

הגודל קובע! אוטומטיות עיבוד של גודל מושגי בקרב לקויות למידה

ירדן גליקסמן ואבישי הניק

המחלקה לפסיכולוגיה, אוניברסיטת בן גוריון בנגב, באר שבע

אנשים עם דיסקלקוליה התפתחותית מאופיינים בקושי אריתמטי, ונמצא כי היכולת שלהם לעבד כמויות היא טובה פחות בהשוואה לאחרים בני גילם. אולם, מעט מחקרים נערכו על היכולת של אנשים אלו לעבד גדלים רציפים. דוגמה לגודל רציף הוא גודל מושגי. גודל מושגי הוא הייצוג בזיכרון של גודלם של אובייקטים בעולם (עכבר הוא קטן ופיל הוא גדול). על מנת לבחון את אוטומטיות העיבוד של גודל מושגי השתמשנו במטלת קונפליקט שתפעלה גודל מושגי עם גודל פיזי (הגודל הפיזי שגירוי תופס על המסך). שני הגדלים יצרו תנאי תואם (כינור גדול על המסך לצד תפוח קטן על המסך) ותנאי לא תואם (כינור קטן על המסך לצד תפוח גדול על המסך). נבדקים התבקשו, בכל צעד, להחליט מי משני האובייקטים המוצגים גדול יותר, בהתאם להוראה לאיזה גודל עליהם להתייחס (מושגי או פיזי). גודל שאיננו רלוונטי למטלה אך משפיע על הביצוע שלה נחשב כמעובד אוטומטית. מצאנו כי גודל מושגי מעובד באופן אוטומטי בקרב משתתפים עם התפתחות תקינה ובקרב משתתפים עם דיסלקציה. לצד זאת, מצאנו כי משתתפים עם דיסקלקוליה אינם מעבדים גודל מושגי באופן אוטומטי. ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם תיאוריה הטוענת כי אבן הבניין של קוגניציה מספרית היא עיבוד גדלים מסוגים שונים ולא רק עיבוד של כמויות, וכי ליקוי בעיבוד גדלים יכול להוביל לקשיים אריתמטיים.

מילות מפתח: גודל מושגי, דיסקלקוליה התפתחותית, מטלת קונפליקט, אפקט התואמות, אוטומטיות.

מבוא

אבני הבניין של קוגניציה מספרית

אנו משתמשים באופן יום-יומי במספרים ובכמויות כדי לפעול בסביבתנו. השימוש במספרים וכמויות קורה כאשר אנחנו עורכים קניות, צופים בספורט, מקבלים החלטות רפואיות, בוחרים מידת בגד, וכן הלאה. מהן אבני הבניין של היכולות הללו? בעשור האחרון הידע על הקוגניציה המספרית התרחב מאוד. אנו נתייחס אל תיאוריה שמאתגרת את התיאוריה השלטת בתחום ונדון בהרחבה בגודל מושגי. המאמר כולל סקירה של שני מאמרים שפורסמו. הראשון מתאר את עיבוד הגודל המושגי בקרב אוכלוסייה בוגרת ובעלת התפתחות תקינה (Gliksman, Itamar, Leibovich, 2016; Melman & Henik, 2016). השני מתאר את אופי העיבוד של גודל מושגי אצל אוכלוסיות עם לקויות למידה ספציפיות, דיסקלקוליה ודיסלקציה (Gliksman & Henik, 2018).

מחקרים בתחום הקוגניציה המספרית הובילו להסכמה לגבי קיומה של יכולת קוגניטיבית מולדת המאפשרת לעבד ולהבחין בין כמויות. מחקרים שונים הראו כי תינוקות ובעלי חיים מסוגלים להבחין האם הוצגו בפניהם שתי כמויות השונות זו מזו כאשר הכמויות הינן קטנות (למשל 2 תפוחים לעומת 4 תפוחים; Wynn, 1992). הטענה המרכזית היא שההבחנה היא בין כמויות בדידות (כלומר בין כמויות פריטים שונות). גישה זו מתוארת בהרחבה במודל של Feigenson, Dehaene & Spelke (2004). בנוסף, נמצא כי יכולת ההבחנה בכמויות מערבת אזור מוחי באונה הקודקודית בשם IPS (Intra parietal sulcus). ליקוי התפתחותי או נרכש ב-IPS נמצא כמוביל לליקוי ביכולת חשבונית (Butterworth, 2010).

יחד עם זאת, מחקרים חדשים מציעים להרחיב את ההתייחסות לאבני הבסיס של הקוגניציה המספרית, ומדגישים מאפיינים אחרים שיש לשים אליהם לב. מחקרים אלו מתארים השפעה של גדלים רציפים. גודל רציף הוא גודל שיכול לקבל כל ערך בין שני ערכים נתונים. נסביר את ההבדל בין גודל בדיד לגודל רציף בעזרת דוגמה: מספר הילדים במשפחה הוא גודל בדיד, שכן הוא חייב להיות 0, 1, 2, וכן הלאה. לעומת זאת, משקל של אדם יכול לקבל ערכים אחרים, כמו 68.3, 68.7 וכן הלאה. לכן משקל הוא דוגמה לגודל רציף. דוגמאות נוספות לגדלים רציפים הן צפיפות, גובה, בהירות, ועוד. מחקרים חדשים מראים כי יש לבחון בזהירות את הגישה שמתארת כי אבן הבניין הבסיסית בקוגניציה מספרית היא הבחנה בין כמויות בדידות, ומציעים כהסבר חלופי הבחנה בין גדלים מסוגים שונים (Gebuis & Reynvoet, 2012a; 2012b; Leibovich & Henik, 2014). אחת הטענות המרכזיות של מחקרים אלו היא כי גודל הוא תכונה בסיסית של אובייקטים ויתכן שהוא מרכזי להתפתחות של קוגניציה מספרית (Henik, Leibovich, Naparstek, 2012; Deisendruck & Rubinstein, 2012; Henik, Gliksman, Kallai & Leibovich, 2017; Leibovich, Katzin, Harel & Henik, 2016). בהתאם, במאמר זה נסקור את אחד מהגדלים הללו, גודל מושגי.

גודל מושגי הינו הגודל השמור בזיכרון לגבי גודלם של אובייקטים בעולם. לדוגמה, אנשים יכולים לענות בקלות על השאלה "מה גדול יותר, פיל או עכבר?" גם אם לא יראו מולם את בעלי

החיים הללו באותו הרגע. יכולת ההשוואה הזו מתאפשרת כיוון ששני הגדלים (פיל ועכבר) מיוצגים בזיכרונם. יתר על כן, יש עדויות לכך שהעוררות של גודל מושגי היא אוטומטית.

כיצד בוחנים עיבוד אוטומטי?

מידע נחשב כמעובד באופן אוטומטי כאשר הוא עובר עיבוד גם כאשר איננו רלוונטי למטלה אותה הנבדק מתבקש לבצע (Tzelgov, Meyer & Henik, 1992). למשל, שפה מעובדת באופן אוטומטי, שכן לא ניתן להתעלם ממשמעות המילים של שפה אותה אנו דוברים.

היכולת לבחון עיבוד אוטומטי של מימד כלשהו מתאפשרת בשימוש במטלות קונפליקט (מטלות המכונות גם מטלות "סטרוף", Stroop, 1935). במטלות מסוג זה, משלבים בגירוי שני מימדים שונים ומבקשים מהנבדק להתייחס אל מימד אחד בלבד ולהתעלם מהשני. למשל, במטלת סטרופ הקלאסית מציגים לנבדק מילת צבע, המוצגת בצבע דיו מסוים, ומבקשים ממנו לשייך את צבע הדיו בו המילה כתובה. שני המימדים (משמעות המילה וצבע הדיו) יכולים להיות תואמים או לא תואמים זה לזה. בתנאי תואם, התייחסות אל צבע הדיו וכן התייחסות אל משמעות המילה יובילו לאותה התגובה. למשל, המילה "כחול" שכתובה בצבע כחול היא דוגמה לתנאי תואם. לחילופין, ניתן לייצר קונפליקט בין שני המימדים, כך שהתייחסות למימדים שונים בגירוי תוביל לתגובות שונות. זהו מצב של תנאי לא תואם. למשל, המילה "כחול" שכתובה בצבע אדום. כאשר המשימה היא לשייך את צבע הדיו, ולהתעלם ממשמעות המילה, מוצאים הבדל בזמני התגובה בין תנאי תואם לתנאי לא תואם, כך שזמן התגובה לתנאי הלא תואם ארוך יותר. ההבדל בין זמני התגובה התואמים והלא תואמים נקרא אפקט התואמות, והוא מעיד על אוטומטיות בעיבוד של המימד ממנו התבקשו המשתתפים להתעלם (בדוגמה שתיארנו – עיבוד משמעות המילה).

במטלת קונפליקט אחרת, הניק וצלוב (1982) הציגו לנבדקים מטלת קונפליקט בין מימד של גודל מספרי לגודל פיזי. במטלה הוצגו בפני הנבדקים שתי ספרות, והנבדקים היו צריכים לבחור בספרה הגדולה יותר. בתנאי תואם, הספרה הגדולה יותר בערכה היתה גם גדולה יותר בגודלה הפיזי (למשל 53), ובתנאי לא תואם, הספרה הגדולה יותר בערכה היתה קטנה יותר בגודלה הפיזי (למשל 35). מערך מחקר כזה מאפשר לבחון את האוטומטיות של עיבוד הגודל המספרי. כאשר הנבדקים במחקר מבצעים השוואה של המימד הפיזי, המימד המספרי (ערך הספרות) איננו רלוונטי למטלה. יחד עם זאת, נמצא פער מובהק בין זמני התגובה בתנאי התואם לעומת התנאי הלא תואם, מה שמעיד כי הנבדקים לא מצליחים להתעלם מהמימד המספרי והוא מעובד אצלם באופן אוטומטי. מטלה זו נקראת מטלת תואמות הגודל (Size Congruity). מחקרים התפתחותיים שהשתמשו במטלת תואמות הגודל הראו כי החל מסוף כיתה א, מספרים מעובדים בצורה אוטומטית והם משפיעים על התגובות של נבדקים גם כאשר הם מתבקשים להתעלם מהם (Rubinsten, Henik, 2002).

ניסוי ראשון: עיבוד אוטומטי של גודל מושגי

האם גודל מושגי, היינו הגודל המיוצג של אובייקטים בזיכרון, מעובד באופן אוטומטי? על מנת לענות על שאלה זו בצענו מספר שלבים. בשלב הראשון בחנו זיהוי של אובייקטים מוכרים. בשלב השני ביקשנו לייצר סולם שיתאר את הגדלים המושגיים של אובייקטים שונים בקרב נבדקים.

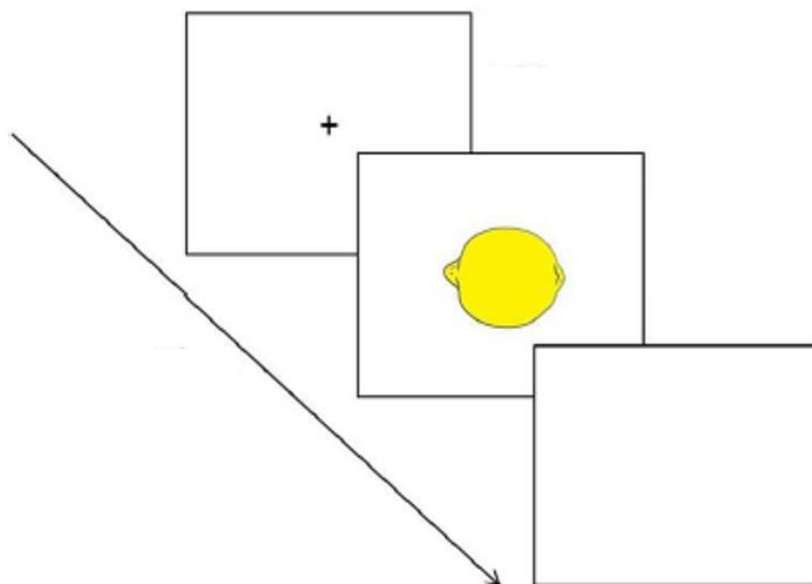
בשלב השלישי יצרנו מטלת קונפליקט בין שני מימדים, גודל מושגי וגודל פיזי, ובחנו את אוטומטיות העיבוד של הגודל המושגי. נפרט על שני השלבים הללו.

זיהוי אובייקטים

כיוון שגודל מושגי הוא גודל פנימי שמיוצג בזיכרון, לא ניתן למדוד אותו בצורה אובייקטיבית. לכן מטרת השלב הראשון היתה לייצר סולם של גודל מושגי עבור אובייקטים שונים. בהמשך, סולם זה שימש אותנו על מנת לבצע השוואה בין גדלים מושגיים של אובייקטים שונים.

כיצד יצרנו את הסולם? השתמשנו במאגר התמונות של Rossion & Pourtois (2004) ובחרנו מתוכו 58 אובייקטים צבעוניים. האובייקטים היו של חפצים (למשל כסא, מקרר, תנור), של חיות (למשל אריה, ג'ירפה, היפופוטם), של פירות וירקות (למשל עגבנייה, לימון, תות) וכן מקטגוריות נוספות. הצגנו את האובייקטים האלו לשלושים משתתפים (מתוכם 25 נשים), בגיל ממוצע של 23. המשתתפים (בניסוי זה ובבאים אחריו) היו סטודנטים שלמדו באותה העת באוניברסיטת בן גוריון בנגב בבאר שבע. הנבדקים ישבו מול מסך מחשב בחדר שקט במעבדה. בכל צעד הוצג להם תחילה ל-300 אלפיות שניה (א"ש) מסך שסימן "+" במרכזו, למיקוד המבט. אחר-כך הוצג מסך שבמרכזו גירוי ובכל פעם הוצג להם גירוי אחד על רקע לבן, והם התבקשו לשיים את שמו בקול. נסיין ישב בחדר עם המשתתפים וקודד את תגובותיהם הקוליות. הגירוי הופיע על המסך עד לתגובת הנבדק. לאחריו הופיע מסך לבן והתחיל הצעד הבא. דוגמה לצעד בניסוי הראשון מוצגת באיור 1. הגירויים הופיעו בגדלים פיזיים שונים על פני המסך, על מנת לוודא שיכולת הזיהוי של האובייקט איננה משתנה בתצוגה בין גדלים פיזיים שונים (הגדלים השונים נמדדו בפיקסלים, והיו 325X162.5, 290X145, 220 X110, 165X82.5).

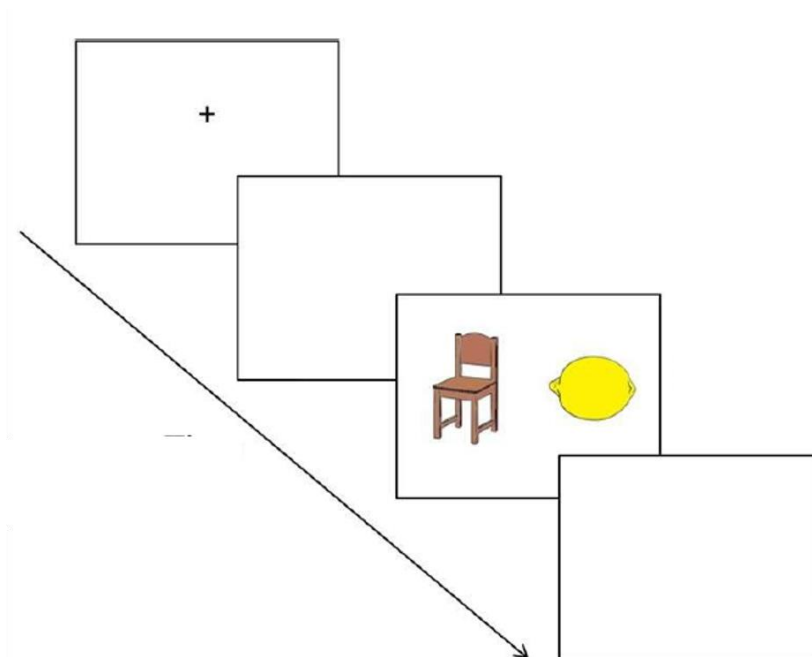
איור 1. דוגמה לצעד בשלב הראשון בניסוי המתאר את זיהוי (שיום) האובייקטים השונים.



בחנו את אחוזי הדיוק ואת מהירות התגובה של המשתתפים לאובייקטים שונים בגדלים פיזיים שונים. תוצאות ניתוח הדיוק הובילו להוצאה של אובייקט אחד (גורילה) שאחוז הדיוק בשיום שלו, מעבר לנבדקים שונים, היה נמוך מ-90%. תוצאות ניתוח זמני התגובה הובילו להוצאה של שלושה אובייקטים שזמן התגובה אליהם היה בעל שונות גדולה בהשוואה לאובייקטים אחרים (צבי, כבשה וחיפושית). תוצאות ניתוח זמן התגובה עבור כל אובייקט לגדלים הפיזיים השונים בהם הוצג הובילו להוצאה של אובייקט נוסף (עגבנייה). חמישים ושלושה האובייקטים שנשארו הוצגו גם בשלב השני של הניסוי.

בהמשך רצינו לבחון את הגודל המושגי היחסי של האובייקטים הללו ולייצר סולם של גודל מושגי יחסי. לשם כך השתמשנו בשיטה פסיכו-פיסית שתוארה על ידי Stevenes (1946) לפיה הגודל המושגי נקבע בהתאם לנקודת התייחסות. בחלק זה של הניסוי השתתפו 30 נבדקים אחרים (מתוכן 14 נשים) בגיל ממוצע של 22. הנבדקים צפו בכל פעם בשני אובייקטים צבעוניים על פני מסך לבן. אובייקט אחד היה קבוע, והוגדר כאובייקט ההתייחסות: ציור של כסא. האובייקט השני השתנה בכל צעד (מבין 53 האובייקטים שנשארו בסיום חלקו הראשון של הניסוי). שני האובייקטים (כסא ואובייקט נוסף) הוצגו באותו גודל פיזי במהלך הניסוי (290X145 פיקסלים). גודלו של אובייקט ההתייחסות בעולם האמיתי הוגדר כ-500. בהתאם לכך, המשתתפים התבקשו לתת גודל מספרי לכל אחד מהאובייקטים האחרים שהופיעו לצדו, בהתאם לגודלם האמיתי בעולם. הניסוי נערך בחדר שקט במעבדה. בכל צעד הופיעה נקודת מיקוד (סימן +) למשך 300 א"ש, לאחריו מסך לבן למשך 200 א"ש ואז שני אובייקטים (כסא ואובייקט נוסף) עד שהנבדק הגיב. התגובה הנדרשת הייתה הקלדה של ערך מספרי של האובייקט המוצג. לאחר התגובה הופיע שוב מסך לבן למשך 200 א"ש ולאחריו התחיל צעד נוסף. סה"כ כל משתתף ביצע 212 צעדי דירוג בניסוי (53 אובייקטים $2 \times$ צדדים $2 \times$ חזרות). דוגמה לצעד בשלב השני של הניסוי מוצגת באיור 2.

איור 2. דוגמה לצעד בשלב השני של הניסוי ליצירת סולם לגדלים מושגיים של אובייקטים יחסית לאובייקט ההתייחסות (כסא).



בצענו שני ניתוחים לתוצאות הניסוי הזה. מטרת הניתוח הראשון הייתה לבחון את סדר הגדלים היחסיים של האובייקטים של המשתתפים השונים. לשם כך, קבוצה אחרת של 10 משתתפים דרגה את האובייקטים לפי גודלם היחסי (ללא מספרים, אלא לפי גודלם האמיתי בעולם. למשל: מכונית < אריה < חתול < לימון < תות; כך עבור כלל האובייקטים). דירוג של עשרת המשתתפים האלו שימש כקריטריון. חישבנו מתאם פירסון עבור כל משתתף מהמדגם של 30 המשתתפים בין הדירוג שלהם לבין הקריטריון שהוגדר, וכן מתאם ממוצע בין כלל דירוגי המשתתפים לקריטריון (שערכו היה 0.94). המתאם בין הדירוגים של אחד מ-30 המשתתפים היה נמוך בשתי סטיות תקן ממתאם פירסון הכללי ולכן הדירוג שלו הוצא מהמדגם. בשלב הבא, ביקשנו לבחון את מידת היציבות בדירוג של כל נבדק. לצורך כך נבחן מקדם ההשתנות (coefficient of variance), מדד המתאר את סטיית התקן המתחלקת בממוצע, עבור הדירוגים של כל משתתף לכלל האובייקטים. ערך מקדם ההשתנות של אחד המשתתפים היה גדול בשתי סטיות תקן ממקדם ההשתנות הממוצע של כלל המשתתפים, ולכן הוצא מהמדגם. לסיום, חישבנו את הערך הממוצע של הגודל המושגי שניתן על ידי 28 נבדקים עבור 53 אובייקטים שונים. ממוצעי הערכים שניתנו לאובייקטים השונים מופיעים בלוח מספר 1.

הגודל קובע! אוטומטיות עיבוד של גודל מושגי בקרב לקויות למידה

לוח 1 : מציגה את גודלם המושגי של האובייקטים.

גודל מושגי	אובייקט
22.14	אגס
1538.76	אופנוע
65.96	ארנב
24.98	בצל
81.99	ברז
5572.4	ג'ירפה
3383.7	גמל
6.21	דבורה
31.67	דג
3278	דוב
1112.5	דלת
1346.74	זברה
493.1	חבית
1303.1	חמור
80.68	טוסטר
52.54	קובע
24.8	כוס
547.81	כלב
4.55	כפתור
24.8	לימון
67.49	מחבת
1583.82	מיטה
22.49	מנורה
1667	מקרר
1260.83	נמר

ירדן גליקסמן ואבישי הניק

גודל מושגי	אובייקט
2327.71	סוס
1384.17	ספה
27.2	ספל
50.18	ספר
824.1	עגלה
25.23	עכבר
7.62	עלה
36.3	ענבים
403.53	פח אשפה
11.15	פטריה
39522.73	פיל
2053.7	פרה
17.31	פרח
8.8	פרפר
61.21	צב
27.6	ציפור
26.49	צפרדע
66.94	קנקן תה
5231.73	קרנף
10.08	שבלול
1096.84	שולחן
1037.74	שולחן
511.2	שועל
969.26	שידה
12.74	תות
1008.02	תנור
80.97	תרנגולת

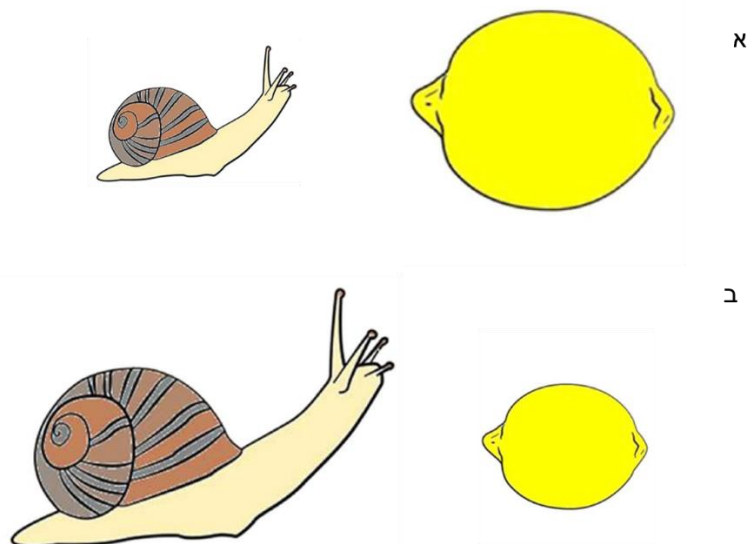
יצירת מטלת קונפליקט בין גודל מושגי וגודל פיזי

לאחר יצירת סולם של גדלים מושגיים, ייצרנו מטלת קונפליקט בין גודל מושגי לגודל פיזי.

שיטה

במטלה זה הצגנו בכל צעד שני אובייקטים שונים. היחס בין שני הגדלים המושגיים ובין שני הגדלים הפיזיים של האובייקטים נשמר כערך קבוע של 0.45-0.55. בהתאם לערכים אלו יצרנו 58 זוגות שונים. בכל צעד המימדים הפיזיים והמושגיים של שני האובייקטים יכלו להיות מתואמים או לא מתואמים ביניהם. דוגמה לאחד הזוגות הוא שבלול ולימון. בדוגמה זו בתנאי תואם הלימון (הגדול מביניהם בעולם) הופיע בגודל פיזי גדול יותר על המסך בהשוואה לשבלול. לעומת זאת, בתנאי לא תואם, הלימון הופיע בגודל פיזי קטן יותר על המסך. דוגמאות לתנאי תואם ולתנאי לא תואם מוצגים באיור 3.

איור 3. דוגמה לצעד תואם ולצעד לא תואם. באיור 3א (עליונה) מוצג צעד תואם: הלימון גדול יותר בגודלו המושגי ובגודלו הפיזי מהשבלול. באיור 3ב (תחתונה) מוצג צעד לא תואם: הלימון גדול יותר בגודלו המושגי מהשבלול אך קטן יותר בגודלו הפיזי.

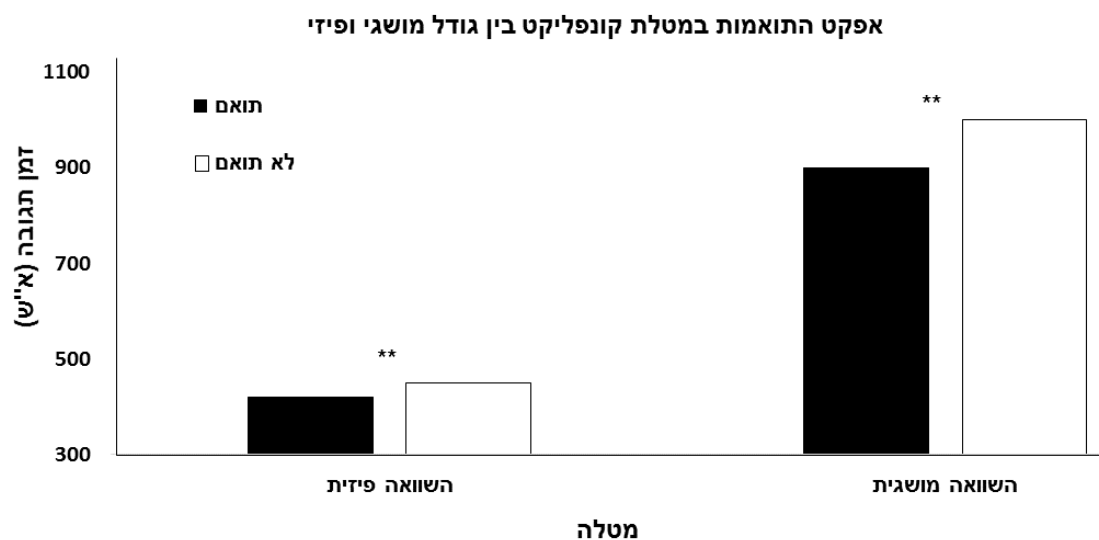


במטלת הקונפליקט בין גודל מושגי לגודל פיזי השתתפו 20 נבדקים (מתוכן 10 נשים) בגיל ממוצע של 25. הניסוי כלל שתי מטלות השוואה. בכל אחת מהמטלות המשתתפים התבקשו להחליט איזה משני אובייקטים גדול יותר. במטלה של השוואת גודל מושגי, המשתתפים התבקשו להחליט מי מהאובייקטים גדול יותר בעולם האמיתי (ולהתעלם מהגודל הפיזי בו הם מוצגים במסך). במטלה של השוואת גודל פיזי המשתתפים התבקשו להחליט מי מהאובייקטים גדול יותר על המסך (ולהתעלם מגודלם האמיתי בעולם). בכל צעד הוצגה תחילה נקודת מיקוד (סימן +) למשך

500 א"ש, לאחריה מסך לבן למשך 300 א"ש, ואז מסך של שני הגירויים עד לתגובת הנבדק, ולאחריו מסך לבן נוסף למשך 300 א"ש. תגובת הנבדק היתה הקשה על מקש "P" כאשר לדעתו האובייקט הימני היה גדול מבין השניים והקשה על מקש "Q" כאשר לדעתו האובייקט השמאלי היה הגדול מבין השניים. כל משתתף ביצע את שתי המטלות (מחצית מהמשתתפים התחילו במטלת ההשוואה הפיזית ומחציתם במטלת ההשוואה המושגית). כל משתתף בצע 640 צעדי ניסוי סה"כ (2 מטלות (השוואה פיזית ומושגית) $2 \times$ תנאי תואמות (תואם ולא תואם) $2 \times$ צדדים (אובייקט גדול מימין או משמאל) $80 \times$ חזרות (מתוך כלל הזוגות).

כאמור, במטלות קונפליקט ניתן לבחון את אוטומטיות העיבוד של המימד הלא רלוונטי למטלה ולראות האם הוא משפיע על הביצוע, בהשוואה בין תנאי תואם לתנאי לא תואם.

תרשים 1. זמני תגובה במטלות השוואה של גודל פיזי (גודל מושגי איננו רלוונטי) ובמטלת השוואה של גודל מושגי (גודל פיזי איננו רלוונטי), באלפיות שניה. * מסמנת הבדל מובהק בין התנאים.



תוצאות

תוצאות מטלת הקונפליקט מוצגות בתרשים מספר 1. תוצאות המחקר הראו כי מטלת ההשוואה הפיזית היתה מהירה יותר ממטלת ההשוואה המושגית (419 א"ש לעומת 945 א"ש), תנאי תואם היה מהיר יותר מתנאי לא תואם (657 א"ש לעומת 708 א"ש) וכי היתה אינטראקציה בין המטלה לתואמות (אפקט תואמות גדול יותר במטלת ההשוואה במושגית, 91.5 א"ש לעומת 12.5 א"ש).

דיון

מטרת הניסוי הראשון היתה לבחון את האם גודל מושגי מעובד באופן אוטומטי. כדי לבחון זאת ייצרנו סולם של גדלים מושגיים של אובייקטים שונים ובנינו מטלת קונפליקט בין גודל פיזי וגודל מושגי. שני הגדלים יכלו להיות תואמים ביניהם (היינו האובייקט המופיע כגודל יותר פיזית על המסך הוא גדול יותר גם במציאות); או לא תואמים (היינו האובייקט המופיע כגודל יותר פיזית על

המסך הוא קטן יותר במציאות). מטלת הקונפליקט הראתה עיבוד אוטומטי של גודל פיזי ושל גודל מושגי.

מדוע ההשוואה הפיזית מהירה מההשוואה המושגית? ההסבר כרוך במנגנוני העיבוד של כל אחד מהגדלים. השוואה של גודל פיזי דורשת מידע של גודל האובייקט המוצג כפי שנפל על הרשתית. לעומת זאת, השוואה של גודל מושגי דורשת השוואה בין ייצוגים מנטליים של גדלי אובייקטים ששמורים בזיכרון לטווח ארוך. כלומר, יש צורך להעלות את הגדלים מן הזיכרון תחילה ואחר כך להשוות אותם. לכן, הערכה של גדלים מושגיים היא איטית יותר מהערכה של גדלים פיזיים.

כאמור, מטרת המחקר הייתה לבחון האם גודל מושגי מעובד באופן אוטומטי, מימד שנבחן כאשר הוא איננו רלוונטי למטלה, היינו במטלת ההשוואה הפיזית. בצענו ניתוח נוסף לבחון את הפער בין תנאי תואם לתנאי לא תואם במטלה זו. בניתוח זה, חילקנו את זמני התגובה של הנבדקים לרבעונים. 25% מהצעדים (המהירים ביותר) היו ברבעון הראשון, וכך הלאה, עד לרבעון 100, שכלל את הצעדים האיטיים ביותר. לאחר מכן, עבור כל רבעון בחנו האם מתקיים בו הבדל בין תנאי תואם לתנאי לא תואם. תוצאות הניתוח הראו כי אפקט תואמות מתקבל בשלושה מתוך ארבעה רבעונים (רבעונים 50, 75 ו-100). כלומר, על אף שהשוואה הפיזית מהירה יותר (ולתחושת רבים קלה יותר) מההשוואה המושגית, הגודל המושגי משפיע על הביצוע ועל כן ניתן לומר שהוא מעובד באופן אוטומטי.

לסיכום, בהשוואה של גדלים פיזיים של אובייקטים, בה אין צורך לעבד את משמעות הגירוי המוצג, אלא רק את גודלו הפיזי על המסך, מצאנו כי הגודל המושגי של האובייקטים מעובד באופן אוטומטי ומשפיע על אופן התגובה (מאט אותה בתנאי לא תואם).

תוצאות המחקר שלנו עולות בקנה אחד עם מחקרים קודמים. מחקר שערכו רובינשטיין והניק (Rubinsten & Henik, 2002) על עיבוד אוטומטי של גודל מושגי המופיע כמילים. במחקר שלהם, משתתפים ראו שתי מילים של חיות (למשל נמלה ויונה) שהופיעו בגודל פונט שונה על המסך, והיו צריכים להחליט מי מהן כתובה בגודל פונט גדול יותר. גם כאן, משמעות המילה איננה רלוונטית להחלטה שיש לקבל. אף על פי כן, הגודל המושגי שהמילים עוררו השפיע על הביצוע, ותנאי תואם היה מהיר יותר מתנאי לא תואם. בנוסף, Konkle & Oliva (2012) הציגו מטלת קונפליקט בין גודל פיזי לגודל מושגי, והשתמשו בצילומים של אובייקטים, ומצאו גם הם עיבוד אוטומטי של הגודל המושגי של אובייקטים. המחקר שלנו מרחיב את תוצאות המחקר לצורת גירוי אחרת, תמונות ולא מילים או צילומים. כלומר, ניתן להסיק כי גודל מושגי מעובד באופן אוטומטי ללא קשר לצורה בה הוא מוצג. נוסף על כך, זיהוי ושיום אובייקטים נרכש עוד טרם רכישת הקריאה. כפי שנתאר להלן, יש בכך חשיבות ברמת יכולת זיהוי של יכולת עיבוד אוטומטי של גודל מושגי והקשר האפשרי שלהם ללקות למידה בחשבון.

ניסוי שני: עיבוד גודל מושגי באוכלוסיות עם לקות למידה ספציפית

בהמשך, בקשנו לבדוק את אוטומטיות העיבוד של גודל מושגי בקרב אוכלוסיות עם לקויות למידה התפתחותיות, דיסקלקוליה ודיסלקציה.

דיסקלקוליה התפתחותית מאופיינת בקושי בעיבוד מידע הקשור במספרים ובלימוד אריתמטיקה. ילדים ומבוגרים עם דיסקלקוליה התפתחותית מתקשים לשלוח תשובות של עובדות

חשבוניות (למשל $7=3+4$), והם משתמשים באסטרטגיות פתרון לא יעילות שאינן מותאמות גיל כדי לענות על תרגילים אחרים (כמו שימוש באצבעות וצורך בחפצים מוחשיים כדי לבצע אופרציות חשבוניות) (Budgen & Ansari, 2016; Geary, 2004; Mazzocco, Devlin & McKenney, 2008). דיסלקציה התפתחותית מאופיינת בקושי ברכישת הקריאה, הפקת משמעות ממילה כתובה ובהשגת שטף קריאה. ילדים ומבוגרים עם דיסלקציה מראים ליקוי במודעות פונולוגית (היכולת להתייחס לצלילים המרכיבים את המילה) (Shaywitz & Shaywitz, 2012). אצל אנשים עם דיסלקוליה או דיסלקציה, קשיי הלמידה אינם יכולים להיות מוסברים על ידי גיל כרונולוגי, אינטליגנציה נמוכה או חינוך לא מותאם (APA, 2013).

מחקרים רבים על אנשים עם דיסלקוליה מתארים קושי בעיבוד כמותי, של כמויות ושל ספרות. מחקרם של רובינשטיין והניק (Rubinsten & Henik, 2005), למשל, בחן את אוטומטיות העיבוד של מספרים אצל אנשים עם דיסלקוליה התפתחותית. רובינשטיין והניק הציגו למשתתפים את מטלת תואמות הגודל. תוצאות המחקר הראו כי אפקט התואמות של משתתפים עם דיסלקוליה התפתחותית היה קטן יותר בהשוואה למשתתפים ללא לקויות. משמע, המספרים עובדו באופן פחות אוטומטי ולכן ייצרו פחות הפרעה (האטה) בתגובה כאשר הם היו לא רלבנטיים. דפוס תוצאות דומה נמצא גם אצל ילדים בתחילת גיל בית הספר (Rubinsten et al., 2002) ואצל חולים שעברו פגיעה מוחית ממוקדת באזור ה-IPS (Ashkenazi, Henik, Ifergane & Shelef, 2017; Gliksman, Naparstek, Ifregane & Henik, 2008).

כפי שתיארנו בתחילת המאמר, אנו מציעים שאבני הבניין של קוגניציה מספרית מערבות עיבוד של גדלים רציפים מסוגים שונים, ולא רק של כמויות בדידות. לכן, בקשנו לבדוק כיצד אנשים עם דיסלקוליה מעבדים גודל רציף, במקרה זה גודל מושגי, והאם הם מעבדים אותו באופן אוטומטי. הוספנו למחקר גם קבוצת ביקורת של אנשים עם דיסלקציה התפתחותית. מוקד המחקר שלנו לא היה לבחון את יכולת העיבוד של גודל מושגי אצל דיסלקטים או להשוות בין דיסלקטים לבין נבדקים עם התפתחות תקינה, אלא להשוות בין דיסלקטים לדיסלקולים. השוואה כזו יכולה ללמד עד כמה ליקוי בעיבוד אוטומטי הוא ספציפי ללקות למידה מסוימת (היינו לדיסלקוליה ולא לדיסלקציה), ועד כמה הוא מושפע ממהירות תגובה באופן כללי. ככלל, אנשים עם לקויות למידה מאופיינים בקצב תגובה איטי יותר במטלות קוגניטיביות מסוגים שונים. השוואה בין שתי קבוצות שונות של לקויות למידה אפשרה לנו להבחין האם תגובה איטית יותר מובילה לשוני באוטומטיות העיבוד של גודל מושגי.

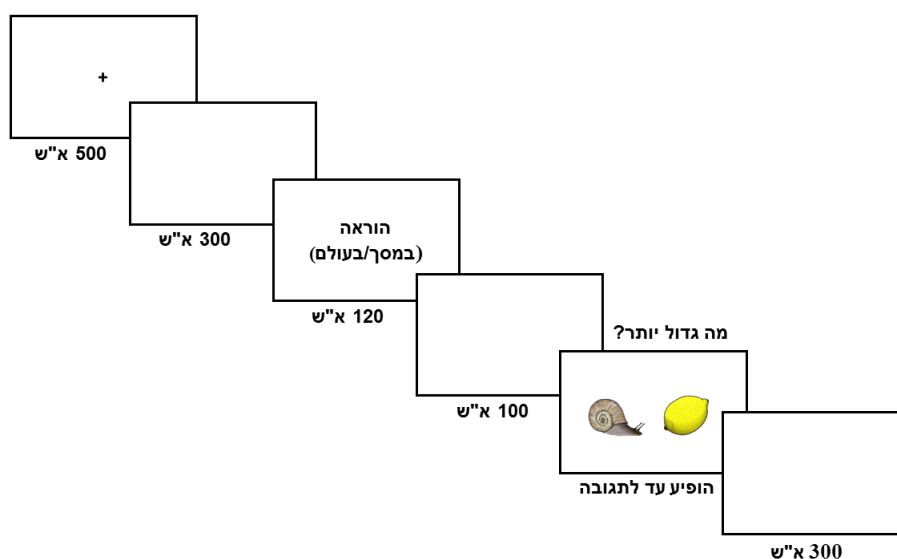
במחקר הזה ביקשנו מנבדקים עם דיסלקוליה, עם דיסלקציה וללא לקויות למידה להשוות בין שני אובייקטים בשני סוגי ההשוואות, השוואה פיזית והשוואה מושגית. כיוון שהשוואה פיזית היא מהירה יותר מהשוואה מושגית, וכיוון שנבדקים עם לקויות למידה נוטים להגיב לאט יותר בביצוע מטלות קוגניטיביות, השתמשנו בפרוצדורה של מעבר בין מטלות (task switching). פרוצדורה זו מאפשרת הקטנה של פער בין זמני התגובה בין תנאים שונים. בפרוצדורה זו בכל צעד בניסוי המשתתפים קיבלו הוראה לאיזה סוג השוואה עליהם להתייחס, השוואה מושגית או השוואה פיזית. בצורה זו, שני הגדלים נשמרים פעילים בשני סוגי ההשוואות, מה שיכול להאט את המשתתפים (Los, 1996; Meiran, 2000).

שיטה

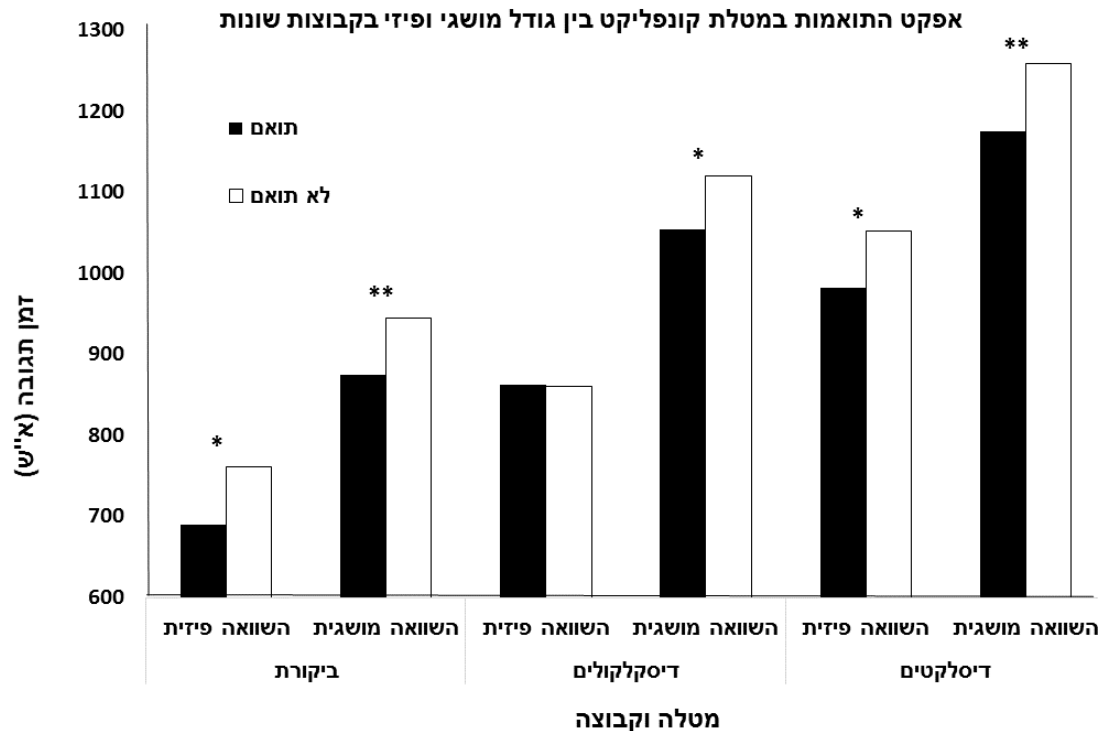
המשתתפים בניסוי גויסו למחקר לקבוצות השונות בהתאם לקריטריוני האבחון של המת"ל (מערכת לתפקודי למידה) שפתוחה על ידי המרכז הארצי לבחינות והערכה. מערכת זו היא מערכת ממוחשבת של מבחנים ושאלונים סטנדרטיים שפותחה לצורך אבחון לקויות למידה למוסדות להשכלה גבוהה. המערכת כוללת 20 מבחנים. דיסקלסיה מוערכת על ידי מבחנים בתחומים של קריאה קולית, פונולוגיה והבנת הנקרא; דיסקלקוליה מוערכת על ידי מבחנים בתחומים של פתרון תרגילים, ידע פרוצדוראלי והערכת מיקום מספר על ישר מספרים. המערכת כוללת גם מבחנים לאיתור קשיי קשב וקשיי כתיבה (למידע נוסף על מערכת האבחון ראו Ben-Simon, Beyth-Marom, Inbar-Weiss & Cohen, 2008). המשתתפים שנבחרו למחקר הראו לקות רק באחד מתחומי הלמידה (דיסקלקוליה או דיסקלקציה), וביצוע ממוצע ומעלה בשאר התחומים. נבדקי הביקורת (בעלי התפתחות תקינה ללא לקויות למידה או לקויות אחרות) נבחרו כך שיתאימו למשתתפים עם דיסקלקוליה מבחינת גיל ומגדר. סה"כ השתתפו במחקר 45 משתתפים, 15 בכל קבוצה, מתוכם 24 נשים, בגיל ממוצע של 25 שנים.

המשתתפים ביצעו את המטלה בחדר שקט במעבדה. בכל צעד בניסוי הופיע תחילה סימן למיקוד המבט (סימן +) למשך 500 א"ש, לאחריו מסך לבן למשך 300 א"ש ואז מסך ובו מילת הוראה שתיארה לאיזה השוואה יש להתייחס. המילה "במסך" הורתה לבצע השוואה של גודל פיזי והמילה "בעולם" הורתה לבצע השוואה של גודל מושגי. ההוראה הוצגה למשך 120 א"ש, לאחריה הופיע שוב מסך לבן למשך 100 א"ש ואז הופיעו שני הגירויים. הגירויים הופיעו צבעוניים על רקע לבן עד לתגובה של הנבדק (לחיצה על מקש "P" לבחירת אובייקט המופיע מצד ימין כגדול ולחיצה על מקש "Q" לבחירת אובייקט המופיע מצד שמאל כגדול). לאחריו הופיע מסך לבן למשך 300 א"ש עד לתחילת צעד חדש. ראו איור 4. כל משתתף ביצע 480 צעדים: 2 השוואות (פיזית ומושגית) $2 \times X$ תואמות (צד תואם וצעד לא תואם) X צד (אובייקט גדול מופיע מימין או משמאל) $60 \times X$ חזרות (שנבחרו אקראית מתוך 58 זוגות). בניסוי נמדדו אחוזי הדיוק וזמן התגובה.

איור 4. דוגמה לצעד בניסוי מעבר בין מטלות השוואה פיזית ומושגית.



תרשים 2. תוצאות ניסוי מעבר בין מטלות בהשוואה פיזית ומושגים בקבוצת הביקורת, הדיסקלקולים והדיסקלקטים.



תוצאות

תוצאות המחקר מוצגות בתרשים 2. תוצאות המחקר הראו 92% אחוזי דיוק במטלה (ללא הבדל מובהק בין הקבוצות או בין המטלות השונות). כמו כן נמצא כי כאשר המשתתפים ביצעו את מטלת ההשוואה המושגית (בה גודל פיזי איננו רלוונטי) כל הקבוצות הראו אפקט תואמות. לעומת זאת כאשר המשתתפים ביצעו את מטלת ההשוואה הפיזית, אפקט התואמות נמצא אצל קבוצת הביקורת ואצל קבוצת הדיסקלקטים אך לא אצל קבוצת הדיסקלקולים. משמעות התוצאות היא שמשתתפים עם דיסקלקוליה לא עיבדו באופן אוטומטי את הגודל המושגי, גודל רציף שאיננו כמותי, ולכן הוא לא יצר אצלם הפרעה בתנאי לא תואם.

נדגיש תוצאה נוספת שהתקבלה במחקר: זמן התגובה של המשתתפים עם דיסקלקוליה היה קצר יותר מזמן התגובה של המשתתפים עם דיסקלקציה וארוך יותר משל קבוצת הביקורת, ובפרט במטלת ההשוואה הפיזית. ממצא זה הוא חשוב כיוון שהוא מעיד שהליקוי שנמצא בקבוצת המשתתפים עם דיסקלקוליה בעיבוד גודל מושגי נובע מקושי בהשוואת הגדלים ולא מאיטיות בתגובה. ניתן להסיק זאת, כיוון שלו הדבר היה קשור באיטיות הביצוע, הקושי היה צריך להתבטא גם בקבוצת המשתתפים עם דיסקלקציה. עם זאת, קבוצת המשתתפים עם דיסקלקציה ביצעה את המטלה באופן האיטי ביותר. לכן אנו מציעים כי הקושי של הדיסקלקולים נבע מליקוי בעיבוד אוטומטי של גודל מושגי.

דיון

גודל מושגי הוא גודל של אובייקטים כפי שהוא שמור בזיכרון (למשל, נמלה היא קטנה, קרנף הוא גדול). המאמר הנוכחי מציג שני ניסויים שערכנו. הניסוי הראשון בחן האם גודל מושגי מעובד באופן

אוטומטי. הניסוי השני בחן את מידת האוטומטיות של העיבוד בקבוצת ביקורת ללא לקויות למידה, מול קבוצת נבדקים עם דיסקלקוליה וקבוצת נבדקים עם דיסלקציה.

הניסוי הראשון הראה כי גודל מושגי מעובד באופן אוטומטי. בחנו זאת על ידי שימוש במטלת קונפליקט, בין גודל פיזי לגודל מושגי. נבדקים הראו האטה בתנאי הלא תואם בהשוואה לתנאי התואם גם כאשר התבקשו להתייחס לגודל פיזי, ולהתעלם מהגודל המושגי.

הניסוי השני הראה כי נבדקים ללא לקויות למידה וכן נבדקים עם לקות למידה מסוג דיסלקציה הראו עבוד אוטומטי של גודל מושגי. לעומתם, נבדקים עם לקות למידה לא הראו עבוד אוטומטי של גודל מושגי.

תוצאות המחקר שלנו על נבדקים עם לקויות למידה מסוג דיסקלקוליה ודיסלקציה עולות בקנה אחד עם ממצאיהם של רובינשטיין והניק (Rubinsten & Henik, 2005; 2006) שבחנו עיבוד אוטומטי של מספרים במטלת תואמות הגודל אצל דיסקלקולים ודיסלקטים. גם במחקרים אלו כלל המשתתפים במחקר הראו עיבוד אוטומטי של גודל פיזי, אך משתתפים עם דיסקלקוליה הראו ליקוי בעיבוד אוטומטי של ערכי הספרות, בהשוואה לנבדקי ביקורת ונבדקים עם דיסלקציה. יתר על כן, הממצאים שלנו מחדדים את הליקוי בעיבוד אוטומטי של גדלים. במטלת תואמות הגודל המימדים המתופעלים הינם גודל פיזי וערך מספרי. אחת ההשערות לדיסקלקוליה ההתפתחותית הינה מציעה כי בדיסקלקוליה יש ליקוי בקשר בין ייצוג סמלי (הספרה המוצגת) לייצוג לא-סמלי (הכמות שהספרה מייצגת). לפי גישה זו, ניתן להסביר את הממצא של אפקט תואמות קטן יותר במטלת תואמות הגודל אצל המשתתפים עם דיסקלקוליה בכך שהייצוג הסמלי אינו נגיש להם במשמעותו הכמותית. במחקר הנוכחי, השתמשנו בגדלים מושגיים ופיזיים. משמע, המשתתפים לא התבקשו להתייחס לייצוג סמלי ולכן אפשר לטעון שמקור הקושי אצל משתתפים עם דיסקלקוליה אינו בגישה בין הכמות לסמל, אלא בעצם העיבוד של גדלים.

תוצאות שני הניסויים שלנו תומכות בתיאוריית עיבוד גדלים הגורסת כי יש קשר בין גדלים מסוגים שונים, וכי אבני הבניין של קוגניציה מספרית אינן עיבוד של כמויות בדידות בלבד, אלא מערבות עיבוד של גדלים רציפים. תיאוריה זו מציעה כי גדלים מסוגים שונים קשורים זה בזה ומעובדים על ידי מערכת עיבוד גודל משותפת (Henik et al., 2012; Henik et al., 2017; Leibovich et al., 2016). המחקר שלנו, יחד עם מחקרים אחרים, מובילים להצעה שליקוי בעיבוד גדלים מסוגים שונים (בדידים, רציפים, סימבולים, לא סימבולי וכדומה), קרי ליקוי בעיבוד של מערכת הגודל, יכול להוביל לליקוי ביכולת אריתמטית ולדיסקלקוליה התפתחותית.

למחקר קוגניטיבי על עיבוד גדלים בקרב לקויי למידה מסוג דיסקלקוליה התפתחותית יש חשיבות בשדה החינוכי. ילדים מתייחסים לגודל מושגי של אובייקטים בעולם עוד טרם רכישו של סימבולים מספריים או קריאה, והמחקר שלנו תומך בכך שהערכת גודל היא חלק מיכולות הבסיס של אריתמטיקה. לכן, השלכה אחת של הגישה הגורסת מעורבות של גדלים רציפים בקוגניציה מספרית היא כי במסגרת גני הילדים והכיתות הנמוכות גננות ומורים צריכים לדון עם ילדים בגדלים מסוגים שונים ולעודד אותם לשחק ולדמיין גדלים כאלו. בנוסף, ייתכן כי בעתיד יהיה ניתן לאתר קשיים אריתמטיים אצל ילדים עוד לפני כניסתם למערכת החינוך הפורמלית, תוך שימוש במטלת קונפליקט הדורשת עיבוד אוטומטי של גודל מושגי.

מקורות

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed). Arlington, VA: Author.
- Ansari, D. (2008). Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 278.
- Ashkenazi, S., Henik, A., Ifergane, G., & Shelef, I. (2008). Basic numerical processing in left intraparietal sulcus (IPS) acalculia. *Cortex*, 44(4), 439-448.
- Ben-Simon, A., Beyth-Marom, R., Inbar-Weiss, N., & Cohen, Y. (2008). Regulating the diagnosis of learning disability and the provision of test accommodations in institutions of higher education. Paper presented at the 34th Conference of the Association for Educational Assessment, Cambridge, UK.
- Bugden, S., & Ansari, D. (2016). Probing the nature of deficits in the 'Approximate Number System' in children with persistent Developmental Dyscalculia. *Developmental Science*, 19(5), 817-833.
- Butterworth, B. (2010). Foundational numerical capacities and the origins of dyscalculia. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(12), 534-541.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307-314.
- Geary, D. C. (2004). Mathematics and learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 37(1), 4-15.
- Gebuis, T., & Reynvoet, B. (2012a). The interplay between nonsymbolic number and its continuous visual properties. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(4), 642.
- Gebuis, T., & Reynvoet, B. (2012b). The role of visual information in numerosity estimation. *PloS one*, 7(5).
- Gliksman Y. & Henik A. (2018) Physical and conceptual magnitudes in Developmental Dyscalculia and Dyslexia. *Neuropsychology*, 32, 190-198.
- Gliksman, Y., Itamar, S., Leibovich, T., Melman, Y., & Henik, A. (2016). Automaticity of conceptual magnitude. *Scientific Reports*, 6:21446.
- Gliksman, Y., Naparstek, S., Ifergane, G. & Henik A. (2017). Visual and imagery comparisons are affected following left parietal lesion. *Frontiers in Psychology*, 8:1622.

- Henik, A., Gliksman, Y., Kallai, A., & Leibovich, T. (2017). Size perception and the foundation of numerical processing. *Current Directions in Psychological Science*, 26, 45-51.
- Henik, A., Leibovich, T., Naparstek, S., Diesendruck, L., & Rubinsten, O. (2012). Quantities, amounts, and the numerical core system. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 186.
- Henik, A., & Tzelgov, J. (1982). Is three greater than five: The relation between physical and semantic size in comparison tasks. *Memory & Cognition*, 10(4), 389-395.
- Leibovich, T., & Henik, A. (2014). Comparing performance in discrete and continuous comparison tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(5), 899-917.
- Leibovich, T., Katzin, N., Harel, M., & Henik, A. (2017). From 'sense of number' to 'sense of magnitude' – the role of continuous magnitudes in numerical cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 40.
- Los, S. A. (1996). On the origin of mixing costs: Exploring information processing in pure and mixed blocks of trials. *Acta Psychologica*, 94(2), 145-188.
- Mazzocco, M. M., Devlin, K. T., & McKeeney, S. J. (2008). Is it a fact? Timed arithmetic performance of children with mathematical learning disabilities (MLD) varies as a function of how MLD is defined. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 318-344.
- Meiran, N. (2000). Modeling cognitive control in task-switching. *Psychological Research*, 63(3-4), 234-249.
- Rossion, B., & Pourtois, G. (2004). Revisiting Snodgrass and Vanderwart's object pictorial set: The role of surface detail in basic-level object recognition. *Perception*, 33(2), 217-236.
- Rousselle, L., & Noël, M. P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, 102(3), 361-395.
- Rubinsten, O., & Henik, A. (2002). Is an ant larger than a lion? *Acta Psychologica* 111 (1): 141-154.

- Rubinsten, O., & Henik, A. (2005). Automatic activation of internal magnitudes: a study of developmental dyscalculia. *Neuropsychology*, 19(5), 641-648.
- Rubinsten, O., & Henik, A. (2006). Double dissociation of functions in developmental dyslexia and dyscalculia. *Journal of Educational Psychology*, 98(4), 854-867.
- Rubinsten, O., Henik, A., Berger, A., & Shahar-Shalev, S. (2002). The development of internal representations of magnitude and their association with Arabic numerals. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(1), 74-92.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2012). Psychopathology of dyslexia and reading disorders In A. S. Davis (Ed.), *Psychopathology of childhood and adolescence: A neuropsychological approach* (pp. 109-126). New York: Springer.
- Stevens, S. S. On the theory of scales of measurements. *Science* 103, 677-680 (1946).
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of experimental psychology*, 18(6), 643.
- Tzelgov, J., Meyer, J., & Henik, A. (1992). Automatic and intentional processing of numerical information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18(1), 166-179.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358 (6389), 749-750.