

פיתוח יכולות מרחביות דרך בניית התנהגות רובוט בקרב ילדי גן (מאמר קצר)

שרונה ט' לוי
אוניברסיטת חיפה
stlevy@edu.haifa.ac.il

רובא פאהום
אוניברסיטת חיפה
rouba.fahoum@edtech.haifa.ac.il

Developing Spatial Abilities among Kindergarten Children via Construction of a Robot's Behavior (Short Paper)

Rouba Fahoum
University of Haifa
rouba.fahoum@edtech.haifa.ac.il

Sharona T. Levy
University of Haifa
stlevy@edu.haifa.ac.il

Abstract

The study examines developing spatial ability processes associated with five- and six-year-old children, when building the behavior of an autonomous and controlled robot. The examination of spatial abilities in this study focuses on right-left orientation, determination of right and left from different perspectives, some of which require mental rotation and adoption of perspective-taking. The research included two intervention groups: One group worked with an autonomous robot and one with a controlled robot. Each group had 11 children which were randomly divided into the groups. The research layout consisted of two sessions for each group, in which pre- and post-tests were administered, as well as two intervention sessions with a robot for both groups, autonomous and controlled. The findings showed an overall improvement in spatial abilities in the two groups. Specifically, the improvement was in mental rotation tasks, in which the amount of improvement was small relative to the possible range. A quantitative analysis of the learning process of two children provided evidence for a process of problem decomposition and gradual construction of a solution. In particular, coping with differences between the child's planning and the robot's behavior led to processes of this type. In addition, the analysis found that a relatively minor improvement or the lack of significant improvement in spatial abilities could be the result of having performed a mental turn on the wrong axis (for example, a turn on horizontal instead of the vertical axis). The study made it possible to examine the introduction of a robotic learning environment in kindergarten, for the purpose of developing spatial abilities.

Keywords: Spatial ability, autonomous robot, controlled robot, right-left orientation, mental rotation, perspective-taking.

תקציר

המחקר בוחן תהליכי פיתוח יכולת מרחבית של ילדים בגילאי חמש ושש, כאשר הם בונים התנהגות של רובוט אוטונומי (שמקבל החלטות תוך כדי פעולה על סמך מידע מהעולם) ורובוט נשלט (שמבצע פעולות נתונות מראש). בחינת היכולת המרחבית של ילדים במחקר זה מתמקדת באוריינטציה ימין ושמאל מנקודות מבט שונות, שחלקן דורשות סיבוב מנטלי

ואימוץ נקודת מבט שונה משלהם. המחקר כלל שתי קבוצות התערבות, כל אחת מורכבת מ-11 ילדים שנבחרו באופן אקראי: קבוצה העובדת עם רובוט אוטונומי וקבוצה העובדת עם רובוט נשלט. מערך המחקר כלל שני מפגשים לכל הקבוצות שבהן הועברו מבחני הקדם והסיכום ועוד שני מפגשי התערבות עם הרובוט עם יחידת לימוד מתאימה. ממצאי המחקר העידו על שיפור כללי ביכולות המרחביות בשתי הקבוצות, ללא הבדל. באופן ספציפי, השיפור היה במשימות הסיבוב המנטלי, כאשר מידת השיפור הייתה קטנה יחסית לטווח האפשרי. ניתוח איכותני של תהליך הלמידה עבור שני ילדים העיד על תהליך שבו נעשה פירוק של הבעיה לגורמים, ובנייה מדורגת של הפתרון. בנוסף, נמצא בניתוח זה שלפעמים ילדים ביצעו סיבוב מנטלי בציר הלא נכון (למשל סיבוב בציר האופקי במקום האנכי), ויכול להיות שהדבר השפיע על אופן פיתוח היכולת המרחבית. המחקר מאפשר בחינה מעמיקה של שילוב סביבת למידה רובוטית בגן לשם פיתוח יכולת מרחבית.

מילות מפתח: יכולת מרחבית, רובוט אוטונומי, רובוט נשלט, אימוץ נקודת מבט, סיבוב מנטלי, אוריינטציית ימין ושמאל.

מבוא

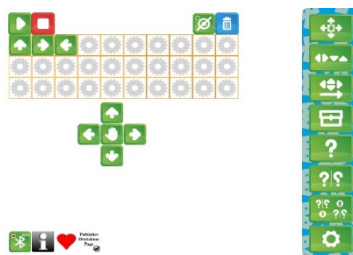
תכנות של רובוטים מתפתח כפעילות מרכזית במערכת החינוך לצורך פיתוח חשיבה מיחשובית (Chalmers, 2018), ופיתוח הבנה של טכנולוגיות מתקדמות (Conde et al., 2021) בכלל הגילאים וגם בגני הילדים (Bers et al., 2014; Cetin & Demircan, 2018; Bakala et al., 2021). למידה אודות רובוטים ומערכות מבוקרות, חשובה בשל נוכחותם הרבה בחייהם של הילדים. כמו-כן, יש קשר הדוק בין הבניית הידע המרחבי לבין פיתוח מיומנויות בתחומי ה-STEM. בדרך כלל, במערכות חינוך לגיל הרך, התכנות מתמקד ברובוט נשלט בצורה של ניווט במרחב. ההבדל בין שני סוגי תכנות הרובוטים -אוטונומי ונשלט- הוא עמוק. ילדים פוגשים מערכות מבוקרות מן הסוג האוטונומי במקומות רבים; דלתות נפתחות באופן אוטומטי, ברוזים אוטומטיים (Mioduser & Levy, 2010). לכן, חשוב לכלול את הרובוט האוטונומי כחלק מהלמידה במערכת החינוך.

רקע תאורטי

הבנת התנהגות אנושית או התנהגות של מכונה (כגון רובוט), תוך שימוש במיומנויות ומושגים בסיסיים במדעי המחשב והנתונים, הינה חלק מהבניית ידע בכלל וחשיבה מיחשובית בפרט (Wing, 2006). אחת ממיומנויות אלו היא פירוק בעיה לגורמים על מנת לסייע בהבנתה (דקומפוזיציה). קיימים שני סוגי התנהגות של רובוטים: (1) רובוטים אוטונומיים המתוכנתים מראש ופועלים באופן עצמאי, בעזרת חיישנים הקולטים מידע מהסביבה לפי תכנית שקושרת מידע זה לפעולות שהרובוט יכול לבצע. (2) רובוטים נשלטים שפועלים על סמך סדרה של פקודות ללא שימוש במידע מן הסביבה ולעתים בעזרת התערבות אנושית (Lozano-Perez, 2012). בניית התנהגות של רובוט דרך כללים ופקודות קשורה בשחרור מנקודת מבט אגוצנטרית שמביאה בחשבון את נקודת המבט של הרובוט. נקודת מבט אגוצנטרית מתייחסת לגוף הצופה כנקודת מרכז ותפיסת האובייקטים נקבעת לפי נקודה זו ולא לפי המיקום היחסי של האובייקט (Newcombe & Frick, 2010; Uttal et al., 2013). במחקר זה התייחסנו לשלוש יכולות מרחביות: (1) סיבוב מנטלי, היכולת לסובב אובייקט בצורה מנטלית ולדמיין אותו מזוויות שונות (Linn & Petersen, 1985). (2) אימוץ נקודת מבט, היכולת לדמיין סצנה מנקודות מבט שונות (Waller & Nadel, 2013). (3) אוריינטציית ימין ושמאל, קביעת כיוון ימין ושמאל לאובייקט בסביבה, הדורשת גם הקצאת כיוון קדימה ואחורה או למעלה ולמטה (Uttal et al., 2013). חשיבות פיתוח יכולות אלו בקרב ילדים באה לידי ביטוי בשחרור הילד מנקודת המבט האגוצנטרית האופיינית שלו.

סביבת הלמידה

סביבת הלמידה פותחה בעזרת שלושה מרכיבים עיקריים: רובוט פיזי מלגו, יישום קינדרבוט (KinderBot, Mioduser, Talis, Levy & Rave, 2007-2019) לתכנות הרובוט שכולל ממשק אייקוני פשוט (איור 1) ומערך משימות בשתי יחידות לימוד, אחת לכל סוג רובוט. כל יחידה בנויה משש פעילויות כך ששלוש הפעילויות הראשונות זהות בשתי היחידות, ושלוש האחרונות שונות. הפעילויות הראשונות מתמקדות בקביעת כיוונים בגוף ובתכנות פשוט של הרובוט. בשאר הפעילויות נעשה שימוש בחיישנים ביחידת הרובוט האוטונומי (לדוגמה איור 2), ונכללו משימות מורכבות של תכנות מראש ביחידת הרובוט הנשלט.



איור 1. צילום מסך לתכנות סדרת פקודות בקינדרבוט, כרובוט נשלט: לך צעד אחד קדימה, צעד אחד ימינה ולאחר מכן צעד אחד שמאלה. שלבי התחכום בתכנות הרובוט מצויים בעמודה מימין. לוח התכנות מצוי למעלה. הפקודות האפשריות מצויות במרכז. לצורך תכנות, בוחרים תבנית תכנות מסוימת (תכנות בחיצים, תכנות מראש, תכנות עם חיישנים ועוד), מסמנים את השלב המתאים מימין, וגוררים את הצלמיות מן המרכז אל לוח התכנות שמעליו.



איור 2. צילום מסך לתכנות פקודות בצורה של כללים בקינדרבוט כרובוט אוטונומי: לוח התכנות כולל טבלה או מטריצה של כללים, שבה מצויים כבר התנאים (במקרה זה, עם או בלי אור שמסומן כנורה) ותאים ריקים אליהם ניתן לגרור את הפעולות האפשריות, למשל אם אתה רואה אור סע ישר, אך אם אתה רואה חושך אז עמוד במקום.

שאלות המחקר

1. למידה מרחבית: אילו יכולות מרחביות, אם בכלל, מפתחים ילדי גן חובה הבונים התנהגות של רובוט מסוג אוטונומי לעומת סוג נשלט?
2. תהליך הלמידה: כיצד ניתן לאפיין את תהליך הלמידה של ילדים צעירים מתוך אינטראקציות חקירה ובנייה עם רובוטים במרחב עבור רובוט אוטונומי ורובוט נשלט?

שיטת המחקר

במחקר השתתפו 33 ילדי גן חובה בגילאי חמש ושש הלומדים במסגרת חינוך ממלכתי מאזור הצפון. מחקר זה נעשה בגישה של שיטות מעורבות. מערך המחקר הוא מעין-ניסויי במבנה של מבחן קדם-התערבות-מבחן מסכם עם השוואה בין הקבוצות שעבדו עם רובוט אוטונומי או נשלט. המחקר כלל קבוצת השוואה ללא התערבות, אך לא נתמקד בנתונים שלהם בגלל דיפוזיה של אפקטים שהתרחשה במהלך איסוף הנתונים במחקר; המחקר התקיים בגן אחד עבור שלוש הקבוצות לאור הקושי לקיים מחקר בתקופת מגפת הקורונה. כל קבוצה כללה 11 ילדים שחולקו באופן אקראי. כלי המחקר כללו: (א) פרוטוקול ראיון מקדים וראיון מסכם כך שכל ראיון בנוי מ-13 שאלות שחלקן שאלות רב-ברירה עם נימוק. השאלות נבחרו ממבחני יכולת מרחבית בעלי תוקף מהספרות המחקרית (Benton et al., 1994; Frick, Möhring & Newcombe, 2014; Ofte & Hugdahl, 2002; Rigal, 1996) לפעילויות בסביבה זו. בפועל, בשל הגבלות הקורונה, צומצמו הפעילויות לארבע כך שרק הפעילות האחרונה הייתה שונה, והן בוצעו במהלך שני מפגשים, אורך כל מפגש היה בטווח של 20-25 דקות. ניתוח כמותי בוצע לפי מבחן ניתוח שונות חד כיווני ומבחני מדידות חוזרות. ניתוח איכותני בוצע כחקר מקרה לפי ניתוח קטגוריאלי, ולשם כך, נבחרו שני ילדים (אחד מכל קבוצת התערבות).

ממצאים

למידה מרחבית

לא נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות בביצועי הילדים במבחן המקדים בשלוש היכולות המרחביות במבחן ניתוח שונות חד כיווני. לאחר מכן, במבחן מדידות חוזרות לבחינת הבדל בין הקבוצות ובין כלל הביצועים במבחן המקדים והמבחן המסכם (ראה טבלה 1) נמצא אפקט עיקרי מובהק לזמן ביצוע המבחן – לפני/אחרי התערבות ($F_{(1,30)} = 6.53, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.18$). ביצועי הילדים במבחן המסכם היו גבוהים יותר ביחס למבחן המקדים.

טבלה 1. ממוצע ציוני היכולת המרחבית (מתוך 13) וסטיית תקן לפני ואחרי ההתערבות בשתי קבוצות ההתערבות (N=33)

זמן ביצוע מבחן	אוטונומי ממוצע (ס"ת)	נשלט ממוצע (ס"ת)
מבחן מקדים	5.64 (1.86)	6.0 (1.48)
מבחן מסכם	6.73 (1.85)	7.27 (2.2)

לבסוף, נמצא אפקט עיקרי מובהק שולית של זמן ביצוע המבחן מבחינת יכולת סיבוב מנטלי במבחן מדידות חוזרות נוסף, שבחן אם הילדים פיתחו יכולת מרחבית מתוך פעילות תכנות הרובוט, ואם יש הבדל בין קבוצות המחקר. כלומר, עבור שתי הקבוצות, ישנו שיפור קטן בסיבוב מנטלי, ואין שיפור באימוץ נקודת מבט ואוריינטציית ימין ושמאל (ראה טבלה 2).

טבלה 2. השוואת יכולות מרחביות של שתי קבוצות מחקר לפני ואחרי ההתערבות עבור שלוש היכולות המרחביות (בכל קבוצה n =11)

יכולת מרחבית	טווח	מבחן מקדים			מבחן מסכם	
		אוטונומי ממוצע (ס"ת)	נשלט ממוצע (ס"ת)	סה"כ ממוצע (ס"ת)	אוטונומי ממוצע (ס"ת)	נשלט ממוצע (ס"ת)
*סיבוב מנטלי	(0-4)	0.91 (0.83)	1.09 (0.7)	1.00 (0.77)	1.46 (0.68)	1.46 (0.93)
אימוץ נקודת מבט	(0-3)	1.18 (0.98)	1.18 (0.87)	1.18 (0.93)	1.27 (0.78)	1.91 (1.3)
אוריינטציית ימין ושמאל	(0-6)	3.55 (1.21)	3.73 (1.19)	3.64 (1.2)	4.00 (1.0)	3.91 (1.22)




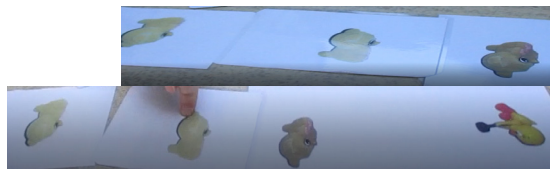
*p=0.058

תהליך הלמידה של הילדים

בוצע ניתוח קטגוריאל עובר תמלול מלא למפגשים עם שני ילדים (אחד מכל קבוצת מחקר). מניתוח קשרים בין קטגוריות נמצא קשר שלילי הדוק בין נקודת מבט אגוצנטרית לבין פירוק בעיה לחלקים. נקודת מבט אגוצנטרית של הילד גרמה לסתירה בין התכנון שלו לבין התנהגות הרובוט. מציאת הקשר בין נקודות המבט של שני אובייקטים והתיאום ביניהן, דורשת שחרור מנקודת מבט אגוצנטרית. חשוב לציין שבחירת חלקים בצורה נכונה הינה גם צעד חשוב שיכול להשפיע על בניית פתרון והכללה. למשל, מספר ילדים עשו הכללת יתר ואמרו שהרובוט אשר נמצא בצד השני מתנהג בצורה הפוכה תמיד. תפיסה מוטעית זו באה לידי ביטוי גם לאחר שחרור מנקודת המבט האגוצנטרית בפעילויות שונות. בטבלה 3 מוצגות דוגמאות שממחישות את הקשרים והתפיסות המוטעות שהוזכרו לעיל:

טבלה 3. דוגמאות להמחשת חלק מהקשרים בין הקטגוריות שנמצאו בביצוע הפעילויות של הילדים בסביבה רובוטית ובראיונות מסכמים

הסבר	דוגמה
פעילויות בסביבה רובוטית	
<p>ילד מקבוצת הרובוט הנשלט מנסה לתכנת רובוט שנמצא מולו בקצה השני של המשטח. הוא מתקשה להבין את אי ההתאמה בין התנהגות הרובוט ובין הפקודות שהוא תכנן וקורא לזה "טעות" ו-"דרך לא נכונה", כי הוא מסתמך על נקודת מבט אגוצנטרית בהתייחס לכיוונים בתכנות הרובוט.</p>	<p>הילד מצליח לתכנת מסלול מורכב ליעד שהחוקרת הציבה בפניו (הדמות העומדת על משולש) כאשר הרובוט לידו ולא מולו</p>  <p>החוקרת: עכשיו תנסה ללמד אותו כשאתה יושב שם בצד השני</p> <p>הילד: משם זה לא יעבוד.</p> <p>החוקרת: למה לפי דעתך משם זה לא יעבוד?</p> <p>הילד: כי משם טעות.</p> <p>החוקרת: תוכל להסביר לי מה הטעות?</p> <p>הילד: אם אנחנו יושבים פה (סימן הענף) והוא שם (בצד השני המסומן בשמש) אז הוא בא בדרך לא נכונה.</p>
<p>בשלב מאוחר יותר בדוגמה הקודמת, הילד מהסס ומתלבט, ומנסה לחפש מונחים מרחביים שיעזרו לו לנמק ולהבין מה סיבת הסתירה בין התכנון שלו לבין התנהגות הרובוט. בסוף הוא מצליח להשתחרר מנקודת מבט אגוצנטרית ומבצע את המשימה.</p>	<p>החוקרת: למה לפי דעתך הוא עושה כך?</p> <p>הילד: ממממ... כי אנחנו בצד הזה והוא בצד השני לכן הוא לא מקשיב לנו.</p>  <p>החוקרת: אוקיי... אז איפה אנחנו צריכים לשבת כדי שהוא יקשיב לנו?</p> <p>הילד: שם!! יללה תקשיב תקשיב!</p> <p>החוקרת: אז אתה רוצה לחזור לשם?</p> <p>הילד: לא, אני רוצה ללמד אותו להקשיב לי גם מפה</p> <p>הילד מותכנת שוב את המסלול והפעם הוא מצליח</p> <p>החוקרת: כל הכבוד! איך גרמת לו להקשיב לך?</p> <p>הילד: כי כי אמרתי לו ללכת קדימה קדימה ולימין.</p> <p>החוקרת: יפה! למה אמרת לו ללכת לימין ולא לשמאל כמו קודם?</p> <p>הילד: כי אנחנו יושבים פה והוא שם (הקצה השני).</p>

ראיונות מסכמים	
<p>שאלה 3.1 בחנה אפשרות אימוץ נקודת מבט בסצנה שבה יש שני אובייקטים אשר מופיעים אחד מול השני. 36% ילדים ענו תשובה נכונה (א'), 46% ילדים ענו תשובה (ב'), 18% מהילדים ענו תשובה (ד'). "זהו טויטי והוא מחזיק בכוס קפה והולך לחברו כדי להגיש לו כוס קפה (החוקרת מצביעה על כוס הקפה). איך לפי דעתך טויטי רואה את חברו? למה אתה חושב ככה?"</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p style="text-align: center;">הלך חלק מתשובות ונימוקי הילדים אודות שאלה זו.</p>	
<p>הילדה מאמצת נקודת מבט נכונה המתבססת על שחרור מנקודת מבט אגוצנטרית, שבה הילדה מדמינת סצנה מנקודת מבט שמתאימה למערכת הצירים של אובייקטים בסצנה.</p>	<p>חיקוי הדמויות על ידי שינוי אופן ישיבה בהתאמה לנקודת המבט של הדמות (תשובה א')</p> 
<p>אימוץ נקודת מבט שגויה הנובע מנקודת מבט אגוצנטרית: אימוץ נקודת מבט המתבססת על נקודת מבט אגוצנטרית שבה הילד מתייחס לסצנה ולאובייקטים רק מנקודת המבט שלו.</p>	<p>בחירת תשובה ב' והסבר בעזרת הנימוקים הבאים: "כי התמונה כמו הדובי", "זה אותו דבר" והנחת הפתקית של התשובה מעל התמונה שנבחרה כדי להוכיח זאת. "כי העיניים שלהם אחד מול השני והם רואים אחד את השני", "כי יש לו עין אחד שמופיעה בתמונה והשנייה לא".</p>
<p>אימוץ נקודת מבט המתבססת על שחרור לא נכון מנקודת מבט אגוצנטרית שמתמקדת בסיבוב מנטלי של אובייקטים בסצנה באופן אנכי במקום אופקי.</p>	<p>אחד הילדים נימק דרך סידור הפתקים של האפשרויות ב' ו-ד' (פתקית ד' שם בצורה הפוכה) ליד התמונה של השאלה כפי שמופיע בתמונה שלהלן ואמר: "הן ממילא דומות", ואז החוקרת שאלה: "אוקיי ואיך טויטי רואה אותו? לפי איזה אחת מהתמונות ששמת?" הילד בחר בפתקית ד' ששם אותה בצורה הפוכה.</p> 

דיון

מחקר זה נערך תחת תנאים קשים בתקופת הקורונה, לכן המשתתפים נבחרו מגן אחד, ומשך ההתערבות צומצם באופן משמעותי. יש סיכוי שזה השפיע על תוצאות המחקר, מאחר ולא היה זמן להתפתחות הבדלים בין הקבוצות, במידה והיו קיימים. ייתכן גם שמספר תהליכים קוגניטיביים תרמו לפיתוח מרכיב מסוים של יכולת מרחבית או יותר, אך לא בהכרח מרכיבים אחרים של אותה יכולת או של יכולת אחרת (Cheng, 2017). לאור מחקר זה, היה כדאי לבחון את השאלות בתנאים משופרים, כגון משך התערבות ארוך יותר (Mioduser, 2009). עם זאת, גם השיפור הקטן באחד ממרכיבי הידע המרחבי שנצפה מעודד המשך חקירת נושא הכללת תכנות של רובוטים בגני הילדים.

מקורות

- Bakala, E., Gerosa, A., Hourcade, J. P., & Tejera, G. (2021). Preschool children, robots, and computational thinking: A systematic review. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 29, 100337.
- Benton, A. L., Sivan, A. B., deS Hamsher, K., & Varney, N. R. (1994). *Contributions to neuropsychological assessment: A clinical manual*. Oxford University Press, USA.
- Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education*, 72, 145-157.
- Çetin, M., & Demircan, H. Ö. (2020). Empowering technology and engineering for STEM education through programming robots: A systematic literature review. *Early Child Development and Care*, 190(9), 1323-1335.
- Chalmers, C. (2018). Robotics and computational thinking in primary school. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 17, 93-100.
- Cheng, Y. L. (2017). The improvement of spatial ability and its relation to spatial training. In *Visual-spatial ability in STEM education* (pp. 143-172). Springer, Cham.
- Conde, M. Á., Rodríguez-Sedano, F. J., Fernández-Llamas, C., Gonçalves, J., Lima, J., & García-Peñalvo, F. J. (2021). Fostering STEAM through challenge-based learning, robotics, and physical devices: A systematic mapping literature review. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 46-65.
- Frick, A., Möhring, W., & Newcombe, N. S. (2014). Picturing perspectives: development of perspective-taking abilities in 4-to 8-year-olds. *Frontiers in psychology*, 5, 386.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56(6), 1479-1498. doi:10.2307/1130467
- Lozano-Perez, T. (2012). *Autonomous robot vehicles*. Springer Science & Business Media.
- Mioduser, D., Talis, V., Levy, S.T. & Rave, G. (2007-2019). *Kinderbot*. Knowledge Technology Lab, Tel-Aviv University.
- Mioduser, D., Levy, S. T., & Talis, V. (2009). Episodes to scripts to rules: Concrete-abstractions in kindergarten children's explanations of a robot's behavior. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(1), 15-36.
- Mioduser, D., & Levy, S. T. (2010). Making Sense by Building Sense: Kindergarten Children's Construction and Understanding of Adaptive Robot Behaviors. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 15(2), 99-127.
- Newcombe, N. S., & Frick, A. (2010). Early Education for Spatial Intelligence: Why, What, and How. *Mind, Brain, and Education*, 4(3), 102-111.
- Ofte, S. H., & Hugdahl, K. (2002). Right-left discrimination in younger and older children measured with two tests containing stimuli on different abstraction levels. *Perceptual and motor skills*, 94(3), 707-719.
- Rigal, R. (1996). Right-Left Orientation, Mental Rotation, and Perspective-Taking: When Can Children Imagine What People See from Their Own Viewpoint? *Perceptual and Motor Skills*, 83(3), 831-842
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological bulletin*, 139(2), 352.
- Waller, D. E., & Nadel, L. E. (2013). *Handbook of spatial cognition*. American Psychological Association.
- Wing, J. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.