

השפעת התבוננות בתנועת האחר - עם וללא ביצוע תנועה - על זמן הביצוע של רצף תנועות הושטה אצל בריאים

סילבי פרנקל-טולדו^{1,2}, הילה וידס³, נטע אבישר³, הודיה שטכלברג³, נחמה חרמון³, צבי קוז'ול¹

¹ המחלקה לפיזיותרפיה, הפקולטה למדעי הבריאות, אוניברסיטת אריאל

² המחלקה לפיזיותרפיה, ב"ח לוינשטיין

³ סטודנטית לפיזיותרפיה לתואר ראשון, המחלקה לפיזיותרפיה, הפקולטה למדעי הבריאות, אוניברסיטת אריאל

תקציר

רקע: ניתן לשפר יכולת מוטורית באמצעות התבוננות בתנועת האחר. השפעת ההתבוננות בתנועה על היכולת המוטורית מותנית בגורמים שונים. אחד הגורמים שטרם נבדק לעומק הוא תרגול המשלב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה. מטרת המחקר הנוכחי הייתה להשוות את ההשפעה המיידית והמאוחרת של תרגול רצף תנועות הושטה באמצעות התבוננות ברצף תנועות - לעומת ההשפעה של תרגול שמשלב ביצוע רצף תנועות והתבוננות ברצף - על מדדי הזמן של ביצוע הרצף, בקרב נבדקים בריאים. ההשערות היו: 1. הן תרגול המשלב ביצוע של רצף תנועות והתבוננות ברצף והן תרגול הכולל רק התבוננות ברצף, משפרים מדדי זמן של ביצוע הרצף ו-2. תרגול משולב משפר את מדדי הזמן יותר מתרגול הכולל התבוננות בתנועה בלבד.

שיטות: עשרים וארבעה נבדקים חולקו באופן אקראי לקבוצת "התבוננות בתנועה" או לקבוצת "שילוב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה". כל אחת מן הקבוצות הונחתה להתבונן בסרטון המציג רצף של שש תנועות הושטה של הגף העליון לכיוונים שונים, ללמוד את הרצף ולבצע את הרצף במהירות ובדיוק המרביים בתום ההתבוננות. תנועות הושטה הנצפות בוצעו לעבר חמש יחידות המכילות נוריות ומתגים, שהיו פרושות על לוח שולחן לפני הנבדקים בחצי גורן, ושנדלקו לסירוגין ברצף מובנה. קבוצת "התבוננות בתנועה" התבוננה בסרטוני וידיאו שהציגו 60 רצפי תנועות הושטה. קבוצת "שילוב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה" התבוננה בסרטוני וידיאו שהציגו 10 רצפים (ללא הפסקה), ומייד לאחר מכן תרגלה באופן אקטיבי את אותם 10 הרצפים (ללא הפסקה).

וחזרה על כך שלוש פעמים. יכולתם של הנבדקים לבצע את רצף תנועות הושטה על אותו המכשיר נבדקה לפני התרגול, מייד בתום התרגול ו-24 שעות מתום התרגול. במהלך כל אחת מן הבדיקות, הנבדקים ביצעו את הרצף שבו התבוננו. לעיתים, שונה רצף התנועות בפתאומיות, כך שנורית נבחרת אחרת נדלקה בתחילת הרצף. מדדי המחקר כללו: 1. הזמן הממוצע של תנועות הושטה (מילי-שניות), 2. דלתא (מילי-שניות): ההפרש בין זמן תנועת הושטה לנורית הנבחרת ברצף הבלתי צפוי לזמן תנועת הושטה לאותה הנורית ברצף הצפוי, 3. כישלון: שיעור הושטות, שנמשכו יותר משנייה, מתוך סך-כול הושטות היד.

תוצאות: הזמן הממוצע של תנועות הושטה והדלתא השתפרו מייד בתום התרגול וכעבור 24 שעות מתום התרגול בהשוואה לבדיקת הבסיס (לפני התרגול) באופן דומה בשתי הקבוצות. לא נמצא הבדל מובהק בין הבדיקה המיידית בתום התרגול לבדיקה המאוחרת, עבור משתנים אלה, בשתי הקבוצות. שיעור תנועות הושטה, שמשכן היה ארוך משנייה אחת מתוך סך-כול תנועות הושטה (מדד כישלון), קטן בבדיקה המאוחרת בהשוואה לבדיקת הבסיס ולבדיקה המיידית בתום התרגול באופן דומה בשתי הקבוצות.

מסקנות: תרגול באמצעות התבוננות בלבד ברצף תנועות הושטה יכול לשפר את מדדי הזמן של ביצוע הרצף גם ללא שילוב של ביצוע הרצף. השיפור, שהושג בתום תרגול המשלב התבוננות וביצוע, ובתום תרגול שכלל רק התבוננות ברצף, נשמר לפחות במשך 24 שעות. ממצא זה מעיד על תהליך התגבשות (consolidation) הן לאחר התבוננות בתנועה בלבד והן לאחר תרגול המשלב התבוננות וביצוע תנועה.

מילות מפתח: התבוננות בתנועה, ביצוע מוטורי, הנחיה

הקדמה

תרגול באמצעות התבוננות בתנועת האחר יכול לשפר ביצוע מוטורי.¹⁻⁴ נמצא שיפור בעקבות תרגול מסוג זה ביכולות מוטוריות שונות, כגון מיומנויות ספורט,^{5,6} מטלות כוח⁴ ומטלות מוטוריות חדשות שאינן חלק מהרפרטואר המוטורי של הנבדק אצל נבדקים בריאים.³ נמצאה השפעה חיובית בעקבות תרגול זה גם בקרב חולים עם בעיות נוירולוגיות, כגון שבץ מוחי^{7,8} ובקרב חולים עם בעיות אורתופדיות.^{9,10}

נראה שההשפעה החיובית של תרגול באמצעות התבוננות בתנועה מתווכת על-ידי שפעול מערכת "נוירוני מראה" - נוירונים שמפתחים פוטנציאל פעולה גם בזמן תנועה עצמית וגם בזמן התבוננות בתנועת האחר.^{11,12} נוירוני מראה נמצאו לראשונה בקופי מקק.^{13,14} לאחר מכן, נמצאו עדויות תומכות לקיומה של מערכת נוירוני מראה גם בבני אדם באמצעות מכשור לבדיקת פעילות מוחית, כגון Functional Magnetic Resonance Imaging,^{15,16} אלקטרואנצפלוגרפיה,^{17,18} מגנטו-אנצפלוגרפיה¹⁹ וגרייה מוחית מגנטית.²⁰

ההשפעה של התבוננות בתנועה על היכולת המוטורית קשורה בגורמים שונים, כגון נקודת המבט של המתבונן,²¹ מיומנות התנועה הנצפית²² וההנחיה שמקבל הנבדק במהלך ההתבוננות.²³⁻²⁶ מדדים טמפורליים של מטלת תזמון תנועת האצבע המורה השתפרו בקבוצת נבדקים שהתבוננו בתנועה מנקודת מבט אגוצנטרית (המתבונן נמצא אחורית למודל המבצע את התנועה). בהשוואה לנקודת מבט אלוצנטרית (המתבונן נמצא מול המודל, כמו מול מראה).²¹ מדדים טמפורליים של מטלה הכוללת ארבעה חלקים ושל ביצוע חלק מהמטלה השתפרו לאחר התבוננות במטלה המבוצעת ברמות שונות של מיומנות (המטלה שבה התבוננו - אדם שמיומן בביצוע המטלה לעומת אדם שאינו מיומן בביצוע המטלה) בהשוואה לקבוצת הביקורת.²² במחקר שפרסמנו לאחרונה,²³ זמן תנועות הושטה השתפר מיידי לאחר התבוננות ברצף תנועות הושטה בשלוש קבוצות שקיבלו הנחיות שונות: להתבונן בלבד, להתבונן וללמוד לבצע את הרצף, להתבונן וללמוד לבצע את הרצף ובמקביל להתבוננות לדמיין שהתנועה הנצפית מבוצעת על-ידי המתבונן. מעניין, שרק בקבוצה

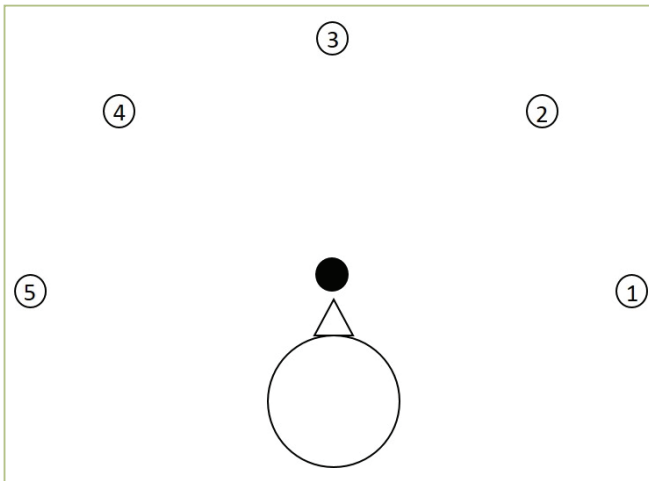
שהתבקשה להתבונן בתנועה בלבד, זמן תנועות הושטה המשיך להשתפר גם בבדיקה שנערכה כעבור 24 שעות.

גורם נוסף שעשוי להשפיע על הלמידה מהתבוננות בתנועה הוא שילוב ביצוע התנועה בהתבוננות בתנועה. ההשפעה של גורם זה נבחנה במחקרים יחידים, שממצאיהם סותרים.²⁷⁻²⁹ Weeks & Anderson²⁷ השוו בין שלושה פרוטוקולים המשלבים התבוננות בתנועה של הגשת כדורעף עם תרגול תנועה זו. הפרוטוקולים כללו: 1. התבוננות בתנועה, ולאחר מכן אימון הכולל ביצוע התנועה, 2. שילוב של התבוננות בתנועה וביצוע תנועה במהלך כל האימון ו-3. שילוב של התבוננות בתנועה וביצוע תנועה במחצית הראשונה של האימון וביצוע תנועה במחצית השנייה של האימון. נמצא כי יכולת השיפור הגבוהה ביותר בתנועת ההגשה בכדורעף נמצאה בקבוצה השלישית, לאחר מכן בקבוצה הראשונה ולבסוף בקבוצה השנייה. Shea ועמיתים²⁸ השוו בין קבוצה ששילבה תרגול תנועה אקטיבית והתבוננות בתנועה, ובין קבוצה שביצעה תרגול תנועה אקטיבית בלבד. המטלה אותה תרגלו ובה התבוננו הייתה מטלה ממוחשבת שבמהלכה התבקשו להניע עכבר מחשב, כך שסמן המופיע על מסך המחשב יוצב בקצב מתאים על קו מטרה אנכי, שמוצג גם הוא על המסך. לא נמצא הבדל בין הקבוצות בביצוע המטלה כעבור 24 שעות מסיום התרגול. עם זאת, ביצוע מטלת העברה (transfer) השתפר בקבוצה ששילבה תרגול תנועה והתבוננות בתנועה בהשוואה לקבוצה שתרגלה תנועה בלבד. בניגוד ליתרון שנמצא לתרגול המשולב באמצעות התבוננות בתנועה וביצוע תנועה במחקר הזה,²⁸ Lago-Rodriguez ועמיתים²⁹ לא מצאו הבדל בביצוע העברה למטלה אחרת בין קבוצה שתרגלה הזזת כדור קטן למטרה באמצעות האצבע המורה ובין קבוצה שתרגלה זאת בשילוב התבוננות בתנועה. מטלת העברה הייתה הזזת כדור קטן למטרה באמצעות האצבע החמישית. עם זאת, במחקר זה,²⁹ נמצאה עוררות מוגברת בקורטקס המוטורי לאחר אימון המשלב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה, בהשוואה לאימון המתמקד בביצוע תנועה בלבד. יש לציין, שהעוררות המוגברת באימון המשולב נמצאה גם בהשוואה לאימון באמצעות התבוננות בתנועה בלבד או לחוסר תרגול. Andrieux & Proteau³⁰ מצאו כי קיים יתרון לתרגול המשלב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה, שהתבטא בשגיאה קטנה יותר במדד זמן יחסי של מטלת רצף תנועות ידניות 24 שעות מתום התרגול, לעומת ההתבוננות בתנועה ולעומת תרגול התנועה בלבד.

כלי המדידה

מכשיר, שמשמש למדידת זמן ביצוע תנועות הושטה, הונח על שולחן בגובה מתכוונן בגודל 105X80 ס"מ. חמש יחידות בגודל 5X8X5 ס"מ הוצמדו לשולחן במבנה של חצי גורן ברדיוס של 45 ס"מ. כל יחידה כללה נורית תאורה ומתג הפעלה. היחידות מוספרו מאחת עד חמש (איור 1). המכשיר הופעל על-ידי תוכנת Lab view, שאפשרה בחירת רצף של סדר הידלקות הנוריות, מרווח הזמן בין הידלקות הנוריות ומספר הפעמים של הידלקות הנוריות. הנבדק התחיל כל תנועת הושטה באגרוף קפוץ, שהונח במרכז השולחן מול חזהו (מקביל ליחידה 3), כך שיוכל להושיט את ידו וללחוץ על הלחצן עם עצם המסרק השלישית בידו הימנית. בעת הידלקות נורית מסוימת היה הנבדק צריך להושיט את ידו לכיוון הנורית וללחוץ על המתג הצמוד לנורית. הלחיצה כיבתה את אור הנורית, ונמדד זמן תנועת ההושטה בין הידלקות האור בנורית לבין כיבויה. כל נורית תוכנתה להידלק למשך שנייה אחת בלבד, והיה ולא כובתה במשך פרק זמן זה (באמצעות לחיצה על המתג), נרשם האירוע ככישלון. הנבדק ישב על כיסא בעל משענת יציבה מול השולחן, כשמפרכי ירכיו וברכיו בזווית כיפוף של 90°.

איור 1: מטלת הניסוי



העיגולים הממוספרים מייצגים את היחידות 1-5. העיגול השחור מסמן את נקודת ההתחלה, שהנבדק הניח עליה את אגרופו הקפוץ לפני שהתחיל כל תנועת הושטה לכיוון היחידות 1-5 (בהתאם לרצף).

לאור הפוטנציאל הטמון בטיפולים המשלבים התבוננות בתנועה בשיקום אורתופדי ונירולוגי,⁷⁻¹⁰ יש צורך במחקר-המשך שיבדוק את תנאי ההתבוננות שתורמים לשיפור המיטבי בביצוע המוטורי. כאמור, מחקרים מעטים בדקו את ההשפעה של תרגול המשלב תנועה והתבוננות בתנועה על היכולת המוטורית, והממצאים סותרים.²⁷⁻³⁰ כמו כן, למיטב ידיעתנו, רק מחקר אחד בדק אם תרגול משולב יעיל בהשוואה לתרגול הכולל התבוננות בתנועה בלבד.²⁹ טרם הושווה תרגול המשלב תנועה והתבוננות בתנועה לאורך האימון כולו להתבוננות בתנועה בלבד. לפיכך, מטרת המחקר הנוכחי הייתה לבדוק אם תרגול המשלב התבוננות ברצף תנועות עם ביצוע הרצף משפר את מדדי הזמן של הרצף יותר מתרגול הכולל התבוננות בלבד, בקרב נבדקים בריאים. פרט לבדיקת ההשפעה שיש להתבוננות בתנועה, עם וללא ביצוע תנועה, על הרצף בטווח המידי, נערכה בדיקה 24 שעות לאחר תום התרגול כדי לבדוק את תהליך ההתגבשות (consolidation). נמצא שתהליכי ההתגבשות הובילו לשיפור בביצוע המוטורי גם כעבור 24 שעות מתום התרגול באמצעות התבוננות בתנועה^{23,31,32} ומתום תרגול תנועה,³³ אבל לא ידוע אם יש הבדל בין תהליכי התגבשות שמתרחשים לאחר התבוננות בתנועה ובין תהליכי התגבשות המתרחשים לאחר תרגול המשלב התבוננות בתנועה לאורך האימון כולו. השערותינו היו: 1. התבוננות ברצף תנועות הושטה, עם וללא ביצוע הרצף, משפרים את זמן ביצוע הרצף ו-2. תרגול המשלב התבוננות ברצף וביצוע הרצף משפר את מדדי הזמן יותר מתרגול הכולל התבוננות בתנועה בלבד.

שיטות

משתתפים

24 נבדקים (14 נשים, 10 גברים, גיל: 24.5 ± 2.25 שנים) השתתפו במחקר. היד הדומיננטית הימנית נבדקה אצל כל הנבדקים. הקריטריונים להכללה: 1. גיל 20-35, 2. דומיננטיות ימנית ו-3. הצהרת בריאות לפי דיווח עצמי. הקריטריונים לאי-הכללה: בעיות שלד-שריר או בעיות נירולוגיות שמפריעות לביצוע מטלת הניסוי (הושטה בשיבה). הניסוי אושר על-ידי ועדת האתיקה של אוניברסיטת אריאל. הנבדקים קיבלו הסבר על הניסוי, וחתמו על טופס הסכמה מדעת.

מהלך המחקר

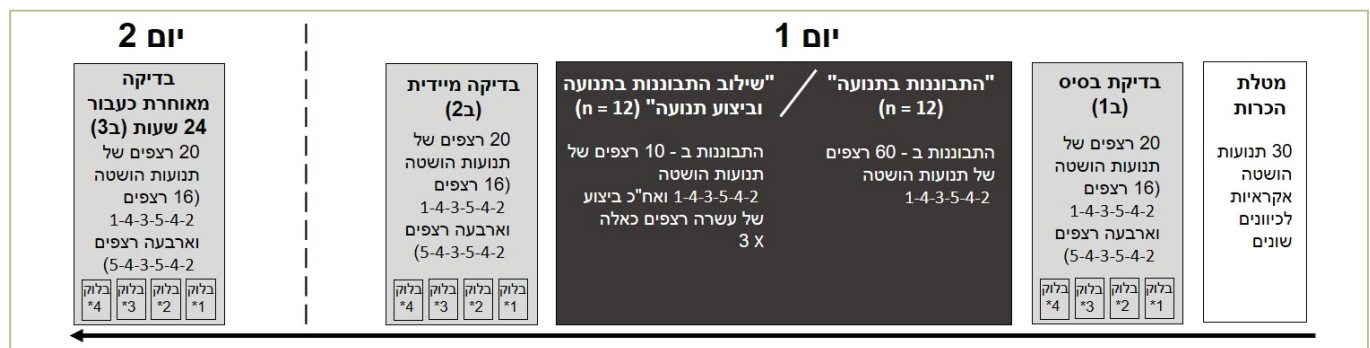
הנבדקים השתתפו בשני מפגשים. במפגש הראשון נערכו תרגול להכרת המכשיר, בדיקת בסיס (ב1), התבוננות בסרטוני וידיאו שמציגים רצף של תנועות הושטה, ובדיקה מיד בתום ההתבוננות (ב2). במפגש השני נערכה בדיקה מאוחרת כעבור 24 שעות (ב3). הנבדקים חולקו באופן אקראי לקבוצת "התבוננות בתנועה" (12 משתתפים) ולקבוצת "שילוב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה" (12 משתתפים). כל אחת מקבוצות אלה קיבלה את ההנחיה הזו: "התבונן בקפידה ברצף תנועות ההושטה, ולמד את הרצף. לאחר ההתבוננות תתבקש לבצע את אותו הרצף מהר ומדויק ככל הניתן". כל הנבדקים התבקשו להימנע מתזוזה במהלך ההתבוננות בתנועה. הרצף הנצפה בסרטוני הווידאו כלל שש תנועות הושטה אל היחידות, לפי סדר קבוע (משמאל לימין): 1-4-3-5-4-2. כל רצף נמשך שבע שניות. שתי הקבוצות התבוננו ברצפי תנועות ההושטה מנקודת מבט אגוצנטרית, הואיל ונמצא שלמידה לאחר התבוננות בתנועה מנקודת מבט זו יעילה יותר בהשוואה לנקודת מבט אלוצנטרית.²¹ קבוצת "התבוננות בתנועה" התבוננה ב-60 הרצפים: 1-4-3-5-4-2 (סה"כ 360 תנועות הושטה), עם הפסקה של 30 שניות לאחר כל 20 רצפים. לעומתה, קבוצת "שילוב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה" התבוננה ב-10 הרצפים 1-4-3-5-4-2 (ללא הפסקה), ומייד לאחר מכן תרגלה את אותם 10 הרצפים (ללא הפסקה). על כך חזרה שלוש פעמים, ובסך הכול התבוננה ב-30 רצפים, ותרגלה

30 רצפים. את רצף התנועות על המכשיר ביצעה צעירה בת 23 בידה הדומיננטית הימנית (זמן התגובה הממוצע של תנועות ההושטה היה 550 ± 35 מילי-שניות (מ"ש)).

בתחילת הניסוי, ביצעו הנבדקים תרגול היכרות עם המכשיר. התרגול כלל 30 תנועות הושטה מהירות ככל הניתן, בידם הימנית הדומיננטית, לעבר כל נורית שנדלקה ברצף אקראי, לחיצה על הלחצן הסמוך לנורית, חזרה לנקודת המוצא, וכן הלאה עבור הנוריות האחרות שנדלקו. במהלך כל אחת מן הבדיקות (ב1, ב2 ו-ב3), הנבדק ביצע תנועות הושטה לכיוון היחידות, שהנוריות שלהן נדלקו לפי הרצף שבו התבוננו (1-4-3-5-4-2). בכל בדיקה ביצע הנבדק 20 רצפים (120 תנועות הושטה). חמישה רצפים (30 תנועות הושטה) נחשבו לבלוק, כך שכל בדיקה כללה ארבעה בלוקים. הנבדק נח למשך 30 שניות לאחר ביצוע של כל בלוק. בכל בלוק, סדר רצף התנועות השתנה בפתאומיות באחד מהרצפים, והחל ביחידה 5 במקום ביחידה 1. כלומר, במקום הרצף הצפוי (1-4-3-5-4-2) הופיע הרצף 5-4-3-5-4-2. שינוי זה ברצף התנועות חל בזמן שונה בכל בלוק. בבלוקים הראשון עד הרביעי הוא חל ברצף החמישי, השלישי, הרביעי והשני, בהתאמה (איור 2).

נמדדו הזמן הממוצע של כל תנועות ההושטה לכל היחידות, והזמן של תנועות ההושטה לכיוון יחידה 5 במהלך הידלקות הנורה ברצף הצפוי ובמהלך הרצף הבלתי צפוי. כפי שצוין לעיל, כל נורית נדלקה למשך שנייה אחת. אם הנבדק לא

איור 2: מהלך המחקר



כל בלוק כלל חמישה רצפים. רצף התנועות השתנה באופן פתאומי בכל בלוק, והחל עם יחידה 5 במקום 1. כלומר רצף בלתי צפוי 5-4-3-5-4-2 במקום הרצף הצפוי 1-4-3-5-4-2. השינוי היה ברצף החמישי, השלישי, הרביעי והשני בבלוקים אחד עד ארבע. בהתאמה

וביצוע תנועה") כ - between-subject factor. דרגות החופש תוקנו באמצעות Greenhouse-Geisser Epsilon (G-GE) כש-Mauchly's Test of Sphericity נמצאה מובהקת. כל המבחנים בוצעו באמצעות SPSS (גרסה 25.0) עם רמת מובהקות של $p < 0.05$.

תוצאות

לא נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות במשתנה גיל (קבוצת "התבוננות בתנועה": 23.8 ± 1.9 שנים; קבוצת "שילוב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה": 25.2 ± 2.4 שנים) ובמשתנה מין (קבוצת "התבוננות בתנועה": שמונה נשים; קבוצת "שילוב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה": שש נשים).

ממוצע הערכים וסטיות התקן של המדדים: "זמן הושטה" (מ"ש), "דלתא" (מ"ש) ו"כישלון" (%) בכל אחת מהקבוצות וזמני הבדיקות מוצגים בלוח 1. בלוח זה מוצגים הערכים המקוריים (ולא ערכי הלוג) של "כישלון" (ממוצע וסטיות תקן) כדי להקל על הקורא.

לא היה הבדל בין הקבוצות עבור המדד "זמן ההושטה" ($t(22), p = 0.910$), "דלתא" ($t(22), p = 0.118$) ו"כישלון" ($t(22), p = 0.640$) בבדיקה ב1.

המדד "זמן הושטה" (מ"ש): אפקט עיקרי של זמן ($F_{2,44} = 64.291; p < 0.001; \text{partial } \eta^2 = 0.75; \text{observed power} = 1.00$) הראה שעל פני כל הקבוצות, הזמן הממוצע של תנועות הושטה היה ארוך יותר בבדיקה ב1 (612.27 ± 82.95 מ"ש) בהשוואה לבדיקה ב2 (475.41 ± 80.78 מ"ש, $p_{\text{Bonferonni}} < 0.001$) ובהשוואה לבדיקה ב3 (440.87 ± 100.23 מ"ש, $p_{\text{Bonferonni}} < 0.001$). לא נמצא הבדל מובהק בין בדיקה ב2 לבדיקה ב3 ($p_{\text{Bonferonni}} = 0.062$) ובין הקבוצות (אפקט עיקרי: $F_{1,22} = 0.162; p = 0.691; \text{partial } \eta^2 = 0.01; \text{observed power} = 0.07$). גם לא נמצאה אינטראקציה לגבי זמן X קבוצה ($F_{2,44} = 0.580; p = 0.564; \text{partial } \eta^2 = 0.03; \text{observed power} = 0.14$) (איור 3).

המדד "דלתא": אפקט עיקרי של זמן ($F_{2,44} = 35.980; p < 0.001; \text{partial } \eta^2 = 0.62; \text{observed power} = 1.00$) הראה שעל פני כל הקבוצות, דלתא היה קצר יותר בבדיקה ב1

הספיק להושיט את ידו לכיוון הנורית המוארת בשנייה זו, התנועה נחשבה ל"כישלון", ולא נכללה בחישוב הזמן הממוצע של רצף תנועות ההושטה.

מדדי המחקר היו: 1. "זמן הושטה" (מ"ש): הזמן הממוצע של תנועות ההושטה (מהידלקת הנורית ועד לכיבוייה בלחיצה על המתג), 2. "דלתא" (מ"ש): ההפרש בין זמן תנועת ההושטה לכיוון יחידה 5 ברצף הבלתי צפוי ובין זמן תנועת ההושטה לכיוון יחידה 5 ברצף הצפוי, 3. "כישלון": אחוז האיחורים בהגעה אל הנורית המוארת ובלחיצה על המתג במהלך השנייה שבה הנורית האירה. מדד זה חושב עבור כל בלוק על-ידי הנוסחה: $100 * (30 \text{ תנועות הושטה בבלוק} / \text{מספר הכישלונות})$. מכיוון שהזמן לביצוע כל תנועת הושטה הוגבל לשנייה אחת, ושלכל אחת מהבדיקות ב1, ב2 וב3, חושבה הדלתא עבור ארבע תנועות הושטה בלבד, ניתן הערך 1001 מ"ש לכל תנועות ההושטה שלא הגיעו במהלך השנייה לעבר הנורית שנדלקה באופן בלתי צפוי (גישה דומה ניתן למצוא במאמרים קודמים^{35,34,23}). השיפור בביצוע המוטורי התבטא בשלושת המדדים: הקטנת זמן תנועת ההושטה למתג ברצף הצפוי ("זמן הושטה" קטן יותר), הגדלת ההבדל בין זמן ההגעה לעבר נורית של יחידה 5 שנדלקה באופן בלתי צפוי לעומת האופן הצפוי ("דלתא" גבוהה יותר) וכן על-ידי שיעור כישלונות קטן יותר.

ניתוח סטטיסטי

ההבדל בין הקבוצות במשתנים גיל ומין חושב על-ידי t-test ומבחן חי, בהתאמה.

המדדים "זמן הושטה" ו"דלתא" התפלגו התפלגות נורמלית. המדד "כישלון" לא התפלג נורמלית. לפיכך, השתמשנו בטרנספורמציה לוג של הערך המקורי של "כישלון" +1 (תוספת הערך 1 קשורה בעובדה שלחלק מהנבדקים היו אפס כישלונות). ההבדל בין הקבוצות לגבי כל אחד מהמדדים בבדיקה ב1 נבדק באמצעות one-way ANOVA עם תיקון על שם בונפרוני להשוואות מרובות.

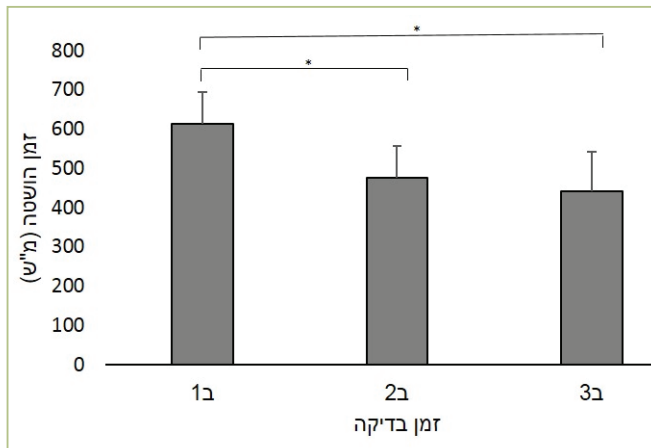
השפעת סוג התרגול והזמן על המדדים "זמן הושטה", "דלתא" ו"כישלון" נבדקו באמצעות Mixed ANOVA עם זמן (ב1, ב2, ב3) כ - within-subject factor, עם תיקון על שם בונפרוני להשוואות מרובות, להשוואה בין הבדיקות בשלוש נקודות הזמן וקבוצה ("התבוננות בתנועה", "שילוב התבוננות בתנועה

טבלה 1: ממוצעים וסטיות תקן של "זמן הושטה", "דלתא" ו"כישלון" בקבוצות בשלוש הבדיקות

"שילוב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה" (12 משתתפים)			"התבוננות בתנועה" (12 משתתפים)			קבוצה וזמני בדיקה
ב3	ב2	ב1	ב3	ב2	ב1	
425.7 ± 98.8	469.5 ± 72.9	614.3 ± 72.6	456.1 ± 103.7	481.3 ± 90.8	610.3 ± 95.4	"זמן הושטה" (מ"ש)
239.1 ± 137.4	308.1 ± 131.1	18.2 ± 58.5	219.2 ± 194.1	304.5 ± 127.9	56.7 ± 57.2	"דלתא" (מ"ש)
1.3 ± 1.3	2.3 ± 1.9	2.3 ± 1.6	1.4 ± 1.8	2.4 ± 2.2	4.1 ± 4.4	"כישלון" (%)

מ"ש = מילי-שניות

איור 3: זמן ממוצע של תנועות הושטה (מ"ש) בשלוש הבדיקות



מ"ש = מילי-שניות, ב1 = בדיקת בסיס, ב2 = בדיקה מיידית בתום התרגול, ב3 = בדיקה מאוחרת כעבור 24 שעות. זמן ההושטה מוצג בגרף על פני שתי הקבוצות (ולא בכל קבוצה בנפרד) כי לא נמצאה אינטראקציה מובהקת לגבי זמן x קבוצה.

(59.90 ± 37.46 מ"ש) בהשוואה לבדיקה ב2 (306.31 ± 126.68 מ"ש, $p < 0.001$ Bonferonni) ובהשוואה לבדיקה ב3 (164.77 ± 229.14 מ"ש, $p < 0.001$ Bonferonni). לא נמצא הבדל מובהק בין בדיקה ב2 לבדיקה ב3 ($p = 0.890$; $F_{1,22} = 0.020$; $p = 0.890$; $\eta^2 = 0.001$; $\text{observed power} = 0.05$) ובין הקבוצות (אפקט עיקרי: $p = 0.655$; $F_{2,44} = 0.427$; $p = 0.655$); קבוצה X זמן ($\eta^2 = 0.02$; $\text{observed power} = 0.12$) (איור 4).

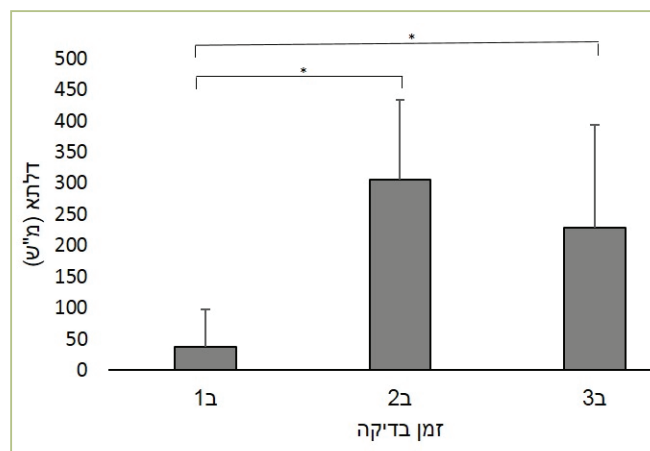
המדד "כישלון": אפקט עיקרי של זמן ($F_{2,44} = 6.162$; $p = 0.004$; $\eta^2 = 0.22$; $\text{observed power} = 0.87$) הראה שעל פני כל הקבוצות, אחוז הכישלונות היה גדול יותר בבדיקה ב1 (ערך לוג: 0.35 ± 0.49 , ערך מקורי: 3.39 ± 3.19 %) ובבדיקה ב2 (ערך לוג: 0.25 ± 0.45 , ערך מקורי: 1.98 ± 2.33 %), $p = 0.024$ Bonferonni ו- $p = 0.011$ Bonferonni, בהתאמה) בהשוואה לבדיקה ב3 (ערך לוג: 0.27 ± 0.29 , ערך מקורי: 1.53 ± 1.35 %). לא נמצא הבדל מובהק בין בדיקה ב1 לבדיקה ב2 ($p = 1.000$ Bonferonni) ובין הקבוצות (אפקט עיקרי: $F_{1,22} = 0.003$; $p = 0.960$; $\eta^2 = 0.00$; $\text{observed power} = 0.05$). גם לא נמצאה אינטראקציה לגבי זמן X קבוצה ($F_{2,44} = 0.423$; $p = 0.657$; $\eta^2 = 0.02$; $\text{observed power} = 0.11$) (איור 5).

דיון

מטרת המחקר הנוכחי הייתה להשוות את ההשפעה המיידית והמאוחרת (כעבור 24 שעות) של תרגול רצף תנועות הושטה המשלב התבוננות ברצף זה לעומת תרגול של התבוננות בלבד ברצף. הזמן הממוצע של תנועות ההושטה וההבדל בין זמן תנועות ההושטה לכיוון יחידה 5 ברצף הבלתי צפוי לזמן תנועות ההושטה לכיוון זה ברצף הצפוי (מדד "דלתא") השתפרו מייד בתום התרגול וכעבור 24 שעות מתום התרגול, בהשוואה לבדיקת הבסיס, באופן דומה בשתי הקבוצות. כמו כן, לא נמצא הבדל מובהק בין הבדיקה המיידית לבדיקה המאוחרת בשתי הקבוצות. שיעור תנועות ההושטה, שנמשכו יותר משנייה, מתוך סך כול תנועות ההושטה (מדד כישלון), קטן בבדיקה המאוחרת בהשוואה לשיעורו בבדיקת הבסיס ובבדיקה המיידית בתום התרגול באופן דומה בשתי הקבוצות.

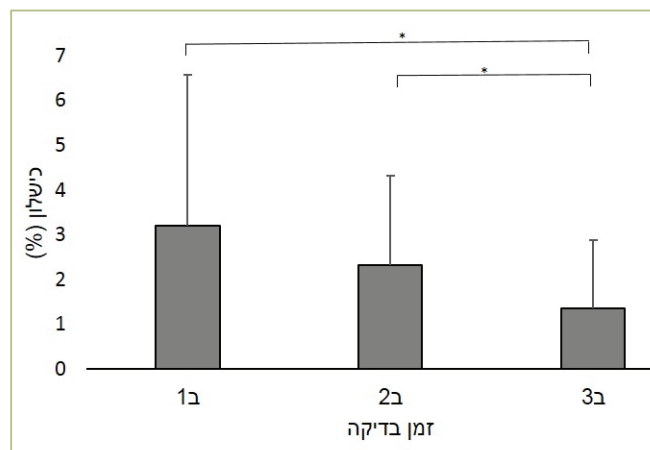
הממצאים הללו אוששו את השערתנו הראשונה, שתרגול הכולל התבוננות בתנועה, עם וללא ביצוע תנועה, משפרים יכולת מוטורית בקרב בריאים. ממצאים אלה תומכים בעדויות קודמות לשיפור מוטורי לאחר תרגול הכולל התבוננות בתנועה בלבד^{23,4,3} ולאחר תרגול המשלב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה.^{30,28-27} לדוגמה, ³Mattar & Gribble מצאו שנבדקים שהונחו להתבונן בסרטוני וידיאו שמציגים אדם הלומד לבצע תנועות הושטה במכשיר שמייצר כוחות הפועלים להסטת היד הצידה בעת ביצוע תנועות הושטה, שיפרו את יכולתם לבצע תנועות הושטה כנגד הכוחות המסיטים (בדומה למטלה הנצפית) בהשוואה לקבוצות ביקורת. קבוצות הביקורת כללו הן קבוצה שלא התבוננה בתנועה והן קבוצה שהתבוננה בסרטוני וידיאו המציגים אדם, הלומד לבצע תנועות הושטה כנגד כוחות הסטה ההפוכים בכיוונם לאלו שהסיטו את תנועות ההושטה של הנבדקים במהלך הביצוע. במחקר של ³⁰Andrieux & Proteau קבוצה אחת התבוננה בתנועות של מומחה בביצוע מטלה המשלבת היבטי זמן ומרחב בגף העליון, קבוצה שנייה התבוננה בתנועות של אדם שאינו מכיר את המטלה, קבוצה שלישית התבוננה בתנועות הן של מומחה והן של אדם שאינו מכיר את המטלה וקבוצה רביעית (קבוצת ביקורת) לא התבוננה בתנועות. היכולת לבצע את המטלה 10 דקות לאחר תום התרגול השתפרה בשלוש הקבוצות הראשונות בהשוואה לקבוצת הביקורת. לא נמצא הבדל בין שלוש הקבוצות הראשונות.

איור 4: הזמן הממוצע של דלתא (מ"ש) בשלוש הבדיקות



מ"ש = מילי-שניות, 1ב = בדיקת בסיס, 2ב = בדיקה מיידית בתום התרגול, 3ב = בדיקה מאוחרת כעבור 24 שעות. זמן ההושטה מוצג בגרף על פני שתי הקבוצות (ולא בכל קבוצה בנפרד) כי לא נמצאה אינטראקציה מובהקת לגבי זמן x קבוצה.

איור 5: שיעור הכישלונות בשלוש הבדיקות



מ"ש = מילי-שניות, 1ב = בדיקת בסיס, 2ב = בדיקה מיידית בתום התרגול, 3ב = בדיקה מאוחרת כעבור 24 שעות. זמן ההושטה מוצג בגרף על פני שתי הקבוצות (ולא בכל קבוצה בנפרד) כי לא נמצאה אינטראקציה מובהקת לגבי זמן x קבוצה.

הנורית) עשויה לעזור לביצוע המטלה. עם זאת, יש לציין, שללא קשר לרמז הראייתי, התבוננות ברצף התנועות, עם או ללא תרגול הרצף, יכולה לתרום לביצוע מהיר יותר של רצף תנועות ההושטה בגלל למידת הרצף והיערכות להושיט את היד לכיוון הצפוי.^{37,36}

למיטב ידיעתנו, המחקר היחיד שהשווה את השפעת התבוננות בתנועה, עם וללא תרגול תנועה, על ביצוע מוטורי, בוצע על ידי Lago-Rodriguez ועמיתים.²⁹ בדומה למחקר הנוכחי, גם במחקר זה²⁷ לא נמצא הבדל בביצוע המוטורי בין שתי הקבוצות, שכללו נבדקים צעירים. המטלה המוטורית הייתה להזיז כדור קטן למטרה באמצעות האצבע המורה. Lago-Rodriguez ועמיתים²⁹ העלו השערה, שיתכן שהיכולת ללמוד את המטלה באמצעות התבוננות בתנועה פחתה מכיוון שמטלה זו יכולה הייתה להתבצע רק באמצעות אסטרטגיה אחת, בעוד שבמחקר קודם הודגם,³⁸ שהתפקיד העיקרי של ההדגמה הוא להציג ללומד (באמצעות התבוננות בתנועה) פתרונות מעשיים של אפשרויות שונות לביצוע המטלה. יש לציין, שבמחקר של Lago-Rodriguez ועמיתים,²⁹ פרוטוקול הקבוצה, ששילבה התבוננות בתנועה וביצוע תנועה, כלל שני חלקים. החלק הראשון של הפרוטוקול כלל שילוב, ואילו החלק השני כלל תרגול תנועה בלבד. לעומת זאת, במחקר הנוכחי השווינו בין תרגול באמצעות התבוננות בתנועה ובין תרגול המשלב ההתבוננות בתנועה וביצוע תנועה לאורך כל פרוטוקול הניסוי.

לא נמצא הבדל מובהק בין הבדיקה המיידית לבדיקה המאוחרת לגבי הזמן הממוצע של תנועות הושטה והדלתא הן בקבוצה שהתבוננה בתנועה והן בקבוצה ששילבה התבוננות בתנועה וביצוע תנועה. ממצא זה מעיד על כך שפרוטוקול התרגול במחקר זה, בין שהוא כולל התבוננות בתנועה בלבד ובין שהוא משלב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה, גרם לתהליכי התגבשות. תהליכים אלה תרמו, ככל הנראה, לשימור הביצוע המוטורי גם 24 שעות לאחר תום התרגול.^{40,39}

מגבלות המחקר

ראשית, ייתכן שמטלת הביצוע של רצף תנועות הושטה כתגובה להידלקות הנוריות טשטשה את הבדל בין הקבוצות כיוון שביצוע המטלה (בבדיקות 1, 2 ו-3) הושפע לא רק מההתבוננות בתנועה ומביצועה אלא גם מהרמז הראייתי

ממצאי המחקר הנוכחי, שלפיהם השיפור בזמן הממוצע של תנועות הושטה ובדלתא לא הושפע מהשיוך הקבוצתי (התבוננות בתנועה בלבד או שילוב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה), הפריך את השערתנו השנייה, שתרגול משולב משפר יכולת מוטורית יותר מתרגול הכולל התבוננות בתנועה בלבד. השערתנו, שלתרגול משולב יתרון על פני תרגול הכולל התבוננות בתנועה בלבד, התבססה על עדויות קודמות לשיפור גדול יותר בביצוע מוטורי לאחר ביצוע תנועה בהשוואה להתבוננות בתנועה.^{33,30,28} לדוגמה, היכולת לבצע מטלה מורכבת, המשלבת היבטי זמן ומרחב בגף העליון, השתפרה יותר כעבור 10 דקות מתום התרגול בקבוצה שתרגלה את המטלה בהשוואה לקבוצה שהתבוננה בסרטוני וידיאו המציגים תנועות של מומחים במטלה.³⁰ ייתכנו כמה הסברים להיעדר הבדל בין הקבוצות במחקר הנוכחי. ראשית, היכולת ללמוד מהתבוננות בתנועה מושפעת מגורמים שונים, ביניהם מידת המומחיות של ביצוע המטלה הנצפית.²² במחקר הנוכחי, רצף תנועות ההושטה, שבו התבוננו, בוצע על ידי צעירה, שתרגלה את הרצף לפני שצולמה. ייתכן שתרגול המשלב ביצוע רצף תנועות והתבוננות בסרטונים המציגים ביצוע רצף תנועות הושטה ברמת מומחיות שונה, או את תהליך הלמידה³ של אדם שמשתפר עם הזמן ומבצע במהירות ובדיוק את רצף תנועות ההושטה (ללא פספוסים), היה מבליט את יתרון התרגול המשולב. זאת משום שהתבוננות בתנועות המבוצעות ברמת מומחיות שונה מאפשרת ללמוד את הפער בין הרצוי למצוי, מה שמתרחש באופן טבעי כשמתרגלים את התנועה. שנית, ייתכן שהפרוטוקול המיטבי של שילוב התבוננות בתנועה וביצוע תנועה הוא שונה מזה שתורגל במחקר הנוכחי (במחקר זה הנבדקים התבוננו בעשרה רצפים, ולאחר מכן תרגלו עשרה רצפים. על כך חזרו שלוש פעמים). אכן, Anderson & Weeks²⁷ שהשוו בין שלושה פרוטוקולים המשלבים התבוננות בתנועה של יכולת הגשת כדורעף ותרגול תנועה זו, מצאו שיכולת הגשת כדורעף השתפרה באופן המרבי בקבוצה ששילבה בתרגול התבוננות בתנועה וביצוע תנועה במחצית הראשונה של האימון, ושביצעה תנועה במחצית השנייה של האימון. זאת בהשוואה לקבוצה שהתבוננה בתנועה, ולאחר מכן ביצעה את התנועה, ובהשוואה לקבוצה ששילבה בתרגול התבוננות בתנועה וביצוע תנועה במהלך האימון כולו. שלישי, ייתכן שמטלת ביצוע רצף תנועות הושטה כתגובה להידלקות נוריות טשטשה את ההבדל בין הקבוצות. זאת משום שהסתמכות על הרמז הראייתי (הידלקות

מקורות

- Heyes CM, Foster CL. Motor learning by observation: Evidence from a serial reaction time task. *Q J Exp Psychol Sect A*. 2002;55:593-607.
- Bird G, Heyes C. Effector-dependent learning by observation of a finger movement sequence. *J Exp Psychol Hum Percept. Perform*. 2005;31:262-75.
- Mattar AAG, Gribble PL. Motor Learning by Observing. *Neuron*. 2005;46:153-60.
- Porro CA, Facchin P, Fusi S, Dri G, Fadiga L. Enhancement of force after action observation. Behavioural and neurophysiological studies. *Neuropsychologia*. 2007; 45:3114-21.
- Weeks DL, Anderson LP. The interaction of observational learning with overt practice: effects on motor skill learning. *Acta Psychol (Amst)*. 2000;104:259-71.
- Horn RR, Williams AM, Hayes SJ, Hodges NJ, Scott MA. Demonstration as a rate enhancer to changes in coordination during early skill acquisition. *J Sports Sci*. 2007;25:599-614.
- Ertelt D, Small S, Solodkin A, et al. Action observation has a positive impact on rehabilitation of motor deficits after stroke. *Neuroimage*. 2007;36 Suppl 2:T164-73.
- Peng T, Zhu J, Chen C, Tai R, Lee C, Hsieh Y. Action observation therapy for improving arm function, walking ability, and daily activity performance after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil*. 2019;33(8):1277-85.
- Action observation treatment improves recovery of postsurgical orthopedic patients: evidence for a top-down effect? *Arch Phys Med Rehabil*. 2019;91(10):1489-1494.
- Park SD, Song HS, Kim JY. The effect of action observation training on knee joint function and gait ability in total knee replacement patients. *J Exerc Rehabil*. 2014;10:168-71.
- Buccino G. Action observation treatment: a novel tool in neurorehabilitation. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2014;369:20130185.
- Rizzolatti G, Craighero L. the Mirror-Neuron System. *Annu Rev Neurosci* 2004;27:169-92.
- di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Exp Brain Res*. 1992;91:176-80.
- Fogassi L, Ferrari PF, Gesierich B, Rozzi S, Chersi F, Rizzolatti G. Parietal Lobe: From Action Organization to Intention Understanding. *Science*. 2005;308:662-67.
- Buccino G, Vogt S, Ritzl A, et al. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: An event-related fMRI study. *Neuron*. 2004;42:323-34.

(הידלקות הנורה). שנית, ייתכן שתרגול רצף תנועות הושטה לאחר התבוננות בעשרה רצפים אינו הפרוטוקול המיטבי של תרגול משולב. יש לבדוק אם שילוב תדיר יותר של התבוננות בתנועה עם ביצוע תנועה יעיל בהשוואה להתבוננות בתנועה בלבד (למשל: ביצוע רצף תנועות הושטה לאחר התבוננות בכל רצף). נוסף על כך, ייתכן שבמהלך ההתבוננות בתנועה בשתי הקבוצות חלק מהנבדקים הניעו את הגף העליון, אף שקיבלו הנחייה שלא לזוז במהלך ההתבוננות בתנועה. הנעת הגף העליון יכולה גם היא להשפיע על למידת רצף תנועות ההושטה. ניטור פעילות שרירית בגף העליון באמצעות אלקטרומיוגרפיה במהלך ההתבוננות בתנועה והשוואתה למצב של מנוחה, בכל אחת מהקבוצות, היו מאפשרים מענה לסוגיה. עם זאת, יש לציין, שבמחקרים קודמים שביצענו, גם בבריאים וגם בחולים לאחר שבץ מוחי, לא נמצאה עלייה בפעילות השרירית בגף העליון במהלך התבוננות בתנועה, בהשוואה למנוחה.^{42,41} יש להביא בחשבון, שהתוצאות הנוכחיות הן ספציפיות לפרוטוקול ניסוי זה. אי אפשר להכליל תוצאות אלה על כל המטלות המוטוריות או על תרגול מטלה זו בפרוטוקול שונה או על אוכלוסיות נוספות (כגון: אנשים מבוגרים).

סיכום

במחקר הנוכחי נמצא שהתבוננות בתנועה משפרת באופן דומה את הביצוע של רצף תנועות הושטה בגף עליון בבריאים מיידי בתום התרגול וכעבור 24 שעות מתום התרגול, בין שהיא משולבת בביצוע הרצף הנצפה ובין שלא. המשמעות הקלינית היא הבנת החשיבות הטמונה בשילוב ההתבוננות בתנועה בטיפול במטרה לשפר מטלה מוטורית או תפקוד מוטורי.

הכרת תודה

תודות לחן לוי, יהודית גרשון, אורית בורג וטליה קיסר על העזרה בצילום סרטוני הוידאו ועריכתם, לפרופ' משה עינת, אביתר אברהם ומשה ויטמן על העזרה בבניית המכשיר ששימש להרצת הניסוי ולמשתתפים שהתנדבו להשתתף במחקר.

16. Fabbri-Destro M, Rizzolatti G. Mirror neurons and mirror systems in monkeys and humans. *Physiology (Bethesda)*. 2008;23:171-79.
17. Muthukumaraswamy SD, Johnson BW, McNair NA. Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2004;19:195-201.
18. Pineda JA. The functional significance of mu rhythms: translating “seeing” and “hearing” into “doing”. *Brain Res Brain Res Rev*. 2005;50:57-68.
19. Hari R. Action-perception connection and the cortical mu rhythm. *Prog Brain Res*. 2006;159:253-60.
20. Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J Neurophysiol*. 1995;73:2608-611.
21. Watanabe R, Higuchi T. Behavioral Advantages of the First-Person Perspective Model for Imitation. *Front Psychol*. 2016;7:1-8.
22. Rohbanfard H, Proteau L. Learning through observation: a combination of expert and novice models favors learning. *Exp Brain Res*. 2011:183-97.
23. Frenkel-Toledo S, Einat M, Kozol Z. The effects of instruction manipulation on motor performance following action observation. *Front Human Neurosci*. 2020;14:33.
24. Eaves DL, Haythornthwaite L, Vogt S. Motor imagery during action observation modulates automatic imitation effects in rhythmical actions. *Front Human Neurosci*. 2014;8:28.
25. Bek J, Poliakoff E, Marshall H, Trueman S, Gowen E. Enhancing voluntary imitation through attention and motor imagery. *Exp Brain Res*. 2016;234:1819-28.
26. Eaves DL, Jr LPB, Vogt S. Brain and Cognition EEG and behavioural correlates of different forms of motor imagery during action observation in rhythmical actions. *Brain Cogn*. 2016;106:90-103.
27. Weeks D., Anderson LP. The interaction of observational learning with overt practice: effects on motor skill learning. *Acta Psychol (Amst)*. 2000;104:259-71.
28. Shea CH, Wright DL, Wulf G, Whitacre C. Physical and observational practice afford unique learning opportunities. *J Mot Behav*. 2000;32:27-36.
29. Lago-Rodriguez A, Lopez-Alonso V, Fernández-del-Olmo M. Mirror neuron system and observational learning: Behavioral and neurophysiological evidence. *Behav Brain Res*. 2013;248:104-13.
30. Andrieux M, Proteau L. Observation learning of a motor task: who and when? *Exp Brain Res*. 2013:125-37.
31. Trempe M, Sabourin M, Rohbanfard H, Proteau L. Observation learning versus physical practice leads to different consolidation outcomes in a movement timing task. *Exp Brain Res*. 2011;209:181-92.
32. Maaravi Hesseg R, Gal C, Karni A. Not quite there: Skill consolidation in training by doing or observing. *Learn Mem*. 2016;23:189-94.
33. Ellenbuenger T, Boutin A, Blandin Y, Shea CH, Panzer S. Scheduling observational and physical practice: Influence on the coding of simple motor sequences. *Q J Exp Psychol*. 2012;65:1260-73.
34. Bogard K, Wolf S, Zhang Q, Thompson P, Morris D, Nichols-Larsen D. Can the wolf motor function test be streamlined? *Neurorehabil Neural Repair*. 2009;23:422-8.
35. Fritz SL, Blanton S, Uswatte G, Taub E, Wolf SL. Minimal detectable change scores for the wolf motor function test. *Neurorehabil Neural Repair*. 2009;23:662-7.
36. Brown JE, Frank JS. Influence of event anticipation on postural actions accompanying voluntary movement. *Exp Brain Res*. 1987;67(3):645-50.
37. Hodges PW, Richardson CA. Transversus abdominis and the superficial abdominal muscles are controlled independently in a postural task. *Neurosci Lett*. 1999;265(2):91-4.
38. Buchanan JJ, Dean NJ. Specificity in practice benefits learning in novice models and variability in demonstration benefits observational practice. *Psychol Res*. 2010;74:313-26.
39. Robertson EM, Pascual-Leone A, Miall RC. Current concepts in procedural consolidation. *Nat Rev Neurosci*. 2004;5:576-82.
40. Walker MP, Stickgold R, Alsop D, Gaab N, Schlaug G. Sleep-dependent motor memory plasticity in the human. *Neuroscience* 2005;133:911-7.
41. Frenkel-Toledo S, Bentin S, Perry A, Liebermann DG, Soroker N. Dynamics of the EEG power in the frequency and spatial domains during observation and execution of manual movements. *Brain Res*. 2013;1509:43-57.
42. Frenkel-Toledo S, Bentin S, Perry A, Liebermann DG, Soroker N. Mirror-neuron system recruitment by action observation: Effects of focal brain damage on mu suppression. *Neuroimage*. 2014;87:127-37.

Effect of action observation vs. combined action observation and execution on timing of reaching movement sequences

Silvi Frenkel-Toledo^{1,2}, Hila Wides³, Neta Avishar³, Hodaya Shtachelberg³, Nechama Hermon³ and Zvi Kozol¹

¹ Department Physiotherapy, Faculty of Health Sciences, Ariel University, Ariel, Israel

² Department of Physiotherapy, Loewenstein Hospital, Raanana, Israel

³ Physiotherapy student, Department of Physiotherapy, Faculty of Health Sciences, Ariel University, Ariel, Israel

Abstract

Observing the actions of others can improve motor performance. The effects of action observation (AO) on motor performance can be modulated by different factors. The effects of AO versus combined AO and action execution have not been fully resolved. Twenty-four healthy subjects were randomly instructed to either observe reaching movements (RM) sequences towards five lighted units with the intention of reproducing the same sequence as fast and as accurately as possible (AO group), or to observe the RM sequence with the intention of reproducing the same sequence as fast and as accurately as possible and combining action execution with the AO (AO+EX). Subjects' performance was tested before and immediately after the AO, and retested after 24 hours. During the pre-test, post-test, and retest, the subject performed RMs towards the units, which were activated in the same order as the observed sequence. Occasionally, the sequence order was changed by beginning the sequence with a different activated unit. The outcome measures were average response time of the RMs during the sequences, difference between the

response time of the unexpected and expected RMs, and percent of failures to reach the target within one second. The average response time and the difference between the response time of the unexpected and expected RMs improved in both groups at post-test and retest compared to pre-test. The percent of failures across groups was higher in the pre-test and post-test compared to retest. Our findings suggest that combining action execution with AO in a RM sequence task in the current setup does not improve subsequent performance more than AO alone. Performance stabilization of the sequence in the retest was shown in comparison to the post-test in both groups, indicating that the memory representation learned through observation with or without combining action execution was consolidated.

Keywords: Action observation, Action execution, Instruction