

---

שינויים ביחס / שבין הכוח האיזוקינטי המרבי של כופפי הברך לעומת פושטי הברך בתנאי עייפות

Author(s): ארז מורג, אלברטו איילון, משה איילון, דוד בן-סירא, D. Ben-Sira, M. Ayalon, A. Ayalon and E. Morag

Source: *Movement: Journal of Physical Education & Sport Sciences* / כתב-עת: בתנועה: כתב-עת / מאי 1997 / מאי 1997, Vol. 7, No. 1 (אייר תשנ"ז), pp. 99-111

Published by: Academic College at Wingate

Stable URL: <http://www.jstor.com/stable/23633175>

---

JSTOR is a not-for-profit service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms of scholarship. For more information about JSTOR, please contact [support@jstor.org](mailto:support@jstor.org).

Your use of the JSTOR archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use, available at <https://about.jstor.org/terms>



JSTOR

is collaborating with JSTOR to digitize, preserve and extend access to *Movement: Journal of Physical Education & Sport Sciences* / כתב-עת: בתנועה: כתב-עת למדעי החינוך הגופני והספורט

---

# שינויים ביחס שבין הכוח האיזוקינטי המרבי של כופפי הברך לעומת פושטי הברך בתנאי עייפות

דוד בן-סירא, משה איילון, אלברטו איילון, ארז מורג

## תקציר

לביצוע מיטבי של פעילות ספורטיבית נדרש איזון בכוח בין קבוצות שרירים אנטגוניסטים. איזון זה מוצג בדרך כלל ביחס שבין הערכים של הכוח המרבי של שתי קבוצות השרירים. היחס בין קבוצות שרירים אנטגוניסטיות נבדק בעיקר בתנאים של חוסר עייפות. מטרת עבודה זו היא לבחון אם היחס בין כופפי הברך ופושטיה משתנה בתנאי עייפות ומהו דפוס השינוי.

17 גברים, סטודנטים לחינוך גופני, התנדבו להשתתף במחקר. כל נבדק עבר שתי סדרות של בדיקות: בדיקה במאמץ מרבי ובדיקה עייפות. בראשונה נמדדו 3 חזרות רצופות של מאמץ מרבי בפשיטה ובכפיפה של הברך. במבדק ההתעייפות ביצע כל נבדק 30 מחזורים רצופים של פשיטה וכפיפה בברך הדומיננטית. המדידות של שלושת הניסיונות המרביים ושל 30 מחזורי ההתעייפות התבצעו באמצעות מכשיר איזוקינטי Cybex II במהירות של 150 מעלות בשנייה. טווח התנועה היה 90 מעלות מנקודת מוצא של כפיפה בת 90 מעלות בברך. המשתתפים שנדגמו ישירות מהמכשיר הם הזווית במפרק הברך והמומנט. בהתאם לנתונים שהתקבלו חושב הספק ממוצע לכל טווח התנועה הן בכפיפה והן בפשיטה.

הממצאים מצביעים על כך שבזמן עייפות קצב הדעיכה, כפי שמשתקף בהספק מרבי, גבוה יותר מזה המשתקף במומנט המרבי (57%-ו-63% מערך התחלתי, בהתאמה), וזאת למרות המתאם הגבוה ביניהם. קצב ההתעייפות המוחלט בברך זהה בשתי קבוצות השרירים. לעומת זאת, בהשוואה של קצב ההתעייפות היחסי בין שתי קבוצות השרירים נמצא

---

תאריכים: עייפות; שרירים; מדידות.

קצב התעייפות גבוה יותר בכופפי הברך לעומת פושטיה (51.5% ו-57.7% מערך התחלתי, בהתאמה). השינוי כתוצאה מהתעייפות ביחס שבין הכופפים למושטים מצביע על ירידה ביחס מכ-70% בתחילת הבדיקה עד ל-62% לאחר 30 חזרות.

מיומנויות מוטוריות גסות תלויות בדרך כלל בקואורדינציה של השרירים האנטגוניסטים. שינויים ביחס ביניהם בזמן עייפות מצריך ארגון מחדש בתבנית התנועתית ועלול להשפיע על חשיפה של המבצע לפציעה. היות והיחס בין קבוצות השרירים האנטגוניסטים מושפע מתנאי עייפות, מומלץ שלפרוטוקולים של הערכת התפקוד השרירי יתווספו בדיקות בתנאי עייפות. בבדיקות מסוג זה יש להעדיף מדדים המשקפים את התפקוד השרירי לאורך כל טווח התנועה על פני בדיקות המבוססות על מדד מרבי המשקף יכולת מקומית בלבד.

### האיזון בין קבוצות שרירים

לביצוע מיטבי של פעילות ספורטיבית נדרש איזון בנכוח של שתי קבוצות שרירים אנטגוניסטים (Fleck & Falkel, 1986). איזון זה מוצג בדרך כלל כיחס שבין הערכים של הכוח המרבי של שתי קבוצות השרירים. עבור כופפי הברך ופושטי הברך, היחס המדווח בספרות הוא בטווח של 0.43 - 0.85 (Perrin, 1993). יחס זה תלוי במידה רבה במהירות התנועה בעת הבדיקה (Baltzopoulos & Brodie, 1989). יותר מכך, אוכלוסיות שונות של ספורטאים מאופיינות ביחס שונה בין שרירים אנטגוניסטים בתנאי בדיקה שווים (לוח 1) (Appen & Duncan, 1986).

#### לוח 1:

יחס בין המומנט של כופפי הברך ופושטי הברך במהירויות שונות  
אצל אצנים ואצל רצים למרחקים ארוכים

רצים למרחקים ארוכים	אצנים	מהירות (מעלה/שנייה)
0.52	0.55	60
0.58	0.63	180
0.57	0.64	240
0.53	0.66	300

המקור: Appen & Duncan, 1986

היחס בין קבוצות שרירים אנטגוניסטיות נבדק בעיקר בתנאים של חוסר עייפות. במצב פיזיולוגי זה, כל אחד מהשרירים האנטגוניסטים מסוגל לייצר מתח שרירי מיטבי. במצב של עייפות שרירית, יכולת השריר לייצר מתח **פוחתת** בהתאם לדרגות העייפות. **קצב העייפות של שתי קבוצות השרירים האנטגוניסטים אינו זהה בהכרח**, והוא עשוי להיות תלוי במכלול של גורמים, כמו המבנה הסיבי של השריר ומצבו האימוני. **בהתאם לכך, גם היחס בין השרירים האנטגוניסטים עשוי להיות שונה במצב של עייפות לעומת מצב של עירנות.**

### מטרת המחקר

מטרת המחקר הזה הוא לבחון אם היחס בין כופפי הברך ופושטי הברך משתנה בתנאי עייפות, ואם כן, מהו דפוס השינוי. באורח מפורט יותר, המחקר נועד לענות על השאלות הבאות:

- ★ האם משתנים של הספק ממוצע ומומנט מרבי משקפים במידה דומה את עקומת ההתעייפות של השריר במאמץ?
- ★ האם קצב ההתעייפות של האגוניסטים והאנטגוניסטים דומה? שאלה זו תיבחן הן מבחינת עייפות מוחלטת והן מבחינת עייפות יחסית.
- ★ בהתבסס על השאלה הקודמת - מהו דפוס השינוי ביחס שבין כופפי הברך לפושטי הברך במהלך התעייפות מרבית?

## ה ש י ט ה

### נבדקים

17 גברים, סטודנטים לחינוך גופני, התנדבו להשתתף במחקר (גיל ממוצע 26.4 שנים, גובה ממוצע 179.9 ס"מ ומשקל ממוצע 75.6 ק"ג). לכל הנבדקים לא היתה היסטוריה של פגיעות בברכיים.

### הליך הניסוי

כל נבדק עבר שתי סדרות של מבדקים: בדיקה במאמץ מרבי ובדיקת עייפות.

**מבדק במאמץ מרבי:** בבדיקה זו נמדדו שלוש חזרות רצופות של מאמץ מרבי בפשיטה ובכפיפה של הברך. שלושת הניסיונות האלה שימשו אחר כך כקנה מידה להערכת המאמץ שהושקע בתחילת ניסויי העייפות. לאחר המבדק הראשון ניתנה לנבדק מנוחה מוחלטת של שלוש דקות לפחות כדי לאפשר לו התאוששות מלאה לקראת מבדק העייפות.

**מבדק העייפות:** בבדיקה זו ביצע כל נבדק 30 מחזורים רצופים של פשיטה וכפיפה בברך הדומיננטית. ברך זו נקבעה על פי העדפת הנבדק. הנבדקים הודרכו להשקיע מאמץ מרבי הן בפשיטה והן בכפיפה, החל בניסיון הראשון, ולהתמיד בו במשך כל הניסוי. במהלך הבדיקה הנסיין עודד את הנבדק להיטיב את ביצועיו. מאמץ מרבי במצב של עייפות נחשב כתקף, אם ממוצע ערכי שלושת המחזורים הראשונים היה לפחות 90% מזה שהושקע בשלוש החזרות של המאמץ המרבי, כפי שנמדדו במבדק המוקדם.

### מדידות

המדידות של שלושת הניסיונות המרביים ושל 30 מחזורי ההתעייפות בוצעו באמצעות מכשיר איזוקינטי Cybex II (Isokinetic). הנבדק ישב על כיסא הבדיקות, ציר ארכובת המכשיר מקביל לציר הברך הנבדקת. הארכובה הוצמדה לשוק של הנבדק כדי להבטיח את אחידות התנועה של הארכובה והשוק. כמו כן, הנבדק עוגן למושב באמצעות סרטי הצמדה בשתי נקודות: א) הצמדת הירך למושב; ב) הצמדת הגו למשענת הכיסא על ידי הצמדת בית החזה. הניסיונות המרביים וניסיונות ההתעייפות התבצעו במהירות של 150 מעלות בשנייה. טווח התנועה היה 90 מעלות, מנקודת מוצא של כפיפה בת 90 מעלות בברך. מכשיר ה-Cybex II חובר למחשב אישי באמצעות ממיר אנלוגי/דיגיטלי. תדר הדגימה היה 50 הרץ.

### משתני המחקר

המשתנים שנדגמו ישירות מהמכשיר היו הזווית במפרק הברך והמומנט. הערך הנמדד של המומנט תוקן והותאם לאפקט של כוח המשיכה על האיבר הנע, על פי ההליך שהוצע על ידי הרצוג (Hertzog, 1988). בהתאם לנתונים שהתקבלו חושב הספק ממוצע לכל טווח התנועה הן בכפיפה והן בפשיטה. הספק מוגדר כמנה שבין העבודה המתבצעת לזמן הביצוע. העבודה חושבה כמכפלת המומנט הממוצע בהעתק הזוויתי (טווח התנועה) בכל חזרה. הזמן נמדד ישירות בעזרת המכשיר.

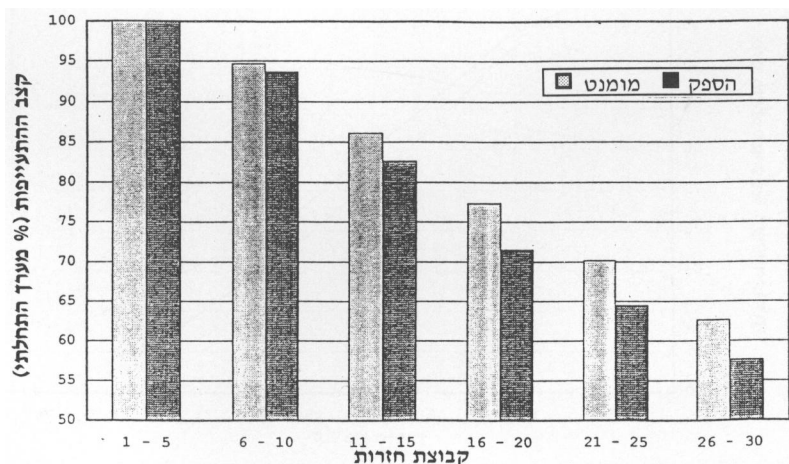
### הניתוח הסטטיסטי

כמשתנים תלויים שימשו המומנט המרבי בכל תנועה וההספק הממוצע בכל תנועה. כדי לאפיין את עקומת ההתעייפות של כל נבדק קובצו 30 החזרות ל-6 קבוצות בנות 5 חזרות כל אחת. בכל קבוצת חזרות חושב ממוצע הערכים של שני המשתנים התלויים לכל חמשת הניסיונות. היחס בין כופפי הברך לפושטי הברך בכל קבוצת

חזרות, חושב כיחס בין ממוצע חמש תנועות הכפיפה לבין ממוצע חמש תנועות הפשיטה.

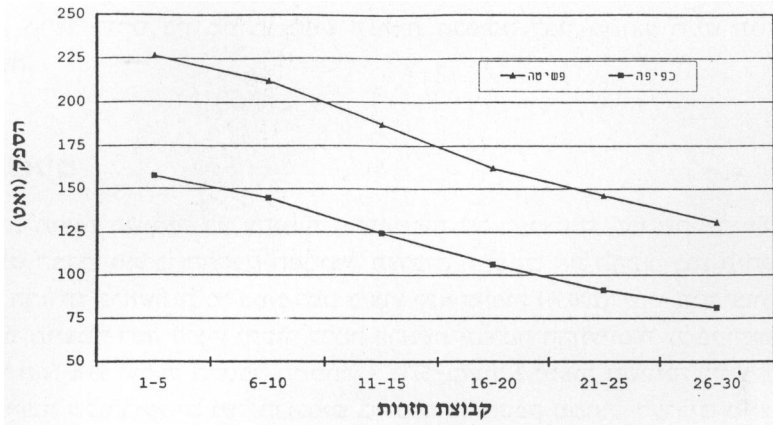
### הממצאים

באיור 1 מוצגת השוואה בין עקומות ההתעייפות של הפושטים, כפי שחושבו על פי המומנט המרבי ועל פי ההספק הממוצע. הערכים מייצגים את ההתעייפות היחסית, וחמש החזרות הראשונות מייצגות רמת ביצוע ללא עייפות (100%). שאר הקבוצות של החזרות מייצגות רמת ביצוע יחסית לרמה הראשונית. רמת ההתעייפות על פי המומנט המרבי היא 63% ועל פי ההספק הממוצע - 57%. באיור 2 מוצגת השוואה בין עקומת ההתעייפות של הפושטים ושל הכופפים בערכים של הספק ממוצע. הערכים מייצגים את ההספק הממוצע המוחלט. רמת ההתעייפות המוחלטת בברך זהה בשתי קבוצות השרירים. באיור 3 מוצגת השוואה בין עקומת ההתעייפות של הפושטים והכופפים בערכים של הספק ממוצע, הפעם בערכים יחסיים, כפי שהוסברו לגבי איור 1. קצב ההתעייפות היחסי של פושטי הברך וכופפיה הוא 57.7% ו-51.5% בהתאמה. באיור 4 מוצג השינוי כתוצאה מהתעייפות ביחס שבין כופפים לפושטים, כפי שחושב על פי הספק ממוצע. קיימת ירידה ביחס - מכ-70% בתחילת הבדיקה עד ל-62% בסדרת החזרות האחרונה.



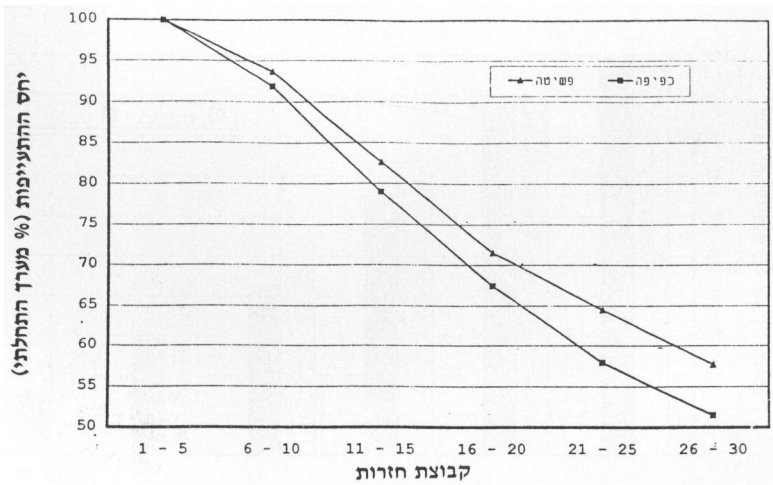
איור 1:

השוואת קצב ההתעייפות של פושטי הברך על פי המומנט המרבי ועל פי ההספק הממוצע



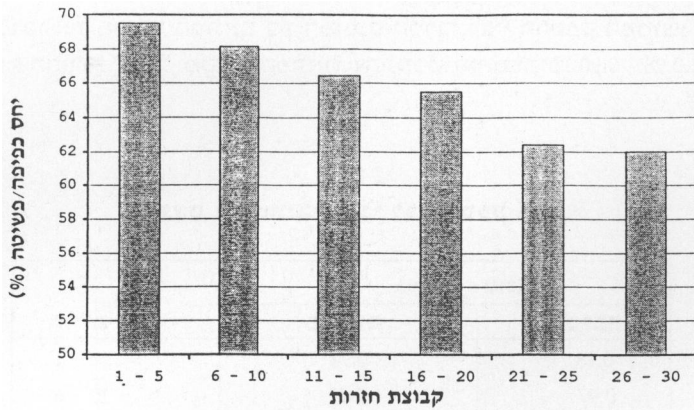
איור 2:

ערכים ממוצעים של ההספק הגולמי בפשיטה ובכפיפה של הברך בתהליך ההתעייפות



איור 3:

ערכים ממוצעים של ההספק היחסי בפשיטה ובכפיפה של הברך בתהליך ההתעייפות

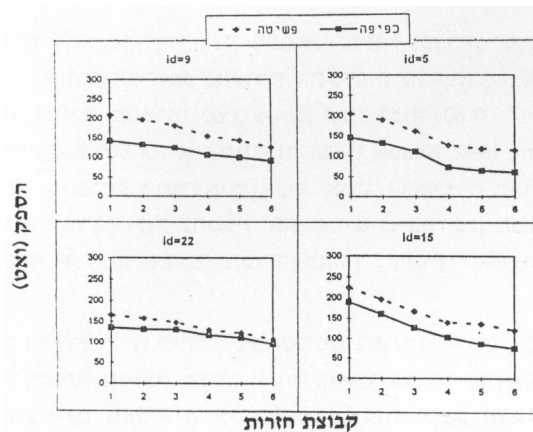


איור 4:

ממוצעי היחסים בין כופפי הברך למושטי הברך במשתנה ההספק הממוצע בתהליך התעייפות

באיורים מוצגות עקומות התעייפות, המתבססות על הממוצעים של כל הנבדקים. יש להדגיש כי לא כל דפוסי העקומות האישיות תואמות בדיוק דפוס זה, אם כי הוא אופייני לרוב הנבדקים.

דוגמאות לעקומות התעייפות אישיות שונות מוצגות באיור 5.



איור 5:

דוגמאות לעקומות התעייפות אישיות



לוח 2 מרכז את מקדמי המתאם בין המומנט המרבי לבין ההספק הממוצע בכל אחת מקבוצות החזרות. ככלל, מקדמי המתאם שהתקבלו היו גבוהים: 0.90 - 0.98.

**לוח 2:**  
**מתאם בין מומנט מרבי לבין הספק ממוצע**

מקדם מתאם		חזרות
כפיפה	פשיטה	
0.98	0.94	5 - 1
0.97	0.91	10 - 6
0.96	0.91	15 - 11
0.96	0.90	20 - 16
0.96	0.93	25 - 21
0.95	0.94	30 - 26

## דיון

### מומנט מרבי לעומת הספק ממוצע

בדרך כלל כוח שרירי הנמדד במיכשור מעבדתי מדווח בספרות כמומנט מרבי. בהשוואה שבין מרכיב זה להספק הממוצע בהערכת התעייפות שרירית נמצא שהשניים מספקים מדדי התעייפות שונים. הספרות מצביעה על קשר גבוה (0.80 - 0.97) בין מומנט מרבי לבין הספק ממוצע, במדידות איזוקינטיות (Bandy & Timm, 1992; Kanus, 1988). נתוני המחקר הנוכחי תומכים בממצאים אלה. אחת ההמלצות הנובעות מכך היא כי השימוש במומנט מרבי יכול להחליף את השימוש בהספק ממוצע, וכי יש במומנט המרבי כדי לשקף את רמת המאמץ השרירי לאורך כל טווח התנועה.

חוקרים ואנשי מקצוע רבים מעדיפים להשתמש במומנט המרבי, משום היותו קל יותר למדידה מאשר הספק ממוצע. הנחה זו נבדקה עד כה רק בתנאים של חוסר עייפות. הממצאים הנוכחיים מצביעים על כך שבעייפות, קצב הדעיכה כפי שמשקף בהספק ממוצע, גבוה יותר מזה המשתקף במומנט המרבי, וזאת למרות המתאם הגבוה ביניהם.

אפשר לטעון לסתירה לכאורה בין המתאמים הגבוהים של הספק ממוצע ושל המומנט המרבי לבין ההבדלים בקצב הדעיכה שבין שני משתנים אלו. אולם יש לתת את הדעת לכך שמשמעות המתאמים הגבוהים היא שבכל שלב יש קשר ברור בין המומנט המרבי לבין ההספק הממוצע. דהיינו, שנבדקים בעלי מומנט מרבי גבוה נוטים להיות בעלי הספק מרבי גבוה, ולהיפך. אולם אין במתאמים אלה כדי להעיד על שינויים זהים בערכים של כל אחד מהמשתנים לאורך הניסוי. המתאמים עשויים להיות גבוהים בכל שלב ושלב למרות קצב הדעיכה השונה בכל אחד מהמשתנים. מכאן **שבהערכה של תפקוד שריר בתנאי עייפות אין השניים יכולים להחליף זה את זה**. תיאורטית, **יש להחמיר ולהעדיף את מדד ההספק הממוצע על פני מומנט מרבי** בהערכה של תפקוד שריר בתנאי עייפות. מבחינה ביומכנית, הערך של המומנט השרירי אינו קבוע לאורך טווח התנועה. **בעוד המומנט המרבי משקף יכולת נקודתית מיטבית** בטווח התנועה של המפרק, הרי **ההספק הממוצע מייצג את תפקוד השריר לאורך כל טווח התנועה**, בהיותו מבוסס על כל העבודה שהשריר מבצע בטווח זה.

על פי הממצאים הנוכחיים לא ניתן להסביר את ההבדל בין קצב הדעיכה של המומנט המרבי לבין קצב הדעיכה של ההספק הממוצע. עם זאת, מההתוצאות ברור שבאותן גזרות בטווח התנועה שבהן השריר אינו מתפקד באופן מיטבי, ההתעייפות מהירה יותר לעומת הנקודה שבה השריר מייצר מומנט מרבי. בעקבות ממצאים אלה עולות שתי שאלות:

- ★ מהו דפוס ההתעייפות האופייני לגזרות השונות של טווח התנועה?
- ★ מהו ההסבר הביומכני/פיזיולוגי להתעייפות דיפרנציאלית בחלקים שונים של טווח התנועה?

התשובות לשאלות הללו מצריכות מחקר ייעודי נוסף.

### **הערכת עייפות בשרירים האנטגוניסטים**

המטרה העיקרית של עבודה זו היא להעריך את התפקוד של האנטגוניסטים בתהליך ההתעייפות. קצב ההתעייפות המוחלט של כופפי הברך ופושטי הברך זהה. היות וכופפי הברך חלשים מלכתחילה לעומת הפושטים, הרי היחס בכוח בין שתי קבוצות אלו יורד בזמן עייפות. בשתי עבודות קודמות דווח על קצב התעייפות מוחלט גדול יותר בפושטי הברך מאשר בכופפיה (Ben-Sira et al., 1988; Taylor & Hamlin, 1991). אפשר להציע כמה הסברים לשוני שבין התוצאות במחקרים הללו לבין אלה המדווחות בעבודה הנוכחית:

בעבודתם של בן-סירה ועמיתיו (Ben-Sira et al., 1988) **הנבדקות היו אצניות ולכן פושטי הברך אצלן היו חזקים במיוחד**, כתוצאה מאופי הפעילות והאימונים שבהן עסקו באותה תקופה. החוקרים העלו את הסברה שהיכולת הגבוהה של פושטי הברך בתחילת סדרת העייפות הביאה לדלדול מהיר יחסית של מאגרי האנרגיה בקבוצת שרירים זו. לפיכך, יש מקום לספק באשר למידת ההכללה ממדגם זה לאוכלוסיות אחרות.

הסבר נוסף לשוני בתוצאות קשור לתנוחת הנבדקים בעת הניסוי ולחישוב המומנט השרירי. שני הניסויים בוצעו בתנוחת ישיבה, אך בזה של בן-סירה ועמיתיו **לא בוצע תיקון לכוח הכובד (גרויטציה)** כפי שנדרש כיום, דהיינו, לא הובאה בחשבון העובדה שהפושטים עובדים למעשה קשה יותר כנגד כוח הכובד בעוד הכופפים נעזרים בו. לפיכך יש בנתונים כאלה כדי לעוות את קצב ההתעייפות של שתי קבוצות שרירים אלו, עיוות המתבטא בהערכה נמוכה יותר של עוצמת הכיווץ בפושטים לעומת הערכת יתר של הכופפים.

במאמרם של Tailor & Hamlin (1991) קיימת סתירה בין הנתונים המוצגים, המצביעים על התעייפות מהירה יותר של הפושטים לעומת הכופפים, לבין המסקנה כי אין הבדל בקצב ההתעייפות בין שתי קבוצות השרירים. בניסוי זה התבצעו 100 חזרות, אך רק חלק מהנבדקים השלימו את כולן. לא דווח כיצד דבר זה הובא בחשבון, וכן לא דווח אם נעשה תיקון כנגד כוח הכובד. יתר על כן, לא דווח על דרך הבקרה שהופעלה בניסוי כדי לוודא מאמצים מרביים בשתי קבוצות השרירים במשך כל הליך הניסוי. מניסיוננו, **נבדקים נוטים באופן טבעי להדגיש את המאמץ בקבוצת שרירים אחת על פני השנייה** ואף להחליף את ההדגש במאמץ בין שתי קבוצות השרירים במהלך סדרת ההתעייפות, בהתאם למצוקתם. **בעבודה הנוכחית הוקפד על מאמץ מרבי של שתי קבוצות השרירים במהלך הניסוי** בשתי דרכים עיקריות:

- ★ המאמץ בניסיונות הראשונים הושווה לתוצאות שהשיג הנבדק בבדיקה המרבית
- ★ בכל פעם שהגרף הצביע על ירידה מקומית תלולה בביצוע של אחת משתי קבוצות השרירים ניתן חיזוק ועידוד לקבוצת שרירים זו.

### **הסברים אפשריים לקצב התעייפות שונה בשרירים האנטגוניסטים**

ישנם כמה הסברים אפשריים לקצב ההתעייפות המהיר יותר בכופפי הברך לעומת הפושטים, ואלה הם:

- ★ **תנוחת הנבדק.** הסבר זה מתמקד בהשפעה אפשרית של התנוחה במפרק הירך על

תוצאות הניסוי. שתי קבוצות השרירים הנדונות כוללות שרירים דו-מפרקיים. כופפי הברך כוללים את ה-*semimembranosus*, *semitendinosus* וה-*biceps femoris*. שרירים אלה, פרט לראש הקצר של ה-*biceps femoris*, הם שרירים דו-מפרקיים ומשמשים גם כפושטי הירך. במצב ישיבה שבו בוצע הניסוי היו כל השרירים הדו-מפרקיים במצב מוארך בירך, יחסית למצב האנטומי שלהם. עקרונית, השריר מסוגל לייצר מתח רב יותר במצב מוארך (Komi, 1979). בעת מאמץ מרבי נדרשים משאבים אנרגטיים רבים יחסית בשלבים הראשוניים של ההתעייפות, וכתוצאה מכך הדעיכה מתרחשת בקצב מהיר יחסית. למגמה הפוכה אפשר לצפות מפושטי הברך. שלושה מתוך ארבעת שרירי ה-*quadriceps* האחראים על פשיטת הברך הם חד-מפרקיים, למעט ה-*rectus femoris*, שהוא שריר דו-מפרקי. בעת ישיבה, שריר זה נמצא במצב מקוצר בירך, יחסית למצבו האנטומי, ולפיכך הוא מסוגל לייצר מתח שרירי נמוך יחסית לאפשרותו ליצור מתח במצבו האנטומי.

★ **הבדלים בהרכב הסיבי בין שתי קבוצות השרירים.** אחוז הסיבים המהירים (*fast twitch fibers*) גבוה יותר בכופפי הברך מאשר בפושטי הברך (Emery et al., 1994). אחוז גבוה של סיבים מהירים מצביע על יכולת גבוהה לפתח כוח במאמצים קצרים, אך גם על יכולת עמידות נמוכה בפני התעייפות (שם). יש בכך כדי להסביר את הנטייה להתעייפות מהירה יחסית של שרירים אלה ואף את ההבדלים בין אנשים בנטייה להתעייפות, שכן התפלגות אחוז הסיבים המהירים והאיטיים בשרירים אינה אחידה בקרב כל האנשים.

★ **התנסות מוקדמת.** שוני נוסף בין שתי קבוצות השרירים הוא בהתנסות המוקדמת של השימוש בהן. ההיסטוריה התנועתית של רוב האנשים בכל הקשור לפשיטת הברך כוללת מאמצים רבים כנגד כוח המשיכה, בתוספת הכבדה גבוהה של כל משקל הגוף. כך למשל בהליכה, בהרמת חפץ או בעלייה על מדרגות. לעומת זאת, כופפי הברך פועלים בדרך כלל רק כנגד משקל פחות בהרבה, זה של השוק ושל כף הרגל. נראה, אם כן, שהכופפים מאומנים פחות לגיוס יחידות מוטוריות ולתפעולן המיטבי במאמצים עצימים. ייתכן כי הממצאים משקפים את ההסתגלות הפחותה של הכופפים למאמצים מסוג זה.

★ **היבטים פסיכולוגיים.** ההתעייפות השונה בין שתי קבוצות השרירים עשויה להיות מושפעת גם מהיבטים פסיכולוגיים של התמודדות עם המצוקה הכרוכה בעייפות. הדרישה להתמקד במאמץ מרבי של שתי קבוצות השרירים דורשת ריכוז גבוה מן המבצע. ייתכן כי בעת הצטברות של עייפות מאבד הנבדק את יכולת הריכוז שלו בביצוע שתי המטלות במאמץ מרבי. במצב זה קל יותר להתרכז

בביצועי פושטי הברך, שהם קבוצת השרירים החזקה יותר. כפי שצוין מקודם, בעבודה הנוכחית הוקפד להדגיש את המאמץ המקביל בשתי קבוצות השרירים, אם על ידי הסבר מוקדם ואם על ידי בקרה ועידוד בעת מטלת העייפות. אם למרות זאת היה הבדל בין שתי התנועות מבחינת השקעת המאמץ, הרי ממדי התופעה אינם ניתנים לאומדן בניסוי הנוכחי, עובדה שעשויה להיחשב כנקודת תורפה של מערך מחקרי המחייב מאמץ מרבי מקביל משתי קבוצות השרירים.

## סיכום

מיומנויות מוטוריות גסות תלויות בדרך כלל בקואורדינציה של השרירים האנטגוניסטים. שינויים ביחס ביניהם בזמן עייפות מצריך ארגון מחדש בתבנית התנועתית ועלול להשפיע על חשיפה של המבצע לפציעה. **היות והיחס בין קבוצות השרירים האנטגוניסטים מושפע מתנאי עייפות, מומלץ שלפרוטוקולים של הערכת התפקוד השרירי יתווספו בדיקות בתנאי עייפות.** בבדיקות מסוג זה יש להעדיף מדדים המשקפים את התפקוד השרירי לאורך כל טווח התנועה, כמו ההספק הממוצע, על פני בדיקות המבוססות על מדד המומנט המרבי המשקף יכולת מקומית בלבד.

## רשימת המקורות

- Appen, L. & Duncan, P.W. (1986). Strength relationship of the knee musculature: Effects of gravity and sport. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, 7(5), 232-235.
- Baltzopoulos, V. & Brodie D.A. (1989). Isokinetic dynamometry: Applications and limitations. **Sports Medicine**, 8(2), 101-116.
- Ben-Sira, D., Ayalon, A., Ayalon J. & Tavi M. (1988). Changes in the muscles' strength ratio as a result of fatigue. In: J. Duran, J.L. Hernandez & L.M. Ruiz (Eds.), *Humanismo y nuevas tecnologias an la educacion fisica y el deporte. AIESEP World Congress*. pp. 321-324, Madrid, Universidad Politecnica.
- Bandy, W.D. & Timm, K.E. (1992). Relationship between peak torque, work and power for knee flexion and extension in clients with grade I medial compartment sprains of the knee. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, 7(16), 288-292.
- Emery, L., Sitler, M. & Ryan J. (1994). Mode of action and angular velocity fatigue response of the hamstrings and quadriceps. **Isokinetics and Exercise Science**, 4(3), 91-95.
- Fleck, S.J. & Falkel, J.E. (1986). Value of resistance training for the reduction of sports injuries. **Sports Medicine**, 3(1), 61-68.
- Hertzog, W. (1988). The relation between the resultant moments at a joint and the moments measured by an isokinetic dynamometer. **Journal Biomechanics**, 21(1), 5-12.
- Kanus, P. (1988). Peak torque and total work relationship in the thigh muscles after anterior cruciate ligament injury. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, 10(3), 97-101.
- Komi, P.V. (1979). Neuromuscular performance: Factors influencing force and speed production. **Scandinavian Journal of Sports Sciences** 1(1), 2-15.
- Perrin, D.H. (1993). **Isokinetic exercise and assessment**. Champaign, IL. Human Kinetics Publishers.
- Taylor, N.A.S. & Hamlin, M. (1991). Fatigue curves in an agonist/antagonist pair. In: R.N. Marshall, G.A. Wood, B.C. Elliot, T.R. Ackland, & P.J. McNair (Eds.). **XIII<sup>th</sup> International Congress on Biomechanics**. Australia: The University of Western Australia.