

השפעת פעילות גופנית על מבנה גיד הפיקה בקרב ילדים ומתבגרים עם השמנת יתר ועודף משקל לעומת ילדים במשקל תקין

ליאב אלבז,¹ דני נמט,^{3,2} אלון אליקים,^{3,2} מיכל פנטלוביץ',^{3,2,1} אביבה זאב,¹

ענת שער,¹ נילי שטיינברג¹

¹המרכז האקדמי לוינסקי-וינגייט

²מרכז רפואי מאיר

³אוניברסיטת תל אביב

תקציר

בשנים האחרונות התרחבה תופעת ההשמנה בקרב ילדים. עם עליית המשקל, הגידים של הגפיים התחתונים חשופים לעומס גבוה מהרגיל, שעשוי להוביל לחולל בהם שינויים מבניים. פעילות גופנית יכולה להיות פתרון טוב ויעיל להורדה במשקל, אך יש לנקוט זהירות באופן הפעילות, בכמות ובעומס המופעל על מבנים אלו. מטרת המחקר היא להשוות את מבנה גיד הפיקה בין ילדים עם השמנת יתר ומשקל עודף לילדים במשקל תקין. נבדקו 76 ילדים בגילים 7–15 שנים ממרכז הארץ. 32 ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל, המתאמנים פעמיים בשבוע במסגרת תוכנית מעקב במרכז הספורט של בית החולים מאיר; 44 ילדים במשקל תקין, המתאמנים פעמיים בשבוע בחוגי ספורט לא תחרותיים. נערכה בדיקת מעקב המשווה את הרכב הגיד בעזרת מכשיר האולטרסאונד (UTC) (נבדקו הרכב ומבנה הסיבים הקולגניים, אורכו ורוחבו של הגיד). הבדיקות התבצעו בתחילת המחקר, לאחר 12 שבועות ולאחר 24 שבועות מהבדיקה הראשונה. נבחנו מדדי כושר גופני בשלושת מועדי הבדיקה. בעזרת שאלונים נאמד נפח הפעילות השבועית של כל משתתף ומדד הכאב (VAS) שכל משתתף חש בברכיים במהלך החודש האחרון באותו מועד בדיקה. נמצאו הבדלים במבנה הגיד בין שתי הקבוצות כבר לאחר תקופת מעקב של 12 שבועות. המסקנה עיקרית היא כי אחוז גבוה של סיבים מסוג echo-type III, המעיד על שינויי מבנה בגיד הפיקה בילדים עם עודף משקל, במיוחד כתוצאה מפעילות גופנית, עלול להציב את אוכלוסיית הילדים עם השמנת יתר ועודף משקל בסיכון גבוה לפציעות.

תאריכים: גיד הפיקה, מכשיר אולטרסאונד (UTC), אחוזון BMI, סיבים קולגניים, ילדים עם

השמנת יתר ועודף משקל

בעשורים האחרונים חלה עלייה משמעותית בשכיחות ההשמנה בקרב ילדים. בעבר ילד עם עודף משקל נחשב לילד בריא, והמושג "גדול יותר - בריא יותר" נתפס כחיובי ברחבי העולם (Dietz, 1998). כיום סברה זו נזנחה לנוכח ממצאי מחקרים המראים כי אוכלוסיית הילדים עם עודף המשקל סובלת מסיבוכי בריאות רבים ושונים, המהווים גורם סיכון עתידי ובסופו של דבר עלולים לגרום למוות בגיל צעיר (אליקים, 1999; נמט ואח', 1999). הגורמים לעלייה הניכרת בשכיחות ההשמנה אינם ברורים דיים, אולם הם ללא ספק קשורים לפער בין הצריכה הקלורית להוצאה האנרגטית. באופן מפתיע, פרסומים מהשנים האחרונות מצביעים על כך שלא חלה עלייה משמעותית בסך הצריכה הקלורית הכוללת בקרב ילדים ומתבגרים. מכאן נובע שהעלייה בשכיחות ההשמנה עשויה לנבוע בעיקר מירידה בפעילות גופנית (אליקים ונמט, 2008). המרכז לבקרה ולמניעת מחלות בארצות הברית (Centers for Disease Control and Prevention, growth charts for the United States 2000) מגדיר השמנת יתר בילדים הנמצאים באחוזון $BMI \leq 95$, ילדים עם סיכון לעודף משקל המוגדרים בטווח אחוזון $BMI < 95$ וילדים במשקל תקין המוגדרים באחוזון $BMI > 85$ (Ram et al., 2013).

מבנה ותפקיד גיד בריא

תפקידו העיקרי של הגיד, המהווה חלק בלתי נפרד ממערכת התנועה, הוא לחבר בין השריר לעצם ולהעביר ביניהם כוחות המסוגלים לייצר תנועה במפרקים. הגידים חזקים יותר משרירים, והם מושפעים ממתחות ומכוחות דחיסה גבוהים. הגידים נושאי המשקל מסוגלים לשאת פי 17 ממשקל הגוף. גידים בנויים בעיקר מסיבים קולגניים (collagen) המסודרים באופן מקביל וצפוף לאורכם, עם מספר נמוך יחסית של תאי פיברובלאסט (fibroblasts). 95% מהרכב הגיד הם סיבי קולגן מסוג I echo-type, המאורגנים כאגדים ראשוניים (fascicles) העטופים ברקמת חיבור. בכל אגד ראשוני נמצאים גם פיברוציטים (Fibrocyte, תאי Fibroblast בוגרים), הערוכים בשורות מסודרות עם מעט ציטופלזמה ביניהם (נוזל התא). האגדים הראשוניים יוצרים יחד אגדים שניוניים, שגם הם עטופים ברקמת חיבור. הגיד כולו עטוף ברקמת חיבור צפופה יותר (Heinemeier & Kjaer, 2011). כוחו של הגיד תלוי במספר, בגודל ובכיוון סיבי הקולגן המרכיבים אותו. הוא מושפע מהעובי ומהסידור הפנימי של הסיבים בגיד. סיבים קולגניים מסודרים בדפוסים שונים. בגידים, במקום שבו המתח פועל בכל הכיוונים, אגדי הסיבים מסודרים ללא כיוון מוגדר, וכך גם רקמות החיבור העוטפות את האגדים (Maffulli et al., 2005). כשם שגידים נחוצים להיווצרות תנועה, תנועה נחוצה על מנת לשמר את תפקודם של הגידים. הקשר בין תאי פיברובלאסט לבין החומר החוץ תאי מאפשר לתאים לחוש ולהגיב לגירויים מכניים כגון עומסים הפועלים על הגיד. קשר זה מאפשר גם לרקמת החיבור של הגיד לחוש בשינויים הנוצרים ולהסתגל אליהם, בהתאם לעומסים המכניים הפועלים על הגיד (Heinemeier & Kjaer, 2011). מחקרים רבים טוענים כי פעילות לאורך זמן משפרת את תכונות המתיחה המכניות של הגיד ברכיבים הפנימיים שלו, ומייצרת השפעות חיוביות בהשוואה למצב של חוסר פעילות. בתגובה לאימונים דווח על גידול בנוקשות ובכוח המרבי של הגיד. השינויים הביומכניים

והמבניים משפיעים גם על גידול בסיבים הקולגניים ובהתאם על תפקוד הגיד (Maffulli et al., 2005).

מה בין פעילות גופנית לשינויים מבניים בגיד

במהלך ארבעת העשורים האחרונים הפכה פעילות גופנית למשמעותית ביותר במדינות מודרניות. ספורט תחרותי ומקצועי החל לקבל תשומת לב תקשורתית רבה ובכך הביא לעלייה בדרישות הביצוע בספורט. תהליך זה מלווה בגידול הסיכון לפציעות ספורט, במיוחד פציעות של עומס ושימוש יתר בעקבות אימונים אינטנסיביים וארוכים. בעבר היה ספורט נחלת הצעירים, אולם כתוצאה מעבודות יושבניות יותר ופחות פיזיות, שעות עבודה קצרות ועודף שעות פנאי, הספורט היום פונה לכלל האוכלוסייה ולשכבות גיל מגוונות הן בתחום החובבני והן בתחום התחרותי. בהתאם, גם פציעות בגיד הפכו לנפוצות יותר (Maffulli et al., 2005). הפתולוגיה בגין פציעות אלה היא לרוב דלקות בגיד (Tendinosis) וניוון סיבי הקולגן (Maffulli et al., 2005). עומס גורם לשינוי אנבולי (Anabolic) (תהליך בניית עצם) ולשינוי קטבולי (Catabolic) (תהליך פירוק עצם). העומס הפועל על הגיד מבחינת עוצמה, תדירות ואינטנסיביות אינו לגמרי ברור, אולם ידוע כי נדרש זמן מנוחה בין הפעלת עומסים על מנת לאפשר לגיד זמן הסתגלות. אם כן, זמן ותדירות הפעילות הם קריטריונים מהותיים ביכולת ההסתגלות של גיד בריא. יכולת ההסתגלות של הגיד לעומס נעה על פני רצף של מספר שלבים: (1) גיד המשוך לתסמיני דלקתיות; (2) גיד פגוע שאינו מצליח להירפא; (3) גיד מנוון. שלושת השלבים הם כאמור רציפים והמשכיים. הוספה או הפחתה בעומס, במיוחד בשלבים הראשונים, קובעת את דרגת הפגיעה או אי-הפגיעה בגיד על רצף שלושת השלבים. הפחתת עומס יכולה להיטיב עם הגיד ולאפשר לו לחזור למצבו התקין (Cook & Purdam, 2009). עומס יכול להשפיע על הגיד בצורה חיובית או שלילית. כלומר, בעומס סביר יכולת ההסתגלות הגיד משנה את מבנהו ומאפשרת לו לשאת בעומסים כבדים, בעוד שעומס רב גורם לגיד להיפגע או מביא להופעת תסמינים דלקתיים או ניווניים (Docking & Cook, 2016). שכיחות הפציעות נובעת מכך שבמהלך פעילות גופנית מופעלים על הגיד עומסי כוח ומתח ומעלים את הסיכון לפציעות. הגיד מהווה בולם זעזועים, והוא מעכב את האנרגיה האלסטית הנוצרת כתוצאה מהכוחות שהגוף מפעיל על הקרקע ובחזרה. הגידים שחשופים יותר לדלקות או לפציעות, הם הגידים נושאי המשקל, אלה הנמצאים בחלקו התחתון של הגוף, יותר מאשר הגידים הנמצאים בחלקו העליון של הגוף (Maffulli et al., 2005). פציעות של שימוש יתר ועומס יתר נגרמות בעקבות קרעים מיקרו-טראומטיים חוזרים ונשנים, והן יוצרות שינויים באזורי חתך הרוחב של סיבי הקולגן והחומר החוץ תאי. כאשר העומסים גבוהים ויכולת ההסתגלות חריגה נוצרים שינויים ניווניים ואי-סדר בגידים (Maffulli et al., 2005).

השמנה ופעילות גופנית כגורם לשינויים מבניים בגיד

עד היום הייתה הדעה הרווחת כי הגורם לשינויים מבניים הוא שימוש יתר ועומס יתר שהופעלו על הגיד. מעט מאוד מחקרים עסקו בשאלה אם להשמנה יש השפעה על שינויי מבנה הגיד. רקמות שומן נוטות לשחרר חומרי דלקת (כגון IL-6, TNF- α) הגורמים לתגובה דלקתית. חומרים אלו נמצאו גבוהים במיוחד בקרב אוכלוסייה עם עודפי משקל והם גורמים לתהליכי שינוי מבנה, בעיקר בגידים

שעליהם מופעל עומס גבוה בעת פעילות גופנית (כגון Achilles tendinopathy and Patellar tendinopathy) (Castro et al., 2016). במחקרם של ווירינג ואח' (Wearing et al., 2013) נבחן תפקודו המכני של גיד אכילס בתגובה לפעילות גופנית באוכלוסיות עם עודף משקל והשמנת יתר בהשוואה לאוכלוסיות עם משקל תקין. עשרים גברים בריאים חולקו לשתי קבוצות, בעלי משקל נמוך ($BMI 23 \text{ kg m}^{-2}$) ובעלי משקל גבוה ($BMI > 27.5 \text{ kg m}^{-2}$). הרכב המבנה של גיד אכילס נמדד לפני ומיד אחרי הפעילות הגופנית. החוקרים מדדו את עובי הגיד ומצאו כי לפני ואחרי הפעילות הגופנית היה הגיד עבה יותר בקבוצת הגברים בעלי המשקל העודף לעומת הגברים בעלי המשקל התקין. לעומת זאת, תגובת הסיבים הרוחביים של הגיד לאחר אימון הייתה פחותה בכ-20% בקבוצת בעלי עודף המשקל בהשוואה לקבוצת בעלי המשקל התקין. תגובה זו של סיבים רוחביים לפעילות גופנית תואמת את הירידה בעובי הגיד ואת הירידה בכמות המים המתרחשות במצב של עומס יתר על הגיד, וכן משקפת את תנודות הנוזל הנמצא בגיד בעקבות העומסים הפועלים על סיבי הקולגן. ממצאים אלה מראים כי השמנה היא גורם נוסף לשינויים מבניים של הגיד הנובעים מפעילות גופנית ומהפעלת עומס על הגיד (Wearing et al., 2013). הממצאים הללו מתייחסים לגיד אכילס שכן לא רבות נחקר בנושא גיד הפיקה בקרב מבוגרים בכלל ובקרב ילדים בפרט.

השפעת פעילות גופנית על התאמה מבנית בגיד אכילס אצל מבוגרים עם השמנת יתר ועודף משקל

בקרב רצים מקצועיים עומס יתר בגיד אכילס הוא עניין שכיח. לפי היינמר וקז'אר (Heinemeier & Kjaer, 2011) אחד מבין שני רצים מקצועיים יחוו דלקת בגיד לפני גיל 45, בהשוואה לאחד מבין עשרה אנשים באוכלוסייה (Abate et al., 2012). שכיחות גבוהה זו ניתנת להסבר לנוכח הלחץ החוזר וגובר על גידי הגפיים התחתונים כתוצאה משימוש יתר (Abate et al., 2012). שכיחות דלקות בגיד בקרב רצים חובבנים שמנים אינה ידועה מספיק. ולכן, בעזרת מכשיר אולטרסאונד נבחנו ההבדלים בשינויים המבניים בגיד אכילס בין רצים חובבנים רזים ושמנים לבין אנשים שאינם עושים פעילות גופנית. על רצים במשקל תקין השפיעה הריצה בצורה חיובית בתפקוד הגיד. העומס המכני שבו גבר תהליך בניית העצם על תהליך פירוק העצם, היה ברמה סבירה ושומר על הרכב הסיבים של הגיד, כך שלאחר תקופת אימון ממושכת של מספר חודשים, אזור הגיד התחזק והתעבה והגיד אף הוא התחזק. ברצים שמנים לעומת זאת נמצא כי כשסיבי קולגן נמתחים מעבר ליכולת הגיד, בעומס יתר, תגובת הגיד משתנה מיעילה לניוונית. באנשים עם עודף משקל, כשהמטבוליזם עולה, ישנה תופעה של צבירת מים ונפיחויות. לכן בזמן מתיחה, כשהעומס על הגיד הוא מעבר ליכולתו לשאת, כלומר עומס גבוה, תהליכי הפירוק (Catabolism) גוברים, והתוצאה היא הופעת תסמינים של שינויי מבנה בגיד. באנשים שמנים רקמת השומן משחררת פפטידים אחדים (שרשרת קצרה של חומצת אמינו), המשפיעים במישרין על מבנה הגיד. חומרים אלו עלולים להוות גורמים מעכבים וליצור שינויים במבנה הגיד. הממצאים הנוגעים להשפעתו של עודף משקל מדויקים יותר כאשר נבדק גיד עם עומס לעומת גיד ללא עומס. בריצה, העומס על הגיד הוא פי שמונה ממשקל הגוף, לכן כל תוספת משקל היא משמעותית בהשפעתה על הגיד. ממצאי המחקר מראים כי גיל ומשקל עודף מהווים קריטריון מרכזי בשינויי מבנה של גיד אכילס (Abate et al., 2012).

פעילות גופנית בילדים עם השמנת יתר

ילדים הם אינם מבוגרים קטנים. הם מפתחים דרגות נמוכות של כוח בשריר בצורה איטית יותר בהשוואה למבוגרים. אימון התנגדות אומנם אמור למנוע את ההבדלים הללו, אך בילדים חייבת להתרחש הסתגלות בו זמנית של הגיד על מנת לוודא כי כוחות ימשיכו להגיע אל השלד במינימום סיכון לפציעות. אף שאימוני התנגדות קצרי טווח אינם בהכרח משפיעים על היפרטרופיה (גידול השריר) בילדים לפני גיל ההתבגרות, נמצא כי חלו שינויים מבניים של הגיד באימוני התנגדות במשך עשרה שבועות, פעמיים בשבוע (Waugh et al., 2014). בפעם הראשונה נמצא כי אימוני כוח יכולים להגדיל את הקשיחות של הגיד אצל ילדים. התהליך מתרחש בזמן כיווץ השריר. חיישני הגולג'י הנמצאים בשריר (ומתריעים על כיווץ יתר) מושפעים מכיווצו ומאורכו. ככל שהשריר מכווץ יותר, השפעת חיישני הגולג'י גדולה יותר. מחקרים נוספים נדרשים על מנת לקבוע אם השינויים בכיווץ הגיד מושפעים מהשינויים באימוני מתיחות אצל ילדים (Waugh et al., 2014). בקרב תלמידי בית ספר תיכון נמצא כי אתלטים העוסקים בספורט תחרותי בענפים הדורשים ריצה וקפיצות, כמו בענפי הכדורגל, כדור עף וכדורסל, חשופים יותר לפציעות באזור הגיד (Nelson et al., 2007). ילדים לעומת מבוגרים חשופים ורגישים יותר לפציעות בגידים נושאי המשקל, ולכן יכולות להיות מספר סיבות פיזיולוגיות, כגון, שטח פנים בילדים קטן ביחס למסת הגוף, מבנה פיזיולוגי בשל פחות ולכן רגיש יותר, וכן ייתכן שילדים הם בעלי כישורים מוטוריים מפותחים פחות ביחס למבוגרים, תהליך המתבשל בשלב ההתבגרות ולאחריה. כתוצאה מכך, הרגישות לפציעות באזורי הגידים, במיוחד נושאי המשקל, גבוהה בהשוואה למבוגרים (Adirim & Cheng, 2003). פציעות בקרב ילדים נמצאו גם בענפי ספורט שבהם תדירות ואינטנסיביות האימונים משפיעות על מבנה השלד שטרם התפתח לבשלות מלאה. עומסים חוזרים ונשנים ניתן למצוא בענפי ספורט כמו בהתעמלות קרקע ובענף האתלטיקה (Difiori, 1999). פעילות גופנית מומלצת מאוד על מנת לעכב תופעות השמנה ולעזור בהתמודדות עם תופעות אחרות הנגרמות מהשמנה, אולם נדרשת זהירות על מנת לא ליצור עומסי יתר במיוחד בגידים נושאי המשקל. דרושות זהירות יתר, הדרגתיות, פעילות לא מוגזמת, בחירת ספורט עם מעט השפעה על הגידים, כמו שחייה או רכיבה, וכמובן התאמה אישית למתאמן ולרמת העומס המופעלת על גופו (Abate, 2014). קיימים הבדלים ביומכניים המתרחשים אצל ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל לעומת ילדים במשקל תקין (לפירוט שינויים אלו, ראו אלבו ואח', 2022). פעילות גופנית אצל ילדים גורמת לתהליך של בניית עצם, גדילת שרירים והתפתחות פיזיולוגית באמצעות הורמון הגדילה GH אינסולין. הפרשת ה-GH במנוחה ובמהלך פעילות גופנית משתנה עם הגיל ועם שלב ההתבגרות, אולם היא יכולה להיות מושפעת בצורה שלילית כתוצאה מהיפרליפידמיה – עודף ליפידים בדם או בעקבות השמנה בשלב הגדילה, מצב שכיח בקרב מתבגרים (Kubo et al., 2014; Mueller et al., 2016). מאמרים רבים נכתבו על אודות מבוגרים שמנים ועל השפעת ההשמנה והפעילות גופנית על מבנה הגיד, אולם לא מספיק מאמרים הוצגו בהקשר של ילדים. במשך שנים נעשה שימוש במכשיר אולטרסאונד קונבנציונלי (US) שעזר בזיהוי שינויים מבניים בגיד. אולם עם הזמן התגלו מספר חסרונות בשימוש במכשיר זה. ברפואה התפתחה שיטת בדיקה בעזרת מכשיר חדש (Ultrasound Tissue UTC)

Characterization) עבור בחינת מבנה והרכב הגיד. (לפירוט נרחב של חסרונות מכשיר האולטרסאונד הקונבנציונלי ויתרונות מכשיר האולטרסאונד החדש כמו גם צורת השימוש בו (ראו מאמרם של אלבו ואח', 2022).

מטרת המחקר

השפעת פעילות גופנית על מבנה גיד הפיקה (Patellar tendon) במהלך 24 שבועות בקרב ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל לעומת ילדים עם משקל תקין.

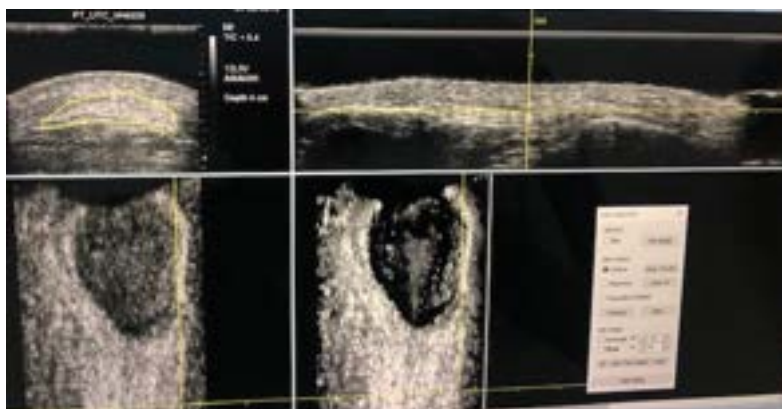
שיטה

במחקר לקחו חלק 76 משתתפים בני 7-15 שנים, חלקם טרום גיל בגרות ממרכז הארץ. כל המשתתפים התבקשו לחתום על טופס הסכמה. מכיוון שמדובר בקטינים, כל הורה חתם על טופס הסכמה המאושר על ידי ועדת הלסינקי, זאת לאחר שהוסבר להורה ולילד במה כרוכה השתתפות הילד, וכי לא נשקפות לו כל סכנות בשל ההשתתפות. בנוסף כל ילד חתם על טופס הסכמה המיועד לילדים מעל גיל 7. המשתתפים חולקו לשתי קבוצות בדיקה: **הקבוצה הראשונה** כללה 32 ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל, המגיעים פעמיים בשבוע לאימונים במרכז הספורט הרפואי של בית החולים "מאיר" במסגרת תוכנית התערבות של המרכז. ילדים אלו והוריהם מקבלים ייעוץ תזונתי מתזונאית מוסמכת שש פעמים במהלך תקופה של כחצי שנה. הפגישות נסבות סביב הסיבות להשמנה, הרגלי האכילה בבית וחשיפה להרגלים בריאים יותר, כמו פירמידת המזון, הבנת המוטיבציה והרצון לרזות וניסיון לגייס את כל המשפחה לאורח חיים בריא. האימונים הפיזיים נערכים פעמיים בשבוע, שעה כל פעם, בתוכנית אימונים בהובלת מאמנים מוסמכים. כל אימון מתחיל ב-10 דקות חימום, תרגילי מתיחות וגמישות, שיפור יכולת שיווי משקל, קואורדינציה ויכולת אירובית. בכל שיעור הילדים רצים בין 5-10 דקות. דרגות הקושי של השיעורים מועלות בהתאם, תוך שימוש במשחקי ספורט שונים על מנת להעלות את המוטיבציה לפעול ולשחק. כדי לעודד את הפעילות מחוץ לשעות המרכז, הילדים מתבקשים לבצע הליכות של 30-45 דקות לפחות פעם בשבוע. **הקבוצה השנייה** כללה 44 ילדים בעלי משקל תקין ממרכז הארץ, העוסקים בפעילות גופנית פעם או פעמיים בשבוע בחוגי ספורט לא תחרותיים (כגון, מחול, כדורסל, כדורגל). כדי לעקוב אחר הפעילות השבועית של כל המשתתפים וכדי לכמת אותה חולק שאלון פירוט שבועי שבו מילאו הילדים פרטים הנוגעים לאופן פעילותם השבועית (Godin, 2011) (נספח א'). בוצעה בדיקת מעקב אחר הרכב הסיבים בגיד בין שתי קבוצות המחקר בשלושה מועדים שונים, בתחילת המחקר, לאחר 12 שבועות ולאחר 24 שבועות. במקביל נבחנו מדדי כושר גופני כגון יכולת אירובית, ריצה של 10 דקות, יכולות אנאירוביות, כוח מתפרץ בעזרת מבחן זריזות וכן קפיצה לרוחק ולגובה מהמקום, בשלושת מועדי הבדיקה. בעזרת שאלון מדד כאב (VAS) נשאל כל משתתף על רמת הכאב שהוא חש בברכיים במהלך החודש האחרון (נספח ב'). נאספו נתונים בסיסיים מכל משתתף כגון פרטים על בריאותו הכללית, נתוני גיל, משקל, גובה, חושב אחוזון BMI וכן דיווח עצמי על דרגת ההתבגרות המינית לבנות (סולס Tanner) (Falciglia et al., 2016).

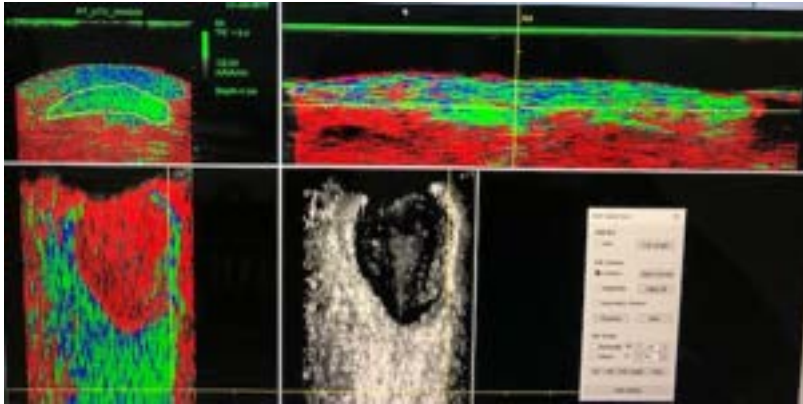
בדיקת גיד הפיקה בעזרת מכשיר אולטרסאונד (UTC - imaging)
בעזרת מכשיר האולטרסאונד התבצעה סריקת הגיד (תמונות 1, 2א, 2ב, ג2).
נבחנו ארבעת סוגי הסיבים הקולגניים המרכיבים את הגיד ונמדדו אחוזיהם (לתיאור
מכשיר האולטרסאונד UTC - Ultrasound Tissue Characterization, ראו אלבו
ואח' (2022)).



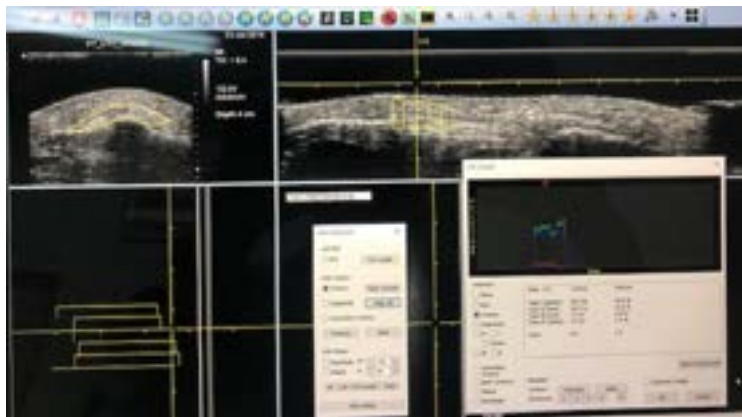
תמונה 1. סריקת גיד הפיקה של רגל שמאל



תמונה 2א. גיד הפיקה. ניתן לראות חתך אופקי (למעלה משמאל), חתך סגיטאלי (למעלה מימין)
ואת עצם הפטלה ועצם הטיביה כשביניהן גיד הפיקה, חתך קורונרי (למטה משמאל) העיגול
האליפטי הוא עצם הפטלה. ותמונה תלת-ממדית (3D) של מבט קורונרי (למטה מימין)



תמונה 21. סריקות גיד הפיקה וחלוקה לארבעת סיבי הקולגן - echo-type I, II, III, IV. את הגיד נתן לראות בבירור מסומן מצד שמאל בקו צהוב כשרובו עם סיבים מסוג I echo-type הסיבים הירוקים הבריאים, ומקצתו סיבים מסוג II echo-type סיבים כחולים. (להסבר על ארבעת סוגי הסיבים ראו מאמרם של אלבו ואח', 2022).



תמונה 22. ניתוח סריקות גיד הפיקה, חלוקה לחמש קונטרות ולאחוזי הסיבים echo-type I, II, III, IV

בדיקת האולטרסאונד ארכה עד כ-10 דקות. סריקת ה-US ארכה 45 שניות והתבצעה פעמיים בכל מועד בדיקה (PT_LT) (de Vos et al., 2011). לצורך בדיקת הגיד הנבדקים ישבו על קצה המיטה. הברך הנבדקת כופפה בזווית של 60 מעלות לערך. כף הרגל כולה (גם העקב וגם הבהונות) הונחה על דרגש. ג'ל נמרח על העור ועל מכשיר הסריקה על מנת למקסם את חדירת גלי הקול ואת המגע עם העור. מכשיר המעקב הונח על עצם הפיקה. הסריקה התבצעה בין עצם הפיקה לעצם ה-Tibialis.

יכולת אירובית

בדיקת מרחק ריצה ב-10 דקות – הנבדקים רצו או הלכו במשך עשר דקות על מסילה בקצב ריצה המותאם ליכולתם. מרחק הריצה או ההליכה נרשם (Steinberg et al., 2016).

ריצת הלוח ושוב (10X4 מ', הלוח חזור)

הנבדקים רצו מקו מסומן וממצב עמידה במלוא המהירות לעבר קו נוסף המרוחק 10 מטרים מהראשון, הרימו בידיהם קונוס, רצו בחזרה אל קו הזינוק, שם הניחו (לא זרקו) את הקונוס מעברו השני של הקו וחזרו על התרגיל פעם נוספת. בסיומו לא הניחו את הקונוס, אלא עברו את קו הזינוק (שהוא כעת קו הסיום) במלוא המהירות. בכל פעם התאפשרו שני ניסיונות והזמן הטוב שביניהם נרשם. אם נשמת הקונוס בזמן הריצה, ניתן לנבדק ניסיון נוסף לאחר מנוחה של עשר דקות (Latorre et al., 2017; Meckel et al., 2009).

בדיקת קפיצה לגובה ולרוחק מהמקום

במבחן הקפיצה לגובה מהמקום הודבק סרט מדידה לאורך הקיר. הנבדקים ניתרו בצמוד לקיר מנקודת מוצא התחלתית של שתי רגליים על הקרקע, והושיטו את היד הכי גבוה שיכלו בזמן הקפיצה. כל נבדק ביצע בשלב המבדק שלוש קפיצות מהמקום. הקפיצה הגבוהה ביותר מבין השלוש נבחרה כביצוע הטוב ביותר (Becker & Smith, 2015). במבחן הקפיצה לרוחק מהמקום היה על הנבדקים לעמוד בשתי רגליים על הקו המסומן ולקפוץ קדימה. הם התבקשו לקפוץ הכי רחוק מהקו המסומן. ככל שהמרחק מהקו היה רחוק יותר, כך הייתה הקפיצה משמעותית יותר. הסימון התבצע בחלק של העקבים (Vanrenterghem et al., 2004) (תמונה 3).



תמונה 3. מבחן יכולת ניתור קפיצה לרוחק מהמקום

ניתוח נתונים

חושב גודל מדגם של 40 ילדים בכל קבוצה $\alpha = 0.05$ ו $\beta - 1 = 0.7$, בכדי לגלות הבדלים בעלי גודל אפקט של $0.5 \leq$. הושוו האחוזים של ארבעת סוגי הסיבים בעזרת ניתוח שונות עם מדידות חוזרות, שתי קבוצות X שלושה זמנים. הושוו מדדי הכושר, כגון המרחק בריצת 10 דקות, במדידת יכולת אירובית, זמן בריצת זריזות במדידת יכולת אנאירובית, קפיצה לגובה ולמרחק מהמקום למדידת יכולות ניתור בעזרת ניתוח שונות מדידות חוזרות שתי קבוצות X שלושה זמנים. הושוו זמן יושבנות וזמן שעות הפעילות האקטיבית הכוללות במהלך שבוע בין שתי הקבוצות (t-test). בעזרת ניתוח שונות הושוו רמות הכאב בשלושה מצבים (בכללי, במנוחה ובפעילות) בשלושה זמנים בשתי הקבוצות.

ממצאים

לוח 1 מתאר את ממוצע $\pm$ וסטיית התקן של המשתתפים, כאשר 44 ילדים הם בעלי אחוזון BMI הנע בין 26-35, ילדים במשקל תקין, ואילו 32 ילדים הם בעלי אחוזון BMI הנע בין 85-99, ילדים עם עודף משקל והשמנת יתר.

לוח 1. ממוצע $\pm$ סטיית תקן (טווח) של גיל ונתונים אנתרופומטריים בקבוצות ילדים במשקל תקין, עודף משקל והשמנת יתר.

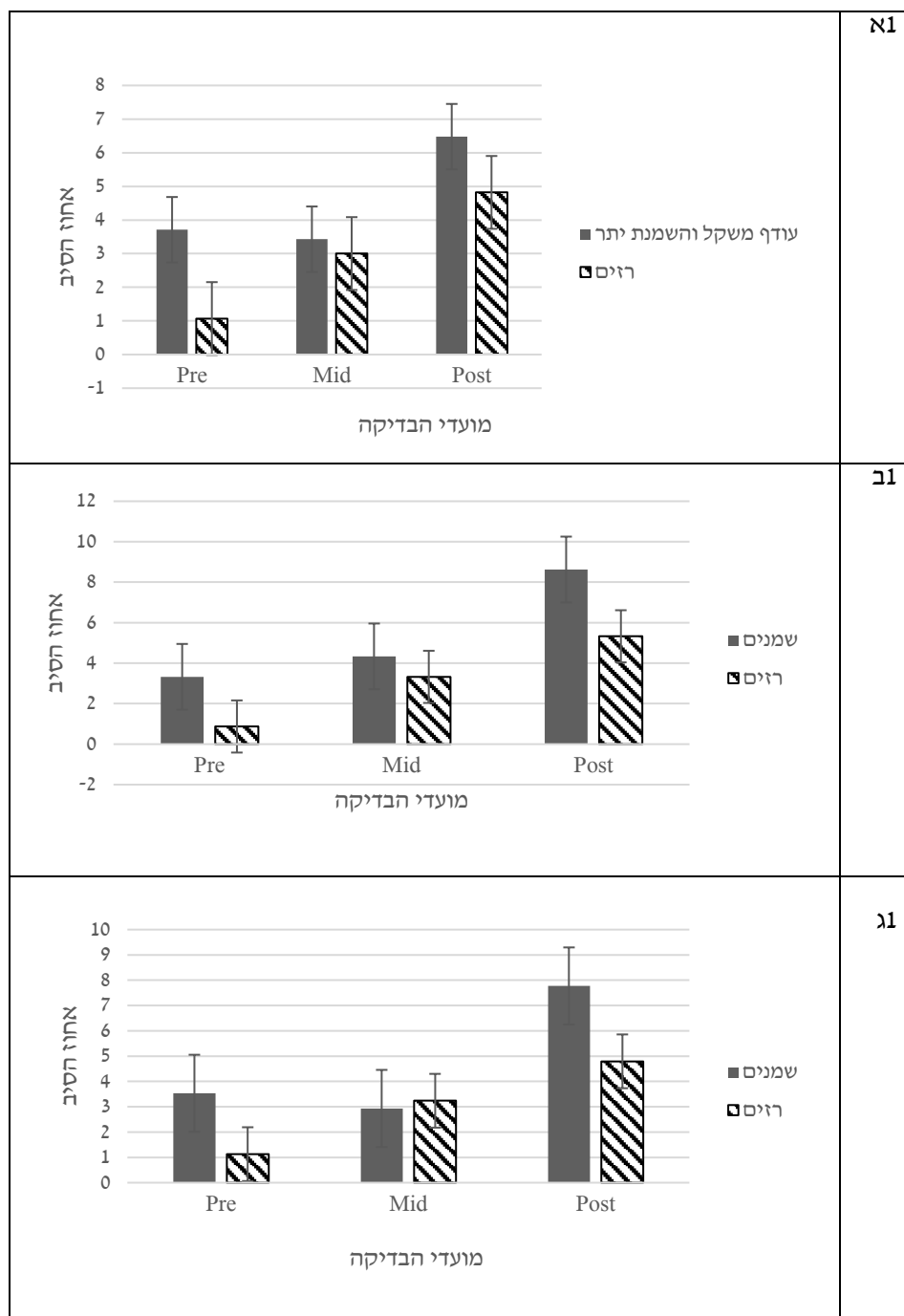
משקל תקין (בעלי אחוזון BMI < 85%) N=42	השמנת יתר ועודף משקל (בעלי אחוזון BMI $\geq$ 85%) N=34	
11.15 $\pm$ 2.36	10.76 $\pm$ 1.41	גיל
144.99 $\pm$ 16.65	149 $\pm$ 10.62	גובה (ס"מ)
35.84 $\pm$ 11.62	62.10 $\pm$ 16.27	משקל (ק"ג)*
16.58 $\pm$ 2.24	27.56 $\pm$ 4.89	**BMI
35.09 $\pm$ 26.55	99.0 $\pm$ 85.0	***BMI%

*הבדלים מובהקים בין קבוצת ילדים במשקל תקין לקבוצת ילדים שמנים ($p < .05$)

**הבדלים מובהקים בין קבוצת ילדים במשקל תקין וקבוצת ילדים בעלי עודף משקל ($p < .05$)

***הבדלים מובהקים בין קבוצת ילדים בעלי משקל תקין וקבוצת ילדים בעלי עודף משקל ($p < .05$)

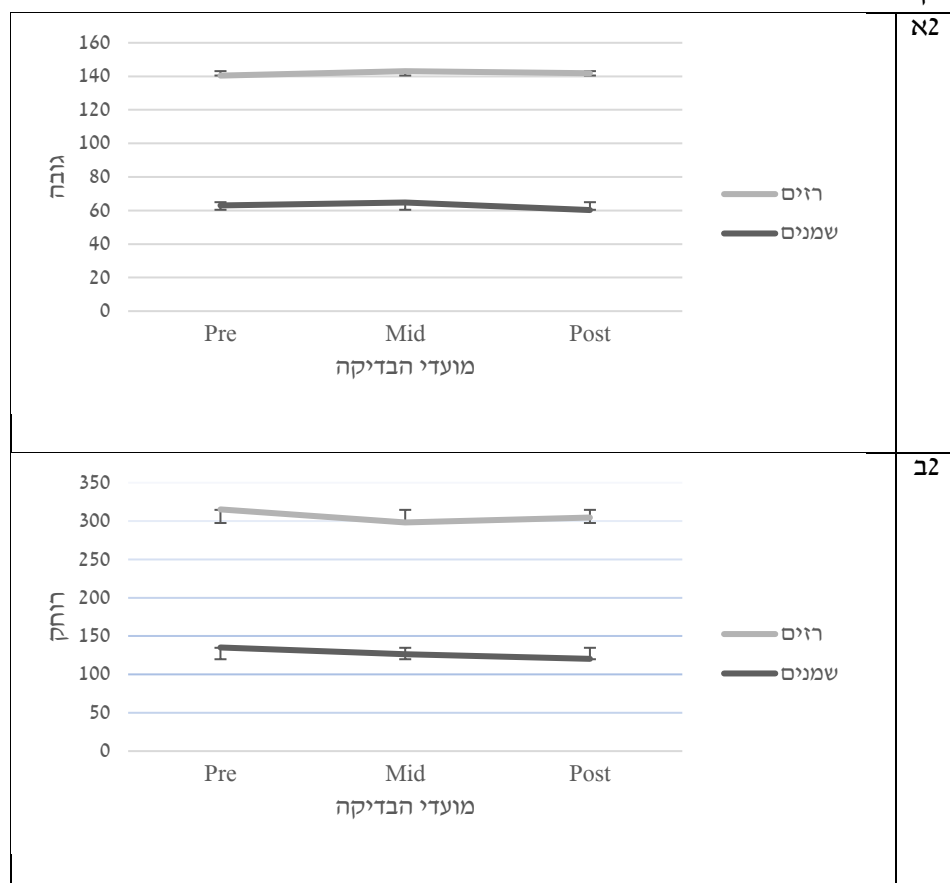
התוצאות המוצגות בתרשים 1 (א, ב ו-ג) מתייחסות לאחוז הסיבים מסוג Echo-type : תרשים 1א מציג את אחוז הסיבים מסוג echo-type IV ברגל שמאל, שהיה גבוה בצורה מובהקת בקבוצה 1 לעומת קבוצה 2 בשלושת מועדי הבדיקה (Pre, Mid, Post). תרשים 1ב מציג את משתנה הקונטרה הקרובה ביותר לעצם הפטלה ברגל שמאל, ואת אחוז הסיב מסוג echo-type IV שהיה גבוה בקבוצה 1 ביחס לקבוצה 2 בכל שלושת מועדי הבדיקה (Pre, Mid, Post). תרשים 1ג מציג את משתנה הקונטרה (החתך) הקרובה ביותר לעצם הפטלה ברגל ימין, שבו אחוז הסיב מסוג echo-type IV בבדיקה הראשונה (Pre) ובבדיקה השלישית (Mid) בקבוצה 1 היה גבוה ביחס לקבוצה 2, ואילו בבדיקה השנייה (Mid) היה אחוז הסיב בקבוצה 1 נמוך ביחס לקבוצה 2.



תרשים 1א, 1ב ו-1ג. אחוז הסיבים מסוג Echo-type

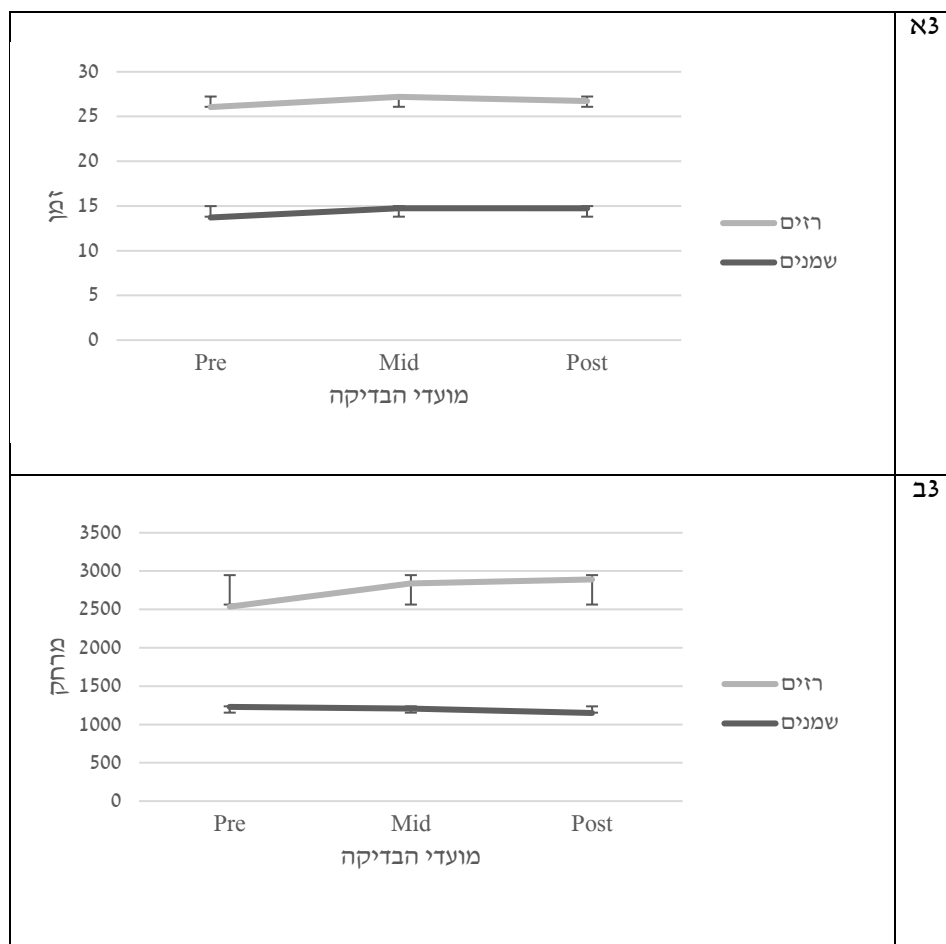
תוצאות מדדי הכושר מוצגות בתרשים 2 ו-3: תרשים 2א ו-2ב: 21 נבדקים (11 נבדקים בקבוצת השמנת יתר, 10 נבדקים בקבוצת המשקל התקין), נבדקה קפיצה

לגובה ולרוחק מהמקום. נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות, לא נמצא הבדל בתוך הקבוצה וגם לא נמצא הבדל באינטראקציה בין הקבוצות. לאורך שלוש הבדיקות (Pre, Mid, Post) נמצא כי קבוצה 2 קפצה בצורה מובהקת גבוה ורחוק יותר מקבוצה 1.



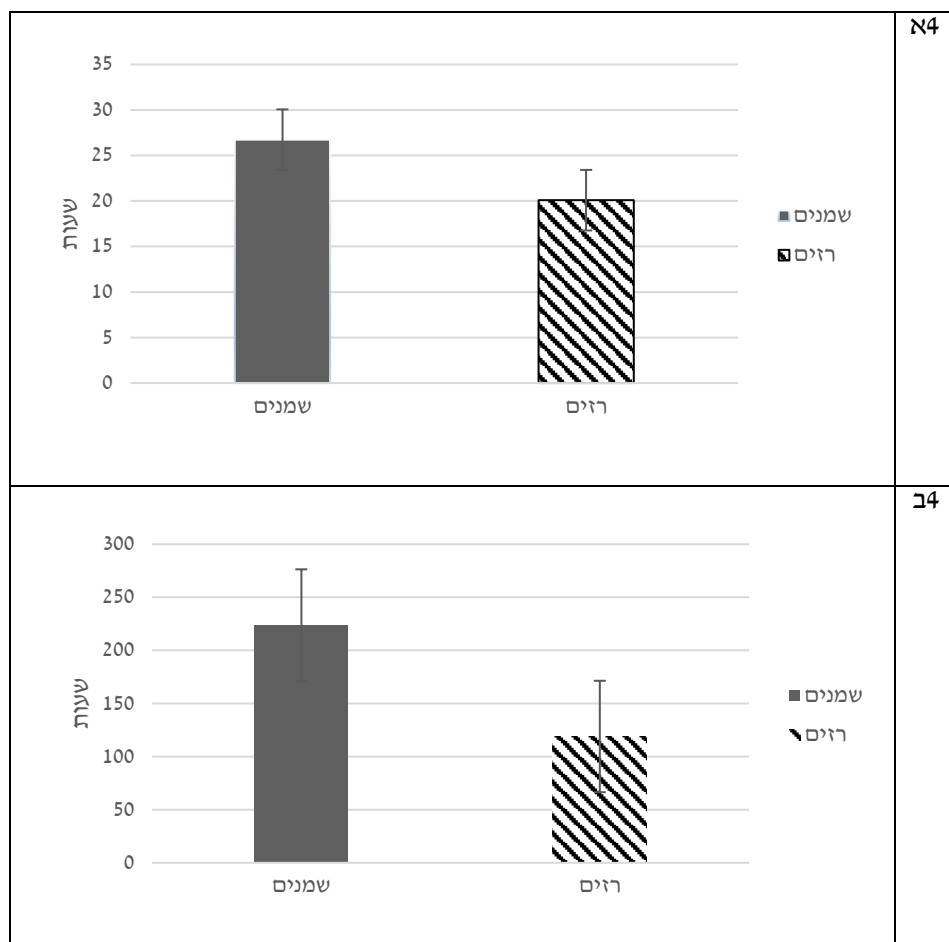
תרשים א2 ו-ב2. קפיצה לגובה ולרוחק מהמקום

תרשים א3 ו-ב3 מציגים מבדק אירובי ואנאירובי שבו נמצא הבדל מובהק באפקט הזמן, הבדל מובהק בין הקבוצות, ונמצאה אינטראקציה מובהקת ביניהן. בכל מועד בדיקה כל קבוצה בנפרד התנהגה שונה. במבדק האירובי קבוצה 1 הייתה במגמה של ירידה קלה במרחק הריצה, בעוד שקבוצה 2 הייתה במגמת עלייה במרחק הריצה במבדק האנאירובי. כשקבוצה 1 הייתה במגמת עלייה מה-Pre ל-Mid ובפלטו בין ה-Mid ל-Post, קבוצה 2 הייתה במגמת עלייה בין ה-Pre ל-Mid ובמגמת ירידה בין ה-Mid ל-Post. בין שתי הקבוצות היה הבדל מובהק מבחינת זמני המבדק בכל שלושת מועדי הבדיקה, קבוצה 1 התנהלה בזמנים ארוכים יותר בהשוואה לקבוצה 2 שהתנהלה בזמנים קצרים יותר. בשני המבדקים בין שתי הקבוצות היה הבדל מובהק בשלושת מועדי הבדיקה, והאינטראקציה בין שתי הקבוצות הייתה מובהקת ב-Pre, ב-Mid וב-Post.



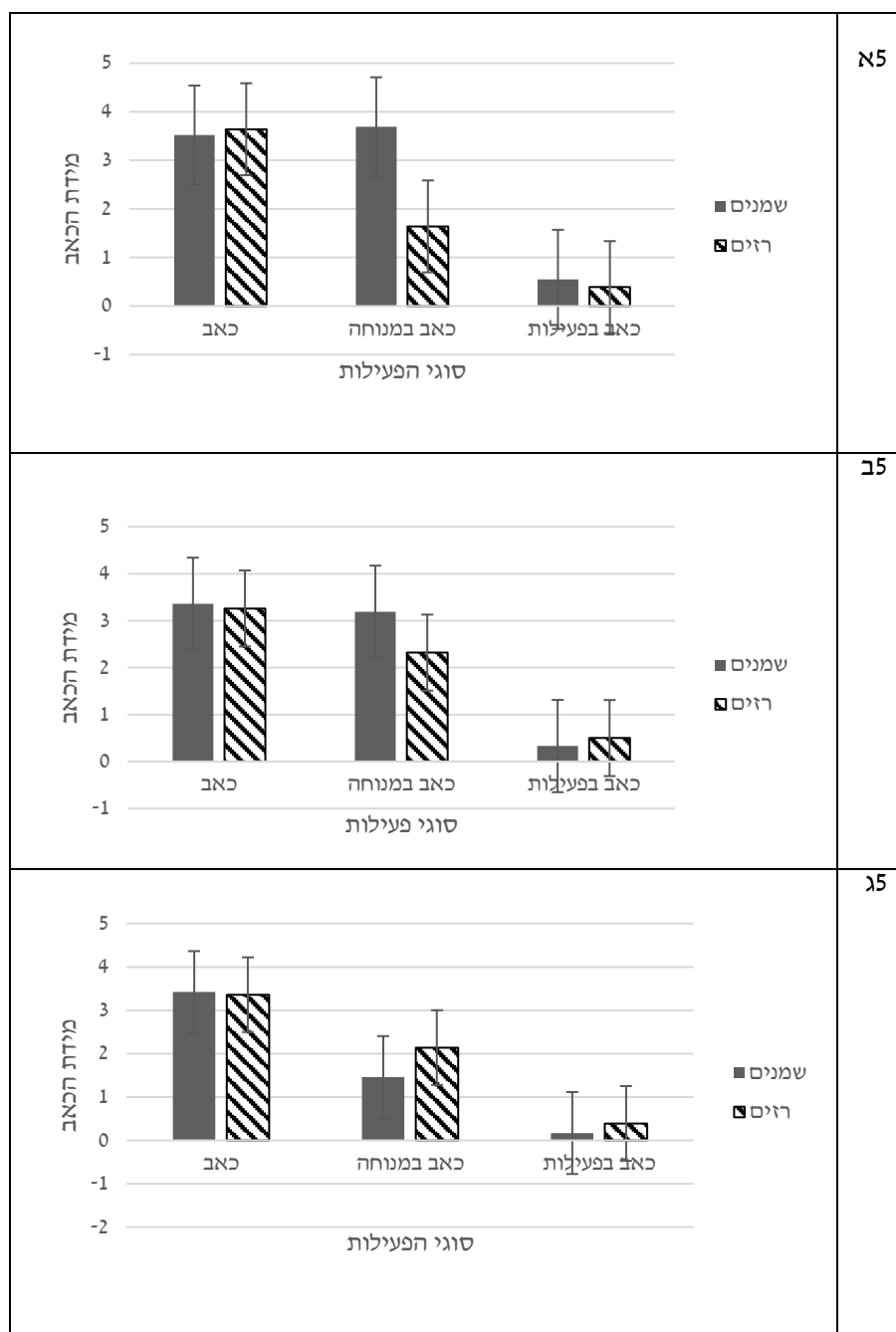
תרשים 3א ו-3ב. מבדק אירובי, מבדק אנאירובי, ריצת זריזות 4X10

תוצאות השאלונים מוצגות בתרשים 4 ו-5 : תרשים 4א ו-4ב : 76 נבדקים (42 קבוצה 1 ו-34 קבוצה 2) נשאלו בעזרת שאלון פעילות גופנית (נספח א') מהן שעות הפעילות האקטיביות והפסיביות (היושבניות) שלהם. נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות. שעות הפעילות האקטיביות שדווחו מראות על הבדל מובהק לטובת קבוצה 1, ואילו השעות הפסיביות שדווחו מראות הבדל מובהק לטובת קבוצה 2.



תרשים 4א ו-4ב. שעות פעילות אקטיבית פסיבית בקרב הנבדקים (רזים לעומת שמונים)
הערה: שעות פעילות אקטיביות חושבו בהתאם לשאלון ושעות יושבניות גודין פעילות אינטנסיבית
 9 X, פעילות מתונה 5 X, פעילות קלה 3 X (Godin, 2011).

תרשים 4א, 5ב ו-5ג: 73 נבדקים (39 קבוצה 1 ו-34 קבוצה 2) נשאלו לגבי מידת הכאב שהם חשים ברגל ימין, שמאל, בשתי הרגליים או באף רגל (נספח ב'), בשלושה מועדי בדיקה: Pre, Mid, Post. במועד הבדיקה הראשון (Pre) נמצא הבדל מובהק בין הקבוצות מבחינת תחושת הכאב בשלושת הזמנים בהם הילדים התבקשו לענות וסוגי הפעילות השונים (כאב כללי, מנוחה, ופעילות) (תרשים 4א). במועד הבדיקה השני (Mid) לא נמצא הבדל מובהק בשתי הקבוצות (תרשים 5ב). במועד הבדיקה השלישי (Post) נמצא הבדל מובהק בתחושת הכאב כאשר קבוצה 2 חשה כאב במנוחה יותר מאשר קבוצה 1 (תרשים 5ג).



תרשים א, ב5 ו-ג5. מועד הבדיקה הראשון (Pre), מועד הבדיקה השני (Mid), מועד הבדיקה השלישי (Post)

דיון

ממצאי המחקר הנוכחי מראים כי יש קשר בין פעילות גופנית והשמנה בקרב ילדים לבין שינויים מבניים בגיד הפיקה. למיטב ידיעתנו, זהו המחקר הראשון שהראה הבדלים מובהקים במבנה הגיד לאחר פעילות גופנית בקרב קבוצת ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל, בהשוואה לקבוצת ילדים עם משקל תקין, שהתבצעה בעזרת מכשיר האולטרסאונד UTC.

משקל עודף גורם לשינויים מבניים בגיד כתוצאה מתנועת נוזל בין-רקמתי בתגובה לעומס רב. במחקר שנעשה בחיות שמנות, נמצא כי עומסי המשקל על הגידים יצרו אי-סדרים ושינויים במרקם הנוזל שבתוך הגיד, בנוסף לשינויים מורפולוגיים בסיבי הקולגן, ירידה בארגון ובסדר הסיבים וירידה בריכוז פחמימות הגליקוזאמינוגליקן (Glycosaminoglycan) (Biancalana et al., 2012;) (Heinemeier & Kjaer, 2011; Lake et al., 2010; Wearing et al., 2013). השינויים המתוארים מתרחשים במקביל לעלייה בשכיחות סיבים מסוג echo-type II (Waugh et al., 2014). במחקר הנוכחי, בקבוצת המשקל העודף נצפתה שכיחות מובהקת גבוהה יותר של סיבים מסוג III ו-IV echo-type בהשוואה לקבוצה משקל תקין. אותם סיבים מייצגים בעיקר מצב של התפוררות רקמת הגיד והחלפתה על ידי נוזל אמורפי שעלול להוביל לפציעות עתידיות בגיד כמו דלקת גידים (Gaida et al., 2009; Masci et al., 2015; van Schie et al., 2010). בספרות דווח כי בגידים נגועים נמצאו ערכים גבוהים יותר של סיבים III ו-IV echo-type ביחס לקבוצת הביקורת (van Schie et al., 2010) וכן חוסר ארגון של הסיבים (Docking & Cook 2016). עומסים מתמשכים ומופרזים על הרקמות עשויים להגדיל את הסיכוי להיווצרות תנאים אורתופדיים כמו דלקות למיניהן (Heinemeier et al., 2011; Wearing et al., 2006), זאת מאחר שמשקל ועומס רב על הגידים מובילים לשינויים מבניים בגיד, הגורמים בסופו של דבר להיווצרות פציעות וכאבים (Abate et al., 2009; Abate et al., 2012; Heinemeier & Kjaer, 2011; Reb et al., 2015; Wearing et al., 2006). שכיחות גבוהה יותר להימצאותם של סיבים מסוג III ו-IV echo-type במקביל לירידה באחוז סיבים מסוג II echo-type (המאורגנים יותר), בקרב קבוצת המשקל העודף, ייתכן שנבעה כיוון שילדים שמנים הם לרוב יושבניים יותר, עם כמות מוגבלת של פעילות גופנית וכמות מוגבלת של עומסים. בעזרת שאלון פעילות גופנית (נספח א') נאמדו מספר שעות היושבות בקרב קבוצת המשקל העודף, והן נמצאו גבוהות בצורה מובהקת ביחס למספר שעות היושבות בקרב קבוצת המשקל התקין. תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם פרסומי הספרות הטוענים כי השמנה בעשור האחרון אינה קשורה לעלייה משמעותית בסך צריכת המזון הכוללת בקרב ילדים ומתבגרים, ואף יותר מזה, נטען כי חלה ירידה בצריכת השומנים. המסקנה היא לכן שהגורם המשמעותי לעלייה במשקל הוא חוסר פעילות גופנית. סיבות אפשריות לירידה בפעילות הגופנית יכולות להיות תהליכי עיור (אורבניזציה), סיבות כלכליות (הפחתה בשעות חינוך גופני בבתי הספר ופחות מגרשי משחקים עקב היעדר משאבים), וכן עלייה בצפייה בטלוויזיה ומהפכת המחשוב (אליקים, 1999). הגידים של ילדים עם משקל עודף מגיבים לכל פעילות נושאת משקל כאילו מדובר במאמץ טראומטי. עומס כתוצאה ממאמץ קצר טווח יכול להוביל לגידול בסיבים מסוג-echo III ו-IV echo-type (סיבים לא מסודרים), עם הגדלת הסיכון לפציעות בגיד

(Castro et al., 2016). אף שעומסים אלו לא היו עומסים מספיקים על מנת להגדיל את הסיבים הבריאים מסוג echo-type II, שמגיבים לעומסים מתמשכים ועקביים, עם כמות קטנה של דלקות במהלך הילדות (Castro et al., 2016), הם הספיקו לצורך הגדלת הסיבים הלא מסודרים מסוג echo-type III ו-echo-type IV (Heinemeier & Kjaer, 2011). במחקרים שנעשו בעבר ניתן הסבר נוסף לתוצאות שבהן גידול בעומסים גרם לגידול בנוקשות הגיד (Seynnes et al., 2009). בבדיקה שנערכה לקבוצת גברים לאורך תשעה שבועות שבהם הם ביצעו אימוני התנגדות, נבדק הקשר בין הסתגלות השריר ויכולת התפקוד שלו לבין שינויים מבניים של הגיד עקב עומסים מתמשכים. נמצא קשר בין היפרטרופיה של השריר לבין גידול בנוקשות ושינויים מבניים בגיד (Seynnes et al., 2009). בבדיקה שנערכה בעכברים שמנים, נמצא כי לרוב הם בעלי גידים חסרי סדר סיבי. חוסר פעילות גופנית ועודף משקל ייתכן כי יצרו את השינויים המבניים הללו ואת חוסר ארגון הסיבים, בשונה מקבוצת העכברים הרזים שהיו פעילים ובעלי משקל נמוך. בגיד קבוצת העכברים השמנים נמצאו פחות פחמימות בצורת גליקוזאמינוגליקן (glycosaminoglycan). כמו כן, תאי שומן מכוסים ברקמת קולגן נמצאו בגידי קבוצת העכברים השמנים (Biancalana et al., 2012). המבנה השונה בקרב קבוצת הילדים עם השמנת היתר ועודף המשקל וכן המבנה הלא מאורגן של החומר החיצוני הבונה את הגיד, עלולים להוביל לנוקשות ולקרעים מיקרוסקופיים עקב עומס כבד (Abate et al., 2012; Biancalana et al., 2012).

עודף משקל יכול לשמש כגירוי הסתגלותי להגדלת חתך רוחב הגיד, בדומה להגדלת חתך רוחב הגיד המתרחשת בתוכנית אימוני התנגדות, אימוני כוח (Scott et al., 2015). עומסים מכניים חוזרים, חומרים חוץ-תאיים וסיבי קולגן חדשים שנוצרים מובילים לגידול אזור חתך האורך והרוחב של הגיד ומשפרים את הרכיבים הביומכניים שלו (Heinemeier & Kjaer, 2011). על פי אבייט ואח' (Abate et al., 2012), תגובת הגיד נעה מתגובה חיובית לניוונית בנבדקים עם השמנת יתר, כאשר סף תדירות העומס והגודל היו מופרזים (Abate et al., 2009). בנוסף, וואג ואח' (Waugh et al., 2014) מסבירים שעומסים גבוהים או משך אימון ארוך אמורים ליצור היפרטרופיה בילדים לפני גיל ההתבגרות. בילדים לאחר אימוני התנגדות לא נמצאו שינויים בחתך האורך והרוחב של הגיד (Waugh et al., 2014). גידים פתולוגיים יכולים לפצות על אזורים לא מסודרים על ידי גידול עובי הגיד כמו גם גידול בסיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV (Docking & Cook 2016). במחקר הנוכחי, במהלך שני מועדי הבדיקה הראשונים חתך רוחב הגיד נמצא גבוה בצורה מובהקת בקבוצת המשקל התקין. ואילו במועד הבדיקה האחרון, לאחר תוכנית ההתערבות שהתקיימה לאורך 24 שבועות, עם עומסי פעילות גופנית, חתך רוחב הגיד בקבוצת המשקל העודף היה גבוה בצורה מובהקת ביחס לקבוצת המשקל התקין. חתך האורך לעומת זאת, בשני מועדי הבדיקה הראשונה והאחרונה, היה גבוה בקבוצת המשקל התקין לעומת קבוצת המשקל העודף, בעוד שבמועד הבדיקה השנייה, חתך האורך בקבוצת המשקל העודף היה גבוה מאשר בקבוצת המשקל התקין. כלומר, הגיד נמצא קצר ועבה בקבוצת המשקל העודף, בעוד שבקבוצת המשקל התקין הוא נמצא ארוך ודק. ממצאים המראים הבדלים בעובי הגיד נמצאו בקרב נבדקים העוסקים בפעילות נושאת משקל, בין הרגל הדומיננטית לבין הרגל הלא דומיננטית (Heinemeier & Kjaer, 2011). גם במחקר הנוכחי, חתך רוחב הגיד

נמצא גבוה בא-סימטריה בין רגל ימין לבין רגל שמאל בקבוצת המשקל העודף בשני מועדי הבדיקה השנייה והשלישית ביחס לקבוצת המשקל התקין. כלומר ככל שהילדים היו פעילים והתקדמו עם תוכנית ההתערבות, ההבדלים בא-סימטריה גדלו. ואילו בקבוצת המשקל התקין נמצא חתך רוחב גבוה בא-סימטריה בין הרגליים ביחס לקבוצת המשקל העודף רק במועד הבדיקה הראשונה.

אחוז הסיבים נמדד במכשיר האולטרסאונד, כאשר המרחק מעצם הפטלה הוא 25 מ"מ. מרחק זה הוא המרחק שבו מתחילים להופיע שינויים מבניים המתבטאים בהופעת כאבים (van Ark et al., 2016). בקונטרה (פלח החיתוך) הקרובה ביותר לעצם הפטלה, בגיד הפיקה, אחוז הסיבים מסוג echo-type III נמצא גבוה בצורה מובהקת בקבוצת המשקל העודף, בשני מועדי הבדיקה הראשונה והאחרונה, לעומת אחוז הסיבים בקבוצת המשקל התקין, ואילו אחוז הסיבים מסוג echo-type IV באותה קונטרה, נמצא גבוה בצורה מובהקת בקבוצת המשקל העודף לעומת קבוצת המשקל התקין בכל שלושת מועדי הבדיקה.

כאמור סיבים מסוג echo-type I ו-echo-type II מתאפיינים ביציבות גבוהה, רצועות ישירות שלמות ומסודרות של הגיד (Wezenbeek et al., 2017), ואילו סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV מתאפיינים בסיבים קטנים ולא מסודרים (de Jonge et al., 2011). על פי ממצאי הספרות נוכחותם הרבה של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV מעידה על חולשה ואולי על הופעת תסמינים דלקתיים (Docking & Cook 2016; de Jonge et al., 2011, 2015; de Vos et al., 2012). במחקר לבדיקת הבדלים בין אנשים בעלי גידים סימפטומטיים לבין אנשים בעלי גידים אסימפטומטיים, נמצא כי אחוז הסיבים מסוג echo-type I ו-echo-type II היה גבוה ובעל מבנה מסודר ומאורגן יותר באנשים עם גידים אסימפטומטיים, בעוד שאחוז הסיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV היה גבוה ובעל מבנה לא מסודר בגידים של אנשים סימפטומטיים (Masci et al., 2015).

כל הנבדקים נשאלו בעזרת שאלון (נספח ב') על מידת הכאב שהם חשים באזור הברך בשגרה, במנוחה ובזמן פעילות. במועד הבדיקה הראשונה לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הקבוצות מבחינת תחושת הכאב ואחוז הסיבים. קבוצת המשקל העודף חוותה כאב רק בבדיקה השנייה, בזמן מנוחה, ולאחר מכן, בשאר הבדיקות לא דווחה מידת כאב חריגה. ממצאים אלו שונים ממצאי הספרות במבוגרים, אשר מצאו קשר בין מידת הכאב לאחוז שומן גבוה ולקיומם של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV (Park et al., 2005). ייתכן שהנבדקים במחקר שלנו התרגלו לכאב, ולכן אינם נוטים לייחס לו חשיבות ולדווח עליו. או לחלופין, כיוון שחוו בעבר כאב, הם חוששים לבצע פעילות גופנית שתגביר אותו, ולכן נמנעים ממנה. לעומת זאת, בקבוצת המשקל התקין דיווחו על כאב בשני מועדי הבדיקה השנייה והשלישית (Mid ו-Post), כאשר ביצעו פעילות ונמצא קשר מובהק בין מידת הכאב לאחוז גבוה של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV. תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם ממצאי הספרות המצביעים על כך שאחוז גבוה של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV בגיד מעיד על חולשה ואולי על הופעת תסמינים דלקתיים, ומכאן תחושת הכאב שדיווחו הילדים (de Jonge et al., 2011; de Vos et al., 2012; Docking & Cook, 2016; de Jonge et al., 2015). ייתכן שהילדים מקבוצת המשקל התקין פעילים יותר ולכן חשים כאב כתוצאה מפעילות ומעומסים על גדיהם.

לסיכום, במחקר הנוכחי נערכו בדיקות מעקב אחר גיד הפיקה, מבנהו והרכבו לאורך תקופה של 24 שבועות, על שתי קבוצות משתתפים. מבנה הגיד - הרכבו ושלמותו - מבחינת אחוז הסיבים, כפי שנבדק בעזרת מכשיר ה-UTC, נמצא שונה בקבוצת המשקל העודף ובקבוצת המשקל התקין. הבדיקות התבצעו בתחילת המחקר, לאחר 12 שבועות ולאחר 24 שבועות, כאשר כבר לאחר 12 שבועות העומס המופעל על הגידים נתן את אותותיו ונצפו שינויים מבניים בקבוצת המשקל העודף. מעקב קבוע יכול להוביל להבנה טובה יותר של נקודת האל חזור, שבה נפגעים מבנה הגיד הבריא ותכולתו (Comin et al., 2013). מומלץ שילדים עם השמנת יתר ועודף משקל יבצעו בדיקת מעקב תקופתית בעזרת מכשיר אולטרסאונד, אשר יאבחן את מצב הרכב הגיד וסיביו לצורך התאמת תוכנית התערבות. ניתן להפנות המלצות לגבי אופן הפעילות המומלצת לילדים עם השמנת יתר ועודף משקל גם למסגרות בית-ספריות ולחוגי הפנאי אחר הצוהריים. העלאת המודעות בקרב מורים לספורט ומאמנים תמנע פציעות עתידיות בקרב ילדים אלו ותשפר את יכולתם הגופנית, שכן ניתן יהיה לתכנן עבורם פעילויות גופניות המתאימות ליכולתם. מניעת עומסים מיותרים בעזרת תוכניות פעילות מותאמות תמנע כאבים עתידיים שעלולים בסופו של דבר לייצר פציעות, ולפיכך תימנע גם נשירה בקרב ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל. ויתרה מזו, ייתכן אף שהיא תשמר בקרב אותם ילדים פעילות גופנית ממושכת ועקבית, ובכך תשפר את איכות חייהם ותמנע השלכות שליליות בעתיד.

מקורות

- אלבו, ל', פנטלוביץ', מ', אליקים, א', נמט, ד', זאב, א', שער, ע', שטיינברג, נ' (2022). השוואת מבנה גיד אכילס בקרב ילדים ומתבגרים עם השמנת יתר ועודף משקל לעומת ילדים במשקל תקין. בתנועה, יג(3), 346-324.
- אליקים, א' (1999). פעילות גופנית כטיפול בהשמנה בילדים ומתבגרים - המאמץ משתלם. הרפואה, 136(ה'), 385-381.
- אליקים, א' ונמט, ד' (2008). פעילות גופנית בילדים בבריאות ובחולי. מכון וינגייט.
- נמט, ד', וולך, ב' ואליקים, א' (1999). השמנה בילדים ומתבגרים - תופעה רחבת ממדים. הרפואה, 136(ד'), 301-307.
- Abate, M. (2014). How obesity modifies tendons (implications for athletic activities). *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 4(3), 298.
- Abate, M., Gravare Silbernagel, K., Siljeholm, C., Di Iorio, A., De Amicis, D., Salini, V., ... & Paganelli, R. (2009). *Pathogenesis of tendinopathies: Inflammation or degeneration?*. *Arthritis research & therapy*, 11(3), 1-15.
- Abate, M., Oliva, F., Schiavone, C., & Salini, V. (2012). Achilles tendinopathy in amateur runners: role of adiposity (Tendinopathies and obesity). *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 2(1), 44.
- Adirim, T. A., & Cheng, T. L. (2003). Overview of injuries in the young athlete. *Sports Medicine*, 33(1), 75-81.
- van Ark, M., Docking, S. I., van den Akker-Scheek, I., Rudavsky, A., Rio, E., Zwerver, J., & Cook, J. L. (2016). Does the adolescent patellar tendon respond to 5 days of cumulative load during a volleyball tournament? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(2), 189-196.
- Becker, K. A., & Smith, P. J. (2015). Attentional focus effects in standing long jump performance: Influence of a broad and narrow internal focus. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(7), 1780-1783.
- Biancalana, A., Velloso, L. A., Taboga, S. R., & Gomes, L. (2012). Implications of obesity for tendon structure, ultrastructure and biochemistry: A study on Zucker rats. *Micron*, 43(2-3), 463-469.

- Castro, A. D. A., Skare, T. L., Nassif, P. A. N., Sakuma, A. K., & Barros, W. H. (2016). Tendinopathy and obesity. ABCD. *Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)*, 29, 107-110.
- Comin, J., Cook, J. L., Malliaras, P., McCormack, M., Calleja, M., Clarke, A., & Connell, D. (2013). The prevalence and clinical significance of sonographic tendon abnormalities in asymptomatic ballet dancers: a 24-month longitudinal study. *British Journal of Sports Medicine*, 47(2), 89-92.
- Cook, J. L., & Purdam, C. R. (2009). Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 43(6), 409-416.
- Dietz, W. H. (1998). Health consequences of obesity in youth: Childhood predictors of adult disease. *Pediatrics*, 101(Supplement_2), 518-525.
- DiFiori, J. P. (1999). Overuse injuries in children and adolescents. *The Physician and Sportsmedicine*, 27(1), 75-89.
- Docking, S. I., & Cook, J. (2016). Pathological tendons maintain sufficient aligned fibrillar structure on ultrasound tissue characterization (UTC). *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(6), 675-683.
- Docking, S. I., Rosengarten, S. D., & Cook, J. (2016). Achilles tendon structure improves on UTC imaging over a 5-month pre-season in elite Australian football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(5), 557-563.
- Falciglia, F., Panni, A. S., Giordano, M., Aulisa, A. G., & Guzzanti, V. (2016). Anterior cruciate ligament reconstruction in adolescents (Tanner stages 2 and 3). *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 24(3), 807-814.
- Gaida, J. E., Ashe, M. C., Bass, S. L., & Cook, J. L. (2009). Is adiposity an under-recognized risk factor for tendinopathy? A systematic review. *Arthritis Care & Research: Official Journal of the American College of Rheumatology*, 61(6), 840-849.
- Godin, G. (2011). The Godin-Shephard leisure-time physical activity questionnaire. *The Health & Fitness Journal of Canada*, 4(1), 18-22.

- Heinemeier, K. M., & Kjaer, M. (2011). In vivo investigation of tendon responses to mechanical loading. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 11(2), 115-123.
- de Jonge, S., de Vos, R. J., Weir, A., van Schie, H. T., Bierma-Zeinstra, S. M., Verhaar, J. A., ... & Tol, J. L. (2011). One-year follow-up of platelet-rich plasma treatment in chronic Achilles tendinopathy: a double-blind randomized placebo-controlled trial. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(8), 1623-1630.
- de Jonge, S., Rozenberg, R., Vieyra, B., Stam, H. J., Aanstoot, H. J., Weinans, H., ... & Praet, S. F. (2015). Achilles tendons in people with type 2 diabetes show mildly compromised structure: An ultrasound tissue characterisation study. *British Journal of Sports Medicine*, 49(15), 995-999.
- Kubo, K., Teshima, T., Hirose, N., & Tsunoda, N. (2014). Growth changes in morphological and mechanical properties of human patellar tendon in vivo. *Journal of Applied Biomechanics*, 30(3), 415-422.
- Lake, S. P., Miller, K. S., Elliott, D. M., & Soslowky, L. J. (2010). Tensile properties and fiber alignment of human supraspinatus tendon in the transverse direction demonstrate inhomogeneity, nonlinearity, and regional isotropy. *Journal of Biomechanics*, 43(4), 727-732.
- Latorre-Román, P. Á., Mora-López, D., Martínez-Redondo, M., & García-Pinillos, F. (2017). Reference values for running sprint field tests in preschool children: A population-based study. *Gait & Posture*, 54, 76-79.
- Maffulli, N., Renström, P., & Leadbetter, W. B. (2005). *Tendon injuries*. Springer-Verlag New York Incorporated.
- Masci, L., Spang, C., van Schie, H. T., & Alfredson, H. (2015). Achilles tendinopathy—do plantaris tendon removal and Achilles tendon scraping improve tendon structure? A prospective study using ultrasound tissue characterisation. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 1(1), e000005.
- Meckel, Y., Nemet, D., Lougassi, S., & Eliakim, A. (2009). Performance indices of two different repeated sprint tests protocols in overweight children. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*, 14, 51-65.

- Mueller, S., Carlsohn, A., Mueller, J., Baur, H., & Mayer, F. (2016). Influence of obesity on foot loading characteristics in gait for children aged 1 to 12 years. *PloS one*, 11(2), e0149924.
- Nelson, A. J., Collins, C. L., Yard, E. E., Fields, S. K., & Comstock, R. D. (2007). Ankle injuries among United States high school sports athletes, 2005–2006. *Journal of Athletic Training*, 42(3), 381.
- Park, H. S., Park, J. Y., & Yu, R. (2005). Relationship of obesity and visceral adiposity with serum concentrations of CRP, TNF- α and IL-6. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 69(1), 29–35.
- Ram, E., Marcus, O., Joubran, S., Abdo, B., & Asal, N. R. (2013). Prevalence of obesity among Arab school children in Nazareth, Israel: Comparison with national (Jewish) and international data. *Pediatric Obesity*, 8(6), 428–438.
- Reb, C. W., Schick, F. A., Karanjia, H. N., & Daniel, J. N. (2015). High prevalence of obesity and female gender among patients with concomitant tibialis posterior tendonitis and plantar fasciitis. *Foot & Ankle Specialist*, 8(5), 364–368.
- van Schie, H. T. M., de Vos, R. J., de Jonge, S., Bakker, E. M., Heijboer, M. P., Verhaar, J. A. N., ... & Weinans, H. (2010). Ultrasonographic tissue characterisation of human Achilles tendons: Quantification of tendon structure through a novel non-invasive approach. *British Journal of Sports Medicine*, 44(16), 1153–1159.
- Scott, A., Zwerver, J., Grewal, N., de Sa, A., Alktebi, T., Granville, D. J., & Hart, D. A. (2015). Lipids, adiposity and tendinopathy: is there a mechanistic link? Critical review. *British Journal of Sports Medicine*, 49(15), 984–988.
- Seynnes, O. R., Erskine, R. M., Maganaris, C. N., Longo, S., Simoneau, E. M., Grosset, J. F., & Narici, M. V. (2009). Training-induced changes in structural and mechanical properties of the patellar tendon are related to muscle hypertrophy but not to strength gains. *Journal of Applied Physiology*, 107(2), 523–530.
- Steinberg, N., Nemet, D., Pantanowitz, M., Zeev, A., Hallumi, M., Sindiani, M., ... & Eliakim, A. (2016). Longitudinal study evaluating postural balance of young athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 122(1), 256–279.

- Vanrenterghem, J., Lees, A., Lenoir, M., Aerts, P., & De Clercq, D. (2004). Performing the vertical jump: movement adaptations for submaximal jumping. *Human Movement Science*, 22(6), 713-727.
- de Vos, R. J., Heijboer, M. P., Weinans, H., Verhaar, J. A., & van Schie, H. T. (2012). Tendon structure's lack of relation to clinical outcome after eccentric exercises in chronic midportion Achilles tendinopathy. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(1), 34-43.
- de Vos, R. J., Weir, A., Tol, J. L., Verhaar, J. A. N., Weinans, H., & Van Schie, H. T. M. (2011). No effects of PRP on ultrasonographic tendon structure and neovascularisation in chronic midportion Achilles tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 45(5), 387-392.
- Waugh, C. M., Korff, T., Fath, F., & Blazeovich, A. J. (2014). Effects of resistance training on tendon mechanical properties and rapid force production in prepubertal children. *Journal of Applied Physiology*, 117(3), 257-266..
- Wearing, S. C., Hennig, E. M., Byrne, N. M., Steele, J. R., & Hills, A. P. (2006). The impact of childhood obesity on musculoskeletal form. *Obesity reviews*, 7(2), 209-218.
- Wearing, S. C., Hooper, S. L., Grigg, N. L., Nolan, G., & Smeathers, J. E. (2013). Overweight and obesity alters the cumulative transverse strain in the Achilles tendon immediately following exercise. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 17(3), 316-321.
- Wezenbeek, E., Mahieu, N., Willems, T. M., Van Tiggelen, D., De Muynck, M., De Clercq, D., & Witvrouw, E. (2017). What does normal tendon structure look like? New insights into tissue characterization in the Achilles tendon. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(7), 746-753.

נספחים

נספח א'



שאלון פעילות גופנית במהלך השבוע:



אנא מלא/י את השאלון הבא לפי הפעילות שביצעת/ה בשבוע האחרון (שים שעה = 60 דקות).

שם פרטי _____ שם משפחה _____ כתובת מגורים _____

שם בית הספר _____

כמה פעמים בשבוע	כמה זמן לוקח לך להגיע לבית הספר		
		ברגל	הגעה לבית הספר
		ברכיבה על אופניים (לא חשמליים)	
		ברכיבה על אופניים חשמליים	
		באוטו/באוטובוס	
			חזרה מבית הספר
		ברגל	
		ברכיבה על אופניים (לא חשמליים)	
		ברכיבה על אופניים חשמליים	
		באוטו/באוטובוס	

1. כמה שיעורי ספורט היו לך השבוע בבית הספר? 1/2/3 בכמה שיעורים השתתפת? 1/2/3.

2. האם עשית פעילות גופנית נוספת במהלך השבוע האחרון כמו: ריצה, הליכה (לבד או עם הכלב) שחייה, רכיבה על אופניים לא חשמליים, תרגילי התעמלות, משחקי כדור (כדורגל, כדורסל, טניס, וכד'), גידוד, קארטה, ריקוד כן/לא _____ כמה פעמים _____ כמה זמן הייתה הפעילות _____ דקות.

3. כמה זמן במהלך היום את/ה משחקת/משחקי ווידאו Wii או Xbox? _____ דקות.

4. כמה זמן ביום את/ה צופה בטלוויזיה? _____ דקות.

5. כמה זמן ביום את/ה משחק בטלפון? _____ דקות.

6. כמה זמן ביום את/ה מכין שיעורי בית? _____ דקות.
7. באיזה מבנה את/ה גר/ה? 1. בית קרקע. 2. בית קומות. באיזו קומה _____? האם את/ה עולה במדרגות? כן/לא, כמה פעמים _____ ביום.
8. האם בסופי שבוע את/ה נוהג לבצע פעילות גופנית עם המשפחה כמו: טיול, רכיבה על אופניים, גיימבורי? כן/לא, איזו _____ כמה זמן? _____.
9. האם בסוף השבוע האחרון ביצעת אחת מהפעילויות האלו? כן/לא, איזו _____ כמה זמן? _____?
10. האם יש עוד פעילויות שאת/ה עושה במהלך השבוע שלא מוזכרות בשאלון? כן/לא, איזו פעילות? _____ כמה פעמים בשבוע _____ כמה זמן _____ דקות.



תודה על הזמן ושיתוף הפעולה

נספח ב'

שאלון למשתתף פרוטוקול TENDON גרסה 1 מתאריך 17.1.17

שלום רב,
ברצוננו לאסוף מידע הן על כאבים שהיו לך בחודש האחרון והן על הרגלי הפעילות הגופנית שלך בשעות הפנאי.

שם הנבדק: _____ מין: זכר / נקבה.

תאריך לידה: _____ גובה: _____ משקל: _____

רגל דומיננטית (שאתה קופץ עליה לגובה/רוחק): 1. ימין 2. שמאל.

האם חשת כאב ברגל במהלך החודש האחרון? 1. ימין 2. שמאל 3. שתיהן 4. אף אחת.

אם זה בשתיהן אנא התייחס/י לרגל בה הכאב חזק יותר תוך ציון על איזו רגל מדובר _____

השאלות הבאות מתייחסות לכאב בזמן פעילות ספורטיבית ופעילות יומיומית
במהלך החודש האחרון

לא כואב כלל

הכי כואב



0	1	2	3	4	5	בעת ביצוע כפיפת ברכיים במהלך פעילות גופנית? 
0	1	2	3	4	5	בעת ביצוע ריצה במהלך פעילות גופנית? 
0	1	2	3	4	5	בעת ביצוע קפיצות/ניתורים במהלך פעילות גופנית? 
0	1	2	3	4	5	בניסיון להתמיד בפעילות ספורטיבית בגלל הכאבים בברך? 
0	1	2	3	4	5	בעת ירידה במדרגות?
0	1	2	3	4	5	בעת עלייה במדרגות?
0	1	2	3	4	5	לאחר ישיבה על הכיסא עם ברכיים מכופפות?
0	1	2	3	4	5	בעת נשיאה של חפצים כבדי משקל? כגון תיק בית ספר
0	1	2	3	4	5	בעת ביצוע מטלות קלות כגון לנעול נעליים? לשרוך שרוכים? ללבוש גרביים?

שאלות קצרות בנוגע להרגלי הפעילות הגופנית שלך בשעות הפנאי :

האם לדעתך, אתה מבצע מספיק פעילות גופנית? כן לא

1. במהלך תקופה של 7 ימים (שבוע), כמה פעמים בממוצע אתה מבצע את הפעילויות הבאות למשך זמן של 15 דקות לפחות, במהלך זמנו הפנוי (כתוב בכל שורה את המספר המתאים).

מס' פעמים בשבוע

א. פעילות עצימה (הלב פועם במהירות)
לדוגמא : ריצה (קלה/ מהירה),
כדורגל, כדורסל, ג'ודו, החלקה על גלגילים,
שחייה נמרצת, רכיבה נמרצת על אופניים

ב. פעילות מתונה (לא מתישה)
לדוגמא : הליכה מהירה, טניס,
רכיבה איטית על אופניים, כדורעף,
שחייה קלה/איטית, ריקוד וכו'

ג. פעילות קלה (מאמץ מינימלי)
לדוגמא : יוגה, פילאטיס, רכיבה על סוסים,
כדורת (באולינג), הליכה איטית.

2. במהלך שבוע ממוצע (7 ימים) בזמנך הפנוי, באיזו תדירות אתה עוסק בכל פעילות גופנית מספיק זמן על מנת להזיע (פעילות לב מהירות)

א. לעיתים קרובות

ב. לפעמים

ג. אף פעם / לעיתים נדירות