



כתב עת אלקטרוני
בהוצאת המכללה האקדמית לחינוך ע"ש דוד ילין, ירושלים

גליון מס' 11, תשפ"ב-תשפ"ג, 2022

ניתן לקריאה באתר כתב העת
https://www.dyellin.ac.il/publications/journal_education

**לשחרר את האונה המצחית?
מבט נוירו-פדגוגי על חשיבה יצירתית בקרב ילדים בגיל הרך**

אורית הוד שמר וגל בן יהודה

תקציר

נויר-פדגוגיה הוא תוצר של דיאלוג בין ממצאים מחקר המוח לבין ממצאים מחקר תהליכי הוראה ולמידה. מטרתו של מאמר עיוני זה להציע נקודת מבט נויר-פדגוגית לתהליך מכון לקידום חשיבה יצירתית בגיל הרך. לשם כך יוצג תחילה ההיבט הפדגוגי של החשיבה היצירתית, האופן שבו היא נמדדת ומקודמת בגיל הרך. לאחר מכן, תוצג סקירה של המנגנונים המוחיים בבסיס החשיבה היצירתית, ובה עדויות מחקר המוח המצביעות על תנודה (shifting) בין שני תהליכי חשיבה: אסוציאטיבי ומבוקר, ועל מעורבותן של שלוש רשתות עצביות: רשת ברירת המחדל, רשת הניהול והבקרה, ורשת הבולטות. ההתמקדות במאמר באוכלוסיית הגיל הרך נובעת מהתפיסה הרווחת והמוטעית של צוותי חינוך שיצירתיות מתפתחת באופן ספונטני, בניגוד למחקרים המורים שניתן לקדמה. דרך הבנת המנגנונים המוחיים בשילוב הידע ממחקרים פדגוגיים, מתקבלת תמונה שלמה של תהליך החשיבה המסתעפת שהיא רכיב מרכזי בחשיבה יצירתית. מתוך כך מוצעים שני עקרונות נויר-פדגוגיים מרכזיים לקידום חשיבה מסתעפת. האחד, שחרור האונה המצחית כדי לאפשר זמן להמשכות תהליך החשיבה הכולל דמיון, נדידת מחשבות והעלאת זיכרונות. והשני, הפעלה מכוונת של האונה המצחית, הכרוכה בתיווך, לעשיית מניפולציות ברעיונות המופקים. שני העקרונות המוצעים תומכים בתנודה בין התהליכים המוחיים האסוציאטיביים לבין התהליכים המוחיים המבוקרים, ובכך מסייעים לקדם את החשיבה המסתעפת. בהתייחס למיעוט המחקרים בתחום החשיבה היצירתית בגיל הרך, מאמר עיוני זה מציע נקודת מבט חדשה - נויר-פדגוגית - על דרכים לקידום חשיבה יצירתית בגיל הרך בהתבסס על תובנות מחקר המוח.

רקע תאורטי

חשיבה יצירתית היא תהליך מחשבתי מכון המתפתח באמצעות אינטראקציה בין יכולות, תהליכים וסביבה, שתוצאותיו הפקת רעיון חדשני ויעיל בהקשר החברתי-תרבותי. פעילות מנטלית זו מניבה תועלת לאיכות החיים של המפיקים אותה (הוד שמר, 2022; Legget, 2017; Runco & Jaeger, 2012). תהליך החשיבה היצירתית ניתן ללמידה ולפיתוח. טענה זו נבדקה אמפירית במחקרים רבים וממצאיהם תמכו בה (לדוגמה: שחם ושוורצקי, 2016; Aminolroaya et al., 2016; Zahra et al., 2013). למרות הממצאים האמפיריים, הטענה שניתן לפתח חשיבה יצירתית לעיתים אינה מתיישבת עם תפיסתם של מורים. ישנם מורים הרואים ביצירתיות תכונה מולדת השמורה ליחיד סגולה ומוזהים את היצירתיות כתוצר (למשל באומנות), ולא כתהליך חשיבה (Rubenstein et al, 2018). בקרב מחנכים בגיל הרך התמונה זהה (Leggett, 2017). החשיבה היצירתית נתפסת כקשורה ליצירת אומנות ולמשחק חופשי של הילדים בלא מעורבות או תיווך של מבוגר. לג'ט (Leggett, 2017) צפתה במחנכים בגיל הרך במהלך חצי שנה, ראינה אותם ואף האזינה להקלטות של אינטראקציות בינם לביני הילדים. ממצאי מחקרה הורו בכרוך שהמחנכים בגיל הרך אינם תופסים את קידום החשיבה היצירתית כחלק מהאינטראקציה שלהם עם הילדים, ומכאן, על פי תפיסתם, התפקיד שלהם לקדם חשיבה זו הוא מינורי. גם כאשר פרחי הוראה או אנשי חינוך בפועל מכירים בחשיבות הפיתוח של חשיבה יצירתית, אין בידם הכלים לקדמה (Kampylis et al., 2009). כן חסרים להם ניסיון, ידע והכשרה מתאימה (Ata-Akturk & Sevimli-Celik, 2020). תמונה זו התקבלה גם במחקרים שנערכו לאחרונה בישראל והורו על היעדר הכשרה לקידום חשיבה יצירתית (הוד-שמר וצימרמן, 2022; קסירר ושניצר מאירוביץ, 2022).

אחת הדרכים השכיחות לבדיקת חשיבה יצירתית היא בחינת החשיבה המסתעפת (Runco & Acar, 2012). גילפורד (Guilford, 1967) מגדיר חשיבה מסתעפת (divergent thinking) כתהליך חשיבה הכולל חיפוש "ויציאה" לכיווני מחשבה רבים, תהליך שאינו נע לעבר מסקנה או תשובה אחת. בחשיבה יצירתית יצירת המידע החדש איננה מתוך ריק אלא מתבססת על מידע שקיים אצל המפיק. הדגש, לפי גילפורד (Guilford, 1967) הוא על מגוון כיווני החשיבה וכמות ההפקה של רעיונות חדשים. ככל שהאדם מפיק יותר רעיונות וביתר גיוון, ישנה הסתברות גבוהה יותר להפקה של רעיון נדיר ומקורי - רעיון יצירתי. אחד המבחנים השכיחים ביותר בהקשר זה הינו מבחן השימושים החלופיים (Guilford et al., 1960). במבחן זה המשתתף מתבקש להפיק כמה שיותר שימושים חלופיים לחפץ מסוים (כמו: עיתון, קוביה) במשך זמן נתון. גילפורד (Guilford, 1967) הצביע על ארבע יכולות שהן רלוונטיות באופן מיוחד לחשיבה מסתעפת ואפשרות לאדם לשנות את כיווני המחשבה שלו, והן: שטף, גמישות, שכלול ומקוריות. יכולות אלו

אומצו על ידי טורנס (Torrance, 1971) לצורך קידוד מבחנים שונים של חשיבה יצירתית. כיום, קיימות הגדרות ליכולות אלה המקובלות על החוקרים בתחום היצירתיות. השטף (Fluency) מבטא את מספר התגובות (התשובות או הרעיונות) לגירוי (למשל, חפץ) מסוים בזמן נתון. במבחנים סטנדרטיים שואלים את הילדים, בין השאר: מה אפשר לעשות עם עיתון/ חישוק/ שמיכה ועוד. מספר התשובות של הילדים בזמן נתון הוא המדר לשטף המחשבתי שלהם. המקוריות (Originality) מבטאת את היכולת להפיק רעיונות ששכיחותם הסטטיסטית נמוכה. כלומר הפקת רעיונות נדירים, שאינם חוזרים על עצמם באוכלוסייה הנבדקת. הגמישות (Flexibility) מציינת את מספר "הקטגוריות" השונות בתגובת המשתתף. בדומה למושג "גמישות קוגניטיבית" הכוונה כאן היא ליכולת לשנות את מערך החשיבה ולעבור מנושא לנושא או מקטגוריה לקטגוריה. מספר הקטגוריות השונות שהמשתתף מפיק הוא המדר לגמישות בחשיבה היצירתית. שכלול (Elaboration) כולל את היכולת להוסיף פריטים לרעיון או לתשובה כדי להרחיבה. ככל שרמת הפירוט גבוהה, כך התשובה נחשבת משוכללת יותר. למשל, לשאלת השימושים החלופיים בחפץ 'כפתור', המענה: "אדנית מעוצבת לצמחים קטנים" יחשב כרעיון משוכלל בשל הפירוט שניתן לרעיון האדנית (הוד, שמר וצימרמן, 2022). חשיבה מסתעפת ניתנת לקידום ולפיתוח באמצעות אימון פשוט שאינו כולל תוכנית מורכבת בעלת תוכן ספציפי. להלן כמה דוגמאות למחקרים המדגימים את הפשטות שבקידום חשיבה מסתעפת אצל ילדים, ואף בקרב פעוטות. במחקר של קליאט ועמיתים (Cliatt et al., 1980) סטודנטים להוראה העבירו לילדי גן בני ארבע-חמש אימון פשוט של חשיבה מסתעפת במשך שמונה שבועות. באימון זה הצוות החינוכי שאל את הילדים שאלות המעוררות אותם לחשוב על אפשרויות רבות ולהעלות רעיונות שונים לסיטואציות שונות ובהקשרים שונים. למשל, בסיטואציה של מפגש בוקר, כאשר ההקשר הוא שיחה על עונת הסתיו, ניתן לשאול ילדים: "מה אפשר לעשות עם עלה?". השאלות היו פתוחות כך שכל התשובות והרעיונות מתקבלים. האימון התבצע בכל מקום בגן: בחצר, במרכזים השונים, ואף בזמן האוכל. נוסף על כך, ממצאי המחקר הראו שהתרגול של שאלות מחשבתיות יכול להתבצע גם בהקשר המוטורי. לדוגמה: ביקשו מילדי הגן לנוע בין שני קווים בכמה שיותר אפשרויות. ממצאי המחקר הראו שאימון פשוט של שמונה שבועות שמנהלים סטודנטים להוראה, מקדם חשיבה מסתעפת של ילדים צעירים.

דוגמה נוספת המדגימה את הפשטות שבקידום חשיבה מסתעפת הינה תוכנית לגנים שנועדה לפתח חשיבה יצירתית באמצעות ספר השרבוטים (Dziedziewicz et al., 2013). 128 ילדי גן בני ארבע עד שש חולקו לשתי קבוצות, קבוצה אחת שימשה כביקורת ובקבוצה השנייה כל ילד קיבל ספר שירבוטים. בכל דף בספר, הילדים נתבקשו ליצור משהו חדש באמצעות אזור. למשל, באחד הדפים מופיעה שפירית ולידה מנוף עם וו תלייה ריק, הילדים נשאלים מה השפירית מרימה עם המנוף? והם מציירים את תשובותיהם. החוקרים בדקו את רמת החשיבה היצירתית של הילדים לפני התוכנית ולאחריה ומצאו שלתוכנית הייתה השפעה חיובית על פיתוח החשיבה היצירתית והדמיון של הילדים, בהשוואה לקבוצת הביקורת שלא השתמשה בספר השרבוטים. אולם חשוב להדגיש שכדי להגיע לרעיונות מקוריים ולתרגל את תהליך החשיבה היצירתית נדרש תיווך של מבוגר שיעודד את הילד להפיק מגוון רעיונות ופתרונות מקוריים שיסיעו לפיתוח גמישות מחשבתית. במחקר אחר המחזק טענה זו נחשפו פעוטות לסוגים שונים של "קירות אינטראקטיביים" הכוללים מסלולי מכשולים של כדורים (Rafael Ellis-Rech et al., 2020) הקירות משולבים באלמנטים שונים כמו טקסטורות, צלילים, אורות, מילים, אותיות, מספרים, שיפועים, מנגנונים גלויים ונסתרים ועוד. הסוגים השונים של "קירות אינטראקטיביים" והווריאציות השונות להעברת הכדורים ממקום אחד למשנהו, מעודדים את הילדים להפיק ולנסות מגוון רעיונות ולמצוא דרכים שונות להעביר את הכדור דרך המכשולים של הקיר ולסיים את המסלול בכל פעם בדרך אחרת. החוקרים מדווחים שהתיווך של הגננת היה משמעותי. בלי התיווך הפעוטות בדרך כלל הרימו את הכדורים או חלקים שונים של הקיר והסתובבו סביבו. אולם כאשר הגננת תיווכה לפעוטות, ניכר שהם מבטאים בפעולתם יותר חשיבה מסתעפת, מנסים אפשרויות רבות ומתנסים בדרכים שונות ומגוונות, ובכך מקדמים את החשיבה היצירתית שלהם.

במחקר עם פעוטות, הויקה ועמיתים (Hoicka et al., 2018) הוכיחו שניתן ללמד בני שנתיים לחשוב בצורה מסועפת. במחקר השתתפו 85 פעוטות בשתי קבוצות ניסוי. בקבוצה אחת, הילדים התבוננו בניסיון שהדגים 25 פעולות שונות על "קופסה לא רגילה" (Unusual Box Test) - קופסת עץ המאובזרת בכלים וחומרים שונים, ואילו בקבוצה השנייה הפעוטות התבוננו בניסיון שהדגים רק חמש פעולות שונות על הקופסה הלא רגילה. מהממצאים עולה שהפעוטות הראו רמה גבוהה של חשיבה מסתעפת, כלומר הפיקו מגוון פעולות וצירופים באמצעות הקופסה, אשר לא הודגמו על ידי הניסיון. עם זאת, בקבוצת הפעוטות שהתבוננו על הניסיון מבצע 25 הדגמות של פעולות, רמת החשיבה המסתעפת הייתה גבוהה יותר בהשוואה לביצוע של הפעוטות שצפו בהדגמה של חמש פעולות בלבד. החוקרים מסבירים שההדגמה

סייעה לפעוטות להבין את הקופסה ואיך אפשר להשתמש בה, ומידע זה שימש אותם להפיק את הפעולות והצירופים החדשים. נוסף על כך, כשהפעוטות ראו שהנסיין עושה פעולות רבות על הקופסה הדבר גרם להם להרגיש "מותר" לשחק עם הקופסה, וזה עודד אותם לחקור אותה ולהמציא פעולות נוספות. לדעת החוקרים, הפעוטות חיקו את הנסיין ברמה המופשטת, כלומר הם חיקו את תהליך החשיבה המסתעפת ולא את הפעולות הספציפיות שעשה הנסיין.

מחקרים אלה ומחקרים דומים (Cheung, 2013; Dittert et al., 2021; Dziejewicz et al., 2013) מלמדים שניתן לקדם חשיבה יצירתית דרך תהליך מכוון של התערבות. אומנם זוהי מסקנה חשובה, אך ההתערבות במחקרים אלה לא הייתה מבוססת דיה על הבנת המורכבות של מנגנוני החשיבה המסתעפת, ובמרבית המקרים הסתפק הגורם המתווך בהדגמה או בתיווך של בקשה לחשוב על אפשרויות נוספות.

במחקר עדכני (Bai et al., 2021a) המקדם את ההבנה של מורכבות תהליך החשיבה המסתעפת נותחו התגובות של 107 ילדים בני ארבע במבחן השימושים החלופיים. החוקרים ביקשו מהילדים להפיק שימושים חלופיים לתמונות של חפצים שונים (לדוגמא: מגבת, סל ועוד), וכן התבקשו לספר כיצד הגיעו לרעיון. הרעיונות שהפיקו הילדים נמדדו באמצעות יכולות השטף והמקוריות, והתיאורים של הילדים כיצד הגיעו לרעיון נותחו באמצעות ניתוח תוכן. באי ועמיתיו (Bai et al., 2021a) זיהו שני סוגי תהליכים הפועלים בו בזמן כאשר ילדים מתארים במבחן השימושים החלופיים כיצד הם מגיעים לרעיונות חדשים: האחד הוא תהליך אסוציאטיבי, והאחר הוא תהליך מבוקר.

התהליך האסוציאטיבי קשור לשליפה מהזיכרון הסמנטי (זיכרון של עובדות וידע כללי) והזיכרון האפיזודי (זיכרונות אישיים). הילדים מעוררים זיכרונות בנוגע לחפץ המוצג, ודבר זה מאפשר להם להסתעף עם המחשבות ולהפיק רעיונות רבים על פי ההנחיה לחשוב על עוד שימושים חלופיים. הבקשה לחשוב על עוד רעיונות או שימושים מעוררת את שליפת הזיכרונות, ומכאן, את השטף הרעיוני. בתהליך המבוקר מופעלות אופרציות מנטליות שונות, ביניהן: לרמין את החפץ (אגב שימוש בידע ובניסיון קודם) ולהפעיל עליו מניפולציות שונות: לפרקו לחלקים, להפוך אותו, להגדילו, להקטין, ליצור תפאורה סביב החפץ, להתמקד בתכונותיו ואף להתבונן בסביבה ולשאוב רעיונות. החוקרים מצאו קשר חיובי מובהק בין הדיווח על שליפה מהזיכרון והשימוש באופרציות מנטליות, לבין ציוניהם של הילדים במדד המקוריות (Bai et al., 2021b).

נבחן כעת את הידוע היום על המנגנונים המוחיים הפועלים בעת חשיבה מסתעפת בזיקה לפדגוגיה שהוצעה.

תרומת הנוייר-קוגניציה להבנת תהליך החשיבה המסתעפת

בעשור האחרון, תחום החשיבה היצירתית זוכה לתשומת לב רבה מצד חוקרי מוח (Fink et al., 2007; Shi et al., 2018). חוקרים בתחום הנוייר-קוגניציה (Cognitive neuroscience) משתמשים בשיטות מחקר לא פולשניות (לדוגמא: fMRI, EEG²) כדי לחקור את פעילות המוח בזמן ביצוע מטלות התנהגותיות. מחקרי מוח על חשיבה יצירתית משתמשים, בין היתר, במבחן השימושים החלופיים, שבו מתבקשים המשתתפים לפרט כמה שיותר שימושים חלופיים לחפץ מסוים. הממצאים הנוייר-קוגניטיביים מעידים שבמהלך חשיבה יצירתית יש תנועה (shifting) בין תהליכים מוחיים אסוציאטיביים לתהליכים מוחיים מבוקרים, כפי שהוזכר קודם בהקשר הפדגוגי (Bai et al., 2021a; Chrysikou, 2019; Heinonen et al., 2016; Marron et al., 2018). (ראה תרשים 1).

תהליכים אסוציאטיביים (Associative processes) מאופיינים בכיוון עיבוד של "מלמטה למעלה" (bottom up), מחלקו האחורי של המוח לחלקו הקדמי (ראה תרשים 1). אלו תהליכים בלתי מודעים המתרחשים באופן מהיר, אוטומטי ובלי הרבה מאמץ. במבחן "השימושים החלופיים" החוקר מציג את החפץ למשתתף ומורה לו להפיק כמה שיותר שימושים חלופיים. במקרה זה, תהליכים אסוציאטיביים מעלים רעיונות מתוך זיכרונות (סמנטיים ואפיזודיים) הקשורים באופן חזק לחפץ. מלבד תהליך אחזור הזיכרונות שמקורו פנימי, ישנו תהליך תפיסתי שמקורו חיצוני כאשר כלל הגירויים (למשל, חפצים, קולות וצבעים בסביבה) נקלטים ועוברים עיבוד חושי בלא בקרה (Treisman & Kanwisher, 1988). לאחר מכן, באזורי האסוציאציה במוח נוצר החיבור בין הגירויים הפנימיים לחיצוניים ונולדים רעיונות חדשים ומקוריים. תהליכים מבוססי זיכרון אלו כנראה מנבאים את יכולת השטף בתהליך החשיבה היצירתית (Bai et al., 2021a), כך שניתן להניח שככל שהמידע שיש ברשותנו עשיר יותר ובעל קישורים רבים, היכולת להפיק שטף רעיונות יהיה רב יותר.

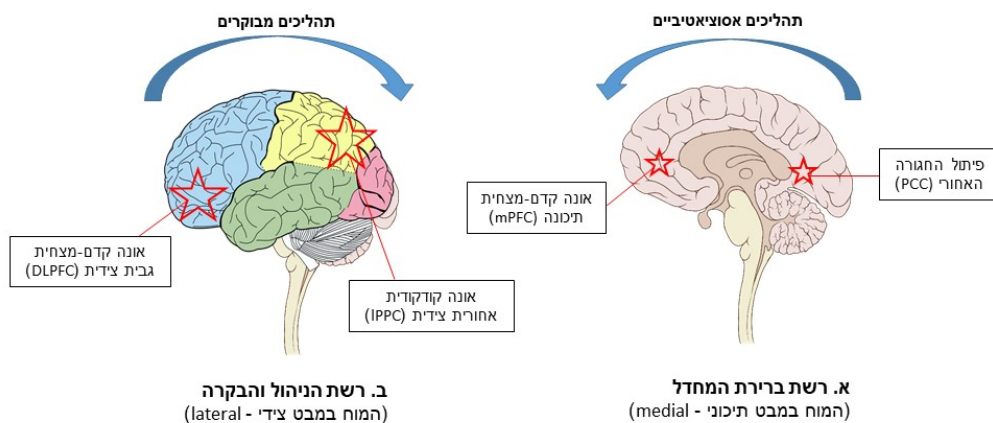
fMRI - functional Magnetic Resonance Imaging 1

EEG - Electroencephalogram 2

תהליכים מבוקרים קשורים לתהליכים ניהוליים (Executive processes), הם איטיים ודורשים מאמץ, אנרגיה והפעלה של אופרציות מנטליות, כיוונם "מלמעלה למטה" (top down). בתהליכים אלו מעורבת האונה הקדם-מצחית ובעיקר החלק הקדמי שלה (rPFC = rostral prefrontal) (ראה תרשים ב1). תפקידה לסייע ביצירת אנלוגיות הנשענות על ידע קודם ולהפעיל את החשיבה הפרוספקטיבית ואת זיכרון העבודה (Chrysikou, 2019). המונח זיכרון עבודה (Working memory) מבטא פעילות דינמית, הכוללת עיבוד ואחסון זמני של מידע בתוך אינטראקציה בין מידע ישן לחדש, וכן יש לו תפקיד נרחב בעת פעולות קוגניטיביות של חשיבה, למידה והבנה. בניגוד לתהליכים האסוציאטיביים שמזוהים עם שטף של העלאת רעיונות, בתהליכים המבוקרים ישנו עיכוב תגובות אוטומטיות (אינהיביציה), בדיקה של רעיונות והערכה המובילים לבחירה של רעיונות מקוריים. ואכן, נמצא שלתהליכים המבוקרים ניכור גבוה יותר למקוריות של הרעיונות בתהליך החשיבה היצירתית (Bai et al., 2021a).

שני תהליכים אלו, האסוציאטיבי והמבוקר, כוללים שיתוף פעולה בין שלוש רשתות עצביות מרכזיות (Chrysikou, 2016; Marron et al., 2018; Sun et al., 2019): רשת ברירת המחדל (default mode network), רשת הניהול והבקרה (central executive network) ורשת הבולטות (salience network). כיום רווחת הגישה שמרבית התפקודים הקוגניטיביים נובעים מפעילות משותפת של מספר אזורים במוח, קרי, פעילות של רשת עצבית, ואילו בעבר רווחה התפיסה שלכל אזור יש תפקיד מוגדר משלו (Yuste, 2015). שתי הגישות (תאוריות) להסבר הבסיס המוחי של תפקודים קוגניטיביים הן גישת המודולריות (The theory of modularity) וגישת העיבוד המבוזר (distributed processing). גישת המודולריות מתייחסת להתמחות תפקודית של אזורים ספציפיים במוח, ואילו גישת העיבוד המבוזר מתייחסת לרשתות עצביות. אחת הדוגמאות הידועות ביותר של גישת המודולריות היא הגילוי של אזור באונה הרקתית התחתונה (inferior temporal gyrus) המתמחה בעיבוד פרצופים (Kanwisher et al., 1997). אחד מאבות גישת העיבוד המבוזר הוא החוקר האנתוני מקינטוש (Anthony McIntosh), אשר הראה במחקריו שהתמחות תפקודית (כלומר, מודולריות) מתרחשת בעיקר באזורים במוח המעבדים מידע המגיע מהחושים (למשל, אזורי ראייה באונה העורפית) ובאזורים שמעבירים פקודות להפעלת השרירים (אזורים מוטוריים באונה המצחית) (McIntosh, 2000). מלבד התמחות של אזורים אלה, קשה לשייך תפקוד ספציפי לאזור מסוים, ופעילות משותפת של מספר אזורים במוח קשורה בתפקודים קוגניטיביים וחברתיים.

איור 1. איור סכמטי של אזורים המעורבים בתהליך החשיבה היצירתית ושיוכם לרשתות עצביות (מבוסס על Chrysikou, 2019).



הערות: א. רשת ברירת המחדל שפעילה בתהליך האסוציאטיבי. במבט הפנימי של המוח מוצגים אזורים תיכוניים (medial): פיתול החגורה האחורי (posterior cingulate cortex, PCC) ואונה קדם-מצחית תיכונית (medial prefrontal cortex, mPFC). ב. רשת הניהול והבקרה שפעילה בתהליך המבוקר. במבט הצידי של המוח מוצגים אזורים צידיים (lateral): אונה קדם-מצחית גבית-צידיית (dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC) ואונה קודקודית אחורית-צידיית (lateral posterior parietal cortex, IPPC).

רשת ברירת המחדל

רשת עצבית זו כוללת אזורי מוח שונים הפועלים יחד בקישוריות גבוהה במצבים שונים: במצבי מנוחה, בתהליך מנטלי פנימי, בחשיבה עתידנית, בחלימה בהקיץ ובנדירות מחשבות (Jo, 2021) וכן בעת הפקה של אסוציאציות חופשיות. בהתייחס למטלת השימושים החלופיים (Chrysikou, 2019), ישנם ברשת זו אזורים פנימיים (תיכונים - medial) בקליפת המוח (ראה תרשים 1א) הפעילים במיוחד, ביניהם: החלק האחורי של פיתול החגורה (PCC – posterior cingulate cortex), זהו אזור עליון בקליפת המוח הלימבית המהווה צומת (node) ברשת ברירת המחדל. תפקידו קשור למחשבות המכוונות פנימה, לחשיבה ספונטנית, לנדירות מחשבות, לחיפוש בזיכרון ולאחזור (retrieval) של זיכרונות אפיוניים. כל אלו נחוצים להעלאת רעיונות יצירתיים שכן הרעיונות נסמכים על ידע קודם האגור בזיכרון (Maron et al., 2018). אזור שותף נוסף ברשת זו הוא קליפת המוח הקדם-מצחית התיכונה בהמיספרה השמאלית (mPFC – medial prefrontal cortex). זהו אזור המעורב בהפקת אסוציאציות באמצעות אחזור מתוך זיכרון סמנטי, אוטוביוגרפי ואפיוני. עוד ברשת זו שותפה האונה המצחית העליונה בהמיספרה השמאלית (SFG – superior frontal gyrus) הקשורה למחשבות ההפקה של האסוציאציות מהזיכרון.

נוסף על כך, בתהליך אסוציאטיבי זה ישנה גישה למידע הנמצא באזורים התת-קורטיקלים (subcortical brain regions) האחוריים (posterior) והתיכונים (medial). אזורים אלו הם קבוצות של מבנים עצביים הנמצאים בעומק המוח ומעורבים בפעילויות מורכבות של זיכרון, רגש, הנאה וייצור הורמונים. יש לציין שבתהליך זה יש ירידה בפעילות של האזורים הקדמיים של האונה הקדם-מצחית (לפחות בשלב ראשוני), ירידה החשובה להפקה ספונטנית של רעיונות. אבל, בחשיבה יצירתית נדרשים גם הכוונה וניטור של אותם רעיונות ספונטניים ופיתוחם באמצעות תהליך מבוקר הנשען על הפעילות ברשת עצבית אחרת – רשת הניהול והבקרה (Chrysikou, 2019; Jo, 2021). מכאן שבתהליך הפקת רעיונות מקוריים מתרחשת תנועה בין הפעילות של רשת ברירת המחדל והפעילות של רשת הניהול והבקרה. כלומר, עלייה בפעילות רשת ברירת המחדל מלווה בירידה בפעילות של רשת הניהול והבקרה, אשר כוללת את האונות הקדם מצחיות.

רשת הניהול והבקרה

רשת הניהול והבקרה אחראית על תהליכים נזיר-קוגניטיביים המקושרים לפעילות של האונה המצחית (ראה תרשים 1ב אזור כחול), תהליכים אשר מאפשרים לאדם להקצות קשב, לבחור תגובה ולבצע משימות לשימור פעיל של מידע בזיכרון העבודה, לפתור בעיות ולקבל החלטות. הרשת "נדלקת" בעת פעילות אתגרית קוגניטיבית או רגשית ומאפיינת התנהגות מוכוונת מטרה.

האזור הרוסטרלי באונה הקדם-מצחית (rPFC – rostral prefrontal cortex) הוא האזור הקדמי ביותר של אונה זו. לאזור זה תפקיד חשוב במגוון תהליכים קוגניטיביים, תפקודים ניהוליים (כמו: זיכרון עבודה) וחשיבה פרוספקטיבית. כשיש פגיעה באזור זה של האזור הרוסטרלי באונה המצחית השמאלית, הדבר משבש את צירופי הרעיונות, אבל לא את ההפקה שלהם. מכאן שניתן ללמוד על תפקידו ותורמתו למקוריות, שכן הוא מסייע בהערכה של מקוריות ויעילות הרעיונות שהופקו (Chrysikou, 2019; Maron et al., 2018).

פעילותה של רשת הניהול והבקרה כוללת אזורים חיצוניים (צדיים - lateral) בקליפת המוח: באונה הקדם-מצחית גבית-צידית (DLPFC – dorsolateral PFC) ובאונה הקודקודית אחורית-צידית (lateral posterior parietal cortex). תפקיד האזור הצדי של האונה הקודקודית הוא אינטגרציה בין מידע חושי למידע אינטרוספטיבי (interoceptive), אשר קשור לתהליכים פנימיים המתרחשים בגוף. האזור מסייע גם להחזקת הקשב לאורך זמן (קשב מתמשך - sustained attention), לעריכת מניפולציות בזיכרון העבודה ולשקילת תגובות התנהגותיות אפשריות. נוסף על כך, אזור זה פעיל בזמן תרגול של חשיבה מסתעפת (Sun et al., 2016). שותף נוסף ברשת הניהול והבקרה הוא האזור התחתון של האונה המצחית בהמיספרה השמאלית (IFG – the left Inferior frontal gyrus) האחראי על הבנת שפה והפקתה. הפעילות של רשת הניהול והבקרה ושל רשת ברירת המחדל מווסתת באמצעות רשת הבולטות.

רשת הבולטות

רשת עצבית זו כוללת אזורי מוח הפועלים כתגובה לאירועים בולטים ובעלי משמעות עבור האדם. תפקידה לתווך בין רשת הניהול והבקרה ורשת ברירת המחדל. במטלה של חשיבה מסתעפת רשת הבולטות מגטרת את זרם התודעה ומעבירה את המידע בהתאם למשמעות שיש לו עבור המשתתף (Chrysikou, 2019). הרשת כוללת אזור המעורב בתהליכי קשב, האזור הגבי של פיתול החגורה הקדמי (dACC³ – dorsal Anterior cingulate cortex). הפעילות באזור זה מתגברת בזמן ביצוע מטלת השימושים החלופיים, כאשר אין למשתתף הגבלת זמן (Heinonen et al., 2016), כלומר הוא חופשי להפיק רעיונות כרצונו, וכן בעת אימון של חשיבה מסתעפת (Sun et al., 2016).

עקרונות נזיר-פדגוגיים לקידום חשיבה מסתעפת

תחום הנזיר-פדגוגיה הינו גשר בין מדעי המוח לחינוך. מטרתו להבין את המנגנונים המוחיים הפועלים בתהליך הלמידה ולהשתמש בהם ככלי עזר לשיפור וטיוב תהליכי הוראה ולמידה (לוצאטו, 2021). עקרונות נזיר-פדגוגיים לקידום חשיבה מסתעפת בגיל הרך נובעים מהבנת הרשתות העצביות המעורבות בחשיבה יצירתית והדינמיקה ביניהן. בשני העקרונות שיוצגו, הנחת הבסיס היא שהמבוגר לוקח חלק פעיל בתהליך החשיבה המסתעפת. אומנם ילדים יכולים לחשוב בצורה מסועפת ולהגיע לרמה מסוימת בלי התערבות של המבוגר, אולם, כדי לממש את הפוטנציאל שלהם ולהתקדם, ילדים זקוקים לתיווך של מבוגר. ויגוצקי (2003) מכנה את הפער הזה בין הרמה הממשית לרמה הפוטנציאלית: 'אזור ההתפתחות הקרובה' (Zone of Proximal Development). באמצעות המבוגר ותיוכו הילדים משכללים את מבני החשיבה שלהם ומארגנים אותם מחדש, כך שהתיווך מאפשר לילד להפיק תועלת רבה יותר מהסביבה (Feuerstein et al., 1985). הדבר נכון גם בקידום חשיבה יצירתית (למשל (Dziedziewicz et al., 2013; Rafael Ellis-Rech et al., 2020)). מתוך הבנת המנגנונים המוחיים המעורבים בחשיבה יצירתית נניח שני עקרונות נזיר-פדגוגיים מרכזיים: האחד הוא שחרור האונה המצחית, ובכך לאפשר זמן להמשכיות תהליך החשיבה, והשני הוא הפעלה מכוונת של האונה המצחית. שני העקרונות המוצעים מבטאים את התנועה (shifting) בין התהליכים המוחיים האסוציאטיביים לבין התהליכים המוחיים המבוקרים, ובכך מסייעים לקדם את החשיבה המסתעפת.

עקרון נזיר-פדגוגי ראשון: שחרור האונה המצחית

כפי שעולה מתוך הבנת המנגנונים המוחיים וההיבטים הקוגניטיביים, התהליך הראשוני של החשיבה המסתעפת הוא מהיר, אוטומטי וקשור לרשת ברירת המחדל האמונה על תהליכים מנטליים פנימיים, לרבות חשיבה ספונטנית, נדידת מחשבות, חיפוש ואיחזור זיכרונות. כאשר מבוגרים נותנים לילד זמן לחשיבה ומשליכים בכך בקשה להיזכר בסיטואציות הקשורות לחפץ⁴ – באיזה הקשר נראה? מה הוא מזכיר? ועוד – השאלות מעוררות אצל הילד זיכרונות סמנטיים הקשורים לידע וזיכרונות אפיזודיים הקשורים למאורעות אישיים שחפץ זה מזכיר לו. זיכרונות אלו יהוו בסיס להפקת רעיונות חדשים, שכן בחשיבה מסתעפת יצירת המידע החדש איננה מתוך ריק, אלא מתבססת על מידע שקיים אצל המפיק. יתרה מזאת, הזמן מאפשר למחשבות החופשיות לנדוד. כאשר המחשבות נודדות יש שחרור מהעומס הקוגניטיבי הכרוך בעיבוד גירויים חיצוניים, דבר המאפשר לדמיין הרחק מ"כבלי" המציאות, אגב אחזור מידע מתוך זיכרון סמנטי ואפיזודי. כל אלו מובילים לשטף אסוציאטיבי של רעיונות, בדומה לרעיונות מקוריים שצצים בעת שמתקלחים או מטיילים (Irving et al., 2022).

מלבד העלאת זיכרונות, שחרור האונה המצחית מוזהה גם עם הפעלה של הרמיון, החשוב להפקת רעיונות יצירתיים. במחקר שבו נבדק הקשר בין תפקודים ניהוליים לבין דמיון אצל ילדים בגיל הרך נמצא קשר שלילי בין ביטוי דמיון

3 יש חוקרים המייחסים את ה-ACC דווקא לרשת ברירת המחדל (Heinonen et al., 2016).

4 השימוש במילה חפץ היא בשל ההתייחסות למטלת השימושים החלופיים, שבה מפיקים שימושים חלופיים לחפצים שונים. אולם העקרונות מתאימים גם כאשר רוצים לחשוב על פתרונות שונים לבעיה, רעיונות שונים לשאלה כלשהי ועוד.

לבין יכולת לעכב תגובה לא רצויה. כלומר, ילדים שהיו יותר יצירתיים היו אלה שהתקשו לעכב תגובות (מטלה המזוהה עם פעילות של האונה המצחית) (Veraksa et al., 2022). ניתן לעודד את הדמיון באמצעות שאלות פתוחות מסוג "מה אם?" (what if). לדוגמה: 'מה יקרה אם כל השנה יהיה חורף?' שאלות כאלו שמעודדות ומעוררות את הדמיון מאפשרות חשיבה מקורית, משום שהן עוסקות בתרחישים לא מציאותיים. כדי לענות עליהן נדרש הן ידע קיים הן שימוש בדמיון. יתרה מזאת, שאלות מהסוג זה מזמנות הסתכלות אחרת על המציאות, הסתכלות מזוויות שונות והשתחררות ממבט שכלתני ותבנית (גלסנר, 2018).

דוגמה לכך היא שלבי העבודה בפרויקט של "יזמות חברתית המעצימה את התפתחותם של ילדי הגן" (SEEDS, Social Entrepreneurship Empowering Development in preSchool), אשר התקיים בארבע מדינות: קפריסין, סיציליה גרמניה ודנמרק במשך שנתיים (Dittert et al., 2021). בפרויקט זה הילדים חוקרים ערכת חפצים וסיפור מסגרת הקשור לשימוש בחפצים בעלי פונקציות דיגיטליות שונות (הקלטת קול, תנועה באמצעות פקודות ועוד). על פי הקווים המנחים, אחת המשימות בעבודה עם הערכה היא לעודד את הילדים להפיק כמה שיותר רעיונות באמצעות שאלות המאריכות את תהליך החשיבה, ואינן מסתפקות בתשובה אחת. למשל הגננת שואלת את הילדים: "מה נרצה שהטכנולוגיה הזו תעשה?" "מה עוד נרצה שהטכנולוגיה הזו תעשה?" שאלות אלו מזמנות את הילדים להפיק רעיונות חדשים ולא להסתפק ברעיון הראשון שעולה במוחם. כפי שנאמר קודם לכן, הרעיונות המופקים אינם נוצרים בריק, אלא מבוססים על ידע קיים, ולכן גם בפרויקט זה הגננת מוודאת מהו הידע שיש לילדים על הטכנולוגיה הספציפית שבערכה. כך שלפני שהילדים מסתעפים עם המחשבות הם חוקרים את הטכנולוגיה ומבססים את הידע שלהם.

נוסף על כך, הזמן מאפשר הפקה של רעיונות רבים, ובהתאם לאפקט סדר הרעיונות (Serial order effect) ככל שמפיקים רעיונות רבים יותר, מתרחקים מהשדה הסמנטי ומצליחים להפיק רעיונות יצירתיים יותר (Bai et al., 2020; Bai et al., 2021b; Beaty & Silvia, 2012; Sun et al., 2020). בשלב הראשון אנו מפיקים אסוציאציות חופשיות, האסוציאציות הראשוניות נובעות מתוך שדה סמנטי משותף הנגיש לנו. במילים אחרות, הרעיונות הראשוניים שיופקו יהיו בעלי תחום משותף או מאפיינים משותפים, ולכן לא ייחשבו מקוריים. אולם ככל שמפיקים יותר רעיונות (על בסיס מוטיבציה, או מתוך הנחיה), כך מתרחקים מהשדה הסמנטי אל עבר אסוציאציות רחוקות יותר, שהסיכוי שלהן להיות מקוריות הוא גבוה יותר גם בקרב מבוגרים (Beaty & Silvia, 2012; Sun et al., 2020) וגם בקרב ילדים (Bai et al., 2021b). למשל, נמצא שבסדר הרעיונות לשימושים החלופיים בחפץ מסוים שהילדים הזכירו, המקום העשירי ברצף הרעיונות (לאחר שהופקו כ-97% מהרעיונות) הוא בדרך כלל המקורי יותר בהשוואה לרעיונות שהוזכרו בתחילת הצגת הרעיונות (Bai et al., 2021b). כך שמהבחינה הפדגוגית כדאי לעודד השקעת זמן בתהליך החשיבה. כלומר, לא להסתפק ברעיון הראשון שהילד מפיק, אלא לעודד אותו לחשוב על עוד רעיונות, להשתחרר, לנרד עם המחשבות ולדמיין.

עקרון נזיר-פדגוגי שני: הפעלת האונה המצחית

לאחר התהליך האסוציאטיבי הראשוני נדרש זמן כדי לקיים את התהליך המבוקר והאיטי יותר המתרחש ברשת הניהול והבקרה. רשת הקשורה לפעילות של האונה המצחית וכוללת תהליכים של הקצאות קשב, בחירת תגובה לביצוע משימה ושמירה פעילה בזיכרון העבודה של רעיונות שהופקו בתהליך האסוציאטיבי. באופן מטפורי, ניתן להקביל את זיכרון העבודה ל"משטח עבודה" זמני המשמש הן להחזקה של דימויים באופן זמני והן ל"מקום" שבו ניתן לערוך בהם עיבוד מסויים. במטלת השימושים החלופיים, כדי להפיק שימושים חלופיים לחפץ מסוים, יש לדמיין את החפץ (אגב שימוש בידע ובניסיון קודם), "להחזיקו" בזיכרון העבודה ואז להפעיל עליו מניפולציות למשל: לפרקו לחלקים, להגדילו ועוד. מתן זמן להפקת רעיונות יאפשר לתהליך האיטי והמבוקר להגיע לרעיונות יצירתיים יותר. נוסף על כך, הוא יגביר את הפעילות באזור הגבי של פיתול החגורה הקדמי (dACC dorsal Anterior cingulate cortex) המעורב בתהליכי הקשב וקשור לרשת הבולטות (Heinonen et al., 2016).

במטרה לקדם את התהליך המבוקר נשאל שאלות המעודדות ומכוונות הפעלה של האונה המצחית, לרבות זיכרון עבודה. אחת הטכניקות הידועות בהקשר זה היא טכניקת ה-SCAMPER מילה זו מייצגת ראשי תיבות של פעולות מנטליות המסייעות להפיק רעיונות רבים באמצעות שאלות מכוונות (Gündoğan, 2019): החלף, שלב, אמץ, שנה,

חשוב על שימושים חלופיים, מחק וסדר מחדש. Substitute, Combine, Adapt, Modify/magnify/minify, Put. (to other uses,) Eliminate, Reverse/rearrange שונים, לבקש מהם לשנות את החפץ באמצעות הדמיון, לחשוב על התכונות של החפץ, להסיר ממנו חלקים, להוסיף לו תכונות, להגדילו להקטינו ועוד. השאלות הללו מתאימות לתחומים ולנושאים שונים בעשייה החינוכית במרכזי הגן ואף בחצר. למשל במודל הגן העתידי (תורג'מן ואחרים, 2019) אחד העוגנים הפדגוגיים הוא התייחסות לילדים כיצרניים ויוזמים, לצורך כך מוקמים מרחבי יצרנות הכוללים חומרים שונים (חוטים, עצים, קרטונים ועוד). הילדים שותפים בכניית המרחב, הם מעלים רעיונות כיצד היו רוצים שהמרחב יראה, מה היו רוצים לעשות בו ועוד. שכלול הרעיונות והגברת השטף שלהם יכול להתבצע באמצעות שאלות המעודדות שימוש בדמיון והפעלה מכוונת של זיכרון העבודה (דמיינו את קופסת הקרטון בלי מכסה, הקטינו את הקופסה בדמיונכם, הגדילו את המכסה של הקופסה ועוד).

לסיכום, המחקרים הפדגוגיים והמחקרים הנוירו-קוגניטיביים מחזקים את התפיסה שהיכולת לחשוב באופן יצירתי אינה שייכת רק ליחיד סגולה. ניתן לקדם ולטפח חשיבה יצירתית די בקלות ובכל גיל (שחם ושוורצקי, 2016; Aminolroaya et al., 2016; Zahra et al., 2013). העלאת המודעות לכך שכל אחד יכול להיות יצירתי, בשילוב הבנה של המנגנונים המוחיים והפדגוגיה הנגזרת ממנה, יכולה לקדם באופן משמעותי את החשיבה היצירתית בגיל הרך. השילוב של שני העקרונות הנוירו-פדגוגיים, מחד גיסא האונה המצחית כדי לאפשר למחשבות לנרוד ולשאול שאלות הדרושות מהילד לחשוב על עוד שחרור רעיונות ושימושים נוספים. ומאידך גיסא, הפעלת האונה המצחית באמצעות שאלות המכוונות את הילד לדרכים שבהן יוכל לערוך מניפולציות בדמיון. כל אלו יכולים לקדם רעיונות מקוריים ולהיטיב את תהליך החשיבה היצירתית.

מאמר זה יכול להוות כר פורה למחקרים יישומיים שיבחנו את העקרונות הנוירו-פדגוגיים בקרב קבוצות גילאים שונות של ילדים בגיל הרך. וכן פותחים עוד כיווני מחקר לתהליך המורכב של החשיבה היצירתית.

מקורות

הוד-שמר, א' (2022). מהפכה במשבצת. חשיבה יצירתית בשנות הינקות והילדות. סגול הוצאה לאור.
הוד שמר א' וצימרמן ח' (2022). "לחפש דרך חדשה ולא לפעול על אוטומט" - תפיסתם של סטודנטים להוראה בגיל הרך את החשיבה היצירתית והשלכותיה בשדה החינוך. דפים, 78, 57-82.
גלסנר, א' (2018). הזרת המוכר: גישה ללמידה מרחיבת משמעות. לקסי-קיי, 9, 8-9.
ויגוצקי, ל' (2003). מחשבה ותרבות - אסופה. מכון ברנקו וייס לטיפוח החשיבה.
לוצאטו, א' (2021). נוירו-פדגוגיה. לקסיקיי, 15, 3-6.
שחם, ח' ושוורצקי ח' (2016). פיתוח יצירתיות ומצוינות בגן הילדים. זמן חינוך, 2, 77-96.
קסירר, ע' ושניצר מאירוביץ, ש' (2022). תפיסות, יכולות ופעולות יצירתיות של מורים לחינוך מיוחד ושל מורים בחינוך הרגיל. חוקרים @ החינוך המיוחד, 2, 26-63.
תורגמן, מ', אלדרוק, ד' וג'ארה, מ' (2019). הגן העתידי "להיות אני, להשתייך, ולגלות עולם". עלון דע-גן, 12, 8-19.

Aminolroaya, S., Yarmohammadian, M. H., & Keshtiaray, N. (2016). Methods of nurturing creativity during preschool term: An integrative study. *Educational Research and Reviews*, 11(6), 204-210.

Ata-Akturk, A., & Sevimli-Celik, S. (2020). Creativity in early childhood teacher education: Beliefs and practices. *International Journal of Early Years Education*, 1-20.

Bai, H., Mulder, H., Moerbeek, M., Kroesbergen, E. H., & Leseman, P. P. (2021a). Divergent thinking in four-year-old children: An analysis of thinking processes in performing the Alternative Uses Task. *Thinking Skills and Creativity*, 40, 100814.

Bai, H., Leseman, P. P., Moerbeek, M., Kroesbergen, E. H., & Mulder, H. (2021b). Serial order effect in divergent thinking in five-to six-year-olds: Individual differences as related to executive functions. *Journal of Intelligence*, 9(2), 2-26.



- Beatty, R. E., & Silvia, P. J. (2012). Why do ideas get more creative across time? An executive interpretation of the serial order effect in divergent thinking tasks. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 6(4), 309–319.
- Cheung, R. H. P. (2013). Exploring the use of the pedagogical framework for creative practice in preschool settings: A phenomenological approach. *Thinking Skills and Creativity*, 10, 133-142.
- Chrysiou, E. G. (2019). Creativity in and out of (cognitive) control. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 27, 94-99.
- Cliatt, M. J. P., Shaw, J. M., & Sherwood, J. M. (1980). Effects of training on the divergent-thinking abilities of kindergarten children. *Child Development*, 51(4) 1061-1064.
- Dittert, N., Thestrup, K., & Robinson, S. (2021). The SEEDS pedagogy: Designing a new pedagogy for preschools using a technology-based toolkit. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 27, 100210.
- Dziedziewicz, D., Oledzka, D., & Karwowski, M. (2013). Developing 4-to 6-year-old children's figural creativity using a doodle-book program. *Thinking Skills and Creativity*, 9, 85-95.
- Fink, A., Benedek, M., Grabner, R. H., Staudt, B., & Neubauer, A. C. (2007) Creativity meets neuroscience: Experimental tasks for the neuroscientific study of creative thinking. *Methods*, 42(1), 68-76.
- Feuerstein, R., Hoffman, M. B., Rand, Y., Jensen, M. R., Tzuriel, D., & Hoffmann, D. B. (1985). Learning to learn: Mediated learning experiences and instrumental enrichment. *Special Services in the Schools*, 3(1-2), 49-82.
- Guilford, J.P. (1967). *The nature of human intelligence*. McGraw-Hill
- Guilford, J. P., Christensen, P. R., Merrifield, P. R., & Wilson, R. C. (1960). *Alternative Uses Manual*: Sheridan Supply Co.
- Gündoğan, A. (2019). Scamper: Improving creative imagination of young children. *Creativity studies*, 12(2), 315-326.
- Heinonen, J., Numminen, J., Hlushchuk, Y., Antell, H., Taatila, V., & Suomala, J. (2016). Default mode and executive networks areas: Association with the serial order in divergent thinking. *PLoS one*, 11(9), e0162234.
- Hoicka, E. P., S., Knight, J., & Norwood, M. (2018). Two-year-olds can socially learn to think divergently. *British Journal of Developmental Psychology*, 36(1), 22-36.
- Irving, Z. C., McGrath, C., Flynn, L., Glasser, A., & Mills, C. (2022). The shower effect: Mind wandering facilitates creative incubation during moderately engaging activities. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*. <https://doi.org/10.1037/aca0000516>
- Jo, S. (2021). The Neural Foundations of Creativity in the Default Mode Network. *Technium Social Sciences Journal*, 24, 428-433.
- Kampylis, P., Berki, E., & Saariluoma, P. (2009). In-service and prospective teachers' conceptions of creativity. *Thinking skills and creativity*, 4(1), 15-29.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, 17(11), 4302-4311.



- Leggett, N. (2017). Early childhood creativity: Challenging educators in their role to intentionally develop creative thinking in children. *Early Childhood Education Journal*, 48, 845-853.
- Marron, T. R., Lerner, Y., Berant, E., Kinreich, S., Shapira-Lichter, I., Hendler, T., & Faust, M. (2018). Chain free association, creativity, and the default mode network. *Neuropsychologia*, 118, 40-58.
- McIntosh, A. R. (2000). Towards a network theory of cognition. *Neural Networks*, 13(8-9), 861-870.
- Rafael Ellis-Rech, D. S., Lee, E. S., Wood, N. J., & Gregg, S. O. (2020). *Interactive STEAM education for children: Ball Wall IQP*. <https://digitalcommons.wpi.edu/iqp-all/5706>
- Rubenstein, L. D., Ridgley, L. M., Callan, G. L., Karami, S., & Ehlinger, J. (2018). How teachers perceive factors that influence creativity development: Applying a Social Cognitive Theory perspective. *Teaching and Teacher Education*, 70, 100-110.
- Runco, M. A., & Acar, S. (2012). Divergent thinking as an indicator of creative potential. *Creativity Research Journal*, 24(1), 66-75.
- Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2012). The standard definition of creativity. *Creativity Research Journal*, 24(1), 92-96.
- Shi, L., Sun, J., Xia, Y., Ren, Z., Chen, Q., Wei, D., ... & Qiu, J. (2018). Large-scale brain network connectivity underlying creativity in resting-state and task fMRI: Cooperation between default network and frontal-parietal network. *Biological Psychology*, 135, 102-111.
- Sun, M., Wang, M., & Wegerif, R. (2020). Effects of divergent thinking training on students' scientific creativity: The impact of individual creative potential and domain knowledge. *Thinking Skills and Creativity*, 37, 100682.
- Torrance, E. P. (1971). Are the Torrance tests of creative thinking biased against or in favor of "disadvantaged" groups? *Gifted child quarterly*, 15(2), 75-80.
- Treisman, A. M., & Kanwisher, N. G. (1998). Perceiving visually presented objects: Recognition, awareness, and modularity. *Current Opinion in Neurobiology*, 8(2), 218-226.
- Yuste R. (2015). From the neuron doctrine to neural networks. *Nature reviews: Neuroscience*, 16(8), 487-497.
- Veraksa, N., Gavrilova, M., & Veraksa, A. (2022). "Complete the Drawing!": The relationship between imagination and executive functions in children. *Education Sciences*, 12(2), 103.
- Zahra, P., Yusoff, F., & Hasim, M. S. (2013). Effectiveness of training creativity on preschool students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 102, 643-647.