

הפיזיולוגיה של המאמץ

מהלכה למעשה



— שחר ניס —

פרק 2.3

מסלולי אספקת

אנרגיה

אנרגיה (Energy) - היכולת לחולל שינוי, היכולת לבצע עבודה.

- **סוגי / צורות אנרגיה:**

- **כימית**

- **מכנית (קינטית - תנועה)**

- **חום**

- **אור**

- **חשמלית**

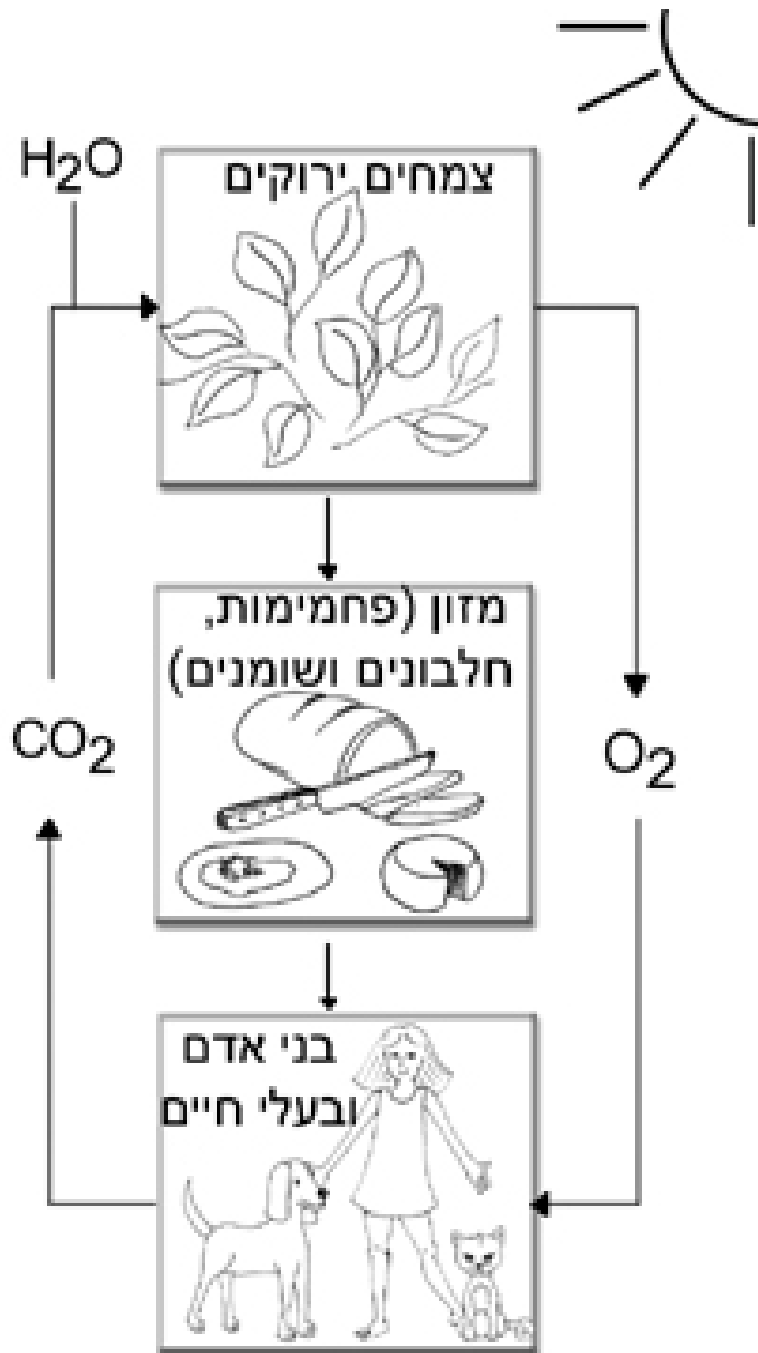
- **אטומית**

- **חוק שימור האנרגיה - אנרגיה אינה נעלמה ואינה נוצרת מאליה**

- **המרת אנרגיה - שינויים בצורת האנרגיה**

- **גלגולי אנרגיה - מכלול התהליכים שבהם מועברת אנרגיה מגוף לגוף ו/או ממירה צורה**

מחזור האנרגיה בעולם



- פוטוסינתזה - הצמחים ממירים אנרגיית אור לאנרגיה כימית.
- הם משתמשים באנרגיית האור לצורך בנייה של פחמימות והפקת חמצן ממולקולות אי-אורגניות קטנות (מים ופחמן דו-חמצני) שנקלטות על ידם מהסביבה.
- הפחמימות הנוצרות בתהליך הפוטוסינתזה הן מקור לאנרגיה וליצירת חומרים אחרים בצמח כחלבונים, שומנים וויטמינים.
- הצמחים הם המקור היחידי לפחמימות, לחלבונים, לשומנים ולויטמינים עבור כל עולם החי.
- בני האדם ובעלי החיים מפיקים אנרגיה מפחמימות, שומנים וחלבונים תוך שימוש בחמצן ופליטת פחמן דו-חמצני

מה תפקיד שרירי השלד?

•הנעת הגוף

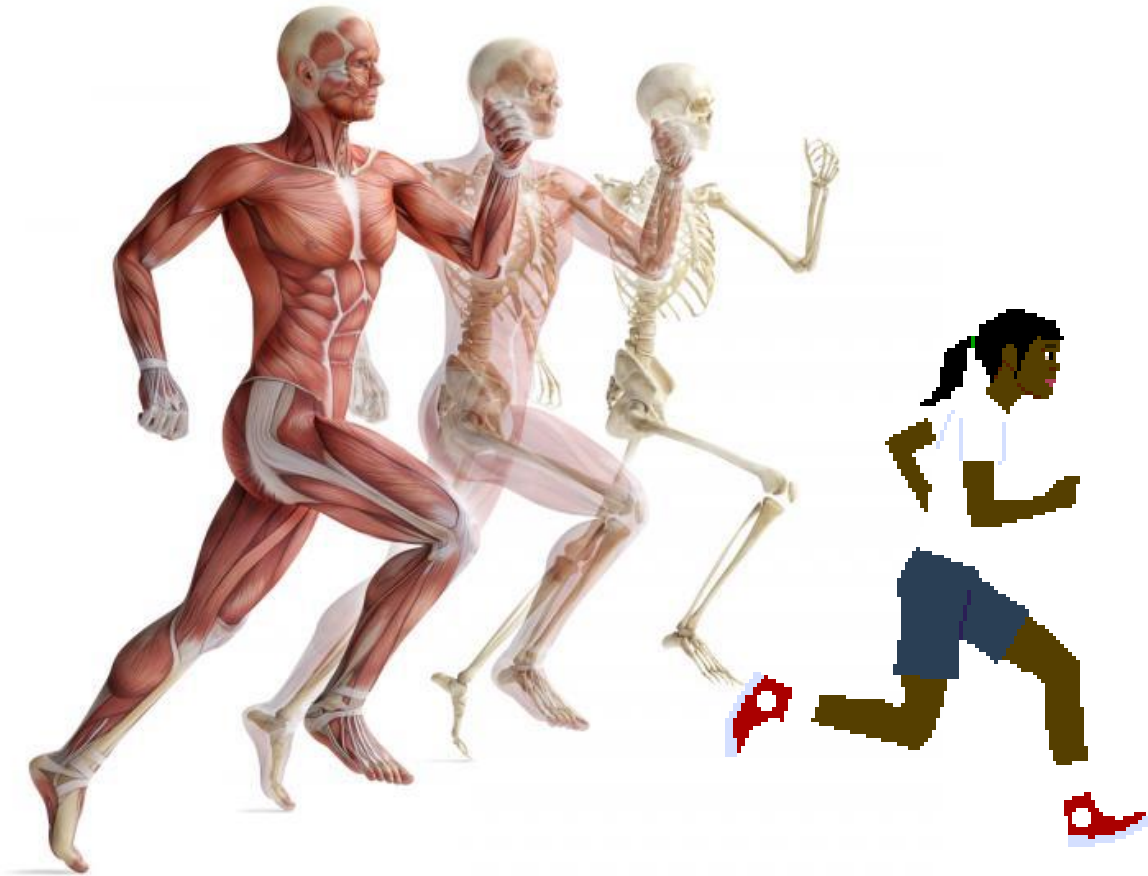
•שמירה על יציבת הגוף הזקוף

•הגנה על איברים פנימיים

•הפקת חום

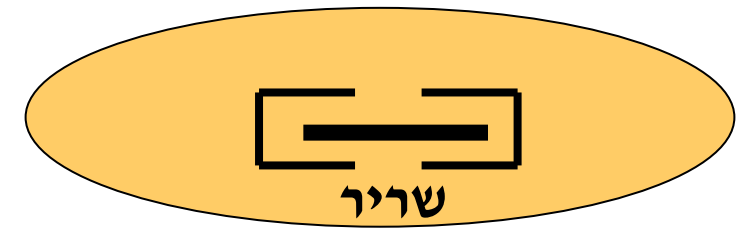
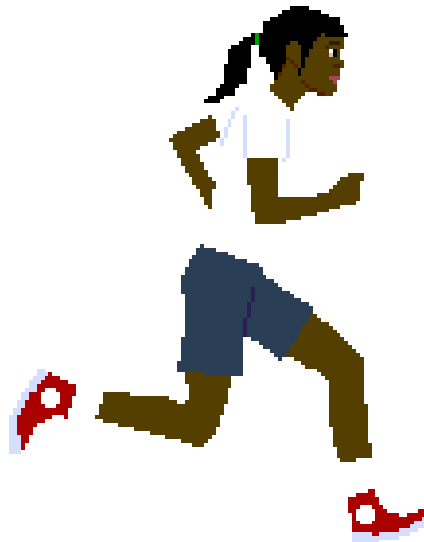
•עזרה בהחזרת הדם הווריד ללב

•ספיגת זעזועים



מה תפקיד שרירי השלד?

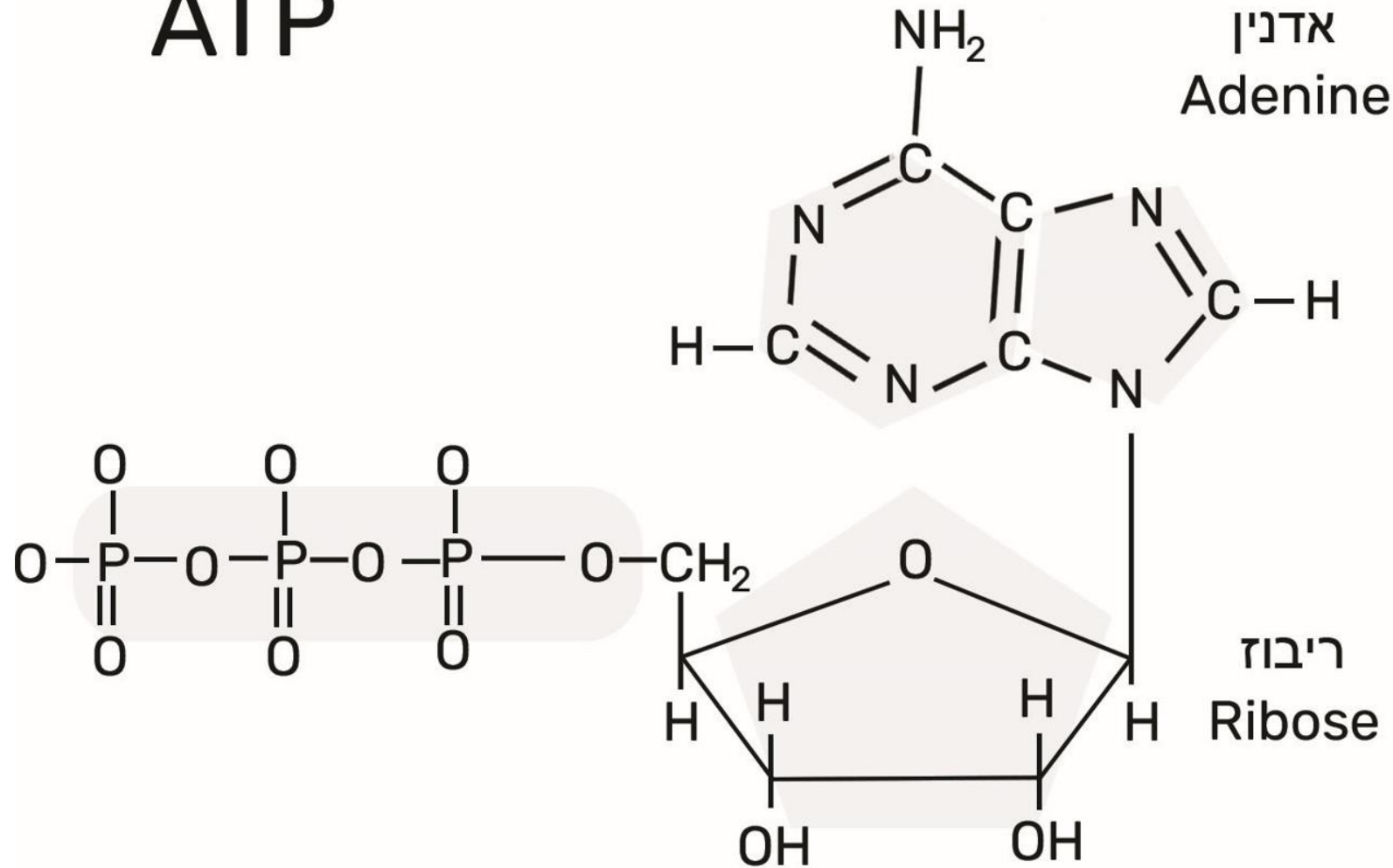
התכווצות שריר: המרה כימית (ATP) - מכנית (כיווץ / תנועה)



ביואנרגטיקה

ATP [אדנוזין טרי (שלושה) פוספט Adenosine Triphosphate]

ATP



מטבע אנרגיה

הולכה עצבית

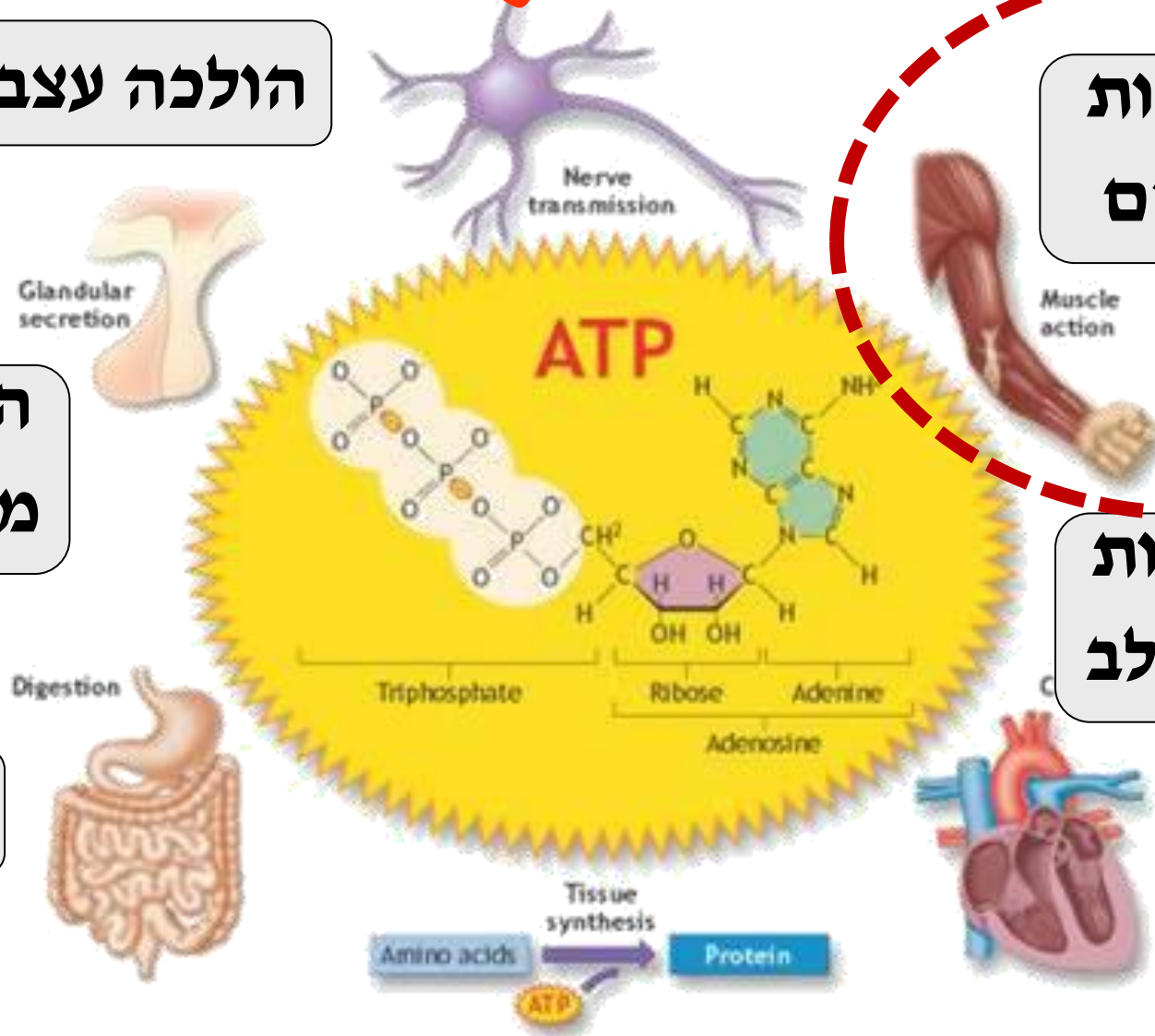
התכווצות
שרירים

הפרשה
מבלוטות

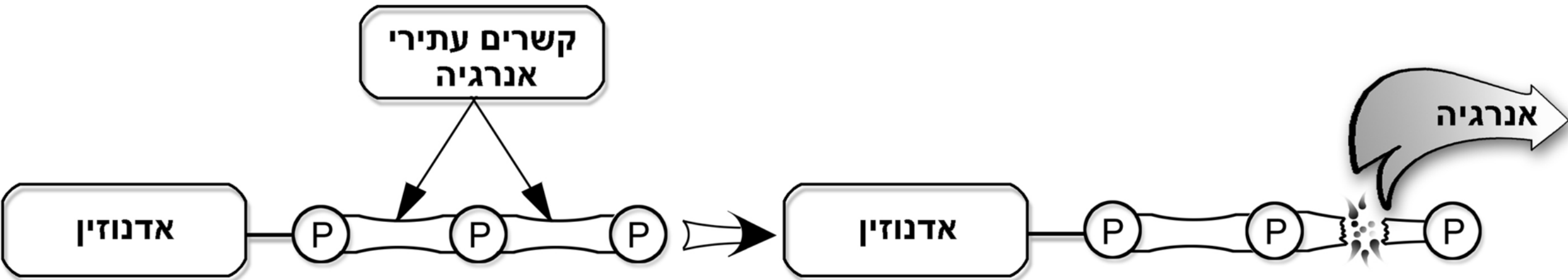
התכווצות
שריר הלב

עיכול

בניית רקמות



ATP [אדנוזין טרי (שלושה) - פוספט Adenosine Triphosphate]



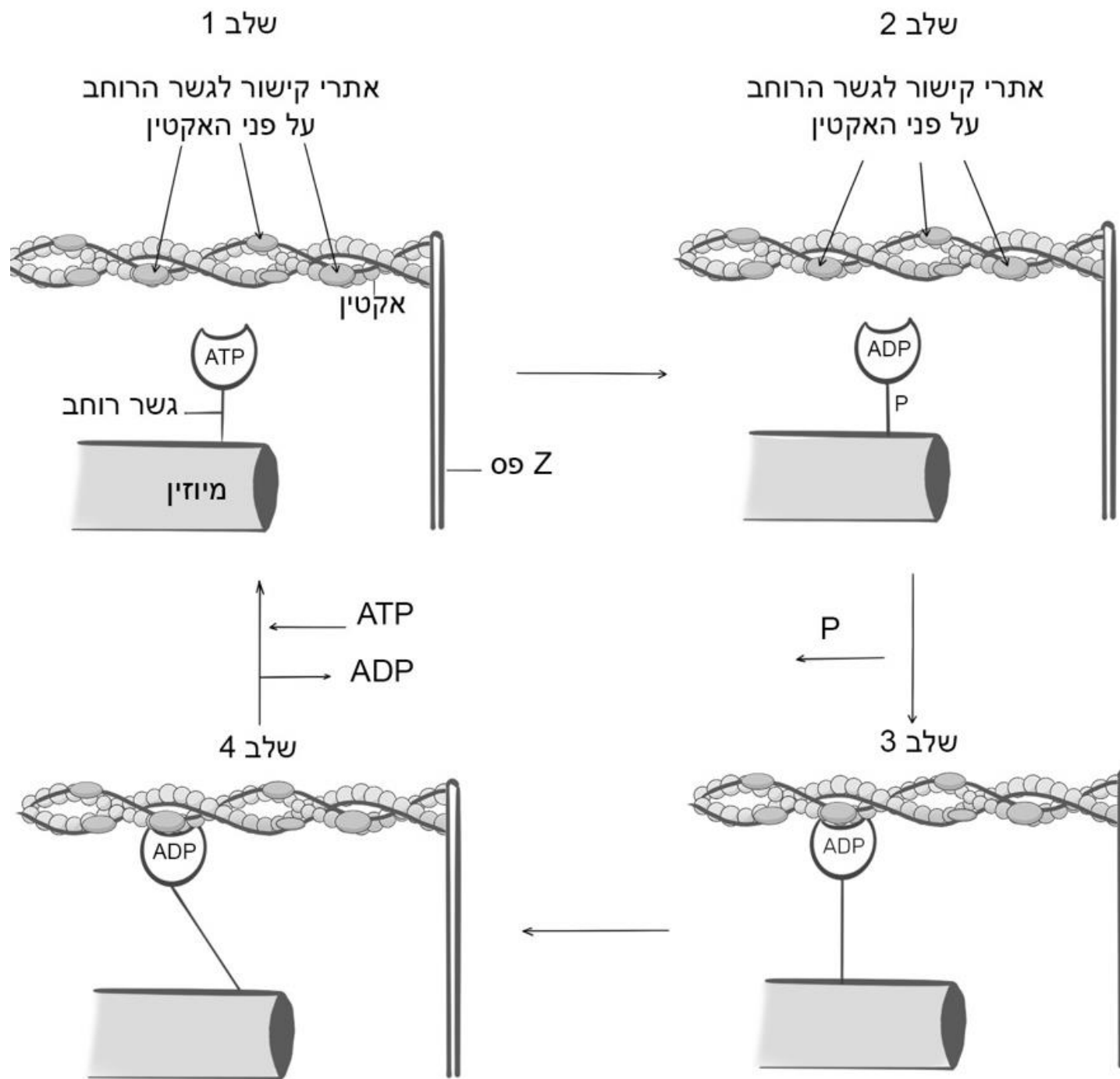
Adenosine Triphosphate (ATP)



ATPase Adenosine triphosphatase

Adenosine Diphosphate (ADP)



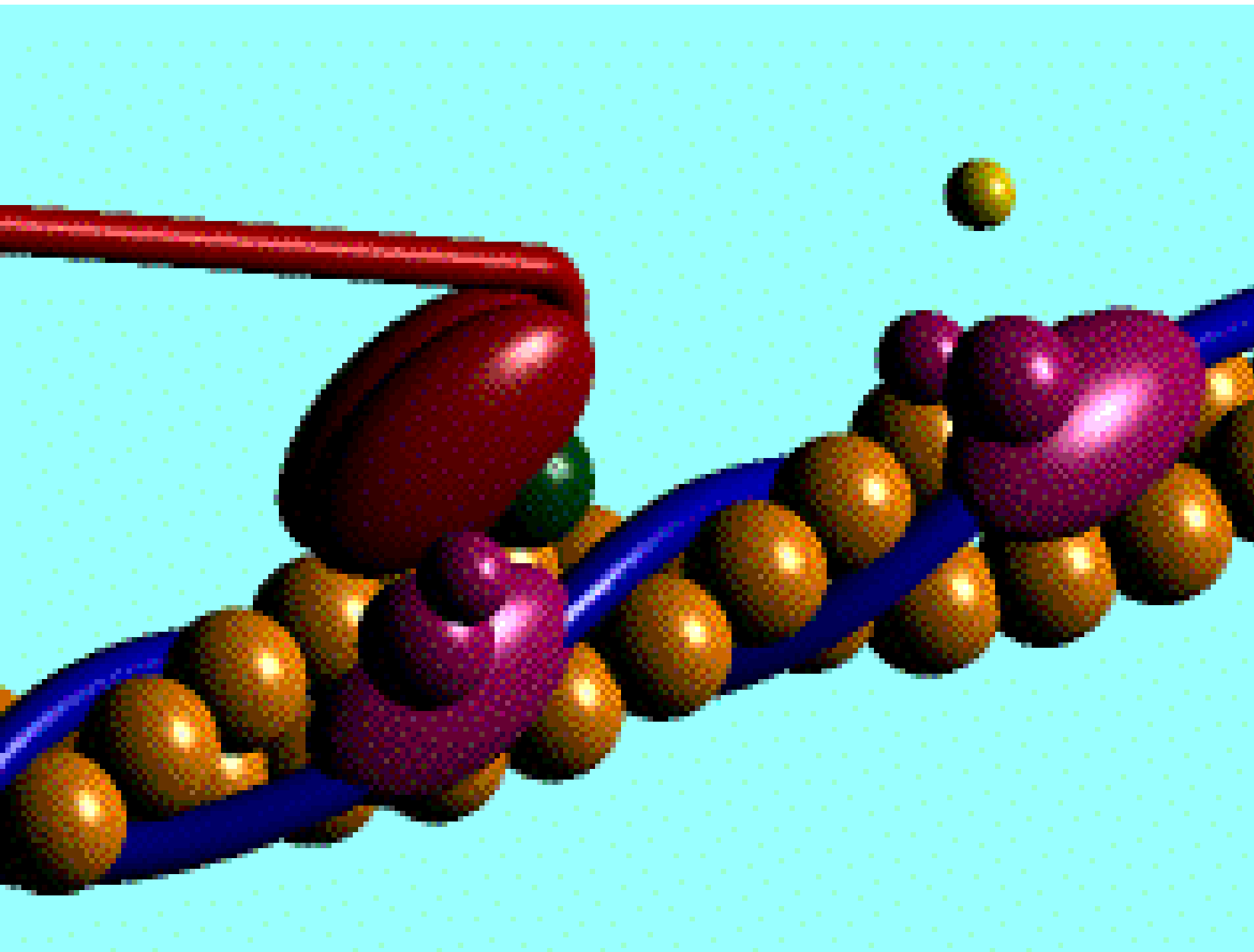


מנגנון ההתכווצות

תיאוריית הקורים

המחליקים

אקטין - מיזין



ארבעת השלבים

בתהליך

ההתכווצות



קלווין קיפטום - קניה, שיאן

עולם במרתון (שיקגו 8.10.23)



שיאן העולם במרתון, קלווין קיפטום, נהרג בתאונה

הקניאתי בן ה-24 איבד שליטה על רכבו, התנגש בעץ ומצא את מותו ביחד עם מאמנו. לפני שבוע הוכתר כאתלט השנה בעולם. קבע את השיא האדיר ב-8.10 בשיקגו

תגובה אחת



06:38 12/02/2024 | מערכת ONE



מה העלות האנרגטית? כמה קלוריות שורפים?

1. כ- 2,600

2. כ- 4500

3. כ- 1200

4. אף תשובה לא נכונה

190^e ÉDITION
TOUR de France™
 1^{er} - 23 JUILLET
 2023



3,404 ק"מ / 21 ימים

162 ק"מ/יום בממוצע

מה העלות האנרגטית? כמה קלוריות "שורפים" הרוכבים ביום רכיבה בטור דה-פרנס?

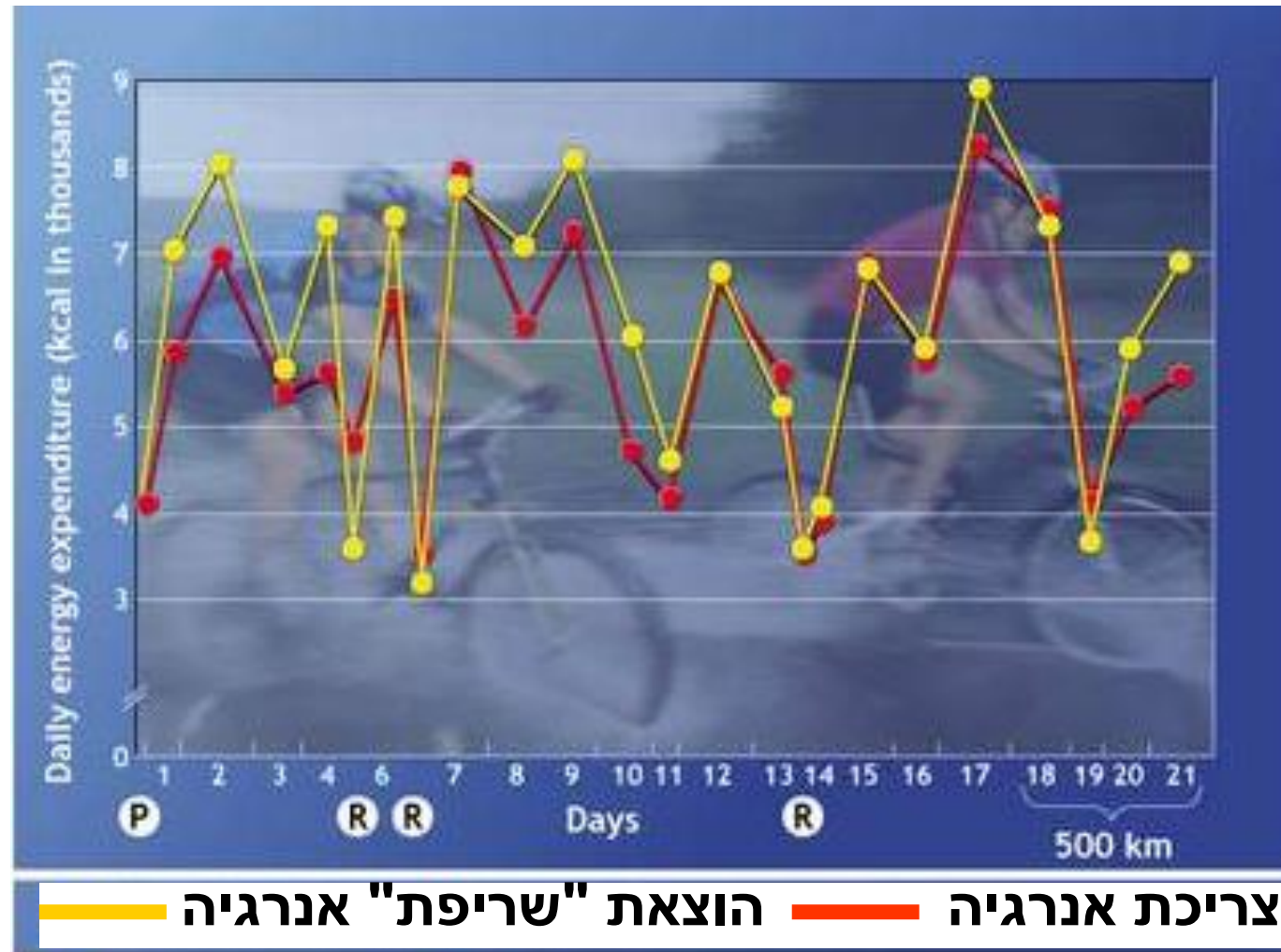
1. כ- 2,000

2. כ- 7,000

3. כ- 15,000

4. כ- 20,000

הוצאה/צריכה אנרגטית באלפי קלוריות/יום



הוצאת אנרגיה יומית וצריכת אנרגיה של רוכב אופניים במהלך הטור-דה-פראנס

עלות אנרגטית נמדדת בקלוריות

בעת ביצוע מאמץ השרירים משתמשים

באנרגיה כימית שנקראת ATP

ATP = אנרגיה, מה הקשר לקלוריות?

ATP = אנרגיה, מה הקשר לקלוריות?

קלוריה (קלוריה גדולה - קילוקלוריה)

**כמות החום הנדרשת להעלות את הטמפרטורה של 1 ליטר מים
ב- 1°C (מ- 14.5°C ל- 15.5°C)**



98 קלוריות בחטיף



98 ליטר מים

14.5°C





98 ליטר מים

15.5°C



ATP = אנרגיה, מה הקשר לקלוריות?

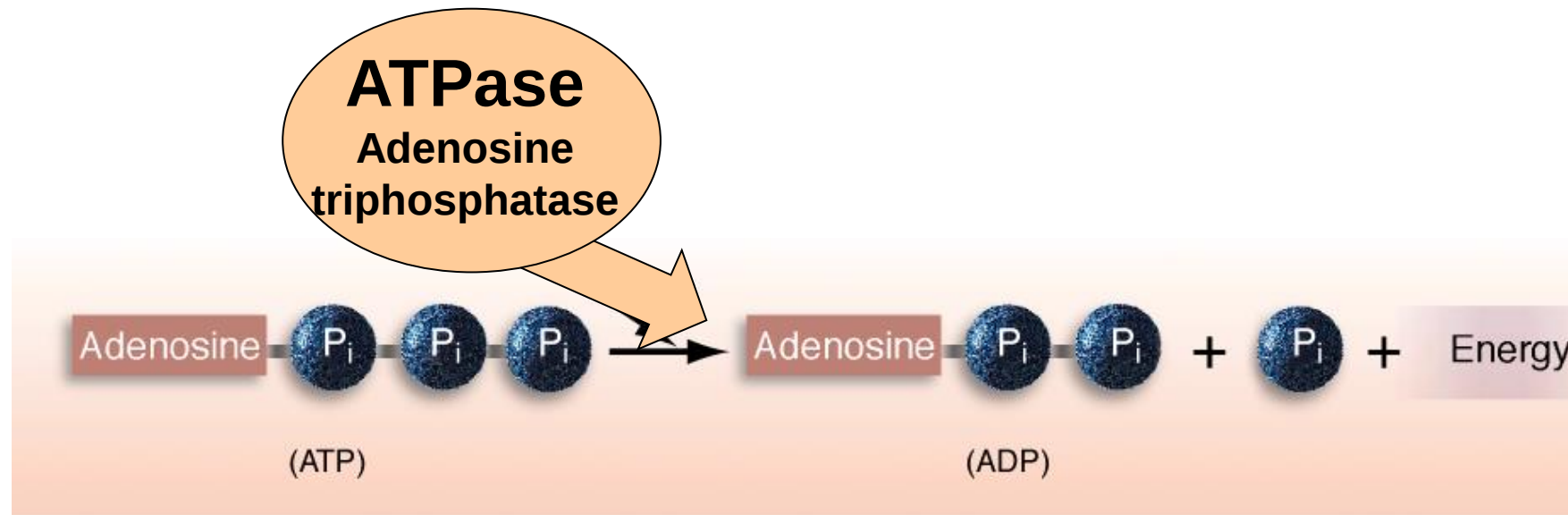
קלוריה (קלוריה גדולה - קילוקלוריה)

**כמות החום הנדרשת להעלות את הטמפרטורה של 1 ליטר מים
ב- 1°C (מ- 14.5°C ל- 15.5°C)**

1 מול = $10^{23} * 6.02$ מולקולות

602,000,000,000,000,000,000,000

מס. אבוגדרו



ATP Hydrolysis

1 מול של ATP

602,000,000,000,000,000,000

1 מול של ADP

1 מול של P

602,000,000,000,000,000,000

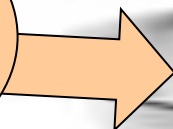
7.3 קלוריות



7.3 ליטר מים

C14.5°

ATPase
Adenosine
triphosphatase



1 מול של ATP

602,000,000,000,000,000,000





7.3 ליטר מים

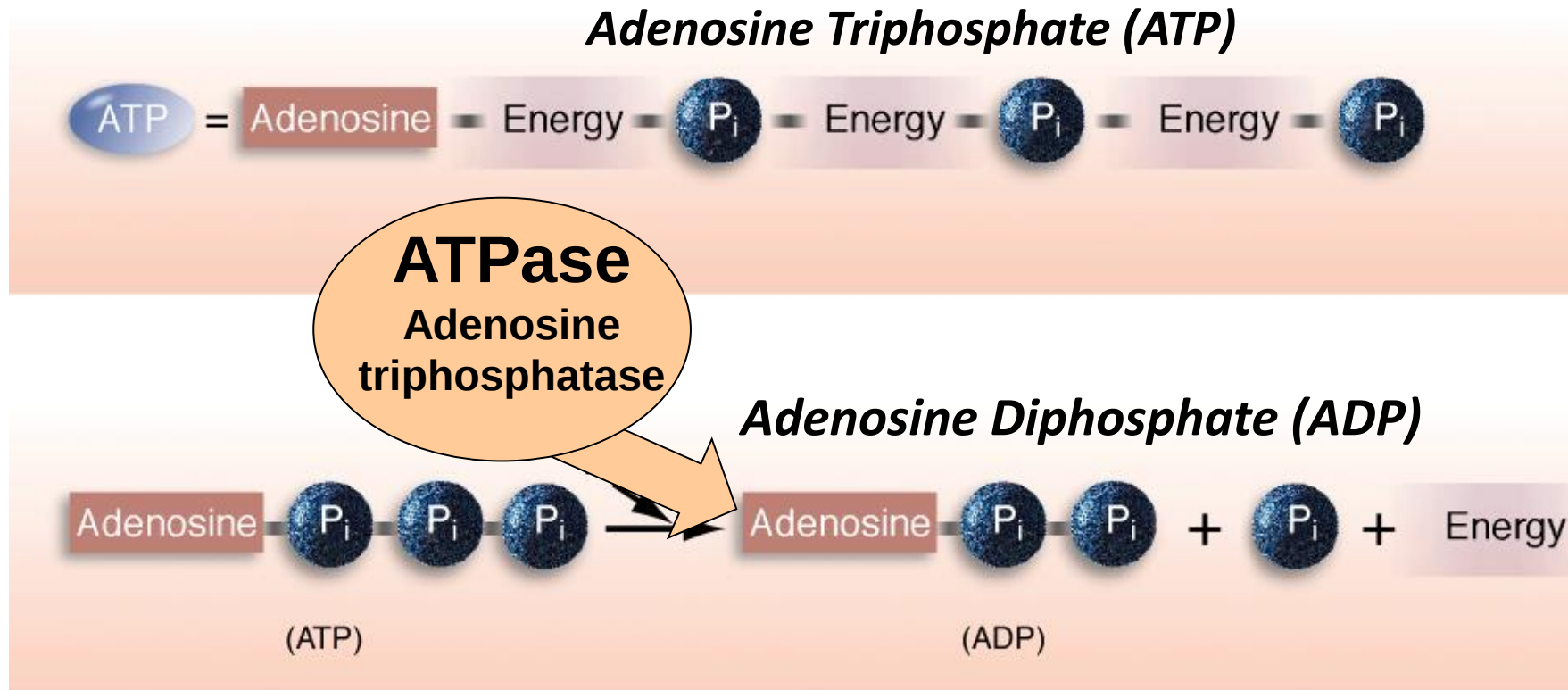
C15.5⁰



1 מול של ADP

602,000,000,000,000,000,000

קשר עתיר אנרגיה - משחרר מעל 5 קלוריות/מול





עלות אנרגטית יומית

?



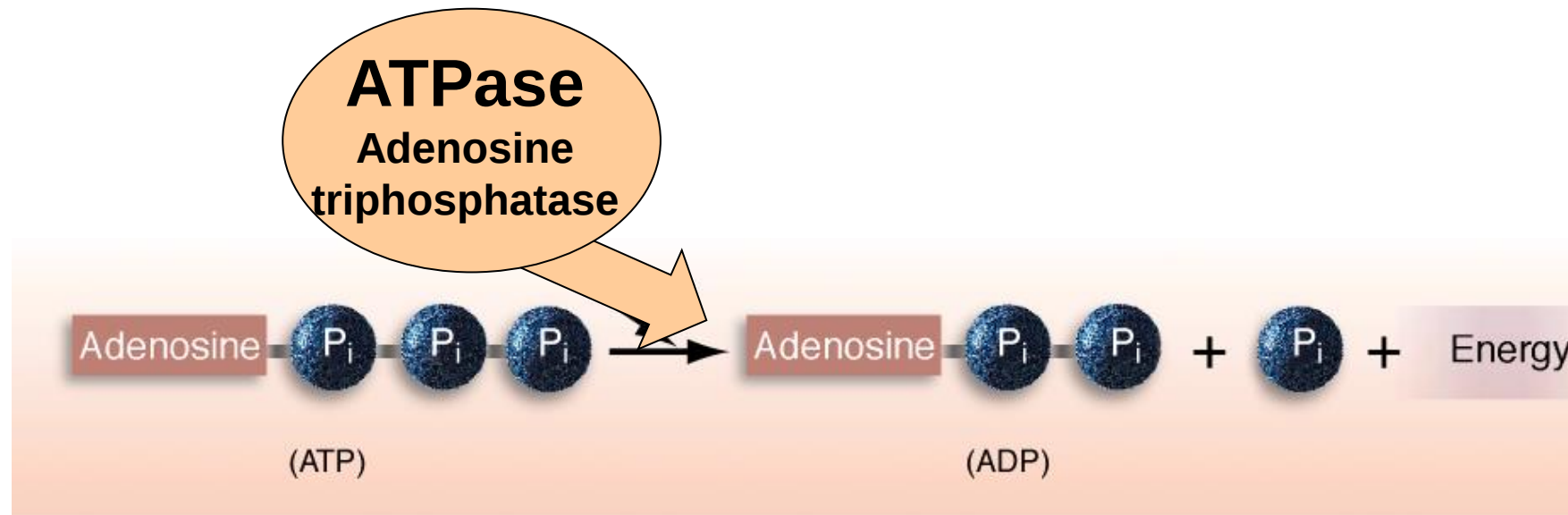
A.T.P

**עלות אנרגטית יומית
כ- 2,000 קלוריות**

**כ- 60% "מתבזבזת" כחום
(נצילות אנרגטית)**

הומהותרמים - הומאוסטזיס

כ- 800 קלוריות אגורות כ-



ATP Hydrolysis

1 מול של ATP

602,000,000,000,000,000,000

1 מול של ADP

1 מול של P

602,000,000,000,000,000,000

7.3 קלוריות



**עלות אנרגטית יומית
כ- 2,000 קלוריות**

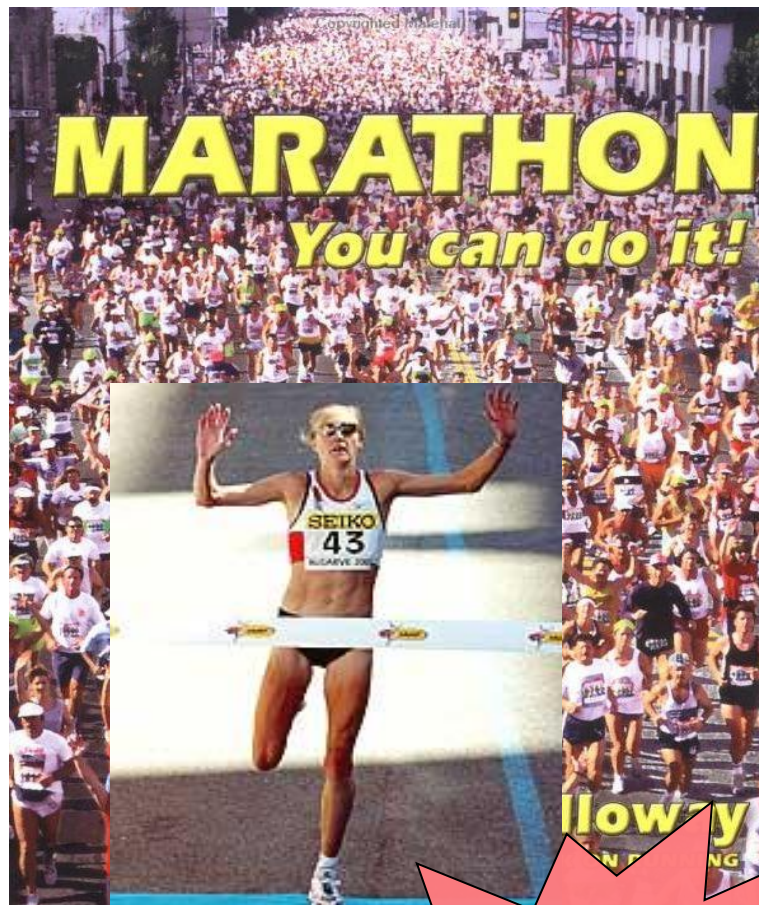
**כ- 60% "מתבזבזת" כחום
(נצילות אנרגטית)**

הומהותרמים - הומאוסטזיס

A.T.P

כ- 800 קלוריות אגורות כ-

צריכת ATP יומית כ- 110 מול (7.3 / 800)



A.T.P

**עלות אנרגטית כ-
2,600 קלוריות**

**כ- 60% "מתבזבזת" כחום
(נצילות אנרגטית)**

הומהותרמיס - הומאוסטזיס

כ- 1,040 קלוריות אגורות כ-

צריכת ATP במרתון כ- 142 מול (7.3 / 1040)



**עלות אנרגטית כ-
8,000 קלוריות**

**כ- 60% "מתבזבזת" כחום
(נצילות אנרגטית)**

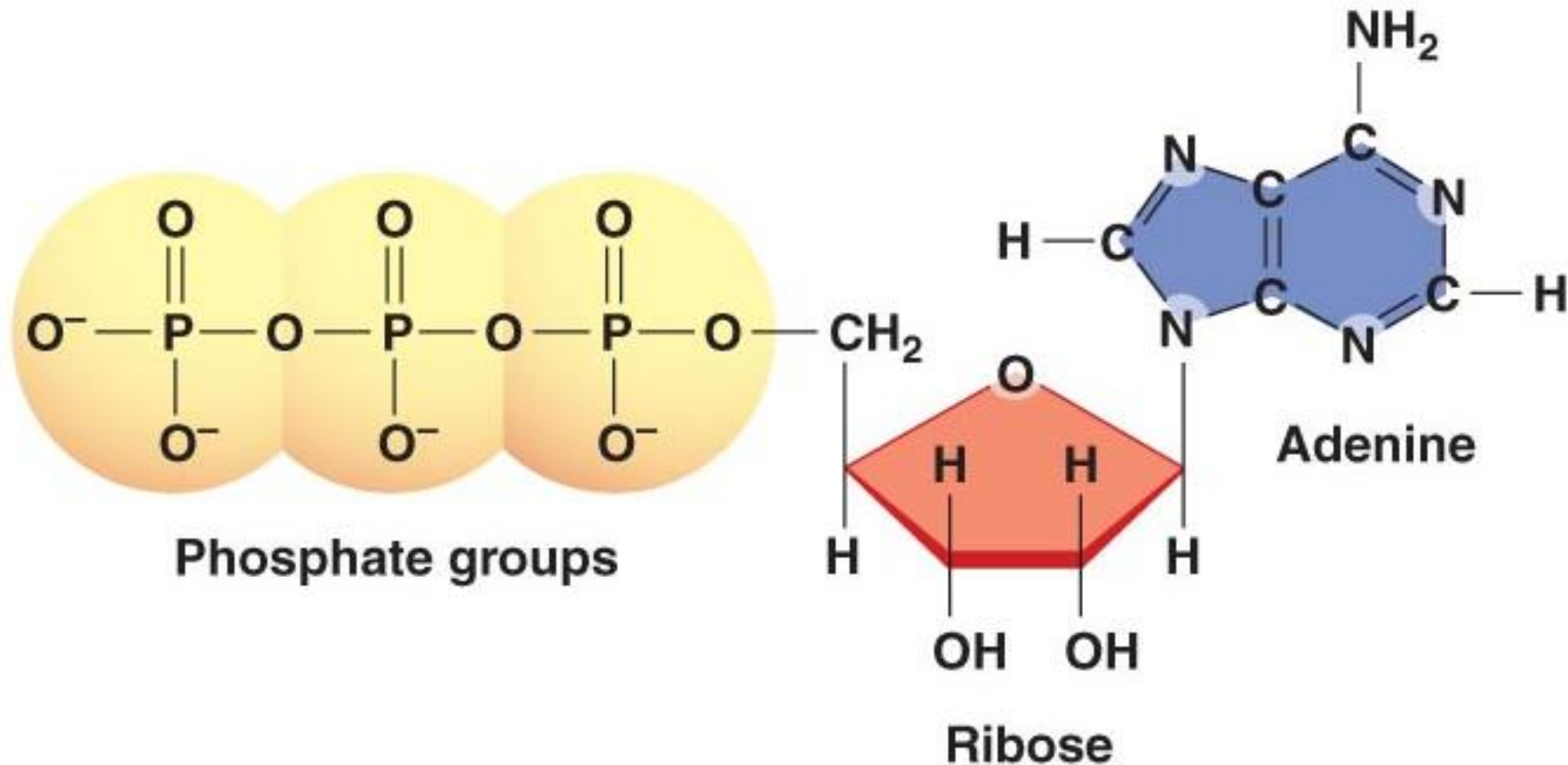
הומהותרמים - הומאוסטזיס

A.T.P

כ- 3,200 קלוריות אגורות כ-

צריכת ATP בטור דה פרנס כ- 438 מול (7.3 / 3200)

1 מול ATP (7.3 קלוריות) = 495 גרם



הטבלה המחזורית

1 IA	New Original																	18 VIIIA
1 H מימן 1.00794	2 He הליום 4.002602																	
3 Li ליטיום 6.941	4 Be בריליום 9.012182																	
11 Na נתרן 22.989770	12 Mg מגנזיום 24.3050																	
19 K אשלגן 39.0983	20 Ca סידן 40.078	21 Sc סקנדיום 44.955910	22 Ti טונגסטן 47.867	23 V ווליום 50.9415	24 Cr כרום 51.9961	25 Mn מנגן 54.938049	26 Fe ברזל 55.8457	27 Co קובלט 58.933200	28 Ni ניקל 58.6934	29 Cu כופרית 63.546	30 Zn אבץ 65.409	31 Ga גליום 69.723	32 Ge גרמניום 72.64	33 As ארסן 74.92160	34 Se סלניום 78.96	35 Br ברום 79.904	36 Kr קריפטון 83.798	
37 Rb רובידיום 85.4678	38 Sr סטרונציום 87.62	39 Y איטריום 88.90585	40 Zr זירקוניום 91.224	41 Nb ניוביום 92.90638	42 Mo מוליבדן 95.94	43 Tc טכניציום (98)	44 Ru רuthenium 101.07	45 Rh רודיום 102.90550	46 Pd פלדיום 106.42	47 Ag כסף 107.8682	48 Cd קדמיום 112.411	49 In אינדיום 114.818	50 Sn בדיל 118.710	51 Sb אנטימון 121.760	52 Te טלוריום 127.60	53 I יוד 126.90447	54 Xe קסנון 131.293	
55 Cs צזיום 132.90545	56 Ba בריום 137.327	57 to 71	72 Hf הפניום 178.49	73 Ta טאנגסטן 180.9479	74 W טונגסטן 183.84	75 Re רhenium 186.207	76 Os אוסמיום 190.23	77 Ir אירידיום 192.217	78 Pt פלטינה 195.078	79 Au זהב 196.96655	80 Hg כספת 200.59	81 Tl תלום 204.3833	82 Pb עופרת 207.2	83 Bi ביסמוט 208.98038	84 Po פולוניום (209)	85 At אסטטין (210)	86 Rn דרון (222)	
87 Fr פרנציום (223)	88 Ra רדיום (226)	89 to 103	104 Rf רתרפורדיום (261)	105 Db דובניום (262)	106 Sg סיבירגיום (266)	107 Bh בורהיום (264)	108 Hs האסיום (269)	109 Mt מיטניזיום (268)	110 Ds דריטניזיום (271)	111 Rg רוגנברגיום (272)	112 Uub אונוביום (285)	113 Uut אונטריום (284)	114 Uuq אונקוויטיום (289)	115 Uup אונקספנטיום (288)	116 Uuh אונקסהקסיום (292)	117 Uus אונקספטיום (294)	118 Uuo אונקטום (294)	

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

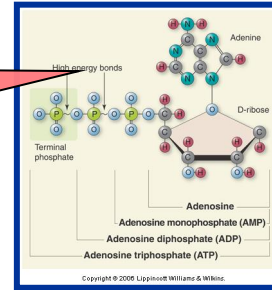
Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com), <http://www.dayah.com/periodic/>

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

57 La לנת 138.9055	58 Ce ציריום 140.116	59 Pr פרסאודיום 140.90765	60 Nd נאודיום 144.24	61 Pm פרמיתיום (145)	62 Sm סמיום 150.36	63 Eu אירופיום 151.964	64 Gd גדוליניום 157.25	65 Tb תרביום 158.92534	66 Dy דיספרסיום 162.500	67 Ho הולםיום 164.93032	68 Er ארביום 167.259	69 Tm תוליום 168.93421	70 Yb איטרביום 173.04	71 Lu לוטציום 174.967
89 Ac אקטיניום (227)	90 Th תוריום 232.0381	91 Pa פרוטאקטיניום 231.03688	92 U אורניום 238.02891	93 Np נפטוניום (237)	94 Pu פלוטוניום (244)	95 Am אמריציום (243)	96 Cm קיריום (247)	97 Bk ברקליום (247)	98 Cf קליפורניום (251)	99 Es איינשטייניום (252)	100 Fm פרמיום (257)	101 Md מנדליביום (258)	102 No נובליום (259)	103 Lr לורנציום (262)

מסה מולרית של ATP 495 גרם/מול ~ 1/2 ק"ג

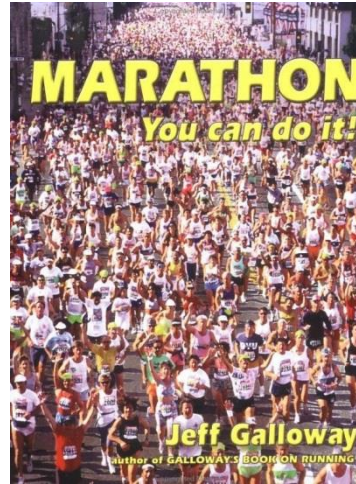
אנרגיה - A.T.P



צריכת ATP

438 מול

כ- 219 ק"ג



צריכת ATP

142 מול

כ- 71 ק"ג

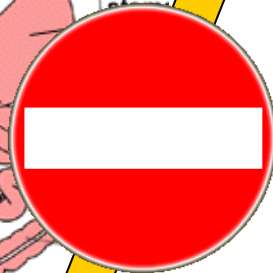
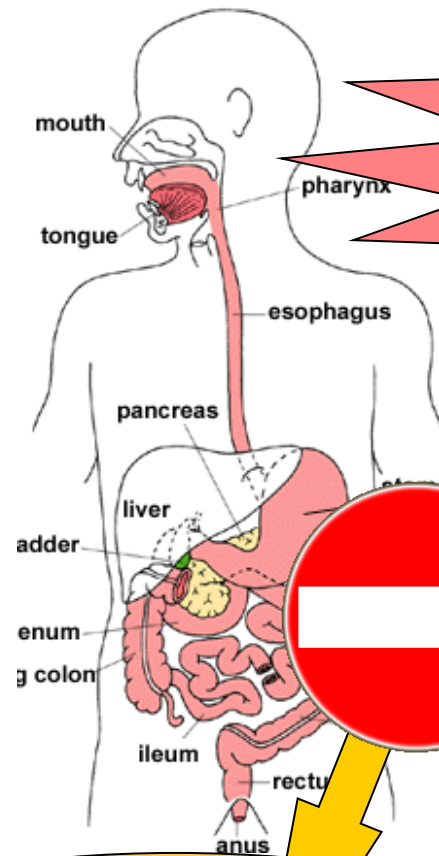


צריכת ATP

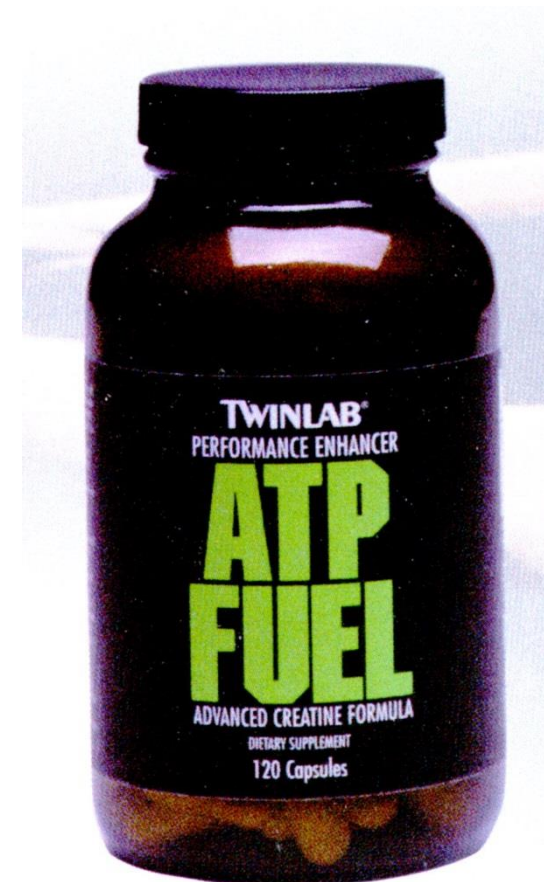
110 מול

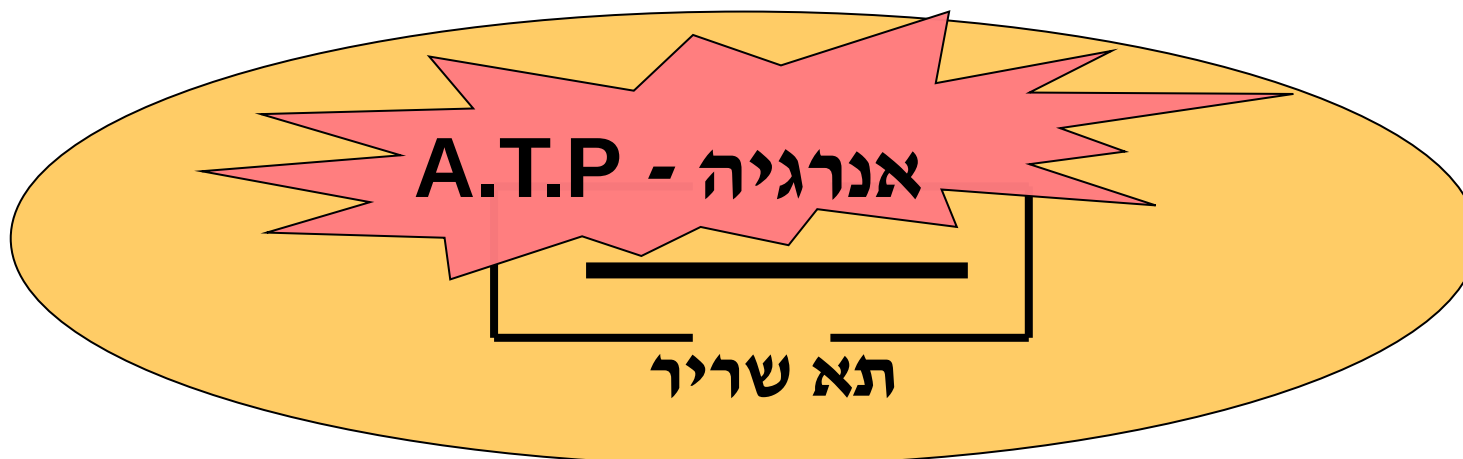
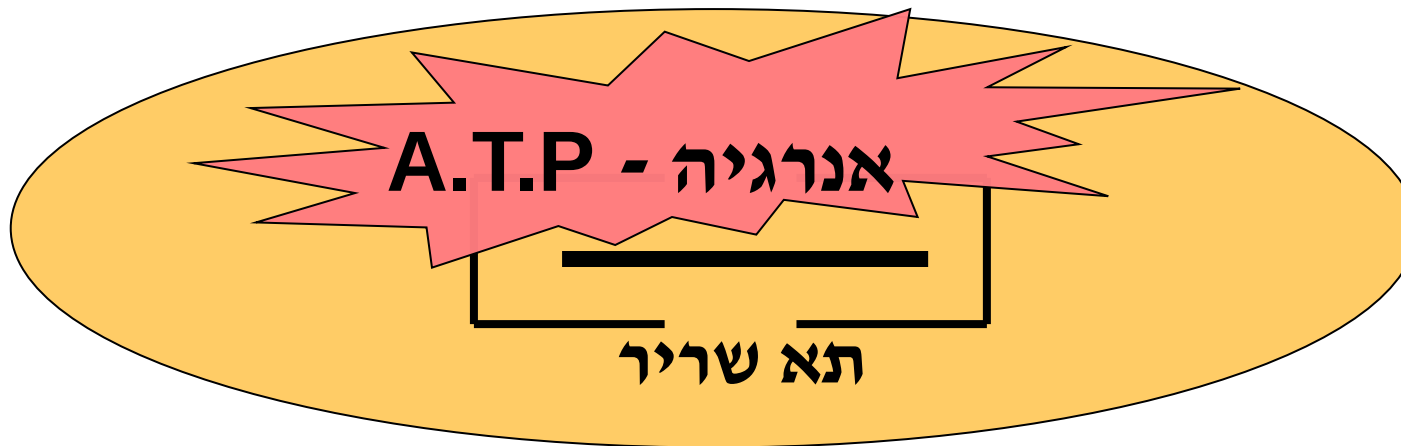
כ- 55 ק"ג

אנרגיה - A.T.P



שריר





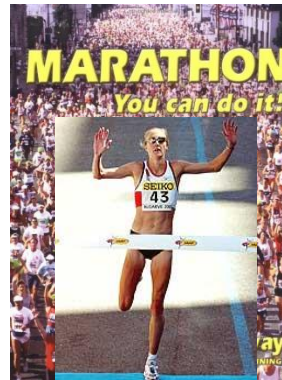
כמות ה- ATP בשירים: 80-100 גרם

(מאמץ בעצימות גבוהה של 2-3 שניות)



צריכת ATP

כ- 219 ק"ג



צריכת ATP

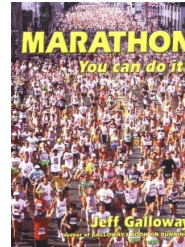
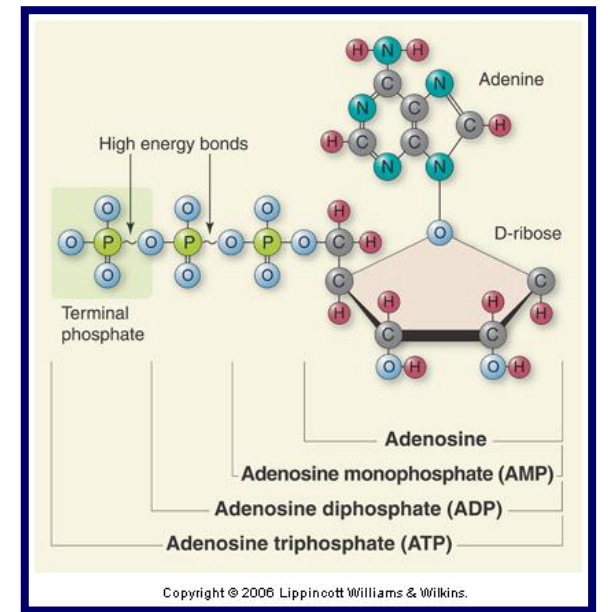
כ- 71 ק"ג



צריכת ATP

כ- 55 ק"ג

ייחודה של מולקולת ה- ATP אינו בכמותה אלא בזמינות
האנרגיה שמשתחררת ממנה לתהליכים המטבוליים,
וביכולת למחזר אותה בהתאם לדרישות האנרגטיות



צריכת ATP

219,000 גרם

100 גר' * 2190

צריכת ATP

71,000 גרם

100 גר' * 710

צריכת ATP

55,000 גרם

100 גר' * 550

מסלולי אספקת אנרגיה

מסלולים מטבוליים

אנאירובי-אלקטי - Anaerobic - Alactic

אנאירובי-לקטי - Anaerobic - Lactic

אירובי - Aerobic



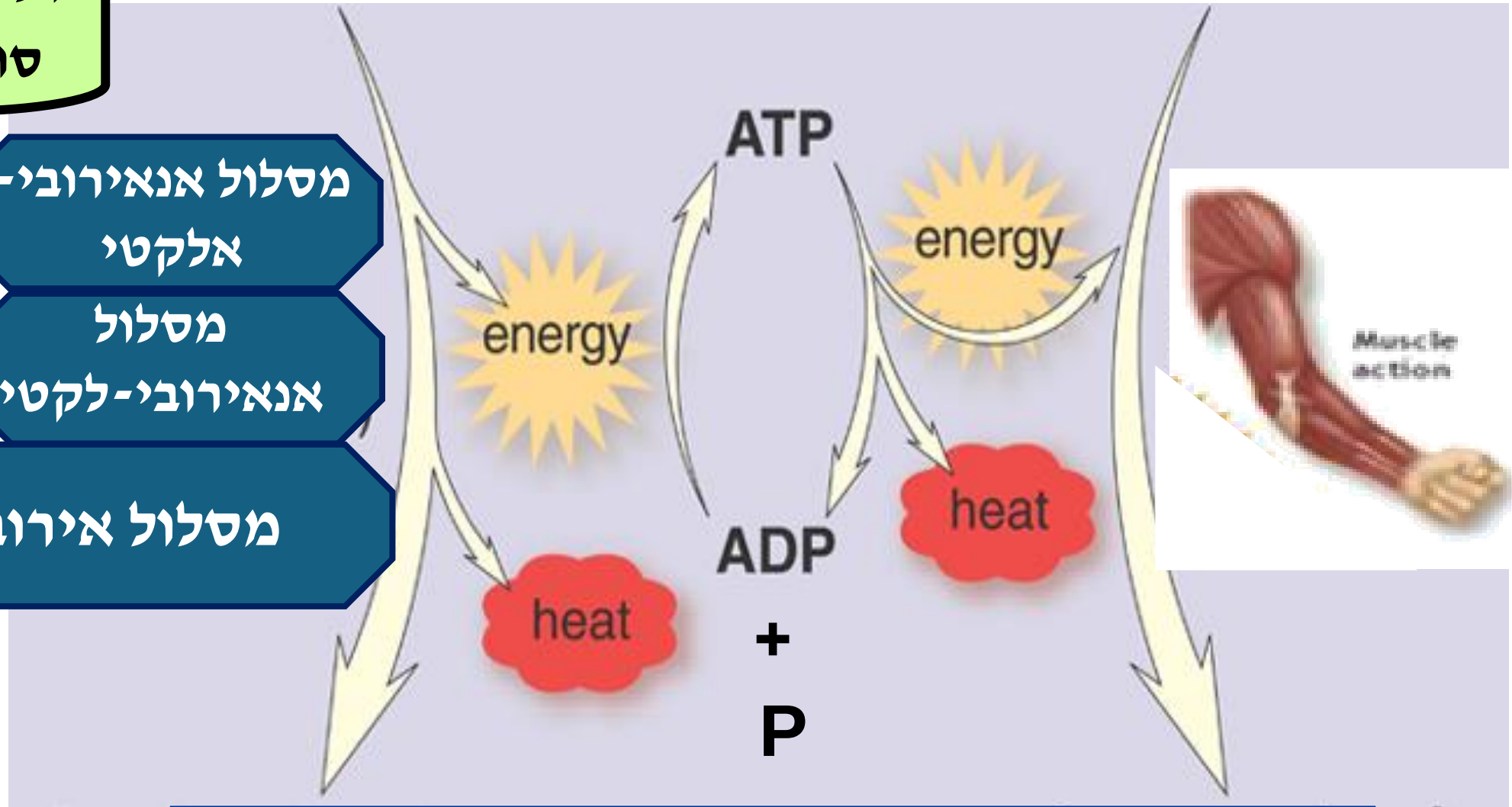
ביואנרגטיקה - מיחזור ה-ATP בתאי השריר

דלק מטבולי
סובסטרט

מסלול אנאירובי-
אלקטי

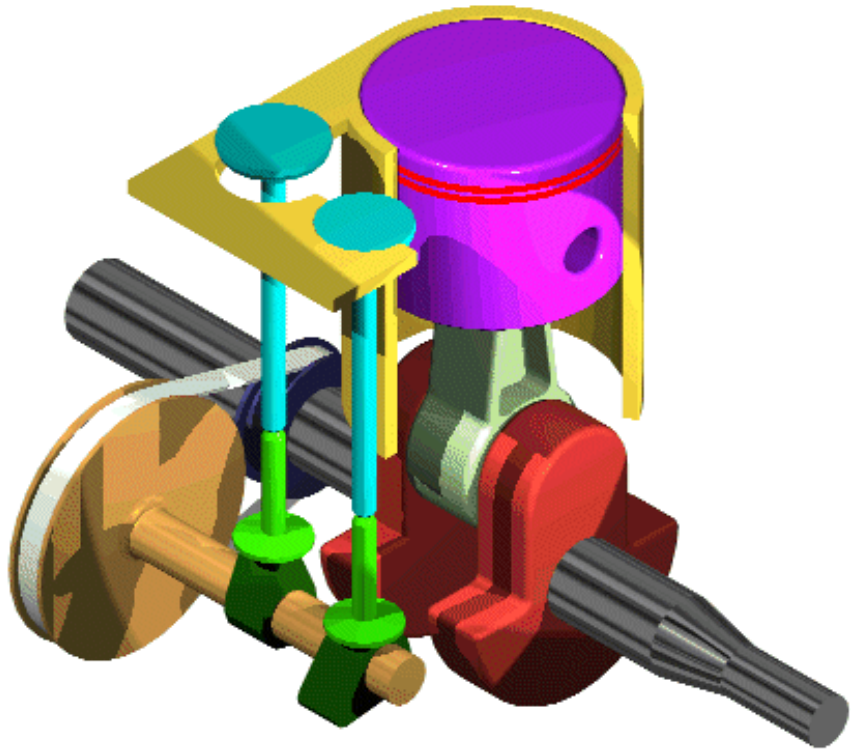
מסלול
אנאירובי-לקטי

מסלול אירובי



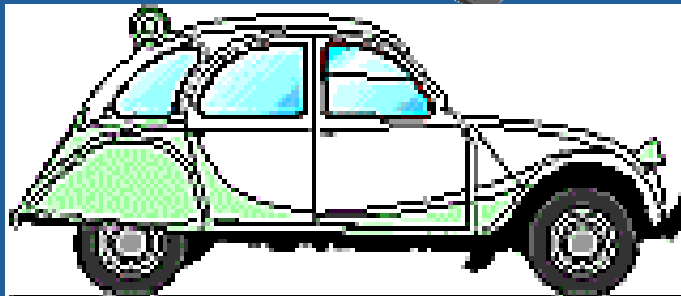
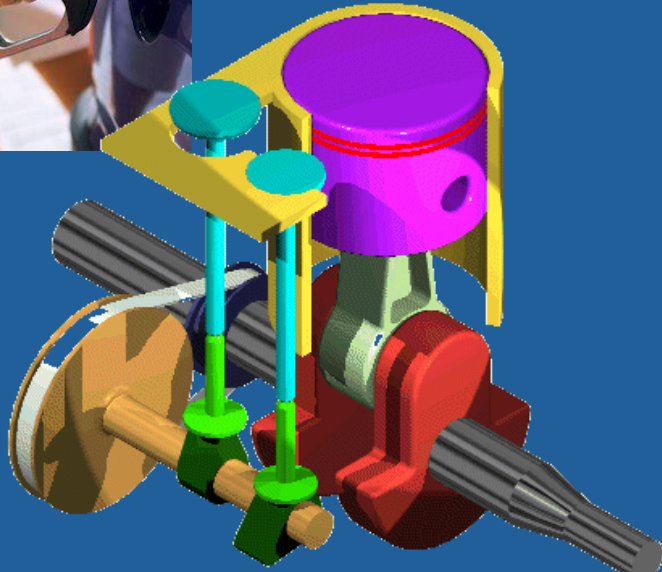
מה זה?

ומה תפקידו?

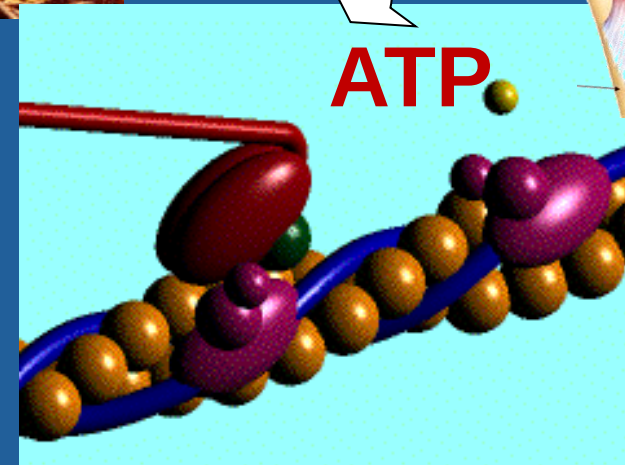
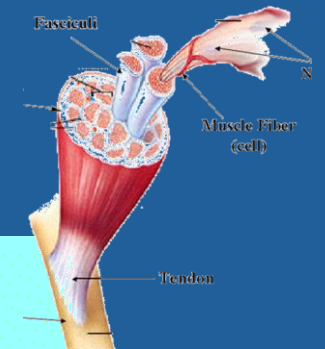


1. מטחנת קפה להכנת קפה
2. מנוע של שעון הביג בן בלונדון
3. משאבת מים לריקון בריכות שחיה
4. אף תשובה לא נכונה

המרה כימית-מכנית/קינטית



מסלולי אספקת אנרגיה
אנאירובי אלקטי / לקטי, אירובי



מסלול מטבולי

מאפיינים

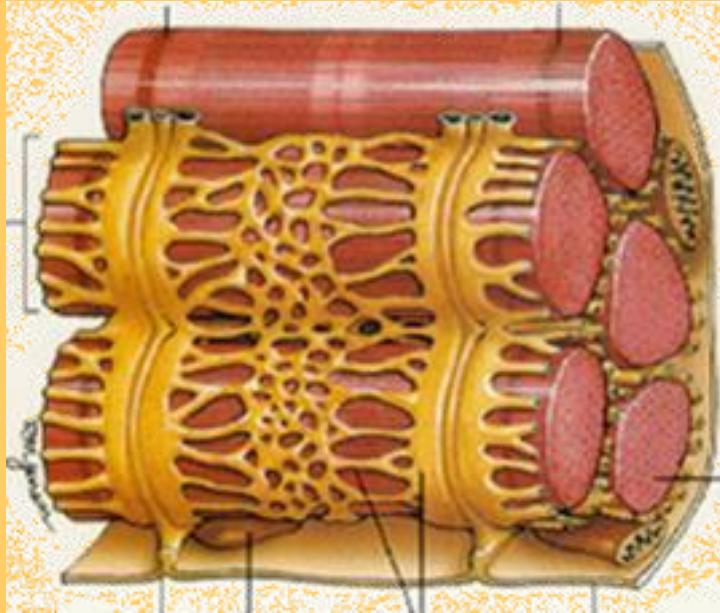
מהירות תגובה + האצה

הספק אנרגטי

כמות אנרגיה

גורם מעייף

מיקום בתא



דלק מטבולי
סובסטרט

שרשרת של תהליכים
אנזימטיים

ATP



מאפיינים

מהירות תגובה + האצה

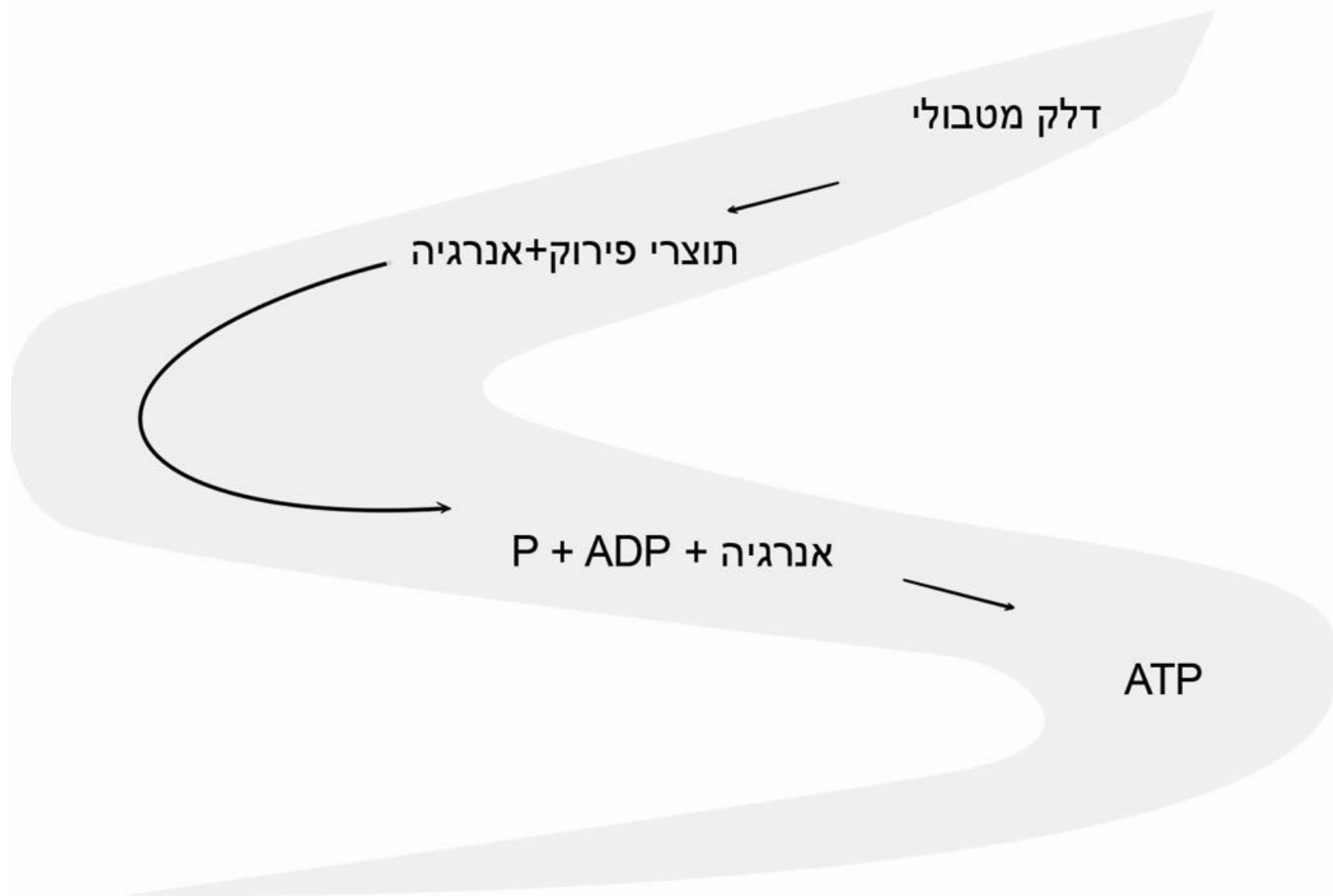
הספק אנרגטי

כמות אנרגיה

גורם מעייף

מיקום בתא

מסלול מטבולי = תהליך אקסרגוני



בניית ATP = תהליך אנדרגוני



מאפיינים

מהירות תגובה + האצה

הספק אנרגטי

כמות אנרגיה

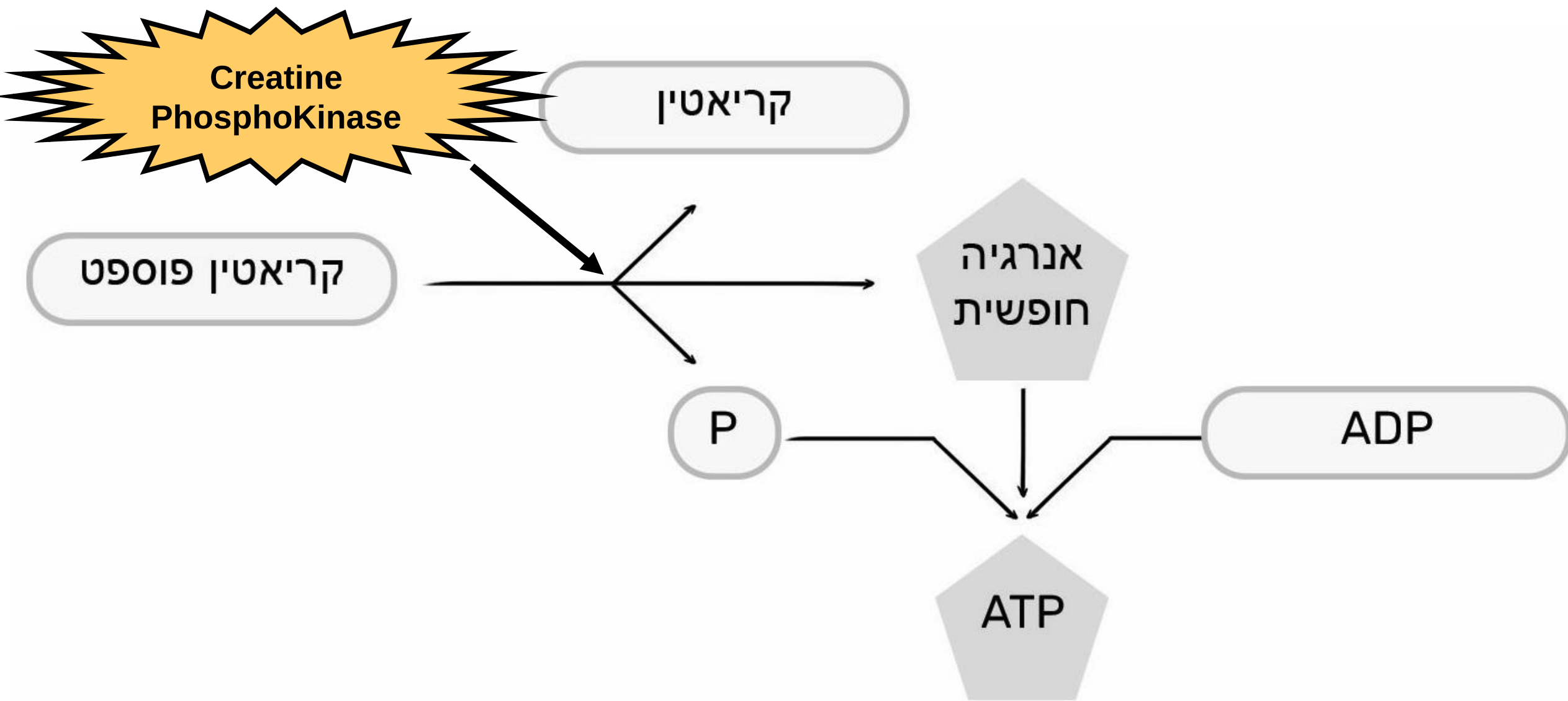
גורם מעייף

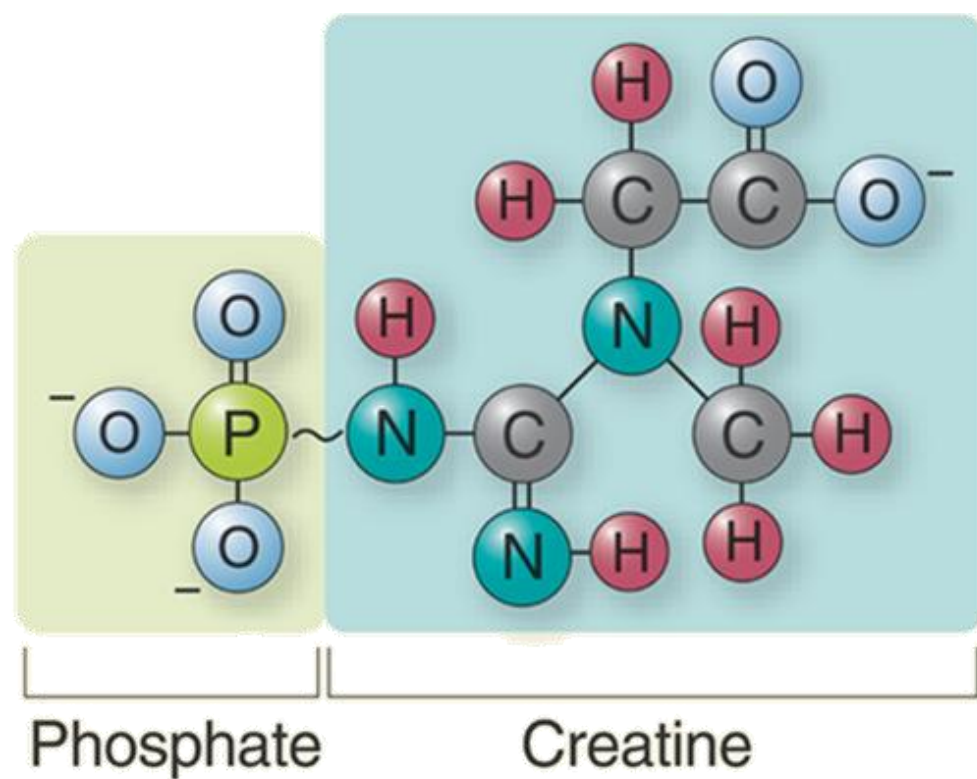
מיקום בתא



חוצה ישראל מטולה - אילת

מסלול אנאירובי-אלקטי [מסלול ATP-קריאטין פוספט (CP)]



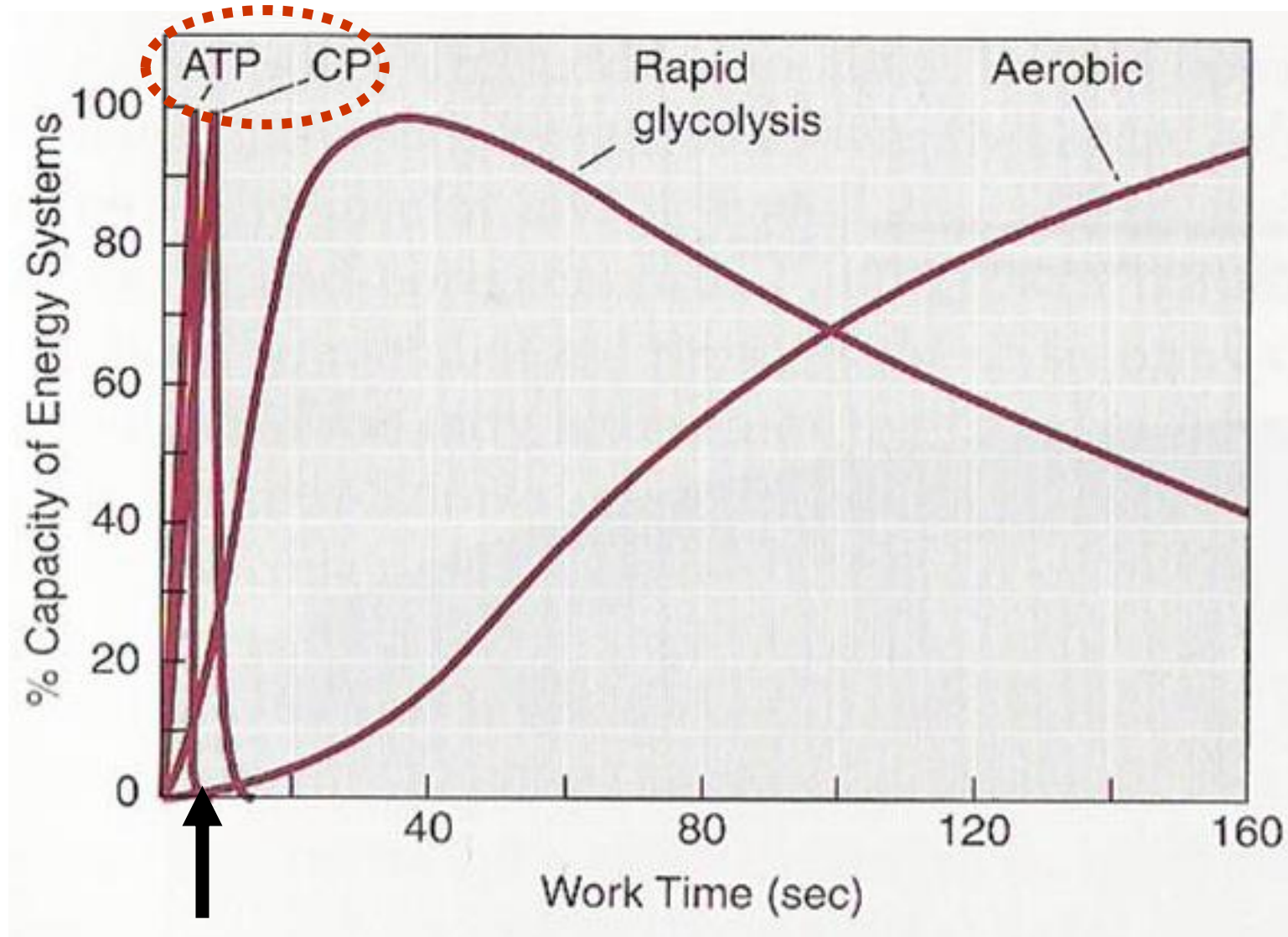


מבנה מולקולרי של קריאטין פוספט (CP)

בשר, עוף ודגים מהווים מקור עשיר לקריאטין (כ: 4-5 גרם לק"ג מזון)

הגוף מסנטז קריאטין בכמות קטנה כ: 1-2 גרם ביום. הסינטיזה נעשית מהחומצות האמיניות ארגינין, גליצין ומטיונין בכבד, בכליות ובלבלב.

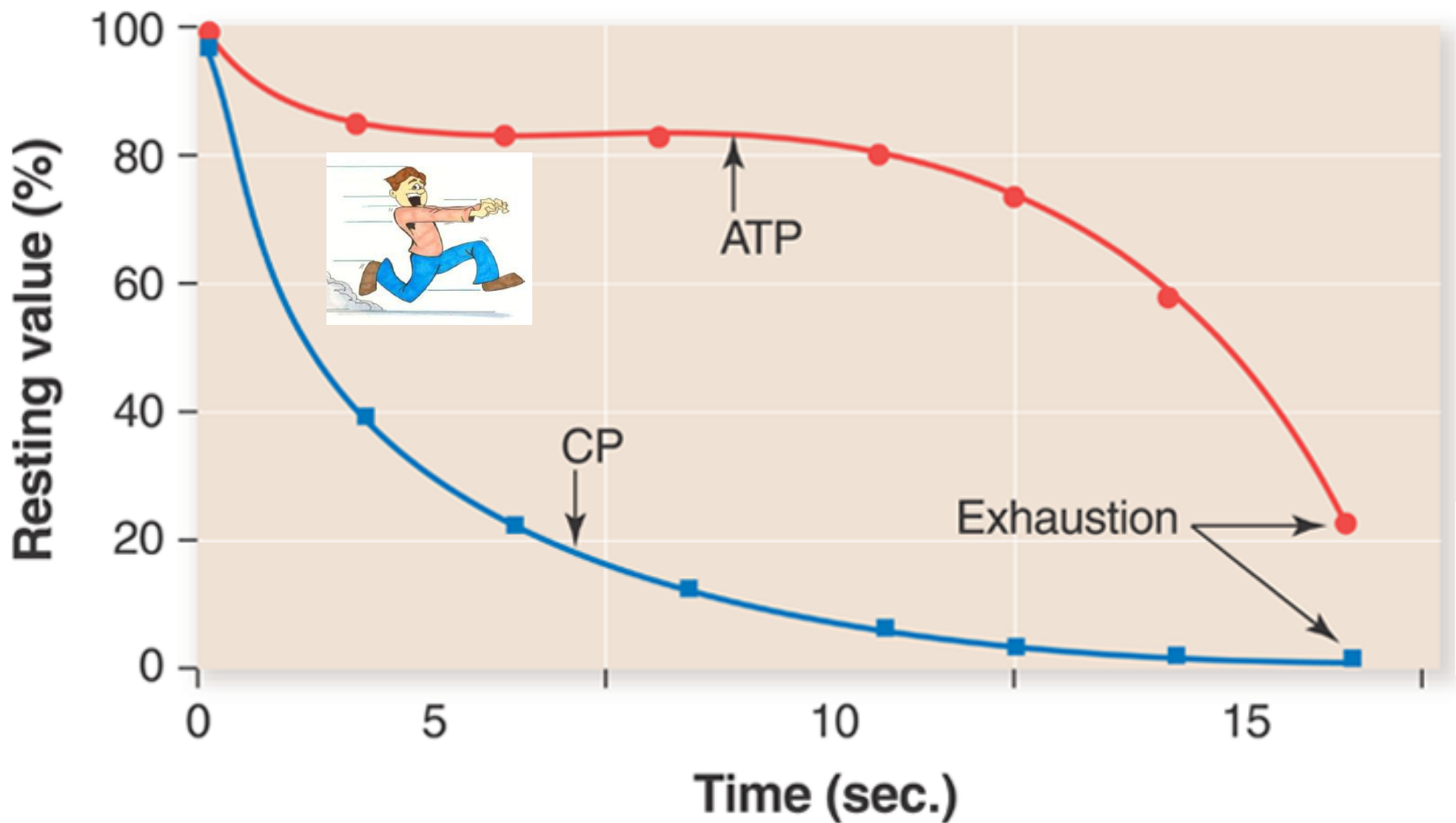
מהירות תגובה + האצה - אנאירובי אלקטי



עייפות אנרגטית

אי היכולת לשמור על ההספק האנרגטי (ATP / זמן)
ירידה בהספק האנרגטי



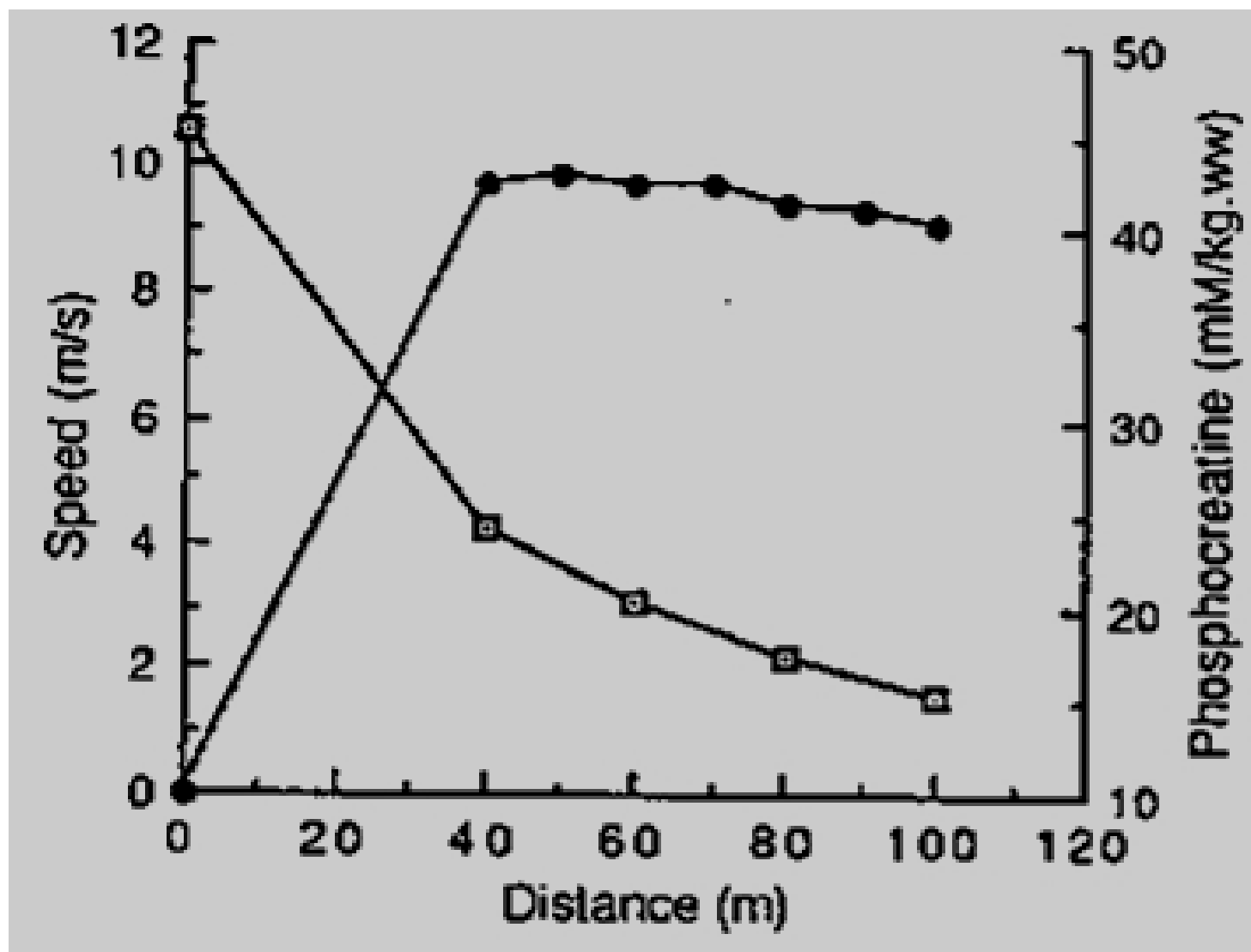


Copyright © 2006 Lippincott Williams & Wilkins.

אנאירובי-אלקטי

גורם מעייף - מאגרי CP קטנים = כמות אנרגיה מועטה

מהירות הריצה והירידה בריכוז ה-CP במהלך ריצת 100 מ'



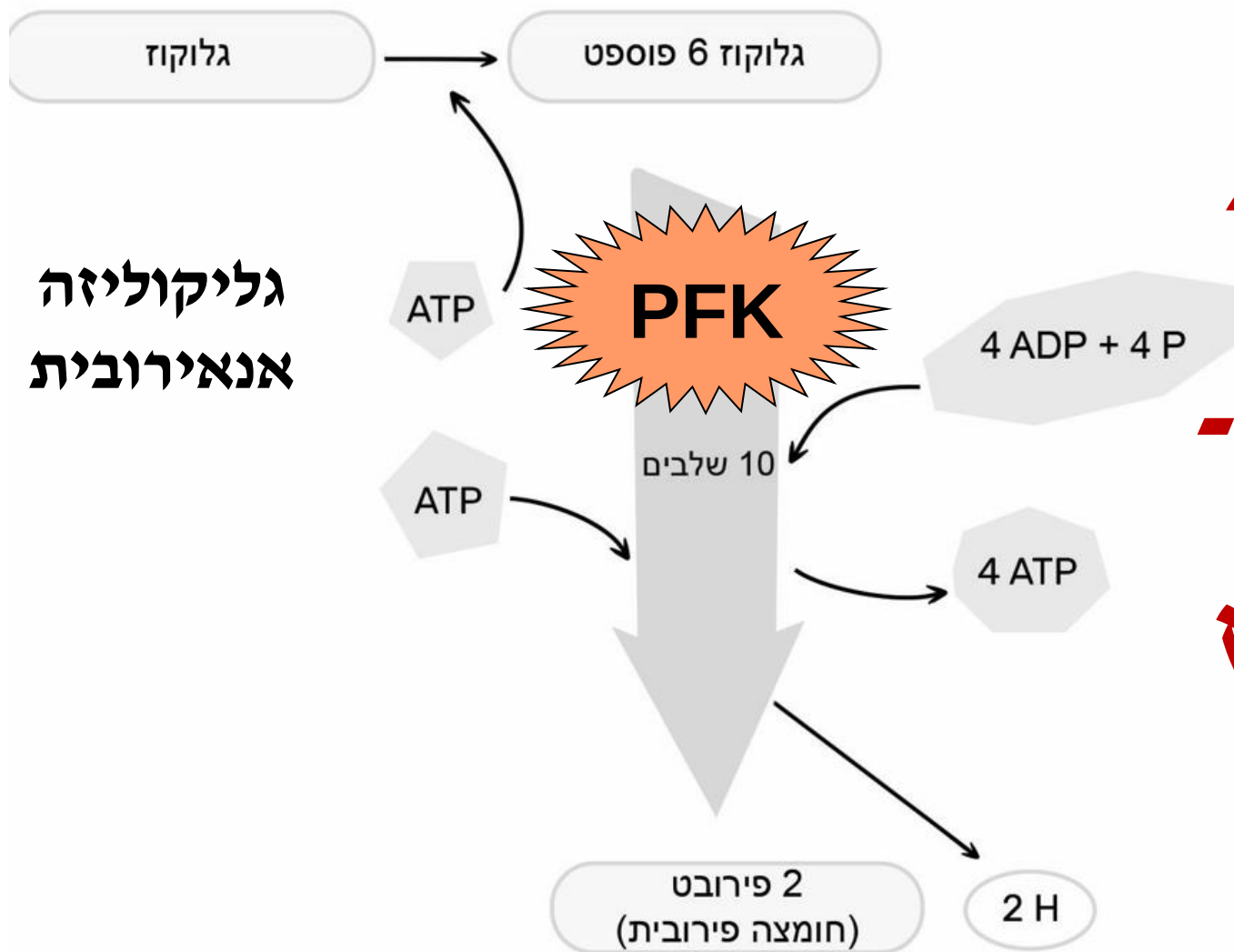
(Hiroonen et al. 1987)



מסלול אנאירובי-אלקטי

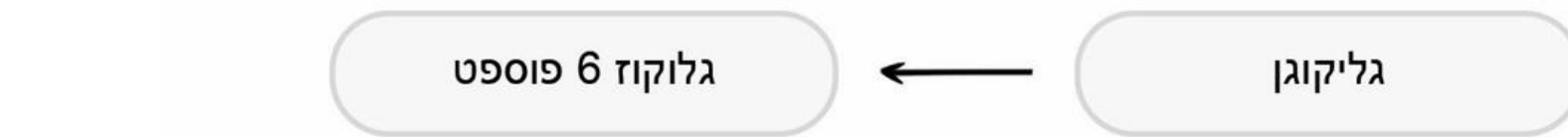
גבוהה מאד	מהירות תגובה
גבוה מאד	הספק אנרגטי
CP מועטה (כ- 500 גרם)	כמות אנרגיה
דלק מטבולי בכמות מוגבלת	גורם מעייף
סרקופלסמה	מיקום בתא

מסלול אנאירובי-לקטי (מסלול גליקוליטי Glycolytic system)

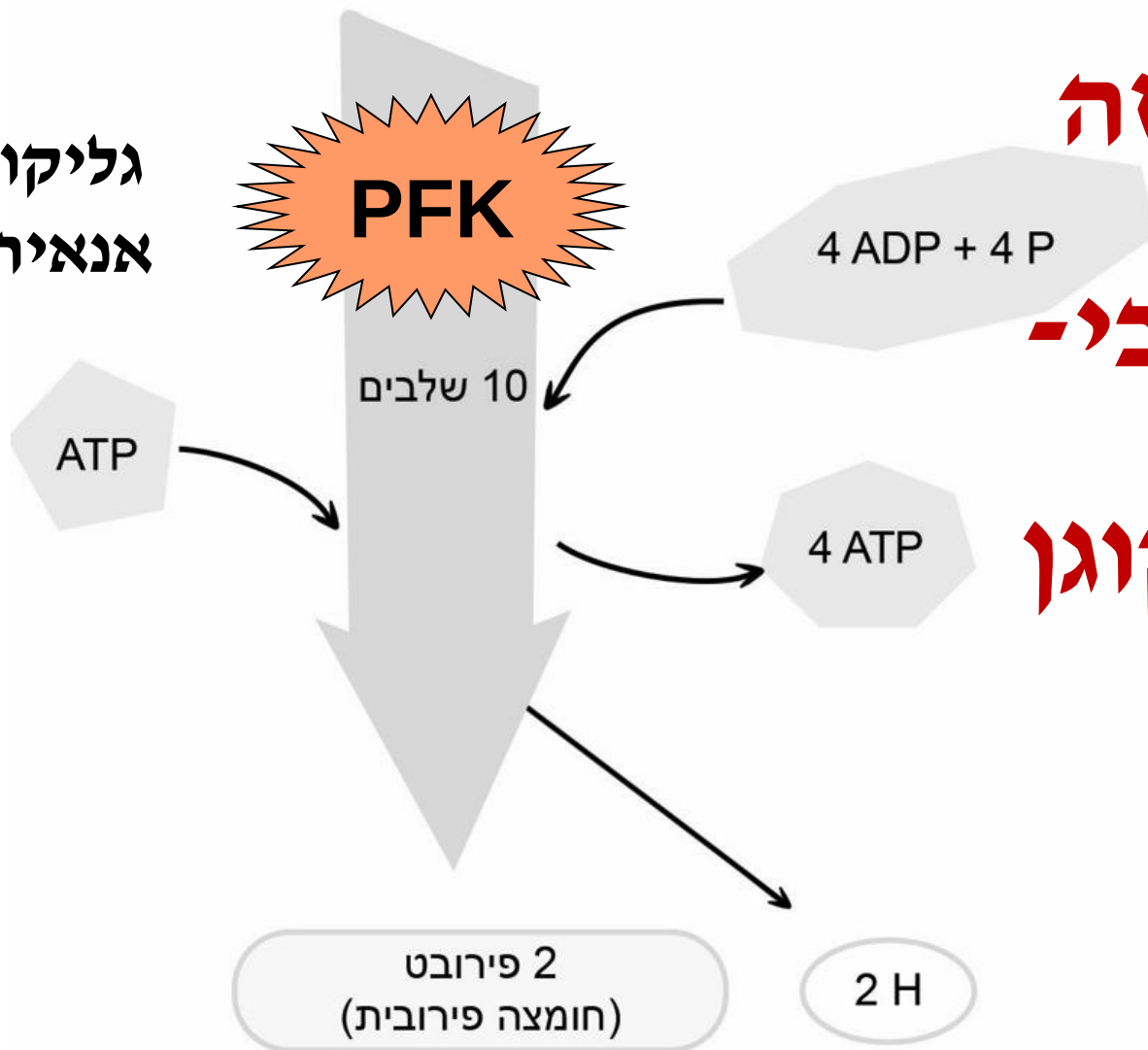


גליקוליזה
אנאירובית

סכמה של הגליקוליזה
במטבוליזם האנאירובי-
לקטי בעת פרוק גלוקוז



גליקוליזה
אנאירובית



סכמה של הגליקוליזה
במטבוליזם האנאירובי-
לקטי בעת פרוק גליקוגן

גלוקוז

גלוקוז 6 פוספט

גליקוגן



ATP 2

PFK

ATP 3

10 שלבים

2 פירובט
(חומצה פירובית)

↓ לקטט - דה - הידרוגינאז

חומצת חלב



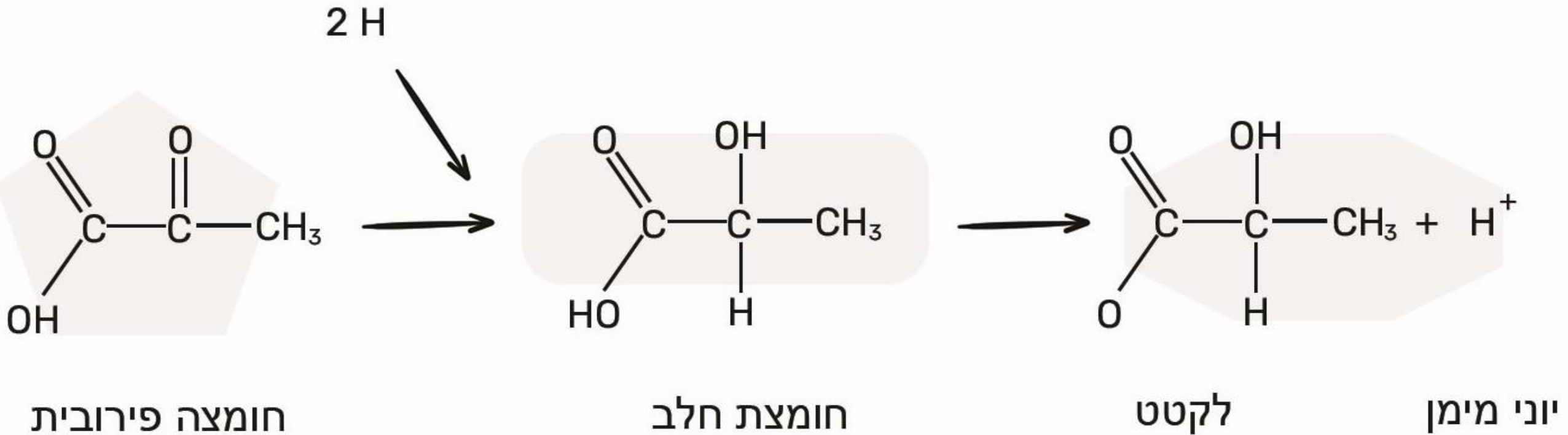
לקטט + יוני מימן

גליקוליזה
אנאירובית

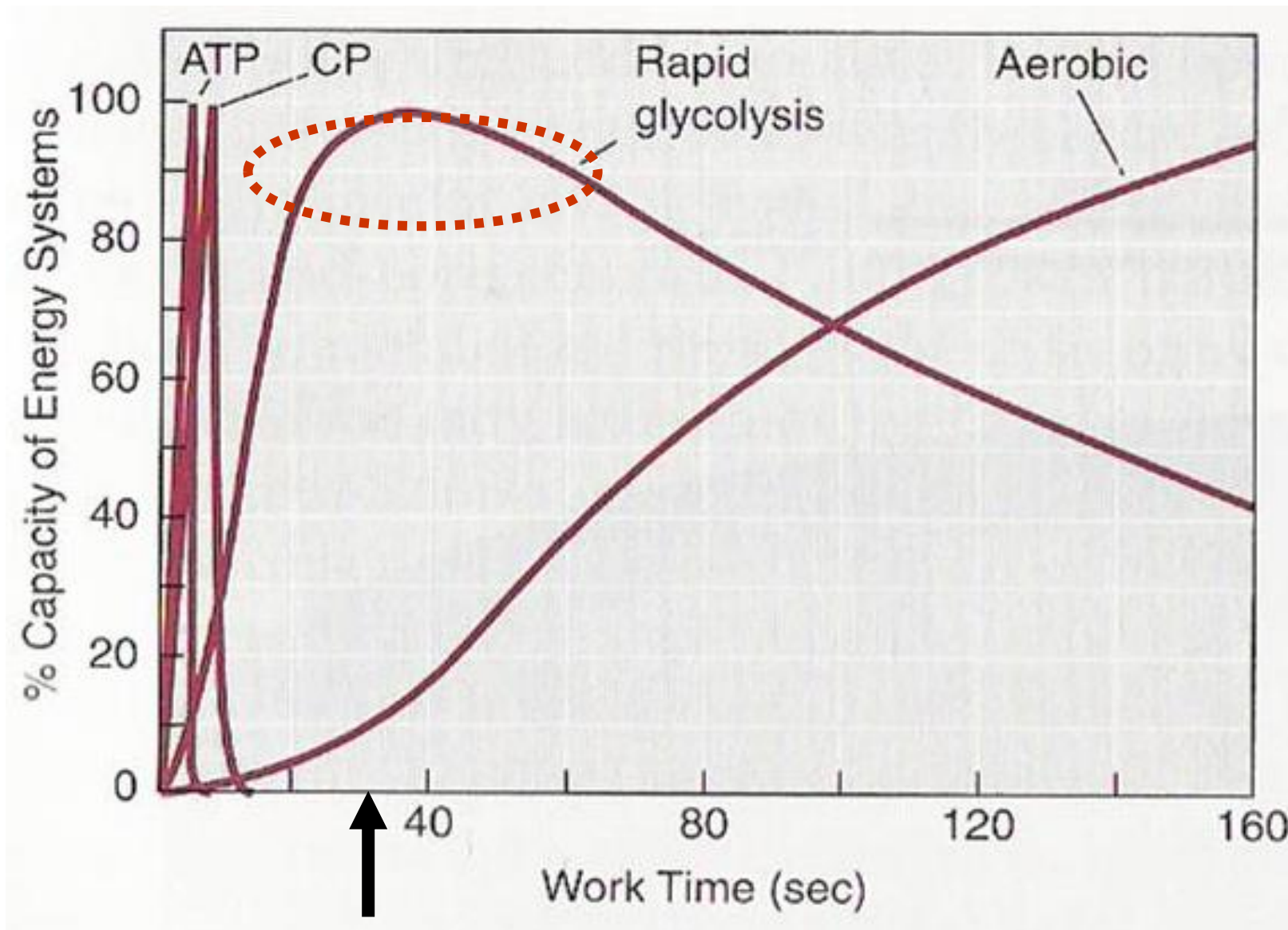
סכמה של המטבוליזם
האנאירובי-לקטי בעת
פרוק גלוקוז וגליקוגן

2 H

מסלול אנאירובי-לקטי (Glycolytic system מסלול גליקוליטי)



מהירות תגובה + האצה - אנאירובי לקטי



הומאוסטזיס

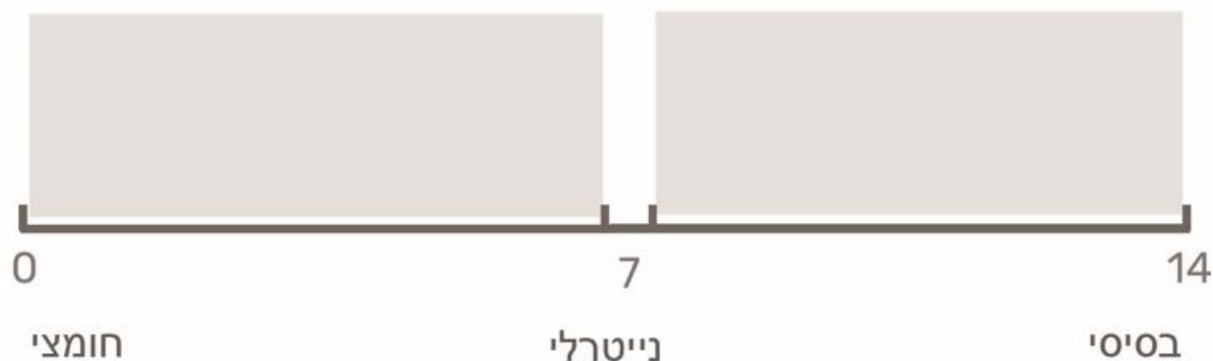
טווחי חומציות תפקודיים תקינים בדם ובשריר

רמת החומציות תלויה ברמת יוני המימן H^+ ונמדדת

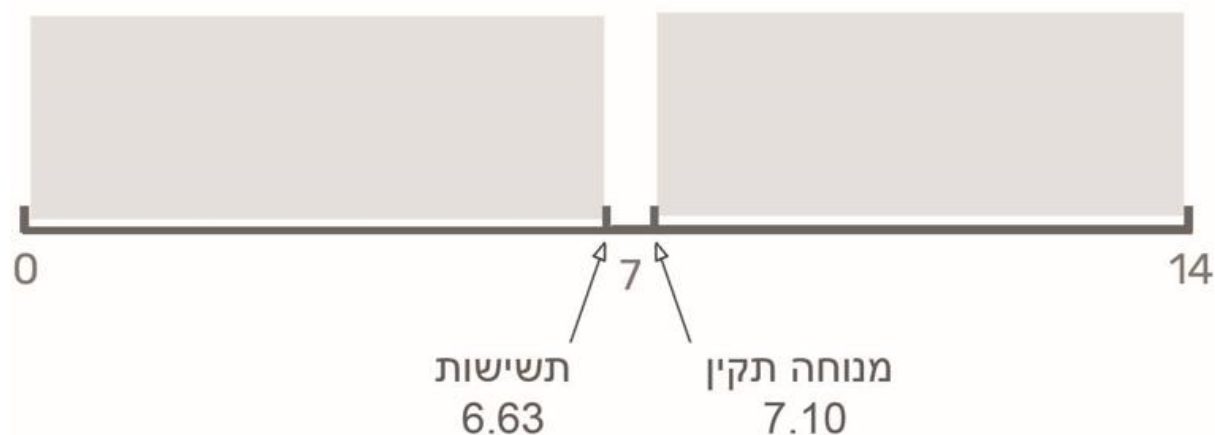
ביחידות / סקלה של pH



טווח חומציות (pH)
תקין בדם העורקי (6.9 - 7.5)



רמת חומציות (pH)
בשריר



הומאוסטזיס
טווחי חומציות תפקודיים
תקינים בדם ובשריר

עייפות עקב עלייה בחומציות

הומאוסטזיס

טווחי חומציות תפקודיים תקינים בדם ובשריר

גלוקוז

ADP + P

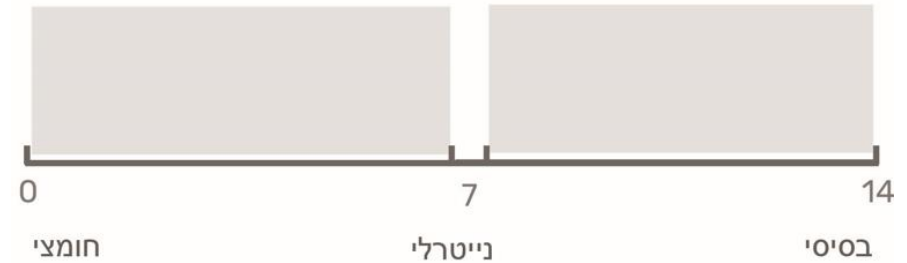
PFK

ATP

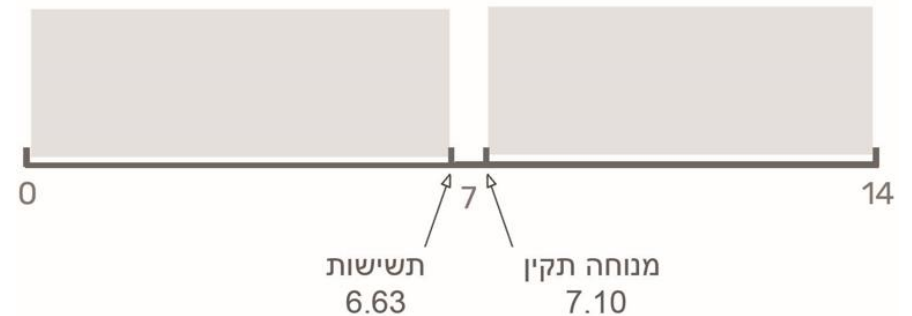
לקטט + H^+

חומציות ↑
pH ↓

טווח חומציות (pH)
תקין בדם העורקי (6.9 - 7.5)

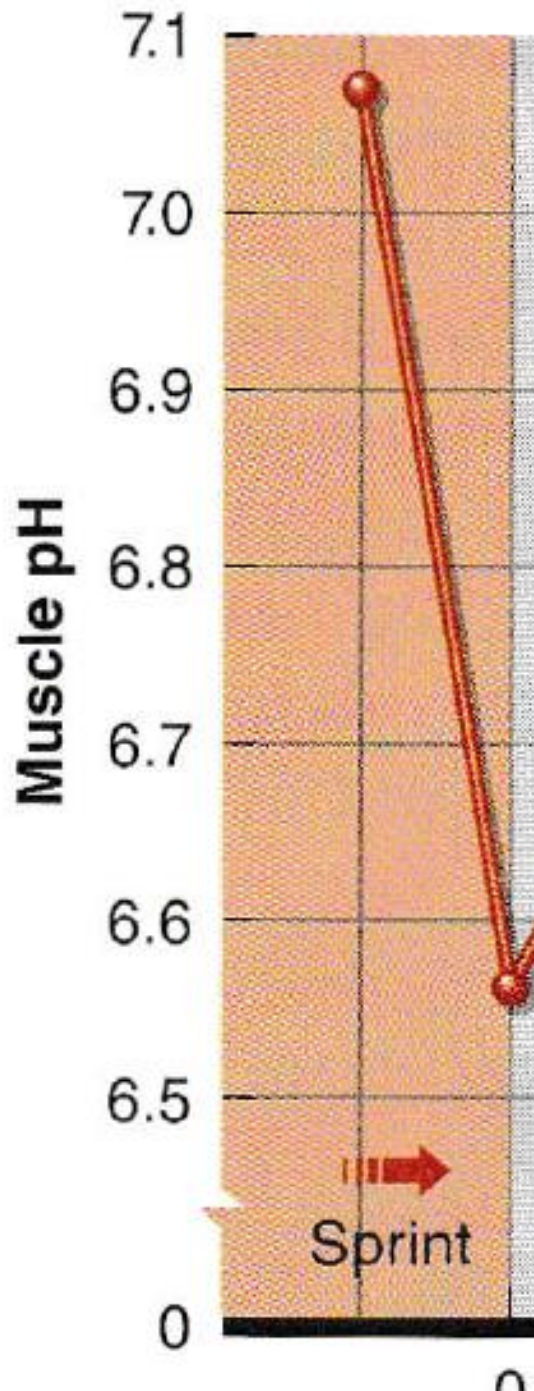


רמת חומציות (pH)
בשריר



עייפות עקב עלייה בחומציות

השינוי ב- pH לאחר מאמץ
קצר בעצימות גבוהה
(אנאירובי-לקטי)



עייפות עקב עלייה בחומציות

הומאוסטזיס

טווחי חומציות תפקודיים תקינים בדם ובשריר

גלוקוז

ADP + P

PFK



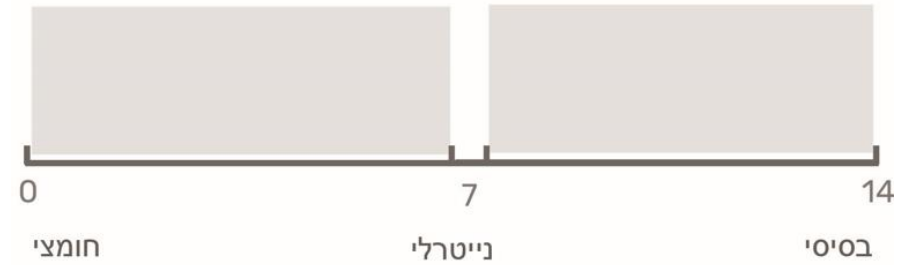
משוב שלילי

ATP

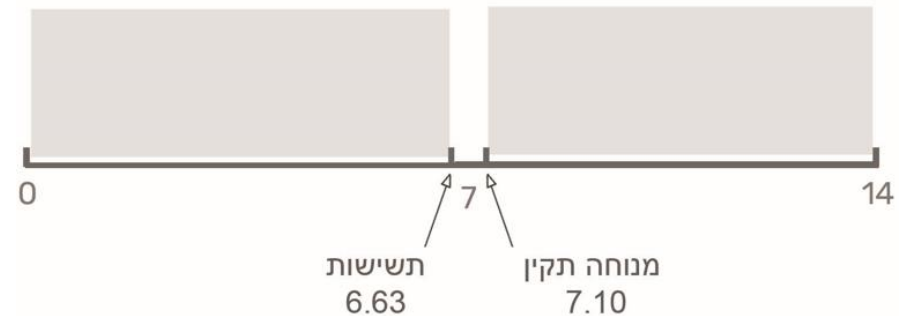
לקטט + H^+

חומציות $\uparrow$ pH $\downarrow$

טווח חומציות (pH)
תקין בדם העורקי (6.9 - 7.5)



רמת חומציות (pH)
בשריר



עייפות עקב עלייה בחומציות

גלוקוז

ADP + P

PFK



ATP

משוב שליילי

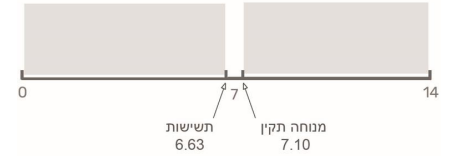
לקטט + H^+

חומציות $\uparrow$ pH $\downarrow$

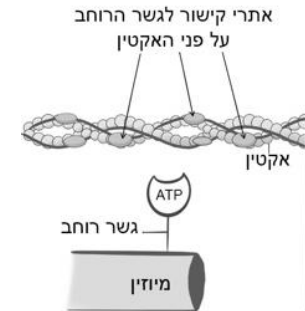
טווח חומציות (pH)
תקין בדם העורקי (6.9 - 7.5)



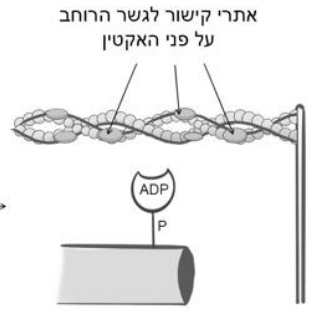
רמת חומציות (pH)
בשריר



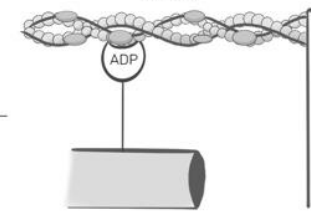
שלב 1



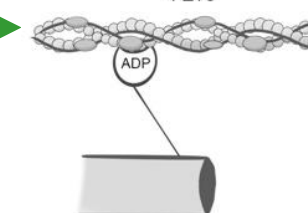
שלב 2



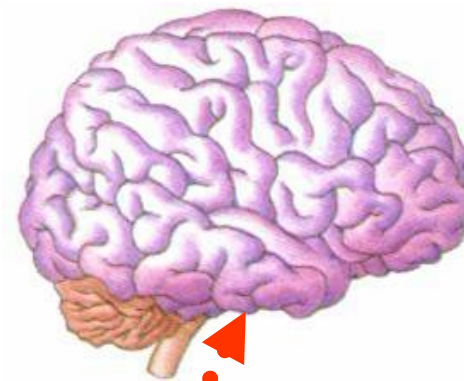
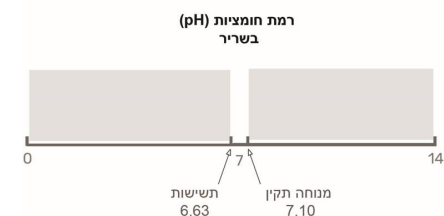
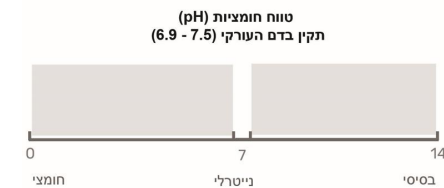
שלב 3



שלב 4



עייפות עקב עלייה בחומציות



גלוקוז

ADP + P

PFK

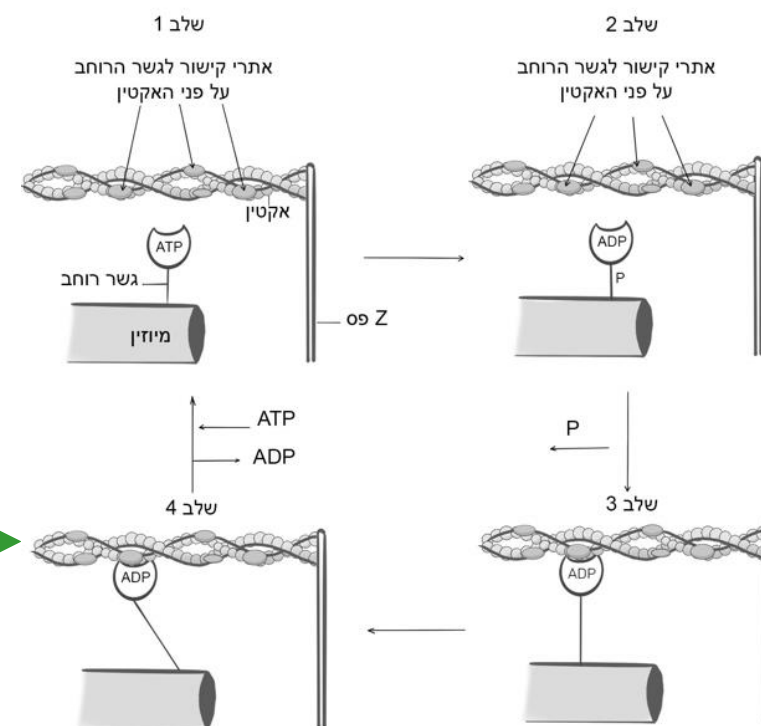


ATP

משוב שלילי

לקטט + H^+

חומציות $\uparrow$ pH $\downarrow$





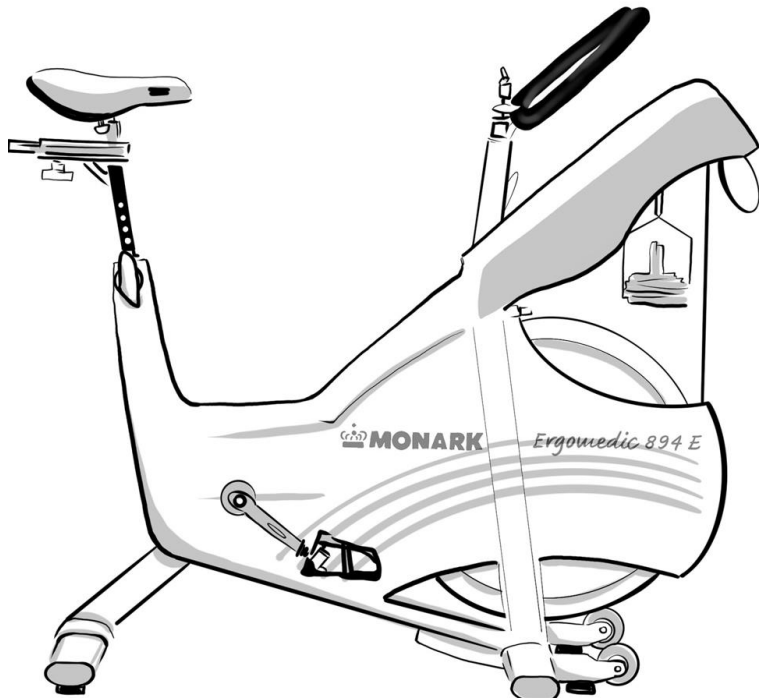
מסלול אנאירובי-לקטי

גבוהה	מהירות תגובה + האצה
גבוה	הספק אנרגטי
מוגבלת	כמות אנרגיה
עלייה בחומציות	גורם מעייף
סרקופלסמה	מיקום בתא
כ- 30% (חום + לקטט = 70%)	נצילות אנרגטית

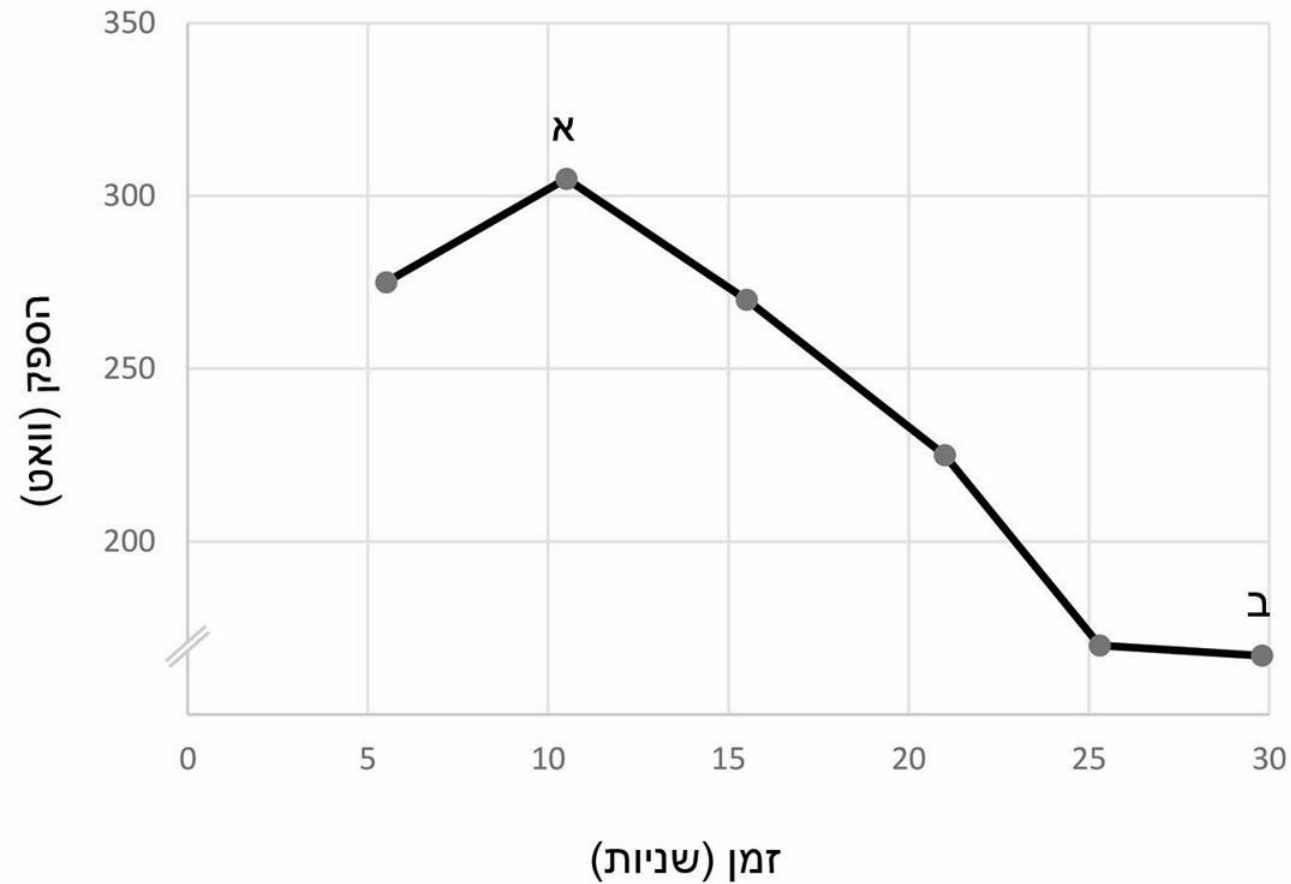
הערכת הכושר האנאירובי

הערכת היכולת לייצר הספק אנרגטי גדול (ATP/time)

במטבוליזם האנאירובי



א - ההספק המירבי
ב- ההספק הנמוך ביותר



השינוי בהספק המכני במהלך המבחן האנאירובי של וינגייט

המבחן האנאירובי של וינגייט



**סיבוב דוושות האופניים במהירות מרבית במשך 30 שניות,
כנגד התנגדות המחושבת ביחס למשקל הנבדק (7.5%)**

**הספק אנאירובי מרבי - ההספק המרבי בטווח של 5 שניות = רמת תפקוד
אנאירובי-אלקטי**

**הספק אנאירובי ממוצע - ממוצע ההספק ב- 30 שניות = רמת תפקוד
אנאירובי-לקטי**

**מדד ההתעייפות - מבטא את מידת הדעיכה (באחוזים) בהספק המכני ביחס
להספק האנאירובי המרבי.**

תוצאות יכולת אנאירובית (רגליים) בגברים ישראלים

צעירים (18-25) פעילים. התוצאות מבוטאות בוואט

דירוג	הספק ממוצע – אנאירובי-לקטי		הספק מירבי - אנאירובי-אלקטי	
	הספק מוחלט	הספק יחסי	הספק מוחלט	הספק יחסי
נמוך מאד	302-380	5.1-6.0	339-440	5.4-6.8
נמוך	380-418	6.0-6.4	441-492	6.8-7.5
מתחת לממוצע	418-456	6.9-6.4	493-544	7.5-8.1
ממוצע	456-494	6.9-7.3	544-596	8.2-8.8
טוב	495-533	7.3-7.7	596-648	8.8-9.5
טוב מאד	533-571	7.7-8.2	648-700	9.5-10.2
מצוין	571-649	8.2-9.0	700-802	10.2-11.6

יכולת אנאירובית (רגליים) בנשים ישראליות צעירות (18-25) פעילות. התוצאות מבוטאות בוואט.

דירוג	הספק ממוצע - אנאירובי-לקטי		הספק מירבי - אנאירובי-אלקטי	
	הספק מוחלט	הספק יחסי	הספק מוחלט	הספק יחסי
נמוך מאד	177-247	4.31-4.90	319-400	6.28-7.27
נמוך	247-282	4.91-5.20	400-441	7.28-7.77
מתחת לממוצע	282-317	5.21-5.50	441-482	7.78-8.27
ממוצע	317-352	5.51-5.80	482-524	8.28-8.78
טוב	352-387	5.81-6.10	524-565	8.79-9.28
טוב מאד	387-422	6.11-6.40	565-605	9.29-9.78
מצוין	422-492	6.41-7.00	606-686	9.79-10.78

להלן תוצאות מבחן אנאירובי של 3 נשים . למי יש את היכולת האנאירובית-אלקטית הטובה ביותר ולמי את היכולת האנאירובית - לקטית.

מ.ס.	משקל בק"ג	הספק מרבי	הספק ממוצע
א	50	450 וואט	6.5 וואט/ק"ג
ב	60	9.5 וואט/ק"ג	360 וואט
ג	60	600 וואט	5.5 וואט/ק"ג

להלן תוצאות מבחן אנאירובי של 3 נשים . למי יש את היכולת האנאירובית-אלקטית הטובה ביותר ולמי את היכולת האנאירובית - לקטית.

מס.	משקל בק"ג	הספק מרבי אנאירובי-אלקטי	הספק ממוצע אנאירובי-לקטי
א	50	450 וואט	6.5 וואט/ק"ג
ב	60	9.5 וואט/ק"ג	360 וואט
ג	60	600 וואט	5.5 וואט/ק"ג

להלן תוצאות מבחן אנאירובי של 3 נשים . למי יש את היכולת האנאירובית-אלקטית הטובה ביותר ולמי את היכולת האנאירובית - לקטית.

מ.ס.	משקל בק"ג	הספק מרבי אנאירובי-אלקטי	הספק ממוצע אנאירובי-לקטי
א	50	9 וואט/ק"ג	6.5 וואט/ק"ג
ב	60	9.5 וואט/ק"ג	6 וואט/ק"ג
ג	60	10 וואט/ק"ג	5.5 וואט/ק"ג

**להלן תוצאות של 4 גברים במבחן האנאירובי של
וינגייט. דרגו אותם עפ"י ההישג הצפוי בריצת 60
מטר ובריצת 600 מטר (ממקום 1 למקום 4)**

נבדק	משקל בק"ג	הספק מרבי	הספק ממוצע
א	80	640 וואט	7 וואט/ק"ג
ב	70	630 וואט	420 וואט
ג	80	8.5 וואט/ק"ג	400 וואט
ד	75	750 וואט	450 וואט

**להלן תוצאות של 4 גברים במבחן האנאירובי של
וינגייט. דרגו אותם עפ"י ההישג הצפוי בריצת 60
מטר ובריצת 600 מטר (ממקום 1 למקום 4)**

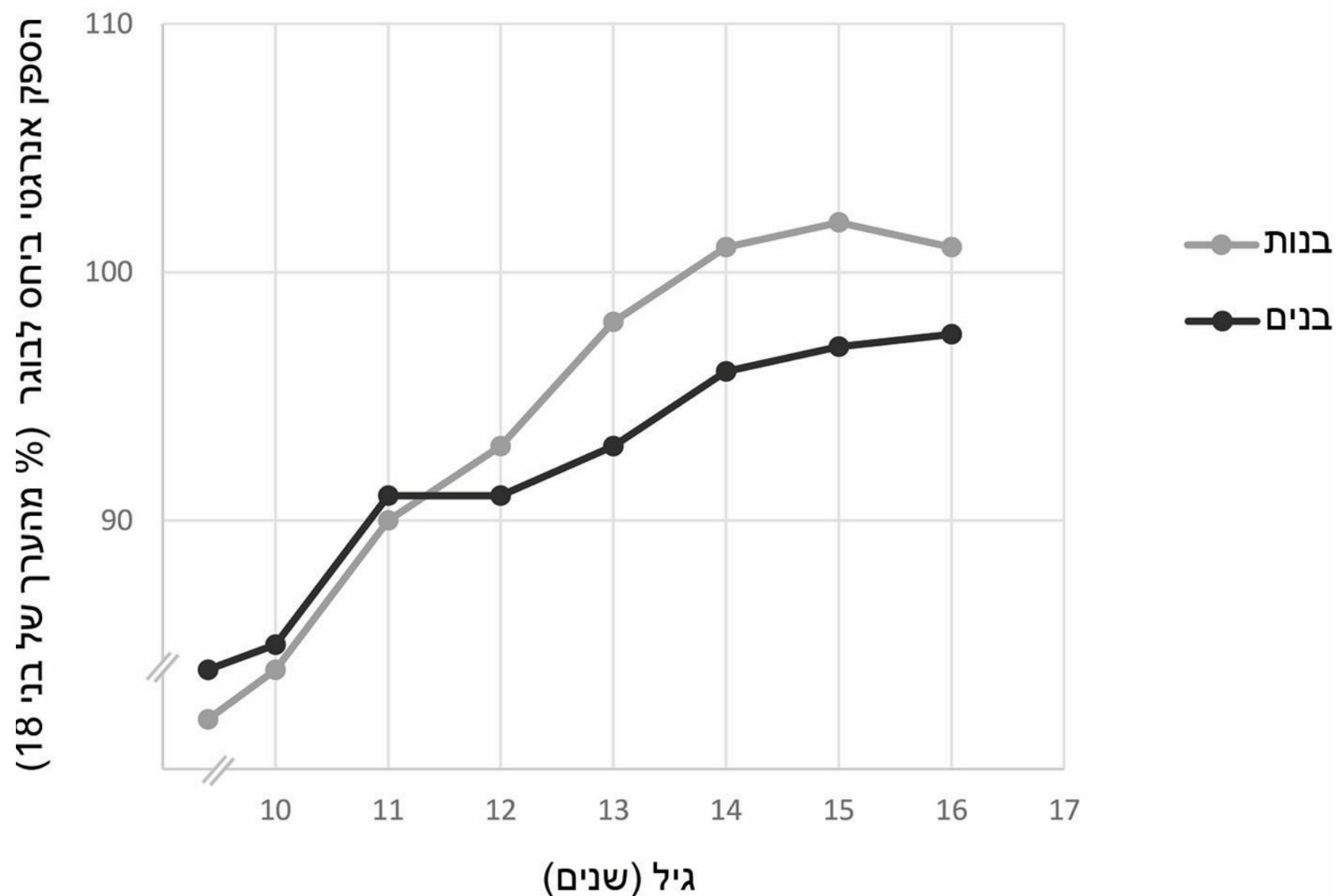
נבדק	משקל בק"ג	הספק מרבי אנאירובי-אלקטי ריצת 60 מ'	הספק ממוצע אנאירובי-לקטי ריצת 600 מ'
א	80	640 וואט	7 וואט/ק"ג
ב	70	630 וואט	420 וואט
ג	80	8.5 וואט/ק"ג	400 וואט
ד	75	750 וואט	450 וואט

להלן תוצאות של 4 גברים במבחן האנאירובי של וינגייט. דרגו אותם עפ"י ההישג הצפוי בריצת 60 מטר ובריצת 600 מטר (ממקום 1 למקום 4)

נבדק	משקל בק"ג	הספק מרבי אנאירובי-אלקטי ריצת 60 מ'	הספק ממוצע אנאירובי-לקטי ריצת 600 מ'
א	80	8 וואט/ק"ג	7 וואט/ק"ג
ב	70	9 וואט/ק"ג	6 וואט/ק"ג
ג	80	8.5 וואט/ק"ג	5 וואט/ק"ג
ד	75	10 וואט/ק"ג	6 וואט/ק"ג

העלייה ביכולת האנאירובית בבנים ובנות מגיל 9 ועד 16 ביחס לערכים הנמדדים

בגיל 18 הנחשבים כמדד ליכולת של אדם בוגר = 100%.

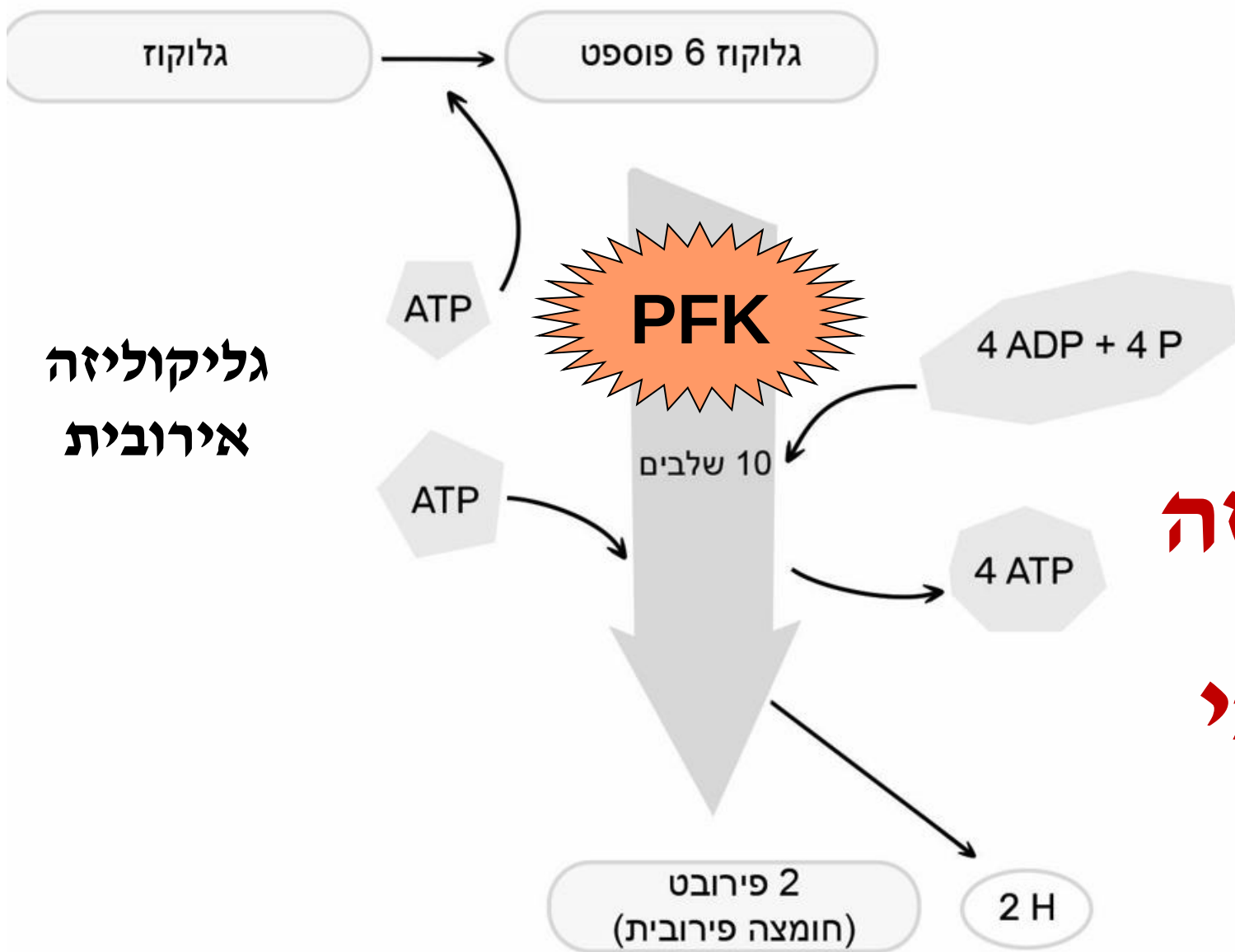


תהליך הפקת האנרגיה מפחמימות במסלול האירובי מורכב משלושה שלבים:

1. גליקוליזה

2. מעגל קרבס (מעגל חומצת הלימון)

3. שרשרת העברת האלקטרונים

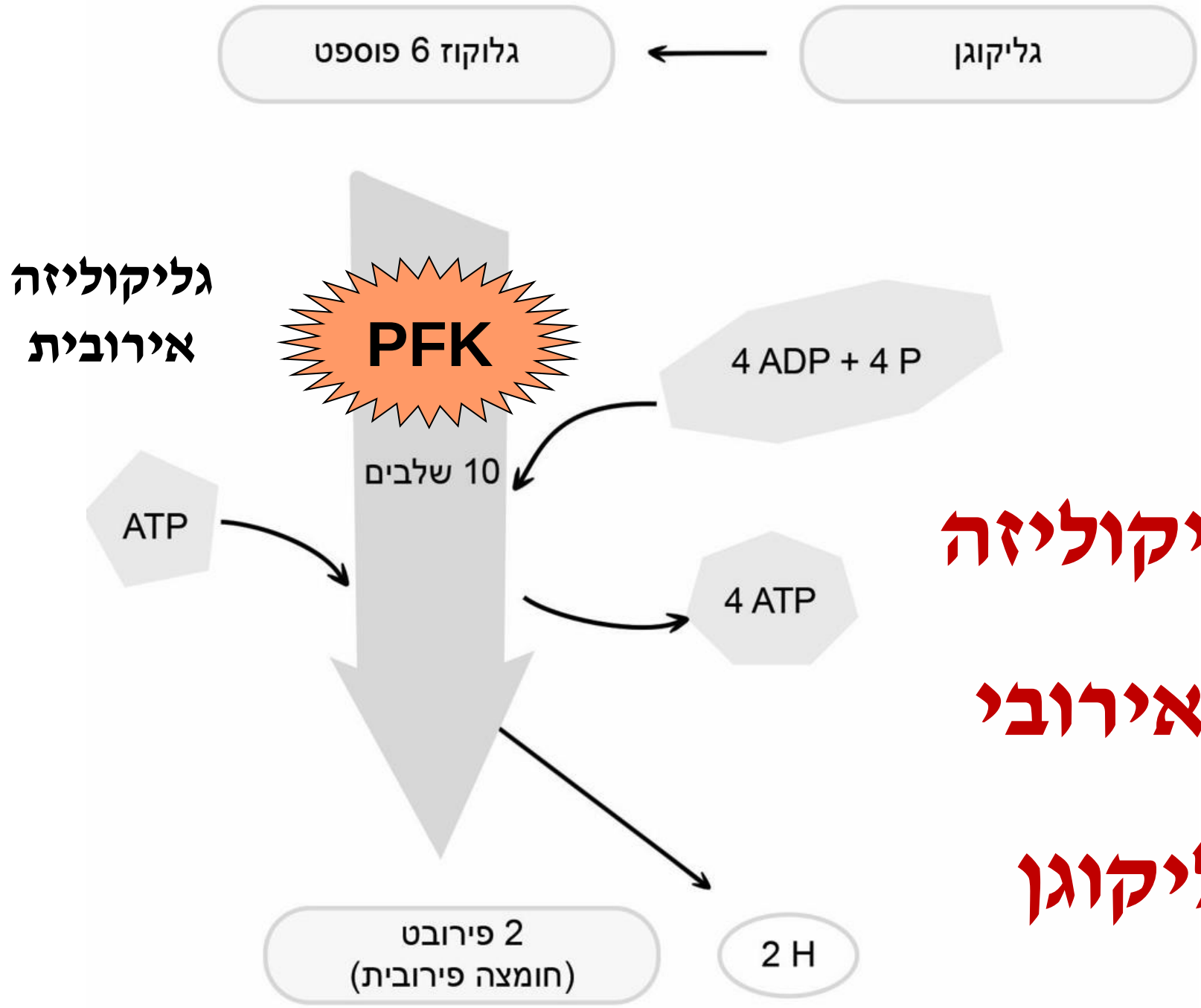


גליקוליזה
אירובית

סכמה של הגליקוליזה

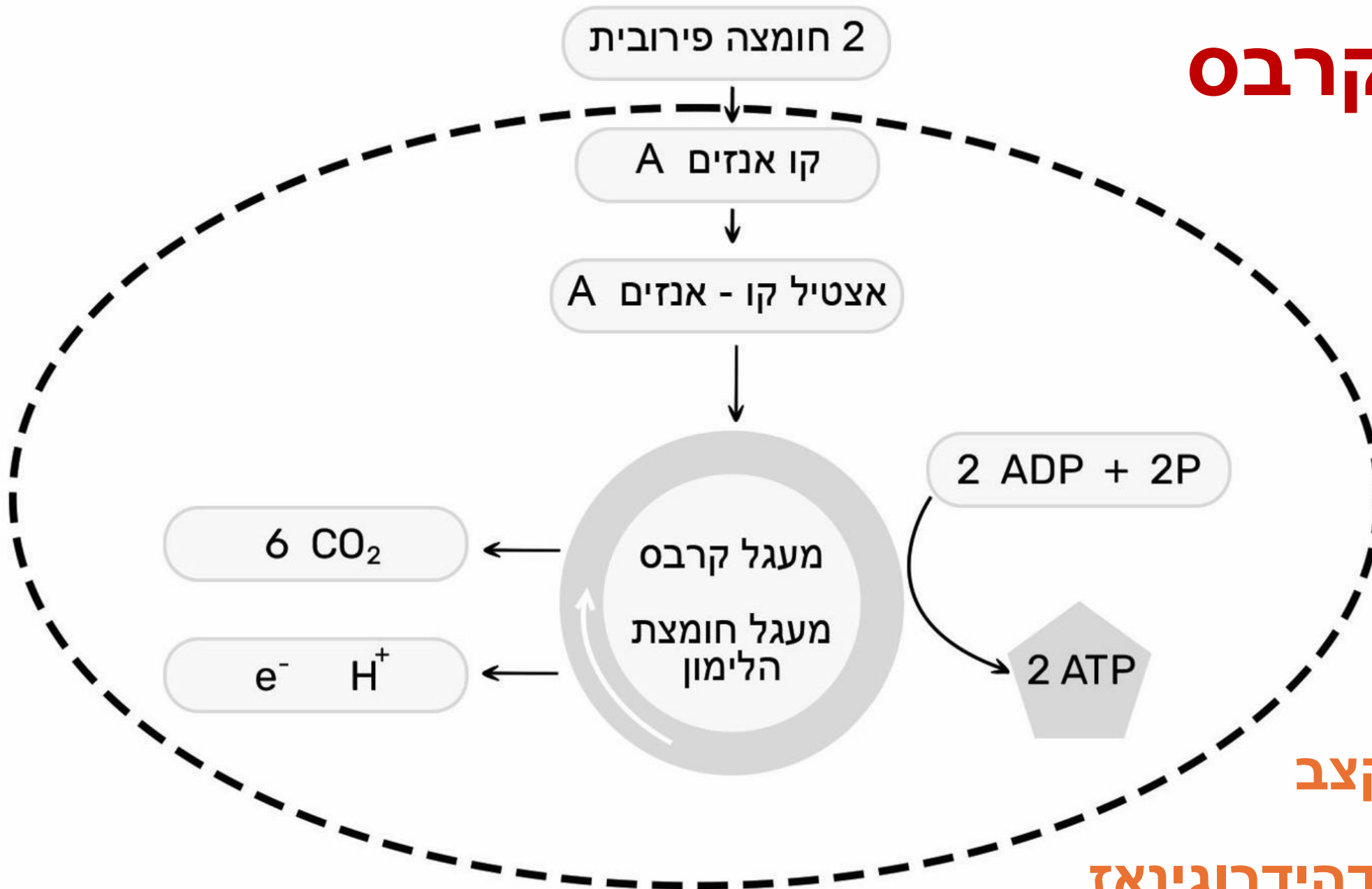
במטבוליזם האירובי

בעת פרוק גלוקוז



**סכמה של הגליקוליזה
במטבוליזם האירובי
בעת פרוק גליקוגן**

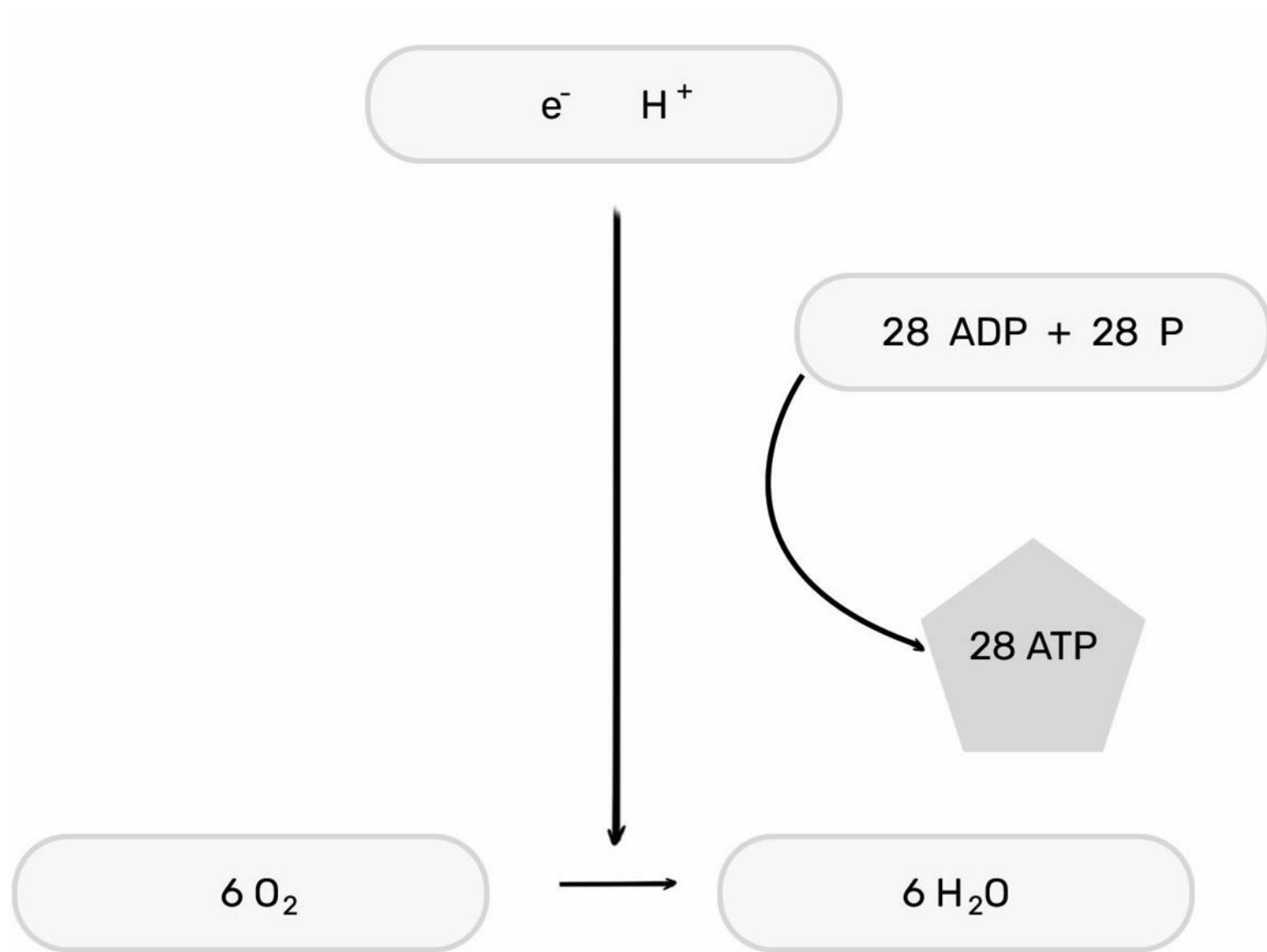
מעגל קרבס



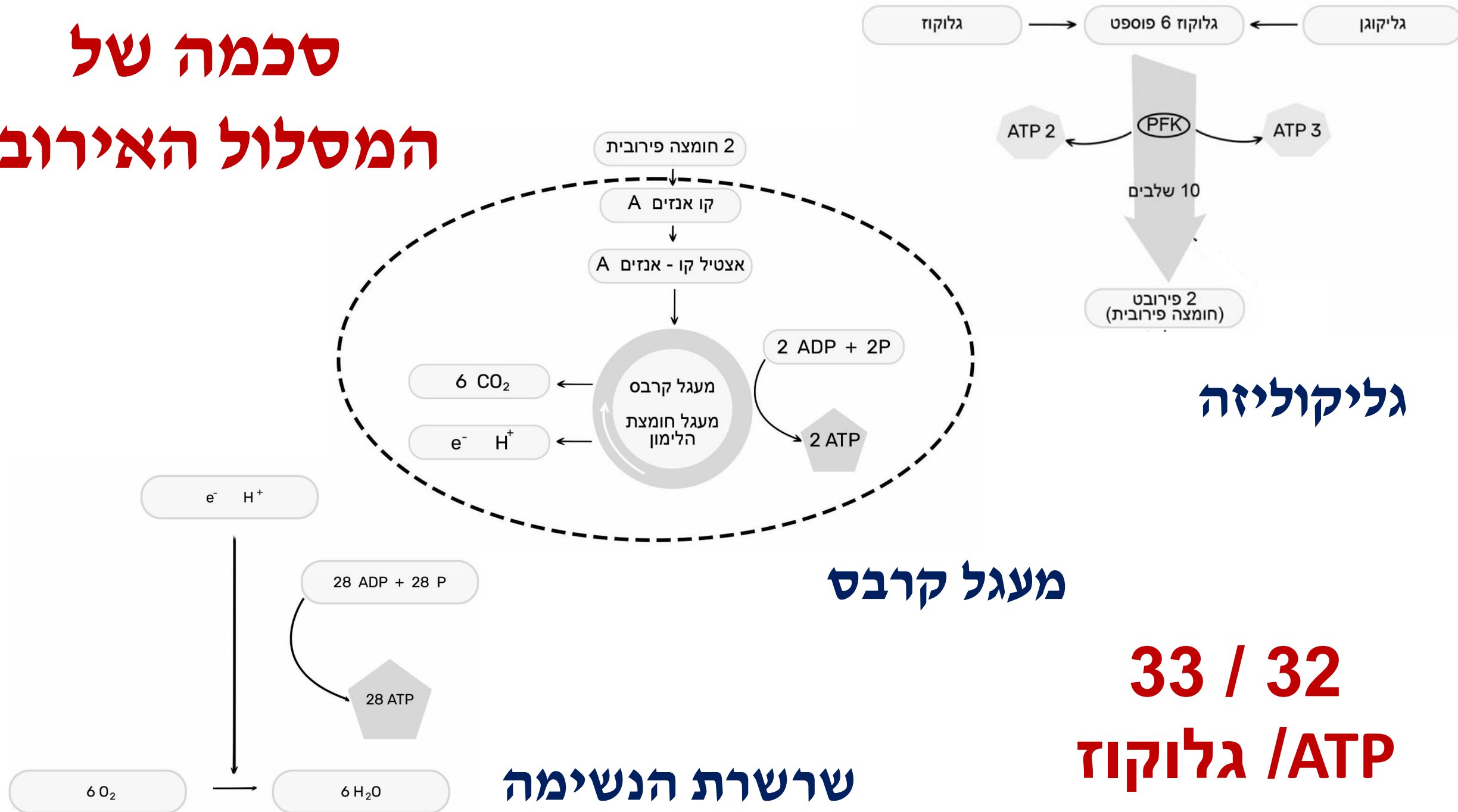
אנזים קובע קצב

איזוציטראט-דהידרוגינאז

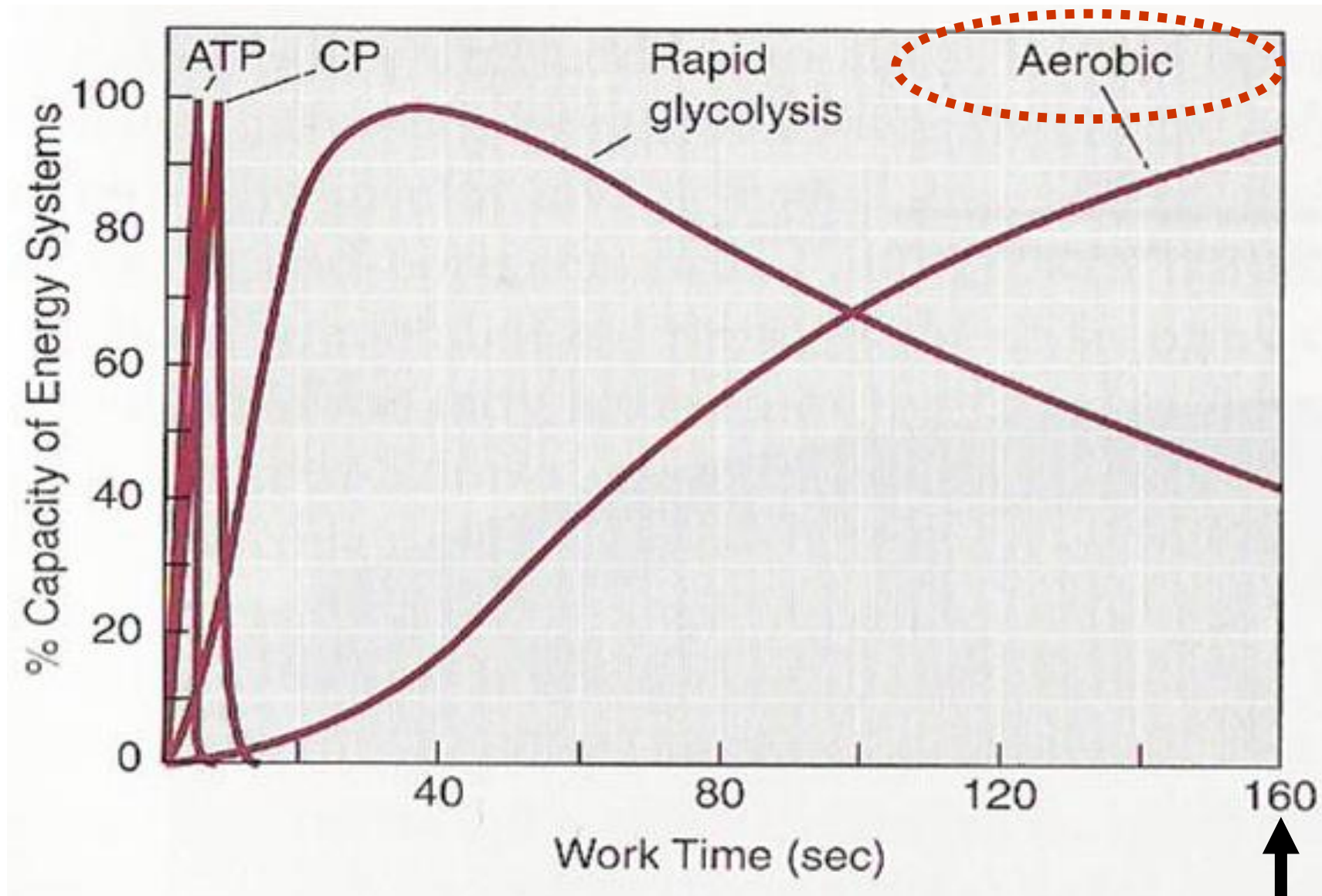
שרשרת העברת האלקטרונים - שרשרת הנשימה

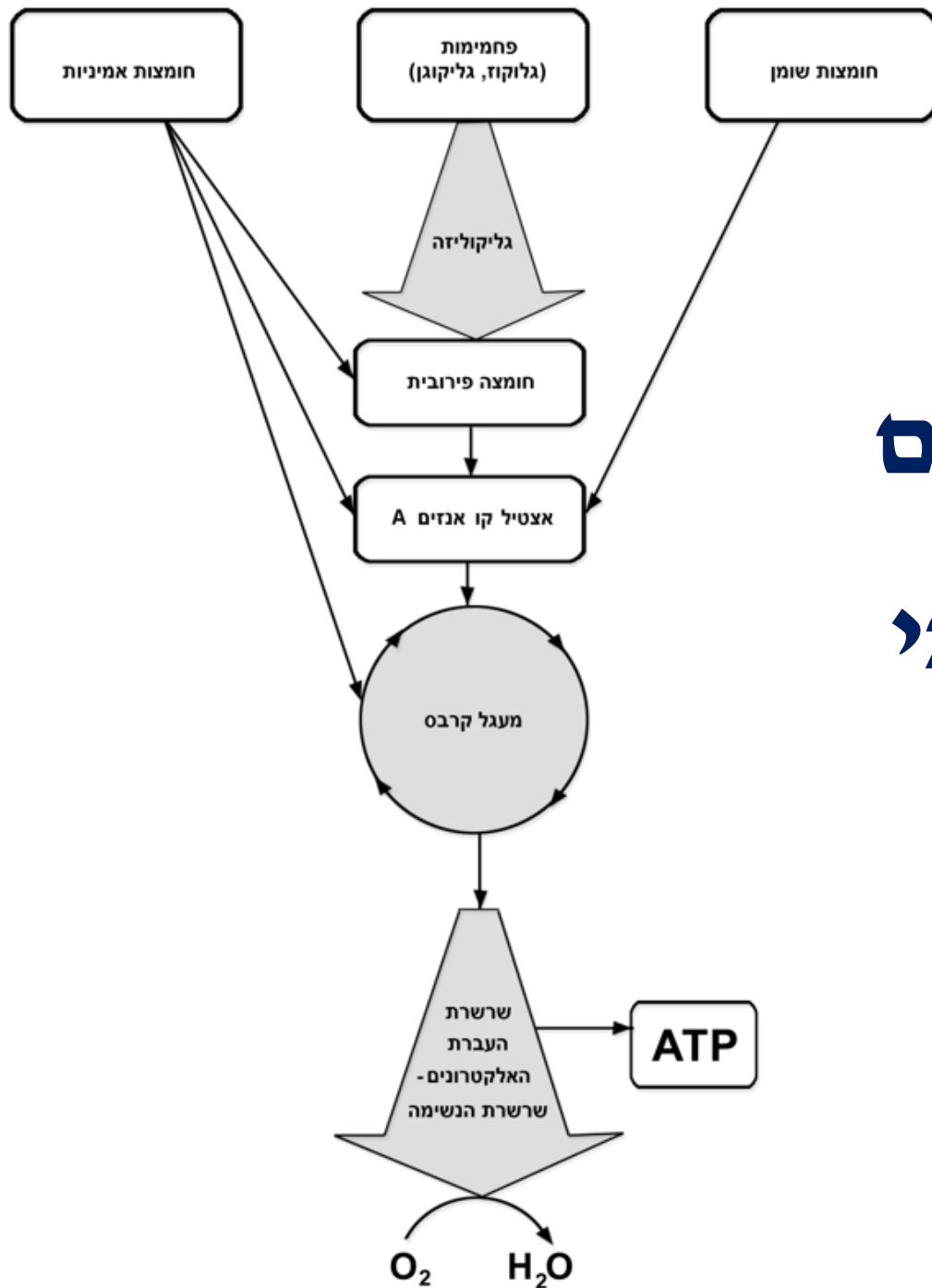


סכמה של המסלול האירובי



מהירות תגובה + האצה - אירובי





**השתלבות הפחמימות, השומנים
והחלבונים במטבוליזם האירובי**



מסלול אירובי

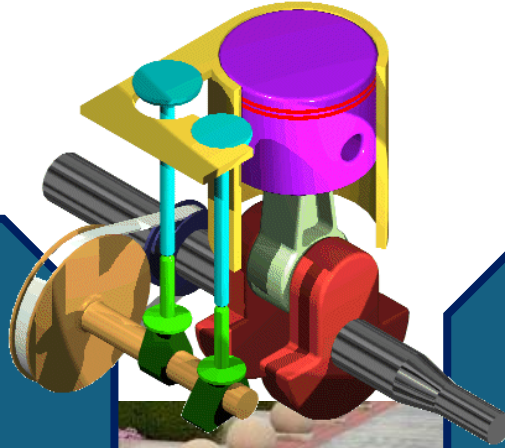
מהירות תגובה + האצה	איטית
הספק אנרגטי	נמוך
כמות אנרגיה	בלתי מוגבלת
גורם מעייף	אין
נצילות אנרגטית	40%
מיקום בתא	סרקופלסמה, מיטוכונדריון

מסלולי אספקת אנרגיה - מטבוליזם אנרגטי



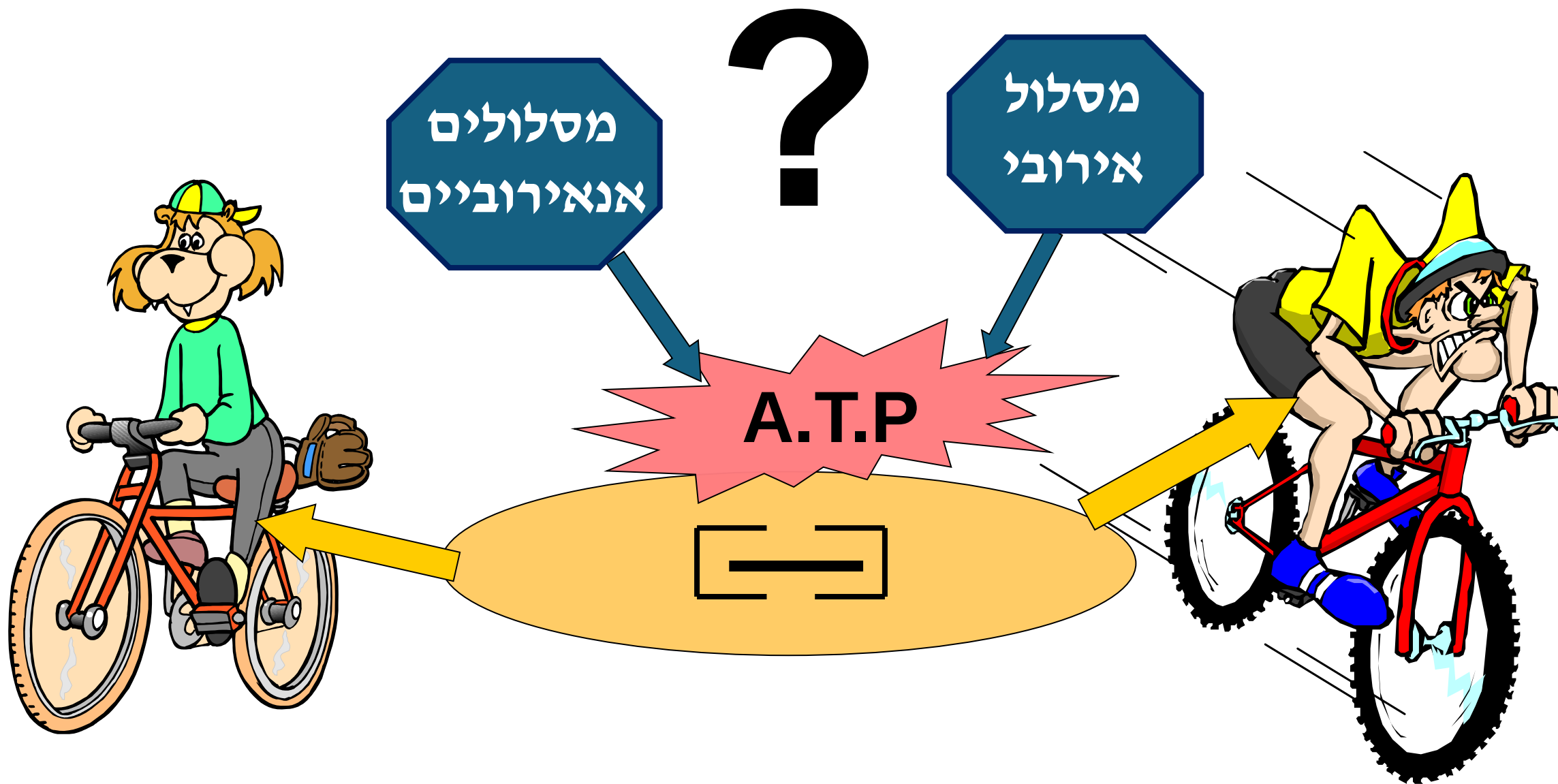
מסלול
אירובי

מסלולים
אנאירוביים



A.T.P

מה קובע את התרומה היחסית?



גלוקוז / גליקוגן



חומצה פירובית / פירובט

מטבוליזם אירובי

מטבוליזם אנאירובי - לקטי



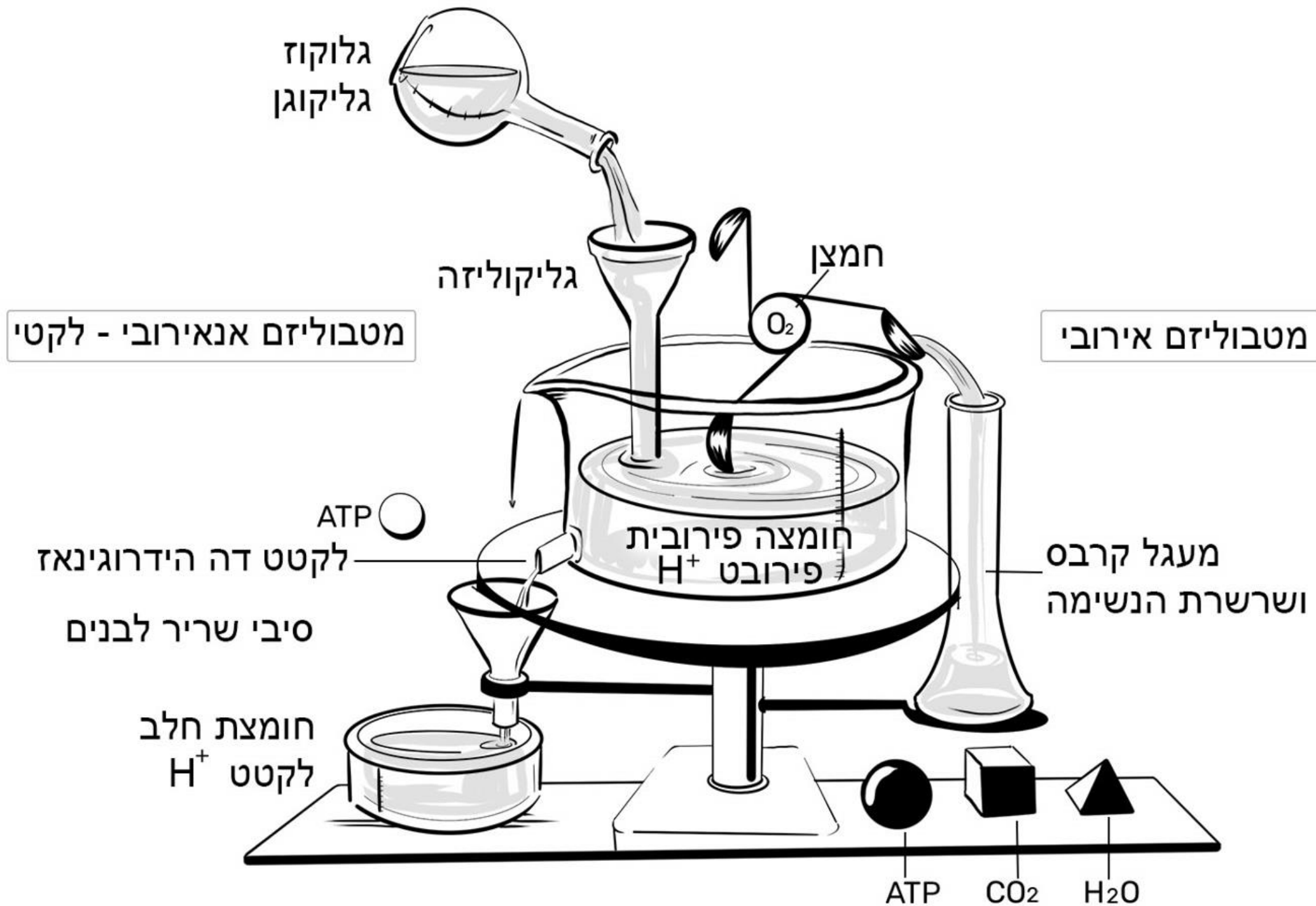
חומצת חלב

מעגל קרבס

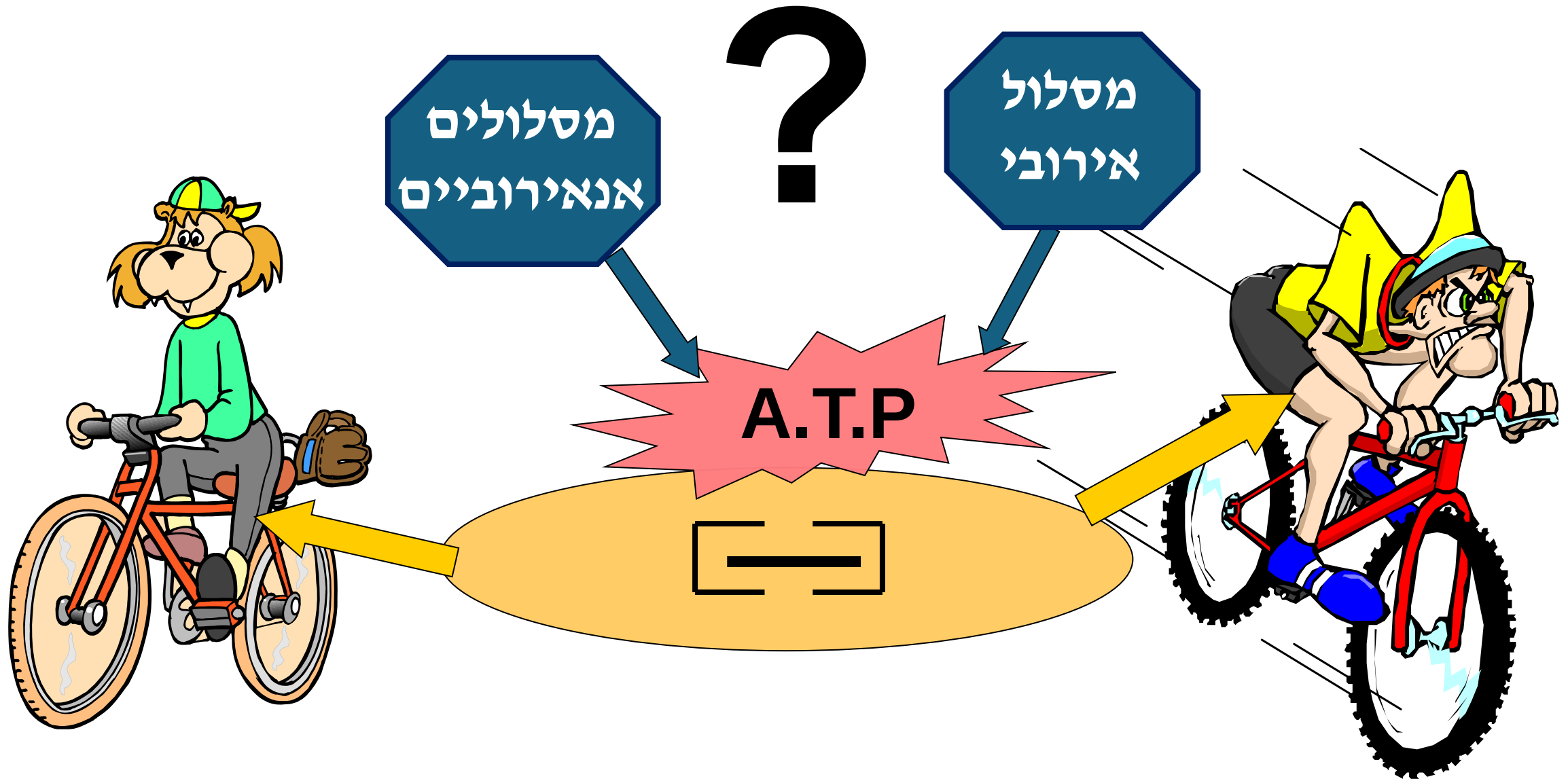


לקטט, H^+

שרשרת הנשימה



עצימות, משך המאמץ והיכולת האירובית



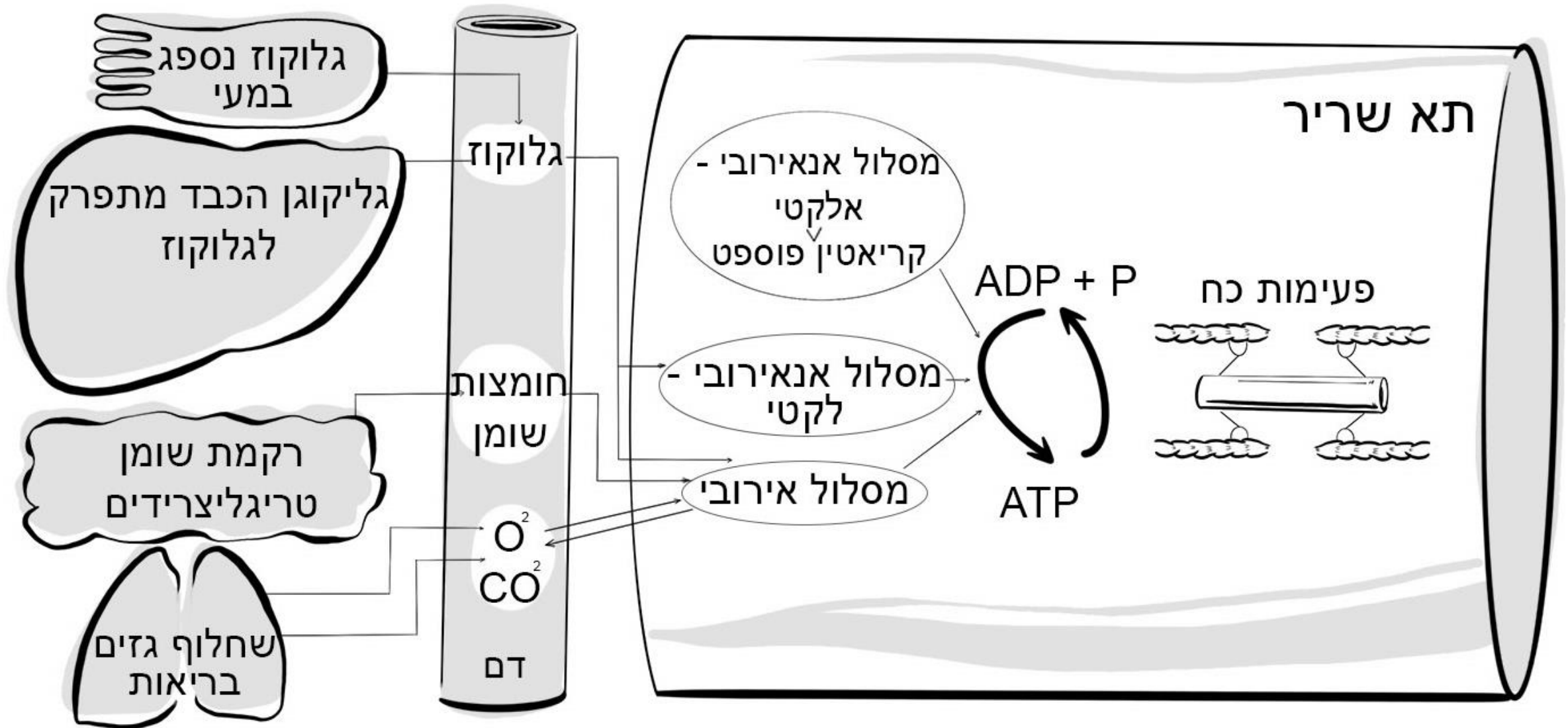
מאפייני המסלולים לאספקת אנרגיה

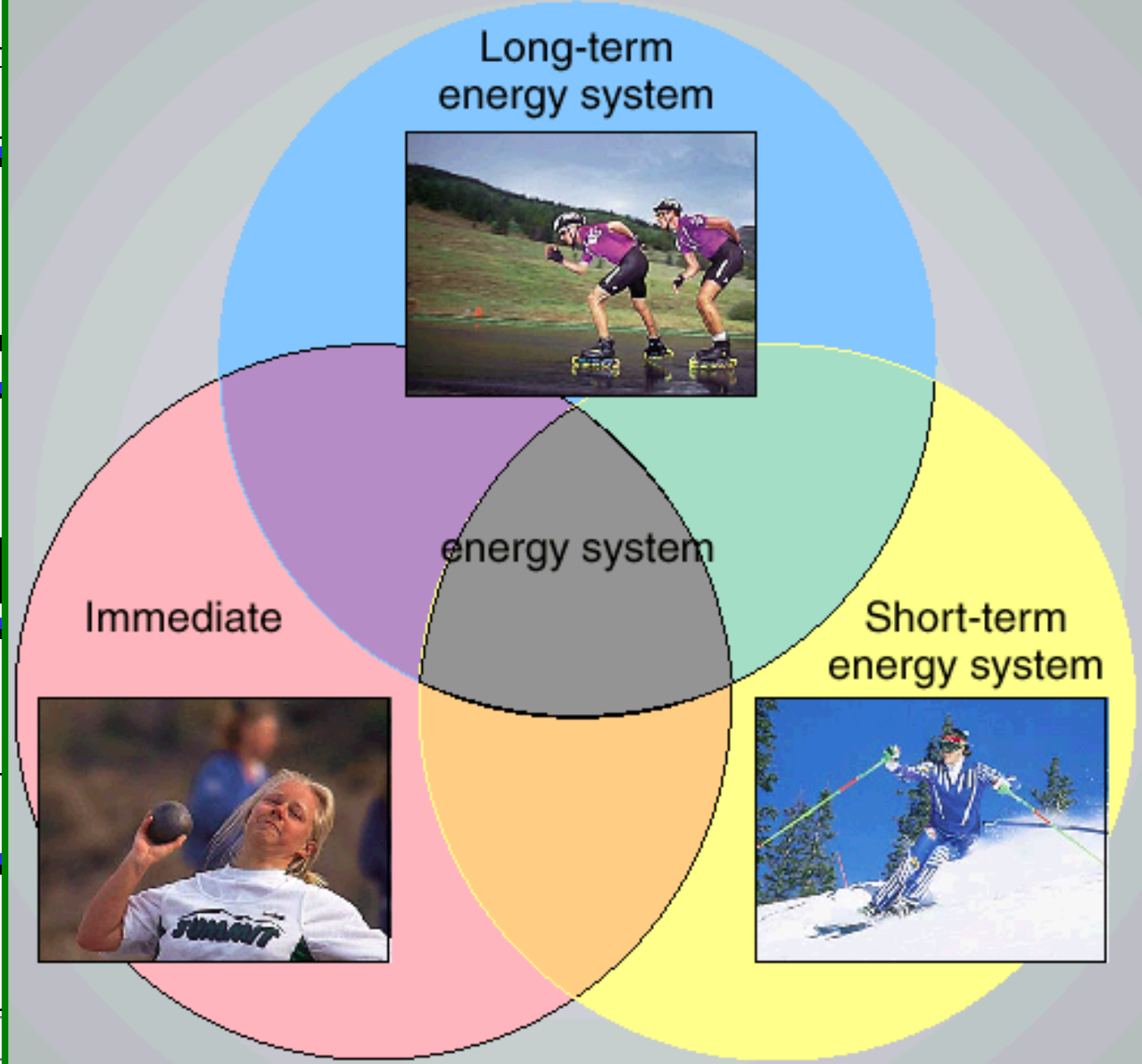
אנאירובי		אירובי	המסלול
לקטי			מאפיין
אלקטי			
קריאטין פוספט	פחמימות	פחמימות, שומנים, חלבונים	דלת מטבולי
גבוהה מאד	גבוהה	איטית	מהירות תגובה + האצה
גבוה מאד			הספק אנרגטי
פי 4-8		נמוך	
פי 2	גבוה		
מועטה	מוגבלת	בלתי מוגבלת	כמות אנרגיה
דלק מטבולי בכמות מוגבלת	עלייה בחומציות	אין	גורם מעייף

מסלול	אנאירוב-אלקטי	אנאירובי-לקטי	אירובי
מאפיין			
שמות נוספים	מסלול פוספוגני מסלול ATP-קריאטין פוספט	מסלול גליקוליטי	מסלול חמצוני
דלק מטבולי	קריאטין פוספט	פחמימות: גלוקוז, גליקוגן	פחמימות: גלוקוז, גליקוגן שומנים חלבונים
מהירות תגובה + האצה	גבוהה מאוד	גבוהה	איטית
הספק אנרגטי מרבי	גבוה מאוד 4 מול ATP / דק'	גבוה 2.5 מול ATP / דק'	נמוך 1 מול ATP / דק'
משך הזמן שבו מייצר את ההספק האנרגטי המרבי	3-15 שניות	30-75 שני'	2 דק' ועד שעות כתלות בהספק האנרגטי הנדרש

מסלול מאפיין	<u>אנאירוב-אלקטי</u>	אנאירובי-לקטי	אירובי
יחס בין כמות הסובסטרט לכמות ה-ATP	1 מול ATP / 1 מול סובסטרט	2-3 מול ATP / 1 מול סובסטרט	32-33 מול ATP / 1 מול סובסטרט (גלוקוז / גליקוגן) מעל 100 מול ATP / 1 מול חומצת שומן
כמות ATP	מועטה	מוגבלת	בלתי מוגבלת
גורם מעייף	דלק מטבולי בכמות מוגבלת	עלייה בחומציות (H^+)	אין
תוצרי לוואי מטבוליים	אין	לקטט + יוני מימן (H^+)	פחמן דו-חמצני, מים
מיקום בתא השריר	<u>סרקופלזמה</u>	<u>סרקופלזמה</u>	<u>סרקופלזמה</u> , מיטוכונדריון

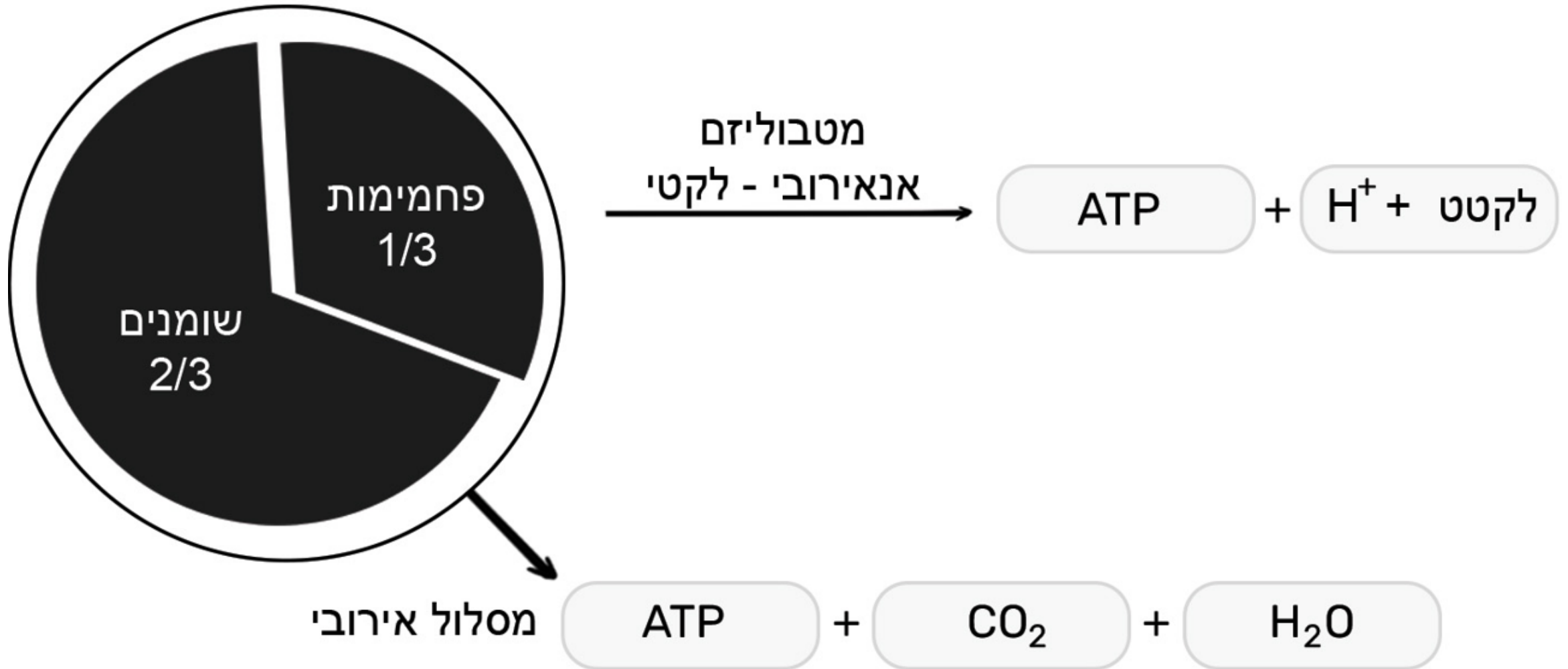
מסלולי אספקת האנרגיה



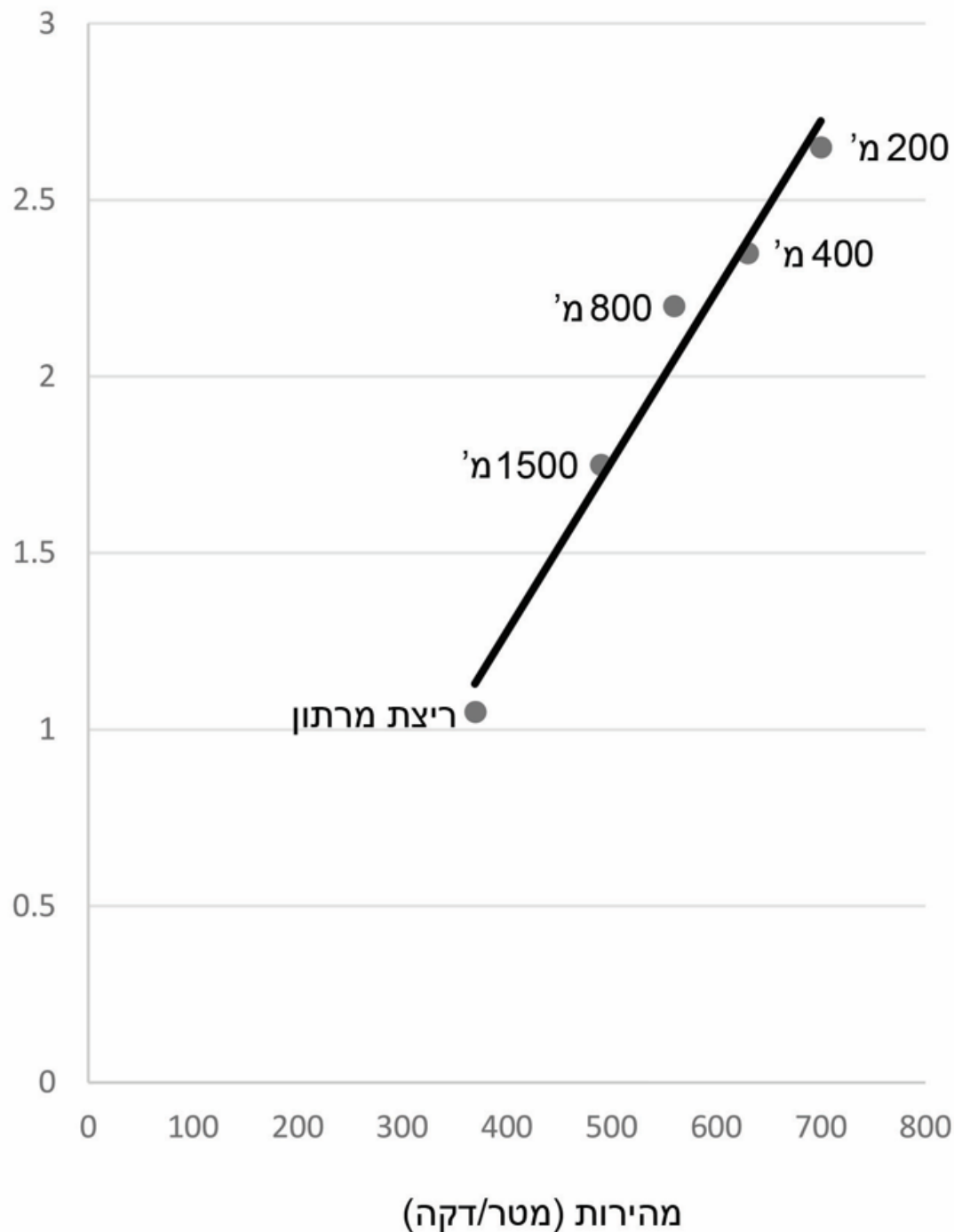


תרומתם במקביל של המסלולים המטבוליים

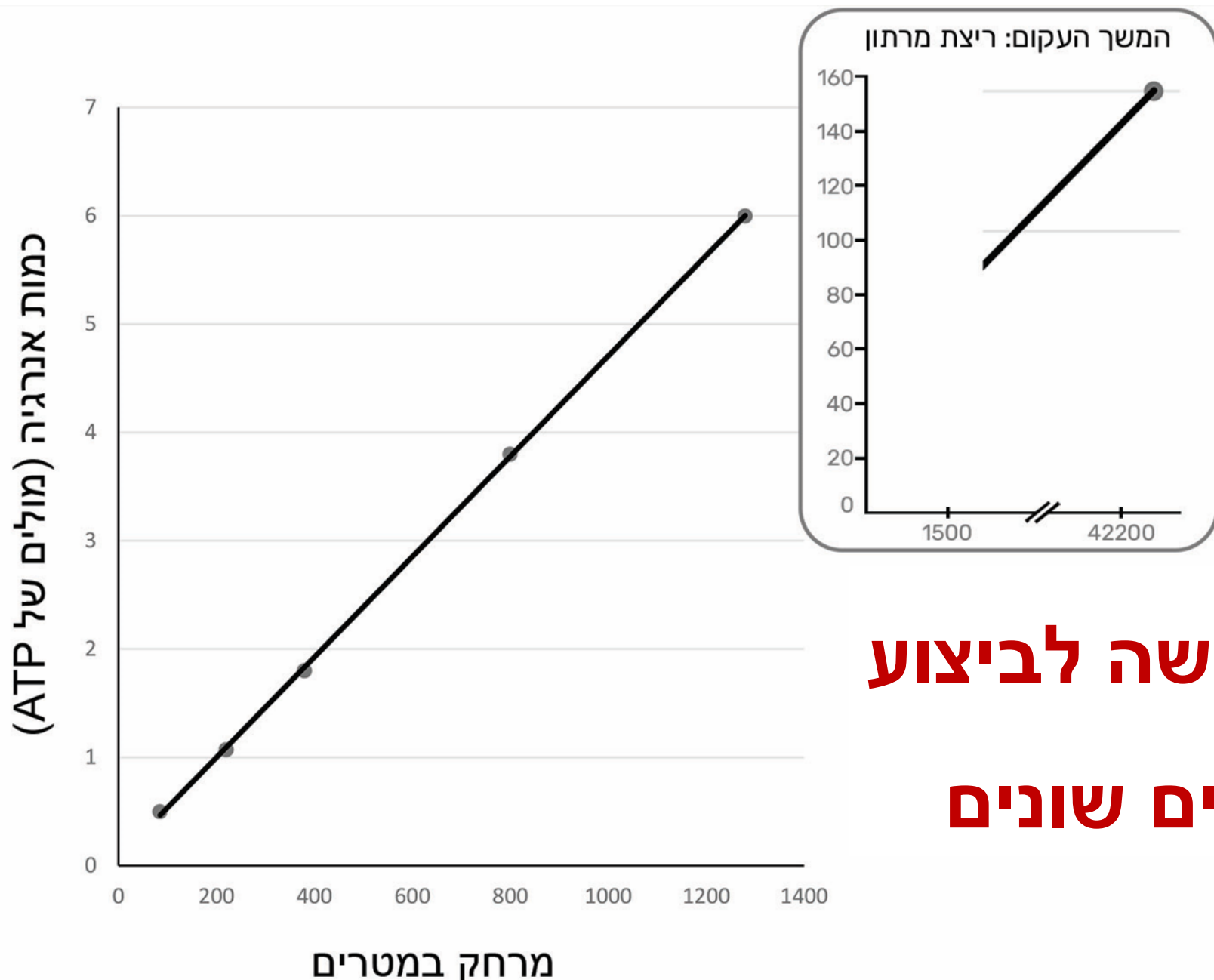
אספקת אנרגיה במנוחה



הספק אנרגטי (מולים של ATP בדקה)



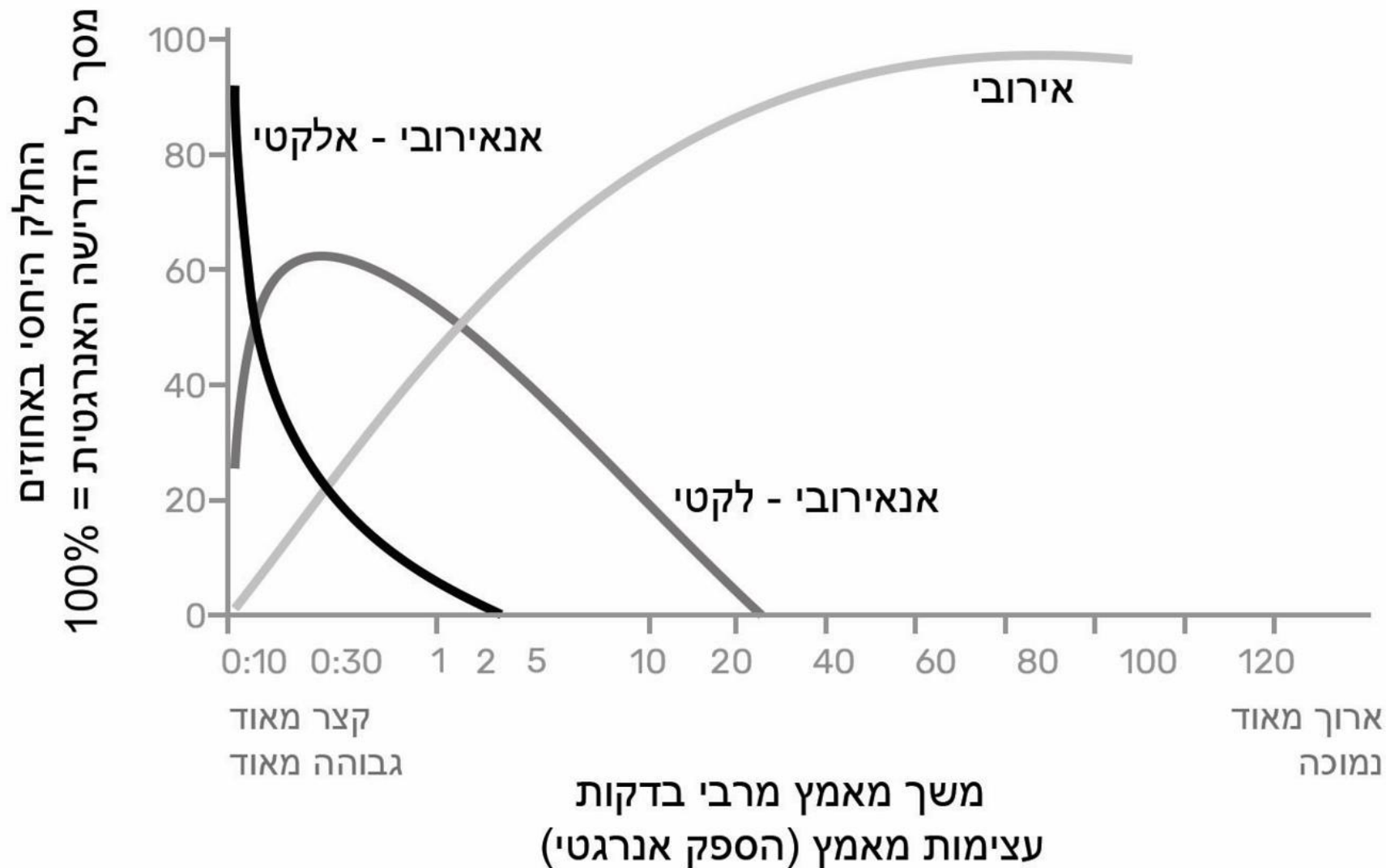
**ההספק האנרגטי
הנדרש במהלך ריצה
למרחקים שונים**



**כמות האנרגיה הדרושה לביצוע
מאמצי ריצה למרחקים שונים**

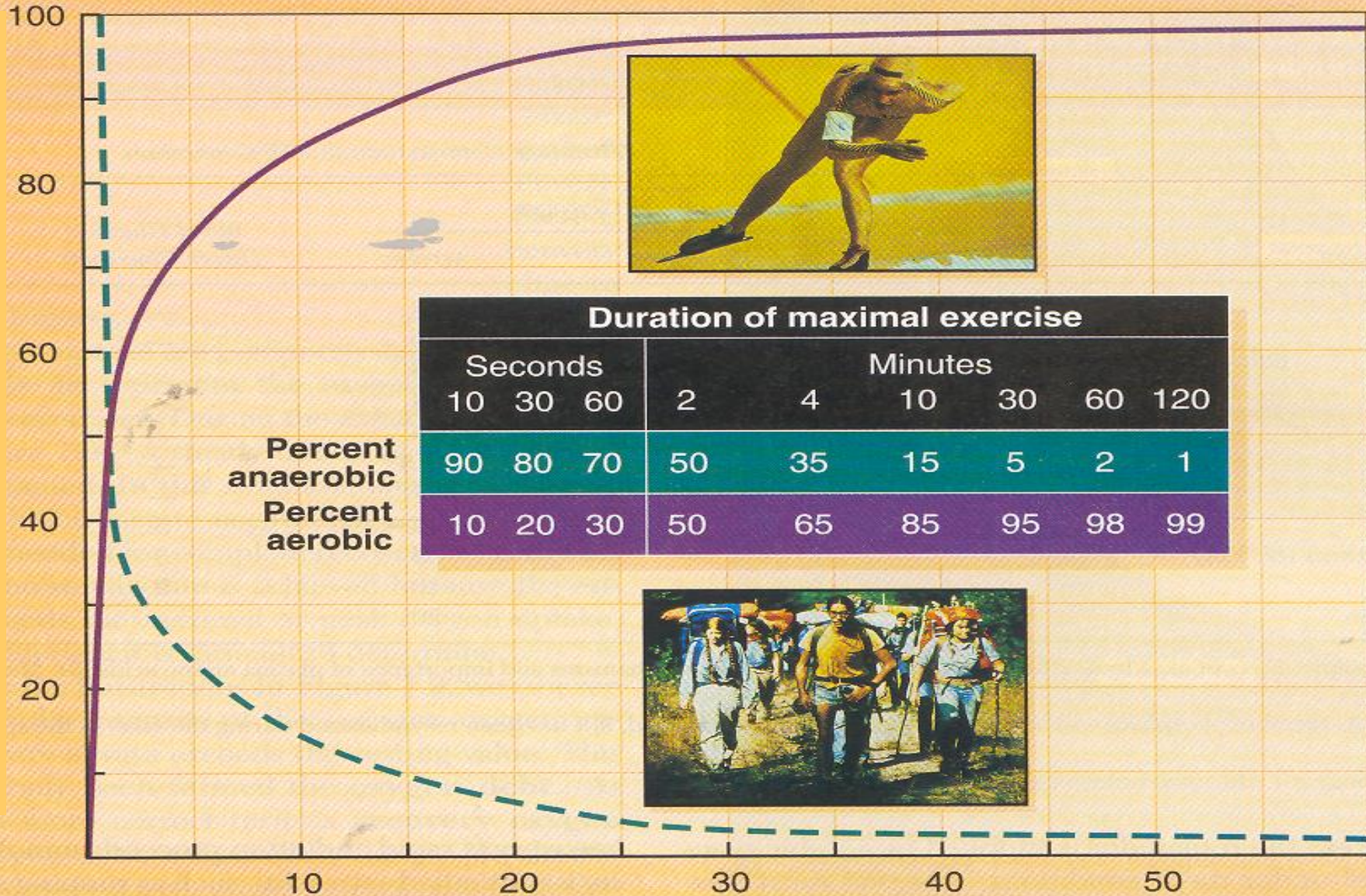
תרומתם היחסית של שלושת המסלולים לפעולת השרירים במאמץ

מרבי לפרקי זמן שונים ובקצבים תואמים.



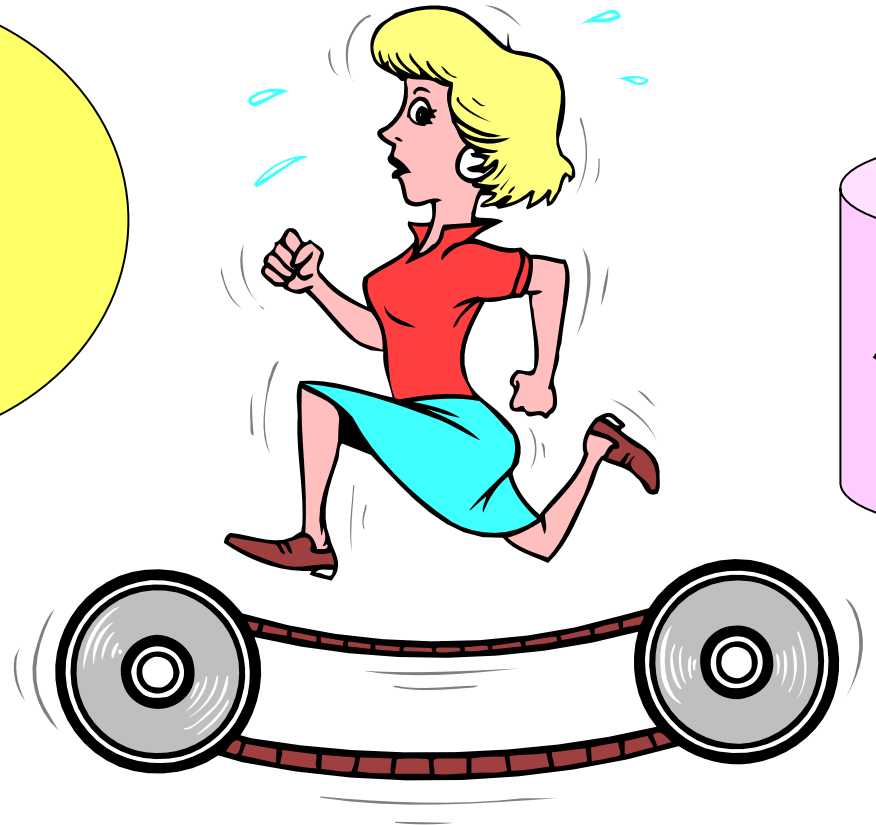
תרומתם היחסית של מסלולי אספקת האנרגיה בעת ביצוע מאמצים מחזוריים

% מסך כל הדרישה האנרגטית



משך מאמץ מרבי (דקות)

השפעת השיפור בכושר האירובי על התרומה היחסית של המסלולים המטבוליים באספקת האנרגיה

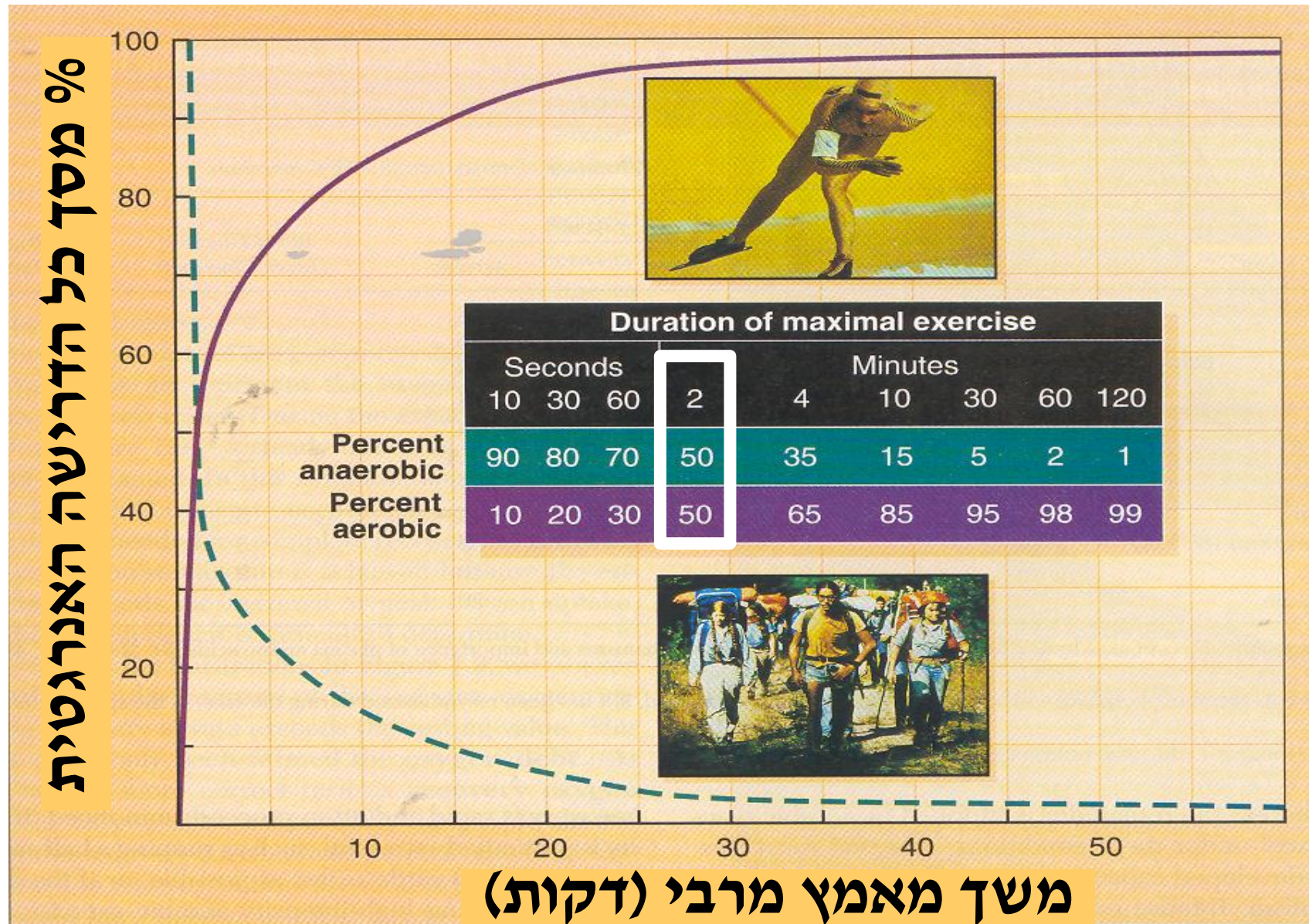


**עייפות - עלייה
בחומציות**

מהירות 15 קמ"ש (4 דק"/ק"מ), ~ 2 דקות: 50% אירובי, 50% אנאירובי

מאמץ נתון = הספק אנרגטי נתון = $\text{ATP} \times$ ביחידת זמן

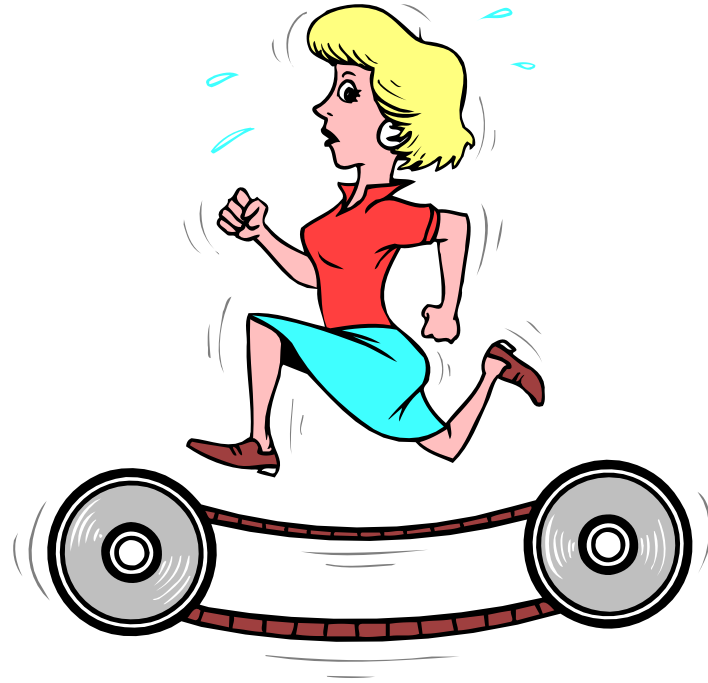
תרומתם היחסית של מסלולי אספקת האנרגיה בעת ביצוע מאמצים מחזוריים



השפעת השיפור בכושר האירובי על התרומה היחסית של המסלולים המטבוליים באספקת האנרגיה

אחרי חצי שנה של אימון אירובי

עייפות - עלייה
בחומציות



אנאירובי

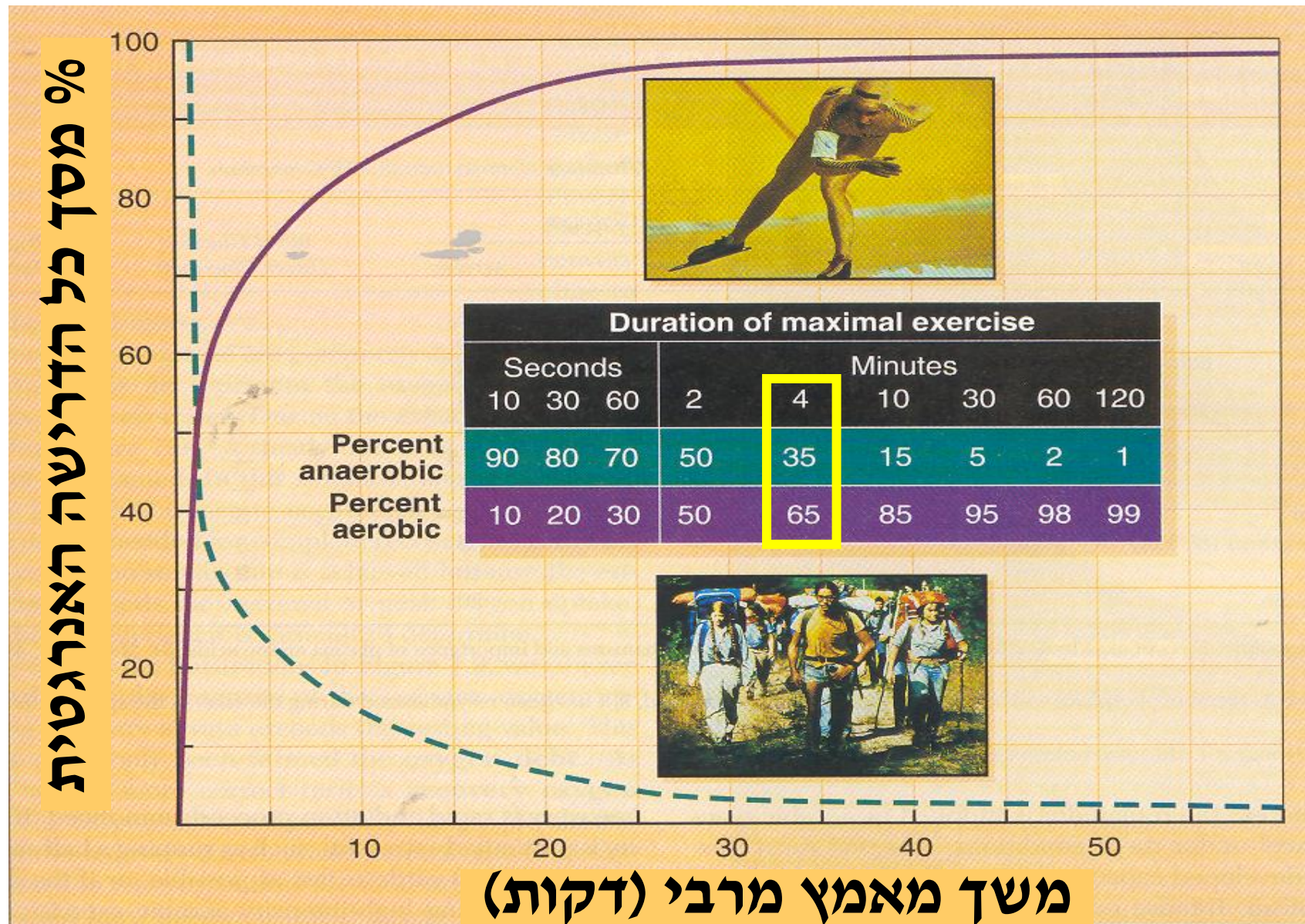
אירובי

מהירות 15 קמ"ש (4 דק"/ק"מ), ~ 4 דקות: 65% אירובי, 35% אנאירובי

מאמץ נתון = הספק אנרגטי נתון = $\text{ATP} \times \text{ביחידת זמן}$

באותו קצב = הספק אנרגטי, קצב העלייה בחומציות מופחת וניתן להתמיד זמן ארוך יותר

תרומתם היחסית של מסלולי אספקת האנרגיה בעת ביצוע מאמצים מחזוריים



קלווין קיפטום - קניה, שיאן
עולם במרתון (שיקגו 8.10.23)



קיפטום - 20 קמ"ש 100% אירובי.... רוב בני האדם

... 100% אנאירובי... אם בכלל....



אנאירובי



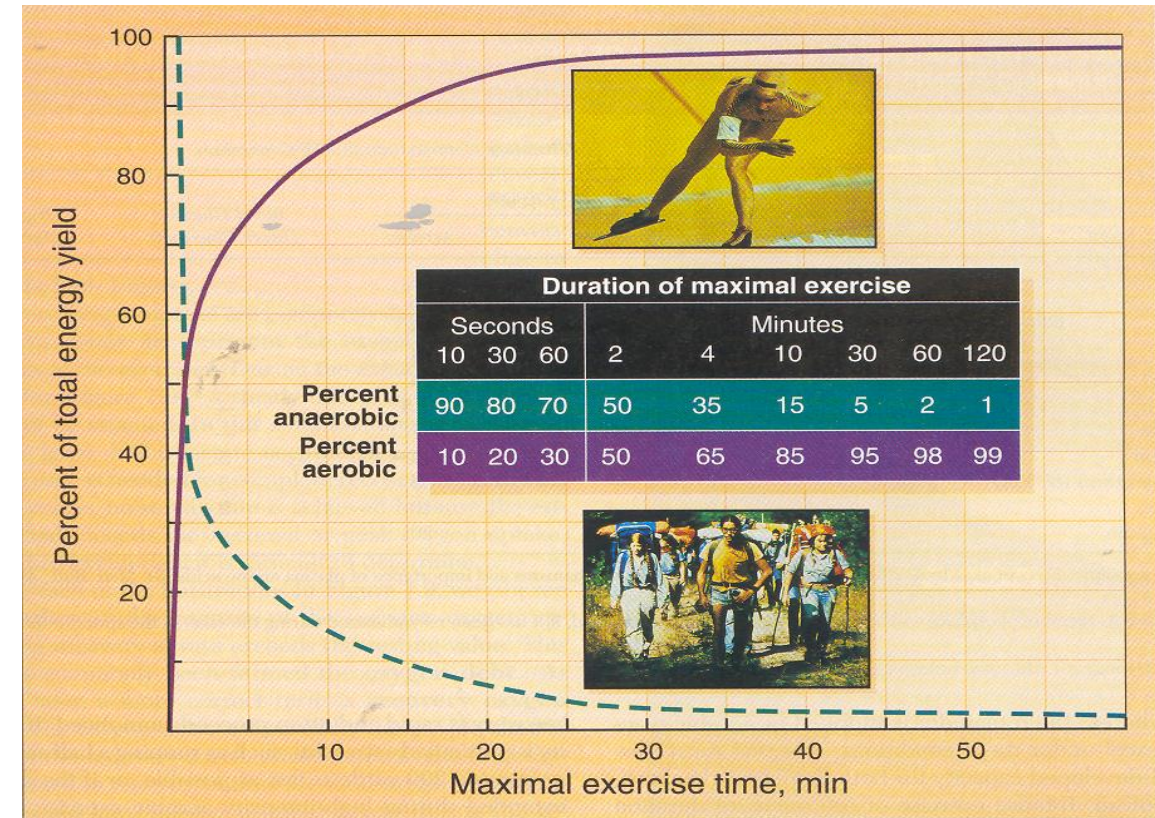
אירובי

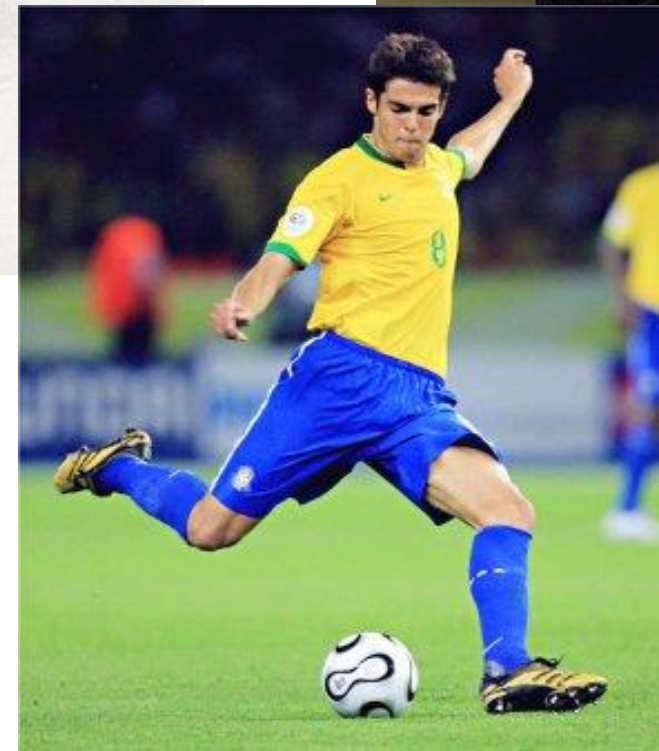


אנאירובי



אירובי





**תרומתם היחסית של המסלולים
המטבוליים לאספקת האנרגיה בענפי
ספורט לא מחזוריים
(הבסיס לאימוני כושר - שיפור הספק אנרגטי)**

תרומתם היחסית של המסלולים המטבוליים לאספקת האנרגיה בענפי ספורט לא מחזוריים

אירובי	אנאירובי-לקטי	אנאירובי-אלקטי	ענף ספורט
20%	20%	60%	כדורסל
0%	10%	90%	סיף
0%	5%	95%	חבטה בגולף
0%	10%	90%	מקצועות שדה - א"ק
5%	15%	80%	התעמלות ספורטיבית
30%	20%	50%	הוקי
30%	20%	50%	כדורגל
10%	20%	70%	טניס
15%	5%	80%	כדורעף