

אימון בדימויים מוטוריים בקרב אוכלוסייה עם שיתוק מוחין

אביה גוטמן

ד"ר אביה גוטמן, פיזיותרפיסטית, מרצה במכללת "אורות ישראל"

תקציר

רקע: שיתוק מוחין הנו הגורם הנפוץ לנכות בגיל הילדות. ניתן לייחס את הליקויים לנזק המוחי הלא פרוגרסיבי במערכת הנורו-מוטורית המתפתחת. קיימות תכניות שיקום רבות בפיזיותרפיה עבור ילדים עם שיתוק מוחין, אך נראה כי לא ניתן לייחס את הליקוי המוטורי רק לקושי הפיזי בביצוע הפעילות המוטורית, אלא גם לבעיות בעיבוד הקוגניטיבי ובתכנון של התנועה. אחד הכלים שיכול לסייע בתכנון המוטורי הנו אימון בדימויים מוטוריים.

מטרות: מטרת הסקירה הנוכחית היא לבדוק את המידע הקיים בספרות המקצועית לגבי יעילות האימון בדימויים מוטוריים בקרב חולי שיתוק מוחין.

שיטות: נבחרו מאמרים ממאגרי מידע PubMed ו-Google Scholar משנת 2000 עד שנת 2016. בשלב הראשון נערך חיפוש לפי מילות המפתח: motor imagery, mental practice, cerebral palsy, של כל מילה בנפרד, ונמצאו אלפי מאמרים העוסקים בנושאים אלו. בשלב השני, נעשה חיפוש צולב ממוקד באותם מאגרי מידע על פי מילות המפתח + motor imagery + cerebral palsy, cerebral palsy + mental practice, ונמצאו עשרות מאמרים בלבד, שרובם נכללו בסקירה זו.

תוצאות: סקירת המחקרים מראה כי לא ניתן לייחס את הליקוי המוטורי בקרב אוכלוסייה זו לקושי הפיזי בלבד, אלא גם לבעיות בעיבוד הקוגניטיבי המטרים פעילות מוטורית, כמו הפרעה בסכמת הגוף וקושי בדימוי מוטורי של התנועה, בעיקר דימוי מוטורי סמוי.

דיון ומסקנות: אימון בדימויים מוטוריים יכול לשמש ככלי בפיתוח של מיומנות תנועתית בקרב חולי שיתוק מוחין.

מילות מפתח: שיתוק מוחין, אימון בדימויים מוטוריים, כושר הדימוי המוטורי, דימוי מוטורי סמוי, דימוי מוטורי מפורש.

הקדמה

שיתוק מוחין (Cerebral Palsy - CP) הנו הגורם הנפוץ לנכות בתקופת הילדות עם שיעור הימצאות של 1000:2 בקירוב בלידות חי. שיתוק מוחין גורם לליקויים בקואורדינציית השרירים ולליקויים בהתפתחות היציבה והתנועה בקרב ילדים אלו. ניתן לייחס את הליקויים לנזק מוחי לא פרוגרסיבי, שנגרם במערכת הנוירו-מוטורית המתפתחת, בתקופה הטרומ לידתית, הסב-לידתית, או בגיל הינקות.¹ לליקויים המוטוריים בשיתוק מוחין, נלווים לרוב הפרעות חושיות, הפרעות בתפיסה, קשיי תקשורת והתנהגות, התקפים אפילפטיים, הפרעות למידה וליקויים קוגניטיביים.

הפגיעה מאופיינת בדפוסי תנועה ויציבה אבנורמליים, עם קושי בקואורדינציה וליקוי בקצב ובדיוק התנועה. בשיתוק מוחין ספסטי למשל, הפגיעה מאופיינת לא רק בקשיים הנזכרים לעיל אלא גם בטונוס מוגבר וברפלקסים פתולוגיים, והיא נפוצה בכ-75% מן המקרים.

הסיווג המקובל של שיתוק מוחין הוא על פי חלוקה טופוגרפית של הגפיים המעורבות (דיפלגיה, המיפלגיה, טטרפלגיה), או על פי הטונוס ואזור הפגיעה הנוירופתולוגי המשוער, ספסטיות (קורטקס), דיסטוניה/דיסקינזיה (גרעינים באזאליים), ואטקסיה (צרבלום).²

בשנים האחרונות נעשה שימוש בסיווג נוסף - על פי המצב המוטורי התפקודי, וזאת באמצעות סולמות אובייקטיביים של תפקוד מוטורי גס [Gross Motor Functional Classification (GMFCS)].³ זוהי שיטת סיווג בת חמש דרגות של התפקוד המוטורי הרגיל של ילדים חולי שיתוק מוחין בגילאי 0-18, המתבססת על יכולותיהם התפקודיות ועל הצורך שלהם בטכנולוגיה מסייעת ובאמצעי ניידות. לגבי תפקוד הידיים, הסיווג נעשה באמצעות סולם Manual Ability (MACS) Classification System.⁴ זו שיטת סיווג בת חמש דרגות של היכולת הידנית של ילדים חולי שיתוק מוחין גילי 4-18, כאשר הם משתמשים בחפצים בפעילויות היומיום. סקירה רחבה של הספרות בנושא הסיווג של שיתוק המוחין אינו בתחום מאמר זה.

ההשלכות של שיתוק המוחין על פעילויות היומיום הן רבות,

וקיימות שאלות רבות לגבי תפקיד הבקרה המוטורית והליקוי הקוגניטיבי שתורמים לתפקוד המוטורי הלקוי. יש תכניות התערבות רבות העוסקות בהתערבות שיקומית בפזיותרפיה בקרב ילדים חולי שיתוק מוחין,^{5,6} אך קיימות עדויות המצביעות על כך שלא ניתן לייחס את הליקוי המוטורי באוכלוסייה זו רק לקושי הפיזי במימוש הפעילות המוטורית הלכה למעשה, אלא גם לבעיות בעיבוד הקוגניטיבי המטרים פעילות מוטורית - קרי הפעילות האנטיסיפטורית, למשל הקושי בדימוי המוטורי של התנועה אשר מהווה מרכיב ליבה בסיסי בסימולציה ובייצוג הפנימי (internal modeling) של התנועה.⁷

בעשרים השנים האחרונות התפרסמו מחקרים ומאמרי סקירה רבים בנושא של אימון בדימויים מוטוריים בקרב מטופלים עם ליקויים בתנועה עקב פגיעה במערכת העצבים, בעיקר בהקשר של שיקום פיזיותרפי של מטופלים עם המיפרזה בעקבות אירוע מוחי. ברוב המחקרים נמצא כי האימון בדימויים מוטורים מועיל ומסייע לשיפור המיומנויות המוטוריות שבתרגול.

לפיכך, מטרת סקירה זאת הן לבחון את הידע הקיים בנושא של אימון בדימויים מוטוריים בחולי שיתוק מוחין, ולענות על השאלות: (1) האם אפשר למצוא שיפור במיומנויות תנועה באוכלוסייה זו בעת ביצוע אימון בדימויים מוטוריים? (2) איזו תת-אוכלוסייה של שיתוק מוחין השתתפה במחקרים מבחינת הסיווג של החלוקה טופוגרפית של הליקוי המוטורי, מבחינת סוג הטונוס ומבחינת רמת התפקוד? ובאיזה מהם חל השיפור הגדול ביותר, אם התרחש כלל? (3) האם דימויים מוטוריים יכולים לשנות את האקטיבציה המוחית בקרב חולי שיתוק מוחין? ואם כן, האם בנזק בהמיספרה הימנית או בנזק בהמיספרה השמאלית?

סקירה זו נועדה לספק בסיס לפיתוח תכניות התערבות באימון בדימויים מוטוריים בקרב חולי שיתוק מוחין, כדי לעודד עריכת מחקרים בנושא במיוחד לאור מיעוט מחקרים בנושא זה בישראל.

שיטות

נעשה חיפוש במאגרי מידע PubMed ו-Google Scholar, לפי מילות המפתח: motor, mental practice, cerebral palsy, imagery. החיפוש נעשה תחילה לכל מילה בנפרד. והוא הניב אלפי מאמרים בכל אחד מן הנושאים.

לאחר מכן נעשה חיפוש צולב ממוקד, של מחקרים משנת 2000 עד שנת 2016, על פי צירופים של מילות המפתח הנ"ל. צירוף המילים mental practice + cerebral palsy הניב 89 מאמרים, וצירוף המילים cerebral palsy + motor imagery הניב 77 מאמרים, רובם נמצאו זהים בשתי אפשרויות החיפוש.

הקריטריונים להכללת המאמרים: מחקרים בעלי גישה מלאה לטקסט בשפה האנגלית, ושעוסקים בנושאים המיוצגים במילות המפתח שלעיל. הקריטריון להוצאת מאמרים היה מאמרים אשר תוכנם עסק בליקויים נוירולוגיים אחרים. בשלב זה נקראו בשיטתיות תקצירי המאמרים וסווגנו על פי הקריטריונים לעיל.

תוצאות: 23 מאמרים עסקו באופן ממוקד בתכניות התערבות באמצעות דימויים מוטוריים המיועדות עבור חולי שיתוק מוחין. מאמרים אלו נקראו במלואם אשר נסקרו במאמר זה, כחלק מ-64 מאמרים אחרים אשר שימשו כרקע להבנת הנושאים על פי מילות המפתח שצוינו לעיל.

אימון בדימויים מוטוריים (Motor Imagery)

אימון בדימויים מוטוריים הוא דימוי של תנועה פשוטה או מורכבת של מפרק(ים) או איבר מסוים, או דימוי של משימה תנועתית שלמה ללא ביצוע התנועה בפועל, הכוללת חזרה מנטלית של הפעולה. אימון זה הנו תהליך קוגניטיבי אקטיבי, שמדמה ייצוג פנימי של התנועה בלי להוציאה לפועל.^{8,9} האימון מאפשר שחזור פנימי של פעילות מוטורית עתידית, המשוחזרת מתוך הזיכרון, ומתבצעת תחת שליטה ובקרה מודעת ברמות שונות, והוא מצריך, בין השאר, קשב ומוטיבציה.¹⁰ האימון בדימויים מוטוריים נועד לשם למידה של מיומנויות מוטוריות חדשות, שיפור של מיומנות מוטורית או שינוי של מיומנות קודמת שנלמדה.¹¹

הבסיס לתרגול ולאמון בדימויים מוטוריים הוא השימוש באופנויות חושים שונות, כמו ראייה, שמיעה, תחושת מגע, תחושה קינסטטית, תחושת ריח או טעם וכן שילוב של כמה אופני תחושה. כדי לשפר את הפונקציה המוטורית, מרבים להשתמש בשני סוגים של אופני דימוי: דימויים חיצוניים ודימויים סומטוסנסוריים. באמצעות דימוי חיצוני (external imagery), בעיקר ראייתי, האדם מדמה את עצמו מבצע פעולה, מנקודת מבטו של צופה מבחוץ. הוא רואה עצמו כביכול בסרט וידאו; בדימוי סומטוסנסורי-פנימי (internal imagery), האדם חווה תחושות קינסטטיות, תחושות מגע ולחץ וכד', ובאמצעותן הוא משחזר את התחושות הגופניות הנלוות לביצוע המשימה המוטורית.^{12,13}

במהלך האימון אפשר לשלב יחד את שני אופני הדימוי.¹⁴ חשוב לציין כי הכללים החלים על אימון בדימויים מוטוריים זהים לכללים החלים על אימון של תנועות בפועל. כלומר, ישנה זהות במטרות הטיפול, במשך הטיפול ובקביעת הפסקות זמן קצובות, בעיקר בשל הצורך בריכוז ובמיקוד קשב רבים לשם מילוי משימה קוגניטיבית זו.¹⁵ נוסף על כך, נעשה שימוש באותם פרמטרים של ראייה מרחבית ושל תזמון וכוח, בהנחיה מילולית ובהדגמה, ובמיוחד בחזרות (rehearsals) המנטליות על התרגילים - תנאי חשוב בכל אימון שנועד לשם השגת מטרה מוטורית.¹⁶

האימון בדימויים מוטוריים יכול להיעשות גם על ידי אנשים בריאים וגם על ידי אנשים חולים; רוב המחקרים שנערכו בקרב חולים בדקו מטופלים עם ליקויים בתנועה עקב פגיעה נוירולוגית. ואולם, הם לא נכללו בסקירה זו. האימון בדימויים מוטוריים בפזיותרפיה נעשה בעיקר במסגרת טיפול ושיקום של חולים עם המיפרזה בעקבות אירוע מוחי, כפי שדווח בספרות על ידי Page et al, הן בשלב האקוטי¹⁷ והן בשלב הכרוני.¹⁸ ברוב המחקרים נמצא שהתרגול בדימויים מוטוריים מייטיב את הלמידה המוטורית ומסייע בשיפור המיומנויות המוטוריות שבתרגול.

הפעילות המוחית בעת אימון בדימויים מוטוריים

מחקרים רבים בדימות מוחי, מתחומי הדימוי העצבי ומתחומי מחקר בנוירופיזיולוגיה ונוירופסיכולוגיה, הראו כי הדימויים המוטוריים עשויים להביא לרה-ארגון של המיפוי המוחי,

כמו כן, ניתן גם להפעיל את חוק Fitt אשר נמצא תקף לגבי דימויים מוטוריים. לפי חוק זה, תנועה מסובכת נמשכת זמן רב יותר מתנועה פשוטה, והשפעת כוח הכובד על התנועה, כמו הוספת משקל, גורמת להארכת משך ביצועה של התנועה בדימוי מוטורי ממש כמו בתנועה אמיתית.³⁵ כמו כן, קיימת התאמה בין ביצוע התנועה בפועל ובין התנועה בדימוי. למשל במשימת הליכה במסלולים שונים בקרב חולי שיתוק מוחין,³³ קיימת התאמה בין קושי המסלול האמיתי ומשך זמן דימוי התנועה.

בחינת כושר הדימוי המוטורי

אחד מכלי המדידה שבהם נבדק כושר הדימוי המוטורי בבני אדם הוא - (MIQ) Motor Imagery Questionnaire.³⁶ כלי זה הותאם לאנשים לאחר אירוע מוחי ותורגם לעברית, התקפות של גרסה זו של הכלי אוששה.³⁷ במחקר שנעשה על ידי Malouin et al,³⁸ נבחנה המהימנות של KVIQ-20, והגרסה המקוצרת KVIQ-10, בקרב בריאים וחולים לאחר אירוע מוחי על ידי בדיקה של test-retest. זהו שאלון דימוי תנועותי, שבו הוצגו לנבדקים שמונה תנועות, היה עליהם לבצע לבצע פעם אחת באופן ממשי את התנועה. הנבדקים היו צריכים לדרג את היכולת לדמיין את התנועה בסולם מ-1 עד 7, כאשר 1 - אני מדמיין בקלות את התנועה, ו-7 אני מתקשה לדמיין את התנועה. השאלון התייחס לשני אופניו של הדימוי המנטאלי - הוויזואלי והקינסטטי - שתוארו לעיל. המסקנה הייתה כי שתי הגרסאות מציגות מאפיינים פסיכומטריים דומים התומכים בשימוש בדימוי אצל בריאים ואצל חולים לאחר אירוע מוחי.

בחינת כושר הדימוי המוטורי בקרב חולי שיתוק מוחין

כושר הדימוי המוטורי נבדק באמצעות שאלון (PIQ) Praxis Imagery Questionnaire, אשר נמצא תקף עבור ילדים חולי שיתוק מוחין.³⁹ ה-PIQ מאפשר לילדים לעשות שימוש בדימוי מוטורי בהתאם להנחיות הוורבליות שניתנו להם. דימוי זה מכונה "דימוי מוטורי מפורש" (explicit motor imagery). במחקר שערכו Lust et al⁴⁰ נעשה שימוש בשאלון זה, ולפני הבדיקה וידאו שהילד אכן מכיר את כינויי איברי הגוף (אצבעות, אגודל, כתף, וכד'). במשך בדיקת ה-PIQ, הילד ישב מול הבודק והתבקש לדמות את התנועה. כמו כן,

בדומה לפלסטיות שמתרחשת במערכת העצבים המרכזית בזמן תרגול מוטורי פיזיקלי בפועל. כמו כן, באמצעות דימות תהודה מגנטית תפקודי (fMRI) נצפתה האדרה של הפעילות העצבית באזורי מוח חופפים אך לא זהים.¹⁹ כך שקיימת חפיפה בפעילות של הרשתות הנורווליות בתנועה האמיתית ובדימוי המוטורי.

קיימות עדויות לכך שבעת אימון בדימוי מוטורי, קיימת פעילות בקורטקס המוטורי הראשוני הקונטראלטרלי (primary motor cortex).²⁰ Poro²¹ אף הצביע על המעורבות של הקורטקס המוטורי הראשוני האיפסילטרלי. אפשר לומר, שתמיד בזמן אימון בדימויים מוטוריים קיימת פעילות באזורים "מתכנני תנועה", באזורים פרה-פרונטאליים pre-SMA /1 או ה-SMA המאפשרים גישה למידע המצוי באזורי "זיכרון העבודה" ובגרעיני הבסיס שבמוח.^{23,22} הרשת ה-parieto-frontal מעורבת באימון בדימויים מוטוריים, בעיקר בעת דימוי אינפורמציה תחושתית פרופריוצפטיבית של הגפה העליונה.^{25,24} כמו כן, נמצא כי בעת אימון בדימויים מוטוריים, קיימת עלייה באקטיבציה ב-cerebellum האיפסילטרלי.^{27,26}

כושר הדימוי המוטורי

כאמור, אימון בדימוי מוטורי נחשב לפונקצייה קוגניטיבית.²⁸ היכולת ליצור את הדימויים המוטוריים ולתרגל אותם לשם שיפור מיומנות מוטורית שונה מאדם לאדם וקיימים הבדלים בתוכני הדימוי. באנשים שהיכולת הקוגניטיבית שלהם לקויה, כמו בחלק מחולי שיתוק המוחין,²⁹ היכולת לעשות שימוש באימון בדימויים מוטוריים נמצאה לעיתים לקויה במשימות ספציפיות.³⁰

אחד האמצעים לניטור יצירת הדימוי, ולבדיקה אם הנבדק מבצע את תהליך העלאת הדימוי על פי ההנחיות, הוא ה-"כרונומטריה". זהו כלי מדידה שבאמצעות נבדק משך הביצוע של מטלה מוטורית בעת האימון בדימוי. במחקרים נמצא כי משך הביצוע של משימה מוטורית בדימוי, אצל אנשים בריאים, זהה למשך ביצועה בפועל.³¹ אי-התאמה בין שני הביצועים מעידה על כך שקיימת אי-התמדה בתרגול בדימוי, והאדם כנראה אינו פועל על פי ההנחיות. כלי זה נבדק גם בקרב חולים לאחר אירוע מוחי³² וגם בקרב נבדקים באוכלוסיית שיתוק מוחין.^{34,33}

פעולה, מעייפות ומליקוי בכושר הריכוז שלהם. לאור זאת, כאמור, סקירה זו תעסוק בשיתוק מוחין מסוג המיפלגיה.

הקשיים בביצועים המוטוריים בקרב חולי שיתוק מוחין
Steenbergen et al^{49,48} הצביעו על כך שהקשיים המוטוריים בפעילות אקטיבית בשיתוק מוחין אינם נגרמים רק מן הקושי הפיזי בהוצאה לפועל של התנועה המוטורית, אלא גם מקשיים בתהליכים הקוגניטיביים שקודמים לפעולה המוטורית. דהיינו, קיימת פגיעה בתכנון התנועות האנטיסיפטוריות (המטריות), בשני צדי הגוף, ועקב כך גם ה-ADL לקוי.^{50,42}

תכנון אנטיסיפטורי מוטורי מוגדר כתהליך קוגניטיבי שבו האדם מוציא לפועל תנועות מדויקות לעבר אובייקט, כך שקיים תכלול של האינפורמציה הסומטו-סנסורית המגיעה מיידית תוך כדי תנועה, באמצעות המודל הפנימי (internal modeling) של הביצוע המוטורי. הייצוג הפנימי המוחי של תנועה הנו חיוני למיומנות תנועתית מיטבית, ויכולת זו תלויה בניסיון המוטורי ובהתפתחות של המיומנות המוטורית.⁵¹

העדות לליקוי בייצוג הפנימי המוחי, שגורם לאי-יכולת לדייק בתנועה ולקשיים בבקרת התנועה אצל ילדים החולים בשיתוק מוחין, נמצאה במחקרים על דימויים מוטוריים, בכלל, ועל דימויים הקשורים לתכנון התנועה, בפרט. הבעיה קיימת בייצוג המוטורי ובסימולציה המוטורית, ומתבטאת ביד שילדים פחות משתמשים בה. כאשר ילדים עם המיפריזיס מולד משתמשים בידם הבלתי פגועה כדי לבצע פעילויות יומיומיות, יש להביא בחשבון את הפגיעה ביכולת תכנון התנועה בעת השיקום.⁵² למשל, ישנם ילדים חולי שיתוק מוחין שאינם מתחילים את התנועה של אחיזת חפץ בצורה תקינה, מה שגורם לתנוחה של אחיזה לא נוחה בסיום התנועה.^{53,49} זהו אפקט המוכר בספרות כ-(Direction Of Rotation) Effect DOR,⁴⁰ אפקט זה משקף את האילוצים הביו-מכניים בביצוע התנועה או בסימולציה של התנועה הגורמים ליד להגיע לתנוחה סופית נוחה. החוקרים הראו כי אפקט זה אינו קיים אצל ילדים חולי שיתוק מוחין,⁵³ מה שמצביע על כך שילדים אלו אינם נוקטים אסטרטגיה של דימויים מוטוריים.

קושי נוסף המיוחס לאפקט DOR, קיים במשימות - HLJ Parson's Hand Laterality Judgment. על פי Parson's⁵⁴ החולה מסובב את כף ידו בדמיון כדי להתאימה לתמונה המוצגת

התבקש הילד לענות על שאלה בכל אחד מארבעת התחומים: קינסטטי - איזה מפרק זז הכי הרבה, פוזיציה - מהי התנוחה המרחבית של הידיים או של חלקי הגוף האחרים ביחס לאובייקטים בסביבה, או יתר חלקי גופו. פעולה - מהו הכיוון של תנועת הגפה, ואובייקט - לדמות את תנועת האובייקט שבשימוש. כל תגובה נרשמה, כאשר - 0 - אינו מסוגל לדמות את התנועה או 1 - יכול לדמות את התנועה, וכל תחום קיבל ציון על 10 תנועות, סה"כ הציון 40.

נוסף על כך, ברוב המחקרים נמצא כי הקריטריון להכללה של הנבדקים הוא רמת משכל של $IQ > 70$,⁴⁰ וזאת כדי שהנבדקים יוכלו לשתף פעולה במחקר. במחקרים אלו נעשה שימוש בסולם (Wechsler Nonverbal scale of ability (WNV),^{42,41} לצורך קביעת הרמה האינטלקטואלית של הנבדק.

אימון בדימויים מוטוריים בקרב חולי שיתוק מוחין

מאפייני האוכלוסייה

ברוב המחקרים על דימויים מוטוריים בשיתוק מוחין, הנבדקים אופיינו בשיתוק מוחין ספסטי יונילטרלי מסוג המיפלגיה או המיפריזיס ימני או שמאלי. כאמור, הפגיעה משפיעה על מרכזי הבקרה המוטורית של המיספרה אחת במוח המתפתח, וגורמת לקשיים מוטוריים ניכרים בצד הקונטרה-לטרלי לפגיעה המוחית. נוסף על כך, רוב הנבדקים היו בגילאי הילדות המאוחרת או בגיל ההתבגרות, עד גיל 21 לערך.^{44,43}

מחקרים מעטים עסקו בשיתוק מוחין מסוג דיפלגיה, לרוב באימון בדימויים מוטוריים שעסקו בשיפור ההליכה (שיפורטו להלן בהמשך).⁴⁵ שני מחקרים עסקו בשישה חולי שיתוק מוחין מסוג קואדרילגיה ספסטיים GMFCS ו-IV, שעשו שימוש ב-EEG באמצעות טכנולוגיה תומכת, שמבוססת על ממשק מוח-מחשב.^{47,46} במשך שלושה שבועות, בשני מפגשים יומיים, הם נחשפו למערכת ולמדו אותה. בשישה מפגשים נוספים הם שיחקו במשחק שהתמקד במשוב שקיבלו באמצעות ה-EEG כאשר התאמנו בדימוי מוטורי של זרוע ימין או שמאל. לא התקבלו תוצאות חד-משמעיות לגבי היכולת של הנבדקים ליצור תבניות EEG זהות. ניתן אפוא לומר כי הטכנולוגיה של ממשק המוח-מחשב באימון בדימויים מוטוריים אינה מתאימה לשיתוק מוחין מסוג קואדרילגיה ספסטית, כיוון שהנבדקים מושפעים ממוטיבציה, מכאב, מהמחלה הפיזית, מאי-שיתוף

המיומנויות הוויזואליות. הם מצאו כי בשימוש בדימוי מוטורי, בעיקר ויזואלי, יש לנקוט אסטרטגיות ורבניות, כמו בעת מתן ההנחיות בדימוי מוטורי מפורש אשר נמצא יעיל יותר.

הפעילות ההמיספרלית בזמן אימון בדימויים מוטוריים אצל חולי שיתוק מוחין

במחקר שערך *Chinier et al*⁵⁹ באמצעות דימות תהודה מגנטית תפקודי - fMRI בקרב חולי שיתוק מוחין, ילדים ובוגרים יותר בגילאי 6 עד 21, נמצא כי בפגיעה בהמיספרה השמאלית ירדה הפעילות המוחית בזמן הדימוי המוטורי של תנועות מנואליות, ואילו בפגיעה בהמיספרה הימנית, נראתה פעילות בילטרלית של הרשת המוחית הפרונטו-פריאטלית בזמן הדימוי המוטורי, כמו אצל אנשים בריאים. ממצאים אלו מצביעים על הדומיננטיות של ההמיספרה השמאלית בזמן הדימוי המוטורי. עקב הפגיעה מצטמצמת בה הפעילות מה שגורם לירידה ביכולת הדימוי הפנימי.

לאור ההנחה כי דימויים מוטוריים הם בעלי תפקיד חשוב בתכנון מוטורי אנטיסיפטורי, שכאמור לעיל ניזוק בשיתוק מוחין מסוג המיפלגיה ימנית, ופחות בשיתוק מוחין מסוג המיפלגיה שמאלית, הניחו *Mutsaerts et al*²⁴ כי הדימוי המוטורי ניזוק בשיתוק מוחין מסוג המיפלגיה ימנית. הם נתנו לנבדקים שתי משימות של מניפולציה באובייקט (HLJ - Hand Laterality Judgment) שנועדו לבדוק את ההבדל בתפקידה של כל אחת משתי ההמיספרות בתכנון המוטורי. הם השוו נבדקים חולי שיתוק מוחין מסוג המיפלגיה בעלי נזק מוחי ימני לעומת נבדקים חולי שיתוק מוחין בעלי נזק מוחי שמאלי. נמצא כי אצל נבדקים עם המיפלגיה ימנית (נזק מוחי בצד השמאלי) היו ליקויים בתכנון האנטיסיפטורי, ואילו אצל נבדקים עם המיפלגיה שמאלית (נזק מוחי ימני), התכנון האנטיסיפטורי לא נפגע. מצד שני, פגיעה בהמיספרה הימנית לא משפיעה על הדימוי המוטורי של התנועות. נכון יותר - נבדקים עם המיפלגיה ימנית במניפולציה של האובייקט לא בחרו את הדרך ההתחלתית הנכונה בתחילת האחיזה של החפץ כדי לאפשר סיום תנועה במצב נוח (end state comfort effect), מה שמצביע על חשיבות תפקידה של ההמיספרה השמאלית בתכנון אנטיסיפטורי וביכולת הביצוע של העלאת הדימויים מוטוריים.

כך נבדקת ההבנה המנטאלית של כיוון הרוטציה של כף היד, ולכן הארכת זמן התגובה בסיבוב חיצוני נובעת מאילוצים ביו-מכניים. במשימות אלו הנבדקים היו צריכים לבצע רוטציה מנטאלית של תמונות כף יד, שהוקרנו על מסך מחשב, ולבחון לאיזה צד הסתובבה כף היד ברוטציה, ואם מדובר ביד ימין או שמאל.⁴⁰ משימה מסוג זה קרויה "דימוי סמוי" (Implicit Imagery), דהיינו, כיצד לדמות את כיוון הרוטציה של כף היד במחשבה, ללא הנחיה חיצונית של דימוי מפורש (Explicit Imagery). ניתן לומר כי במשימות אלו יש צורך לדייק בייצוג הפנימי של התנועה, המתאפשר על ידי יכולת דימוי מוטורי עצמי של הנבדק.

אצל ילדים בריאים קיים הבדל בזמן התגובה בין תנועת היד ברוטציה מדיאלית, שנתפסה כ"קלה" להבנה, ובין רוטציה לטרלית של כף היד, שהייתה מסורבלת יותר ודרשה זמן תגובה ממושך יותר. כמו כן, נמצא כי התמונות המציגות מנח גבי של כף היד ברוטציה היו קלות יותר מאשר התמונות שהציגו מנח כפי של כף היד. ניתן אפוא להניח שהאדם מדמה את היד על פי כיוון הרוטציה. אצל ילדים חולי שיתוק מוחין לא קיים ההבדל הזה, מה שמצביע על אי-נקיטת אסטרטגיה של דימויים מוטוריים לשם פתרון משימות הרוטציה הצדית של היד.^{55,53,49}

גורם נוסף לקשיים בפעילות המוטורית באוכלוסייה עם שיתוק מוחין הנו הפרעה בסכמת הגוף. גם אצל ילדים וגם אצל מתבגרים ומבוגרים עם שיתוק מוחין, ההתפתחות המוקדמת של סכמת הגוף אינה קיימת. אי לכך, הייצוג הפנימי של סכמת הגוף שלהם ביחס ליד הפגועה הוא פחות מדויק, אך גם הייצוג הפנימי של סכמת הגוף לגבי היד הבריאה. *Van Elk et al*⁵⁶ הדגישו כי קושי זה משפיע בעיקר על הדימוי המוטורי הסמוי (implicit motor imagery) של היד הפגועה, ולכן היה להם קושי בדימוי הרוטציה לכוון הטרללי של כף היד. במחקר נוסף של חוקר זה,⁵⁷ הוא מביא תימוכין למחקרו הקודם. לפי המחקר, ילדים חולי שיתוק מוחין שגו יותר, באופן מובהק סטטיסטית, בעיקר בדימוי במבט הכפי-פלמרי, ונמצאו טעויות רבות יותר בסיבוב הטרללי מאשר בסיבוב המדיאלי. אצל ילדים בריאים נמצאו טעויות רבות, בעיקר ברוטציה הטרללית, כמצופה. אך אצל ילדים חולי שיתוק מוחין האפקט של קושי בדימוי של רוטציה לטרלית נצפה רק כשהגירוי היה ביד הפחות פגועה.⁷⁶ *Barca et al*⁵⁸ הצביעו גם על הקושי בזיכרון העבודה בקרב חולי שיתוק מוחין, מה שגורם אצלם לליקוי באינטגרציה של

ניכרת בבקרה בגפה העליונה הגורמת לקושי בביצוע של תנועת הושטה בילדים ובמשימות מוכוונות-מטרה, שבהם התנועה איטית ומקוטעת בהשוואה להתפתחות נורמטיבית.⁶²

מחקרם של Cabral-Sequeira et al⁴³ בקרב מתבגרים חולי שיתוק מוחין נועד לבדוק אם קיימת למידה מוטורית לאחר האימון בדימויים מוטוריים. במחקר נבדקו שתי קבוצות ניסוי עם שיתוק מוחין מסוג המיפלגיה ימנית או שמאלית. קבוצה אחת קיבלה תחילה רק אימון בדימויים מוטוריים, וקבוצה שנייה לאחר האימון בדימויים מוטוריים קיבלה תוספת של אימון פיזיקלי, אשר שימשה כקבוצת התייחסות לצורך האפקט של הלמידה המוטורית. הם השוו את התוצאות לקבוצת הביקורת שלא עברה תרגול בדימויים מוטוריים, אלא רק תרגול פיזיקלי. הנבדקים אחזו בכף ידם בפוינטר (מצביע) גלילי צר שעשוי ממתכת, והיו צריכים להכניסו לחישוב בקוטר 2 ס"מ שהיה מונח מולם. הם ביצעו 5 סטים של 10 דימויים מוטוריים קינסטטיים של הכנסת הפוינטר לחישוב, ומיד לאחר כל סט ביצעו בפועל את ההכנסה לחישוב. ההנחה, כאמור, הייתה כי אימון בדימויים מוטוריים מביא לשיפור בביצועים רק בהמיפלגיה שמאל. אנליזה קינמטית של התוצאות הראתה כי אין אפקט של צד ההמפרזיס על הלמידה המוטורית, וכי מתבגרים עם שיתוק מוחין מסוג המיפלגיה ימנית או שמאלית משיגים הישגים דומים באימון בדימויים מוטוריים בלבד, הן בהגברת מהירות היד הפארטית והן בהגדלת היישור ביד זו. כמו כן, האימון הפיזיקלי לאחר מכן נועד כדי לשמור על ההישגים שהושגו בעקבות האימון בדימוי, מה שהצביע על אפקט של שיפור בהישגי הלמידה המוטורית. הערכה מחודשת לאחר יומיים הראתה כי השיפור בעקבות האימון בדימויים מוטוריים טהור והקומבינציה עם טיפול פיזיקלי נשארים יציבים לאורך זמן.

במחקר נוסף שערכו Chinier et al⁹⁵ נתבקשו הנבדקים לדמות סדרה של דימויים מוטוריים של פתיחה וסגירה של כף היד בהנחיית מטרונום, הן ביד הפלגית והן ביד הבריאה. הם מצאו כי בקרב נבדקים עם המיפלגיה שמאלית היו יותר תגובות שגויות לגירויים של יד שמאל - הצד הפגוע שלהם, יותר מאשר בגירויים ליד ימין - הצד שאינו פגוע. ממצאים אלה מראים כי להמיפלגים שמאליים קשה יותר ליצור דימוי פנימי של היד הפגועה מאשר דימוי של תנועות של היד שאינה פגועה. לא נמצא אפקט דומה אצל המיפלגים ימניים. ממצא

Shin et al⁶⁰ ערכו מיפוי טופוגרפי באמצעות EEG אצל ארבעה ילדים בריאים ואצל ארבעה ילדים חולי שיתוק מוחין. באמצעות 30 אלקטרודות, שהושמו על הגולגולת, הם ניסו לקבוע את הרה-אורגניזציה הקורטיקלית באזורי המוח בארבע משימות מוטוריות: התנועה בפועל, דימוי מוטורי קינסטטי של התנועה, צפייה בתנועה, ודימוי מוטורי ויזואלי של אותה התנועה, הן בילדים הרגילים והן בילדים חולי שיתוק מוחין. האנליזה של התוצאות הראתה כי אצל ילדים בריאים הייתה עלייה באקטיבציה ב-SMC primary (sensorimotor cortex) ובקורטקס הוויזואלי - VC, בביצוע התנועה בפועל ובדימוי המוטורי הקינסטטי של התנועה, ואילו אצל ילדים חולי שיתוק מוחין הייתה אקטיבציה דומה באזורים אלו ובעוד רשתות מוטוריות, כמו הקורטקס הפרה-מוטורי - SMA (supplementary motor area) PMC וה-VC. בזמן הצפייה בתנועה או בעת ביצוע אימון בדימוי ויזואלי, אצל ילדים בריאים הייתה אקטיבציה של האזור האוקסיפיטלי הראשוני VC, ואילו אצל ילדים חולי שיתוק מוחין הייתה פעילות של אזורים נוספים במוח, גם של ה-SMC ושל ה-bilateral auditory. מחקר זה מדגיש כי בזמן תהליך הדימוי המוטורי קיימת פעילות באזורי מוח אחרים אצל ילדים בריאים ואצל ילדים חולי שיתוק מוחין.

Et al Van Elk⁷⁵ הצביעו על כך שה-EEG מאפשר לחקור את התגובות הנורולוגיות הישירות של הדימוי המוטורי הסמוי, והראו גם כי קיימת ירידה בפעילות החשמלית באזורים פריאטליים בעת ביצוע משימות רוטציה מנטלית של היד, דהיינו בזמן הדימוי הסמוי של היד הפגועה אצל ילדים חולי שיתוק מוחין מסוג המיפלגיה ימנית.

אימון בדימויים מוטוריים של תנועות בגף עליון בקרב חולי שיתוק מוחין

כאמור, במחקרים על דימויים מוטוריים באוכלוסייה עם שיתוק מוחין, היו הנבדקים לרוב חולי שיתוק מוחין יוגילטרלי עם טונוס ספסטי בגף עליון. התפקוד המוטורי שלהם מאופיין באיטיות התנועות בגף עליון ובתת-תנועות נלוות, שכוללות תנועות סטריאוטיפיות אופייניות של כתף-מרפק, תנועות וריאביליות במניפולציות כף היד ועלייה במעורבות של תנועות הגו.⁶¹ נוסף על כך, קיימת הפחתה בטווח התנועה במישור הפרונטלי בכתף. כמו כן, אצל ילדים קיימת לקות

באנליזה של התוצאות נמצא כי ערך הזמן של ההליכה בפועל ושל דימוי ההליכה שונה בין קבוצת הביקורת ובין שתי קבוצות חולי שיתוק המוחין. התוצאות הראו כי יכולת הדימוי המוטורי בקרב נבדקים חולי שיתוק מוחין, משני הסוגים, נצפתה רק במרחק של ארבעה מטרים ולא במרחק של שמונה מטרים, יותר מכך, גם במרחק הקצר, הנבדקים חולי שיתוק מוחין ביצעו פחות טוב את ההליכה בדימוי מאשר נבדקים רגילים. לכן הם הסיקו כי יכולת הדימוי המוטורי בקרב אוכלוסיית שיתוק המוחין אינה תלויה רק בצד הפגוע.

במחקר נוסף על הליכה, Iosa et al.³⁶ השוו בין אנשים מבוגרים בריאים, ילדים בעלי התפתחות תקינה וילדים עם שיתוק מוחין מסוג המיפלגיה ומסוג דיפלגיה, שדורגו 1 על פי ה-GMFCS. הנבדקים התבקשו להגיע למטרה שהוצבה במרחק שניים או שלושה מטרים מולם, בשלושה אופנים:

- הם ביצעו דימוי מוטורי של הליכה לעבר המטרה על ידי צעידה במקום.
- הם ביצעו הליכה בפועל בעיניים עצומות כדי לבדוק את הייצוג הפנימי (locomotor internal model) של התנועה.
- הם ביצעו הליכה רגילה בעיניים פקוחות.

כלי המדידה היו מערכת אופטואלקטרית ויחידה מגנטית שהושמה על הגו, אשר מדדו את מספר הצעדים ופרמטרים נוספים בהליכה בכל שלוש המשימות. ממצאי המחקר העלו כי אצל מבוגרים בריאים לא היה הבדל מובהק סטטיסטי בין שלוש המשימות. אבל אצל ילדים בריאים היו שינויים הן בזמן ביצוע התנועה והן במספר הצעדים, אך הייתה אצלם קורלציה בין ההליכה בדימוי ובין ההליכה בעיניים עצומות. לעומתם, ילדים חולי שיתוק מוחין הראו שינויים מובהקים הן במספר הצעדים והן בזמן ההליכה, ולא נמצאה קורלציה בין מספר הצעדים בהליכה בדימוי ומספר הצעדים בהליכה בעיניים עצומות. דבר זה מצביע על כך שילדים חולי שיתוק מוחין מראים ביצועים פחות יעילים באימון בדימויים מוטוריים של הליכה, כפי שהראו הממצאים שתוארו במחקר הקודם.

סיכום ומסקנות

אימון בדימויים מוטוריים נחשב לייצוג הפנימי של הפעילות המוטורית המתרחשת ברמות שונות של בקרת המודעות, ומתפתח בגיל הילדות ומבשיל בגיל ההתבגרות.⁶⁴ שיטה זו

זה אינו מפתיע לאור מחקרים שמצאו שהמיפלגים שמאליים אינם יכולים ליצור דימוי פנימי של הידיים שלהם.^{51,48}

ניתן לומר, כי רוב המחקרים בסקירה זו עוסקים בגף עליון, כמו המחקרים על משימות HLJ, ומרביתם כאמור על שיתוק מוחין מסוג המיפלגיה.

אימון בדימויים מוטוריים של תנועות בגף תחתון בקרב חולי שיתוק מוחין

מספר המחקרים שהתפרסמו על גף תחתון בקרב אוכלוסיית שיתוק המוחין הינו מצומצם מאוד, והם בדקו את השפעת האימון בדימויים מוטוריים על הליכה.

Spruijt et al.³³ בדקו את הדימוי המוטורי בהליכה בקרב ילדים חולי שיתוק מוחין ואת היכולת שלהם ליצור דימויים מוטוריים על ידי ממוצע הכרונומטריה בין זמן ההליכה בפועל ובין זמן דימוי ההליכה. מחקר זה בדק את יכולת התרגול של דימויים מוטוריים כמשימה של הגוף כולו. משך התנועה נרשם אצל 20 ילדים חולי שיתוק מוחין בשני מצבים - בהליכה ובדימוי של ההליכה בשישה מסלולים, שהיו שונים זה מזה הן באורך המסלול והן ברוחבו. החוקרים מצאו שאין הבדל במשך ההליכה בפועל ובין משך דימוי ההליכה. אבל ממצאי המחקר מראים כי הקושי במסלול ההליכה השפיע על משך התנועה, אשר התבטא בעלייה בזמן התנועה. ככל שהמשימה נעשתה קשה יותר הן בדימוי ההליכה והן בהליכה בפועל. דהיינו, ניתן להשתמש בדימוי מוטורי מפורש של ההליכה לצורך שיפור ההליכה, וכי יכולת הדימוי המוטורי היא תלויה-משימה.

Molina et al.⁴⁵ בדקו אם אימון בדימויים מוטוריים יכול לגרום לשיפור בהליכה גם אצל חולים בשיתוק מוחין מסוג דיפלגיה, כלומר שמעורבים בו שני חלקי הגוף. זאת מכיוון שאין אצלם צד אחד בריא שבו הם חשים את התנועה התקינה, כמו בשיתוק מוחין יונילטרלי-המיפלגיה. במחקר השתתפו 10 חולי שיתוק מוחין מבוגרים עם המיפלגיה, 10 חולי שיתוק מוחין עם דיפלגיה, ו-10 מבוגרים המוגדרים כבעלי התפתחות מוטורית תקינה. הנבדקים התבקשו לדמות הליכה על פי פרוטוקול ספציפי, לפני ואחרי הליכה לעבר מטרה שהוצבה במרחק של 4 מטרים ולעבר מטרה שהוצבה במרחק של 8 מטרים. נעשה רישום של משך התנועה בפועל ושל משך זמן הדימוי.

מקורות

1. Blair E, and Watson L. Epidemiology of cerebral palsy. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2006; 11(2): 117-125.
2. Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A, et al. A report: the definition and classification of cerebral palsy. April 2006. *Dev Med Child Neurol Suppl.* 2007; 109: 8-14.
3. Palisano RJ, Copeland WP, Galuppi BE et al. Performance of physical activities by adolescents with cerebral palsy. *Phys Ther.* 2007; 87(1): 77-87.
4. Rodby-Bousquet E, Paleg G, Casey J, et al. Physical risk factors influencing wheeled mobility in children with cerebral palsy: a cross-sectional study. *BMC Pediatr.* 2016; 16(1): 165.
5. Anttila, H, Autti-Rämö I, Suoranta J, et al. Effectiveness of physical therapy interventions for children with cerebral palsy: a systematic review. *BMC Pediatr.* 2008; 8: 14.
6. Sakzewski, L, Ziviani j, Boyd RN. Efficacy of upper limb therapies for unilateral cerebral palsy: a meta-analysis. *Pediatrics.* 2014; 133(1): 175-204
7. Steenbergen, B, Jongbloed-Pereboom M, Spruijt S, et al. Impaired motor planning and motor imagery in children with unilateral spastic cerebral palsy: challenges for the future of pediatric rehabilitation. *Dev Med Child Neurol* 55 Suppl. 2013; 4: 43-46.
8. Jeannerod M. and. Frak V. Mental imaging of motor activity in humans. *Curr Opin Neurobiol.* 1999; 9(6): 735-739.
9. Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage.* 2001; 14(1 Pt 2): S103-109.
10. Vogt S, Di Rienzo F, Collet C, et al.. Multiple roles of motor imagery during action observation. *Front Hum Neurosci.* 2013; 7: 807
11. Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, et al. Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001; 82(8):1133-1141.
12. Taktek K, Zinsser N, St-John B. Visual versus kinesthetic mental imagery: efficacy for the retention and transfer of a closed motor skill in young children. *Can J Exp Psychol.* 2008; 62(3):174-87.
13. Dickstein R and Deutsch JE. Motor imagery in physical therapist practice. *Phys Ther.* 2007; 87(7):942-53.
14. Guttman A, Burstin A, Brown R, et al. Motor imagery practice for improving sit to stand and reaching to grasp in individuals with poststroke hemiparesis. *Top Stroke Rehabil.* 2012; 19(4):306-19.

עוסקת באספקטים הקוגניטיביים של ההתנהגות המוטורית, ועל כן יכולה לעשות פסיליטציה בתכנון המוטורי ובסימולציה של התנועה טרם ביצועה.

אצל ילדים חולי שיתוק מוחין חסרה סכמת הגוף האופיינית לשלב ההתפתחות המוקדמת. יותר מכך, הייצוג הפנימי של גופם פחות מדויק בצד הפגוע מאשר בצד הלא פגוע. על כן, הליקוי המוטורי אינו נובע רק מן הקושי הפיזי להוציא לפועל את התנועה המוטורית אלא גם מן הקושי בתכנון המוטורי האנטיסיפטורי בשני צדי הגוף.

על סמך סקירה זאת, ניתן לומר כי אימון בדימויים מוטוריים יכול לגרום לשינוי באקטיבציה המוחית בקרב חולי שיתוק מוחין. כאמור, על פי ⁵⁹ Chinier et al אימון בדימויים מוטוריים יעיל בשיתוק מוחין עם נזק בהמיספרה הימנית. ישנה ירידה ביכולת של הדימוי הפנימי בקרב אוכלוסיית שיתוק מוחין מסוג המיפלגיה ימנית, מה שמדגיש את הדומיננטיות של ההמיספרה השמאלית בדימוי המוטורי.

הממצאים מראים כי ילדים הלוקים בשיתוק מוחין אינם מגייסים אוטומטית את השימוש בדימויים מוטוריים גם כאשר ניתנים להם רמזים מן הסביבה. כמו כן, נראה כי השימוש בדימוי מוטורי מפורש, יכול להביא תועלת כאשר צריך להשתמש בדימויים מוטוריים באופן אוטומטי בחיי היומיום, כמו בזמן חציית כביש או עבודה בצורה בטוחה במטבח.⁶⁶

לסיכום, יש לציין כי לא קיים כיום פרוטוקול מובנה לאימון בדימויים מוטוריים בקרב חולי שיתוק מוחין, ועל כן יש לבנות פרוטוקול ייחודי המותאם במיוחד לליקויים המוטוריים שאותם רוצים לשפר בכל נבדק. ניתן לומר כי אימון בדימויים מוטוריים, בעיקר בדימוי מוטורי מפורש, הן בגוף העליון והן בגוף התחתון, עשוי לשמש את חולי שיתוק המוחין ככלי אימון בפיתוח של מיומנות תנועתית.

15. Savion-Lemieux T and Penhune VB. The effects of practice and delay on motor skill learning and retention. *Exp Brain Res.* 2005; 161(4):423-431.
16. Ram N, Riggs SM, Skaling S, et al. A comparison of modelling and imagery in the acquisition and retention of motor skills. *J Sports Sci.* 2007; 25(5):587-597.
17. Page SJ, Levine P, Sisto S, et al. A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. *Clin Rehabil.* 2001;15(3):233-240.
18. Page SJ, Levine P, Leonard AC. Effects of mental practice on affected limb use and function in chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(3):399-40
19. Hanakawa T., Dimyan M.A., Hallett M. Motor planning, imagery, and execution in the distributed motor network: a time-course study with functional MRI. *Cereb Cortex.* 2008; 18(12):2775-88.
20. Facchini S, Muellbacher W, Battaglia F et al. Focal enhancement of motor cortex excitability during motor imagery: a transcranial magnetic stimulation study. *Acta Neurol Scand.* 2002; 105(3):146-151.
21. Porro CA, Cettolo V, Francescato MP, et al. Ipsilateral involvement of primary motor cortex during motor imagery. *Eur J Neurosci.* 2000; 12(8):3059-3063.
22. Helene AF., Xavier GF. Working memory and acquisition of implicit knowledge by imagery training, without actual task performance. *Neuroscience.* 2006; 139(1):401-13.
23. Malouin F, Belleville S, Richards CL, et al. Working memory and mental practice outcomes after stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004; 85(2):177-83.
24. Yoo SS, Freeman DK, McCarthy JJ, et al. Neural substrates of tactile imagery: a functional MRI study. *Neuroreport.* 2003;14(4):581-585.
25. Shadmehr R, Krakauer JW. A computational neuroanatomy for motor control. *Exp Brain Res.* 2008; 185(3):359-81.
26. Higuchi S, Imamizu H, Kawato M. Cerebellar activity evoked by common tool-use execution and imagery tasks: an fMRI study. *Cortex.* 2007; 43(3):350-358.
27. Battaglia F, Quartarone A, Ghilardi MF, et al. Unilateral cerebellar stroke disrupts movement preparation and motor imagery. *Clin Neurophysiol.* 2006; 117(5):1009-1016.
28. Munzert J, Lorey B., Zentgraf K. Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Res Rev.* May 2009; 60(2):306-326.
29. Elgen SK, Leversen KT, Grundt JH et al. Mental health at 5 years among children born extremely preterm: a national population-based study. *Eur Child Adolesc Psychiatry.* 2012; 21(10):583-9.
30. Ritterband-Rosenbaum A, Christensen MS, Kliim-Due M, et al. Altered sense of Agency in children with spastic cerebral palsy. *BMC Neurol.* 2011; 11:150-162.
31. Malouin F, Richards CL, Durand A et al.. Reliability of mental chronometry for assessing motor imagery ability after stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008; 89(2):311-9.
32. Wu AJ, Hermann V, Ying J, et al. Chronometry of mentally versus physically practiced tasks in people with stroke. *Am J Occup Ther.* 2010; 64(6):929-34.
33. Spruijt S, Jouen F, Molina M, et al. Assessment of motor imagery in cerebral palsy via mental chronometry: the case of walking. *Res Dev Disabil.* 2013;34(11):4154-60.
34. Molina M, Kudlinski C, Guilbert J, et al. Motor imagery for walking: a comparison between cerebral palsy adolescents with hemiplegia and diplegia. *Res Dev Disabil.* 2015;37 :95-101.
35. Decety J, Jeannerod M. Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitts's law hold in motor imagery? *Behav Brain Res.* 1995; 72(1-2):127-34.
36. Hall C, Martin K. Measuring movement imagery abilities: A revision of the movement imagery questionnaire. *Journal of Mental Imagery.* 1997; 21:143-154.
37. Dickstein R, Dunsky A, Marcovitz E. Motor Imagery for Gait Rehabilitation in Post-Stroke Hemiparesis. *Phys Ther.* 2004; 84(12):1167-1177.
38. Malouin F, Richards C, Jackson P, et al. The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for Assessing Motor Imagery in Persons with Physical Disabilities: A Reliability and Construct Validity Study. *J Neurol Phys Ther.* 2007;31(1):20-29.
39. Chang SH, Yu NY. Comparison of motor praxis and performance in children with varying levels of developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci.* 2016;48:7-14.
40. Lust JM, Wilson PH, Steenbergen B. Motor imagery difficulties in children with Cerebral Palsy: A specific or general deficit ? *Research in Developmental Disabilities.* 2016; 57:102-111.
41. Ballester-Plané J, Laporta-Hoyos O, Macaya A, et al. Measuring intellectual ability in cerebral palsy: The comparison of three tests and their neuroimaging correlates. *Res Dev Disabil.* 2016;56:83-98.
42. Mutsaerts M, Steenbergen B, Bekkering H. Impaired motor imagery in right hemiparetic cerebral palsy. *Neuropsychologia.* 2007 2;45(4):853-9.
43. Cabral-Sequeira AS, Coelho DB, Teixeira LA. Motor imagery training promotes motor learning in adolescents with cerebral palsy : comparison between left and right hemiparesis. *Exp Brain Res.* 2016;234(6):1515-24.

44. Jongsma ML, Baas CM, Sangen AF, et al. Children with unilateral cerebral palsy show diminished implicit motor imagery with the affected hand. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2016; 58(3) ,277-284.
45. Molina M, Kudlinski C, Guilbert J, et al. Motor imagery for walking: a comparison between cerebral palsy adolescents with hemiplegia and diplegia. *Res Dev Disabil*. 2015;37:95-101.
46. Taherian S, Selitskiy D, Pau J, et al. Training to use a commercial brain-computer interface as access technology: a case study. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2016;11(4):345-50.
47. Taherian S, Selitskiy D, Pau J, et al. Are we there yet? Evaluating commercial grade brain-computer interface for control of computer applications by individuals with cerebral palsy. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2015 Dec; 23:1-10.
48. Steenbergen B, Crajé C, Nilsen DM, et al. Motor imagery training in hemiplegic cerebral palsy: a potentially useful therapeutic tool for rehabilitation. *Dev Med Child Neurol*. 2009;51(9):690-6
49. Steenbergen B, Jongbloed-Pereboom M, Spruijt S et al. Impaired motor planning and motor imagery in children with unilateral spastic cerebral palsy: challenges for the future of pediatric rehabilitation. *Dev Med Child Neurol*. 2013; 55 Suppl 4:43-6.
50. Mutsaerts M, Steenbergen B, Bekkering H. Anticipatory planning deficits and task context effects in hemiparetic cerebral palsy. *Exp Brain Res*. 2006; 172(2):151-62.
51. Steenbergen B, Meulenbroek RGJ, Rosenbaum DA. Constraints on grip selection in hemiparetic cerebral palsy: effects of lesional side, end-point accuracy, and context. *Cogn Brain Res*. 2004;19:145-59.
52. Williams J, Reid SM, Reddihough DS, et al. Motor imagery ability in children with congenital hemiplegia: effect of lesion side and functional level. *Res Dev Disabil*. 2011;32(2):740-8.
53. Crajé C, van Elk M, Beeren M, et al. Compromised motor planning and Motor Imagery in right Hemiparetic Cerebral Palsy. *Res Dev Disabil*. 2010; 31(6):1313-22.
54. Parsons LM. Integrating cognitive psychology, neurology and neuroimaging. *Acta Psychol (Amst)*. 2001; 107(1-3):155-81.
55. Ter Horst AC, van Lier R, Steenbergen B. Mental rotation task of hands: differential influence number of rotational axes. *Exp Brain Res*. 2010 J;203(2):347-54.
56. Van Elk M, Craje C, Beeren ME et al. Neural evidence for compromised motor imagery in right hemiparetic cerebral palsy. *Front Neurol*. 2010; 30; 1:150.
57. Van Elk M, Crajé C, Beeren ME, et al. Neural evidence for impaired action selection in right hemiparetic cerebral palsy. *Brain Res*. 2010;1349:56-67
58. Barca L, Frascarelli F, Pezzulo G. Working memory and mental imagery in cerebral palsy: a single case investigation. *Neurocase*. 2012;18(4):298-304.
59. Chinier E, N'Guyen S, Ligon G, et al. Effect of Motor Imagery in Children with Unilateral Cerebral Palsy: fMRI Study. 2014. *PLoS ONE* 9(4): e93378.
60. Shin YK, Lee DR, Hwang HJ, et al. A novel EEG-based brain mapping to determine cortical activation patterns in normal children and children with cerebral palsy during motor imagery tasks. *NeuroRehabilitation*. 2012;31(4):349-55.
61. Chang JJ, Wu TI, Wu WL, et al. Kinematical measure for spastic reaching in children with cerebral palsy. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2005;20(4):381-8.
62. Coluccini M, Maini ES, Martelloni C, et al. Kinematic characterization of functional reach to grasp in normal and in motor disabled children. *Gait Posture*. 2007;25(4):493-501.
63. Iosa M, Zoccolillo L, Montesi M, et al. The brain's sense of walking: a study on the interwine between locomotor imagery and internal locomotor models in healthy adults, typically developing children and children with cerebral palsy. *Front Hum Neurosci*. 2014;8 :859.
64. Smits-Engelsman BC, Wilson PH. Age-related changes in motor imagery from early childhood to adulthood: probing the internal representation of speed-accuracy trade-offs. *Hum Mov Sci*. 2013;32(5):1151-62.

Motor Imagery Practice in Individuals with Cerebral Palsy

Avia Guttman

Orot Israel College of Education

Abstract

Background: Cerebral Palsy (CP) is the most common cause of childhood disability and deficiencies that can be attributed to non-progressive brain damage in the developing neuro-motor system. There are various physiotherapy intervention programs for individuals with CP. However, there is evidence that the disability can't be attributed only to motor impairments also to cognitive processing problems and to the anticipatory planning of the movement. One of the tools that can help the motor planning is motor imagery practice. Motor Imagery is an active cognitive process represents an internal modeling of the working memory of the movement and it is very often impaired in individuals with CP.

Aim: To review the literature about motor difficulties in population with cerebral palsy and to examine the efficiency of motor imagery practice in this population.

Methods: Selected articles were searched in PubMed, Medline and Google Scholar search by keywords: motor imagery, mental practice and CP. The second stage, targeted cross-search in those databases of keywords, motor imagery+ cerebral palsy, mental practice+ cerebral palsy, yield dozens articles, most of them were included in this review.

Results: The review emphasizes that no disability can be attribute to motor impairments only. Cognitive processing that anticipate the motor activity, such as motor imagery difficulties of movements, and impaired body scheme mainly affected the implicit imagery.

Discussion and Conclusions: Motor imagery practice is considered an internal representation of motor activity, and can

be used as a therapeutic practice for improving movement skills in individuals with CP.

Key words: cerebral palsy, motor imagery practice, anticipatory planning, implicit imagery, explicit imagery.