
ההשפעה של מתן משוב חיובי ושלילי על למידה מוטורית –

התלות בגודל שגיאת הניבוי הצפויה

חן אודם, גל זיו, רוני לידור

המרכז האקדמי לוינסקי-וינגייט

תקציר

ממחקרים העוסקים בהשפעת המשוב החיובי והשלילי על למידה של מיומנויות מוטוריות, עולה כי אין תשובה חד-משמעית לשאלה איזה משוב יעיל יותר. אחד ההסברים האפשריים לכך הוא גודל שגיאת ניבוי החיזוק של הלומד. שגיאת ניבוי החיזוק היא הפער שבין ציפיית הלומד לקבל חיזוק כדי להצליח לבין החיזוק שהוא מקבל בפועל. כאשר לומד מבצע מטלה כלשהי, יש לו ציפייה באשר לסיכויי ההצלחה בה. כאשר הציפייה להצלחה בביצוע המטלה דומה להצלחה בפועל – שגיאת ניבוי החיזוק נמוכה, וכאשר קיים פער בין הציפייה להצלחה לבין מידת ההצלחה בפועל – שגיאת ניבוי החיזוק גדולה. המחקר הנוכחי בחן כיצד משוב חיובי ושלילי משפיעים על למידה מוטורית כתלות בגודל שגיאת הניבוי הצפויה. על מנת לענות על שאלה זו בוצע ניסוי ממוחשב. המשתתפים (113 סטודנטים לחינוך גופני: 60 בנות ו-53 בנים) במחקר חולקו לשלוש קבוצות: קבוצת משוב חיובי, קבוצת משוב שלילי וקבוצת ביקורת. הם ביצעו מטלה מוטורית ממוחשבת – Rotary Pursuit Task – מטלת מעקב, על מסך המחשב, אחר מטרה הנעה על תוואי של מעגל. למטלה זו היו שלוש דרגות קושי. המשתתפים ביצעו מבחן מקדים, שלושה אימונים ומבחן שחזור. שלושה משתתפים תלויים נמדדו במחקר: מספר השניות שבהן המשתתף עקב כהלכה אחר העיגול המטרה הנעה, הנע, מספר היציאות של המשתתף מהמעגל בכל ניסיון ותפיסת קושי המטלה. ניתוחי שונות נערכו עבור כל משתנה תלוי בנפרד. ממצאי המחקר הראו כי בשלב הרכישה, קבוצת המשוב השלילי הצליחה לבצע את המטלה הממוחשבת טוב יותר (זמן שהייה ארוך יותר בתוך המטרה, כלומר מספר השניות שבהן המשתתף עקב כהלכה אחר העיגול המטרה הנעה על קו המעגל) בהשוואה לקבוצת הביקורת ברמת הקושי הקלה והבינונית, אך לא ברמת הקושי הגבוהה. בקבוצת המשוב השלילי בלבד נמצא הבדל מובהק במספר היציאות של המשתתף מהמעגל בכל ניסיון בין רמת הקושי הבינונית לקשה, כך שברמה הבינונית המשתתפים יצאו פחות מהמטרה בהשוואה לרמה הקשה. בשלב השחזור נמצא כי במטלה הקשה קבוצת הביקורת יצאה פחות

פעמים מהמטרה בהשוואה לקבוצת המשוב החיובי. יש לציין כי לא נמצאה מובהקות בגורם רמת הקושי במשתנה זה. הממצאים תומכים ברובם בהשערה כי שגיאת ניבוי חיזוק גדולה תשפר את הלמידה.

תאריכים: למידה מוטורית, משוב, מטלת מחשב, אימון, שחזור, העברה.

למידה מוטורית מוגדרת כסדרה של תהליכים הקשורים לתרגול, המובילים לשינוי קבוע יחסית ביכולת הלומד. תרגול נחשב בדרך כלל לגורם החשוב ביותר לשיפור ביכולת לבצע מיומנות מוטורית (Schmidt & Lee, 2018). שיפור בביצוע מיומנויות קשור בדרך כלל בקשר חיובי לכמות התרגול, ומאחר שהיקף התרגול מוגבל, יש צורך למקסם את התועלת מכל יחידת אימון (Guadagnoli & Lee, 2004). אחת האסטרטגיות ליעול הלמידה המוטורית היא שימוש במשוב (Saemi et al., 2012). משוב הוא מידע המגיע ללומד משני מקורות, פנימי וחיצוני. משוב ממקור פנימי זמין למבצע במהלך הביצוע עצמו. למשל, הלומד מקבל משוב חזותי וקינסטטי (תחושת התנועה) בזמן שהוא מבצע מטלה מוטורית כלשהי. לעומת זאת, משוב ממקור חיצוני בדרך כלל אינו זמין למבצע באופן ישיר, אך ניתן להוסיפו בדרכים שונות. לדוגמה, המורה או המאמן יכולים להעביר מידע ללומד, או שהלומד יכול לצפות בסרטון של ביצועיו (Guadagnoli & Lee, 2004).

בתחום ההוראה משוב הוא תקשורת שמטרתה ליידיע את הלומד על מידת הדיוק של תגובה המבוצעת בהתאם להנחיה (Sales, 1993). משוב מאפשר השוואה של ביצועים בפועל עם סטנדרט קבוע של ביצועים (Johnson & Johnson, 1993). מידע המוצג באמצעות משוב בהוראה עשוי לכלול לא רק את מידת הדיוק של התנועה אלא גם מידע מסייע אחר, כגון: הנחיות למידה, מסרים מוטיבציוניים, השוואות קריטיות ומיקוד למידה (Sales, 1993). ניתן לספק את המשוב על תוצאות התנועה (Knowledge of Results – KR) או על דרך הביצוע שלה (Knowledge of Performance – KP). משוב על תוצאות התנועה מספק מידע על תוצאת התנועה ביחס למטרתה. לדוגמה, בעת ביצוע חבטת גולף קצרה, הלומד מקבל משוב פנימי מעצם זה שהוא רואה היכן עצר כדור הגולף ביחס למטרה. משוב חיצוני על תוצאות התנועה יכול להוסיף ללומד מידע מדויק יותר על המרחק בסנטימטרים מהמטרה. לעומת זאת, משוב על דרך ביצוע התנועה מתייחס לאופייה של התנועה וכולל מידע קינטי או קינמטי על דפוס התנועה. לדוגמה, בעת ביצוע אותה חבטת גולף, המדריך יכול לומר ללומד שעליו להקפיד על מרפקים נעולים. שני סוגי משוב אלו רלוונטיים לשיפור איכות הלמידה מוטורית (Schmidt & Lee, 2018).

משוב יכול להינתן במהלך הביצוע (מקביל) או בסימום (Sattelmayer et al., 2016). משוב מקביל הוא משוב מוגבר הניתן ללומד במהלך התנועה, וזאת בהשוואה למשוב סופי שניתן ללומד לאחר ביצוע התנועה. משוב מקביל יכול להיות מוצג באופן לא רציף, כשהמבצע נמצא "על המטרה" באותו רגע או כשרמת ביצוע מסוימת מושגת (Schmidt & Wulf, 1997). אף שמשותף תוך כדי ביצוע עלול למשוך אליו קשב הנחוץ לביצוע המטלה, כמה מחקרים מראים כי משוב זה עשוי גם לסייע ללמידה בדומה למשוב שניתן לאחר הביצוע. לדוגמה, במחקר אחד (Saijo & Gomi, 2010) עברו המשתתפים תהליך למידה חזותי-מוטורי, שבמהלכו נדרשו להגיע ליעד הנמצא

על מסך המחשב וזאת בעזרת זרוע מכנית שהם אחזו ביד ימין. בניסוי הראשון קיבלו המשתתפים משוב על מיקום הסמן למשך שנייה מייד לאחר תחילת התנועה, ואילו בניסוי השני הנבדקים לא קיבלו משוב זה. מתוצאות המחקר עולה כי משוב תוך כדי ביצוע תרם ללמידה וקיצר את זמן התגובה.

המידע המועבר באמצעות משוב חיזוני, בין שהוא עוסק בתוצאות התנועה או בדרך התנועה, יכול להתמקד בביצועים נכונים של הלומד (משוב חיובי) או בביצועים לא נכונים (משוב שלילי). בעוד ששני סוגי משוב אלו מעבירים מידע רלוונטי, משוב חיובי עשוי לספק תחושה של השגת יעד בעוד שמשוב שלילי עשוי לאותת ללומד כי נדרש מאמץ רב יותר על מנת להשיג אותו יעד (Kluger & DeNisi, 1996). מידע על פעולות מוצלחות וכושלות מאפשר ללומד לכוון את מאמציו כך שיתאימו למטרה הרצויה (Bandura, 1991). בלמידה מוטורית, שימוש במשוב חיובי או שלילי בעיתוי נכון עשוי לשפר את איכות הלמידה או לקצר את משכה (Chiviawsky & Wulf, 2012; Saemi et al., 2007). אולם לא רק סוג המשוב עשוי להשפיע על הלמידה. גם ציפיית הלומד להצלחה או לכישלון עשויה להשפיע על תפיסת הלומד את המשוב (Lohse et al., 2019). לדוגמה, משוב חיובי ללומד שציפיותיו להצלחה נמוכות עשוי להתפס בעיניו כמשמעותי יותר מאשר בעיני לומד שציפיותיו להצלחה ממילא גבוהות. מחקר זה יעסוק בסוגיה זו ויבחן כיצד משוב שלילי וחיובי משפיעים על הלמידה המוטורית כתלות ברמת הציפייה של הלומד להצלחה במשימה.

משוב חיובי ומשוב שלילי

משוב חיובי ושלילי יכולים לכלול KP, KR, או מידע על יכולות כלליות של הלומדים. במחקר הנוכחי אנו מתייחסים למשוב חיובי ומשוב שלילי בהקשר של KR. בקרב תשעה מחקרים אשר בחנו את הקשר בין סוג המשוב ללמידה, שישה מצאו עדיפות למשוב חיובי הן בשלב הרכישה והן בשלב השחזור (Chiviawsky & Wulf, 2007; Chiviawsky et al., 2009; Eskreis-Winkler & Fishbach, 2019; Vallerand & Reid, 1988; Saemi et al., 2011; Saemi et al., 2012). שלושה מחקרים נוספים בחנו את התופעה רק בשלב הרכישה: שניים מהם מצאו עדיפות למשוב שלילי (Halperin et al., 2020; Soto et al., 2020) ואחד כלל לא מצא הבדל בהשפעה של שני סוגי המשוב על הביצועים (Halperin et al., 2019). צייואוקאסקי וולף (Chiviawsky & Wulf, 2007) מצאו ש-KR יעיל יותר כאשר הוא ניתן לאחר ניסיונות טובים ולא לאחר ניסיונות כושלים של זריקת שקיות שעועית ביד הלא-דומיננטית. במחקר זה השתתפו 24 סטודנטים ללא ניסיון, שחולקו לשתי קבוצות (קבוצת משוב חיובי וקבוצת משוב שלילי). המשתתפים ביצעו עשר סדרות של שש זריקות כל אחת, וקיבלו משוב לאחר כל סדרה על 50% מהניסיונות בהתאם לקבוצה שבה השתתפו. קבוצת המשוב החיובי קיבלה משוב על שלוש הזריקות הטובות ביותר, ואילו קבוצת המשוב השלילי קיבלה משוב על שלוש הזריקות החלשות ביותר. המשתתפים בקבוצת המשוב החיובי הראו ביצועים טובים יותר בהשוואה למשתתפים בקבוצת המשוב השלילי גם בשלב הרכישה וגם בשלב השחזור. החוקרים העלו שתי סיבות אפשריות לעדיפות המשוב החיובי: ראשית, משוב לאחר ניסיון מוצלח מעודד את הלומד לחזור על התנועה המוצלחת בעוד שמשוב לאחר ניסיון לא מוצלח גורם ללומד לשנות את דפוס התנועה כדי לתקן טעויות. כאשר הלומד מתבקש לתקן שגיאות תנועה קטנות (שעשויות לייצג שונות

טבעית, ולפחות בשלב שבו נמצא הלומד לא ניתן לתקן), נמנעת ממנו היכולת לפתח דפוס תנועה יציב (Schmidt, 1991). שנית, בהשוואה למשוב שלילי, משוב חיובי מייצר עבור הלומדים חוויית הצלחה גדולה יותר העשויה להגביר את המוטיבציה שלהם ובכך לשפר את תהליך הלמידה. תוצאות המחקר תומכות בהסבר השני, משום שהמשתתפים בשתי הקבוצות הדגימו פחות שינויים בתנועה לאחר ניסיונות טובים בהשוואה לניסיונות כושלים, וזאת ללא קשר למשוב שקיבלו. ציויאוקאסקי ואח' (Chiviawsky et al., 2009) ביצעו מחקר המשך באוכלוסייה מבוגרת יותר, שבו השתתפו 22 נשים (גיל ממוצע 66 שנים). המטלה הייתה זהה למטלה במחקר הקודם, ונמצא כי משוב חיובי הוביל לביצועים טובים יותר גם בשלב הרכישה וגם במבחן השחזור.

סאמי ואח' (Saemi et al., 2011) השתמשו בפרוטוקול דומה לזה שאומץ בשני המחקרים הקודמים בילדים ללא ניסיון (גיל ממוצע 10 שנים). במחקר זה, מעבר להערכת הלמידה, המשתתפים התבקשו למלא שאלון מוטיבציה פנימית בסיום שלב התרגול. הממצאים הראו כי מתן משוב לאחר ביצועים טובים הוביל לרמות מוטיבציה גבוהות יותר, לביצועים טובים יותר בשלב הרכישה וללמידה טובה יותר בשלב השחזור בהשוואה למתן משוב לאחר ביצועים חלשים.

יש לציין שמשוב חיובי מסייע ללמידה גם במטלות שאינן מוטוריות. לדוגמה, במחקר אחד (Eskreis-Winkler & Fishbach, 2019) הראו החוקרות כי קשה ללמוד ממשלב שלילי. במחקר זה משתתפים חסרי ניסיון ענו על שאלות בחירה בינאריות, ובתגובה קיבלו משוב חיובי או שלילי בהתאם לקבוצה שבה השתתפו. שני סוגי המשוב היו אינפורמטיביים באותה מידה, אם כי הלמידה ממשלב שלילי דרשה הסקת מסקנה מעט מורכבת יותר, מאחר שהמשתתף היה צריך להבין שהתשובה הנכונה אינה התשובה שבה בחר. הניסוי בחן אם הלומד ילמד מכישלון יותר מהצלחה, כאשר תמריצי השכר היו זהים בין שתי קבוצות הניסוי. תוצאות הניסוי הראו שהמשתתפים שקיבלו משוב חיובי הצליחו לענות תשובות נכונות יותר (62%) בהשוואה למשתתפים שקיבלו משוב שלילי (48%).

שני מחקרים נוספים מצאו כי משוב שלילי יעיל יותר לביצוע בשלב הרכישה בהשוואה למשוב חיובי (Halperin et al., 2020; Soto et al., 2020). לדוגמה, הלפרין ואח' (Halperin et al., 2020) בחנו את ההשפעה של משוב חיובי ושלילי על ייצור כוח של כופפי המרפק. במחקר זה השתתפו 22 מתאמני התנגדות מנוסים אשר חולקו לשלוש קבוצות: קבוצה אחת קיבלה משוב מילולי חיובי ("מאמץ טוב")/ערכים מצוינים"/"נראה חזק"), קבוצה שנייה קיבלה משוב מילולי שלילי ("אתה לא מנסה")/ערכים נמוכים"/"אתה יכול לעשות טוב יותר"), וקבוצת ביקורת שלא קיבלה משוב. במחקר זה המשובים לא היו מוגבלים רק ל-KR. ניתן לייחס את המשובים "ערכים מצוינים" ו"ערכים נמוכים" כמשובי KP. משובים בסגנון "מאמץ טוב" או "אתה לא מנסה" אינם קשורים ישירות רק ל-KR, אלא נתפסים כמשובים מוטיבציוניים כלליים. ממצאי המחקר הראו כי ערכי הכוח המרבי בקרב המשתתפים שקיבלו משוב שלילי היו גבוהים יותר ב-4.3% בהשוואה לאלה של משתתפים שקיבלו משוב חיובי, וגבוהים יותר ב-7.9% בהשוואה לאלה של משתתפים שלא קיבלו משוב. כמו כן נמצא כי הפעילות החשמלית של שרירי הדו-ראשי והתלת-ראשי היו גבוהים יותר בקבוצת המשוב השלילי בהשוואה לקבוצות האחרות. החוקרים

מעלים כמה אפשרויות לתוצאות אלו. ראשית, ייתכן שהמשוב השלילי עורר כעס שגרם למשתתפים להשקיע כוחות גדולים יותר. כעס הוכח כמשפיע באופן חיובי במשימות הדורשות כוח (Rathsclag & Memmert, 2013). הסבר אפשרי נוסף קשור לתפקידם של רגשות חיוביים ושליליים בלמידה. לדוגמה, קארבר (Carver, 2006, 2015) סבור כי רגשות שליליים נועדו לאותת שקצב ההתקדמות בהשגת המטרה נמוך מדי, וכי נדרשים מאמצים גדולים יותר. הסברו של קארבר עולה בקנה אחד עם הממצאים במחקרם של הלפרין ואחי' (2020), משום שמשוב שלילי אכן היה מועדף על פני שאר המשובים, אך הוא אינו מסביר את היתרון של קבוצת המשוב החיובי על קבוצת הביקורת, זאת מאחר שהיינו מצפים שמי שיקבל משוב חיובי יחווה את ההרגשה שהוא עושה מספיק, ולכן יאפשר לעצמו להפחית את דרגת המאמץ.

אם כך, מתן משוב שלילי עשוי להיות עדיף ממתן משוב חיובי להגברת המוטיבציה להשיג יעדי למידה (Kluger & Denisi, 1996), בעיקר כאשר המטלה המוטורית לביצוע פשוטה יחסית. במטלה מוטורית פשוטה המשוב השלילי עשוי להגביר את רמת העוררות מבלי לפגוע ברמת הביצוע. לעומת זאת, במטלה מוטורית מורכבת יותר רמות עוררות גבוהות מדי עלולות לפגוע ביכולת הביצוע, מכיוון שזו דורשת רמות גבוהות יותר של ויסות כוח ושליטה רב-מפרקית שעלולים להיפגע כאשר רמת העוררות עוברת את נקודת העוררות האופטימלית (חוק ירקס-דודסון: Yerkes & Dodson, 1908). סיבה נוספת אפשרית לעדיפות המשוב השלילי היא שאנשים מגיבים בצורה קיצונית יותר – פיזיולוגית, קוגניטיבית ורגשית - לאירועים שליליים מאשר לאירועים חיוביים, בדרכים שניתן לטעון שהן משפרות את הלמידה (Rozin & Royzman, 2001; Taylor, 1991). בהשוואה לאירועים חיוביים, אירועים שליליים מובילים לתשומת לב ולערנות גבוהות יותר (Pratto & John, 1991) ומגדילים את נפח פעילות עיבוד המידע (Taylor, 1991). כך בני אדם עשויים לזכור כישלון וללמוד ממנו באותה מידה, או אף יותר, שבה ילמדו מהצלחה.

המחקר השני שמצא כי משוב שלילי עדיף על משוב חיובי ללמידה מוטורית, בחן את השפעת סוג המשוב על מהירות הזריקה והדיוק של 39 שחקניות כדוריד מומחיות, שחולקו לשלוש קבוצות של משוב (חיובי/שלילי/ביקורת) (Soto et al., 2020). המשתתפות התבקשו לזרוק כדוריד בשיא המהירות והדיוק אל עבר מטרה במרחק שבעה מטרים. הן זרקו 30 זריקות בשש סדרות ביצוע. לאחר שתי הסדרות הראשונות ניתן להן משוב על פי סוג קבוצת הניסוי. לקבוצה אחת ניתן משוב חיובי ("עם הזריקות האלה את הולכת להיות בין הטובות")/"את מסתדרת די טוב", לקבוצה השנייה ניתן משוב שלילי ("עם הזריקות האלה את הולכת להיות בין הגרועות")/"את לא כל כך מסתדרת" ולקבוצת הביקורת לא ניתן משוב. כמו כן, המשתתפות מילאו שאלון המעריך משתנים פסיכולוגיים לפני ואחרי ביצוע התרגול. אנו למדים מממצאי מחקר זה שהקבוצה שקיבלה משוב שלילי הפגינה זריקה מהירה יותר בהשוואה לשאר הקבוצות. בנוגע לדיוק הזריקה, לא היה הבדל משמעותי בהשפעה של שני סוגי המשוב. המשתתפות העריכו את כשירותן לפני המשימה כגבוהה יותר בהשוואה להערכתן אותה אחרי המשימה, ללא קשר לסוג המשוב שקיבלו. ממצאים אלו סותרים ממצאים קודמים, אך מאחר שמרבית המחקרים הקודמים עוסקים במשתתפים חסרי ניסיון, ייתכן כי השפעת המשוב עשויה להשתנות על בסיס רמת הניסיון ו/או הביצועים של המשתתפים. ייתכן שמשוב שלילי

עשוי להיות יתרון בקרב ספורטאים, משום שהוא מניע אותם לחתור אל עבר המטרה ביתר שאת ומנחה אותם לשפר את ביצועיהם.

לבסוף, הלפרין ואחי' (Halperin et al., 2019) בחנו את השפעת המשוב החיובי והשלילי על עוצמת האגרוף, קצב מתן האגרופים ותפיסת המאמץ הסובייקטיבית אצל 15 מתאגרפים מיומנים. הם מצאו שלסוג המשוב אין השפעה שונה על שלושה מדדים אלו. במחקר זה, בדומה למחקר אחר של הלפרין (Halperin et al., 2020), נבחן רק הביצוע ולא נבחנה הלמידה במבחן שחזור. נוסף על כך, הלפרין ואחי' (Halperin et al., 2019) טוענים כי ייתכן שספורטאים מושפעים פחות ממשווב חיובי ושלילי בהשוואה לאנשים שאינם ספורטאים. אכן, אוכלוסיית המחקר במרבית המחקרים שבהם לא נמצאה השפעה של משוב חיובי ושלילי, כללה ספורטאים בעלי הכשרה משמעותית (Faulkner et al., 2011; Wilson et al., 2012), אם כי ראוי לציין את מחקרם של סוטו ואחי' (Soto et al., 2020), אשר אינו תומך בממצאים אלה. תמיכה נוספת לכך ניתן למצוא במחקרים הטוענים שלספורטאים יש רמות גבוהות יותר של קשיחות נפשית (Guillén & Laborde, 2014), וכי הם מפגינים עמידות נפשית גבוהה יותר בהשוואה לספורטאי פנאי (Halperin et al., 2016).

משוב חיובי ושלילי – הקשר לתחושת המסוגלות העצמית

תחושת מסוגלות עצמית מוגדרת כאמונה שיש לאדם ביחס ליכולתו להצליח בפעולות מסוימות (Bandura, 1977). באופן כללי, אנשים עם רמה גבוהה של תחושת מסוגלות עצמית מנסים ביצועים חדשים, משקיעים יותר מאמץ, ובדרך כלל גם מציגים הצלחה רבה בביצוע מיומנויות מוטוריות עתידיות (Gao et al., 2009). מתן משוב חיובי משפר את תחושת המסוגלות העצמית של הלומד ומגביר את המוטיבציה שלו להמשיך וללמוד (Bandura & Cervone, 1983). לדוגמה, ולראנד ורייד (Vallerand & Reid, 1988) ביקשו מ-60 סטודנטים לשמור על שיווי משקל בעמידה על סטביליומטר. הסטודנטים חולקו לשתי קבוצות: קבוצה אחת קיבלה משוב מילולי חיובי ("נראה שיש לך יכולות טבעיות להתאזן"), וקבוצה שנייה קיבלה משוב מילולי שלילי ("זו משימה קלה אך השיפור שלך איטי מדי"). נמצא כי משוב מילולי חיובי הוביל לרמות גבוהות יותר של מוטיבציה פנימית בקרב גברים ונשים כאחד, וכי השפעות אלה תווכו במידה רבה על ידי תחושת המסוגלות. עם זאת, במחקר זה לא דווח אם העלייה במוטיבציה הובילה גם לביצועים טובים יותר.

זאת ועוד, סאמי ואחי' (Saemi et al., 2012) בחנו אם קיימת השפעה ישירה לסוג המשוב גם על תחושת המסוגלות העצמית של הלומדים ולא רק על המוטיבציה והלמידה שלהם. במחקר זה השתתפו 24 סטודנטים ללא ניסיון שחולקו לשתי קבוצות והתבקשו לזרוק כדור ביד הלא-דומיננטית למטרה שהונחה על הרצפה. המשתתפים התבקשו למלא שאלון מסוגלות עצמית לפני כל סדרה ובתום הסדרה האחרונה. נמצא כי משוב חיובי בהשוואה למשוב שלילי משפר לא רק את הביצועים כי אם גם את תחושת המסוגלות העצמית של הלומד.

ניתן לראות אפוא כי כמה מחקרים מצאו שמשוב חיובי יעיל יותר ממשווב שלילי הן בשלב הרכישה והן בשלב השחזור. לעומת זאת כמה מחקרים מצאו כי משוב שלילי היה יעיל יותר בהשוואה למשוב חיובי. מחקר אחד דיווח שאין הבדל בהשפעה של סוג המשוב על הביצועים בלמידה מוטורית. מסקירת מחקרים אלו עולה

כי השפעת המשוב על ביצוע ועל למידה אינה פשוטה וישירה, כי אם מורכבת ותלויה בכמה גורמים. גורם חשוב שלא נבחן במחקרים שנסקרו הוא שגיאת הניבוי.

שגיאת הניבוי כגורם מתערב בהשפעת המשוב על הלומד

מסקירתם של לוסה ואח' (Lohse et al., 2019) עולה שיחידים לומדים היטב כאשר התוצאות חורגות מציפיותיהם. להבדלים בין ציפיות הלומד לבין התוצאות שהוא משיג ניתן לקרוא שגיאות ניבוי. שגיאות ניבוי הן איתות לכך שההתנהגות צריכה להשתנות על מנת להגדיל את הסיכוי להצלחה בניסיון הביצוע הבא, והן מהוות גירוי חשוב ללמידה ולעדכון ההתנהגות (Lohse et al., 2019). תהליך זה של התאמת ההתנהגות, המבוסס על שגיאות ניבוי במטרה לייעל חיזוקים, מכונה: "למידת חיזוק" (Reinforcement Learning) (Sutton & Barto, 1998).

למידת חיזוק

למידת חיזוק היא גישה מרכזית בלמידה מאינטראקציה (Sutton & Barto, 2018). התחום החישובי של למידת חיזוק (Sutton & Barto, 1990) סיפק מסגרת תאורטית שדרכה ניתן להבין דפוסי התנהגות. ממסגרת זו עולה כי בחירת פעולה אופטימלית מבוססת על תחזיות של השלכות עתידיות, כך שקבלת ההחלטות מכוונת למקסום חיזוקים ולמזעור עונשים. מבחינה חישובית מתייחסים לבחירת פעולות כאל ניסיון לייעל לטווח ארוך את השלכות של סך החיזוקים שהושגו או סך העונשים שנמנעו (Barto, 1994).

למידת חיזוק מתארת את התהליך שבאמצעותו אנו מתאימים את ההתנהגות שלנו על סמך שגיאות ניבוי במטרה למקסם את החיזוקים ולמזער את העונשים. בלמידה זו, פעולה מובילה להצלחה ובכך לחיזוק, או לכישלון ובכך לחוסר חיזוק או אפילו לעונש (Sutton & Barto, 1998). חיזוק יכול לספק צורך בסיסי כדוגמת מזון או מים, או להיות בעל ערך סמלי מסוים כדוגמת פרס כספי (Abe et al., 2011). יתר על כן, חיזוק יכול להיות גם עניין לא מהותי אלא מופשט כמו מעמד חברתי או תחושת הצלחה (Singh et al., 2004). אם כך, אדם יכול לחוות תחושת הצלחה במשימה ולהרגיש מתוגמל, וזאת גם אם אין הוא נחשף לחיזוק חיכוני מוחשי הקשור להצלחה. תופעה זו מרמזת על כך שכדי שדבר מסוים ייתפס כחיזוק, די בכך שתהיה לו תועלת מסוימת בעיני המבצע (Lohse et al., 2019). למידת חיזוק היא אחת מצורות הלמידה המרכזיות ומהווה מרכיב חשוב ברכישה של מיומנויות מוטוריות (Seidler et al., 2013; Yarrow et al., 2009). אחד המשתנים העיקריים בלמידת חיזוק, המובילים ללמידה טובה, הוא שגיאת ניבוי החיזוק (Lohse et al., 2019).

שגיאת ניבוי החיזוק

שגיאת ניבוי החיזוק היא הפער שבין ציפיית הלומד לקבל חיזוק (להצלח) לבין החיזוק בפועל. כאשר לומד מבצע מטלה כלשהי, יש לו ציפייה להצלח בה. כאשר הציפייה להצלחה בביצוע המטלה דומה להצלחה בפועל – שגיאת ניבוי החיזוק קטנה, וכאשר קיים פער בין הציפייה להצלחה לבין מידת ההצלחה בפועל – שגיאת הניבוי גדולה (Holroyd & Coles, 2002). שגיאת הניבוי יכולה להיות חיובית או שלילית (Holroyd & Krigolson, 2007; Lohse et al., 2019): כאשר ציפיית הלומד להצלחה נמוכה (למשל, כאשר הוא מבצע מטלה שנתפסת בעיניו כקשה), אך בפועל הוא מצליח לבצע את המטלה היטב, שגיאת הניבוי היא חיובית וגדולה. להבדיל, כאשר ציפיית הלומד להצלחה גבוהה (למשל, כאשר הוא מבצע מטלה הנתפסת בעיניו

כקלה), אך בפועל הוא אינו מצליח בביצוע, שגיאת הניבוי היא שלילית וגדולה. ככלל, שגיאות ניבוי גדולות יותר מובילות ללמידה טובה יותר. תפיסת ההצלחה או הכישלון היא סובייקטיבית כך שעבור לומד מתחיל, ייתכן שטעות ביצוע קטנה תעורר דווקא שגיאת ניבוי חיזוק חיובית, מכיוון שהלומד מצפה לטעויות ביצוע גדולות יותר. לעומת זאת, אצל מומחה, טעות ביצוע קטנה תעורר שגיאת ניבוי חיזוק שלילית מכיוון שהוא מצפה לרמת ביצוע גבוהה יותר (Lohse et al., 2019).

אם כך, חיזוקים בלתי צפויים יוצרים שגיאות ניבוי חיזוק גדולות יותר ומסייעים בגיבוש ההתנהגות. קיימים אפוא שלושה מצבים בשגיאות ניבוי חיזוקים: האחד, שגיאות ניבוי חיזוק חיוביות שיסייעו לגיבוש התנהגות מוצלחת; השני, שגיאות ניבוי חיזוק שליליות שיסייעו לעכב התנהגות לא מוצלחת; השלישי, שגיאות ניבוי חיזוק ניטרליות (שבהן החיזוק החזוי תואם את החיזוק בפועל). שגיאות ניבוי חיזוק גדולות נפוצות בשלב מוקדם של הלמידה. שגיאות ניבוי אלו נוטות להיות חיוביות ועשויות להסביר את השיפורים המהירים שבדרך כלל מוצגים בשלב מוקדם זה של הלמידה. לעומת זאת, בשלב מאוחר יותר של הלמידה, שגיאות הניבוי הנפוצות קטנות יותר (הביצוע בפועל קרוב לציפיות), ולכן הן עשויות להסביר את השיפורים האיטיים המופיעים בשלב זה (Lohse et al., 2019). אם שגיאות ניבוי חיזוק אכן מקלות את הלמידה, יש למקסם את השגיאות הללו. לשם כך איננו רוצים שההצלחה או הכישלון יהיו צפויים מדי, ולכן יש להתאים את רמת הקושי של תהליך הלמידה בצורה אישית עבור כל לומד. לפיכך, ככל שההצלחה הופכת לצפויה מדי, על הקושי במשימה לעלות (Guadagnoli & Lee, 2004).

בהקשר של למידת חיזוק, ניתן למדוד מתחים על הקרקפת הנובעים מפעילות מוחית בעזרת טכניקת האלקטרואנצפלוגרם (electroencephalogram; EEG). ביתר פירוט, ניתן לבדוק את האותות החשמליים במוח הלומד בזמן אמת, בעת מתן משוב, ולראות את ההבדל בגלי ה-EEG בין ממוצע הניסיונות המוצלחים לממוצע הניסיונות הלא מוצלחים שלו בעת ביצוע מטלה מוטורית. ההפרש בין הממוצע של האות החשמלי המוצלח והלא מוצלח נקרא חיוביות התגמול (reward positivity) (Proudfit, 2015). חיוביות התגמול היא מדד למידת החיזוק שנשלח מגרעיני הבסיס (Basal ganglia) לקליפת המוח הקדמית. גרעיני הבסיס עושים שימוש במערכת הדופמין במוח התיכון כדי להעביר את מסר שגיאת חיזוי התגמול לקליפת המוח הקדמית, ושם היא מאפשרת שינוי בהתנהגות הלומד. שגיאת חיזוי התגמול וחיוביות התגמול רגישות לערך התגמול ולהסתברות לקבלת תגמול זה: כאשר נוצרת שגיאת חיזוי גדולה, יוביל הדבר לחיוביות תגמול גדולה ובהתאם לכך לשחרור גדול יותר של דופמין אשר יוביל תאורטית לשמירה ארוכת-טווח של אותה התנהגות (Holroyd & Yeung, 2012).

שגיאות ניבוי חיזוק הן אפוא המנגנון המרכזי ללימוד מיומנויות מוטוריות, וככל ששגיאות אלה יהיו גדולות יותר (בטווח מסוים של שגיאה שמעודד תיקון), כך תהיה הלמידה יעילה יותר. אנו משערים כי שגיאות אלו מהוות משתנה מתערב בהשפעה של משוב שלילי וחיובי על ביצוע ועל למידה של מטלות מוטוריות.

רצינות המחקר, מטרות והשערות

על בסיס סקירת המחקרים, בכמה מהם נמצא כי משוב חיובי משפר ביצוע של מיומנויות מוטוריות בעוד שמחקרים אחדים הצביעו על כך ששוב חיובי אינו משפר

ביצוע של מיומנויות מוטוריות. אחד הגורמים שיכולים להסביר את ההבדלים בין תוצאות המחקרים הוא גודל שגיאת הניבוי שעשוי לנבוע מדרגת קושי המטלה. במטלות ברמת קושי נמוכה או בינונית, ייתכן ששגיאת הניבוי אינה מספיק גדולה על מנת לגרום לשיפור, ולכן המטרה הראשונה של המחקר הנוכחי היא לבחון את השפעת המשוב החיובי והשלילי על מטלות מוטוריות ברמות קושי שונות, כך שגודל שגיאת הניבוי צפוי להיות שונה, לא רק בתנאי אימון שבהם המיומנות המוטורית נרכשת, אלא גם בשלב השחזור (Holroyd & Coles, 2002; Losh et al., 2019). השערות המחקר הן אלו: (א) התפיסה הסובייקטיבית של קושי המטלה תהיה גבוהה יותר במטלה הקשה לעומת המטלה הקלה; (ב) במטלה קשה יחסית, קבוצת המשוב החיובי תבצע טוב יותר בשלב הרכישה ובשלב השחזור בהשוואה לקבוצת המשוב השלילי ולקבוצת הביקורת; (ג) במטלה קלה יחסית, קבוצת המשוב השלילי תבצע טוב יותר בשלב הרכישה ובשלב השחזור ביחס לקבוצת המשוב החיובי ולקבוצת הביקורת.

שיטה

הניסוי כלל שלוש קבוצות: קבוצה אחת שקיבלה משוב חיובי בלבד, קבוצה שנייה שקיבלה משוב שלילי בלבד, וקבוצת ביקורת שלא קיבלה כלל משוב. משתתפי הקבוצות ביצעו, באמצעות מחשביהם הביתיים, שלוש מטלות ברמות קושי שונות על מנת ליצור שגיאות ניבוי ברמות שונות. הניסוי תוכנן בעזרת תוכנה אינטרנטית מבוססת ענן (www.gorilla.sc) (Anwyl-Irvine et al., 2020), והוא מבוסס על ביצוע מטלה מוטורית מתמשכת הדורשת דיוק.

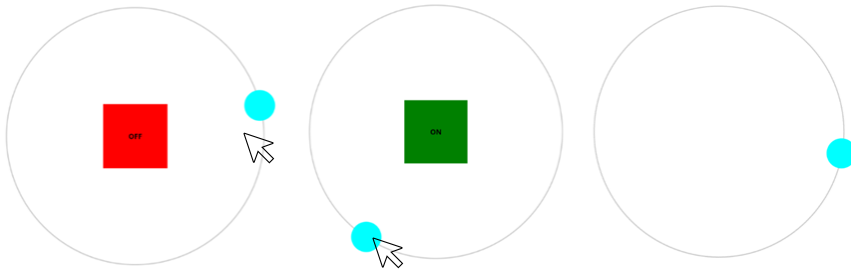
משתתפים

מאה ושלושה-עשר סטודנטים (60 בנות ו-53 בנים) לחינוך גופני השתתפו במחקר. מספר המשתתפים חושב על מנת להשיג עוצמה סטטיסטית של 80% למציאת הבדלים בין קבוצות על פי גודל אפקט בינוני ($Cohen's f = .025$) ($\alpha = .05$). ארבעה משתתפים הוצאו עם סיום המחקר מתהליך ניתוח הנתונים משום שתוצאותיהם לא עמדו בקריטריונים שהגדרנו מראש לזמן שהייה במטרה. קריטריונים אלו כללו שני עקרונות. האחד, זמן שהייה הנמוך משלוש סטיות תקן מממוצע זמני שהייה של כלל המשתתפים, והשני, זמן שהייה קצר יותר מזמן שהייה כאשר העכבר אינו זז כלל ולמעשה שוהה בתוך המטרה רק כאשר היא מגיעה אליו. זמני שהייה שחרגו מהגובה מבין שני עקרונות אלו הוצאו מקובץ הנתונים. המשתתפים חולקו אקראית לשלוש קבוצות: בקבוצת הביקורת היו 37 משתתפים (19 נשים), בקבוצת המשוב החיובי היו 37 משתתפים (20 נשים) ובקבוצת המשוב השלילי היו 35 משתתפים (18 נשים). התוכנה ביצעה חלוקה אקראית רבודה בצורה אוטומטית, כך שכל שישה משתתפים חולקו אקראית לשלוש קבוצות המחקר. כך נשמר האיזון בחלוקה לקבוצות המחקר במהלך הניסוי.

מטלת המחקר

המטלה המוטורית שביצעו המשתתפים במחקר היא ה-Rotary Pursuit Task, מטלת מעקב אחר מטרה הנעה על תוואי של מעגל על מסך המחשב. המשתתפים התבקשו לעקוב עם הסמן בעזרת עכבר המחשב אחר מטרה מעגלית ברדיוסים שונים, שנעה על היקף מעגל ברדיוס של 250 פיקסלים. כל ניסיון נמשך 12

שניות ובמהלכו הסתובבה המטרה על היקף המעגל שלוש פעמים (ארבע שניות לסיבוב). המטלה יכולה להיות מבוצעת ללא משוב (ראו איור 1, חלק א), עם משוב חיובי כאשר העכבר עוקב אחר המטרה (איור 1, חלק ב) או עם משוב שלילי כאשר העכבר נמצא מחוץ למטרת המעקב (איור 1, חלק ג). המשוב ניתן למשתתפים באופן חזותי ובזמן אמת במהלך כל התנועה. תוקף המטלה נבחן בשני מחשבים שונים (ראו נספח 1). למטלה היו שלוש רמות קושי: (א) קלה: במטלה זו רדיוס המטרה היה 40 פיקסלים; (ב) בינונית: במטלה זו רדיוס המטרה היה 30 פיקסלים; (ג) קשה: במטלה זו רדיוס המטרה היה 20 פיקסלים.



איור 1: מטלת המחקר בהתאם לקבוצות המשוב

מטרת המשתתף היא לעקוב עם העכבר אחר המעגל הכחול הנע על פני קו המעגל האפור. * (א) המשתתף אינו מקבל משוב כלל על ביצוע המטלה שלו; (ב) המשתתף מקבל משוב חיובי (סימן ירוק) כאשר העכבר עוקב אחר המטרה; (ג) המשתתף מקבל משוב שלילי (סימן אדום) כאשר העכבר נמצא מחוץ למטרה.

גודל הרדיוס ברמות הקושי השונות נבחר על סמך בדיקה מקדימה שביצענו. בבדיקה זו עשרה משתתפים (שלא השתתפו במחקר עצמו) התנסו במטלה ברדיוסים שונים ונבחנו אחוז ההצלחה בהם בכל אחד מהגדלים. עבור המטלה הקלה אחוז ההצלחה הנבחר היה כ-60%-70%, עבור המטלה הבינונית אחוז ההצלחה הנבחר היה כ-45%-55%, ועבור המטלה הקשה אחוז ההצלחה הנבחר היה כ-20%-30%.

הליך המחקר

לכל משתתף נשלח קישור לאתר המחקר, והוא ביצע את המטלה על מחשבו האישי. בתחילת המחקר מילאו המשתתפים טופס הסכמה מדעת. לאחר מכן התחיל מבחן מקדים שבו הם ביצעו את המטלה חמש פעמים בכל אחת מרמות הקושי. לאחר שלב זה עברו המשתתפים לשלב האימון. שלב זה נמשך שלושה ימים כאשר בכל יום הם ביצעו 24 חזרות עם הפסקה של חמש שניות ביניהן. מבין 24 החזרות, שמונה חזרות בוצעו ברמה קלה, שמונה חזרות ברמה בינונית, ושמונה חזרות ברמה קשה. סדר המטלות אוזן בין המשתתפים (counterbalanced). הפרש הזמן בין שלושת ימי האימון היה 24-48 שעות. בסך הכול ביצעו המשתתפים 24 חזרות בכל אחת משלוש רמות הקושי של המטלה. לוח 1 מתאר את שלבי הניסוי ואת מספר החזרות בכל אחד ממפגשי האימון.

לוח 1: שלבי הניסוי ותוכני המפגשים

שלב	אימון	תכנים
מבחן מקדים		חמש חזרות בכל אחת משלוש רמות הקושי
האימון	אימון 1	
	אימון 2	24 חזרות בכל אחד מהאימונים
	אימון 3	שמונה חזרות בכל אחת משלוש דרגות הקושי
מבחן שחזור		חמש חזרות בכל אחת משלוש רמות הקושי

האימון בוצע על פי השיוך לקבוצות המחקר. קבוצת המשוב החיובי קיבלה משוב רק כאשר העכבר נמצא בתוך המטרה הנעה בתוואי העיגול. קבוצת המשוב השלילי קיבלה משוב רק כאשר העכבר לא נמצא בתוך העיגול. קבוצת הביקורת לא קיבלה משוב כלל. בניגוד למחקרים קודמים שבהם נוטרל המשוב העצמי, על מנת להגדיל את התוקף הסביבתי במחקר הנוכחי לא נוטרל המשוב העצמי. בכל אחד מימי האימון, בסיום שמונה החזרות ברמת קושי מסוימת, התבקשו המשתתפים לומר עד כמה הייתה קשה להם המטלה בסולם של 1 (קלה מאוד) עד 10 (קשה מאוד). מבחן שחזור בוצע יומיים לאחר סיום יום האימון השלישי. במבחן זה ביצעו המשתתפים 15 חזרות (חמש חזרות בכל רמת קושי) ללא משוב. גם במבחן זה אוזן סדר המטלות בין משתתפי המחקר.

משתני המחקר

במחקר זה נמדדו שלושה משתנים תלויים: האחד, מספר השניות שבהן המשתתף עקב כהלכה אחר המטרה הנעה בקו המעגל; השני, מספר היציאות של המשתתף מהמעגל בכל ניסיון; השלישי, תפיסת קושי המטלה: בסיום כל אחד משלושת ימי האימון התבקשו המשתתפים לומר עד כמה קשה הייתה להם כל מטלה בסולם של 1 (קלה מאוד) עד 10 (קשה מאוד).

ניתוח סטטיסטי

הניתוחים הסטטיסטים מוצגים בהתאם להשערות הניסוי:

השערה 1 – תפיסת קושי המטלה. בוצע ניתוח שונות תלת-כיווני (קבוצה [חיובי/שלילי/ביקורת] X רמת קושי [קל/בינוני/קשה] X אימון [ראשון/שני/שלישי]), עם מדידות חוזרות על גורם רמת הקושי ועל גורם האימון.

השערות 2 ו-3 – הבדלים במדדי ביצוע. על מנת לבחון השערות אלו בוצעו כמה ניתוחים סטטיסטיים: כדי לבחון את ההבדלים במבחן השחזור בוצעו ניתוחי שונות דו-כיווניים (קבוצה [חיובי, שלילי, ביקורת] X רמת קושי [קל, בינוני, קשה]), עם מדידות חוזרות על גורם רמת הקושי וזמן השהייה בתוך המטרה או מספר היציאות מהמטרה במבחן הקדם כמשתנה מתערב. בחרנו במשתנים אלו כמשתנים מתערבים על מנת לוודא שהממצאים מושפעים מההתערבות בלבד ולא מההבדלים בין קבוצות המחקר עוד בטרם ביצעו ההתערבות. במטרה לנתח את הביצועים בשלב רכישת

המטלה בוצעו ניתוחי שונות תלת-כיווניים (קבוצה [חיובי/שלילי/ביקורת] X רמת קושי [קל/בינוני/קשה] X אימון [ראשון/שני/שלישי]), עם מדידות חוזרות על גורם רמת הקושי ועל גורם האימון. בניתוחי שונות אלו, במידת הצורך, בוצע תיקון על שם גרינהאוס-גייזר ל-Sphericity. לכל הגורמים ולכל האינטראקציות המובהקות בוצעו ניתוחים משלימים על שם בונפרוני. גודל אפקט מתאים דווח לכל ניתוח סטטיסטי (לניתוחי השונות – partial eta squared, למבחני t ולהשוואות פוסט-הוק רלוונטיות – Cohen's d). רמת המובהקות הסטטיסטית לכל המבחנים הייתה 0.05.

ממצאים

הממצאים מוצגים בנפרד עבור מבחן השחזור, שלב הרכישה ותחושת הקושי הסובייקטיבית.

מבחן השחזור

זמן השהייה בתוך המטרה

בניתוח שונות דו-כיווני (קבוצה [חיובי, שלילי, ביקורת] X רמת קושי [קל, בינוני, קשה]), עם מדידות חוזרות על גורם רמת הקושי וזמן השהייה בתוך המטרה במבחן הקדם כמשתנה מתערב, גורם רמת הקושי נמצא מובהק לאחר תיקון על שם גרינהאוס-גייזר, $F(1.76, 177.39) = 15.88, p < .001, \eta^2_p = 0.14$. לגורם זה בוצע ניתוח משלים על שם בונפרוני, ונמצא כי קיים הבדל מובהק בין כל רמות הקושי ($p < .001$), כך שזמן השהייה הממוצע הגבוה ביותר בתוך המטרה היה ברמת הקושי הקלה, לאחר מכן ברמת הקושי הבינונית ולבסוף ברמת הקושי הקשה, כפי שניתן לראות בלוח 2.

לוח 2: ממוצע זמני השהייה (באלפיות השנייה) בתוך המטרה בדרגות הקושי השונות ובקבוצות השונות במבחן השחזור

קבוצה	קל	בינוני	קשה
משוב חיובי	1,862.85 ± 8,344.34	1,955.72 ± 6,635.65	1,359.23 ± 3,777.79
משוב שלילי	627.55, 1 ± 051.51, 9	1,690.86 ± 7,135.81	1,488.7 ± 4,527.62
ביקורת	7,485.61 ± 2195.61	5,737.96 ± 1887.42	3,216.98 ± 1,137.42
ממוצע'	8,286.74 ± 1,999.86	6,504.35 ± 1,914.19	3,841.94 ± 1,422.82

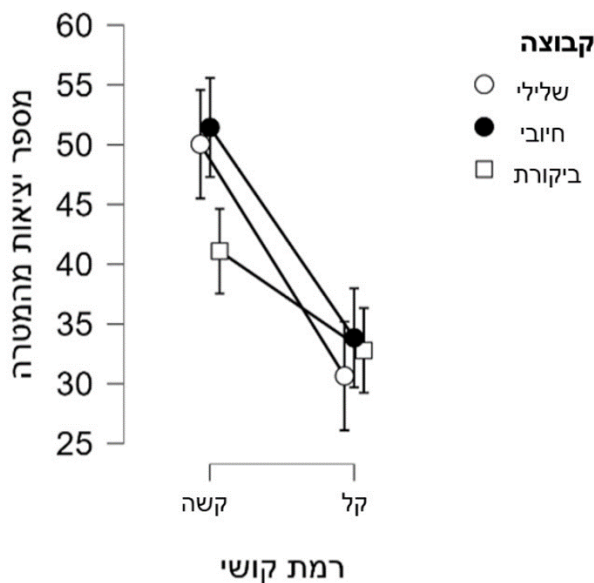
* הבדלים בין כל רמות הקושי מובהקים ($p < .001$). גודלי אפקט: קל לעומת בינוני: Cohen's d = 1.25, קל לעומת קשה: Cohen's d = 3.10, בינוני לעומת קשה: Cohen's d = 1.85.

כמו כן, גורם הקבוצה נמצא מובהק, $F(2, 101) = 3.74, p = .03, \eta^2_p = 0.07$. בניתוח משלים על שם בונפרוני נמצא כי קיים הבדל מובהק בזמן השהייה במטרה בין קבוצת המשוב השלילי (6,904.98 ± 1,489.98 msec) לקבוצת הביקורת

המשוב החיובי (5,480.18 ± 1,585.90 msec, $p = .04$, Cohen's $d = 0.56$) לא לקבוצת המשוב החיובי (6,244.65 ± 1,638.87 msec, $p = 1.00$, Cohen's $d = 0.13$). ההבדל בין קבוצת המשוב החיובי לקבוצת הביקורת לא היה מובהק, אך גודל האפקט היה בינוני ($p = .12$, Cohen's $d = 0.44$). לא נמצאה אינטראקציה בין גורם הקבוצה לגורם רמת הקושי, $F(3.51, 177.39) = 0.49$, $p = .72$, $\eta^2_p = 0.01$.

מספר היציאות מהמטרה

בניתוח שונות דו-כיווני (קבוצה X רמת קושי), עם מדידות חוזרות על גורם רמת הקושי ומספר היציאות מהמטרה במבחן הקדם כמשתנה מתערב, נמצאה אינטראקציה מובהקת בין גורם רמת הקושי לגורם הקבוצה לאחר תיקון על שם גרינהאוס-גייזר, $F(3.39, 171.15) = 3.79$, $p = .009$, $\eta^2_p = 0.07$. על מנת למצוא את מקור האינטראקציה בוצעו ניתוחי שונות דו-כיווניים בין כל שתי רמות קושי. ניתוחים אלו הראו אינטראקציה מובהקת בין הקבוצות בין רמת הקושי הקלה לקשה, $F(2, 102) = 4.86$, $p = .01$, $\eta^2_p = 0.09$ (ראו איור 2).



איור 2: האינטראקציה בין גורם רמת הקושי (קל לעומת קשה) לגורם הקבוצה במספר היציאות מהמטרה במבחן השחזור (קווי השגיאה מייצגים רווח בר-סמך ברמה של 95%).

בניתוח משלים על שם בונפרוני נמצא שברמת הקושי הקשה ביצעה קבוצת הביקורת טוב יותר מקבוצת המשוב החיובי, ואילו ברמת הקושי הקלה לא היה הבדל בין הקבוצות. עוד נמצא כי בין קבוצת המשוב השלילי לקבוצת הביקורת ובין קבוצת המשוב החיובי לקבוצת המשוב השלילי לא נמצא הבדל מובהק גם ברמה הקשה וגם ברמה הקלה (ראו ממצאים בלוח 3).

לוח 3: היציאות מהמטרה ברמת הקושי הקלה והקשה בקרב משתתפי הקבוצות

קבוצות	קלה	קשה
חיובי וביקורת	0.04	10.5
	$p = 1.00$, Cohen's $d = 0.00$	$p = .02$, Cohen's $d = 0.8$
חיובי ושלילי	1.23	5.72
	$p = 1.00$, Cohen's $d = 0.09$	$p = 1.00$, Cohen's $d = 0.43$
שלילי וביקורת	1.19	4.78
	$p = 1.00$, Cohen's $d = 0.09$	$p = 1.00$, Cohen's $d = 0.36$

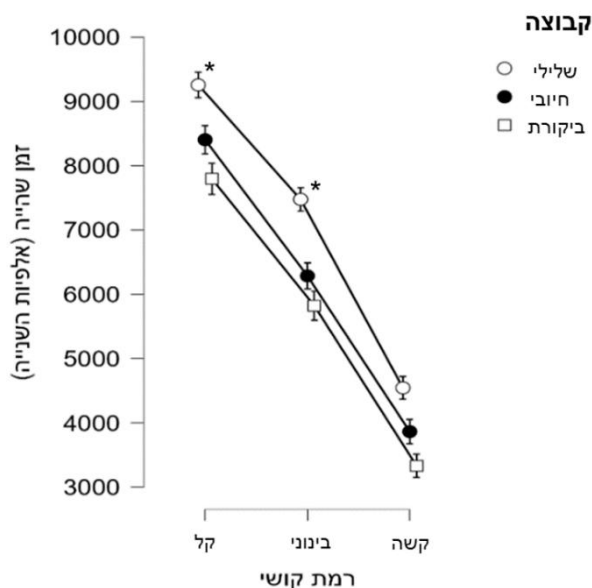
לא נמצאה אינטראקציה בין הקבוצות בין רמת הקושי הקלה לבינונית, $F(2, 102) = 2.97, p = .06, \eta^2_p = 0.06$, או בין רמת הקושי הבינונית לקשה, $F(2, 103) = 2.04, p = .14, \eta^2_p = 0.04$ הקושי לאחר תיקון על שם גרינהאוס-גייזר, $F(1.67, 171.15) = 0.54, p = .55, \eta^2_p = 0.005$, ולא נמצאה מובהקות בגורם הקבוצה $F(2, 101) = 2.28, p = .11, \eta^2_p = 0.04$.

זמן השהייה הגבוה ביותר היה אפוא ברמת הקושי הקלה, לאחר מכן בבינונית ולבסוף בקשה. כמו כן, זמן השהייה במטרה בקבוצת המשוב השלילי היה ארוך יותר מזה של קבוצת הביקורת. עם זאת, חשוב לציין שעל אף שלא נמצא הבדל מובהק בין קבוצת המשוב החיובי לקבוצת הביקורת, גודל האפקט נמצא בינוני. בנוגע למשתנה מספר היציאות מהמטרה, נמצאה אינטראקציה בין הקבוצות ובין רמות הקושי כך שברמת הקושי הקשה קבוצת הביקורת יצאה פחות מהמטרה בהשוואה לקבוצת המשוב החיובי. לעומת זאת, ברמת הקושי הקלה לא היה הבדל זה מובהק.

שלב הרכישה

זמן השהייה בתוך המטרה

בניתוח שונות תלת-כיווני (קבוצה [חיובי/שלילי/ביקורת] X רמת קושי [קל/בינוני/קשה] X אימון [ראשון/שני/שלישי]) עם מדידות חוזרות על גורם רמת הקושי ועל גורם האימון נמצאה אינטראקציה מובהקת בין גורם הקבוצה לגורם רמת הקושי, $F(4, 408) = 2.48, p = .045, \eta^2_p = 0.05$. בניתוח משלים על שם בונפרוני נמצא שברמות הקושי הקלה והבינונית, קבוצת המשוב השלילי שהתה במטרה זמן ארוך יותר ביחס לקבוצת הביקורת. אולם, ברמת הקושי הקשה לא היו הבדלים בין הקבוצות, כפי שניתן לראות באיור 3.



איור 3: האינטראקציה בין גורם הקבוצה לגורם רמת הקושי בזמן השהייה בתוך המטרה באימונים (קווי השגיאה מייצגים רווח בר-סמך ברמה של 95%).

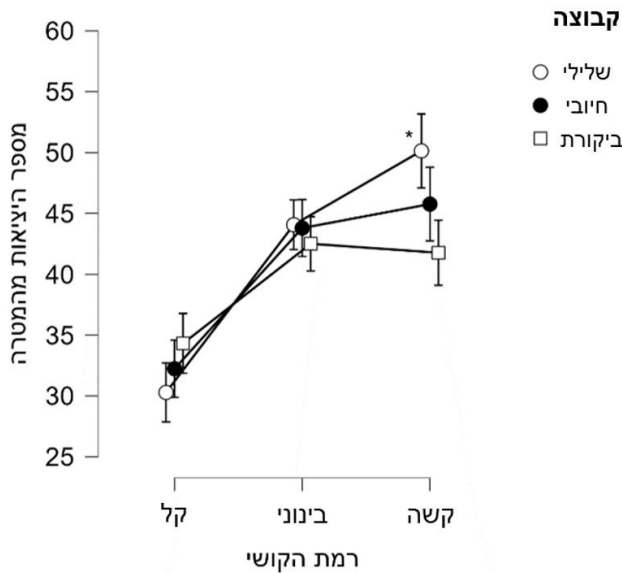
* הבדלים מובהקים בין קבוצת המשוב השליילי לקבוצת הביקורת. במטלה הקלה $p = .005$, Cohen's $d = 0.85$, במטלה הבינונית $p < .001$, Cohen's $d = 0.97$. אין הבדל מובהק במטלה הקשה, אולם גודל האפקט נמצא גבוה, $p = .05$, Cohen's $d = 0.71$.

כמו כן, גורם רמת הקושי נמצא מובהק, $F(2, 408) = 1,993.09$, $p < .001$, $\eta^2_p = 0.95$. לגורם זה בוצע ניתוח משלים על שם בונפרוני ונמצא כי קיים הבדל מובהק בין כל רמות הקושי ($p < .001$), כך שזמן השהייה הממוצע הגבוה ביותר בתוך המטרה היה ברמת הקושי הקלה, לאחר מכן ברמת הקושי הבינונית ולבסוף ברמת הקושי הקשה. יתר על כן, גם גורם הקבוצה נמצא מובהק, $F(2, 102) = 8.31$, $p < .001$, $\eta^2_p = 0.14$. בניתוח משלים על שם בונפרוני נמצא כי המשתתפים בקבוצת המשוב השליילי שהו במטרה למשך זמן ארוך יותר ($6,963.21 \pm 1,566.39$ msec) מקבוצת הביקורת ($5,591.06 \pm 1,422.98$ msec, $p < .001$, Cohen's $d = 0.84$) ומקבוצת המשוב החיובי ($6,176.88 \pm 1,510.73$ msec, $p = .04$, Cohen's $d = 0.53$). לא נמצא הבדל מובהק בין קבוצת המשוב החיובי לקבוצת הביקורת ($p = .39$, Cohen's $d = 0.31$). כמו כן, לא נמצאה מובהקות בגורם האימון, $F(2, 408) = 2.04$, $p = .13$, $\eta^2_p = 0.02$. לא נמצאה אינטראקציה בין גורם רמת הקושי, $F(4, 408) = 0.99$, $p = .41$, $\eta^2_p = 0.01$, לא נמצאה אינטראקציה בין גורם האימון לגורם הקבוצה, $F(4, 408) = 0.88$, $p = .48$, $\eta^2_p = 0.02$, ולא נמצאה

אינטראקציה משולשת מובהקת בין גורם האימון לגורם רמת הקושי ולגורם הקבוצה, $F(8, 408) = 1.06, p = .39, \eta^2_p = 0.02$.

מספר היציאות מהמטרה

בניתוח שונות תלת-כיווני (קבוצה X רמת קושי X אימון) עם מדידות חוזרות על גורם רמת הקושי ועל גורם האימון נמצאה אינטראקציה מובהקת בין גורם הקבוצה וגורם רמת הקושי לאחר תיקון על שם גרינהאוס-גייזר, $F(2.41, 351.63) = 5.69, p = .002, \eta^2_p = 0.10$ כי קיים הבדל במספר היציאות מהמטרה ברמת הקושי הבינונית בהשוואה לרמה הקשה בקבוצת המשוב השלילי ($p = .05, \text{Cohen's } d = 0.42$). הבדל זה לא נמצא בקבוצת הביקורת ($p = 1.00, \text{Cohen's } d = 0.05$) ובקבוצת המשוב החיובי ($p = 1.00, \text{Cohen's } d = 0.14$) (ראו איור 4).



איור 4: מספר היציאות מהמטרה בקבוצות השונות בדרגות הקושי השונות באימונים (קווי השגיאה מייצגים רווח בר-סמך ברמה של 95%).

* הבדל מובהק בין רמת הקושי הבינונית לקשה בקבוצת המשוב השלילי.

נוסף לכך נמצאה אינטראקציה מובהקת בין גורם האימון לגורם רמת הקושי $F(3.45, 351.63) = 4.63, p = .002, \eta^2_p = 0.04$ כי קיים הבדל מובהק במספר היציאות מהמטרה בין רמת הקושי הבינונית לקשה באימון השלישי ($p = 0.01, \text{Cohen's } d = 0.31$) וזאת בניגוד לאימון הראשון ($p = 1.00, \text{Cohen's } d = 0.07$) והשני ($p = 1.00, \text{Cohen's } d = 0.12$). גם גורם רמת הקושי נמצא מובהק, $F(1.21, 351.63) = 94.36, p < .001, \eta^2_p = 0.43$. לגורם זה בוצע ניתוח

משלים על שם בונפרוני ונמצא כי קיים הבדל מובהק בין רמת הקושי הקלה לבינונית ($p < .001$, Cohen's $d = -0.77$) ולקשה ($p < .001$, Cohen's $d = -0.94$), כך שמספר היציאות מהמטרה הגבוה ביותר היה ברמת הקושי הקשה, לאחר מכן ברמת הקושי הבינונית ולבסוף ברמת הקושי הקלה. לא נמצא הבדל מובהק בין רמת הקושי הבינונית לקשה ($p = .07$, Cohen's $d = 0.17$).

גורם הזמן לא נמצא מובהק, $F(2, 408) = 0.66$, $p = .52$, $\eta^2_p = 0.006$, כמו גם גורם הקבוצה $F(2, 102) = 0.36$, $p = .70$, $\eta^2_p = 0.007$. לא נמצאה גם אינטראקציה מובהקת בין גורם האימון לגורם הקבוצה, $F(3.82, 351.63) = 0.73$, $p = .73$, $\eta^2_p = 0.01$. לבסוף, לא נמצאה אינטראקציה משולשת מובהקת בין גורמי האימון, רמת הקושי והקבוצה, $F(6.9, 351.63) = 1.02$, $p = .41$, $\eta^2_p = 0.02$.

ניתוח תחושת הקושי הסובייקטיבית תחושת רמת הקושי

בניתוח שונות תלת-כיווני (קבוצה [חיובי/שלילי/ביקורת] X רמת קושי [קל/בינוני/קשה] X אימון [ראשון/שני/שלישי]), עם מדידות חוזרות על גורם רמת הקושי ועל גורם האימון, נמצא שגורם האימון היה מובהק, $F(2, 424) = 11.01$, $p < .001$, $\eta^2_p = 0.09$. בניתוח משלים על שם בונפרוני נמצא שקיים הבדל מובהק בתפיסת רמת הקושי בין האימון הראשון לשני ($p = .03$, Cohen's $d = 0.13$) ובין האימון הראשון לשלישי ($p = .001$, Cohen's $d = 0.23$), כך שתחושת רמת הקושי ירדה בין אימון לאימון. לא נמצא הבדל מובהק בתפיסת רמת הקושי בין האימון השני לשלישי ($p = .12$, Cohen's $d = 0.10$).

גורם רמת הקושי, $F(2, 424) = 0.37$, $p = .69$, $\eta^2_p = 0.003$ וגורם הקבוצה, $F(2, 106) = 2.38$, $p = .10$, $\eta^2_p = 0.04$ לא נמצאו מובהקים. נוסף לכך לא נמצאו אינטראקציות מובהקות בין גורם האימון לגורם הקבוצה, $F(4, 424) = 0.45$, $p = .77$, $\eta^2_p = 0.008$ ובין גורם רמת הקושי לגורם הקבוצה, $F(4, 424) = 0.29$, $p = .88$, $\eta^2_p = 0.005$. לבסוף, לא נמצאה אינטראקציה בין גורם האימון לגורם רמת הקושי, $F(3.68, 389.52) = 0.61$, $p = .64$, $\eta^2_p = 0.006$ ולא נמצאה אינטראקציה משולשת מובהקת בין גורם הקבוצה לגורם רמת הקושי ולגורם האימון, $F(7.35, 389.52) = 0.46$, $p = .87$, $\eta^2_p = 0.009$.

הקשר בין תחושת רמת הקושי לביצוע במבחן השחזור בכל אחת מהקבוצות

מתאמים חושבו בין ההערכות הסובייקטיביות לבין תוצאות הביצוע. מספר המתאמים המובהק הגדול ביותר נמצא בקבוצת המשוב החיובי (שמונה מתאמים), לאחר מכן בקבוצת הביקורת (שבעה מתאמים) ולבסוף בקבוצת המשוב השלילי (ארבעה מתאמים). כמו כן, לגבי סוג המשוב, במשתנה זמן ההשייה במטרה בכל רמות הקושי של המטלה נמצא מתאם שלילי, ואילו במשתנה מספר היציאות מהמטרה ניתן לראות שינויים בסוג המתאם בהתאם לרמת הקושי, כך שברמה הקלה והבינונית נמצא מתאם חיובי ואילו ברמה הקשה נמצא מתאם שלילי.

דיון

שתי מטרות למחקר הנוכחי: האחת, לבחון את השפעת המשוב החיובי והשלילי על ביצוע ולמידה של מטלות מוטוריות ממוחשבות ברמות קושי שונות, כך שגודל שגיאת ניבוי החיזוק של המבצע צפוי להיות שונה; השנייה, לבחון את ההשפעה של למידת חיזוק ושגיאת ניבוי חיזוק בשלב רכישת המטלה על יכולת למידת המטלה כפי שתימדד במבחן שחזור. השערות המחקר היו אלה: האחת, התפיסה הסובייקטיבית של קושי המטלה תהיה הגבוהה ביותר במטלה הקשה, לאחר מכן במטלה הבינונית ולבסוף במטלה הקלה; השנייה, במטלה קשה יחסית, קבוצת המשוב החיובי תבצע טוב יותר בשלב הרכישה ובשלב השחזור בהשוואה לקבוצת המשוב השלילי ולקבוצת הביקורת; והשלישית, במטלה קלה יחסית, קבוצת המשוב השלילי תבצע טוב יותר בשלב הרכישה ובשלב השחזור בהשוואה לקבוצת המשוב החיובי ולקבוצת הביקורת.

ממצאי המחקר תמכו חלקית בהשערות המחקר. ההשערה הראשונה הופרכה: לא נמצא הבדל בתפיסה הסובייקטיבית של קושי המטלה בין רמות הקושי השונות. ההשערה השנייה אוששה חלקית: במבחן השחזור במטלה הקשה, משתתפי קבוצת המשוב החיובי יצאו יותר מהמטרה ביחס למשתתפי קבוצת הביקורת. ריבוי יציאות מהמטרה מעיד על ריבוי כניסות למטרה – כלומר, ביצוע טוב יותר. עם זאת, במטלה הקשה לא נמצא הבדל בזמן שהייה במטרה בין הקבוצות השונות בשלב הרכישה ובמבחן השחזור. ההשערה השלישית אוששה חלקית גם היא: בשלב הרכישה ברמה הקלה והבינונית נמצא כי משתתפי קבוצת המשוב השלילי שהו זמן רב יותר במטרה בהשוואה לקבוצת הביקורת. עם זאת, במבחן השחזור לא נמצא הבדל בין הקבוצות ברמות הקושי השונות. מבחינת מספר יציאות מהמטרה, לא נמצא הבדל בין הקבוצות השונות ברמת הקושי הקלה גם בשלב הרכישה וגם במבחן השחזור.

זמן שהייה במטרה

במחקר הנוכחי נמצא כי קיים הבדל בזמן שהייה במטרה בין רמות הקושי השונות הן בשלב הרכישה והן במבחן השחזור. זמן שהייה הגדול ביותר היה ברמת הקושי הקלה, לאחר מכן בבינונית ולבסוף בקשה. עוד עלה ממחקר זה שמשתתפי קבוצת המשוב השלילי הצליחו לשהות זמן רב יותר במטרה ביחס למשתתפי קבוצת הביקורת גם בשלב הרכישה וגם במבחן השחזור, ובהשוואה למשתתפי קבוצת המשוב החיובי רק במבחן השחזור. ממצא זה סותר ממצאים שעלו ממחקרים קודמים שבהם דווח שמשווב חיובי עדיף על משווב שלילי הן בשלב הרכישה והן בשלב השחזור (ראו לדוגמה: Chiviacosky & Wulf, 2007; Chiviacosky et al., 2009; Eskreis-Winkler & Fishbach, 2019; Saemi et al., 2011; Saemi et al., 2012; Vallerand & Reid, 1988). לעומת זאת, לא נמצאו הבדלים מובהקים בין משתתפי קבוצת המשוב החיובי לבין משתתפי קבוצת הביקורת לאורך כל המחקר, אך גודל האפקט היה בינוני לטובת קבוצת המשוב החיובי במבחן השחזור (Cohen's $d = 0.44$).

ממצא זה תומך בטענה שאחת האסטרטגיות היעילות לחיזוק תהליכי למידה מוטורית היא השימוש במשוב (Saemi et al., 2012). המשוב נמצא מסייע להגברת דיוק התנועה, הוא מספק מסר מחזק ובהתאם לכך גם גורם לחזרה על הפעולה במטרה לקבל חיזוק נוסף או מנגד מספק מידע ללומד, המאפשר לו לשנות את תגובתו

הקודמת (Mory, 2004). כמו כן, בשלב הרכישה נמצאה אינטראקציה בין רמת הקושי לסוג המשוב כך שברמת הקושי הקלה והבינונית היה יתרון למשתתפי קבוצת המשוב השלילי בהשוואה למשתתפי קבוצת הביקורת. יתרון זה נעלם במטלה הקשה. ממצא זה עולה בקנה אחד עם ההשערה שברמת הקושי הקלה משוב שלילי יוביל לתוצאות טובות משום ששגיאות ניבוי חיזוק גדולות יותר מסייעות בגיבוש ההתנהגות (Lohse et al., 2019). ואכן, במטלה הקלה, כאשר למשתתפי המחקר הייתה ציפייה להצלח, המשוב השלילי הוביל לשגיאת ניבוי גדולה.

יציאות מהמטרה

במחקר זה נמצאה אינטראקציה בין סוג המשוב לבין רמות קושי המטלה גם בשלב הרכישה וגם במבחן השחזור. בשלב הרכישה אינטראקציה זו באה לידי ביטוי בכך שרק משתתפי הקבוצה שקיבלו משוב שלילי יצאו פעמים רבות יותר מהמטרה ברמה הקשה בהשוואה לרמה הבינונית. הבדל זה מחזק את השערתנו כי משוב שלילי עוזר פחות ברמה הקשה מכיוון ששגיאת הניבוי היא קטנה יחסית, ומובילה ללמידה טובה פחות (Lohse et al., 2019). בניגוד לכך, במבחן השחזור ההבדל בין הקבוצות ברמות הקושי התבטא בצורה אחרת: ברמת הקושי הקשה, משתתפי קבוצת הביקורת ביצעו טוב יותר ממשתתפי קבוצת המשוב החיובי ואילו ברמת הקושי הקלה לא היה הבדל בין הקבוצות. ממצא זה סותר את השערתנו, מאחר שהנחנו שברמה הקשה משוב חיובי יגרום לשגיאת ניבוי גדולה יותר ובהתאם לכך ללמידה טובה יותר (Lohse et al., 2019). ממצא זה סותר גם ממצאים קודמים שהראו כי מידע על פעולות מוצלחות וכושלות מאפשר ללומד לכוון את מאמציו כך שיתאימו למטרה הרצויה (Bandura, 1991; Chiviacowsky & Wulf, 2007; Saemi et al., 2012). ניתן להסביר סתירה זו בכך שמשנתנה זה – מספר היציאות מהמטרה – אינו משקף בצורה טובה הצלחה בביצוע. לכאורה היינו מצפים שמספר יציאות נמוך מהמטרה יעיד על ביצוע מוצלח יותר, אך מצב זה יכול אף להעיד על מספר קטן של כניסות למטרה. בהשוואה למשתנה זה, זמן השהייה במטרה הוא משתנה המעיד בצורה טובה יותר על איכות הביצוע. ואכן, מממצאי מחקר זה עולה כי זמן השהייה במטרה בקרב משתתפי קבוצת המשוב השלילי היה ארוך יותר בהשוואה למשתתפי קבוצת הביקורת.

ההערכה הסובייקטיבית של רמות הקושי

רמות קושי

במחקר הנוכחי לא נמצא הבדל בהערכת הקושי הסובייקטיבית של המשתתפים את רמות הקושי השונות של המטלה. ממצא זה סותר את השערתנו הראשונה, הגורסת כי התפיסה הסובייקטיבית של קושי המטלה תהיה גבוהה יותר במטלה הקשה בהשוואה למטלה הקלה. אחד ההסברים האפשריים לממצא זה הוא שהמשתתפים במחקר האינטרנטי הנוכחי ביצעו את המטלה על המחשב האישי שלהם בסביבה שהם בחרו. במחקר שכזה קשה לשלוט על פעולות המשתתפים וייתכן שהם סימנו שרירותית את רמת הקושי מבלי להקדיש לכך תשומת לב רבה. הסבר אפשרי נוסף לממצא זה הוא שהערכת הקושי הסובייקטיבית אינה בהכרח קשורה ישירות לקושי הנומינלי של המשימה, אלא משקפת את כמות המשאבים שהושקעה בה, כך שמשתתף שהשקיע יותר במטלה יתפוס אותה כקשה יותר בהשוואה למשתתף שהשקיע בה פחות. אם כך, הקושי הנתפס אינו שיפוט של קושי המשימה,

אלא הערכה של כמות המאמץ שהושקעה במטלה כדי להגיע לרמה נתונה של ביצועים (Delignières & Famose, 1992).

ימי האימון

ככל שהתקדמו האימונים, תפסו המשתתפים את רמת הקושי כנמוכה יותר, בעיקר בין האימון הראשון לאימון השני. ממצא זה עולה שככל שהמבצעים מיומנים יותר במטלה, כך הם תופסים אותה כקלה יותר. ממצא זה תומך בטענה של בראטפיש ואחי' (Bratfisch et al., 1970), שירידה בהערכת הקושי הסובייקטיבית היא תוצר של למידה. מטרת מחקרם הייתה לזהות את השינויים בתפיסת הקושי הסובייקטיבית של המשתתפים בעקבות אימון קצר. מטלת המחקר הייתה מעבר במבוך תיל פשוט בעזרת שתי הידיים, כאשר המשתנה היחיד שנמדד הוא זמן הביצוע. המשתתפים ביצעו שבעה ניסיונות רצופים במטלה, כאשר לאחר כל ניסיון הם התבקשו להעריך את רמת הקושי שלה. נמצא כי הערכת הקושי הסובייקטיבית ירדה ב-48% מהערך ההתחלתי. במחקר שלנו לא נמצאו הבדלים בין הקבוצות השונות בתפיסת רמת הקושי הסובייקטיבית, ומכאן עולה שמתן המשוב לא השפיע על תפיסת רמת הקושי של המשתתפים.

הקשר בין ההערכה הסובייקטיבית של רמות הקושי לבין הביצוע בפועל במבחן השחזור

הקשרים העיקריים שנמצאו במחקר זה הם בין הערכת הקושי הסובייקטיבית אחרי האימון השני והשלישי ברמת הקושי הקשה לבין הביצועים ברמות הקושי השונות, בעיקר בקבוצת הביקורת ובקבוצת המשוב החיובי. נוסף על כך, וכפי שהנחנו, נמצא יחס הפוך בין ההערכה הסובייקטיבית לבין זמן השהייה במטרה: ככל שתפיסת רמת הקושי הסובייקטיבית של המשתתף הייתה גבוהה יותר, כך זמן השהייה שלו במטרה היה נמוך יותר. לעומת זאת, במשתנה מספר היציאות מהמטרה ניתן להבחין בקשר מורכב יותר, משום שלעיתים ניתן לראות יחס ישר ולעיתים יחס הפוך בין תפיסת הקושי לבין מספר היציאות מהמטרה. במבט ראשון ממצא זה תמוה מאחר שהיינו מצפים לראות יחס ישר המצביע על כך שככל שהערכת הקושי הסובייקטיבית גבוהה יותר, כך המשתתפים יצאו יותר מהמטרה. אך כפי שהסברנו קודם לכן, מספר היציאות מהמטרה אינו משתנה המעיד בהכרח על הצלחה או על כישלון בביצוע. ההסבר לכך הוא שמאחר שלפני שיוצאים מהמטרה יש צורך תחילה להיכנס אליה, ולכן אם המטלה קשה, ייתכן שלא נצליח אפילו להיכנס אליה, וביטוי לזאת יהיה מספר נמוך של יציאות מהמטרה על אף שמדובר בביצוע חלש יותר. בהתאם לכך ניתן לראות כי היחס בין הערכת הקושי הסובייקטיבית לבין מספר היציאות מהמטרה אכן היה ישר ברמת הקושי הקלה והבינונית ואילו ברמה הקשה היחס היה הפוך. קשר מורכב זה תומך בהשערה השנייה שלנו, שלפיה במטלה קשה יחסית קבוצת המשוב החיובי תבצע טוב יותר ביחס לקבוצת הביקורת מכיוון שעל אף שבמבחן השחזור ברמה הקשה קבוצת המשוב החיובי יצאה יותר פעמים מהמטרה בהשוואה לקבוצת הביקורת, עדיין היא ביצעה טוב יותר ממנה.

בקבוצת המשוב השלילי מספר המתאמים בין ההערכה הסובייקטיבית לתוצאות הביצוע במבחן השחזור היו מועטים בהשוואה לקבוצת המשוב החיובי ולקבוצת הביקורת. ניתן להסיק מכך כי משוב שלילי פגע בהערכת הקושי הסובייקטיבית של המשתתפים. ממצא זה עולה בקנה אחד עם הממצאים של סאמי

וחבריו (Saemi et al., 2012), שהראו כי משוב שלילי בהשוואה למשוב חיובי פוגע בתחושת המסוגלות העצמית של הלומד.

סוג המשוב

במחקר הנוכחי נעשה שימוש במשוב מקביל ומתמשך. נראה שמשוב זה יעיל ללמידה מוטורית מכיוון שהוא מנחה את הלומד לתגובה נכונה, ממזער שגיאות ושומר על דפוסי התנהגות נכונים. עם זאת, רק לעיתים רחוקות הישגי הביצועים במהלך התרגול מועברים למבחני שימור או העברה, שבהם לא ניתן משוב ללומדים (Schmidt & Wulf, 1997). לפיכך, משוב מקביל ומתמשך משפר את הביצועים במהלך התרגול רק כאשר המשוב קיים, אך אינו תורם ללמידה ואף עלול לפגוע בה, כפי שעולה במבחני שחזור והעברה (Annett, 1959, 1969; Couvillion et al., 2020;) (Karlín & Mortimer, 1963; Kohl & Shea, 1995; Schmidt, 1991), שלפיה, אם הלומד מודרך על ידי מתן מידע מוגבר (משוב), הוא מפתח תלות במידע המביאה לירידה בביצועיו כאשר המשוב אינו זמין יותר (Barrios et al., 2019; Shea & Wulf, 1999; Von Lindern & Fairbrother, 2022). הסבר נוסף להשפעה שלילית זו הוא שהמשוב הניתן במהלך התרגול מסיח את תשומת הלב של הלומד מהשימוש במשוב פנימי, משוב הניתן על ידי הלומד עצמו במהלך הביצוע ולאחריו. עבור רוב המשימות המדווחות בספרות, העוסקת בגורמי אנוש, נראה כי משוב מקביל ככל הנראה מחליש את תהליך הלמידה של תהליכים המובילים לטיפוח של ביצועי שחזור ו/או העברה יעילים ומשמעותיים לתפקוד בעולם האמיתי (Schmidt & Wulf, 1997). עם זאת, נמצאו כמה מחקרים שבהם דווח שמשוב מקביל שיפר לא רק את הביצועים אלא גם את הלמידה (לטווח ארוך) (Shea & Wulf, 1999; Yamamoto et al., 2022). כיוון שלא בכל המחקרים משוב במקביל הועיל ללמידה כמו מתן משוב לאחר הביצוע, ומשום שבמחקר שלנו נעשה שימוש במשוב זה, ייתכן שתזמון המשוב השפיע על הממצאים. בעקבות זאת יש צורך לבצע מחקר נוסף ולספק בו משוב רק בסוף הביצוע ולא במהלכו על מנת לבדוק ביעילות גבוהה יותר את השפעת המשוב כתלות בשגיאת הניבוי.

מגבלות המחקר

למחקר זה כמה מגבלות. האחת, הוא בוצע מרחוק ברשת האינטרנט, והמשתתפים נטלו בו חלק ממחשביהם הפרטיים. סוג זה של מחקר עלול להביא לידי פגיעה במחויבות וברצינות של המשתתפים. בעוד שהיעדר הפיקוח על המשתתפים שגויסו באינטרנט בהחלט מדאיג, יש לזכור שגם מחקר הנערך פיזית במעבדה לא בהכרח מבטיח משתתפים קשובים. העובדה שממצאי מחקרי מעבדה רבים שוחזרו במחקרים אינטרנטיים מעידה על כך שהבעיות השונות במחקר מקוון ובמחקר מעבדה עשויות להשפיע באופן דומה על התוצאות (ראו: Woods et al., 2015). עם זאת, ניסינו להתמודד עם מגבלה זו בשתי דרכים: האחת, גודל המדגם הגדול יחסית והשנייה, הוצאת משתתפים מהמחקר (בשלב ניתוח הנתונים), שהשיגו תוצאות חריגות המעידות על חוסר שיתוף פעולה מצידם.

המגבלה השנייה במחקר זה היא השימוש במשתנה היציבות בביצוע (מספר יציאות מהמטרה) כמדד לאיכות הביצוע. משתנה זה אינו רגיש דיו למציאת ההבדלים בביצוע מאחר שהוא אינו חד-ערכי. מספר יציאות גבוה מהמטרה ברמה

קלה יכול להצביע על ביצוע חלש מאחר שהמשתתף אינו מצליח להישאר על המטרה, ומנגד ברמה קשה הוא דווקא יכול להעיד על ביצוע טוב משום שהמשתתף אכן הצליח להיכנס אל המטרה פעמים רבות. עם זאת משתנה זה אפשר לנו לראות הבדלים בביצוע ברמות הקושי השונות בצורה המתיישבת עם השערות המחקר.

מגבלה שלישית היא קושי המטלה. קושי המטלה נקבע בהתאם לגודל המטרה אשר חושב על ידי מספר פיקסלים. מאחר שכל משתתף ביצע את המטלה על המחשב האישי שלו, לא ברור שצפיפות הפיקסלים בכל מחשב זהה, ולכן ייתכן שהגודל האבסולוטי של המטרות היה שונה בין הנבדקים. זאת ועוד, מכיוון שקושי הוא גורם סובייקטיבי, ייתכן שרמות הקושי שקבענו מראש בהתאם לניסוי מקדים לא התאימו במדויק לכל אחד ממשפטי המחקר.

המלצות למורים לחינוך גופני ולמאמנים בספורט

ממחקר זה עולה כי השפעת המשוב החיובי והשלילי על למידה של מיומנויות מוטוריות אינה בהכרח עקבית אלא תלויה בשגיאת הניבוי של הלומד וברמות הקושי של המטלה המוטורית הנלמדת. מורים לחינוך גופני, מאמנים, מדריכים ופיזיותרפיסטים יכולים לעשות שימוש במשוב שלילי וחיובי בהתאם לציפיית הלומד להצלחה כדי ליצור שגיאת ניבוי חיזוק גדולה שתטמיע את הלמידה. במצב שבו הלומד מצפה לכישלון, יש צורך לגרום לו לשגיאת ניבוי על ידי מתן משוב חיובי. תיאורטית, גם ההיפך נכון. כלומר, אם הלומד מצפה להצלחה, ניתן להגדיל את שגיאת הניבוי אם יקבל משוב שלילי. עם זאת, יש לנקוט זהירות במתן משוב שלילי משום שסוג זה של משוב עלול להוביל את הלומד לחוות רגשות לא נעימים, לפגוע במוטיבציה ובתחושת המסוגלות העצמית שלו ועל ידי כך לפגוע בביצועיו. לכן, יש להימנע לעיתים ממתן משוב שלילי. כמו כן, יש לזכור כי למידה מיטבית תלויה במגוון גורמים – פסיכולוגיים, ביולוגיים וכימיים. הלמידה נחוות באופן שונה אצל כל לומד ולומד וקשה אפוא להמליץ על אימוץ פרוטוקול אחיד בתהליכי למידה מוטורית.

רשימת המקורות

- Abe, M., Schambra, H., Wassermann, E. M., Luckenbaugh, D., Schweighofer, N., & Cohen, L. G. (2011). Reward improves long-term retention of a motor memory through induction of offline memory gains. *Current Biology, 21*, 557-562.
- Annett, J. (1959). Learning a pressure under conditions of immediate and delayed knowledge of results. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 11*, 3-15.
- Annett, J. (1969). *Feedback and human behavior*. Penguin.
- Anwyl-Irvine, A. L., Massonnié, J., Flitton, A., Kirkham, N., & Evershed, J. K. (2020). Gorilla in our midst: An online behavioral experiment builder. *Behavior Research Methods, 52*, 388-407.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Towards a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review, 84*, 191-215.
- Bandura, A. (1991). Self-regulation of motivation through anticipatory and self-reactive mechanisms. In R. A. Dienstbier (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation, 1990: Current Theory and Research in Motivation* (Vol. 38, pp. 69-164). University of Nebraska Press.
- Bandura, A., & Cervone, D. (1983). Self-evaluative and self-efficacy mechanisms governing the motivational effects of goal systems. *Journal of Personality and Social Psychology, 45*, 1017-1028.
- Barrios, J., Yantha, Z., Carter, M., Hussien, J., & Ste-Marie, D. (2019). Examining the impact of error estimation on the effects of self-controlled feedback. *Human Movement Sciences, 63*, 182-198.
- Barto, A. G. (1994). Reinforcement learning control. *Current Opinion in Neurobiology, 4*, 888-893.
- Bratfisch, O., Dorn, S., & Borg, G. (1970). *Perceived difficulty of a motor-skill task as a function of training*. Rep. Institute of Applied Psychology, University of Stockholm, No. 11.
- Carver, C. S. (2006). Approach, avoidance, and the self-regulation of affect and action. *Motivation and Emotion, 30*, 105-110.

- Carver, C. S. (2015). Control processes, priority management, and affective dynamics. *Emotion Review*, 7, 301-307.
- Chiviawosky, S., & Wulf, G. (2007). Feedback after good trials enhances learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78, 40-47.
- Chiviawosky, S., Wulf, G., Wally, R., & Borges, T. (2009). Knowledge of results after good trials enhances learning in older adults. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 80, 663-668.
- Couvillion, K. F., Bass, A. D., & Fairbrother, J. T. (2020). Increased cognitive load during acquisition of a continuous task eliminates the learning effects of self-controlled knowledge of results. *Journal of Sports Sciences*, 38, 94-99.
- Delignières, D., & Famose, J. P. (1992). Perception de la difficulté, entropie et performance. *Science & Sports*, 7, 245-252.
- Eskreis-Winkler, L., & Fishbach, A. (2019). Not learning from failure—The greatest failure of all. *Psychological Science*, 30, 1733-1744.
- Faulkner, J., Arnold, T., & Eston, R. (2011). Effect of accurate and inaccurate distance feedback on performance markers and pacing strategies during running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21, 176-183.
- Gao, Z., Kosma, M., & Harrison Jr, L. (2009). Ability beliefs, task value, and performance as a function of race in a dart-throwing task. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 80, 122-130.
- Guadagnoli, M. A., & Lee, T. D. (2004). Challenge point: A framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 36, 212-224
- Guillén, F., & Laborde, S. (2014). Higher-order structure of mental toughness and the analysis of latent mean differences between athletes from 34 disciplines and non-athletes. *Personality and Individual Differences*, 60, 30-35.
- Halperin, I., Chapman, D. W., Martin, D. T., Abbiss, C., & Wulf, G. (2016). Coaching cues in amateur boxing: An analysis of ringside

- feedback provided between rounds of competition. *Psychology of Sport and Exercise*, 25, 44-50.
- Halperin, I., Chapman, D. W., Thompson, K. G., & Abbiss, C. (2019). False-performance feedback does not affect punching forces and pacing of elite boxers. *Journal of Sports Sciences*, 37, 59-66.
- Halperin, I., Ramsay, E., Philpott, B., Obolski, U., & Behm, D. G. (2020). The effects of positive and negative verbal feedback on repeated force production. *Physiology & Behavior*, 225, 113086.
- Holroyd, C., & Coles, M. G. H. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109, 679-709.
- Holroyd, C., & Krigolson, O. E. (2007). Reward prediction error signals associated with a modified time estimation task. *Psychophysiology*, 44, 913-917.
- Holroyd, C., & Yeung, N. (2012). Motivation of extended behaviors by anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 122-128.
- Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1993). Cooperative learning and feedback in technology-based instruction. In J. V. Dempsey & G. C. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 133-157). Educational Technology Publications.
- Karlin, L., & Mortimer, R. G. (1963). Effect of verbal, visual, and auditory augmenting cues on learning a complex motor skill. *Journal of Experimental Psychology*, 65, 75-79.
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback intervention on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119, 254-284.
- Kohl, R. M., & Shea, C. H. (1995). Augmenting motor responses with auditory information: Guidance hypothesis implications. *Human Performance*, 8, 327-343.

- Lohse, K. R., Miller, M. W., Bacelar, M., & Krigolson, O. (2019). Errors, rewards, and reinforcement in motor skill learning. In N. J. Hodges, & A. M. Williams (Eds.). *Skill acquisition in sport: Research, theory & practice* (3rd ed., pp. 39-60.). Routledge.
- Mory, E. H. (2004). Feedback research revisited. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology* (2nd Edition, pp. 745-783). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Pratto, F., & John, O. P. (1991). Automatic vigilance: The attention-grabbing power of negative social information. *Journal of Personality and Social Psychology*, *61*, 380-391.
- Proudfit, G. H. (2015). The reward positivity: From basic research on reward to a biomarker for depression. *Psychophysiology*, *52*, 449-459.
- Rathschlag, M., & Memmert, D. (2013). The influence of self-generated emotions on physical performance: An investigation of happiness, anger, anxiety, and sadness. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *35*, 197-210.
- Rozin, P., & Royzman, E. B. (2001). Negativity bias, negativity dominance, and contagion. *Personality and Social Psychology Review*, *5*, 296-320.
- Saemi, E., Porter, J. M., Ghotbi-Varzaneh, A., Zarghami, M., & Maleki, F. (2012). Knowledge of results after relatively good trials enhances self-efficacy and motor learning. *Psychology of Sport and Exercise*, *13*, 378-382.
- Saemi, E., Wulf, G., Varzaneh, A. G., & Zarghami, M. (2011). Feedback after good versus poor trials enhances motor learning in children. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, *25*, 673-681.
- Saijo, N., & Gomi, H. (2010). Multiple motor learning strategies in visuomotor rotation. *PLoS One*, *5*, e9399.
- Sales, G. C. (1993). Adapted and adaptive feedback in technology-based instruction. In J. V. Dempsey & G. C. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 159-175). Educational Technology Publications.

- Sattelmayer, M., Elsig, S., Hilfiker, R., & Baer, G. (2016). A systematic review and meta-analysis of selected motor learning principles in physiotherapy and medical education. *BMC Medical Education*, *16*, 1-22.
- Schmidt, R. A. (1991). Frequent augmented feedback can degrade learning: Evidence and interpretations. In J. Requin & G. E. Stelmach (Eds.), *Tutorials in motor neuroscience* (pp. 59-75). Springer.
- Schmidt, R. A., & Wulf, G. (1997). Continuous concurrent feedback degrades skill learning: Implications for training and simulation. *Human Factors*, *39*, 509-525.
- Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). *Motor control and learning* (5th ed.). Human Kinetics.
- Seidler, R. D., Kwak, Y., Fling, B. W., & Bernard, J. A. (2013). Neurocognitive mechanisms of error-based motor learning. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, *782*, 39-60.
- Shea, C. H., & Wulf, G. (1999). Enhancing motor learning through external-focus instructions and feedback. *Human Movement Science*, *18*, 553-571.
- Singh, S. P., Barto, A. G., & Chentanez, N. (2004). Intrinsically motivated reinforcement learning. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1281-1288.
- Soto, D., García-Herrero, J. A., & Carcedo, R. J. (2020). Well-being and throwing speed of women handball players affected by feedback. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*, 6064.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1990). Time-derivative models of Pavlovian reinforcement. In M. Gabriel & J. Moore (Eds.), *Learning and computational neuroscience: Foundations of adaptive networks* (pp. 497-537). MIT Press.
- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1998). *Introduction to reinforcement learning*. MIT Press.

- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: *An introduction*. MIT press.
- Taylor, S. E. (1991). Asymmetrical effects of positive and negative events: The mobilization-minimization hypothesis. *Psychological Bulletin*, *110*, 67–85.
- Vallerand, R. J., & Reid, G. (1988). On the relative effects of positive and negative verbal feedback on males' and females' intrinsic motivation. *Canadian Journal of Behavioural Science*, *20*, 239-250.
- Von Lindern, A. D., Fairbrother, J. T. (2022). Reduction of feedback availability limits self-control effects. *Frontiers in Sports and Active Living*, *4*.
- Wilson, M. G., Lane, A. M., Beedie, C. J., & Farooq, A. (2012). Influence of accurate and inaccurate 'split-time' feedback upon 10-mile time trial cycling performance. *European Journal of Applied Physiology*, *112*, 231-236.
- Woods, A. T., Velasco, C., Levitan, C. A., Wan, X., & Spence, C. (2015). Conducting perception research over the internet: A tutorial review. *PeerJ*, *3*, e1058.
- Yamamoto, R., Akizuki, K., Yamaguchi, K., Yabuki, J., & Kaneno, T. (2022). A study on how concurrent visual feedback affects motor learning of adjustability of grasping force in younger and older adults. *Scientific Reports*, *12*, 1-9.
- Yarrow, K., Brown, P., & Krakauer, J. W. (2009). Inside the brain of an elite athlete: The neural processes that support high achievement in sports. *Nature Reviews Neuroscience*, *10*, 585-596.
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, *18*, 459-482.

נספח 1: ערכי דיוק המדידה של משתני המטלה כפי שנבדק בשני מחשבים שונים

מספר	מספר סיבובים	משך כללי (אלפיות השנייה)	מס' יציאות ממוכנות	מס' יציאות ממוכנות	תוצאות מס' יציאות ממוכנות	משך שהייה במטרה (אלפיות השנייה)	משך שהייה ממוכן (אלפיות השנייה)	משך כללי (אלפיות השנייה)	מסך כללי בפועל – משך כללי ממוכן (אלפיות השנייה)	תכנון רדיוס מטרה (פיקסלים)	מחשב
0.050685	1	30,000	0	0	0	29949.315	0	29949.315	0.050685	50	מחשב א'
0.05157	1	15,000	5	5	5	14948.43	2998.55	11949.88	0.05157	50	
0.05079	1	10,000	7	7	7	9949.21	2501.365	7447.845	0.05079	50	
0.051305	3	30,000	10	10	10	29948.69	9995.785	19952.91	0.051305	50	
0.05513	2	20,000	4	4	4	19944.87	11202.46	8742.41	0.05513	30	
0.05096	3	30,000	12	12	12	29949.04	23194.72	6754.32	0.05096	30	
0.042885	2	12,000	8	8	8	11957.12	8050.705	3906.41	0.042885	50	
0.05307	1	15,000	2	2	2	14946.93	4597.95	10348.98	0.05307	30	
0.05134	1	10,000	3	3	3	9948.66	442.615	9506.045	0.05134	25	
0.048655	4	40,000	10	10	10	39951.34	21200.23	18751.11	0.048655	40	
0.05999	1	30,000	0	0	0	29940.01	0	29940.01	0.05999	50	מחשב ב'
0.05813	1	15,000	5	5	5	14941.87	4638.175	10303.7	0.05813	50	
0.049205	1	10,000	7	7	7	9950.795	6005.125	3945.67	0.049205	50	
0.052045	3	30,000	10	10	10	29947.95	13201.68	16746.27	0.052045	50	
0.048915	2	20,000	4	4	4	19951.08	2704.755	17246.33	0.048915	30	
0.04984	3	30,000	12	12	12	29950.16	7456.59	22493.57	0.04984	30	
0.054405	2	6,000	8	8	8	11945.59	4208.5	7737.095	0.054405	50	
0.04577	1	15,000	2	2	2	14954.23	1438.015	13516.22	0.04577	30	
0.0556	1	10,000	3	3	3	9944.4	645.9	9298.5	0.0556	25	
0.058395	4	40,000	10	10	10	39941.6	18693.68	21247.93	0.058395	40	

הערות:

הפרש ממוצע בין משך כללי בפועל לבין משך כללי ממוכן (אלפיות השנייה) =

0.051934

סטיית תקן ממוצעת של משך כללי בפועל לבין משך כללי ממוכן (אלפיות

השנייה) = 0.004183