

הפיזיולוגיה של המאמץ

מהלכה למעשה



— שחר ניס —

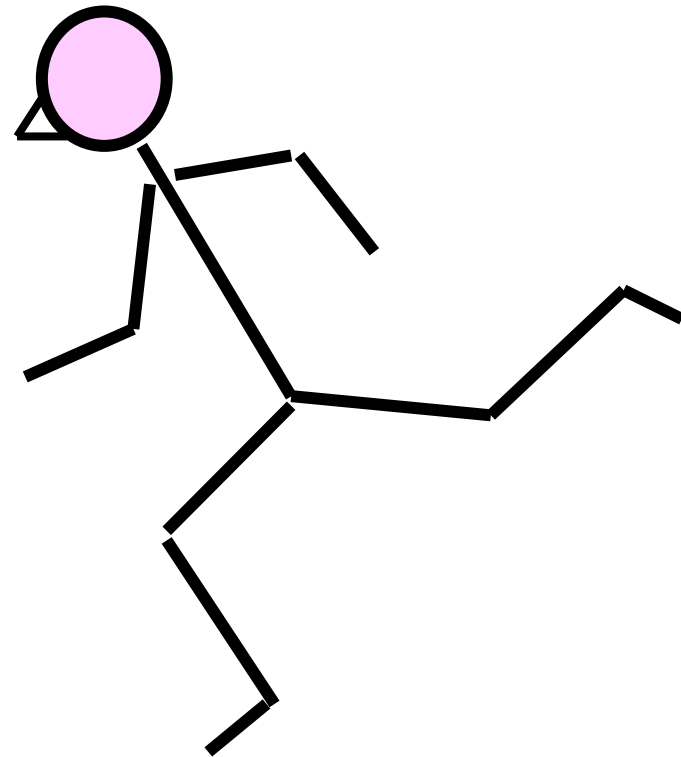
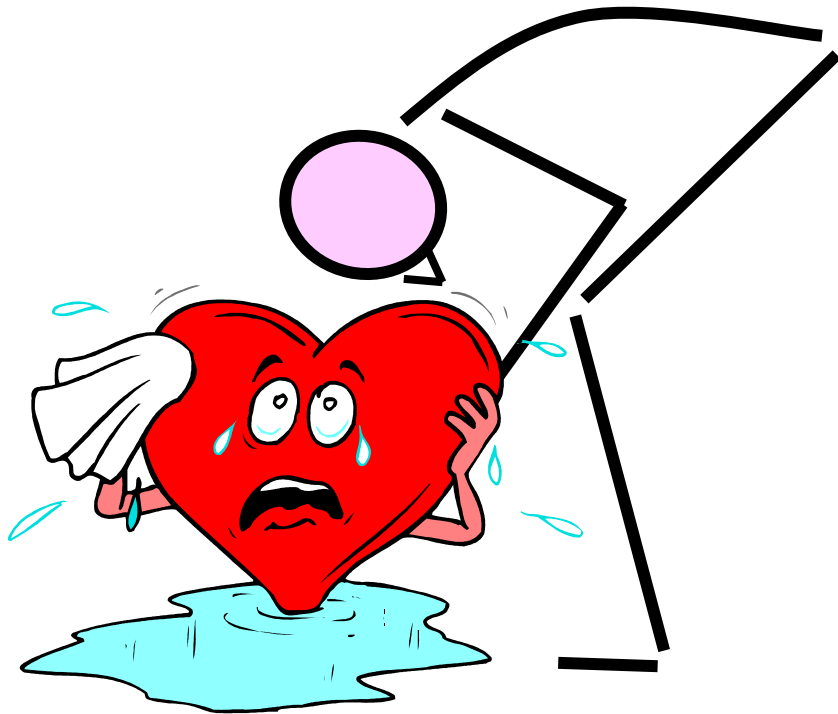
פרק 2.5

התעייפות והתאוששות
של המסלולים לאספקת
אנרגיה

התעייפות

מעשית: אי יכולת להתמיד במאמץ נתון

פיזיולוגית: אי-יכולת לשמור על ההספק האנרגטי



**בהנחה שאין שינויים מהותיים במשק המים בגוף
ובטמפרטורת הגוף התעייפות מתרחשת בדרך כלל
ברמת השריר:**

- ירידה בהספק האנרגטי של מסלולי אספקת האנרגיה
- ירידה ביכולת ההתכווצות של תאי השריר
- שינויים בבקרה העצבית של התכווצות השריר

גורמים אפשריים להתעייפות מטבולית:

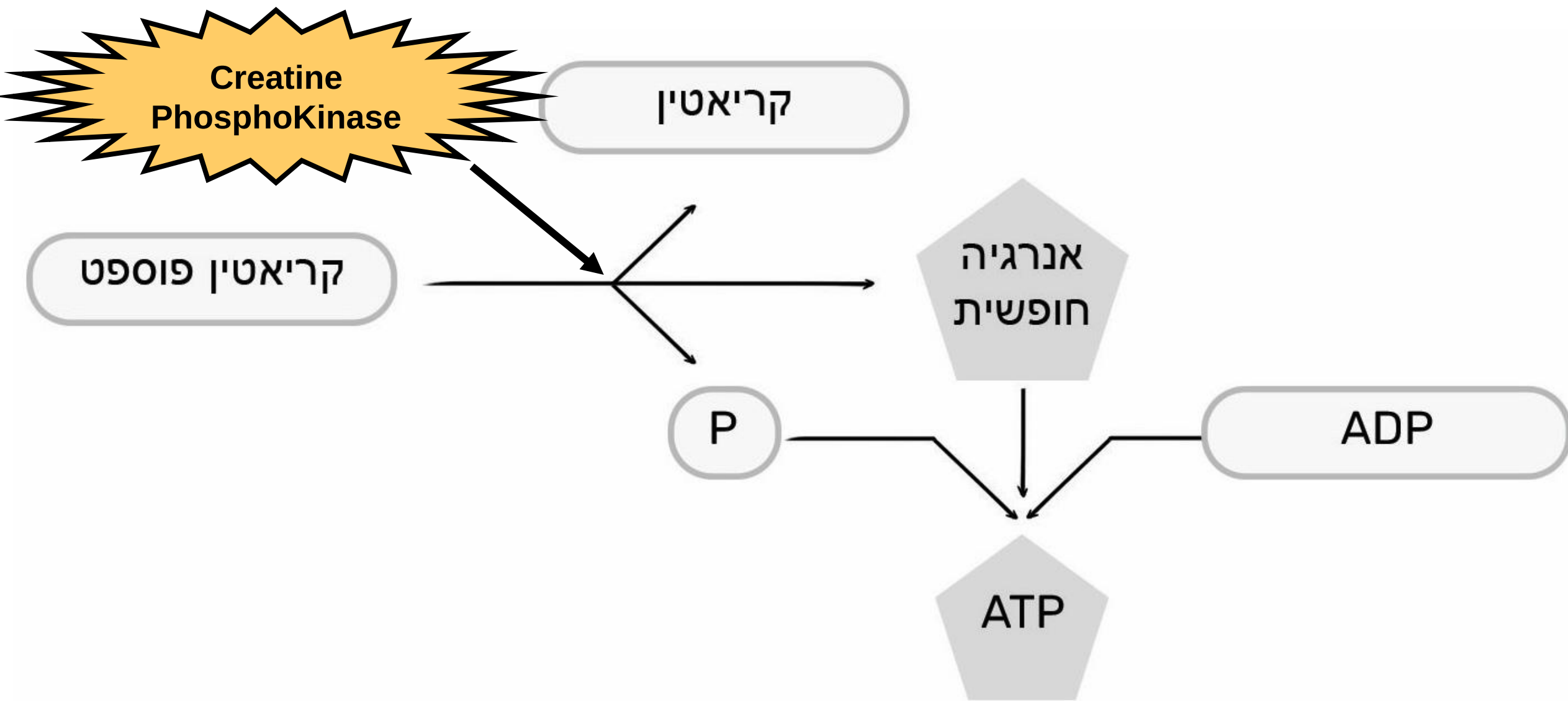
- **דלדול מאגרי הפוספט בשריר**
- **הצטברות של יוני מימן ועלייה בחומציות בשריר**
- **דלדול מאגרי הגליקוגן בשריר**
- **ירידה ברמת הגלוקוז בדם**

**מדוע אי אפשר לרוץ 200 מטר
בקצב שבו רצים 50 מטר?**

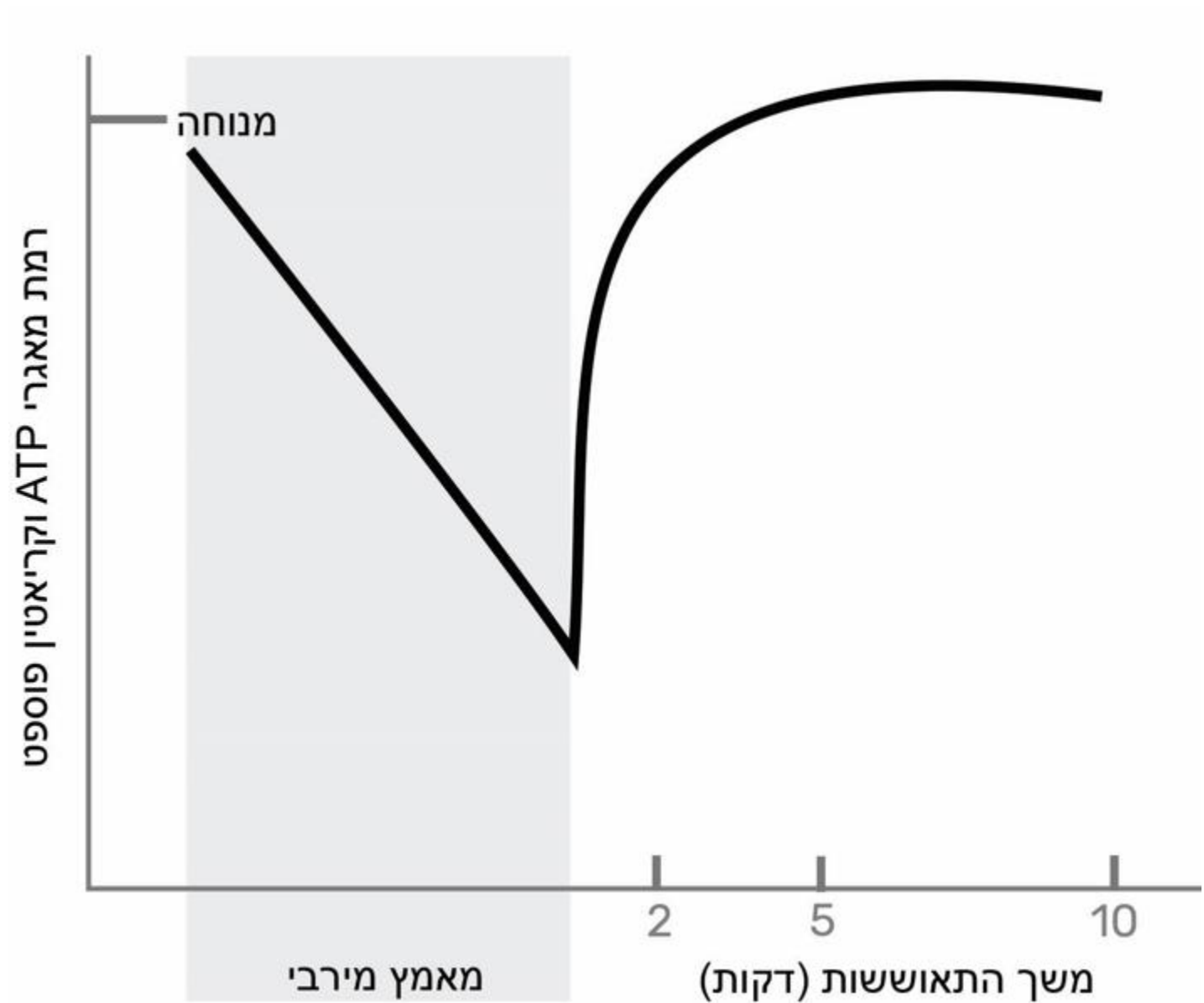
**עייפות והתאוששות במאמצים קצרים
מאוד ועצימים מאוד**

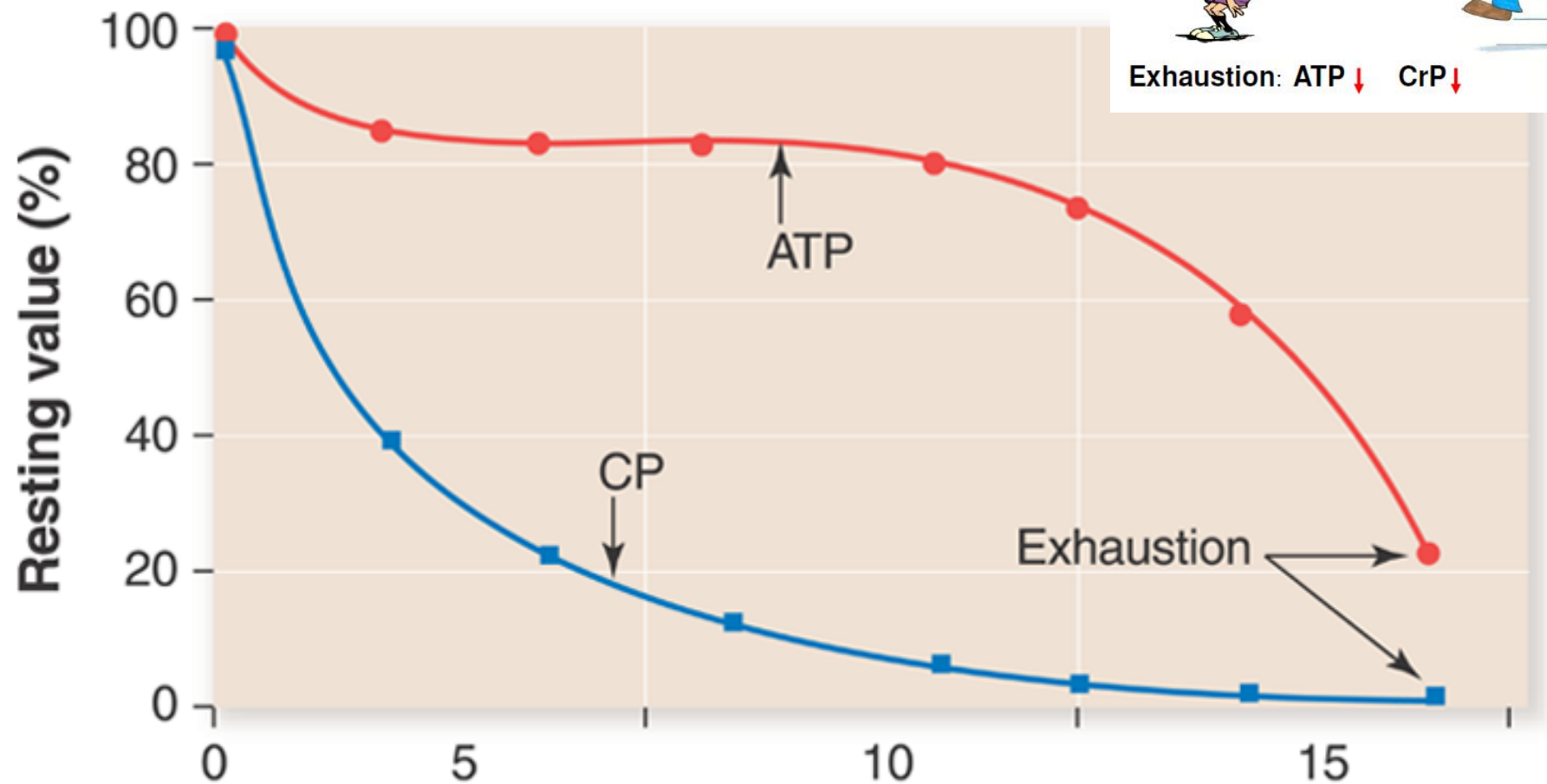


מסלול אנאירובי-אלקטי [מסלול ATP-קריאטין פוספט (CP)]



התעייפות והתאוששות בעקבות מאמצים קצרים מאוד ועצימים מאוד

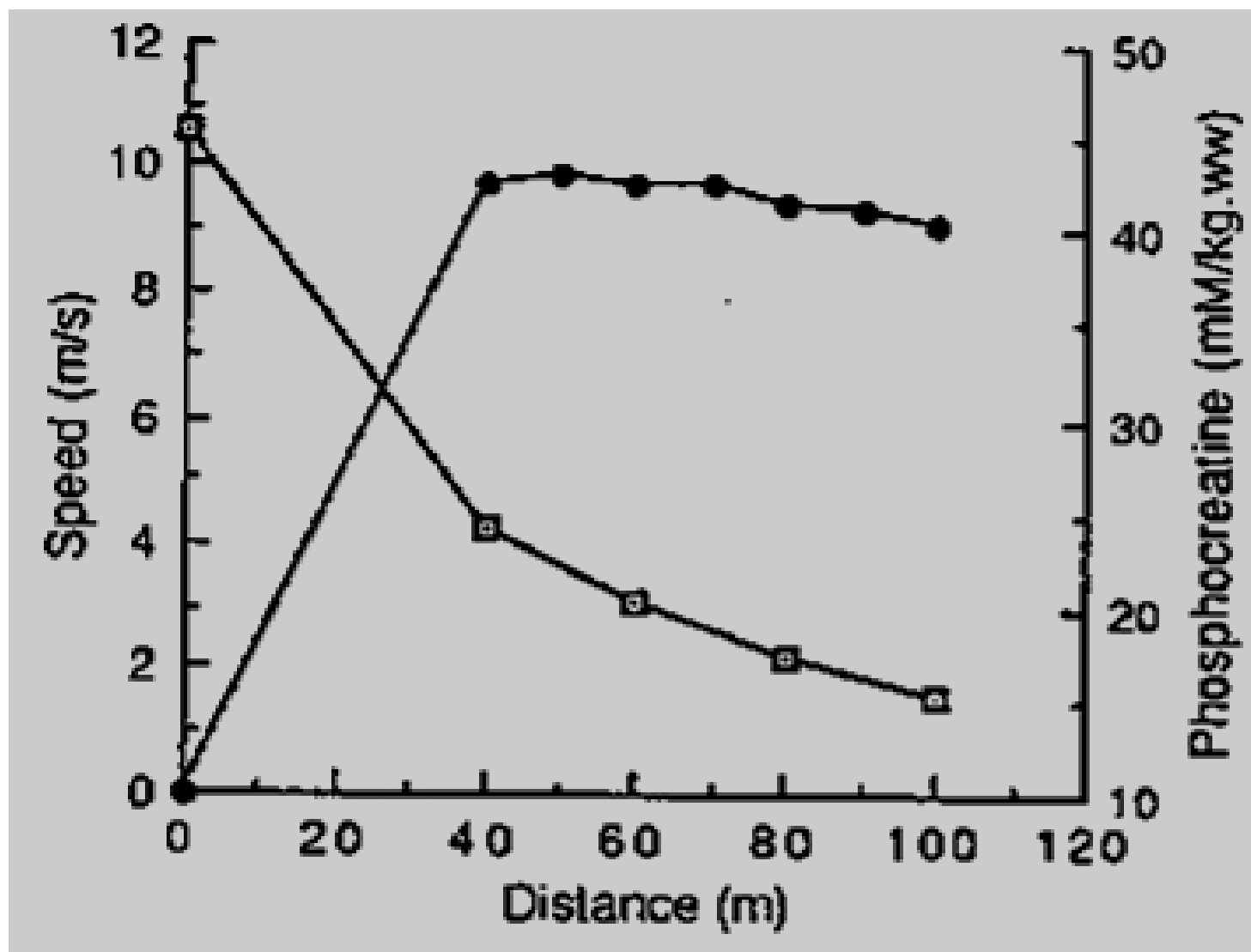




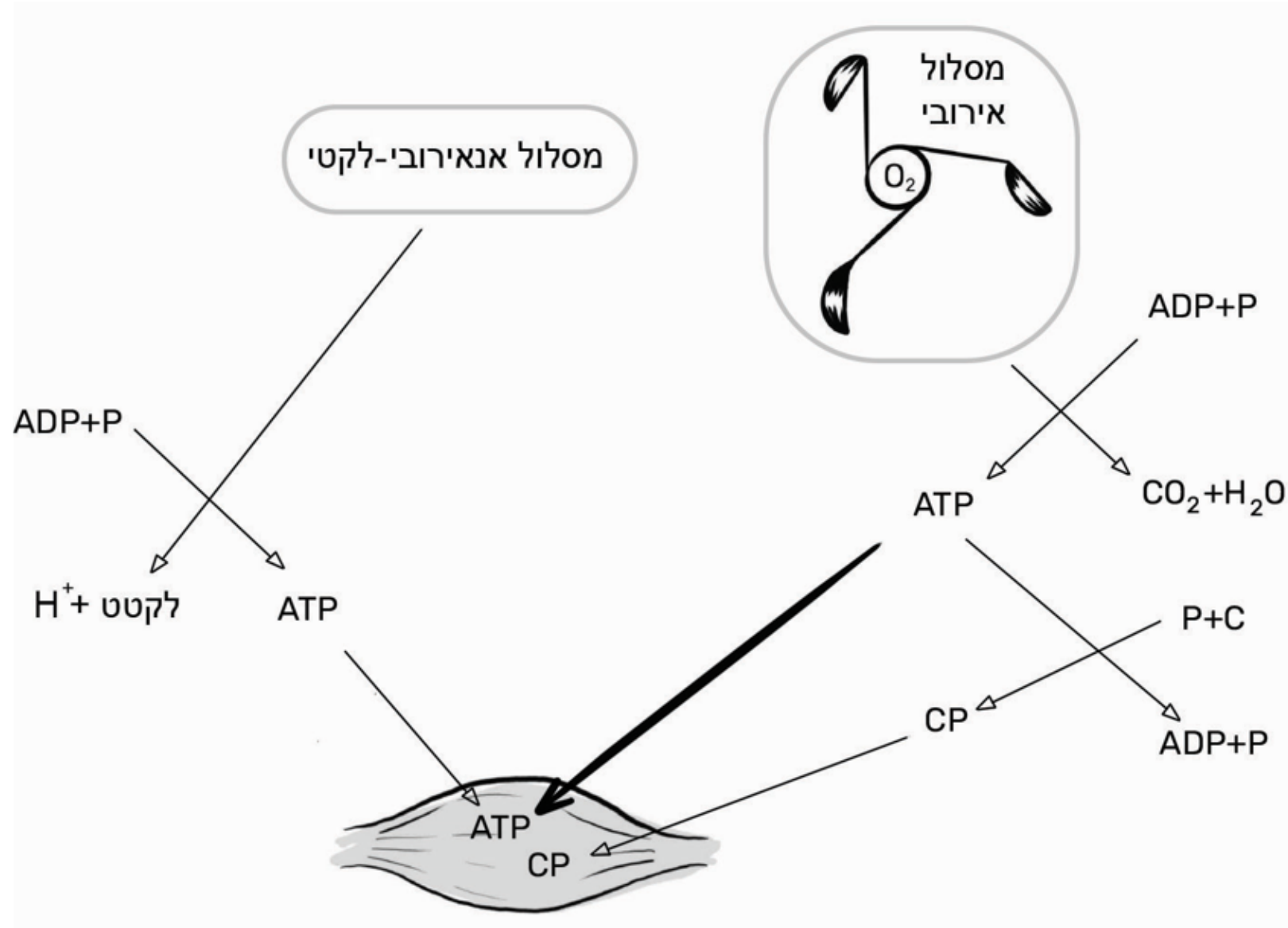
אנאירובי-אלקטי

גורם מעייף - מאגרי CP קטנים = כמות אנרגיה מועטה

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



חידוש מאגרי תרכובות הפוספט בשריר באמצעות המסלול האירובי והמסלול האנאירובי-לקטי



**איזו מנוחה מומלצת (אקטיבית/פסיבית) לשחקן
כדור בסיס (בייסבול)/הקפות בין החבטות?**



איזו מנוחה מומלצת (אקטיבית/פסיבית) לקופץ לגובה בין ניסיונות הקפיצה?



NATIONAL FEDERATION

H.S. HIGH JUMP RULES

1. The Referee shall meet with coaches and captain(s) before the meet. Emphasize the uniform rules: a school issued uniform must be worn during the competition, all visible undershirts must be a solid color, singlet cannot be knotted, no visible jewelry (exception: religious jewelry must be taped to the body), body suit is OK if school issued. No blood allowed on athlete or uniform.
2. Warm-ups shall not be allowed unless supervised by an official or a coach. No further practice shall be allowed once the event has concluded.
- 3 After three (3) passed heights in a row a jumper is allowed 1 warm-up jump. The jumper must then make an attempt at that height.
4. Jumpers have 1 minute to initiate a trial carried to completion. When 2 or 3 jumpers remain, they have three minutes to jump. When one jumper remains they will have five minutes to jump.

GOVERNING BODY	HIGH JUMP RULES			
	I.A.A.F.	USAT&F	N.C.A.A.	H.S.
TIME RULE FOR JUMPERS				
4 OR MORE JUMPERS	1 MINUTE	1 MINUTE	1 MINUTE	1 MINUTE
2-3 JUMPERS	90 SECONDS	90 SECONDS	2 MINUTES	3 MINUTES
1 JUMPER IN COMPETITION	3 MINUTES	3 MINUTES	4 MINUTES	5 MINUTES

התאחדות הא"ק
הבינלאומית

איגוד הא"ק של בתי
ספר התיכונים

**מדוע אי אפשר לרוץ 10,000 מטר
בקצב שבו רצים 600 מטר?**

עייפות והתאוששות במאמצי סבולת קצרה.



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

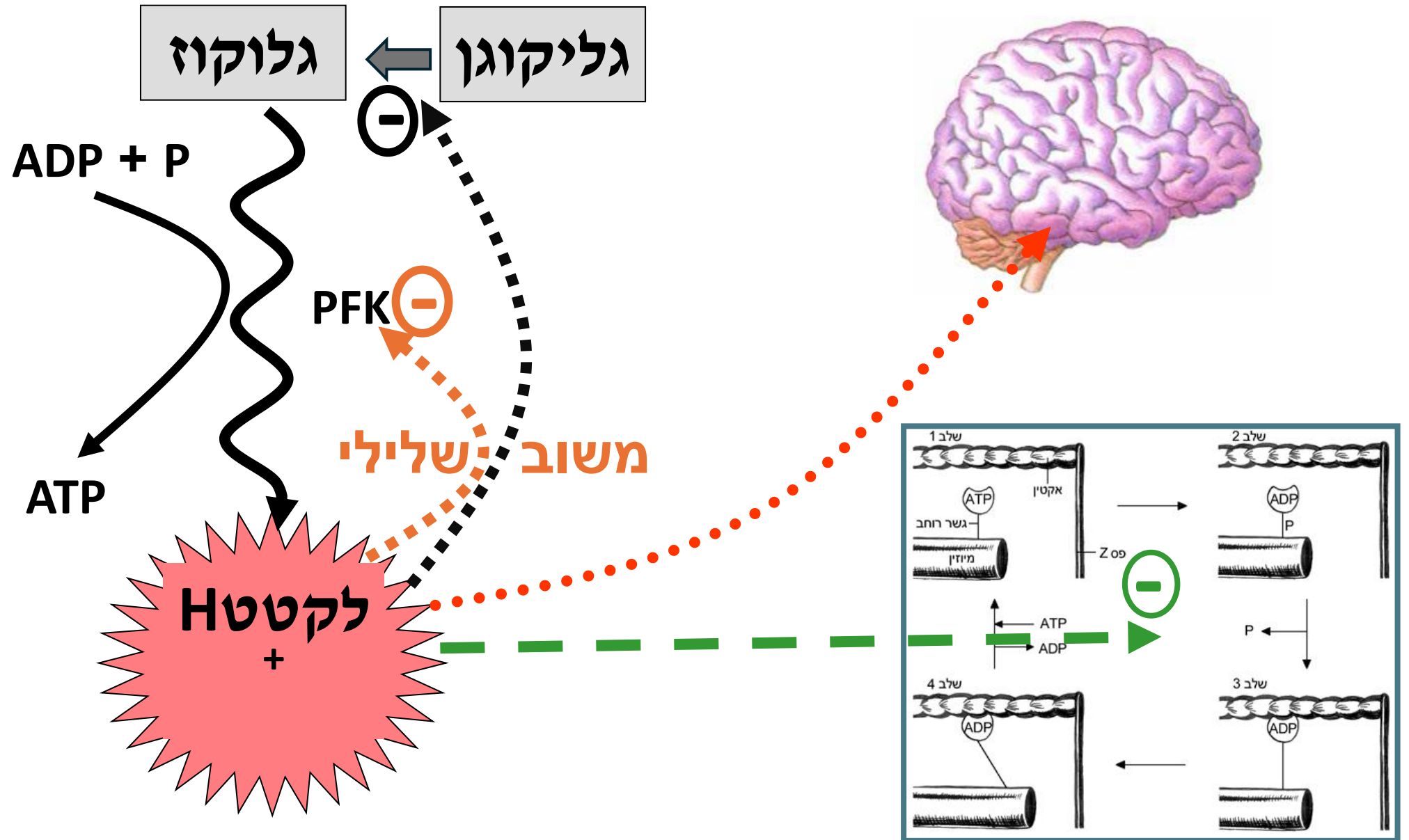
2 H

העלייה בחומציות יכולה להשפיע באופן שלילי על מסלולי אספקת האנרגיה, מנגנון ההתכווצות והפקת הכוח:

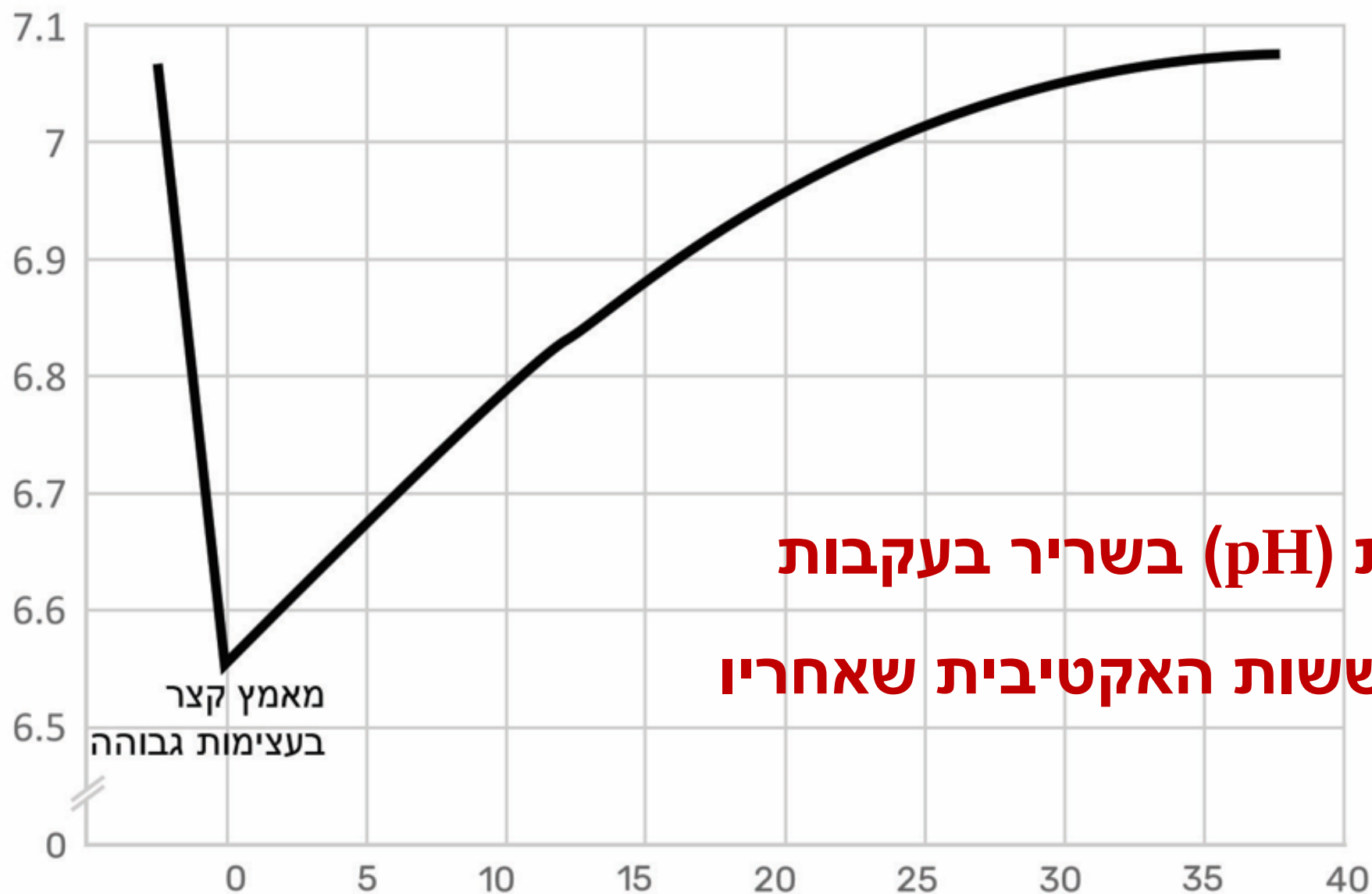
- ירידה ב- pH בתאי השריר מתחת ל- 6.9 יוצרת משוב שלילי שמאט את פעילות אנזימים המפתח (PFK - Phosphofructokinase) ומפחית את ההספק האנרגטי.
- ירידה ב- pH בתאי השריר ל- 6.4 מפסיקה את תהליך פרוק הגליקוגן שמביא לירידה מהירה ברמת ה- ATP והגעה לתשישות.
- העלייה בחומציות מקטינה את כמות יוני הסידן שמשתחררת מהרשת הסרקופלסמית ומפחיתה את הכוח שהשריר מפיק.
- העלייה בחומציות פוגעת ברגישות ליוני סידן של מולקולת הטרופונין שמכסה על אתר הקישור שעל פני האקטין. עקב כך חל שיבוש במנגנון ההתקשרות של המיוזין והאקטין וישנה ירידה בכוח ובמהירות הפקתו.
- העלייה ברמת החומציות מעוררת את קולטני הכאב בשריר.

העלייה בחומציות הדם משפיעה באופן שלילי על מערכת העצבים המרכזית. הסימפטומים הנלווים: חולשה, סחרחורת, ערפול חושים, הרגשת בחילה והקאות

עייפות עקב עלייה בחומציות



רמת החומציות בשריר (pH)



**רמת החומציות (pH) בשריר בעקבות
ספרינט ובהתאוששות האקטיבית שאחריו**

משך ההתאוששות בדקות

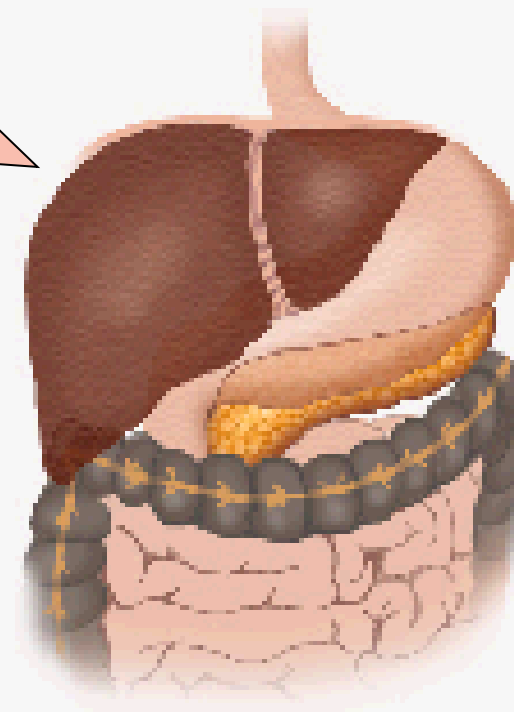
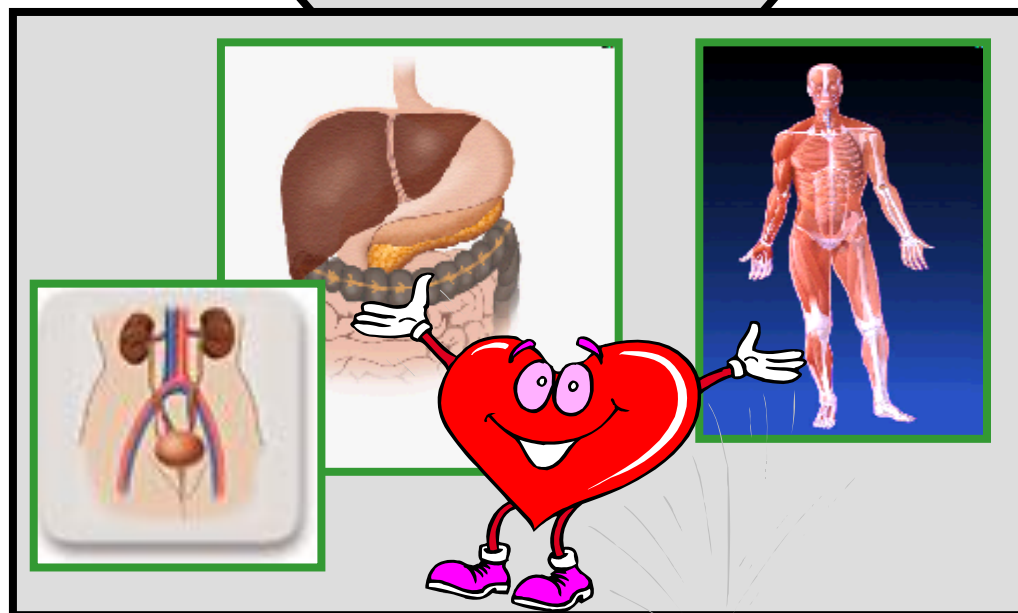
גורלות הלקטט

לקטט

65%

חומצה
פירובית

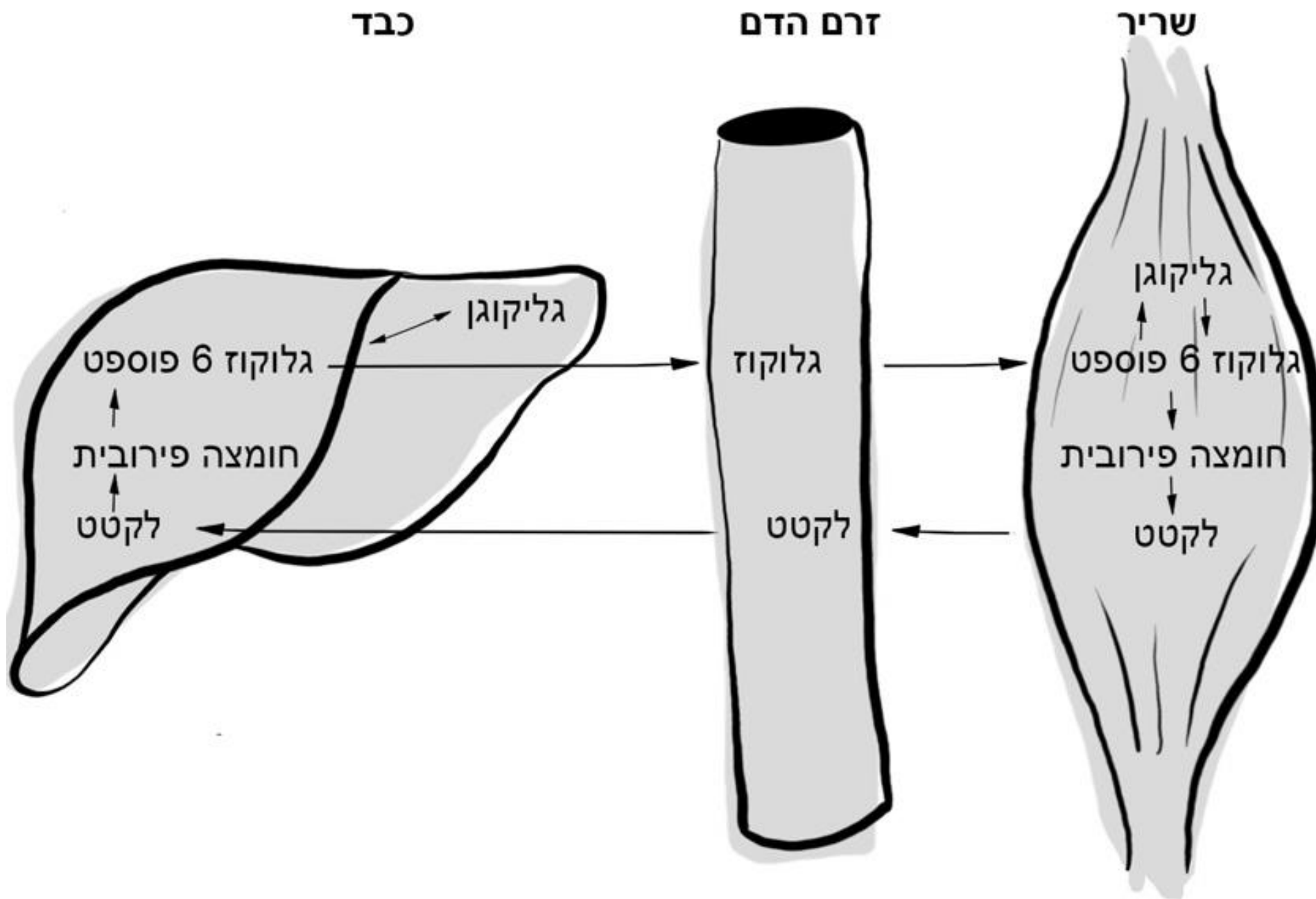
דלק מטבולי
למסלול אירובי



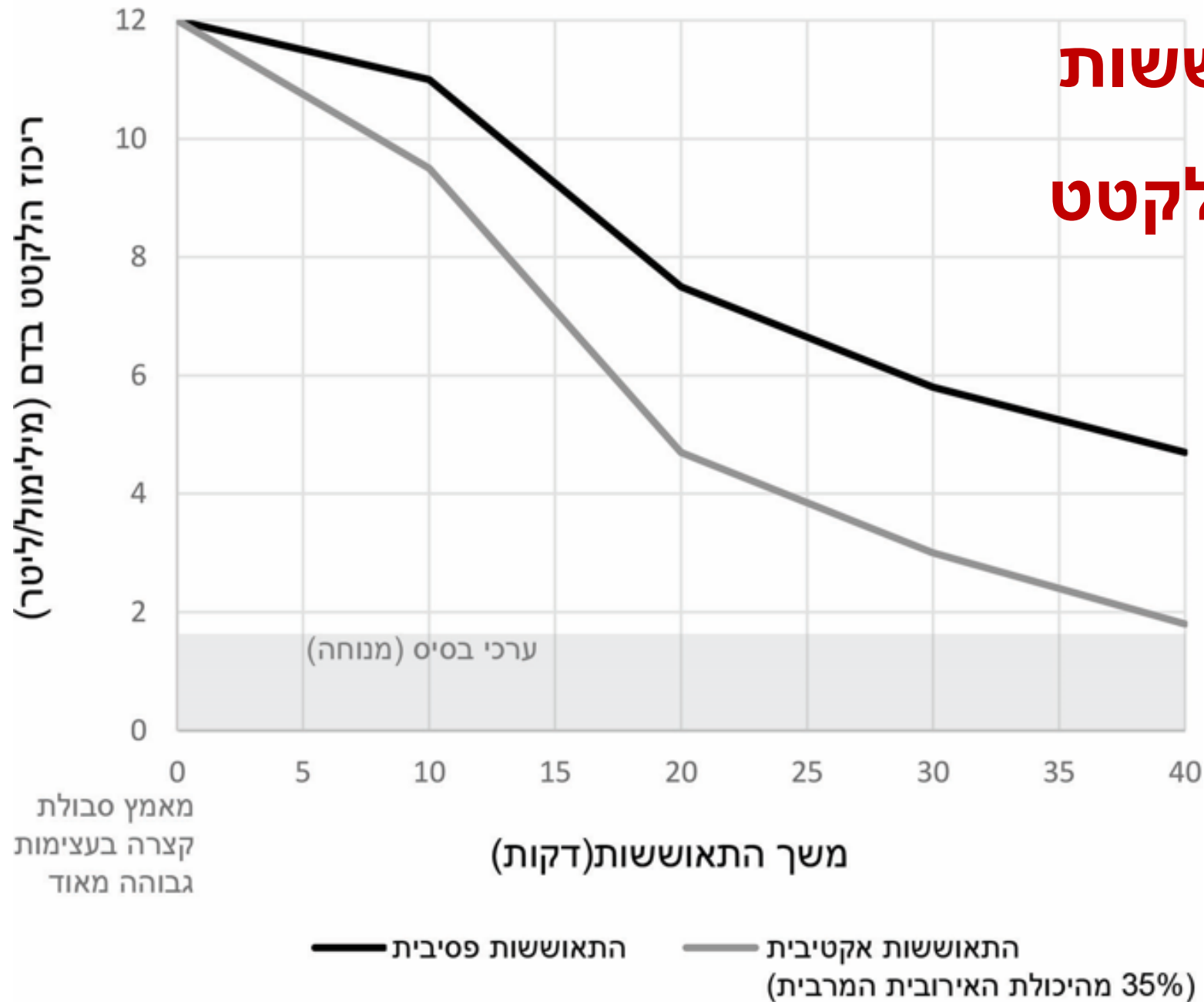
35%

הפיכה לגלוקוז בכבד
מעגל קורי

מעגל קורי



השפעת אופי ההתאוששות על קצב הסילוק של הלקטט



הירידה המואצת ברמת הלקטט בעת התאוששות אקטיבית

נובעת מ:

- שיפור באספקת הדם לאיברים המנצלים לקטט כחומר דלק למסלול האירובי.
- פתיחת נימים נוספים ושיפור בזרימת הדם בשרירים, שבהם ריכוז הלקטט גבוה, שמאיץ את העברתו לדם והורדת רמתו בשרירים.
- שימוש בלקטט כדלק מטבולי למסלול האירובי בשרירים שפעילים באופן מתון בהתאוששות

עצימות המאמץ בהתאוששות אקטיבית: 30% -

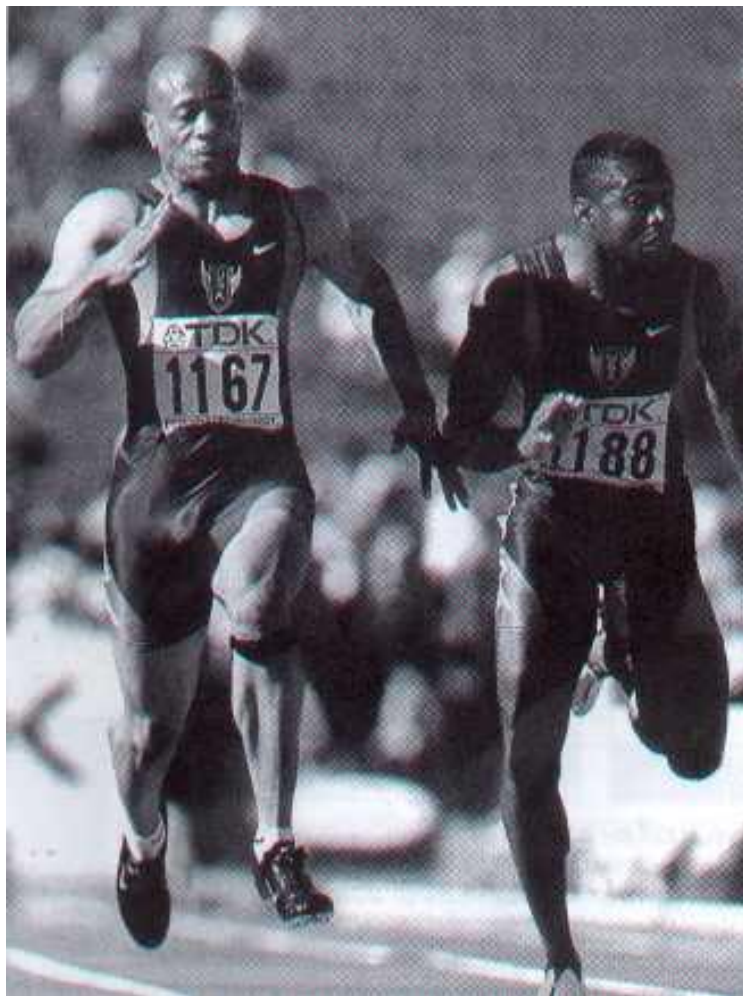
40% מהיכולת האירובית המרבית.

מדוע לאחר תחרות משיכת חבל מומלץ לנער ידיים ורגליים?



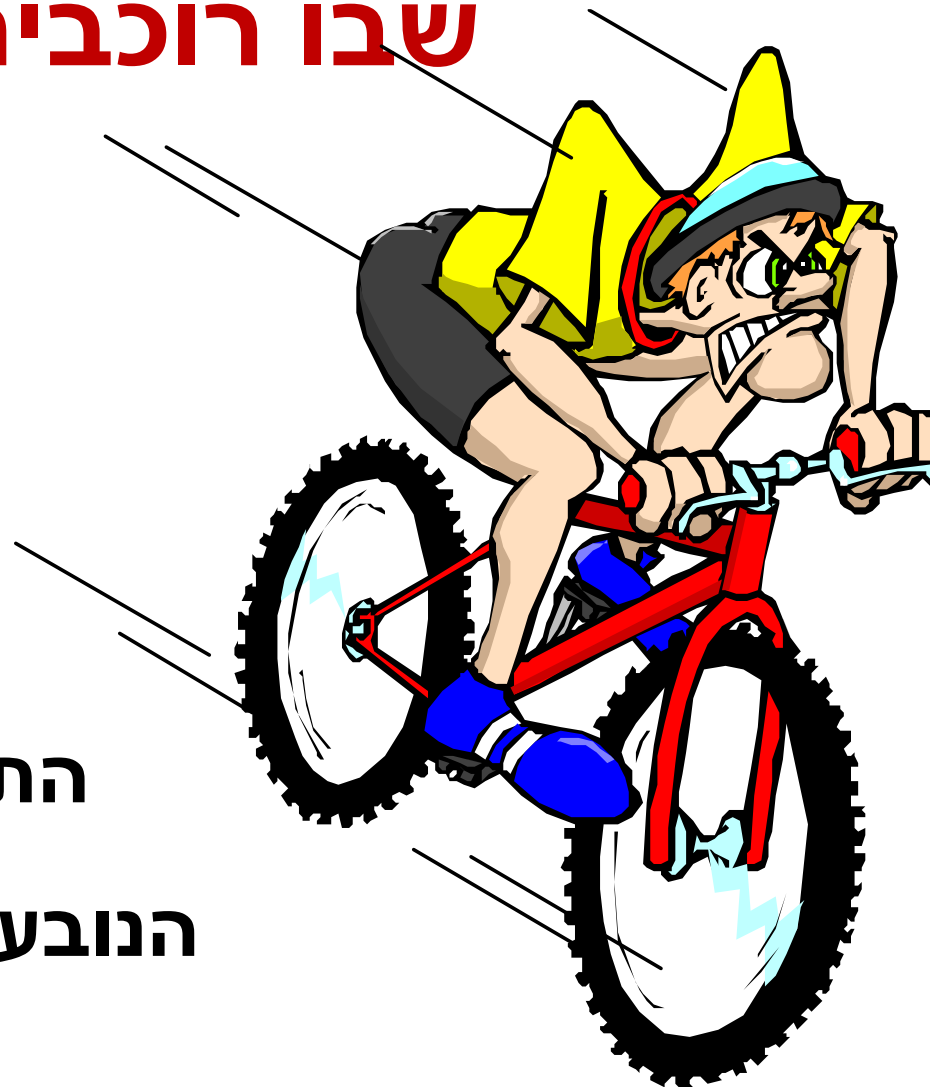
איזו מנוחה מומלצת (אקטיבית/פסיבית) בפרקי

ההתאוששות באימון הפוגות הכולל 6 X 400 מטר?



מדוע אי אפשר לרכב על אופניים 3 שעות בקצב

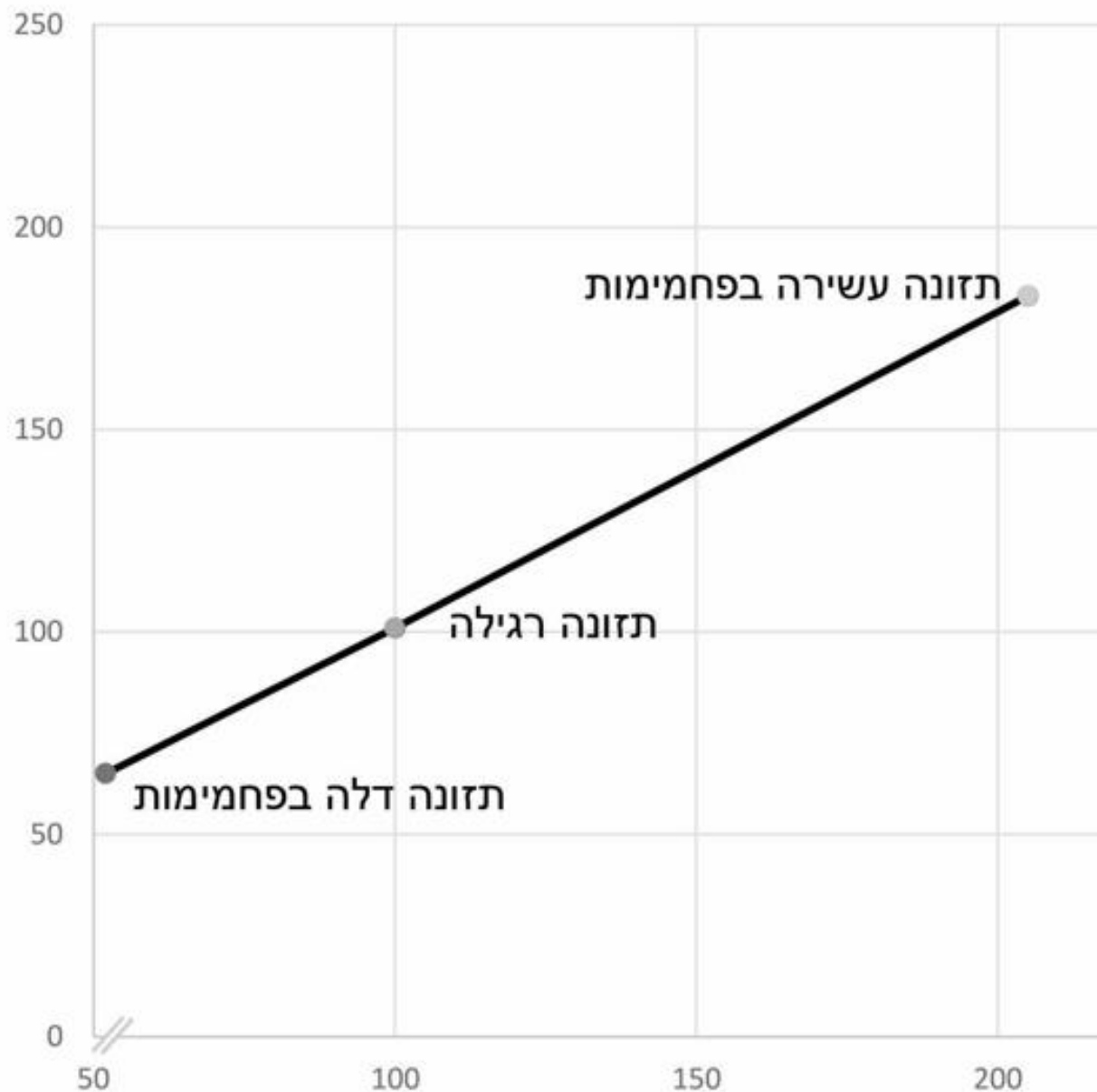
שבו רוכבים שעה וחצי?



התעייפות במאמצי סבולת ממושכת

הנובעת מדלדול מאגרי הגליקוגן בשרירים

זמן הגעה לתשישות (דקות)



רמת גליקוגן התחלתית (מילימול/ק"ג שריר)

**השפעת הרכב
התזונה על מאגרי
הגליקוגן בשריר ומשך
המאמץ עד תשישות**

עקרון הספציפיות באימוני ספורט:

- השימוש בגליקוגן השריר לצורך הפקת אנרגיה בזמן מאמץ הינו ספציפי לשרירים הפועלים בכלל וליחידות המוטוריות המגויסות בפרט.
- כדי לשפר תהליכים מטבוליים הקשורים לפעילות מסוימת כמו רכיבה על אופניים, יש להתאמן ברכיבה, ולא באימוני ריצה ולהפך.
- יש להתאמן בעצימויות שתואמות לתחרות בכדי לגייס לפעילות את היחידות המוטוריות הרלוונטיות לטובת הגדלת מאגרי הגליקוגן בהן ושיפור יכולתן לקבל הספקים אנרגטיים גדולים יותר מהשימוש בגליקוגן.

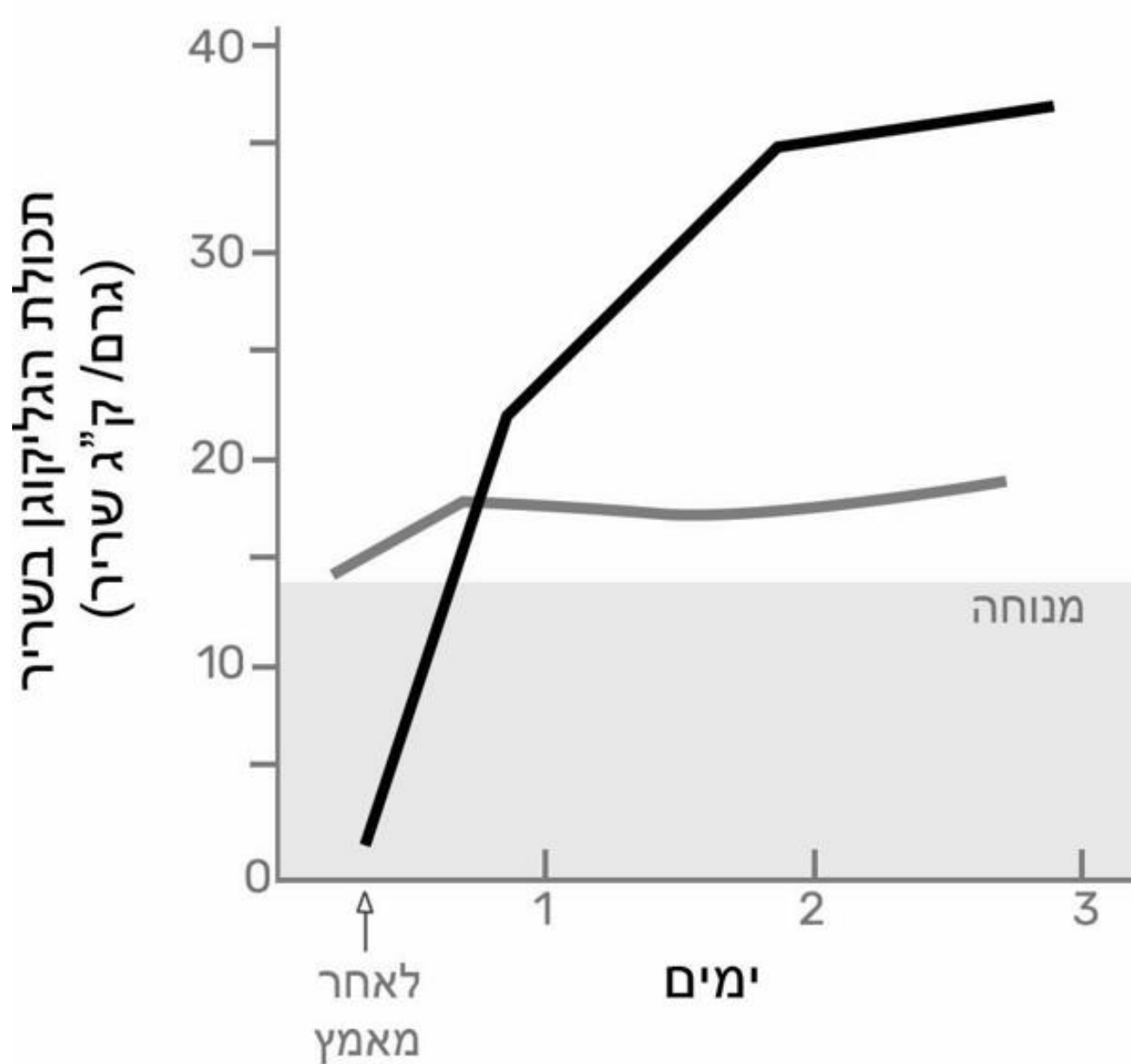
"היתקלות בקיר"

(Hitting the wall)

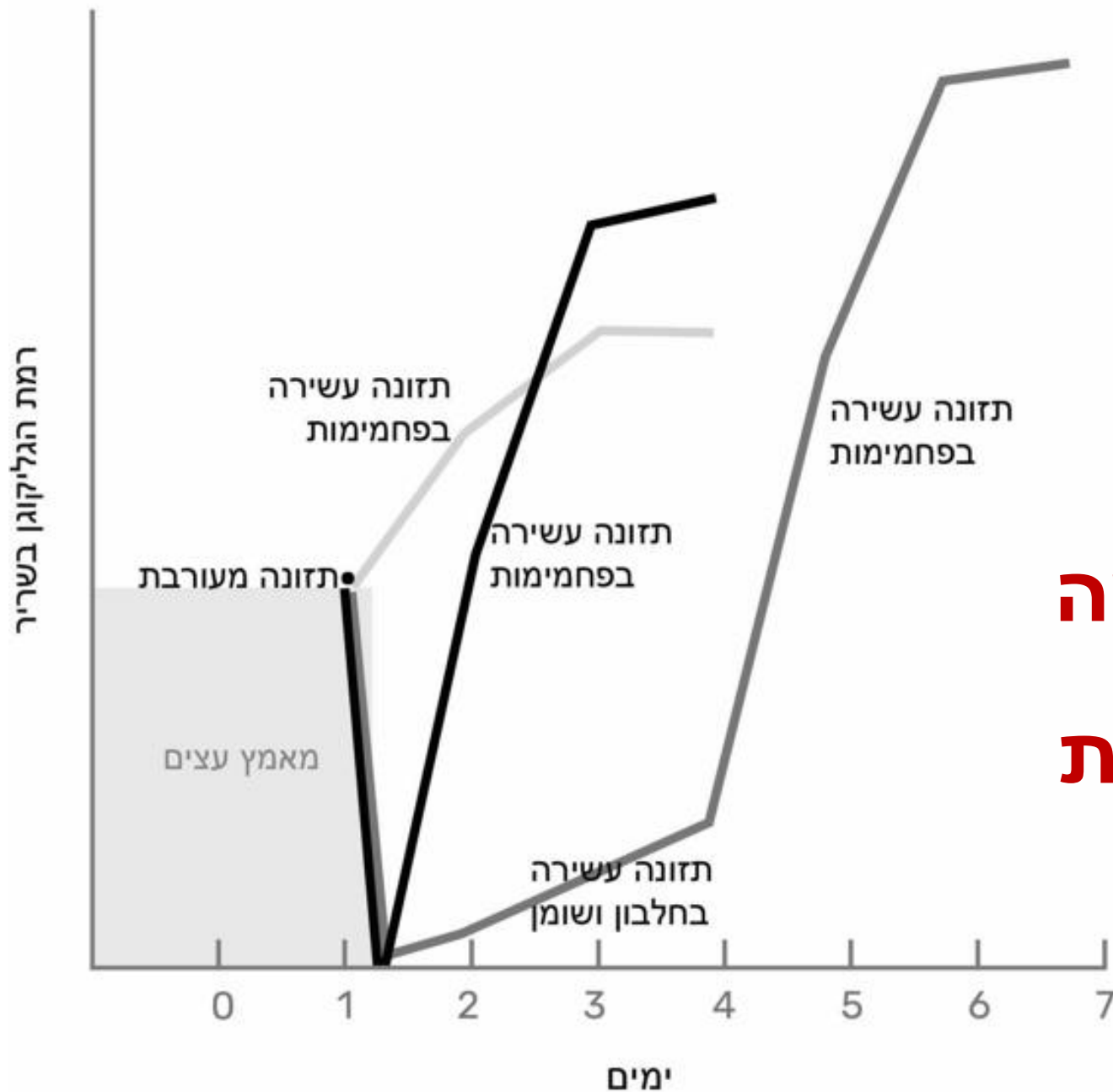


סיכום הקשר בין דלדול מאגרי הגליקוגן בשרירים והתעייפות:

- במאמצים קשים בשיעורים של 75% - 80% מהיכולת האירובית המרבית הנמשכים שעה עד כשעה וחצי, דלדול מאגרי הגליקוגן שבשריר מהווה את הגורם להתעייפות.
- בעצימויות הנ"ל, תכולת הגליקוגן בשריר בתחילת המאמץ היא שקובעת את קצב המאמץ, את משך הזמן שבו ניתן להתמיד במאמץ, ואת היכולת להגביר את הקצב לקראת סוף הפעילות.
- התאוששות תתרחש לאחר חידוש מאגרי הגליקוגן בשרירים. הגעה לחידוש מלא של מאגרי הגליקוגן תלויה בתזונה הנצרכת בזמן ההתאוששות.



**רמת הגליקוגן בשריר הארבע-
ראשי מיד לאחר המאמץ ובמשך
שלושת הימים שאחר-כך, שבהם
צרכו הנבדקים תזונה עשירת
פחמימות.**

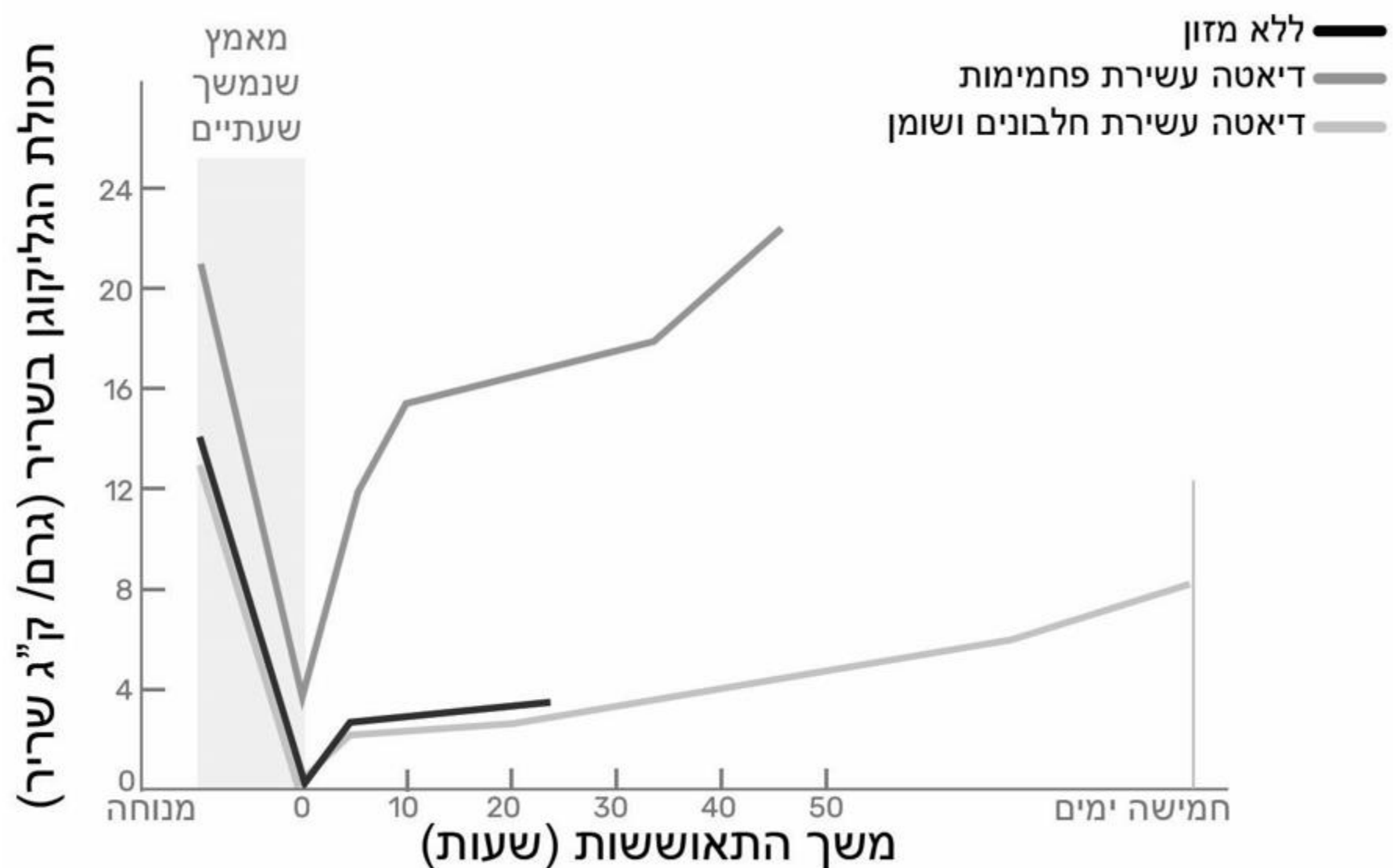


**השפעת ריקון מוקדם של
מאגרי הגליקוגן וסוג התזונה
על תהליך העמסת פחמימות**

פרוטוקול "עדין" מומלץ להעמסת פחמימות:

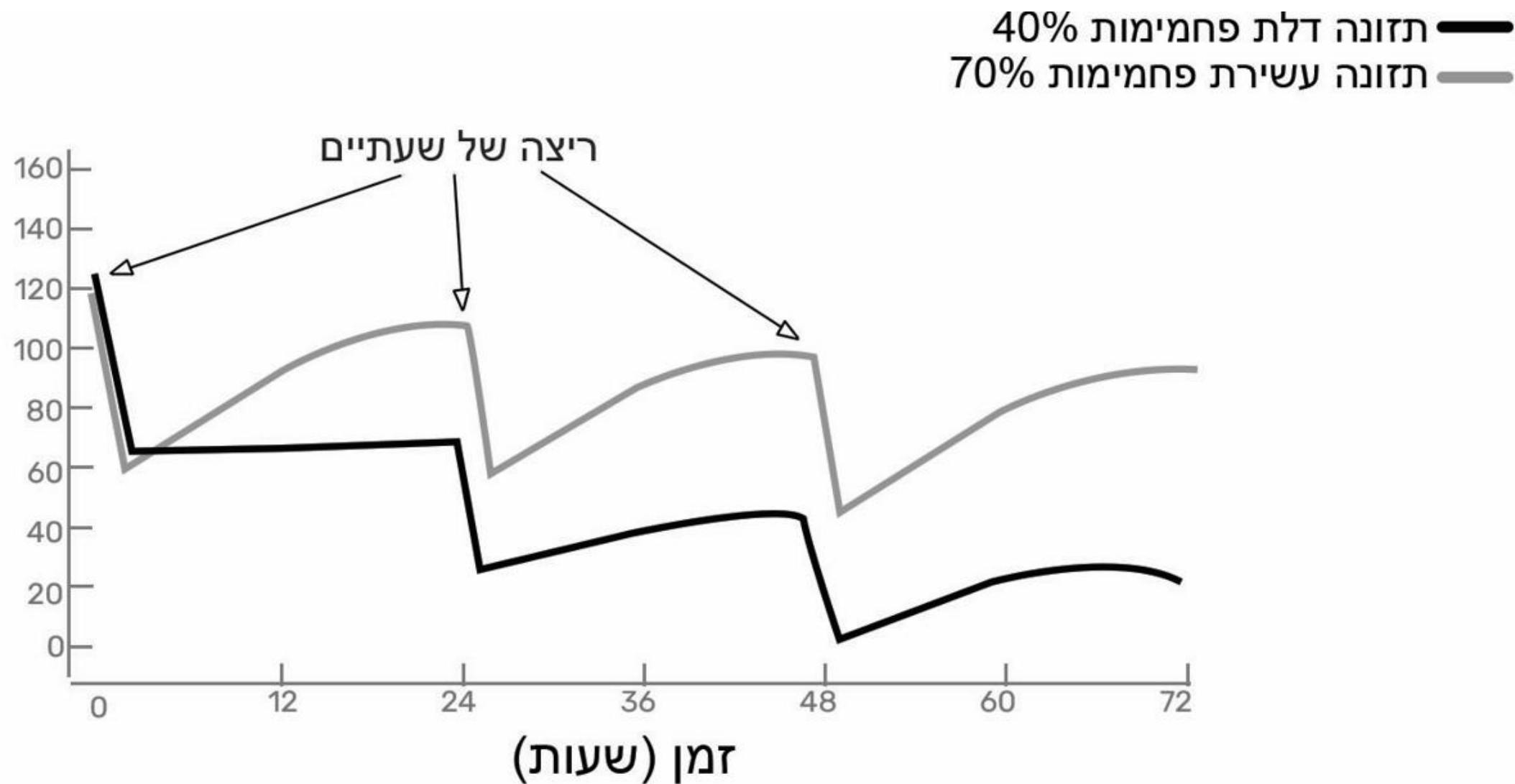
- שבוע לפני התחרות מפחיתים את עומס האימונים בהדרגה.
 - בשלושת הימים האחרונים ניזונים מתפריט עשיר בפחמימות.
- ביומיים הראשונים התפריט מבוסס ברובו על פחמימות מורכבות בעלות אינדקס גליקמי נמוך. יום לפני התחרות יתבסס התפריט גם על פחמימות בעלות אינדקס גליקמי גבוה.**

השפעת התזונה על קצב חידוש מאגרי הגליקוגן לאחר מאמץ ממושך



הדלדול במאגרי הגליקוגן לאחר שלושה ימי אימון רצופים

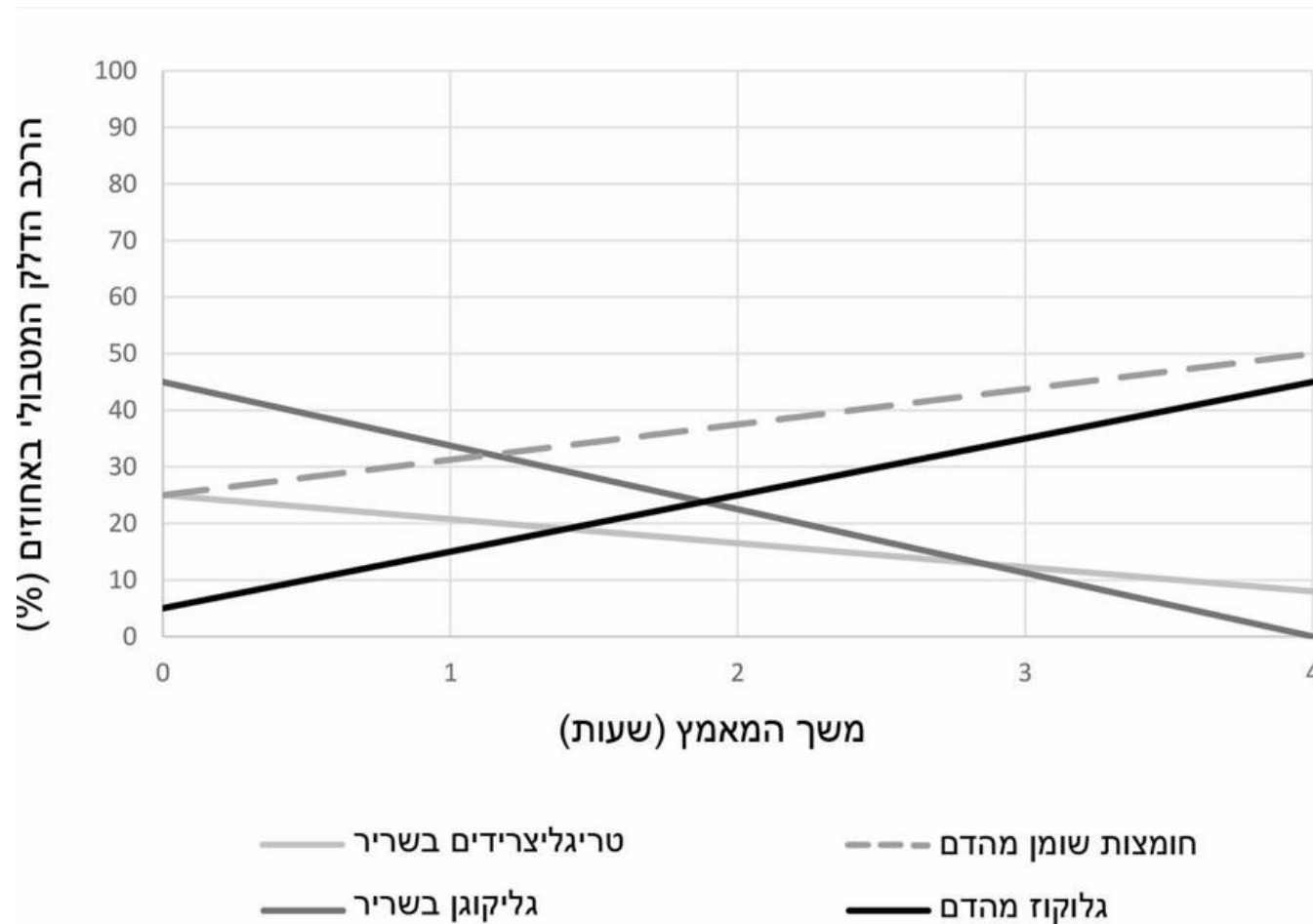
תכולת גליקוגן בשריר (מילימול/ק"ג)



פרוטוקול מומלץ לחידוש מאגרי הגליקוגן בשרירים:

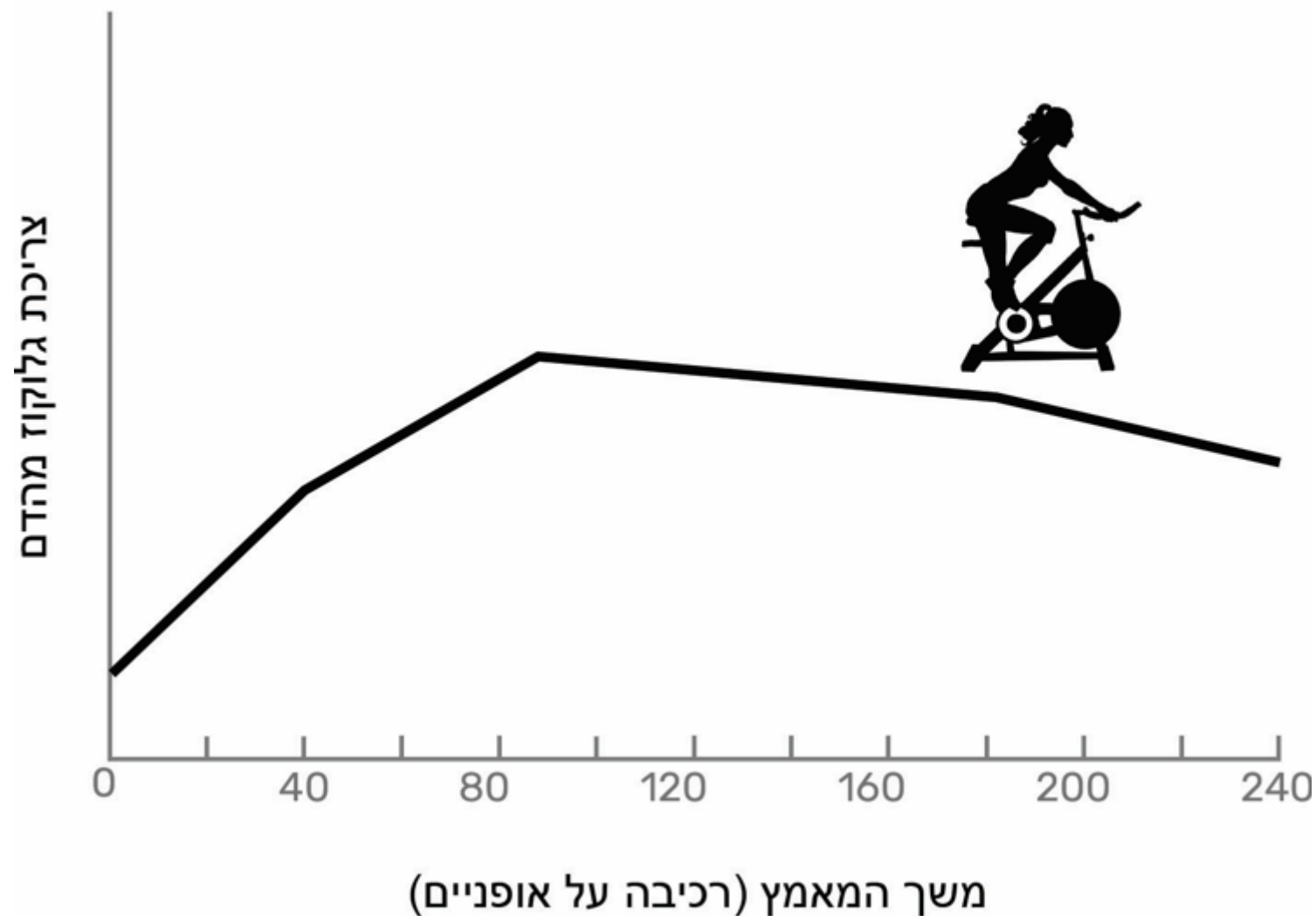
- צריכת פחמימות בעלות אינדקס גליקמי גבוה ובינוני בשיעור של 2.5 גרם לכל ק"ג משקל גוף ובפרקי זמן של 2, 4, 5 ו- 8 שעות לאחר המאמץ, תגרום לחידוש מאגרי הגליקוגן בקצב של 5% - 7% בכל שעה .
- מומלץ לצרוך חלבון עם הפחמימות ביחס של 1/1. תוספת החלבון תסייע להמשך הפרשת האינסולין מהלב לב ולהכנסת הגלוקוז לתאי השריר.
- תזונה כזו, תאפשר לחדש את מאגרי הגליקוגן בקצת יותר מ- 20 שעות.

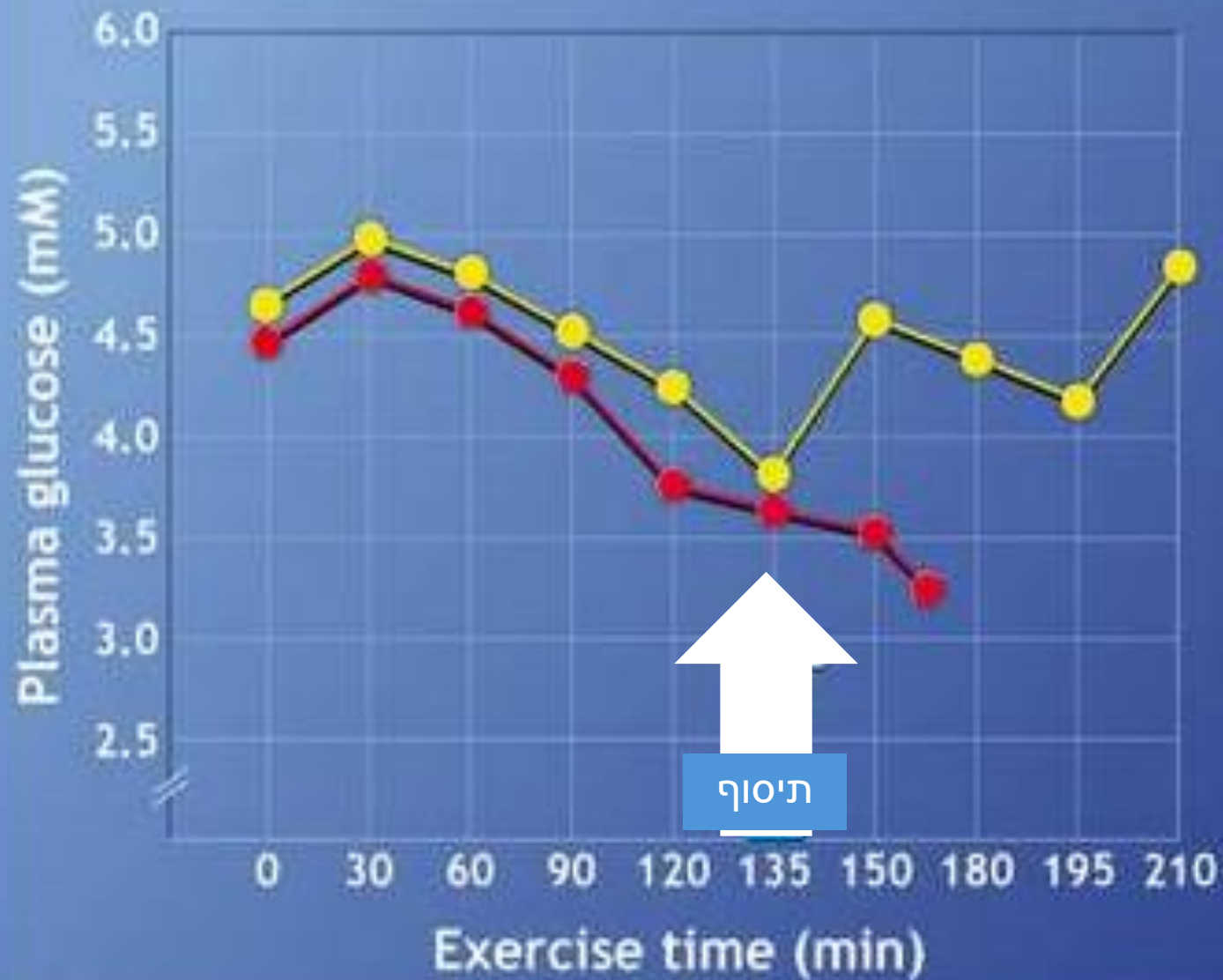
התעייפות במהלך מאמצי סבולת ממושכת הנמשכים מספר שעות



תרומתם היחסית של הסובסטרטים להרכב הדלק המטבולי במהלך מאמץ בעצימות של 65% - 75% מהיכולת האירובית המרבית שנמשך ארבע שעות

צריכת הגלוקוז מהדם על-ידי שרירי השלד בזמן מנוחה ובזמן מאמץ





דחיית ההתעייפות במאמץ
ממושך בעקבות צריכת
תמיסת גלוקוז בעת המאמץ



תמיסת גלוקוז



פלצבו

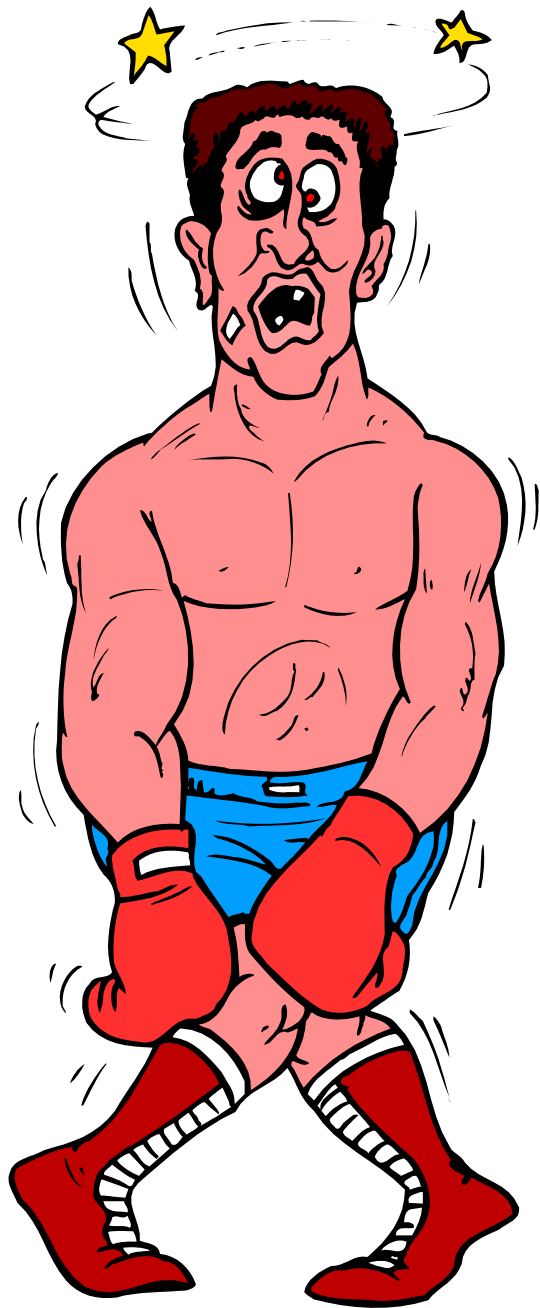
סיכום הקשר בין ירידה ברמת הגלוקוז בדם והתעייפות:

- במאמצים ממושכים של מספר שעות בעצימויות שבין 50% - 70% מהיכולת האירובית המרבית, הגורם העיקרי להתעייפות הוא ירידה ברמת הגלוקוז בדם.
- צריכת נוזלים מועשרים בפחמימות (6-8%) במינון של 30 עד 60 גרם פחמימה בשעה במהלך המאמץ היא הפתרון לדחיית ההתעייפות.
- מומלץ לבצע העמסת פחמימות, שתבטיח מאגרי גליקוגן מלאים בשרירים ובכבד לפני תחילת המאמץ.

עייפות עצבית - היקפית בקשר עצב - שריר שתמנע את העברת

הדחף העצבי מתא העצב לתא השריר:

- הפחתה בשחרור או בסינתיזה של אצטיל כולין
- פעילות יתר של האנזים כולין-אסטרז שמפרק את האצטיל כולין ואינו מאפשר לו להגיע לריכוז שיגרום להיווצרות פוטנציאל פעולה.
- תת פעילות של האנזים כולין-אסטרז שמאפשרת הצטברות כמות רבה של אצטיל כולין שמעכבת את הרפיית השריר.
- העלאת סף הגירוי להתפתחות פוטנציאל פעולה בממברנת תא השריר.
- חומרים אחרים מתחרים עם אצטיל כולין על קישור לרצפטור ואינם מסוגלים להפעיל אותו לטובת התפתחות פוטנציאל פעולה
- יציאה של אשלגן אל מחוץ לתא השריר ועקב כך הורדת פוטנציאל הממברנה למחצית מהערך המקורי . השינוי מרחיק את ערך הסף ומחייב הגברת הגירוי להתפתחות פוטנציאל פעולה.



כאבי שרירים

כאבים מיידיים

כאבים מושהים

עווית שריר במאמץ

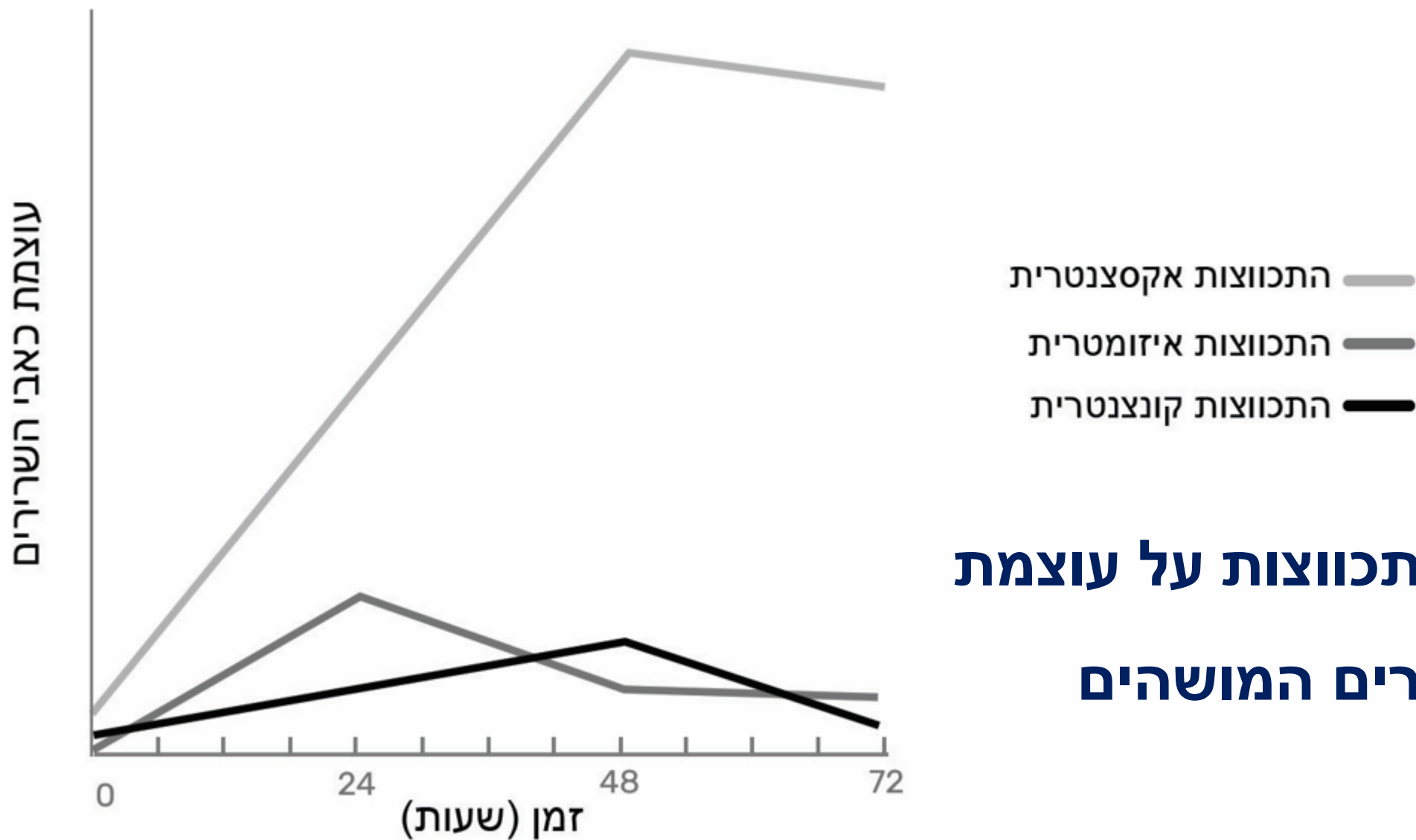
כאבים מיידיים

- כאבים ונוקשות בשרירים המופיעים בזמן המאמץ או מיד אחריו.
- גורמים לכאב:
- הצטברות תוצרי לוואי של התהליכים הפיזיולוגיים הקשורים במאמץ כמו יוני מימן.
- בצקת שנגרמת ממעבר של נוזלים מפלסמת הדם לרקמות.
- חולפים במהלך מספר שעות לאחר סיום המאמץ.

כאבים מושהים

- מופיעים זמן-מה לאחר סיום המאמץ הגופני ונמשכים מספר ימים.
- תחושת הכאבים יכולה להיות בטווח שבין קשיות מינורית עדינה לבין כאב חזק ולא נעים שמגביל תנועה.
- עוצמת הכאב החזקה ביותר מורגשת 24 - 48 שעות לאחר המאמץ וחולפת בהדרגה תוך 3 - 7 ימים.
- השרירים מאופיינים בנפיחות וקשיות, טווח התנועה בהם קטן והיכולת למתיחתם מוגבלת.
- נצפית ירידה בכוח המרבי של השרירים הכואבים והאטה בחידוש מאגרי הגליקוגן.
- ישנן עדויות לבצקת, דלקת ונמק ברקמת השריר.
- עלייה ברמת ה-CPK בדם לרמה של פי 5 ויותר מעל הערך הפיזיולוגי (1,000 יחידות לליטר ויותר) מהווה מדד לזיהוי נזק שרירי מהותי - תמת שרירי

רמת הכאב קשורה לעצימות, למשך התכווצות השרירים ולסוגה.

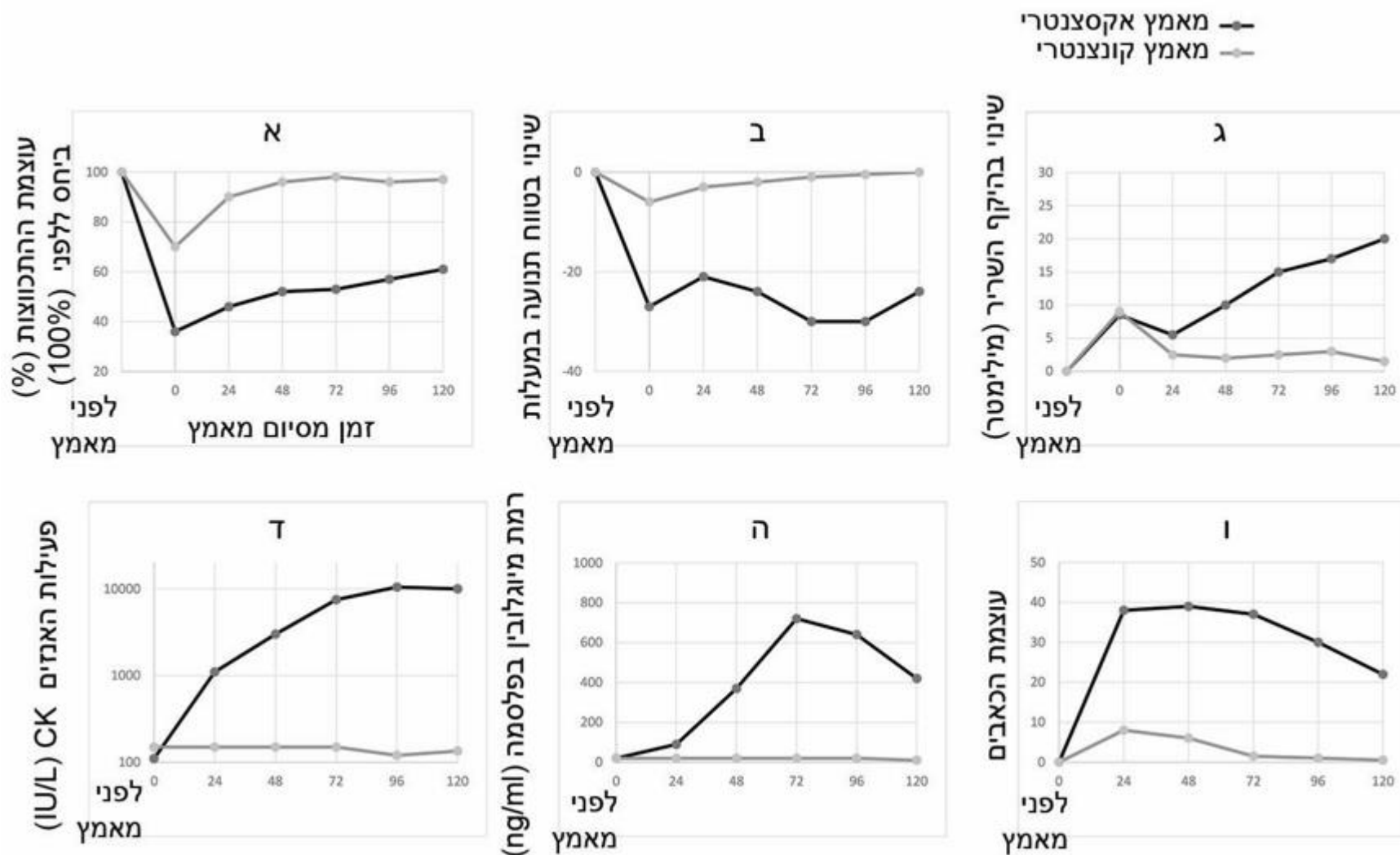


השפעת סוג ההתכווצות על עוצמת

כאבי השרירים המושהים

השפעת סוג ההתכווצות (קונצנטרי, אקסצנטרי) על מדדים הקשורים בכאבי

שרירים מאוחרים של כופי המרפק.



עווית שריר במאמץ

עווית שריר, לא רצוני וכואב שמתרחש במהלך המאמץ או מיד אחריו. שכיח בשרירי השוק האחוריים.

תאוריית הבקרה העצבית - שרירית: שיבוש בבקרה שבין תא העצב לתא השריר.

תאוריית דלדול האלקטרוליטים: העווית נוצר עקב הזעה מרובה שמביאה לאובדן נוזלים ושינויים משמעותיים ברמת

האלקטרוליטים ובפרט ביוני הנתרן והכלור. השינויים הללו גורמים ליציאת נוזלים מהמדור התוך תאי דרך המדור

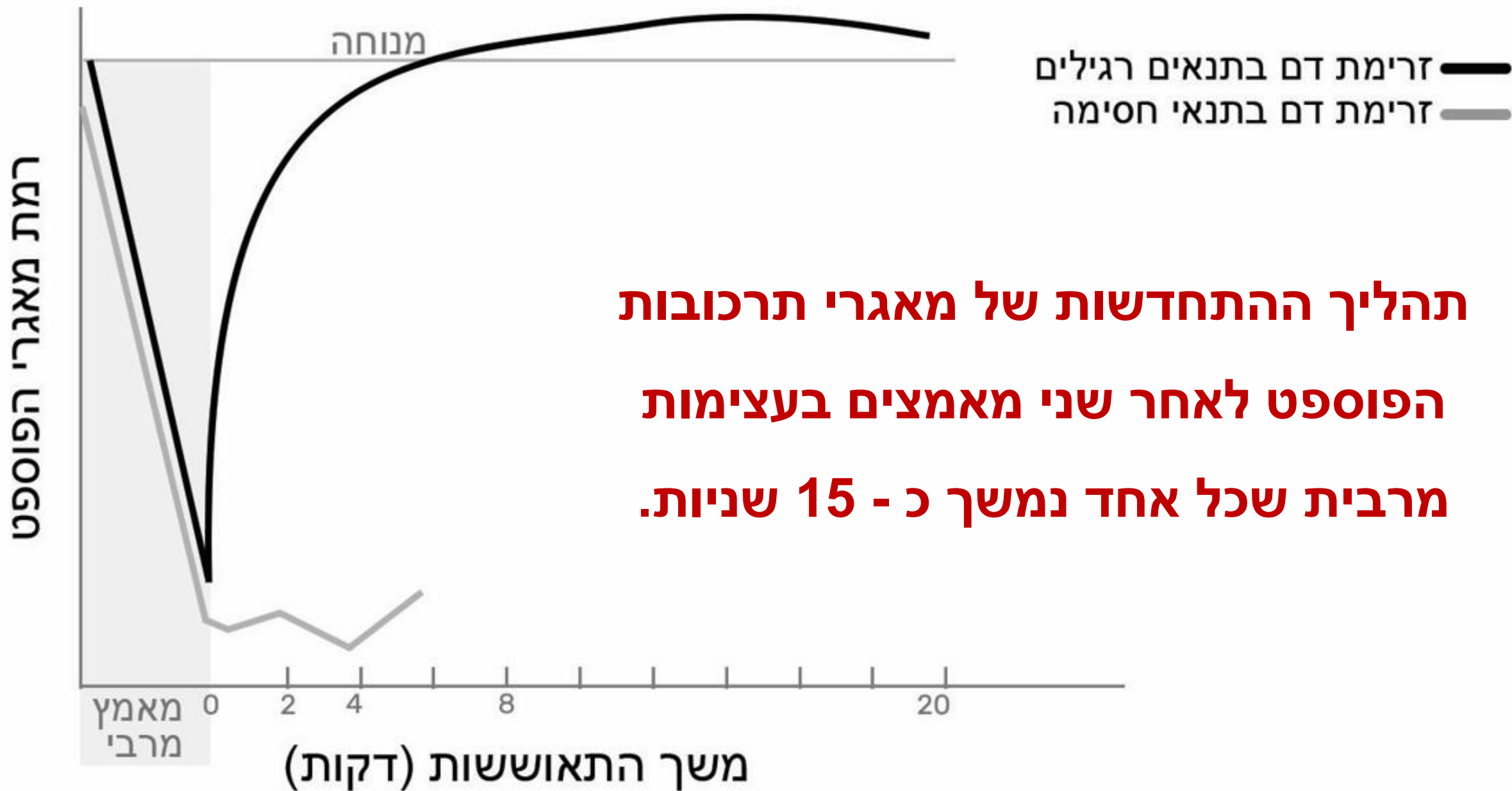
הבין תאי לתוך נוזל הדם. המעבר של הנוזלים במדור הבין תאי גורם לגירוי יתר של הקשר העצבי שרירי.

טיפול: מתיחת השריר והפעלת רפלקס גולג'י שגורם לעיכוב בפעולת העצב המוטורי, צריכת נוזלים ואלקטרוליטים

ומנוחה.

מניעה:

- להיות בכושר טוב ועל ידי כך להקטין את הסיכון לעייפות שריר.
- לבצע בשגרה מתיחות לשרירים שנמצאים בסיכון לעווית.
- לשמור על מאזן נוזלים ואלקטרוליטים תקין ועל מאגרי פחמימות.
- להפחית עצימות מאמץ ומשך - אם ניתן.



השינוי ברמת הגליקוגן בשריר הארבע-ראשי
במהלך אימון הפוגות על אופניים שכלל
שישה מיאוצים (ספרינטים) של דקה כ"א

תכולת הגליקוגן בשריר



