



דיסקלקוליה

לא

עושים חשבון

חוקרים הצליחו לפגוע באופן
זמני והפיק ביכולתם של אנשים
רגילים לבצע פעולות חשבון

צבי עצמון

תצלומים: אימל'בנק / GettyImages

משרד החינוך הבריטי – אחד הראשונים שהכירו בדיסקלקוליה (dyscalculia) רשמית כבליקוי ספציפי – מגדיר אותה כך: ליקוי ביכולת לרכוש כישורי חשבון (arithmetical skills). תלמידים דיסקלקולים עלולים להתקשות בהבנת מושגים מספריים פשוטים, להיות נטולי תפישה אינטואיטיבית לגבי מספרים, ולהתקשות בלימוד עובדות והליכים הקשורים למספרים. גם כשתלמיד דיסקלקולי מגיע לתשובה נכונה או פותר בדרך נאותה, הוא עשוי לעשות זאת באורח מכני ובלא תחושת ביטחון בתשובתו או בדרך שנקט. יש לציין כי הגדרה זו, הגורסת ליקוי ביכולת הרכישה של כישורי חשבון, מתייחסת ספציפית לדיסקלקוליה התפתחותית, DD (Developmental Dyscalculia).

כמבוא למאמר סקירה שפרסמו ב-2001 בכתב-העת *Pediatric Neurology*, כותבות הרופאות-החוקרות רות שלו וורדה גרוס-צור, מהמרכז הרפואי שערי צדק בירושלים, כך: דיסקלקוליה התפתחותית היא ליקוי למידה ספציפי, הפוגם ברכישת מיומנויות חשבון בילדים שפרט לכך הם ילדים רגילים (וראו: לקריאה נוספת). נבהיר כי דיסקלקוליה התפתחותית פירושה קושי ועיכוב ברכישת מיומנויות חשבון בילדים, בעוד שדיסקלקוליה נרכשת היא פגיעה – בדרך-כלל בעקבות אירוע מוחי – ביכולות טיפול במספרים וביצוע מטלות חשבון באנשים ששלטו היטב ביכולות אלו קודם לפגיעה המוחית (וראו: ענת ברנע, "מוח מתמטי: על יכולות ולקויות", "גליליאו" 40). מבחינה זו, המושגים דיסקלקוליה התפתחותית (DD) ודיסקלקוליה נרכשת מקבילים למושגים המתארים ליקויים ביכולת הקריאה: דיסקסיה התפתחותית ודיסקסיה נרכשת.

מקרים מדהימים וליקוי "בזכות" עצמו

כדי להדגים ולחדד את המושג דיסקלקוליה (נרכשת, במקרה זה) כליקוי בפני עצמו, ולא כפן נוסף של פגיעה קוגניטיבית כללית, מספר חוקר הדיסקלקוליה הנודע בריאן באטרוורת' (Butterworth) על המקרה של סיניורה גאדי (שם בדוי), שהיתה מנהלת החשבונות של מלון באיטליה עד שעברה אירוע מוחי. האירוע לא פגע כלל בכישורים הלשוניים (שפתיים) שלה, אך כישוריה לטיפול במספרים ניזוקו בצורה אנושה. כך, למשל, היא אינה יכולה עוד לספור מעבר למספר ארבע! אם מציגים בפניה חמישה עצמים היא סופרת – באיטלקית מתנגנת – כך: "אחד, שניים, שלושה,



מתי נכחדו הדינזאורים

בספרו "תעתועי המוח" (תרגום: ג'ני נבות-פריבס; וראו: לקריאה נוספת), מתאר הניורולוג הנודע ויליאמס רמצ'אנדרן (Ramachandran) את ביל מרשל, טייס מצטיין בגמלאות, שאותו פגש שבוע לאחר שהלה עבר אירוע מוחי. "הוא היה במצב רוח מרומם, מדווח רמצ'אנדרן, "דיבר באופן שוטף, אינטליגנטי וברור". בשיחה תיאר ביל במדויק פרטים על עברו, על ילדיו ונכדיו. לאחר שיחה לבבית, משמעותית וקולחת, שואל הניורולוג: "ביל, האם אתה יכול להחסיר שבע ממאה? כמה זה מאה פחות שבע?". ביל מהמהם, מכחך בגרונו, שב וחוזר כמה פעמים על השאלה, מוודא שזו אכן השאלה, ולבסוף עונה בהיסוס "תשעים ושש?". הניורולוג עושה ניסיון נוסף: "כמה זה שבע-עשרה פחות שלוש?". ביל חוזר על השאלה, מתלבט ולבסוף מנסה "שתים-עשרה?". בשלב זה שואל הניורולוג: "ביל, האם התוצאה גדולה או קטנה מ-17?". עתה עונה ביל בלא היסוס: "קטנה יותר". הניורולוג מציין לעצמו כי הטייס לשעבר אינו מסוגל לעשות חשבון פשוט ביותר, אך בהחלט יודע מה משמעותו של תהליך החיסור.

עתה מקשה רמצ'אנדרן: "איזה מספר גדול יותר: מאה ואחת או תשעים ושבע?", וזוכה בתשובה מיידית: "101 גדול יותר", ואף להסבר מתמטי תקין: "יש בו יותר ספרות".

אז מספר לו הניורולוג סיפור על אדם שביקר במוזיאון שמוצגים בו שלדי דינזאורים, והתעניין לדעת מה גילם של השלדים המאובנים. הוא ניגש לשומר וביקש לברר: "מהו גילן של עצמות הדינזאור הזה?". "שישים מיליון ושלוש שנים", ענה השומר. המבקר התפלל: "שישים מיליון ושלוש שנים? לא ידעתי שאפשר לדייק עד כדי כך בקביעת גילן של עצמות דינזאור". לשמע תהייתו הזדרז השומר להסביר: "נכנסתי לתפקיד כאן לפני שלוש שנים, ואז אמרו לי שהעצמות הן בנות שישים מיליון שנה".

"ביל צחק בקול רם לשמע הסיפור, מדווח רמצ'אנדרן, ומציין כי נדרש מוח מתוחכם כדי להבין את הבדיחה, המבוססת על מה שמכונה "הטעות שבדיוק שלא במקומו". רמצ'אנדרן מסכם: ביל הבין מה פירוש לחסר, ידע כי מספר בן 3 ספרות גדול ממספר דו-ספרתי, ותפיש בדיחה מתוחכמת המבוססת על דיוק שלא במקומו – ובכל זאת לא יכול היה לחסר 3 מ-17. נפגע אצלו מנגנון מוחי הדרוש לביצוע פעולות חשבון, ולו הבסיסיות ביותר. הוא לוקה בדיסקלקוליה (נרכשת) קשה. ■

← ארבעה. זהו, כאן מסתיימת המתמטיקה שלי". כשבדקו החוקרים את יכולותיה החשבוניות, כמו חיבור וחיסור, אלו נקטעו כליל כשהמספר היה גדול מ-4. מנהלת החשבונות המוכשרת לשעבר שוב אינה מסוגלת אפילו לומר מה גדול ממה, 5 או 10. כל מספר הגדול מ-4 נמחק כליל מתודעתה, כולל מספר היום בשבוע, גילה ומספר הנעליים שלה. כדי להתקשר בטלפון היא נזקקת לחוגה מיוחדת.

באטרוורט' מספר גם על צ'רלס (שם בדוי) בן ה-30, הלוקה בדיסקלקוליה התפתחותית קשה, כזו שוודאי מוצדק לכנותה אַקלקוליה (כלומר, פגיעה מוחלטת ביכולת החשבונית). צ'רלס מחזיק – ובגאווה רבה – בתואר בפסיכולוגיה; הסיבה לגאותו המיוחדת היא הקשיים הכבירים שצלח בדרכו לקבלת התואר. המכשול הקשה ביותר היה עצם קבלתו לאוניברסיטה, מאחר שלמרות כל המאמצים לא יכול היה לעבור מבחן במתמטיקה. צ'רלס הוא חרוץ ואינטליגנטי – כך מעיד עליו באטרוורט', אך הליקוי שלו בכל הנוגע למספרים ולחשבון הוא מכשול עצום. כשהוא קונה בחנות אין לו מושג מה משמעות המחירים, ואין לו כל הערכה בכמה בקירוב מסתכמת קנייתו. הוא אינו מסוגל לערוך חישובים דו-ספרתיים, כמו למשל לחשב כמה הם 37 פחות 19. ואם לא די בכך, כדי לענות לשאלה "מה גדול יותר, 3 או 9?" הוא נאלץ להשתמש באצבעותיו.

דרך נוספת העשויה להעיד על היות הדיסקלקוליה ליקוי "בזכות עצמו", שאינו קשור בהכרח בפגיעה כללית בכישורים קוגניטיביים אחרים, היא בחינתם של אנשים הלוקים בפגיעות מנטליות קשות, אך משמרים באורח מרשים, ואפילו מדהים, את יכולות החשבון שלהם (כלומר, שאינם לוקים בדיסקלקוליה). באטרוורט' מדווח על אדם בן 64, שלקה במחלה ניוונית שהתבטאה בפגיעה מחמירה והולכת באזורי השפה שבמוחו, פגיעה שהתגלתה – ובצורה מבהילה – ב-MRI: אזורים נרחבים במוחו התנוונו כליל. יכולתו הלשונית התדרדרה ביותר – הוא כמעט לא הבין את שנאמר לו. חולה זה הצליח לנקוב בשמם של 2 איברי גוף בלבד מתוך 8 איברים שנתבקש לציין את שמם, לא הצליח לנקוב בשמו של אף לא ירק אחד מתוך 7 שהוצגו בפניו, והציון שזכה בו בבדיקת שטף דיבור – אפס. אבל כשמדובר בחשבון: הוא זכה בציון 100 (!) במבחן חיסור שני מספרים דו-ספרתיים, ובציון זה בדיוק גם במבחןי כפל של מספרים דו-ספרתיים. החוקרים לורן כהן (Cohen) וסטניסלה דהאן (Dehaene)

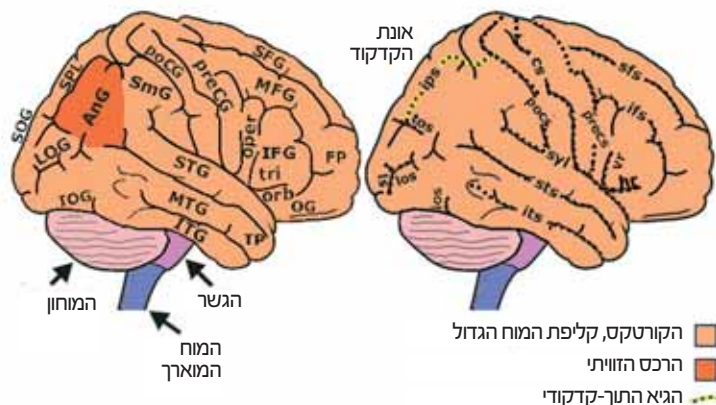


דיווחו (1999) על מטופלת שבקריאה בקול של תרגילי חשבון שהוצגו לה טעתה בצורה גורפת (כ-90 אחוזים מהקריאה בקול היתה מוטעית), ואף על פי כן, תשובותיה לתרגילים היו מדויקות. למשל, כשהציגו בפניה את התרגיל 6 – 8, היא קראה: "חמש פחות ארבע", אבל תשובתה היתה נכונה: 2. היא דייקה במתן תשובות לתרגילי חיבור, חיסור וחילוק; בהשוואות מי משני מספרים גדול יותר; ובקביעה אם מספר הוא זוגי או אי-זוגי. וכל זאת, כאמור, כשטעתה בקריאתם בקול של רובם המכריע של התרגילים שפתרה.

חביאר ס'רו (Seron) וקבוצת נוירופסיכולוגים עמיתים מבגליה דיווחו על חולה אלצהיימר בן 86 שנכשל במבחני הסקת מסקנות והיגיון המשמשים לאבחון פעוטות, ושבני ארבע עוברים אותם בדרך-כלל, כולל מבחני שימור המספר (האם מספרם של חיילי העופרת בשורה גדל כשמגדילים את הרווחים ביניהם). אף על פי כן, חולה אלצהיימר זה ביצע במהירות ובדייקנות חישובים במספרים, והצליח מאוד גם במבחני הוצאת שורש ריבועי ממספרים ארבע-ספרתיים!

באשר לדיסקלקוליה התפתחותית, שלא בעקבות מחלה ניוונית, אפשר להזכיר את הדיווח של ביאטה הרמלין (Hermelin) וניל אוקונור (O'Connor) מאוניברסיטת לונדון על צעיר הלוקה באוטיזם קשה, שאינו מדבר ואינו מבין דיבור, ויכולת התקשור שלו מצומצמת ביותר ומבוססת על תנועות. צעיר זה הצליח לזהות מספרים ראשוניים, ולפרק מספרים פריקים לגורמים, במהירות ובדיוק גדולים יותר ממתמטיקאים מדופלמים (*Psychological Medicine*, 1990).

מכל הדוגמאות הללו מתברר כי אכן יש "חיה" כזאת, דיסקלקוליה (ובצורתה הקיצונית – אקלקוליה), כליקוי מובחן, וכי ניתן להצביע על הפרדה (דיסוציאציה) כפולה בין היכולת לטפל במספרים ולערוך בהם חישובים לבין יכולת לשונית-סמנטית. כלומר, תיתכן פגיעה חמורה ביכולת החשבונית שאינה מלווה בפגיעה לשונית, ותיתכן גם פגיעה ביכולת הלשונית שאיננה מלווה בדיסקלקוליה. לפיכך ניתן להניח כי מבנים מסוימים במוח, מעגלים או מסלולים מוחיים ספציפיים, הם המקנים לנו יכולת לטפל במספרים ולערוך חישובים. פגיעה קשה בתפקודם של אזורים אלה תתבטא בדיסקלקוליה, ואילו אם אזורים אלה מתפקדים, נשמרות היכולות החשבוניות, גם כשכישורים קוגניטיביים אחרים מתדרדרים קשות. אם אכן אין חפיפה בין האזורים



מיקומם של הרכס הזוויתי והגיא התוך-קדקודי. בשני התרשימים המצג מימין, העורף משמאל. בתרשים השמאלי מסומנים הרכסים (gyri), בתרשים הימני – הגאיות (sulci)

ואולם, במחקרים מאוחרים יותר נוכחו חוקרים לדעת שלגיא התוך-קדקודי (intraparietal sulcus) חשיבות רבה אף יותר בביצוע פעולות חשבון ספציפיות מסוימות. בשנת 2001 השוו אליזבת איזקס (Isaccs) ועמיתה מבית-החולים לילדים גרייט אורמונד סטריט (GOSH) בלונדון מוחות של שתי קבוצות מתבגרים, שהיו פגים בלידתם. לנבדקים משתי הקבוצות היתה אינטליגנציה תקינה, אלא שאחת משתי הקבוצות כללה מתבגרים שהשיגהים בחשבון היו נמוכים מאוד. לצורך השוואת המוחות השתמשו החוקרים בשיטת ניתוח מתוחכמת של ממצאי MRI. מבחינת מבנה המוח, גילו החוקרים הבדל מובהק אחד בין שתי הקבוצות: במתקשים בחשבון עובי "החומר האפור", כלומר שכבת הקורטקס, בחלק מאונת הקדקוד השמאלית, היה נמוך יותר. מדובר באזור המכונה הגיא התוך-קדקודי (intraparietal sulcus, IPS). ואכן, היו כבר קודם עדויות שהצביעו על מעורבותו של אזור זה בביצוע חישובים מספריים, וזאת הן על פי בדיקות fMRI של פעילות מוחית בעת ביצוע מטלות חשבון בנבדקים בריאים, והן על פי מיקום פגיעות מוחיות במקרים של דיסקלקוליה נרכשת.

בנים, בנות וקשר משפחתי-גנטי

רות שלו וורדה גרוס-צור מציינות בסקירתן, כי דיסקלקוליה התפתחותית מקורה בליקויים מוחיים שלגורמים גנטיים יש השפעה על מידת המועדות להם. הן מציינות כי במחקרים שונים, כולל שלהן עצמן, נמצא "קשר משפחתי" לדיסקלקוליה התפתחותית. כך למשל, אם אחד מבין שני תאומים זהים אובחן כלוקה בדיסקלקוליה, הסיכוי שגם התאום האחר יאובחן ככזה גדול פי 10 ויותר מאשר השכיחות באוכלוסייה הכללית. ועוד זאת, אם אחד

המוחיים שליכוי בתפקודם מתבטא בדיסקלקוליה (או לפחות בסוגים מסוימים של דיסקלקוליה) לבין אזורים שליכוי כלשהו בתפקודם מתבטא בדיסקלקוליה (או לפחות בסוגים מסוימים שלה), איננו צריכים להיות מופתעים מכך שבאדם מסוים כישורי החשבון יכולים להיות לקויים ביותר, בעוד שיכולת הקריאה שלו תקינה. כך גם ביחס ליכולות לשוניות-שפתיות כלליות, לחשיבה לוגית ולתפקודים קוגניטיביים אחרים.

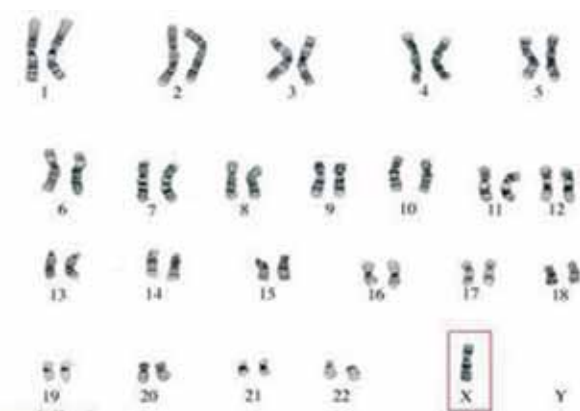
ניסיונות איתור: הרכס והגיא

מהם אותם מבנים מוחיים העורכים חישובים ומטפלים במספרים? מהם האזורים שפגיעה בהם גורמת לדיסקלקוליה נרכשת? מהם המסלולים המוחיים שהתפתחותם הלקויה מתבטאת בדיסקלקוליה התפתחותית? ומהם הגורמים האחראים להתפתחות לקויה כזו? האם הם גנטיים? או סביבתיים? דיסקלקוליה נרכשת מופיעה בדרך-כלל בבני-אדם שעברו אירוע מוחי באונת הקדקוד השמאלית. וביתר פירוט: זה שנים נתקבלו עדויות המצביעות על כך שהרכס הזוויתי (angular gyrus), שהוא חלק מאונת הקדקוד, חיוני לביצוע מטלות חשבון.

לפני כעשור מצאו מרקוס קייפר וסטניסלה דהאן (Kiefer & Dehaene, *Math Cognition*, 1997), באמצעות רישומי פוטנציאלים חשמליים, כי פתרון תרגילי חשבון קשים מעורר פעילות באזור המרכזי של שתי אונות הקדקוד, השמאלית והימנית (השמאלית פעילה יותר), אך פעולות כפל פשוטות מעוררות פעילות רק באונת הקדקוד השמאלית.

בהקשר זה נזכיר את תסמונת גרסטמן (Gerstmann), המתבטאת בדיסקלקוליה (נרכשת), באגנוסיה של האצבעות (אי-יכולת לתפוש ולזהות את האצבעות הנכונות), בחוסר התמצאות בין שמאל לימין ובדיסגרפיה (קשיים בכתיבה). מתברר כי תסמונת גרסטמן מתגלית באנשים שבמוחם נפגע הרכס הזוויתי השמאלי. בהקשר לשני הליקויים – אגנוסיית אצבעות ודיסקלקוליה – ניזכר כי ילדים (ולעתים גם אנשים בוגרים, וכבר נוכחנו בכך) סופרים ומחשבים בעזרת האצבעות, כי השיטה העשורנית מקורה בעשר אצבעות הידיים, וכי המילה digit – המקור המילולי של העולם הדיגיטלי שלנו – מציינת הן אצבע והן מספר.

שלה; במיוחד הן מתקשות בחשבון במספרים גדולים. מולקו ועמיתיו בחרו בקבוצה של לוקות בתסמונת טרנר מתוך מחשבה שמדובר בקבוצה שהמכנה המשותף הגנטי שלה ברור – כאמור, חסר כרומוזום X (במקרים מסוימים חסר רק חלק מכרומוזום X).



קרייטיפ (משטח כרומוזומים) של אשה הלוקה בתסמונת טרנר. הרכב הכרומוזומים 45:X

ואכן, בבדיקות מבנה שנעשו באמצעות MRI נתגלה, לטענת החוקרים, פגם בגודלו ובמבנהו של הגיא התוך-קדקודי הימני בטרנריות. החוקרים גם בחנו את פעילות המוח בנבדקות במהלך ביצוע מטלות חשבוניות שונות, ובכללן חישובים מדויקים ומשימות של הערכה מקורבת. התברר כי בשני סוגי המשימות, הפעילות של הגיא התוך-קדקודי בלוקות בתסמונת שונה מן הפעילות המקבילה בקבוצת הביקורת, ובמיוחד כך כשנדרש טיפול במספרים גדולים יותר. בנבדקות רגילות, בעת ביצוע חישובים מדויקים, ככל שגודלם של המספרים עולה, מתווספת יותר ויותר פעילות של הגאיות התוך-קדקודיים. ניתן להניח כי אזורי מוח אלה משמשים כמעין כוח עתודה חישובי, המתגייס כשהחישוב נעשה קשה יותר. והנה, בנבדקות טרנר לא היתה הגברה כזו בפעילות הגאיות התוך-קדקודיים כשהמספרים בחישוב גדלו.

העובדה שבלוקות בתסמונת טרנר מתגלים ליקויים במטלות חשבוניות – דיסקלקוליה התפתחותית, בצד דגם

הילדים במשפחה אובחן כלוקה בדיסקלקוליה, הסיכוי של כל ילד מילדי המשפחה האחרים להיות מאובחן כלוקה בדיסקלקוליה גבוה פי 5 עד פי 10 ביחס לשכיחות הכללית באוכלוסייה (שכיחות שהערך שנקבע לה שונה מאוד בשיטות שונות ועל-ידי חוקרים שונים, למן 1% באוכלוסייה ועד כ-6%).

בהקשר זה מעניין לציין, כי אחוז הבנות הלוקות בדיסקלקוליה עולה במעט על אחוז הבנים הלוקים בה (במחקרן של שלו וגרוס-צור נמצא יחס של 1.1 : 1). נתון זה מזדקר על רקע העובדה שליקויי למידה אחרים, כמו דיסקליה ו-ADHD, מופיעים בבנים בשכיחות גבוהה עד פי 3 מאשר בבנות.

הגם שנוכחנו כי היכולת החשבונית אינה סתם הדיסקלקוליה קוגניטיבית כללית, אלא יכולת ספציפית כשלעצמה, עדיין במקרים רבים דיסקלקוליה מלווה בליקויי למידה אחרים – דיסקליה או היפראקטיביות, למשל – או במחלות נוירולוגיות, כמו אפילפסיה. דיסקלקוליה נפוצה יחסית בקרב דיסקלקטים – כ-40% מן הילדים שיש להם בעיות בקריאה חווים גם קשיים בלימוד חשבון. ואולם, יש לזכור כי פירוש הדבר של-60% מן הדיסקלקטים אין בעיות במתמטיקה; זאת ועוד – מציין באטרורט' – יש מתמטיקאים ידועי שם שהם דיסקלקטים. חשוב לחזור ולהדגיש: במקרים רבים דיסקלקוליה היא הביטוי החריג היחיד בילד, שמכל בחינה אחרת הוא רגיל לחלוטין.

עדייות גנטיות ותסמונת טרנר

ניקולס מולקו (Molko) ועמיתיו מצרפת דיווחו (*Neuron*, 2003) על מאמציהם למצוא קשר בין דיסקלקוליה למבנים מוחיים, וכן לאתר את הבסיס הגנטי לליקוי. לשם כך בדקו במקביל ביצועי חשבון; אזורי מוח פעילים בעת ביצוע משימות חשבון, וזאת באמצעות fMRI; מבנים מוחיים, ובמיוחד הגיא התוך-קדקודי, וזאת באמצעות MRI; וכל זאת בקבוצה בעלת חריגות גנטיות משותפת – בנות הלוקות בתסמונת טרנר, לאמור – שחסר להן כרומוזום X (45:X), כלומר אין להן כרומוזום Y ויש להן כרומוזום X אחד בלבד).

לילדות ונשים הלוקות בתסמונת טרנר יש יכולת לשונית תקינה, והן אינן לוקות בפיגור שכלי, אך היכולות החזותיות-מרחביות שלהן לקויות וכך גם יכולת החשבון

← חריג של פעילות מוחית בעת ביצוע של מטלות חשבון, וכן מבנה חריג של הגיא התוך-קדקודי הימני – יכולה להעיד על מעורבותו של מבנה מוחי זה במטלות חשבון ובדיסקלקוליה. העובדה שבטרנריות הגאיות התוך-קדקודיים אינם מתגייסים לעזרה כשזו נדרשת עם הגדלת המספרים יכולה להסביר, לטענת מולקו ועמיתיו, את הקשיים בביצוע פעולות חשבון האופייניים ללוקות בתסמונת טרנר – קשיים המחרפים באופן מובהק (ביחס לנבדקים רגילים) כשהמספרים גדלים.

קופים, תאים וחישובים

בהקשר זה, של מעורבות הגיא התוך-קדקודי בתהליכי חישוב מספריים, מעניינים במיוחד שני דיווחים שנמסרו בכנס החברה למדעי העצב הקוגניטיביים שנערך במאי 2007 בקליפורניה. אנדריאס נידר (Nieder) ועמיתיו מאוניברסיטת טיבינגן בדקו באמצעות מיקרואלקטרודות תגובות של תאי עצב השוכנים עמוק בגיא התוך-קדקודי של קופי רזוס, שאומנו קודם לכן להבחין במספר העצמים המוצגים לפנייהם. התברר כי תאים מסוימים מגיבים למספר העצמים כשאלה מוצגים כולם בבת-אחת בשדה הראייה, בעוד שתאים אחרים מגיבים למספר העצמים בעקבות הצגה סדרתית שלהם, בזה אחר זה. תאים שהגיבו למספר המצטבר באופן סדרתי לא הגיבו להצגת אותו מספר עצמים בה-בעת, ואילו תאים שהגיבו למספר עצמים שהוצגו ביחד לא הגיבו למספר המצטבר סדרתית של עצמים. ואולם, לאחר שמספר העצמים עבר קידוד באחד משני סוגי התאים, המידע המספרי התנקז לתאים שהגיבו למספר העצמים בלי קשר לאופן הצגתם.

הממצא מעניין במיוחד לא רק מפני שמתברר שתאי עצב יודעים לספור, אלא משום שהוא מדגים ישירות מעורבות של תאי העצב בגיא התוך-קדקודי בעיבוד מספרים, אמנם בקרובינו הרחוקים יחסית, קופי רזוס.

אליזבת בראנון (Brannon) מאוניברסיטת דיוק בארצות-הברית דיווחה על תאים באזור זה בקופי מקאק. מדובר בתאים שתגובתם תלויה כפונקציה מונוטונית במספר העצמים המוצגים בשדה הקליטה של התא, וזאת מ-2 עצמים ועד 32. בחלק מן התאים הללו קצב הפעילות העצבית גובר ככל שמספר הפריטים בשדה הקליטה גדול





גירוי מגנטי מבעד לגולגולת, TMS, הוא דרך בלתי פולשנית להשחת זרמים חשמליים ממוקדים במוח

לדיסקלקוליה זמנית באדם רגיל, ועל איזה אזור במוח יש להשפיע כדי להביא לתוצאה זו.

אילו היה אפשר "להקפיא" לזמן קצר חלקי מוח קטנים, מוגדרים היטב, ניתן היה להיווכח איזהו אותו אזור ש"הקפאתו" תתבטא בתסמיני דיסקלקוליה, וכך להסיק – לפחות לכאורה – תפקודו של איזה אזור מוחי לקוי בדיסקלקוליה. הרעיון העקרוני נראה אולי נכון, דא עקא – אי-אפשר לקרר אזור מוחי קטן ומוגדר לזמן קצרצר, בדרך הפיכה לחלוטין ושאינה כרוכה בסיכון כלשהו. ואולם, הגם שלא ניתן להקפיא, ניתן בהחלט לשבש, למשל באמצעות חומר הרדמה המסולק במהירות. ואכן, משתמשים בשיטה זו לשם שיתוק זמני, חולף במהירות, של מחצית מוח (המיספרה) – הליך המכונה "מבחן ואדה" (Wada). מבחן ואדה משמש, למשל, לזיהוי ההמיספרה ה"מדברת" (ברוב המכריע של בני-האדם – זו ההמיספרה השמאלית), או כדי לוודא שאחד ההיפוקמפוסים (הימני או השמאלי) תקין, לפני ניתוח באחת משתי מחציות המוח. השיתוק נעשה

יותר, ואילו בתאים אחרים נמצא יחס הפוך בין מספר העצמים לבין קצב הפעילות העצבית.

ניקוז המידע מן התאים השונים והשוואת הפעילות של תאים המשתייכים לשתי קבוצות תאים אלה יכולים להוות את הקלט לאותם תאים "מונים" שזיהו נידר ועמיתיו.

מפי עוללים ויונקים

בעוד שקריאה וכתביה הן תהליכים המחייבים לימוד, הרי שתינוקות – כך מציינים המומחים – נולדים עם כישורים מתמטיים מסוימים, כישורים מולדים שאין צורך ללומדם. ספירה, חיבור מספרים, השוואת מספרים והערכת גדלים – כל אלה הם יכולות המתפתחות באורח עצמי, בלא לימוד. תינוקות בני שבועות אחדים, הרבה לפני שהם מסוגלים לדבר או להבין מילים, ניחנים בכישורים מספריים פשוטים אך מרשימים. אם, למשל, מציגים בפני תינוק רך כמה פעמים קבוצת עצמים כשבכל פעם מספרם שונה, הוא יקדיש להתבוננות בהם יותר זמן מאשר אם בכל פעם שמוצגת קבוצת העצמים מספרם נשאר קבוע. בסרט בידורי היינו רואים תינוק כזה מסתיר פיהוק גדול ואומר בקול ברוזי "כמה משעמם, תמיד אותו מספר?!".

יתר על כן, תינוקות יודעים לחבר ולחסר, ואין מדובר בילדים העתידים להיות מתמטיקאים או רואי חשבון דווקא. אם, למשל, מראים לתינוק בובה אחת המועברת אל מאחורי וילון, ואז מוצגת בובה נוספת המועברת לשם, התינוק מצפה שמאחורי הווילון יימצאו שתי בובות (ולמי מאיתנו ששכח את תלמודו: $1+1=2$...). ניתן להיווכח בכך, מפני שאם מסיטים את הווילון ומתגלית בובה אחת, או שלוש, התינוק מתבונן יותר זמן מאשר אם מתגלות, כצפוי, שתי בובות. כאילו הוא אומר לעצמו (בלא מילים, שאותן טרם רכש): מה קרה?? אחת ועוד אחת זה כבר לא שתיים!?

פעוט בן 3-4 שנים, מציינות שלו וגרוס-צור, יכול לספור ארבעה עצמים, ובגיל 6 – עד 15, תוך שהוא מבין את משמעות המספרים הללו.

"לייצר" דיסקלקוליה לרגע

ד"ר רועי כהן קדוש (Cohen Kadosh) מאוניברסיטת בן-גוריון בבאר-שבע ויוניברסיטי קולג' בלונדון ועמיתיו החליטו לבדוק אם אפשר לגרום באופן מלאכותי



באמצעות חומר הרדמה קצר קיום, אך הוא כרוך בפעולה פולשנית – הזרקת לעורק המוביל דם לאחת ההמיספרות. הליך זה משתק, לזמן קצר, מחצית מוח שלמה, כך שבדרך זו לא ניתן לזהות את תפקודם של אזורי מוח מצומצמים.

דרך אפשרית לשיבוש פעולתו של אזור מוחי מצומצם היא הזרמת חשמל – הכוונה לעוצמת זרם נמוכה, שאיננה גורמת לשום נזק מעבר לשיבוש פעולה רגעי – באמצעות אלקטרודה מתאימה הנוגעת באופן ישיר ברקמת המוח. בדרך זו נקט ויילדר פנפילד (Penfield, וראו: "גליליאו" 100, אבני דרך בפסיכולוגיה ובמדעי המוח) לגירוי אזורי מוח, ומשתמשים בה לשיבוש רגעי של תפקוד, למשל לשם איתורו המדויק של מרכז הדיבור, כדי להימנע מפגיעה בו. אלא שדרך זו מחייבת פתיחת הגולגולת וחשיפת המוח, ומכאן שהיא אפשרית רק באותם מקרים קשים שבהם מתחייבים פתיחת הגולגולת וניתוח המוח, למשל לצורך הסרת גידול.

אבל זה שנים אחדות ניתן להשרות זרם חשמלי חלש ברקמת מוח מוגדרת באופן בלתי פולשני לחלוטין. הכוונה לשיטה המכונה TMS – גירוי מגנטי מבעד לגולגולת (Transcranial Magnetic Stimulation). בעזרת מכשיר מתאים המופעל מבחוץ – הוא יכול שלא לגעת כלל בקרקפת – ניתן להשרות שדה מגנטי חזק באזור מוחי ממוקד. השדה המגנטי יוצר זרמים חשמליים, ואלה יכולים לשבש לזמן קצר את פעולת האזור שבו ממוקד השדה המגנטי. המאפיינים הספציפיים של הזרם המושרה קובעים מה תהיה השפעתו על רקמת המוח – האם הוא יעורר פעילות עצבית (כפי שמעיד המונח stimulation), או ישבש פעילות. אכן, TMS הוא האמצעי ששימש את כהן קדוש ועמיתיו לשם שיבוש קצרצר של פעילות אזורי מוח ממוקדים. לחוקרים התברר שכאשר הם משבשים – לחלקי שנייה בלבד – את הפעילות העצבית בגיא התוך-קדקודי הימני של אנשים שאינם דיסקלקולים, עיבוד המידע המספרי-כמותי שלהם הופך לכה המאפיין דיסקלקולים. שיבוש באזור המקביל, הגיא התוך-קדקודי במחצית המוח השמאלית, לא גרם לדיסקלקוליה רגעית.

כשם שהמכשיר, למרות שמו, במקרה זה אינו מעורר פעילות אלא משבשה, גם שיטת הזיהוי של "התנהגות דיסקלקולית" שבה נקטו החוקרים היתה מעט בבחינת "הפוך על הפוך". לנבדקים הוצגו זוגות של מספרים (למשל: 2 ו-4) והם נדרשו לקבוע מי משני המספרים גדול יותר. זאת, כששני המספרים הוצגו בגודל פיזי שונה, למשל כשה-2 מוצג כספרה גדולה בעוד ה-4 כספרה קטנה-ממדים. ההנחיה לנבדק היתה לציין איזה מספר גדול הפיזי רב יותר, תוך התעלמות מערכם של המספרים. והנה, בנבדקים רגילים המתבקשים לציין איזה משני המספרים גדול יותר פיזית, העיבוד המיידי, האוטומטי, של ערכי המספרים נוטה להפריע להחלטה בעניין הגודל הפיזי ולהאט אותה. לעומת זאת לדיסקלקולים, שהם במידה מסוימת "עיוורים" למשמעות הערך של המספר, ההתנגשות של הערך המספרי עם הגודל הפיזי פחות מפריעה.

והנה, באותם חלקי שנייה שבהם הופרעה פעולת הגיא התוך-קדקודי הימני בנבדקים שאינם דיסקלקולים, תגובותיהם היו דומות מאוד לאלו של דיסקלקולים. לעומת זאת, הפרעת ה-TMS לפעולת הגיא התוך-קדקודי השמאלי לא יצרה "דיסקלקולים לרגע". מסקנתם של כהן קדוש ועמיתיו: פגיעה בתפקוד הגיא התוך-קדקודי הימני היא הסיבה לדיסקלקוליה. ואם רוצים לחקור את גורמיה ולהתמקד במתן פתרונות – זהו מרכז המטרה שאליה, על פי תוצאות מחקר זה, יש לכוון את המחקר ואולי גם את שיטות הטיפול.

מחשבון למתמטיקה

שאלה מעניינת, אפילו מאוד, היא: מה הקשר בין שליטה במספרים והצלחה בחשבון (או להפך, דיסקלקוליה) לבין הצלחה בתחומי מתמטיקה שאינם מבוססים במידה רבה על מספרים, כמו אלגברה וגאומטריה? בריאן באטרוורת' מתמודד עם שאלה זו, שההתייחסות אליה בדרך-כלל מצומצמת למדי, באמרו כי אם אכן נכונה הטענה שלפיה



ב"חוש למספרים" – למשל גאומטריה, או אלגברה. ואולי זה מה שעומד ביסוד אותן בדיחות על פרופסור למתמטיקה שטועה תמיד בעודף במכולת. ■

צבי עצמון הוא העורך המדעי של "גליליאו".

ביסוד הדיסקלקוליה ההתפתחותית עומד ליקוי בתפישה הבסיסית, המולדת, של משמעות המספרים, בעקבות פגם ב"יחידה (מודול) מוחית" ספציפית למספרים (number module), אזי אין סיבה שדיסקלקולים לא יוכלו ללמוד בהצלחה היבטים מתמטיים שהם הרבה פחות תלויים

ביום ג' 25.9.07, בשעות 19:00-22:00, יתארח צבי עצמון בפורום "גליליאו" וישמח לענות על שאלותיכם. המעוניינים מוזמנים לפורום מדע וחברה באתר "גליליאו": www.ifeel.co.il/galileo

לקריאה נוספת:

Shalev R.S., Gross-Tsur V. Developmental Dyscalculia. *Pediatric Neurology* 2001.
<http://www.uth.tmc.edu/clinicalneuro/institute/2005/Shalev%20&%20Gross-Tsur.pdf>

Brian Butterworth: *Mathematics and the Brain*. (2002).
<http://www.mathematicalbrain.com/pdf/MALECTURE.PDF>

Brian Butterworth: Developmental Dyscalculia. In: *Handbook of Mathematical Cognition*, J.I.D. Campbell ed., 2005.

Roi Cohen Kadosh et al.: Virtual Dyscalculia Induced by Parietal-Lobe TMS, *Current Biology* 17, pp. 689-693 (2007).
 ניתן למצוא את המאמר באתר:
<http://www.scienceguide.nl/pdf/Cohen.pdf>

ו"ס רמצי'אנדרן וסנדרה בלייקסלי: "תעתועי המוח – מסע אל מסתרי המוח האנושי". מאנגלית: ג'ני נבות-פריבס. ספרית מעריב, 2004.