

לכת ללא צליעה - יישומם של ממצאי מעבדת ההליכה להתאמת מכשירי הליכה לשם מיטוב תבנית ההליכה

סאם ח'מיס PhD¹, רוני זולברג BPT², גלי מאיו BPT², אנה סז'ין MD³, אילנית אברון MSCPT^{3,2}

¹ מעבדת ההליכה והתנועה, המרכז הרפואי תל אביב

² המחלקה לפיזיותרפיה, המרכז הרפואי תל אביב

³ מערך השיקום, המרכז הרפואי תל אביב

תקציר

רקע

פציעות מורכבות, אורתופדיות ונירולוגיות, הן שכיחות במצב לחימה. השיקום כולל פיזיותרפיה לשחזור התנועה והכוח, והשבת המטופל לתפקוד מלא. במהלך השיקום, קיים הצורך בהערכה ביומכנית תפקודית כדי לתכנן את הטיפול, ובמיוחד כדי לתכנן אביזרים אורתופדיים, כגון סדים, נעליים ומדרסים, ולהתאימם לשיפור איכות ההליכה. מקובל להעריך את תבנית ההליכה הערכה קלינית בלבד במסגרת מחלקות השיקום בבתי החולים, ולא במעבדות הליכה מתקדמות, בשל היעדר זמינותן.

מטרה

תיאורי המקרה נועדו לבדוק את תרומתה של מעבדה מתקדמת בטיפול ובקביעת האביזר האופטימלי, במיוחד במקרים שבהם אבחון תבנית ההליכה במלואה יהיה קשה בתנאים הקיימים במחלקת השיקום בבית החולים. התוצאות של בדיקות מעבדת ההליכה עשויות לסייע באבחון מדויק יותר של תבנית ההליכה ובהתאמת האביזרים האופטימליים לשיפורה.

שיטה

יוצגו שני מקרים של מטופלים שעברו פגיעת ירי מורכבת וטופלו במסגרת שיקומית לשיפור טווחי התנועה, כוח השרירים והניידות. במהלך השיקום זוהה הצורך בהתאמת מכשירי הליכה לשיפור תבנית ההליכה. נעשתה הערכה במעבדת הליכה באמצעות מערכת לניתוח תנועה בתלת-ממד (Vicon®, Oxford Metrics, UK) ופלטות כוח (AMTI). נמדדו הנתונים הקינמטיים והקינטיים של ההליכה בשלושה מישורים. המטופלים נבדקו בשני מצבים: יחפים, ולאחר התאמת המכשירים, על פי תוצאות ניתוח ההליכה.

נבדקים

המקרה הראשון - פציעת ירי באגן משמאל בגובה חוליה L5,

רסיסים בתעלת חוט השדרה ושבר של חוליה S1. תבנית הליכה של המטופל ביטאה צניחה של כף הרגל (drop foot) בשלב של ניתוק הרגל מן הקרקע (swing) ופיצויים שהתרחשו עקב כך. כמו כן, אובחנה חולשה שרירית בשלב ה-stance, שהתבטאה בחוסר שליטה שרירית סביב הברך ובנעילה לאורך שלב ה-stance.

המקרה השני - פציעת ירי המלווה בפגיעה אורתופדית ובפגיעה ברקמות הרכות בגפיים התחתונות. הביטוי העיקרי של הפגיעה היה הגבלה בטווחי התנועה וחולשת שרירים סביב הקרסול משני צדדיו.

תוצאות

במקרה הראשון - השימוש בסדים, שאפשרו תמיכה בתנועת הדורספלקסיה (dorsiflexion) בשלב ה-swing, ללא תמיכה קדמית, לא תיקנו את תבנית ההליכה בשלב ה-stance. סד מסוג Blue Rocker בעל תמיכה קדמית, אפשר תמיכה של הרגל בעת ההנפה בשלב ה-swing, והפחית את הצורך בפיצוי על ה-clearance insufficiency, וגם מנע את הנעילה של הברך בשלב ה-stance.

במקרה השני - תוצאות המעבדה קבעו שהמטופל סובל מהגבלה מפרקית של הקרסול ומחולשה חלקית של השרירים. לפיכך, התיקון הנדרש של תבנית ההליכה, שהתבטא בשיפור מדדי מרחק-זמן ונרמול של היישור של הברך והירך בשלב ה-terminal stance הושג באמצעות התאמת הגבהות, ללא צורך בהתאמת סדים.

מסקנות

ניתוח ההליכה מסייע לדייק את התאמת המכשיר להליכה ומאפשר איכות הליכה מיטבית. השימוש במעבדה וניתוח התוצאות הקינמטיות והקינטייות אפשר לקבוע את מקור סטיית ההליכה ואת האביזר היעיל ביותר לשיפור תבנית ההליכה.

מילות מפתח: מעבדת הליכה, שיקום, סדים, התאמת מכשירי הליכה, ניתוח הליכה, פצועי מלחמה

רקע

פציעת ירי נגרמת עקב חדירת קליע לגוף או פגיעתו במעטפת החיצונית של הגוף. חומרת הפציעה תלויה במיקומה ובעוצמתה. פציעת ירי דורשת טיפול מידי ודחוף הכולל עצירת דימום, ייצוב המצב הרפואי, ניתוח להוצאת הקליע והרסיסים אם ניתן, ותהליך שיקומי ארוך.

שיקום מפציעת ירי הוא תהליך מורכב שיש לו כמה היבטים. לאחר הטיפול הראשוני הדחוף שבו עוצרים את הדימום, מונעים תהליך זיהומי ונותנים מענה לכאב, שוקלים טיפול כירורגי להסרת הקליעים והרסיסים. בניתוח, מתקנים ומשחזרים רקמות פגועות, כגון שרירים, עצמות ועצבים, לפי הצורך. בשלב שלאחר מכן, מתחיל השיקום הפיזי, הכולל פיזיותרפיה לשחזור התנועה והכוח. הפציעה תשפיע על התפקוד, וזהו ההיבט העיקרי בשיקום. השיקום מלווה בתמיכה נפשית שכן הנזק אינו בהכרח פיזי בלבד אלא עשוי לגרום לפגיעות נפשיות, כגון דיכאון, חרדה ותופעות פוסט-טראומטיות. השיקום עשוי להיות ממושך ומאתגר, ומצריך תמיכה רבה הן מצד הצוות המטפל והן מצד משפחתו וסביבתו של המטופל.

באשר לפגיעה העצבית, מוענק שיקום לחיזוק שרירי ספציפי לקבוצת השרירים שנפגעה, וכן שיקום פונקציונלי המערב קבוצות גדולות של שרירים. השיקום כולל גם אימון הליכה תוך כדי הפחתת משקל הגוף.

פגיעה אורתופדית הכרוכה בפגיעה קשה ברקמות הרכות תגרום להגבלה בטווחים הפסיביים של תנועת המפרקים. הטיפול בפגיעה זו מתמקד בשיפור טווחי התנועה, עם וללא נשיאת משקל, בהתאם לשלב השיקומי. לצורך שיפור טווח התנועה, לרוב ישלב הטיפול טכניקות שעלולות לגרום לכאב. במקביל, ולאחר השגת טווחי התנועה, חשוב להתחיל בתוכנית עבודה שמטרתה חיזוק שרירים מקומי מסביב למפרק הפגוע, כמו גם חיזוק שרירים מרוחקים החשובים לתפקוד הגפה כולה. החזרה לתפקוד מלא היא ללא ספק המטרה החשובה ביותר. לרוב מטרת המטופלים היא לחזור לתפקוד מלא ולתקן את תבנית ההליכה כך שתהיה ללא סימני צליעה כלל.

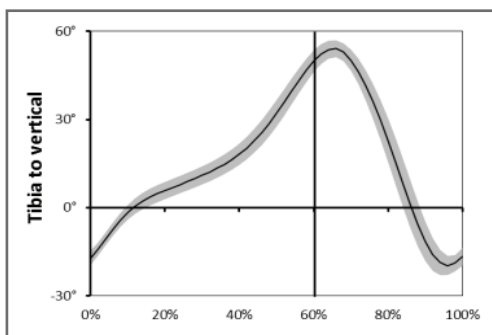
כדי להשיג הליכה תקינה, יש צורך בהבנה מעמיקה של הביומכניקה של ההליכה ובהתאמת מכשור או אביזרי הליכה. לפיכך, השילוב של מעבדת ההליכה בתהליך השיקום חשוב. המעבדה יכולה לתרום להבנת ביטויי החולשה השרירית לאורך מחזור ההליכה, לניטור ההגבלה הפסיבית של טווחי התנועה, ולקביעת הגורם המשפיע ביותר על סטיית ההליכה: הטווח או החולשה. על פי הממצאים, ניתן לדייק בטיפול המוצע במסגרת השיקום, וכמובן גם להתאים מכשור ואביזרים במידת הצורך.

ההצגה של שני תיאורי המקרה שלפנינו נועדה להמחיש את החשיבות הטמונה בשילוב של ניתוח תבנית ההליכה בתהליך השיקומי כדי להתאים למטופל את מכשירי ההליכה הדרושים להשגת תבנית הליכה מיטבית.

רוקרים (גנדדות) של כף הרגל והקרסול

הגנדדות מהוות מגננונים להנעת עצם השוק והגוף על פני כף הרגל, בשלב הדריכה. בעת המגע הראשון של העקב בקרקע השוק יוצרת זווית של כ-20 מעלות מאחורי הניצב, ביחס לנקודת המגע בקרקע ובהטיה לפנים באופן רציף עם שונות קלה עד לכ-50 מעלות בזמן ניתוק כף הרגל מן הקרקע. תרשים 1 מתאר את מבנה התנועה.

תרשים 1: הטיית השוק (tibia) לאורך מחזור ההליכה: ציר ה-X מייצג את האחוז מתוך מחזור ההליכה, ציר ה-Y מייצג את זווית הטיית השוקה ביחס לניצב מהקרקע



תיאור מקרה

הסגיטלי של מפרק הקרסול: דורסיפלקסיה (dorsiflexion) ופלנטרפלקסיה (plantarflexion). כל סד ימנע פלנטרפלקסיה בשלב ה-swing וכך ימנע צניחה של כף הרגל (drop foot), או פלנטרפלקסיה עקב ספסטיות, ויאפשר ניתוק (clearance) של כף הרגל בזמן ההליכה.

לסד ישנה תכונה נוספת שתורמת ליעילות הביומכנית. אם הסד בעל ציר פתוח המאפשר תנועתיות בין החלק התחתון של כף הרגל ובין השוק, מתאפשרת תנועת הרוקר השני ותנועתיות מפרק הקרסול. סד זה מתאים למצב שבו נרצה לשמר תנועת דורסיפלקסיה חופשית בשלב הדריכה. סד בעל ציר פתוח ימנע פלנטרפלקסיה בשלב ה-swing וגם יאפשר דורסיפלקסיה משלב ה-loading response ועד סוף שלב הדריכה (terminal stance) על ידי הטיית השוק לפנים על כף הרגל.

אם קיימת חולשה שרירית של המומנט המיישר (חולשה של מיישרי הקרסול ברך והירך), אפשר להשתמש בסד בעל נעילה בדרגות התנגדות שונות. אם קיימת נעילה מלאה של הסד, הוא ימנע את התנועה לפנים של השוק על כף הרגל, ימנע דורסיפלקסיה (יבטל את הרוקר השני) ובכך יתרום לשיפור השליטה על הברך והירך במנח של יישור הברך.

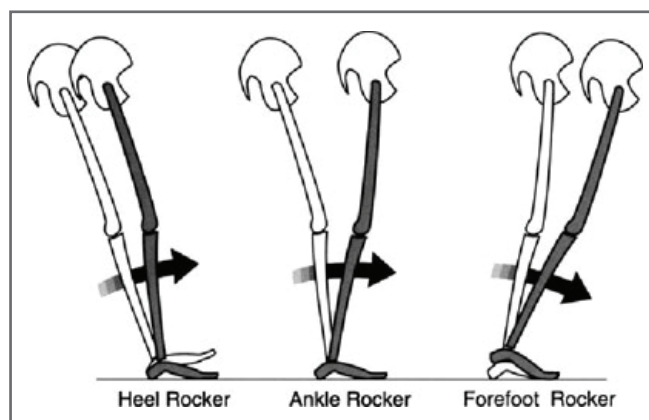
כשהסד נעול, אך מאפשר מידת-מה של אלסטיות, הוא מעניק הן תמיכה של השוק והן תנועתיות חלקית של הרוקר השני. בכך מונע נעילה של הברך ומאפשר תנועת דורסיפלקסיה מבוקרת ושליטה על כפיפת הברך ללא קריסה מלאה גם כאשר הגפה התחתונה חלשה.

חשוב לציין שיעילותו של הסד במניעת הנעילה או הכיפוף המוגבר בברך והשליטה על השוק תלויה בגובה העקב בנעל. כשקיים drop גבוה, כלומר סוליית הנעל שמתחת לעקב גבוהה יחסית לגובה הסוליה שמתחת לראשי עצמות המסרק, סד שנעול ל-90 מעלות יגרום להטיית ה-shank לפנים ולכפיפת הברך.⁵ אם הנעל היא עם צניחה (drop), סד שנעול ב-90 מעלות ישאיר את ה-shank מאונך לרצפה.

לפיכך, כשמתאימים סד, צריך להתייחס ליכולת השליטה על הברך בנשיאת המשקל בשלב ה-stance וכן למידת ה-drop של הנעל.

אחת החוקרות² תיארה זאת במונחים של שלושה רוקרים תורמים תרומה חשובה להתקדמות השוק לפנים. בשלב הראשוני כף הרגל נעה כולה סביב נקודת המגע של העקב בקרקע ונמשכת עד שכף הרגל ניצבת שטוחה בכ-8% ממחזור ההליכה. בהמשך, השוק נעה מעל כף הרגל סביב הקרסול בתנועת הדורסיפלקסיה. זה השלב שבו גדלה זווית הדורסיפלקסיה. הרוקר שבקדמת כף הרגל מתחיל בהרמת עקב ונע מסביב ל-Metatarsalphalangeal joint שלדעת החוקרת מתרחשת באמצע שלב הדריכה (mid-stance) (בכ-30% ממחזור ההליכה), ונמשך עד סיום שלב הדריכה.² לפיכך, כ-30%-45 ממחזור ההליכה יוצרים תנועה רציפה של השוק לפנים. (תרשים 2).

תרשים 2: נדנדות (רוקרים) כף הרגל והקרסול (Perry)²



הגבלה בתפקודם של הרוקרים גורמת לפגיעה בתבנית ההליכה וביעילותה. הפגיעה ברוקר השני היא הנפוצה ביותר בעקבות טראומה למפרק הקרסול, והיא גורמת להגבלת תנועה, בייחוד בטווח הדורסיפלקסיה. אם קיימת הגבלה קבועה או זמנית בטווח התנועה, ניתן להוסיף הגבהה מתחת לעקב כפיצוי על ההגבלה בטווח וכדי להטות את עצם השוק לפנים וכך מתאפשרת תנועה תקינה של הגפה התחתונה גם ללא טווח תנועה מלא בדורסיפלקסיה.³

העקרונות הביומכניים של סד מסוג AFO

סד מסוג AFO נועד לספק תמיכה למפרק הקרסול. הסד עשוי מחומרים שונים, כגון חומרים פלסטיים או סיבי פחם בדרגות נוקשות שונות. התנועה שהסד מבקר היא תנועה במישור

תיאור המקרה הראשון

רקע

ר', בן 37, לוחם, בריא בדרך כלל. ב-7 באוקטובר 2023 אושפז ר' בבית החולים סורוקה לאחר פציעת ירי באגן שמאל. אל בית החולים הגיע בהכרה מלאה. ממצאי הבדיקה במיון הראו שבר מרוסק של עצם האיליום משמאל, המטומה נרחבת עם חשד לדמם ממקור וריד איליאקי משמאל, רסיסים רבים בתעלת השדרה בגובה חוליות L5-S1, בסאקרום ובאגן דו-צדדי, מרביתם משמאל. כעבור יומיים הועבר למרכז הרפואי תל אביב להמשך טיפול.

ממצאי ההדמיה בבית החולים הדגימו קליע ברקמות הרכות של הגב העליון מימין, חיצונית לצלעות. כמו כן, נמצא קליע ב-L5, רסיסים מרובים בתעלת השדרה בחלקה הסאקרלי וכן בתעלה הלומברית בגובה חוליות L4-L5. קליע ורסיסים רבים נמצאו גם באזור האיליופסואס משמאל עם המטומה גדולה סביב. נמצא גם נוזל דמי ברטרופריטונאום בכמות קטנה, ונוזל דמי מועט באגן. נוסף על כך, אובחן שבר של S1.

ב-10 באוקטובר 2023, בהתערבות כירורגית, בוצע ניתוח שטיפה והוצאת קליע בגובה L5. כעבור כשבוע הועבר למחלקת שיקום בבית החולים השיקומי לפצועי מלחמה שבמרכז הרפואי תל-אביב.

הערכה ראשונית בקבלה

ר' מתנייד אל אולם הטיפולים בכוחות עצמו בעזרת כיסא גלגלים. הוא עדיין חבוש באזור הניתוח ומחובר לו קטטר שתן. הוא מתלונן על כאב עצבי לאורך הגפה התחתונה השמאלית, מהאגן ועד לאצבעות כף הרגל; מתאר חולשה לאורך רגל שמאל ומדווח על איבוד שליטה בסוגרים.

בבדיקה נמצא כוח תקין של שרירי הגפה העליונה משני הצדדים, של הגו והגפה התחתונה הימנית. בטבלה 1 מוצגות תוצאות בדיקת הגפה התחתונה השמאלית, לפי מבחן Manual Muscle Testing (MMT) המקובל:

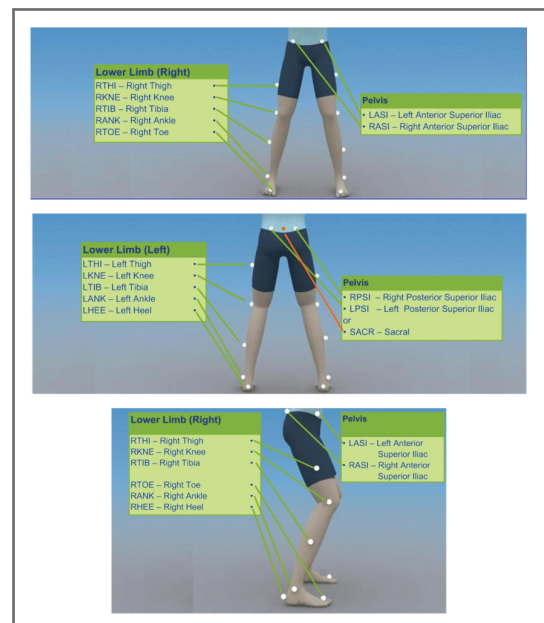
מעבדת ההליכה

המטופלים נבדקו במעבדת ההליכה באמצעות מערכת לניתוח תנועה בתלת-ממד (Vicon®, Oxford Metrics, UK) על פי מודל PlugInGait model (PGM) עם תדירות דגימה של 120 הרץ. 13 סמנים פאסיביים הודבקו על העור של האגן והגפיים התחתונות של הנבדק על פי פרוטוקול PGM.

נתוני הקינמטיקה של ההליכה כללו את שלושת מישורי ההטיה של האגן: הטיה קדמית/אחורית, הרמה/צניחה, וסיבוב אחורי/קדמי. בירך: כיפוף -יישור, הרחקה-קירוב, סיבוב חיצוני ופנימי. בברך: כיפוף-יישור, רוטציה פנימית וחיצונית. בקרסול: דורסי ופלנטרפלקסיה ורוטציה פנימית-חיצונית של כף הרגל ביחס לנורמה של המעבדה.

שלבי ה-initial contact וה-foot off של כוח התגובה הקרקעי (ground reaction force) של ה-loading response הוגדר כשיעור של 0%-10% ממשך מחזור ההליכה, השלב אמצעי - mid-stance - הוגדר כ-10%-30% ממשך מחזור ההליכה, והשלב הסופי - terminal-stance הוגדר כ-30%-50% ממשך המחזור [1].

תרשים 3: מיקום החיישנים על פי המודל של Plug In Gait (Vicon)



טבלה 1: תוצאות בדיקת כוח השרירים של הגפה התחתונה מצד שמאל, לפי MMT

Gastroc/soleus	Tibialis Anterior	Hamstrings	Gluteus Maximus	Gluteus Medius	Quadriceps	Iliopsoas
0/5	0/5	2/5	0/5	1/5	4/5	2/5

בהמשך הטיפולים, החל ר' לתרגל הליכה בעזרת קביים. תוכנית הטיפול כללה גם תרגול במנחים שונים לעידוד נשיאת המשקל על הגפה השמאלית התחתונה, כגון עמידה יחפה, עמידת ברכיים, ברך-רגל ועמידת שש. בכל מנח שבו הייתה נשיאת משקל על רגל שמאל נזקק ר' לתמיכה רבה של אביזר או של מטפל למניעת נפילה. במקביל, הוא החל גם בתרגול ייעודי של שיווי משקל, וניתנו גירויים תחושתיים לכף הרגל כדי להגביר את נשיאת המשקל ולעודד גיוס השרירי.

כעבור שלושה חודשים התמקדו הטיפולים בחיזוק פרוקסימאלי: עמידת ברכיים, עמידת ברך-רגל ועמידת שש בשילוב אמצעים שונים כמו גומיות התנגדות לעידוד גיוס שרירי האגן השמאלי. התרגול התבצע גם במנחים שונים בעמידה לשם עידוד נשיאת משקל. לדוגמה, עמידה כך שהרגל השמאלית על הרצפה והרגל הימנית מונחת על משטחים שונים בגבהים משתנים. בשלב הזה ר' הזדקק עדיין לאמצעי-עזר שיסייע לו בייצוב. נוסף על כך, הוא החל תרגול הליכה מתקדם עם AFO מסוג Walk-on בשילוב פרטוברציות כמו במערכת balance tutor, שבה המסוע נעצר על פי תוכנית, בכיוון ובמהירות מסוימים, והמטופל נדרש לשמור על שיווי משקל בהתאם; שלב זה דרש לעתים תמיכה למניעת נפילה.

ר' צלע עדיין מה שגרם לו תסכול רב. לכן היה צורך לברר מהו מקור הצליעה ולהתאים לו את הסד האופטימלי. נעשה ניסיון להתאים לו מכשירים שונים, אך לא היה ברור מהו הסד המתאים ביותר לתיקון סטיות ההליכה. הוא הופנה למעבדת ההליכה, ונבדק בארבעה מצבים: בהליכה יחפה ועם שלושה סוגי סדים שונים.

הסדים שנבדקו:

Allard© Blue Rocker - (תרשים 4) זהו סד עשוי סיבי פחם, המדורג כקשיח ביותר בסדרת הסדים של החברה והוא מיוצר כמוצר מדף. הסד הוא אנכי לקרקע בכ-0 מעלות

התחושה העמוקה לאורך הגפה התחתונה השמאלית תקינה. התחושה השטחית לאורך הגפה מדגימה אנסטזיה דיסטלית בחלק הלטרלי והדורסלי של כף הרגל והטונוס פלסידי בכל שרירי הגפה.

בבדיקת התפקוד, ר' מבצע מעברים בכוחות עצמו מכיסא הגלגלים וחזרה, באמצעות נשיאת משקל על רגלו הימנית. בתפקודי מיטה, כגון תזוזה וגלגול, לא נצפה קושי, והוא עושה זאת בכוחות עצמו בעזרת ידיו. באשר לניידות, ר' עצמאי בכסא גלגלים בבית ומחוצה לו. בבדיקת הליכה ראשונית, ר' הלך בתמיכת מטפל והליכון-אמות בעל ארבעה גלגלים למרחקי חדר בלבד. תבנית ההליכה שלו לקויה ומבטאת שלב stance קצר מאוד על רגל שמאל, נעילת ברך וטרנדלנבורג ניכר לשמאל. בשלב ה-swing, נצפתה צניחה מלאה של כף הרגל וכן כיפוף ירך וברך מופחתים.

טיפול פיזיותרפיה

לטיפול הראשון הגיע ר' לאחר הסרת החבישה מהאגן. מרבית הטיפול התמקד בתנועתיות עדינה פסיבית ואקטיבית נעזרת של רגל שמאל במנחים שונים בשכיבה. הוא הפגין קושי רב בכל תנועה של הרגל בשל חולשה וכאב באגן, שהקרין עד לבוהן הגדולה.

בהמשך, החל ר' בתרגול עמידה בין מקבילים לשם עידוד נשיאת משקל על רגל שמאל. הוא הזדקק לתמיכה רבה של המקבילים בשל חולשה וכאב. בתרגול המעשי הראשון של ההליכה בעזרת הליכון מסוג טקסי, הוא צלח הליכה טיפולית אך בתבנית לקויה. לאחר מכן, התמקד הטיפול בתרגול תנועתיות רגל שמאל תוך כדי נטרול כוח הכובד באמצעות סלינגים. נוסף על כך, לאחר הערכה, הוחלט על התאמה מוקדמת של סד ראשוני AFO מסוג Walk-on לשיפור ניתוק והרחקת כף הרגל מהרצפה בהליכה.

נוסף על כך, ישנה שונות בהליכה עם דיקטוס בין משטחים ישרים וחלקים, כגון רצפה, ובין תוואי שטח משתנים, כגון מדרכה, שיפועים ועוד.

תוצאות ההערכה של מעבדת ההליכה

ניתוח תוצאות הבדיקה של תבנית ההליכה במצב יחף - גרף 1
 בקרסול שמאל ניתן לראות פלנטרפלקסיה מוגברת לאורך כל שלב ה-swing, הנובעת מחולשה של הדורסיפלקסורים. זה מתבטא בצניחה של כף הרגל לאורך ה-swing שגורמת לפגיעה במנגנון הרוקר הראשון ולנחיתה בפלנטרפלקסיה בעת המגע הראשוני עם הקרקע (ה-Initial contact). יחד עם זאת, בעת נשיאת משקל ניתן לראות תנועת דורסיפלקסיה בטווח של עד כ-20 מעלות בשלב ה-terminal stance, התואמת את הנורמה.

צניחת כף הרגל של צד שמאל גורמת ל-clearance- insufficiency בשלב ה-swing המפוצה על ידי כיפוף-יתר של הירך בשלב ה-swing ו-hike של האגן בצד שמאל; הטיה קדמית מוגברת של האגן משלב ה-pre-swing ועד שלב ה-mid-swing, וכן circumduction.

כמו כן, באותה הגפה השמאלית קיימת חולשה משמעותית אקסצנטרית של gastrocnemius בשלב ה-terminal stance עם ירידה משמעותית בכוח, והיעדר הפקת כוח קונצנטרי ב-push off במחזור ההליכה, התואמות את בדיקת כוח השרירים שמצביעה על כוח gastrocnemius/ soleus 0/5 משמאל.

דורסיפלקסיה. הוא בעל תמיכה קדמית ומיועד לסובלים מפגיעות נוירולוגיות מרכזיות או פריפריות. בשל קשיחותו הוא מאפשר לא רק פתירה של צניחת הרגל במחזור ההליכה בשלב ה-swing אלא גם יציבות מסוימת בשלב ה-stance. כמו ה-GRAFO (Ground Reaction Ankle Foot Orthosis) הסד מאפשר פיצוי על החולשה השרירית.

Ottobock© Walk-on (תרשים 5) זהו סד אחורי המאפשר זווית של כ-5 מעלות דורסיפלקסיה והוא מיוצר כמוצר מדף. הסד עשוי סיבי פחם ומאפשר מעט יותר גמישות בתנועה לעומת ה-BlueRocker. לפיכך הוא אינו משפיע על שלב ה-stance אך כן מאפשר תמיכה בשלב ה-swing. יתרונות הסד שהוא קל משקל ושהכוח שהוא מפעיל קבוע; חסרונו בכך שהוא מספק תמיכה מוגבלת בשלב ה-stance - לעומת סד בעל קשיחות גבוהה.

דיקטוס (ORLIMAN) Boxia (תרשים 6) מערכת גומיות שנקשרת סביב השוק ועד קדמת הנעל. ניתן לשלוט במתח של הרצועה ובכך לשלוט בעוצמה של תנועת הדורסיפלקסיה בעת ההרמה מן הקרקע (swing). ניתן לשלוט במידה של הפרונציה והסופינציה של כף הרגל בשלב הניתוק מהקרקע (swing) באמצעות חיבור גומייה שהיא מדיאלית או לטרלית יותר. מערכת גומיות זו תשפיע על שלב ה-swing אך לא על שלב ה-stance. חסרונות הגומייה הם שלא ניתן לכמת את מידת המתח על הגומיות ואת השינוי במידת המתח תוך כדי השימוש. כמו כן, מתח הגומיות מושפע ממשך השימוש בו.



תרשים 6: דיקטוס Boxia



תרשים 5: Ottobock© Walk-on



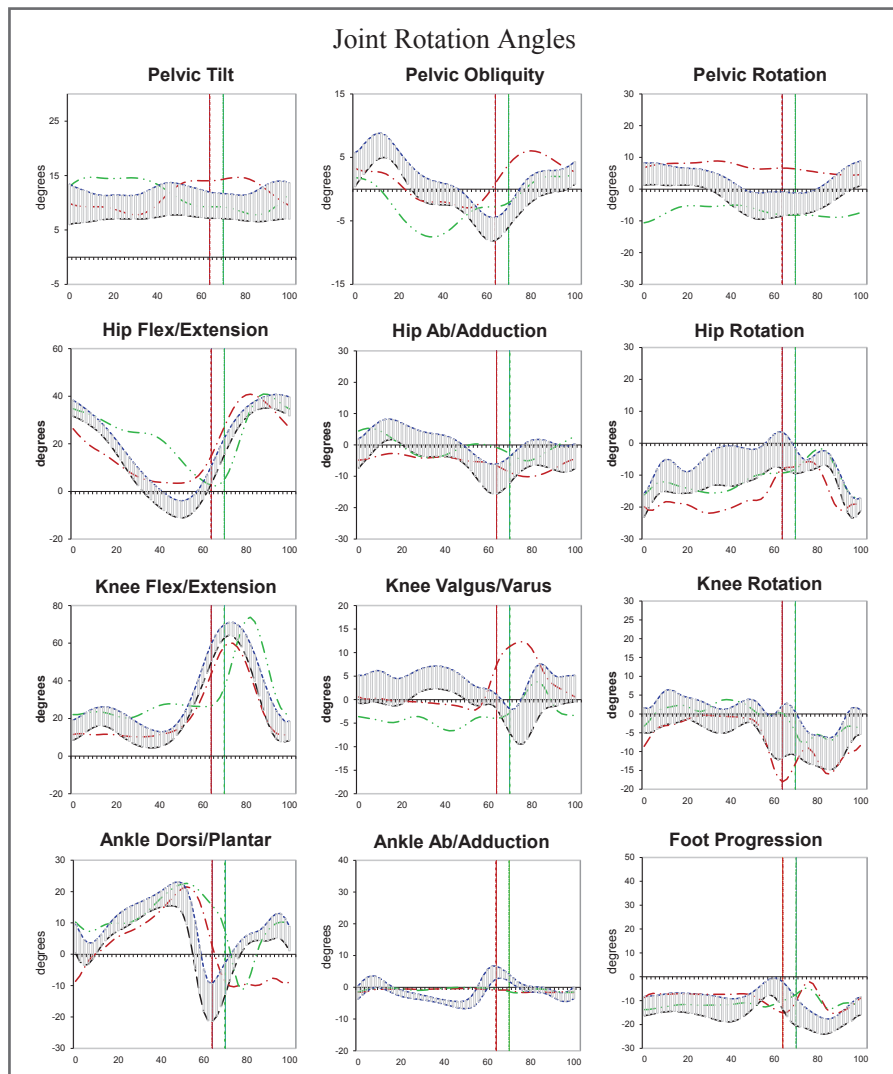
תרשים 4: Allard© Blue Rocker

תיאור מקרה

על כך, בירך הימנית קיים כיפוף מוגבר בשלב ה-terminal stance כתוצאה מהצעדים הקטנים של רגל שמאל והקושי של הגפה השמאלית לשאת את העומסים.

באגן, קיים סיבוב קדמי בצד שמאל, בשלב ה-loading response ל-terminal stance, כביטוי לחולשה של gluteus maximus בצד שמאל. נוסף על כך, מנגנון זה עוזר לו משום שהאגן בצד ימין נמצא בסיבוב אחורי שכן בשל חולשת השריר הוא נמנע מהעברת המשקל קדימה לרגל שמאל.

ניתן להבחין ביישור-יתר של הברך ובעילת הברך בשלבים initial contact - terminal swing לפני המגע עם הקרקע, וב-stance ביישור-יתר של הברך משלב ה-initial contact עד שלב ה-terminal stance. אלה נגרמים מחולשה של שרירי המומנט האקסטנסורי, בעיקר ה-gluteus maximus ו-gastrocnemius/soleus, המצטרפת לחולשת ה-hamstrings. יישור-היתר של הברך מלווה גם בפלנטרפלקסיה מוגברת מצד שמאל, לאורך ה-stance, וכן ביישור-יתר של הירך מצד שמאל, משלב ה-initial contact ועד שלב ה-mid stance. נוסף

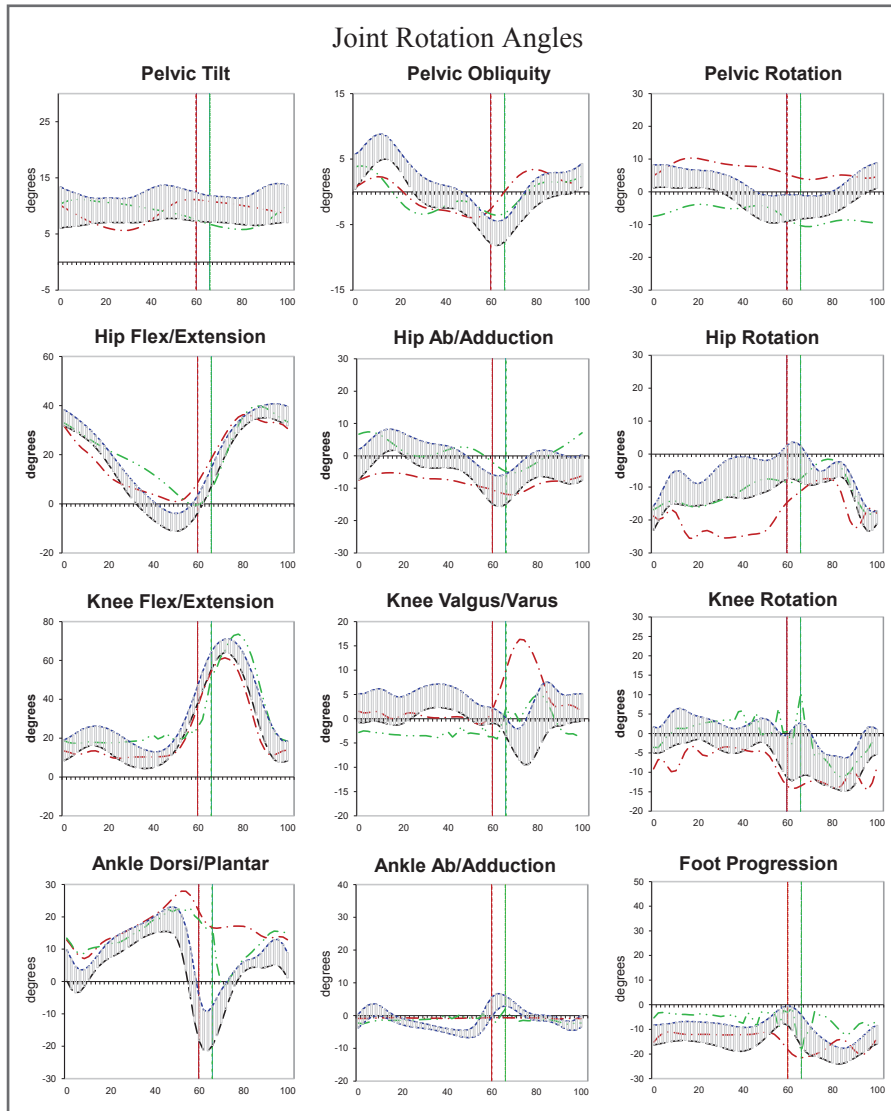


גרף 1: ניתוח קינמטי של תבנית ההליכה במצב יחף: אדום מסמן את הגפה השמאלית התחתונה; ירוק מסמן את הגפה הימנית התחתונה; הנורמה מסומנת באפור. ציר ה-X מייצג את האחוז מתוך מחזור ההליכה, ציר ה-Y מייצג את זווית המפרק.

השימוש בדיקטוס אכן הפחית את הצורך בפיצויים הנובעים מהקושי ב-clearance, ולכן ישנה הפחתה ניכרת בכיפוף הירך ו-hike באגן בצד שמאל בשלב ה-swing.

בהליכה עם הדיקטוס עדיין מובחנים נעילה של הברך לאורך מהלך הדריכה כולה מצד שמאל, והיעדר כיפוף בברך בזמן ה-loading response.

ניתוח תוצאות הבדיקה של תבנית ההליכה עם דיקטוס- גרף 2
 הדיקטוס אפשר תנועת דורסיפלקסיה בשלב ה-swing עם heel initial contact, אבל ככל הנראה מתח הגומייה היה חזק מדי, וגרם לדורסיפלקסיה מוגברת ב-terminal stance. נוסף על כך, הדיקטוס מנע לגמרי את תנועת הפלנטרפלקסיה ב-pre swing-initial swing וגרם דורסיפלקסיה מוגברת בשלב ה-swing.

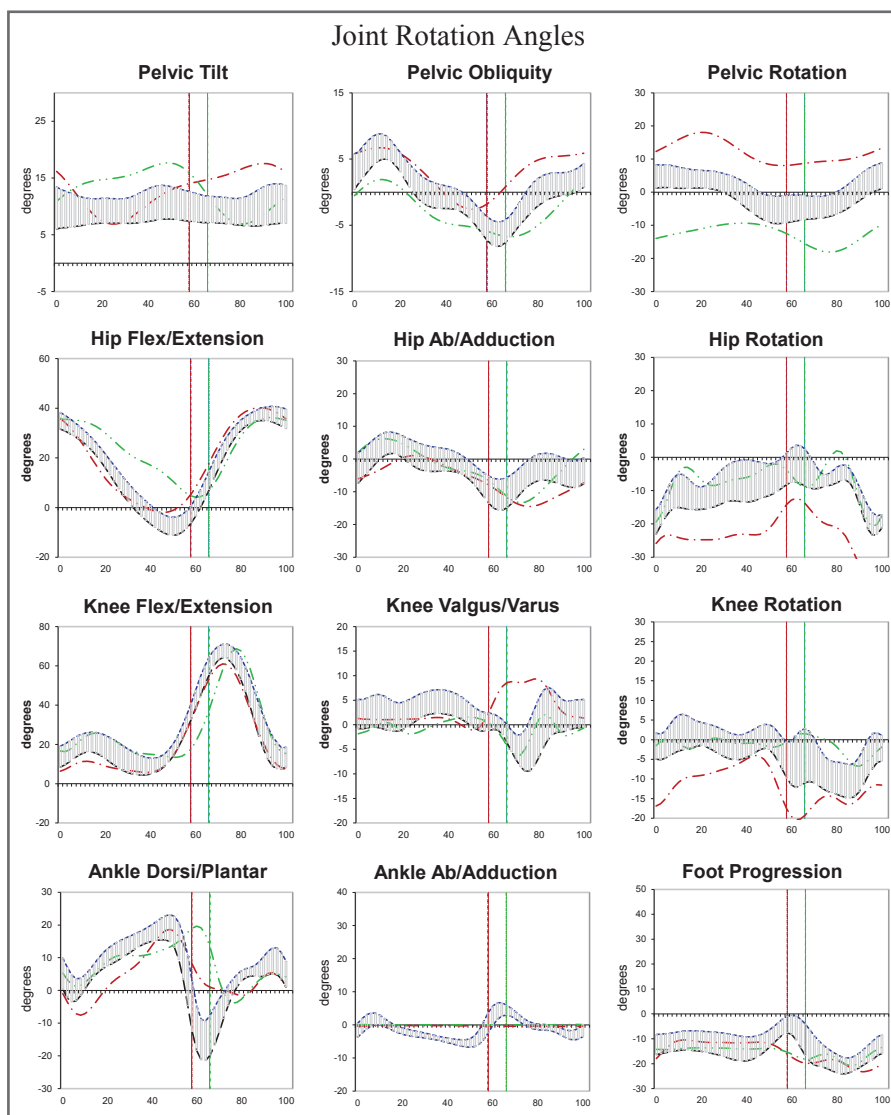


גרף 2: ניתוח קינמטי של תבנית ההליכה עם דיקטוס: אדום מסמן את הגפה השמאלית התחתונה; ירוק מסמן את הגפה הימנית התחתונה; הנורמה מסומנת באפור. ציר ה-X מייצג את האחוז מתוך מחזור ההליכה, ציר ה-Y מייצג את זווית המפרק

תיאור מקרה

ברך ב-loading response. יחד עם זאת, השימוש בסד הזה הקשה על הנבדק ב-clearance מצד שמאל, והוא מפוצה על ידי hike והטיה קדמית מוגברת של האגן מצד שמאל ב-swing. אפשר להבחין כי הרוטציה הקדמית של האגן בזמן ה-loading response וה-mid-stance התגברה, מה שמעיד שהסד לא שיפר את כושרה של הגפה השמאלית לשאת את הכוחות ולהעבירם באופן מיטבי.

ניתוח תוצאות הבדיקה של תבנית ההליכה עם סד מסוג Walk-on - גרף 3
 סד מסוג Walk-on הביא לשיפור בתנועת הדורסיפלקסיה בשלב ה-swing, ולדורסיפלקסיה מעט מופחתת ב-initial swing ולדורסיפלקסיה מספקת ב-terminal-swing. הסד הזה אפשר תנועת דורסיפלקסיה עד ה-pre-swing ללא דורסיפלקסיה מוגברת ב-terminal stance (כמו בהליכה עם דיקטוס). נוסף על כך, הסד אפשר מעט כיפוף

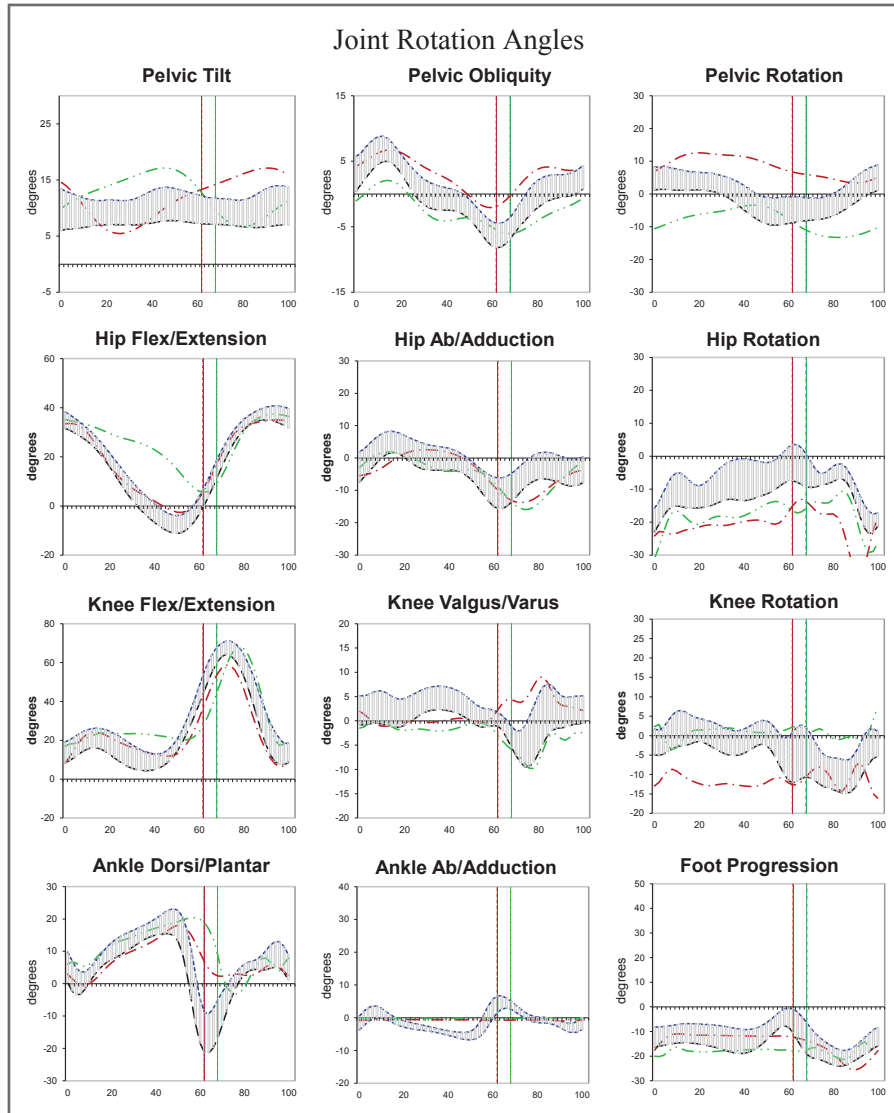


גרף 3: ניתוח קינמטי של תבנית ההליכה עם Walk-on: אדום מסמן את הגפה השמאלית התחתונה; ירוק מסמן את הגפה הימנית התחתונה; הנורמה מסומנת באפור. ציר ה-X מייצג את האחוז מתוך מחזור ההליכה, ציר ה-Y מייצג את זווית המפרק

בשלב ה-loading response. השימוש בסד מונע את צניחת כף הרגל בשלב ה-swing ובכך מפחית את הפיצוי של כיפוף-היתר בדרך בצד שמאל ואת ההטיה הקדמית המוגברת באגן שמאל. נוסף על כך, הסד מצליח להפחית מאוד את ה-hike שמפצה על צניחת כף הרגל מצד שמאל.

ניתוח תוצאות הבדיקה של תבנית ההליכה עם סד מסוג Blue Rocker - גרף 4

ניתן לראות כי הליכה עם blueRocker משיגה heel initial contact מצד שמאל. נוסף על כך, ניתן לראות כי השימוש בסד אפשר למטופל כיפוף בטווח הנורמה של הברך מצד שמאל



גרף 4: ניתוח קינמטי של תבנית ההליכה עם סד מסוג blueRocker: אדום מסמן את הגפה השמאלית התחתונה; ירוק מסמן את הגפה הימנית התחתונה; הנורמה מסומנת באפור

תיאור המקרה השני

רקע

צ', בן 28, חייל מילואים, בריא בדרך כלל, אינו נוטל טיפול תרופתי קבוע. ברקע - ניתוח לשחזור ACL שמאל בשנת 2017. עושה פעילות גופנית בקביעות כמה פעמים בשבוע, לרבות ריצה למרחקים ארוכים ויוגה.

ב-8 בדצמבר 2023 הגיע בהכרה לבית החולים לאחר שפיצוץ רימון בין רגליו גרם לפצעי רסיסים בשתי הגפיים התחתונות משני צידי האגן, בחזה שמאל, בכף יד ימין ובצוואר מימין. צ' קיבל מנת דם ופלזמה בשטח הלחימה בשל הידרדרות המודינמית ועל שתי רגליו הונחו חסמי עורקים שהוסרו עם הגעתו לבית החולים.

ב-CT גפיים תחתונות הובחנו מימין רסיסים במדור האחורי של שרירי השוק; ומשמאל, שנפגעה באופן חמור יותר - רסיסים ב-vastus lateralis, לאורך גיד הפיקה ולאורך שרירי השוק הלטריים. כמו כן, נמצאו שברים מרוסקים עם תזוזה במסרקים 4 ו-5. (ראה תרשים 7). נוסף על כך, נצפה דימום מה- anterior tibial artery.



תרשים 7: צילום כף רגל שמאל: בתצלום אפשר להבחין ברסיסים המרובים בכף הרגל ובשבר במסרק הרביעי והחמישי

ביום הפציעה עבר ניתוח משולב, אורתופדי וכלי דם. בגפה השמאלית התחתונה זוהתה פגיעה בשלושת עורקי שוק שמאל (anterior tibial artery, posterior tibial artery, fibular artery) בשליש הדיסטלי של השוק, ובוצע שחזור וסקולרי של ה-posterior tibial artery על ידי saphenous vein graft. בצד הלטרי של השוק היה דימום ורידי ולכן בוצעה תפירה ו-fasciotomy. הפצעים טופלו ב-VAC (מכשיר בטכנולוגית ואקום לטיפול בפצעים מורכבים) לאחר הניתוח. בגפה תחתונה ימין עבר שטיפה והטריה של פצעים בשוק ובירך הדיסטלית, ובמעבר גיד שריר של גסטרוסולאוס-גיד אכילס נמצאה פגיעה קלה, אך ללא פגיעה בהמשכיות הגיד. כמו כן, עבר שטיפה והטריה של פצעים בשורש כף יד ימין. לאחר הניתוח ניתן אישור לדריכת toe touch על רגל ימין. ב-22 בדצמבר 2023 עבר הטריה של פצעים בשוק שמאל עם השתלת עור מירך שמאל. לאחר הניתוח ניתן אישור לדריכה לפי יכולת. ב-28 בדצמבר 2023 הוא התקבל למחלקת שיקום במרכז הרפואי תל-אביב.

הערכה ראשונית בעת הקבלה

בעת קבלתו, צ' מתנייד בכיסא גלגלים, עצמאי בתפקודי מיטה, מבצע מעבר מכיסא למיטה בהשגחה.

בבדיקת הליכה ראשונית, עם קביים ובהשגחת מטפל, נמצא כי צ' הולך בנשיאת משקל חלקית על רגל שמאל, בתבנית הליכה toe touch, עם יישור-יתר של הברך והטיה קדמית של הגו בשלב ה-stance.

בבדיקת טווחי התנועה בגפיים התחתונות, נמצאו טווחים מלאים במפרקי הירך והברך דו-צדדיים: בקרסול ימין, טווח הדורסיפלקסיה מוגבל - כ-10 מעלות פאסיבי, כ-5 מעלות אקטיבי; טווח התנועה מוגבל על ידי כאב. בקרסול שמאל טווח dorsiflexion מוגבל - 0 מעלות פסיבי, עם נוקשות משמעותית, מוגבל ע"י כאב. הטווח האקטיבי - 5 מעלות ולא הגיע ל-midposition.

בבדיקת כוח השרירים, נמצא כי כוח הגפה העליונה בשני צדדיה הוא תקין. בדיקת כוח הגפיים התחתונות נעשתה לפי MMT המקובל. טבלה 2 מסכמת את תוצאות הבדיקה:

טבלה 2: סיכום תוצאות בדיקת כוח השרירים של הגפה התחתונה לפי MMT

Extensor digitorum longus	Extensor hallucis longus	Gastrocnemius	tibialis anterior	hamstrings	quadriceps	iliopsoas	Gluteus medius	gluteus maximus	
0/5	0/5	2/5	1/5	5/5	3/5	4/5	3/5	5/5	שמאל
3/5	3/5	5/2-	5/1+	2/5	5/5	5/5	5/5	5/5	ימין

בשלב זה צ' החל ללכת בעזרת קב אחד וללא אביזר-עזר לסירוגין, אך בצליעה קשה. הוא ירד מדרגות רגל-רגל (step to), ללא מעקה. טווח התנועה בקרסול שמאל השתפר מעט והגיע לכ-5 מעלות בתנועת הדורסיפלקסיה. טווח הדורסיפלקסיה של קרסול ימין השתפר גם הוא והגיע לכ-15 מעלות. כוח ה-tibialis anterior שמאל השתפר עד ל-2/5, ובימין - עד ל-4/5. כוח ה-extensor hallucis longus ו-extensor digitorum longus ברגל שמאל נותר 0/5.

כארבעה חודשים לאחר תחילת השיקום הופנה צ' למעבדת ההליכה לניתוח תבנית ההליכה וכדי לבדוק את הצורך בהוספת מכשירי ההליכה.

תוצאות מעבדת ההליכה

ניתוח התוצאות של בדיקת תבנית ההליכה במצב יחף - גרף 5
בקרסול נראה חוסר בדורסיפלקסיה ב-swing המפוצה על ידי כיפוף מוגבר של הירך מצד שמאל בשלב ה-swing ו-hike של האגן מצד שמאל. נוסף על כך, הובחנה פלנטרפלקסיה מופחתת בשלב ה-pre-swing עקב חולשת gastrocnemius. המקשה על המטופל לבצע push off ומאטה את ההליכה.

במשך הדריכה מצד שמאל קיימת דורסיפלקסיה מופחתת ביחד עם כיפוף ברך מופחת בשלב ה-loading response ויישור יתר של הברך מצד שמאל בשלב ה-terminal stance שנגרם משילוב של הגבלת תנועת הדורסיפלקסיה, כאב וחולשה של המומנט האקסטנסורי. כמו כן, ניכרת דורסיפלקסיה מופחתת בשלב ה-terminal stance עקב הגבלה מפרקית בקרסול. ההגבלה בתנועת הדורסיפלקסיה של הקרסול בשלב ה-terminal stance גורמת לכיפוף מוגבר של הירך מצד שמאל, סיבוב אחורי, הטיה קדמית ו-Hike של האגן מצד שמאל. ההגבלה בתנועת הדורסיפלקסיה גורמת

לסיכום - נצפתה הגבלה דו-צדדית חמורה בטווחי הקרסול, ובפרט ברגל שמאל. כמו כן, הובחנה חולשה ניכרת של ה-tibialis anterior בשני הצדדים; שמאל יותר מימין. הובחנה הגבלה ביישור של אצבעות כף הרגל השמאלית.

טיפול פיזיותרפיה

החל בתרגול מוכוון-מטרה שכלל, בין היתר, תרגול מעברים (כיסא-מיטה, קימה לעמידה) תרגול הליכה, מדרגות, תרגילי חיזוק של הגפיים העליונות והתחתונות, ושיפור טווחי התנועה בגפה התחתונה.

עוד לפני שהגיע למחלקת השיקום, הומלץ ל-צ' להיעזר בסד שהוא מוצר מדף ולא בהתאמה של Ankle Foot Orthosis (AFO). למרות זאת מאחר שנצפתה התאוששות הדרגתית של ה-tibialis anterior, הוחלט בשיתוף צ' לבחון להפסיק לסירוגין את השימוש בסד.

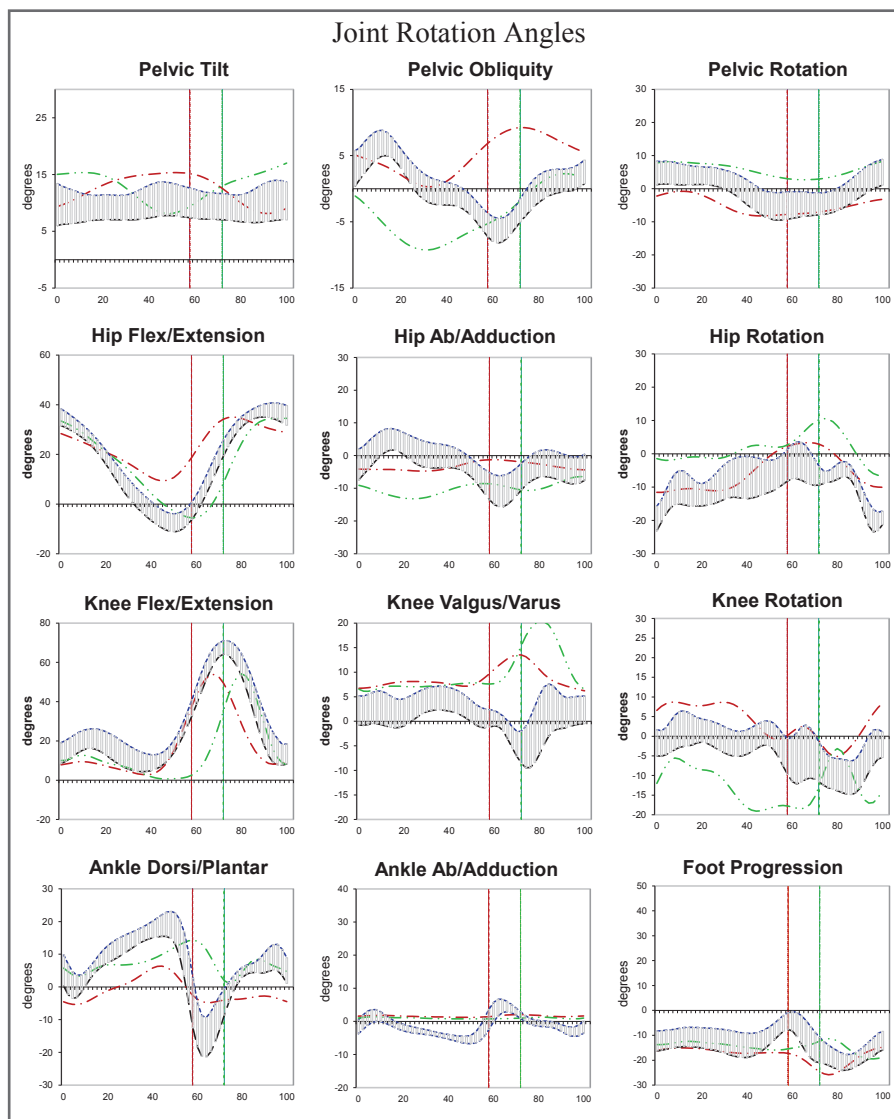
בשבועות הראשונים סבל צ' מכאבים בשוק ובקרסול שמאל ומתחושה שהרגל מתנפחת לאחר הליכה של דקות ספורות. לדבריו, הוא היה זקוק למנוחה ולהרמת הרגל, מה שהקל עליו את הכאב. לאור זאת, כירורג כלי דם המליץ לו להשתמש בגרב לחץ, אך צ' היה כאוב מעצם לבישת הגרב וסירב להמשיך להשתמש בה.

כמו כן, צ' החל בתרגול נמרץ לשיפור טווחי התנועה בקרסול, ובפרט של טווח הדורסיפלקסיה (תרגול בנשיאת משקל - ירידה הצידה ולפנים ממדרגה, עלייה לאחור על מדרגה, מתיחת פלנטרפלקסורים בעמידה בקצה מדרגה, לחיצת רגליים), כולל תרגול עצמי בחדר הכושר שבמחלקה, מחוץ לשעות הטיפוליים. נוסף על כך, ביצע תרגול רב בעמידה על משטחים נעים.

תיאור מקרה

הקליני לכך הוא גם כיפוף מוגבר של הירך והוא תואר לראשונה על ידי Dananberg⁴.

לריטרקציה של השוק וליישור-יתר של הברך וחוסמת את ההתקדמות במישור הסגיטלי. זה מגביל את העברת מרכז המסה לפניו אשר מפוצה על ידי הטיה קדמית של הגו. הביטוי



גרף 5: ניתוח קינמטי של תבנית ההליכה במצב יחף: אדום מסמן את הגפה השמאלית התחתונה; ירוק מסמן את הגפה הימנית התחתונה; הנורמה מסומנת באפור

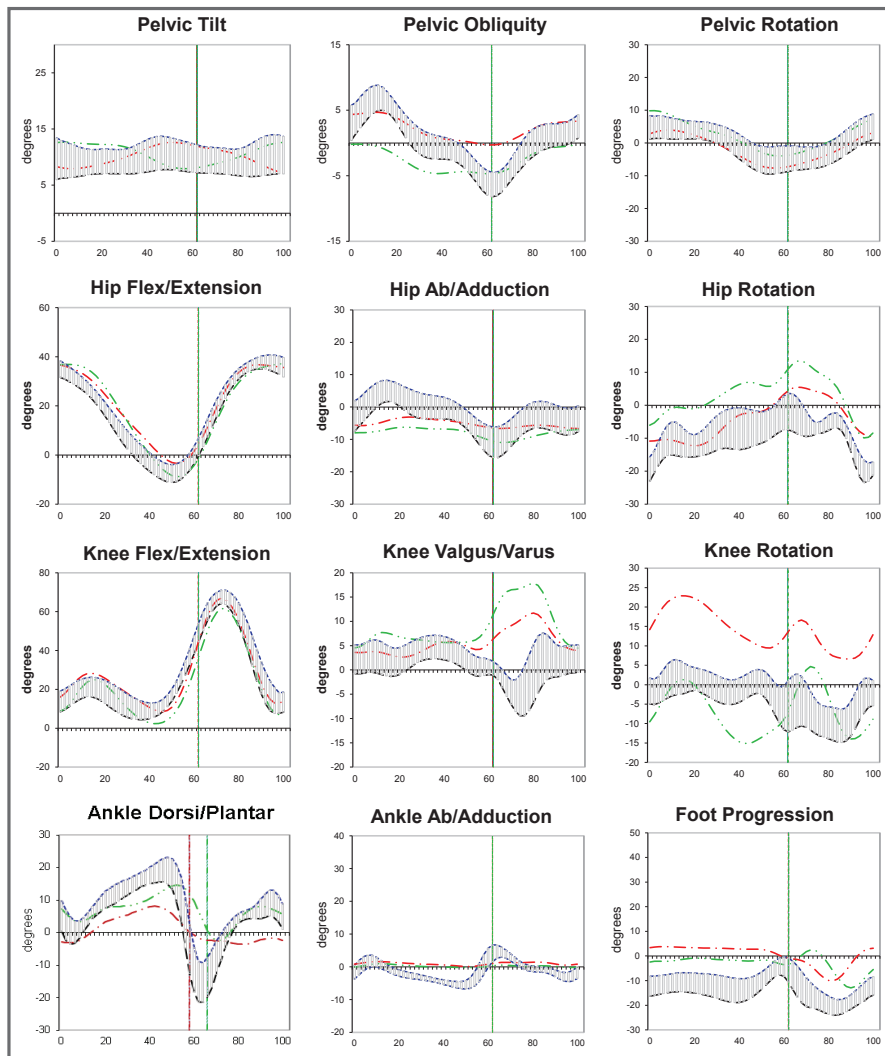
ה-loading response, ומניעת הנעילה בצד שמאל בסוף שלב הדריכה. שלב ה-stance תאם את ערכי הנורמה. בשלב ה-swing נצפה שיפור ניכר בכיפוף דו-צדדי של הברך - המבטא שיפור במהירות ההליכה ובכוח האינרציה.

בירך ניתן לראות נרמול מצד שמאל. חל שיפור ניכר ביישור הירך בשלב ה-terminal stance עם הגבלה מינורית בלבד. נוסף על כך, ההטיה הקדמית של האגן פחתה משמעותית, ופחתו גם ה-hike וסיבוב אחורי של האגן מצד שמאל. האגן התייצב הודות לשימוש בהגבהה.

ניתוח התוצאות של בדיקת תבנית ההליכה לאחר התאמת הגבהה - גרף 6

מניתוח התוצאות של מעבדת ההליכה עם תוספת של הגבהה דו-צדדית של 2.5 ס"מ מתחת לעקב עולה כי בהשוואה להליכה היחפה, חל שיפור בכל מדדי ה-spatio-temporal, כולל מהירות, קצב, זמן ארוך יותר של ה-single support וזמן קצר של ה-double support (טבלה 3).

נצפה שיפור ניכר בקינמטיקה של מפרק הברך בשלב ה-stance וכן עלייה ניכרת בכיפוף הדו-צדדי של הברך בשלב



גרף 6: ניתוח קינמטי של תבנית ההליכה לאחר התאמת הגבהות: אדום מסמן את הגפה השמאלית התחתונה; ירוק מסמן את הגפה הימנית התחתונה; הנורמה מסומנת באפור

טבלה 3: מדדי מרחק-זמן של המטופל בהליכה יחפה ובהליכה בנעליים בתוספת הגבהה

	Left Shoed	Right Shoed	Left Bare foot	Right Bare foot
Cadence steps / min	118	116	84.4	84.75
Double Support / seconds	0.27	0.27	0.50	0.50
Foot off / %	63.4	63.9	62.10	73.3
Single Support / seconds	0.37	0.38	0.38	0.53
Step Length / meter	0.64	0.38	0.54	0.34
Step Time / seconds	0.49	0.52	0.81	0.60
Step Width / meter	0.22	0.22	0.25	0.25
Stride Length / meter	1.27	1.28	0.89	0.89
Stride Time / seconds	1.02	1.03	1.42	1.41
Walking Speed / Meter/ seconds	1.25	1.24	0.62	0.63

עצם השימוש בדיקטוס אֶפְשֵׁר הרמה של כף הרגל בשלב ה-swing ובכך הפחית את הפיצוי הפרוקסימלי ל-clearance insufficiency בלבד כפי שהיה מצופה, ולא תרם לשום שינוי נוסף בתבנית ההליכה. ה-Walk-on שיפר אף הוא את מידת ההרמה של כף הרגל בשלב ה-swing הרבה יותר מן הדיקטוס, ונצפו פחות פיצויים על רקע ה-clearance insufficiency. עם זאת, ניתן לראות כי השימוש ב-Blue Rocker אֶפְשֵׁר לא רק תמיכה של כף הרגל בעת ההנפה בשלב ה-swing והפחית את הפיצויים ל-clearance insufficiency, אלא גם תנועה תקינה יותר של הברך והירך בעת הכיפוף משלב ה-loading response עד שלב ה-mid-stance. כלומר, השתמשנו בתמיכה הקדמית של הסד כמשענת עבור כיפוף של הברך והימנעות מנעילת הברך שהיא תוצאה של חולשה שרירית. על כן, ה-Blue Rocker - יותר משני הסדים האחרים - מאפשר למטופל הן תנועה ביומכנית תקינה והן הליכה יעילה יותר.

מה שניתן ללמוד ממקרה זה הוא שלמרות החולשה הבולטת של הדורסיפלקסורים וצניחת כף הרגל, והצורך כביכול במכשיר בשלב ההנפה (swing), המכשיר שנמצא מתאים יותר הוא דווקא זה המאפשר תמיכה בשלב ה-stance.

דיון

שני התיאורים שהובאו כאן מציגים שני מקרים של פצועי מלחמה בעלי תבנית הליכה דומה עקב פגיעה בתנועה של כף הרגל והקרוסול. במקרה השני נוספה מעורבות של פגיעה פרוקסימלית בכוח השרירים. באמצעות מעבדת ההליכה ניתן היה לזהות מרכיבים פתולוגיים שונים אשר גרמו לסטיות ההליכה, ולהתאים עבור כל אחד משני המקרים את המענה הרצוי. מעבר לצורך בשיפור הפונקציונלי, המשותף לשני המקרים הוא גם הרצון העז להשיג הליכה ללא צליעה כלל. התוצאה שהושגה מיידית, הודות להתערבות המבוססת על תוצאות מעבדת ההליכה, קירבה את המטרה.

אצל המטופל הראשון, תבנית ההליכה ביטאה צניחה של כף הרגל בשלב ה-swing עם חולשה מלאה של הדורסיפלקסורס (dorsiflexors) ובעקבות זאת פיצויים גם בירך וגם באגן באותו הצד, שהתווספו לפיצויים בצד הנגדי. כאשר המטופל נבדק בשלושה מצבים, אֶפְשֵׁר היה לראות התאמה בין השינוי שהובחן בתבנית ההליכה ובין המאפיינים הביומכניים של המכשיר שהותאם לו.

מקרה זה מלמד כי הבנה מעמיקה של הביומכניקה של ההליכה תוך כדי ההליך השיקומי שיפירה את מדדי ההליכה וסייעה להגשים את המטרות התפקודיות של השיקום. היישום של עקרונות ביומכניים אפשר מתן פתרון מידי וזמני שאפשר למטופל ללכת בתבנית הליכה ללא צליעה.

ממצאים אלו נתמכים על ידי מחקרים שהוכיחו שקיימת מובהקות סטטיסטית לגבי השינוי שמביאות תוצאות מעבדת ההליכה ואף היכולת שלהן להכתיב מטרות טיפול. יישום ההמלצות של ניתוח ההליכה המעבדתי עשוי לתרום לשיפור התוכנית הטיפולית ולמדדים התפקודיים של ההליכה.¹

מסקנות

לאור ניתוח המקרים הללו אנו ממליצים להגביר את שיתוף הפעולה בין המטפלים האחראים על תהליך השיקום ובין מעבדת ההליכה שכן שיתוף כזה הוא חיוני. ניתוח המקרים לימד אותנו שניתן לענות על שאיפת המטופל להשיג הליכה מיטבית ללא צליעה. המידע המתקבל מניתוח התנועה במעבדה מסייע "לדייק" את בחירת מכשיר ההליכה המתאים ומאפשר איכות הליכה מיטבית. רצוי לבצע בדיקות מעבדה בסדים האפשריים הקיימים.

התוצאות הקינמטיות והקינטיות מסייעות לקבוע את מקור סטיית ההליכה וכך לקבוע את האביזר האופטימלי לשיפור תבנית ההליכה.

השימוש במעבדה לניתוח תנועה "מדייק" את תהליך התאמת הסד ומאפשר השגת איכות הליכה מרבית. יתר על כן, הייתה התאמה בין תוצאות מעבדת ההליכה ובין הסד שסיפק את המענה המיטבי לדעת המטופל.

המקרה הזה מלמד, ששילוב המידע הקיים בידי צוות השיקום המעניק למטופל ליווי יומיומי ומכיר היטב את היכולות שלו, והאפשרות לנתח את ההליכה ולהכיר את התכונות הביומכניות של הסד, הוביל לתוצאות מיטביות להליכה של המטופל.

במקרה השני, בעת ביצוע בדיקת ההליכה, אובחנה בבהירות מגבלת הדורסיפליקציה אצל המטופל שהגבילה את הרוקר השני והפכה אותו לגורם העיקרי לסטייה בתבנית ההליכה. הגבלה בטווח גרמה לשרשרת של סטיות בהליכה במפרקים מעל הפציעה עד האגן ופגעה במהירות, בקצב ובאורך צעדיו.

בהתבסס על הביומכניקה של מפרק הקרסול, והצורך להטות את עצם השוק לפנים, וכן הדאגה לשמור שלא תיפגע שרשרת התנועה של הברך הירך והאגן, ניסינו להתאים את הגבהת העקב. העיקרון הביומכני מותאם למחקרים שבדקו את היעילות של הוספת הגבהת לעקב. המחקר מצביע כי הגבהת של 15 מ"מ מפחיתה באופן מרבי את זווית הדורסיפלקסיה בקרסול בעוד הגבהות של 12 מ"מ עד 18 מ"מ מקצרות את אורכה של יחידת גיד האכילס.³ זאת אומרת, תוספת ההגבהת לעקב מקלה על מי שסובל מטווח מוגבל בתנועת הדורסיפלקסיה בקרסול.

בבדיקה שנערכה לאחר התאמת ההגבהת הדו-צדדית, נצפה שיפור גדול ברוב מדדי המרחק, הזמן וכמובן גם באיכות ההליכה, עם השיפור בקינמטיקה של הברך והירך.

נוסף על כך, מכיוון שהמטופל עדיין בתהליך שיקומי, וההגבהת מפצה על הגבלה בטווח תנועת הדורסיפלקסיה ואינה מאפשרת לו להגיע לטווח המרבי הרצוי, תהליך השיקום נמשך בתרגול נמרץ לשיפור טווח תנועת הדורסיפלקסיה בנשיאת משקל כדי לשפר את טווח התנועה הפסיבי ואת השליטה השרירית על הטווח הנרכש. בהתאם לשיפור בטווח, יהיה ניתן להפחית את מידת ההגבהת של העקב בתקווה שבסיום תהליך השיקום, לא יזדקק כלל להגבהת.

Walking without a Limp: Applying Gait Laboratory Outcomes for Optimizing Gait Pattern with Orthotics

Sam Khamis PhD¹, Rony Solberg BPT², Gili Mayo BPT³, Dr. Anna Sajina MD⁴, Ilanit Evron MScPT⁵

¹ Director Gait and Motion Laboratory, Dana Children's Hospital, The Department of Pediatric Orthopedics, Tel Aviv Medical Center. IMACS, Physiotherapy and Motion Analysis Center

² Department of Physiotherapy, Tel Aviv Medical Center

³ Department of Physiotherapy, Tel Aviv Medical Center

⁴ Director of Rehabilitation Division, Tel Aviv Medical Center

⁵ Head of Physiotherapy, Rehabilitation Department, Tel Aviv Medical Center

Background: Complex orthopedic and neurological injuries are common outcomes of combat situations. Rehabilitation includes physiotherapy aimed at restoring movement and strength, and returning the patient to full function. A functional biomechanical assessment is necessary during rehabilitation in order to plan treatment and tailor orthopedic devices such as braces, shoes, and insoles to improve walking ability.

Objective: To present two cases of patients who exhibited a combined and complex pattern of orthopedic and neurological injuries, requiring decisions regarding assistive device recommendations. Traditionally, gait patterns are clinically assessed in rehabilitation departments due to the limited availability of advanced gait laboratories.

This presentation aims to evaluate the contribution of advanced gait laboratory analyses in guiding treatment and determining optimal assistive devices, particularly

1. Wren TAL, Tucker CA, Rethlefsen SA et al. Clinical efficacy of instrumented gait analysis: Systematic review 2020 update. *Gait Posture*. 2020 Jul; 80:274-279. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.05.031 [Epub 2020 May 23. PMID: 32563727].
2. Perry, J. *Gait Analysis*, SLACK, Thorofare, NJ; 1992 (pages 1-19, 33).
3. Rabusin CL, Menz HB, McClelland JA et al. Munteanu SE. Effects of heel lifts on lower limb biomechanics and muscle function: A systematic review. *Gait Posture*. 2019 Mar ;69:224-234. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.01.023. [Epub 2019 Jan 15. PMID: 30870745].
4. Dananberg HJ. Sagittal plane biomechanics. *American Diabetes Association. J Am Podiatr Med Assoc*. 2000 Jan;90(1):47-50. doi: 10.7547/87507315-90-1-47. PMID: 10659532
5. Kerkum, YL, Houdijk, H, Brehm, MA et al. The Shank-to-Vertical-Angle as a parameter to evaluate tuning of Ankle-Foot Orthoses, *Gait & Posture*. 2015; 42(3): 269-274. doi: 10.1016/j.gaitpost.2015.05.016 [Epub 2015].

in cases where clinical evaluations alone may not fully diagnose gait patterns. Gait laboratory results could provide more precise gait pattern diagnoses and optimize device recommendations for improved walking.

Method: Two cases involved patients with complex gunshot injuries undergoing rehabilitation to improve range of motion, muscle strength, and mobility. During rehabilitation, the need for assistive devices to enhance gait patterns was identified. A gait analysis was conducted in a laboratory using a 3D motion analysis system (Vicon®, Oxford Metrics, UK) and force plates (AMTI). Kinematic and kinetic gait data were measured across three planes. The patients were assessed under two conditions: barefoot and with assistive devices fitted according to gait analysis results.

Participants:

- Case 1: A patient with a gunshot wound to the left pelvis at L5 level, spinal canal shrapnel and an S1 fracture. The patient exhibited a drop foot gait pattern during the swing phase and associated compensations. Additionally, muscle weakness during the stance phase was noted, characterized by lack of muscular control around the knee and hyperextension of the knee throughout the stance phase.
- Case 2: A patient with a gunshot injury involving orthopedic and soft tissue damage in the lower limbs. The main manifestations were limited range of motion and muscular weakness around the ankles, bilaterally.

Results:

- Case 1: Braces that supported dorsiflexion during the swing phase without anterior support failed to correct the gait pattern during the stance phase. A Blue Rocker (Allard©) brace provided adequate support for the swing phase, reducing compensations due to clearance insufficiency and prevented knee

hyperextension during the stance phase.

- Case 2: Laboratory results indicated that due to limited ankle joint range of motion and partial muscle weakness, the required gait correction - which improved spatiotemporal parameters and normalized knee and hip extension during the terminal stance phase - was achieved by using heel lifts without the need for braces.

Conclusions: Gait analysis enables more accurate recommendations regarding appropriate assistive devices and enables optimal walking quality. By utilizing laboratory analyses and interpreting kinematic and kinetic results, it is possible to identify the source of gait deviations and determine the optimal device needed to improve gait patterns.

Key words: gait analysis laboratory, rehabilitation, splints, gait assistive devices, gait analysis, war injuries