

הפיזיולוגיה של המאמץ

מהלכה למעשה



— שחר ניס —

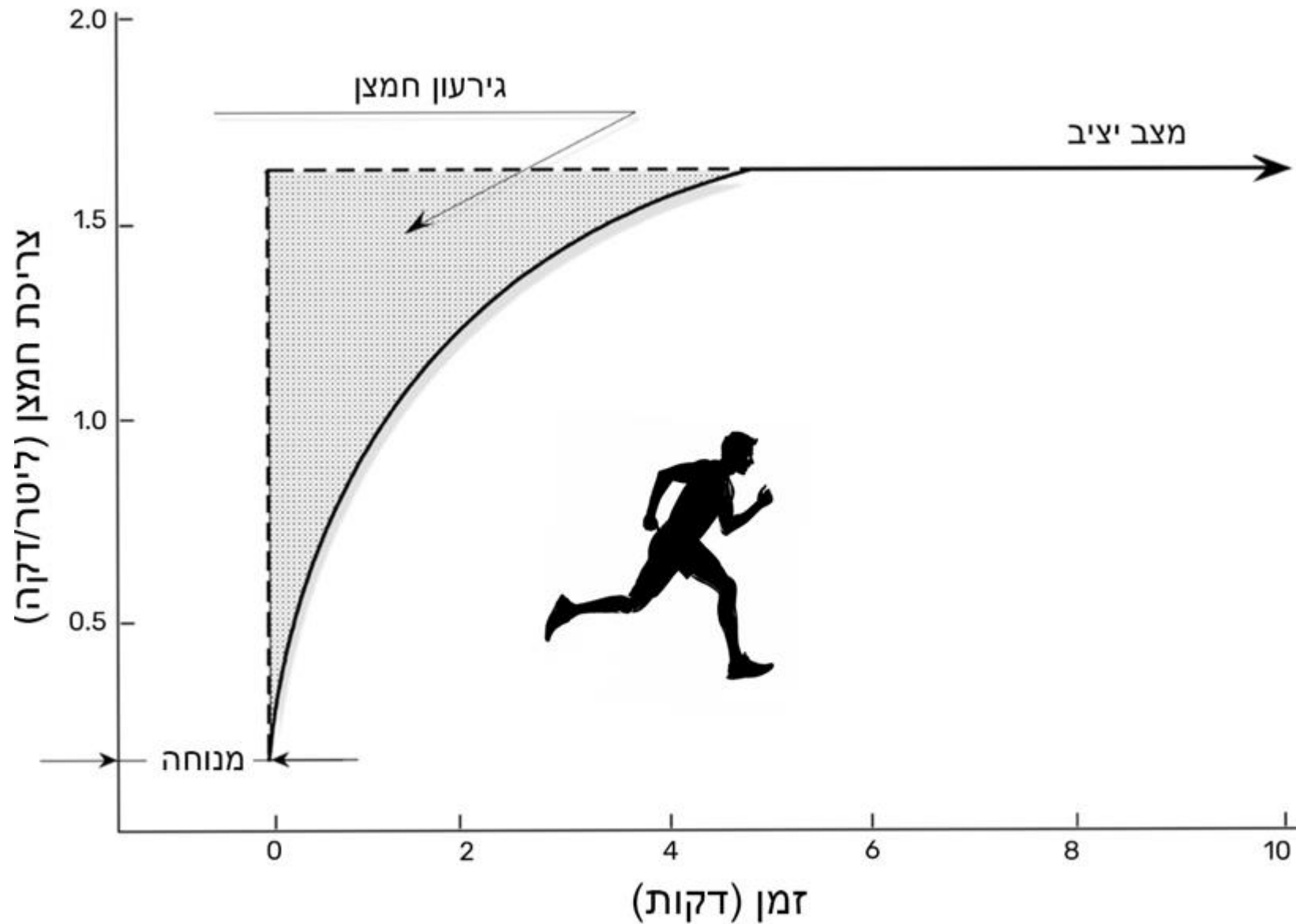
פרק 3.3

צריכת חמצן במאמץ

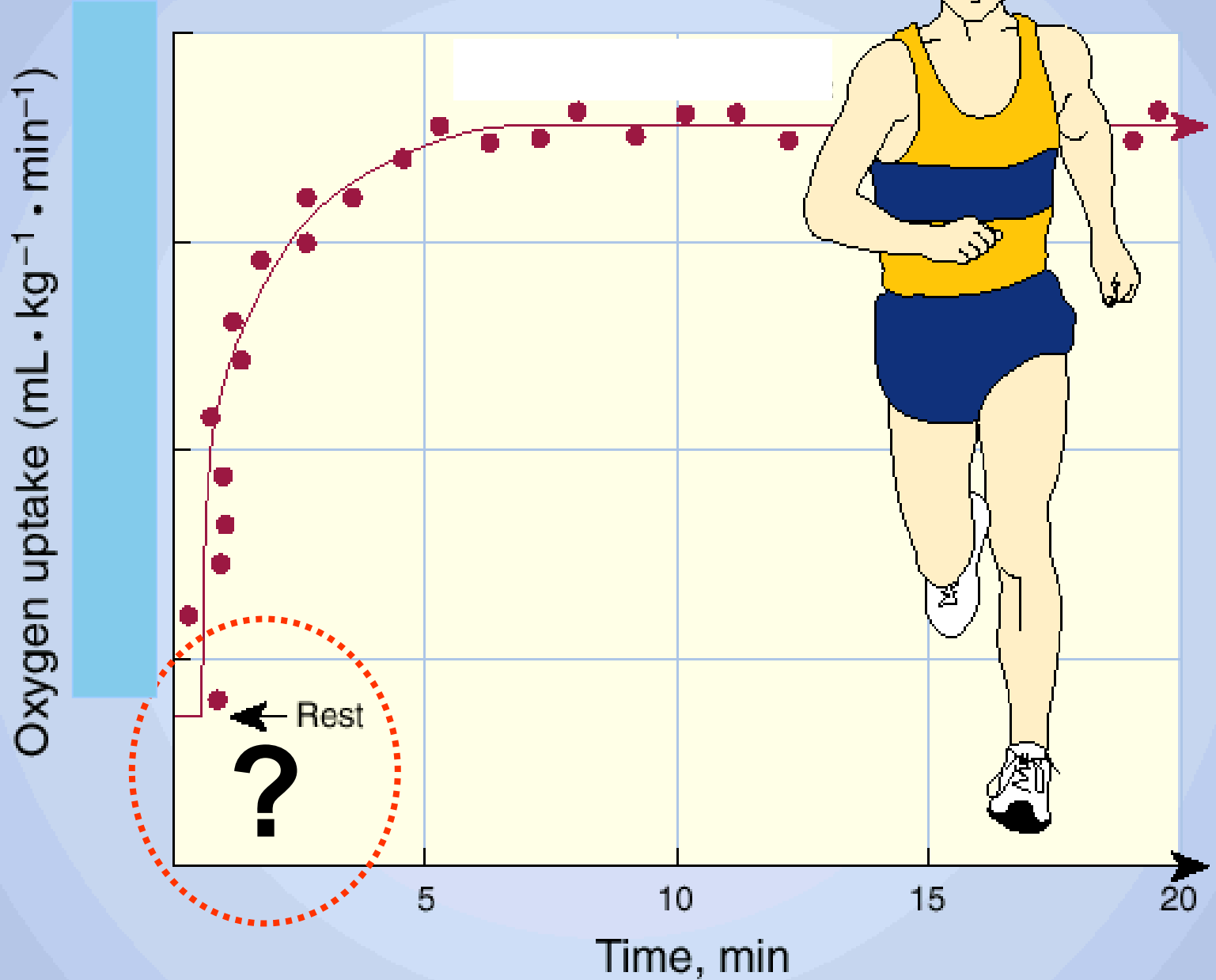
תת-מרבי, במאמץ

מרבי ובהתאוששות

צריכת החמצן במהלך ריצה קלה הנמשכת עשר דקות



5.2. Time course of oxygen uptake.



צריכת חמצן במהלך
מאמץ קבוע תת-מרבי

צריכת חמצן במנוחה

• כ- 250 מ"ל/ד' גברים, כ- 200 מ"ל/ד' נשים

• כ- 3.5 מ"ל/ק"ג/דק'

• כ- 1.25 קק"ל/דק' ~ 0.171 מול ATP/דק' (1 מול ATP ~ 7.3 קק"ל)

3.5 מ"ל/ק"ג/דק' = 1MET

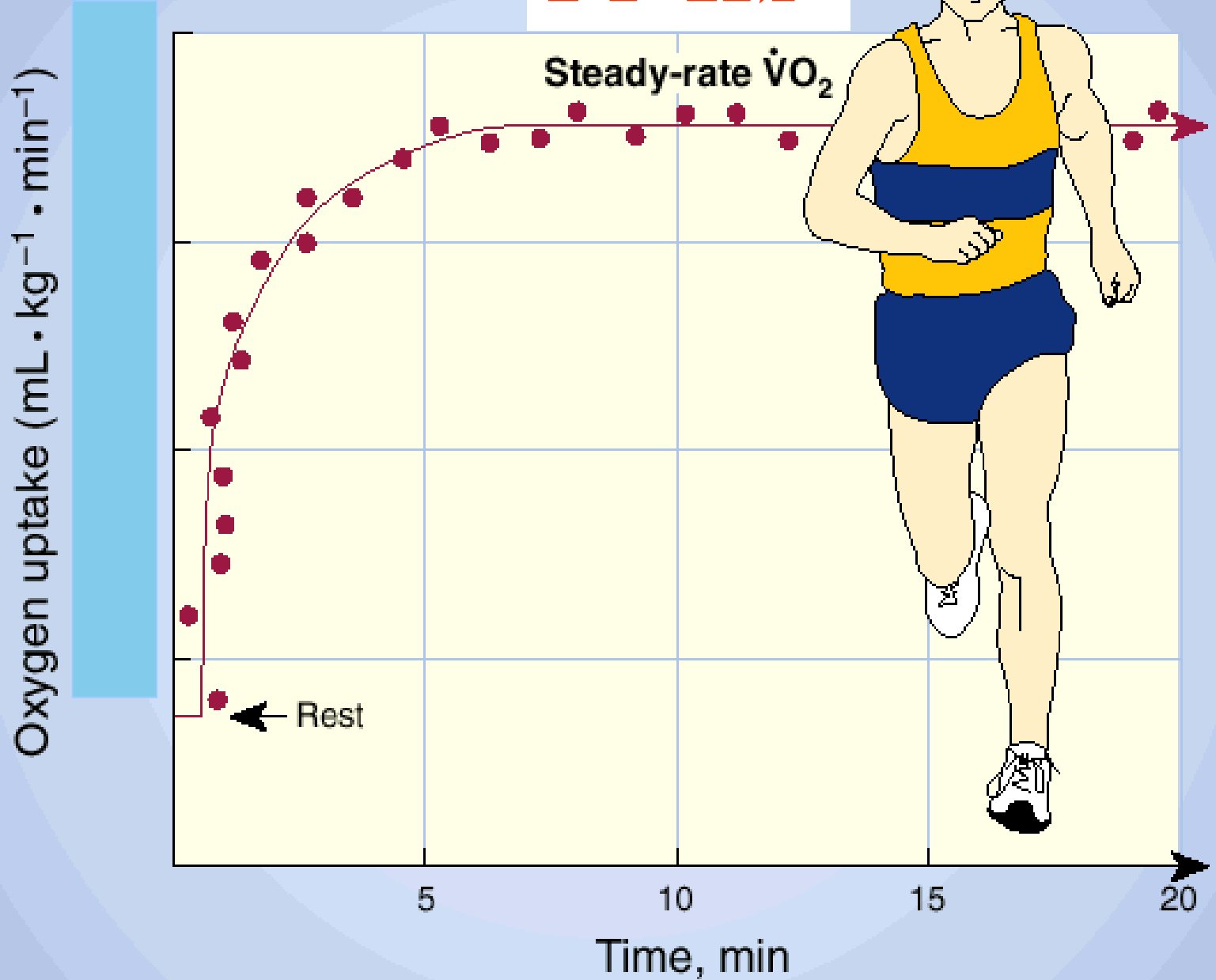
(Metabolic Equivalent)

(1MET, 2METs, 10METs)

(החישוב של 1METS = 3.5 מ"ל/ק"ג/דק' נעשה לגבי גבר בן 40 ששוקל 70 ק"ג / וסרמן ע"מ 84)

5.2. Time course of oxygen uptake.

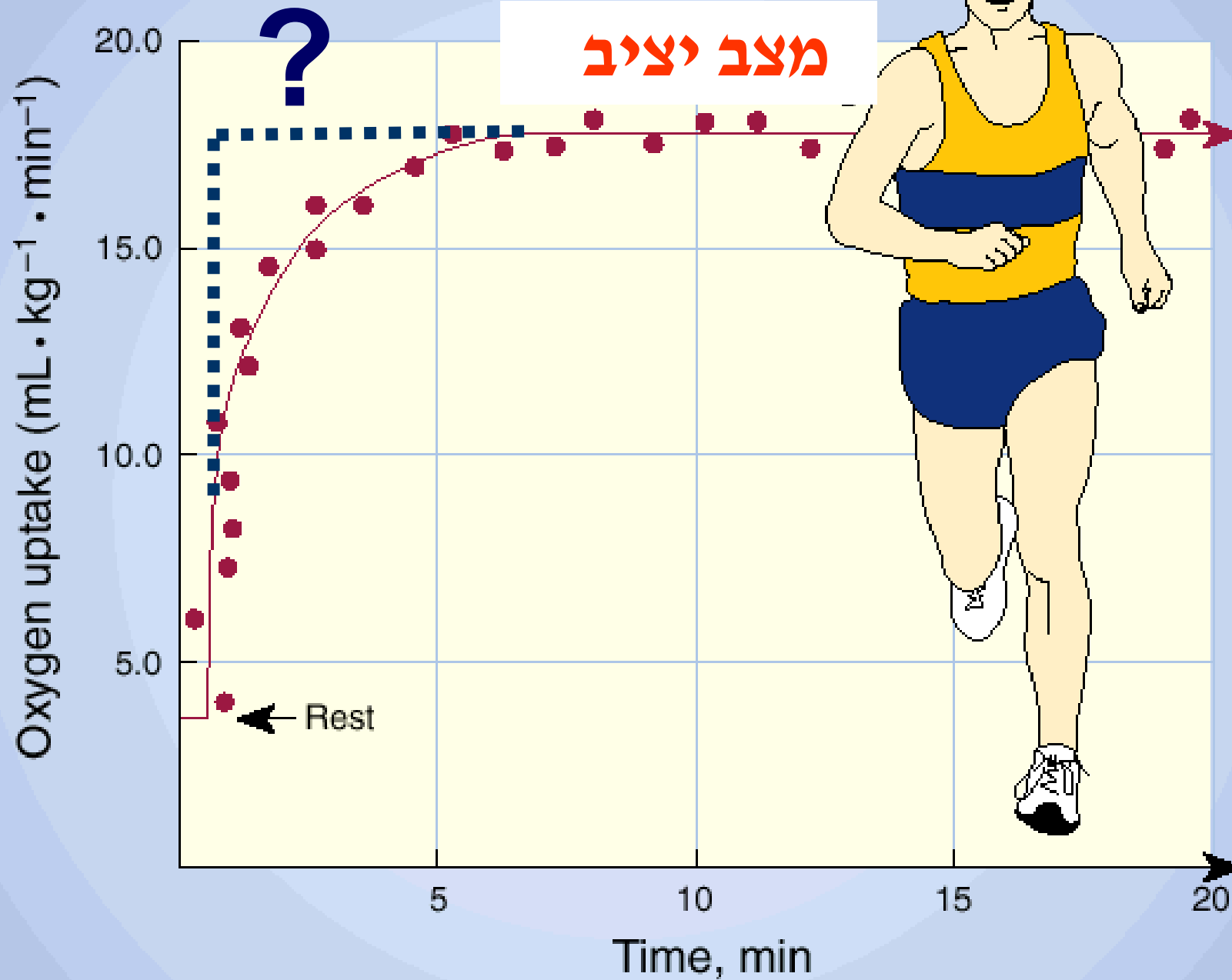
מצב יציב



צריכת חמצן במהלך
מאמץ קבוע תת-מרב



5.2. Time course of oxygen uptake.

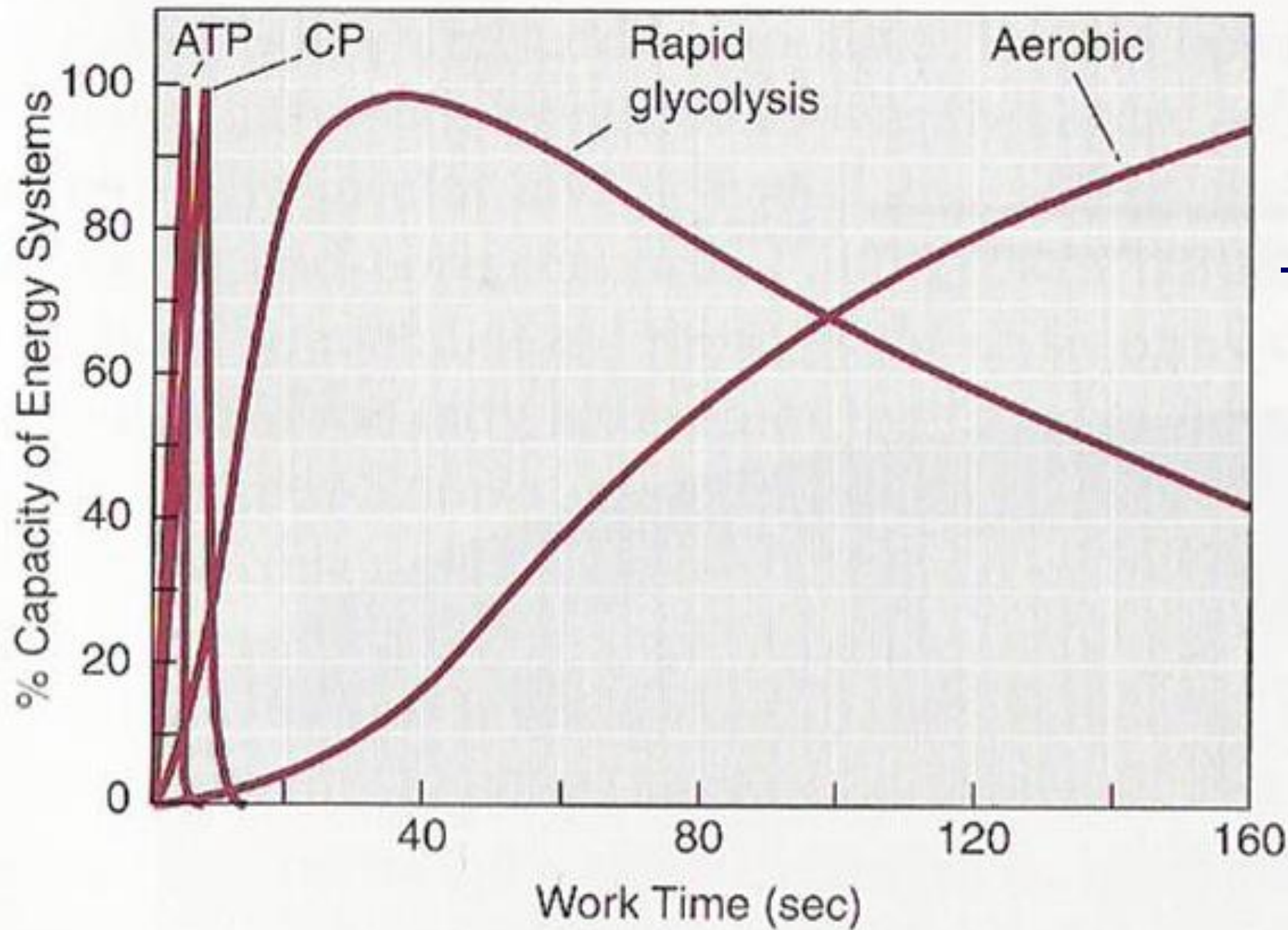


צריכת חמצן
במהלך מאמץ
קבוע תת-מרבי



מסלול אירובי

איטית	מהירות תגובה
נמוך	הספק אנרגטי
בלתי מוגבלת	כמות אנרגיה
אין	גורם מעייף

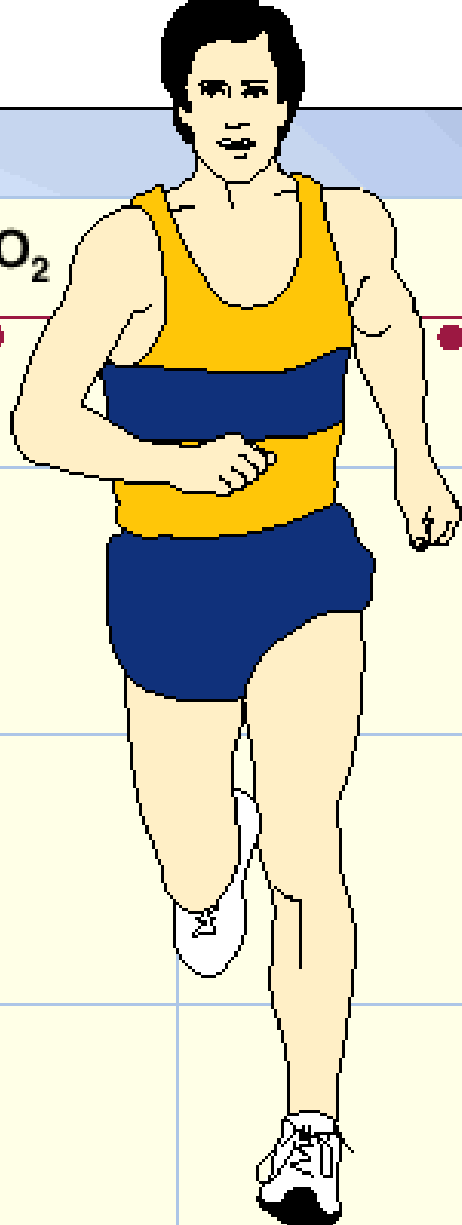
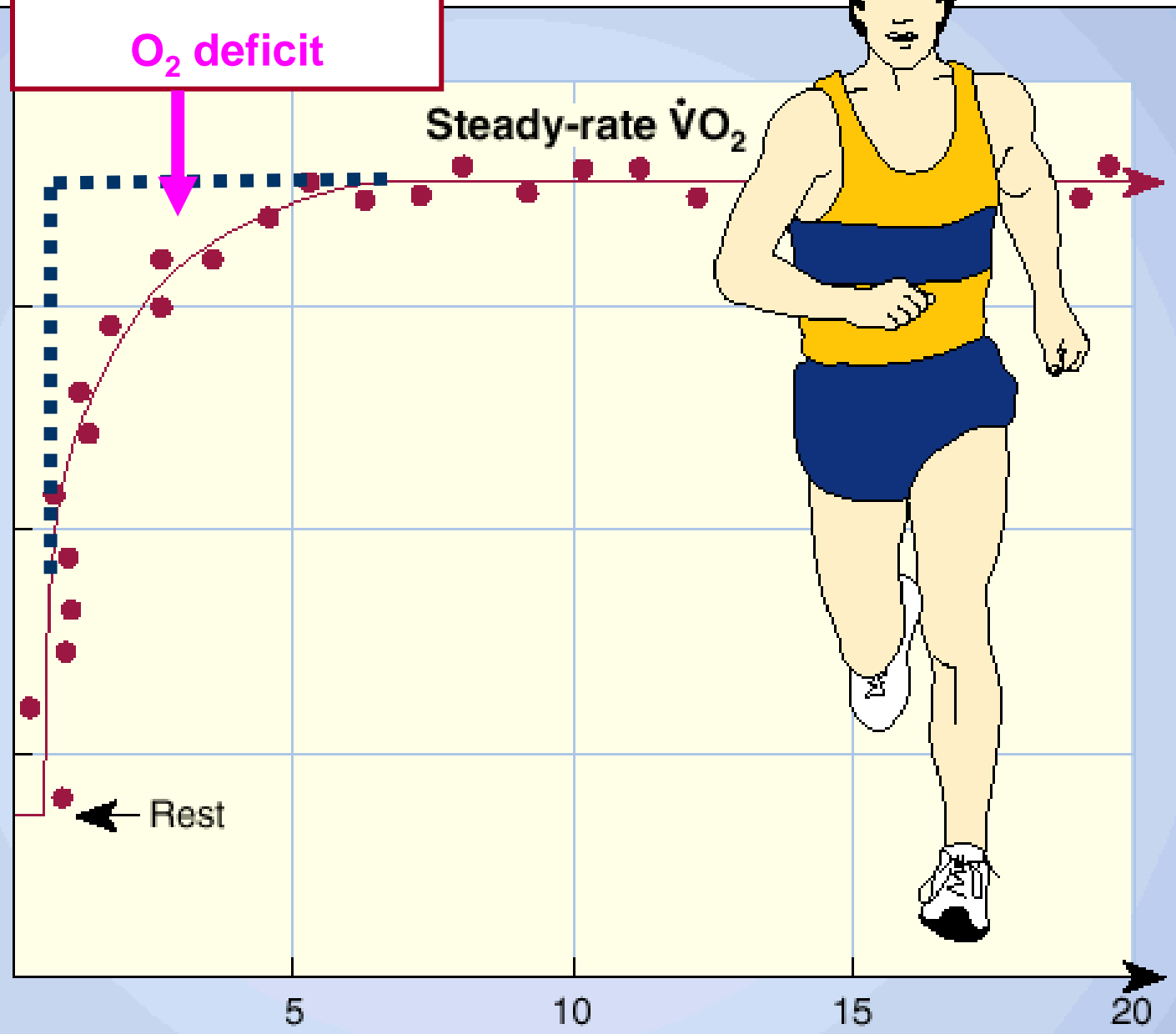


**+ מהירות תגובה
האצה מסלולים
מטבוליים**

5.2. Time course of

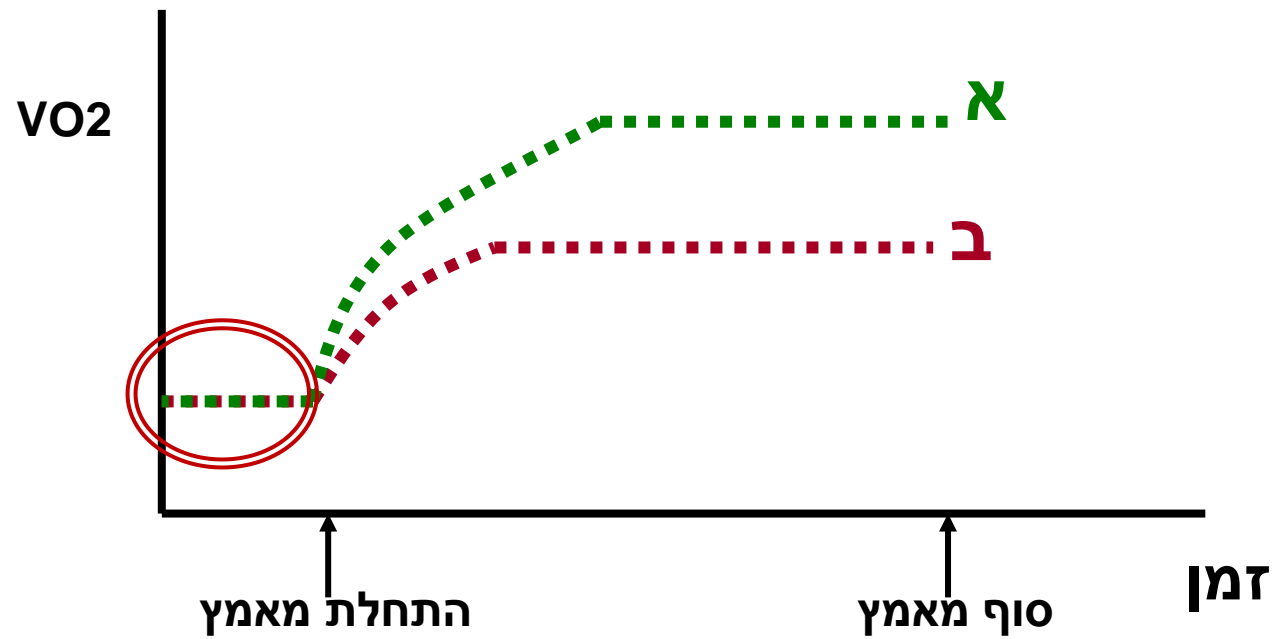
גירעון חמצן
O₂ deficit

Oxygen uptake (mL · kg⁻¹ · min⁻¹)



צריכת חמצן
במהלך מאמץ
קבוע תת-מרבי

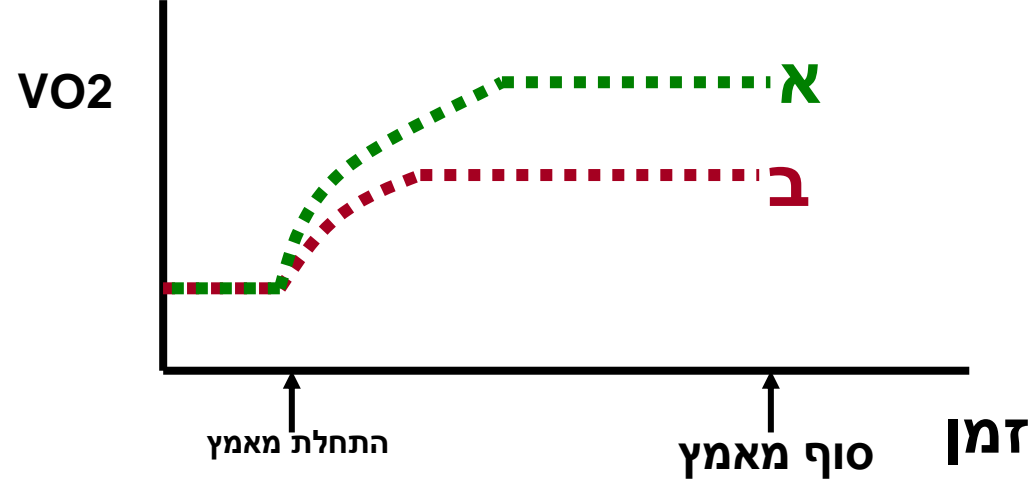
Time, min



אותו אדם לפניכם שני גרפים המתארים את השינוי בצריכת החמצן של **אותו אדם** בשני מאמצים שונים שבוצעו בריצה על מסילה.

1. מה צריכת החמצן במנוחה

1 MET = 3.5 מ"ל/ק"ג/דק'



לפניכם שני גרפים המתארים את השינוי בצריכת החמצן של **אותו אדם** בשני מאמצים שונים שבוצעו בריצה על מסילה.

2. האם הפרוטוקול של הבדיקה היה מאמץ קבוע שבו מגיעים למצב יציב או מאמץ מדורג

מאמץ קבוע שבו מגיעים למצב יציב

3. באיזה מהמצבים קצב הריצה היה יותר מהיר

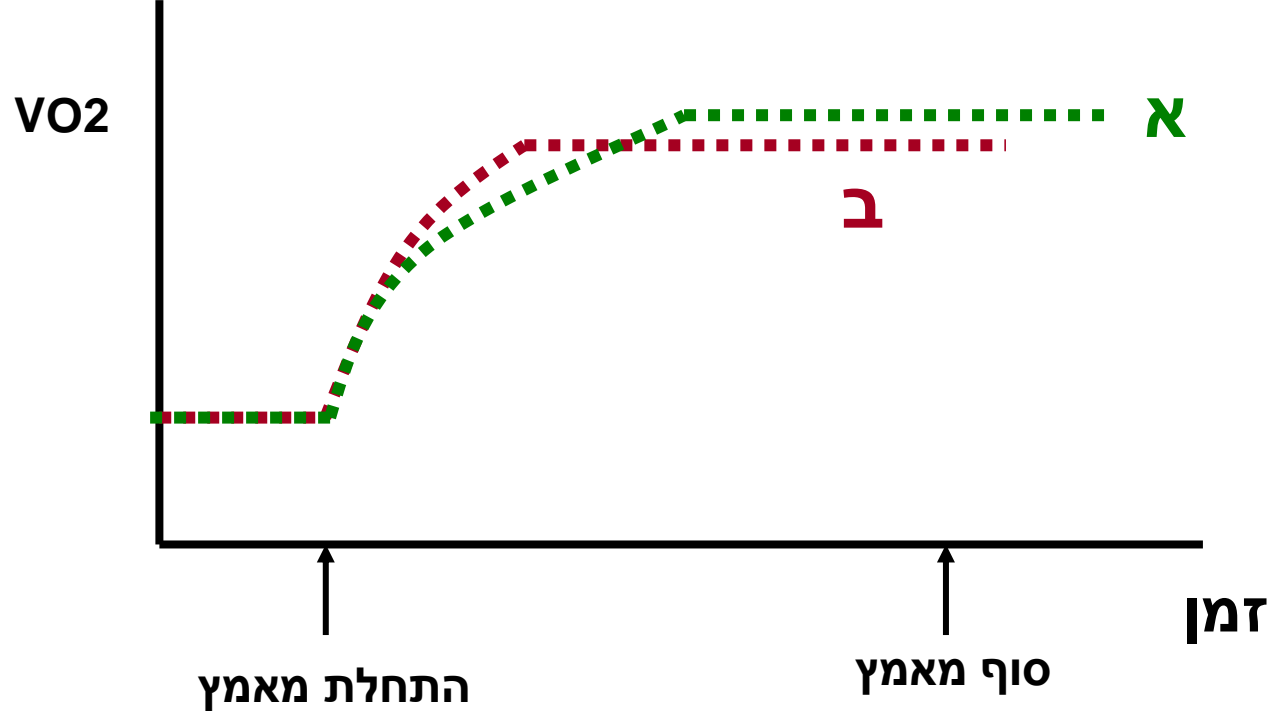
א

4. באיזה מהמצבים גרעון החמצן היה יותר גדול

א

5. באיזה מהמצבים התרומה האנרגטית של **המסלולים האנאירוביים** היתה יותר **קטנה**

ב

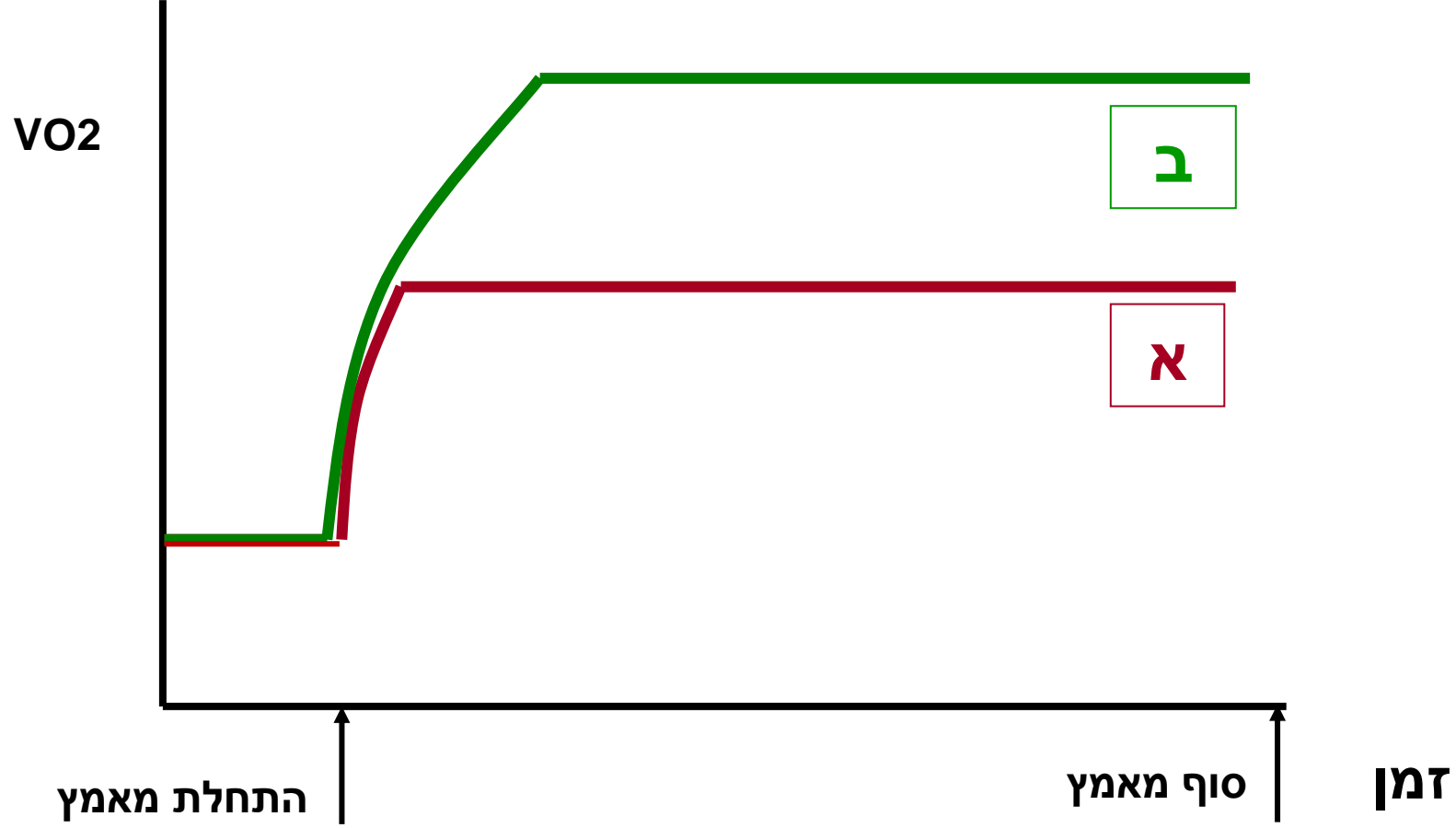


לפניכם שני גרפים המתארים את השינוי בצריכת החמצן של שני אנשים שונים בעת ביצוע מאמץ זהה (ריצה באותה מהירות על מסילה)

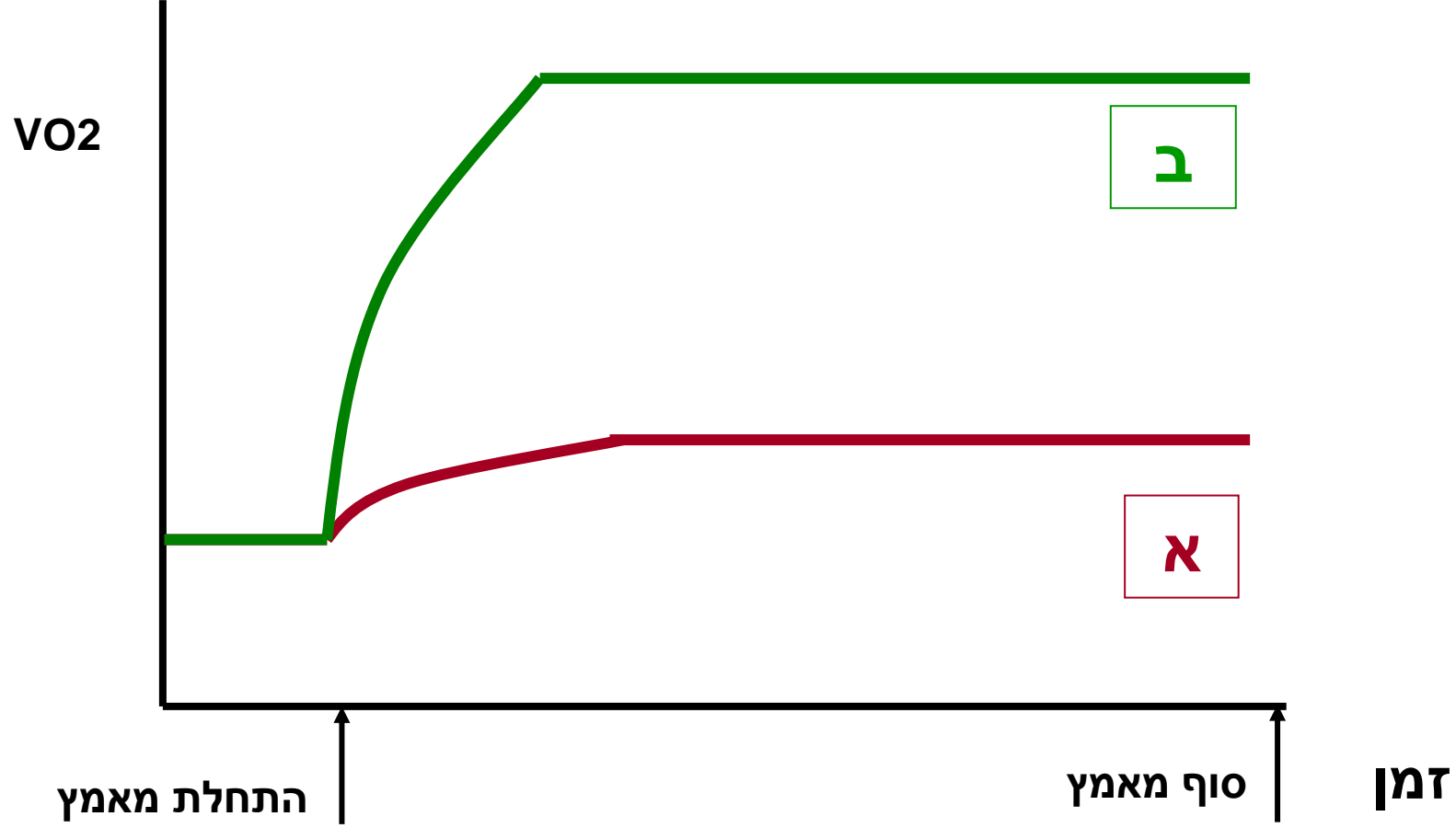
1. מי מהם יותר יעיל מכנית? **ב**

2. אצל מי התרומה האנרגטית של המסלולים האנאירוביים היתה יותר גדולה

א

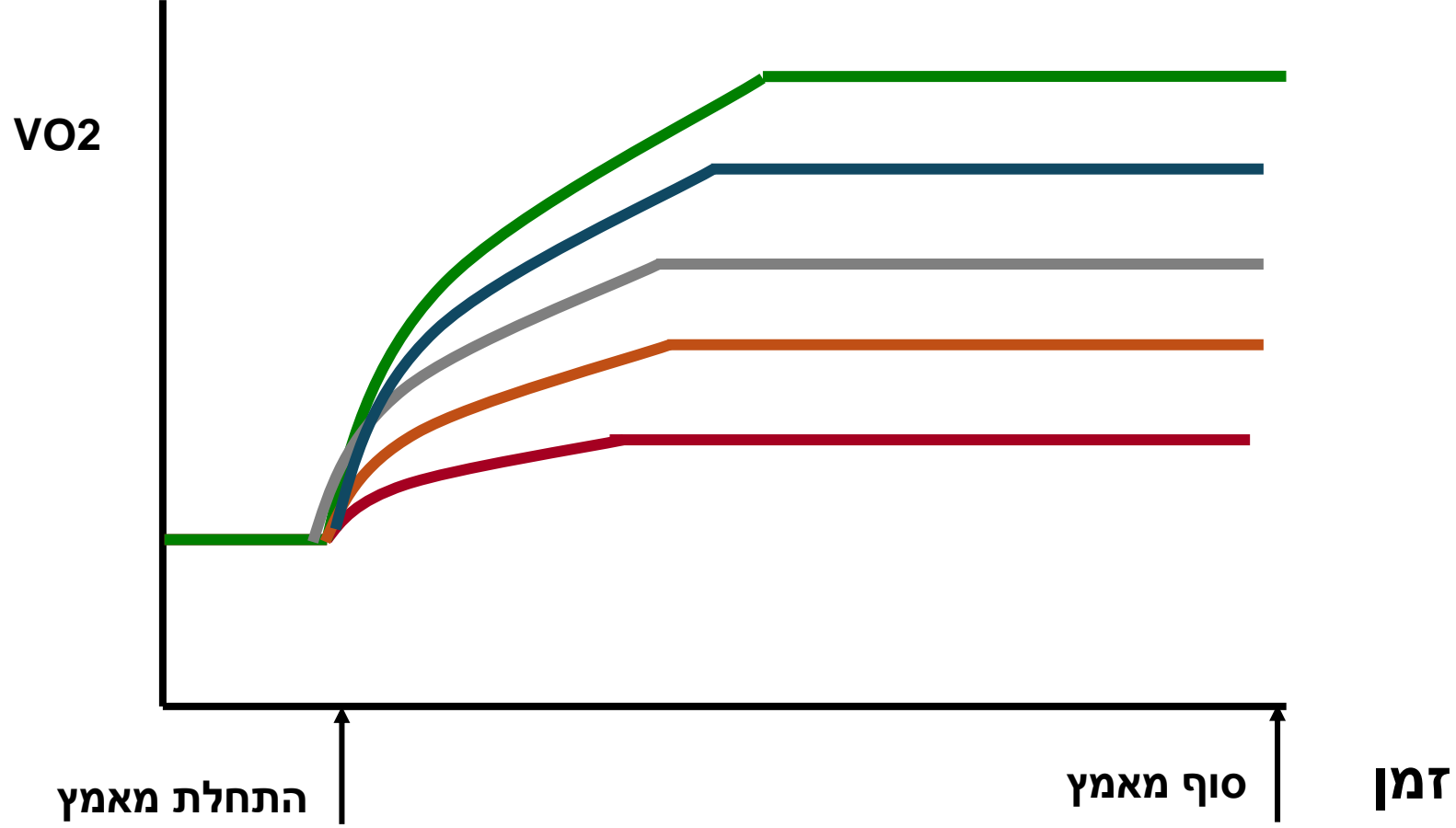


לפניכם 2 גרפים המתארים את צריכת החמצן של **אותו נבדק** בעת ביצוע **שני מאמצים שונים שבהם שמר על מצב יציב**. איזה מהגרפים מתאר את המאמץ שבו קצב הריצה היה מהיר יותר? **ב**



לפניכם 2 גרפים המתארים את צריכת החמצן של שני נבדקים שונים שכל אחד מהם ביצע מאמץ ממושך בקצב המהיר ביותר שיכול לשמור על מצב יציב. מי מהשניים רץ מרתון ומי מתאמן בשיקום חולי לב?

ב' - מרתון
א' - שיקום לב



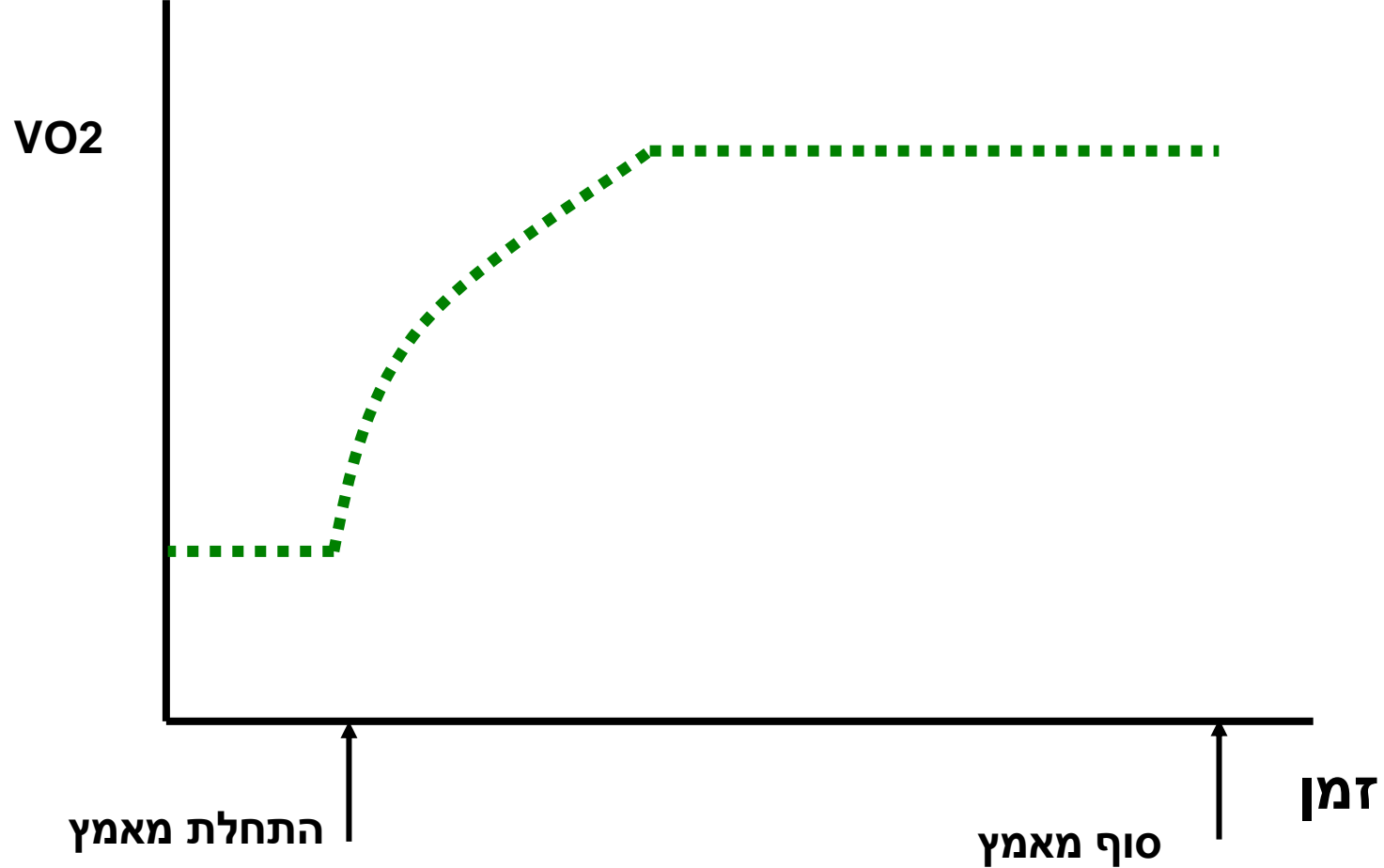
לפניכם 5 גרפים המתארים את צריכת החמצן של 5 נבדקים שונים שכל אחד מהם ביצע מאמץ ממושך בקצב המהיר ביותר שיכול לשמור על מצב יציב. למי יש את הכושר האירובי הטוב ביותר?

ירוק

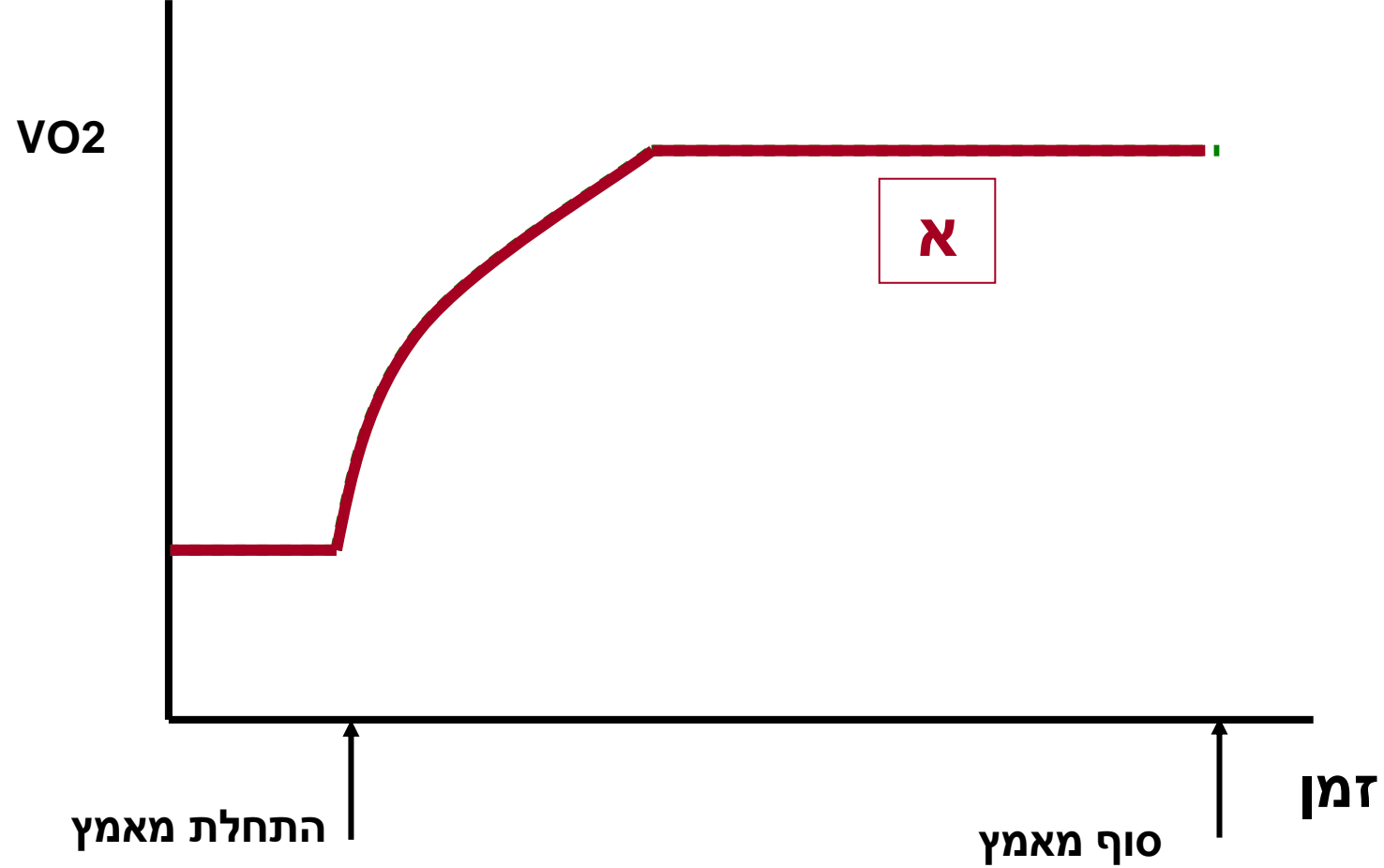
תגובת השרשרת הפיזיולוגית למאמץ קבוע

בעצימות תת מרבית שמגיעים בו למצב יציב -

אפקט אימון

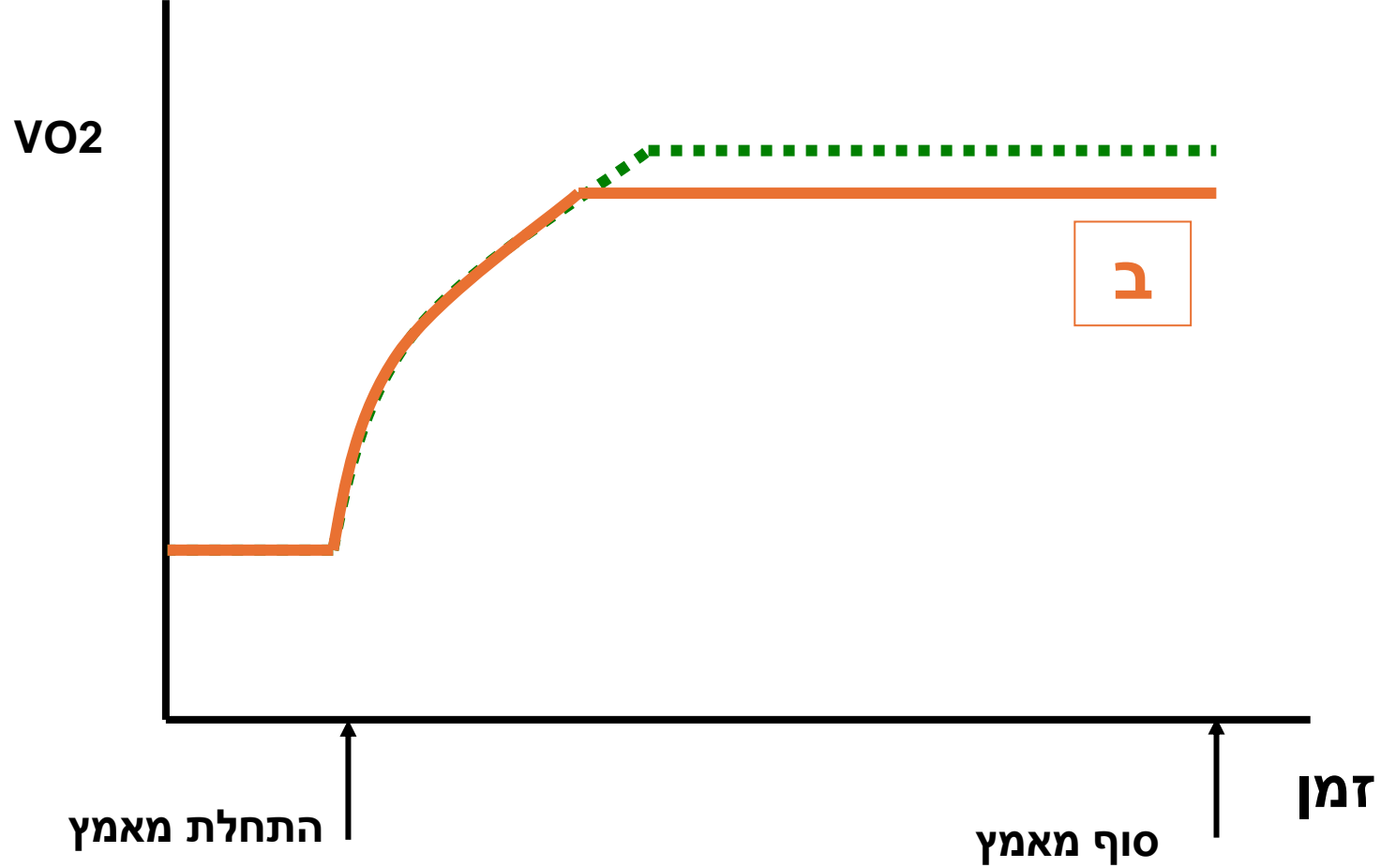


לפניכם גרף המתאר את צריכת החמצן בעת ביצוע מאמץ ממושך בעצימות תת מרבית נתונה שבה הגיע הנבדק למצב יציב. **כיצד יראה הגרף, בעת ביצוע מאמץ בקצב הזהה לנ"ל, לאחר חצי שנה של אימון איכותי לשיפור הכושר האירובי?**

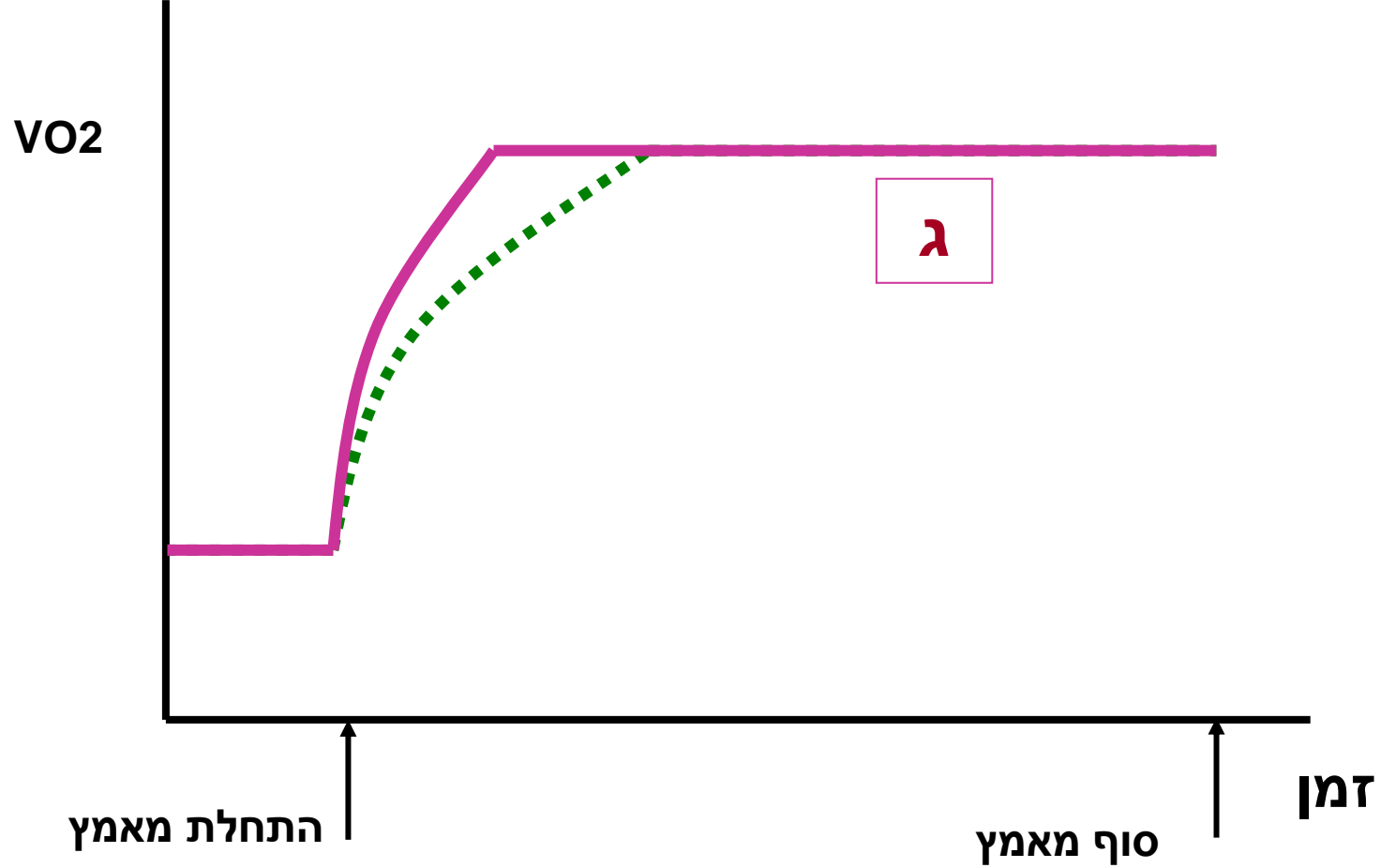


לאימון לא תהיה השפעה על מהירות התגובה והאצה של
השרשרת הפיזיולוגית ולא על צריכת החמצן במצב יציב

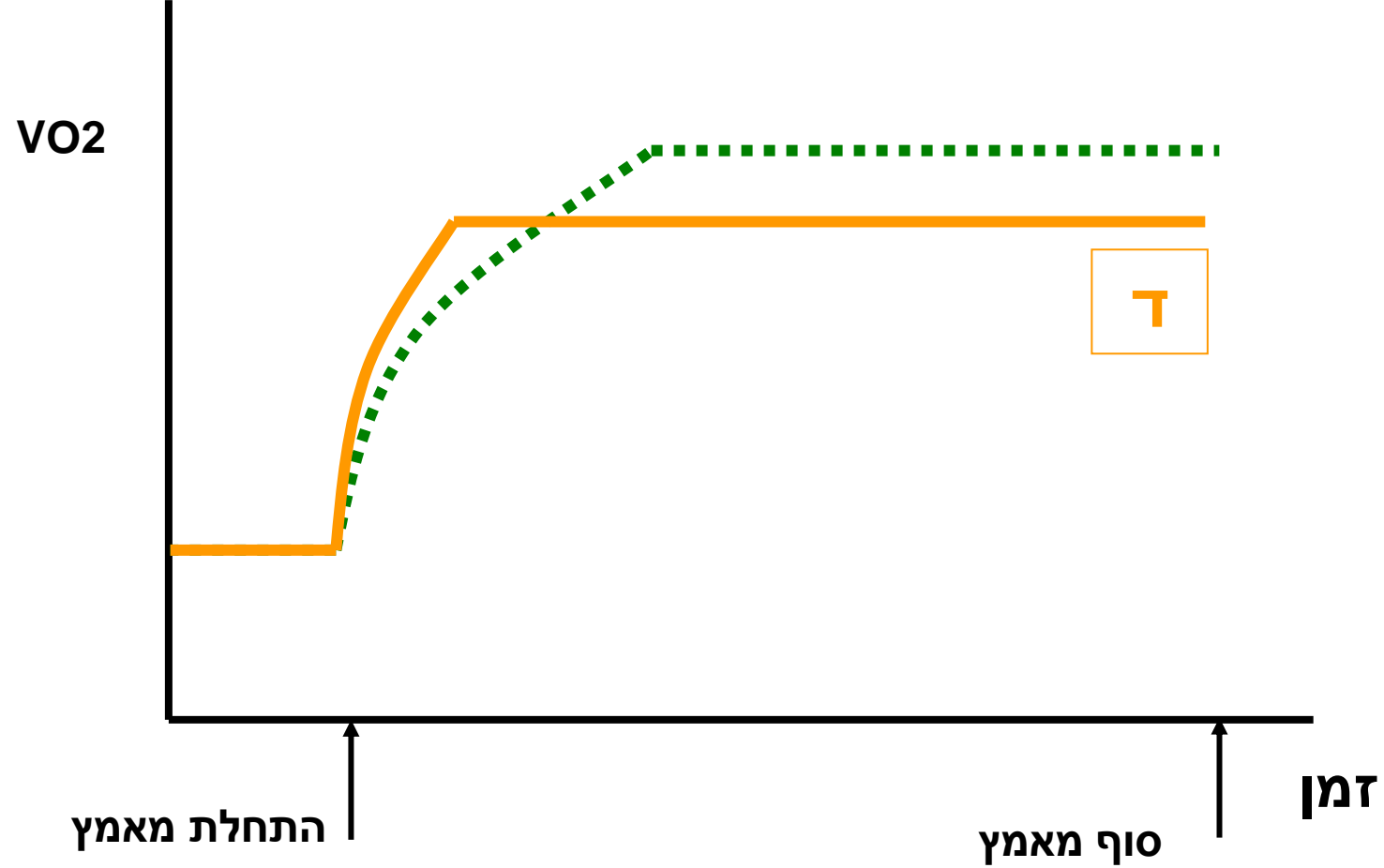
כלומר, אין שינוי בגרף



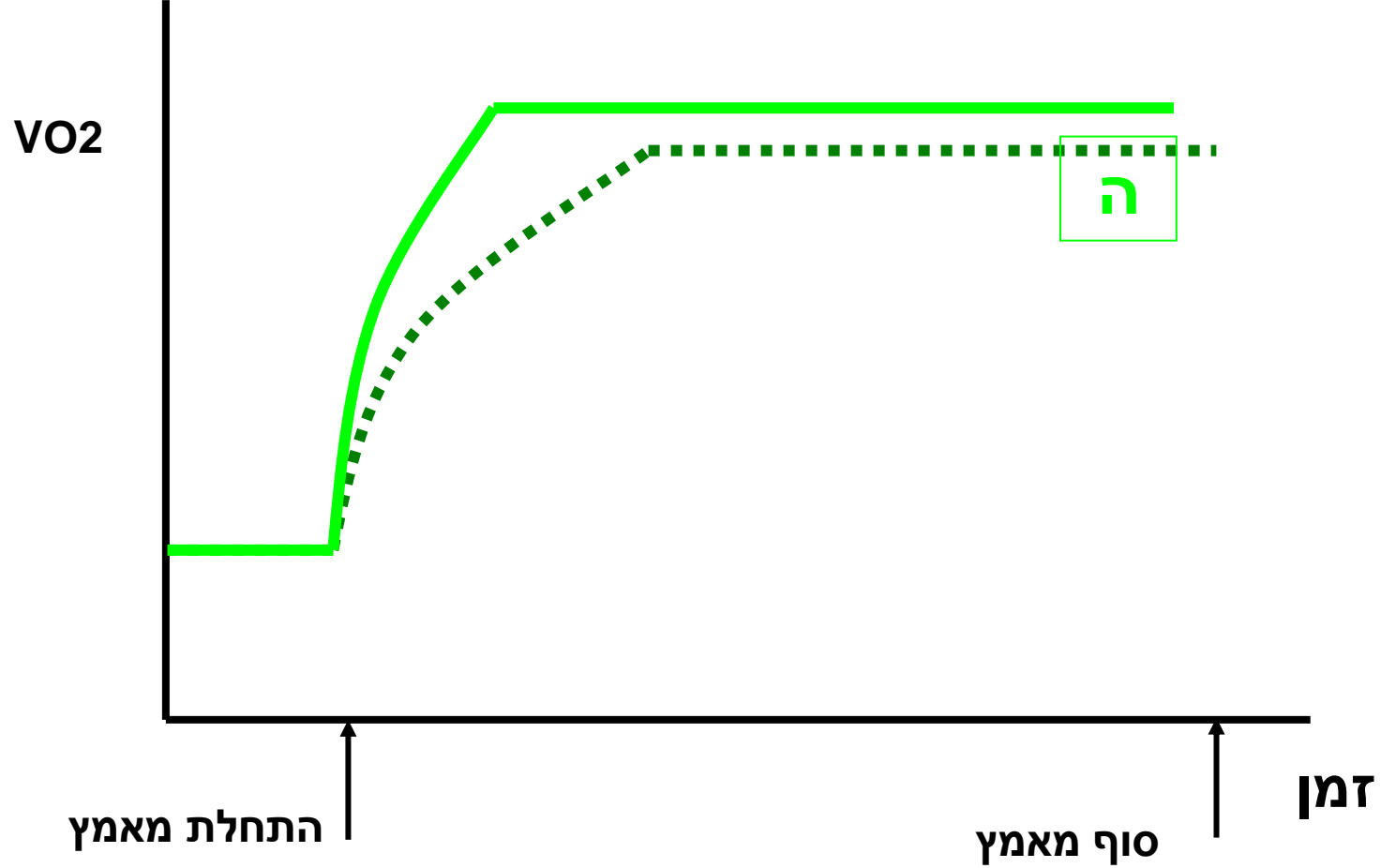
לאימון לא תהיה השפעה על מהירות התגובה והאצה של
השרשרת הפיזיולוגית, אבל יביא לירידה בצריכת החמצן
במאמץ תת-מרבית נתון



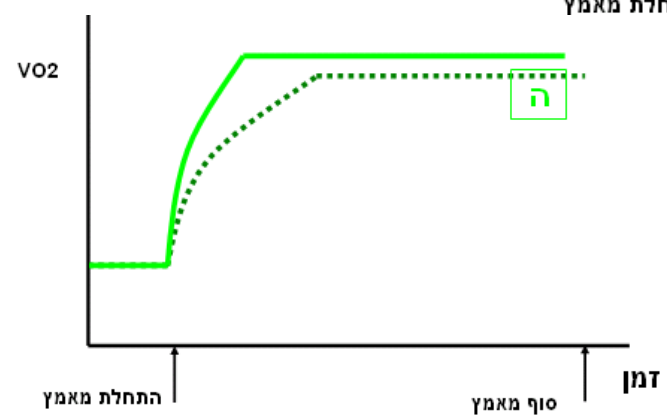
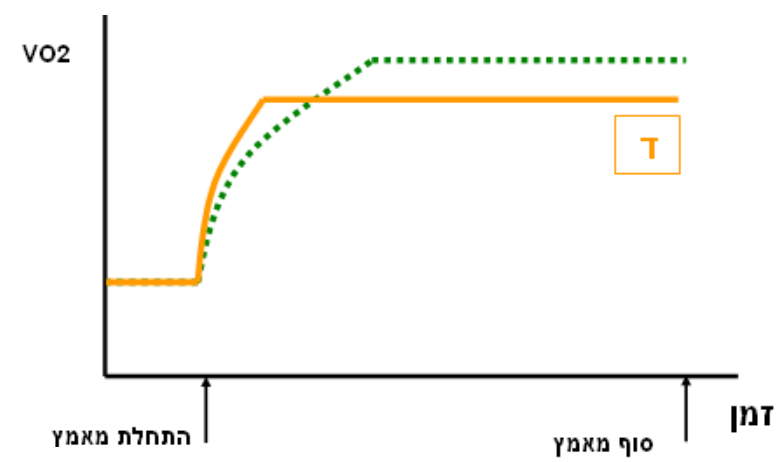
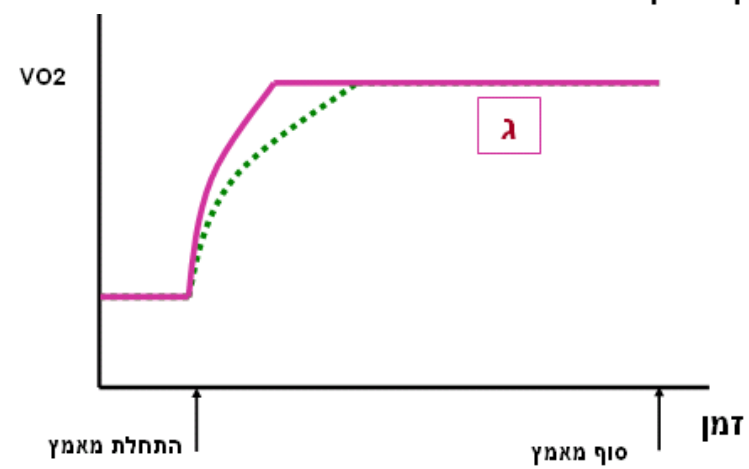
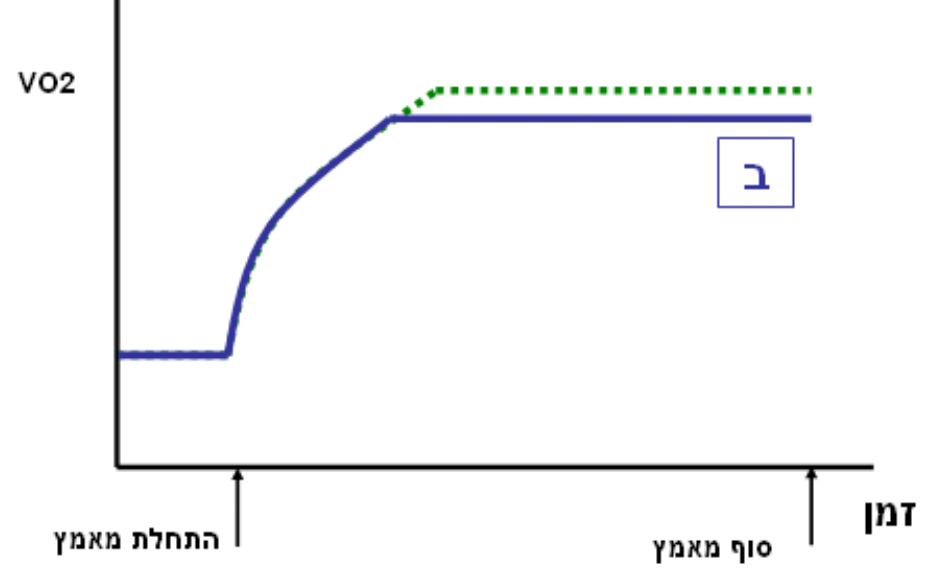
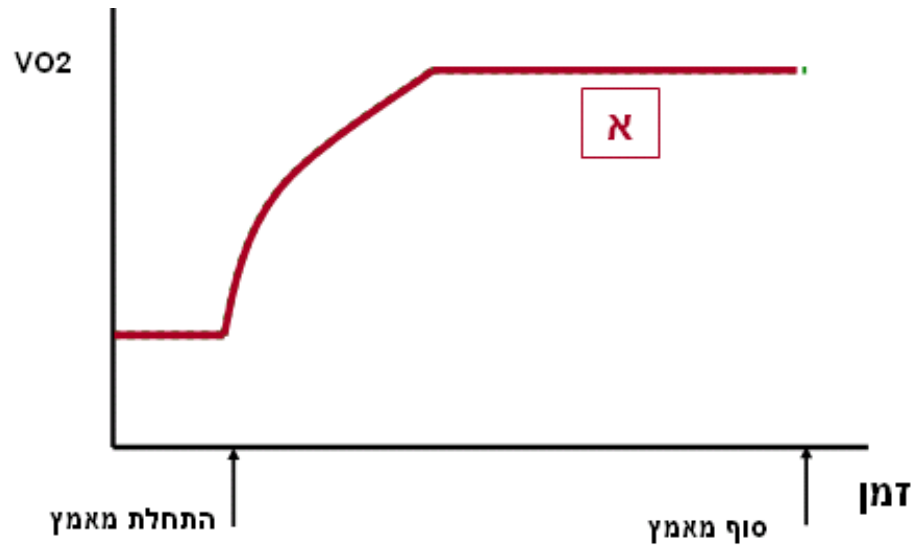
האימון ישפר את מהירות התגובה והאצה של השרשרת הפיזיולוגית (יקטין את גרעון החמצן), אבל לא ישפיע על צריכת החמצן במאמץ תת-מרבית נתון



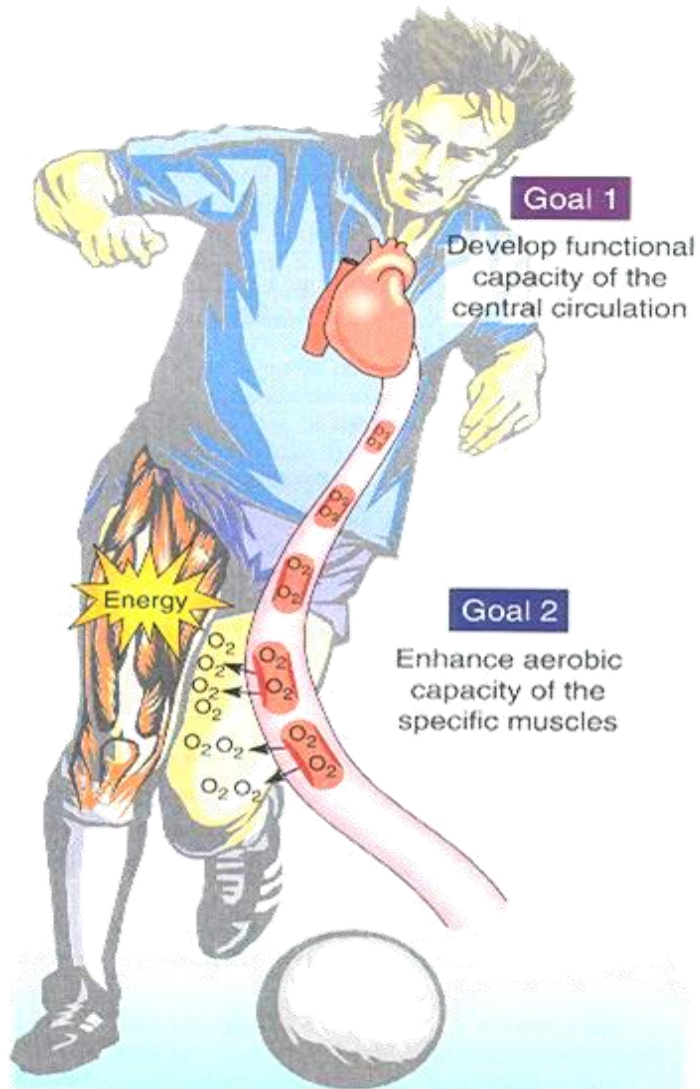
האימון ישפר את מהירות התגובה והאצה של השרשרת הפיזיולוגית (יקטין את גרעון החמצן), ויביא לירידה בצריכת החמצן במאמץ תת-מרבית נתון



האימון ישפר את מהירות התגובה והאצה של השרשרת הפיזיולוגית (יקטין את גרעון החמצן), ויגדיל את צריכת החמצן במאמץ תת-מרבית נתון



אפקט אימון במערכת השרירים



• עלייה בריכוז המיוגלובין

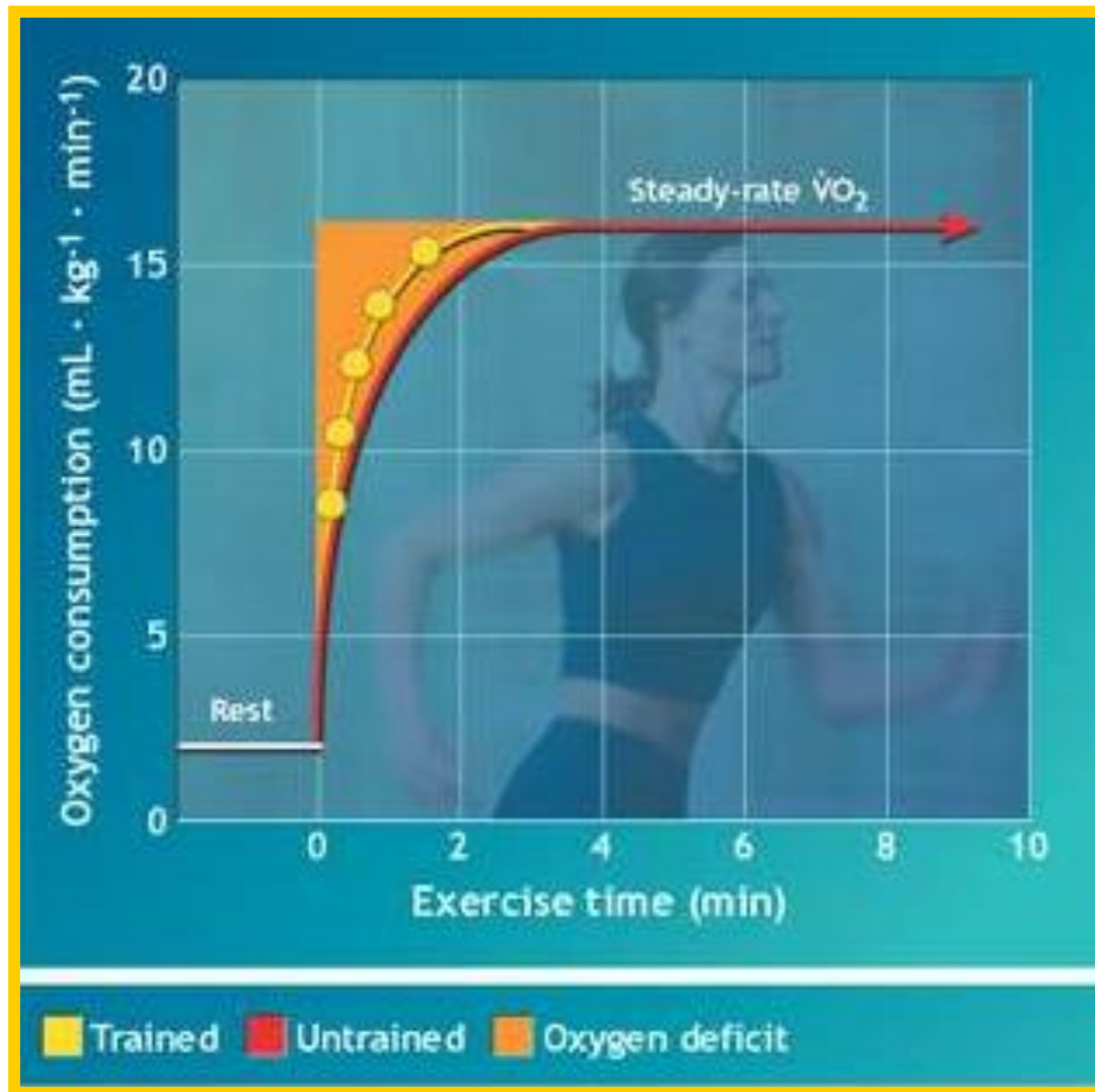
• עלייה בכמות ובגודל המיטוכונדריה

• עלייה ברמת הפעילות של אנזימים אירוביים

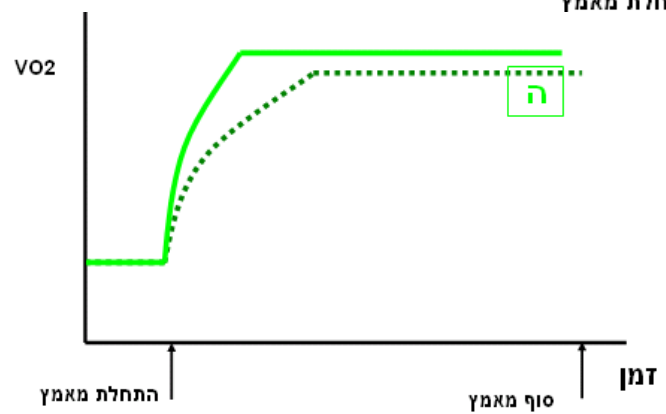
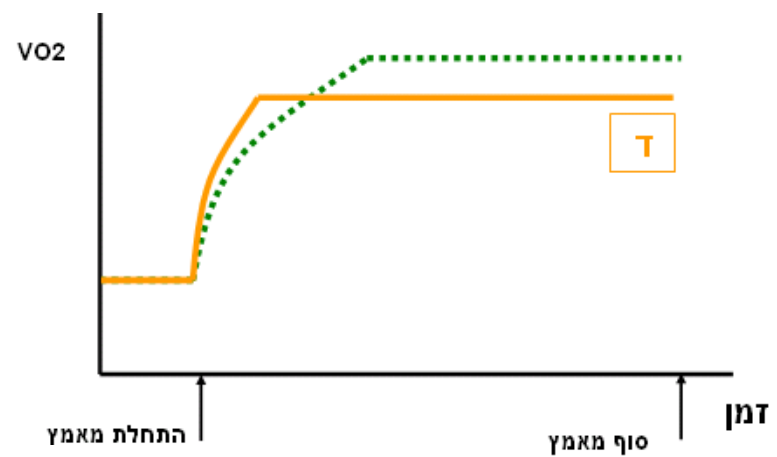
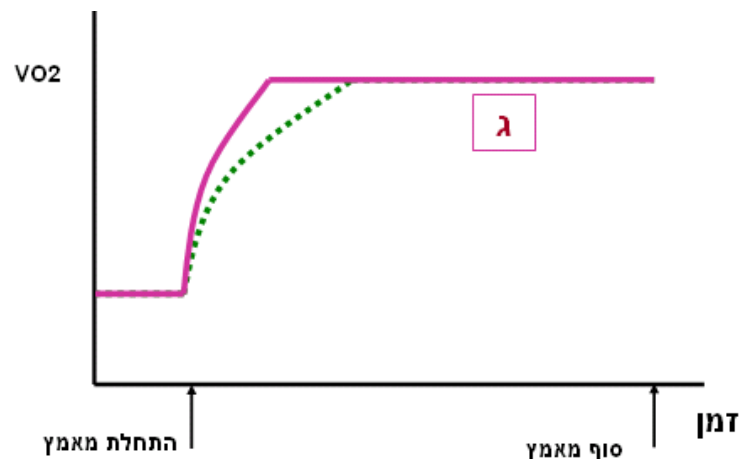
יותר בתי חרושת שמנצלים חמצן להפקת אנרגיה ויותר

מובילי חמצן לבתי החרושת – הגעה מהירה יותר

לצריכת החמצן במצב יציב = הקטנת גרעון החמצן

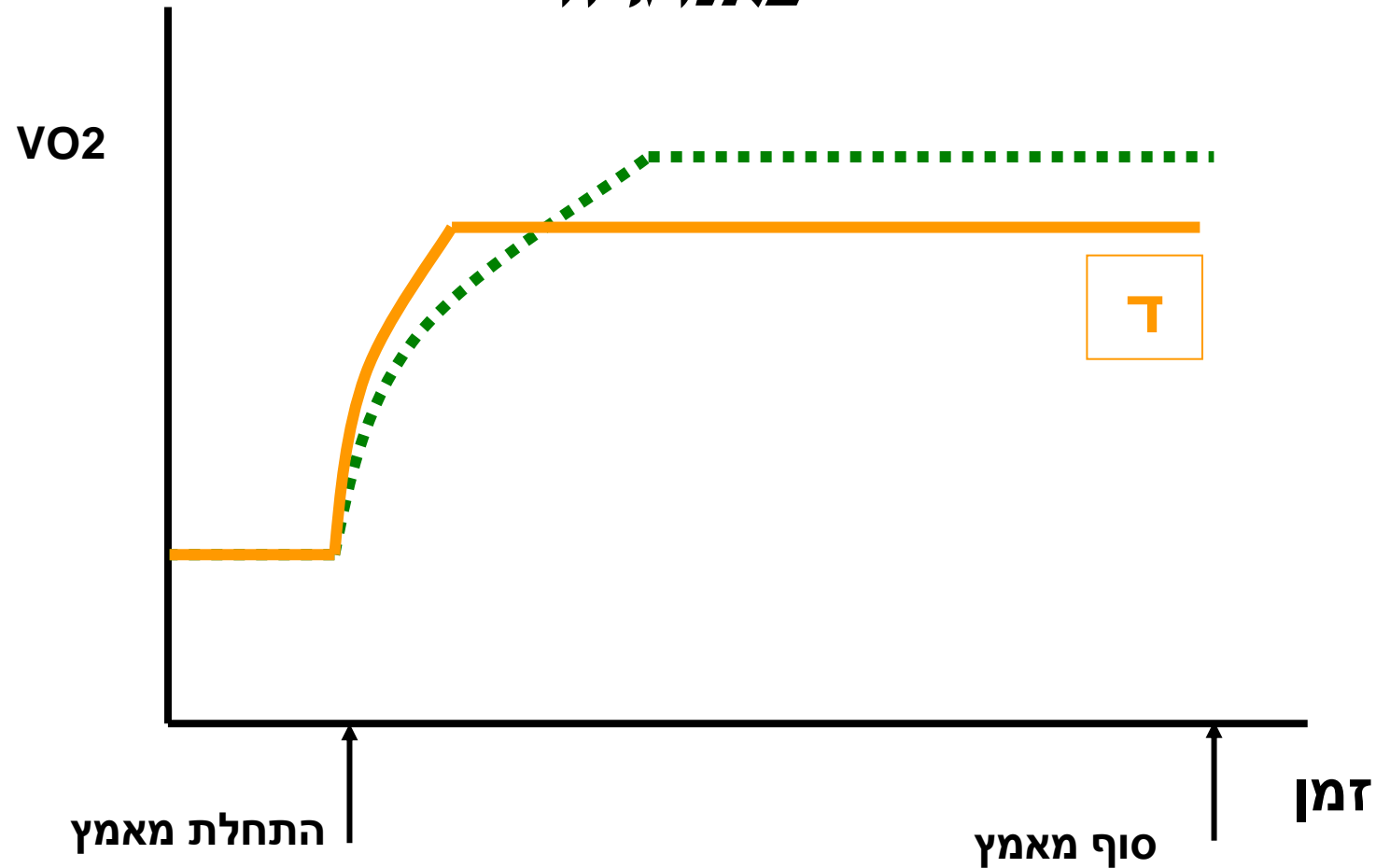


אימון משפר את מהירות התגובה והאצה של השרשרת הפיזיולוגית (מקטין את גרעון החמצן).

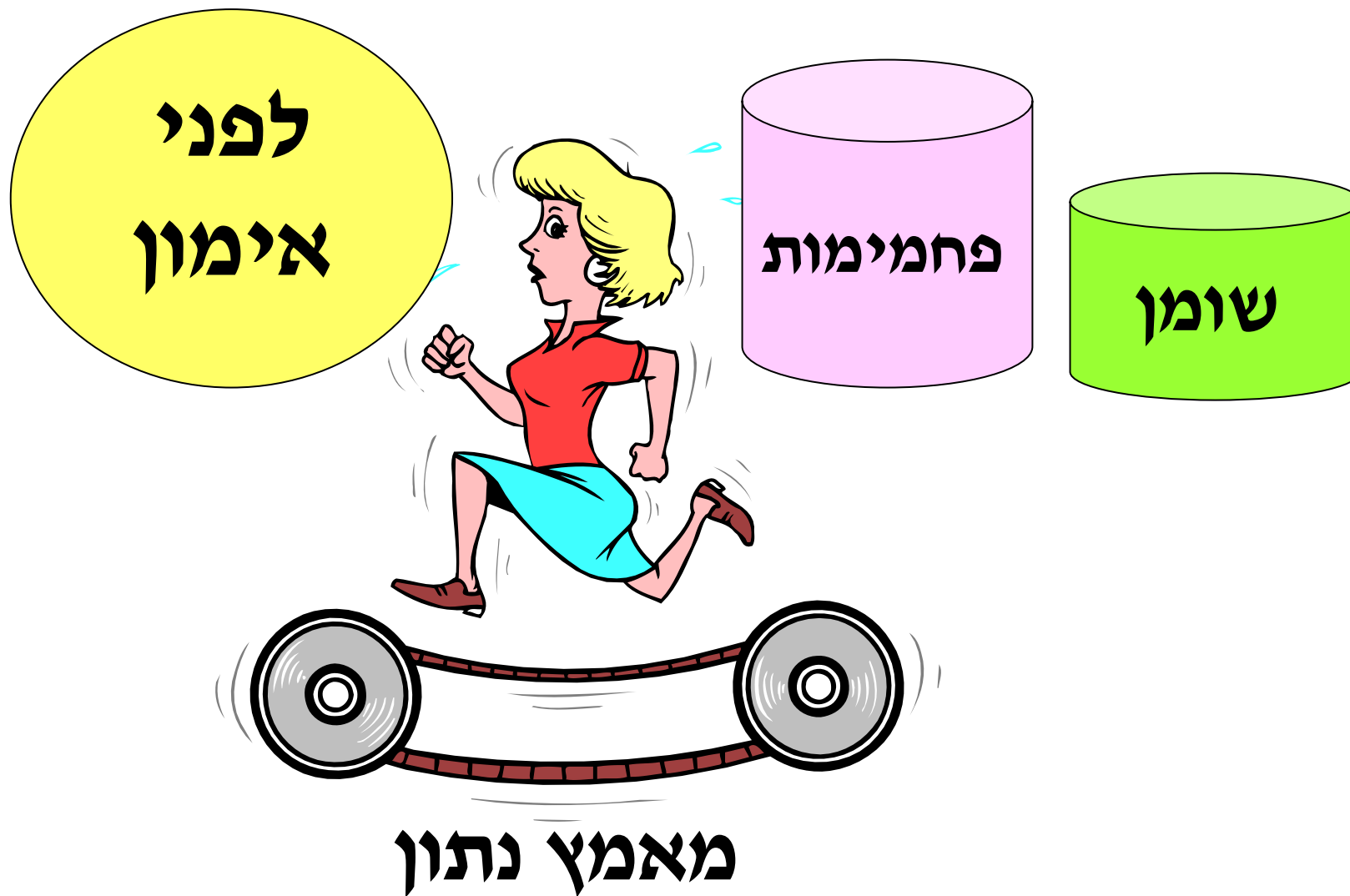


אימון משפר יעילות מכנית

ירידה בצריכת החמצן במאמץ תת מרבי נתון = חיסכון באנרגיה



השפעת אימון אירובי על הרכב הדלק המטבולי



השפעת אימון אירובי על הרכב הדלק המטבולי



סיפור מקרה... לא אמיתי... אבל לימודי...

שני חברים יצאו לדרך - לציייד.....



שני חברים יצאו לדרך - לצייד.....



כאשר אריה רודף אחריו ואחרי חבר..... אתה
לא צריך להיות יותר מהיר מהאריה... אתה
צריך להיות יותר מהיר מהחבר.....

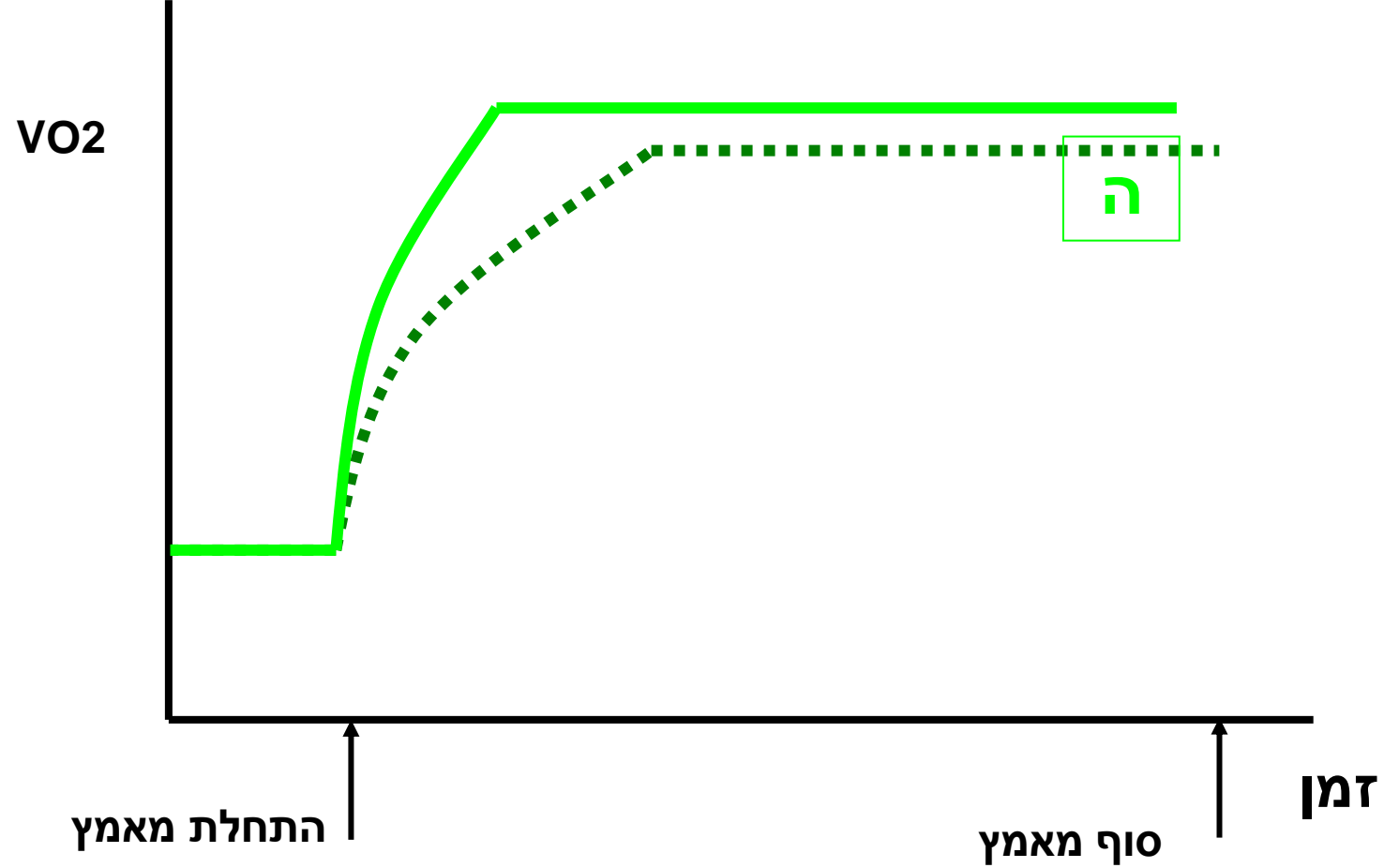


כדי להפיק אותו הספק של אנרגיה משומן ומפחמימות, יש

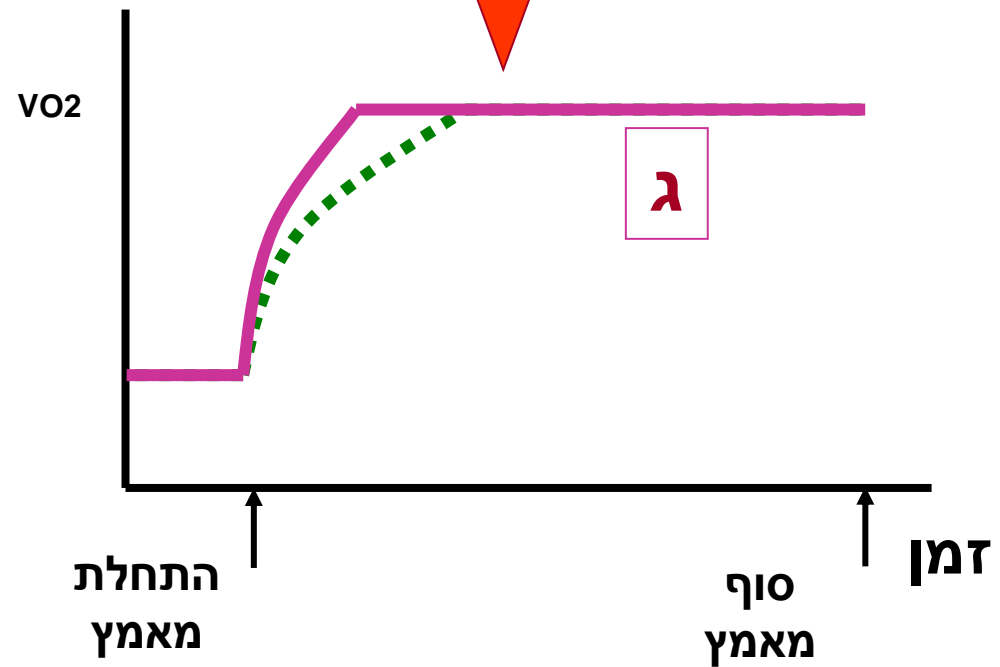
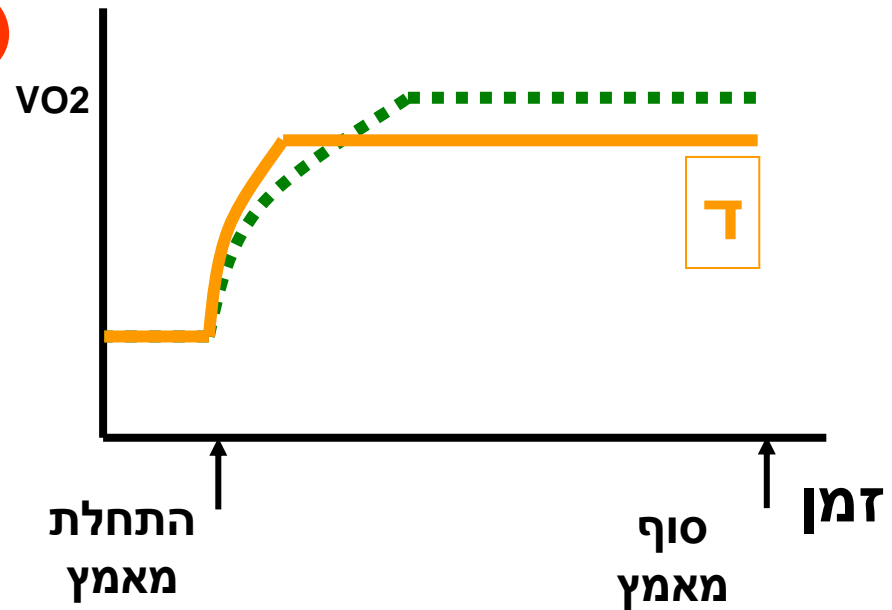
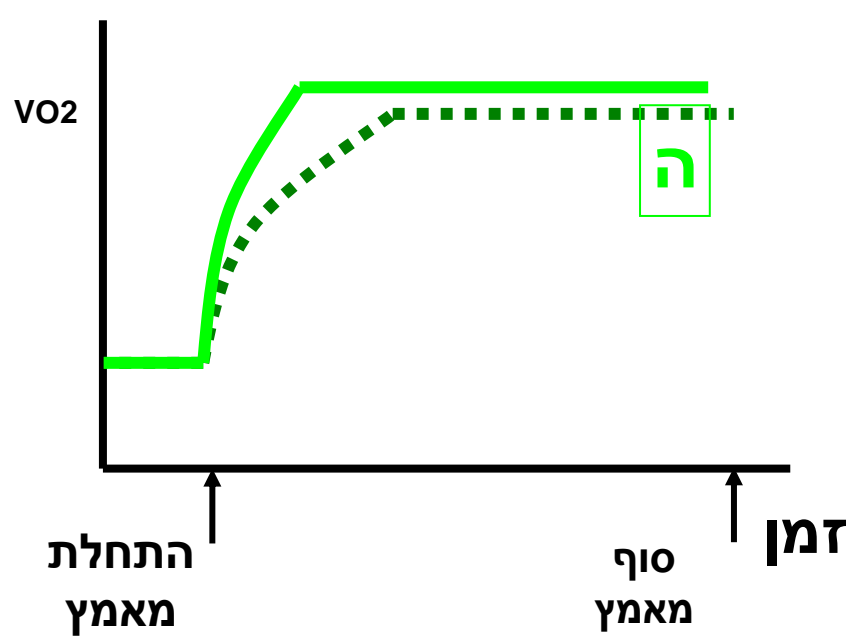
צורך ב- 7% יותר חמצן, כאשר משתמשים בחומצות שומן.

שוי הערך הקלורי קלוריות/ליטר O ₂	התרומה היחסית באחוזים של הדלקים המטבוליים לצורך הפקת ה- ATP		מנת הנשימה VCO ₂ / VO ₂
	שומנים	פחמימות	
4.69	100%	0%	0.70
4.74	83%	17%	0.75
4.86	50%	50%	0.85
4.98	17%	83%	0.95
5.05	0%	100%	1.00

טבלה 2 שווי הערך הקלורי המופק משימוש ב- 1 ליטר חמצן בעת פירוק תערובות שונות של דלק מטבולי



שיפור היכולת להשתמש בחומצות שומן יגדיל את צריכת החמצן במאמץ תת-מרבית נתון



מטבוליזם אירובי
צריכת חמצן



מנוחה



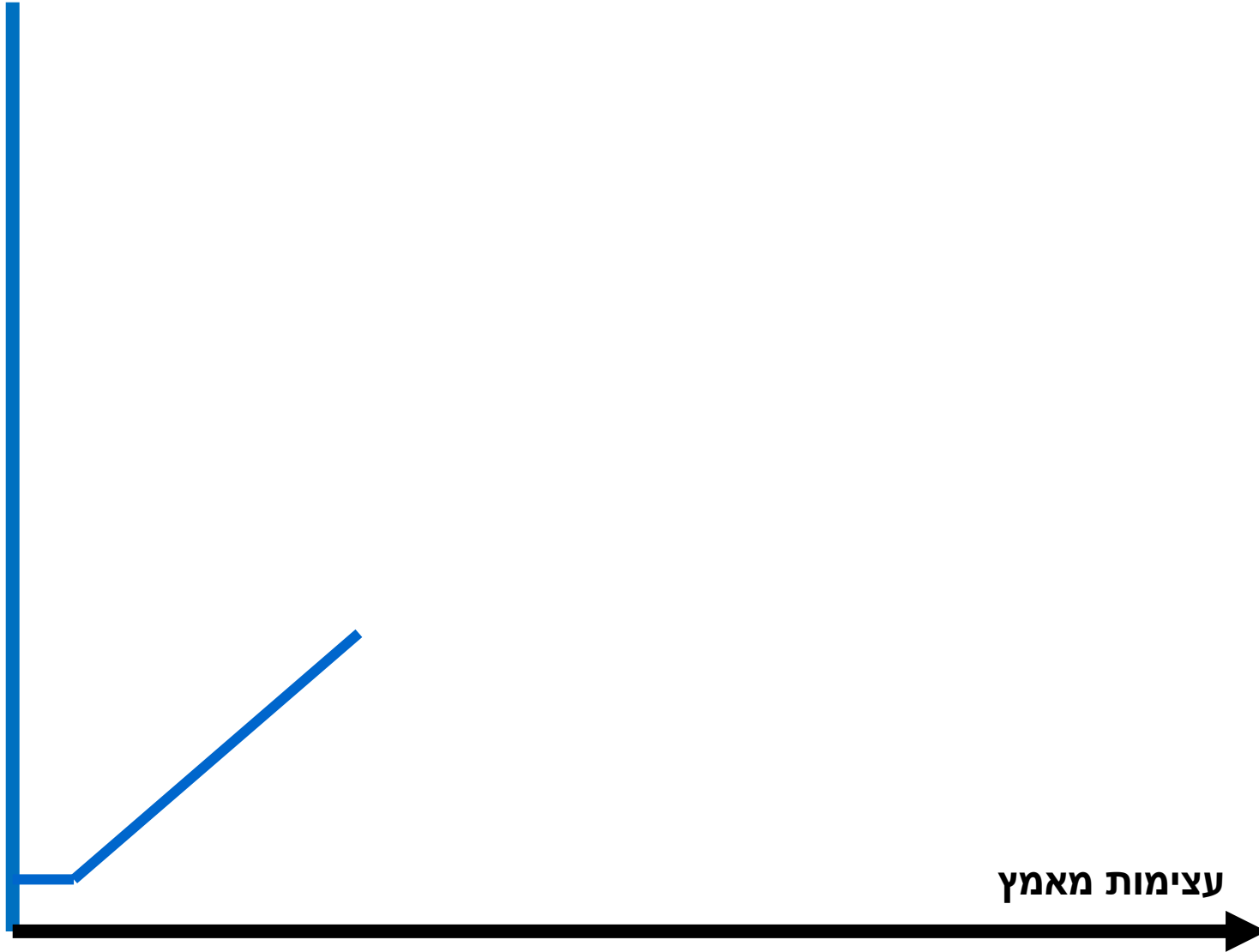
עצימות מאמץ

מטבוליזם אירובי
צריכת חמצן

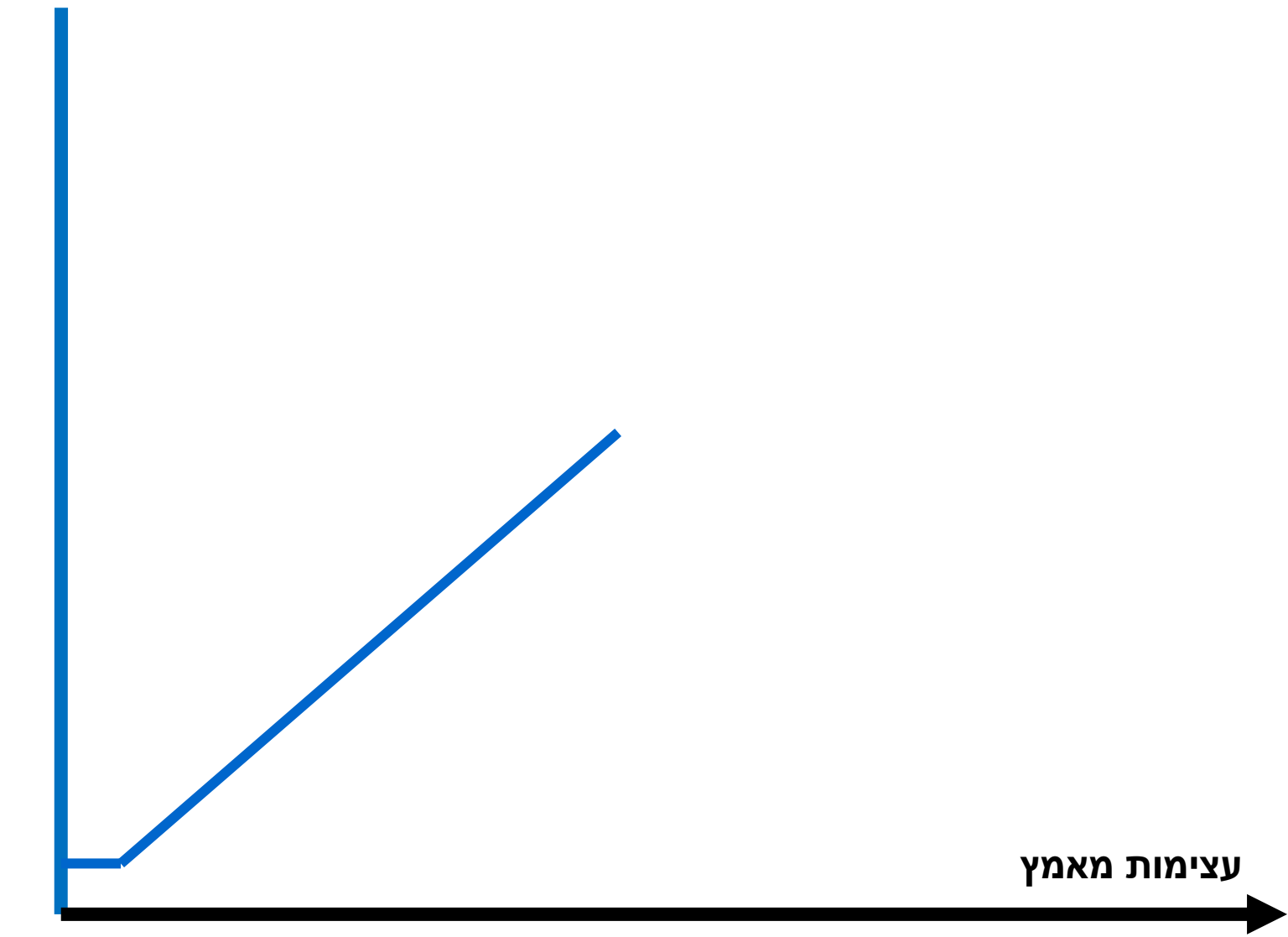
מנוחה

מאמץ קל

עצימות מאמץ



מטבוליזם אירובי
צריכת חמצן



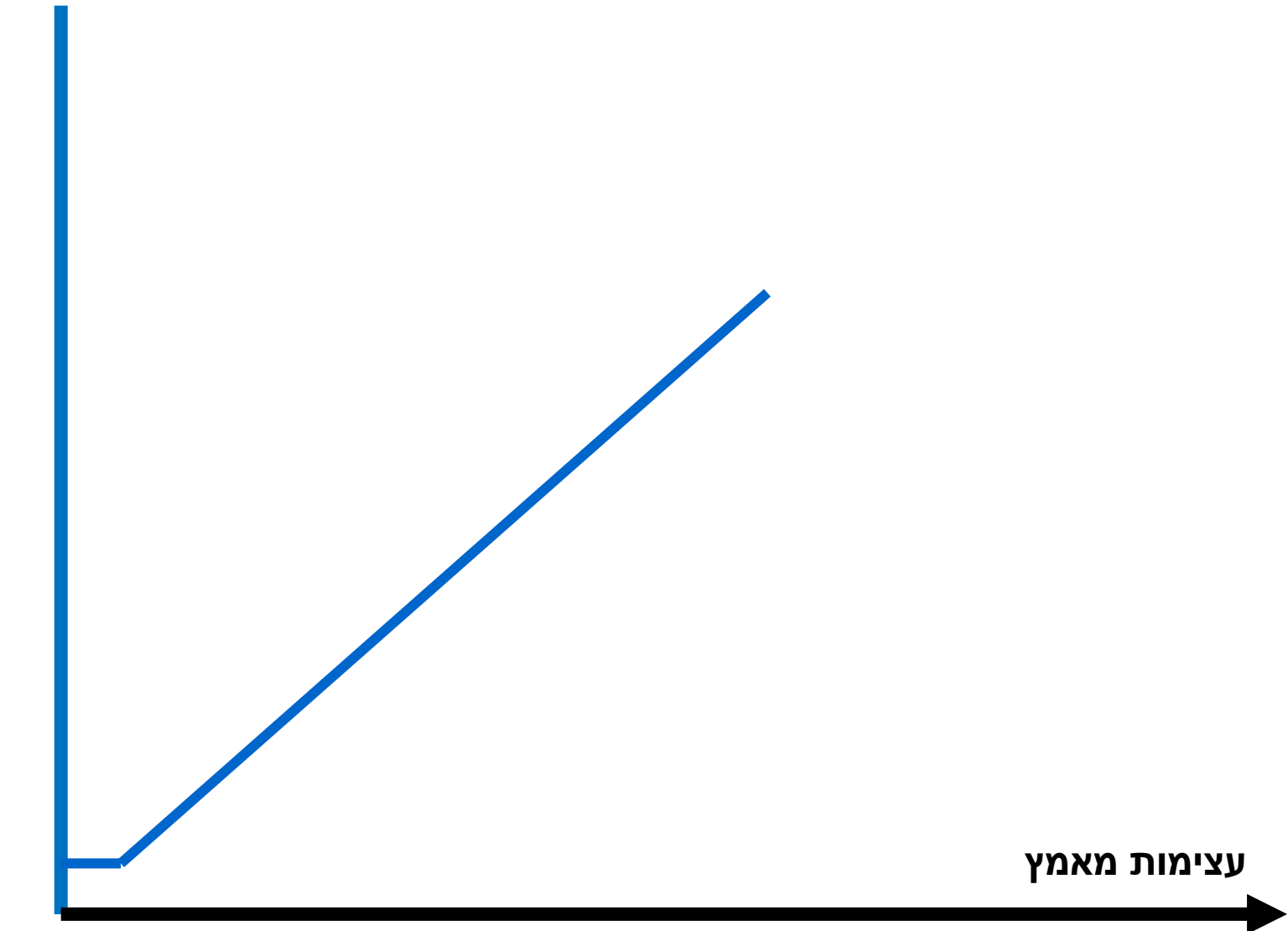
מנוחה

מאמץ קל

מאמץ בינוני

עצימות מאמץ

מטבוליזם אירובי
צריכת חמצן



מנוחה

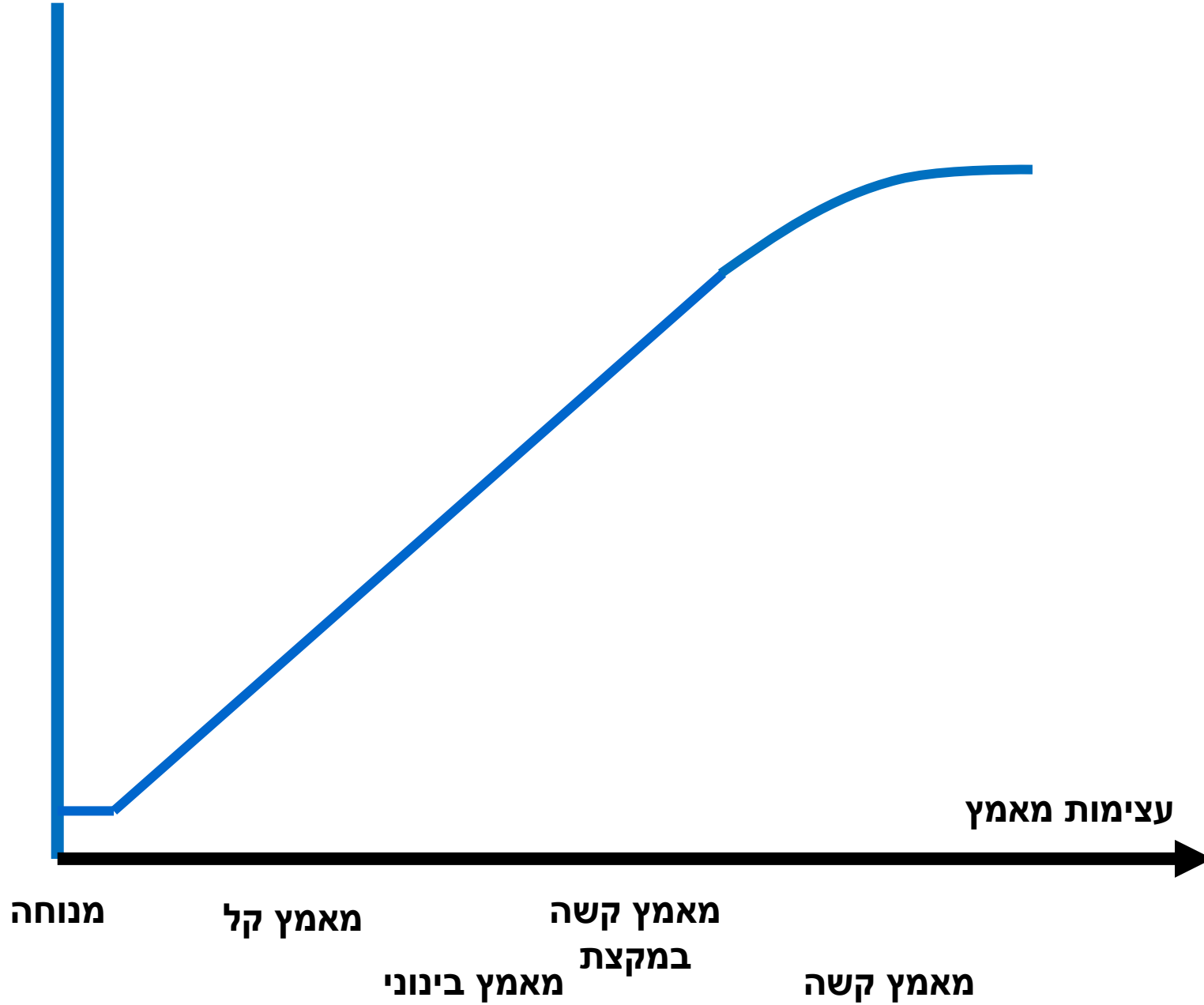
מאמץ קל

מאמץ קשה
במקצת

מאמץ בינוני

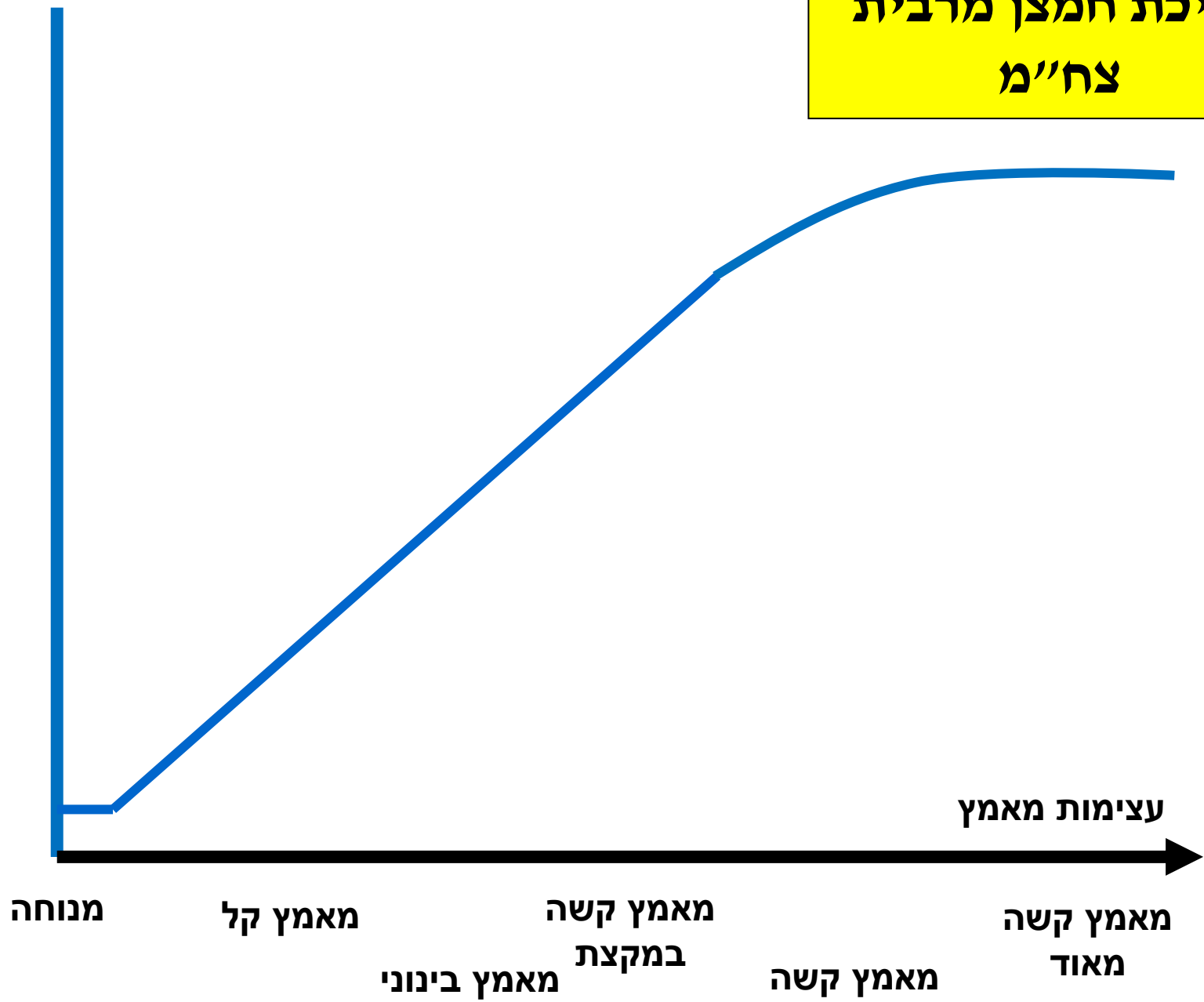
עצימות מאמץ

מטבוליזם אירובי
צריכת חמצן

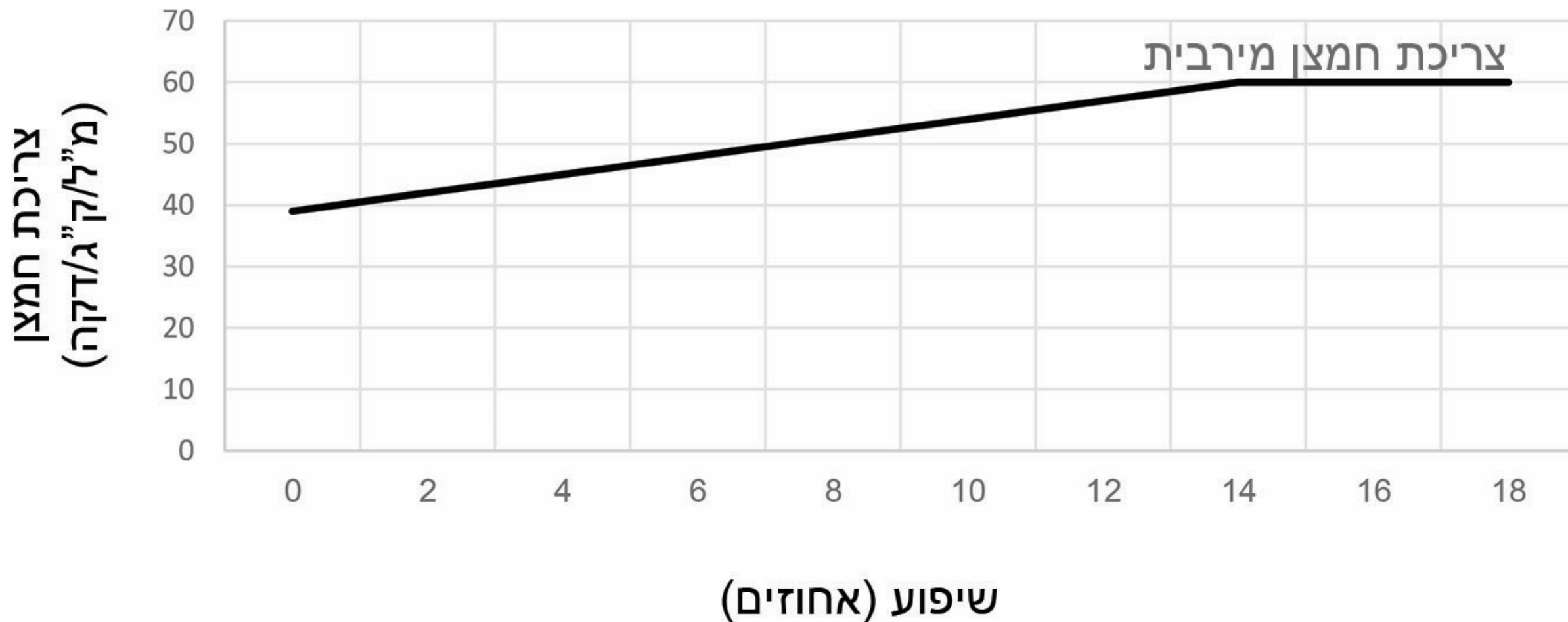


מטבוליזם אירובי
צריכת חמצן

צריכת חמצן מרבית
צח"מ



השינוי בצריכת החמצן כתלות בעצימות המאמץ



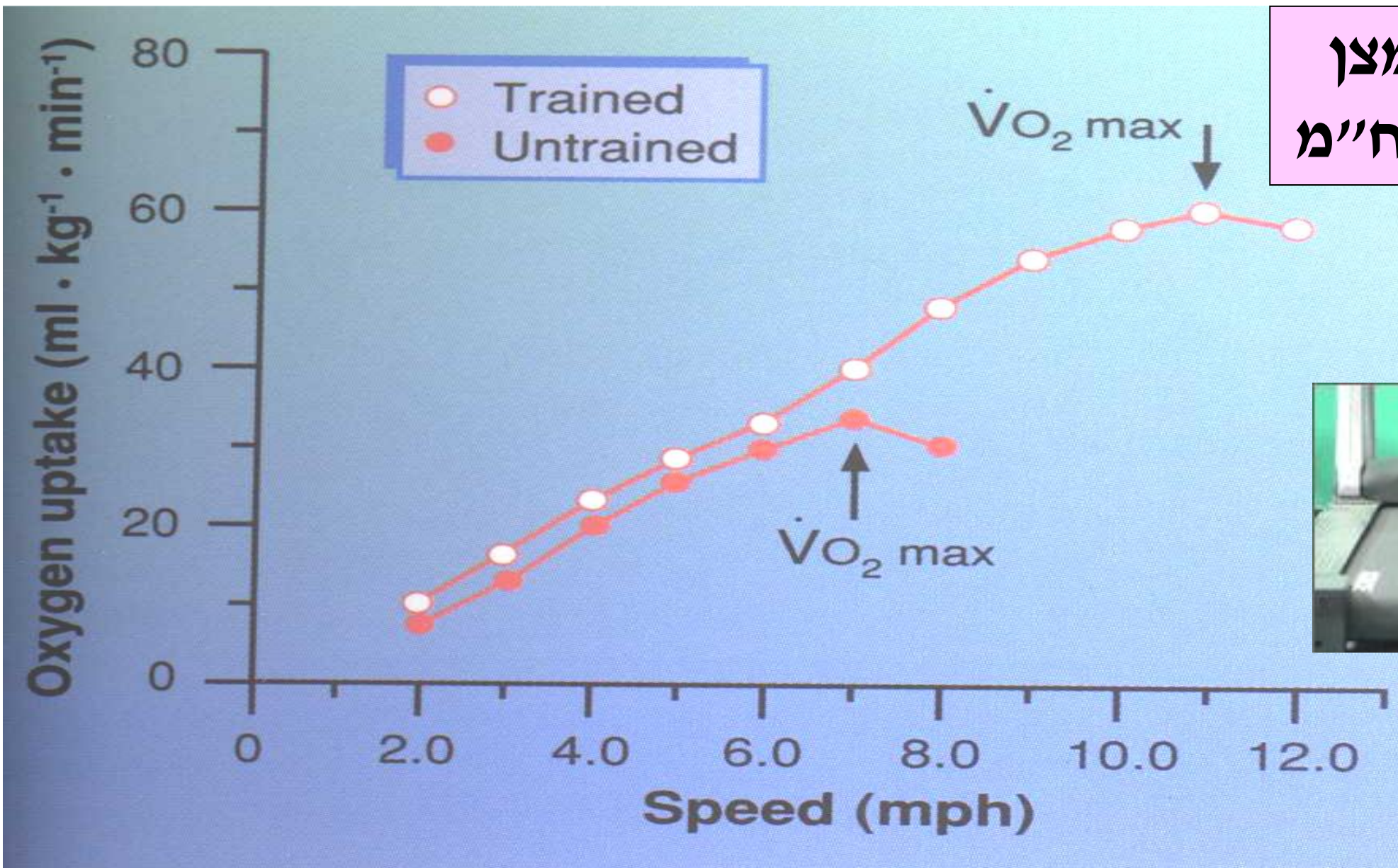
צריכת חמצן מרבית (צח"מ, $VO_2 \max$)

מדד ל:

הספק אנרגטי אירובי מרבי - קיבולת אירובית

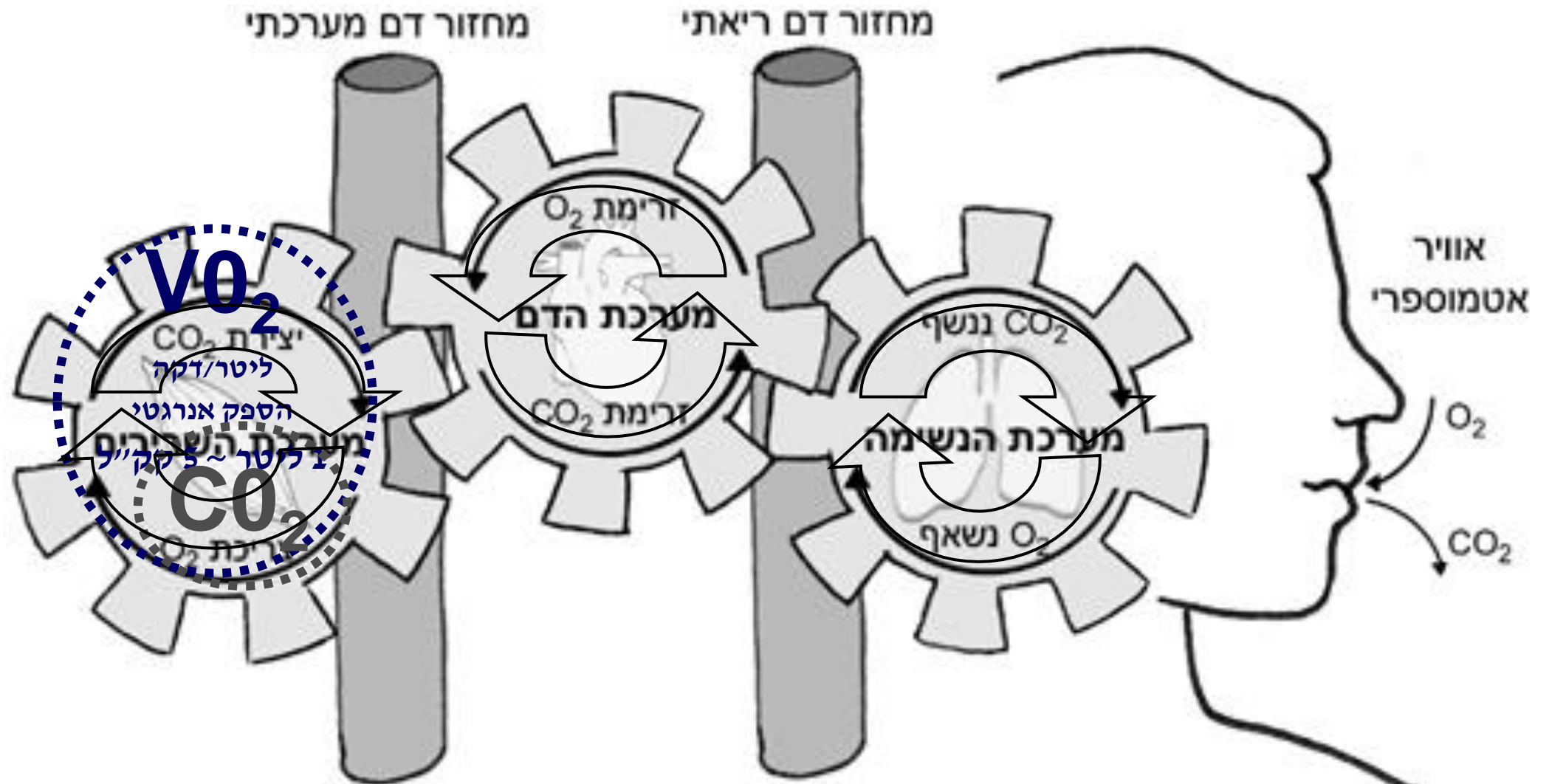
כושר אירובי

**צריכת חמצן
מרבית - צח"מ**



השינוי בצריכת החמצן במאמץ מדורג

יחסי הגומלין בין מערכות השרשרת הפיזיולוגית בהפקת האנרגיה במסלול האירובי

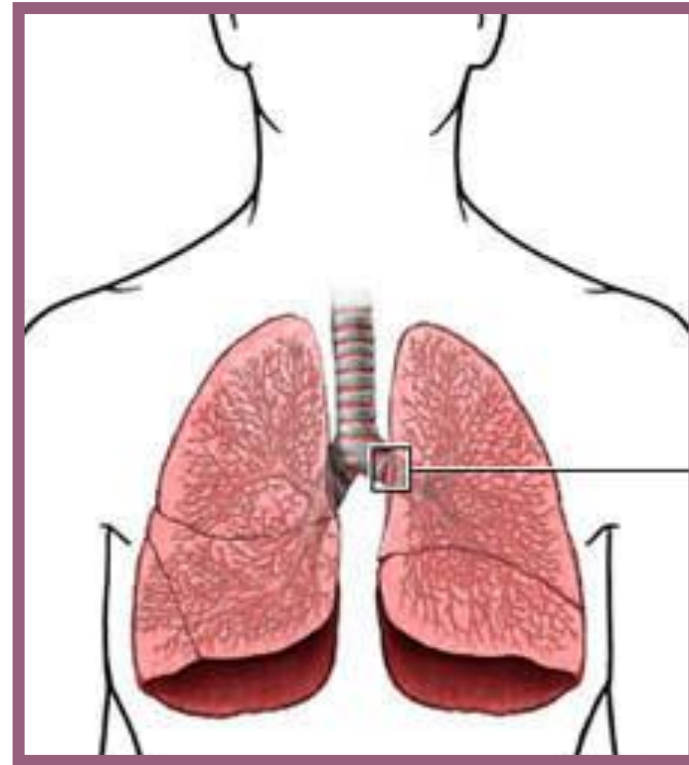


**גורמים המאפשרים להעלות את צריכת
החמצן פי 10-20 ממנוחה למאמץ מרבי**

(מ-250 מ"ל/דקה - 5,000 מ"ל/דקה)

**• עלייה באורור הריאתי של
פי 15-20**

**• עלייה בקצב הדיפוזיה של
החמצן בין הנאדיות לנימי
הריאה**



מערכת הנשימה

גורמים המאפשרים להעלות את צריכת החמצן פי 10-20 ממנוחה למאמץ מרבי

(מ- 250 מ"ל/דקה - 5,000 מ"ל/דקה)

- עלייה בתפוקת הלב פי 5-8
- שינוי בחלוקת תפוקת הלב (השרירים מקבלים פי 15-18 יותר דם בהשוואה למנוחה)

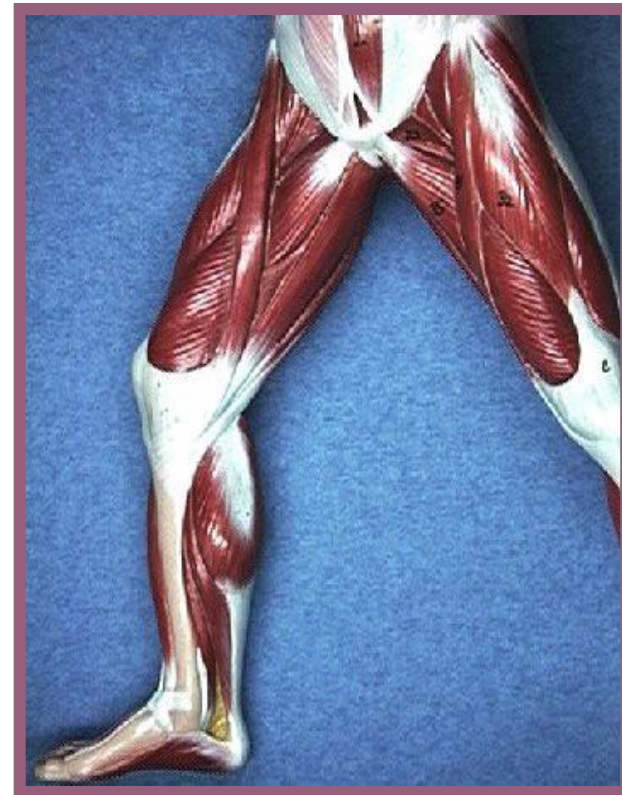


מערכת הדם

**גורמים המאפשרים להעלות את צריכת
החמצן פי 10-20 ממנוחה למאמץ מרבי**

(מ- 250 מ"ל/דקה - 5,000 מ"ל/דקה)

**עלייה של פי 3 במיצוי החמצן
מהדם ע"י המסלול האירובי
[(a-v)O₂ diff.]**



מערכת השרירים

CPET - Cardio-Pulmonary Exercise Testing



בדיקת מאמץ מורחבת

תגובת השרשרת הפיזיולוגית במאמץ

תנאים להגעה לצריכת חמצן מרבית:

- הבדיקה צריכה להתבצע על מסילת כושר בהליכה או ריצה
- צריכת החמצן בשיא המאמץ התאזנה (הגיעה לפלאטו) ולא השתנתה יותר למרות העלייה בעצימות המאמץ.
- מנת הנשימה צריכה להיות 1.1 ומעלה. ערך זה מעיד על עלייה משמעותית בחומציות - פליטת CO_2 רבה, עקב מעורבות אנאירובית-לקטית גדולה בהספקת האנרגיה.
- במצבים שבהם לא התקיימו 3 התנאים הנ"ל, הערך הגבוה ביותר של צריכת החמצן יוגדר כצריכת שיא של החמצן ($\text{VO}_2 \text{ peak}$).

ארגומטר - Ergometer מכשיר לביצוע עבודה

שרירית חיצונית מבוקרת ומדודה (וואטים, מהירות + שיפוע).



מסילת כושר



- עצימות המאמץ נקבעת על-ידי מהירות ושיפוע
- עשויה להוות קושי לאנשים שאינם רגילים בהליכה על מסילה
- מדידת לחץ דם באופן ידני בעייתית עקב רעשי רקע
- אם הנבדק נאלץ לאחוז בידיות, העבודה האמיתית המבוצעת פחותה מזו שבאה לביטוי במהירות ובשיפוע של המסילה.
- הארגומטר המועדף. באמצעותה יכולים רוב האנשים להביא את המערכות המרכזיות (לב, דם ונשימה) לרמות מאמץ גבוהות יותר מאלו שיושגו על אופניים.

אופניים



- ההתנגדות מופעלת על גלגל התנופה ומבוטאת ביחידות של וואט (Watts).
- ביצוע המבדק בטוח יותר מאשר על מסילה. הנבדק יכול לעצור את המבדק בכל עת שירצה מאחר שהוא שולט בדיווש ובמאמץ.
- בעייתי לכאלה ששישיבה על כיסא האופניים אינה נוחה להם או שחסרים את הקואורדינציה הדרושה לשמירה על קצב דיווש קבוע.
- תיתכן עייפות שרירי ירכיים לפני שהמערכות המרכזיות יגיעו למאמץ מרבי.
- מדידת לחץ דם נוחה וניתן לבצעה ללא קושי על-ידי בודק מיומן.
- ישמשו במקרים שבהם הנבדק אינו מסוגל לבצע מאמץ על מסילה או במקרים של רוכב אופניים מיומן ומאומן

חישוב צריכת החמצן באמצעות מדדים של מערכת הדם - משוואת Fick

$$\dot{Q} \times (a - v) \text{ O}_2 \text{ difference} = \dot{V}\text{O}_2$$

$\dot{V}\text{O}_2$ - צריכת החמצן (מ"ל/דקה, ליטר/דקה)

\dot{Q} - תפוקת הלב (ליטר/דקה)

$(a - v) \text{ O}_2 \text{ diff}$ - ההפרש שבין תכולת החמצן בדם העורקי ובין תכולתו בדם הוורידים
ביחידת נפח נתונה של דם (מ"ל חמצן/ליטר דם)

נתון:

- תכולת החמצן ב- 100 מ"ל דם עורקי - 20 מ"ל (200 מ"ל/ליטר דם)
- תכולת החמצן ב- 100 מ"ל דם ורידי - 5 מ"ל (50 מ"ל/ליטר דם)
- תפוקת הלב - 20 ליטר/דקה
- חישוב:

$$20 \times (200 - 50) = 20 \times 150 = 3,000$$

צריכת החמצן = 3,000 מ"ל/דקה = 3 ליטר/דקה

צח"מ ומדדים מרביים של מערכת הלב והדם אצל אדם "רגיל" -

בריא", חולה לב ואתלט

נבדק	צח"מ (מ"ל/דקה)	דופק מרבי (פעימות/דקה)	נפח פעימה מרבי (מ"ל)	הפרש המרבי בתכולת החמצן בין העורק לוריד (מ"ל/100 מ"ל דם)
אתלט	6,250	190	205	16
אדם "רגיל"	3,500	195	112	16
חולה לב	1,400	190	43	17

חישוב צריכת החמצן באמצעות מדדים של מערכת הנשימה

$$(V_E \times F_{I}O_2) - (V_E \times F_{E}O_2) = V_E (F_{I}O_2 - F_{E}O_2) = VO_2$$

VO_2 - צריכת החמצן (ליטר/דקה, מ"ל/דקה)

V_E - אוורור ריאתי (ליטר/דקה)

$F_{I}O_2$ - החלק היחסי (אחוזים) של החמצן באוויר הנשאף (21%)

$F_{E}O_2$ - החלק היחסי (אחוזים) של החמצן באוויר הננשף

נתון:

♦ אוורור ריאתי - 7 ליטר/דקה

♦ החלק היחסי של החמצן באוויר הננשף - 17%

♦ חישוב:

$$(7 \times 21\%) - (7 \times 17\%) = 7 \times (21\% - 17\%) = 0.280$$

צריכת החמצן = 0.280 ליטר/דקה

CPET - Cardio-Pulmonary Exercise Testing



• נפח מתחלף

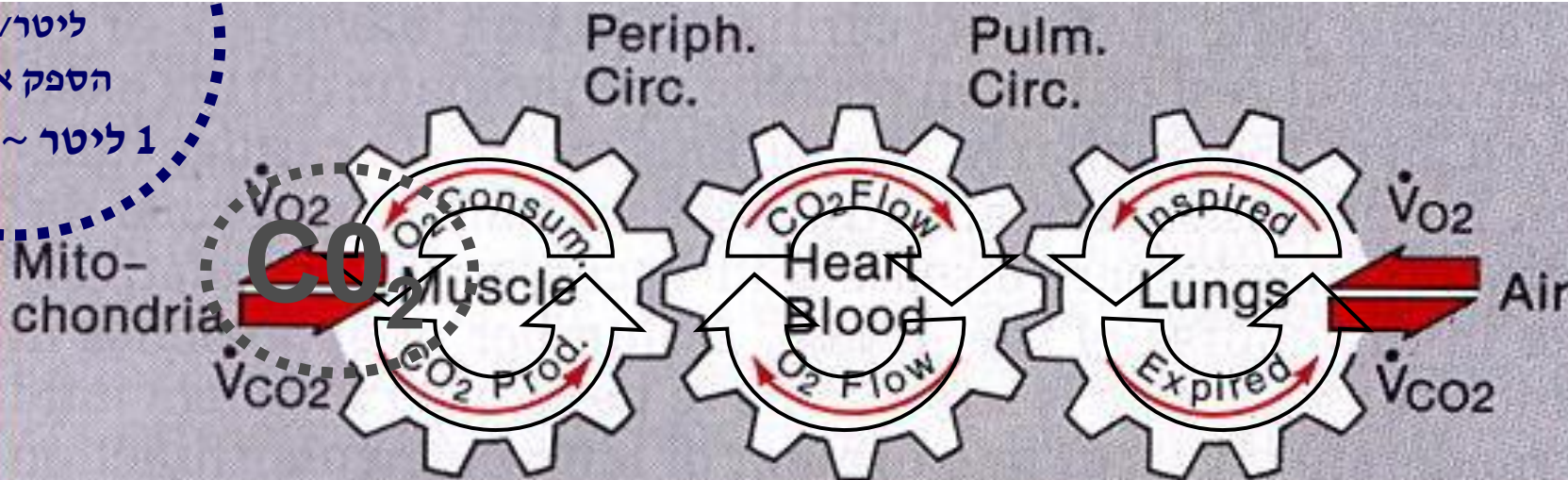
• תדירות נשימה

• אזור ריאתי

• % החמצן באוויר הנשאף והננשף (צריכת חמצן)

• % הפחמן הדו-חמצני באוויר הנשאף והננשף (פליטת פחמן דו-חמצני)

ליטר/דקה
הספק אנרגטי
1 ליטר ~ 5 ק



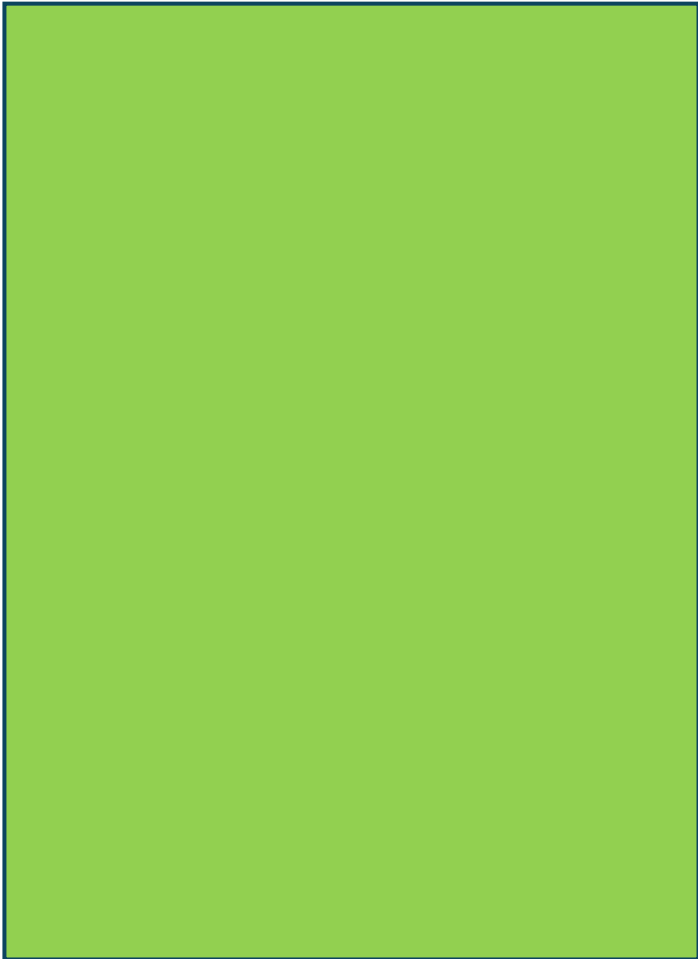
שני כלי רכב עם מנוע של 1,200 סמ"ק

מי יעבור מרחק גדול יותר ב- 12 דק'?

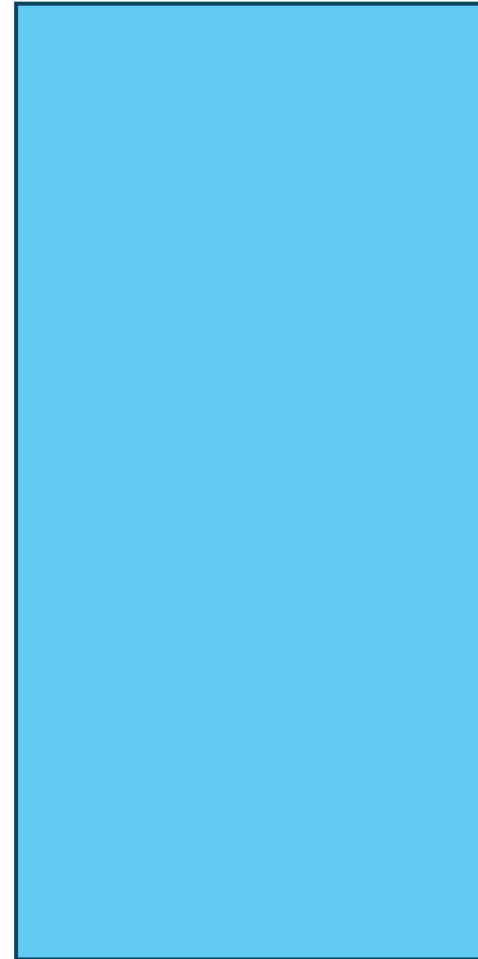
א

ב

שני אנשים עם צח"מ של 5,000
מ"ל/דקה. מי ינצח בריצת 5 ק"מ?



ב



א

צריכת חמצן מרבית מוחלטת (ליטר/דקה, מ"ל/דקה)



צריכת חמצן מרבית סגולית

מבוטאת ביחידות של מ"ל/ק"ג גוף/דקה

בטבלה שלפניכם מוצגים מדדים של השרשרת הפיזיולוגית של 4 נבדקים. עליכם לחשב, בעזרת הנתונים, את צריכת החמצן המוחלטת (מ"ל/דקה) והיחסית (מ"ל/ק"ג/דקה) של כל אחד מהנבדקים.

אחוז החמצן באוויר = אוויר נשאף: 21%

שם	משקל	HR פ"ד'	SV מ"ל	(a-v)O ₂ diff מ"ל/100 מ"ל דם	% חמצן באוויר נשוף	f	VT ליטר	צריכת חמצן במ"ל/דק'	צריכת חמצן במ"ל/ק"ג/דק'
A	75	150	100	10					
B	80				17%	40	1.5		
C	100				17%	50	2.0		
D	90	200	150	15					

בטבלה שלפניכם מוצגים מדדים של השרשרת הפיזיולוגית של 4 נבדקים. עליכם לחשב, בעזרת הנתונים, את צריכת החמצן המוחלטת (מ"ל/דקה), והיחסית - סגולית (מ"ל/ק"ג/דק') של כל אחד מהנבדקים.

אחוז החמצן באוויר = אוויר נשאף: 21%

שם	משקל	HR פ"ד'	SV מ"ל	(a-v)O ₂ diff מ"ל/100 מ"ל דם	% חמצן באוויר נשוף	f	VT ליטר	צריכת חמצן במ"ל/דק'	צריכת חמצן במ"ל/ק"ג/דק'
A	75	150	100	10				1,500	20
B	80				17%	40	1.5	2,400	30
C	100				17%	50	2.0	4,000	40
D	90	200	150	15				4,500	50

חשיבות הכושר האירובי

קיבולת אירובית (צח"מ)



בריאותית



תפקודית



ספורטיבית

חשיבות ההספק האירובי המרבי (צח"מ) בהיבט הבריאותי

- אנשים שאינם פעילים גופנית נמצאים בסיכון גדול יותר מאחרים לפתח מחלות כרוניות כמו מחלת לב כלילית, יתר לחץ דם (יל"ד), סרטן ועוד...
- תת-פעילות גופנית נחשבת על-ידי מומחים רבים כבעיה הגדולה ביותר של בריאות הציבור בעולם המערבי. בכל שנה מתים בעולם 3.2 מיליון איש כתוצאה מחוסר פעילות גופנית, תופעה המכונה **תסמונת המוות של תרבות הישיבה (Sedentary Death Syndrome)**.
- כאשר הצח"מ נמוכה מהאחוזון ה-20 לגיל ולמין, הכושר האירובי מוערך כירוד מאוד ומהווה גורם סיכון עצמאי למחלות לב וכלי דם, לסוכרת מסוג 2 ולסרטן המעי הגס והשד.

חשיבות ההספק האירובי המרבי (צח"מ) בהיבט הכשירותי תפקודי

- רוב הפעילויות היומיומיות הן "אירוביות" במהותן ודורשות צריכת חמצן למימושן.
 - תחושת הקושי נמצאת ביחס ליכולת האירובית המרבית. ככל שהצח"מ יותר גבוה צריכת החמצן במאמץ נתון מהווה אחוז נמוך יותר מהצח"מ, המאמץ יותר קל והאדם יותר יעיל וחיוני.
- בהיבט הכשירותי תפקודי מאפשרת בדיקת המאמץ המורחבת:
- להעריך כשירות תפקודית ומוגבלות לצורך התאמה תעסוקתית, קביעת אובדן כושר עבודה, הגשת תביעות ביטוח ודרישה לפיצויים.
 - לזהות את החוליה החלשה בשרשרת הפיזיולוגית שמגבילה את הצח"מ והכשירות התפקודית.
 - לתת מרשם אימון לשיפור הכושר האירובי למטרות שיקום תפקודי.
 - התאמת עזרי תנועה לאנשים (פרוטזות וכד') תוך התחשבות ביעילות המכנית.

כשירות תפקודית יוממית

צריכת חמצן (הוצאה אנרגטית) בעת ביצוע פעילויות שונות

פעילות	מ"ל/ק"ג/דק'
עבודות בית (ניקיונות)	10.5
הליכה (5 קמ"ש)	11.5
עבודות גינון עם כלים כבדים	21
טיפוס מדרגות	28

כשירות תפקודית יוממית

צריכת חמצן (הוצאה אנרגטית) בעת ביצוע פעילויות שונות

מ"ל/ק"ג/דק'

פעילות

מנוע 600



מנוע 3,800



צח"מ = 32 מ"ל/ק"ג/דק'

טיפוס מדרגות: 28/32 =
87%

מאמץ קשה

צח"מ = 56 מ"ל/ק"ג/דק'

טיפוס מדרגות: 28/56 =
50%

מאמץ קל

חשיבות ההספק האירובי המרבי (צח"מ) בהיבט הספורטיבי השגי

- ערכי צח"מ של גברים צעירים לא מאומנים 44 - 50 מ"ל/ק"ג/דקה ושל נשים 38 - 42 מ"ל/ק"ג/דקה.
- הצח"מ הגבוה ביותר נמדד לאלוף נורבגי בקרוס קאנטרי סקי - 94 מ"ל/ק"ג/דקה. לספורטאית רוסייה בקרוס קאנטרי סקי 77 מ"ל/ק"ג/דקה.
- כ- 60% מהשונות בצח"מ בין בני האדם ניתנים לייחוס לגורמים גנטיים. יתרת השונות נובעת ממגבלות רפואיות, ומהיקף ועצימות הפעילות והאימון הגופני



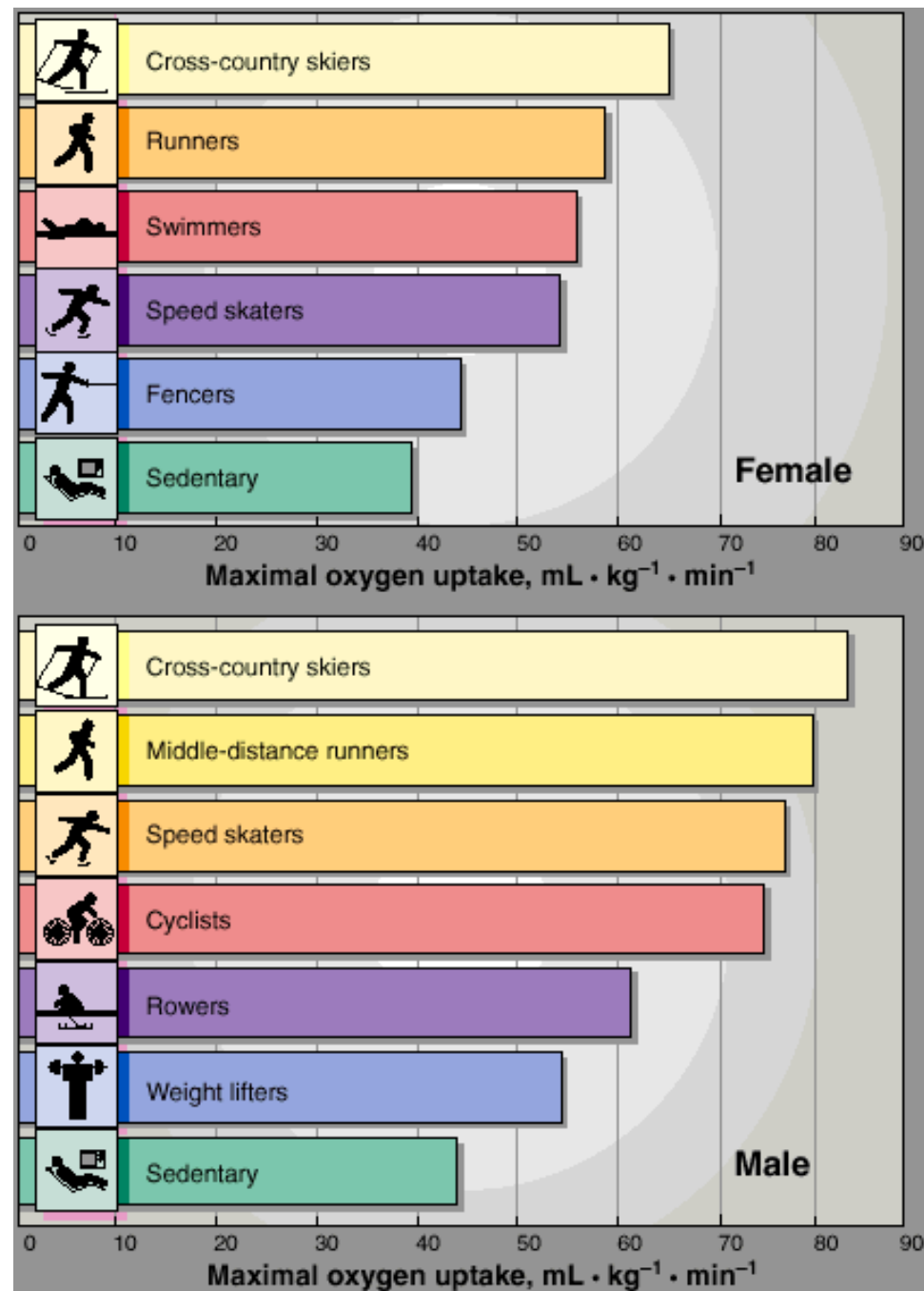
על משמעות התורשה ביכולת ההישגית ספורטיבית

אי אפשר להפוך חמור לסוס מרוצים, אפשר להפוך אותו לחמור יותר מהיר

חמור גם אם יגדל בין סוסים.... יישאר חמור

צריכת חמצן מרבית סגולית (מ"ל/ק"ג/דקה)		ענף ספורט
ספורטאים	ספורטאיות	
80 - 75	70 - 65	ריצה למרחקים ארוכים
74 - 62	57 - 47	רכיבה על אופניים
75 - 70	68 - 65	ריצה למרחקים בינוניים
72 - 65	65 - 60	ריצת ניווט
70 - 50	60 - 40	שחיה
64 - 54	60 - 50	כדורגל
60 - 55	56 - 40	כדורעף
72 - 60	65 - 58	חתירה
94 - 65	77 - 60	סקי נורדי
63 - 50		הוקי קרח
60 - 40	45 - 40	כדורסל
52 - 48	47 - 43	ריצת 100 מ' ו- 200 מ'
55 - 50	50 - 45	קפיצה לרוחק
65 - 52	-----	היאבקות
52 - 38		הרמת משקולות
46 - 40		הדיפת כדור ברזל
55 - 42	40 - 35	זריקת דיסקוס
58 - 52	50 - 36	התעמלות
48 - 39	38 - 30	אנשים לא מאומנים בגיל 30-39

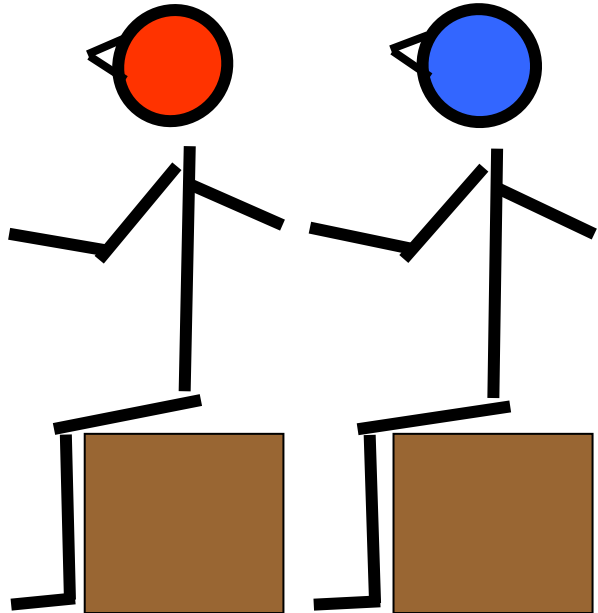
ערכי הצח"מ של
ספורטאים
בענפים שונים



בהקשר הספורטיבי, פרט להערכת הכושר האירובי, בדיקת המאמץ המורחבת מאפשרת:

1. לזהות פוטנציאל פיזיולוגי-אירובי לטובת איתור כישרונות והכוונה לענף ספורט
2. לקבל מדד המהווה 100% של היכולת האירובית ואשר ניתן להעריך ביחס אליו (% מהצח"מ) כל עצימות מאמץ שהמתאמן יבצע.
3. לעקוב אחר השיפור בהספק האירובי המרבי בתהליך האימונים.
4. לזהות את הדופק המרבי
5. להעריך את יכולת ההתאוששות ממאמץ
6. לאמוד את עצימות המאמץ המיטבית לשיפור הכושר האירובי
7. לבנות מד קלוריות אישי, הקושר בין קצב הלב לצריכת החמצן ולהוצאה האנרגטית בדרגות מאמץ שונות.
8. לזהות את החוליה החלשה בשרשרת הפיזיולוגית שמגבילה את הצח"מ ועקב כך את הכשירות הספורטיבית.
9. התאמת ציוד לספורטאים (אופניים, קסדות וכו'), לחיילים ולכוחות הביטחון (אפודים, תרמילים וכו'), תוך התחשבות ביעילות המכנית

ניר ואבי ממתינים לפני אימון כושר



נתון:

•משקל גופם זהה

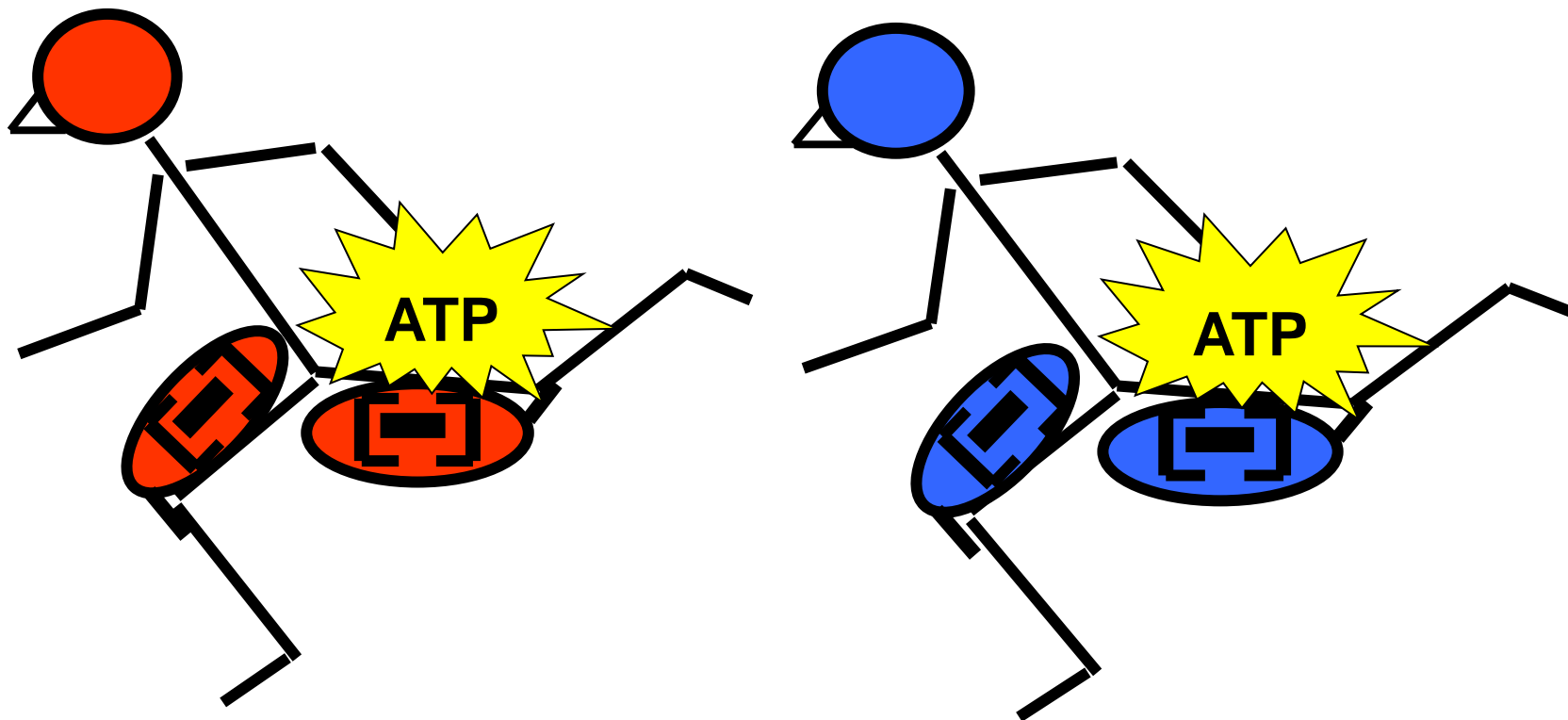
•הרכב גופם זהה (% שומן ומסת הגוף הרזה)

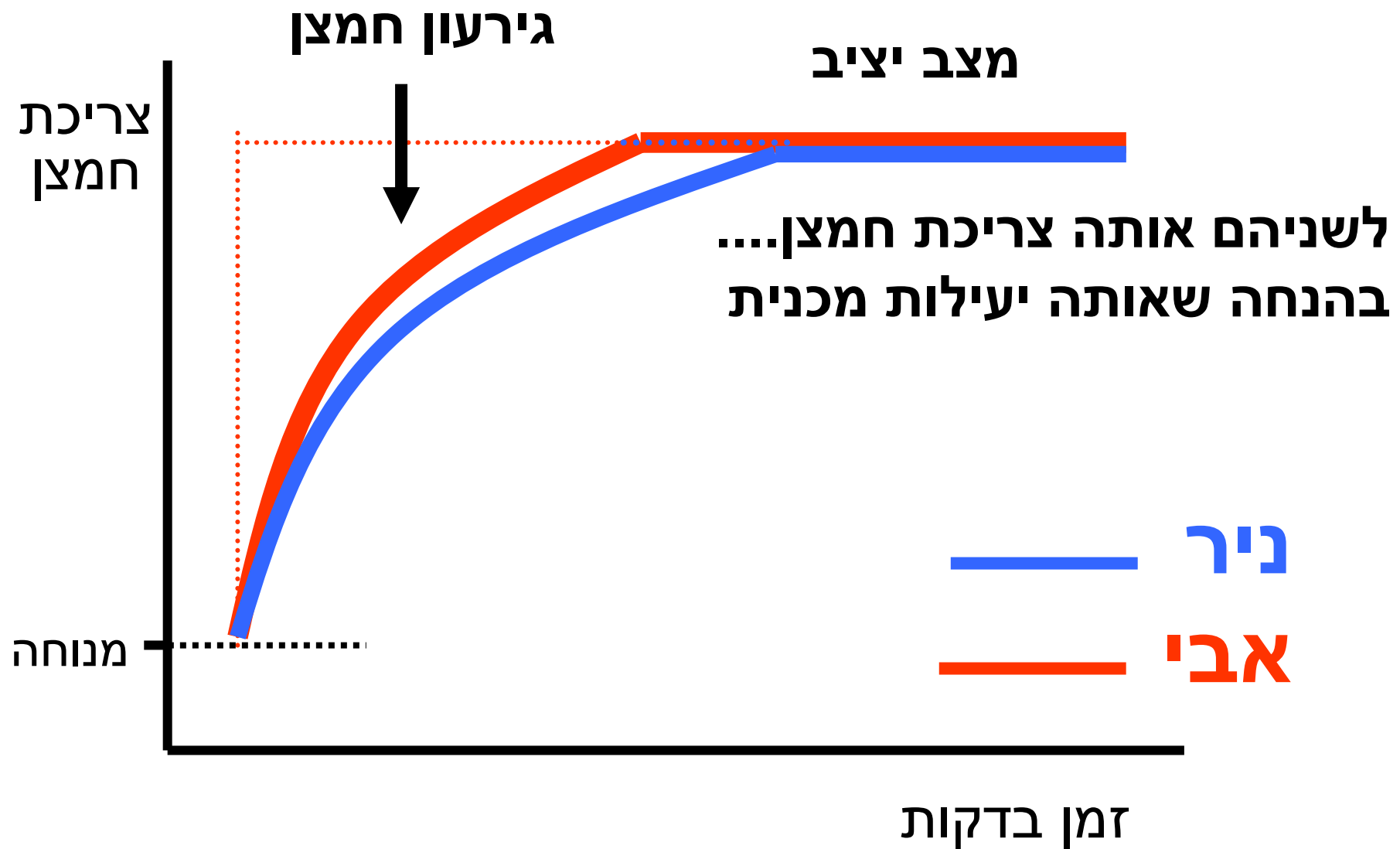
•מה צריכת החמצן שלהם במנוחה?

כ- 250 מ"ל/דקה, 3.5 מ"ל/ק"ג/דק' (1 METS)

ניר ואבי בשיעור כושר גופני
רצים 30 דקות בקצב קבוע של 6 דקות/ק"מ

לשניהם אותה יעילות מכנית, מה צריכת החמצן שלהם?

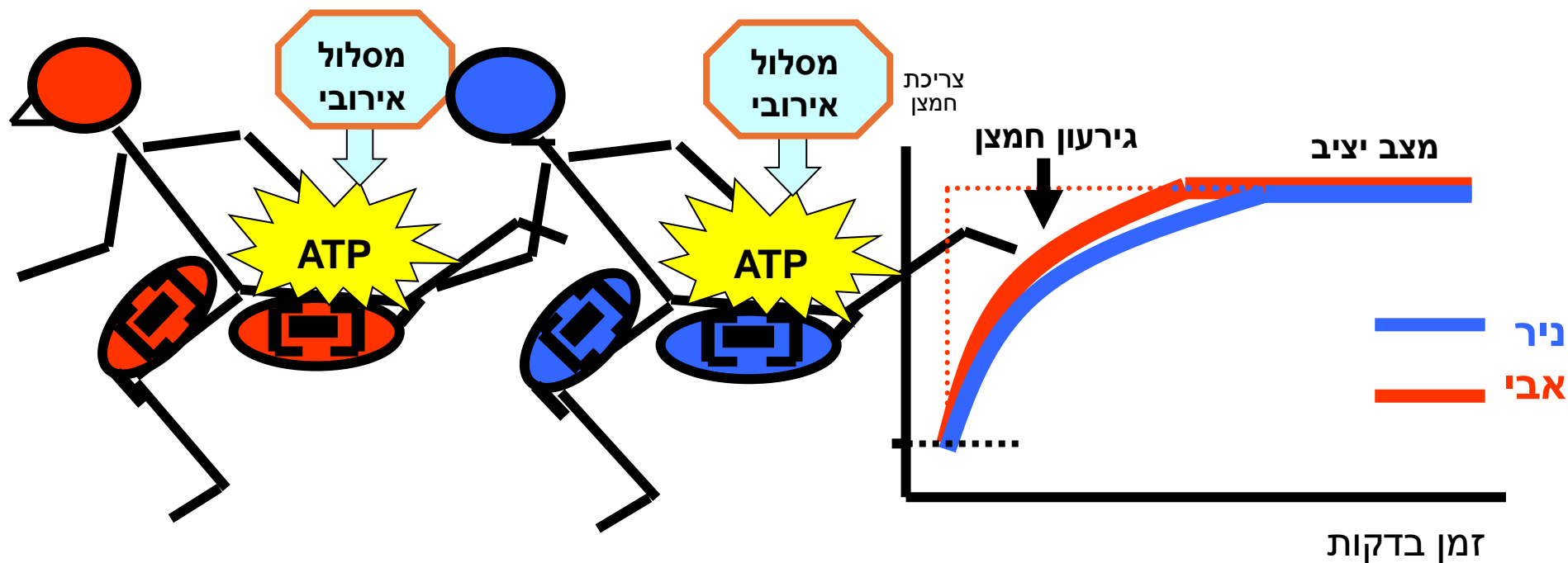




צריכת החמצן של ניר ואבי במהלך הריצה

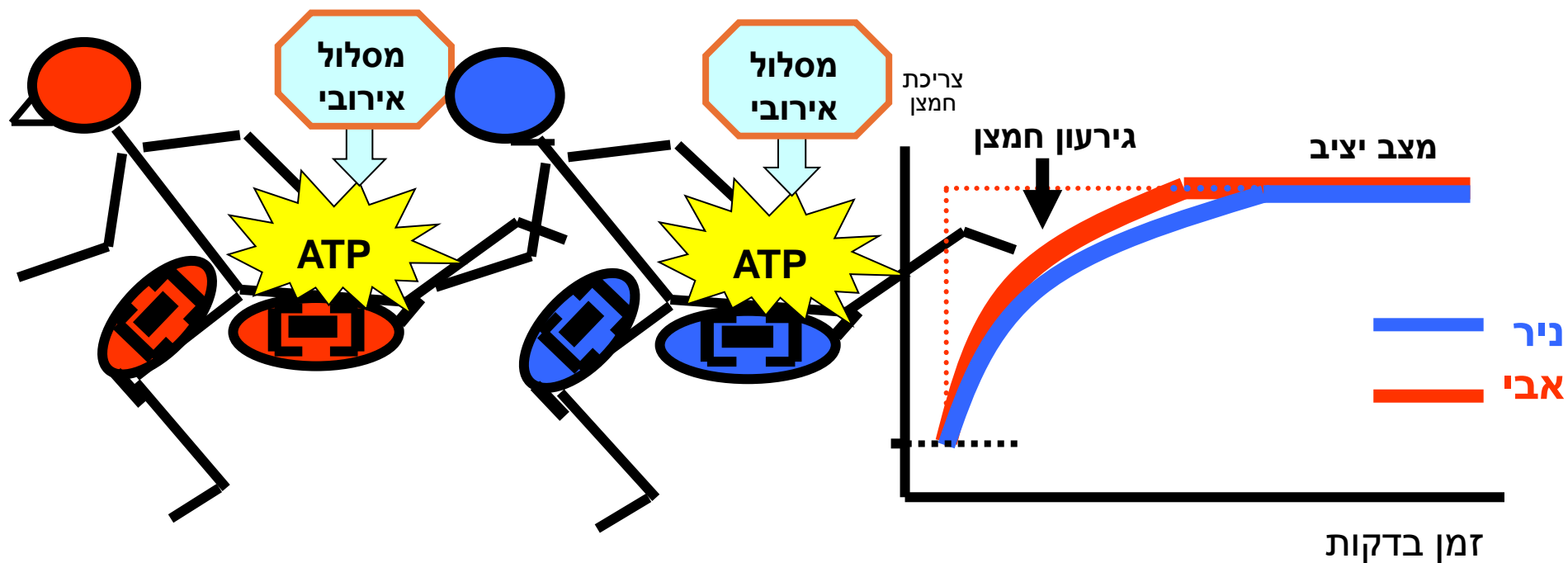
איזה מסלול ספק את עיקר האנרגיה?

שניהם הגיעו למצב יציב (אבי מוקדם יותר מניר)
המסלול האירובי מספק את כל ההספק האנרגטי הדרוש למאמץ

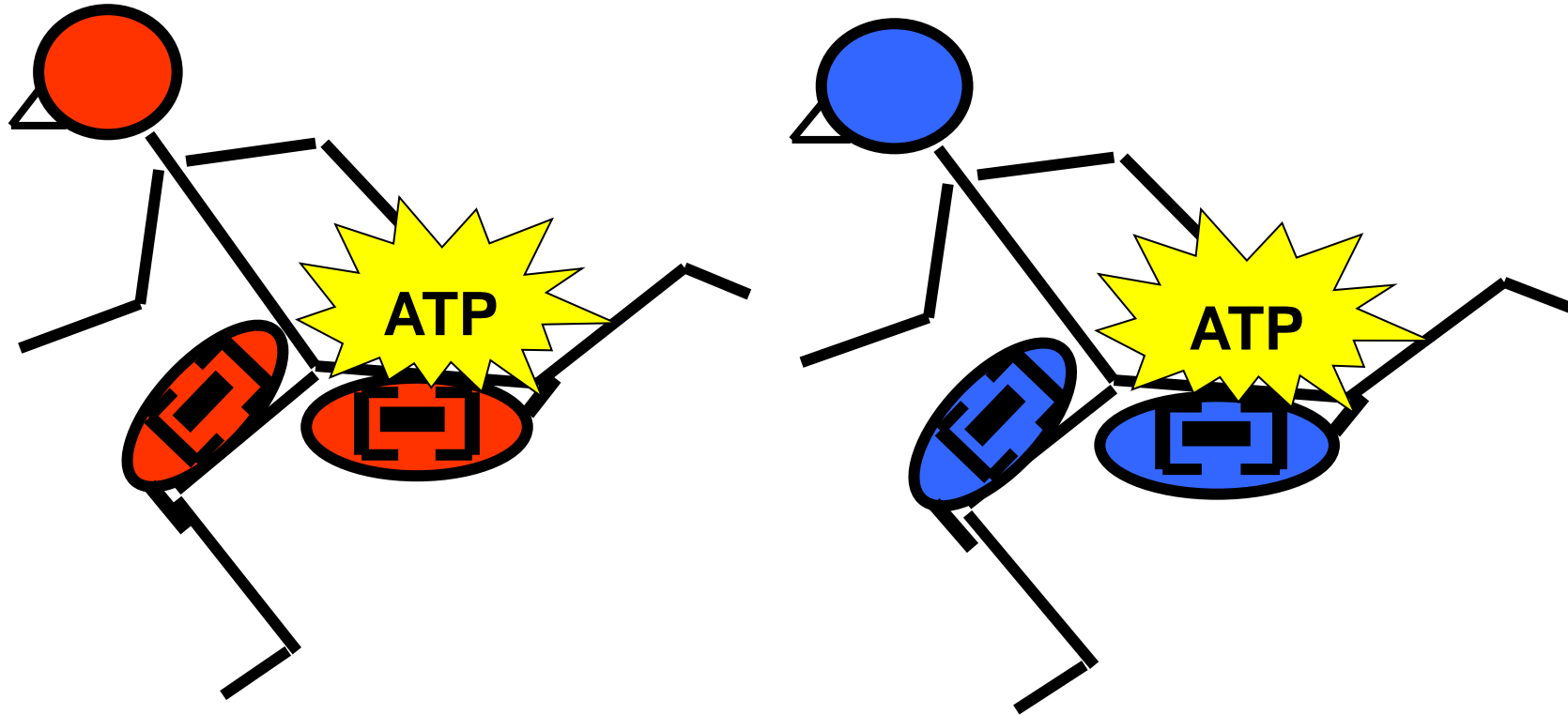


מי נראה בכושר אירובי טוב יותר?

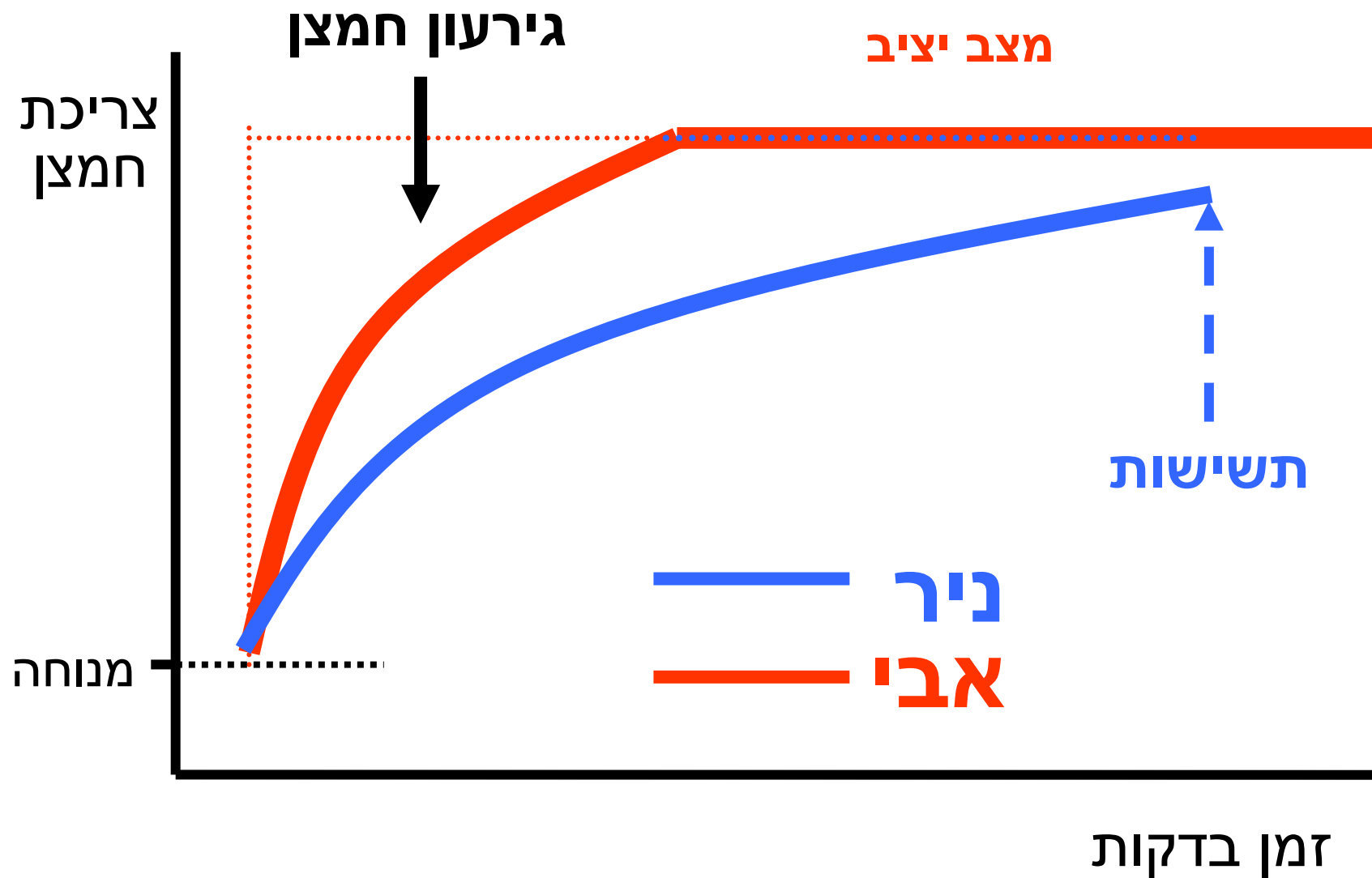
אבי - הגיע מהר יותר למצב יציב ~ גירעון חמצן יותר קטן



ניר ואבי בשיעור כושר גופני בודקים מי מחזיק
יותר זמן בקצב קבוע של 4 דקות/ק"מ

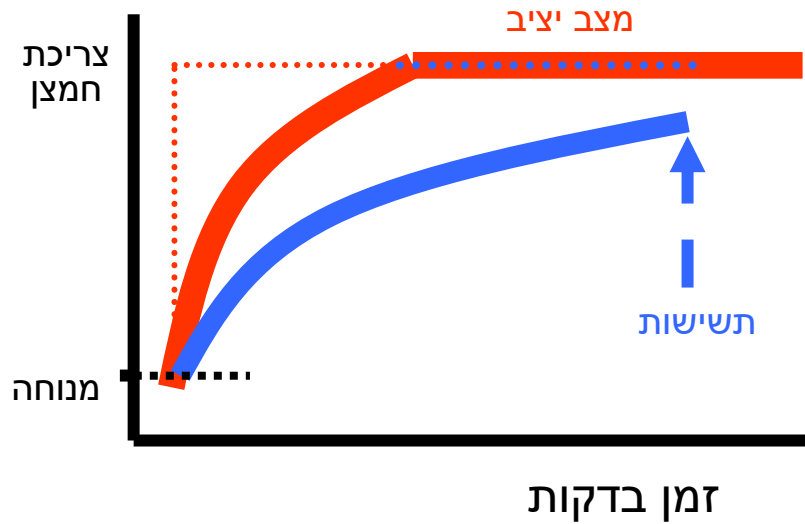


הכושר מביא את האושר

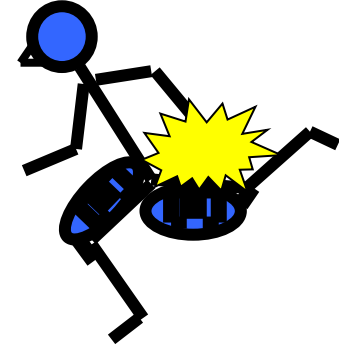


צריכת החמצן של ניר ואבי במהלך הריצה

איזה מסלול ספק את עיקר האנרגיה?

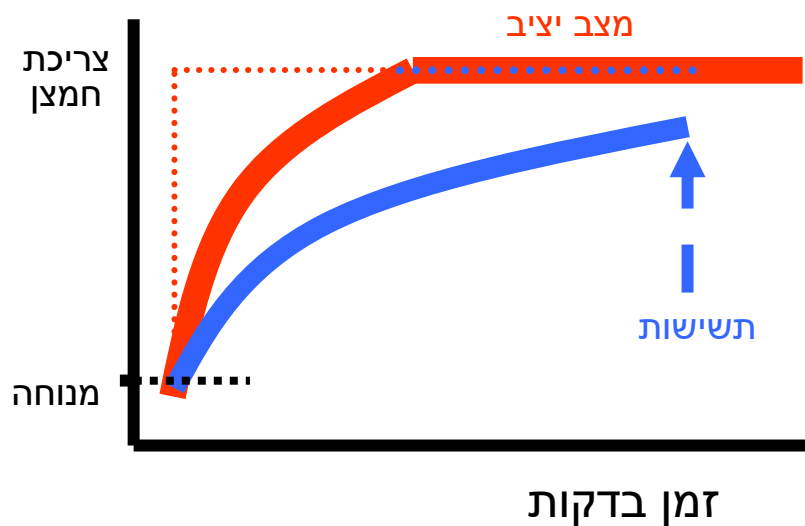


ניר

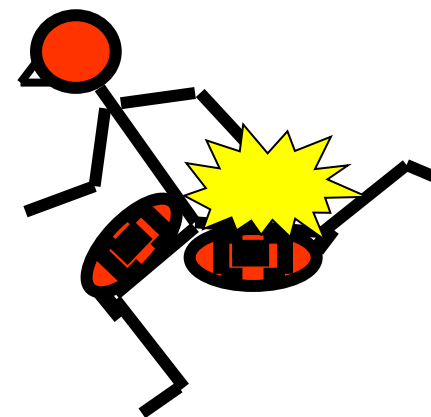


- לא הגיע למצב יציב
- גרעון חמצן בכל מהלך המאמץ
- האנרגיה מסופקת על ידי המסלול האירובי והמסלולים האנאירוביים
- תשישות עקב הצטברות יוני מימן ועלייה בחומציות

איזה מסלול ספק את עיקר האנרגיה?



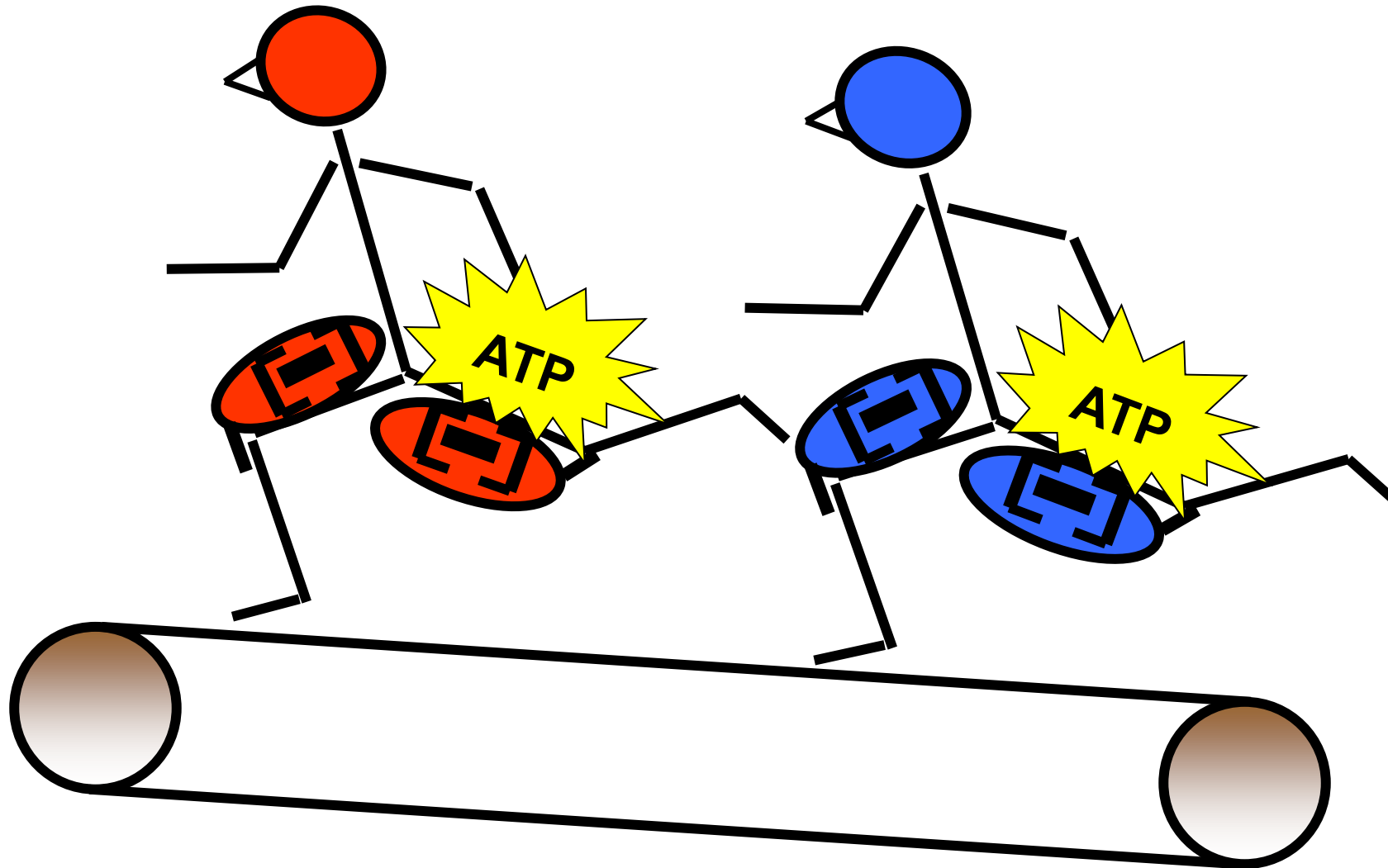
אבי

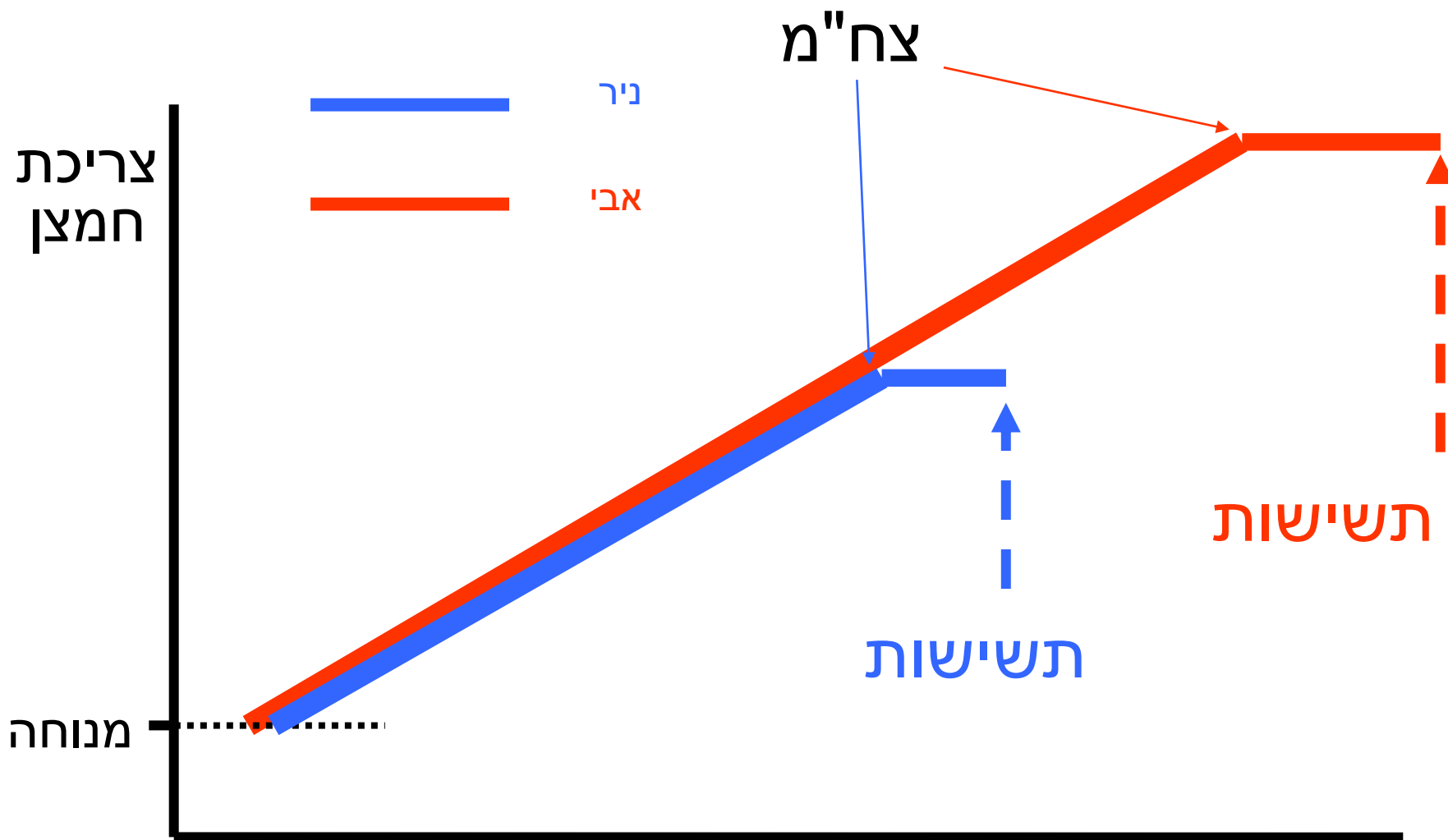


- הגיע למצב יציב
- גרעון חמצן רק בתחילת המאמץ
- האנרגיה מסופקת על ידי המסלול האירובי
- יכול להמשיך במאמץ זמן ממושך

ניר ואבי במעבדה לפיזיולוגיה

מבצעים מאמץ מדורג עד ... תשישות (צח"מ ישיר)



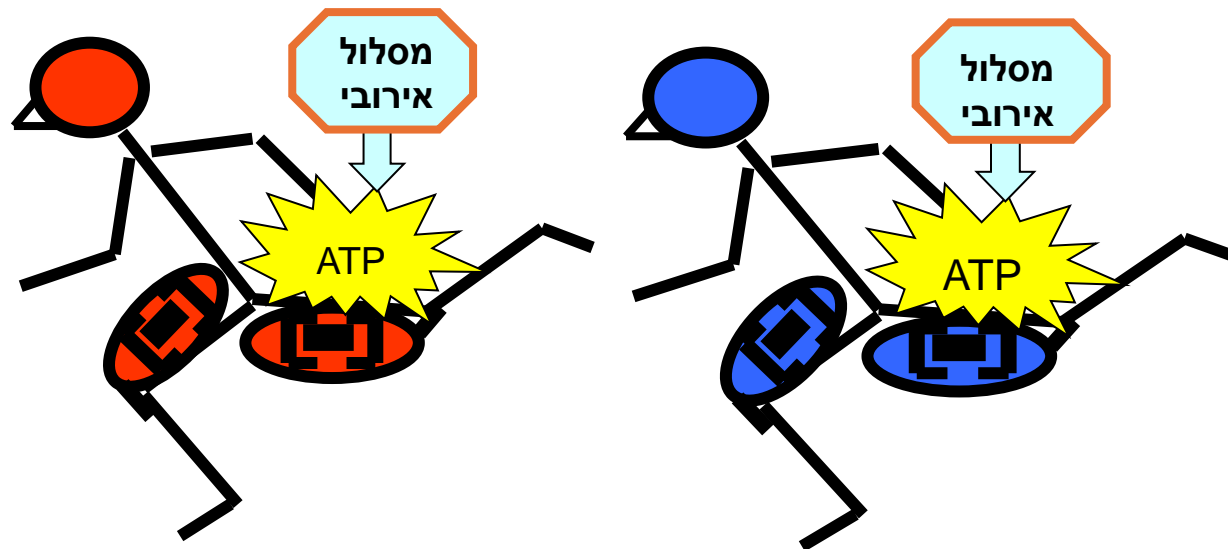


עצימות המאמץ (מהירות ו/או שיפוע)

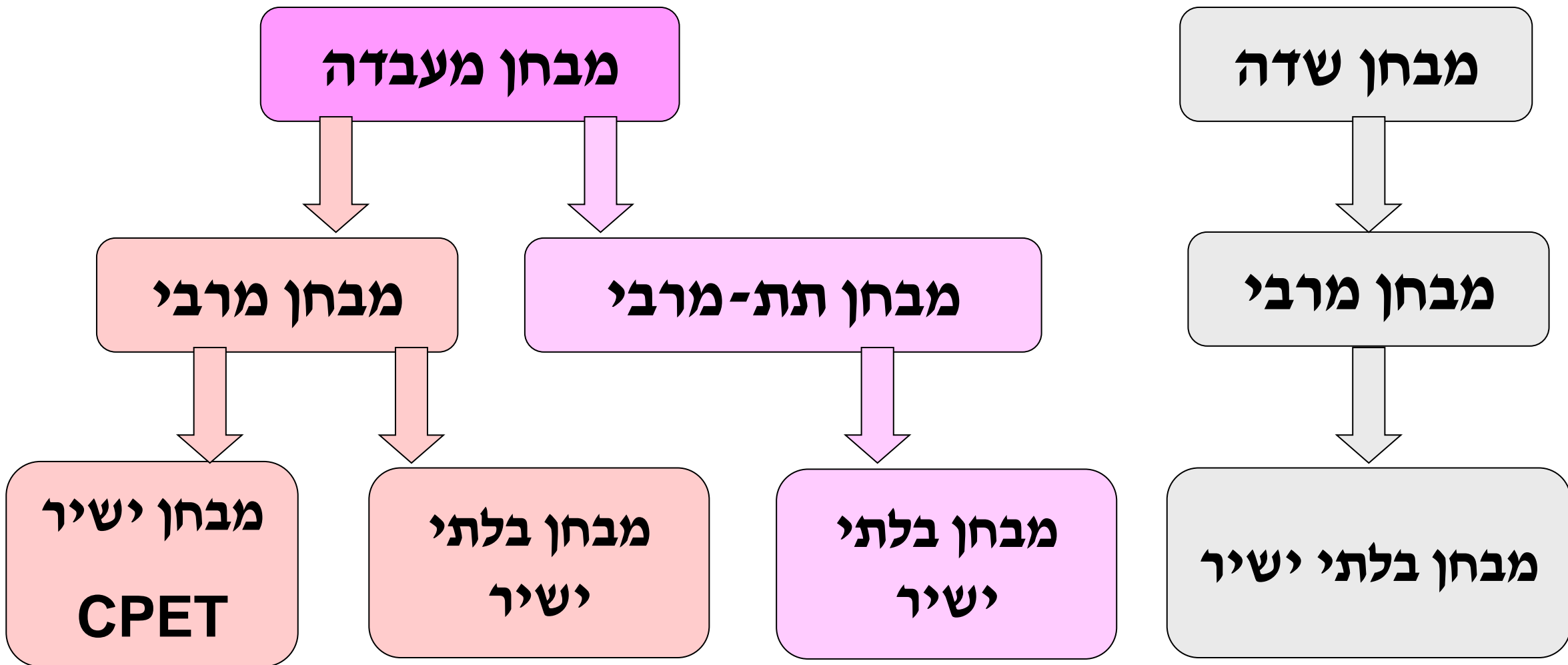
צריכת החמצן של ניר ואבי במהלך מאמץ מדורג

מי בכושר אירובי יותר טוב?

- לאבי צריכת חמצן מרבית גבוהה יותר
- אבי מסוגל לצרוך יותר חמצן בכל יחידת זמן
- אבי מסוגל להפיק הספק אנרגטי גדול יותר במסלול האירובי



מבדקי מאמץ למדידת/הערכת צריכת חמצן מרבית



מבדקי שדה מירביים לחיזוי צח"מ

מבדק קופר

המטרה: לעבור בריצה, בהליכה או בשילוב שלהן מרחק גדול ככל האפשר
ב-12 דקות.

חיזוי צח"מ עפ"י הישג במבדק קופר	
מרחק במטר	צח"מ חזוי מ"ל/ק"ג/דק'
3200	60

מבדק ריצה ל-2 ק"מ

חיזוי צח"מ על פי ההישג בריצת 2,000 מטר			
		תוצאה	
		דקות	שניות
		7	30
VO2max	מהירות בקמ"ש	זמן בשניות	מרחק בק"מ
57	16.0	450	2

מבדק ריצה ל-3 ק"מ

חיזוי צח"מ על פי ההישג בריצת 3,000 מטר			
		תוצאה	
		דקות	שניות
		13	15
VO2max	מהירות בקמ"ש	זמן בשניות	מרחק בק"מ
53	13.6	795	3

מבדקי מעבדה/ח. כושר מירביים לחיזוי צח"מ

חיזוי צריכת חמצן מרבית על בסיס פרוטוקולים של הליכה המקובלים
בבדיקות מאמץ (החיזוי מדויק במהירויות מרביות של עד 6 קמ"ש)

חיזוי צח"מ במאמץ מדורג, הליכה, החיזוי מדויק במהירות 3-6 קמ"ש		
חיזוי צריכת חמצן עפ"י מהירות הליכה (קמ"ש) ושיפוע		
מהירות בקמ"ש	שיפוע ב- %	צריכת חמצן מרבית חזויה, מ"ל/ק"ג/דק'
5	16	36

נוסחת החישוב שתיבחר במהירויות שבין 6-8 קמ"ש תהיה על פי תבנית התנועה של הנבדק: ריצה או הליכה

חיזוי צריכת חמצן מרבית על בסיס פרוטוקולים של ריצה המקובלים בבדיקות מאמץ (החיזוי מדויק במהירויות מרביות שמעל 8 קמ"ש)

חיזוי צח"מ במאמץ מדורג, ריצה, החיזוי מדויק במהירות < 8 קמ"ש		
חיזוי צריכת חמצן עפ"י מהירות ריצה (קמ"ש) ושיפוע		
מהירות בקמ"ש	שיפוע ב- %	צריכת חמצן מרבית חזויה, מ"ל/ק"ג/דק'
9.6	12	53

נוסחת החישוב שתיבחר במהירויות שבין 6-8 קמ"ש תהיה על פי תבנית התנועה של הנבדק: ריצה או הליכה

חיזוי צריכת שיא של חמצן (VO_2 peak) על בסיס פרוטוקולים מקובלים בבדיקות מאמץ על אופניים ארגומטריים.

חיזוי צריכת שיא של החמצן במאמץ מדורג ברכיבה על אופניים - גברים	
300	הספק בוואט
80	משקל הנבדק בק"ג
50	גיל בשנים
3656	צריכת שיא של חמצן מ"ל/דקה
46	צריכת שיא של חמצן מ"ל/ק"ג/דקה

חיזוי צריכת שיא של החמצן במאמץ מדורג ברכיבה על אופניים - נשים	
200	הספק בוואט
60	משקל הנבדק בק"ג
40	גיל בשנים
2242	צריכת שיא של חמצן מ"ל/דקה
37	צריכת שיא של חמצן מ"ל/ק"ג/דקה

מבדקי מעבדה/ח. כושר תת-מירביים לחיזוי צח"מ

מבחן אסטרנד

- זהו מבחן של שלב אחד, המבוצע על אופניים ארגומטריים ונמשך 6 דקות. העומס נקבע עפ"י המפתח המוצג בטבלה.
- כדי שהחיזוי יהיה מהימן הנבדק צריך להגיע לערכי דופק שבין 125 ל-170 בהספק המכאני שנבחר. אם לאחר 6 דקות קצב הלב לא הגיע ל-125 פע"/ד' יש להעלות את העומס ב-50 ואט ולהמשיך את המבחן 6 דקות נוספות.

נשים		גברים	
מאומנות	לא מאומנות	מאומנים	לא מאומנים
100-75 ואט	75-50 ואט	150-100 ואט	100-50 ואט

חיזוי צריכת שיא של החמצן, מ"ל/ק"ג/דק' - אסטרנד גברים

VO2max	צריכת חמצן במאמץ תת מרבי	משקל גוף בק"ג	הספק בוואט	דופק	גיל
38	27	70	130	148	45

חיזוי צריכת שיא של החמצן, מ"ל/ק"ג/דק' - אסטרנד נשים

VO2max	צריכת חמצן במאמץ תת מרבי	משקל גוף בק"ג	הספק בוואט	דופק	גיל
53	30	48	100	139	29

מבחן השלבים של YMCA עם אופניים ארגומטריים



מבחן בן 2 שלבים תת-מרביים שבהם
נבדקת תגובת הדופק למאמץ

המבדק לא מתאים לאנשים שלוקחים תרופות שמשפיעות
על הדופק (חוסמי בטא לטיפול ביתר לחץ דם)

- מבחן בן 2-4 שלבים שבהם נבדקת תגובת הדופק להספקים מכניים שונים
- הדופק צריך להיות בטווח שבין 110 פעי/ד' ל-85% מהדופק המרבי עפ"י נוסחת חיזוי.
- כל שלב נמשך 3 דקות. הדופק נמדד פעמיים: ב-15 השניות האחרונות של הדקה השנייה וב-15 השניות האחרונות של הדקה השלישית. אם יש הבדל של יותר מ-5 פעימות בין המדידות יש להמשיך באותו שלב במשך דקה נוספת.
- עפ"י הדופק בשלב הראשון (25 ואט), הפרוטוקול נקבע לשלושת השלבים הבאים.
- המבדק מסתיים כאשר בוצעו כל השלבים או הנבדק הגיע ל-85% מהדופק המרבי
- לטובת חיזוי צריכת השיא של החמצן משתמשים בנתוני ההספק והדופק של 2 השלבים האחרונים

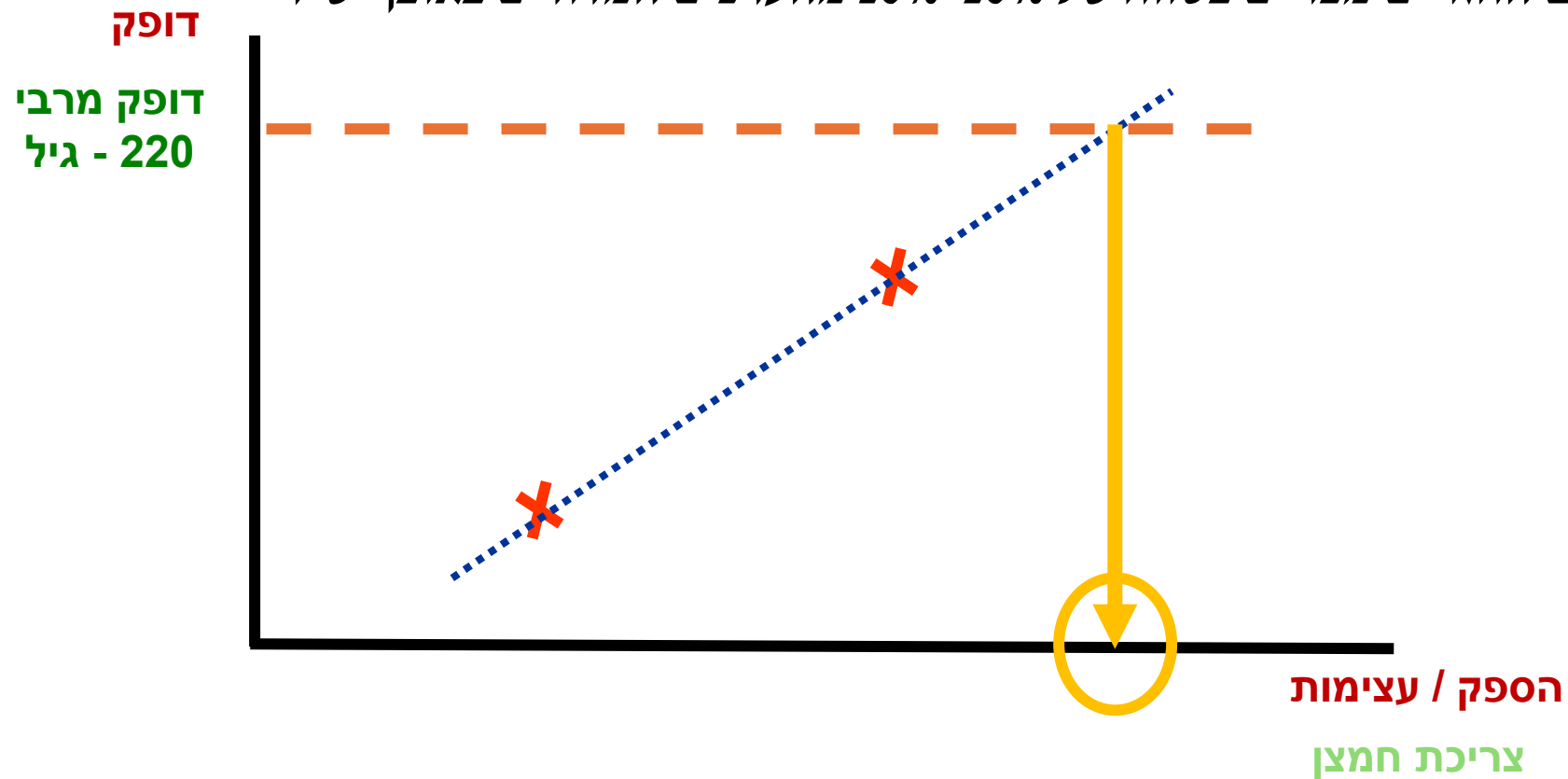
25 ואט (150 קג"מ/דקה)				שלב 1
100< פרוטוקול ד	100-91 פרוטוקול ג'	90-80 פרוטוקול ב'	80> פרוטוקול א'	דופק בסיום שלב 1
50 ואט (300 קג"מ/דקה)	75 ואט (450 קג"מ/דקה)	100 ואט (600 קג"מ/דקה)	125 ואט (750 קג"מ/דקה)	שלב 2
75 ואט (450 קג"מ/דקה)	100 ואט (600 קג"מ/דקה)	125 ואט (750 קג"מ/דקה)	150 ואט (900 קג"מ/דקה)	שלב 3
100 ואט (600 קג"מ/דקה)	125 ואט (750 קג"מ/דקה)	150 ואט (900 קג"מ/דקה)	175 ואט (1050 קג"מ/דקה)	שלב 4

מחשבון

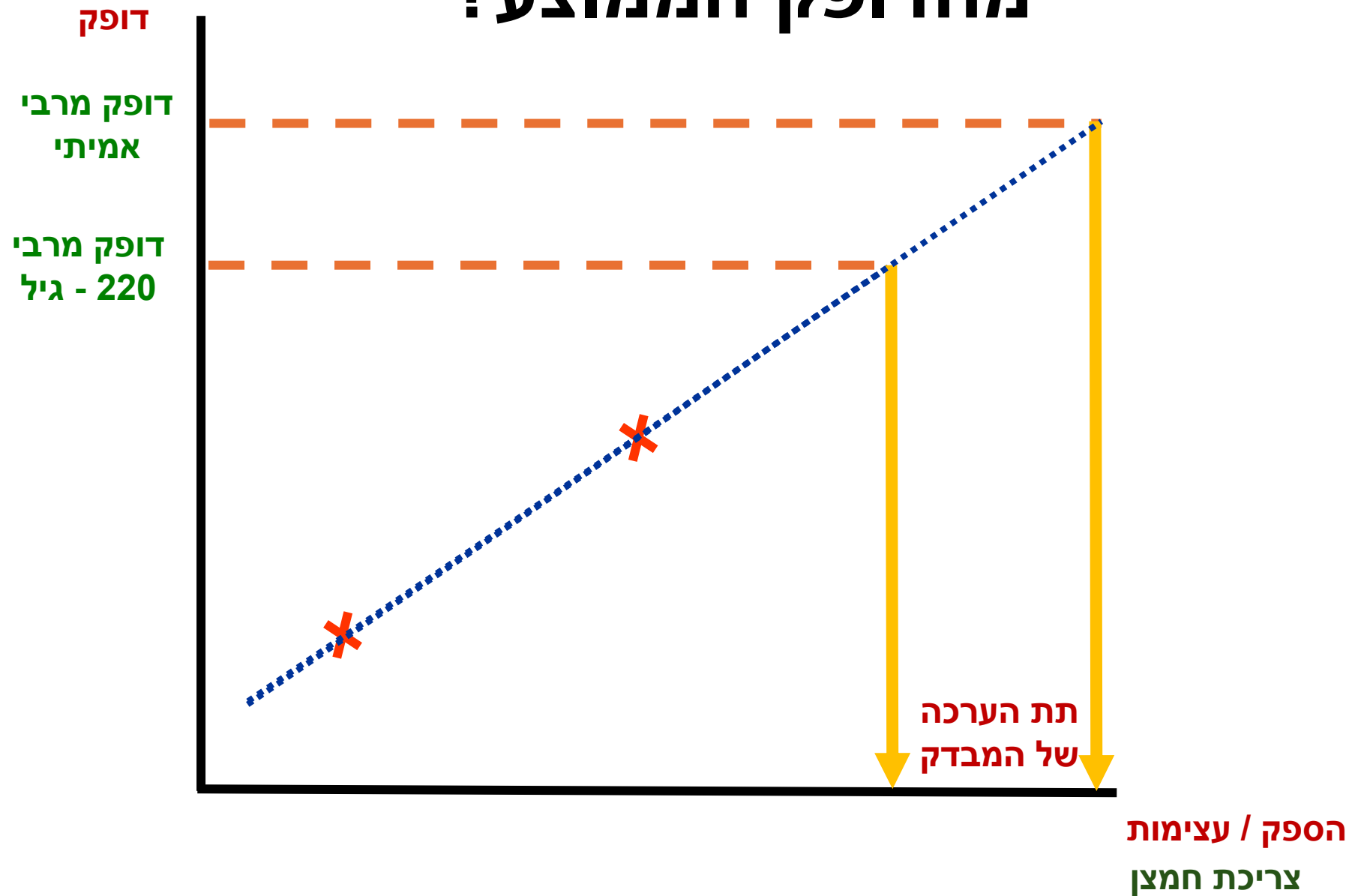
חיזוי צריכת שיא של החמצן (מ"ל/ק"ג/דק') עפ"י פרוטוקול אופניים						
					45	גיל
VO2 peak	b	VO2	דופק	הספק בואט	משקל	שלב
39	0.26	27	130	150	80	1
		31	143	175	80	2

הנחות יסוד שבבסיס מבחן השלבים:

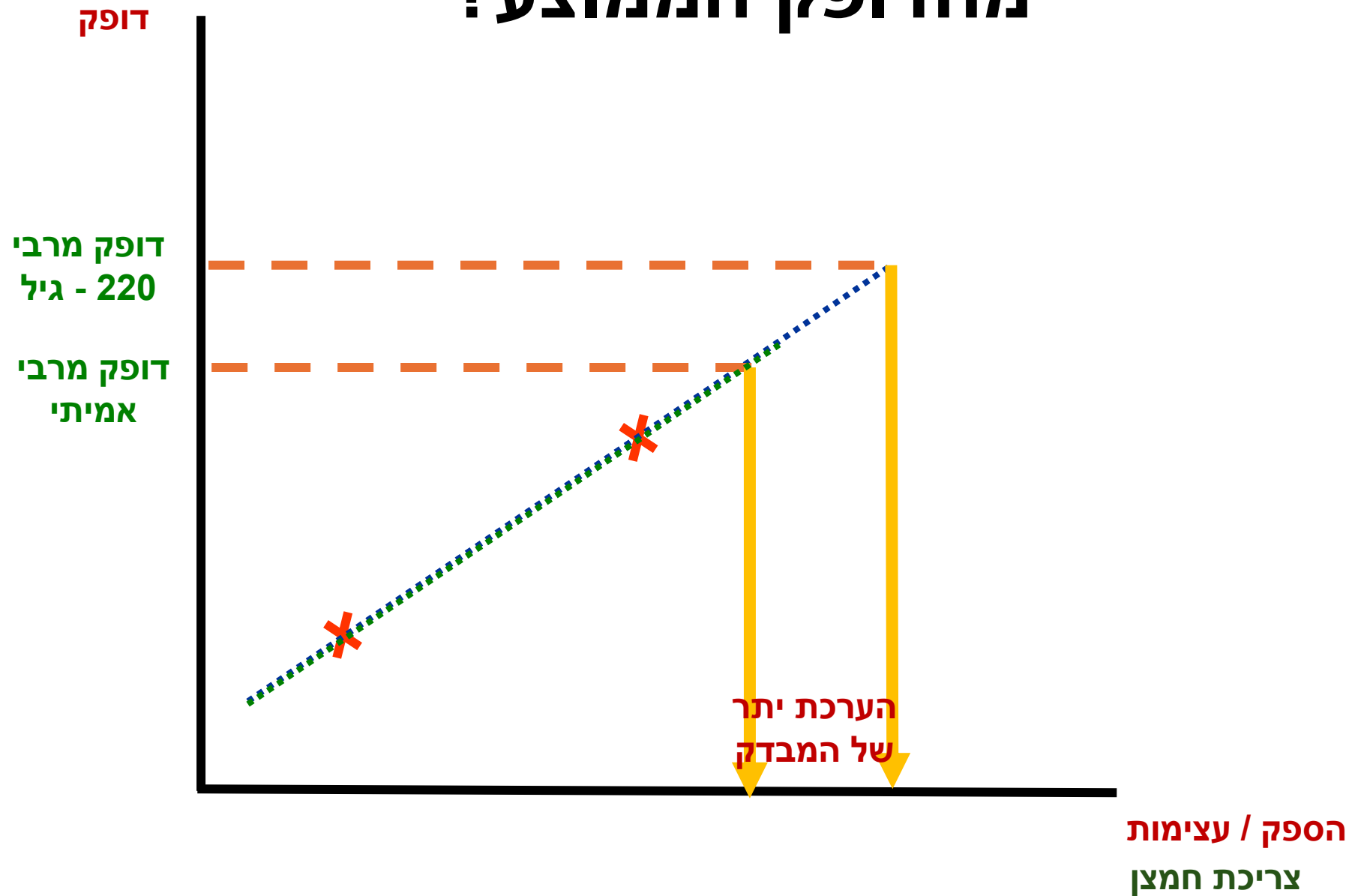
- יחס לינארי בין עצימות (הספק חיצוני) ודופק. שתי נקודות יאפשרו לשרטט את קו הרגרסיה
- היעילות המכנית דומה אצל רוב האנשים (הספק~צריכת חמצן)
- דופק מרבי: 220 - גיל
- בדופק המרבי מגיעים להספק המרבי = צח"מ
- הערכים החזויים מצויים בטווח של 10%-20% מהערכים המדודים באופן ישיר



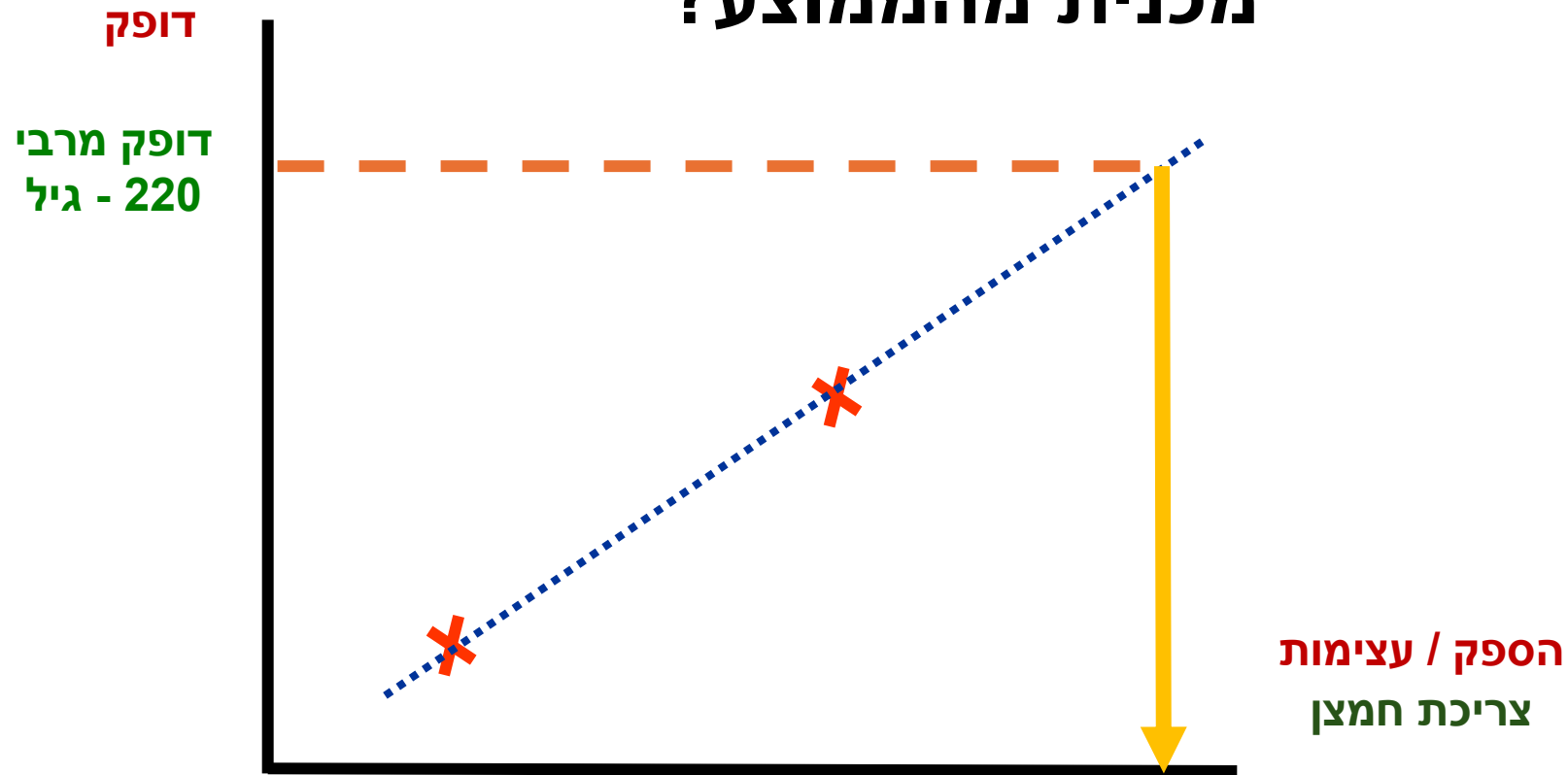
מה יקרה אם הדופק המרבי גבוה מהדופק הממוצע?



מה יקרה אם הדופק המרבי נמוך מהדופק הממוצע?



מה יקרה אם הנבדק יעיל מכנית/פחות יעיל מכנית מהמוצע?

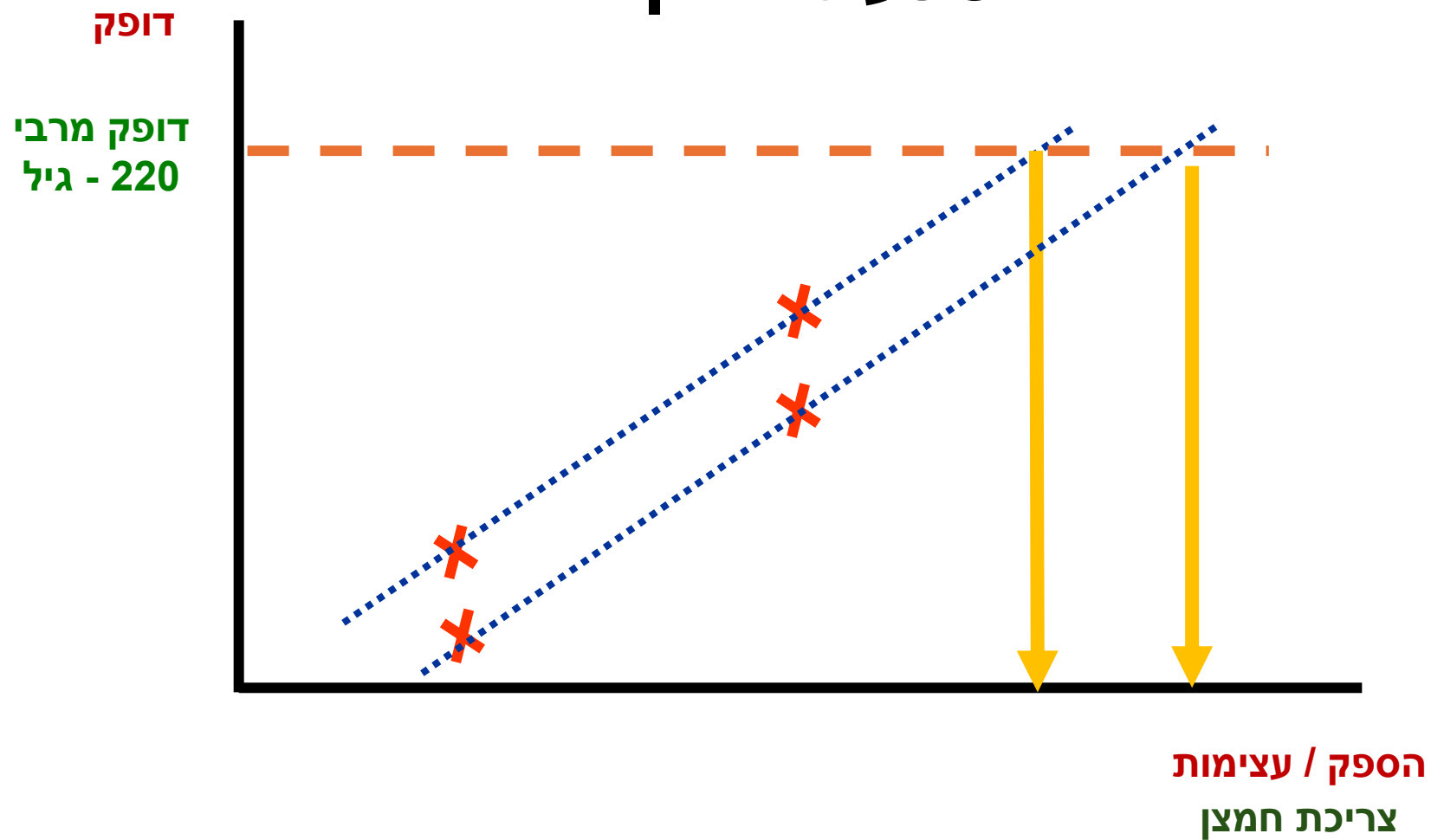


יעילות מכנית ממוצעת = X צריכת חמצן

יעיל מכנית = $X <$ צריכת חמצן = הערכת יתר של צח"מ

פחות יעיל מכנית = $X >$ צריכת חמצן = תת הערכה של צח"מ

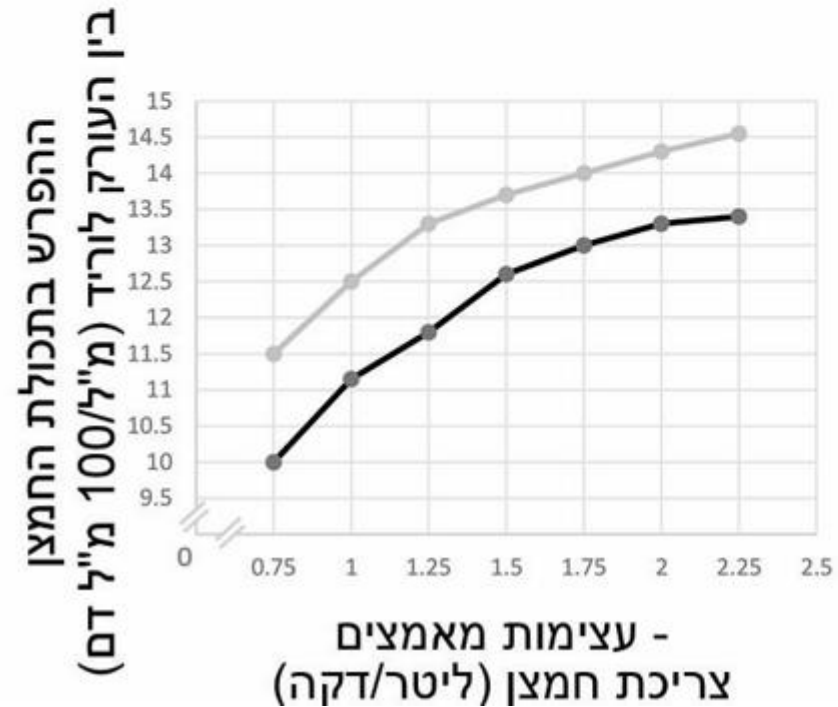
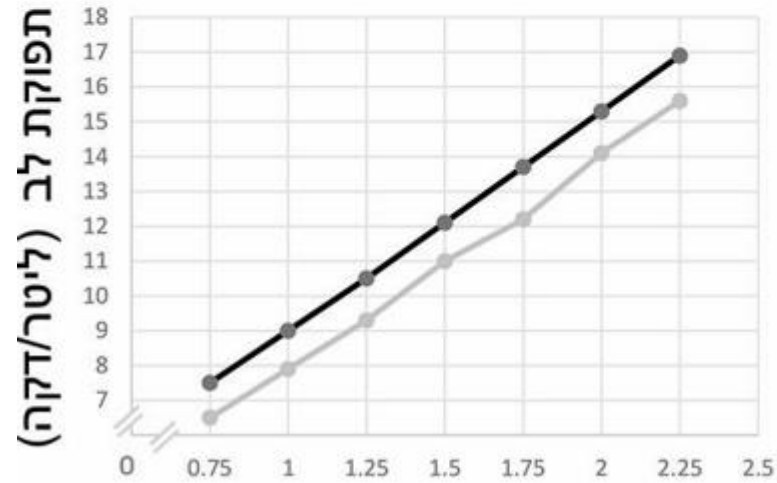
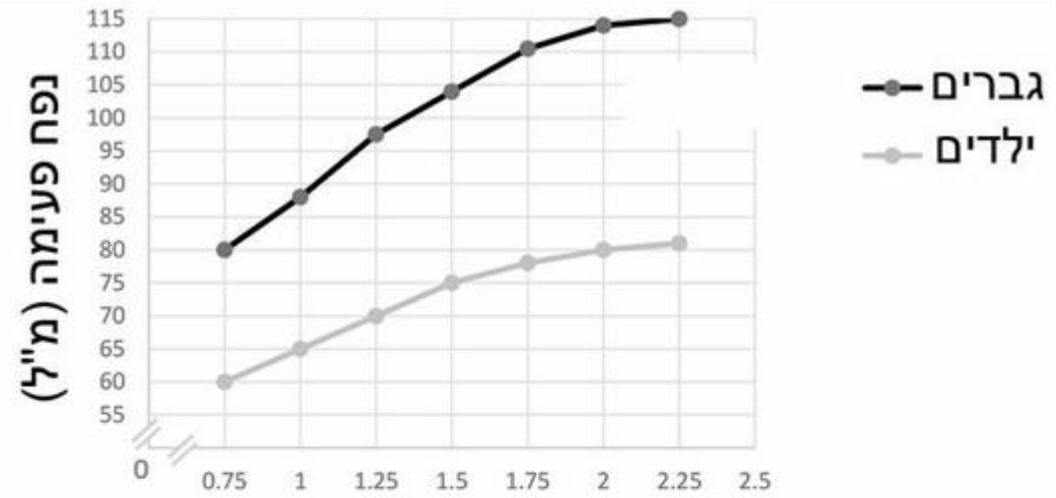
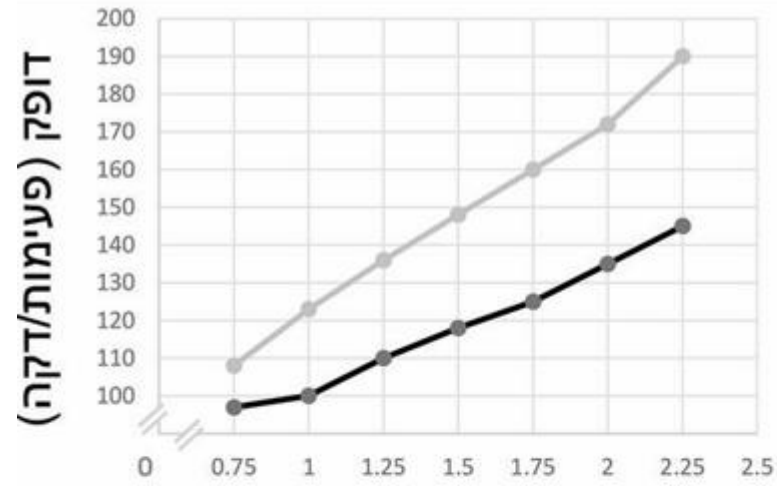
השפעת אימון



צריכת חמצן של צעירים בעת מאמץ תת-מרבי

- נפח הפעימה של ילד קטן משל מבוגר במנוחה ובמאמץ תת-מרבי נתון.
- הילד מפצה על כך באופן חלקי בדופק גבוה יותר.
- תפוקת הלב של ילד בעת מאמץ נתון קטנה משל המבוגר.
- בכדי לשמור על צריכת חמצן מתאימה, ההפרש בתכולת החמצן בין העורק לוריד אצל ילדים גדול מזה של מבוגרים בעת ביצוע מאמץ תת מרבי נתון.

מדדי השרשרת הפיזיולוגית של ילד ומבוגר בעת מאמץ תת מרבי במגוון עצימויות



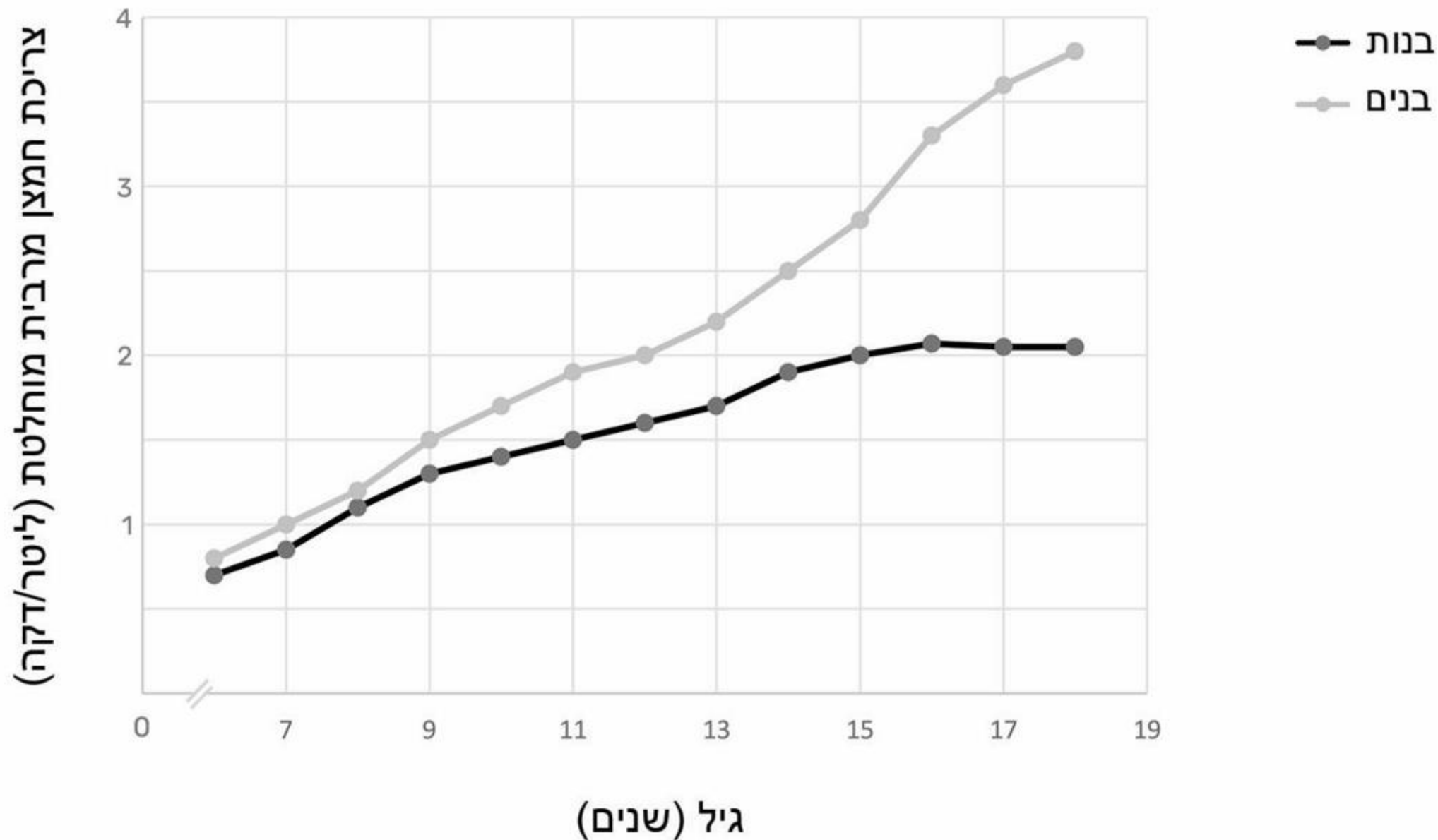
- עצימות מאמצים
צריכת חמצן (ליטר/דקה)

- עצימות מאמצים
צריכת חמצן (ליטר/דקה)

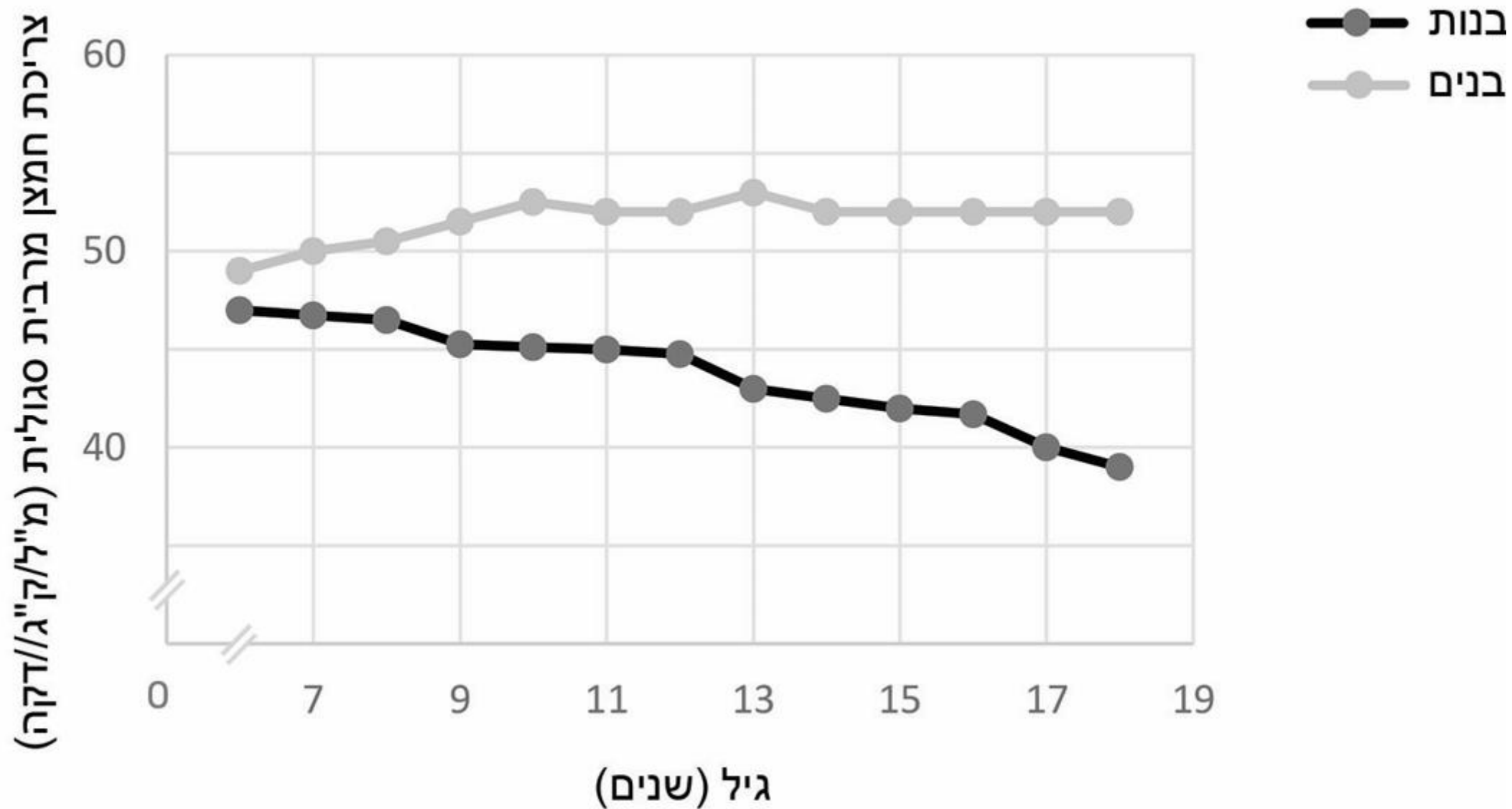
השינוי בצריכת החמצן המרבית אצל בנים ובנות עם העלייה בגיל

- ערכי הצח"מ שמבוטאים בערכים מוחלטים (ליטר/דק') עולים אצל בנים ובנות מגיל 6 ועד 18 ומגיל 6 ועד 15 בהתאמה. עלייה זו מיוחסת לגדילה הטבעית בכלל ובמסת השרירים בפרט.
- ערכי הצח"מ שמבוטאים בערכים סגוליים אינם שונים באופן מהותי אצל בנים מגיל 6 ועד 18. אצל בנות ישנה ירידה קטנה בצח"מ הסגולית בגילאים 6-13 ואח"כ נצפית ירידה ניכרת שמיוחסת לעלייה במסת השומן.
- בפעילויות הכרוכות בנשיאת משקל גוף כמו ריצה, הבנים לא אמורים להיות בעמדה נחותה מאחר והצח"מ הסגולית שלהם דומה לזו של אדם בוגר. למרות זאת, בנים אינם יכולים לעמוד בקצבים של המבוגרים בצריכת חמצן סגולית נתונה מאחר וישנם הבדלים מהותיים ביניהם ביעילות המכנית.

השינוי בצח"מ המוחלטת עם העליה בגיל



השינוי בצח"מ הסגולית עם העלייה בגיל

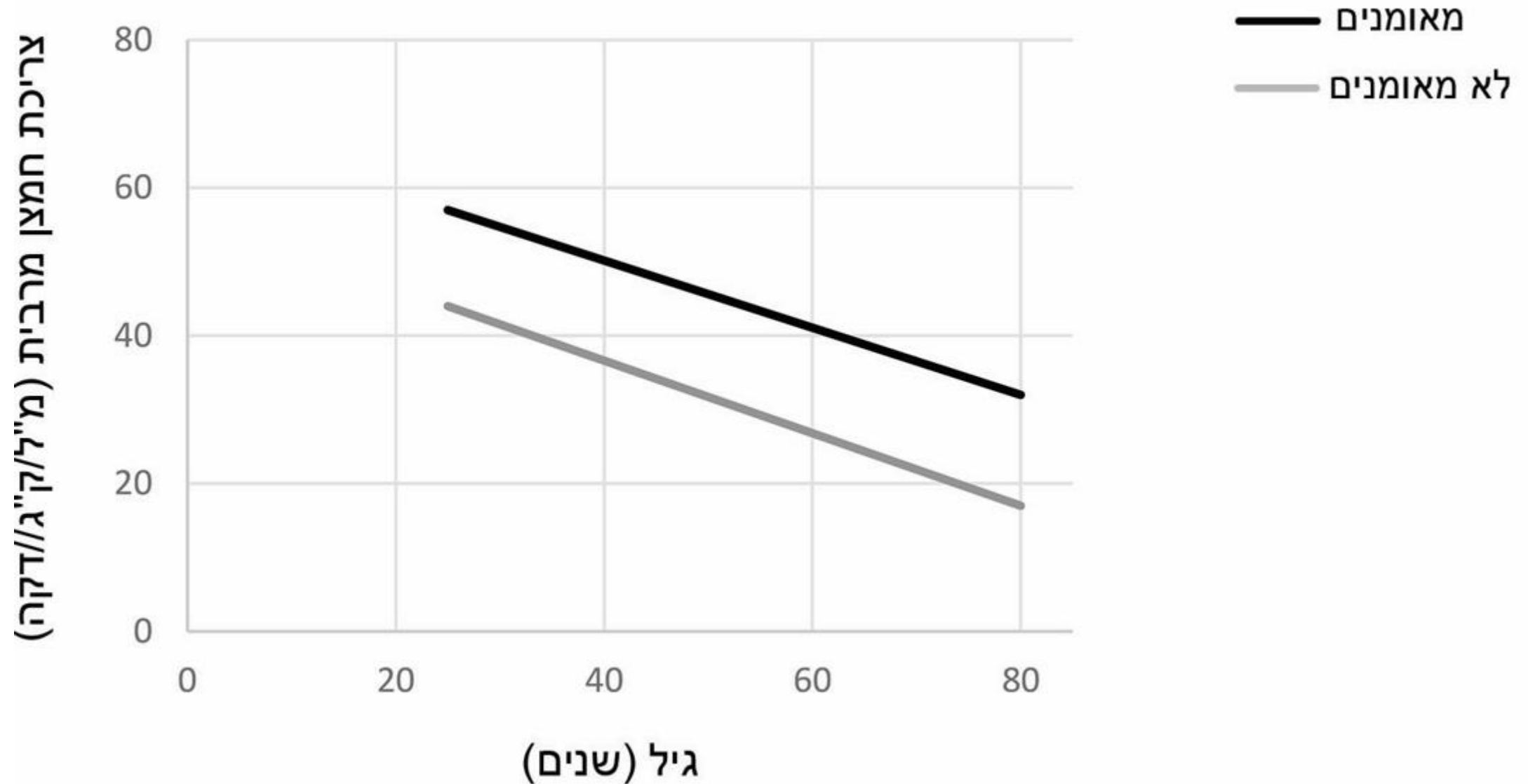


ירידה בתפקודים הפיזיולוגיים וההפחתה הנלווית בצח"מ המתרחשים

עם העלייה בגיל

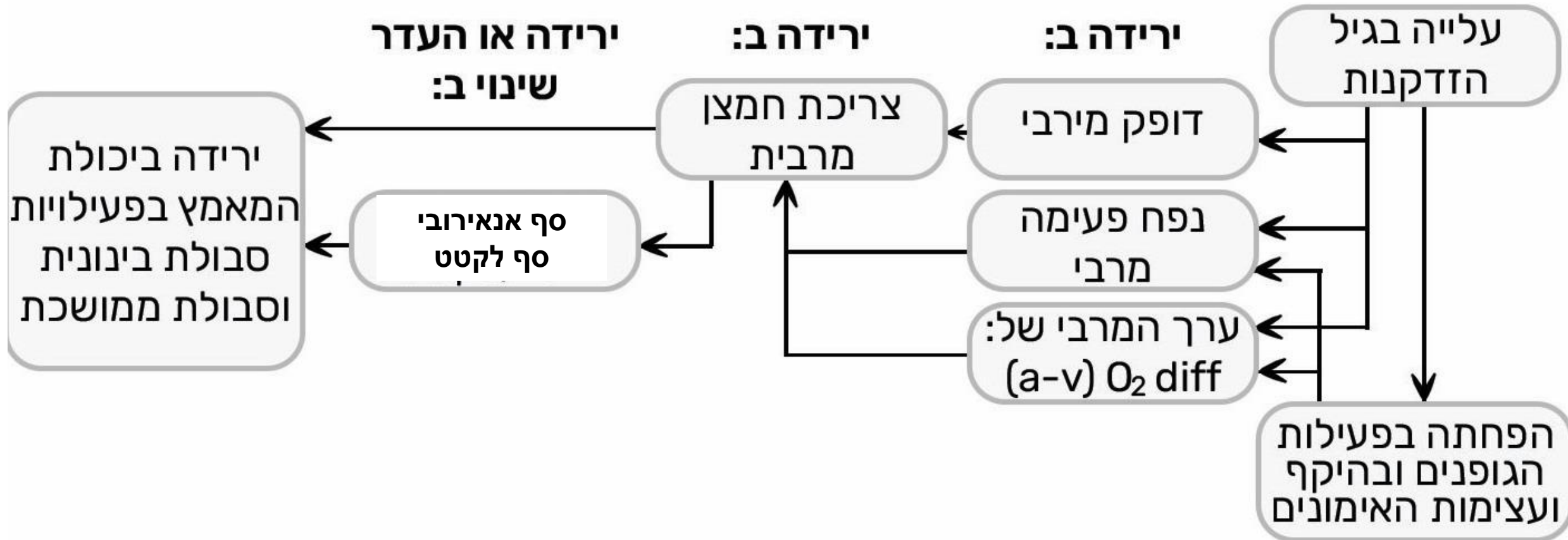
- קצב הלב המרבי פוחת עם העלייה בגיל בשיעור של קצת פחות מ- 1 פעימה בשנה. שינוי זה חל ללא הבדל בין נשים לגברים ובין מאומנים ללא מאומנים.
- יכולת ההתכווצות של הלב ותגובתו לגירוי של קאטכולמינים פוחתות בגילאים מבוגרים. כמו כן, המנגנון של פרנק סטרלינג פחות יעיל עקב נוקשות של העלייה והחדר השמאליים. השינויים שצוינו גורמים לירידה משמעותית בנפח הפעימה. כתוצאה מהירידה בקצב הלב המרבי ובנפח הפעימה נצפית גם ירידה בתפוקת הלב המרבית.
- ההפחתה במסת השרירים והירידה בזרימת הדם לשרירים לאחר העשור החמישי לחיים, מקטינה את יכולת מיצוי החמצן מהעורקים על-ידי השרירים ומתבטאת בהקטנת ההבדל המרבי בתכולת החמצן בדם בין העורקים לוורידים $[(a - v) O_2 \text{ diff}]$.

השינוי בצח"מ עם העלייה בגיל

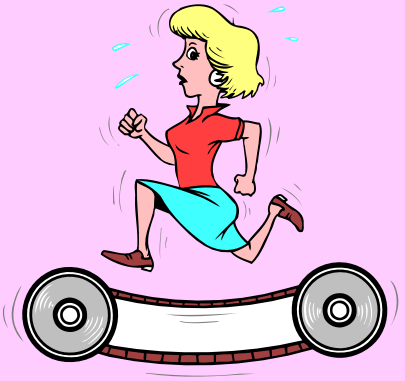


שינויים פיזיולוגיים שמתרחשים עם העלייה בגיל

וגורמים לירידה ביכולת האירובית

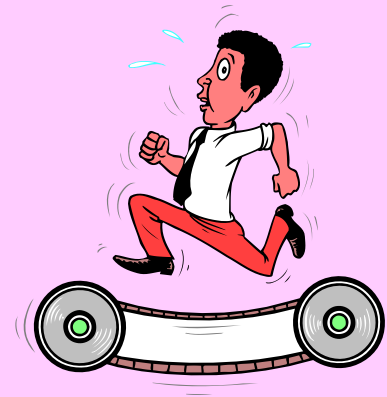


הבדלים בין המינים בערכי הצח"מ

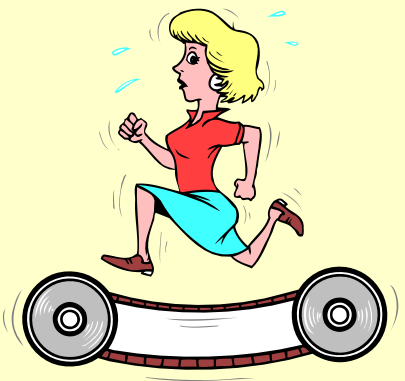


צח"מ מוחלטת

עד 40%



סיבה: גוף גדול - מסת שרירים גדולה



צח"מ סגולית

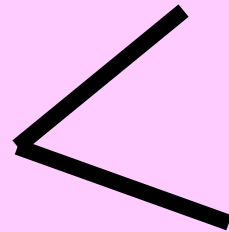
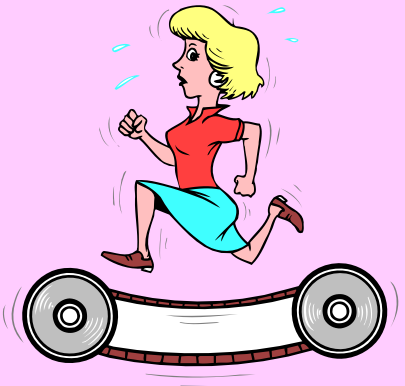
30%-15%



סיבה: הרכב גוף שונה

הבדלים בין המינים בערכי הצח"מ

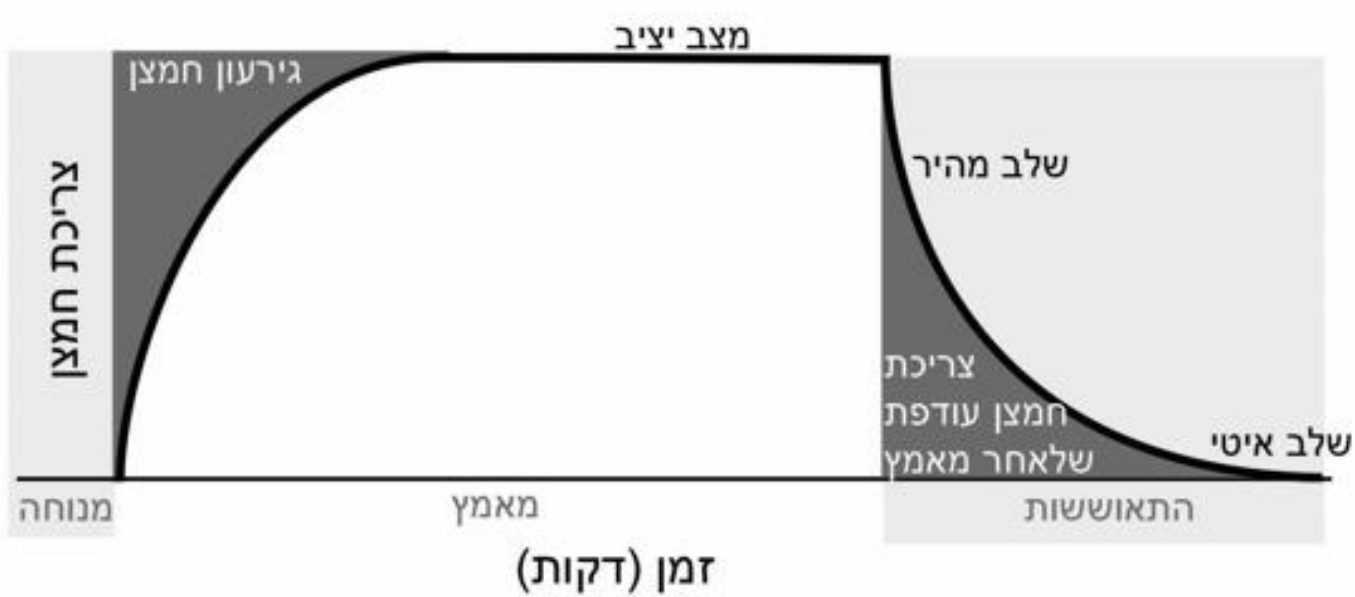
צח"מ סגולית - מסת גוף רזה בלבד



12% - 8%

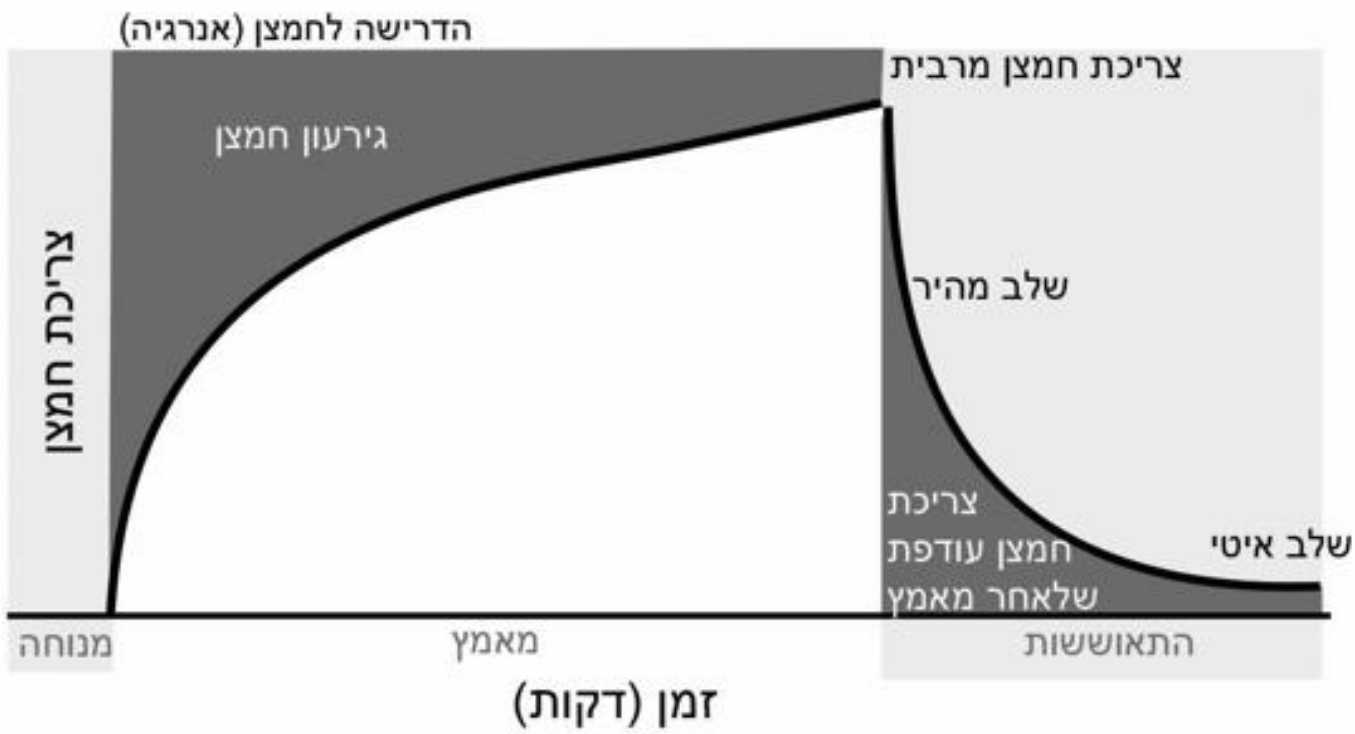


סיבה: תפוקת לב מרבית ורמות
המוגלובין נמוכות אצל הנשים



צריכת חמצן עודפת

שלאחר מאמץ



EPOC (Excess Post exercise

Oxygen Consumption)

צריכת חמצן עודפת שלאחר מאמץ

בעבר כונתה "חוב חמצן"

שלב מהיר (2-3 דקות)

- חידוש תרכובות הפוספט ע"י המסלול האירובי
- חידוש מאגרי החמצן (מומס, קשור למיוגלובין ולהמוגלובין)

שלב איטי (מספר שעות - תלוי בעצימות ובמשך המאמץ)

- הגברת המטבוליזם עקב עליית טמפרטורת הגוף

שלב איטי (המשך)

- פעילות מוגברת של שרירי הנשימה עקב עלייה באוורור הריאתי שחלה במאמצים שגרמו לעלייה בחומציות הדם
- פעילות מוגברת של הלב
- חידוש רקמות
- החזרת ריכוזי היונים לרמתם שלפני המאמץ
- השפעת ההורמונים אפינפרין, נוראפינפרין ותירוקסין על המטבוליזם
- בנייה מחדש של גליקוגן מלקטט בכבד

