



פעילות גופנית וויסות חום*

פעילות גופנית וויסות חום

אחת הבעיות העומדות בפני אדם המבצע עבודה גופנית עצימה פרקי זמן ארוכים, היא הצורך למנוע את עליית הטמפרטורה של הגוף לערכים העלולים לפגוע בתפקודו. חילוף החומרים בגוף כרוך בשחרור אנרגיה כימית פוטנציאלית, האגורה בחומרי המזון ומלווה בשחרור חום, המצטרף לתכולת החום של הגוף. התוספת של החום המטבולי עשויה להעלות את הטמפרטורה. השינויים בטמפרטורת הגוף תלויים בשינויים החלים בתכולת החום של הגוף. כאשר כמות החום המתוספת לגוף שווה לכמות החום העוזבת את הגוף תישאר טמפרטורת הגוף ללא שינוי.

חום נמדד בקלוריות.

החום הסגולי של האדם הוא 0.83 ק"ק/ק"ג x מעלה (ממוצע לק"ג רקמת גוף). כלומר, דרושות של 0.83 ק"ק להעלאת הטמפרטורה של 1 ק"ג גוף ב-1°.

נבדוק מהי כמות החום הנוצרת בגופו של אדם שמשקלו, 70 ק"ג, במנוחה במשך שעה אחת. צריכת החמצן במנוחה שווה לכ-3.5 מ"ל/ק"ג x דקה ולכן אדם זה יצרוך 245 סמ"ק חמצן

$$3.5 \text{ מ"ל/ק"ג} \times \text{דקה} \times 70 \text{ ק"ג} = 245 \text{ מ"ל/דקה}$$

או 0.245 ליטרים של חמצן בדקה. אם נניח, ששווה הערך הקלורי של ליטר חמצן בתנאים אלו הוא 4.83 ק"ק/ליטר, הרי שכמות החום הנוצרת בשעה תהיה שווה ל-

$$4.83 \text{ ק"ק/ליטר} \times 0.245 \text{ ליטר} \times 60 \text{ דקי} = 71 \text{ ק"ק} \\ (\text{קילוקלוריות})$$

כמות חום זאת אם היתה נשארת בגוף היתה יכולה לגרום לעליית טמפרטורה של

$$1.2^\circ \text{C} = \frac{71}{0.83 \times 70}$$

אדם במנוחה השרוי בתנאי סביבה נוחים שומר על טמפרטורת גוף קבועה, מכיוון שכמות החום המורחקת מן הגוף שווה לכמות החום שנוצרה באותו הזמן. במקרה שלנו, כדי לשמור על טמפרטורה קבועה תהיה כמות החום שצריך לפלוט הגוף בשעה 71 ק"ק.

מאזן החום של הגוף מושפע מתהליכים מספר: הסיבה הראשונה

שבעטיה מתווסף חום לגוף היא שחרור אנרגיה כימית פוטנציאלית בשעה שחומרי המזון מתפרקים בגוף לצורך אספקת אנרגיה. רק חלק מאנרגיה זו הופך לעבודה מכנית, או נקלט בתהליכים אנבוליים שונים, מרביתה משתחררת ישירות בצורת חום.

חום עשוי להתווסף לגוף גם ממקור חיצוני והוא עשוי להיות מובל באמצעות שלושה מנגונים פיסיקליים: הולכה, הסעה, וקרירה. חום עובר מגוף לגוף בקרינה אלקטרומגנטית ללא צורך בחומר מתווך. כאשר הקרינה פוגעת בגוף הוא קולט חום ומתחמם. כל גוף גם פולט חום בקרינה, כך שבקרינה ניתן להפסיד חום או לקלוט חום.

הולכה והסעה תלויים בחומר מתווך או בחומר מוביל. הולכת חום מתרחשת בין חלקים של גוף השונים בטמפרטורה שלהם. כאשר נקרב קצה של מוט ברזל ללהבה החום מובל לאורך המוט עד שנגיש בו ביד המחזיקה בקצה השני של המוט. בתהליך ההולכה החום מובל ללא תנועה של הגוף המוליך. כאשר אדם נוגע בגוף קר הוא עשוי לאבד חום בתהליך הולכה. כאשר הוא נוגע בגוף חם, שהטמפרטורה שלו גבוהה מטמפרטורת העור, יתווסף לגוף חום בתהליך הולכה.

בהסעה מעבר החום כרוך בתנועה של הגוף המוביל. למשל, כאשר אדם טובל במים זורמים שהטמפרטורה שלהם נמוכה מטמפרטורת הגוף המים הבאים במגע קצר עם הגוף קולטים חום (בהולכה) ומסיעים אותו הלאה. נדגיש, שבתהליכי קרינה, הסעה, והולכה ניתן לאבד מחום הגוף וגם להוסיף לו, ואילו תהליכים מטבוליים רק מוסיפים חום לגוף.

תהליך אחר, חשוב ביותר, המאפשר להרחיק חום מן הגוף הוא תהליך האידי. באידי מים מעל פני העור מורחק חום מן הגוף, שהרי ידוע שכדי להפוך מים לאדים יש להשקיע אנרגיה. כמות החום הדרושה להפיכת גרם אחד של מים לאדים שווה ל-0.54 ק"ק. חום זה מכונה חום האידי. בשעה שעל פני העור יש מים, אם עקב הרטבה מלאכותית או בגלל הזעה, המים קולטים חום מן הגוף, מתאדים ועוזבים את העור. בתהליך זה פוחתת תכולת החום של הגוף והגוף מתקרר.

לסיכום, חום מטבולי תמיד מעלה את תכולת החום ובמשוואת החום הוא יופיע תמיד בסימן חיובי. בהולכה, בקרינה ובהסעה עשוי חום להתווסף לגוף, אך גם להיגרע ממנו בהתאם לתנאי הסביבה. בתהליך האידי עשוי החום רק להיגרע מן הגוף ולכן תמיד יופיע במשוואת מאזן החום בסימן שלילי. כאשר תכולת החום של הגוף אינה משתנה נותרת טמפרטורת הגוף ללא שינוי

*חינוך הנושאים והספורט - אפריל 1992

$$0 = \boxed{\text{חום מטבולי}} + \boxed{\text{חום מובל בקרינה}} + \boxed{\text{חום מובל בהולכה}} + \boxed{\text{חום מובל בהסעה}} - \boxed{\text{חום מורחק באידוי}}$$

במנוחה יהיה הפרש טמפרטורות של כ-4°C, טמפרטורת פנים הגוף (טמפרטורת הגרעין) היא כ-37°C וטמפרטורת העור (טמפרטורת היקף) 33°C. בשעת מאמץ גופני עולה ייצור החום וכדי למנוע עלייה מופרזת של טמפרטורת הגוף מופעל מנגנון ויסות החום. הדם הוורודי החוזר מן השרירים קולט מהם חום והוא מוזרם דרך העור בכלי דם היקפיים הקרובים לסביבה החיצונית. כך מסיעים את החום מן האזורים הפנימיים (הגרעין) אל העור (ההיקף).

במקביל פועלות בלוטות הזיעה ובתהליך האידוי מעל פני העור מורחק חום מן העור. זרימת הדם לעור בתנאי מאמץ וחום עשויה להגיע עד כדי 20% מתפוקת הלב, לעומת כ-5% בלבד במנוחה.

למרות פעילותו של מנגנון ויסות החום טמפרטורת הגרעין עולה במאמצים עצימים מתמשכים והיא יחסית בקירוב להספק. נמצא, שעליית הטמפרטורה של אדם המבצע מאמץ נתון תלויה בעומס העבודה היחסי ליכולתו המרבית. כך למשל, עליית הטמפרטורה של שני אנשים העובדים בהספק של 50% מצריכת החמצן המרבית שלהם תהיה דומה, הגם שבערכים מוחלטם האחד עשוי לעבוד קשה יותר מן האחר.

מסיבה זו אימון הגורם לעלייה בצריכת החמצן המרבית יביא למיתון העלייה בטמפרטורת הגוף בעת ביצוע עבודה בעומס מוחלט נתון.

ויסות חום הגוף תלוי, כמוכן, גם בתנאי הסביבה. כאשר הטמפרטורה בסביבה נמוכה חלק גדול מאיבוד החום אל הסביבה עשוי להתרחש בתהליכי קרינה והולכה. ככל שטמפרטורת הסביבה עולה כך פוחתת החשיבות של ויסות החום בתהליכי הקרינה וההולכה ועולה חשיבותו של איבוד החום באמצעות הזעה ואידוי.

במאמץ עצים, בתנאי סביבה הגורמים לעלייה הדרגתית של טמפרטורת הגוף, עשויה טמפרטורת הגרעין לעלות מעל ל-40°C ועם המשך המאמץ עשויה טמפרטורת השריר לעלות מעל ל-1°C.

כאשר מבוצע מאמץ פחות עצים בתנאי סביבה נוחים תתייצב טמפרטורת הגוף בעזרת ויסות החום והאדם יוכל להמשיך ולבצע את המאמץ בעוד טמפרטורת הגוף גבוהה מזו שבמנוחה, אך יציבה. כך מתקיים שיווי משקל בין ייצור החום המטבולי ובין החום הנפלט מהגוף.

בתנאים אלו תרד טמפרטורת העור בשל התנדפות הזיעה ויגדל ההפרש בין טמפרטורת הגרעין לטמפרטורת העור, דבר המסייע למעבר חום יעיל מחלקי הגוף הפנימיים אל ההיקף.

בשעת מאמץ גופני קצב פירוק חומרי המזון וחילוף החומרים מתגבר מאוד ובעקבותיו עולה בקצב מהיר תוספת החום לגוף. כדי למנוע עלייה מוגזמת בטמפרטורת הגוף יש לזרז גם את קצב איבוד החום. הדרך העיקרית להשגת מטרה זו היא הזיעה. נבדוק, מהי כמות החום הנוספת לגופו של אדם, שמשקלו 70 ק"ג, המבצע מאמץ גופני המחייב צריכת חמצן של 2.5 ליטרים בכל דקה במשך שעה. בהנחה, ששווה-הערך הקלורי של כל ליטר חמצן בעבודה זו הוא 4.85 ק"ק לכל ליטר, הרי שסך כול המחיר האנרגטי של ביצוע העבודה הוא:

$$272.5 \text{ ק"ק} \cdot 60 \text{ דקי} \times 2.5 \text{ ליטר/דקה} \times 4.58 \text{ ק"ק/ליטר}$$

אם נניח, שהיעילות המכנית היא 21% הרי שרק 21% מהאנרגיה הומרה לעבודה מכנית ו-79% מכלל האנרגיה, שהם 574.7 ק"ק, תורמים לעלייה ישירה בתכולת החום של הגוף

$$574.7 \text{ ק"ק} = \frac{272.5 \times 79}{100} \text{ ק"ק}$$

אם החום הסגולי של הגוף הוא 0.83 ק"ק/לק"ג x מעלה, הרי שעליית הטמפרטורה העשויה להיגרם מתוספת כמות זו של חום שווה ל-

$$9.9^\circ\text{C} = \frac{574.7}{0.83 \times 70}$$

על פי החישוב ברור, שגם עבודה לא עצימה במיוחד הנמשכת שעה אחת בלבד לא היתה אפשרית ללא תהליכים שיאפשרו לסלק חום מן הגוף כך שעליית הטמפרטורה במאמץ תישמר בטווח צר למדי, כדי שהגוף יוכל להמשיך לתפקד.

ויסות החום בשעת מאמץ

תוספת החום בשעת מאמץ מקורה בעיקר בתוספת החום המטבולי הנגרמת עקב העלייה בקצב חילוף החומרים. כיוון שהחום המטבולי נוצר בשרירים וברקמות הפעילות טמפרטורת הגוף אינה שווה בכל חלקיו. הטמפרטורה של השרירים ופנים הגוף גבוהה משל טמפרטורת ההיקף. פני הגוף חשופים לסביבה החיצונית והם יכולים לפלוט חום לסביבה, כך מתקיים מפל טמפרטורות בין חלקי הגוף הפנימיים לבין העור.

הנוגות פיזיולוגיות החשיפה לחום

כאשר אדם נחשף לסביבה חמה, במנוחה או במאמץ, מערכות הגוף מגיבות כדי למנוע את עליית טמפרטורת הגוף. התגובות באות לידי ביטוי בעליית הדופק ותפוקת הלב ובעלייה בקצב ההזעה ובהזרמת הדם אל העור והן מאפשרות עלייה בקצב העברת החום מן הגרעין אל ההיקף והרחקת החום אל הסביבה.

מתברר, שכשם שהמערכות הפיזיולוגיות של הגוף מסתגלות לחשיפה כרונית למאמץ גופני כך הן מסתגלות גם לחשיפה לחום. הסתגלות זאת מכונה אקלום לחום, שבעקבותיו משתנות התגובות הפיזיולוגיות לחשיפה לחום, או לביצוע מאמץ בחום, ומאפשרות להתמודד טוב יותר עם עומס החום.

השינויים הבולטים החלים בתהליך האקלום כוללים: ירידת הדופק במאמץ נתון תוך עלייה בנפח הפעימה; ירידה בכמות הדם המוזרמת לעור במאמץ ובתנאי סביבה נתונים; עלייה יחסית בכמות הדם המוזרמת לשרירים. בד בבד חלה עלייה במספר בלוטות הזיעה המופעלות, עולה קצב ההזעה ונוצר פיזור טוב יותר של הזיעה, המאפשר אידוי יעיל יותר וקירור מהיר יותר של העור.

התוצאה הסופית של התהליכים ההסתגלולתיים היא שבעקבות האקלום תהיה עליית טמפרטורת הגרעין וטמפרטורת העור במאמץ נתון מתונה יותר ותגדל היכולת להתמיד במאמץ. כן תשתפר התחושה הסובייקטיבית של אי-נוחות בעבודה בחום.

ההיקף והשכיחות

תהליך האקלום לחום מתרחש בזמן חשיפה חוזרת לחום, או בשעת עבודה גופנית המבוצעת בסביבה חמה והוא יעיל יותר בשילוב של מאמץ גופני וחשיפה לחום. האקלום לחום הוא תהליך מהיר יחסית ותוך מספר ימים (4-14) כבר ניכרים שינויים בולטים בתגובת האדם לחשיפה לחום.

עם חילוף עונות השנה מתרחש אקלום טבעי. עם זאת, באביב, ביום שרבי, רוב האנשים עדיין אינם מאוקלמים ולכן מן הראוי להימנע בימים אלה ממאמצים גופניים חריגים ומעריכת תחרויות וימי ספורט. כאשר האדם עדיין לא מאוקלם הוא חשוף לסכנה גדולה יותר להתחממות יתר של הגוף בשעת מאמץ ולפגיעות חום.

האקלום לחום חשוב מאוד לספורטאים המתאמנים באזור גאוגרפי קריר יחסית בעוד שעליהם להתחרות באזור אקלימי ששורר בו חום גבוה. לספורטאים נשקפת סכנה ממשית שהם יבואו לתחרות לא מאוקלמים והדבר יפגע ביכולתם. אשר על כן, רצוי להקדים ולבוא לאזור לפחות שבועיים לפני מעד התחרות, כדי לאפשר לספורטאים להתאמן ולהתאקלם. לחילופין, ניתן לבצע אקלום לחום בעבודה ובאימון בחדר אקלים. אימון זה צריך להיערך לפחות שבועיים לפני התחרות.

מאחר שבעבודה קשה בסביבה חמה נעשה עיקר ויסות החום על ידי מנגנון ההזעה והאידוי הרי שחשוב ביותר לשמור על מאזן נוזלים חיובי, היינו שתייה מרובה לפני הפעילות ובמהלכה. בעבודה בתנאי חום אין לחשוף את הגוף לקרינת שמש ישירה היות שהגוף עשוי לקלוט חום נוסף ומנגנון הוויסות יאלץ להתמודד הן עם תוספת החום המטבולי והן עם תוספת החום המתקבלת בקרינה.

הרחקת החום מן הגוף מחייבת אידוי מעל פני העור ולכן יש ללבוש בגדים שיאפשרו לאוורר את העור. ראוי לציין, שזיעה הניגרת מן הגוף, או זיעה שנוגבה במגבת, תורמת מעט מאוד להרחקת חום מן הגוף, לעומת זיעה המתנדפת מעל פני העור. קצב התנדפות הזיעה תלוי גם בלחות האוויר. כאשר האוויר לח כמות המים שהוא מסוגל לקלוט קטנה ולכן האידוי קשה יותר. לפיכך, עומס החום של הסביבה תלוי לא רק בטמפרטורה, אלא גם בלחות היחסית. תנועת האוויר על פני העור מאפשרת התנדפות יעילה, שכן האוויר שכבר ספג רטיבות והפך לאוויר לח מתחלף, באוויר חדש שהלחות שלו נמוכה יותר ולכן האידוי מהיר יותר.

* מאמר זה הינו פרק אחד מתוך ספרו של ד"ר אריה רוטשטיין

העומד לצאת לאור בחודש יוני 1992 בהוצאת הספרים ע"ש עמנואל גיל, במכון וינגייט.