

ניתוח אסטרטגיות של תת-מטלות אצל בריאים ומטופלים עם שיתוק פלג גוף: מודל קליני

קוז'ול צבי, PhD

המרכז האוניברסיטאי אריאל בשומרון

תקציר

במאמר זה, מוצג מודל מקורי לניתוח מעורבות אברי הגוף השונים לשם הגשמת תת-מטלות מוטוריות. המודל מושתת על ההשערה שהמטלה המוטורית ממומשת באמצעות רצף תת-מטלות אשר להן תפקיד ייחודי בהנעת הגוף וייצובו באמצעות כוחות, מומנטים ותנופה. בכל שלב של המטלה מוגשמות תת המטלות על ידי אסטרטגיות ייחודיות של חלקי גוף שונים המכונים במודל זה רכיבים או אלמנטים. לעיתים מטופל עם פגיעה נירולוגית או אורתופדית אינו מסוגל לבצע תת-מטלות בדומה לבריאה ועליו לבחור באסטרטגיות חלופיות. לכן, היכולת הקלינית לנתח אסטרטגיות תת-מטליות הינה חיונית להבנת הביצוע הנורמאלי והפתולוגי של מטלה.

לשם הדגמת השימוש במודל, נותחה תנועת הגלגול של אדם בריא על מזרן תוך כדי הצבת אילוץ שונים לעידוד השימוש באסטרטגיות תת-מטליות חלופיות. המודל גם יושם לניתוח תנועת גלגול של מטופל לאחר אירוע מוחי. הודגם כיצד ליקויי השליטה המוטורית של הצד הפגוע יותר עשויים לגרום לפיצוי תת-מטלתי באמצעות אזורים הפגועים פחות. כן נדון הערך הקליני של המודל.

מבוא

בעת ניתוח ביצוע מטלה מוטורית ניתן לחלק אותה לשלבים ובכל שלב לזהות רכיבי תנועה אשר להם חשיבות מיוחדת בהגשמת תת-מטלות ביומכניות.¹ רצף תת-המטלות מהווה תשתית לביצוע המטלה כולה ולכן ניתוח חיוני להבנת הפעולה המוטורית במצבים נורמליים²⁻⁵ ופתולוגיים.^{5,6}

די בניתוח של פעולות יומיומיות כגון קימה מכסא, כדי לאבחן שבכל שלב של התנועה מתמודדת המערכת עם תת-מטלות של ייצוב והנעה. בתחילת פעולת הקימה מסייעים שרירי הקרסול הקדמיים (Tibialis anterior) ובעקבותיהם מכופפי הגוף לבצע את תת-המטלה של הסטת מרכז הכובד לפנים אל מעל בסיס התמיכה של כפות הרגליים בעוד שתת-המטלה של הזדקפות הגוף תוך כדי שמירה על שווי משקל מתבצעת על ידי פעילות מתואמת של זוקפי הגוף ופושטי הירכיים והברכיים,⁷⁻¹⁰ בסוף פעולת הקימה נרתמים שרירי הקרסול האחוריים (plantar flexors) לייצוב הגוף כולו.⁷

כאשר האדם מתקשה לבצע תת-מטלה מסוימת הוא ינסה לגייס רכיבים שונים או שתשונה האסטרטגיה של המטלה כולה.⁷ ניתן לעודד פיצוי כזה באמצעות הצבת אילוץ המחייבים שינוי אסטרטגיה. לדוגמה, כאשר ביקשו מאנשים בריאים לקום מכסא כאשר רגליהם פשוטות לפנים כך שכפות רגליהם מונחות

על הרצפה קדמית למושב, אובחנה פעילות מוגברת של שרירי הבטן, המפצים על הירידה ביכולתו של ה-Tibialis Anterior להניע את מרכז הכובד לפנים בתנוחה זו.⁷

אסטרטגיות תת-מטליות הודגמו גם בפעילויות יומיומיות אחרות כגון גלגול במיטה או קימה לעמידה ממצב של שכיבה על הגב. בעת ביצוע הגלגול בוחר חלק ניכר מהנדקמים להתחיל את התנועה על ידי פשיטת רגל^{11,12} או הנעת הגוף העליון והידיים לכוון התנועה^{13,14} לשם יצירת מומנט ותנופה המסייעים לגלגול. גם בעת קימה ממצב של שכיבה על הגב לעמידה נמצא שמערכת הבקרה המוטורית מגייסת רכיבי תנועה ייחודיים כדי לבצע תת-מטלות של ייצוב צורת בסיס התמיכה, העברת מרכז הכובד לעבר הבסיס והזדקפות.^{15,1}

מספר מחקרים הדגימו אסטרטגיות מגוונות להגשמת תת-מטליות של פעולות יומיומיות על ידי מטופלים עם פגיעות נירולוגיות.^{6,17-19} מתברר שמטופלים לאחר אירוע מוחי, כבריאים, נוטים לנצל את תנועת הראש והגפיים ליצירת מומנט המסייע לפעולת הגלגול, אך בעוד ששרירי ה-Sterno-Cleido Masteodeus פועלים באופן סימטרי להנעת הראש הן אצל בריאים והן אצל המטופלים, בשרירי הגוף והגפיים של הצד הפגוע של המטופלים ניכרת פעילות נמוכה יותר מאשר בצד הפחות פגוע, בניגוד לפעילות הסימטרית של בריאים.²⁰ גם בעת קימה מכסא^{6,21} והליכה^{5,22} הודגמה על ידי מטופלים עם המיפרסיס פעילות שרירית אסימטרית ונטייה לפיצוי באמצעות הצד החזק יותר.

בדרך כלל ניתוח התנועה במעבדה הביומכנית מתבצע באמצעות מכשור מורכב המספק מידע קינמטי וקינטי המתארים את התנועה ואת הגורמים לה.^{1,2,3,4} בתנאים קליניים ניתוח התנועה מבוסס בעיקר על המדדים הקינמטיים של טווח תנועה ומהירות בעוד שההתייחסות למדדים קינטיים של כוחות מומנטים ותנופה מוגבלת ביותר.^{11,12,13,14} מטרת עבודה זו להציג מודל קליני אשר יכול לסייע לקלינאי לזהות, באמצעות התבוננות בלבד, את רכיבי התנועה באמצעות מספקים אברי הגוף כוחות, מומנטים, ותנופה לשם הגשמת תת-מטלות חיוניות לייצוב והנעה. מודל תת-מטלתי זה מבוסס על ההנחה שבכל שלב של התנועה ניתן להצביע על רכיבים מיצבים ומניעים אשר יש להם תפקיד ספציפי בשמירה על שווי המשקל ובקרת תנועת הגוף וחלקיו. רכיבים אלה המכונים במודל זה "אלמנטים", הם למעשה חלקי הגוף באמצעותם מווסתים היחסים בין מרכז הכובד והבסיס ומופעלים כוחות,

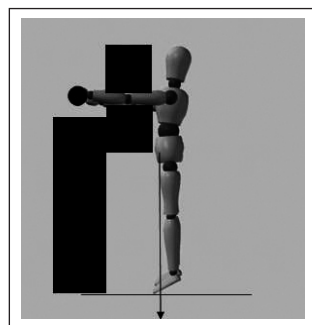
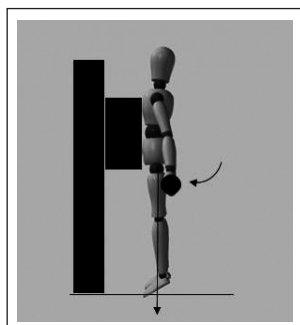
מאמר זה מוקדש לזכרה של **יוספה דנציגר**: עד לשנים האחרונות ראש המחלקה לפיזיותרפיה במרכז האוניברסיטאי אריאל שבשומרון, ממעצבות מקצוע הפיזיותרפיה בישראל וחברה טובה שלי מזה הרבה שנים. יוספה עודדה ודרבנה אותי לכתוב מאמר זה בדרכה הישירה והבלתי מתפשרת ובלעדיה הוא כנראה לא היה נכתב. חשוב היה ליוספה לפרסם מידע חדש דווקא בכתב העת הישראלי לפיזיותרפיה על מנת שיעורר דיון מפרה בין ציבור הפיזיותרפיסטים, אשר תמיד היה בראש מעיניה. אני מקווה שמאמר זה על המודל התת-מטלתי יענה על ציפיותיה של יוספה וישתלב במורשתה של שאיפה לעיקר מבלי להזניח את הפרטים. יהי זכרה ברוך.

קלות במשקוף אשר יגביל את תנועתו לפנים. כעת, כאשר ינסה להתרומם שוב באיטיות על קצות אצבעותיו - לא יצליח (תמונה b1). ההסבר לתופעה הוא שמניעת תנועת הגו לפנים לא מאפשרת למשקל הגו ליצור מומנט המסובב את הגוף לפנים ומייצב את השוקיים כנגד משיכתם לאחור. מנקודת מבט שונה מעט, הרמת העקבים במצב זה הייתה גורמת לכך שבסיס התמיכה של הגוף יקטן וינוע לפנים לעבר האצבעות בעוד שקו הכובד שלו יישאר מאחור: מצב שוויו משקל בלתי אפשרי, הנמנע מראש. התופעה דומה למצב בו אדם העומד בעמידת מוצא זקופה כשחלק גופו האחורי מהעקב ומעלה צמוד לקיר, מנסה להתכופף לפנים ולגעת בבהונות רגליו, בעוד שחלק גופו האחורי מהישבן ומטה נשאר צמוד לקיר. גם ביצוע מטלה זו אינו אפשרי היות וכפיפה עמוקה לפנים תסיט את קו הכובד של הגוף קדימה לבסיס התמיכה ותגרום לאובדן שוויו המשקל.

ניתן לאשש את הנחה שיחסי מרכז הכובד ובסיס התמיכה לא אפשרו הרמת העקבים, באמצעות פשיטת הידיים לפנים (תמונה 2) ושמידתם במצב מאוזן בעת הניסיון להתרומם על קצות האצבעות כשהחזה צמוד למשקוף (להדגשת התופעה כדאי לאחוז בידיים משקולות קלות של כשלושה ק"ג המגבירות את הסתת מרכז הכובד לפנים). במצב זה, למרות הגבלת תנועת הגו לפנים, ניתן יהיה להתרומם על קצות האצבעות, היות והמשקולות והידיים הפשוטות מעבירות את מרכז הכובד של הגוף לפנים אל מעל לבסיס התמיכה ואף יוצרות מומנט המייצב את השוקיים כנגד משיכתן לאחור. באופן דומה ניתן להדגים כי גם תנופת הידיים והמשקולות לפנים עשויה לסייע בייצוב השוקיים כנגד משיכת פושטי הקרסול ומאפשרת התרוממות על האצבעות. אם בתחילת הבצוע, נפשוט את הכתפיים לאחור כאשר הידיים אוחזות במשקולות וממצב מוצא זה ננסה להתרומם על האצבעות ובו-זמנית לטלטל את הידיים לפנים ולעצור אותן ליד הירכיים (מבלי שיעברו קדמית לגו ויסיטו את מרכז הכובד לפנים) ניווכח לאחר מספר ניסיונות שהנעת המשקולות ועצירתן ליד הירכיים מאפשרת לבצע את הפעולה (תמונה 3). כלומר, בדומה למומנט, גם התנופה לכשעצמה מסייעת לייצוב הגוף.

תמונה 3: כאשר ממצב מוצא של פשיטה בכתף, מטלטלים את הידיים עם המשקולות לכיוון הירכיים, התנופה מאפשרת להתרומם בו-זמנית על האצבעות אפילו כאשר תנועת הגו לפנים מוגבלת.

תמונה 2: הרמת הידיים האוחזות משקולות קלות מסיטה את מרכז הכובד המשותף למכלול הגוף והמשקולת לפנים, מעל בסיס התמיכה ולכן מאפשרת התרוממות גם ללא הטיית הגו לפנים.



מומנטים ותנופה להנעה וייצוב בשלבי המטלה השונים. הגדרה ה"אלמנטים" בהתאם לתפקודם בעת הגשמות תת-מטלות, מאפשרת לזהות רצף של אסטרטגיות קינטיות המשתלבות זו בזו לאורך כל המטלה ולנתח בהתאם. למרות השונות הרבה של דגם התנועה הקינמטי¹² והשתנות אסטרטגית התנועה בהתאם למטלה למבצע ולסביבה,^{17,18} ניתוח שיטתי של אסטרטגיות הייצוב וההנעה בכל שלב מאפשר להבין את עקרונות הביצוע ועשוי לתרום לשיפור הערכה והשקום של פעילות המערכת המוטורית.²³

המאמר הנוכחי מורכב משני חלקים. החלק הראשון מדגים מספר אסטרטגיות סטטיות ודינמיות של שמירת שוויו משקל אשר לעיתים אף מופיעות כאסטרטגיות ייצוב מקדימות, עוד לפני הביצוע. הדגמות אלו אמורות לסייע להבהיר את הגדרות רכיבי הייצוב והתנועה (האלמנטים) המופיעים בסוף החלק הראשון ואשר משמשים לניתוח אסטרטגיות התנועה באמצעות המודל התת-מטלתי.

החלק השני של המאמר מוקדש להדגמת יישום המודל לשם ניתוח הפעולות של הרמת יד על ידי אדם בריא ושל גלגול על מזרן המבוצע הן על ידי אדם בריא והן על ידי אדם עם חולשת פלג גוף כתוצאה מאירוע מוחי.

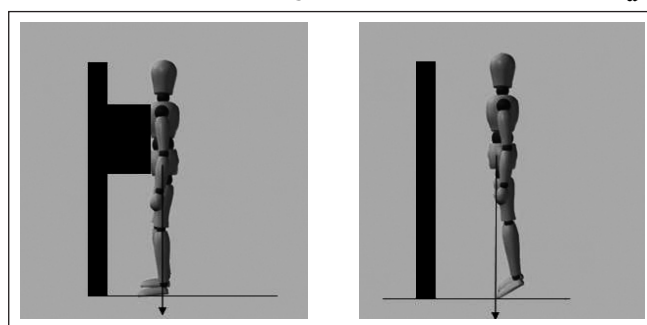
הדגמת הבסיס לניתוח אסטרטגיות שווי משקל באמצעות התבוננות

בקשו ממתנדב לעמוד זקוף בפתח דלת מול משקוף הניצב כ- 20 ס"מ לפניו ולהתרומם על קצות אצבעותיו. שימו לב כי כאשר הוא מבצע את הפעולה חזהו קרב אל המשקוף (תמונה a1). כלומר, למרות שפעילות פושטי הקרסול מושכת הן את הקצה הדיסטלי שלהם והן את הקצה הפרוקסימלי, רק העקב נמשך למעלה בעוד שחלקו העליון של השוק דווקא מוטה לפנים לכיוון המשקוף, כנגד משיכת פושטי הקרסול. לאחר שהנבדק חוזר למצב המוצא בקשו ממנו להתקרב אל המשקוף כך שכפות רגליו ימצאו משני צידי משקוף וחזהו יגע

תמונה 1: a. בעת שאדם מתרומם על קצות אצבעותיו גוו מוטה לפנים כך שקו הכובד נופל בתוך בסיס התמיכה החדש של האצבעות. b. כאשר מונעים מהגו לנוע לפנים לא ניתן להתרומם על קצות האצבעות היות ופעילות פושטי הקרסול במצב זה תמשוך את השוק לאחור ובנוסף כל תזוזה של בסיס התמיכה לפנים לכיוון האצבעות תגרום לכך שקו הכובד שנשאר מאחור ייפול מאחורי הבסיס שהוסט לפנים.

b

a



◀ **בסיס התמיכה** - תואם את ההגדרה המקובלת של השטח התחום בין נקודות המגע של הגוף עם המשטח התומך. במצבים סטטיים יציאת קו הכובד של הגוף **מבסיס התמיכה** גורמת לאובדן שווי המשקל. תפקוד **בסיס התמיכה** שונה מהותית **מבסיס התנועה**, אך מבחינה אנטומית הם עשויים לחפוף באופן חלקי או מלא.

הדגמת השמוש במודל התת-מטלתי לנתוח בצווע הרמת יד במצב עמידה וגלגול על מזרן

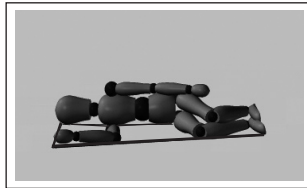
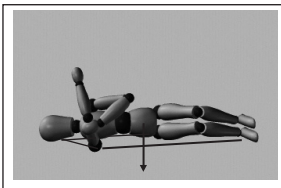
להדגמת הפשטות של יישום רכיבי התנועה התת-מטלתיים, ננתח תחילה את הפעולה של הרמת יד למעלה במצב של עמידה זקופה. בעת ביצוע פעולה זו הגף העליון עד למפרק הכתף מהווה את **האלמנט הנע**. **בסיס התנועה** הוא הגו, **והאלמנט המקשר** (המתווך) היא השכמה אשר תורמת להגדלת טווח התנועה, להגברת האפקטיביות של השרירים הפועלים ולייצוב מפרק ה-Gleno-Humeral²⁵. יש לציין שמינוח המודל גמיש ומותאם לסדרי חשיבות קליניים כך שלעיתים ניתן בעת הניתוח להתייחס ל**אלמנט מקשר** בעל תנועה מוגבלת ביותר כחלק **מבסיס התנועה** וכשתנועתו מרובה לצרפו ל**אלמנט הנע**.

פעולת הגלגול על מזרן והסתגלותה לאילוץ של שינוי בסיס התמיכה תשמש בעבודה זו כדוגמה תפקודית מורכבת יותר של יישום המודל התת-מטלתי.

נדמה אדם השוכב על צד ימין כשבידיו כפופות, הגף הימני העליון מונח לפניו על המזרן כשהכתף והמרפק כפופים, בעוד הגף השמאלי העליון מונח לאורך הגו (תמונה 4). האדם מנסה להתגלגל באיטיות דרך הגב, לצד שמאל. ניתן להתחיל את הגלגול על ידי טלטול הברכיים הכפופות שמאלה סביב ציר המגע של כפות הרגליים עם המזרן. פעולה זו קלה לביצוע וניתן לבצעו באופן מבודד כמעט בלי להזיז את הגו. אך אם נשנה מעט את תנוחת המוצא ועוד לפני התחלת הגלגול נבקש מהמתרגל להרים את הגף הימני העליון מהמזרן כך שלא יגע בו כלל (תמונה 5) יקשה עליו להרים את הברכיים מהמזרן מבלי להטות את הגו העליון לאחור באופן ניכר.

תמונה 5: הרמת הזרוע והמרפק הימניים מעל המזרן אינה מאפשרת הרמת בירכיים לשם ביצוע פעולת הגלגול היות וקו הכובד של הגוף כולו (החץ) ייפול קדמית לבסיס התמיכה שיכלול את השטח הצר שבין נקודות המגע של הגו וכפות הרגליים בלבד עם המזרן.

תמונה 4: מצב המוצא של שכיבה על הצד. במצב זה בסיס התמיכה הוא רחב יחסית היות ומגע הגפיים הימניים עם הקרקע מרחיב אותו לפניו.



ניתוח התופעה בהתאם למודל התת-מטלתי הוא כדלקמן: הרמת הברכיים מהמשטח התומך מתבצעת הן במפרקי הירכיים והן על ידי סיבוב האגן לכיוון התנועה. לכן, הגפיים התחתונות הנעים מהווים את **האלמנט הנע** כאשר האגן מתפקד כ**אלמנט מקשר** בין **האלמנט הנע** לבין הגו המשמש כ**בסיס התנועה** בו נאחזים קבוצות השרירים הגדולות המניעות את האגן. באופן כללי השרירים העיקריים המניעים את הירכיים יהיו ה-Horizontal Adductors של ירך ימין וה-Horizontal Abductors של ירך שמאל ועל האגן

ייצוב באמצעות תנופה של חלקי גוף משמש גם כאסטרטגית שווי משקל מקדימה המופעלת מראש ואף מותאמת למהירות הביצוע. ניתן להדגים זאת בנקל באמצעות מטלה פשוטה של התכופות לפניו. עימדו מול מושב של כסא ובמרחק של כ-80 ס"מ ממנו ושלבו את אצבעות ידיכם. כעת נסו להתכופף באיטיות לפניו ולגעת בעדינות בקצה המושב (בלי להישען עליו) ומיד לחזור לעמדת המוצא. בצעו את התרגיל ברצף של 5 פעמים ובו-זמנית עקבו אחר תזוזת הלחץ שמפעילה הרצפה על כף הרגל. קל לחוש שבעת הכפיפה האיטית הלחץ של הקרקע נע לפניו לכיוון אצבעות הרגליים כתוצאה מפעילות פושטי הקרסול המייצבים כנגד נפילה לפניו, בדומה לאסטרטגית הקרסול של נשנר²⁴. לעומת זאת, כאשר מנסים לבצע את הפעולה במהירות גבוהה, הלחץ שמפעילה הרצפה על כפות הרגליים כמעט אינו נע לפניו (לעיתים אף ינוע לאחור) כאשר השוקיים והאגן נעים לאחור בדומה לאסטרטגית הירך של נשנר²⁴. הסיבה להבדלים נעוצה כנראה בכך שבעת התנועה האיטית מסוגלים שרירי הסובך לווסת בבטחה את תנועת הגוף לפניו ולכן מאומצת אסטרטגיה זו. לעומת זאת, בעת התנועה המהירה מערכת הבקרה המוטורית מעריכה כנראה שלא תוכל למנוע אובדן שווי משקל לפניו כתוצאה מההסטה המהירה של מרכז הכובד ולכן כפיתרון מקדים מוסט האגן לאחור ליצירת מומנט ותנופה מייצבים.²⁴

הדוגמאות דלעיל באות להמחיש שניתוח קינמטי וקינטי של תנועה אפילו באמצעות התבוננות בלבד עשוי לסייע להבנת אסטרטגית התנועה ולחשיפת תרומת חלקי הגוף השונים להגשמת תת-מטלות של העברת מרכז כובד מעל בסיס התמיכה, ויצירת מומנטים ותנופה מייצבים ומניעים. לניתוח אסטרטגית התנועה חשיבות רבה בתהליך השקום. אי-שימוש או שימוש יתר באסטרטגיה ספציפית עשויים להצביע על ליקויי טווח תנועה, כוח שרירים, שווי משקל וקורדינציה הגורמים לביצוע כושל או להעדפת אסטרטגיה חלופית. לכן, ניתוח האסטרטגיות התת-מטליות מסייע לאתר חולשות והעדפות של מערכת הבקרה המוטורית ולגבש מודל טיפולי. לא בכל פעולה החלוקה לשלבים תהיה ברורה וניתן יהיה להצביע בבידור על תרומת כל איבר או מרכיב תנועתי, להגשמת תת המטלה. כמו כן, אין לכותב מאמר זה כל יומרות לקבוע כי המודל ממצה את עקרונות הבקרה המוטורית, אך ניתוח קליני זה עשוי לסייע לניתוח אסטרטגית התנועה ולאיתור חריגות פתולוגיות. נפרט תחילה את רכיבי התנועה (אלמנטים) אשר ברובם הוגדרו עבור מודל זה.

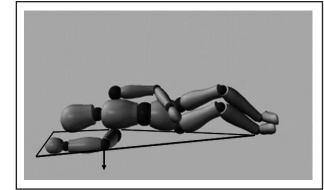
◀ **האלמנט הנע** - חלק הגוף העיקרי הנע בשלב המנותח של המטלה.

◀ **בסיס התנועה** - חלק הגוף המשמש כבסיס אחיזה לשרירים העיקריים המסוגלים להניע את **האלמנט הנע**. **בסיס התנועה** עשוי להיות במצב נייח או בתנועה והפוטנציאל שלו להניע את **האלמנט הנע** אינו מיושם בהכרח בעת **האלמנט הנע** זו. בדרך כלל מהווה **בסיס התנועה** חלק עיקרי מהגוף היות וממנו יוצאים שרירים מרכזיים ותנועתו קטנה יותר מזו של החלק הנע. יש לציין שבסיס התנועה שונה באופן עקרוני מבסיס התמיכה (אשר יוגדר למטה) אך לעיתים מהווה חלק ממנו.

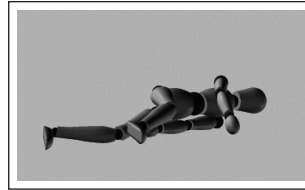
◀ **אלמנט מקשר או מתווך** - חלק הגוף המשמש כתווך בין **בסיס התנועה** ו**האלמנט הנע** ומסייע לשיפור אפקטיביות של פעולת שרירים, מומנטים ותנופה.

◀ **אלמנט מסייע (מניע או בולם)** - חלק הגוף המספק כוח להנעה או לבלימת האלמנט הנע בנוסף לכוחות שמקורן בפעולת השרירים היוצאים **מבסיס התנועה**. לעיתים הוא משמש כגורם המניע העיקרי בעוד שפעולת השרירים המעוגנים ל**בסיס התנועה** אינה ממומשת.

תמונה 6: כאשר הגף הימני העליון מונח על הקרקע, בעת הרמת הברכיים מתגבר הלחץ שהוא מפעיל על המזרן, כמודגם באמצעות החץ, היות והוא מהווה חלק מבסיס התמיכה.



תמונה 7: בשלב הסופי של הסיבוב שמאלה, הגפיים הימניים משמשים כאלמנטים מסייעים המגבירים את המומנט והתנופה. יש לשים לב לכך שסיבוב של האגן שמאלה מסיט את הרגל הימנית לפניו ומגדיל את המומנט שמספק הגף הימני התחתון.



יפעלו ה- External abdominal oblique השמאליים וה- Internal abdominal oblique הימניים המסובבים אותו שמאלה. בעת הרמת הברכיים, כאשר הגף הימני העליון מונח על המזרן ניתן לחוש בנקל שהוא נלחץ למוזרן ומתהדק לשכמה המתהדקת לגו כך שמכלול הגף העליון והגו יחדיו מהווה את בסיס התמיכה (תמונה 6). השרירים העיקריים המסייעים לאחד את כל חלקי **בסיס התמיכה** ועל ידי כך להרחיבו לפנים הם ה- Horizontal abductors של הכתף ובעיקר ה- deltoid המיצב את הגף הימני העליון אל השכמה ומקבץ השכמה המיצב את הרגל המוטורית, ליקוי תחושה הרוע הימנית מהמזרן גורמת לכך שהגף הימני העליון מפסיק לתפקד כחלקו הקדמי של **בסיס התמיכה**, כך שעם הרמת הברכיים קו הכובד של הגוף ייפול קדמית ל**בסיס התמיכה** שנעשה צר יותר בגלל הרמת היד-מצב שווה משקל בלתי אפשרי. לכן, רק לאחר הטיית הגו העליון לאחור, המסיטה את מרכז הכובד של הגוף לתוך **בסיס התמיכה** המוצר, ניתן להרים את הברכיים.

לאחר הרמת הברכיים מהמזרן משתנים תפקידי אברי הגוף השונים כאשר מכלול הראש והגוף האגן והגפיים התחתונים מסתובב שמאלה ומתפקד כ**אלמנט הנע**, הגף העליון הימני (כף היד האמה והזרוע) מהווה **בסיס התנועה** והשכמה הימנית **אלמנט מקשר**. תפקוד זה מתבטא בלחץ המוגבר שמפעיל הגף העליון הימני על המזרן בעת שהשרירים הנאחזים בו מסובבים את הגוף כולו שמאלה. כך יתכן שהגפיים התחתונים הצוברים מהירות, בעת הטלטול שמאלה, יספיקו תנופה למשיכת האגן בעקבותיהם וישמשו כ**אלמנט מסייע**. בשלב מתקדם יותר של התנועה כאשר הברכיים נמצאות כבר מעבר למצב המאוונך וכוח הכבידה פועל לשמוט אותן שמאלה, יילחצו כפות הרגליים ובעיקר הימנית אל המזרן והאגן בצד ימין יורם מעט ויקובע לגפיים התחתונים ויחדיו ישמשו **בסיס תנועה** אפקטיבי, להנעת הגו באמצעות שרירי הבטן האלכסוניים: ה- External oblique הימני וה- Internal oblique השמאלי. כפי שצוין, גמישות המודל מאפשרת גם להתייחס לגפיים בלבד **כבסיס תנועה** ולאגן **כאלמנט מקשר** בהתאם לרמת התנועתיות של כל איבר.

בעת סיבוב הגו שמאלה ניתן גם להסתייע בהנעת הראש ופשיתת גפיים שמאלה לשם ניצולם כ**אלמנטים מסייעים** המספקים מומנט ותנופה (תמונה 7). כל שינוי במהירות התנועה והתנופה הנלווית, עשוי לשנות את תפקודי חלקי הגוף השונים ותרומתם לפעולה, כפי שהודגם גם במטלות אחרות.⁷ לכן, רוטציית האגן עשויה להיות חיונית להטיית הברכיים בתנועה איטית היות והיא מגבירה את המומנט שיוצרים הגפיים התחתונים אך בתנועה מהירה כאשר הגפיים התחתונים מספקים גם תנופה, היא עשויה להיות משנית. השונות הנורמאלית של אסטרטגיות הביצוע נתמכת גם על מחקר המדגים שרוטציית האגן אינה מהווה בהכרח מרכיב של תנועת

הגלגול הנורמאלית^{11,12} כפי שחשבו בעבר.⁸ לקראת סיום פעולת הגלגול, יכולים להיכנס לפעולה **אלמנטים מסייעים** מבקרים או בולמים: כפיפת הירך השמאלית למשל תאפשר ל- Horizontal abductors לבלום את סבוב האגן שמאלה סביב הירך ובאמצעות שרירי הבטן ייוצב גם הגו אל האגן.

הדגמת יישום המודל על תפקוד מטופל עם המיפרסיס לאחר אירוע מוחי

ניתוח ביצוע פעולת הגלגול על ידי מטופל עם המיפרסיס של צד ימין כתוצאה מאירוע מוחי ימחיש את השימוש הקליני במודל המתואר.

כפי שתואר לגבי הבריא, ממצב מוצא של שכיבה על צד ימין כשברכיו כפופות המטופל מנסה להתגלגל שמאלה למצב של שכיבה על צד שמאל. הגף העליון הימני שאצל הבריא משמש כחלקו הקדמי של **בסיס התמיכה** אינו מעוגן אל הגו באופן יציב דיו על מנת לשמש **בסיס תמיכה** אפקטיבי, כך שלמעשה המטופל מתפקד כאדם בריא אשר מרפקו הורם מהמזרן (תמונה 5) ועליו לסובב את הגו העליון לאחור באופן מוגזם על מנת להסיט את קו הכובד לאחור כך שלא ייפול קדמית ל**בסיס התמיכה** ויאפשר שמירה על שווי המשקל. רק במצב זה יוכל הגו לשמש **בסיס תנועה** יציב לשרירים המסובבים את האגן והרגליים שמאלה. יש לשים לב לכך שאפילו הרמת הברכיים מהמזרן והטייתם היא מטלה מורכבת עבור המטופל, היות וכף הרגל הפארטית נוטה להחליק על המזרן לכוונים שונים בגלל ליקויי שליטה מוטורית, ליקוי תחושה וחוסר יכולת להתאים את הפעילות השרירית למשוב התחושתני.²⁶ לכן, אין זה מפליא שכבר בשלב זה של הפעולה נתקלים המטופלים בקשיי ביצוע רבים אשר לעיתים אף מאלצים אותם לשנות את אסטרטגיית התנועה. גם בחלק השני של התנועה כאשר האגן והגפיים התחתונים מוטים שמאלה ומשמשים **בסיס תנועה**: מעגן לשרירי הבטן המסובבים את הגו בעקבותיהם, מתקשים מטופלים רבים לייצב את הרגל הפארטית במידה מספקת. לכן לעיתים הם יפעילו אסטרטגיה חלופית המתבססת על השימוש רק בצד השמאלי הפחות גיבוע **בסיס תנועה**. אסטרטגיה זו ממומשת באמצעות נעיצת עקב הרגל השמאלית במזרון וקיבועה לאגן באמצעות פעילות שרירית מוגברת בעוד שרגל ימין הפרטית נעה לפנים עם ברך ישרה מקובעת. דגם תנועה זה מאפשר למכלול הגף התחתון השמאלי והאגן לשמש **בסיס תנועה**, אחז לשרירי הבטן המסובבים את הגו שמאלה בעוד שהרגל הימנית הפשוטה משמשת כ**אלמנט המסייע** לסיבוב באמצעות מומנט ותנופה. הנעת הגף הימני התחתון כחטיבה אחת סביב ציר הירך גם מקטינה את מספר דרגות החופש של הגף ובכך גם מקלה כנראה על פתרון הבעיה הקורדינטיבית.²⁷ לקראת סוף המטלה, כדי למוע תנועת יתר של הגו והאגן שמאלה, יסייעו שרירי ה- Horizontal Abd של הירך השמאלית הכפופה לבלום את סבוב האגן בעוד ששרירי הבטן האלכסוניים, הנאחזים באגן, ייצבו אליו את הגו.

המודל המתואר הוא ראשוני אך הוא מאפשר יישום עקרונות ביומכניים לשם ניתוח אסטרטגיות תת-מטליות בתנאים קליניים. יתכן ומטופל לאחר אירוע מוחי יבצע את המטלה באמצעות אסטרטגיות פיצוי תת-מטליות שונות מאלו של אדם בריא או אפילו באמצעות תנועות סטריאוטיפיות פתולוגיות אשר אינן מתגמשות בהתאם למטלה והסביבה. לכן, בעת הערכה ושיקום של מטופל עם פגיעה נירולוגית כאשר יש צורך לנתח ולנתב את אסטרטגיית הביצוע, אין להסתפק בהתייחסות למטלה העיקרית בלבד אלא יש לבחון את יכולתו להתאים אסטרטגיות תת-מטליות למצבים משתנים, בדומה לתפקוד הנורמאלי.

מקורות

1. Wisleder D., Dounskaia N. The role of different sub movement types during pointing to a target. *Exp Brain Res.* 2007; 176:132–149.
2. Alexandrov A.V., Frolov A.A., Massion J. Biomechanical analysis in movement strategies in human forward trunk bending. I modeling. *Biol. Cybern.* 201; 84:425-434.
3. Alexandrov A.V., Frolov A.A., Massion J. Biomechanical analysis in movement strategies in human forward trunk bending. II Experimental study. *Biol. Cybern.* 201; 84:435-443.
4. Papa E., Cappozzo A. A telescopic inverted-pendulum model of the musculo-skeletal system and its use for the analysis of the sit-to-stand motor task. *J Biomech.* 1999; 32:1205-12.
5. Gait Analysis, normal and pathological function. Jacquelyn Perry, New Jersey, USA: Slack Inc; 1992.
6. Mazza C., Stanhope S.J. Biomechanic modeling of sit-to-stand to upright posture for mobility assessment of persons with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006; 87:635-4.
7. Goulart F.R., Valls-Sole J. Patterned electromyographic activity in the sit-to-stand movement. *Clin Neurophysiol.* 1999; 110:1634-40.
8. Schenkman M., Berge R.A., Riley P.O., Man R.W., Hodge W.A. Whole-body movement during rising to standing from sitting. *Physical Therapy.* 1990; 70:638-648.
9. Shepherd R.B., Gentile A.M. Sit-to-stand: Functional relationships between upper body and lower limb segments. *Human Movement Science.* 1994; 13:817-840.
10. Guarrea-Bowlby P.L., Gentile A.M. Form and variability during sit-to-stand transition: children versus adults. *Journal of motor behavior.* 2004; 36:104-114.
11. Richter R.R., VanSant A.F. Description of adult rolling movements and hypothesis of developmental sequences. *Phys Ther.* 1989; 69:63-71.
12. Van Sant A.F. Life-span development in functional tasks. *Physical Therapy.* 1990; 70:788-798.
13. Bobath B. Adult Hemiplegia: Evaluation and Treatment. 3rd ed. London, England: Butterworth-Heinemann; 1991.
14. Davies P.M. Steps to Follow. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 1985.
15. Bohannon R.W., Lusardi M.M. Getting up from the floor. Determinants and techniques among healthy older adults. *Physiotherapy Theory and Practice.* 2004; 20:233-241.
16. Van Sant A.F. Rising from a supine position to erect stance: Description of adult movement and a developmental hypothesis. *Physical Therapy.* 1988a; 68:187-192.
17. Horak F.B., Nashner L.M. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol.* 1986; 55:1369-81.
18. Nashner L.M., Shumway-Cook A., Martin O. Stance posture control in selected groups of children with cerebral palsy: Deficit in sensory organization and muscular coordination. *Experimental Brain Res.* 1983; 49:393-409.
19. Unrau K., Hanrahan S.M., Pitetti K.H. An exploratory study of righting reactions from a supine to standing position in adults with Down syndrome. *Physical Therapy.* 1994; 74:1116-1124.
20. Kafri M., Dickstein R. Activation of selected frontal trunk and extremities muscles during rolling from supine to side lying in healthy subjects and in post-stroke hemiparetic patients. *Neuro Rehabilitation.* 2005; 20:125–131.
21. Hesse S., Schauer M., Petersen M., Jahnke M. Sit-to-stand manoeuvre in hemiparetic patients before and after 4-week rehabilitation programme. *Scand J Rehab Med.* 1998; 30:81–86.
22. Kozol Z., Ling W., Deutsch J., Nelson A. Fast walking of Individuals with Hemi paresis: Variations of Joint's Kinematics Symmetry. *Journal of the Israeli Physical Therapy Society.* 2006; 8:5-11.
23. Winter D.A., Eng P. Kinetics: Our window into the goals and strategies of the central nervous system. *Behavioural Brain Research.* 1995; 67:111-120.
24. Nashner L.M. Fixed patterns of rapid postural responses among leg muscles during stance. *Exp Brain Res.* 1977; 30:13-24.
25. Oatis C.A. (Ed). Kinesiology. The mechanics and pathomechanics of human movement. Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins; 2004.
26. Kozol Z., Feler M., Ring H. Bridging performance of adults with hemiparesis: Sliding of the paretic limb. *Journal of Geriatric Physical Therapy.* 2010; 33:26-33.
27. Vereijken B., Van Emmerik R., Whiting H.T.A., Newell K.M. Free(z)ing degrees of freedom in skill acquisition. *J of Motor Behavior.* 1992; 24:133-142.