

---

Relationship between physiological characteristics, skill and performance of 100 meter run in female athletes / הקשר שבין מאפיינים פיסיולוגיים ומיומנות טכנית לבין הישגיהן של אצניות למרחק 100 מטר

Author(s): יואב מקל, אריה רוטשטיין, עמוס גרודז'ינובסקי, Y. Meckel, A. Rotstein and A. Grodjinovsky

Source: *Movement: Journal of Physical Education & Sport Sciences* / בתנועה: כתב-עת / סיון, תשנ"ו / מאי, 1996, Vol. ג&lrms;, No. 3 ( /), pp. 362-379

Published by: Academic College at Wingate

Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/23632958>

---

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* / בתנועה: כתב-עת למדעי החינוך הגופני והספורט

---

## הקשר שבין מאפיינים פיסיוולוגיים ומיומנות טכנית לבין הישגיהן של אצניות למרחק 100 מטר

יואב מקל, אריה רוטשטיין, עמוס גרוזז'ינובסקי

מטרת המחקר הנוכחי הייתה להשוות בין התכונות הפיסיוולוגיות של אצניות למרחק של 100 מטר ברמות שונות של יכולת. 30 הנבדקות במחקר (20 אצניות מאומנות ו-10 נשים פעילות ברמה חובבנית) חולקו על סמך הישגיהן בריצת 100 מטר לשלוש קבוצות: מהירה ( $11.8 \pm 0.1$  שניות), בינונית ( $12.7 \pm 0.1$  שניות) ואיטית ( $14.2 \pm 0.1$  שניות). לכל הנבדקות נמדדו המשתנים האלה: צריכת חמצן מרבית ( $\text{Peak VO}_2$ ), הספק אנאירובי מרבי, הספק אנאירובי ממוצע, אחוז שומן, כוח שרירי הרגליים, זמן תגובה, גמישות ומיומנות בריצה. בניית רגרסיה בשלבים (stepwise regression) נמצא שהצירוף של ההספק האנאירובי המרבי וכוח הרגליים, מאפשר את החיזוי היעיל ביותר לזמני ריצת ה-100 מ' ( $R = 0.92$ ). תוצאות המחקר מצביעות על כך שההבדל העיקרי בין רצות 100 מ' ברמות שונות של יכולת נעוץ ביכולת האנאירובית ובכוח שרירי הרגליים.

### פריצת דרך בהישגים של ריצת 100 מטר

לאחר שנים רבות של קיפאון בהישגים במיאוצים למרחקים קצרים חלה בעשור האחרון התעוררות גדולה בענף ספורט זה. השיא העולמי לגברים, אשר היה ללא שינוי משנת 1968 עד 1983, נשבר כשש פעמים במשך 10 השנים האחרונות, ושופר מתוצאה של 9.95 שניות ל-9.85 שניות (וזאת מבלי להביא בחשבון את תוצאותיו של בן גיונסון, אשר נפסל בעוון שימוש בסמים אסורים). שיפור בולט יותר הושג בתוצאות הנשים. בתוך

---

**תאריכים:** מיאוך; ספורט נשים; פיסיוולוגיה של המאמץ; מחקר משווה; כושר אירובי; כושר אנאירובי; כוח; זמן תגובה; מבנה גוף; גמישות.

---

בתנועה, כרך ג, חוברת 3 תשנ"ו - 1996

שנה אחת (1988), שיפרה פלורנס גריפית גיוניור את השיאים העולמיים ב-100 מ' וב-200 מ' וקבעה 10.49 שניות ו-21.34 שניות, בהתאמה. הישגים אלה מהווים שיפור של כ-3 עד 4 עשיריות השנייה לעומת השיאים הקודמים, ומייצגים הישגים אשר נחשבו קודם לכן כבלתי אפשריים אצל ספורטאיות.

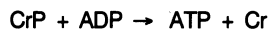
### גורמים מטבוליים ופיסיולוגיים הקובעים את ההישג בריצת 100 מטר

במיוצרים הקצרים (של 60 מ' ושל 100 מ') מהירות מרבית (36-37 קמ"ש) מושגת לאחר כ-4-5 ש". אולם האצן מסוגל להתמיד במהירות זו במשך פרק זמן קצר בלבד (Crowder, 1985). Jolly & Crowder). כדי להבין את המגבלות הפועלות במהלך המיאוץ הקצר יש צורך לעמוד על ההיבטים הפיסיולוגיים והמטבוליים של תהליכי האספקה של אנרגיה, המאפיינים מאמצים מסוג זה. **לביצוע מיאוץ עצים דרושה אספקת אנרגיה בקצב גבוה מאד.**

ההספק שהאצן יכול לפתח בזמן הריצה תלוי בעיקר בקצב אספקת האנרגיה בשרירים. האנרגיה הדרושה לכיווץ השריר מתקבלת על ידי פירוק המולקולה של **אדנוזין טרי פוספאט** (להלן - ATP). כמות ה-ATP הנמצאת בשריר קטנה, ולכן בזמן פעילות גופנית יש צורך לחדש אותה תוך כדי הפעילות. **בפעילות אינטנסיבית עולה הדרישה האנרגטית אל מעבר לקצב אספקת ה-ATP האפשרית על ידי המערכת האירובית.** לפיכך, חלק חשוב של האנרגיה לביצוע פעילות כזו מסופקת בתהליכים אנאירוביים. קיימות שתי מערכות לאספקת אנרגיה בתהליכים אנאירוביים:

- ★ האחת, **ניצול מאגרי הקריאטין פוספאט** (CrP) בשריר
- ★ השנייה, **ניצול מאגרי הגליקוגן** (Glycogen).

**קריאטין פוספאט** (CrP) נמצא בשריר בריכוז גבוה מזה של ATP, ויש לו פוטנציאל גבוה של העברת פוספאט **לאדנוזין דו-פוספאט** (ADP). התגובה מזורזת על ידי האנזים **קריאטין פוספו קינאז** (CPK), ומתבצעת בהספק גבוה ללא השתתפות של חמצן, לפי המשוואה:



**קריאטין פוספט** נחשב **לספק האנרגיה המיידי** בפעילויות אינטנסיביות המבוצעות

בהספק מרבי. בנוסף לייצור ATP על חשבון מאגרי הקריאטין פוספאט (CrP), במאמצים הכרוכים בהספק גבוה פועלת מערכת אנאירובית נוספת - הגליקוליזה. תהליך מטבולי זה מביא לפירוק גליקוגן לחומצת חלב. כיוון שכמות הגליקוגן בשרירים גדולה בהרבה מזו של הקריאטין פוספאט, הפעילות המתבצעת בעזרת מערכת זו יכולה להימשך זמן רב יותר מזו המסתמכת על פירוק CrP. לעומת זאת, קצב ייצור אדנוזין טרי פוספאט (ATP) על ידי מערכת הגליקוליזה נמוך יותר מזה הנוצר בתגובת האדנוזין דו-פוספאט (ADP) עם הקריאטין פוספאט (CrP), ולכן קצב העבודה האפשרי נמוך יותר.

זאת אף זאת, כאשר הריכוז של חומצת החלב הנוצרת בגליקוליזה מגיע בשריר ובדם לרמות גבוהות - חלה עלייה בולטת בחומציות (ירידה ב-pH). עלייה בחומציות פוגעת בפעילות אנזימי מפתח (אנזימים הקובעים את קצב התהליך) הפועלים בתהליך מטבולי זה. כמו כן העלייה ברמת החומציות עלולה לפגוע ישירות בפעילות מנגנון הכיווץ של השריר. כתוצאה של ההשפעות האלו תתרחש ירידה ביכולתו של השריר לפעול ותופיע עייפות. מגבלות מטבוליות אלה גורמות לשינויים ביכולת הביצוע של האצן בשלבים השונים של ריצת 100 מטר (Newsholme, 1986; Hirvonen et al., 1987).

### העלות האנרגטית בריצת 100 מטר

העלות האנרגטית של ריצת 100 מטר מושפעת מסגנון הריצה ומהמיומנות הטכנית של הרץ. כדי שפוטנציאל האנרגיה הכימית בשריר ינוצל בצורה אופטימלית צריך הרץ לנוע בצורה יעילה וחסכונית, המתאימה לדרישות הביומכניות של הריצה. אם תנועותיו של האצן תהיינה מסורבלות, "תבזבז" האנרגיה של עבודה מכאנית שלא תתרום למהירות.

התהליכים הפיסיולוגיים הקשורים לביצוע מיאוך למרחק קצר נחקרו מהיבטים שונים. קוסטיל ועמיתיו (Costill et al., 1976) תיארו את התפלגות סיבי השרירים של גברים ושל נשים במקצועות האתלטיקה השונים. מרו ועמיתיו (Mero et al., 1981) בחנו את הקשר שבין מהירות הריצה לבין כוח שרירי הרגליים אצל אצנים למרחקים קצרים. הירבונן ועמיתיו (Hirvonen et al., 1987), חקרו את התהליכים של אספקת האנרגיה בשלבים השונים של הריצה ל-100 מטר. כל המחקרים הצביעו על חשיבותו של התהליך האנאירובי לביצועו של המיאוך הקצר.

מחקרים אחרים (Barnes, 1981; Cunningham & Faulkner, 1969) תיארו את האפיונים הפיסיוולוגיים והאנתרופומטריים של אצנים ואת השפעתן של תכניות אימון שונות על מהירות ריצה.

### מטרת המחקר

ההערכה של תרומת רכיבים פיסיוולוגיים ומטבוליים שונים להישג בריצת 100 מטר תאפשר:

- ★ לחזות את ההישגים בריצה למרחק של 100 מטר, על פי בדיקות מעבדה
- ★ להתמקד במהלך האימון בשיפור נקודות התורפה של הספורטאי, שיש להן השפעה שלילית על יכולת הריצה.

ראוי לציין שרוב המידע הקיים על המיאוך הקצר מבוסס על בדיקות של אצנים גברים, ורק מחקרים מעטים יחסית בוצעו על אצניות. לכן, מטרת המחקר היו:

- ★ להשוות בין המאפיינים הפיסיוולוגיים של אצניות 100 מטר בעלות יכולות שונות בריצה
- ★ לבדוק את המתאם שבין מהירות ריצת 100 מטר לבין תוצאות מבחני מעבדה לרונטטיים כגון יכולת אירובית, יכולת אנאירובית, גמישות וזמן תגובה
- ★ לבדוק את התרומה היחסית של המשתנים שנמדדו במעבדה ליכולת לנבא את ההישגים בריצת 100 מטר אצל אצניות.

### שיטת המחקר

#### הנבדקים

הנבדקות היו משני סוגי אוכלוסיה. האחת, אצניות מאומנות, והשנייה, נשים הפעילות בשעות הפנאי בצורה חובבנית. הקבוצה המאומנת כללה 20 אצניות החברות בקבוצת האתלטיקה הקלה של אוניברסיטת ניו-מקסיקו, ארה"ב. הקבוצה החובבנית כללה 10 סטודנטיות המתאמנות בממוצע פעמיים בשבוע באימון הכולל כ-30 דקות של ריצה קלה וכ-45 עד 60 דקות של הרמת משקולות. בסך הכל השתתפו במחקר 30 נשים, אשר חולקו לשלוש קבוצות על סמך זמני הריצה שלהן בריצה ל-100 מטר. בלוח 1, מוצגים הגיל, הגובה, המשקל וזמני הריצה של הנבדקות.

**לוח 1:**

**גיל, גובה, משקל וזמני הריצה ל-100 מטר של הנבדקות בשלוש הקבוצות (ממוצע ± סטיית תקן)**

הקבוצה			משתנה
איטית N=10	בינונית N=10	מהירה N=10	
22±2.0	21±1.6	22±1.4	גיל (שנים)
164±4.3	167±5.8	165±5.8	גובה (ס"מ)
54.7±3.8	56.9±3.3	55.0±5.6	משקל (ק"ג)
14.2±0.1	12.7±0.1	11.8±1.0	זמן ריצת 100 מטר (שניות)

ההבדלים מובהקים בין שלוש הקבוצות (P<0.001).

**מדידות שדה**

**מדידת ההישג בריצת 100 מטר.** מדידת ההישג בריצה נעשתה באורח ידני באמצעות שעון עצר סטנדרטי. יריית אקדח שימשה להזנקה, והריצה בוצעה על מסלול מצופה טרטן. כל נבדקת סווגה לאחת משלוש קבוצות. עשר הרצות, בעלות הזמנים הטובים ביותר, יצרו את **הקבוצה המהירה**. עשר הרצות בעלות הזמנים האיטיים במקצת מהזמנים שהושגו בקבוצה המהירה, יצרו את **הקבוצה הבינונית**, ועשר הרצות בעלות הזמנים האיטיים ביותר, יצרו את **הקבוצה האיטית**.

**מדידות מעבדה.**

כל הנבדקות עברו שורה של בדיקות כלהלן:

- ★ **מדידה של צריכת החמצן המרבית (Peak VO<sub>2</sub>).** המדידה בוצעה במערכת הכוללת מסילה נעה המבוקרת על ידי מחשב (2000 Quinton). נוהל המדידה: הנבדקות רצו על מסילה ללא שיפוע במהירות התחלתית אשר הועלתה ב-0.8 קמ"ש כל דקה. המבחן הופסק בנקודה שבה העלאה בעומס העבודה לא לוותה בעלייה בצריכת החמצן. הבדיקה של גזי הנשימה בוצעה באמצעות מערכת 9000 Gould.
- ★ **מדידת היכולת האנאירובית.** מדידת היכולת האנאירובית בוצעה על פי נוהל

**המבחן האנאירובי של וינגייט (Wingate Anaerobic Test, WAnT).** המדידה בוצעה בעזרת אופניים ארגומטריים (מתוצרת Monark), שצוידו במונה סיבובים אלקטרוני. ההתנגדות נקבעה ל-0.075 ק"ג לכל ק"ג גוף. הנבדקות התבקשו לסובב את הדוושות במהירות מרבית במשך 30 שניות, ומספר הסיבובים בכל 5 שניות נרשם על ידי המונה האלקטרוני. מתוצאות המדידה התקבלו ההספק הממוצע (AnC), שחושב על פי סך כל העבודה שבוצעה במשך 30 שניות המאמץ. וההספק המרבי (AnP), שחושב על פי סך כל העבודה שבוצעה במהלך 5 השניות, שבהן נמדד ההספק הגבוה ביותר\*.

★ **מדידת אחוז השומן.** אחוז השומן נקבע על ידי שקילה מתחת למים על פי הנוהל המפורט אצל מק'ארדל ועמיתיו (McArdle et al., 1991). השקילה נעשתה במיכל מים בגודל 1.5 x 1.5 x 2 מטר. נעשו שש עד שמונה שקילות מתחת לפני המים, והממוצע של שתי המדידות בעלות הערכים הגבוהים ביותר נקבע כמשקל המייצג. על פי השקילה התת מימית חושבה צמיגות הגוף, ועל פי משוואת סירי (Siri) חושב אחוז השומן (ש.ס.).

★ **מדידת כוח הרגליים.** כוח שרירי הרגליים (squat), נבדק בעזרת מכשיר לחיצת הרגליים, תוצרת חברת (Powernetics, Inc.). נוהל הבדיקה מתואר במפורט אצל דרק, (Durck, 1987). הנבדקת ביצעה תרגיל שבו הברכיים מכופפות בזווית של 90° ואחר כך מתיישרות תוך כדי דחיפת משקל המונח על הכתפיים. לאחר מספר ניסיונות, נמצא המשקל המרבי שאותו מסוגלת הנבדקת לדחוף (שיטת 1-RM). משקל זה חולק במשקל הגוף כדי למצוא את כוח שרירי הרגליים היחסי למשקל הגוף.

★ **מדידת זמן התגובה.** זמן התגובה נבדק על ידי מכשיר המיועד לכך (Athletic Analyzer). הנבדקת עמדה על לוח אלקטרוני המחובר למכשיר בקרה ומדידה. בהישמע זמזום היה על הנבדקת לקפוץ בשתי רגליה ולעזוב את המשטח. זמן התגובה היה הזמן שנמדד ממתן האות עד לשחרור הלחץ מן המשטח. הזמן נרשם בדיוק של 0.001 שני. המבחן בוצע שלוש פעמים, והממוצע של שני הזמנים הטובים ביותר נרשם כזמן התגובה של הנבדקת.

★ **מדידת הגמישות.** הגמישות נבדקה במבחן שב ופשוט (Sit and Reach) (Pollock et al., 1978). הנבדקת ישבה כשרגליה פשוטות לפנים והברכיים צמודות לרצפה. כפות הרגליים הונחו כנגד קופסה המצוידת בסרגל מדידה בעל סמן מרוחק נייד. הנבדקת הניחה את שתי ידיה על הסמן והחלה בכפיפה לפנים עד למצב של פשיטה מרבית, כאשר הידיים דוחפות את הסמן שעל הסרגל והברכיים נשארות צמודות לרצפה. הטוב מבין שלוש המדידות נרשם כמדד הגמישות.

\* תיאור מפורט של נוהל הבדיקה נמצא אצל בר-אור ועמיתיו, 1977.

★ **מדידת המיומנות בריצה.** ההערכה של מיומנות הריצה התבססה על צפייה בריצה ועל הציון שניתן בידי שני מאמני ריצה מנוסים. הוערכו חמישה רכיבי טכניקה, כדלקמן:

- הרמת ברכיים
- תנועת ידיים וכתפיים
- יציבות הגו
- תנודות הראש והצוואר
- קלילות והרפיה.

טבלה בת חמש נקודות שימשה להערכה של כל אחד מהרכיבים הנ"ל. חמש נקודות ניתנו עבור **ביצוע מצוין**, ונקודה אחת עבור **ביצוע גרוע**. צבירה של 25 נקודות העידה על אצנית מיומנת בעלת טכניקת ריצה מעולה, ואילו צבירת 5 נקודות העידה על אצנית בעלת טכניקת ריצה גרועה. הציון הסופי לכל נבדקת במיומנות הריצה נקבע כממוצע הציון של שני הבוחנים.

לוח 2 מתאר את אמות המידה לקביעת הציונים במיומנות. הניקוד ניתן לכל אמת מדה בנפרד.

## לוח 2:

### אמות המידה לקביעת הציון לסגנון התנועה בריצה

מרכיב טכני	תיאור אמת המידה
1. הרמת ברך	הרמת ברך אופטימלית צריכה ליצור זווית של 90° בין הירך לבין הגו.
2. שליטה בתנועת היד והכתף	היד צריכה לנוע בצמוד לגוף עד לגובה הכתפיים, כאשר פרק היד והכתף משוחררים ורפויים.
3. תנועת הגו ויציבה	הגו צריך להישאר במצב זקוף ויציב ללא תנועות וסיבובים לצדדים.
4. תנועת ראש וצוואר	הצוואר והראש צריכים להיות במצב יציב ללא תנועות. בזמן הריצה שרירי הצוואר והפנים צריכים להישאר רפויים.
5. הרפיה וקלילות	תנועות גפיים מהירות אך קלילות תוך שליטה מלאה וקואורדינטיבית במכלול התנועות.

כל נבדקת קיבלה הסבר על תהליך המחקר, ולפני כל מבחן נערך חימום ספציפי. במהלך הביצוע של המבחנים ניתן עידוד מילולי מצד הבודקים כדי להגביר את המוטיבציה של הנבדקות.



### הניתוח הסטטיסטי

לבדיקת ההבדלים בין שלוש קבוצות הניסוי בוצע ניתוח שונות חד כיווני (ANOVA). ובעקבותיו בוצעו השוואות זוגיות באמצעות מבחני Tukey. חישובי מתאם (Pearson-r) נערכו כדי לקבוע את המתאמים שבין הזמנים בריצת ה-100 מטר לבין כל אחד מהמשתתפים שנבדקו במחקר זה.

כמו כן, בוצע ניתוח רגרסיה בשלבים (stepwise regression) במטרה לקבוע את התרומה היחסית של המשתתפים הפיסיולוגיים שנמדדו לחיזוי המהירות בריצה ל-100 מטר.

### הממצאים

הערכים של המשתתפים השונים אשר נמדדו במבחני המעבדה בקרב הנבדקות בשלוש הקבוצות, מוצגים בלוח 3.

#### לוח 3:

תוצאות מבחני המעבדה וניתוח השונות לשלוש קבוצות האצניות: המהירה, הבינונית, האיטית (ממוצע±סטטיית תקן)

ניתוח השונות		הקבוצה			
TUKEY	F(2,27)	איטית N=10	בינונית N=10	מהירה N=10	
	ל.מ.	48.8±4.7	50.2±4.1	48.9±4.2	צריכת חמצן מרבית (מ"ל \ ק"ג \ ד)
א, ב > ג*	14.21**	14.9±1.2	12.0±1.9	10.9±2.8	אחוז שומן
*א < ב < ג*	51.69**	8.1±0.7	10.1±0.8	11.6±0.8	הספק אנאירובי מרבי (וואט \ ק"ג)
*א < ב < ג*	33.67**	6.8±0.5	7.6±0.6	8.6±0.4	הספק אנאירובי ממוצע (וואט\ק"ג)
א > ב*	3.80*	0.276±0.02	0.285±0.02	0.261±0.02	זמן תגובה (שניות)
*א < ב < ג*	49.06**	1.16±0.1	1.66±0.2	1.92±0.2	כוח רגליים (ק"ג \ ק"ג)
	ל.מ.	55.4±3.5	54.9±3.5	54.1± 3.3	גמישות (ס"מ)
א, ב < ג*	34.53**	15.9±1.4	19.0±0.9	20.2±1.2	מימנות

ל.מ. = לא מובהק      \*\* = P < 0.01      \* = P < 0.05

נמצאו הבדלים מובהקים בין שלוש הקבוצות **בהספק האנאירובי** המרבי, הממוצע **ובכוח הרגליים**. הבדלים מובהקים באחוז השומן ובמיומנות הריצה נמצאו הן בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה האיטית, והן בין הקבוצה הבינונית לבין הקבוצה האיטית. לא נמצאו הבדלים מובהקים באחוז השומן ובמיומנות הריצה בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה הבינונית. ההבדלים בזמן התגובה היו מובהקים רק בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה הבינונית. לא נמצאו הבדלים בין הקבוצות בגמישות ובצריכת החמצן המרבית.

המתאמים בין המשתנים שנמדדו לבין הזמנים בריצה ל-100 מטר מוצגים בלוח 4.

**לוח 4:**  
**מתאמי פירסון בין המשתנים שנמדדו (N = 30)**

המשתנים	זמן ריצה	מיומנות	צריכת חמצן מרבית	אחוז שומן	הספק אנאירובי מרבי	הספק אנאירובי ממוצע	זמן תגובה	כוח רגליים	גמישות
זמן ריצה	1.000								
מיומנות	-.845**	1.000							
צריכת חמצן מרבית	-.019	.131	1.000						
אחוז שומן	.722*	-.828**	-.290	1.000					
הספק אנאירובי מרבי	-.886**	.827**	.023	-.715**	1.000				
הספק אנאירובי ממוצע	-.824**	.807**	.080	-.753**	.882**	1.000			
זמן תגובה	.298	-.202	.127	.200	.305	-.334	1.000		
כוח רגליים	-.887**	.805**	.106	-.759**	.859**	.825**	-.269	1.000	
גמישות	.167	-.189	-.055	.089	.007	.035	.018	.018	1.000

\*\* = P < 0.001

נמצאו מתאמים שליליים-גבוהים בין המיומנות, ההספק המרבי, ההספק הממוצע וכוח הרגליים לבין זמני הריצה. המתאם בין זמני הריצה לבין אחוז השומן היה חיובי-גבוה. לא נמצאו מתאמים מובהקים בין זמני הריצה לבין צריכת החמצן המרבית, זמן התגובה והגמישות.

בניתוח הרגרסיה בשלבים (לוח 5) נמצא שהצירוף של ההספק האנאירובי המרבי ושל כוח הרגליים, מאפשר חיזוי יעיל ביותר של הזמנים בריצה ל-100 מטר ( $R = 0.92$ ). שאר המשתנים אשר נבדקו במחקר לא תרמו באופן משמעותי ליכולת החיזוי של זמן הריצה.

#### לוח 5:

#### ניתוח רגרסיה בשלבים לחיזוי הזמן בריצה ל-100 מטר

D.F.	Regression Coefficient	F	Multiple R	משתנה מנבא
(1,28)	-0.32	109.17	0.89	1. הספק אנאירובי מרבי
(2,27)	-1.34	77.50	0.92	2. כוח רגליים יחסי

## דיון

תוצאות המחקר הזה מצביעות על כך שההבדל העיקרי בין הרצות למרחק של 100 מטר ברמות שונות של יכולת טמון בכוח שרירי הרגליים וביכולת האנאירובית שלהן. כן נמצאו הבדלים משמעותיים במיומנות הריצה של הנבדקות. הדיון בממצאים נערך על פי המדידות השונות שבוצעו במעבדה.

### צריכת החמצן המרבית

למרות התרומה הנמוכה יחסית של המערכת האירובית לכלל אספקת האנרגיה בבצוע מאמץ קצר ועצים, כריצה ל-100 מטר, מקובלת בין המאמנים הדעה, שכושר אירובי טוב חיוני כדי לעמוד בתכנית אימונים אינטנסיביים, המקובלת אצל אצנים.

מסיבה זו מבצעים היום רוב אצני העילית אימונים אירוביים בשלבים השונים של העונה. במחקר הזה לא נמצאו הבדלים מובהקים בין הערכים של צריכת החמצן המרבית בשלוש הקבוצות - המהירה, הבינונית והאיטית (48.9, 50.2, 48.8 מ"ל \ ק"ג \ ד, בהתאמה). המתאם בין צריכת החמצן המרבית לבין הזמנים של ריצה ל-100 מטר, היה נמוך ( $r = -0.02$ ) אצל כל הנבדקות במחקר.

סלטין ואוסטרנד מצאו ערכי צריכת חמצן מרביים דומים (52 מ"ל \ ק"ג \ ד) אצל אצניות עילית שוודיות ל-100 מטר ול-200 מטר (Saltin & Astrand, 1967).

### אחוז השומן

הבדלים מובהקים באחוז השומן נתגלו בין הקבוצה המהירה (10.0%) לבין הקבוצה האיטית (14.9%), ובין הקבוצה הבינונית (12.0%) לבין הקבוצה האיטית. ההבדל בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה הבינונית לא היה מובהק. **המתאם החיובי** ( $r = 0.72$ ) **בין הזמנים בריצה ל-100 מטר לבין אחוז השומן**, שנמצא במחקר הזה, נתמך על ידי ממצאים קודמים המצביעים על כך שאחוז שומן גבוה קשור לרמות ביצוע נמוכות במקצועות ספורט, הדורשים כוח ומהירות כדוגמת מיאוצים למרחקים קצרים (Barnes, 1981; Thorland et al., 1987).

במחקרים אודות אחוז השומן של אצניות ל-100 מטר, אשר התחרו באולימפיאדת טוקיו, 1964 ובאולימפיאדת מקסיקו, 1968, דווח על אחוזי שומן של 12.4 ו-13.7 בהתאמה (Di Prampero et al., 1970; Malina et al., 1971). במחקר אחר נמצא אחוז שומן של 14.5 בקרב אצניות צמרת אוסטרליות (Withers et al., 1987), ובמחקר נוסף דווח על אחוז שומן של 11.7 אצל אצניות קולגי בארה"ב (Wilmor, 1983).

### הספק האנאירובי המרבי (AnP)

הבדלים מובהקים בהספק האנאירובי המרבי נתגלו בין שלוש הקבוצות שנבדקו במחקר הזה. הממוצעים של הקבוצה המהירה, של הקבוצה הבינונית ושל הקבוצה האיטית היו 11.6 וואט\ק"ג, 10.6 וואט\ק"ג ו-8.1 וואט\ק"ג, בהתאמה. נמצא מתאם שלילי ( $r = -0.89$ ) בין ההספק המרבי ובין זמן הריצה אצל כל הנבדקות. ערכי ההספק המרבי, כפי שנמצאו במחקר הזה, דומים לאלה אשר דווח עליהם במחקרים קודמים

על אצניות. תארפ ואחי מצאו ערכים של 12.6 וואט\ק"ג לאצניות ברמה בינלאומית לעומת 10.2 וואט\ק"ג של רצות למרחקים ארוכים (Tharp et al., 1985). במחקר אחר נמצאו ערכים של 8.4 וואט\ק"ג ו-9.1 וואט\ק"ג לאצניות (גיל 14) ברמה לאומית ולסטודנטיות המתמחות במגמת החינוך הגופני, בהתאמה (Thorland et al., 1987). תוצאות אלה ממחישות את חשיבותו של ההספק האנאירובי המרבי למקצוע המיאוז. נראה גם שאצניות ברמה גבוהה מסוגלות לפתח, במעבדה או בשדה, הספק אנאירובי גבוה מזה של אצניות ברמה נמוכה יותר, של רצות למרחקים ארוכים או של נשים לא מאומנות.

### ההספק האנאירובי הממוצע (AnC)

הבדלים מובהקים בהספק האנאירובי הממוצע נתגלו בין שלוש הקבוצות של הנבדקות במחקר הזה. הממוצעים של הקבוצה המהירה, של הקבוצה הבינונית ושל הקבוצה האיטית היו 8.6 וואט\ק"ג ו-7.6 וואט\ק"ג ו-6.8 וואט\ק"ג, בהתאמה. מתאם שלילי ( $r = -0.82$ ) נמצא בין ההספק הממוצע ובין זמן הריצה בקרב כל הנבדקות. החשיבות של הסבלת האנאירובית למיאוז משתקפת במאפייני הביצוע של הריצה ל-100 מטר. ההאטה ב-30 המטרים האחרונים של הריצה עשויה להצביע על מעבר מקור האנרגיה מהמערכת הפוספוגנית (ATP-GP) המהירה למערכת הגליקוליטית האיטית יותר (Jolly, 1985). רמות הקריאטין פוספאט (CrP), האדנוזין טרי פוספאט (ATP), הגליקוגן (Glycogen) והחומציות של אצנים נבדקו לאחר מיאוצים למרחקים של 40, 60, 80 ו-100 מטר. הממצאים, משמשים יסוד להשערה שבחלקה הראשון של ריצת ה-100 מטר, המערכת הפוספוגנית והגליקוליטית פועלות יחדיו בהתאמה מרבית. בחלקה האמצעי של הריצה תרומת המערכת הפוספוגנית יורדת ואילו בחלק האחרון של הריצה, הגליקוליזה היא המסלול העיקרי של אספקת האנרגיה (Hirvonen et al., 1987). במקרים רבים, ההישג בריצת 100 מטר ייקבע על ידי יכולתו של האצן להתמיד במהירות הריצה ב-30 המטרים האחרונים של המיאוז.

### זמן התגובה

החשיבות של זמן התגובה לגבי הישגים בביצוע פעילות הנמשכת כ-10-12 שניות מובנת מאליה, שכן ההבדלים בין תגובה מהירה לבין תגובה איטית יכולים להגיע לכ-0.2-0.3 שניות (Lotter, 1960). לאור זאת מפתיע, שבמחקר הזה, לא נתגלו הבדלים מובהקים בזמן התגובה בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה האיטית. ההבדל המובהק היחיד

נמצא בין הקבוצה המהירה (0.261 שני) לבין הקבוצה הבינונית (0.285 שני). המתאם בין זמן התגובה של כל הנבדקות ובין זמן הריצה היה אף הוא נמוך ולא מובהק ( $r = -0.29$ ).

הסבר אפשרי לתוצאות אלו הוא שהמבחן למדידת זמן התגובה לא היה ייחודי לתנועת הזינוק המקובלת במיאוף. עריכת מבחן, המודד זמן תגובה בטכניקה הקרובה יותר לזינוק אמיתי, הייתה עשויה להניב תוצאות אחרות. בנוסף לכך ראוי לציין שהמחקר בוצע בשלב של עונת האימונים (של הנבדקות המאומנות) שבו עדיין לא תורגלו זינוקים. אימונים כאלה היו עשויים לקצר את זמן התגובה שלהן, ובעקבות זאת לשפר את המתאם הכללי בין זמן התגובה ובין זמן הריצה.

### כוח הרגליים

הבדלים מובהקים בכוח של שרירי הרגליים היחסי למשקל הגוף נתגלו בין שלוש הקבוצות במחקר הזה. הממוצעים של הקבוצה המהירה, של הקבוצה הבינונית ושל הקבוצה האיטית היו 1.92 ק"ג \ ק"ג, 1.66 ק"ג \ ק"ג ו-1.16 ק"ג \ ק"ג, בהתאמה. מתאם שלילי ( $r = 0.89$ ) נמצא בין הכוח ובין זמן הריצה.

במחקר שהשווה את כוח הרגליים היחסי של אצנים ל-100 מטר משלוש רמות שונות, נמדד כוח ב-0.1 שניות ודווח ביחידות של ק"ג\שני. התוצאות לקבוצה המהירה (10.1-10.5 שני), הבינונית (10.6-11.00 שני) והאיטית (11.1-11.5 שני) היו 2.15 ק"ג \ שני 18.0 ק"ג \ שני ו-1.32 ק"ג \ שני, בהתאמה. ההבדלים בין שלוש הקבוצות היו מובהקים ( $P < 0.05$ ) (Alabin & Yushkevitch, 1981). במחקר אחר, השוו את הכוח של פושטי הברך בקרב אצנים ל-100 מטר ברמות יכולת שונות. הכוח האיזומטרי של פושטי הברך נמדד בעזרת דינמומטר אלקטרומכני. הממצאים היו: N 3394 (ניוטון) N, ו-2943 N - לקבוצה המהירה (10.7 שני), לקבוצה הבינונית (11.1 שני) ולקבוצה האיטית (11.5 שני), בהתאמה. ההבדלים בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה האיטית ובין הקבוצה הבינונית לבין הקבוצה האיטית, היו מובהקים ( $P < 0.05$ ). ואילו ההבדלים בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה הבינונית לא היו מובהקים.

תוצאות מחקרים אלה, התואמים את אלה של המחקר הזה, מצביעות על החשיבות של כוח שרירי הרגליים להישגים במיאוף ה-100 מטר. אם כן, אין זה מפתיע, שמאמני מיאוצים נוהגים להדגיש את פיתוח הכוח כחלק מתכנית האימונים.

## הגמישות

ברור מאליו, שמידה מזערית של גמישות חיונית לביצוע יעיל של הריצה ל-100 מטר. אבל לא ברור באיזו מידה גמישות טובה במיוחד או דרגות שונות של גמישות מעבר למינימום ההכרחי ישפיעו על הישגים בריצה.

במחקר הזה לא נמצאו הבדלים מובהקים בגמישות בין שלוש הקבוצות. המתאם בין גמישות לבין זמן הריצה היה נמוך ולא מובהק. במחקרים מועטים בלבד נבחן הקשר שבין מהירות הריצה לבין הגמישות. במחקר אחד נמצא, ששיפור בגמישות הירך והקרסול לא השפיע על זמן הריצה ל-50 מטר (Cooper & Tolsma, 1980). במחקר אחר נמצא, שהוספת תרגילי גמישות לאימוני מראץ לא שיפרה בצורה משמעותית את זמן הריצה (Dintiman, 1964). תוצאות המחקרים הללו, בדומה למחקר הזה, מרמזים על כך **שגמישות אינה מהווה גורם מגביל להישגים במקצועות המראץ**, כאשר הנבדקים הם בעלי גמישות בטווח התקין.

## המיומנות

המיומנות בביצוע התנועה במקצועות ספורט מסוימים עשויה להוות מפתח להצלחה בביצוע הפעילות. נהוג להבדיל בין מקצועות ספורט המבוססים על טכניקה מלוטשת ועל דיוק בביצוע (לדוגמה, התעמלות), לעומת מקצועות, שבהם הטכניקה וסגנון הביצוע אינו חשוב במיוחד (כמו: ריצות למרחקים ארוכים). מובן מאליו, שבמקצוע כמו התעמלות חלק גדול של תכנית האימונים ייוחד לשיפור הסגנון והטכניקה בעוד שבענף, כמו ריצות למרחקים ארוכים, עיקר הזמן ייוחד לשיפור הכושר האירובי. במחקר הזה הוערכה טכניקת הריצה של הנבדקות על ידי קביעת ניקוד בין 5 ל-25. בוצעה הערכה של חמישה רכיבי טכניקה. מתן הציונים למיומנות נעשה ללא ידיעת המעריכים את זמן הריצה המדויק אף על פי שהם יכלו, כמובן, להעריך אותו.

הממוצעים של ציוני המיומנות של הקבוצה המהירה, של הקבוצה הבינונית ושל הקבוצה האיטית היו 20.2, 19.0 ו-15.9, בהתאמה. הבדלים מובהקים בציונים נמצאו בין הקבוצה האיטית לבין שתי הקבוצות האחרות.

כמו כן נמצא מתאם שלילי ( $r = 0.85$ ) בין ציוני המיומנות ובין זמן הריצה. הממצאים הללו דומים לאלה שדווחו על ידי שפרד אשר הבחין בהבדלים מובהקים בסגנון הריצה ובטכניקה של רצים מאומנים לעומת אנשים לא מאומנים (Shephard, 1982).

ניתוח הרגרסיה בשלבים (stepwise regression) הראה שההספק האנאירובי המרבי וכוח הרגליים היחסי למשקל הגוף - הם התורמים החשובים ביותר לחיזוי המהירות בריצת 100 מטר. צריכת החמצן המרבית, אחוז השומן, ההספק האנאירובי הממוצע, זמן התגובה, הגמישות והמיומנות לא תרמו משמעותית ליכולת החיזוי.

## סיכום

לאחר שנים ארוכות של קיפאון בהישגים הושגה לאחרונה התקדמות רבה במיאוציס הקצרים אצל נשים. עקב כך גברה מאוד ההתעניינות במקצוע ספורט זה. למרות זאת, רוב המחקרים העוסקים במאמץ אנאירובי עצים בוצעו על גברים.

מטרת המחקר הזה הייתה להשוות בין התכונות הפיסיולוגיות של אצניות 100 מטר ברמות שונות של יכולת. 30 הנבדקות במחקר (20 אצניות מאומנות ו-10 נשים פעילות ברמה חובבנית) חולקו, על סמך הישגיהן בריצת 100 מטר, לשלוש קבוצות: מהירה ( $0.1 \pm 11.8$  ש"י), בינונית ( $0.1 \pm 12.7$  ש"י) ואיטית ( $0.1 \pm 14.2$  ש"י). לכל הנבדקות נמדדו המשתנים האלה: צריכת חמצן מרבית (Peak VO<sub>2</sub>), הספק אנאירובי מרבי, הספק אנאירובי ממוצע, אחוז שומן, כוח שרירי הרגליים, זמן תגובה, גמישות ומיומנות בריצה. לבדיקת ההבדלים בין שלוש הקבוצות בוצע ניתוח חד-כיווני של כל משתנה (ANOVA), ובעקבותיו בוצעו השוואות זוגיות באמצעות מבחני Tukey. נמצאו הבדלים מובהקים בין שלוש הקבוצות בהספק האנאירובי המרבי, בהספק האנאירובי הממוצע ובכוח הרגליים. הבדלים מובהקים באחוז השומן ובמיומנות הריצה נמצאו בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה האיטית ובין הקבוצה הבינונית לבין הקבוצה האיטית. לא נמצאו הבדלים מובהקים באחוז השומן ובמיומנות הריצה בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה הבינונית. ההבדלים בזמן התגובה היו מובהקים רק בין הקבוצה המהירה לבין הקבוצה הבינונית. לא נמצאו הבדלים בין הקבוצות בגמישות ובצריכת החמצן המרבית. נמצאו מתאמים שליליים גבוהים (Pearson-r) בין מיומנות, הספק מרבי, הספק ממוצע וכוח הרגליים לבין זמני הריצה. המתאם בין זמני הריצה לבין אחוז השומן היה גבוה וחיובי. לא נמצאו מתאמים מובהקים בין זמני הריצה לבין צריכת החמצן המרבית, זמן התגובה והגמישות. בניתוח רגרסיה בשלבים (stepwise regression) נמצא שהצירוף של ההספק האנאירובי המרבי וכוח הרגליים מאפשר חיזוי יעיל ביותר לזמני הריצה ל-100 מטר ( $R = 0.92$ ). תוצאות המחקר מצביעות על כך שההבדל העיקרי בין רצות ל-100 מטר, ברמות שונות של יכולת, נעוץ ביכולת האנאירובית ובכוח שרירי הרגליים.



## רשימת המקורות

- Alabin, V. & Yushkevitch, T. (1981). Talent selection in the sprint. *Soviet Sports Review*; 16(1), 34-35p
- Astrand, P.O. & Rodahl, K. (1986). **Textbook of work Physiology: Physiological bases of exercise**. New York: McGraw-Hill.
- Barnes, W.S. (1981). Selected physiological characteristics of elite male sprint athletes. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*; 21(1), 49-54.
- Bar-Or, O., Dotan, R. & Inbar, O. (1977). A 30 second all-out ergometric test: Its reliability and validity for anaerobic capacity. *Israel Journal of Medical Science*, 13:126-30.
- Beckholdt, S.E. & Mayhew, J.L. (1983). Specificity among anaerobic power tests in male athletes. *Journal of Sports Medicine*, 23(3), 326-331.
- Cheetham, M.E., Boobis, L.M., Brooks, S. & Williams, C. (1986). Human muscle metabolism during sprint running. *Journal of Applied Physiology*, 61(1). 54-60.
- Cooper, J.M. & Tolsma, B.C. (1980). Quadriceps flexibility, an aid to sprinting speed. *Track & Field Quarterly Review*, 80(2),47-49
- Costill, D.L., Barnett, A., Sharp, R., Fink, W.J. & Katz, A. (1983). Leg muscle pH following sprint running. *Medicine and Science in Sport and exercise*, 15(4), 325-329.
- Costill, D.L., Evans, W., Daniels, J., Fink, W. & Krahenbuhl, G. (1976). Skeletal Muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *Journal of Applied Physiology*, 40(2), 149-154.
- Cunningham, D.A. & Faulkner, J.A. (1969). Effect of training on aerobic and anaerobic metabolism during a short exhaustive run. *Medicine and Science in Sport*, 1(2),65-69.
- Di Prampero, P.E., Pinera-Limas, F. & Sassi, G. (1970). Maximal muscular power, aerobic and anaerobic, in 116 athletes performing at the XIXth Olympic Games in Mexico. *Ergonomics*, 13, 665-674.
- Dintiman, G.B. (1964). Effect of various training programs on running speed. *Research Quarterly*, 35,456-463.
- Durck, C. (1987). Squat and power clean training relationships to sprinting. *Track Technique*; 97:3087-3088.

- Hirvonen, J., Rehunen, S., Rusko, H. & Haerkoenen, M. (1987). Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(3),253-259.
- Jacobs, I., Tesch, P.A., Bar-Or, O., Karlsson, J. & Dotan, R. (1983). Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 seconds of supermaximal exercise. *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental and Exercise*, 55(2), 365-367.
- Jolly, S.W. & Crowder, V.R. (1985). The energy continuum and stages of velocity in sprinting. *Track Technique*, 91, 2909-2911.
- Komi, P.V., Rusko, H., Vos, J. & Vihko, V. (1977). Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta Physiologica Scandinavia*, 100(1), 107-114.
- Lotter, W.S. (1960). Interrelationships among reaction times and speed of movement in different limbs. *Research Quarterly*, 31, 147-155.
- Malina, R.M., Harper, A.B. Avent, .M. & Campbell, D.E. (1971). Physique of female track and field athletes. *Journal of American College Sports Psychology*, 3, 32-38.
- Malina, R.M., Mueller, W.H., Bouchard, C., Shoup, R.F. & Lariviere, G. (1982). Fatness and fat patterning among athletes at the Montreal Olympic Games 1976. *Medicine and Science in Sports*, 14(6), 445-452.
- Margaria, R., Aghemo, P. & Rovelli, E. (1966). Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *Journal of Applied Physiology*, 21,1662-1664.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. ( 1991). *Exercise physiology, energy, nutrition, and human performance* 3ed. Philadelphia: Lea-Febiger,
- Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, T. & Komi, P.V. (1981). Relationships between maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scandinavian Journal of Sport Science*, 3(1), 6-22.
- Newsholme, E.A. (1986). Application of principles of metabolic control to the problem of metabolic limitations in sprinting, middle-distance and maraton running. *International Journal of Sports Medicine*, 7 (1), 66-70.
- Parkhous, W.S., Mckenzie, D.C., Hochachka, P.W., Mommsen, T.O. & Rhodes, R.C. (1982). Muscle buffering capacity, fiber composition and anaerobic capacity of elite athletes. *Medicine and Science in Sports*, 14, 132-133.

- Pernow, B. & Wahren, J. (1968). Lactate and pyruvate formation and oxygen utilization in the human forearm muscles during work of high intensity and varying duration. *Acta Physiology Scandinavia*, 56, 267-285.
- Plowman, S. (1974). Physiological characteristics of female athletes. *Research Quarterly*, 45(4),349-362
- Pollock, M.L., Wilmore, J.H. & Fox, S.M. (1978). **Health and fitness through physical activity**. New York: Wiley, 357.
- Saltin, B. & Astrand, P.O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.
- Shephard, R.J. (1982). **Physiology and biochemistry of exercise**. New York:: Praeger.
- Tesch, P.A. & Wright, J.E. (1983). Recovery from short term intense exercise; Its relation to capillary supply and blood lactate concentration. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52(1),98-103.
- Tharp, G.D., Newhouse, R.K., Uffelinan, L., Thorland, W.G. & Johnson, G.O. (1985). Comparison of sprint and run times with performance on the Wingate Anaerobic Test. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 56(1), 73-76.
- Thorland, W.G., Johnson, G.O., Cisar, C.J., Housh, T.J. & Tharp, G.D. (1987). Strength and anaerobic responses of elite young female sprint and distance runners. *Medicine and Science in Sports*, 19(1), 56-61.
- Wilmore, J.H. (1983). Body composition in sport and exercise. *Medicine and Science in Sports*, 15(1), 21-31.
- Withers, R.T., Whittingham, N.O., Norton, K.I., Forgia, J.L., Ellis, M.W. & Crockett A. (1987). Relative body fat and anthropometric prediction of body density of female athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 56(2),169-180.