

הערכת הסף האנאירובי על פי הדופק

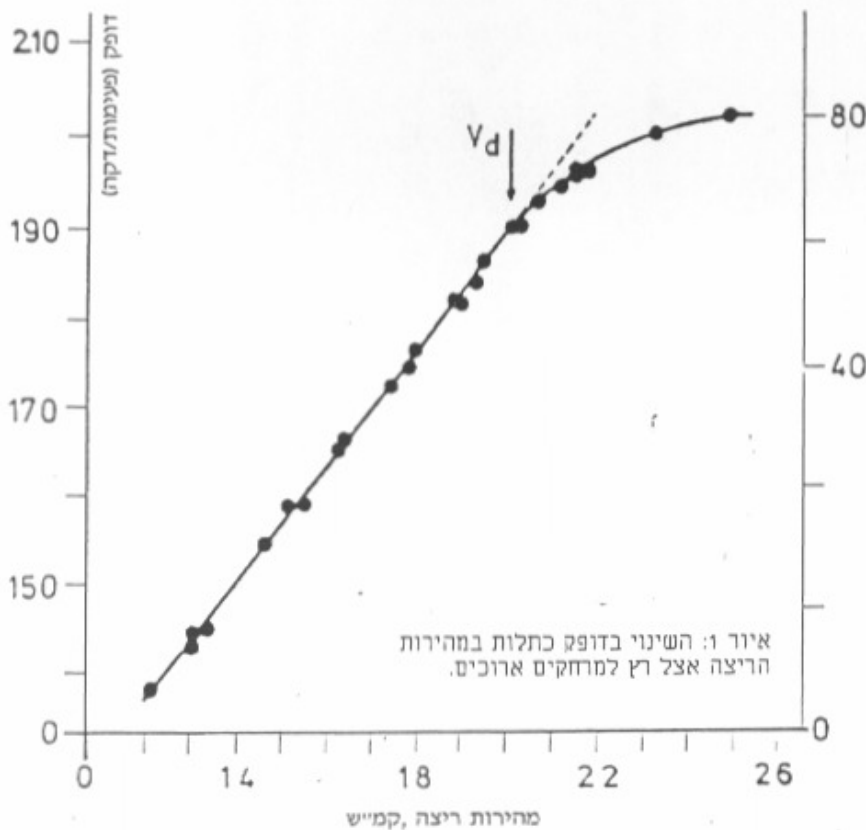
ד"ר אריה רוטשטיין

החלב בדרגות מאמץ שונות. זרך נוספת, המאפשרת המנועות מדגימות דם, כרוכה במדידות רצופות של פרמטרים נשימתיים כגון צריכת חמצן, פליטת CO_2 , איורור ריאות ועוד. מהשתנות מדדים אלו כתלות בעומס העבודה ניתן להעריך את הסף האנאירובי.

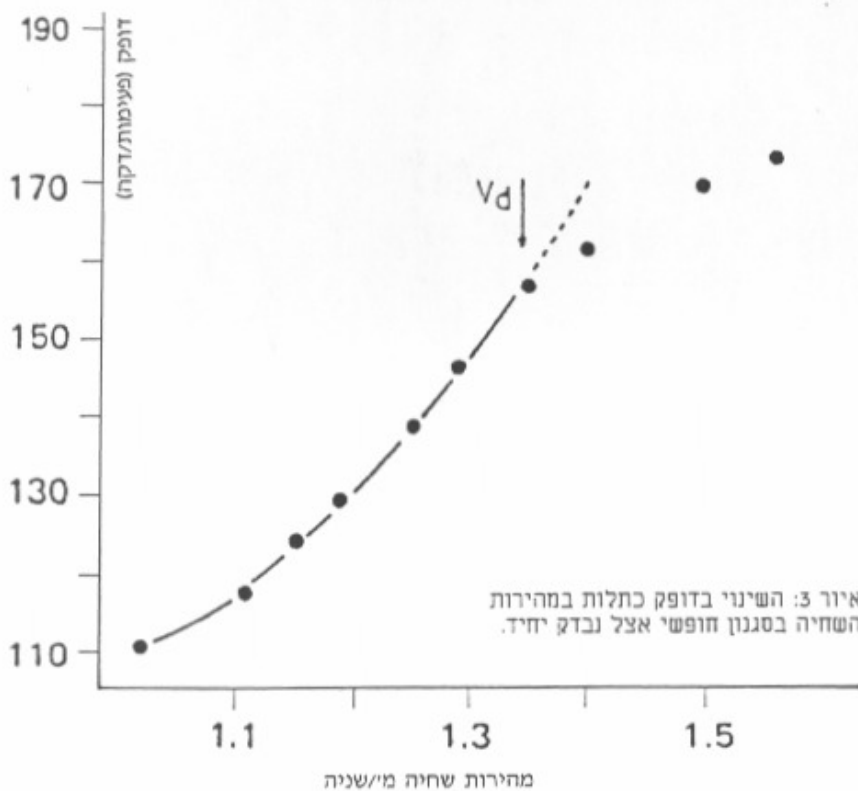
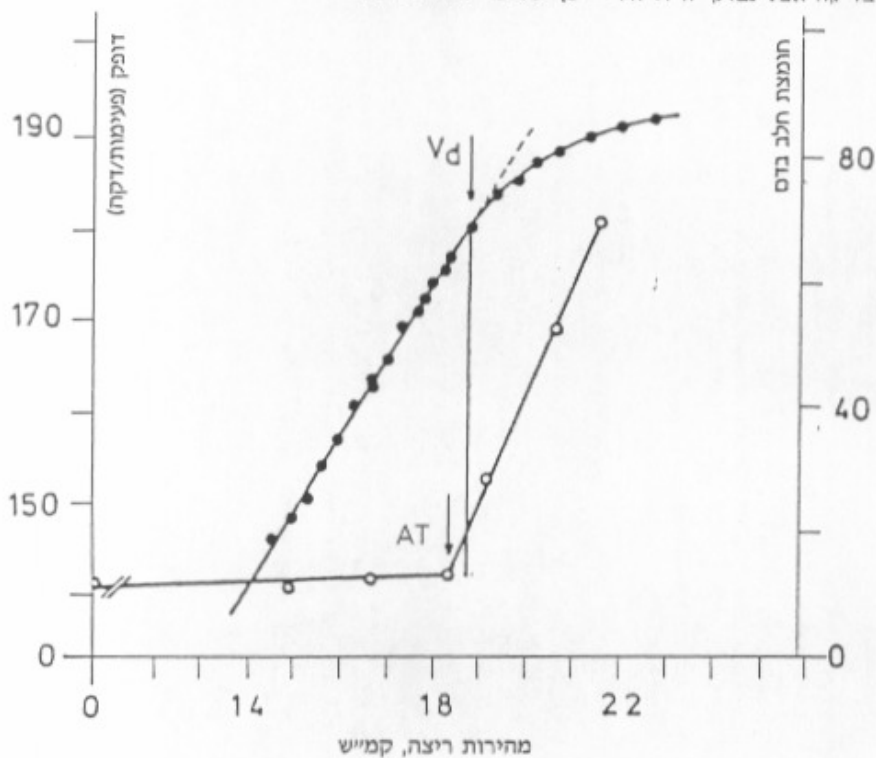
הדרכים האלה כרוכות האחת, בבדיקות דם יקרות ומורכבות למדי המחייבות מעבדה כימית ומיומנות טכנית, והשניה, במישור מתוחכם ויקר לביצוע הבדיקות של המדדים הנשימתיים ובזמינות צוות מיומן להפעלת המישור. אין פלא, איפוא, שקיים ענין רב באפשרות להעריך את הסף האנאירובי באמצעים פשוטים יותר, שיסחררו את המאמן מתלות בבדיקות מעבדה מתוחכמות ויאפשרו למאמן עצמו לבדוק את הסף או להעריך אותו במידה סבירה של דיוק בתנאי שדה ובאמצעים פשוטים.

אחד המדדים הישירים להערכת סבולת הוא הסף האנאירובי. את הסף האנאירובי ניתן להגדיר כעומס העבודה המירבי אותו מסוגל ספורטאי לקיים בפעילות מוגדרת (כגון ריצה, שחיה בסגנון נתון, רכיבה וכו') ללא עליה בריכוז חומצת החלב כתלות במשך המאמץ. מעשית משתמע מכך, שהסף האנאירובי מייצג את העומס המירבי בו הנבדק מסוגל להתמיד בפעילות למשכי זמן ארוכים יחסית. ואכן, במחקרים רבים נמצא, שעומס העבודה בסף האנאירובי נמצא בהתאמה טובה מאוד להישגים בפעילויות סבולת אופייניות. מסיבה זו הפכה בשנים האחרונות בדיקת הסף האנאירובי של ספורטאים לאמצעי העיקרי להערכת הסבולת היחודית בביצוע הפעילות המאפיינת את הספורטאי.

הדרך המקובלת ביותר לקביעת הסף האנאירובי כרוכה בבדיקת מאמץ מדורגת בשילוב דגימות דם להערכת רמת חומצת



איור 2: השינוי בדופק ובריכת חומצת חלב כתלות במהירות כפי שנבדקו בשני נהלי בדיקה אצל נבדק יחיד. AT — סף על פי חומצת חלב.



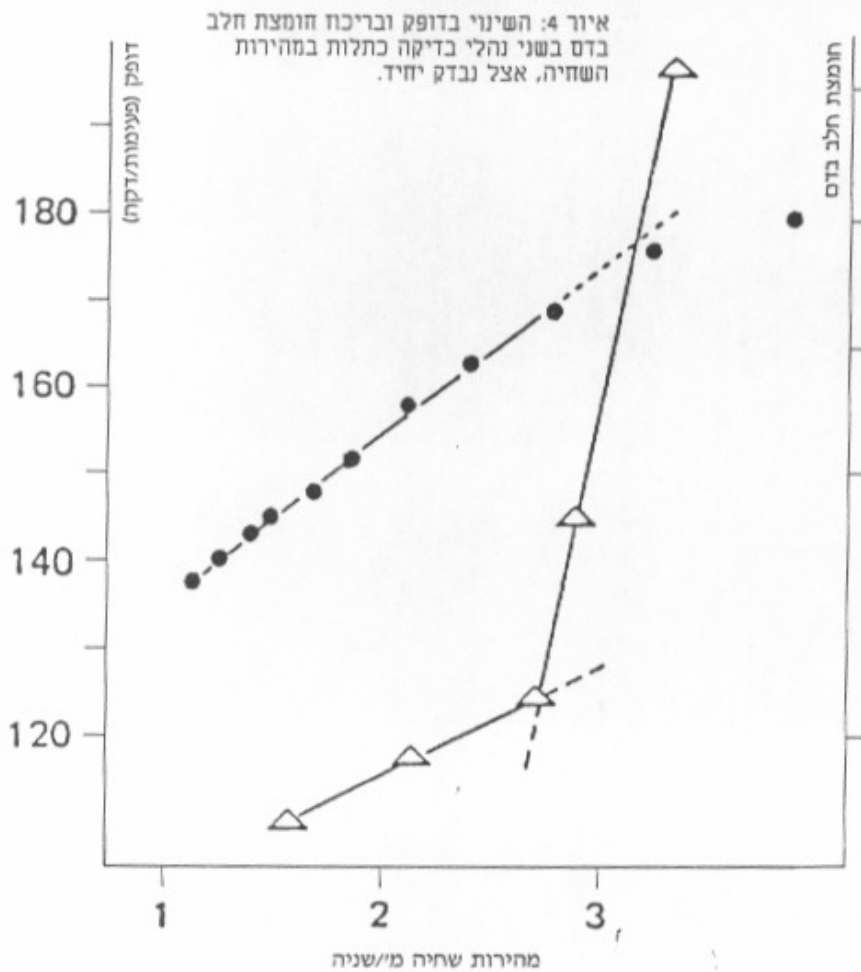
איור 3: השינוי בדופק כתלות במהירות השחיה בסגנון חופשי אצל נבדק יחיד.

Conconi הראה שבפרוטוקול מתאים ניתן להעריך את הסף האנאירובי על פי השתנות הדופק בדרגות מאמץ שונות. כללית מקובל שהדופק עולה באופן ליניארי עם עלית עומס העבודה, למרות שכבר Astrand, החוקר השוודי הידוע, הראה שאצל נבדקים אחדים, בעומסי עבודה גבוהים, עולה הדופק בקצב איטי יותר מאשר העליה בצריכת החמצן. Conconi מצא ב-1982 שבפרוטוקול מתאים ניתן להראות כמעט אצל כל נבדק, שהעליה בדופק עם עלית עומס העבודה אינה ליניארית, ועל פי השתנות הדופק עם העליה בעומס העבודה ניתן להעריך את הסף האנאירובי.

הפרוטוקול הראשוני, שהוצע על ידו, כלל ריצת קטעים של 200 מ' במהירויות שונות, כאשר בכל קטע מתגברת המהירות ב-0.5 קמ"ש. הריצה מבוצעת ברציפות כאשר ב-50 המטרים האחרונים של כל 200 מ' נבדק הדופק. מובן שכדי לעשות זאת חייבים להסתייע במד דופק, הצמוד לנבדק, המסדר או רושם את הדופק תוך כדי ריצה. ברור שמרווחי הזמן בין כל קטע של 200 מ' הולכים ומתקצרים עם עלית המהירות. לפני ביצוע המבחן עושים חימום במשך 30-15 דקות. בבדיקה של אנשים מאומנים המהירות ההתחלתית נעה בין 14-12 קמ"ש.

באיור 1 מתוארת עקומה טיפוסית של השתנות הדופק כתלות במהירות כפי שהיא מתקבלת בפרוטוקול הנייל. נראה, שניתן בקלות להבחין שהדופק עולה באופן ליניארי עד מהירות מסויימת (במקרה זה 20 קמ"ש) ומעל למהירות זו חלה האטה בעליית הדופק. מהירות זו מכונה V_d (DEFLECTION VELOCITY) או מהירות הסטייה מן הליניאריות. מהירות זו מהווה מדד ישיר לסבולת מאחר ונמצא על ידי Conconi ואחרים שהיא נמצאת בקורלציה גבוהה למהירות בסף האנאירובי כפי שהיא נמדדת בשיטות מקובלות יותר כגון מדידת ריכוז חומצת חלב בדם במאמץ מדורג. באיור 2 מתוארת השוואה בין המהירות V_d לבין המהירות בסף האנאירובי על פי מדידת חומצת חלב ונראית בבירור ההתאמה בין שתי השיטות (מעניין לציין, שהתוצאות המובאות באיור 1 הן של רץ 10,000 מ', שהזמן הטוב ביותר שלו לריצה זו הוא 29:04 ד', קרוב מאוד למהירות V_d שנמצאה בבדיקה).

ממצאים אלו עוררו עניין רב, ומאז פורסמו מחקרים שונים, שבדקו את האפשרות להעריך את הסבולת על פי השתנות הדופק



במאמץ מדורג ורצוף. הוצעו פרוטוקולים להערכת שחיניים, רוכבי אופנים, הלכים, חותרים ועוד.

לגבי שחיניים הוצע ע"י Cellini ב-1986 פרוטוקול, הכולל כ-15 דקות חימום ומבחן שחיה רצופה בבריכה של 25 מ', תוך הגברת המהירות בכל 50 מ'. נמדד הדופק במקטע האחרון של כל מהירות. באיור 3 מתוארות תוצאות טיפוסיות של מבדק כזה אצל שחיין בסגנון חתירה.

באיור 4 מובאת השוואה של הסף האנאירובי בסיגנון זה כפי שהוא נמדד ע"י מדידות של ריכוז חומצת חלב בדם לבין הסף במבחן Conconi. הסף האנאירובי על-פי מדידות חומצת חלב נקבע במאמץ מדורג, שכלל משחים למרחק 200 מ' במהירויות עולות, כאשר לאחר כל משחה נמדדה רמת חומצת החלב בדם. בין משחה למשחה היתה הפסקה של 15 דקות. בהפסקה בוצעה עבודת שחרור והרפיה בלבד. טבלה 1 מציגה את ההשוואה בין ערכי הסף,

טבלה 1: מיתאמים בין המהירות V_d לבין המהירות בסף האנאירובי (AT) כפי שהיא נמדדת על פי ריכוז חומצת החלב בדם (המהירויות מוצגות כאן בחזקה שלישית)

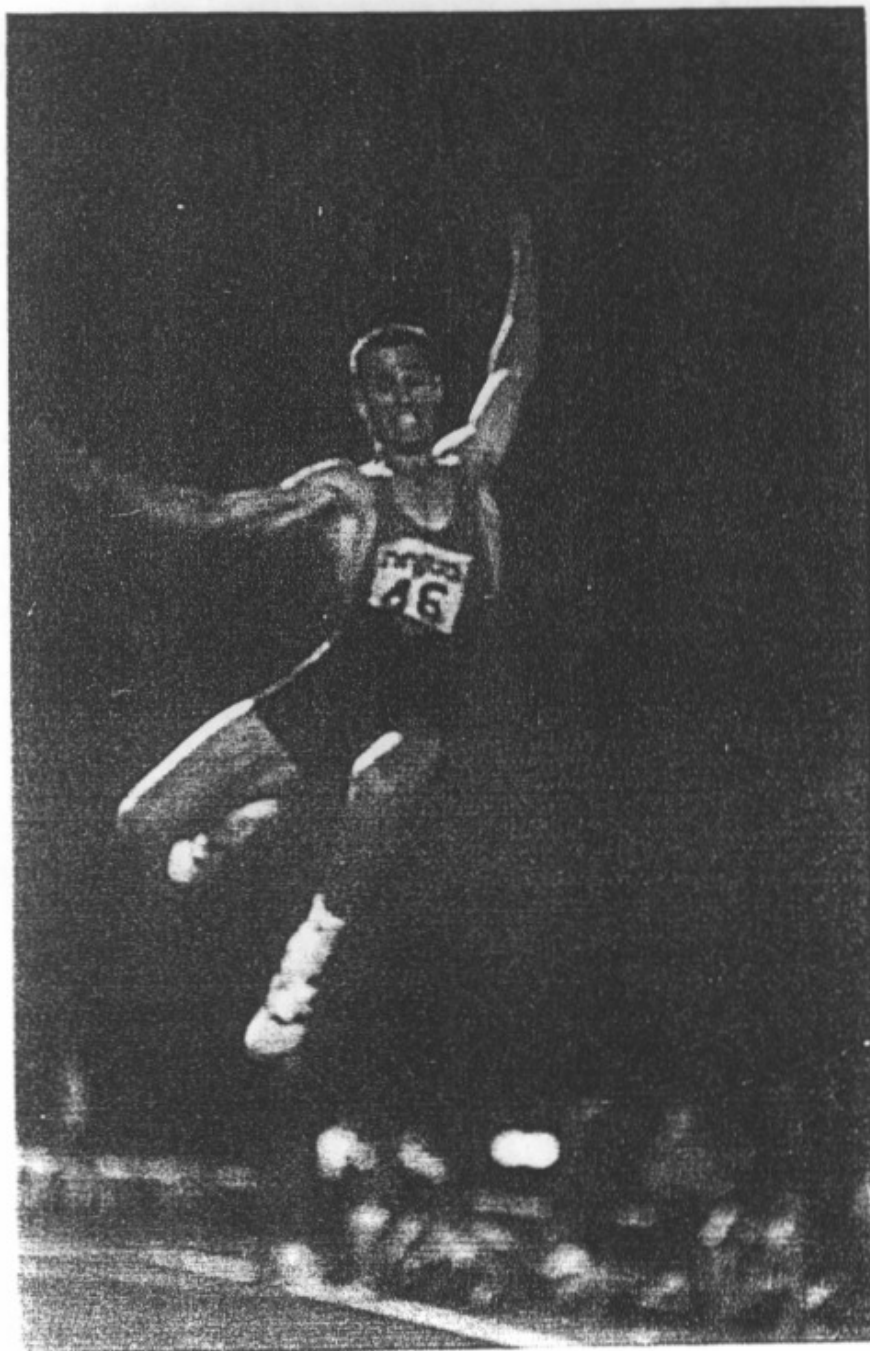
Athlete	$V_d(m/s)^3$	AT(m/s) ³
M.D.M.	2.76	2.56
C.S.	2.16	2.21
F.L.	2.34	2.51
M.P.	2.72	2.76
M.S.	2.56	2.67
F.F.	2.67	2.76
n-6		r-0.84

שחלקו בשני השיטות. כאמור נמצאה קורלציה טובה למדי בהשוואת שתי השיטות, אך יש לציין, שמספר הנבדקים במחקר זה היה קטן יחסית.

Wasspeiner ו-Gaisel בדקו ב-1986 את האפשרות למדוד את הסף על פי השתנות הדופק אצל ילדים בני 11 תוך שימוש באופנים ארגומטריים. עומס העבודה הועלה כ-10 ואט בכל דקה והעבודה בוצעה ברציפות ללא הפסקות תוך מעקב אחר הדופק. התוצאות הושוו לסף האנאירובי כפי שנקבע ע"י מדידות של חומצת חלב בפרוטוקול מדורג, שכלל ריצה על מסילה במהירות התחלתית של 6 קמ"ש ושיפוע של 5%, כאשר

טבלה 2: השוואה בין הדופק בסף האנאירובי כפי שהוא נמדד על-פי השתנות הדופק עם עלית עומס העבודה באופניים (A), ובין השינוי בריכוז חומצת חלב בדם כתלות במהירות ריצה על מסילה (B).

סתייך	ילדות	ילדים	פעימות/דקה	דופק A
(n-64)	(n-25)	(n-39)	Mean	דופק B
187.8	188.0	187.6	SD	
7.73	9.38	6.61	Mean	
186.8	186.8	186.7	SD	
7.73	9.84	6.28	r	
0.98	0.98	0.98	P	
<0.001	<0.0001	<0.0001		



המהירות הועלתה בכל 3 דקות ב־2 קמ"ש. בין דרגות המאמץ היתה הפסקה של 10 שניות לצורך דגימות דם לבדיקת חומצת חלב. במחקר זה נמצאה קורלציה גבוהה מאוד בין הדופק, שנמצא בסף האנאירובי על פי מדידות חומצת חלב, לבין הדופק בסף כפי שנמצא מעקומות שינוי הדופק עם עלית העומס בעבודה על האופנים.

טבלה 2 מסכמת תוצאות אלו. נראה אם כן, שמתרבות העדויות שבפרוטוקול מתאים ניתן להעריך בצורה טובה למדי את הדופק בסף האנאירובי או את עומס העבודה בסף האנאירובי תוך ניצול אמצעים יחסית פשוטים של מדידת דופק ללא צורך בבדיקות דם או אמצעים מעבדתיים משוכללים. יש, עם זאת, לציין, שלפחות חלק מן המחקרים מבוסס על מספר קטן יחסית של נבדקים ושהנסייון המצטבר בשיטה זו אינו גדול. אחת הבעיות, שלא נבדקה עדיין בצורה יסודית, היא השפעת פרוטוקול הבדיקה על התוצאות המתקבלות. חוקרים שונים מדווחים על נהלי בדיקה שונים ולכן אין עדיין אחידות בנהלי הבדיקה וחסרה אינפורמציה לגבי מידת ההשפעה שיש לנהלי בדיקה שונים על התוצאות. ידוע לגבי בדיקות הסף האנאירובי על פי מדידות חומצת חלב או פרמטרים נשימתיים, שלפרוטוקול הבדיקה – כלומר, משך הזמן בו מבוצעת כל דרגת מאמץ והעליה בעומס בין דרגה לדרגה – יש השפעה על ערכי הסף המתקבלים. לדבר זה עשויה להיות חשיבות רבה במיוחד בבדיקת ספורטאים ברמה גבוהה, ויש לכן מקום לבדיקת הנושא. מכל מקום, אין ספק שהשיטה ראויה לבחינה ולהתנסות ועשויה לחוות אמצעי יעיל בידי המאמן להערכה מחירה של הסף האנאירובי או גודל, שודאי ימצא בקורלציה טובה לסף.

הרשימה הביבליוגרפית שמורה במערכת.