

השוואת מבנה גיד אכילס בקרב ילדים ומתבגרים עם השמנת יתר ועודף משקל לעומת ילדים במשקל תקין

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

ענת שער,¹ נילי שטיינברג¹

¹המרכז האקדמי לוינסקי-וינגייט

²מרכז רפואי מאיר

³אוניברסיטת תל אביב

תקציר

בעשור האחרון התרחבה תופעת ההשמנה בקרב ילדים באופן משמעותי, ואולם מעט מחקרים קיימים בנושא השפעתה בילדות על מבנה שלד הגוף ועל רקמותיו הרכות. מטרת המחקר הנוכחי היא להשוות את מבנה גיד אכילס בין ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל לבין ילדים במשקל תקין. נבדקו 76 ילדים בני 7-15 שנים ממרכז הארץ. הנבדקים חולקו לשלוש קבוצות: ילדים עם השמנת יתר (מעל אחוזון 95) (22 משתתפים בקבוצה 1), ילדים בעלי עודף משקל (מעל אחוזון 85) (10 משתתפים בקבוצה 2) וילדים בעלי משקל תקין (מתחת לאחוזון 85) (44 משתתפים בקבוצה 3). נערכה בדיקה המשווה את הרכב גיד אכילס בשלוש הקבוצות בעזרת מכשיר האולטרסאונד (UTC imaging) (אחוז הסיבים מסוג Echo-type I, II, III, IV). בקבוצת הילדים עם השמנת יתר וקבוצת בעלי עודף המשקל, אחוז הסיבים מסוג echo-type II היה נמוך בצורה מובהקת ואחוז הסיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV היה גבוה בצורה מובהקת ביחס לקבוצת הילדים במשקל התקין. בעזרת שימוש במודל רגרסיה ליניארית, אחוזון BMI 75 נמצא כנקודת החיתוך המדויקת לחלוקת ילדים עם "מבנה גיד פגוע" ($BMI \geq 75$) לבין ילדים עם "מבנה גיד לא פגוע" ($BMI < 75$). המסקנה עיקרית מן הממצאים היא שיש קשר בין השמנה בקרב ילדים לבין שינויים מבניים בגיד אכילס. מצב זה עלול להציב ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל בסיכון גבוה יותר לפציעות.

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

השמנת יתר ועודף משקל

בעשור האחרון ניכרת עלייה משמעותית בהשמנה בקרב ילדים. נמצא שבדומה למבוגרים השמנה ובעיות משקל מהוות סיכון לבעיות בריאותיות גם אצל ילדים (De Onis et al., 2010). בעבר נחשב ילד עם עודף משקל לילד בריא, והאמרה "גדול יותר

הוא בריא יותר" נתפסה בעולם כחיובית (Dietz, 1998). העלייה המתמדת בשכיחות תופעת ההשמנה הביאה את העוסקים בנושא להכרה כי מדובר ב"מגפה" ההולכת ומתפשטת, והופכת לאחת מבעיות הבריאות הנפוצות של ימינו. מחקרים שונים מראים כי ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל יהפכו בסבירות גבוהה יותר למבוגרים עם עודף משקל, ובנוסף אוכלוסיית ילדים זו סובלת מסיבוכי בריאות רבים ושונים המהווים גורם סיכון עתידי שבסופו של דבר עלול לגרום למוות בגיל צעיר (אליקים, 1999; נמט ואח', 1999). השמנה בקרב ילדים מוגדרת באמצעות אחוזון גדילה על ידי המרכז לבקרה ולמניעת מחלות בארצות הברית (Centers for Disease Control and Prevention growth charts for the United States, 2000) (Ram, et al., 2013). ילדים עם משקל יתר נמצאים באחוזון $BMI \geq 95$ וילדים עם סיכון לעודף משקל מוגדרים בטווח אחוזון $85 \leq BMI < 95$ (Ram et al., 2013). מנתונים שנלקחו מ-450 סקרים ב-144 מדינות נמצא כי הגידול המשמעותי במספר הילדים עם השמנת יתר ועודף משקל, שהחל עוד בשנות השבעים במדינות מתפתחות, עלה בשיעור ניכר בשני העשורים האחרונים (De Onis et al., 2010). במדינות מתפתחות, שכיחות הילדים עם השמנת יתר ועודף משקל הייתה 7.9% בשנת 1990, ומוערכת להיות 14.7% בשנת 2020 (Comorbidities, 2013). בישראל פורסמו בשנת 2006 נתונים אזוריים וארציים באשר לשיעורי השמנת היתר ועודף משקל בילדים ובנוער. נמצא כי שיעורי ההשמנה בקרב ילדי בתי ספר במחוז אשקלון עלה בעשור אחד: בקרב בנים בכיתות ב' מספר הילדים בעלי BMI מעל אחוזון 95 עלה מ-2.9% בשנת 1990 ל-8.6% בשנת 2000. בשכבת כיתות ה' נצפתה עלייה במהלך שנות המחקר בשיעור הבנים השמנים, אם כי במידה פחותה, מ-2.5% ל-7.2%, וכך גם בקרב הבנות (רובין ואח', 2013). הגורמים לגידול הדרסטי הם שינויים בתזונה ובדפוסי הפעילות הגופנית (אליקים, 1999; נמט ואח', 1999; Kelley et al., 2017; Mossberg, 1989). שינויים התנהגותיים אלו הם תוצר של תהליכים חברתיים, סביבתיים וכמובן בין-אישיים הנוגעים למשפחה, לחברים, לרשתות חברתיות, לבתי ספר, למקומות עבודה ועוד. לכל אלו השפעה על אורך החיים, בנוסף לשינויים ולתהליכים ביולוגיים. אם תהליכים אלו לא ישתנו, תופעת ההשמנה בקרב האוכלוסייה רק תלך ויעצים בשנים הקרובות. גילוי מוקדם של השמנה הוא אפוא חיוני. הערכת משקל בקרב ילדים חייבת להיות הליך שבשגרה. גילוי מוקדם מתייחס לגיל 6, ומשפחות שבהן ילדים עם נטייה להשמנה צריכות לקבל ליווי והדרכה תזונתיים והתנהגותיים. יש להתחיל את ההתייחסות לנושא ההשמנה מוקדם ככל האפשר ולא להמתין לבתי הספר שיתחילו לפעול בנושא (אליקים, 1999; נמט ואח', 1999; De Onis et al., 2010; Mossberg, 1989; Kelley et al., 2017).

מבנה ותפקיד גיד בריא

הגפיים התחתונים, מתוקף מיקומם, נושאים משקל. בזמן הליכה, המפרקים העיקריים של פלג הגוף התחתון חשופים לכמעט פי שלושה עד חמישה ממשקל הגוף. על פי חוקי ניוטון, סביר להניח שאנשים או ילדים במשקל עודף יחוו עומסים כבדים יותר על מפרקים אלו בהשוואה לבעלי משקל תקין (Maffulli et al., 2005). ואכן

נמצאו הבדלים במבנה כף הרגל כתוצאה מעומסי משקל בקרב אנשים עם עודף משקל והשמנת יתר בהשוואה לאנשים במשקל תקין (Hills et al., 2001). בנוסף, בקרב חולי סכרת Type 2 נמצאו הבדלים במבנה גיד אכילס בעזרת שימוש במכשיר האולטרסאונד UTC לעומת אנשים במשקל רגיל (de Jonge et al., 2015). תפקידו העיקרי של הגיד הוא לחבר בין השריר לעצם ולהעביר ביניהם כוחות המסוגלים לייצר תנועה במפרקים. הגיד נושא המשקל מסוגל לשאת פי 17 ממשקל הגוף. כוחו של הגיד תלוי במספר, בגודל ובכיוון סיבי הקולגן המרכיבים אותו. הוא מושפע מהעובי ומהסידור הפנימי של הסיבים הקולגניים, אשר מסודרים בדפוסים שונים. גיד אכילס הוא הגיד העבה והחזק ביותר בגוף האדם ואורכו כ-15 ס"מ (Maffulli et al., 2005)

גידים בנויים בעיקר מסיבים קולגניים, המסודרים באופן מקביל וצפוף לאורך הגיד. סיבי הקולגן בגיד עשויים בעיקר מסיבי קולגן מסוג I echo-type. סוג זה מהווה 95% מהרכב הגיד ומאורגן כאגדים (fascicles) ראשוניים העטופים ברקמת חיבור. בכל אגד ראשוני נמצאים גם Fibrocyte - תאי סיב (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).

השמנה כגורם לשינויים מבניים בגיד

הדעה הרווחת עד היום הייתה כי הגורם העיקרי לשינויים מבניים הוא עומס ושימוש יתר המופעל על הגיד. מעט מאוד מחקרים עסקו בשאלה אם השמנה משפיעה על מבנה הגיד ויוצרת בו שינויים מבניים. רקמות שומן נוטות לשחרר חומרי דלקת (כגון, $\text{TNF-}\alpha$, IL-6), הגורמים לתגובה דלקתית. חומרים אלו נמצאו גבוהים במיוחד בקרב אוכלוסייה עם עודפי משקל אשר גורמים לתהליכי שינוי מבנה, בעיקר בגידים שעליהם מופעל עומס גבוה כגון גיד אכילס (Castro et al., 2016). בהשמנת יתר ישנה רמה גבוהה של ציטוקינים, המשפיעה במישרין ובעקיפין על מבנה הגיד. בסקירה ספרותית שבה נבדק הקשר בין פציעות בגיד לבין השמנה, נמצא לפחות במחצית מהמקרים כי אנשים עם שינויים מבניים בגיד, כאבים בגיד או קרעים בגיד, היו בעלי אחוז שומן גבוה ביחס לקבוצת הביקורת. על פי הסקירה, השמנה היא גורם סיכון מהותי לשינויים מבניים בגיד (Gaida et al., 2009). כיוון שהגידים של הגפיים התחתונים הם הגידים הנושאים במשקל, השמנה תפגע בהם ולא בגידים של הגפיים העליונים. ארגון חזק של סיבים בגידים של הגפיים התחתונים הכרחי לעומת ארגון סיבי הגיד של הגפיים העליונים (Park et al., 2005).

שימוש במכשיר אולטרסאונד לדימות רקמת הגיד

במשך שנים, השימוש במכשיר האולטרסאונד הקובננציונלי (US) עזר בזיהוי שינויים מבניים בגיד (Masci et al., 2015). אולם עם הזמן התגלו מספר חסרונות בשימוש במכשיר הזה. הבעיה המרכזית היא העובדה שהוא מחייב מיומנות של

הבודק ולכן מוגבל לרוב לרדיולוגים (יש חשיבות לצורת החזקת המכשיר, לצורת הסריקה, להערכה סובייקטיבית ועוד). בעיה אפשרית נוספת קשורה לעובדה שמבנה הגיד הוא תלת-ממדי, ובמכשיר האולטרסאונד הקונבנציונלי המדידה היא דו-ממדית, ולכן לא מתאפשרת תמונה מלאה וזיהוי שינויים מבניים של מבנה הגיד בכללותו (van Schie et al., 2010). ברפואה התפתחה שיטת בדיקה בעזרת מכשיר חדש (Ultrasound Tissue Characterization - UTC) עבור בחינת מבנה והרכב הגיד. שיטה זו זיהתה רצף חתך רוחבי של סיבי הגיד. על בסיס מחקרים שנערכו בסוסים, התגלו ארבעה סוגי סיבים במבנה הגיד (van Schie et al., 2010). נמצא כי על פי שיטה זו ובעזרת מכשיר ה-UTC ניתן להבחין בין גידים סימפטומטיים, שבהם מופיעים שינויים מבניים, לגידים אסימפטומטיים, שבהם לא ניתן לראות שינויים מבניים גם בבני האדם (van Schie et al., 2010). מכשיר ה-UTC הוא מכשיר מהימן המבטל פרשנות סובייקטיבית ונעזר בממצאי האולטרסאונד על מנת לכמת את הפרמטרים של הגיד (Docking et al., 2015). המכשיר בודק בצורה אובייקטיבית את אחוזי הסיבים בהתאם לשינויים בנוזל הגיד, המשתקפים בתמונת ניתוח הסריקה, ומסווג אותם לארבעה סוגי סיבים שונים: echo-type I – **צבע ירוק**, echo-type II – **צבע כחול**, echo-type III – **צבע אדום** ו-echo-type IV – **צבע שחור** (Masci et al., 2015). סיבים מסוג I ו-II מתאפיינים ביציבות גבוהה וברצועות ישרות שלמות ומסודרות של הגיד (Wezenbeek et al., 2017), ואילו סיבים מסוג III ו-IV מתאפיינים בסיבים קטנים ולא מסודרים (de Jonge et al., 2011). עם זאת, יש מעט הבדלים באפיון הסיבים בספרות, והגדרות הסיבים משתנות מעט ממחקר למחקר. ישנם מחקרים המייחסים חשיבות גבוהה לסיבים מסוג echo-type I, סיבים בריאים ישנם מחקרים המייחסים חשיבות גבוהה הן לסיבים מסוג echo-type I והן לסיבים מסוג echo-type II. שני סוגי סיבים אלו מהווים את סוג הסיבים הבריאים. מנגד, נוכחותם הרבה של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV, המהווים סיבים לא בריאים, מעידה על חולשה ועל שינוי מבנה הגיד, ואולי אף על הופעת תסמינים דלקתיים (de Jonge et al., 2012; Docking, 2015; de Vos, 2012). קטנים ועדינים העשויים להפוך לשינויים משמעותיים, וזאת על ידי סריקת 600 תמונות רציפות במרחק של 0.2 מ"מ על פני אזור של 12 ס"מ לאורך הגיד במטרה להשיג תמונה תלת-ממדית (van Schie et al., 2010; Docking et al., 2016b). המכשיר עובד ברזולוציה גבוהה, מחובר למכשיר מעקב שסורק את הגיד בצורה אוטומטית, אמינה ומדויקת, המאפשרת מדידה כמותית (Masci et al., 2015). במחקר לבדיקת הבדלים בין גידים סימפטומטיים לאסימפטומטיים נמצא כי אחוז הסיבים מסוג echo-type I ו-echo-type II היה גבוה ובעל מבנה מסודר ומאורגן יותר באנשים עם גידים סימפטומטיים, בעוד שאחוז הסיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV היה גבוה ובעל מבנה לא מסודר באנשים עם גידים אסימפטומטיים (Masci et al., 2015). במחקר שנעשה בקרב חולי סכרת נמצא כי מבנה הרכב סיבי הגיד שלהם מסוג echo-type III ו-echo-type IV – המצביעים על מבנה טוב פחות – היה גבוה בהשוואה לקבוצת הביקורת הבריאה. תוצאות אלה מובילות למסקנה כי מצב של היפרגליקמיה (רמה גבוהה של גלוקוז בדם המופיעה לרב אצל חולי סכרת),

כפי שקרה אצל חולי סכרת צעירים, עלול להוביל לפגיעה במבנה ובהרכב סיבי גיד אכילס, שבסופו של דבר עלולה להוביל לממצאים דלקתיים (de Jonge et al., 2015).

הבדלים ביומכניים במבנה השלד בילדים עם השמנת יתר לעומת ילדים במשקל תקין

אצל ילדים עם השמנת יתר וילדים בעודף משקל, העומס על הגפיים התחתונים, במיוחד בכף הרגל, שונה במהותו מאשר אצל ילדים במשקל תקין (Cousins, 2014). עומס רב על כף הרגל יוצר שינויים קינטיים וקינמטיים בדפוס ההליכה, במיוחד באזור הירך והקרסול (Cousins, 2014). מסת הגוף ממלאת תפקיד דומיננטי במחיר הכולל של התהליך המטבולי והמכני עבור כל צעד. לכן ילדים עם השמנת יתר ובעודף משקל עשויים לאמץ אסטרטגיות הליכה שונות על מנת להימנע מהגדלת העלות המטבולית והמכנית במאמץ כדי להניע את גופם, זאת בהשוואה לילדים בעלי משקל תקין (Jegade et al., 2017). ההשפעות השליליות של השמנה על דפוס הליכה נחקרו ודווחו בספרות (Nantel et al., 2011; Wearing et al., 2006) מחקרים שהשוו בין מאפייני הליכה של אנשים עם השמנת יתר ועודף משקל לבין אלו של בעלי משקל תקין דיווחו כי הראשונים מבצעים צעדים קצרים יותר (1.25 מ' לעומת 1.67 מ') ורחבים יותר (0.16 מ' לעומת 0.08 מ') (Oliver et al., 2009). ההבדל בין ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל לבין ילדים במשקל תקין בהקשר של דפוס הליכה נוצר כתוצאה מהעומס שמופעל על הגפיים התחתונים ובהתאם - על מבנה הרגל (Cavanagh & LaFortune, 1980; Dowling et al., 2004). הגפיים התחתונים, במיוחד הרגליים, חשופים למסה נוספת במהלך היום-יום. בהליכה, 0.5 ממסת הגוף פועלת על הרגל, ואילו בזמן ריצה הרגל נושאת פי שניים עד שלושה ממסת הגוף מובילים לשינויים בדפוס התנועה בגפיים התחתונים ובמידות בכף הרגל. בעקבות ההבדלים בדפוס התנועה, ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל חשופים יותר לשינויים מבניים בגיד אכילס. בילדים ובמתבגרים גדילה והתפתחות יכולות להשפיע על תבנית מבנה הרגל וליצור עומס על הרגל עקב עודף המשקל. בילדים מבנה כף הרגל משתנה במהלך הגדילה, והוא שונה בין בנים לבנות. נמצא כי קשת כף הרגל אצל ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל שונה מזו אצל ילדים עם משקל תקין (Riddiford; Harland, 2000; Rosengarten et al., 2015). ישנן הוכחות כי השמנה בילדות אחראית למספר לא מבוטל של תחלואות מטבוליות ופיזיולוגיות. מחקרים רבים דנו ועסקו בהשפעת משקל יתר ומשקל עודף אצל מבוגרים על מבנה שלד הגוף ועל רקמותיו הרכות, אולם מעט מחקרים דנו בהשפעת ההשמנה בילדות על מבנה ועל הרכב שלד הגוף ורקמותיו.

מטרת המחקר

הערכת מבנה גיד אכילס (Achilles tendon) בקרב ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל לעומת ילדים במשקל תקין.

שיטה

המחקר כלל 76 משתתפים בני 7-15 חלקם טרום גיל בגרות ממרכז הארץ. כל המשתתפים התבקשו לחתום על טופס הסכמה. מכיוון שמדובר בקטינים, כל הורה חתם על טופס הסכמה שאושר על ידי ועדת הלסינקי, זאת לאחר שהוסבר לו ולילדו במה כרוכה השתתפות הילד, וכי לא קיימות בה כל סכנות. כמו כן, כל ילד חתם על טופס הסכמה המיועד לילדים מעל גיל 7. המשתתפים חולקו לשלוש קבוצות בדיקה לפי הנתונים האלה: **קבוצה 1** – 22 ילדים עם השמנת יתר ($BMI < 95\%$), **קבוצה 2** – 10 ילדים בעודף משקל ($85\% \leq BMI \leq 95\%$). שתי קבוצות אלו כללו ילדים הלוקחים חלק בתוכנית מעקב במרכז הספורט הרפואי של בית החולים "מאיר". במסגרת תוכנית התערבות של המרכז הילדים הללו והוריהם מקבלים ייעוץ תזונתי מתזונאית מוסמכת, שש פעמים במהלך תקופה של כחצי שנה. הפגישות נסבות סביב הכרת הסיבות להשמנה, הכרת הרגלי האכילה בבית וחשיפה להרגלים בריאים יותר, כמו פירמידת המזון, הבנת המוטיבציה והרצון לרזות וניסיון לגייס את כל המשפחה לאורח חיים בריא. התוכנית כוללת פעילות גופנית פעמיים בשבוע. **קבוצה 3** – 44 ילדים במשקל תקין ממרכז הארץ. הרכב הסיבים בגיד אכילס נבדק אצל משתתפי שלוש הקבוצות לצורך השוואה ביניהן בנקודת זמן אחת.

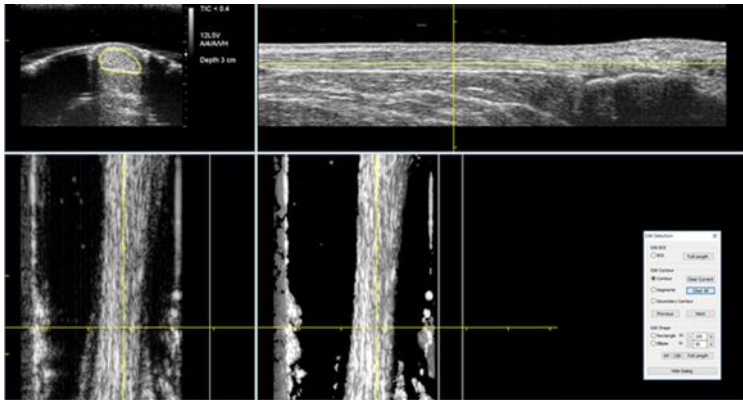
כלי מחקר - בדיקת גיד אכילס בעזרת מכשיר אולטרסאונד (UTC-imaging)
סריקת הגיד התבצעה בעזרת מכשיר האולטרסאונד. נבחנו ארבעת סוגי הסיבים הקולגניים המרכיבים את הגיד, ונמדדו אחוזהיהם.

תיאור מכשיר האולטרסאונד (UTC - Ultrasound Tissue Characterization)
מכשיר האולטרסאונד מאפשר אבחנה תלת-ממדית (3D) של מבנה הסיבים הקולגניים ברקמה תוך מעקב דינמי לאורך הגיד כולו (Tracking) ותוך איסוף תמונות רוחביות כל 2 מ"מ לאורך 20-12 ס"מ של הגיד (תמונה 1).



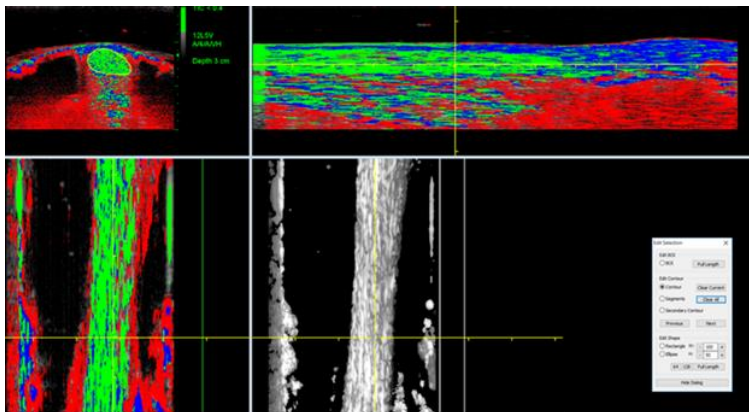
תמונה 1. מכשיר האולטרסאונד (UTC - Ultrasound Tissue Characterization), מכשיר דינמי הסורק את הגיד לאורך 45 שניות ונותן תמונה תלת-ממדית של איכות הסיבים

דווח בזמן אמת המראה הטומוגרפי (תמונת מבנה הגיד שמתקבלת מהסריקה) של הרקמה ושל מאפייני הרקמה ואיכות הסיבים הקולגניים מבחינה ארכיטקטונית/מבנית בכל שלושת הממדים (תמונה א2).



תמונה א2. גיד אכילס - חתך אופקי (למעלה משמאל), חתך סגיטאלי (למעלה מימין), חתך קורונרי (למטה משמאל) ותמונה תלת-ממדית (3D) של מבט קורונרי (למטה מימין)

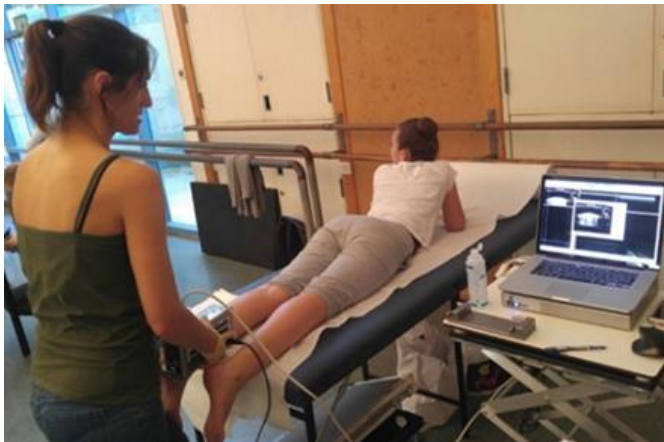
באמצעות אלגוריתם לסריקה על-קולית, מכשיר זה מאפשר לזהות ארבעה סוגים/מבנים שונים של רקמה קולגנית (תמונה ב2).



תמונה ב2 - חלוקת סיבי גיד אכילס: סיבים מסוג I echo-type **בצבע ירוק**; II echo-type **בצבע כחול**; III echo-type **בצבע אדום**; IV echo-type **בצבע שחור**

ארבעת הסיבים: סיבים מסוג I echo-type, סיבים קולגניים ישירים, סדירים ובריאים (**בצבע ירוק**), סיבים מסוג II echo-type, סיבים קולגניים לא-המשכיים וגליים (**בצבע כחול**), סיבים מסוג III echo-type, סיבים קולגניים פגועים (פיברילריים) (**בצבע אדום**), סיבים מסוג IV echo-type, סיבים קולגניים קרועים

מוקפים בנוזל מרובה (**בצבע שחור**). מכשיר זה מאפשר לבחון את השפעת העומס על איכות הגידים, את מידת הפגיעה בהם ואת מידת השיקום וההחלמה שלהם. בדיקת האולטרסאונד ארכה עד כ-10 דקות. סריקת ה-US ארכה 45 שניות והתבצעה פעמיים סך הכול, גיד אכילס רגל ימין (AT_RT) וגיד אכילס רגל שמאל (AT_LT) (de Vos, 2010). לצורך בדיקת הגיד שכבו הנבדקים על הבטן, על מיטת הבדיקה, כשכף הרגל הנבדקת נמצאה מחוץ למיטה. הבודקת הצמידה את הברך שלה לכף הרגל של הנבדקים, על מנת להשיג את מרב ה-Dorsiflexion הפסיבי (מצב של פלקס בכף הרגל על מנת להשיג מתיחה מרבית של הגיד כדי לקבל תמונה ברורה כמה שיותר). ג'ל נמרח על העור ועל מכשיר הסריקה בכדי למקסם את חדירת גלי הקול. מכשיר המעקב הונח על החלק האחורי של כף הרגל. הסריקה התבצעה מהחלק הפרוקסימלי (הקרוב) לכיוון החלק הדיסטלי (הרחוק) (תמונה 3).



תמונה 3 – סריקת גיד אכילס ברגל שמאל - AT_LT

התמונות שנשרקו נשמרו על גבי מחשב ולאחר מכן נותחו בניתוח טומוגרפי בשלושה מנחים שונים (Masci et al., 2015).

הליך

נערכה השוואה על ידי סריקת גיד אכילס בעזרת מכשיר ה-UTC בין קבוצה 1, קבוצה 2 לקבוצה 3. בדיקה אחת המשווה את מבנה והרכב הסיבים (מבחינת היקף הגיד ומבנה הסיבים).

נתונים בסיסיים

כל משתתף התבקש למלא שאלון בשלב הבדיקה שבו נתן פרטים על בריאותו הכללית, נתוני גיל, משקל, גובה, בוצע חישוב אחוזון BMI וכן דיווח עצמי על דרגת ההתבגרות המינית בעזרת שאלון טאנר (סולם Tanner) לבנות (Falciglia et al., 2016).

ניתוח נתונים

חושב גודל מדגם של 40 ילדים בכל קבוצה $\alpha=0.05$ ו- $\beta=0.7$. כדי לגלות הבדלים בעלי גודל אפקט של $p \leq 0.5$ הוצג תיאור אנתרופומטרי של שלוש הקבוצות.

כמו כן תוארו שכיחות ארבעת הסיבים (אחוז הסיבים) ועובי הגיד. השוואה בין שלוש הקבוצות בכל נתוני הבסיס נעשתה בעזרת מבחן ANOVA חד-כיווני. נעשתה גרסיה בחלקים (Piecewise) כדי לבדוק באיזה אחוזון BMI מתחיל השינוי במבנה הגיד. נקודת החיתוך של הרגרסיה הייתה אחוזון BMI = 75%, ועל סמך זאת חולקו הקבוצות לשתיים: בעלי אחוזון BMI < 75% ובעלי אחוזון BMI > 75%.

ממצאים

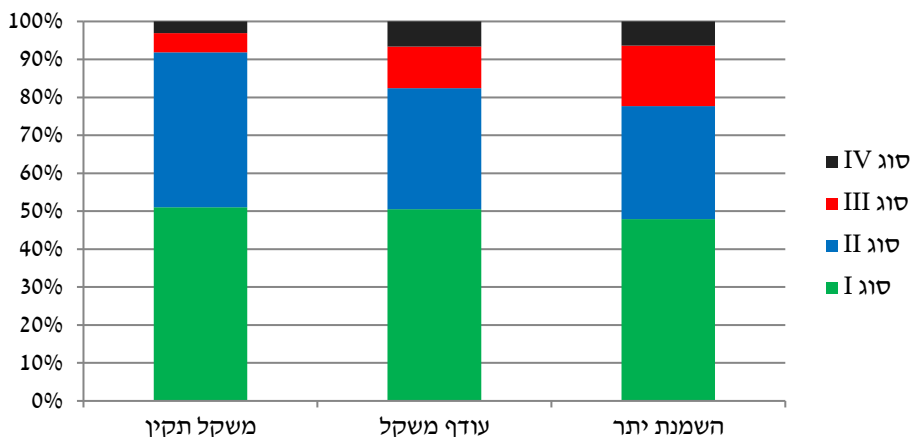
לוח 1 מתאר את ממוצע \pm סטיית התקן של גיל ונתונים אנתרופומטריים של ילדים בעלי משקל תקין, בעלי עודף משקל והשמנת יתר. כפי שניתן לראות ישנם הבדלים מובהקים בין קבוצת הילדים במשקל תקין לבין קבוצת הילדים השמנים והבדלים מובהקים בין קבוצת הילדים במשקל תקין לבין קבוצת הילדים עם עודף המשקל.

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

משקל תקין (אחוזון BMI > 85%) (N=44(F=18)	עודף משקל (85% ≤ BMI ≤ 95%) (N=10(F=6)	השמנת יתר (אחוזון BMI ≥ 95%) (N=22(F=17)	
10.87 ± 1.34 (8.10-12.94)	10.66 ± 1.29 (8.22-12.29)	11.12 ± 2.71 (6.98-15.75)	גיל
141.74 ± 11.39 (118.0-170.0)	142.69 ± 11.55 (122.9-161.0)	149.75 ± 14.90 (121.0-180.0)	גובה (ס"מ)
34.18 ± 8.17 (20.90-57.10)	43.61 ± 7.92 (28.0-58.8)	65.61 ± 20.18 (31.1-94.4)	משקל (ק"ג)*
16.76 ± 1.86 (13.30-20.40)	21.26 ± 1.52 (18.5-23.3)	28.46 ± 4.97 (20.8-36.9)	**BMI
25.67 ± 41.57 (1.0-80.0)	89.40 ± 3.69 (85.0-94.0)	97.68 ± 1.17 (96.0-99.0)	אחוזון ***BMI%

*הבדלים מובהקים בין קבוצת ילדים במשקל תקין לקבוצת ילדים שמנים ($p < .05$).
 **הבדלים מובהקים בין קבוצת ילדים במשקל תקין וקבוצת ילדים בעודף משקל. הבדלים מובהקים בין קבוצת ילדים במשקל תקין לבין קבוצת ילדים שמנים. ($p < .05$).
 ***הבדלים מובהקים בין קבוצת ילדים במשקל תקין וקבוצת ילדים בעודף משקל, והבדלים מובהקים בין קבוצת ילדים במשקל תקין לקבוצת ילדים שמנים ($p < .05$).

באיור 1 ניתן לראות את ניתוח נתוני האולטרסאונד (UTC), שמצביע על הבדלים מובהקים בין ארבעת סוגי הסיבים בין שלוש קבוצות הבדיקה (משקל תקין, עודף משקל ושמנים).



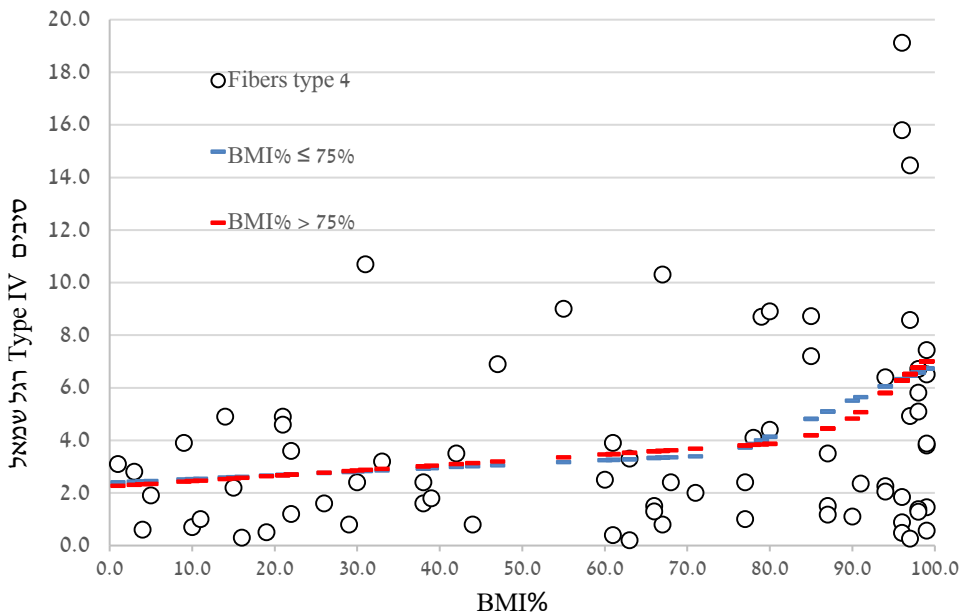
איור 1: יחס תדירות סוג הסיב בקבוצת ילדים במשקל תקין, קבוצת ילדים במשקל עודף וקבוצת ילדים עם השמנת יתר

בלוח 2 ניתן לראות את אזור חתך הרחב שנמצא קטן בצורה מובהקת בקבוצת הילדים בעלי המשקל התקין בהשוואה לילדים בקבוצת הילדים השמנים ובקבוצת הילדים עם עודף המשקל בשתי הרגליים. לא נמצאו הבדלים מובהקים בבדיקת האורך של הגיד (ML) בין שלוש הקבוצות לא ברגל הימנית ולא ברגל השמאלית ($p > 0.05$).

לוח 2. חתך רחב ואורך קדמי ואחורי (AP) בקבוצת ילדים בעלי משקל תקין ($BMI > 85\%$), קבוצת ילדים בעלי עודף משקל ($85\% \leq BMI \leq 95\%$) וקבוצת ילדים שמנים ($BMI \geq 95\%$).

ערך P	קבוצת ילדים עם השמנת יתר (אחוזון $BMI \geq 95\%$)	קבוצת ילדים עם עודף משקל (אחוזון $85\% \leq BMI \leq 95\%$)	קבוצת ילדים עם משקל תקין (אחוזון $BMI > 85\%$)	רגל	
$p < .05$	$1.65 \pm .28$	$1.49 \pm .27$	$1.33 \pm .34$	ימין	חתך רחב (מ"מ ²)
$p < .05$	$1.63 \pm .32$	$1.50 \pm .32$	$1.35 \pm .37$	שמאל	
$p > .05$	$.45 \pm .10$	$.44 \pm .07$	$.46 \pm .12$	ימין	אורך קדמי ואחורי (מ"מ)
$p > .05$	$.45 \pm .10$	$.41 \pm .07$	$.47 \pm .10$	שמאל	

באיור 2 מבנה הגיד נבדק כנגד אחוזון BMI. הגרפים הצביעו בצורה ברורה על אפקט הסף. על בסיס ראיות אלו בחרנו לעשות שימוש במודל רגרסיה ליניארית מתמשך של טיפין. המודל בתרשים התבסס על מבנה הגיד echo-type IV, מכיוון שסיבים מסוג זה הם הבולטים ומייצגים את הסיבים הפגועים. סיבים אלו מבחינים בצורה הטובה ביותר בין שתי קבוצות הילדים.



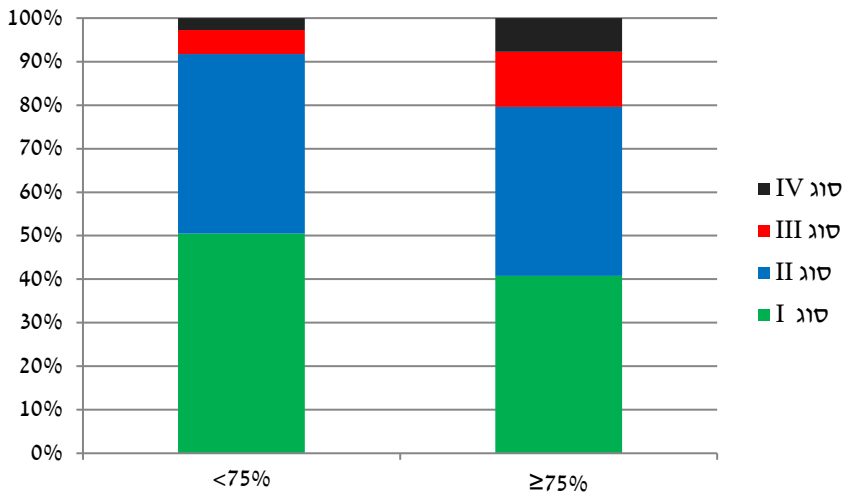
איור 2. סלב מסוג echo-type IV, בין אחוזון BMI% ≤ 75% ואחוזון BMI% > 75%

אחוזון BMI 75% נמצא כנקודת החיתוך הכי מדויקת המפצלת את הילדים לשתי קבוצות: מבנה גיד לא פגוע של ילדים (BMI% < 75%) ומבנה גיד פגוע של ילדים (BMI% ≥ 75%). על בסיס נקודת חיתוך זו, 50% מהילדים (38 ילדים) נמצאו בכל קבוצה. לוח 3 מייצג את הממוצע ואת סטיית התקן (טווח) של גיל ונתונים אנתרופומטריים בקבוצת הילדים עם מבנה "גיד פגוע" ובקבוצת הילדים עם מבנה "גיד לא פגוע".

לוח 3. ממוצע \pm סטיית תקן (טווח) של גיל ונתונים אנתרופומטריים בקבוצת ילדים עם מבנה "גיד פגוע" ובקבוצת ילדים עם מבנה "גיד לא פגוע"

"מבנה גס פגוע" (BMI% \geq 75) N=38 (F=27)	"מבנה גיד לא פגוע" (BMI%<75%) N=38 (F=14)	
10.97 \pm 2.22 (6.98-15.75)	10.86 \pm 1.34 (8.10-12.94)	גיל (שנים)
146.40 \pm 13.86 (121.0-180.0)	141.97 \pm 11.55 (118.0-170.0)	גובה (ס"מ)
55.58 \pm 19.98 (26.3-94.4)	33.46 \pm 8.10 (20.9-57.1)	משקל (ק"ג) *
25.14 \pm 5.53 (18.0-36.9)	16.33 \pm 1.59 (13.3-19.8)	*BMI
92.47 \pm 7.40 (77.0-99.0)	35.74 \pm 22.57 (1.0-71.0)	*BMI % אחוזון

באיור 3 ניתן לראות את ניתוח נתוני האולטרסאונד UTC שהראו הבדלים מובהקים בין תרומת ארבעת סוגי הסיבים ב-BMI%<75% של הילדים בהשוואה לילדים ב-BMI% \geq 75%. אחוז מובהק נמוך של סיבים מסוג echo-type II ואחוז גבוה של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV נמצא בקבוצת הילדים עם מבנה "גיד פגוע" (BMI%<75%) בהשוואה לקבוצת הילדים עם מבנה "גיד לא פגוע" (BMI% \geq 75%) בשתי הרגליים ($p < .05$). גיד אכילס (AP) נמצא ארוך יותר בצורה מובהקת בקבוצת הילדים עם מבנה "הגיד הפגוע" (BMI% \geq 75%) בהשוואה לקבוצת הילדים עם מבנה "הגיד הלא פגוע" (BMI%<75%) הן ברגל הימנית והן ברגל השמאלית ($p = .018$ ו $p = .001$, בהתאמה).



איור 3: יחס תדירות סוג הסיב (AT_RT) בקבוצת ילדים עם מבנה "גיד לא פגוע" ($BMI < 75\%$) לבין קבוצת ילדים עם מבנה "גיד פגוע" ($BMI \geq 75\%$). הבדלים מובהקים בין סיבים מסוג III-echo type ו-IV-echo type ($p < .05$)

דיון

ממצאי המחקר הנוכחי מראים כי יש קשר בין השמנה בקרב ילדים לבין שינויים מבניים של גיד אכילס. למיטב ידיעתנו, זהו המחקר הראשון שהראה הבדלים מובהקים במבנה הגיד בקרב קבוצת ילדים עם השמנת יתר ובעודף משקל בהשוואה לקבוצת ילדים במשקל תקין, שהתבצעה בעזרת מכשיר האולטרסאונד UTC. במהלך המחקר נערכה סריקה אחת של גיד אכילס בשתי הרגליים, כאשר הנבדקים חולקו לשלוש קבוצות נבדקים. קבוצה 1, קבוצה 2, וקבוצה 3. בקבוצה 1 ו-2 נמצאה שכיחות מובהקת נמוכה יותר של סיבים מסוג II-echo-type עם שכיחות מובהקת גבוהה יותר של סיבים מסוג III-echo-type ו-IV-echo-type. תוצאות אלה עולות בקנה אחד עם ממצאי מספר מחקרים קודמים שעשו הפרדה בין סיבים מסוג I-echo-type ו-II-echo-type כמשויכים לקבוצת סיבים בעלי מבנה מסודר ומאורגן, עם אחוז נוכחות רב בגידים בריאים, לעומת סיבים מסוג III-echo-type ו-IV-echo-type בעלי מבנה אמורפי, לא מסודר ולא מאורגן, עם תסמיני קרעים, שמאפיין לרוב גידים לא בריאים (Docking et al., 2015). מחקרים אחרים טענו כי השכיחות של סיבים מסוג II-echo-type צריכה להיות גבוהה יותר בקרב קבוצה 1 ו-2 בהשוואה לקבוצה 3 (Docking et al., 2016b; Gaida et al., 2009; van Ark et al., 2016). לנוכח ממצאים שונים אלו נמצא כי גידים לא בריאים אכן בעלי אחוז גבוה של סיבים מסוג III-echo-type ו-IV-echo-type, אולם קיימת גם נוכחות גבוהה של סיבים מסוג I-echo-type ו-II-echo-type. הפיצוי שנעשה בגיד על מנת להתמודד עם השינויים המבניים האלו, הוא הגדלת חתך הרוחב של הגיד (Docking et al., 2015). כשהגיד כבר אינו יכול לפצות יותר בעזרת גידול בחתך הרוחב שלו,

קרעים מיקרו טראומטיים מתרחשים, והגיד הופך לניווני (Abate et al., 2009). משקל עודף גורם לשינויים מבניים בגיד כתוצאה מתנועת נוזל בין-רקמתי בתגובה לעומס רב. במחקר שנערך 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;). כל השינויים המתוארים מתרחשים במקביל לעלייה בשכיחות סיבים מסוג echo-type II. קבוצות 1 ו-2 הראו שכיחות מובהקת גבוהה יותר של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV בהשוואה לקבוצה 3. 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., 2010; Masci et al., 2015; van Schie, 2010). בספרות דווח כי בגידים נגועים נמצאו ערכים גבוהים יותר של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type I ביחס לקבוצת הביקורת (van Schie, 2010), וכן הגידים הנגועים התאפיינו בחוסר ארגון של הסיבים (Docking, 2016a). עומסים מתמשכים ומופרזים על הרקמות כמו משקל עודף מובילים לשינויים מבניים של הגיד ומעלים את הסיכוי להיווצרות תנאים אורתופדיים המביאים בסופו של דבר לפציעות ולכאבים כמו לדוגמה דלקות למיניהן (Abate et al., 2009; Heinemeier & Kjaer, 2011; Reb et al., 2015;). ייתכן ששכיחות גבוהה יותר להימצאותם של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV במקביל לירידה באחוז סיבים מסוג echo-type II (המאורגנים יותר) בקרב קבוצה 1 ו-2, נבעה בשל העובדה שילדים עם עודף משקל הם לרוב יושבניים יותר, פעילותם הגופנית מוגבלת וכוללת מעט עומסים. במחקר שנערך בדיקה בעכברים עם עודף משקל, נמצא כי לרוב הם בעלי מבנה גידים חסר סדר סיבי. חוסר פעילות של העכברים ועודף משקלם הובילו למסקנה כי זו הסיבה להיווצרותם של שינויים מבניים ושל חוסר ארגון הסיבים במבנה הגיד, וזאת בשונה מקבוצת העכברים במשקל תקין שהיו פעילים ובעלי משקל נמוך (Biancalana et al., 2012). המבנה השונה בקרב קבוצת הילדים עם השמנת היתר, לצד המבנה הלא מאורגן של החומר החיצוני הבונה את הגיד, עלולים להוביל לנוקשות ולקרעים מיקרוסקופיים כתוצאה מעומס כבד (Abate et al., 2012; Biancalana et al., 2012). הסיבים הלא מאורגנים מסוג cho-type III ו-echo-type IV היו מפורזים לכל חתך הרחב של גיד האכילס. המצב שונה בגיד אכילס סימפטומטי, שבו יש אחוז ממוקד גבוה של סיבים מסוג echo-type III ו-echo-type IV בגיד עצמו (Docking, 2016a), ומכאן המסקנה שהגיד מנוון.

במחקרם של ווירינג ואח' (Wearing et al., 2013) נבחן תפקודו המכני של גיד אכילס בתגובה לפעילות גופנית באוכלוסיות בעלות 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 הגיד לפני ואחרי הפעילות הגופנית היה עבה יותר בקבוצת

הגברים בעלי משקל עודף לעומת הגברים בעלי המשקל התקין. לעומת זאת, תגובת הסיבים הרחביים של הגיד לאחר אימון הייתה פחותה בכ-20% בקבוצת בעלי עודף המשקל בהשוואה לקבוצת בעלי המשקל התקין. תגובה זו של סיבים רחביים לפעילות גופנית תואמת את הירידה בעובי הגיד ואת הירידה בכמות המים המתרחשת במצב של עומס יתר על הגיד, וכן משקפת את תנודות הנוזל שנמצא בגיד כתוצאה מהעומסים הפועלים על סיבי הקולגן. ממצאים אלה מראים כי השמנה היא גורם נוסף לשינויים מבניים של הגיד בעקבות פעילות גופנית והפעלת עומס על הגיד (Wearing et al., 2013).

כשמבנה הגיד נבחן כנגד גרף אחוזון BMI, הוצע אפקט סף. באמצעות מודל רגרסיה ליניארית, נמצא שילדים באחוזון $BMI > 75\%$ (קבוצת הילדים עם "מבנה גיד לא פגוע") היו בעלי מבנה גיד שונה מאשר קבוצת הילדים שהיו באחוזון $BMI \leq 75\%$ (קבוצת הילדים עם "מבנה גיד פגוע"). ממצאים אלו עולים בקנה אחד עם תוצאות מחקר קודם של אליקים (Eliakim et al., 2001), המדגימות כי בילדות שלפני גיל הבגרות, באחוזון $BMI \leq 75\%$ מדרגות הכושר יורדות, וכתוצאה כך פעילות הורמון הגדילה והרגישות לאינסולין נמצאות במגמת ירידה. אחוזון $BMI \leq 75\%$ מהווה את נקודת דרגת הסף של השומן, שממנה מתחילים להופיע סימנים שליליים של השמנה (Eliakim et al., 2001). במחקר הנוכחי ניתן לראות שסימנים שליליים מתחילים להיווצר באותה דרגת סף גם במבנה הגיד.

בגיד אכילס נמצא אזור חתך רחב גדול יותר בקרב קבוצה 1 ו-2 ביחס לקבוצה 3, ואורך רוחב (AP) גדול יותר של הגיד נמצא בקבוצת הילדים עם "מבנה הגיד הפגוע" ($BMI \geq 75\%$) ביחס לקבוצת הילדים עם "מבנה הגיד הלא פגוע" ($BMI < 75\%$). כאשר אחוז הסיבים מסוג echo-type II לא השתנה בקבוצה 1 ו-2. הגידול באזור חתך הרוחב הוא כנראה תוצאה של מבנה אנטומי אחר (wider leg circumference) בקבוצת אלו, ולא תוצאה של עומס כבד.

לסיכום, תוצאות המחקר הנוכחי הראו כי בגיד אכילס, ילדים עם אחוזון $BMI \leq 75\%$ כבר מראים דפוסי מבנה גיד שונים בהשוואה לילדים עם אחוזון $BMI > 75\%$. בנוסף, נמצא כי ילדים עם עודף משקל (קבוצה 2) הראו שינויים במבנה גיד אכילס בצורה דומה יותר לילדים עם השמנת יתר (קבוצה 1) מאשר לקבוצת הילדים בעלי משקל תקין. לכן, המסקנה מהמחקר הנוכחי מתייחסת בצורה שווה לשתי הקבוצות (1 ו-2) ומצביעה על כך שאותם ילדים עם השמנת יתר ועודף משקל עלולים להיות בסיכון גבוה יותר לפציעות. יש להביא זאת בחשבון בתוכניות התערבות לקבוצות אלו. ילדים הסובלים מהשמנת יתר ומעודף משקל כדאי שיבצעו בדיקת מעקב תקופתית וקבועה מעת לעת בעזרת מכשיר אולטרסאונד, אשר יאבחן את מצב הרכב הגיד שלהם ואת סיביו לצורך התאמת תוכניות התערבות עתידיות הכוללות פעילות גופנית, וזאת בניסיון להוריד במשקל כדי למנוע סיבוכים הנובעים מעודף משקל. הפעילות הגופנית שתותאם לילדים הללו תתחשב במשקלם ותמנע עומסים מיותרים. דרושים מחקרים נוספים כדי לפתח תוכניות אימון שונות, הנכונות והמתאמות לאוכלוסייה זו. במחקר הנוכחי נמצא כי כבר באחוזון 75% החלו להיווצר שינויים מבניים בגיד, ועם זאת אין אנו יודעים אם ירידה מתחת

לאחוזון זה תמנע שינויים מבניים עתידיים. ואולם זו נקודה למחשבה שיש לתת עליה את הדעת.

מקורות

- אליקים, א' (1999). פעילות גופנית כטיפול בהשמנה בילדים ומתבגרים - המאמץ משתלם. *הרפואה*, 136(ה'), 385-381.
- נמט, ד', וולך, ב' ואליקים, א' (1999). *השמנה בילדים ומתבגרים - תופעה רחבת ממדים*. הרפואה, 136(ד'), 301-307.
- רובין, ל', חונוביץ', מ', שטל, ז', יערי, ש' וגרוטו, א' (2013). *נתוני בדיקות גדילה של תלמידי בתי ספר בישראל תשע"א-תשע"ב*. ראש שירותי בריאות לציבור, משרד הבריאות. <https://www.health.gov.il/publicationsfiles/gdila-school-2010-2012.pdf>
- 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.
- 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.
- 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., Skare, T.L., Nassif, P.A., Sakuma, A.K., Barros, W.H., (2016). Tendinopathy and Obesity. *Arq Bras Cir Dig*. 29(1), 107-110.
- Cavanagh, P. R., & LaFortune, M. A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13(5), 397-406.
- 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.
- Cousins, S. D. (2014). *What is the impact of excessive body mass on the biomechanical walking characteristics in 7 to 11 year old children* (Doctoral dissertation, University of East London).
- Dietz, W. H. (1998). Health consequences of obesity in youth: childhood predictors of adult disease. *Pediatrics* 101(2), 518-525.
- Docking, S.I., Rosengarten, S.D., Cook, J. (2015). Achilles tendon structure improves on UTC imaging over a 5-month pre-season in elite Australian football players. *Scand J Med Sci Sports*, May 5, doi; 10.1111/sms. 12469. [Epub ahead of print]. PMID
- Docking, S. I., & Cook, J. (2016a). 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. (2016b). 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*, 26(5), 557-563.
- Dowling, A. M., Steele, J. R., & Baur, L. A. (2004). What are the effects of obesity in children on plantar pressure distributions?. *International Journal of Obesity*, 28(11), 1514-1519.
- Eliakim, A., Nemet, D., & Wolach, B. (2001). Quantitative ultrasound measurements of bone strength in obese children and adolescents. *Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism*, 14(2), 159-164.
- 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.

- Heinemeier, K. M., & Kjaer, M. (2011). In vivo investigation of tendon responses to mechanical loading. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 11(2), 115-123.
- Hills, A. P., Hennig, E. M., McDonald, M., & Bar-Or, O. (2001). Plantar pressure differences between obese and non-obese adults: A biomechanical analysis. *International Journal of Obesity*, 25(11), 1674-1679.
- Jegade, J. A., Adegoke, B. O. A & ,Olagbegi, O. M. (2017). Effects of a Twelve-Week Weight Reduction Exercise Programme on Selected Spatiotemporal Gait Parameters of Obese Individuals. *Journal of Obesity 2017*.
- 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.
- 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.
- Kelley, J. C., Crabtree, N., & Zemel, B. S. (2017). Bone density in the obese child: Clinical considerations and diagnostic challenges. *Calcified Tissue International*, 100(5), 514-527.
- Lake, S. P., Miller, K. S., Elliott, D. M., & Soslowsky, 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.

- Lyytinen, T. (2015). *Physical function and biomechanics of gait in obese adults after weight loss* (Doctoral dissertation, Itä-Suomen yliopisto).
- Malliaras, P., Cook, J. L., & Kent, P. M. (2007). Anthropometric risk factors for patellar tendon injury among volleyball players. *British Journal Of Sports Medicine, 41*(4), 259-263.
- 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.
- Maffulli, N., Renström, P., Leadbetter, W. B. (2005). *Tendon Injuries book*. Springer.
- 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.
- Mossberg, H. O. (1989). 40-year follow-up of overweight children. *The Lancet, 334*(8661), 491-493.
- 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.
- Nantel, J., Mathieu, M. E., & Prince, F. (2011). Physical activity and obesity: Biomechanical and physiological key concepts. *Journal of Obesity, 2011*.
- 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.
- Oliver, S. R., Rosa, J. S., Minh, D. C., Pontello, A. M., Flores, R. L., Barentt, M., & Galassetti, R. P. (2009). Dose-dependent relationship between severity of pediatric obesity and blunting of the growth hormone response to exercise. *J Appl Physiol, 108*(1), 7-21.

- De Onis, M., Blössner, M., & Borghi, E. (2010). Global prevalence and trends of overweight and obesity among preschool children. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 92(5), 1257-1264.
- 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.
- Riddiford-Harland, D. L., Steele, J. R., & Storlien, L. H. (2000). Does obesity influence foot structure in prepubescent children? *International Journal of Obesity*, 24(5), 541-544.
- Rosengarten, S. D., Cook, J. L., Bryant, A. L., Cordy, J. T., Daffy, J., & Docking, S. I. (2015). Australian football players' Achilles tendons respond to game loads within 2 days: an ultrasound tissue characterisation (UTC) study. *British Journal of Sports Medicine*, 49(3), 183-187.
- 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.
- Schoffman, D. E., Wilcox, S., & Baruth, M. (2013). Association of body mass index with physical function and health-related quality of life in adults with arthritis. *Arthritis*, 2013.
- 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.
- 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.
- Steinberg, N., Hershkovitz, I., Peleg, S., Dar, G., Masharawi, Y., Heim, M., & Siev-Ner, I. (2006). Range of joint movement in female dancers and nondancers aged 8 to 16 years: Anatomical and clinical implications. *The American Journal of Sports Medicine*, *34*(5), 814-823.
- 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., & Blazevich, 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.