

דימויים מוטוריים בפיזיותרפיה

פרופ' רות דיקשטין

החוג לפיזיותרפיה, הפקולטה למדעי הרווחה והבריאות, אוניברסיטת חיפה

תקציר

דימוי מוטורי הוא דימוי של תנועה פשוטה או מרכבת של הגוף ללא ביצוע בפועל. חזרה מגמתית על דימוי או דימויים מוטורים מסוימים (motor imagery practice), לשם שיפור הביצוע של מטלה תנועתית, נחשבת לאמון מנטאלי (mental rehearsal).

אימונים בדימויים מוטורים בענפי הספורט השונים משמשים מזה שנים רבות לשיפור ביצועי ספורטאים. בעשור השנים האחרון הוחדרה שיטת תרגול זו גם לשיקום של אנשים לאחר פגיעות במערכת העצבים המרכזית ובמערכות אחרות בגוף האדם. מרבית הפיזיותרפיסטים המטפלים בשיטה זו מוסיפים את התרגול בדימויים מוטורים לפרוטוקול התרגול הקונבנציונאלי (טיפול "משולב"); במקרים בהם תנועה בפועל אינה רצויה או אפשרית, ניתן לעשות שימוש בתרגול בדימויים מוטורים בלבד.

שתי האפנויות השכיחות ביותר ביישום תרגול בדימוי הן (1) דימויים ראיתיים שבהם המתאמן "רואה" את עצמו מבצע את התנועות המבוקשות, (2) דימויים סומטוסנסוריים, הכוללים בעיקר דימוי תחושות קינסטטיות המתלוות ל"ביצוע" של התנועה (ות) המדומית (ות).

על אימונים בדימויים מוטורים בטפול פיזיותרפיה חלים אותם כללים החלים על אימונים מובנים בפועל, כמו ההיצמדות למטרות טיפול מוגדרות, חזרות על תרגילים והפסקות זמן קצובות. יחד עם זאת, העדר משוב חיצוני על התנועה המבוצעת בדימוי מחייב את המטפל לנקוט בשיטות שונות כדי לפקח ולאמוד את מידת ההיענות של המטופל לתרגול.

התוצאות של בדיקות דימות רבות שנעשו באנשים בריאים מעידות על פעילות באזורים חופפים במוח בזמן דימוי משימה תנועתית ובעת ביצוע בפועל. יתר על כן, אימונים בדימויים מוטורים, בדומה לתרגול בפועל, משפיעים על ראורגניזציה מוחית הן באנשים בריאים והן באנשים שנפגעו במערכת העצבים המרכזית.

התרומה של תרגול מובנה בדימויים מוטורים באוכלוסיות שונות של מטופלים הודגמה במספר רב של מחקרים קליניים.

מלות מפתח: דימויים מוטורים, חזרה מנטאלית, שיקום פסיקאל, אירוע מוחי.

Motor Imagery, Mental practice, Mental rehearsal, Physical rehabilitation, Stroke.

מבוא

אימונים בדימויים מוטורים הם אימונים בביצוע תנועה במפרק(ים) בודד(ים), או בביצוע משימה תנועתית שלמה בדימוי, משמע, ללא ביצוע התנועה בפועל (1). כינויים לאימון מסוג זה הם "חזרה מנטאלית" (mental rehearsal) או אימון "כמוס" (covert practice). יש המתארים תנועה ה"מבוצעת" בדימוי כתנועה שתוכננה לפרטיה במערכת העצבים המרכזית אך הוצאה לפועל נעצרה לפני הפעלת המעגלים העצביים הקשורים לגיוס השרירים.

דימויים מוטורים כמו דימויים אחרים, לא מוטורים, נחשבים לפונקציה קוגניטיבית (4-1). היכולת להעלותם ולתרגל אותם לשם שיפור מיומנות מוטורית, שונה באנשים שונים ובתכני דימוי שונים. באנשים שכשרם הקוגניטיבי לקוי, היכולת לעשות שימוש בדימויים מוטורים לקויה. קיימים מבחנים שונים לבחינת כושר הדימוי של בני אדם (5, 6), אך תקפותם ומהימנותם אינם מבוססים במידה מספקת.

בשני העשורים האחרונים פורסמו עבודות מחקר ומאמרי סקירה רבים שנושאים דימויים מוטורים ותרגול בדימויים מוטורים. אחת הסיבות לכך היא השימוש הנפוץ בדימויים מוטוריים בבדיקות דינאמיות של פעילות המוח (7, 8). סיבה נוספת היא התרומה המוכחת של תרגול בדימויים מוטורים לבצוע בפועל של מיומנויות ספורטיביות ולשיפור התפקוד התנועתי של אנשים עם ליקויים במערכת השלד-שרירים-עצבים. התרומה של האימונים בדימויים מוטוריים נופלת אמנם מזו של אימונים בפועל, אך גדולה מאי-אימון (9, 10). במקרים של אי יכולת לבצע תנועה מסוימת בפועל כאשר היכולת הקוגניטיבית שמורה, האלטרנטיבה היחידה היא התרגול באמצעות דימויים מוטורים, כמו למשל בתקופת קיבוע לאחר שחזור גידים (11) ובמקרים של שתוקים כמו ב ALS (12) או בפרפליגיה (13). מן הראוי להוסיף שהתרגול בדימויים מוטורים נמצא יעיל גם להעלאת החוללות העצמית (self efficacy) והמוטיבציה של המתאמנים (14). קרוב לוודאי שהחזרה על בצועים תנועתיים במצבים מאתגרים בדימוי תורמת לשיפור הביטחון העצמי בעת התמודדות עם אותם מצבים בפועל. כך יכול הספורטאי להתכונן בדימוי לתנאי משחק מסוימים העשויים להתעורר במגרש, והמטופל עם המיפרזה - לעליה במדרגות המוכרות לו כתלולות.

המפתח לתרגול בדימוי הוא הערוצים השונים של מערכת התחושה. על מנת לשפר הבצוע של פונקציה מוטורית מקובל להשתמש בעיקר

במקצועות רפואיים כמו מיומנויות בסיעוד ובכירורגיה; לדוגמה, אימונים לשיפור הביצוע של החיאה קרדיאופולמונרית ושל עשיית חתכים ותפרים (24, 25).

ב. במטופלים עם ליקויים בתנועה כתוצאה מפגיעה במערכת העצבים:

יישום תרגול בדימויים מוטורים בפזיותרפיה דווח יותר מכל בהקשר לטיפול ושיקום של מטופלים עם המיפצה בעקבות אירוע מוחי. ברוב המכריע של המחקרים נמצא שהתרגול בדימויים מוטורים מטיב את הלמידה המוטורית ומסייע לשיפור הביצוע של המיומנויות המוטוריות המתורגלות. כך, נמדד שפור בתנועתיות הגף העליון בצד הפגוע במבדקים מוטורים ופונקציונאליים (כמו ב-Fugl Meyer test, Action Research arm Test, Stroke Rehabilitation Assessment of Movement, בקינמטיקה של תנועת הושרה (10, 26, 27), במהירות הליכה (28, 29), בלימוד צעדי הליכה לא שגרתיים (30), ובביצוע מטלות ADL כמו בישול וערכת קניות (31, 32). ניתן ללמוד על התרומה ועל הבעיות הכרוכות בשילוב דימויים מוטוריים באוכלוסייה זו (התאמת ובחירת המשתתפים, בחירת פרוטוקול האימון, מדידות המשתנים התלויים, שמירה על הישגים לאורך זמן ועוד) ממספר לא מבוטל של מאמרי סקירה שרק מיעוטם מובא כאן (3, 9, 33, 34).

אשר למחלות אחרות במערכת העצבים המרכזית, אימונים בדימויים מוטוריים באנשים עם מחלת פרקינסון נמצאו יעילים בהפחתת ברדיקיניה (35), וב-Complex Regional Pain Syndrome - הפחתת כאב ומוגבלות (36, 37).

ג. במטופלים הסובלים מליקויים בתפקוד במערכת ה"שריר-שלד"

אימונים בדימויים מוטוריים דווחו כמסייעים לשיפור התפקוד של קשישים כמו בתפקודי הושרה פונקציונאליים ותפקודי שווי משקל (38, 39), לשיפור המוטיבציה, הפחתת הכאב ולהחלמה תפקודית של ספורטאים העוסקים בענפי ספורט שונים (כמו כדור רגל, אגרוף וכדור בסיס) לאחר פציעות (40), בחיזוק שרירי ה-dorsi flexors ו-plantar flexors של הקרסול (41, 42), ועוד.

2. הפעילות המוחית בזמן הביצוע של דימויים מוטוריים.

ההתפתחות באמצעי הגירוי (בעיקר השימוש ב-Trans Magnetic stimulation, TMS ובטכניקות דימות של הפעילות המוחית (בעיקר fMRI), הביאה עמה שימוש מחקרי רב בדימויים בכלל ובדימויים מוטורים בפרט כאמצעי לניטור הפעילות המוחית בעת ביצוע מטלות מוטוריות.

מתוך עבודות רבות נלמד שבעת דימויים של מטלות מוטוריות

בדימויים ראיתיים וסומטוסנסורים. בדימוי ראיתיים המתאמן חווה תנועה באמצעות הראייה (ראית עצמו בעיניו הוא, או ראית עצמו מנקודת הצפייה של אדם אחר); בדימוי סומטוסנסורי הוא חווה בדימוי תחושות קינסטטיות, תחושות מגע, לחץ וכד'. במהלך כל אימון יכול המאמן (הפיזיותרפיסט) לשלב את השימוש במספר אופני דימוי כך שהספורטאי או המטופל יכול "לראות את עצמו" בדימוי מבצע משימה תנועתית ו/או לדמות את התחושות הקינסטטיות שזו מעוררת (9, 15, 16). אמנם, קשה לאתר בספרות תאור מדויק של פרוטוקולים לאמון פונקציה מוטורית מסוימת במטופלים, אולם יש לזכור שהעקרונות המשמשים בתרגול בפועל כדי להטיב את הלמידה המוטורית והבצוע תקפים גם לגבי האמונים בדימוי. במיוחד יש לציין את חשיבות החזרות (rehearsal) שהן תנאי בל יעבור להשגת כל מטרה תנועתית (17). מכיוון שהריכוז הנדרש למילוי משימה קוגניטיבית זו הוא רב, התרגול בדימוי מבוצע בדרך כלל כשהמטופל נמצא בהרפיה ומשכו מוגבל ל-10 דקות (18); האימון מסתיים ב"ציאה" הדרגתית ממצב ההרפיה.

את תכני המאמרים שנושאים דימויים מוטורים ניתן לחלק למאמרים שתכנם (1) התרומה של אימונים בדימויים מוטורים באוכלוסיות שונות, (2) הפעילות המוחית בזמן דימויים מוטורים באוכלוסיות נבדקים שונות, (3) שאלות והשגות הנוגעות לשיטות היישום של התרגול בדימויים מוטורים באוכלוסיות שונות. (4) הפוטנציאל הטמון בדימויים מוטוריים להפעלת אברי מטרה באמצעות ממשק מוח - מחשב ("BCI, "Brain Computer Interface").

מטרת סקירה זו היא להציג בקצרה את עולם התוכן של אימונים בדימויים מוטורים. בכדי לממש מטרה זו, מובאת כאן סקירה תמציתית של עבודות מחקר או מאמרי סקירה נבחרים בכל אחד מארבעת התחומים המוזכרים לעיל. בחירת העבודות המצוטטות נעשתה על פי חוות דעת אישית כאשר העניין והרלבנטיות של המאמרים לפיזיותרפיסטים היוותה שיקול מרכזי. משום מגבלת ההיקף של סקירה זו מוזכר רק מעוט מתוך מחקרים רבים שפורסמו בנושא הנדון.

1. השימוש באימונים בדימויים מוטורים לשם שיפור התפקוד התנועתי.

א. באנשים בריאים

השימוש בדימויים מוטוריים בענפי הספורט השונים הוא הקדום ביותר. ראיות לחיזוק שרירים, שיפור הדינאמיקה של תנועות, דיוק ביצוע, והגדלת המוטיבציה דווחו לגבי ענפי הספורט השונים (19-22).

מאמרי סקירה עשויים להנחיל ידע רב בנושא זה (2, 23). בנוסף, דווח על תרומתם של דימויים מוטוריים ללימוד מיומנויות מוטוריות

לזמן הבצוע של אותה משימה בפועל (49, 50), הרי שבאדם בריא חריגה מהתאמה זו עשויה להצביע על אי התמדה בתרגול בדימוי. ניתן גם להשתמש בחוק Fitt, אשר נמצא תקף לגבי דימויים מוטוריים (51), כדי לבצע הערכה דומה. למשל, משימת הליכה בדימוי למרחק ארוך או בנתיב צר צריכה להמשך זמן רב יותר מהליכה למרחק קצר יותר ובנתיב רחב (52). שנית, אפשר לאמוד את החיות (vividness) של הדימוי באמצעות סולמות מדידה שנבנו במיוחד לצורך זה (53, 54). שלישית, בדימוי הכולל שינויים מרחביים במצב האבר(ים) הנע(ים) ניתן להפסיק את המטופל בנקודת זמן בלתי צפויה במהלך התרגול ולבקשו להדגים את התנוחה המרחבית בה נמצא אבר המטרה. טכניקה זו משמשת בעיקר לחקר תפיסה מרחבית של הגוף ולוודוא דימוי של רוטציות של היד במרחב (55, 56). רביעית, בעבודות רבות הודגמו שינויים אוטונומיים בתגובה לתרגול בדימויים מוטוריים (57). על כן, שינויים בדפוק או בקצב נשימה בזמן מאמץ בעת תרגול בדימוי, מספקים עדות לכך שהמטופל "מבצע" את התרגול הנכון. ולבסוף, יש לתת משקל לעדות הסובייקטיבית של המטופל. בדרך כלל אנשים המצליחים לחוות תנועות בדימוי ידווחו על כך (58); המוטיבציה של אנשים אלו להתמיד בסוג תרגול זה תהיה גדולה לעין ערוך בהשוואה למוטיבציה של מי שאינו מצליח בבצוע מטלות הדימוי המוטורי.

מידת ההתאמה של מטופל ספציפי לאימון בדימויים מוטוריים גם היא אינה חד משמעית. אולם, מכיוון שהכשרים הקוגניטיביים של בני האדם, בריאים כחולים, הם רב גוניים ואינם ניתנים לכימות חד משמעי, סביר להניח שאצל מרבית האנשים יהא לאימון קוגניטיבי זה ערך מוסף בהשוואה לאי - אמן. יחד עם זאת, מקובל שאנשים עם לקות קוגניטיבית, לא יפיקו תועלת מאימונים בדימויים מוטוריים. בפרט נמצא שלפגיעה בזיכרון עבודה (working memory) השלכות שליליות על יכולת ההוצאה לפועל של דימויים מוטוריים (46). אולם, בהקשר זה יש לזכור שזיכרון עבודה אף הוא רב-גווי ולא בהכרח נפגעים כל מרכיביו. מן הראוי להזכיר כאן חוקרים המייחסים חשיבות רבה לבחירת המטופלים המתאימים לתרגול בדימויים מוטוריים. כך, Simmons וחב' סבורים שכ-40% מהמטופלים לאחר אירוע מוחי סובקורטיקלי אינם מסוגלים לבצע תרגול בדימויים מוטוריים (58). להמלצה זו המבוססת על מבחן מקדים בלתי מותקף שפותח על ידי אותם חוקרים עצמם יש להתייחס בהסתייגות. נכון לעת זו, ההכרות עם המטופל והניסיון עצמו יכולים כנראה ללמד על התאמת המטופל לתרגול בדימויים מוטוריים יותר מכל קריטריון מסנן אחר.

ב. התלבטויות הקשורות לתכנון טיפול ובניית תוכנית אימונים בדימוי מוטורי

כאמור לעיל, קשה למצוא בספרות הרפואית פרוטוקולים לתרגול

מתקיימת פעילות במעגלים עצביים שהינה דומה (אך לא זהה) לפעילות המתקיימת בעת ביצוע אותן מטלות מוטוריות בפועל (43, 44).

אזורי הפעילות המוחית עשויים לכלול אזורים קורטיקאליים ותת קורטיקאליים המשתנים בהתאם לתוכן הדימוי. על אף זאת ניתן לקבוע שתמיד בזמן דימויים מוטוריים קיימת פעילות באזורים "מתכנני תנועה" קרי ה-SMA ו/או ה-pre-SMA, באזורים פרפרונטאליים המאפשרים גישה למידע השמור ב"זיכרון עבודה" (working memory), ובגרעינים הבזאליים. (45, 46).

על מנת לגרום לאפקט אימון במערכת העצבים המרכזית אפשר להשתמש בדימויים מוטוריים במקום או בנוסף לבצוע אימונים בפועל. לדוגמה, Pascual-Leone ועמיתים הדגישו הגדלת הייצוג הקורטיקלי של השרירים מכופפי ומישרי האצבעות באזור המוטורי הראשוני הקונטרלטרי לאחר אימון פיסי אחד וארבעה אמונים בדימויים מוטוריים של פריטה על פסנתר; ראורגניזציה זו הייתה זהה לשנוי בעקבות חמישה אימוני פריטה בפועל (47).

הפעילות המוחית באנשים עם פגיעות במערכת העצבים המרכזית נבדקה גם כן במספר רב של עבודות. מחקרים מסוג זה יכולים ללמד על ראורגניזציה לאחר נזק (לדוגמה, (48)), על הפרופיל הטמפורלי של שינויים אלו ועל ההשפעות של תהליכי שיקום.

מספר המחקרים בהם נבדקה הפעילות המוחית בעת דימויים מוטוריים לאחר אירוע מוחי, במחלת פרקינסון, במצבי כאב מרכזיים, הוא רב וסקירתם חורגת ממסגרת סקירה זו.

3. שאלות ולבטים הנוגעים ליישום התרגול בדימויים מוטוריים במטופלים בפזיותרפיה

לפזיותרפיסט המעוניין לשלב תרגול בדימויים מוטוריים בתוכנית הטיפול התלבוטיות רבות ושונות. ניתן לחלקן להתלבוטיות הקשורות למטופל ולהתלבוטיות הקשורות ליישום הטיפול.

א. התלבוטיות הקשורות למטופל

השאלה "כיצד ניתן לדעת שהמטופל אכן מתאמן ומשחזר בדימוי את המטלה אותה התבקש לדמות?" היא כמושבן השאלה החשובה והעיקרית. התשובה לה אינה חד משמעית: מאליו יובן שאין באפשרותנו לדעת בכל נקודת זמן אם המטופל אכן מבצע תרגול בדמוי על פי ההנחיה שנתנה לו; אך, יחד עם זאת, מידת הוודאות של ידיעתנו את שתוף הפעולה שלו איננה בהכרח אפסית: ראשית, ישנן טכניקות שנועדו לבדוק את משך הזמן של בצוע מטלה מוטורית בדימוי (chronometry). מכיוון שזמן הבצוע של משימה מוטורית בדימוי באנשים בריאים נמצא זהה

עדויות לפוטנציאל של שיטה זו ודין באפשרויות לשכללה ניתן למצוא במקורות שונים, כמו במאמרו של Fetz הסוקר שיטות לקיום וחיזוק הקשר בין פעילות מוחית לבין מחשב או "מכונה" חיצונית (59). תחום זה אשר נמצא עדיין בחיתוליו עשוי אולי בעתיד לאפשר לאנשים עם קוגניציה שמורה ונכות תנועתית גבוהה, להפעיל את אבריהם או רכיבים חיצוניים כגון זרוע רובוטית לביצוע תנועות תכליתיות. כאן המקום להדגיש שוב שהדרך שבה מתאמן הפרט להפעיל רשתות נירונים ספציפיות היא בראש ובראשונה באמצעות דימוי של התנועה אותה הוא חפץ לחולל. חזרות מרובות על דימוי זה (אימון) עשויות לסייע בהשגה של המטרה. הידע המצטבר בתחום ממשק מוח-מחשב פותח אפיקים חדשים בנייתוב הפעילות המוחית לשיקום תנועתיות פונקציונאלית באוכלוסיות שונות של אנשים נכים (מקורות לדוגמה, (60-62).

סכום

התרומה החיובית שיש לשלוב דימויים מוטוריים בתרגול בפיזיותרפיה היא עובדה מבוססת, כמו גם העובדה שלתרגול בדימויים מוטוריים עדיפות על פני אי - תרגול. אי לכך, רצוי להנחות את המטופלים לתרגול בדימוי בנוסף על התרגול בפועל. לשאלות הנוגעות לפרטי היישום של שיטת תרגול/אימון זו אין מתכון אחיד וחד משמע שכן בדרך כלל מתוכנן הטיפול עבור מטופל ספציפי. ניתן ורצוי לשלב דימויים מוטוריים גם באימונים המשלבים התבוננות בתנועה ובאמונים במציאות מדומה. המחקר בממשק מוח-מחשב/מכונה, מצביע על כיווני התפתחות ברתימת דימויים מוטוריים לשיקום פיסיקלי.

בדימויים מוטוריים. אולם, יש לציין שכמעט באותה מידה קשה גם למצוא פרוטוקולים בתרגול פיסיקאלי שיתאימו כלשונם לאוכלוסייה של מטופלים, שכן כל תוכנית פרטנית נבנית בהתאם למגבלות ומטרות הטיפול של אדם יחיד.

אחד המאפיינים הייחודיים של התרגול בדימויים הוא האפשרות לשלב תרגול בסביבות שונות ובתנאים שונים. לכושרו של המאמן לתאר את המרחב והסביבה, ולכושר הדימוי של המטופל, השפעה על בהירות הדימוי. בהמשך לתיאור "סביבת התרגול" מקובל להנחות את המטופל לתרגל את המטלה (ות) המוטורית (יות). תוכן התרגילים, סדר התרגילים, דרגות הקושי, ההתקדמות בין הפגישות, ההוראות הניתנות לתרגול עצמי, כל אלה כפופים לאותם כללים המשמשים בתרגול בפועל. התרגול בדימויים מוטוריים ניתן לבצע בכל מקום מבלי לסכן את המטופל. מסיבה זו בלבד מן הראוי לעודד כל מטופל לתרגל מטלות מוטוריות בדימוי בנוסף או אף במקום תרגול בפועל.

4. Brain Machine Interface ו-Brain Computer Interface (BCI) (ממשק מוח - מחשב) (BMI)

"ממשק מוח-מחשב" (או "ממשק מוח - מכונה") מהווה סביבת עבודה בה רותמים פוטנציאלי פעולה נירונאליים לשליטה בתנועות של סמן מחשב או של "רכיבי תנועה" חיצוניים כמו זרוע רובוטית. הקשר בין הפעילות המוחית לרכיב המחולל תנועה נבנה בין האותות של הפעילות המוחית (למשל ה EEG או אותות פעילות מוחית שנרשמו ב fMRI) לבין הרכיב או האבר הנע. נושא זה מוזכר כאן כי הצלחת השיטה תלויה ביכולת לשלוט באופן רצוי באמצעות דימויים בפעילות נירונאלית בעיקר קורטיקאלית לצורך הפקת התנועות הרצויות.

מקורות

1. Jeannerod M., Frak V. Mental imaging of motor activity in humans. *Curr Opin Neurobiol.* 1999; 9(6):735-9.
2. Holmes P., Calmels C. A neuroscientific review of imagery and observation use in sport. *J Mot Behav* 2008; 40(5):433-45.
3. McEwen S.E., Huijbregts M.P., Ryan J.D., Polatajko H.J. Cognitive strategy use to enhance motor skill acquisition post-stroke: a critical review. *Brain Inj* 2009; 23(4):263-77.
4. Munzert J., Lorey B., Zentgraf K. Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Res Rev.* 2009.
5. Hall C., Martin K. Measuring movement imagery abilities: A revision of the movement imagery questionnaire. *Journal of Mental Imagery.* 1997; 21:143-154.
6. Malouin F. The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ (for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: a reliability and construct validity study. *Journal of Neurologic Physical Therapy.* 2007.
7. Guillot A., Collet C., Nguyen V.A., Malouin F, Richards C, Doyon J. Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: An fMRI study. *Hum Brain Mapp* 2008.
8. Olsson C.J., Jonsson B., Larsson A., Nyberg L. Motor representations and practice affect brain systems underlying imagery: an FMRI study of internal imagery in novices and active high jumpers. *Open Neuroimag J.* 2008; 2:5-13.
9. Dickstein R., Deutsch J.E. Motor imagery in physical therapist practice. *Phys Ther.* 2007; 87(7):942-53.
10. Page S.J., Levine P., Leonard A. Mental practice in chronic stroke: results of a randomized, placebo-controlled trial. *Stroke.* 2007; 38(4):1293-7.
11. Stenekes M.W., Geertzen J.H., Nicolai J.P., De Jong B.M., Mulder T. Effects of motor imagery on hand function during immobilization after flexor tendon repair. *Arch Phys Med Rehabil.* 2009; 90(4):553-9.
12. Fuchino Y., Nagao M., Katura T., Bando M., Naito M., Maki A., et al. High cognitive function of an ALS patient in the totally locked-in state. *Neurosci Lett.* 2008; 435(2):85-9.
13. Hotz-Boendermaker S., Funk M., Summers P., Brugger P., Hepp-Reymond M.C., Curt A., et al. Preservation of motor programs in paraplegics as demonstrated by attempted and imagined foot movements. *Neuroimage.* 2008; 39(1):383-94.
14. Paivio A. Cognitive and motivational functions of imagery in human performance. *Can J Appl Sport Sci.* 1985; 10(4):22S-28S.
15. Glisky, Williams J.D, Kihlstrom J.F. Internal and external mental imagery perspectives and performance on two tasks. *J. Sport Behavior.* 1996; 19:3-18.
16. 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.
17. Hummelsheim H. Rationales for improving motor function. *Curr Opin Neurol.* 1999; 12(6):697-701.
18. Driskell J.E., Copper C., Moran A. Does Mental Practice Enhance Performance. *Journal of Applied Psychology.* 1994; 79(4):481-492.
19. Boschker M.S., Bakker F.C, Rietberg M.B. Retroactive interference effects of mentally imagined movement speed. *J Sports Sci.* 2000; 18(8):593-603.
20. Hardey L., Fazey J. Mental rehearsal: A guide for sports performance. Leeds: *National coaching foundation*; 1990.

21. Hardy J., Hall C.R., Carron A.V. Perceptions of team cohesion and athletes' use of imagery. *International Journal of Sport Psychology*. 2003; 34(2):151-167.
22. Keil D., Holmes P., Bennett S., Davids K., Smith N. Theory and practice in sport psychology and motor behaviour needs to be constrained by integrative modelling of brain and behaviour. *J Sports Sci*. 2000; 18(6):433-43.
23. Taktek K. The effects of mental imagery on the acquisition of motor skills and performance: a literature review with theoretical implications. *Journal of Mental Imagery*. 2004; 29:79-114.
24. Bachman K. Using mental imagery to practice a specific psychomotor skill. *J Contin Educ Nurs*. 1990; 21(3):125-8.
25. Sanders C.W., Sadoski M., van Walsum K., Bramson R., Wiprud R., Fossum T.W. Learning basic surgical skills with mental imagery: using the simulation centre in the mind. *Med Educ*. 2008; 42(6):607-12.
26. Hewett T.E., Ford K.R., Levine P., Page S.J. Reaching kinematics to measure motor changes after mental practice in stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2007; 14(4):23-9.
27. Johnson S.H. Thinking ahead: the case for motor imagery in prospective judgements of prehension. *Cognition*. 2000b; 74(1):33-70.
28. Dunsky A., Dickstein R., Marcovitz E., Levy S, Deutsch J.E. Home-based motor imagery training for gait rehabilitation of people with chronic poststroke hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008; 89(8):1580-8.
29. Lamontagne A., Fung J. Faster is better: implications for speed-intensive gait training after stroke. *Stroke*. 2004; 35(11):2543-8.
30. Sacco K., Cauda F., Cerliani L., Mate D., Duca S., Geminiani G.C. Motor imagery of walking following training in locomotor attention. The effect of "the tango lesson". *Neuroimage*. 2006; 32(3):1441-9.
31. Liu K.P.Y., Chan C.C.H., Hui-Chan C.W.Y. The use of mental imagery in enhancing relearning for people with stroke. *International Journal of Psychology*. 2004; 39(5-6):429-429.
32. Page S.J., Levine P., Khoury J.C. Modified Constraint-Induced Therapy Combined With Mental Practice Thinking Through Better Motor Outcomes. *Stroke*. 2009; 40(2):551-554.
33. Braun S.M., Beurskens A.J., van Kroonenburgh S.M., Demarteau J., Schols J.M., Wade D.T. Effects of mental practice embedded in daily therapy compared to therapy as usual in adult stroke patients in Dutch nursing homes: design of a randomised controlled trial. *BMC Neurol*. 2007; 7:34.
34. Sharma N., Pomeroy V.M., Baron J.C. Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke*. 2006; 37(7):1941-52.
35. Tamir R., Dickstein R., Huberman M. Integration of motor imagery and physical practice in group treatment applied to subjects with Parkinson's disease. *Neurorehabil Neural Repair*. 2007; 21(1):68-75.
36. Daly A.E., Bialocerkowski A.E. Does evidence support physiotherapy management of adult Complex Regional Pain Syndrome Type One? A systematic review. *Eur J Pain*. 2009; 13(4):339-53.
37. Moseley G.L., Zalucki N., Birklein F., Marinus J., van Hilten J.J., Luomajoki H. Thinking about movement hurts: the effect of motor imagery on pain and swelling in people with chronic arm pain. *Arthritis Rheum*. 2008; 50:31-31(5)9.

38. Hamel M.F., Lajoie Y. Mental imagery. Effects on static balance and attentional demands of the elderly. *Aging Clin Exp Res.* 2005; 17(3):223-8.
39. Riccio C.M., Nelson D.L., Bush M.A. Adding purpose to the repetitive exercise of elderly women through imagery. *Am J Occup Ther.* 1990; 44(8):714-9.
40. Driediger M., Hall C., Callow N. Imagery use by injured athletes: A qualitative analysis. *Journal of Sports Sciences.* 2006; 24(3):261-271.
41. Sidaway B., Trzaska A.R. Can mental practice increase ankle dorsiflexor torque? *Phys Ther.* 2005; 85(10):1053-60.
42. Zijdwind I., Toering S.T., Bessem B., Van Der Laan O., Diercks R.L. Effects of imagery motor training on torque production of ankle plantar flexor muscles. *Muscle Nerve.* 2003; 28(2):168-73.
43. 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.
44. Wang C., Wai Y., Kuo B., Yeh Y.Y., Wang J. Cortical control of gait in healthy humans: an fMRI study. *J Neural Transm.* 2008; 115(8):1149-58.
45. Helene A.F., Xavier G.F. Working memory and acquisition of implicit knowledge by imagery training, without actual task performance. *Neuroscience.* 2006; 139(1):401-13.
46. Malouin F., Belleville S., Richards C.L., Desrosiers J., Doyon J. Working memory and mental practice outcomes after stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004; 85(2):177-83.
47. Pascual-Leone A., Nguyet D., Cohen L.G., Brasil-Neto J.P., Cammarota A., Hallett M. Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol.* 1995; 74(3):1037-45.
48. De Vries S., Mulder T. Motor imagery and stroke rehabilitation: a critical discussion. *J Rehabil Med.* 2007; 39(1):5-13.
49. Malouin F., Richards C.L., Durand A., Doyon J. Reliability of mental chronometry for assessing motor imagery ability after stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008; 89(2):311-9.
50. Papaxanthis C., Schieppati M., Gentili R., Pozzo T. Imagined and actual arm movements have similar durations when performed under different conditions of direction and mass. *Exp Brain Res.* 2002; 143(4):447-52.
51. 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.
52. Bakker M., de Lange F.P., Stevens J.A., Toni I., Bloem B.R. Motor imagery of gait: a quantitative approach. *Exp Brain Res.* 2007; 179(3):497-504.
53. Isaac A., Marks D.F., Russell D.G. An instrument for assessing imagery of movement: the vividness of movement imagery questionnaire (VMIQ). *Journal of Mental Imagery.* 1986; 10:23-30.
54. Malouin F., Richards C., Jackson P., Lafleur M., Durand A., Doyon J. 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.
55. Fiorio M., Tinazzi M., Aglioti S.M. Selective impairment of hand mental rotation in patients with focal hand dystonia. *Brain.* 2006; 129(Pt 1):47-54.
56. Golomer E., Bouillette A., Mertz C., Keller J. Effects of mental imagery styles on shoulder and hip rotations during preparation of pirouettes. *J Mot Behav.* 2008; 40(4):281-90.

57. Guillot A., Collet C., Dittmar A. Influence of environmental context on motor imagery quality: An autonomic nervous system study. *Biology of Sport*. 2005; 22(3):215-226.
58. Simmons L., Sharma N., Baron J.C., Pomeroy V.M. Motor imagery to enhance recovery after subcortical stroke: who might benefit, daily dose, and potential effects. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008; 22:458-67(5)
59. Fetz E.E. Volitional control of neural activity: implications for brain-computer interfaces. *J Physiol*. 2007; 579(Pt 3):571-9.
60. Birbaumer N., Cohen L. Brain-computer interfaces: communication and restoration of movement in paralysis. *J Physiol*. 2007; 579.3:621-636.
61. Enzinger C., Ropele S., Fazekas F, Loitfelder M, Gorani F., Seifert T., et al. Brain motor system function in a patient with complete spinal cord injury following extensive brain-computer interface training. *Exp Brain Res*. 2008; 190:215-23:(2)
62. Neuper C., Scherer R., Wriessnegger S., Pfurtscheller G. Motor imagery and action observation: modulation of sensorimotor brain rhythms during mental control of a brain-computer interface. *Clin Neurophysiol*. 2009; 120(2):239-47.