

מטה-קוגניציה והדמיה תלת-ממדית פעילה בכימיה (מאמר קצר)

עדי ברן
האוניברסיטה הפתוחה
adibr@openu.ac.il

יעל סידי
האוניברסיטה הפתוחה
yaelsi@openu.ac.il

עביר אבו צבייח
האוניברסיטה הפתוחה
abeerabosbaie@gmail.com

Metacognition and Active 3D Imaging in Chemistry (Short Paper)

Abeer Abo Sbaih
Open University of Israel
abeerabosbaie@gmail.com

Yael Sidi
The Open University of Israel
yaelsi@openu.ac.il

Adi Brann
The Open University of Israel
adibr@openu.ac.il

Abstract

The integration of 3D visualization technologies in chemistry education is an effective tool for teaching spatially demanding topics. These technologies offer two visualization modes: static 3D imaging and active 3D imaging, with the latter enabling students to manipulate molecular views for greater engagement. However, the impact of active 3D visualization on metacognitive processes remains underexplored. This study investigated its effect on comprehension monitoring and time management in learning molecular spatial structures. A total of 130 students with no prior chemistry knowledge were randomly assigned to one of three groups: 2D, static 3D, or active 3D. The research was conducted in the Open University laboratory through Qualtrics software. Participants studied a presentation on molecular structures, completed related questions, and self-reported their confidence and interest levels. While performance outcomes did not differ significantly across groups, the active 3D group demonstrated higher efficiency, completing tasks more quickly. However, this group reported lower confidence and interest compared to the 2D and static 3D groups and exhibited under-confidence, in contrast to the well-calibrated confidence of the 2D group. These findings suggest that although active 3D visualization facilitates faster learning without compromising accuracy, it may undermine learners' confidence and interest. Future research should investigate factors contributing to these effects to optimize the use of active 3D imaging in education.

Keywords: Three-dimensional imaging, active learning, metacognition, polarity, monitoring.

תקציר

שילוב טכנולוגיות הדמיה תלת-ממדית בהוראת הכימיה הוא כלי יעיל בהוראת נושאים שדורשים תפיסה מרחבית. טכנולוגיות אלה מציעות שני מצבי הדמיה: הדמיה סטטית והדמיה פעילה, המאפשרת ללומד לחקור את המולקולות מכל זווית ומגבירה את מעורבותו. בעוד שהשפעתה של הדמיה פעילה בתלת-ממד על תהליכים קוגניטיביים נחקרה בהרחבה, השפעתה על תהליכים מטה-קוגניטיביים כמעט ולא נחקרה. המחקר הנוכחי בחן את השפעתה על ניטור הבנה וניהול זמן בלמידת מבנים מרחביים של מולקולות. במחקר השתתפו 130 סטודנטים ללא ידע קודם בכימיה. המחקר התבצע במעבדת האוניברסיטה הפתוחה, דרך תוכנת קוולטריקס (Qualtrics). המשתתפים הוקצו באופן אקראי לשלוש קבוצות: דו-ממד, תלת-ממד, ותלת-ממד פעילה. הם למדו מצגת על מבנים מולקולריים, השיבו על שאלות בנושא ודיווחו על רמות

הביטחון והעניין שלהם. ממצאי המחקר הראו כי לא היו הבדלים משמעותיים בביצועים בין הקבוצות. יחד עם זאת, קבוצת התלת-ממד הפעיל הציגה יעילות גבוהה יותר, כאשר המשתתפים השלימו את המשימות במהירות רבה יותר. בנוסף, קבוצת התלת-ממד הפעילה דיווחה על בטחון נמוך יותר בהשוואה לקבוצת האחרות, והראתה ביטחון-חסר בהשוואה לקבוצת הדו-ממד. ממצאים אלו מציעים כי למרות שהדמיה פעילה בתלת-ממד מאפשרת למידה מהירה יותר ללא פגיעה בדיוק, היא עשויה להשפיע לרעה על תחושת הביטחון והעניין של הלומדים. מחקרים עתידיים נוספים נדרשים לחקור את הגורמים המשפיעים על תופעות אלו כדי ליעל את השימוש בהדמיה פעילה בתלת-ממד בהקשרים חינוכיים.

מילות מפתח: הדמיה תלת-ממדית, למידה פעילה, מטה-קוגניציה, קוטביות, ניטור.

מבוא

טכנולוגיות הדמיה תלת-ממדית מהוות כלי חיוני בהוראת נושאים בכימיה המחייבים תפיסה מרחבית (Rahmawati et al. 2021; Tamami & Dwiningasih, 2020). טכנולוגיות אלה כוללות שני מצבי הדמיה: הדמיה סטטית והדמיה פעילה, כאשר האחרונה מאפשרת ללומד לבחון מולקולות מזוויות שונות ובכך מעצימה את מעורבותו בתהליך הלמידה (Fatemah et al., 2020). תכונות אלו מסייעות ללומד בזיהוי קשיים והתאמת אסטרטגיית הלמידה שלו, במיוחד בהבנת מבנים מרחביים (Dunlosky et al., 2019).

הדמיה תלת-ממדית עשויה להשפיע באופן חיובי על יעילות הלמידה (Li et al., 2018; Storz et al., 2012; Ye et al., 2020). יעילות זו נמדדת כיחס בין ביצועי הלומד לזמן הלמידה הנדרש (Ackerman & Lauterman, 2012). בנוסף, סביבות תלת-ממדיות פעילות מגבירות את המוטיבציה והעניין של הלומדים (Amri et al., 2020; Cheng et al., 2021).

המחקר הנוכחי ביקש לבחון את השפעת ההדמיה התלת-ממדית הפעילה על תהליכים מטה-קוגניטיביים בלמידת מבנה מרחבי. שאלות המחקר התמקדו בהשפעת ההדמיה על למידת מבנים מרחביים, ניטור הלמידה, יעילותה ורמת העניין של הלומדים. השערת המחקר הייתה כי קבוצת התלת-ממד הפעילה תשיג תוצאות טובות יותר במדדים הבאים: ביצועים, יעילות, רמת ביטחון, דיוק בניטור ורמת עניין, בהשוואה לקבוצת התלת-ממד הסטטית והדו-ממד.

שיטה

אוכלוסייה

משתתפי המחקר היו 130 סטודנטים (69.23% נשים) בגילאי 18-39 ($M = 27.26$, $SD = 5.64$) הלומדים לתואר ראשון באוניברסיטה הפתוחה, דוברי עברית ברמת שפת אם, ללא לקות למידה או הפרעת קשב מאובחנת, וללא ידע קודם בכימיה. גיוס הנבדקים נעשה דרך מעבדת הפסיכולוגיה במסגרת החובות לתואר באוניברסיטה הפתוחה.

כלים

שאלון דמוגרפי. שאלון דמוגרפי שימש לאיסוף מידע בסיסי על המשתתפים במחקר (כגון גיל ומגדר). **משימת רוטציה מנטלית.** (Vandenberg & Kuse, 1978) המשימה שימשה להערכת היכולת המרחבית של משתתפי המחקר.

מצגת. (Easa & Blonder, 2022). המצגת הכילה הסבר מילולי המלווה באיורים דו-ממדיים על מבנה וקוטביות של מולקולות. לצורך המחקר נבנו שתי גרסאות נוספות הכוללות את המצגת הבסיסית, אך בגרסה השנייה המבנים התלת-ממדיים הוצגו בצורת קטע וידאו קצר, ובגרסה השלישית התווסף קישור ליישום Molview (molview.org) המאפשר למידה פעילה.

מטלת ביעוץ. (Easa & Blonder, 2022). המטלה כללה חמש שאלות בנושאי נוסחאות מולקולריות, נוסחאות ייצוג, צורה מרחבית וקוטביות. כל שאלה הורכבה משלושה סעיפי רב-ברירה, בהם נדרשו המשתתפים לבחור תשובה מבין מספר אפשרויות נתונות.

דירוג ביטחון. המשתתפים התבקשו לדרג את רמת הביטחון שלהם בתשובה על כל אחת מהשאלות באמצעות סרגל שנק מ-0 עד 100.

דירוג עניין. אחרי סיום המענה על המטלה התבקשו המשתתפים לדרג מידת העניין שלהם בה וכן את רמת על סולם שנק בין 0 ל-10.

הליך

המחקר היה מקוון, והתנהל במעבדת האוניברסיטה בחדר ייעודי בנוכחות נסיין. המשתתפים התבקשו לשבת מול עמדת מחשב אישית וללחוץ על קישור כדי להתחיל בשאלון שנבנה על גבי פלטפורמת המחקרים קוולטריקס (Qualtrics). המחשבים נייחים עם גודל מסך 24 אינץ'. המשתתפים הוקצו באופן אקראי לשלוש קבוצות: קבוצת ביקורת, קבוצת תלת-ממד (פורמט ה-GIF) וקבוצת תלת ממד פעילה. משתתפי שלוש הקבוצות השלימו את שלבי הלמידה וההיבחות הבאים: א. מענה על השאלון הדמוגרפי. ב. משימת רוטציה מנטאלית. ג. למידה של המצגת בקצב אישי. ד. מענה על מטלת הביצוע כשהמצגת לא לנגד עיניהם תוך דירוג מידת הביטחון עבור כל תשובה במסך נפרד. ה. דירוג העניין במטלה.

מדדים

מדד הביצוע. אחוז הצלחה הממוצע במענה על שאלות המטלה.
מדד הביטחון. ממוצע דירוגי הביטחון של המשתתפים עבור כל אחת מהתשובות במטלת הביצוע.
קליברציה. הפער בין ממוצעי הביטחון בתשובה לבין ההצלחה במענה על שאלות מטלת הביצוע. ככל שהפער קטן יותר (קרוב ל-0) כך הניטור מדויק יותר.
זמן תגובה. הזמן הממוצע בשניות שלקח לענות על שאלות מטלת הביצוע.
זמן למידה כולל. סכימת כל זמני הלמידה על כל אחת משקופיות המצגת.
יעילות: חלוקת הביצוע בזמן הלמידה הכולל.
רמת עניין: ממוצע דירוגי רמת העניין.

תוצאות

לכל משתני המחקר בוצע ניתוח שונות חד-כיווני ANOVA, למעט משתנה היעילות שנותח באמצעות מבחן א-פרמטרי Kruskal-Wallis. לא נמצאו הבדלים בין הקבוצות ביכולת הרוטציה המנטלית לפני המחקר, $F(2, 127) = 1.95, p = .15$, כלומר, הקבוצות היו דומות ביכולות הרוטציה המנטלית שלהן. בניגוד להשערת המחקר, לא נמצאו הבדלים במטלת הביצוע בין הקבוצות, $F(2, 127) = 2.02, p = .14, \eta^2 = .03$. כמו כן, בניגוד להשערה, ממוצע שיפוט הביטחון של קבוצת התלת-ממד הפעילה היה נמוך בהשוואה לשתי הקבוצות האחרות, $F(2, 127) = 7.90, p < .001, \eta^2 = .11$. בפרט, בהשוואה בין הקבוצות במבחן פוסט-הוק Tukey נמצא הבדל בין קבוצת הדו-ממד וקבוצת התלת-ממד הפעילה ($p = .002$). בנוסף, נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות בקליברציה $F(2, 127) = 6.53, p = .002, \eta^2 = .09$. בהשוואה בין הקבוצות במבחן פוסט-הוק Tukey נמצא הבדל בין קבוצת הדו-ממד וקבוצת התלת-ממד הפעילה ($p = .001$), כך שלקבוצת התלת-ממד הפעילה היה בטחון-חסר. אולם, לא נמצא הבדל בקליברציה בהשוואה לקבוצת התלת-ממד ($p = .064$). ממוצע זמן למידה כולל של קבוצת התלת-ממד הפעילה היה נמוך בהשוואה לשתי הקבוצות, $F(2, 127) = 4.24, p = .02, \eta^2 = .06$. בהשוואה בין הקבוצות במבחן פוסט-הוק Tukey נמצא הבדל מובהק בין קבוצת התלת-ממד הפעילה וקבוצת הדו-ממד ($p = .03$), וכן הבדל מובהק בין קבוצת התלת-ממד הפעילה וקבוצת התלת-ממד ($p = .03$). בהתאם, השערת המחקר בנוגע ליעילות אוששה – יעילות הלמידה הממוצעת של קבוצת התלת-ממד הפעילה הייתה גבוהה בהשוואה לשתי קבוצות הדו-ממד והתלת-ממד ($p = .02$). לבסוף, בניגוד להשערת המחקר, רמת העניין הממוצעת של קבוצת התלת-ממד הפעילה הייתה נמוכה בהשוואה לשתי הקבוצות האחרות $F(2, 127) = 4.49, p = .01, \eta^2 = .07$. בהשוואה בין הקבוצות במבחן פוסט-הוק Tukey נמצא הבדל ($p = .01$) בין קבוצת התלת-ממד הפעילה לבין קבוצת התלת-ממד.

דיון

ממצאי המחקר מעלים תמונה מורכבת בנוגע להשפעת הדמיה תלת-ממדית פעילה. מחד, נמצא שיפור משמעותי ביעילות הלמידה, כאשר המשתתפים בקבוצה זו השיגו תוצאות דומות לקבוצות האחרות בזמן קצר יותר. מאידך, נצפו השפעות שליליות במספר היבטים: ירידה בביטחון הלומדים, פגיעה ברמת העניין, וקליברציה פחות מדויקת. את ההשפעות השליליות הללו ניתן לייחס לשני גורמים עיקריים: האחד, העומס הקוגניטיבי המוגבר הנדרש בהתמודדות עם טכנולוגיה תלת-ממדית (Liew & Tan, 2016), והשני, חוסר ניסיון עם הטכנולוגיה, אשר עשוי להוביל לתחושת חוסר ביטחון (Hrynevych et al., 2021). לאור זאת, על אף היתרון

המשמעותי ביעילות הלמידה, יש לתת את הדעת להשפעות השליליות על חוויית הלמידה ודיוק הניטור. נדרש מחקר נוסף לזיהוי מדויק של הגורמים המשפיעים על תופעות אלו, כדי לאפשר שימוש מיטבי בהדמיה תלת-ממדית פעילה בהוראה.

מקורות

- Ackerman, R., & Lauterman, T. (2012). Taking reading comprehension exams on screen or on paper? A metacognitive analysis of learning texts under time pressure. *Computers in Human Behavior*, 28(5), 1816–1828. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2012.04.023>
- Amri, A. Y. A., Osman, M. E., & Al Musawi, A. S. (2020). The effectiveness of a 3D-virtual reality learning environment (3D-VRLE) on the Omani eighth grade students' achievement and motivation towards physics learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(5), 4. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i05.11890>
- Cheng, L., Antonenko, P. P., Ritzhaupt, A. D., & MacFadden, B. (2021). Exploring the role of 3D printing and STEM integration levels in students' STEM career interest. *British journal of educational technology*, 52(3), 1262–1278. <https://doi.org/10.1111/bjet.13077>
- Dunlosky, J., Dudley, D., Spitznagel, M. B., & Clements, R. J. (2019). Student's metamemory knowledge about the impact of stereoscopic three-dimensional presentations of science content. *Applied Cognitive Psychology*, 33(2), 225–233. <https://doi-org.elib.openu.ac.il/10.1002/acp.3469>
- Easa, E. & Blonder, R. (2022). Development and validation of customized pedagogical kits for high-school chemistry teaching and learning: The redox reaction example. *Chemistry Teacher International*, 4(1), 71–95. <https://doi.org/10.1515/cti-2021-0022>
- Fatemah, A., Rasool, S., & Habib, U. (2020). Interactive 3D visualization of chemical structure diagrams embedded in text to aid spatial learning process of students. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 992–1000. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00690>
- Hrynevych, L., Morze, N., Vember, V., and Boiko, M. (2021). Use of digital tools as a component of STEM education ecosystem. *Educ. Technol. Q.* 2021, 118–139. <https://doi.org/10.55056/etq.24>
- Li, Z., Li, Z., Xu, R., Li, M., Li, J., Liu, Y., Sui, D., Zhang, W., & Chen, Z. (2018). Three-dimensional printing models improve understanding of spinal fracture--A randomized. controlled study in China. *Scientific Reports*, 5, 11570. <https://doi-org.elib.openu.ac.il/10.1038/srep11570>
- Liew, T. W., & Tan, S. (2016). The effects of positive and negative mood on cognition and motivation in multimedia learning environment. *Educational Technology & Society*, 19(2), 104–115. http://www.ifets.info/journals/19_2/9.pdf
- Rahmawati, Y., Dianhar, H., & Arifin, F. (2021). Analysing students' spatial abilities in chemistry learning using 3D virtual representation. *Education Sciences*, 11(4), 185. <https://doi.org/10.3390/educsci11040185>
- Storz, P., Buess, G. F., Kunert, W., & Kirschniak, A. (2012). 3D HD versus 2D HD: Surgical task efficiency in standardised phantom tasks. *Surgical Endoscopy*, 26(5), 1454–1460. <https://doi.org/10.1007/s00464-011-2055-9>
- Tamami, A. A., & Dwiningsih, K. (2020). 3-dimensions of interactive multimedia validity to increase visual-spatial intelligence in molecular geometry. *Jurnal Kependidikan*, 4(2), 241–255. [DOI:10.21831/jk.v4i2.31222](https://doi.org/10.21831/jk.v4i2.31222)
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599–604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Ye, Z., Dun, A., Jiang, H., Nie, C., Zhao, S., Wang, T., & Zhai, J. (2020). The role of 3D printed models in the teaching of human anatomy: Asystematic review and meta-analysis. *BMC Medical Education*, 20(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02242-x>