

# מאזן נוזלים ומלחים בפעילות גופנית - נייר עמדה

תקציר:

חן מקרניץ<sup>2,1</sup>  
יובל חלד<sup>2,1</sup>  
יאיר שפירא<sup>4,1</sup>  
יורם אפשטיין<sup>3,1</sup>  
דניאל ס' מורן<sup>4,2,1</sup>

<sup>1</sup>מכון הילר למחקר רפואי, המרכז הרפואי שיבא, תל השומר, רמת גן  
<sup>2</sup>היחידה לפיזיולוגיה צבאית, מקרפ"ר, חיל הרפואה, צה"ל  
<sup>3</sup>הפקולטה לרפואה סאקלר, אוניברסיטת תל אביב, רמת אביב  
<sup>4</sup>המרכז האוניברסיטאי אריאל בשומרון

במהלך פעילות גופנית, תהליכים פיזיולוגיים ומטבוליים משפיעים על מאזן הנוזלים והמלחים בגוף. אובדן נוזלים, בעיקר בזיעה, שאינו מפוצה כראוי בשתייה, עלול להתבטא בהתייבשות. ההסתמנות הקלינית במצב של התייבשות תלויה בכמות הנוזלים שאבדו; ככל שדרגת ההתייבשות חמורה, ניתן לצפות בפגיעה קשה יותר בתפקודים הגופניים והקוגניטיביים של המתאמן. מומלץ לשתות מים בכמויות קטנות ולעיתים קרובות. על מנת לעודד צריכת נוזלים, חשוב שהשתייה תהיה קרירה, טעימה, נגישה ולא מוגזת.

במהלך פעילות גופנית יכולת הכליה להפריש מים נפגעת, ולכן קיים סיכון לרווית יתר ולהתפתחות של תת נטרן בנסיוב (היפונטרמיה), בעיקר במצבים של שתייה ביתר. אובדן נטרן בזיעה והתפתחות היפונטרמיה כתוצאה מכך מופיעים בעיקר בפעילויות מאומצות הנמשכות מעל ארבע שעות. הסתמנות קלינית של היפונטרמיה מופיעה לרוב בריכוזי נטרן שמתחת ל-130 מילימול/ליטר. על מנת להימנע מהיפונטרמיה, יש להימנע משתיית יתר, ובפעילויות ממושכות (מעל 4 שעות) יש להשלים את כמויות הנתרן האובדות בזיעה באמצעות ברות (Diet) מתאימה. צריכת מלחים וסוכרים כחלק מהתזונה עדיפה על פני צריכת משקאות ספורט או תוספת נטרן חיצוני.

על מנת להימנע הן מהתייבשות מחוסר שתייה מספקת והן מהיפונטרמיה כתוצאה משתיית יתר, יש להתאים את כמות השתייה לכמות הנוזלים האובדת במהלך הפעילות. מכיוון שקיימת שונות בין פרטים שונים, וגם באותו פרט קצב איבוד הנוזלים והמלחים תלוי בסוג הפעילות ובתנאי הסביבה – יש להתאים את כמות הנוזלים והמלחים הנצרכת בכל מקרה באופן פרטי, כפי שמפורט בנייר עמדה זה.

נייר עמדה זה מתמקד בתהליכים פיזיולוגיים, בתופעות הקשורות למאזן הנוזלים והמלחים במהלך פעילות גופנית, ובגישות המומלצות למניעתן: התייבשות, רווית יתר ותת נטרן בנסיוב (היפונטרמיה). כמו כן, מובאות המלצות לצריכת נוזלים לפני פעילות גופנית, במהלכה ולאחריה – בהתאם לספרות העדכנית בנושא, ובהסתמך על הניסיון והידע רב השנים שהצטבר במכון הילר וביחידה לפיזיולוגיה צבאית.

בחסות החברה לרפואת ספורט – קבוצת העניין בפיזיולוגיה וחיל הרפואה

מילות מפתח:  
KEY WORDS

התייבשות; היפונטרמיה ממאמץ; הזעה; החזר נוזלים; פעילות גופנית.  
Dehydration; Exertional-induced hyponatremia; Sweating; Rehydration; Physical exercise

וביכולות הקוגניטיביות. ככל שדרגת ההתייבשות עולה, כך גדלה מידת הפגיעה בתפקוד [6, 7].

הגורם המרכזי להתייבשות הוא מצב המכונה "התייבשות מרצון". תופעה זו, שהוגדרה כבר בשנות ה-40 למאה הקודמת, מבטאת את אי היכולת הפיזיולוגית לשתות גדולה של מים בזמן קצר ולכסות באחת נפח מים גדול שאבד בזיעה [6]. נבדקים המבצעים פעילות בתנאי אקלים חם וניתנת להם האפשרות לשתות ללא הגבלה – צורכים רק כ-50% מכמות הנוזלים שאיבדו בזיעה [8]. תופעת ההתייבשות מרצון מתגברת כשהמים לא זמינים, חמים, מלוחים או לא טעימים [1, 9]. על מנת למנוע התייבשות, כמות השתייה צריכה להתאים לכמות הנוזלים האובדים (בזיעה, בשתן, בדרכי הנשימה ובדרכי העיכול) [1, 4, 10].

## תת נטרן בנסיוב (היפונטרמיה) ממאמץ

תת נטרן בנסיוב (היפונטרמיה) מוגדר בספרי הלימוד כירידה בריכוז הנתרן לרמה הנמוכה מ-135 מילימול/ליטר [7]. כשהתופעה מופיעה במהלך או לאחר פעילות גופנית ואינה תוצאה של מחלה מערכתית, היא מכונה "תת-נתרן בנסיוב ממאמץ" (Exercise induced hyponatremia – EIH). ערכי נטרן בנסיוב מעל ל-130 מילימול/ליטר אינם מלווים לרוב

## הקדמה

מאזן הנוזלים בגוף תלוי ביחס שבין צריכת הנוזלים לבין הפרשתם. במהלך פעילות גופנית מתרחשים שינויים פיזיולוגיים, העלולים לפגוע במאזן עדין זה. אובדן נוזלים ומלחים, בעיקר דרך הזיעה, במקביל לירידה ביכולת הכליה להפריש עודף נוזלים, חושפים את המתאמן לשתי סכנות: האחת, נפוצה יותר, סכנה של התייבשות, כתוצאה מאובדן נוזלים; השנייה, סכנה של אצירת נוזלים והיפונטרמיה נלווית, בעיקר במצבים של שתייה ביתר [1-3]. ככל שהפעילות הגופנית עצימה יותר וככל שתנאי האקלים שבהם מתבצעת הפעילות חמים יותר, כך גדלה הסכנה להפרה במאזן הנוזלים ולהתפתחות התופעות הנלוות לכך. לכן, נודעת חשיבות רבה להתאמת כמות הנוזלים הנצרכת, באופן שימנע התייבשות, אך גם לא יוביל לרווית יתר.

## התייבשות

התייבשות מוגדרת כמצב של מאזן נוזלים שלילי בגוף. התייבשות היא תופעה שכיחה באנשים המבצעים פעילות גופנית, בעיקר בתנאי אקלים חם, אך גם בתנאי אקלים קר [4, 5]. ככלל, איבוד נוזלים מעל ל-2% ממשקל הגוף פוגע ביכולות הגופניות (בעיקר בכשר האירובי)

ובכך להגביר את הסיכון להיפונטרמיה במהלך הפעילות. לא מומלץ לצרוך משקאות המכילים חומרים אשר מרחיבים את החלל החוץ/ תוך תאי (כגון מים עם גליצרול) במטרה להגיע לרווית יתר, זאת משום שמשקאות אלו מגבירים את הצורך למתן שתן ואינם מקנים יתרונות פיזיולוגיים או ביצועיים טובים יותר לעומת מצב רוויה (הידרציה) מאוזן שמתקבל באמצעות שתיית מים. יתרה מזאת, שימוש בגליצרול מלווה בהשפעות לוואי הקשורות בעיקר לפעילות מערכת העיכול [4], צריכת משקאות מכילי נתרן או מזון המכיל מלח עוזרת לגירוי תחושת הצמא ולאצירת הנוזלים שנצרכו [25]. הקפדה על ארוחות סדירות חשובה להשלמת תכולת המלחים הנצרכת באופן תקין [10].

## שתייה ומלח במהלך פעילות גופנית

שתייה נכונה במהלך הפעילות הגופנית מונעת התייבשות ושינויים משמעותיים במאזן המלחים, העלולים לפגוע באיכות הפעילות ובביצועה [4, 26]. קיימת שונות בין אישית גדולה בקצב וכמות ההזעה [6]. שונות זו מושפעת מנטייה גנטית, גיל, מגדר, משקל ואחוז השומן בגוף, כושר גופני ודרגת האקלום לחום. עם זאת, עיקר ההשפעה על קצב

■ **במהלך פעילות גופנית קיים סיכון להתייבשות מחד גיסא ולתת נתרן בנסיוב (היפונטרמיה) מאידך גיסא. קצב אובדן הנוזלים והמלחים משתנה בין אנשים, ותלוי באופי הפעילות, בעצימות המאמץ ובתנאי האקלים שבהם היא מבוצעת.**

■ **יש לדאוג לשתייה מספקת לפני הפעילות, במהלכה ואחריה. כמות השתייה הנדרשת ניתנת לחישוב על פי שינויים במשקל הגוף במהלך פעילות קצרה (עד שעתיים), ולחלופין היא ניתנת להערכה על פי טבלאות צריכת נוזלים המתייחסות לעצימות הפעילות ולתנאי האקלים.**

■ **היפונטרמיה ממאמץ עלולה להתפתח בעיקר בפעילויות הנמשכות מעל ארבע שעות. לכן, במאמצים ארוכים חשוב להקפיד על צריכת מזון המכיל מלח. מעבר לכך אין צורך בתוספת מלח חיצונית.**

מעשית עבור ספורטאים המתאמנים בתנאי סביבה ידועים, ובעלי זמן ויכולת לניטור משקל וצריכת נוזלים לאורך זמן לפני התחרות עצמה. ספורטאים אלו לומדים בעת האימונים לחשב את מאזן הנוזלים שלהם ולשתות בהתאם. עם זאת, במתאר של מאמצים ארוכים כגון אולטרה-מרתון, המאופיינים בפעילות משתנה ותנאי סביבה משתנים, גישה כזו לרוב אינה מעשית. עבור מתארי פעילות אלה ניתן להתבסס על המלצות כלליות המבוססות על מודל מתמטי שפיתחו Shapiro ו"חב" [21, 22]. על בסיס מודל זה, פורסמה טבלה המפרטת את כמות הנוזלים (מ"ל/שעה) המומלצת למניעת התייבשות עבור אדם במשקל

בהסתמנות קלינית, ולכן הם מוגדרים תחת המונח "היפונטרמיה ביוכימית". לעומת זאת, ערכי נתרן הנמוכים מ-125 מילימול/ליטר או קצב ירידת ריכוז מהיר של נתרן (מעל 7%-10% תוך 24 שעות), מלווים בתופעות קליניות ומוגדרים תחת המונח "היפונטרמיה קלינית" [11]. הסתמנויות אלה לרוב אינן סגוליות וכוללות: בחילה, כאבי ראש, עייפות, בלבול, ישנוניות. במצבים חמורים (ירידה חדה בריכוז הנתרן בנסיוב, לרוב מתחת ל-120 מילימול/ליטר) ייתכנו פרכוסים, שקיעה ברמת ההכרה ואף אובדן הכרה מלא [7].

ירידה בריכוזי הנתרן נצפתה במתארים שונים של פעילות גופנית, לרוב בפעילויות שמעל 4-6 שעות; לדוגמה, מסעות רגליים ממושכים, ריצות מרתון ומרוצי טריאתלון [12-18]. גורמים התורמים להיפונטרמיה ממאמץ הם שתייה ביתר של נוזלים היפוטוניים (מים) ו/או הפסד רב של נתרן, שאינו מפוצה בתזונה מתאימה [10, 13]. בפעילויות ממושכות, כגון אולטרה-מרתון וטריאתלון, אובדן גדול של נתרן בזיעה [1, 19, 20] והיעדר דיכוי מוחלט על הפרשת הורמון נוגד שתינה (Anti-diuretic hormone – ADH) [21, 22], יכולים להשרות היפונטרמיה קלינית גם במצב של מאזן נוזלים תקין ואף במצב של התייבשות. לכן, על מנת למנוע אירועים של היפונטרמיה ממאמץ, יש להקפיד על תזונה המכילה מלחים ולהימנע משתיית יתר. לשם כך יש לשתות כמות נוזלים המתאימה לנפח הזיעה והנוזלים המופרשים.

## המלצות לצריכת נוזלים במהלך פעילות גופנית ובסמוך לה

שמירה על מאזן הנוזלים והמלחים למניעת התייבשות או לחלופין רווית יתר (המובילה להיפונטרמיה), חיונית לתפקוד תקין של גוף האדם. כאמור, הגורם המרכזי להתפתחות מאזן נוזלים שלילי (התייבשות) הוא "התייבשות מרצון", והגורם להתפתחות מאזן נוזלים חיובי (רווית יתר) הוא שתייה ביתר. הדרך למניעת שתי התופעות הללו היא "שתייה נכונה". על מנת להגיע למאזן הנוזלים והמלחים המיטבי, בנוסף לנוזלים הנצרכים במהלך הפעילות, יש לבצע הכנה נכונה לפני הפעילות והשלמת חסרים אחריה.

מה לשתות? ככלל, על מנת לעודד את צריכת הנוזלים יש לדאוג שהשתייה תהיה קרירה (15-21 מ"צ), טעימה, לא מוגזת ונגישה [1, 4, 6, 23]. כמה לשתות ואיך? קצב פינוי הנוזלים מהקיבה מוגבל לקצב מרבי של 1,000-1,500 מ"ל לשעה, ובמאמץ גופני אף פחות [1]. לפיכך, נפח שתייה גדול, שמעבר ליכולת הפינוי מהקיבה, גורם לתחושת בחילה ולהקאה. יתר על כן, צריכת נפח גדול של נוזלים בזמן קצר גורמת להפרשה מוגברת בשתן. לפיכך, שתייה נכונה היא צריכת כמויות קטנות של נוזלים (150-300 מ"ל) במרווחי זמן קבועים (כל 15-20 דקות) לאורך זמן [1, 4, 10]. נפח השתייה בשעת פעילות גופנית צריך להתאים לנפח הנוזל המופרש בזיעה.

## שמירה על מאזן תקין של נוזלים ומלחים לפני פעילות גופנית

את הפעילות יש להתחיל במצב של מאזן נוזלים תקין. יש לשאוף להגיע למצב של רוויה ולהשלים את מחסור הנוזלים המצטבר [24]. על מנת להקנות מספיק זמן לספיגה של הנוזלים, ולאפשר יצירת שתן לפינוי הנוזלים העודפים ולוויסות האוסמולריות לרמה המיטבית – יש לשתות באופן איטי והדרגתי כשלוש שעות לפני הפעילות נפח נוזלים כולל של 1-2 ליטרים. במקביל, יש לעקוב אחר השתן, ואם נפח השתן קטן או צבעו כהה מהרגיל – יש להגביר את כמות השתייה בשעתיים שלפני הפעילות [4, 10]. עם זאת, יש להיזהר ממצב של רווית יתר לפני הפעילות, אשר עלולה להוריד את ערך הנתרן בדם לפני הפעילות,

## הטיפול הראשוני בהתייבשות ובהיפונטרמיה באירועי ספורט

אתלט המתמוטט בחשד להתייבשות ומצוי בהכרה מלאה יטופל ראשית כל באמצעות שתייה (מים). אם הנפגע אינו יכול לשתות, הוא יטופל בהזלפה לתוך הווריד של תמיסת נוזלים איזוטוניים (תמיסת מלח או רינגר לקטאט). יחד עם זאת, כאשר אין אמצעי ניטור זמינים לאשש את האבחנה, יש להיזהר בטיפול, שכן מתן עודף נוזלים – אפילו בריכוז פיזיולוגי – עלול להחמיר מצב של היפונטרמיה. לכן, בכל חשד להתייבשות, אין להזליף בשעה הראשונה יותר משני ליטרים של נוזלים, ויש להפנות את הנפגע להמשך טיפול בבית החולים. המשך הטיפול בנוזלים ייעשה תוך בקרה על רמת הנתרן בנסיוב ועל פי מדדים המודינמיים וכליתיים [7].

**היפונטרמיה כימית (אי תסמינית)** – מאובחנת לרוב באופן אקראי, כשנלקחת דגימת דם לבדיקה מסיבות אחרות. במצב זה מומלץ לטפל על ידי הגבלה בצריכת הנוזלים [7, 11].

**היפונטרמיה קלינית (תסמינית)** – מטופלת בשלב הראשון בשטח על ידי הזלפה לתוך הווריד של 100 מ"ל תמיסת מלח היפרטונית (3%) ולאחר 10–15 דקות הזלפה נוספת בדחף (בולוס). בנוסף, עקב החשש לדה-מיאלניזציה אוסמוטית כתוצאה מעלייה מהירה בריכוז הנתרן, קצב ההזלפה המומלץ הוא 1–2 ממול/ליטר בשעה. יש לפנות את הנפגע לבית החולים להמשך טיפול [7, 11].

## לסיכום

השינויים הפיזיולוגיים המתרחשים במהלך פעילות גופנית חושפים את המתאמן הן לסכנת התייבשות, הנפוצה יותר, והן לסכנת היפונטרמיה. שתי התופעות הקליניות עלולות להשפיע לרעה על תפקודו של המתאמן, ובדרגות קשות הן עלולות אף לסכן את בריאותו וחיי. שמירה על איזון בין כמות הנוזלים והמלחים הנצרכת לבין כמות הנוזלים והמלחים האובדת, מאפשרת למנוע תופעות אלה. לשם כך דרושה הקפדה על צריכת נוזלים ומלחים לפני הפעילות, במהלכה ולאחריה. מכיוון שקיימת שונות בין פרטים שונים, וגם באותו פרט קצב איבוד הנוזלים והמלחים תלוי בסוג הפעילות ובתנאי הסביבה – יש להתאים את כמויות הנוזלים והמלחים הנצרכות בכל מקרה באופן פרטני. טבלת החזר הנוזלים נותנת מענה מספק להגדרת כמויות השתייה בתנאים הקיימים (טבלה 1).

### מחבר מכתב: דניאל מורן

מכון הלר למחקר רפואי, מרכז רפואי שיבא, תל השומר 52621

טלפון: 03-7376584

פקס: 03-7377002

דוא"ל: Dani.moran@sheba.health.gov.il

## ביבליוגרפיה

1. Armstrong LE & Epstein Y, Fluid-electrolyte balance during labor and exercise: concepts and misconceptions. *Int J Sport Nutr*, 1999;9:1-12.
2. Zambarski EJ, The renal system. In: C. M. Tipton
3. Brouns F, Heat sweat dehydration - rehydration: a

MNS, C. A. Tate and R. L. Terjung (Eds). 2005. ACSM's Advanced Exercise Physiology Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins. p. 521-532.

**טבלה 1:**  
כמויות שתייה מומלצות ביחידות של מ"ל/שעה, בהתאם לדרגת המאמץ ולתנאי הסביבה. עבור פעילות המבוצעת בתנאי קרינת שמש רבה יש להוסיף 300 מ"ל/שעה לכל ערך בטבלה. על פי: (I) Armstrong & Epstein 1999

סביבה פעילות	עד עומס חום קל	עומס חום בינוני	עומס חום כבד
מנוחה (<120kcal/h)	50	100	200
עצימות קלה (120 kcal/h – 300 kcal/h)	400	500	600
עצימות בינונית (300 kcal/h – 450 kcal/h)	500	700	800
עצימות גבוהה (>450kcal/h)	850	אין לבצע פעילות גופנית	אין לבצע פעילות גופנית

של 70 ק"ג, בהתאם לדרגת עומס החום ועצימות הפעילות (טבלה 1) [21, 1].

יש הממליצים לצרוך נתרן ואשלגן לצורך השלמת המלחים שאבדו בזיעה ולגירוי מנגנון הצמא [4]. מהניסיון המצטבר עולה, כי צריכת מלחים כחלק מהמזון עדיפה על צריכת משקאות הספורט השונים. מאחר שלרוב היפונטרמיה אינה מתפתחת במאמצים שמשכם קצר מארבע שעות, הרי שבמהלך פעילות ממושכת בעצימות בינונית-גבוהה יש להשלים חסרים במלח באמצעות צריכת מזון כל ארבע שעות.

## החזר נוזלים ומלח לאחר פעילות גופנית

לאחר פעילות גופנית, יש צורך למלא את החסרים שהתפתחו בנוזלים ובמלחים. צריכת ארוחות סדירות וחטיפים ביחד עם שתייה מחזירה את מצב הנוזלים והמלחים לאיזון. צריכת נתרן חשובה לאצירת הנוזלים ולגירוי מנגנון הצמא [4, 29]. בהיעדר תיקון מלאי הנתרן שאבד בזיעה, מתקבלת הפרשת שתן מוגברת ולא מתאפשרת חזרה למשק נוזלים מאוזן [30].

במהלך הפעילות נוצרת פסולת מטבולית, אשר פינויה לאחר הפעילות מחייב ייצור שתן – גם במצב של התייבשות. לפיכך, לאחר הפעילות מאבדים בשתן כמויות נוזלים נוספת לזו שאבדה בזיעה. לכן, כדי להגיע לתיקון מהיר ומלא של משק הנוזלים, יש לשתות 1.5 ליטר על כל איבוד של 1 ק"ג ממשקל הגוף שנמדד לפני תחילת המאמץ [20, 29]. במצב של התייבשות משמעותית וצורך בהתאוששות תוך זמן קצר (פחות מ-12 שעות), נדרשת החזרה משמעותית ונמרצת יותר ("אגרסיבית") של נוזלים ומלחים [4].

## משקאות ספורט

בתנאי סביבה רגילים, למשקאות המכילים מלחים וסוכרים יתרון מועט בשמירה על נפח הפלסמה, ריכוז המלחים או שיפור הספיגה במעי. בנוסף, לא נמצאו למשקאות אלה יתרונות בהשפעתם על מנגנון ויסות חום הגוף (תרמורגולציה) או על פעילות מערכת הלב וכלי הדם (תפקוד קרדיוסקולרי). עבור רוב האנשים המבצעים מאמצים רגילים נראה כי היתרון העיקרי של משקאות ספורט הוא הטעם, שמעודד שתייה מרצון, ובכך מעכב התייבשות. מכיוון שהמזון עצמו מכיל נוזלים ומלחים – הקפדה על ארוחות סדירות ומאוזנות מספיקה לשמירה על מאזן הנוזלים והמלחים בעת פעילות גופנית [4, 10]. רק במצבים של חסך קלורי, פעילות ממושכת או אובדן זיעה הנמשך מספר ימים ברצף, יש היגיון בצריכת משקאות המכילים מלחים וסוכרים [4, 10].

- praxis oriented approach. *J Sports Sci*, 1991;9:143-152.
4. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER & al, American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*, 2007;39:377-390.
  5. Wyndham CH, Strydom NB, Maritz JS & al, Maximum oxygen intake and maximum heart rate during strenuous work. *J Appl Physiol*, 1959;14:927-936.
  6. Epstein Y & Sohar E, Fluid balance in hot climates: sweating, water intake, and prevention of dehydration. *Public Health Rev*, 1985;13:115-137.
  7. Singer GG, GGM Alternations in Renal and Urinary Tract Function. In: Braunwald E, FAS, Kasper DL, Hauser SL & al, (EDS). 2001. *Harrison's Principles of Internal Medicine*. 15<sup>th</sup> ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. p. 271-283.
  8. Sohar E, Adar R, Gilat T & al, Reduction of voluntary dehydration during effort in hot environments. *Harefuah*, 1961;60:319-323.
  9. Rothstein A, AEF & Wills JH, Voluntary Dehydration. In: E.F.Adolph, editor.1947. *Physiology Of Man In The Desert*. New York: HAFNER Publishing Company, INC. p. 254-271.
  10. Moran DS, Mendel L & Gaffin SL, Dehydration, Rehydration and hyperhydration. In: (Ed) 2007. *Auerbach PS, Wilderness Medicine*. 5th ed. Philadelphia: Mosby Elsevier. p. 1464-1476.
  11. Hew-Butler T, Ayus JC, Kipps C & al, Statement of the Second International Exercise-Associated Hyponatremia Consensus Development Conference, New Zealand, 2007. *Clin J Sport Med*, 2008;18:111-121.
  12. Galun E, Tur-Kaspa I, Assia E & al, Hyponatremia induced by exercise: a 24-hour endurance march study. *Miner Electrolyte Metab*, 1991;17:315-320.
  13. Montain SJ, Sawka MN & Wenger CB, Hyponatremia associated with exercise: risk factors and pathogenesis. *Exerc Sport Sci Rev*, 2001;29:113-117.
  14. Hadad E, Rav-Acha M, Heled Y & al, Heat stroke : a review of cooling methods. *Sports Med*, 2004;34:501-511.
  15. Armstrong LE, Curtis WC, Hubbard RW & al, Symptomatic hyponatremia during prolonged exercise in heat. *Med Sci Sports Exerc*, 1993;25:543-549.
  16. Ayus JC, Varon J & Arieff AI, Hyponatremia, cerebral edema, and noncardiogenic pulmonary edema in marathon runners. *Ann Intern Med*, 2000;132:711-714.
  17. Speedy DB, Noakes TD, Kimber NE & al, Fluid balance during and after an ironman triathlon. *Clin J Sport Med*, 2001;11:44-50.
  18. Speedy DB, Rogers I, Safih S & Foley B, Hyponatremia and seizures in an ultradistance triathlete. *J Emerg Med*, 2000;18:41-44.
  19. Erlich T. SM, Hadid A, Ben-Ari O & al, Hydration status evaluation of combat soldiers during marches. 13th International Conference on Environmental Ergonomics; 2009; Boston, Massachusetts, USA.
  20. Shirreffs SM, Taylor AJ, Leiper JB & Maughan RJ, Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Med Sci Sports Exerc*, 1996;28:1260-1271.
  21. Shapiro Y, Moran D, Epstein Y & al, Validation and adjustment of the mathematical prediction model for human sweat rate responses to outdoor environmental conditions. *Ergonomics*, 1995;38:981-986.
  22. Shapiro Y, Pandolf KB & Goldman RF, Predicting sweat loss response to exercise, environment and clothing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1982;48:83-96.
  23. Sohar E, Shapiro Y & Epstein Y, Man in a hot climate--early studies of the Institute of Military Physiology. *Harefuah*, 2000;138:723-727.
  24. Latzka WA, Sawka MN, Montain SJ & al, Hyperhydration: tolerance and cardiovascular effects during uncompensable exercise-heat stress. *J Appl Physiol*, 1998;84:1858-1864.
  25. Ray ML, Bryan MW, Ruden TM & al, Effect of sodium in a rehydration beverage when consumed as a fluid or meal. *J Appl Physiol*, 1998;85:1329-1336.
  26. Chevront SN, Montain SJ & Sawka MN, Fluid replacement and performance during the marathon. *Sports Med*, 2007;37(4-5):353-357.
  27. Bates GP & Miller VS, Sweat rate and sodium loss during work in the heat. *J Occup Med Toxicol*, 2008.
  28. Moran DS & Gaffin SL, Clinical management of heat-related illnesses. In: Auerbach PS (Ed). 2007. *Wilderness Medicine*. 5<sup>th</sup> edition. Mosby Elsevier pp 268-285.
  29. Maughan RJ, Leiper JB & Shirreffs SM, Factors influencing the restoration of fluid and electrolyte balance after exercise in the heat. *Br J Sports Med*, 1997;31:175-182.
  30. Maughan RJ & Leiper JB, Sodium intake and post-exercise rehydration in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1995;71:311-319.