

מודל מובנה לסיוע ביישום עקרונות הלמידה המוטורית בפיזיותרפיה

ד"ר מיכל כפרי, ד"ר אסנת עטון עיני

החוג לפיזיותרפיה, הפקולטה למדעי הרווחה והבריאות, אוניברסיטת חיפה

הלמידה המוטורית בקליניקה בפיזיותרפיה. המודל מיועד לקדם תפיסה אינטגרטיבית של הלמידה המוטורית בקרב פיזיותרפיסטים בעלי ידע בסיסי בנושא.

התפתחות הידע בנושא למידה מוטורית ופלטטיות מוחית התנהלה שנים רבות במקביל כתחומי ידע בלתי תלויים,¹ זאת עד הופעתם של מחקרים שהדגימו את הקשר האינהרנטי בין השניים.^{2,3} כיום ידוע שבבסיס הלמידה המבוססת-תרגול נמצאת הפלטטיות המוחית, ואולם עדיין קיים ערבוב בהמשגה של העקרונות הנגזרים מכל אחד מן התחומים ומן השילוב ביניהם. בחלוקה כללית בין תחום הלמידה ובין תחום הפלטטיות ניתן לראות שמחקר שצומח מגוף הידע של הלמידה המוטורית מדגיש עקרונות כגון מיקוד הקשב במתן ההנחיות, ספציפיות התרגול, תרגול מכלול תנועתי כשלם או כחלק, גיוון התרגול (variability of practice), מידת האקראיות של התרגול, משוב ומקורות המוטיבציה. לעומת זאת, מחקר שנובע מתחום הפלטטיות של מערכת העצבים מדגיש נושאים אחרים, כגון בולטות התרגול, מינון התרגול, והאתגר בתרגול (עצימות).⁴⁻⁹

שילוב עקרונות הלמידה המוטורית בסכמת החשיבה הקלינית בפיזיותרפיה הוא עדיין משימה מאתגרת. האתגר טמון בחלקו בהיעדר מסגרת תאורטית אחידה מחד גיסא ובהיעדר מנגנונים ליישום שיטתי מאידך גיסא.⁸ כמו כן, למרות הצטברות ידע מחקרי רב על הלמידה המוטורית ולגבי הבנת התהליכים הפלטטיים,^{3,10-12} האוריינטציה שלו ליישומים קליניים היא מוגבלת. בספרות אמנם מוצגות תכניות תרגול ליישום עקרונות הלמידה המוטורית,^{13,14} אך הן מדגישות מרכיבים מסוימים מתוך מכלול העקרונות. מקור נוסף לאי-בהירות הוא ריבוי שמות ומונחים, מה שמקשה לעמוד על השווה והשונה בין שיטות תרגול אלו. כך למשל, לא ברורה ההבחנה בין: "Task specific training"¹⁵⁻¹⁷, "Functional task training"¹⁸, "Goal directed training"¹⁹, "Task oriented training"^{20,21}, כולן שיטות הנגזרות מתחום הלמידה המוטורית. נוסף על המורכבות של תחום הלמידה המוטורית עצמו, גם בשדה הקליני קיימים אילוצים שונים, כגון: היעדר נגישות לידע, משאבי זמן מוגבלים לתכנון וטיפול,

תקציר

תחום הלמידה המוטורית מבוסס על גוף ידע מחקרי נרחב, אשר נבנה על מחקר הפלטטיות המוחית, על מחקר במדעי ההתנהגות ועל מחקר בשיקום מערכת התנועה. על אף הידע הרב שהצטבר בתחום, שילוב מלא ושיטתי של עקרונות הלמידה המוטורית בתהליכי החשיבה הקלינית בפיזיותרפיה הוא משימה מורכבת. האתגר הטמון ביישום מלא ואפקטיבי של עקרונות הלמידה המוטורית מאיר את הצורך במציאת אמצעים ל"תרגום הידע", שיוכלו לגשר על הפער הקיים בין הידע המחקרי המצטבר ליישומי הקליני. במאמר זה יוצג מודל המסייע לקלינאי, הבקיא בידע מתחום הלמידה המוטורית, לבנות תהליך חשיבה שיטתי ליצירת תרגול אפקטיבי המבוסס על למידה מוטורית. המודל מורכב משלושה מרכיבי מפתח: בחירה וזיהוי של המיומנות הנלמדת ומאפייני הלומד, תכנון התרגול ביחס למשתני הלמידה והערכת הלמידה. כל מרכיב מפתח מורכב מכמה רכיבים שיקבעו את מערך התרגול ואת הערכתו. המודל מתווה את סכמת הפעולה ואת רשימת הרכיבים אליהם הקלינאי צריך להתייחס. כל רכיב מסתעף לאפשרויות בחירה שיש להתאימן למאפייני המיומנות והפרט. המודל המוצע מאפשר לארגן ידע קיים במערך אינטגרטיבי ושיטתי המכוון לקדם תהליך למידה אופטימלי.

מילות מפתח: למידה מוטורית, תרגום ידע, פיזיותרפיה

motor learning, neural plasticity, knowledge translation, gait, hemiparesis.

רקע

הלמידה המוטורית הוא אחד מתחומי הידע המרכזיים במדעי התנועה המבוסס על גוף ידע תאורטי נרחב. תחום זה ינק ממקורות מדעיים מגוונים, והתפתחותו מתבססת, בין היתר, על מחקר במדעי העצב (פלטטיות של מערכת העצבים), על מחקר במדעי ההתנהגות (אימון וחינוך גופני ופסיכולוגיה), ועל מחקר בשיקום מערכת התנועה (לדוגמה, בפיזיותרפיה). מאמר זה מצביע על המורכבות ועל אי-הבהירות הקיימות בספרות ביחס לעקרונות הלמידה המוטורית. מטרת המאמר היא להציג מודל מנחה ליישום שיטתי של עקרונות

סוג ההנחיות, סדר התרגול ומינון המשוב). המרכיב השלישי הוא הערכת הלמידה, הכולל התייחסות לתכנון משתני התוצאה ולמאפיינים אישיים וסביבתיים שהשפיעו על תהליך הלמידה.

מערכת היחסים בין כלל המרכיבים במודל מוצגת כמערכת של שלושה גלגלי שיניים גדולים המייצגים את שלושת מרכיבי המפתח של המודל. כל מרכיב מפתח מכיל גלגלי שיניים קטנים יותר המייצגים את הרכיבים השייכים לו. במערכת כזו התנועה של כל רכיב יכולה ליצור הנעה, ואולם תוצר הפעולה של המערכת יהיה אופטימלי רק כאשר כל גלגל מכוון באופן מיטבי, ומכלול הגלגלים פועלים בתיאום הדדי. המשקל שניתן לכל אחד מהגלגלים בתרומה לפעולת המערכת עשוי להיות שונה. לצורך הבהרה ניתן לבחון את הרכיבים סדר התרגול ומשוב - הקיימים בתוך מרכיב המפתח של תכנון התרגול. בספרות מוצע שאקראיות בסדר התרגול ומתן משוב במינון נמוך מעלים את דרגת הקושי של האימון. לפיכך, בכדי להתאים את דרגת קושי של התרגול יש צורך בהתאמת רכיבים אלו, כל אחד בפני עצמו וזה ביחס לזה, כך שיתקיים תרגול בדרגת קושי מיטבית.²⁷ מכאן שעל הפיזיותרפיסט לבצע התאמה של כל גלגל למיומנות, למטופל ולמטרה. יש להוסיף שטכניקות טיפוליות ספציפיות - כמו שימוש בפסיליטציות מנואליות לתנועה - יכולות, עלפי שיקול דעתו של הפיזיותרפיסט, לסייע במהלך תרגול המיומנות המוטורית הנבחרת.

הצגת המודל: מכלול עקרונות הלמידה המוטורית יוצגו להלן במבט אינטגרטיבי תוך כדי הדגמת יישומם במודל. פלטפורמה יישומית של המודל מוצגת בנספח 1.

מרכיב מפתח-1 בחירת המטרות והמיומנות וזיהוין

שלב זה משמש בסיס לתהליך התכנון, והמידע שנאסף בו יכוון את הקלינאי בתהליך קבלת ההחלטות במרכיבי המפתח הבאים של המודל. פריטיו של מרכיב מפתח זה הם:

רכיב 1א - בחירת המיומנות המוטורית לתרגול: ברכיב זה על הקלינאי לבחור את המיומנות המוטורית הנלמדת. לדוגמה - גלגול במיטה, אכילה עם צ'ופסטיק, הליכה, חבטה במחבט.

רכיב 1ב - מטרות אישיות הקשורות במיומנות המוטורית הנבחרת: הגדרת מטרות אישיות הקשורות במיומנות מארגנת את התרגול בהקשר תפקודי משמעותי עבור הלומד. באופן

וחסר בלמידת עמיתים והדרכה העלולים לעכב ולמנוע מן הקלינאי יישום מיטבי של עקרונות הלמידה המוטורית.

תחום העברת הידע מספרות המקצועית אל הקליניקה נחקר תחת ההגדרה "תרגום ידע" (knowledge translation), וזוכה לתשומת לב רבה של כל קשת מקצועות הרפואה והבריאות.²²⁻²⁵ זאת מתוך ההכרה בפער הקיים בין הידע שנבנה בעולם המחקר ובין הפרקטיקות הקיימות בעולם הקליני. העברת הידע מחייבת נקיטת פעולות שכוללות, בין היתר, סקירה ובחירה של הידע והתאמתו להקשר המקומי, קידום מודעות והטמעה, הערכת חסמים בדרך ליישום, מעקב, תמיכה ושימור.²⁶ בהתאם לכך, בתחום הלמידה המוטורית יש צורך במבנים מתווכים שיקדמו תרגום ספציפי ושיטתי של העקרונות בטיפול שמכוון ללמידה.

המודל המוצע במאמר זה הוא מודל פרגמטי שפותח בכדי לסייע לקלינאי הבקיא בידע בתחום הלמידה לארגן תהליך חשיבה שיטתי, שתוצאתו תהיה מערך התערבות סדור ליצירת תרגול אפקטיבי של למידה מוטורית. המודל נותן בידי הקלינאי סכמה מובנית ושיטתית שבאמצעותה יוכל לאפיין את המיומנות הנלמדת, לתכנן את ההתערבות ולהעריך את הלמידה. טרם שימוש במודל, על הקלינאי לזהות שהסיטואציה הטיפולית היא כזו שבה תהליך של למידה מוטורית הוא אכן האמצעי המרכזי להשגת המטרות הטיפוליות (להבדיל לדוגמה מהפחתת כאב או משיפור טווחי תנועה פאסיביים). אם להערכת הפיזיותרפיסט, תהליך של למידה אינו מרכזי ביחס להשגת מטרות הטיפול, אין מקום לשימוש במודל המוצע.

מודל מנחה ליישום עקרונות הלמידה המוטורית

המודל המנחה ליישום עקרונות הלמידה מוצג בתרשים 1. המודל מורכב משלושה מרכיבי מפתח: (1) בחירה וזיהוי של המיומנות הנלמדת ושל מאפייני הלומד, (2) תכנון התרגול ביחס למשתני הלמידה (3) הערכת הלמידה. נקודת ההתחלה בתהליך היא בחירת המיומנות הנלמדת וזיהוי המאפיינים שלה בהקשר הכללי של ניתוח המטלה, ובהקשר הספציפי של הלומד. המרכיב השני הוא תכנון התרגול, המתווה את כלל הרכיבים שיכתיבו את המסגרת הפרוצדוראלית של מערך התרגול והמייצגים את המרכיבים הקריטיים ללמידה (כגון

לשמירת הספציפיות של התפקודים הקוגניטיביים היא כדרור במהלך משחק כדורסל. השחקן צריך תוך כדי הכדרור לקבל החלטות (אם למסור את הכדור או להמשיך להתקדם אתו אל הסל, ולאן למסור את הכדור). בעת שיקום של מיומנות זו אם תרגול הכדרור יבדד רק לדרישות המוטוריות ולא יכלול צורך בקבלת החלטות, היכולת להעביר לעולם האמתי תהיה מוגבלת. גם כשצריך לשים את הדגש על ביסוס המיומנות המוטורית של הכדרור עצמו, עדיין ניתן לשלב קבלת החלטות ברמה הבסיסית (לדוגמה כדרור מול צומת T שיחייב את השחקן להחליט אם הוא ממשיך בתנועה ימינה או שמאלה). המרכיב השלישי הוא הספציפיות של הסביבה. לדוגמה, אם שיעורי הנהיגה של תלמיד יתקיימו סביב בית הקברות ובכבישים צדדיים, הוא יתקשה בטסט שמתקיים ברחובות סואנים יותר של העיר או בנהיגה מחוץ לעיר. חשוב להדגיש ששמירה על הספציפיות במרכיבים המתוארים אינה סותרת את עקרון הגיוון בתרגול (כפי שיפורט בהמשך).

רכיב 10 - שלב הלמידה שהלומד נמצא בו: Fitts and Posner מתארים את התהליך שהלומד עובר ממתחיל (novice) למומחה (skilled) כמתפרש על רצף של שלושה שלבים-קוגניטיבי, אסוציאטיבי או אוטומטי. זיהוי שלב הלמידה שהלומד נמצא בו מתבסס על מאפייני הביצוע או מאפייני המבצע.³³ השלב שבו נמצא הלומד, בדומה לסיווג המיומנות הנלמדת, משפיע על בחירת מאפייני התרגול ועל הערכת תהליך הלמידה. לדוגמה חשיבות המשוב גדולה יותר כשהלומד נמצא בשלב הקוגניטיבי. בשלב התחלתי זה גם צפויים שינויים גדולים יחסית בעקומת הביצוע ושונות גבוהה במהלך התרגול.

רכיב 11 - מרכיבים מאתגרים עבור הלומד במיומנות המוטורית: מרכיב זה מחבר בין מאפייני המיומנות ומאפייני האישיים של הלומד. על בסיס הבנת מאפייני הלומד ומגבלותיו, על הקלינאי לזהות מהן הדרישות במטלה שיהוו אתגר עבורו. בשלב התכנון ניתן להשתמש במודולציה של דרישות אלו בכדי להעלות את דרישות הקושי בתרגול.

מרכיב מפתח -2 תכנון מערך התרגול ומשתניו

בשלב התכנון מוצג המערך הכולל של הרכיבים המכתיבים את המסגרת הפרוצדוראלית של התרגול. רשימת הרכיבים היא קבועה ומייצגת את המרכיבים הקריטיים ללמידה. בכל רכיב

זה מובטח שתכנית התרגול תהיה בעלת בולטות וחינונית עבורו.²⁸ חשיבות הבולטות (salience) היא בין היתר בכך שהיא מקדמת מוטיבציה פנימית וקשב החשובים לתהליך הלמידה.²⁸ לדוגמה, אצל אדם לאחר אירוע מוחי, שבחר בהליכה כמיומנות הנלמדת, והגדיר את המטרות הקשורות בהליכה כהגעה למכולת הסמוכה לביתו בכדי לקנות ארטיקים לנכדותיו, הרי שארגון התרגול סביב מטרה בולטת זו יחזק את המחויבות והמעורבות שלו במהלך התרגול. מתוך הגדרת המטרות האישיות הקשורות במיומנות נגזרים גם ההקשרים הסביבתיים הספציפיים שבהם היא מתקיימת. בהמשך לדוגמה שניתנה, משתמע שההליכה מתקיימת על משטח חוץ בסביבה משתנה.

רכיב 12 - סיווג המיומנות: מתייחס לניתוח מאפייני המיומנות ביחס לקבוצות השרירים המעורבות (גסה או עדינה), להגדרת נקודות ההתחלה והסיום של המיומנות (דיסקרטית, סדרתית או מתמשכת), ולהשתנות הסביבה במהלך ביצוע המיומנות (פתוחה או סגורה).²⁹ לסיווג המיומנות חשיבות בבחירת מאפייני התרגול.³⁰ לדוגמה, תרגול של מיומנות סגורה המתרחש בתנאי סביבה יחסית קבועים ידרוש פחות גיוון (variability) בתנאי הסביבה.²⁹⁻³¹

רכיב 13 - מאפיינים ספציפיים של המיומנות המוטורית שיש לשמר בתרגול: עקרון הספציפיות מתייחס למידת הדמיון בין התנאים (תפיסתיים, סביבתיים ומנטליים) שבהם מתקיים התרגול לבין ביצועו בעולם האמתי. למידה (שימור והעברה) תהיה טובה יותר כאשר הדמיון בין התרגול לבין הביצוע הנדרש בעולם האמתי רב יותר. השמירה על הספציפיות צריכה להתבטא בשלושה מרכיבים: מקור המידע התחושתית העיקרי, התפקודים הקוגניטיביים (לדוגמה מיומנויות קשב, שיפוט, קבלת החלטות) שמעורבים בביצוע המיומנות, והסביבה בעולם האמיתי שבה מתבצעות המיומנויות (הקשר סביבתי).³² לדוגמה בהקשר התחושתית, בלמידה של הושטה אל ואחזיה של מפתחות ושליפתם מתוך התיק, מכיוון שבעולם האמתי מקור המידע העיקרי הוא פרופריוצפטיבי וטקטילי, לתרגול ספציפי ייחשב תרגול שבו האדם מאתר בתיק את המפתחות ללא קבלת קלט ויזואלי. תרגול שבו הלומד רואה את הסביבה שבה מתבצעת ההושטה, דהיינו תרגול שבו הקלט התחושתית הדומיננטי יהיה מן המערכת הוויזואלית, אינו מקיים את הספציפיות. דוגמה אפשרית

המבצע מדגים טעויות גדולות בביצוע.⁴² למרות ממצאים שתומכים בהעדפת קשב חיצוני, נמצא שפיזיותרפיסטים, ספציפית בתרגול לשיקום הליכה באנשים אחרי שבץ, הציגו שימוש רב ביותר באמירות (הנחיות ומשוב) שמקדמות קשב פנימי.⁴³

רכיב ג2 - גיוון בתרגול (variability of practice): גיוון בתרגול מתייחס למגוון התנועתי ולשונות בהקשרים הסביבתיים שהלומד מתנסה בהם במהלך תרגול של מיומנות מוטורית ספציפית.^{32,44} ניתן לגוון במרכיבים תנועתיים, לדוגמה: מהירות ההליכה והשיפוע שבו מתבצעת ההליכה. בהקשר הסביבתי ניתן לשנות מרכיבים רגולטוריים, לדוגמה המרקם של משטח ההליכה, ומרכיבים לא-רגולטוריים לדוגמה צבע משטח ההליכה. כפי שנאמר קודם, ניתן לטעות ולחשוב שעקרון הגיוון ועקרון הספציפיות סותרים זה את זה, אולם לא כך הוא. הגיוון מתמקד ביצירת פתרונות תנועתיים שונים, ויכול להתקיים גם כאשר נשמרים הספציפיות של מקור המידע התחושתית, התהליכים הקוגניטיביים וההקשר הסביבתי.³²

רכיב ג2 - סדר התרגול (practice schedule): רכיב זה מתייחס לסדר שבו מתקיים מערך התרגול, אם בהתייחסות לווריאציות שונות של אותה המיומנות ואם בהתייחסות למיומנויות שונות בתוך מערך התרגול. ניתן לסדר את התרגול כך שווריאציות שונות או מיומנויות שונות יתורגלו כל אחת בסדר רצוף. סדר זה ייקרא "תרגול בבלוק". לעומת זאת, ניתן לבצע את התרגול כך שהווריאציות השונות או המיומנויות השונות יתורגלו בסדר אקראי (random).

ככלל, כאשר הלומד נמצא בשלבים מתקדמים של הלמידה או כשהמיומנות הנלמדת היא פשוטה יחסית, השאיפה היא לארגן את התרגול כך שיכיל גוון ואקראיות רבים. לעומת זאת, כאשר הלומד הוא בשלבים מוקדמים של הלמידה (מתחיל) או כאשר המיומנות הנלמדת היא מורכבת במיוחד, ניתן לבנות מערך תרגול עם גיוון ואקראיות מועטים;³² גם להנחיה כללית זו יש הסתייגויות בספרות.⁴⁵

השפעת הגיוון והאקראיות בתרגול על הלמידה מוסברת על ידי יצירה של contextual interference (CI) effect, שמשמעו הפרעה הנוצרת בעת ביצוע המיומנות וביצירת הזיכרון התנועתי, בעקבות מסיחים המופיעים במהלך התרגול.⁴⁶

נדרש הקלינאי לקבלת החלטות. לדוגמה, ברכיב המשוב על הקלינאי לקבוע אם המשוב יהיה קבוע או דועך, אם יינתן בזמן התרגול, על ניסיונות ספציפיים, או כמשוב מסכם לאחריו, על התרגול כולו או על פרמטרים ספציפיים הנכללים בו. דוגמה נוספת היא ההתייחסות למידת הגיוון בתרגול. היכולת לקיים תהליך חשיבה קליני ולקבוע מה תהיה מידת הגיוון בתרגול מתבססת על ידע בתחום הלמידה המוטורית ועל ידע ספציפי הקושר בין תהליכי למידה למאפייניו הספציפיים של הלומד, כמו האבחנה, הגיל, השלב בלמידה שבו נמצא הלומד ואבחנה רפואית. לדוגמה: נמצא כי בקרב אנשים עם אלצהיימר יש עדיפות לתרגול שאינו מגוון.³⁴

פריטיו של מרכיב מפתח זה הם:

רכיב ג2א - מינון התרגול: בתחומי הטיפול השונים בפיזיותרפיה קיים קונצנזוס שלפיו חזרות במינון גבוה הן מרכיב קריטי בלמידה ומשום כך הוא הכרחי.^{35,66} חשוב לציין שאף על פי שפיזיותרפיסטים מכירים בחשיבותו של מרכיב זה, במקרים רבים, עדיין, אין מתקיים אימון במינון מספק. הגדרת המינון הרצוי בתוך תכנית התרגול חשובה גם כדי לקדם פיתוח של דרכי פעולה הולמות להשגת מטרה זו, כגון תרגול בית מובנה, הטמעת טופסי מעקב, תרגול משלים בקבוצות, הדרכת בני משפחה וכיו"ב.

רכיב ג2ב - הנחיות: ההוראות המילוליות הניתנות ללומד יכולות לכוונו למיקוד הקשב במהלך ביצוע המטלה. הנחיות המתייחסות לתוצאת הפעולה על הסביבה יוצרות מוקד קשב חיצוני (external focus of attention) ובכך מכוונות את הלמידה לתוצאת הביצוע ולא למרכיבי הביצוע עצמו (לדוגמה: "שמור שהפטרייה לא תנוע").

לעומת זאת הנחיות המתייחסות לפריטי התוכן של הביצוע, כמו מידע קינמטי, יוצרות מוקד קשב פנימי (internal focus of attention), שבו יש מודעות למרכיבי הביצוע עצמם (לדוגמה: שמור את משקל הגוף מחולק שווה בין שתי הרגליים). נמצא כי קשב חיצוני הוא בעל השפעה חיובית על תהליך הלמידה בקרב מגוון אוכלוסיות, כולל ספורטאים, ילדים ואנשים עם פגיעות נירולוגיות או אורתופדיות.^{9,36-39} בשלבים מוקדמים של הלמידה, ובמיומנויות הנמדדות על פי אופן ביצוע ועל פי האיכות התנועטית (כמו התעמלות קרקע שבה הניקוד ניתן באופן ספציפי על מדדים קינמטיים), ייתכן שיש עדיפות למתן הנחיות היוצרות קשב פנימי.^{36,40,41} כמו כן ייתכן שהעדפת הקשב החיצוני חשובה יותר ללמידה של מיומנויות כאשר

אפקט CI הוא בעל השפעה חיובית על הלמידה, אף על פי שבאופן המיידית הוא קשור בביצוע פחות טוב של המיומנות המוטורית.⁴⁵⁻⁴⁷ מידת הגיוון והאקראיות שמוטמעות בתרגול יקבעו את רמת ה-CI.

רכיב זה - תרגול של חלק לעומת שלם: השאלה בקשר לתרגול של חלק לעומת תרגול שלם נוגעת ללימוד המיומנות כרצף אחד או בחלוקתה לתת-מרכיביה (סגמנטים). מיומנויות מוטוריות מורכבות כוללות כמה סגמנטים תנועתיים, שיכולים להיות תלויים זה בזה מבחינת תזמונם (לדוגמה, בהושטת יד לצורך לקיחת חפץ פתיחת האצבעות מתרחשת בתזמון ספציפי ביחס לתנועת ההושטה) ומבחינת המאפיינים המרחביים (לדוגמה, בהזדקפות לעמידה סגמנט ההתרוממות תלוי בהעברת מרכז הכובד לפנים שמתרחשת בסגמנט תנועתי קודם). במיומנויות המורכבות, כאשר רמת התלות בין הסגמנטים גבוהה, יש חשיבות בתרגול המיומנות כשלם.^{29,48-50}

רכיב 12 - התקדמות בדרגות הקושי של התרגול: קיים הבדל בין תרגול חוזרני של אותה תבנית תנועתית מוכרת לבין תרגול של מטלה מוטורית מאתגרת הדורשת פיתוח של פתרונות תנועתיים חדשים, כמו יצירת סינרגיה שרירית חדשה או שכלול סינרגיה מוטורית קיימת.^{3,12,51-53} המחשה של ההבדל שבין תרגול חוזרני ובין תרגול חוזרני מאתגר ניתנת בסדרת עבודות של נודו ושותפיו^{2,52} ובעבודות נוספות.⁵⁴ במחקר של² Nudo and Milliken (1996) נבחנו השינויים בייצוג הקורטיקלי המוטורי של הרגליים הקדמיות בקבוצה של קופים שאומנה בהושטת יד ולקיחת אוכל מתוך באר קטנה, פעולה המחייבת מיומנות בתנועת האצבעות. הקופים אומנו במשך 11 ימים, פעמיים ביום, והגיעו ל-12,000 חזרות על תנועת כיפוף האצבעות. אפיון של הביצוע המוטורי הדגים שינויים משמעותיים בהיבט הקינמטי והטמפורלי שמייצגים למידה. השוואה של המפות המוטוריות לפני התרגול ולאחריו הדגימה יצירה של ארגון נזירונלי חדש. בשונה מכך, בעבודה נוספת, אומנה קבוצה של קופים בלקיחת אוכל מבאר רחבה.⁵² האימון התקיים במינון זהה לזה של המחקר הקודם, אך ללא האתגר של הבאר הצרה. אפיון של הביצוע המוטורי במקרה זה לא הדגים שינויים משמעותיים בהיבט הקינמטי והטמפורלי של ביצוע המיומנות, וגם לא נמצא שינוי בייצוג המוטורי הקורטיקלי. דוגמה זו מראה שלצורך למידה וארגון

מחודש של המערכת המוטורית אין די בעמידה בתנאי מינון גבוה אלא חשוב שתוכן התרגול יחייב פיתוח של תבניות תנועתיות חדשות. נראה שיצירת אתגר בתרגול כופה על המערכת הנזירונלית התארגנות המביאה לרכישה טובה יותר של המיומנות. אתגר לא פשוט עומד בפני הקלינאי בתכנון רמת אתגר המתאימה ללומד. עליו למצוא גורמים בביצוע המיומנות או גורמים בסביבה שיאלצו את המערכת התנועתית להתארגן מחדש כדי להשיג את מטרת הפעולה. לדוגמה, שינוי בשיפוע משטח ההליכה מחייב שינוי בתבנית ההליכה בכדי ליצור פינוי (clearance) יעיל של כף הרגל.

רכיב 12 - משוב: למתן המשוב שתי מטרות מרכזיות: לקדם את השגת מטרת הפעולה וליצור מוטיבציה אצל הלומד. המודל מתייחס למשוב חיצוני מסוג augmented, שבו ניתן ללומד מידע על הביצוע על-ידי מקור חיצוני המעצים את המידע המתקבל ממערכות התחושה. במשוב מסוג זה ניתן להגדיר כמה משתנים ובהם: אופן מתן המשוב (כגון מסר מילולי, הקלטת וידאו או ביופידיבק), תזמון ותדירות (מסכם, ממוצע, דועך וכו'). משתנה נוסף הוא סוג המידע. מבדילים בין מידע על הביצוע (KP - knowledge of performance) לבין מידע על תוצאת הביצוע (KR - knowledge of results). נמצא שמשוב מסוג KR הנו בעל אפקט חיובי בכל שלבי הלמידה. בשלבים מתקדמים של הלמידה משוב מסוג KP עשוי לקדם פרמטרים ספציפיים של הביצוע. נמצא גם שבכדי להימנע מתלות במשוב חיצוני עדיף משוב שיינתן בתדירות הנמוכה ממספר ניסיונות הביצוע (לדוגמה על ידי משוב מסכם או דועך).^{29,55}

רכיב זה - מתן גמול חיובי: רכיב זה מתייחס למתן של גמול חיובי כלשהו שנועד לדרבן ביצוע של ההתנהגות שעליה הוא ניתן. המחקר בנושא הגמול נערך לראשונה על-ידי הזרם הביהביוריסטי בפסיכולוגיה, בתוך המסגרת הזו נחקר הגמול ביחס להשפעתו על מוטיבציה ולמידה בתחומים שונים, כגון התחום האקדמי. בשנים האחרונות הוסיף המחקר בתחום מדעי המוח רובד חדש להבנת מנגנון הפעולה של הגמול והבנת חשיבותו בלמידה מוטורית.^{56,57} בקצרה, נמצא שבחירה של אסטרטגיות מוטוריות מושפעת מן הערך החיובי שמיוחס לכל אסטרטגיה. ערך זה נקבע בחלקו בגרעיני הבסיס, בהתאם למידת הגמול החיובי שהתקבל בניסיונות קודמים.⁵⁶⁻⁵⁸ באופן זה הצמדת גמול חיובי לאסטרטגיות

נחיתה מניתור. אשר לקינמטיקה של מפרקי הקרסול והברך בזמן נחיתה מניתור, מתוארות בספרות כמה ואריאציות קינמטיות שקצתן נקשרות לסיכון מוגבר לפציעות.^{61,62} ניתן לנקוט אסטרטגיות אימון בכדי למנוע את הווריאציות הלא-רצויות.⁶³

מרכיב מפתח-3 הערכת הלמידה

הרכיבים הנכללים תחת מרכיב מפתח זה נחלקים לרכיבים הדורשים תכנון מוקדם (רכיבים 3א-3ג) ורכיבים הדורשים בחינה רטרוספקטיבית של תהליך הלמידה (3ד-3ה).

רכיבים 3א-3ג-הערכת הלמידה: מתבצעת באופן עקיף על-ידי הערכת הביצוע של המיומנות הנלמדת (מבחן שימור) או מיומנויות אחרות (מבחן העברה). מגוון של מדדים יכולים לשמש להערכת הביצוע, ביניהם זמן התגובה, מספר הטעויות, זמן הביצוע, אחוז ההצלחות או הטעויות מתוך סה"כ הניסיונות. ניתן גם להסתכל על מדדי ביצוע שמחייבים שימוש באמצעים טכנולוגיים מורכבים יותר. מדדים אלו כוללים בין השאר קינמטיקה של התנועה, פעילות EMG וכו'. גם כלי מדידה סטנדרטיים קליניים יכולים לשמש להערכת הלמידה. כך לדוגמה, בתרגול למידה של מעבר משיבה לעמידה ניתן להשתמש במדידה של זמן הביצוע או במדידת אחוז ההצלחות מתוך מספר קבוע של ניסיונות. ניתן גם להשתמש בכלי מדידה סטנדרטיים כמו מבחן ברג (Berg Balance Scale) או הבית"י (בדיקת יכולת תפקודית יומיומית). היתרון בשימוש בכלי מדידה סטנדרטיים הוא בתקנון המאפשר מהימנות גבוהה בביצוע מדידות חוזרות ומסגרת ייחוס. יחד עם זאת, ייתכנו מגבלות ביחס לאפקט הרצפה והתקרה ולרגישותו של סולם המדידה. ראוי לציין כי היצע כלי המדידה הסטנדרטיים הקיים כיום הוא מוגבל ואין בהכרח בנמצא כלי שיתאים עבור כל מיומנות נלמדת. בכדי שמדידת הביצוע תשקף למידה ולא רק שינויים זמניים בביצוע, יש לאפשר מרווח זמן בין התרגול לבין המדידה.^{29,64} לדוגמה, ניתן לקיים מדידות של הביצוע בסיום האימון ביום מסוים ומדידה חוזרת בתחילת האימון ביום עוקב. כמו כן, מדידת הלמידה בשלבים שונים של תקופת התרגול ולאחריה תאפשר לפיזיותרפיסט לבחון את האפקטיביות של תכנית התרגול שבנה.

מוטוריות מסוימות עשויה לקדם את השימוש בהן. יחד עם זאת, המחקר שעוסק במיוחד בקשר שבין גמול ללמידה מוטורית בהקשרים יישומיים נמצא בשלבים מוקדמים. מספר מצומצם של מחקרים בתחום הראה השפעה חיובית על למידה מוטורית בקרב לומדים (צעירים בריאים⁵⁹ או אנשים אחרי שבץ מוח⁶⁰) שקיבלו גמול כספי. במודל המוצע, תכנון מרכיב הגמול כולל בתחילה את קביעת הקריטריון למתן הגמול. הקריטריון יכול להתייחס לתוצאת הביצוע או לאופן הביצוע. כך לדוגמה, באימון למידה של קימה משיבה לעמידה אצל אדם לאחר אירוע מוחי, ניתן לקבוע קריטריון התלוי בתוצאה, הגמול יינתן על כל ניסיון קימה שהסתיים בהצלחה (עמידה). ניתן גם לקבוע קריטריון הקשור בביצוע, לדוגמה, מתן גמול על כל קימה שהסתיימה ללא טריקת ברך. השלב השני כולל את בחירת הגמול, על פי העדפותיו האישיות של הלומד. כך לדוגמה, ניתן לבחור גמול הכולל טקס קצר של תשואות לציון הצלחה, או מתן זמן טיפול נוסף, או בילדים מתן זמן משחק ב-iPad. בדוגמה שבה הגמול קשור ל"זכייה" בזמן, כל ניסיון שעומד בקריטריון מתוך סדרת ניסיונות של מעבר משיבה לעמידה יזכה את הלומד מיידית בשתי דקות. יש להדגיש שבניגוד למשוב הנותן מידע על אופן הביצוע או על תוצאותיו, הגמול החיובי אינו מספק מידע, ומיועד להינתן בצמידות לניסיונות התנועתיים שהוא בא לחזק.

רכיב 2ט - מרכיב תנועה תחרותיים: מיומנות מוטורית יכולה להתבצע במגוון רחב של אסטרטגיות תנועתיות. תוך כדי תרגול מתרחש תהליך בחירה בתבניות תנועה מסוימות, על פי רוב האופטימאליות עבור הלומד ועבור השגת המטרה של המיומנות. במקביל להתמחות בתבניות מסוימות, תבניות אחרות נזנחות. תפקיד הפיזיותרפיסט הוא למקד את הלמידה סביב התבניות התנועתיות שברצונו לקדם. לצורך כך יש לעכב את האפשרות לתרגול חוזר של התבניות הלא-רצויות. סעיף זה חשוב בעיקר לאחר פגיעות במערכת העצבים ובמערכת שריר-שלד, שבעקבותיהן מתפתחות תבניות תנועה מפצות (קומפנסציות). לדוגמה, בתרגול ללימוד של תנועת ההושטה של יד אצל אדם לאחר אירוע מוחי ייתכנו שתי אסטרטגיות תנועתיות מתחרות, האחת תתבסס על הגדלת תנועה אקטיבית בכתף ובמרפק, והשנייה - על הגדלת תנועת הכיפוף של הגו. על הפיזיותרפיסט להחליט איזו תבנית תנועתית הוא רוצה לקדם, ולהגביל את זו המתחרה, בדוגמה הנ"ל על-ידי קיבוע הגו למשענת הגב של הכיסא.¹⁶ דוגמה נוספת היא

רכיב ד3 - חזקות/חולשות של הלומד שהשפיעו על תהליך הלמידה: רכיב זה מתייחס למאפיינים האישיים שלהערכת הפיזיותרפיסט השפיעו על הלמידה. החוזקות שעשויות לסייע ללמידה יכולות לכלול מוטיבציה גבוהה, יכולות תנועתיות, תחושת מסוגלות עצמית וכו'. החולשות שעלולות היו לעכב את תהליך הלמידה הן: היעדר מוטיבציה, ליקויי קשב, ליקויים בתפקודי הגוף התעייפות ואחרות.⁶⁵

רכיב 3ה - תנאי הסביבה: הסתכלות כוללנית על תהליך הלמידה כוללת גם התייחסות למאפיינים סביבתיים שסייעו או הגבילו את התהליך. כך לדוגמה, אפשר שתרגול בסביבה רועשת תרם ללמידה בשל דמיון מאפייני הסביבה במהלך התרגול למאפייניה בעולם האמת. מנגד, אפשר שהוא היה גורם מגביל בשל עומס קשבי.

סיכום וכיוונים עתידיים

המודל המוצע בעבודה זו התפתח מתוך זיהוי צורך בשדה הקליני לפיתוח אסטרטגיות פעולה שיתווכו בין עולם הידע התאורטי לעולם הטיפולי. יתר על כן, בתהליך הביסוס התאורטי של המודל בלט הקושי לנווט בתוך מקורות הידע הרלבנטיים. החוקר והקלינאי ניצבים בפני עולם ידע תאורטי שגבולותיו אינם מוגדרים, שחסר ראייה כוללנית, ושחסר אחידות בטרמינולוגיה. כמו כן, המחקר, הקליני מאופיין בפרגמנטציה, דהיינו מחקר שבוחן באופן מבודד רק מרכיב ספציפי מתוך מכלול הרכיבים הרלבנטיים (לדוגמה^{48,66,67}). במקרים מעטים יש ניסיון לערוך אינטגרציה של כמה רכיבים לכדי מסגרת תאורטית ויישומית אחת (לדוגמה⁷).

המודל המתואר כאן עשוי לסייע בהוצאתו לפועל של טיפול שמכוון ללמידה מוטורית ומבוסס על עקרונותיה, בכך שהוא משרטט סכמת חשיבה קלינית תוך ראייה כוללנית ואינטגרטיבית. הסכמה המוצגת במודל פורשת באופן מובנה את השאלות שאיתן צריך הקלינאי להתמודד. יחד עם זאת, המודל אינו כולל את המידע שיאפשר כוונן של כל אחד מהרכיבים שבו. עבור כל אחד מן הרכיבים שבמודל ישנן דרגות חופש רבות והבחירה ביניהן תלויה במאפיינים של הלומד (לדוגמה, גיל, אבחנות רפואיות ויכולות מוטוריות) ובמאפייני המיומנות הנלמדת (לדוגמה, פתוחה או סגורה). על הקלינאי להכיר את הספרות הרלוונטית בכדי שיוכל לבצע את הבחירות המתאימות ליצירת תרגול אופטימלי.

הדבר מחייב רכישת ידע והתעדכנות שוטפת בתחום הלמידה המוטורית. כיוונים עתידיים לפיתוח המודל ישלבו מיפוי הידע הרלוונטי עבור כל רכיב ביחס למאפייני הלומד ולמיומנות הנלמדת. לדוגמה סוג המשוב האופטימלי כתלות בגיל הלומד או במיקום הפגיעה במערכת העצבים.

עבודה זו מציגה מודל תאורטי המפרט באופן סדור את כלל המרכיבים המתוארים זה מכבר בספרות,^{6-9,29-32,35,64-65} אשר יש לכלול אותם בתכנון ובביצוע תרגול שמטרתו למידה מוטורית. מכאן שהמודל אינו מתיימר להוסיף או לחדש ברמה התאורטית, אלא נועד לסייע בתרגום הידע עבור הקליניקה. השימוש במודל מוגבל לקלינאים בעלי ידע בסיסי במושגי הלמידה המוטורית, וידע ביחס למאפייני הלמידה המיטביים עבור אוכלוסיות ופתולוגיות שונות בטווח החיים. המודל אינו בא להחליף את שיקול הדעת הקליני או לתת תשובות ביחס לאופטימיזציה של כל רכיב. כמו כן, הוא אינו מפנה את הקלינאי אל מקורות ידע ספציפיים ומומלצים עבור כל רכיב. בחינת ההשפעה של השימוש במודל זה על הידע ועל הטמעת עקרונות הלמידה בטיפול הפיזיותרפי מתבצעת בימים אלו. תהליך זה יהווה בסיס לביקורת ולהמשך פיתוחו של המודל על בסיס מחקר. הדגמת יישום המודל בקליניקה בפיזיותרפיה מוצגת בהרחבה בתיאור מקרה של מטופלת לאחר אירוע מוחי עם מגבלה בניידות, אשר מופיע בגיליון זה. כמו כן, יש להדגיש כמובן שהמודל הוא נדבך בתהליך החשיבה הקלינית ובטיפול הפיזיותרפי, וכי ברור כי הקלינאי נדרש להתמודד עם סוגיות קליניות נוספות הקשורות לנושא הלמידה המוטורית, כגון הגדרת מטרות טיפול, או דיון במאפיינים הדומים והשונים של אמצעי טיפול שונים, כמו חיזוק שרירים, הפחתת כאב ולמידה מוטורית.

לסיכום, כשאנו מדמים את עולם הלמידה המוטורית כמבוך מסועף, העבודה המתוארת כאן יתכן ונותנת כלי שמקל על הניווט בחלקים של המבוך. יחד עם זאת בראייה עתידית של התפתחות התחום במקצוע הפיזיותרפיה נדרשים גורמים מתווכים נוספים שסייעו בהנגשה של המחקר לשדה הקליני וביישומו הלכה למעשה.

11. Jones TA, Chu CJ, Grande LA, Gregory AD. Motor skills training enhances lesion-induced structural plasticity in the motor cortex of adult rats. *J Neurosci*. 1999;19:10153-10163.
12. Nudo RJ. Recovery after brain injury: mechanisms and principles. *Front Hum Neurosci*. 2013;7:887.
13. Takeuchi N, Izumi S. Rehabilitation with poststroke motor recovery: a review with a focus on neural plasticity. *Stroke Res Treat*. 2013;2013:128641.
14. Dobkin BH. The clinical science of neurologic rehabilitation. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 2003.
15. Birkenmeier RL, Prager EM, Lang CE. Translating animal doses of task-specific training to people with chronic stroke in 1-hour therapy sessions: a proof-of-concept study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2010;24:620-635.
16. Michaelsen SM, Dannenbaum R, Levin MF. Task-specific training with trunk restraint on arm recovery in stroke: randomized control trial. *Stroke*. 2006;37:186-192.
17. Schaefer SY, Dibble LE, Duff K. Efficacy and Feasibility of Functional Upper Extremity Task-Specific Training for Older Adults With and Without Cognitive Impairment. *Neurorehabil Neural Repair*. 2014.
18. Sethi A, Davis S, McGuirk T, Patterson TS, Richards LG. Effect of intense functional task training upon temporal structure of variability of upper extremity post stroke. *J Hand Ther*. 2013;26:132-137; quiz 138.
19. Mastos M, Miller K, Eliasson AC, Imms C. Goal-directed training: linking theories of treatment to clinical practice for improved functional activities in daily life. *Clin Rehabil*. 2007;21:47-55.
20. Schweighofer N, Choi Y, Winstein C, Gordon J. Task-oriented rehabilitation robotics. *Am J Phys Med Rehabil*. 2012;91:S270-279.
21. Wevers L, van de Port I, Vermue M, Mead G, Kwakkel G. Effects of task-oriented circuit class training on walking competency after stroke: a systematic review. *Stroke*. 2009;40:2450-2459.
1. Warraich Z, Kleim JA. Neural plasticity: the biological substrate for neurorehabilitation. *PM R*. 2010;2:S208-219.
2. Nudo RJ, Milliken GW. Reorganization of movement representations in primary motor cortex following focal ischemic infarcts in adult squirrel monkeys. *J Neurophysiol*. 1996;75:2144-2149.
3. Kleim JA, Barbay S, Nudo RJ. Functional reorganization of the rat motor cortex following motor skill learning. *J Neurophysiol*. 1998;80:3321-3325.
4. Hubbard IJ, Parsons MW, Neilson C, Carey LM. Task-specific training: evidence for and translation to clinical practice. *Occup Ther Int*. 2009;16:175-189.
5. Jarus T. Motor learning and occupational therapy: the organization of practice. *Am J Occup Ther*. 1994;48:810-816.
6. Kleim JA, Jones TA. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *J Speech Lang Hear Res*. 2008;51:S225-239.
7. Muratori LM, Lamberg EM, Quinn L, Duff SV. Applying principles of motor learning and control to upper extremity rehabilitation. *J Hand Ther*. 2013;26:94-102; quiz 103.
8. Winstein C, Lewthwaite R, Blanton SR, Wolf LB, Wishart L. Infusing Motor Learning Research Into Neurorehabilitation Practice: A Historical Perspective With Case Exemplar From the Accelerated Skill Acquisition Program. *J Neurol Phys Ther*. 2014.
9. Wulf G, Shea C, Lewthwaite R. Motor skill learning and performance: a review of influential factors. *Med Educ*. 2010;44:75-84.
10. Karni A, Meyer G, Rey-Hipolito C, et al. The acquisition of skilled motor performance: fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1998;95:861-868.

22. Davis D, Evans M, Jadad A, et al. The case for knowledge translation: shortening the journey from evidence to effect. *BMJ*. 2003;327:33-35.
23. Scott SD, Albrecht L, O'Leary K, et al. Systematic review of knowledge translation strategies in the allied health professions. *Implement Sci*. 2012;7:70.
24. Straus SE, Tetroe J, Graham I. Defining knowledge translation. *CMAJ*. 2009;181:165-168.
25. Tugwell PS, Santesso NA, O'Connor AM, Wilson AJ. Knowledge translation for effective consumers. *Phys Ther*. 2007;87:1728-1738.
26. Graham ID, Logan J, Harrison MB, et al. Lost in knowledge translation: time for a map? *J Contin Educ Health Prof*. 2006;26:13-24.
27. Guadagnoli MA, Lee TD. Challenge point: a framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. *J Mot Behav*. 2004;36:212-224.
28. Broetz D, Birbaumer N. Behavioral physiotherapy in post stroke rehabilitation. *NeuroRehabilitation*. 2013;33:377-384.
29. Magill RA. Motor learning and control : concepts and applications. 9th ed. New York: McGraw-Hill; 2011.
30. Gentile AM. Skill acquisition: Action, movement, and neuromotor processes. In: Carr JH, Shepherd RH, eds. *Movement science: Foundation for physical therapy in rehabilitation*. 2nd ed. ed. Aspen, MD: Gaithersburg; 2000.
31. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice. 4th ed. Philadelphia, Pa.; London: Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins; 2011.
32. Magill RA. Practice variability and specificity. In: Magill RA, ed. *Motor learning and control: concepts and applications*. 9th ed. New York: McGraw-Hill; 2011:370-392.
33. Magill RA. The stages of learning. In: Magill RA, ed. *Motor learning and control: concepts and applications*. 9th ed. New York: McGraw-Hill; 2011:265-288.
34. Dick MB, Hsieh S, Dick-Muehlke C, Davis DS, Cotman CW. The variability of practice hypothesis in motor learning: does it apply to Alzheimer's disease? *Brain Cogn*. 2000;44:470-489.
35. Gordon AM, Magill RA. Motor Learning: Application of Principles to Pediatric Rehabilitation. In: Campbell SK, Palisano RJ, Orlin MN, eds. *Physical therapy for children*. 4th ed. St. Louis, Mo.: Elsevier/Saunders; 2012:151-174.
36. Peh SY, Chow JY, Davids K. Focus of attention and its impact on movement behaviour. *J Sci Med Sport*. 2011;14:70-78.
37. Wulf G, Prinz W. Directing attention to movement effects enhances learning: a review. *Psychon Bull Rev*. 2001;8:648-660.
38. Wulf G, Shea C, Park JH. Attention and motor performance: preferences for and advantages of an external focus. *Res Q Exerc Sport*. 2001;72:335-344.
39. Rotem-Lehrer N, Laufer Y. Effect of focus of attention on transfer of a postural control task following an ankle sprain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007;37:564-569.
40. Beilock SL, Carr TH, MacMahon C, Starkes JL. When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *J Exp Psychol Appl*. 2002;8:6-16.
41. Lawrence GR, Gottwald VM, Hardy J, Khan MA. Internal and external focus of attention in a novice form sport. *Res Q Exerc Sport*. 2011;82:431-441.
42. Wulf G, Tollner T, Shea CH. Attentional focus effects as a function of task difficulty. *Res Q Exerc Sport*. 2007;78:257-264.
43. Johnson L, Burridge JH, Demain SH. Internal and external focus of attention during gait re-education: an observational study of physical therapist practice in stroke rehabilitation. *Phys Ther*. 2013;93:957-966.
44. Kerr R. Practice variability: abstraction or interference. *Perceptual and Motor Skills*. 1982;54:219-224.
45. Brady F. The contextual interference effect and sport skills. *Percept Mot Skills*. 2008;106:461-472.

46. Shea JB, Morgan RL. Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*. 1979;5:179-187.
47. Magill RA, Hall KG. A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. *Human Movement Science*. 1990;9:241-289.
48. So JC, Proctor RW, Dunston PS, Wang X. Better retention of skill operating a simulated hydraulic excavator after part-task than after whole-task training. *Hum Factors*. 2013;55:449-460.
49. Fontana FE, Mazzardo O, Furtado O, Gallagher JD. Whole and part practice: a meta-analysis. *Perceptual and Motor Skills*. 2009;109:517-530.
50. Magill RA. Whole and part practice. In: Magill RA, ed. *Motor learning and control : concepts and applications*. 9th ed. New York: McGraw-Hill; 2011:409-426.
51. Remple MS, Bruneau RM, VandenBerg PM, Goertzen C, Kleim JA. Sensitivity of cortical movement representations to motor experience: evidence that skill learning but not strength training induces cortical reorganization. *Behav Brain Res*. 2001;123:133-141.
52. Plautz EJ, Milliken GW, Nudo RJ. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. *Neurobiol Learn Mem*. 2000;74:27-55.
53. Onla-or S, Winstein CJ. Determining the optimal challenge point for motor skill learning in adults with moderately severe Parkinson's disease. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008;22:385-395.
54. Kleim JA, Lussnig E, Schwarz ER, Comery TA, Greenough WT. Synaptogenesis and Fos expression in the motor cortex of the adult rat after motor skill learning. *J Neurosci*. 1996;16:4529-4535.
55. Schmidt RA, Wrisberg CA. Providing Feedback During the Learning Experience. In: Schmidt RA, Wrisberg CA, eds. *Motor learning and performance: a situation-based learning approach*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2008:282-318.
56. Suzuki M, Kirimoto H, Sugawara K, et al. Motor cortex-evoked activity in reciprocal muscles is modulated by reward probability. *PLoS One*. 2014;9:e90773.
57. Wickens JR, Reynolds JN, Hyland BI. Neural mechanisms of reward-related motor learning. *Curr Opin Neurobiol*. 2003;13:685-690.
58. Horvitz JC, Choi WY, Morvan C, Eyny Y, Balsam PD. A "good parent" function of dopamine: transient modulation of learning and performance during early stages of training. *Ann N Y Acad Sci*. 2007;1104:270-288.
59. Abe M, Schambra H, Wassermann EM, Luckenbaugh D, Schweighofer N, Cohen LG. Reward improves long-term retention of a motor memory through induction of offline memory gains. *Curr Biol*. 2011;21:557-562.
60. Goodman RN, Rietschel JC, Roy A, et al. Increased reward in ankle robotics training enhances motor control and cortical efficiency in stroke. *J Rehabil Res Dev*. 2014;51:213-227.
61. Terada M, Pietrosimone B, Gribble PA. Individuals with chronic ankle instability exhibit altered landing knee kinematics: Potential link with the mechanism of loading for the anterior cruciate ligament. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2014;29:1125-1130.
62. Orishimo KF, Liederbach M, Kremenic IJ, Hagins M, Pappas E. Comparison of landing biomechanics between male and female dancers and athletes, part 1: Influence of sex on risk of anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*. 2014;42:1082-1088.
63. Dowling AV, Favre J, Andriacchi TP. Inertial sensor-based feedback can reduce key risk metrics for anterior cruciate ligament injury during jump landings. *Am J Sports Med*. 2012;40:1075-1083.
64. Schmidt RA, Wrisberg CA. *Motor learning and performance: a situation-based learning approach*. 4th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2008.
65. Kleim JA. *Translating Knowledge Into Practice*. Neural plasticity foundation for neurorehabilitation. Scottsdale, Arizona: TANAS; 2012.
66. Emanuel M, Jarus T, Bart O. Effect of focus of attention and age on motor acquisition, retention, and transfer: a randomized trial. *Phys Ther*. 2008;88:251-260.
67. Lin CH, Sullivan KJ, Wu AD, Kantak S, Winstein CJ. Effect of task practice order on motor skill learning in adults with Parkinson disease: a pilot study. *Phys Ther*. 2007;87:1120-1131.

נספח 1: מודל יישום עקרונות למידה מוטורית בפיזיותרפיה
 ד"ר מיכל כפרי, ד"ר אסנת עטון עיני. החוג לפיזיותרפיה, אוניברסיטת חיפה

תאריך: _____
 שם המטופל: _____

שלב 1: בחירה וזיהוי - Selection and analysis

א. מיומנות מוטורית לתרגול: _____

ב. מטרות אישיות (personal goals) הקשורות במיומנות המוטורית הנבחרת:

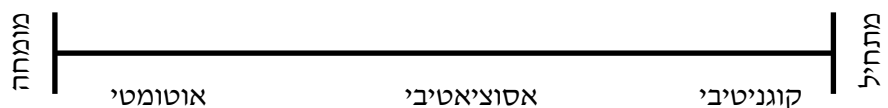
	✓
	✓
	✓
	✓

ג. סווג המיומנות (Skill classification):
 גסה או עדינה; סגורה או פתוחה; דיסקרטית או סיריאלית או מתמשכת

ד. מאפיינים ספציפיים של המיומנות המוטורית שיש לשמר בתרגול (practice specificity):

מקור המידע התחושתי העיקרי במהלך ביצוע המיומנות: <input type="checkbox"/> ויזואלי, <input type="checkbox"/> אודיטורי, <input type="checkbox"/> פרופריוספטיבי וטקטילי, <input type="checkbox"/> וסטיבולרי	
תפקודים קוגניטיביים (לדוגמא מיומנויות קשב, שיפוט, קבלת החלטות) שמעורבים בביצוע המיומנות:	✓ ✓ ✓
הסביבה בה מתבצעת המיומנויות בעולם האמיתי (הקשר סביבתי)	✓ ✓ ✓

ה. באיזה שלב של הלמידה (stages of learning) נמצא הלומד (סמן את המיקום ב-X).



11. מרכיבים מאתגרים עבור הלומד במיומנות המוטורית:

דרישות שיווי-משקל; דרישות תנועה אקטיבית וכוח; עיבוד ואינטגרציה חושי או תפיסתי; דרישות קוגניטיביות וקישביות; self efficacy; אחר: _____

שלב 2: תכנון (Organization of practice)

א2. מינון התרגול (repetitions/duration)

אמצעים להגברת המינון (לדוגמא: קבוצה, יומן מעקב)	יחס מנוחה/אימון		מספר חזרות/ דקות תרגול באימון	מספר שבועות אימון	סה"כ מספר/ שעות אימונים	מספר אימונים בשבוע
	בין אימונים	בתוך אימונים				

ב2. הנחיות (Instructions)

אופן מתן ההנחיות:
 מילולי; הדגמה; רמזים סנסוריים; צפייה בסרט; אחר:

פוקוס פנימי (internal focus of attention) - מרכיבי תנועה:

_____ ✓
 _____ ✓
 _____ ✓

פוקוס חיצוני (external focus of attention) - מאפיין בסביבה/תוצאה:

_____ ✓
 _____ ✓

ג2. גיוון בתרגול (variability of practice)

תנאי סביבה לביצוע התרגול

_____ ✓
 _____ ✓
 _____ ✓

גיוון בדרישות המטלה:
 מהירות; כוח; מרחק; כיוון; מנח יציבתי; אחר:

פירוט אופן הגיוון:

_____ ✓
 _____ ✓
 _____ ✓

ד2. סדר התרגול (schedule/order)

<input type="checkbox"/> בלוק; <input type="checkbox"/> סדרתי; <input type="checkbox"/> אקראי (random)	
פרט מיומנויות נוספות שמצטרפות לתרגול כדי לאפשר תרגול סדרתי/אקראי:	✓
_____	✓
_____	✓

ה2. תרגול שלם (whole) / חלק (part)

<input type="checkbox"/> שלם; <input type="checkbox"/> חלק;	
עבור תרגול של חלקים, פרט את החלקים שיתורגלו:	✓
_____	✓
_____	✓

ג2. התקדמות בדרישות הקושי של התרגול

_____	✓
_____	✓
_____	✓

אמצעים לעיכוב מרכיבי תנועה תחרותיים

_____	✓
_____	✓

ז2. מרכיבי תנועה תחרותיים

_____	✓
_____	✓

ח2. משוב (feedback)

סוג המשוב:	
knowledge of performance מרכיבי תנועה עליהם יינתן המשוב:	knowledge or results מדדי תוצאה עליהם יינתן המשוב:
_____ ✓	_____ ✓
_____ ✓	_____ ✓
<input type="checkbox"/> דועך / <input type="checkbox"/> קבוע	
<input type="checkbox"/> במהלך הביצוע / <input type="checkbox"/> מסכם	

ט2. גמול חיובי (reward/reinforcement)

קריטריון (מתי יינתן) למתן הגמול	✓
_____	✓

סוג הגמול:	✓

שלב 3: הערכת הלמידה

א3. מדדי תוצאה (outcome measures)

זמן תגובה; זמן תנועה; מספר טעויות; מרחק; אחוז הצלחות מתוך כלל הניסיונות; אחוז טעויות מתוך כלל הניסיונות; זמן בשמירת שיווי-משקל; אחר _____

שם כלי המדידה	מדדי תוצאה
_____	✓
_____	✓

ג3. מועדי מדידה: סמן/י את כל המועדים הרלבנטיים.

תחילת סדרת האימונים; כל חזרה (trial) בתוך האימון; סיום אימון; תחילת אימון עוקב; בתדירות קבועה של: _____; בסיום תקופת האימון; מועדים לאחר תקופת האימון: _____

ד3. מאפייני הלומד שהשפיעו על תהליך הלמידה

מקדמי למידה (facilitators)	חסמים ללמידה (barriers)
_____	✓
_____	✓
_____	✓

ה3. תנאי סביבה

מקדמי למידה (facilitators)	חסמים ללמידה (barriers)
_____	✓
_____	✓
_____	✓

A directed model to facilitate implementation of motor learning principles in physical therapy.

Michal Kafri, PhD, Osnat Atun-Einy, PhD

Affiliation: Department of Physical Therapy, Faculty of Social Welfare and Health Sciences, University of Haifa, Haifa, Israel.

Abstract:

The motor learning domain is an extensive body of research that draws its origin from knowledge of brain plasticity, behavioral sciences, and research in motor rehabilitation. Despite broad knowledge in the field, integrating the principles of motor learning in physiotherapy is challenging. Comprehensive and effective implementation of the principles of motor learning requires strategies that promote "knowledge translation" and bridge the gap between research and clinical practice. This paper presents a model that facilitates a

systematic thought process for clinicians who have previous knowledge in motor learning, for creating an effective practice based on motor learning principles. The model consists of three key elements: selecting and identifying the motor skill and the learner characteristics, planning practice in relation to variables of learning, and assessing the learning process. Each key element consists of several items, which determine the actual structure of the practice and methods for its assessment. The model outlines the scheme of action and a list of key items the clinician must define. For each item, the clinician is required to adjust the parameters according to the characteristics of the skill and the individual. The proposed model allows existing knowledge to be organized in a systematic, integrated approach to formulate an optimal learning process.

Key words: motor learning, neural plasticity, knowledge translation, gait, hemiparesis, case study.

