



משרד החינוך

מערכת שידורים לאומית

חינוך גופני מקצוע מוגבר לבגרות 5 יח"ל

חלק א' - נושא השיעור: סף חומצת חלב

שם המורה: משה אהרוני



מה נלמד היום

- סבולת אירובית
 - סף חומצת חלב
 - סף אנאירובי
 - מבדקים לאיתור סף חומצת חלב
 - בדיקת סף חומצת חלב וצריכת חמצן מרבית
- 

הספק אירובי

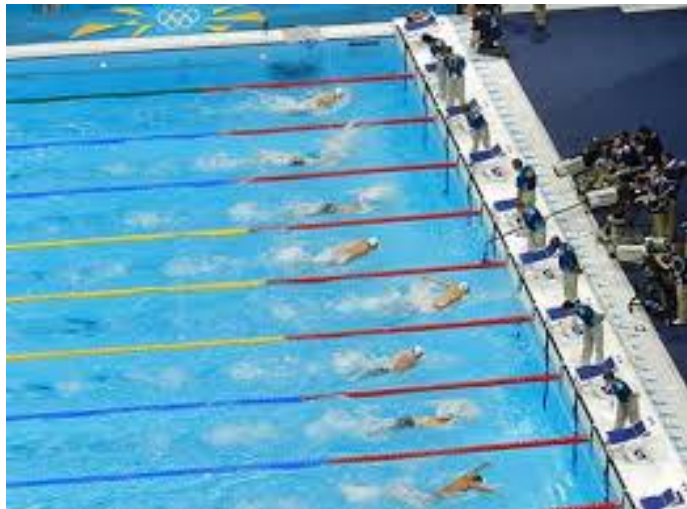
- צריכת החמצן המרבי היא המדד הטוב ביותר להערכת ההספק (סך האנרגיה שעשו בה שימוש ליחידת זמן) המרבי של המסלול האירובי בהפקת אנרגיה (הספק אירובי מרבי).
- צח"מ מייצגת את תקרת הפוטנציאל האירובי לספק אנרגיה ביחידת זמן נתונה
- **הספק אירובי מרבי** הוא כמות החמצן המרבית המנוצלת על ידי הרקמות. כמות זאת מוגבלת על ידי מערכת ההובלה, הלב וכלי הדם, ויכולת השרירים למצות את החמצן.
- קיים מתאם גבוה בין ערכי הצח"מ להישגים בענפים הדורשים סבולת בינונית ונמשכים בין 3' ל- 20'.
- הצח"מ אינה אמינה ומדויקת בחיזוי ההישגים במאמצים הדורשים סבולת ממושכת הנמשכים מעל 20 דקות.



1500 מטר

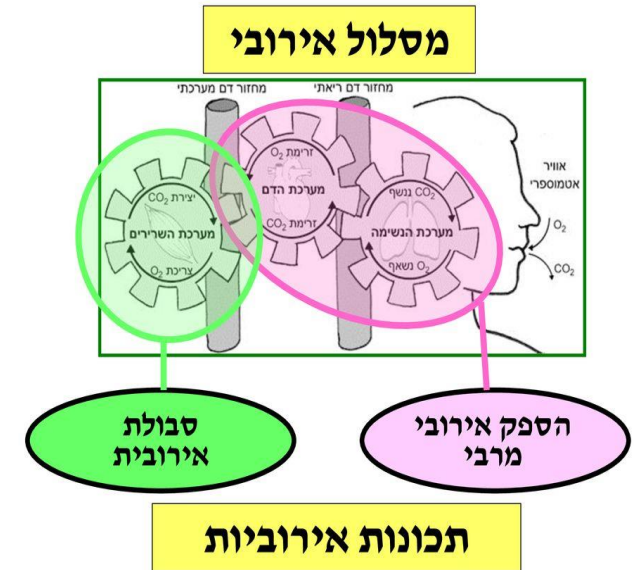
סבולת אירובית

- במאמצים המבוצעים בעצימות גבוהה הנמשכים מעל 20 דק' ערכי צריכת החמצן נמוכים מהצח"מ, הצלחה בביצועים גופניים מסוג זה תלויה בעיקר בסבולת האירובית ולא בהספק האירובי.
- סבולת אירובית מוגדרת כיכולת להתמיד בהספק האירובי הגבוה ביותר האפשרי לאורך זמן (מעל 20').
- גם הספק אירובי וגם סבולת אירובית הן תכונות אירוביות.
- יכולת טובה באחת מהן מחייבת רמה גבוהה של המערכות המרכזיות (מערכת הדם ומערכת הנשימה) ורמה גבוהה של המערכת ההיקפית (המסלול האירובי בתאי השריר).



הבדלים בין צח"מ לסבולת אירובית

- ההבדלים בין שתי התכונות נעוצים בגורמים המגבילים
- הצח"מ מוגבל על ידי מערכת הדם ומערכת הנשימה.
- הסבולת האירובית מוגבלת ביכולת להפיק אנרגיה במסלול האירובי בשריר עצמו.
- יכולתם של השרירים למצות את החמצן מהדם ולהשתמש בו לצורך הפקת אנרגיה במסלול האירובי תלויה ב:
- מספר וגודל המיטוכונדריה
- כמות נימי הדם בשריר
- ריכוז המיוגלובין
- ריכוז האנזימים האירוביים (Hexokinase, PFK1, Glucokinase, PFK2)



סף חומצת חלב

- יכולת זו באה לידי ביטוי באפשרות לבצע מאמץ ממושך ועצים ללא הצטברות משמעותית של חומצת חלב בשרירים ובדם.
- מסלול חומצת חלב מעורב באופן קבוע בתהליכי אספקת האנרגיה.
- המעורבות המתמדת של מסלול חומצת החלב אינה מעידה בהכרח על הצטברות של החומצה בשרירים ובדם בריכוזים גבוהים.

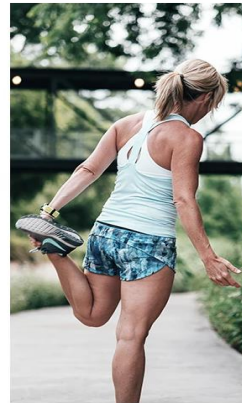


Average VO2 Maxes



Male 20-29
Average - Untrained

VO2 Max
35 - 40ml/kg



Female 20-29
Average - Untrained

VO2 Max
27 - 30ml/kg



Male Runner
Elite - Trained

VO2 Max
85ml/kg



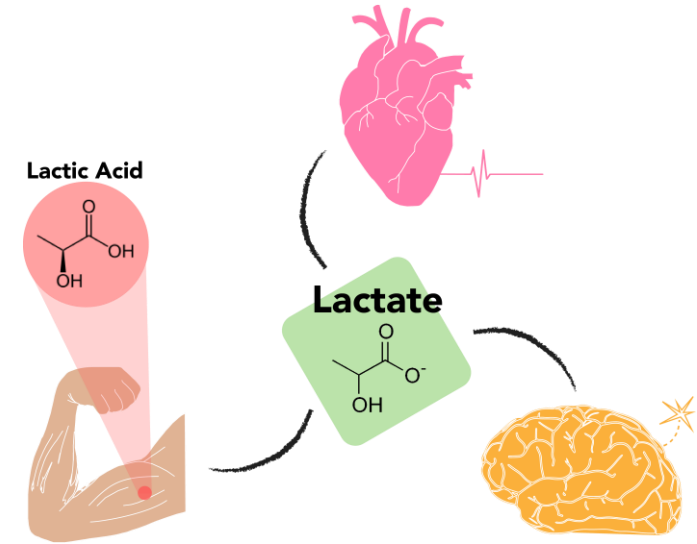
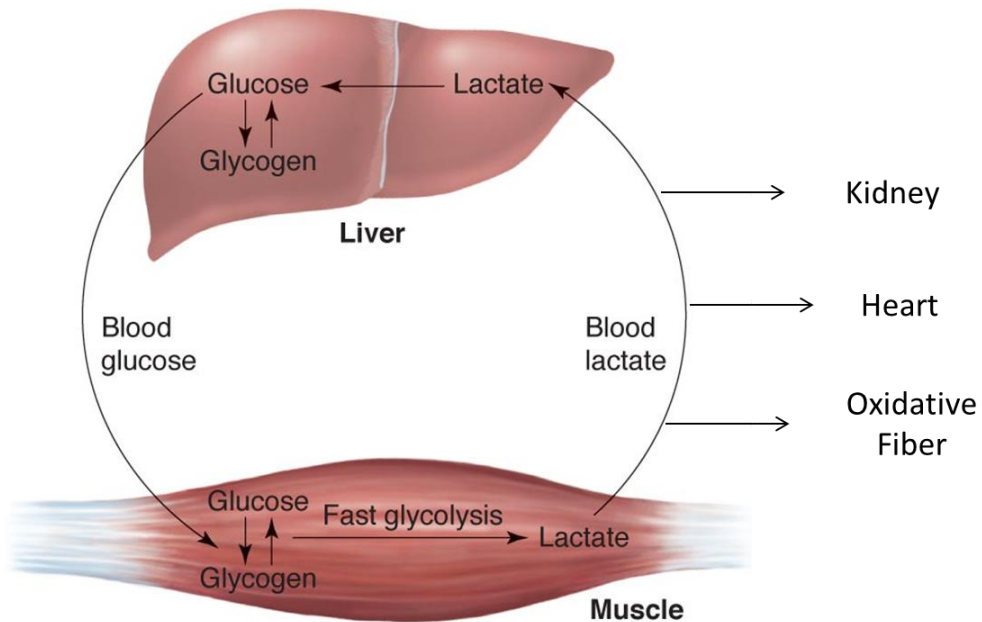
Female Runner
Elite - Trained

VO2 Max
77ml/kg

סף חומצת חלב

רמת חומצת החלב בשרירים ובדם בזמן מאמץ מושפעת מהגורמים הבאים:

- עצימות המאמץ
- קצב הדיפוזיה של חומצת החלב מהשרירים אל הדם
- מידת השימוש בחומצת חלב כדלק מטבולי (שריר הלב, הכבד והכליות
- משתמשים בחומצת החלב כדלק מטבולי לצורך הפקת אנרגיה במסלול האירובי)
- פעילות מעגל קורי



סף חומצת חלב

- כמות השרירים המופעלת בזמן מאמץ - במאמץ משולב (ידיים ורגליים)
רמת חומצת החלב תהיה נמוכה ממאמץ רגליים/ידיים בלבד, משתי סיבות
- 1. במאמץ המשולב פועלים יותר שרירים (הפחתה במטבוליזם אנאירובי לקטי)
- 2. חומצת החלב מנוצלת כדלק מטבולי בשרירים הפעילים בעצימות מתונה.
- הפרופיל השרירי - ככל שתעלה כמות הסיבים האיטיים המופעלים תקטן
רמת חומצת החלב ותקטן מעורבות של המטבוליזם האנאירובי לקטי והפוך.
- טמפרטורת הגוף - הפחתה בזרימת הדם לשרירים (הדם זורם יותר לכיוון העור) תפגע במטבוליזם האירובי



סף חומצת חלב

- ריכוז חומצת החלב בדם משקף את היחס שבין קצב ייצור חומצת החלב לקצב סילוקה ופירוקה.
- חומצת החלב נשארת ברמה נמוכה יחסית אצל אנשים לא מאומנים עד לעוצמת מאמץ שבהן צריכת החמצן מקבילה ל- 55%-60% מהצח"מ (ואינה גורמת לעייפות עד לשלב זה)
- אצל אנשים מאומנים הצטברות חומצת החלב מתרחשת בדרגות מאמץ גבוהות יותר (65%-80% מהצח"מ)
- עלייה נוספת בעצימות תגרום להצטברות חומצת חלב בשרירים ובדם.

VO2 Max Norms for Women

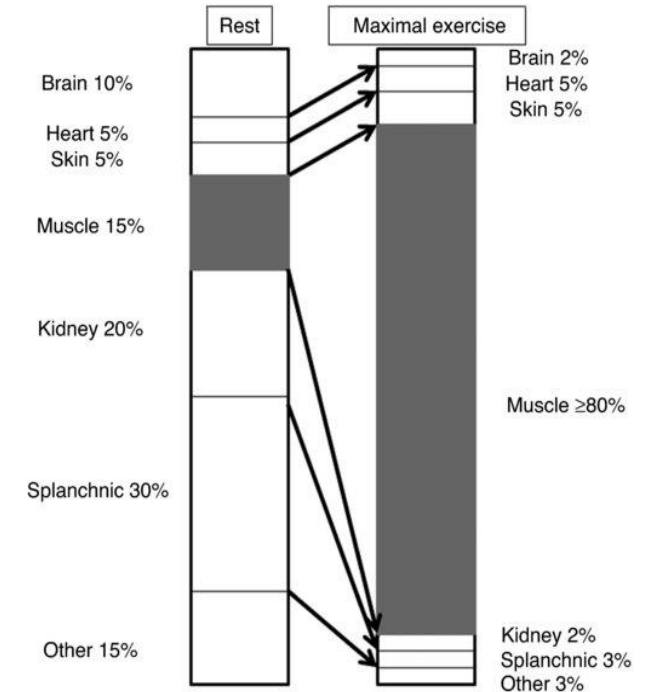
AGE	VERY POOR	POOR	FAIR	GOOD	EXCELLENT	SUPERIOR
13-19	<25.0	25.0 - 30.9	31.0 - 34.9	35.0 - 38.9	39.0 - 41.9	>41.9
20-29	<23.6	23.6 - 28.9	29.0 - 32.9	33.0 - 36.9	37.0 - 41.0	>41.0
30-39	<22.8	22.8 - 26.9	27.0 - 31.4	31.4 - 35.6	35.7 - 40.0	>40.0
40-49	<21.0	21.0 - 24.4	24.5 - 28.9	29.0 - 32.8	32.9 - 36.9	>36.9
50-59	<20.2	20.2 - 22.7	22.8 - 26.9	27.0 - 31.4	31.5 - 35.7	>35.7
60+	<17.5	17.5 - 20.1	20.2 - 24.4	24.5 - 30.2	30.3 - 31.4	>31.4

VO2 Max Norms for Men

AGE	VERY POOR	POOR	FAIR	GOOD	EXCELLENT	SUPERIOR
13-19	<35.0	35.0 - 38.3	38.4 - 45.1	45.2 - 50.9	51.0 - 55.9	>55.9
20-29	<33.0	33.0 - 36.4	36.5 - 42.4	42.5 - 46.4	46.5 - 52.4	>52.4
30-39	<31.5	31.5 - 35.4	35.5 - 40.9	41.0 - 44.9	45.0 - 49.4	>49.4
40-49	<30.2	30.2 - 33.5	33.6 - 38.9	39.0 - 43.7	43.8 - 48.0	>48.0
50-59	<26.1	26.1 - 30.9	31.0 - 35.7	35.8 - 40.9	41.0 - 45.3	>45.3
60+	<20.5	20.5 - 26.0	26.1 - 32.2	32.3 - 36.4	36.5 - 44.2	>44.2

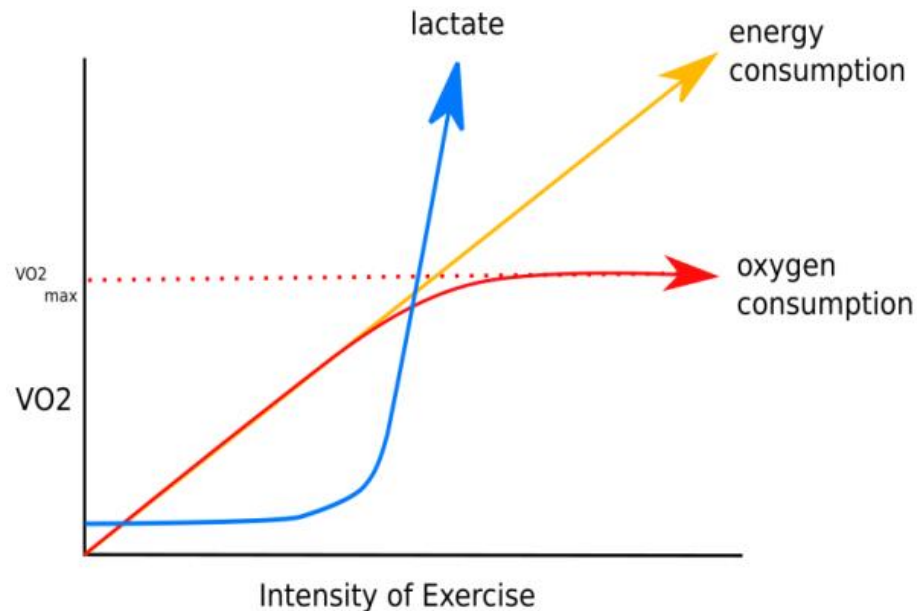
סף חומצת חלב

- הצטברות מואצת של חומצת החלב עם העלייה בעצימות נובעת מהגורמים הבאים:
- 1. אי היכולת של מעגל קרבס ושרשרת העברת האלקטרונים לספק את הדרישה האנרגטית
- 2. הפחתה בזרימת הדם לשרירים שפועלים בעצימות גבוהה, הנגרמת עקב לחץ השריר על נימי הדם שבתוכם.
- 3. שימוש רב יותר ביחידות מהירות (לבנות) בעלות הספק גבוה, ומאופיינות ביכול לייצר אנרגיה במסלול האנאירובי לקטי ראו איור תחתון)
- 4. חלוקה שונה של תפוקת הלב מפחיתה את זרימת הדם לאיברים הפנימיים ולשרירים לא פעילים, שבהם חל ניצול משמעותי של חומצת חלב כדלק מטבולי (ראו איור מימין)



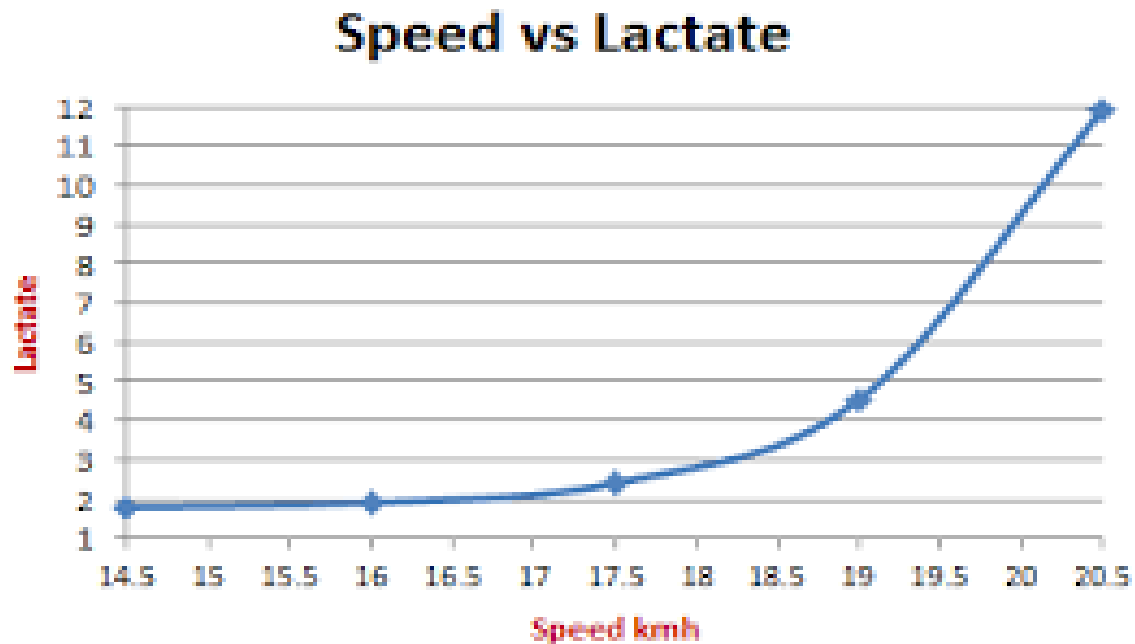
סף חומצת חלב

- השלב שבו מתחילה הצטברות מהירה של חומצת חלב, מכונה סף חומצת חלב (סח"ח), סף הצטברות חומצת החלב בדם וסף אנאירובי (סף אי-אווירני סא"א).
- הצטברות מואצת של חומצת החלב נובעת מאי יכולת של מנגנוני הסילוק והפירוק לעמוד בקצב הייצור של חומצת החלב ("יכולת סתירה")



סף חומצת חלב

- תחילת ההצטברות המואצת מתרחשת כאשר ריכוזה עולה לערכים של 2-4 מילימולר.
- הסח"ח משקף את היכולת לבצע מאמץ ממושך ועצים (מעל 20') ללא הצטברות משמעותית של חומצת חלב, והוא המדד המקובל להערכת הסבולת האירובית.



סף חומצת חלב

- סף חומצת חלב יכול להתבטא על ידי:
 1. קצב הפעילות, עצימות המאמץ יחסית לצריכת החמצן המרבית (% מהצח"מ)
 2. ערכים של קצב לב
 3. ערכים של הספק מכני
- הגרף באיור הבא מתאר את השינויים ברמת חומצת החלב בזמן מאמץ מדורג.
- כאמור, המטבוליזם האנאירובי לקטי מספק כמות אנרגיה מסוימת בכל רמת מאמץ ואף במנוחה, ולכן חשוב להדגיש שהסח"ח אינו מראה על מעבר ממטבוליזם אירובי למטבוליזם אנאירובי לקטי.



שינויים ברמת חומצת החלב בדם במאמץ מדורג





שאלת חשיבה

- האם, לדעתכם, יתכן מצב שבו לא חל שינוי בריכוז חומצת החלב בדם, אף על פי שקצב הייצור גדול פי חמישה ביחס למנוחה.



חינוך גופני מקצוע מוגבר לבגרות 5 יח"ל

חלק ב' - מבדקים לאיתור סף חומצת חלב

שם המורה : משה אהרוני

מבדקים לאיתור סף חומצת חלב

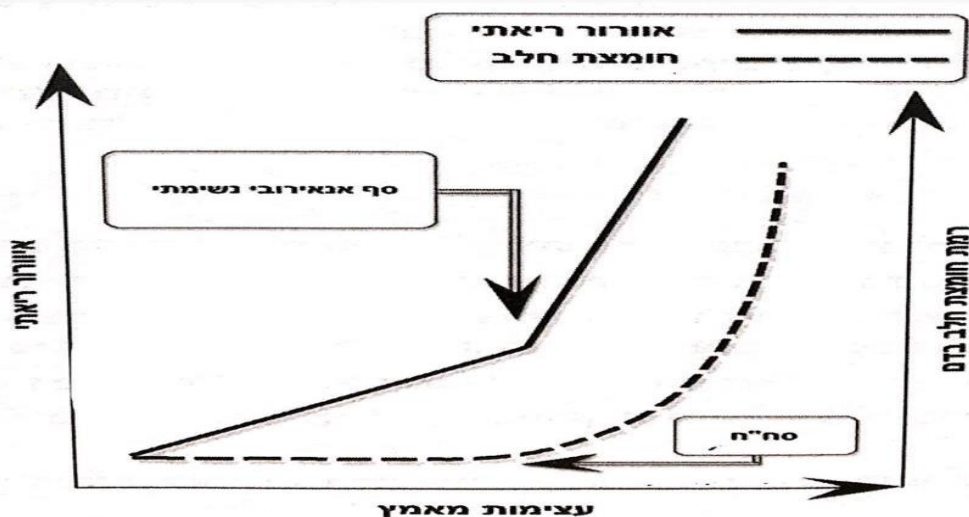
- איתור ישיר של הסח"ח מבוצע על ידי מדידת ריכוז חומצת החלב בדם באמצעות דגימות דם הנלקחות במהלך מבחן מאמץ מדורג.
- ריכוז חומצת החלב מוצג באופן גרפי על ציר Y כנגד העומס המכני או כנגד צריכת החמצן המשקפים את עצימות המאמץ שבה נלקחה הדגימה.
- הסח"ח נקבע, על פי דרגת המאמץ, שבה חלה עלייה חדה ברמת חומצות החלב בהשוואה לרמתה במאמצים שקדמו.



https://www.youtube.com/watch?v=Xlp-nO0lYkU&ab_channel=FlorisGierman

מבדקים לאיתור סף חומצת חלב

- המגבלות העיקריות של איתור הסח"ח בשיטה זו הן משך הבדיקה (לפחות עשרה שלבים בני 4-5 דקות כל שלב) ואופייה הפולשני (דגימות דם פולשניות).
- שיטה נוספת ופשוטה יותר למציאת הסח"ח מסתמכת על מדדים נשימתיים ואינה דורשת בדיקות דם פולשניות.
- הגרף הבא מתאר את מגמת השינוי באוורור הריאתי כתלות בעצימות המאמץ במהלך מבחן מדורג.
- כפי שניתן לראות מגרף האוורור הריאתי, בעת ביצוע מאמץ מדורג האוורור הריאתי עולה ביחס ישיר לעלייה בעצימות המאמץ עד לשלב שבו נצפית עלייה חדה באוורור הריאתי.



מגמת השינוי ברמת חומצת החלב ובאוורור הריאתי כתלות בעצימות המאמץ

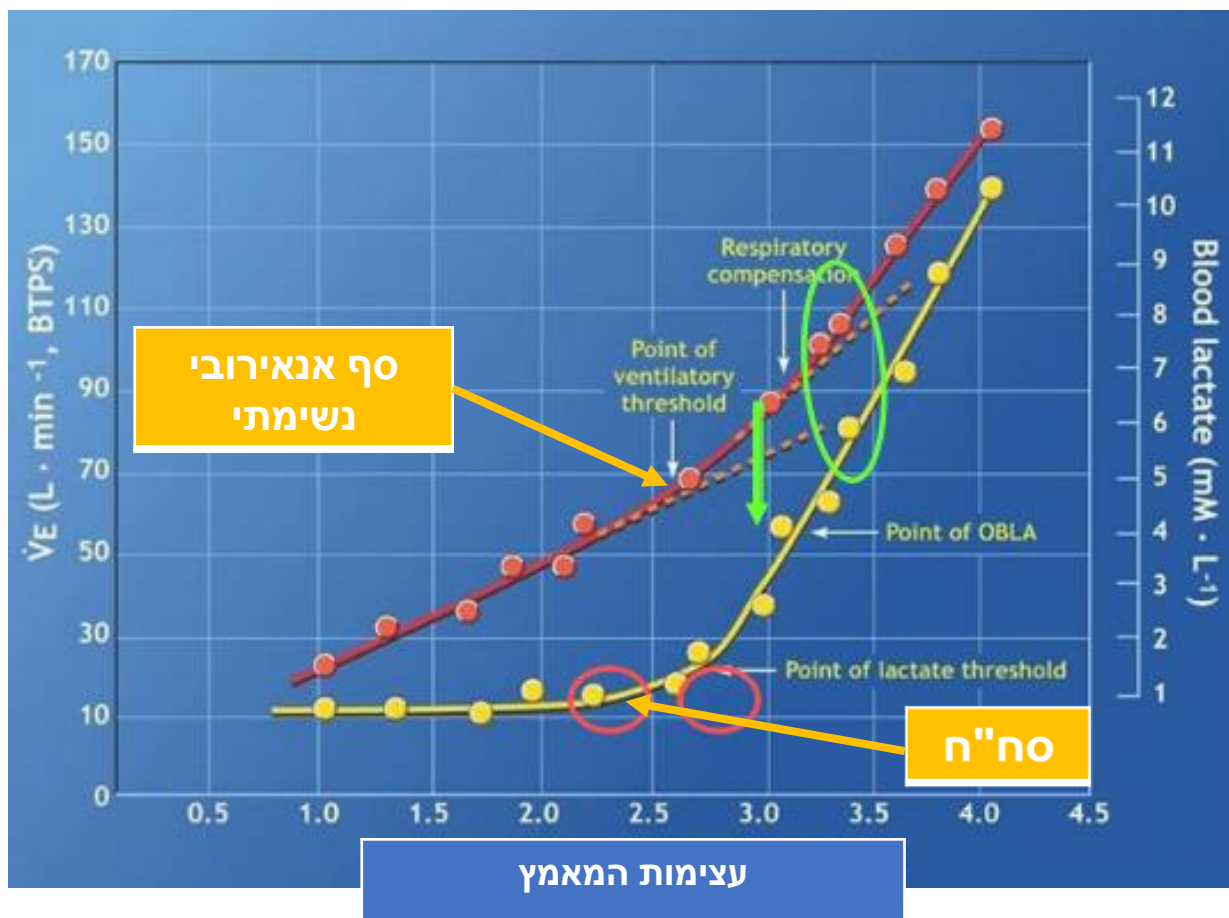
מבדקים לאיתור סף חומצת חלב

- האצת האוורור הריאתי היא תוצאה של עלייה CO₂ בדם, הנובעת מהצטברות חומצת החלב בדם המעלה את רמת יוני המימן ואת חומציות הדם.
- עלייה ברמת יוני המימן גורמת לתגובה כימית המתוארת בנוסחה שבהמשך, שבעקבותיה נוצר פחמן דו חמצני.
- תגובה זו מכונה תגובת בופר (התרסה) ומיועדת להחזיר את רמת החומציות לערכיה התקינים.



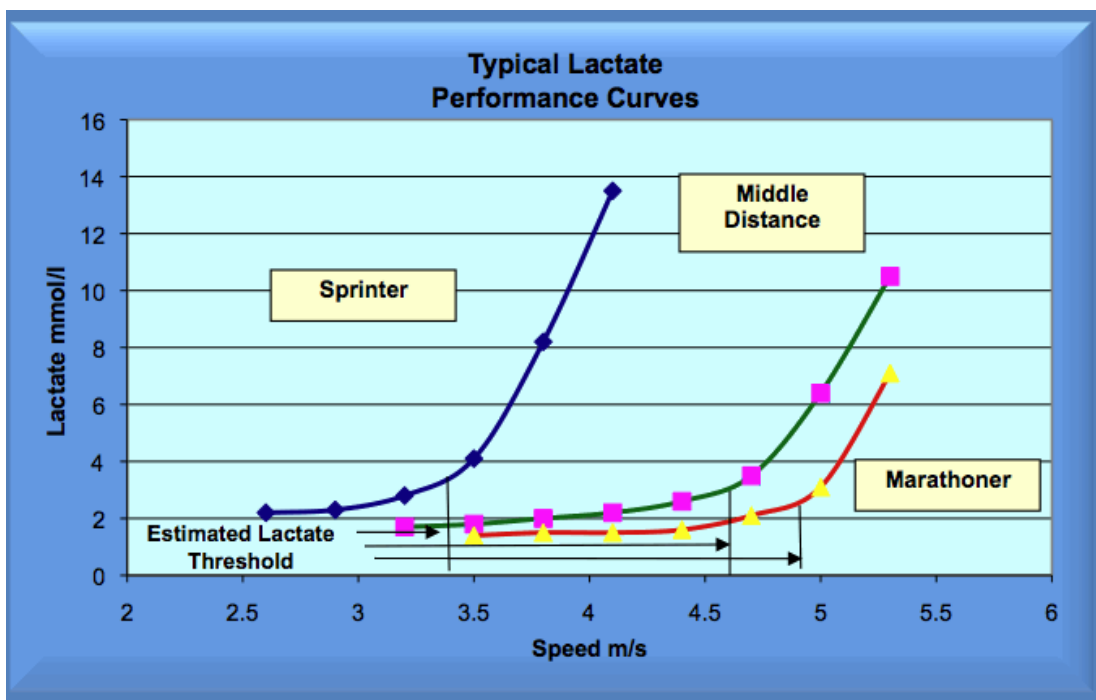
מבדקים לאיתור סף חומצת חלב

- מנתוני הגרף ניתן לראות ששלב העלייה החדה באוורור הריאתי מקביל מבחינת עצימות המאמץ לסח"ח ולכן מכונה הסף האנאירובי הנשימתי.



בדיקת סף חומצת החלב וצריכת חמצן מרבית

- המתאם (קשר סטטיסטי) שבין ערכי הצח"מ ובין המדדים המבטאים את הסח"ח נמוך יחסית, והוא נובע מהעובדה, שההספק והסבולת האירוביים מבטאים רמת תפקוד של מערכות פיזיולוגיות שונות.
- הראשון תלוי בעיקר במערכות הלב והנשימה (מרכיבים מרכזיים), בעוד האחרון מושפע בעיקר גורמים מקומיים תוך שריריים (מרכיבים היקפיים).



מגמת השינוי ברמת חומצת החלב ובאזורורי הריאתי כתלות בעצימות המאמץ בענפים שונים

בדיקת סף חומצת החלב וצריכת חמצן מרבית

- בבדיקת הסח"ח ניתן להעריך ישירות את הסבולת האירובית הייחודית של הספורטאי בהתאם לענף הספורט שבו הוא עוסקו בעת ביצוע הפעילות בשדה (מסלול הריצה, בריכת השחייה, מסלול הרכיבה על האופניים). בבדיקות מעבדה להערכת הצח"מ כל הספורטאים נבדקים בדרך כלל באותו נוהל בדיקה ובאותה פעילות שהיא אינה ייחודית.
- יתרון נוסף של בדיקת הסח"ח על פני בדיקת הצח"מ הוא בכך, שהיא אינה מחייבת הגעה למאמצים מרביים הכרוכים בקושי פיזי ונפשי ודורשים נכונות ומוטיבציה גבוהים של הנבדק.



בדיקת סף חומצת החלב וצריכת חמצן מרבית

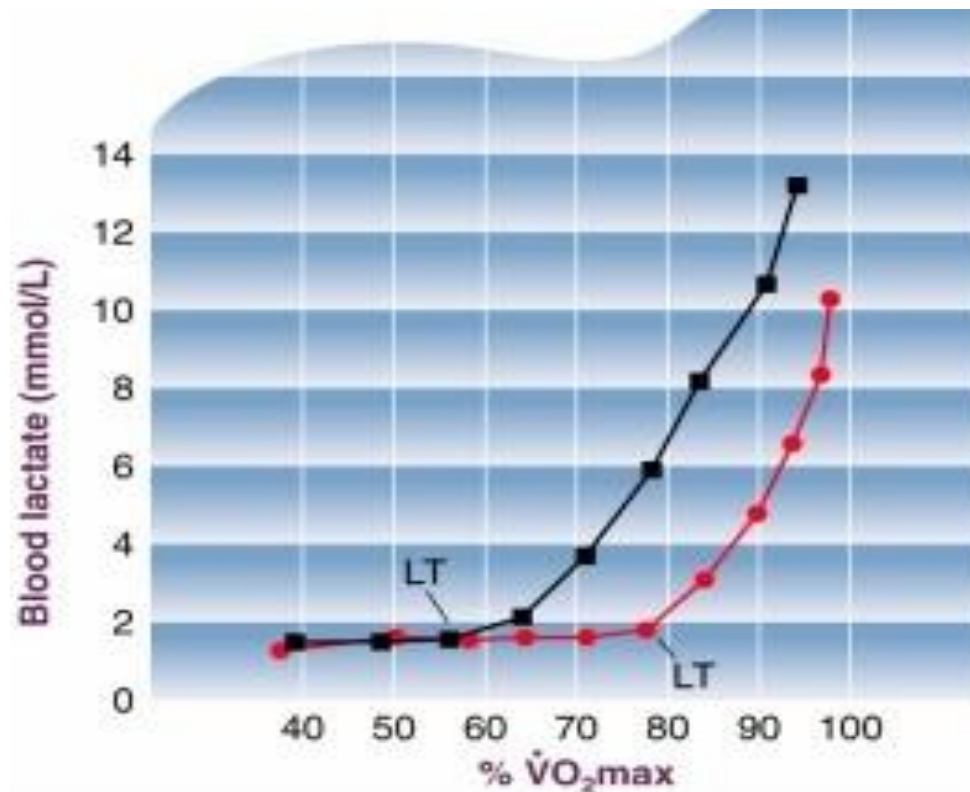
- למרות שקיים קשר בין הסח"ח ובין מאמצי סבולת ממושכת (מעל 20 דקות), זהו אינו המשתנה היחיד אשר יקבע את יכולתו ההישגית של ספורטאי בענפי הספורט, בהם הסבולת האירובית דומיננטית.
- משתנים חשובים נוספים בקביעת ההישג יהיו ההספק האירובי המרבי (צח"מ), היעילות המכנית (טכניקה, לבוש וציוד), ההכנה התזונתית (במאמצים שמעל שעה וחצי), היכולת הטקטית והכושר המנטלי.



סף חומצת חלב

מטלת סיכום

- באיור מוצגים שני גרפים המתארים את הריכוז חומצת החלב בדם במהלך מאמץ מדורג של שני רצים (רץ א עם סבולת אירובית גבוהה יותר ורץ ב עם הספק אירובי גבוה יותר). סמנו ליד כל אחד מהגרפים למי הוא שייך.





נוהל שימוש ביצירות מוגנות בזכויות יוצרים ואיתור בעלי זכויות

השימוש ביצירות במהלך שידור זה נעשה לפי סעיף 27א לחוק זכות יוצרים, תשס"ח. 2007-אם הינך בעל הזכויות באחת היצירות, באפשרותך לבקש מאיתנו לחדול מהשימוש ביצירה, זאת באמצעות פנייה לדוא"ל rights@education.gov.il