורית שלנו מבוססת על תגמול מהדופמין. כשמשוהו משתבש אנחנו עדים לתופעות של מחלת הפרקינסון.

הדופמין, תשבי מרחיב, אחראי גם ליכולת הקשב. מסתבר שיכולת הריכוז נקבעת לפי משך הזמן שבו אנחנו יכולים לייצר דופמין. אם הדופמין נספג מיד, יכולת הריכוז יורדת. ספיגה אטית מאפשרת ריכוז גבוה. הידע הזה קשור גם ללקות הקשב הידועה ADHD. "הרטאלין עוזר", מסביר תשבי, "כי הוא מאט את קצב הספיגה של הדופמין ומעלה את רמת הדופמין הפרונטלי. חשוב להדגיש שהמחקר מראה שהפרעת הקשב אמיתית ויש לה רכיב גנטי חזק המופיע אצל כ-10% מהאוכלוסייה. חקר המוח מראה לנו בבירור שצריך להפעיל ילדים עם הפרעות קשב יותר מאחרים כי כך מעלים בחזרה את רמת הדופמין. ועם זאת כדאי לזכור שללקויי הקשב יש יתרונות מחוץ לכיתה. הם מפצים על היעדר הדופמין ברמות גבוהות יותר של אדרנלין. אנשים בעלי הפרעות קשב מודעים טוב יותר לסביבתם ויכולתם הפיזית טובה יותר."

■ **האם הממצאים של חקר המוח אומרים**

לנו לשנות את מבנה בית הספר?

"כן, אבל צריך לדעת איך. ברור שלימוד פסיבי בכיתה אחת הוא בעייתי כי לכל אחד צרכים אחרים. שתי תובנות חשובות במיוחד: 1. צריך להתייחס לאמירה 'חנוך' לנער על פי דרכו' במלוא הרצינות; 2. לימוד פעיל הוא חיוני."

■ **אנו עומדים על סף פתרון חידת המוח?**

"חוקרים מאמינים שאנו קרובים להבנת התהליכים המתרחשים במוח בגלל מהפכת המידע. אנחנו שרויים בעיצומה של מהפכה שסימניה הם המחשב והטלפון הנייד, ובעצם זו אותה מערכת. המוח, כמו הטלפון והמחשב, עוסק בקליטה ובעיבוד של מידע, מה שאומר שהגבולות בין המוח הביולוגי למוח הטכנולוגי הולכים ומיטשטשים."

לכו חשבו על המשמעויות החינוכיות של התחזית הזאת. ■

כך. כלומר, למידה היא סינון מידע. בלי לדעת לשם מה אנחנו צריכים ידע מסוים לא נלמד אותו. לכן כשבונים מערך שיעור צריך לזכור שמוטיבציה ללמוד את המערך הזה היא קריטית כדי לעשות בו שימוש."

■ **מה בנוגע למוטיבציות דוגמת ציונים**

פרופ' תשבי:

"אנחנו יודעים שבלי שינון אין למידה; שינון מבסס את הקשרים הסינפטיים במוח, אבל שינון זה לא כל הסיפור. כדי להגיע ליכולת הכללה צריך להשתמש בכלים אחרים, למשל ציור שימחיש את הרעיון"

והצלחה בבחינות?

"זו מוטיבציה נמוכה. אני רוצה ליצור מוטיבציה גבוהה, שהתלמידים יבינו למה ידע מסוים חשוב, במה הוא יכול לעזור להם – עזרה שהיא מעבר להצלחה בבחינה הקרובה". תובנה נוספת מחקר המוח שיש לה משמעות חינוכית נוגעת לחשיבותו של

בהמיספירה השמאלית לרכישת שפה ובימנית לאלמנטים מרחביים.

"החלוקה של המוח בין שמאל לימין ידועה היטב", אומר פרופ' תשבי, אך מדגיש את החשיבות של החלוקה בין חלקו הקדמי של המוח לחלקו העורפי. הוא מסביר שהתפקיד המרכזי של המוח – קליטת מידע ועיבוד שלו – נעשה בחלק האחורי של המוח, התנהגות וביצוע נעשים בחלק הקדמי. התובנה החשובה לחינוך, הוא אומר, היא שאי אפשר לקלוט מידע בלי שמשמשים בו: "אם לא מפעילים את התלמידים הם לא לומדים. צריך לגרום להם לחזור על הדברים בקול רם; אפילו אם זו חזרה טיפשית לכאורה, רק כך לומדים; כדי להבין צריך לדבר."

העובדה שתנועה מאפשרת התפתחות של התפיסה היא לקח מעניין להוראה, ותשבי מדגיש ששיבה פסיבית מול המורה, במיוחד בגיל צעיר, אינה מועילה הרבה. במונחים של חקר המוח התובנה היא שהפעלת החלק הפרונטלי היא רכיב מרכזי בלמידה.

העובדה שהתפיסה שלנו סלקטיבית והחושים כל הזמן מסננים ידע, מסביר תשבי, היא ממצא חדש יחסית ובעל משמעות חינוכית: "כל אחד מאתנו זוכר מה שחשוב, ומה שחשוב הוא מה שאני אשתמש בו אחר