บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการออกกำลังกาย ไม่ว่าจะเป็นการทำงาน การฝึกซ้อมกีฬา หรือการแข่งขัน สภาพอากาศแวดล้อม คือ อุณหภูมิ (Temperature) และความชื้น (Humidity) เป็นสิ่งสำคัญมาก ทั้งนี้เพราะการออกกำลังกาย ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกันย่อมได้ผลแตกต่างกัน [1] อุณหภูมิของอากาศนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญข้อหนึ่งที่มีผลกระทบกระเทือนต่อการฝึกซ้อมมาก เมื่อออกกำลังกายในที่ ๆ มีอุณหภูมิสูง จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณของการไหลเวียนในกล้ามเนื้อที่ทำงานและปริมาณการไหลเวียนบริเวณผิวหนังมากขึ้นทำให้หัวใจต้องสูบฉีดโลหิตมากขึ้น อุณหภูมิในร่างกายสูงขึ้น ปริมาณของเหงื่อเพิ่มขึ้น อัตราชีพจรเร็วขึ้น แต่ถ้าออกกำลังในที่ที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง ระบบไหลเวียนโลหิตยิ่งจะต้องทำงานมากขึ้น การระเหยของเหงื่อจากร่างกายเป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากเปอร์เซนต์ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง สมรรถภาพในการทำงานของร่างกายลดลง [2]

---

[1] O.L. Wade and J.M. Bishop, "Cadiac Out-Put and Regional Blood Flew," Physical activity and the heart, (Springfield, Illinois : Charles C. Thomas, Publishers, 1967), p.69.

[2] Lawrence E. Morehouse and Augustus T. Miller, "Training," Physiology of Exercise, (Saint Louis : The C.V. Mosby Company, 1965), p.215.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยปกติอุณหภูมิของร่างกายจะคงที่อยู่เสมอ ไม่ว่าจะอยู่ในสภาพแวดล้อมใด ๆ แต่อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส [3] ทั้งนี้ร่างกายสามารถปรับอุณหภูมิให้คงที่อยู่ได้โดยระบบระบายความร้อน [4] (Heat-distribution system) คือใช้ระบบการไหลเวียนของโลหิตไปสู่ผิวหนังมากขึ้น และผิวหนังระบายความร้อนออกโดยการแผ่รังสี (Radiation), การนำความร้อน (Conduction), การพาความร้อน (Convection), และการระเหย (Evaporation) ของน้ำออกจากร่างกาย อนึ่งการระบายความร้อนจะได้ผลเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นของอากาศแวดล้อมด้วย ถ้าอุณหภูมิสูงและความชื้นมาก การระบายความร้อนออกจากร่างกายทำได้น้อย ทั้งนี้เนื่องจากในอากาศร้อนร่างกายระบายความร้อนได้มากที่สุด โดยการระเหยของเหงื่อ ถ้าในอากาศมีไอน้ำมาก ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง เหงื่อระเหยเกือบไม่ได้การระบายความร้อนออกจากร่างกายจึงทำได้น้อย

อากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงจะมีผลต่ออัตราชีพจรและอุณหภูมิกาย ถ้าหากอุณหภูมิกายสูงกว่าปกติถึง 1.5 องศาฟาเรนไฮต์ จะทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานลดลง แต่เมื่อพักและออกกำลังกายในอากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงแล้วอัตราชีพจรกับอุณหภูมิกายที่ทวารหนักจะไม่สามารถชี้ให้เห็นสมรรถภาพของร่างกายที่ทำ—

---

3 Peter V. Karpovich, Physiology of Muscular Activity, (Philadelphia and London : W.B. Saunders Company, 1966), p.209.

4 Charles W. Shilling, "The mechanism of Temperature Control," The Human machine, (Annapolis, Maryland : United States, Naval Institute, 1955), pp. 30-32.

งานในอากาศร้อนได้ อนึ่ง ถึงแม้ว่าคนที่ออกกำลังกายนั้นมีสมรรถภาพทางกายดี และสามารถทำงานได้ดีในที่มีอุณหภูมิสูงกว่าคนที่ไม่มีสมรรถภาพทางกายดีก็ตาม สมรรถภาพในการทำงานของร่างกายจะถูกจำกัดรวมทั้งอัตราชีพจรและอุณหภูมิกายสูงกว่าปกติมาก จึงสรุปได้จากการทดลองว่า อัตราชีพจรสามารถชี้ให้เห็นการใช้พลังงานของร่างกายได้ [5] ถ้าการฝึกซ้อมกีฬากระทำในที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูง นักกีฬาจะเหน็ดเหนื่อยเร็ว ส่วนผู้ที่ฝึกซ้อมในที่ซึ่งมีอากาศเย็นจะสามารถฝึกได้ปริมาณมากกว่า ระยะเวลายาวนานกว่าฝึกในที่มีอากาศร้อน เพราะร่างกายเหนื่อยน้อยกว่าและช้ากว่า [6]

อุณหภูมิในร่างกายที่สูงขึ้นในระหว่างการออกกำลัง ทำให้อัตราชีพจรขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นด้วยย่อมมีผลต่อการเต้นของหัวใจ คือทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้นเพื่อส่งโลหิตไปเลี้ยงกล้ามเนื้อมากขึ้น และขณะเดียวกันโลหิตส่งไปที่ผิวหนังมากขึ้นด้วย เพื่อช่วยระบายความร้อนออกจากร่างกาย

ในการออกกำลังกายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านการหายใจเนื่องจากร่างกายต้องการออกซิเจนมาก จำเป็นต้องหายใจเพิ่มขึ้น ระยะที่เริ่มออกกำลังอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นและหายใจลึก อัตราการหายใจจะเพิ่มเป็นสัดส่วนกับปริมาณงานขณะออกกำลังกายคงที่และการหายใจจะเข้าสู่ระยะคงที่ หลังจากร่างกายออกกำลังนาน 2–4 นาที ความลึกของการหายใจก็จะสม่ำเสมอด้วย แต่ถ้า

---

[5] Datta and Romanathan, "Energy Expenditure in Work Predicted from Heart Rate and Pulmonary Ventilation," Journal of Applied Physiology, 26 : 279-302, 1969.

[6] อวย เกตุสิงห์, "ข้อเสนอเกี่ยวกับการฝึกซ้อมของกีฬาสำหรับการแข่งขันกีฬาโอลิมปิค ณ เมืองมิวนิค ประเทศเยอรมันนี พ.ศ. 2515," สุขศึกษาพลศึกษา สันทนาการ, พระนคร, หน้า 49.

ออกกำลังไปนาน 3 – 5 นาที การหายใจจะเร็วขึ้น ร่างกายต้องเพิ่มการไหลเวียนของอากาศในปอดมากขึ้น เนื่องจากมีกาซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง อัตราหายใจจะเพิ่มขึ้นประมาณ 5 – 6 ครั้งต่อนาที ถ้าอุณหภูมิทวารหนักเพิ่ม 1.8 องศาฟาเรนไฮต์ [7]

ไมเออร์ และเบลช [8] (Myers and Blesh) ได้กล่าวว่าการวัดการทำงานของหัวใจและหลอดโลหิต ใช้วิธีการจับอัตราชีพจรเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและเชื่อถือได้มากที่สุด เป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือ สถานที่ การทดสอบที่ยุ่งยาก การวัดการทำงานของหัวใจและหลอดโลหิตเป็นเรื่องซับซ้อน เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการเต้นของหัวใจ เช่น อายุ เพศ การเปลี่ยนแปลงงานที่ทำ การเปลี่ยนแปลง–อิริยาบถ การออกกำลังตามฤดูกาลและสภาพอากาศ การอดนอน การย่อยอาหาร การหายใจ สภาพทางอารมณ์และประสาท อย่างไรก็ตามได้มีการเปรียบเทียบหาความแม่นตรงในการทดสอบ โดยการใช้ผู้ทำการทดสอบที่ได้รับการฝึกอย่างดีแล้ว ผลปรากฏว่าการวัดประสิทธิภาพของหัวใจ และระบบไหลเวียนโลหิตโดยการใช้อัตราการเต้นชีพจรเป็นเกณฑ์ จะบอกถึงการทำงานของหัวใจและหลอดโลหิตได้ ตัวอย่างเช่น แบบทดสอบที่ใช้วัดการทำงานของหัวใจและหลอดโลหิตโดยใช้อัตราการเต้นของชีพจรเป็นเกณฑ์ [9] วิธี ทัทเทิลพัลส์เรโชเทสท์ (Tuttle-Pulse ratio Test).

---

7 Karpovich, op.cit., p. 248.

8 Carlton R. Meyers, and Erwin T. Blesh, Measurement in Physical Education. (New York : The Ronald Press Company, 1962), pp. 232-235.

9 Charles Harold, Mc Cloy, and Norma Dorthy Young, Test and Measurements in Health and Physical Education, (3rd ed;New York : Appleton-Country, Croft, Inc., 1954), pp. 288-312.

เทเลอร์ [10] (Taylor) ได้ทำการทดลองให้เห็นว่า ความชื้นมีผลต่อร่างกายมากกว่าความร้อน โดยให้ผู้ถูกทดลองออกกำลังนาน 60 นาที ในอากาศแวดล้อมต่าง ๆ ปรากฏว่าผู้ถูกทดลองสามารถทำงานในที่มีอุณหภูมิสูงถึง 145 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ 10 เปอร์เซนต์ แต่เมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 90 เปอร์เซนต์ ผู้ถูกทดลองสามารถอยู่ได้ในอุณหภูมิสูงเพียง 104 องศาฟาเรนไฮต์เท่านั้น คนที่เคยชินกับอากาศแวดล้อมแบบร้อนชื้น สมรรถภาพในการทำงานจะลดลงได้เนื่องจากหลาย ๆ สาเหตุด้วยกัน คือ ดื่มน้ำน้อย สมรรถภาพของร่างกายไม่ดี ร่างกายขาดการพักผ่อน เครื่องแต่งกายหรืออุปกรณ์ เป็นอุปสรรคต่อการออกกำลังหรือการทำงาน หรือก่อนออกกำลังดื่มเครื่องดื่มประเภทแอลกอฮอล์ การออกกำลังเป็นระยะเวลานานเกินควร ซึ่งการออกกำลังในอากาศแวดล้อมดังกล่าว ถ้าได้ดื่มน้ำที่มีเกลือผสมอยู่จะทำให้การออกกำลังมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น [11]

รัชนี ขวัญบุญจัน [12] ได้พบว่า ในการทำงานในอากาศร้อนชื้น ร่างกายจะเหน็ดเหนื่อยเร็ว อัตราการเต้นชีพจรสูงถึง 180 ครั้งต่อนาที สมรรถภาพในการทำงานลดลงทำงานได้ผลน้อย

คาร์โปวิช [13] (Karpovich) ได้กล่าวว่า ปัจจัยที่กำหนดสมรรถภาพการขับ

---

[10] C.L. Taylor "Heat Tolerance for Short Exposure," Physiology of Exercise, (Saint Louis : The C.V. Mosby Company 1967). pp. 4-70.

[11] Karpovich, op.cit., p.252.

[12] รัชนี ขวัญบุญจัน "การเปลี่ยนแปลงของการไหลเวียนของโลหิต และการหายใจในขณะออกกำลัง และการกลับคืนสู่สภาพปกติ หลังการออกกำลังในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน," (วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต 2513) หน้า 41.

[13] Karpovich, op.cit., pp. 72-74.

ออกซิเจนมี 4 ประการคือ การหายใจ ซึ่งการหายใจจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับงาน การหายใจลึก ๆ จะทำให้ออกซิเจนในถุงลมมากขึ้น สมรรถภาพของโลหิตในการนำออกซิเจนขึ้นอยู่กับปริมาณฮีโมโกลบินในเม็ดโลหิต เนื้อเยื่อต้องไม่ขาดออกซิเจน โดยปกติเนื้อเยื่อจะรับออกซิเจน 5.5 ซี.ซี. จากโลหิต 100 ซี.ซี. ที่ไหลผ่านไป แต่ขณะออกกำลังจะต้องเพิ่มเป็น 2 เท่า หรือ 2 เท่าครึ่ง ถ้าร่างกายนำออกซิเจนไปไม่เพียงพอ เนื้อเยื่อจะขาดออกซิเจนและบริมาตรการไหลเวียนของโลหิตใน 1 นาที จะไม่เพียงพอ อัตราของโลหิตที่ไหลเวียนในร่างกายขึ้นอยู่กับจำนวนโลหิตที่หัวใจสูบฉีดต่อ 1 นาที จะเห็นว่า สิ่งที่จะกำหนดสมรรถภาพการจับออกซิเจนนั้น จะต้องมาจากการทำงานของระบบหายใจและระบบไหลเวียนของโลหิตนั่นเอง การทำงานของหัวใจและหลอดโลหิตนั้นมีความสัมพันธ์กับระบบหายใจ ดังนั้นผู้ที่ถูกทดสอบจะมีสมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุดอยู่ที่เกณฑ์ดี จะต้องมีการประสานงานที่ดีของระบบหายใจและระบบไหลเวียน (Circulorespiratory endurance) และยังต้องมีความอดทนของกล้ามเนื้อขาด้วย เพื่อใช้ในการถีบจักรยานเป็นเวลานาน 6 นาที

เมลเลโรวิทซ์ [14] (Mellerowicz) พบว่า ในขณะที่ทำงานในภาวะอยู่ตัว (Steady state) ถ้าเพิ่มความร้อนในอากาศขึ้น หัวใจจะเต้นเร็วขึ้นอย่างมาก อุณหภูมิที่สูงและความชื้นที่มากเกินกว่า "เขตของความสบาย (Comfort zone)" ทำให้มีภาระต่อร่างกายเพิ่มมากขึ้นในการทดลองโดยถีบจักรยานวัดงาน ไม่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของอากาศ ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น ปริมาณโลหิตฉีดต่อนาทีเพิ่มขึ้น และช่วงความดันโลหิตกว้างขึ้น (ความดันขณะหัวใจบีบตัวและความดันขณะหัวใจหย่อนตัว)

---

[14] เมลเลโรวิทซ์ "การฝึกซ้อมกีฬา," ประสิทธิภาพและสุขภาพ หลักวิชาและกฎเกณฑ์ทางชีววิทยา. (อวย เกตุสิงห์ แปลและเรียบเรียง ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา 2510) หน้า 32.

ซึ่งแสดงว่า ร่างกายต้องใช้กำลังมากขึ้นในการควบคุมอุณหภูมิของตัวเอง แบบทดสอบที่ใช้วัดความสามารถในการทำงาน ออสตรานด์ [15] (Astrand) ได้กล่าวไว้ว่า การที่สภาพร่างกายดี มีความสามารถในการทำงานได้ดีนั้น แสดงว่าหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิตจะต้องทำหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการถีบจักรยานวัดงาน ตามวิธีของออสตรานด์นั้นนับอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงาน เพื่อหาสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด ซึ่งเป็นเครื่องชี้ความสามารถในการทำงานได้ดี.

เอกสารการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี ค.ศ. 1931 ดิลล์ และคณะ [16] (Dill and Others) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำงานกับอากาศภายนอกร่างกาย โดยให้ผู้ถูกทดสอบทำงานมีปริมาณงานเท่ากันในห้องปรับอากาศ ร้อนและเย็น ปรากฏว่าในการออกกำลังกายในห้องที่มีอากาศร้อน ปริมาณโลหิตที่หัวใจสูบฉีดใน 1 นาที (Heart out-put per minute) มากกว่าในการออกกำลังในห้องอากาศเย็น 1 ลิตร ถึง 4 ลิตร การหายใจเร็วขึ้นใน 10 นาทีแรก และค่อย ๆ เพิ่มช้าลง ๆ จนเสร็จสิ้นการออกกำลัง

---

15 Per-Olof Astrand, Work Tests with the Bicycle Ergometer (Verberg - Crescent AB,) pp. 72-74.

16 D.B. Edwards Dill, and Others "Physical Performance in Relation to External Temperature," Physiology of Muscular Activity, Philadelphia and London W.B. Saunders Company 1966). p.213.

ปี ค.ศ. 1962 บรูฮา และ แมกซ์ฟิลด์ [17] (Brouha and Maxfield) ได้ศึกษาการทำงานในอุณหภูมิร้อน และการฟื้นตัวหลังจากออกแรงทำงาน ในอุณหภูมินั้น ๆ บรูฮาและแมกซ์ฟิลด์ ได้ทำการทดลอง ชาย 1 คน หญิง 1 คน ในห้องชีว-อากาศวิทยา โดยให้ถีบจักรยานวัดงาน จากการวิจัยพบว่า การทำงานในที่มีอุณหภูมิสูง ปริมาตรออกซิเจนที่ร่างกายใช้หมดไป จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณงานที่เพิ่มขึ้น

/ในปีเดียวกัน เอ็ดโฮล์ม และคณะ [18] (Edholm and Others) ได้ศึกษาผลการทำงานในภาวะแวดล้อมที่เย็นและร้อน ที่มีต่ออัตราการเต้นของชีพจร และอุณหภูมิกาย ในการทดลองนี้ใช้ผู้ทดลอง 8 คน ฝึกยกน้ำหนักวันละ 4 ชั่วโมง (ออกกำลัง 30 นาที พัก 30 นาที) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ กลุ่มแรกออกกำลังกายในอากาศเย็น อีกกลุ่มหนึ่งในอากาศร้อน เปรียบเทียบกัน จากการศึกษาพบว่าการออกกำลังในอากาศเย็นอัตราชีพจรและอุณหภูมิกายขึ้นช้า แต่กลับสู่ปกติได้เร็วกว่าการออกกำลังในอากาศที่ร้อน ทั้ง ๆ ที่ในขณะออกกำลังอยู่นั้นอัตราการเต้นชีพจรและอุณหภูมิกายสูงขึ้น สำหรับการออกกำลังทำงานในอากาศร้อนอัตราการเต้นชีพจรและอุณหภูมิกายของผู้ถูกทดลองในขณะทำงานจะขึ้นเร็วและสูง และกลับสู่สภาพปกติหลังจากได้พักช้ากว่าการทำงานในอากาศเย็น พบว่า อัตราการเต้นชีพจรและอุณหภูมิกายที่ลดลงสัมพันธ์กัน แต่อัตราการเต้นของชีพจรจะลดลงช้ากว่าอุณหภูมิกาย.

---

17 L. Brouha and M.E. Maxfield "Practical Evaluation of Strain in Muscular Work and Heat Exposure by Heart Rate Recovery curves," Research Abstract, (Vol.35 No.1 - 1966). p.87.

18 O.G. Edholm, J.M. Adam, and R.H. Fox "Effect work in Cool and Hot Condition on Pulse rate and body temperature," The Research Quartery, 1964. pp.545-556.

ในปี ค.ศ. 1963 บรูฮา และคณะ [19] (Brouha and Others) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของชีพจร และการใช้ออกซิเจนในระหว่างที่ทำงานในที่ร้อน พบว่า โดยทั่วไปการใช้ออกซิเจนในภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เท่ากัน ในการทำงานในที่ร้อนอัตราชีพจรไม่สามารถขึ้นถึงภาวะ "อยู่ตัว (Steady state)" แต่อัตราชีพจรจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ใช้ออกซิเจนอยู่ในระดับคงที่ เป็นเครื่องชี้ให้เห็นว่าการทำงานในที่ร้อน อัตราการเต้นของชีพจรจะแสดงให้เห็นผลต่างได้ดีกว่าใช้ออกซิเจน

ในปีเดียวกัน ราบินดรา [20] (Rabindra) ได้ศึกษาหาปริมาณความอดทนของคนทำงานชายโรงงานอุตสาหกรรมโลหะจำนวน 26 คน ในอากาศร้อนแห้งเปรียบเทียบกับกรรมกรในโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้าซึ่งมีอากาศร้อนชื้นจำนวน 63 คน โดยศึกษาอัตราการเต้นของชีพจร ความดันโลหิต อุณหภูมิภายในปาก อุณหภูมิผิวกาย และการใช้ออกซิเจน เขาพบว่ากรรมกรในโรงงานโลหะที่มีอากาศร้อนแห้งสามารถทำงานติดต่อได้นานกว่ากรรมกรในโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้าซึ่งมีอากาศร้อนชื้น

ในปีเดียวกัน คอนโซลาซีโอ และคณะ [21] (Consolazio and Others) ศึกษาเรื่องอุณหภูมิแวดล้อม (70 °ฟ 80 °ฟ และ 100 °ฟ Dry bulb, ความชื้น 30 เปอร์เซนต์) และการใช้พลังงาน ปรากฏว่าเมื่ออยู่ในอุณหภูมิ 100 °ฟ อุณหภูมิใน

---

[19] L. Brouha and Others "Discrepancy between Heart Rate and Oxygen Consumption during Work in the Warmth," The Research Quartery, 1964. pp.1096-1098.

[20] O.G. Ed holm, "Acclimatization to Heat in a Group of Indian Subjects," Human Adaptability to Environment and Physical Fitness. (Madras-3 Vepart Press Madras-1 (1966). pp.20-25.

[21] Frank C. Consolazio and Others. "Environmental Temperature and Energy Expenditures, The Research Quartery, 1964. pp.65-68.

ร่างกายในเวลาพัก และเวลาที่ทำงานสูงกว่าอุณหภูมิอื่น ๆ พลังงานที่ใช้ในภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เพิ่มขึ้นประมาณ 12 เปอร์เซนต์ ในทุก ๆ อุณหภูมิ แม้เมื่อเคยชินกับอากาศร้อนแล้วการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมานี้ก็ยังคงอยู่

ในปี ค.ศ. 1966 ซินฮา และคณะ [22] (Sinha and Others) ได้ทำการทดลองเพื่อสังเกตความเปลี่ยนแปลงของความดันเลือดขณะที่อยู่ในอุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยใช้ผู้ถูกทดลอง 15 คน ผลปรากฏว่า เมื่อผู้ถูกทดลองอยู่ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้น ความดันโลหิตขณะที่หัวใจบีบตัว (ความดันซีสโตลิค) สูงขึ้น และความดันโลหิตขณะที่หัวใจคลายตัว (ความดันแอสโตลิค) สูงขึ้น ความดันโลหิตทั้งสองอย่างเริ่มลดลง การเต้นของชีพจรสูงขึ้นหลังจากทดลอง 15 นาทีผ่านไป

/ในปีเดียวกัน ไพวอนกา และ โรบินสัน [23] (Piwonka and Robinson) ได้ทำการทดลองให้นักกีฬาซึ่งได้รับการฝึกมาอย่างดีแล้วในภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง (40 °ซ ร้อนแห้ง, 23.5 °ซ ร้อนชื้น) จนเกิดความเคยชินกับการทำงานในอุณหภูมิดังกล่าวเป็นระยะเวลา 1 ปี หลังจากนั้นให้ผู้ถูกทดลองฝึกในอุณหภูมิ 50 °ซ ร้อนแห้ง 28 °ซ ร้อนชื้น โดยให้ฝึกทุกวัน ปริมาณงานเท่าเดิม เขาพบว่าในครั้งแรกอุณหภูมิและอัตราชีพจรสูงขึ้น ความอดทนต่อความร้อนดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในวันต่อ ๆ มา การปรับตัวเพื่อให้เคยชินกับความร้อนโดยส่วนใหญ่จะมีการเพิ่มปริมาณโลหิตใต้ผิวหนังและการหลั่งเหงื่อเพิ่มมากขึ้นเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มอุณหภูมิที่ทวารหนัก

---

[22] K.C. Sinha, and Others, "Observation on the blood Pressure Changes During Short Term Heat Exposure," Human Adaptability to Environments and Physical Fitness, (Madras-3 : Vepery Press Madras-7, 1966.) pp. 44-5

[23] R.W. Pinwonka and Sid Robinson, "Acclimatization of Highly Trained Men to Work in severe Heat," Journal of Applied Physiology. 26 (1969) 31-37.

ในปีเดียวกัน มอร์โมโต และคณะ [24] (Morimoto and Others)ได้ทำการศึกษาเรื่องความแตกต่างของการตอบสนองต่อความร้อนในระหว่างเพศ ผู้ถูกทดลองเป็นชาย 13 คน หญิง 13 คน ทดลองในห้องที่มีอากาศร้อนแห้งกับร้อนชื้น และเปรียบเทียบการหลั่งเหงื่อทั่วร่างกาย และเฉพาะแห่ง คือที่แขนท่อนล่าง (forearm) ความเข้มของคลอไรด์ในเหงื่ออุณหภูมิผิวกายและทวารหนัก ความดันโลหิต อัตราชีพจร และปริมาณการใช้พลังงานในร่างกาย ผู้วิจัยพบว่า อัตราการหลั่งเหงื่อทั้งในอากาศร้อนแห้งและร้อนชื้นของผู้ถูกทดลองเพศชาย สูงกว่าหญิงมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในอากาศร้อนแห้งการหลั่งเหงื่อทั้งผู้ถูกทดลองชายและหญิง ลดลงถ้าเพิ่มความร้อนชื้น ความดันโลหิตขณะที่หัวใจบีบตัวของผู้หญิงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ความดันโลหิตของผู้ชายขณะที่หัวใจคลายตัวลดลงมากกว่าหญิง ส่วนปริมาณความร้อนภายในร่างกายของผู้หญิงต่ำกว่าผู้ชาย และเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณงานและความร้อนของอากาศ นอกจากนั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการตรวจความเข้มข้นของคลอไรด์ในเหงื่อพบว่า ไม่มีการปรับตัวทั้งชายและหญิง ส่วนนอกนั้นไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในปี ค.ศ. 1967 ซาลติน และออสตรานด์ [25] (Saltin and Astrand) ได้ศึกษาเรื่องสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดของนักกีฬา โดยเลือกทดลองนักกีฬาชาวสวีเดน 95 คน ถีบจักรยานวัดงาน และวิ่งบนลู่กล เพื่อดูสมรรถภาพออกซิเจน

---

[24] Lars Hermansen and Bengt Saltin, "Oxygen Uptake During Maximal Treadmill and Bicycle Exercise," Journal of Applied Physiology, 26 (1969) 31-37.

[25] Bengt Saltin and Per-Olof Astrand, "Maximal Oxygen Uptake in Athletes," Journal of Applied Physiology. Vol.23 (1967) pp. 353-358.

สูงสุด ผู้วิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดของชาย 15 คน มีค่าสูงสุด 5.75 ลิตรต่อนาที ค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจ 185 ครั้งต่อนาที และมีบางคนเท่านั้นสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด 6.17 ลิตรต่อนาที อัตราเฉลี่ยของการเต้นของหัวใจ 185 ครั้งต่อนาทีเช่นเดียวกัน

ในปี พ.ศ. 2514 บรรจง คณะวรรณ [26] ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาหาส่วนเปรียบเทียบของออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปกับบริมาตรอากาศหายใจเข้า (Respiratory Equivalent) ระหว่างการทำงานในระดับอุณหภูมิต่างกัน โดยมีความมุ่งหมายเปรียบเทียบว่า การทำงานในระดับอุณหภูมิที่ต่าง ๆ กัน ร่างกายสามารถจับออกซิเจนจากอากาศหายใจเข้ามาใช้เพื่อการทำงานแตกต่างกันอย่างไร ผลปรากฏคือ การทำงานในระดับใดระดับหนึ่ง (เบา ปานกลาง หรือหนัก) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 20 °ซ. 30 °ซ และ 40 °ซ ค่าของบริมาตรการหายใจเข้าจะเพิ่มขึ้น และการทำงานต่างระดับ (เบา ปานกลาง และหนัก) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าของบริมาตรการหายใจเข้าเปลี่ยนแปลงแต่เฉพาะที่อุณหภูมิสูง 40 °ซ คือสูงขึ้นตามปริมาณของงาน

ในปีเดียวกัน อวย เกตุสิงห์ และคณะ [27] ทำการวิจัยเรื่องอากาศแวดล้อมกับการออกกำลัง คณะผู้วิจัยพบว่า การทำงานในอากาศร้อนชื้นนั้นสมรรถภาพในการทำงานต่ำกว่าอากาศร้อนแห้ง ปริมาณงานที่ทำได้ต่ำกว่าอากาศร้อนแห้ง ปริมาณงานที่ทำได้น้อยกว่า เสียเหงื่อมากกว่า ใช้เวลาในการฟื้นตัวนานกว่า อัตราการเต้น

---

[26] บรรจง คณะวรรณ "การศึกษาหาส่วนเทียบของออกซิเจน ที่ถูกใช้หมดไปกับบริมาตรอากาศที่หายใจเข้าในระหว่างการทำงานในระดับตาง ๆ ในอุณหภูมิที่ต่างกัน," วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต 2514.

[27] อวย เกตุสิงห์ และคณะ "อากาศแวดล้อมกับการออกกำลัง," (นครหลวง ฯ : ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา องค์การส่งเสริมกีฬาแห่งประเทศไทย 2514) อัดสำเนา.

ของชีพจร การหายใจ ความดันโลหิตเพิ่มจากระยะพัก และขณะทำงานมากกว่า

ในปีเดียวกัน รัชนี ขวัญบุญจัน [28] ทำวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนของโลหิต และการหายใจในขณะออกกำลังในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าในการออกกำลังในที่ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง อัตราการเต้นชีพจรและอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น เร็วตามอุณหภูมิและความชื้นที่สูงขึ้น

ในปีต่อมา สมชาย ประเสริฐศิริพันธ์ [29] ทำวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบผลการวัดการจับออกซิเจนขณะออกกำลังตามวิธีของออสตรานด์กับวิธีวิเคราะห์อากาศหายใจ ผลการวิจัยพบว่า สมรรถภาพการจับออกซิเจนของร่างกายที่อุณหภูมิ 20°ซ กับ 30°ซ ต่างกันเพียงเล็กน้อย ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่อุณหภูมิ 40°ซ สมรรถภาพการจับออกซิเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าการใช้ออกซิเจนจากการออกกำลังที่อุณหภูมิ 30°ซ น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 20°ซ กับ 40°ซ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ในปี ค.ศ. 1972 เทพวาณี สมะพันธุ์ [30] ได้วิจัยเรื่อง อิทธิพลของอากาศและเครื่องแต่งกายที่มีต่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนระหว่างออกกำลัง โดยมุ่งที่จะศึกษาอิทธิพลของอากาศแวดล้อมและเครื่องแต่งกายต่อสมรรถภาพออกซิเจนใน

---

[28] รัชนี ขวัญบุญจัน, เรื่องเดิม, หน้า 41.

[29] สมชาย ประเสริฐศิริพันธุ์, "การเปรียบเทียบผลการวัดการจับออกซิเจนขณะออกกำลังกายตามวิธีของออสตรานด์ กับวิธีวิเคราะห์อากาศหายใจ," (วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์มหาบัณฑิต, 2514)

[30] เทพวาณี สมะพันธุ์, "อิทธิพลของอากาศและเครื่องแต่งกายที่มีผลต่อสมรรถภาพการทำงานในการจับออกซิเจนโดยวิธีเออร์โกเมตรีย์," 2516. (อัดสำเนา)

ขณะออกกำลัง ผลการทดลองพบว่า อากาศปกติ (28 °ซ) เป็นอากาศที่เหมาะกับการออกกำลังมาก ช่วยให้ร่างกายสามารถทำงานได้นานกว่า ได้ปริมาณงานมากกว่า และสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงกว่าในอากาศร้อน (40 °ซ) และในทำนองเดียวกับอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ปกติ (65 %) ก็เป็นอากาศที่เหมาะกับการออกกำลัง ช่วยให้ร่างกายสามารถทำงานได้นานกว่า ได้ปริมาณมากกว่า และมีสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงกว่าอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง (80 %) นอกจากนั้นยังพบว่าเครื่องแต่งกายเปิดช่วยให้ร่างกายทำงานได้ปริมาณมากกว่าแบบปิดเกือบทุกสภาพอากาศแวดล้อม เว้นแต่อากาศร้อนชื้น เครื่องแต่งกายแบบปิด ช่วยให้ร่างกายทำงานได้ปริมาณมากกว่าเล็กน้อย สำหรับสมรรถภาพการจับออกซิเจน เครื่องแต่งกาย ไม่มีอิทธิพลประการใด

ในปี ค.ศ. 1973 อวย เกตุสิงห์ และคณะ [31] ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง "อิทธิพลของอุณหภูมิแวดล้อมและความชื้นที่มีผลต่อสมรรถภาพการทำงานในการจับออกซิเจนโดยวิธีเออร์โกเมตรีย์" ในการทำวิจัย ความแตกต่างของอุณหภูมิ 5 ระดับ 20 °ซ 25 °ซ 30 °ซ 35 °ซ และ 40 °ซ ความชื้นคงที่ 55 เปอร์เซนต์ ผู้ถูกทดลองจำนวน 5 คน อัตราการเต้นของชีพจรของผู้ถูกทดสอบทั้ง 5 คน มีภาวะคงตัว-(Steady state) อยู่ที่ 135–150 ครั้งต่อนาที ผลปรากฏว่า ที่อุณหภูมิ 20 °ซ ถึง 30 °ซ สมรรถภาพในการจับออกซิเจนลดลงสม่ำเสมอ แต่ที่อุณหภูมิ 35 °ซ และ 40 °ซ สมรรถภาพในการจับออกซิเจนลดลงรวดเร็วเห็นได้ชัดเจน และถ้าเปลี่ยนแปลงความชื้นไปจาก 60 เปอร์เซนต์ เป็น 70 เปอร์เซนต์ เป็น 80 เปอร์เซนต์ อุณหภูมิคงที่ 25 °ซ ไม่มีผลต่อการทำงานของร่างกาย, ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ประสิทธิ-ภาพการจับออกซิเจนลดลง 5 มิลลิมิตร ต่อความชื้นที่เปลี่ยนไปประมาณ 10 เปอร์-

---

[31] อวย เกตุสิงห์ และคณะ "อิทธิพลของอากาศ และเครื่องแต่งกายที่มีต่อสมรรถภาพออกซิเจนระหว่างการออกกำลัง," (วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต, 2515).

แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 35°ซ ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นถึง 70 เปอร์เซนต์ มีอิทธิพลทำให้การทำงานของร่างกายลดลงอย่างเห็นได้ชัด

จากการศึกษาการวิจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิ และความชื้น ที่มีอิทธิพลต่อการออกกำลังกาย การฝึกซ้อม และการเล่นกีฬาทั่ว ๆ ไป ซึ่งเกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้นที่เป็นอุปสรรคต่อกระบวนการถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกายซึ่งเป็นผลทำให้สมรรถภาพทางการงานแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาอิทธิพลอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่มีต่อสมรรถภาพทางการงาน ที่อุณหภูมิ 20°ซ 25°ซ 30°ซ 35°ซ และ 40°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน (70 $\pm$ 10 %) และปริมาณงานเท่ากันที่ศึกษาโดยวิธีเออร์โกเมตรีย์ การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อที่จะนำข้อค้นพบและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองไปใช้ประโยชน์ในการฝึกซ้อมกีฬา และการออกกำลัง รวมทั้งการทำงานอื่น ๆ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

การวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่จะศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ต่อสมรรถภาพการงาน ที่ศึกษาโดยวิธี เออร์โกเมตรีย์ มีความมุ่งหมายเฉพาะ

1. เพื่อศึกษาสมรรถภาพทางกายในการทำงานของชาย ในภาวะอากาศแวดล้อมต่าง ๆ กัน

2. เพื่อศึกษาอัตราของชีพจรขณะออกกำลังในอุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่าง ๆ กัน

3. เพื่อศึกษาสมรรถภาพสูงสุดในการจับออกซิเจนของร่างกาย ในอุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่าง ๆ กัน

4. เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่พอเหมาะ ซึ่งร่างกายสามารถทำงานได้นานที่สุด

5. เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิวิกฤต ที่ทำให้สมรรถภาพทางการงานลดลง.

/ สมมุติฐานของการวิจัย

1. ในการทำงานปริมาณเท่า ๆ กัน ความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน (70 ± 10 %) อุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่างกัน แต่อัตราการเต้นของชีพจรในภาวะคงตัวขณะออกกำลังย่อมแตกต่างกัน

2. ในการทำงานปริมาณ เท่า ๆ กัน ความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน (70 ± 10 %) แต่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่างกัน สมรรถภาพสูงสุดในการจับออกซิเจนย่อมต่างกัน

/ ขอบเขตของการวิจัย

1. ผู้ถูกทดสอบ (Subjects) โดยสุ่มตัวอย่างจากนิสิตชายปีที่ 1 และปีที่ 2 มีสุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ ไม่เป็นนักกีฬา อายุ 18 ถึง 21 ปี น้ำหนัก 51 กิโลกรัม ถึง 64 กิโลกรัม ความสูง 160 เซ็นติเมตร ถึง 177 เซ็นติเมตร จำนวน 15 คน จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พลศึกษา เหตุผลในการเลือกผู้ถูกทดสอบนี้คือผู้วิจัยสามารถทราบถึงความแข็งแรงสมบูรณ์ เพราะได้ผ่านการทดสอบสมรรถภาพก่อนที่จะเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยแห่งนี้ สะดวกในการจะติดต่อเพื่อทำการทดลอง เนื่องจากอยู่ใกล้กับศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา

2. ในการวิจัยนี้กระทำการทดลองในสภาพแวดล้อมต่างกันคือที่อุณหภูมิ 20°ซ 25°ซ 30°ซ 35°ซ และ 40°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน (70 ± 10 %)

3. ในการทดสอบสมรรถภาพสูงสุดในการจับออกซิเจน ใช้วิธีการของ-ออสตรานด์ [32] (Astrand)

---

32 Astrand, loc.cit.

4. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเป็นของศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา องค์การส่งเสริมกีฬาแห่งประเทศไทย

5. การทดลอง ผู้ถูกทดลองจะต้องเข้ารับการทดลองคนละ 5 ครั้งในห้องชีวอากาศวิทยาที่ปรับอุณหภูมิและความชื้นตามต้องการดังกล่าว ทั้งนี้ในวันหนึ่ง ผู้ถูกทดลองแต่ละคนทำการทดลองได้ในอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งเท่านั้น และกระทำในระหว่างช่วงเวลาเดิมทุกครั้ง.

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย

1. การเลือกผู้ถูกทดลอง โดยการสุ่มตัวอย่างจากนิสิตชายปีที่ 1 และปีที่ 2 ซึ่งได้รับการฝึกฝนมาน้อย ไม่เป็นนักกีฬา น้ำหนัก ส่วนสูงใกล้เคียงกัน อายุ 18 ปี ถึง 21 ปี

2. ทำการทดสอบขั้นต้น (Pre-test) เพื่อหาปริมาณงานที่เหมาะสมในการถีบจักรยานวัดงาน และการทำงานของแต่ละคนในการทดลองแต่ละครั้ง ปริมาณงานต้องเท่าเดิม

3. ทำการทดลองในห้องชีวอากาศวิทยา ซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิ และความชื้นได้

4. การตรวจนับอัตราการเต้นของชีพจรในขณะพักก่อนการทดลองทุกคน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเป็นอัตราการเต้นชีพจรของคนปกติ.

ความไม่สมบูรณ์ของการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองติดต่อกันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผู้เข้าทดสอบอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสุขภาพ การรับประทานอาหาร การพักผ่อน และอารมณ์ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจมีผลต่อการทดลองทั้งสิ้น และอาจจะทำให้ผลที่ได้จากการทดลองคลาดเคลื่อน สิ่งเหล่านี้ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมได้

2. ระหว่างการทดสอบ 12 สัปดาห์ ผู้ทดสอบแต่ละคนที่ได้คัดเลือกไว้อาจจะไปร่วมกิจกรรมอื่น ๆ บ้าง ผู้วิจัยไม่สามารถจะควบคุมได้ เป็นเหตุทำให้อัตราการเต้นของชีพจร และสมรรถภาพทางการงานเปลี่ยนแปลงไป.

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. การศึกษาเรื่องนี้จะช่วยให้ความกระจ่างในอุณหภูมิอากาศต่างกัน เพิ่มเติมจากที่มีผู้เคยทำการวิจัยมาแล้วในประเทศไทย

2. ผลจากการวิจัยจะทำให้ทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการออกกำลัง

3. จะทำให้ทราบถึงอุณหภูมิวิกฤติ (Critical temperature) ที่ทำให้สมรรถภาพทางการงานลดลง

4. จะสามารถเปรียบเทียบผลของการถีบจักรยานวัดงานที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันได้

5. จะเป็นประโยชน์ต่อวงการกีฬาของประเทศไทย ในการจัดและเลือกเวลาฝึกซ้อมเพื่อให้ร่างกายสามารถทำงานได้อย่างเต็มความสามารถ.

เครื่องมือในการวิจัย

1. จักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer) หมายถึงจักรยานที่ใช้ถีบอยู่กับที่ โดยมีน้ำหนักถ่วงให้ฝืดด้วยสายพานรอบล้อ ใช้สำหรับการออกกำลังเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบหายใจและการไหลเวียนโลหิต และคำนวณปริมาณงานที่ทำได้

2. นาฬิกาจับเวลา (Stop watch) 1 เรือน สำหรับดูเวลา ในระหว่างทดสอบ

3. นาฬิกาจับเวลาที่จับเวลาได้แม่นยำถึง $\frac{1}{10}$ วินาที 1 เรือน สำหรับนับการเต้นของหัวใจ

4. เครื่องฟังตรวจ (Stethoscope) สำหรับนับการเต้นของหัวใจ

5. เครื่องให้จังหวะ (Metronome) ตั้งไว้ 100 ครั้งต่อนาที หรือ 50 รอบกระไดจักรยานต่อนาที เพื่อให้จังหวะในการถีบจักรยานสม่ำเสมอตลอดการออกกำลัง และให้ได้งานตามที่กำหนด

6. เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เป็นแบบเทอร์โมมิเตอร์ตุ้มเปียก และตุ้มแห้ง เพื่อนำค่าของทั้งสองชนิดที่อ่านได้เทียบหาความชื้นสัมพัทธ์ขณะทดลอง

7. เครื่องชั่งน้ำหนักตัวและวัดส่วนสูง แบบดีเทคโท (Detecto) ซึ่งใช้ชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงได้พร้อมกัน

8. ห้องชีวอากาศวิทยา (Climate chamber) เป็นห้องที่สามารถปรับอุณหภูมิและความชื้นได้ตามต้องการ.

คำจำกัดความในการวิจัย

1. ภาวะคงตัว (Steady state)

หมายถึง ระยะเวลาที่ออกกำลังคงที่ การจับออกซิเจนคงที่ การใช้ออกซิเจนคงที่ ความต้องการออกซิเจนของร่างกายคงที่ และหนี้ออกซิเจนคงที่ด้วย ซึ่งตรวจทราบได้ด้วยการนับอัตราการเต้นของชีพจรขณะออกกำลังกาย.

2. ปริมาณงาน (Work load)

หมายถึง ความหนัก (Intensity) ของงานคิดเป็นกิโลปอนด์ (Kps) และกิโลกรัมเมตรต่อนาที สำหรับจักรยานโมนาร์กที่ใช้น้ำหนักถ่วง 1 กิโลปอนด์ ทำให้ได้งานเท่ากับ 300 กิโลกรัมเมตรต่อนาที โดยถีบให้ล้อหมุน 50 รอบต่อนาที.

1 กิโลปอนด์ = แรงที่กระทำต่อมวลหนัก 1 กิโลกรัม ที่ความเร่งปกติของแรงดึงดูดของโลก (Acceleration of Gravity).

3. สมรรถภาพการรับออกซิเจนสูงสุด
(Maximum Oxygen Uptake or Intake Capacity)

หมายถึง ความสามารถของร่างกายที่จะรับออกซิเจนเพื่อไปใช้ได้พอเพียง ในระหว่างการออกกำลังอย่างเต็มที่.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย