



ד"ר נמרוד רחן

בשני העשורים האחרונים אנו עדים למחקרים רבים המצביעים עד כמה משמעותיים הגורמים הביומכאניים בפתוגנזה של אוסטיאואריתריטיס. המחלה מאופיינת בירידה בשליטה העצבית-שרירית, בחוסר שליטה במפרק, בחולשה ובחוסר יציבות המובילים לייצוב שרירי פתולוגי של המפרק הנקרא חביקה (Bracing). חביקה זו לוקחת את הברך הפגועה במדור המדיאלי לכיוון וארוס ופלקציה, מעלה את העומסים (מומנטים) הפועלים על הברך (המומנט האדוקטורי והמומנט הפלקטורי) וגורמת לשחיקה תוך מפרקית נוספת ולהמשך של המעגל המרושע (Vicious cycle) המביא להחרפת המחלה המפרקית ולהידרדרות קלינית.

לאור הממצאים המחקריים הללו יש מאמץ מחקרי ופיתוחי רב בכיוון מציאת פתרונות אשר יאפשרו לעצור ואולי אף להפוך אותו מעגל מרושע, ומתבצע חיפוש אינטנסיבי אחרי פתרונות שיאפשרו הורדת עומסים במשטח המפרקי הפגוע ושיקום/החזרה של התבניות השריריות לקדמותן.

סדים, מדרסים, מקלות הליכה ועוד נמצאים בין הגורמים הנחקרים. גם אימונים יותר אקטיביים, דוגמת משטחים לא יציבים ודומיהם, נבדקו, אך עד כה בהצלחה מוגבלת מבחינה קלינית וללא עדות לשינוי התבנית הביומכאנית של המחלה.

בשנים האחרונות נערכו במחלקתנו במרכז הרפואי העמק, בשיתוף עם הטכניון והמרכז הרפואי תל אביב ע"ש סוראסקי, כמו גם במרכז הרפואי אסף הרופא, מחקרים שבהם נבדקו חולי אוסטיאואריתריטיס של הברך אשר טופלו באפוסתרפיה. במחקרים נמצא כי בחולי אוסטיאואריתריטיס של הברך שטופלו בגישה טיפולית זו נמדדו הפחתה בכאב, שיפור

שיקום פונקציונלי

אפוסתרפיה והביומכאניקה
באוסטיאואריתריטיס של הברך

בתפקוד, שיפור תבניות הליכה ואף, לראשונה במחקר העולמי, היפוך של התבניות הביזמכאניות שנחשבות לגורמים המרכזיים במחלה. אפוסטרפיה היא טיפול רפואי פונקציונלי המיועד לשקם את תבניות התנועה הפתולוגיות אצל החולה באוסטיאואאריתריטיס. אפוסטרפיה מתבצעת תוך כדי הפעילות השגרתית של המטופל ומבוססת על הליכה בטכנולוגיה ייחודית, המאפשרת הסטת עומסים ואימון השליטה העצבית-שרירית סביב המפרק. מהלך הטיפול כולל ניתור ומעקב אחרי מדוי ההליכה, הכאב והתפקוד של המטופל. מאמר זה סוקר בתמצית את הגורמים הביזמכאניים באוסטיאואאריתריטיס של הברך ומביא את ההסבר, הלוגיקה והממצאים המחקריים הערכניים לגבי האפוסטרפיה.

השפעת גורמים ביומכאניים על התפתחות אוסטיאואאריתריטיס

בשנים האחרונות חלה עלייה במודעות לגורמים הביזמכאניים המשפיעים על התפתחות אוסטיאואאריתריטיס. יציבה לקויה ומנח מפרקים לקוי מובילים לשינויים בקינטיקה ובקינמטיקה ומכאן לעלייה בעומסים על המפרק הפגוע. גורמים כגון היחלשות שרירית ופגיעה בשליטה העצבית-שרירית מובילים לתבניות הגנתיות פתולוגיות. הכאב, המאפיין המרכזי במחלה שנובע, בין היתר, מעלייה בכוחות ובמומנטים הפועלים על המפרק הפגוע, מוביל לירידה בתפקוד, להימנעות מפעילות גופנית ומביצוע מיומנויות יומיומיות דוגמת הליכה ועלייה וירידה במדרגות.

שינוי בשליטה העצבית-שרירית (Neuromuscular Control) וחולשת שרירים – מחקרים רבים בדקו את הקשר בין תפקוד השרירים לנכחות המחלה והתקדמותה⁵⁻¹. נמצא קשר בין חולשת שרירים סביב הברך, בפרט בשריר הקוודריספס, לממצאים רנטגניים המעידים על שחיקת המפרק. קשר זה נמצא גם בקרב נבדקים שלא התלוננו על כאבים או על הגבלה תפקודית⁶.

למעשה, בבדיקת צילומי הרנטגן של נבדקים המגדירים עצמם כריאים, נמצא שכאשר קיימת חולשת שרירים סביב הברך, נצפית עדות רנטגנית לתחילתו של תהליך ניווני-שחיקתי במפרק הברך. בנוסף לכך, מחקרים שבדקו את התנהגות השרירים סביב המפרק מצאו כי השרירים סביב המפרק הפגוע עובדים באופן פחות יעיל. כלומר, עובדים למשך זמן רב יותר, במאמץ גבוה יותר, אך מפיקים פעילות ירודה, לא יעילה ולא מתוזמנת⁷⁻⁸. שרירים שאמורים לפעול ברפוס פעולה קואורדינטיבי (Co-activation) מפסיקים לפעול בו ועוברים לסוג פעילות פתולוגית של כיווץ הגנתי, שלא מאפשר תכנון תנועה תקין וקואורדינציה מתאימה ומתוזמנת בין שרירים (אוגניסטים ואנטגוניסטים). לאורך חביריו מדווחים כי השרירים הממוקמים בצד

המדיאלי של הברך, קרי וסטוס מדיאליס, גסטרו מדיאלי והמסטרינגס מדיאלי, עובדים בפעילות יתר תוך תבנית כיווץ פתולוגית הגנתית היוצרת עומסי דחיסה ומעלה את העומסים הפועלים על המשטח המפרקי⁹.

פגיעה במערכת התחושתית ותחושת חוסר יציבות של הברך – לצד השינויים בתפקודי השרירים הסובבים את המפרק הפגוע ואת המפרקים השכנים לו, חלים שינויים גם במערכת הסנסורית סביב הברך. בתוך המפרק וסביבו קיימים חיישנים שתפקידם לדווח על כל שינוי בתנחות המפרק (המערכת הפרופריוצפטיבית). בעת שאדם מבצע תנועה כלשהי, מועבר למערכת העצבים המרכזית מסר ארנטי לגבי ביצוע התנועה. מסר מוטורי מועבר למערכת השרירית ממערכת העצבים המרכזית לצורך הנפקת תגובה, תיקון או שינוי תנועת. כל זאת במטרה ליצור תנועה, תוך מניעת פגיעות ושמירה על יציבות הגוף והמפרק. למעשה, זוהי מערכת הבקרה והמשוב של הגוף על השינויים התנועתיים שמתרחשים בו. מערכת חיישנים זו היא קריטית בהגנה על הגוף מפני נפילות ופציעות, וכאשר היא לא מתפקדת באופן אופטימלי, האדם חשוף יותר לפגיעות. כמעט 50 אחוז מהאוכלוסיה הסובלת מאוסטיאואאריתריטיס של הברך מתלוננת על תחושת חוסר יציבות ברגל הפגועה. המטופלים מדווחים על תחושות של מעידה, טריקה של הברך, חוסר יכולת "לסמוך" על הרגל בעת ביצוע פעילויות שונות כדוגמת עלייה וירידה במדרגות ותחושה ש"הרגל לא נשמעת לי"¹⁰. מחקרים מצאו קשר חזק בין דיווח על חוסר יציבות ברגל לבין רמה נמוכה יותר של תפקוד וניידות¹¹.

פגיעה במבנים סביב המפרק ובקרבתו – כאמור, אוסטיאואאריתריטיס של הברך אינה פוגעת רק במפרק הברך וברקמות הסובבות אותו אלא משפיעה גם על מפרקים סמוכים ואף על מבנים במפרקים שכנים, קרי מפרק הירך והקרסול. מבנים נוספים שנופגעים יכולים להיות, למשל, שרירים במפרקים המרוחקים, שנחלשים ועוברים למצב של חוסר תפקוד, בעיקר הכוונה לשרירים סביב מפרק הירך: גלוטאוס מקסימוס, גלוטאוס מדיוס והמסובבים החיצוניים. דלקת באזורי היצמדות של גידים שונים, כמו הגידים סביב הברך (פס אנטריוס בורסיטיס) או בצדי מפרק הירך (טרונכנטריק בורסיטיס), מהווה חלק מהתמונה הקלינית באוסטיאואאריתריטיס. שחיקה וכאבים במפרק הפיקה ושינויים בגמישות הרקמות הרכות שעוטפות את המפרק, כגון הקפסולה האחורית של הברך, עלולים לגרום כאבים נלווים. מאפיין נוסף הוא שינוי מנח ציר הגפה כולו (עיוות של צורת הרגל מהירך, דרך הברך עד לקרסול ולכף הרגל), שברך כלל משתנה ככל שהתהליך הניווני-שחיקתי במפרק מתקדם. העיוות השכיח בברך הוא בכיוון ווארוס¹²⁻¹³. הדפוס הקינמטי והקינטי הכולל של הגף התחתון משתנה בעקבות

השחיקה במפרק הברך וכולל, בין היתר, העברת עומסים ממפרק הברך למפרק הירך¹⁴. פגיעות נלוות אלו גורמות אף הן לכאבים ולהגבלה תפקודית ויש להתייחס אליהן בעת התהליך הטיפולי-שיקומי.

עלייה במומנט האדוקטורי בברך – באופן תקין קיימת חלוקת משקל שונה בברך בין התא הפנימי לחיצוני, כאשר התא הפנימי נושא כ-70 אחוז ממשקל הגוף. הסיבה לכך קשורה למיקום מעבר קו הכובד שעובר בצידו הפנימי של מפרק הברך ומייצר מומנט פלקטורי ומומנט אדוקטורי במפרק זה. נמצא כי בחולים הסובלים מאוסטיאואאריתריטיס, המומנט האדוקטורי גדל¹⁵ (איור מס' 1) – גדל המומנט האדוקטורי נמצא בקשר ישיר עם מידת הרפיון של הקפסולה המפרקית המדיאלית, מידת היצרות המפרק ומידת הכאב והמוגבלות התפקודית¹⁶. תופעה זו של רפיון הקפסולה המדיאלית, הנגרמת על ידי היצרות הרווח המפרקי, קיבלה את המינוח "פסאודו-לקסיטי"¹⁰. כדי להתגבר על המומנט שנוצר ועל תחושת חוסר היציבות, הגוף מגייס אסטרטגיה של כיווץ שרירים הגנתי בצד הפנימי, מדיאלי, של המפרק. כיווץ זה מגביר את הלחץ בצד הפנימי ומאריך את התהליך השחיקתי במדור המדיאלי של הברך.

הטיפול בגורמים ביומכאניים

לאור הידע המצטבר על הגורמים הביזמכאניים התורמים להחמרת המחלה, מושקעים מאמצי מחקר ופיתוח רבים למציאת פתרונות אשר יאפשרו לעצור ואולי אף להפוך את אותו מעגל מרושע. המחקר מחפש פתרונות אשר יאפשרו הורדת עומסים במשטח המפרקי הפגוע ושיקום/חזרה של התבניות השריריות לקדמותן. קיימים שני עקרונות טיפול ביומכאניים שאינם פולשניים המומלצים לטיפול במחלה.

סוג הטיפול הראשון הוא הפחתת עומסים מהמשטח המפרקי הפגוע באמצעות עזרים כדוגמת מדרסים ומייצבי ברכך¹⁷⁻²⁰. עקרון טיפול זה בא לסייע בהתמודדות עם העלייה במומנט האדוקטורי הפועל על מפרק הברך וגורם לעלייה בכאב.

עקרון הטיפול השני כולל אימון ותרגול של מערכת הבקרה העצבית-שרירית והוא מיועד לשפר את תפקוד השרירים הסובבים את מפרק הברך²¹. עקרון טיפולי זה נועד להתמודד עם השינויים במערכת העצבית-שרירית, הקשורים להידרדרות המחלה וכוללים, בין היתר, פגיעה בשליטה העצבית-שרירית, חולשת שרירים ופגיעה בתחושת היציבות של מפרק הברך. טיפולים המבוססים על שני עקרונות אלה הראו עד היום הצלחה מוגבלת מבחינה קלינית ולא נצפתה עדות לשינוי התבנית הביזמכאנית של המחלה. כמו כן, נכון להיום לא נעשה שילוב של שני עקרונות הטיפול. קיימות מספר השערות לגבי הסיבות להצלחה המוגבלת בטיפולים ביומכאניים עד היום. בכל הנוגע

המטופל, כך שהמטופל מבצע את התרגול בעודו כאוב, דבר המקשה על הלימוד המוטורי וייתכן שאף עלול להביא להטמעת תבניות מוטוריות קומפנסטוריות. מעבר לכך, התרגול במצב ניח אינו פונקציונלי (היינו, אינו מדמה את סביבתו ופעולתו של המטופל), מקשה על ביצוע רפיטציות רבות, כפי שנדרש בכל תרגול מוטורי ובנוסף, מקשה על היענות המטופל.

השאפה בתרגול מוטורי נכון היא לבצעו במנח ביומכאני שבו המטופל חווה כאב מופחת (ומשחרר כיווץ הגנתי ככל שניתן) במטלות המדמות תפקוד יומיומי, תוך נשיאת משקל, בשרשרת קינמטית סגורה ומאפשר חזרות מרובות²².

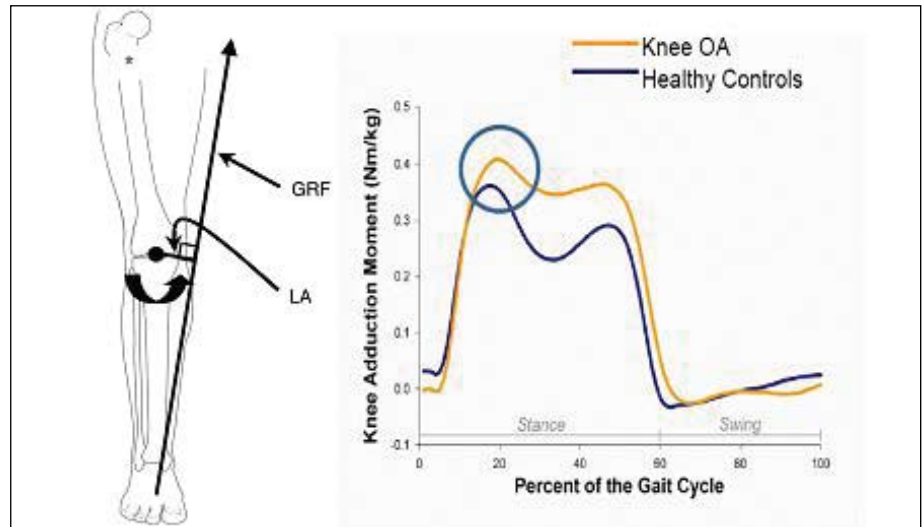
אפוסתרפיה

אפוסתרפיה היא שיטת טיפול שפותחה בישראל המשלבת את שני עקרונות השיקום המוכרים לעיל, הן הפחתת עומסים מהמשטח המפרקי²³⁻²⁴ והן אימון ותרגול של מערכת הבקרה העצבית-שרירית²⁵⁻²⁶. לאחר הבאת המטופל למנח הנכון עבורו, המטופל מבצע תרגול יומיומי תוך כדי הפעילות השגרתית בלי להקדיש מאמץ או מחשבה לכך. כך בעצם אפוסתרפיה מיישמת את עקרונות השיקום הפונקציונלי ומצליחה לשנות ולהטמיע תבניות תנועה רצויות למטופל, שיאפשרו לו הפחתה בכאב ושיפור התפקוד היומיומי.

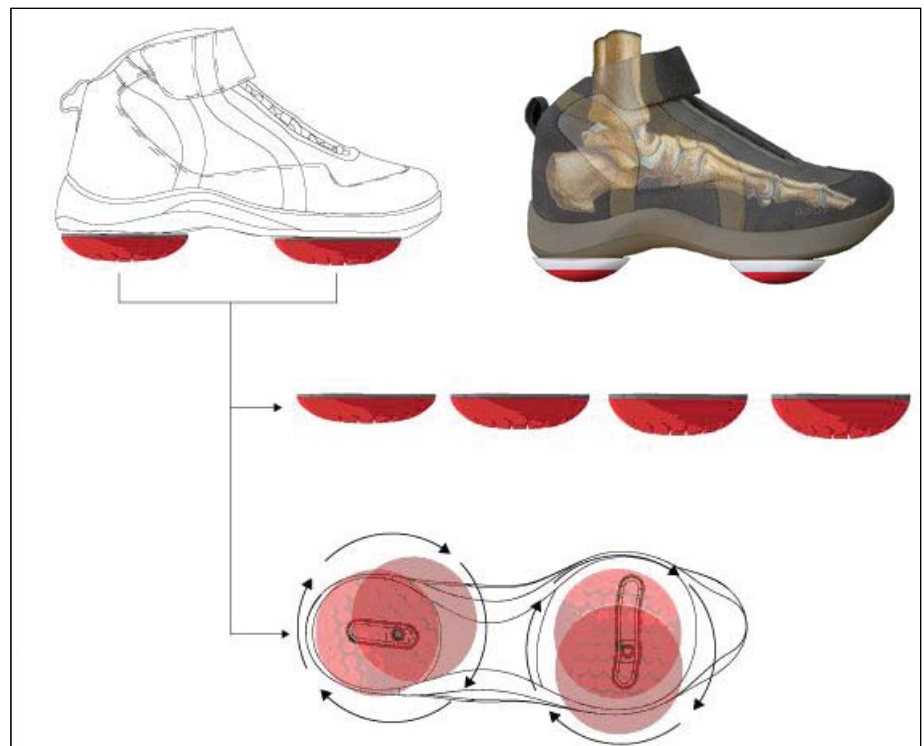
כפי שהוסבר לעיל, באוסטיאואריתריטיס של הברך יש פגיעה בשליטה העצבית שרירית וניכרת חולשת שרירים, חוסר יציבות של המפרק, פגיעה במבנים סביב המפרק ובמפרקים סמוכים וכן עלייה במומנט האדוקטורי. אפוסתרפיה מאפשרת חיזוק ושיפור תזמון השרירים הסובבים את הברך ומביאה לתחושת יציבות המפרק. כמו כן, התרגול נעשה במצב של נשיאת משקל בשרשרת קינמטית סגורה ולכן שינוי במפרק אחד ישפיע על המפרקים הסמוכים. חיים וחבריו הוכיחו במחקרם כי על ידי שינוי מרכז הלחץ, שנעשה באמצעות מערכת ההליכה של אפוס, ניתן להסיט את העומסים הפועלים על מפרק הברך ולהפחית את המומנט האדוקטורי²³, שלו קשר ישיר להתקדמות המחלה²⁷.

במחקר שנעשה במרכז הרפואי אסף הרופא על ידי בר זיו וחבריו²⁵ נבדקה ההשפעה של אפוסתרפיה על המדדים הקליניים של חולים הסובלים מאוסטיאואריתריטיס של מפרק הברך. המודל המחקרי היה מחקר קליני פרוספקטיבי, כפול סמיות, השוואתי. המחקר בחן את השינויים הקליניים אשר נמדדו באמצעות שאלונים (WOMAC, SF-36) ומבדקים פונקציונליים (Aggregated locomotor function) בשתי קבוצות טיפול, אשר טופלו במשך חודשיים. הקבוצה הראשונה קיבלה אפוסתרפיה והקבוצה השנייה קיבלה טיפול דמה הכולל את נעל ההליכה, ללא היחידות הביומכאניות והמתודולוגיה הטיפולית.

איור 1. (מומנט אדקטורי). המומנט האדקטורי הוא תוצאה של משקל הגוף המוחזר מהקרקע GRF (Ground reaction force) - והזרוע הנמתחת ממרכז הברך עד לקו הכוח (LA). עקומת מומנט אדקטורי של אנשים עם אוסטיאואריתריטיס של הברך מאופיינת בעליית גודלו של המומנט ובעלייה בשטח תחת גרף המומנט (Adductor moment impulse). הוצג על ידי Mali M 2007.



איור 2. מערכת ההליכה של אפוס. המערכת מורכבת משתי יחידות ביומכאניות קמורות המחוברות באמצעות שתי חטילות לסולייט נעל. ניתן לחבר את היחידות הביומכאניות בכל מיקום תחת הסוליה ולשלוט בגובהן (בכך לשלוט בהתערבות כל המישורים) ואף לשנות את קמירותן, גמישותן ומשקלן. כך שעל פי המתודולוגיה הטיפולית, יביאו את המטופל למנח הביומכאני הרצוי ויתרגלו את השליטה העצבית שרירית בכל שלבי הדרכה



המטופל. בנוגע לתרגול האקטיבי של המערכת העצבית-שרירית, עד היום התרגול נעשה על משטחים לא יציבים (Wobble board) ניידים. התרגול על המשטח הבלתי יציב אינו מאפשר לשלוט במנח הביומכאני (Alignment) של

למדורים ולמייצבי ברך, ההנחה היא שמדובר בשינויי סטטי של המפרק, אשר לא מוביל ללמידה מוטורית מחודשת. יש מחקרים המראים הפחתה בכוחות הפועלים על מפרק הברך, אולם אלה לא מלווים בהקלה סימפטומטית משמעותית של

הביומכאניים והמדדים הקליניים של אנשים עם אוסטיאואריתריטיס במרדור המדיאלי. כמו במחקריהם של בר-זיו²⁵ וחבריו ואלכו וחבריו²⁶, גם במקרה זה פותה משמעותית רמת הכאב המדווחת על ידי המטופלים והשתפר התפקוד. מעבר לזה, אפוסתרפיה הובילה לירידה משמעותית בגודלו של המומנט האדקטורי ובתקיפה (= אימפולס, אינטגרל הזמן והכוח של המומנט האדקטורי בזמן ההליכה). היינו, נצפה היפוך בתבנית הכוחות שנחשבים לגורמים מרכזיים בביומכאניקה של הידרדרות המחלה.

למיטב ידיעתנו, זו הפעם הראשונה שבה נמצא טיפול אשר משנה את תבנית המחלה ומוציא את המטופל מ"המעגל המרושע" שאליו נכנס.

לסיכום, הולכת ומתבססת העדות המחקרית לגבי יעילותה של אפוסתרפיה כטיפול הגורם להפחתה בכאב ולשיפור בתפקוד ובאיכות חיי של המטופל הסובל מאוסטיאואריתריטיס של הברך. כמו כן, נראה כי אפוסתרפיה מובילה לשיפור תבנית ההליכה והמשתנים הביומכאניים הקשורים לחומרת המחלה ולהמשך הידרדרותה.

ד"ר נמרוד רזון, מנהל המחלקה האורתופדית,
המרכז הרפואי העמק, עפולה, מנהל מחלקות
טראומה ואורתופדיה, מרכז רפואי זבולון, קרית

בקינמטיקה ובפעילות השרירים במנחים ובכיוונים שונים של מערכת אפוס באנשים בריאים²⁴⁻²³. שני מאמרים מציגים את ההשפעה של מערכת אפוס על המומנט האדקטורי²³ והמומנט הפלקטורי²⁴ הפועלים על הברך בזמן הליכה ומראים שניתן לשלוט על מיקום מרכז הלחץ ובכך להשפיע על מיקום וקטור הכוחות ביחס לברך ולשנות את העומסים הפועלים על הברך הן במישור הקורונאלי והן במישור הסגילי. ממצאים דומים נמצאו בבחינת השינויים בפעילות השרירים. הסטה של היחידות הביומכאניות מובילה לשינויים בפעילות השרירים הסובבים את מפרק הברך.

בשלב השני של המחקר נבחנו השינויים בקינמטיקה, בקינמטיקה ובפעילות השרירים באנשים עם אוסטיאואריתריטיס של הברך. גם באוכלוסייה זו נמצא כי מיקומים שונים של היחידות הביומכאניות מובילים לשינויים במרכז הלחץ. השינוי במרכז הלחץ גורם להסטה של וקטור הכוח ובכך משנה את העומסים והמומנטים הפועלים על הברך. באנשים עם אוסטיאואריתריטיס של הברך המאופייין במנח ואלגוס ובשחיקה מדיאלית נמצא כי הסטה מדיאלית של היחידות הביומכאניות הובילה לירידה של 16 אחוז בגודלו של המומנט האדקטורי, שהוחר קודם לכן כגורם משפיע על הידרדרות המחלה.

בהמשך למחקר זה נבחנה השפעת שלושה ותשעה חודשי אפוסתרפיה על המדדים

החוקרים דיווחו על שיפור משמעותי ברמת הכאב והתפקוד של החולים מקבוצת המחקר, כמו גם על שיפור באיכות החיים. לא נצפו שינויים משמעותיים במטופלים ששוּיכו לקבוצת הביקורת.

לאחרונה הציגו החוקרים תוצאות ראשוניות של מעקב בן שנתיים אחרי המטופלים. המטופלים מקבוצת המחקר שמרו על ערכי הכאב, התפקוד ואיכות החיים שנצפו לאחר חודשיים ואילו המטופלים מקבוצת הביקורת נותרו ללא שינוי. ממצאים דומים דווחו על ידי אלכו וחבריו²⁶ במחקר שבחן את ההשפעה של אפוסתרפיה על המדדים הקליניים של אנשים הסובלים מאוסטיאואריתריטיס של הברך. בנוסף לשיפור במודי הכאב, התפקוד ואיכות החיים, הציגו החוקרים את השינויים במודי ההליכה של המטופלים. המטופלים העלו את מהירות הליכתם, אורך הצעד ואת משך ה-Single Limb Support (התמיכה היחידנית, השלב שבו כל משקל הגוף נישא על ידי גפה אחת, בעוד הגפה השנייה מונפת לפני לקראת המגע הבא עם הקרקע) לאחר שלושה חודשי אפוסתרפיה.

בניסיון להעמיק את ההבנה של אפוסתרפיה באנשים הסובלים מאוסטיאואריתריטיס ואת ההשפעה שלה על המדדים הביומכאניים שצוינו בסקירת הספרות, נערך מחקר משותף בין הטכניון, המרכז הרפואי העמק והמרכז הרפואי תל אביב ע"ש סוראסקי. בשלב הראשון נבחנו השינויים בקינמטיקה,

.....[רשימה ביבליוגרפית].....

1. Hinman RS, Bennell K, Metcalf BR, Crossley K, Delayed onset of quadriceps activity and altered knee joint kinematics during stair stepping in individuals with knee osteoarthritis. Arch. Phys. Med. Rehabil. 2002; 83: 1080-1086.
2. Hurly M, The role of muscle weakness in the pathogenesis of osteoarthritis. Rheum. Dis. Clin. North. Am. 1999; 25 (2): 283- 298.
3. Hurly M. Muscle dysfunction and effective rehabilitation of knee osteoarthritis: What we know and what we need to find out. Arthritis & rheumatism. 2003; 49 (3): 444-452.
4. O'reilly S, Jones A' Doherty M. Muscle weakness in osteoarthritis. Curr. Opin. Rheum. 1997; 9: 259- 262.
5. Robertson S, Frost H, Doll H, O'Connor J. Leg extensor power and quadriceps strength: an assessment of repeatability in patients with osteoarthritis. Clin. Rehab. 1998; 12: 120-126.
6. Slemenda C, Brandt KD, Heilman DK, Mazza S, Braunstein EM, Wolinsky FD. Quadriceps weakness and osteoarthritis of the knee. Ann. Int. Med. 1997; 127 (2) 97-104.
7. Hortobagyi T, Garry J, Holbert D, Devita P. Aberrations in the control of quadriceps muscle force in patients with knee osteoarthritis. Arthritis. Rheum. 2004; 51 (4) 526-529.
8. Childs JD, Sparto PJ, Fitzgerald K, Bizzini M, Irrgang J. Alternation in lower extremity movement and muscle activation patterns in individuals with knee osteoarthritis. Clin. Biomechanics. 2004; 19: 44-49.
9. Lewek MD, Ramsey DK, Snyder- Mackler L, Rudolph KS. Knee stabilization in patients with medial compartment knee osteoarthritis. Arthritis & Rheumatism 2005; 52 (9) 2845-2853.
10. Lewek M, Rudolph K, Snyder- Mackler L. Control of frontal plane knee laxity during gait in patients with medial compartment knee osteoarthritis. Osteoarthritis & Cartilage 2004; 12: 745-751.
11. Fitzgerald GK, Piva SR, Irrgang J. Reports of joint instability in knee osteoarthritis: It's prevalence and relationship to physical function. Arthritis & Rheumatology 2004; 51 (6): 941-946.
12. Steultjens MP, Dekker J, Van Baar ME, Ostendorp RA, Bijlsma JW. Range of joint motion and disability in patients with osteoarthritis of the knee and hip. Rheumatol 2000; 39 (9) 955-961.
13. Toda Y, Tsukimura N. A six- month follow-up of a randomized trial comparing the efficacy of a lateral wedge insole with subtalar strapping and an in shoe lateral wedge insole in patients with varus deformity osteoarthritis of the knee. Arthritis &

- Rheumatism 2004; 50: 3129-3136.
14. Hortobagyi T, Westerkamp L, Beam S, Moody J, Garry J, Holbert D, DeVita P. Altered hamstrings- quadriceps muscle balance in patients with knee osteoarthritis. Clinical Biomechanics. 2005; 20: 97-104.
15. Baliunas A, Ryals AR, Hurwitz DE, Kerrar A, Andriacchi TP. Gait adaptations associated with early radiographic tibiofemoral knee osteoarthritis. In: 46 th Annual Meeting Orthopedic Research Society. 2000; p. 260.
16. Hurwitz DE, Ryals AB, Case JP, Block JA, Andriacchi TP. The knee adduction moment during gait in subjects with knee osteoarthritis is more closely correlated with static alignment than radiographic disease severity, toe out angle and pain. J Orthopedic Research. 2002; 20: 101-107.
17. Maly MR, Culham EG, Costigan PA. Static and dynamic biomechanics of foot orthoses in people with medial compartment knee osteoarthritis. Clinical Biomechanics (Bristol, Avon) 2002;17:603-10.
18. Horlick S, Loomer R. Valgus bracing for medial gonarthrosis. Clinical Journal of Sport Medicine 1993;3:251-5.
19. Brouwer RW, Jakma TS, Verhagen AP, Verhaar JA, Bierma-Zeinstra SM. Braces and orthoses for treating osteoarthritis of the knee. Cochrane Database of Systematic Reviews 2005;(1):CD004020.
20. Pollo F. Bracing and heel wedging for unicompartmental osteoarthritis of the knee. American Journal of Surgery 1998;114:47-50.
21. Fitzgerald GK. Therapeutic exercise for knee osteoarthritis: considering factors that may influence outcome. Europa Medicophysica 2005;41:163-71.
22. Schmidt RA. Motor learning practice: from principles to practice. Champaign (Ill) Human Kinetics 1991:199-225
23. Haim A, Rozen N, Dekel S, et al. Control of knee coronal plane moment via modulation of center of pressure: a prospective gait analysis study. J Biomech. 2008 20;41(14):3010-6.
24. Haim A, Rozen N, Wolf A. The influence of sagittal center of pressure offset on gait kinematics and kinetics. J Biomech. 2010 22;43(5):969-77.
25. Bar-Ziv Y, Beer Y, Ran Y, et al. A treatment applying a biomechanical device to the feet of patients with knee osteoarthritis results in reduced pain and improved function: a prospective controlled study. BMC Musculoskelet Disord. 2010;11:179.
26. Elbaz A, Mor A, Segal G, et al. APOS therapy improves clinical measurements and gait in patients with knee osteoarthritis. Clin Biomech. 2010;25(9):920-5.
27. Block JA, Shakoor N. Lower limb osteoarthritis: biomechanical alterations and implications for therapy. Curr Op Rheum. 2010, 22:544-550.