
Left ventricular performance during walking with heavy load carriage / ההשפעה של מאמצים ממושכים ושל כמות הנוזלים על מדדים של תפוקת הלב

Author(s): גלילה ורבר, הינדה אננברג, נגה פישר, יעל פרת, דוד בן-סירא, מיכאל שגיב, G. Verber, H. Annenberg, N. Fisher, Y. Prath, D. Ben-Sira and M. Sagiv

Source: *Movement: Journal of Physical Education & Sport Sciences* / כתוב-עת: בתנועה: כתב-עת, Vol. ב&rm;, No. 2 (כסלו, 1993 / נובמבר, 1993, pp. 72-92 (תשנ"ד / נובמבר, 1993

Published by: Academic College at Wingate

Stable URL: <https://www.jstor.org/stable/23631762>

JSTOR is a not-for-profit service that helps scholars, researchers, and students discover, use, and build upon a wide range of content in a trusted digital archive. We use information technology and tools to increase productivity and facilitate new forms of scholarship. For more information about JSTOR, please contact support@jstor.org.

Your use of the JSTOR archive indicates your acceptance of the Terms & Conditions of Use, available at <https://about.jstor.org/terms>



is collaborating with JSTOR to digitize, preserve and extend access to *Movement: Journal of Physical Education & Sport Sciences* / כתוב-עת: בתנועה: כתב-עת למדעי החינוך הגופני והספורט

הנושא המרכזי: ביודינמיקה

ההשפעה של מאמצים ממושכים ושל כמות הנוזלים על מדדים של תפוקת הלב

גלילה ורבר, הינדה אננברג, נגה פישר, יעל פרת, דוד בן-סירא, מיכאל שגיב

תפקוד הלב והערכתו

במצב פיזיולוגי תקין שווה החזרה הוורידית (הקצב, שבו הדם חוזר ללב מהמערכת הוורידית), לתפוקת הלב (הקצב, שבו הלב מזריק את הדם למערכת העורקית). נפח הדם בגוף, עשוי לקטון (בשל איבוד מים או בשל התייבשות) או לגדול כתוצאה מהעמסת נוזלים, ועל ידי כך להעלות את החזרה הוורידית (Yellin, Nikolic & Frater, 1977; Astrand & Rodahl, 1977). תפוקת הלב נקבעת, בנוסף לחזרה הוורידית, על פי מערכת היחסים שבין **הלחץ באבי העורקים**, אשר מתנגד להזרקת הדם מהלב, על פי **יכולת כיווץ הלב** ועל פי **קצב הלב**. בהכללה רחבה ניתן לומר, כי הבקרה על תפוקת הלב מושפעת בעיקרה מצריכת החמצן של הגוף (Astrand & Rodahl, 1977). את המדדים האלה של תפוקת הלב (להלן **הימודינמיקה**), ניתן למדוד בעזרת מכשיר **האקו-דופלר** (Echo-Doppler), המתבסס על גלי הקול של תנועת הנוזל בלב. תכונה זו של המכשיר מאפשרת להעריך (Brutsaert, Rademakers & Stoddard, et al., 1989; Sys, 1984; Keren, et al., 1981):

- ★ **תנועת המסתמים**
- ★ **ממדי החדר השמאלי**
- ★ **קצב מילוי החדר**
- ★ **מדידת המהירות של זרימת הדם לאורך מסתמי הלב הן באבי העורקים והן בעורקי הריאה.**

תאריכים: פיסיולוגיה של הפעילות הגופנית; לב; מערכת הזרימה; חילוף חומרים; חמצן.

בתנועה, כרך ב, חוברת 2, תשנ"ד - 1993

משק המים בגוף והשפעתו על תפוקת מערכת הלב ועל כלי הדם

בתחילת המאמץ מתרחש תהליך של אפסון חום. אפסון החום נובע מכך שבגין עצמת המאמץ חלה עלייה גדולה יותר בייצור החום מאשר בקצב פיזורו. חוסר האיזון הזה, בין ייצור החום לבין פיזורו גורם לכך שחום הגוף עולה, עד אשר גובר תהליך איבוד החום דרך העור על ידי הגברת זרימת הדם לעור (עלייה בנפח הדם ההיקפי), ועל ידי ההזעה (Appenzeler, & Atkinson, 1983). ההגדלה בנפח הדם בהיקף הגוף, מקטינה את נפח הדם המרכזי, ובשל כך קטנה החזרה הוורידית. כפיצוי, לשם שמירה על תפוקת הלב הרצויה, עשויה להיות הגברה בקצב הלב (Myher, et al., 1979).

זאת ועוד. תהליך ההזעה עשוי להוביל למצב של איבוד נוזלים (Gisolfi, 1989). איבוד הנוזלים יכול להגביל את נפח הפעימה ובכך את תפוקת הלב (Fortney, et al., 1981). במחקרים, שבוצעה בהם העמסת נוזלים על ידי שתייה של 400ml מים, להרחבת נפח הפלסמה, נמצאה הרחבה של 11% בנפח הפעימה (Hopper, Coggan & Coyle, 1988; Fortney, et al., 1981). ההרחבה בנפח הפעימה איפשרה שמירה של תפוקת הלב ברמות גבוהות יותר של מאמץ בהשוואה לקבוצת הביקורת (Fortney, et al., 1981).

סוגי המאמץ והשפעתם על תפוקת הלב ועל מערכת כלי הדם

את השינויים ההימודינמיים, המתרחשים בעת מאמץ ואת השפעתם על העומס, המוטל על החדר השמאלי, מסווגים לשני סוגי מאמץ עיקריים: מאמץ דינמי ומאמץ איזומטרי.

המאמץ הדינמי. במאמץ דינמי, כגון בריצה, מתבצע קיצור וכיווץ ריתמי של קבוצות שרירים גדולות (Schaible & Scheur, 1985). כתוצאה מכך חלה: 1. עלייה גדולה הן בתפוקת הלב והן בקצב הלב, 2. שינוי קטן בממוצע של לחץ הדם העורקי. פירוש הדבר, עלייה בלחץ הדם הסיסטולי, העולה עם עצמת עומס העבודה, מבלי שיתרחש שינוי בלחץ הדם הדיאסטולי בשל הירידה בתנגודת של כלי הדם ההקפיים (Poliner, et al., 1980; Scheuer & Tipton, 1977). המאמץ הדינמי גורם לעומס יתר (volume load) של נפח הפעימה (Keul, et al., 1981).

המאמץ האיזומטרי. במאמץ איזומטרי כגון בלפיתת יד (hand grip), מתרחשת עלייה הן במתח של שרירי השלד, אף על פי שאין כמעט שינוי באורכם, והן בלחצי הדם הסיסטולי והדיאסטולי ובממוצע של לחץ הדם העורקי. העלייה בלחצי הדם יכולה להתרחש מכיווץ של קבוצה קטנה של שרירי שלד (Donald, Lind & McNicol, 1967). עומס העבודה במאמץ איזומטרי נמדד כאחוז הכיווץ השרירי מיכולת הכיווץ המרבי (Schaible & Scheuer, 1985; Asmussen, 1981). העלייה בלחץ הדם במאמץ איזומטרי, גורמת לעומס יתר (pressure load) על החדר השמאלי (Keul, et al., 1981; Thadani & Parker, 1978).

המאמץ המשולב (איזודינמי)

בפעילות גופנית בחיי היום יום אין, בדרך כלל, מצב, שמתקיים בו רק סוג אחד של מאמץ – דינמי או איזומטרי. בפעילות זו מתבצע **מאמץ משולב** (איזודינמי), שהמרכיב האיזומטרי בו הינו העיקרי. במאמץ איזודינמי, כגון: בנשיאת משא לפרק זמן ממושך, מתרחשת עלייה משמעותית וחדה של לחץ הדם לעומת העלייה בלחץ הדם בעת ביצוע עבודה זהה ללא משא (מאמץ דינמי) (Bertagnoli, Hanson & Ward, 1990). זו הסיבה, שבעקבות העלייה בלחץ, הנגרם על ידי ההתנגדות להזרמת הדם על ידי הלב – יתכן שינוי באופי הדיאסטולה ובלחץ בעלייה השמאלית (Keul, et al., 1981; Thadani & Parker, 1978). המאמץ עשוי לגרום לעייפות, המשנה את היעילות הביומכנית של הנבדק, ומכך, חלה עלייה **בעלות האנרגטית** (צריכת החמצן) של הפעילות (Epstein, et al., 1988; Gordon, et al., 1983; Keren, et al., 1981). נמצא (Epstein, et al., 1988), שנשיאת משקל מתון, המהווה כ-37% ממשקל הגוף, גורם לשינוי משמעותי בעלות האנרגטית הכללית במשך הליכה של שתיים. בעת נשיאת משקל, המהווה כ-59% ממשקל הגוף, עצימות העבודה הינה 50% מתצרוכת החמצן המרבית ($\dot{V}O_{2\max}$). פעילות, המאופיינת בעבודה אנאירובית רבה וביצירת חומצת חלב, גורמת לירידה ביכולת הביצוע. במחקר אחר (Epstein, 1987) הגיעו החוקרים למסקנה, שהצריכה האנרגטית בעת נשיאת 40 ק"ג במסע בקצב של 3.2 קמ"ש, זהה לצריכה האנרגטית בעת נשיאת 15 ק"ג במסע בקצב של 4.5 קמ"ש.

מטרות המחקר

למחקר הזה שתי מטרות:

★ למדוד את השפעת המאמץ האיזודינמי על התפקוד הדיאסטולי של החדר

השמאלי באמצעות אקו-דופלר, במצב של חוסר נוזלים ובמצב שלאחר שתיית נוזלים (להלן, **העמסת נוזלים**).
★ לבחון את השינויים המטבוליים ואת השינויים הנשימתיים, בעת נשיאת משאות בעומסים שונים במהלך מאמץ ממושך.

שיטת המחקר

הנבדקים

במסגרת המחקר נבדקו 10 מתנדבים, שענו על דרישות המחקר האלה:
★ העדר ממצא פתולוגי על פי ההיסטוריה הרפואית האישית ועל פי מבדק מאמץ.
★ כושר גופני גבוה, כפי שהוא משתקף במבדק צריכת חמצן מרבית.
★ התחייבות להופיע לכל הבדיקות.
★ התחייבות לא לשתות ולא לאכול 3 שעות לפני הבדיקה.
★ חתימה על טופס **הסכמה להשתתפות במחקר**, לאחר קבלת הסבר בעל פה ובכתב באשר למהות המחקר ובאשר לסיכוניו האפשריים.

מהלך המחקר

כל משתתף במחקר נבדק שבע פעמים במעבדה ממוזגת בטמפרטורה של 20°C.

בדיקה מס' 1. בדיקה זו נועדה למדידות אנטרופומטריות לקביעה של צריכת החמצן המרבית ולהסתגלות להליכה על גבי המסילה הנעה. הבדיקה כללה:

★ **מדידת הנתונים האישיים.** נמדדו הנתונים: **הגובה** (בסנטימטרים); **המשקל** (בק"ג); הנבדקים נשקלו לפני כל בדיקה שנערכה בניסוי. ערכי VO_2 מוצגים ביחידות של מ"ל/דק. $l \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. **אחוז השומן**, לפי שיטת דרנין-וומרסלי (Durnin & Womersley, 1974), המודדת כפלי עור ב-4 השרירים: הדו-ראשי, התלת-ראשי, תת השכמה והזיו העליון של עצם הכסל.

★ **הקביעה של צריכת החמצן המרבית ($VO_2 \max$)**. תפקודי הריאה נמדדו בעזרת – Medical-Graphics CPX. מכשיר זה מאפשר איסוף נתונים בכל נשימה ונשימה ומותאם לתנאים סטנדרטיים של לחץ ברומטרי, של טמפרטורה ושל לחות. כל נבדק צעד על גבי מסילה נעה וביצע מאמץ במהירות של 12 קמ"ש כאשר בכל דקה הוגדל השיפוע ב-2%. בנוסף לתפקודי הריאה נמדדו הדופק, לחץ הדם הסיסטולי, לחץ הדם הדיאסטולי ורמת חומצת החלב. צריכת החמצן המרבית ($VO_2 \max$), הוגדרה כמצב שבו כל עלייה נוספת בדרגת המאמץ איננה גורמת לעלייה מקבילה ב- VO_2 . או לחילופין, כאשר הנבדק איננו יכול להמשיך במאמץ. הנתונים של צריכת החמצן המרבית ($VO_2 \max$), שימשו במהלך המחקר לחישוב הערכים היחסיים של יכולת הנבדק.

★ **מידות בזמן מנוחה**. לפני כל מאמץ נאספו, במשך 5 דקות מנוחה, הנתונים האלה:

- **ערכי תפקוד ריאה**: אורור ריאה (VE); עומק הנשימה (Vt); תצורות החמצן (VO_2); יעילות הנשימה (VE/VO_2); נפח דו תחמוצת הפחמן (VCO_2); מנת הנשימה (R).
- **ערכים קארדיואסקולריים**: דופק (HR), שנמדד באמצעות רישום א.ק.ג.; כמות החמצן המסופקת לגוף בכל פעימה; החמצן לדופק (PO); לחץ הדם הסיסטולי ולחץ דם הדיאסטולי (הלחצים הללו נמדדו בשיטה סטנדרטית על ידי מונומטר כספית וסטטוסקופ. לחץ דם סיסטולי הוגדר כקול הראשון ולחץ דם דיאסטולי כקול החמישי, לפי קורטקוף).
- **מידות (M -Mode) זו ממדיות**, שנערכו בעזרת מערכת אקו-דופלר, המצוידת במתמרים בעצמת 2-3MHz; היקף אבי העורקים והיקף העלייה השמאלית; קוטר החדר השמאלי בעת סוף הדיאסטולה (התרגעות החדר) ובעת הסיסטולה (התכווצות החדר); המחיצה הבין חדרית ובין עובי הקיר האחורי של החדר השמאלי; מילוי פסיבי של החדר (גל E), שאינו דורש אנרגיה; מילוי אקטיבי של החדר (גל A), הדורש השקעת אנרגיה; היחס בין המילוי הפסיבי לבין המילוי האקטיבי של החדר (E/A); משך הזמן של המילוי הפסיבי ($ETVI$); משך הזמן של המילוי האקטיבי ($ATVI$); זמן המילוי האינטגרלי ($T-TVI$), סך הכל של משך זמן המילוי האקטיבי והפסיבי; יחס המילוי האקטיבי של העלייה (AFF); זרימת הדם דרך שסתום אבי העורקים (האורטלי), בשיטת הגל המתמשך (CW -continuous wave) מהחלק העולה של אבי העורקים.
- **רמת חומצת חלב**, שנקבעה על סמך דגימת דם.

בדיקות 2–7. בכל אחד מששת המפגשים הנותרים (דהיינו, מהמפגש השני ועד המפגש השביעי) נתבקשו הנבדקים לצעוד על גבי מסילה נעה במהירות של 5.5 קמ"ש בשיפוע של 5% במשך שעה וחצי רצופות. בצעידה נשאו הנבדקים באמצעות אפוד, ובו משקולות, שלושה עומסים שונים: עומס I – 20% ממשקל הגוף, עומס II – 25% ממשקל הגוף, עומס III – 30% ממשקל הגוף. כל 30 דקות נעצר הנבדק. לפני העצירה נלקחה דגימת דם בכמות של 25γ מהאצבע לצורך קביעה של רמת חומצת החלב. במשך הדקה האחרונה לפני העצירה נמדדו הדופק, בעזרת רישום א.ק.ג. ולחץ הדם. בשתי הדקות האחרונות של כל שלב נמדדו תפקודי הריאה האלה: אזורור הריאה; עומק הנשימה; תצרוכת החמצן; יעילות הנשימה; נפח דו תחמוצת הפחמן; מגת הנשימה. בעזרת מתמר הגל המתמשך (CW), נמדדה זרימת הדם דרך שסתום אבי העורקים (האורטלי).

כל מאמץ בוצע פעמיים. פעם אחת ללא שתייה ובפעם השנייה לאחר העמסת נוזלים. בבדיקות, שבהן בוצע המאמץ לאחר העמסת נוזלים הגיע הנבדק שעה לפני הניסוי, ובמהלכה שעה ליטר אחד של מים. בזמן הביצוע של המאמץ שטה הנבדק 250 מל"ל מים כל 20 דקות (שבמהלכן עבר הנבדק כ-2 ק"מ). מינון זה נקבע על פי המלצת ה-ACSM.

כל המבדקים נערכו בשעת יום זהה כדי למנוע שינויים בתוצאות של הדופק, של לחץ הדם ושל צריכת החמצן, כתוצאה משינויי התנאים של המחזור היומי.

קבוצת ביקורת

קבוצת הנבדקים היוותה את קבוצת הביקורת של עצמה, הואיל וכל נבדק ביצע את אותו המאמץ הן במצב של חוסר נוזלים והן במצב של העמסת נוזלים.

הניתוח הסטטיסטי

לבדיקת ההבדלים במשתנים הפיזיולוגיים בין ששה המצבים השונים של שתיה ועומס, נערך ניתוח שונות דו כיווניים עם מדידות חוזרות (Tow way ANOVA with repeated measures) לכל אחד מן המשתנים. השוואות פוסט-הוק בין צמדי ממוצעים נערכו באמצעות הליך HSD של 'טוקי' (Tukey).

הממצאים

כל הנבדקים סיימו את המאמץ ללא קשיים וללא תופעות לוואי כגון הפרעות בקצב הלב, שינויים ב-א.ק.ג. או הפרעות בנשימה. בלוח 1 מתוארים הנתונים הפיזיים של הנבדקים.

לוח 1:

ממוצעי הנתונים הפיזיים של נבדקי המחקר
($\pm$ סטיית תקן)

הנתונים	המשתנים	
10	N	מס' הנבדקים
25.17 ± 2.04	Age	הגיל (שנים)
72.00 ± 7.80	Weight	המשקל (ק"ג)
178.2 ± 3.43	Height	הגובה (ס"מ)
11.23 ± 4.43	Fat	השומן (%)
60.00 ± 6.00	EF	מקטע הפליטה (%)
115.0 ± 16.0	EDV	נפח החדר בסוף הדיאסטולה (מיליליטר)
45.80 ± 8.00	ESV	נפח החדר בסוף הסיסטולה (מיליליטר)
1.10 ± 0.10	SPW	עובי המחיצה הבין-חדרית (ס"מ)
1.00 ± 0.90	PW	עובי הקיר האחורי (ס"מ)

הנתונים בלוח 1 מצביעים על כך שהנבדקים היו בתחום הנורמה. דהיינו, לא נמצא אצלם עיבוי של החדר השמאלי או של המחיצה הבין-חדרית והנפחים בסוף הסיסטולה והדיאסטולה הינם בתחום המקובל.

הערכים, שהושגו במנוחה ובשיא המאמץ מוצגים בלוח 2.

לוח 2:

ערכים מרביים, שהושגו במבחני מאמץ מרבי, לעומת ערכי מנוחה
(ממוצע $\pm$ סטיית תקן)

המשתנים	במנוחה	במאמץ מרבי
אזורור ריאה (ליטר*דק. ⁻¹) VE(1*min ⁻¹)	13.52 $\pm$ 2.44	156.75 $\pm$ 26.29
עומק נשימה (ליטר) Vt(l)	0.66 $\pm$ 0.09	3.04 $\pm$ 0.55
צריכת חמצן (מיליליטר*ק"ג ⁻¹ *דק. ⁻¹) VO ₂ (ml*mi*kg ⁻¹)	3.97 $\pm$ 1.07	60.33 $\pm$ 7.15
נפח פחמן דו-חמצני (ליטר*דק. ⁻¹) VCO ₂ (L*min ⁻¹)	0.24 $\pm$ 0.06	5.41 $\pm$ 0.63
יעילות נשימה (אינדקס) Veg(index)	47.60 $\pm$ 10.00	35.79 $\pm$ 9.70
חמצן לדופק (מיליליטר*פעימה ⁻¹) OP(ml*beat ⁻¹)	5.04 $\pm$ 1.44	23.04 $\pm$ 2.88
מנת נשימה (אינדקס) R(index)	0.86 $\pm$ 0.20	1.24 $\pm$ 0.20
דופק (פעימה*דק. ⁻¹) HR(beat*min ⁻¹)	58.83 $\pm$ 7.94	189.17 $\pm$ 5.85
לחץ דם סיסטולי (מ"מ כספית) SBP(mmHg)	113.0 $\pm$ 8.83	190.17 $\pm$ 13.12
לחץ דם דיאסטולי (מ"מ כספית) DBP(mmHg)	70.0 $\pm$ 12.65	75.00 $\pm$ 0.37
לחץ עורקים ממוצע (מ"מ כספית) MABP(mmHg)	84.33 $\pm$ 10.82	113.39 $\pm$ 6.47
חומצת חלב (מילימול*ליטר ⁻¹) LA(mM*L ⁻¹)	2.04 $\pm$ 0.38	15.27 $\pm$ 3.45

מהנתונים שבלוח 2 עולה, כי כל ערכי המאמץ היו גבוהים יותר, באופן מובהק ($P < 0.05$), מערכי המנוחה. תצורות החמצן הגבוהה שנמדדה, 60.33 מיליליטר*ק"ג⁻¹*דק.⁻¹, משתווה לרמה של ספורטאים-מתחרים, ומצביעה על כושרם הגופני הגבוה של הנבדקים.

על סמך הערכים של אוורור הריאה, של עומק הנשימה ושל הדופק, המוצגים בלוח 2, ניתן להסיק, שהנבדקים הגיעו ליכולתם המרבית. לחץ הדם במאמץ המרבי, שנמדד לפי הנחיות ה-ACSM להפסקת מאמץ אצל אנשים בריאים, נשאר בתחומים הסבירים (מתחת ל-200 מ"מ"מ). רמות חומצת החלב הגיעו לכדי 15.27 מ"מ"ל¹. ערכים גבוהים אלה מצביעים על גליקוליזה אנאירובית ברמה גבוהה בשלבים האחרונים של המאמץ.

בלוח 3, מוצגים הממוצעים (וסטיית התקן) של המדדים הנשימתיים בששת המאמצים, שבוצעו במחקר זה.

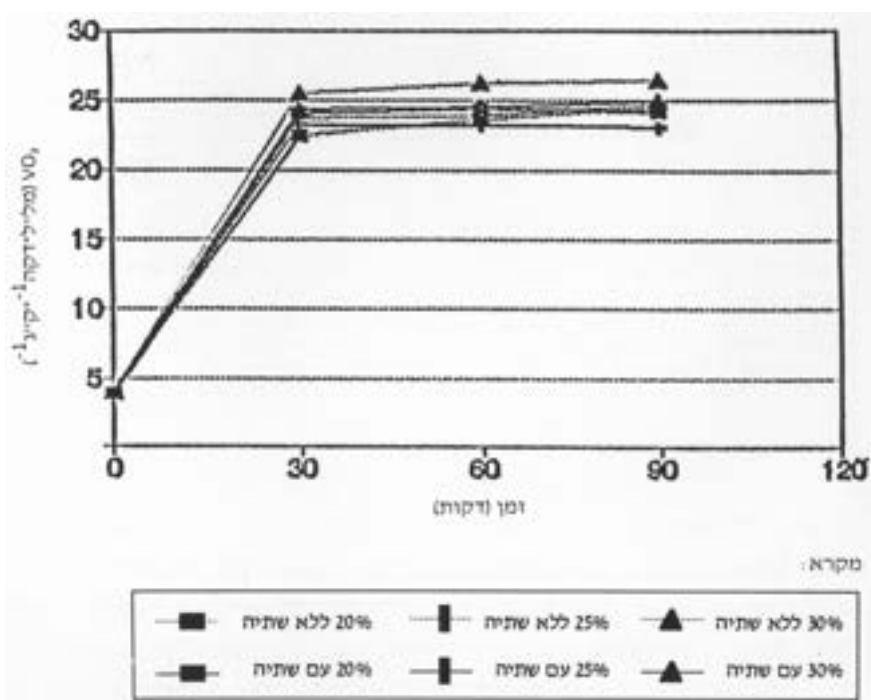
לוח 3:

תפקודי הריאה בעומסים השונים, שבוצעו לאחר שתייה וללא שתייה
(ממוצע $\pm$ סטיית תקן)

30%		25%		20%		ה ע ו מ ס
לאחר שתייה	ללא שתייה	לאחר שתייה	ללא שתייה	לאחר שתייה	ללא שתייה	המשתנים
42.6 $\pm$ 6.4	42.3 $\pm$ 7.1	39.2 $\pm$ 6.0	39.1 $\pm$ 5.5	40.2 $\pm$ 7.0	39.8 $\pm$ 6.0	אוורור ריאה (ליטר/דק. ¹) VE
1.65 $\pm$ 0.6	1.69 $\pm$ 0.8	1.58 $\pm$ 0.6	1.54 $\pm$ 0.5	1.49 $\pm$ 0.3	1.59 $\pm$ 0.4	עומק הנשימה (ליטר) Vt
26.1 $\pm$ 2.6	24.6 $\pm$ 3.4	24.1 $\pm$ 2.5	23.2 $\pm$ 2.8	23.5 $\pm$ 2.2	24.2 $\pm$ 2.6	צריכת החמצן מיליטרי-ק"ג ¹ -דק. ¹ VO ₂
1.63 $\pm$ 0.1	1.56 $\pm$ 0.4	1.46 $\pm$ 0.2	1.42 $\pm$ 0.2	1.49 $\pm$ 0.2	1.50 $\pm$ 0.2	נפח הפחמן הדו חמצני (ליטר/דק. ¹) VCO ₂
22.6 $\pm$ 6.5	23.6 $\pm$ 7.2	22.5 $\pm$ 7.0	23.3 $\pm$ 6.4	23.6 $\pm$ 6.7	22.8 $\pm$ 7.4	יעילות הנשימה (אינדקס) Veq
0.87 $\pm$ 0.1	0.87 $\pm$ 0.1	0.84 $\pm$ 0.1	0.85 $\pm$ 0.1	0.87 $\pm$ 0.1	0.86 $\pm$ 0.1	מנת הנשימה (אינדקס) R
2.01 $\pm$ 0.7	1.94 $\pm$ 0.4	1.87 $\pm$ 0.4	1.80 $\pm$ 0.4	2.14 $\pm$ 0.3	2.11 $\pm$ 0.4	חומצת החלב (מילימול/ליטר ¹) LA

בין שלושת העומסים שבוצעו (20%; 25%; 30%) לא נמצא הבדל מובהק באורור הריאה ובעומק הנשימה. ממצא זה תקף הן במאמצים, שבוצעו ללא שתייה והן במאמצים, שבוצעו לאחר השתייה. גם במדדים של תצרוכת החמצן, של הפחמן הדו חמצני, יעילות הנשימה, של מנת הנשימה ושל חומצת החלב, לא נמצאו הבדלים מובהקים בין העומסים (20%; 25%-30% משא ממשקל הגוף) ובין ביצוע המאמץ לאחר השתייה וללא שתייה.

אף על פי שעומס המשא, שנשא הנבדק, עלה בצורה משמעותית (כל פעם ב-5% ממשקל גופו), לא השפיע הדבר באופן מובהק על צריכת החמצן. באיור 1 ניתן להבחין, שבמאמצים השונים הגיעו הנבדקים למצב יציב, ולא נצפתה עלייה בעלות האנרגטית לאורך זמן.



איור 1:

השינוי בצריכת החמצן בששת המצבים השונים ביחס לזמן

בלוח 4 מוצגים השינויים בתגובות ההימודינמיות, שנצפו במדדים השונים בכל אחד משלושת העומסים, לאחר השתייה וללא שתייה.

לוח 4:

התגובות ההימודינמיות בעומסים השונים (ממוצע $\pm$ סטיית תקן)

30%		25%		20%		עומס
לאחר שתייה	ללא שתייה	לאחר שתייה	ללא שתייה	לאחר שתייה	ללא שתייה	המשתנים
101.1 $\pm$ 21.4	105.7 $\pm$ 21.2	98.8 $\pm$ 12.6	102.4 $\pm$ 11.3	95.4 $\pm$ 10.8	100.3 $\pm$ 15.6	דופק (מעימות ידק.) ¹ HR
152.2 $\pm$ 22.6	140.3 $\pm$ 16.6	152.2 $\pm$ 13.8	146.8 $\pm$ 16.3	140.1 $\pm$ 17.8	140.9 $\pm$ 19.6	לחץ דם סיסטולי (מיימ כספית) SBP
77.8 $\pm$ 5.60	75.4 $\pm$ 7.70	70.7 $\pm$ 12.1	71.6 $\pm$ 8.40	70.3 $\pm$ 10.9	71.8 $\pm$ 7.60	לחץ דם דיאסטולי (מיימ כספית) DBP
102.6 $\pm$ 7.90	99.7 $\pm$ 8.50	97.9 $\pm$ 8.90	97.3 $\pm$ 8.20	93.6 $\pm$ 10.1	94.9 $\pm$ 10.2	ממוצע לחץ הדם (מיימ כספית) MABP
19.7 $\pm$ 6.20	17.0 $\pm$ 3.40	18.0 $\pm$ 4.60	16.6 $\pm$ 3.80	17.8 $\pm$ 2.90	17.7 $\pm$ 3.60	חמצן לפעימה (מיליטרייפעימה) ¹ OP

מנתוני לוח 4 ניתן לראות, כי בעומס 20% משא ממשקל הגוף לא נמצאו הבדלים בערכי לחץ הדם הסיסטולי בין המאמץ, שבוצע ללא שתייה, לבין המאמץ, שבוצע לאחר השתייה. כמו כן לא נמצא הבדל מובהק בלחץ הדם הסיסטולי בין המאמץ, שבוצע בעומס 20%, לבין המאמצים שבוצעו ב-25% ו-30% עומס ממשקל הגוף. ואולם, ערכי לחץ הדם הסיסטולי ב-25% ו-30% עומס ממשקל הגוף, בזמן המאמץ ללא שתייה, היו נמוכים יותר ($P < 0.05$), מערכי לחץ הדם הסיסטולי, שנמדדו במאמצים, שבוצעו לאחר השתייה. בערכי לחץ הדם הדיאסטולי, לא נצפו הבדלים מובהקים בין עומס של 20% לבין עומס של 25% משא ממשקל הגוף, במאמץ, שבוצע ללא שתייה ובמאמץ שבוצע

לאחר השתייה. בעומס של 30% משא ממשקל הגוף נמצאה עלייה ($P < 0.05$), בהשוואה לעומסים הקודמים (20%-ו-25%). לא נמצא הבדל מובהק בזמן נשיאת עומס זה בין המאמץ, שבוצע לאחר השתייה לבין המאמץ שבוצע ללא שתייה.

לחץ הדם העורקי הממוצע, שהינו הערך המתנגד להזרקת החדר השמאלי, מראה בצורה מובהקת, שעם העלייה בעומס הולכת וגדלה ההתנגדות להזרקה. אין הבדל משמעותי בשלושת העומסים בין המצב לאחר השתייה לבין המצב ללא שתייה, אולם הבדל מובהק ($P < 0.05$), נמצא בערכים שבין מאמץ בעומס של 20% משא ממשקל הגוף לבין המאמץ בעומס של 25%, ובין מאמץ בעומס זה לבין מאמץ בעומס של 30% משא ממשקל הגוף. כאשר ערכי לחץ הדם הממוצע גדלים עם העלייה בדרגת המאמץ, ניתן לראות שהשפעת המרכיב האיזומטרי הולך וגובר, ככל שהעומס עולה. בפעימת חמצן לדופק בעומס של 20%, לא נמצא הבדל בין המאמץ שבוצע לאחר שתייה, לבין המאמץ, שבוצע ללא שתייה. בעומסים של 25%-ו-30% משא ממשקל הגוף נמצאה עלייה (לא מובהקת) בפעימת החמצן לדופק במאמץ, שבוצע ללא שתייה.

ההשוואה בין שלושת העומסים איננה מצביעה על הבדלים בין המאמץ, שבוצע לאחר שתיית המים, לבין הערכים שנמדדו ללא שתייה.

ניתן להבחין, שהשינויים שנצפו בדופק מראים על נטייה לירידה, אם כי לא מובהקת מבחינה סטטיסטית, בקצב הלב בכל עומס, שבוצע במצב של העמסת נוזלים. בין העומסים השונים, 20%, 25%-ו-30% משא ממשקל גוף, לא נמצא הבדל מובהק בקצב הלב.

המדדים של זרימת הדם דרך מסתם אבי העורקים (האורטלי), במהלך ששת המאמצים השונים מוצגים בלוח 5.

לוח 5:

מדדים של CW דופלר בעת התפקוד הסיסטולי של החדר השמאלי בעומסים השונים
(ממוצע $\pm$ סטיית תקן)

העומס / המשתנים	20%		25%		30%	
	ללא שתייה	לאחר שתייה	ללא שתייה	לאחר שתייה	ללא שתייה	לאחר שתייה
שיא המהירות (מ"מ/שנייה ¹) PV	0.86 $\pm$ 0.12	0.97 $\pm$ 0.20	1.03 $\pm$ 0.09	1.05 $\pm$ 0.12	1.05 $\pm$ 0.07	1.00 $\pm$ 0.20
שיא הפרש לחצים (מ"מ כספית) PPG	3.16 $\pm$ 0.62	4.33 $\pm$ 0.83	4.27 $\pm$ 0.91	4.47 $\pm$ 1.03	4.20 $\pm$ 0.67	4.55 $\pm$ 0.94
מהירות ממוצעת (מ"מ/שנייה ¹) MV	0.53 $\pm$ 0.09	0.57 $\pm$ 0.09	0.61 $\pm$ 0.09	0.62 $\pm$ 0.08	0.62 $\pm$ 0.06	0.62 $\pm$ 0.07
הפרש לחצים ממוצע (מ"מ כספית) MPG	1.33 $\pm$ 0.52	1.63 $\pm$ 0.49	1.93 $\pm$ 0.58	2.00 $\pm$ 0.54	2.12 $\pm$ 0.52	1.82 $\pm$ 0.59
זמן זרימה (ס"מ) FP	0.17 $\pm$ 0.03	0.17 $\pm$ 0.05	0.15 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.04	0.15 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.02
מהירות זרימה אינטגרלית (ס"מ) FVI	9.02 $\pm$ 3.05	9.69 $\pm$ 0.12	9.33 $\pm$ 3.49	10.7 $\pm$ 3.51	9.41 $\pm$ 2.44	9.00 $\pm$ 2.09
זמן תאוצה (שנייה) AT	0.06 $\pm$ 0.01	0.07 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.03	0.07 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.02	0.05 $\pm$ 0.02
זמן תאוצה (שנייה) DT	0.11 $\pm$ 0.03	0.10 $\pm$ 0.03	0.10 $\pm$ 0.02	0.11 $\pm$ 0.03	0.09 $\pm$ 0.01	0.09 $\pm$ 0.02
יחס AT/FP	0.35 $\pm$ 0.07	0.39 $\pm$ 0.10	0.38 $\pm$ 0.12	0.38 $\pm$ 0.09	0.38 $\pm$ 0.07	0.35 $\pm$ 0.11
יחס AT/DT	0.55 $\pm$ 0.20	0.68 $\pm$ 0.24	0.62 $\pm$ 0.24	0.63 $\pm$ 0.16	0.65 $\pm$ 0.22	0.59 $\pm$ 0.29

continuous wave

מנתוני לוח 5 עולה, כי בשיא מהירות הזרימה לא נמצא הבדל מובהק בשל העלייה בעומס המשא. וזאת, בכל שלושת העומסים שבוצעו, הן במאמץ בעת העמסת הנוזלים, והן במאמץ, שבוצע ללא העמסת נוזלים. הוא הדין במהירות הזרימה הממוצעת. לא נמצא הבדל בהפרש הלחצים משני צידי מסתם העורק הראשי (האורטלי), בין שלושת העומסים (20%; 25%-ו-30% משא ממשקל הגוף). בכל עומס נמצאה נטייה בלתי מובהקת, של ירידה בהפרש הלחצים בין המאמץ, שבוצע ללא שתייה לבין המאמץ, שבוצע לאחר השתייה. בהפרש הלחצים הממוצע לא נמצא הבדל מובהק בין שלושת העומסים השונים. בשני העומסים הראשונים (20%; 25% משא ממשקל הגוף), נמצאה נטייה, אם כי לא מובהקת, של עלייה בהפרש הלחצים הממוצע בין המאמץ שבוצע לאחר השתייה לבין המאמץ, שבוצע ללא שתייה. לעומת זאת, במאמץ האחרון, (30% ממשקל הגוף), לא אובחנה תופעה דומה.

במדדים של זמן הזרימה ושל מהירות הזרימה האינטגרלית לא נמצא הבדל בין המאמץ, שבוצע בהעמסת הנוזלים לבין המאמץ, שבוצע ללא העמסת הנוזלים. בזמן התאוצה בשני העומסים הראשונים (20%-ו-25% משא ממשקל גוף), נמצאה נטייה לירידה, אם כי לא מובהקת, בין המאמץ, שבוצע ללא שתייה, לבין המאמץ, שבוצע לאחר השתייה. בעומס האחרון, 30% משא ממשקל הגוף, נמצאו מדדים נמוכים, אך מובהקים, לעומת שני העומסים הקודמים. בזמן התאוצה, לא נמצא הבדל מובהק, הן בין שלושת העומסים, והן בין המאמץ, שבוצע לאחר שתיית הנוזלים, בהשוואה למאמץ, שבוצע ללא שתיית הנוזלים. לכן, גם היחס שבין זמן התאוצה ובין זמן התאוצה, מראה את התבנית כפי שנצפתה בזמן התאוצה. דהיינו, מגמת ירידה לא מובהקת בעומס האחרון (30%), בהשוואה לשני העומסים הקודמים (20%-ו-25%). ובהתאמה, ירידה (לא מובהקת) בעומסים של 20% ושל 30%, בין המאמץ, שבוצע ללא שתייה, בהשוואה למאמץ, שבוצע לאחר שתייה. אף היחס שבין זמן הזרימה לבין זמן התאוצה, אינו מצביע על הבדל מובהק בין המאמץ, שבוצע ללא העמסת נוזלים לבין המאמץ, שבוצע לאחר שתיית הנוזלים. בין שני העומסים הראשונים (20%-ו-25% משא ממשקל הגוף), לא נמצא הבדל. אולם, בעומס השלישי (30%), נמצאה מגמת ירידה לא מובהקת בהשוואה לשני העומסים הקודמים.

דיון

תגובות הימודינמיות

מטרת המחקר הראשונה הייתה מדידת ההשפעה של המאמץ האיזודינמי, המוגדר

כשילוב של המאמץ האיוזומטרי ושל המאמץ הדינמי. העלייה המתונה שנצפתה בקצב הלב, תואמת לתוצאות של מחקרים אחרים, העוסקים במאמץ איוזומטרי (Sagiv, et al., 1988; Asmussen, 1981; Keul, et al., 1981), ומוסברת על ידי הבקרה העיצבית. העלייה בקצב הלב בעת ביצוע מאמץ איוזומטרי נובעת, בעיקרה, מנסיגה ווגלית (vegal withdrawal). בעת תחילתו של ביצוע מאמץ דינמי אחראית הנסיגה הווגלית לויסות קצב הלב, אך מוחלפת לאחר השלב ההתחלתי של המאמץ על ידי העלייה בגירוי הסימפטטי (Karlner, et al., 1977). במאמץ איוזומטרי מתרחשת העלייה בקצב הלב מייד עם תחילת המאמץ, ונשארת בערך קבוע פחות או יותר, במשך המאמץ (Sagiv, et al., 1988; Asmussen, 1981). הסבר נוסף לעלייה המתונה בקצב הלב נובע מעצמות המאמץ הדינמי, שבוצע במחקר הנוכחי. ההליכה בקצב של 5.5 קמ"ש בשיפוע של 5% מהווה לנבדקים בעלי כושר גבוה (כפי שהיו הנבדקים במחקר הזה), עומס קל יחסית. ממצא זה של חוסר עלייה בדופק בעומסים השונים, תואם לממצא הקודם של חוסר שינוי בתצרוכת החמצן עם העלייה בעומס, ומחזק אותו, מאחר שיש קשר ישיר בין העלייה בתצרוכת החמצן לבין העלייה בדופק.

במחקר הזה לא נמצא הבדל מובהק בקצב הלב בין המאמץ, שבוצע ללא העמסת נוזלים לבין המאמץ שבוצע לאחר השתייה (בהעמסת נוזלים). העמסת הנוזלים קשורה בדרך כלל, לירידה בקצב הלב ולעלייה בנפח הפעימה הן במאמץ והן במנוחה (Appenzeler & Atkinson, 1983). כמו כן בעת מאמץ ממושך קיימת תנועת מים חזרה אל החלל האינטראווסקולרי, בשל ריכוז הדם וצמיגותו ובשל העלייה בלחץ האוסמוטי של הפלסמה (Zibigniew, 1990). תהליך זה גורם הן לשמירת נפח הפלסמה והן על לחץ המילוי של הלב. ומכאן, במאמצים תת-מרביים, נגרמת ירידה בקצב הלב ועלייה בנפח הפעימה (Appenzeler & Atkinson, 1983).

בזמן המאמץ האיוזומטרי עולה, אמנם, תפוקת הלב, אך העלייה היא בערכים נמוכים, לעומת המאמץ הדינמי, המגיע בשיא המאמץ, לכ-6 – 7 ליטר דק"ל¹. תפוקת הלב מושגת בעיקר על ידי עלייה, מתונה אמנם, אך מובהקת, של הדופק תוך שינוי מזערי בנפח הפעימה. לכן, שילוב זה של עבודה איוזומטרית, עם העבודה הדינמית מביא לכך, שהעלייה בדופק תהיה מתונה כשהנטייה לעלייה היא בין העומסים, אך ללא הבדל מובהק.

בזמן עבודה איוזומטרית עולה לחץ הדם אצל אנשים צעירים ובריאים במקביל לעלייה בתפוקת הלב, אף על פי שנפח הפעימה נשאר ללא שינוי. זאת בניגוד למתרחש

בעת מאמץ דינמי, שבמהלכו עולים הן הדופק והן נפח הפעימה, הגורמים לעלייה בתפוקת הלב, אם כי העלייה הזו, מלווה בירידה בתנגודת ההקפית (Smith, et al., 1989). בזמן עבודה איזודינמית, לחצי הדם הן הסיסטולי והן הדיאסטולי גבוהים יותר, והדופק נמוך יותר, בהשוואה לערכים הנמדדים בעבודה דינמית בלבד (Asmussen, 1981). בלחץ הדם הממוצע, המשלב את המרכיב הסיסטולי ואת המרכיב הדיאסטולי, נמצאה במחקר זה עלייה בשלושת העומסים (20%; 25% ו-30% משא ממשקל הגוף), בין אם המאמץ בוצע ללא שתייה ובין אם בוצע לאחר השתייה. תופעה זו של עלייה בלחץ הדם הממוצע בעת ביצוע מאמצים איזומטריים ומאמצים איזודינמיים, דווחה גם במחקרים אחרים. מידת העלייה הינה ביחס למתח השרירי (הקשור לעומס), לתפוקת הלב ולתנגודת ההיקפית (Asmussen, 1981; Sagiv, et al., 1988). עלייה זו עוזרת לשמור על זרימת דם בשרירים הפעילים, ועל הרמת של אספקת הדם (perfusion), המספקת את הדרישות המטבוליות של השרירים הפעילים. על פי רוב, אין זרימת הדם מצליחה לספק את הדרישות המטבוליות של השרירים, ולכן העייפות השרירית הינה בלתי נמנעת. מידת העייפות הינה ביחס ישיר למידת עצימות הכיווץ ולמסת השריר המופעלת (Sagiv, et al., 1988). בעת ביצוע מאמץ דינמי, פוחתת התנגודת ההיקפית הכללית, ככל שעולה מסת השרירים הפעילה ועמה הדרישה המטבולית. וזאת, בגין הויסות המקומי בעזרת המרכיב המטבולי, הגורם להתרחבות העורקים (vasodilatation), בכלי הדם ההיקפיים. ויסות מקומי זה מאפשר זרימת דם מוגברת לשרירים הפעילים לשם אספקה גדולה יותר של חמצן (Schaible & Scheuer, 1985). לפי ממצאי המחקר הנוכחי, נראה, שהמרכיב האיזומטרי, המשפיע על ממוצע לחץ הדם, גובר עם העלייה בעומס, למרות הויסות המקומי, הנובע מהמאמץ הדינמי.

תגובות מטבוליות

מטרת המחקר השנייה, הייתה לבדוק את השינויים המטבוליים, החלים בעת נשיאת משאות בעומסים שונים. תוצאות המחקר הנוכחי מצביעות על כך, שאין הבדלים משמעותיים בתפקוד החדר השמאלי בעת נשיאת משאות בעומסים שונים במאמץ ממושך, המבוצע הן לאחר שתייה והן ללא שתייה. ואולם, המחקר מצביע בצורה ברורה, שהשינויים המטבוליים אינם מושפעים כלל מהעומס, שהנבדק נושא. ממצא זה מנוגד לממצאים במחקרים קודמים, הקשורים בביצוע מאמצים משולבים, והכוללים נשיאת משאות בעת צעידה על גבי מסילה נעה. במחקרים אלה (Epstein, et al., 1988; Gordon, et al., 1983), נמצאה עלייה בעלות האנרגטית בד

בבד עם העלייה בעומס. לפי ממצאי המחקר הנוכחי, לא נמדדה עלייה מובהקת בעלות האנרגטית, דהיינו, עלייה בצריכת החמצן. וזאת, למרות העלייה של 5% בעומס המשא בין משקל למשקל. בהשוואות, אשר נעשו בצריכת החמצן בעת ביצוע מאמץ דינמי לעומת ביצוע של מאמץ איזומטרי באותו שיעור מהיכולת המרבית, נמצא, שצריכת החמצן הינה נמוכה יותר בעת ביצוע מאמץ איזומטרי מאשר בעת ביצוע מאמץ דינמי (Asmussen, 1981; Seals, et al., 1983). בעת ביצוע מאמץ איזומטרי עולה הלחץ התוך שרירי בשל התקשחות של סיבי השריר. הלחץ שנוצר מועבר לכלי הדם התוך שריריים ומונע את זרימת הדם בשריר. עקב כך, קטנה האספקה של הדם ולכן חלה ירידה באספקת החמצן (perfusion) (Seals, et al., 1983; Asmussen, 1981). במילים אחרות, **צריכת החמצן אינה מותאמת לדרגת המאמץ**. יתר על כן, בעת ביצוע מאמץ דינמי, גבוהה יותר העלות האנרגטית, מהמאמץ האיזומטרי, הנעשה באותה מידה של מתח. וזאת, מאחר שקיימת הוצאה של אנרגיה רבה יותר בעת ביצוע מאמץ דינמי, שהוא התוצאה של העבודה החיצונית, המלווה בכיווץ שריר (Seals, et al., 1983).

קבוצת השרירים, העובדת באופן סטטי כדי להחזיק את עומס המשא על הגב, הינה קבוצת שרירים גדולה. לכן, כמות כלי הדם החסומים באופן חלקי הינה רבה. ניתן לשער, אם כן, שבשרירים אלו מתרחש מטבוליזם אנאירובי גבוה יחסית בשל אספקת דם מקומית, שאינה מספקת את הדרישות המטבוליות של השרירים הפעילים (Asmussen, 1981). למרות העלייה המקומית במטבוליזם האנאירובי לא נמצאו ערכים גבוהים של חומצת חלב במשך המאמצים השונים. ניתן להסביר ערכים נמוכים אלו בכך, שלמרות העלייה בעבודה האנאירובית ביחידות המוטוריות, שהופעלו במאמץ סטטי כנגד העומס הנישא, הרי שהעבודה הדינמית של ההליכה, שיש בה הפסקות בהתכווצות, איפשרה הזרמת דם עם חמצן. ולכן, חל ניצול של חומצת חלב בתהליך אירובי, בסיבי שריר אחרים (Karlner, et al., 1977). גם בשאר המדדים, המציינים פעילות מטבולית, בנפח הפחמן הדו חמצני ובמנת הנשימה, לא נמצאו שינויים במשך המאמצים. מכאן, שהנבדקים הגיעו למצב יציב בכל מאמץ. כלומר, לא נמצא הבדל מובהק בין עומס לעומס הן במצב שלאחר שתייה והן במצב ללא שתייה. כך, שלשאר חלקי הגוף הפעילים במאמץ הדינמי, הייתה אספקה מספקת של חמצן. מכאן ניתן לומר, **שתצרוכת החמצן במאמצים, המשלבים עבודה איזומטרית עם עבודה דינמית, תושפע מן השינוי בעומס במרכיב הדינמי, ולא משינוי העומס במרכיב האיזומטרי**.

סיכום

מטרת המחקר הראשונה הייתה למדוד בעזרת אקו-דופלר, את השפעת המאמץ האיזודינמי על התפקוד הדיאסטולי של החדר השמאלי ולבדוק את ההשפעה של העמסת הנוזלים על המדדים האלו. מטרת המחקר השנייה הייתה לגלות, האם יחולו שינויים מטבוליים ונשימתיים בעת הביצוע של מאמצים איזודינמיים ממושכים.

במהלך המחקר נבדקו 10 מתנדבים, שביצעו מאמץ במשך שעה וחצי על גבי מסילה נעה במהירות של 5.5 קמ"ש ושיפוע של 5%, אגב נשיאת משאות בעומסים שונים: 20%, 25%-ו-30% ממשקל גוף. כל מאמץ בוצע פעמיים. פעם אחת לאחר העמסת נוזלים (שתייה) ובפעם השנייה ללא שתייה. במהלך הפעילות נמדדו: נפחי הריאה על ידי איסוף גזים בכל נשימה ונשימה; התפקוד של מערכת הלב ושל כלי הדם, בעזרת א.ק.ג.; לחץ הדם ומדדי אקו-דופלר. לשם הערכת התפקוד המטבולי לקביעת חומצת החלב, נלקחה דגימת דם.

הממצא העיקרי במחקר היה **שצריכת החמצן לא עלתה ביחס ישיר לעלייה בעומס המשא**. ממצא זה נוגד את הממצאים במחקרים קודמים. נראה, שבעת ביצוע מאמצים איזודינמיים ממושכים מושפעות העלות האנרגטית והתגובות המטבוליות בעיקר משינויים במרכיב הדינמי (המהירות או אחוז השיפוע), ופחות משינויים במרכיב האיזומטרי (המשא).

רשימת המקורות

- Appenzeler, O. & Atkinson, R. (1983). **Sports medicine: Fitness, training & injuries**. Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- Asmussen, E. (1981). Similarities and dissimilarities between static and dynamic exercise (suppl I). **Circulatory Research**. 48, 3-10.
- Astrand, P.O. & Rodahl K. (1977). **Text book of work physiology: physiological bases of exercise** (2nd ed.). New-York: McGraw-Hill.
- Bertagnoli, K., Hanson, P. & Ward, A. (1990). Attenuation of exercise-induced ST depression during combined isometric and dynamic exercise in coronary artery disease. **American Journal of Cardiology**. 65, 314-317.
- Brutsaert, D. L., Rademakers, F. E. & Sys, S. U. (1984). Analysis of relaxation in the evaluation of ventricular function of the heart. **Progress in Cardiovascular Diseases**. 28, 143-163.
- Donald, K. W. Lind, A. R. & McNicol, G. W. (1967). Cardiovascular responses to sustained (static) contraction (suppl I) **Circulatory Research**. 20, 15-30.
- Durnin, J. V. & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skin fold thickness: Measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. **British Journal of Nutrition**. 32, 77-79.
- Epstein, Y., Rosenblum, J. Burstein, R. & Sawkal, M. N. (1988). External load can alter the energy cost of prolonged exercise. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**. 57, 243-247.
- Epstein, Y., Stroschein L. A. & Pandolf, K. B. (1987). Predicting metabolic cost of running with and without backpack loads. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**. 56, 495-500.
- Fortney, S. M., Nadel, E. R., Wenger, C. B. & Bove, J. R. (1981). Effect of acute alternations of blood volume on the circulatory performance in humans. **Journal of Applied Physiology**. 50, 292-298.

- Gisolfi, C. V. (1989). Water and electrolyte metabolism in exercise. **Nutrition Utilization During Exercise**. Oh.: Ross Laboratories.
- Gordon, M. J., Goslin, B. R., Graham, T. & Hoare, J. (1983). Comparison between load carriage and grade walking on a treadmill. **Ergonomics**, 26, 289-298.
- Hopper, M. K., Coggan, A. R. & Coyle, E. F. (1988). Exercise stroke volume relative to plasma-volume expansion. **Journal of Applied Physiology**, 64, 404-408.
- Karliner, J. S., Lewinter, M. M., Mahler, F., Engler, R. & O'Rourke, R. A. (1977). Pharmacologic and hemodynamic influences on the rate of isovolumic left ventricular relaxation in the normal conscious dogs. **Journal of Clinical Investigation**, 60, 511-521.
- Keren, G., Epstein, Y., Magazanik, A. & Sohar, E. (1981). The energy cost of walking and running with and without a backpack load. **European Journal of Applied Physiology**, 46, 317-324.
- Keren, G., Meisner, J. S., Sherez, J. & Magazanir, A. (1986). Interrelationship of mild-diastolic mitral valve motion, pulmonary venous flow & transmitral flow. **Circulation**, 74, 36-44.
- Keul, J., Dickhuth, H. H., Simon, G. & Lehman, M. (1981). Effect of static and dynamic exercise on heart volume, contractility and left ventricular dimensions (suppl I). **Circulatory Research**, 48, 162-170.
- Myher, L. G., Oddershede, I. B., Dill, D. B. & Yousef, M. K. (1979). Cardiac output during rest and exercise in desert heat. **Medicine & Science in Sports**, 11, 324-238.
- Poliner, L. R., Dehmer, G.L., Lewis, R. W. & Hillis, L. O. (1980). Left ventricular performance in normal subjects. A comparison of the responses to exercise in the upright and supine position. **Circulation**, 62, 528-534.
- Sagiv, M., Goldhammer, E., Abinader, G. E. & Rudoy, J. (1988). Aging and the effects of increased after load on left ventricular contractile state. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 20, 281-284.

- Schaible, T. E. & Scheuer, J. (1985). Cardiac adaptations to chronic exercise. **Progress in cardiovascular Diseases**, 27, 297-324.
- Scheuer, J. & Tipton, C. (1977). Cardiovascular adaptation to physical training. **Annual Review of Physiology**, 39, 221-225.
- Seals, D. R., Washburn, R. A., Hanson, P. G., Nagle, F. & Painter, T. (1983). Increased cardiovascular response to static contraction of large muscle groups. **Journal of Applied Physiology**, 54, 432-437.
- Smith, M. L., Hudson, D. L., Graitzer, H. M. & Raven, P. B. (1989). Exercise training bradycardia: The role of autonomic balance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 21, 40-44.
- Stoddard, M. F., Pearson, A. L. Kern, J., Mrosek, D. G. & Lobovits, A. J. (1989). Influence of alteration in preload on the pattern of left ventricular diastolic filling as assessed by echocardiography in humans. **Circulation**, 79, 1226-1236.
- Teicholz, L. E., Kreulen, T., Herman, M. V. & Gorlin, R. (1976). Problems in echocardiographic volume determination: Echocardiographic angiographic correlations in the presence or absence asynergy. **American Journal of Cardiology**, 37, 7-11.
- Thadani, U. & Parker, J. O. (1978). Hemodynamics at rest and during supine and sitting bicycle exercise in normal subjects. **American Journal of Cardiology**, 41, 52-59.
- Yellin, E. L., Nikolic, S. & Frater, R. W. M. (1990). Left ventricular filling dynamics and diastolic function. **Progress in Cardiovascular Diseases**, 32, 247-271.
- Zibigniew, S. (1990). Erythrocyte system under the influence of physical exercise and training. **Sports Medicine**. 3, 181-197.