

การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย
ที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
พฤษภาคม 2552

การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย
ที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

พฤษภาคม 2552

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย
ที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
พฤษภาคม 2552

นายพนนธ์ กุลกิติเกษ. (2552). การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจน
เบาบาง.ปริญญาโท วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์ ดร.คุณัตว์ พิภพชัยกุล,
อาจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานของร่างกายหลัง
การออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและออกซิเจนปกติ กลุ่ม
ตัวอย่างเป็นนิสิตชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
จำนวน 12 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบหาความสามารถใน
การใช้ออกซิเจนสูงสุด และทำการออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คือ โปรแกรมการ
ออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและโปรแกรมการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ
นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบค่าทีและวิเคราะห์ความ
แปรปรวนแบบวัดซ้ำและเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี ผลการวิจัย
สรุปได้ดังนี้

1. การใช้พลังงานของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและกลุ่มออกกำลังกาย
ที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในช่วงหลังการ
ออกกำลังกายทันที, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง

2. การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางมีค่าน้อยกว่าหลัง
การออกกำลังกายทันที หลังการออกกำลังกาย 3 และ 6 ชั่วโมง ยกเว้นภายหลังการออกกำลังกาย
24 ชั่วโมงที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน การใช้พลังงานหลังออกกำลังกายทันทีที่มีค่าการใช้
พลังงานมากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมง ยกเว้นภายหลังการออกกำลังกาย 3
ชั่วโมงที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน ส่วนการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง
มีค่ามากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง แต่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกับภายหลัง
การออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง และการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงมีค่ามีค่า
มากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง

3. การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติมีค่าน้อยกว่าหลังการ
ออกกำลังกายทันทีและหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง ยกเว้นภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ
24 ชั่วโมง ที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน การใช้พลังงานหลังออกกำลังกายทันทีที่มีค่าการใช้
พลังงานมากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมงยกเว้นหลังการออกกำลังกาย 3
ชั่วโมงที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน ส่วนการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง
มีค่ามากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมง และการใช้พลังงานภายหลังการออก
กำลังกาย 6 ชั่วโมงมีค่าไม่แตกต่างกับภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง

สรุปได้ว่า การออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางมีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายหลังการออกกำลังกายทันที, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกับการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ แต่ถึงอย่างไรการออกกำลังกายทั้งสองแบบนี้ก็ยังส่งผลดีต่อสุขภาพ



ENERGY EXPENDITURE AFTER EXERCISE AT NORMOBARIC HYPOXIC



Presented in partial fulfillment of the requirements for the
Master of Science degree in Sports Science
at Srinakharinwirot University
May 2009

Naphon Koolkitikat. (2008). *Energy Expenditure after Exercise at Normobaric Hypoxic*.

Master Thesis, M.Sc. (Sport science). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Kunat Pithapornchaikul, Ph.d.

Thanormsak Sanakam, Ms.D.

The aim of this thesis was to study and compare the energy expenditure value at post-exercise between exercise at low and normal oxygen levels. Subjects were 12 male students from sports science of department at physical education of faculty at Srinakharinwirot University. The subjects were selected by using purposive random sampling technique. The subjects were tested to obtain maximal oxygen consumption and performed exercise which is according to exercise programs. The exercise programs are the exercise program at low oxygen level and the exercise program at normal oxygen level. Data from the tests were analyzed as mean, standard deviation, t-test, one-way ANOVA with repeated measure and multiple comparisons with Bonferroni test.

Results showed as following

1. The mean of energy expenditure at rest before exercise, immediately post-exercise, 3, 6, and 24 hr post-exercise of both groups were not significant difference.

2. At low oxygen level, the value of energy expenditure at pre-exercise was lower than the value at immediately post-exercise, 3, and 6 hr post-exercise. The value of energy expenditure at 24 hr post-exercise was not difference from the value at pre-exercise. The value of energy expenditure at immediately post-exercise was higher than the value at 6 and 24 hr post-exercise. The value of energy expenditure at immediately post-exercise was not different when compare with the value at 3 hr post-exercise. The value of energy expenditure at 3 hr post-exercise was higher than the value at 24 hr post-exercise but was not difference when compared with 6 hr post-exercise. The value of energy expenditure at 6 hr post-exercise was higher than the value at 24 hr post-exercise.

3. At normal oxygen level, the value of energy expenditure at pre-exercise was lower than the value at immediately post-exercise, 3 hr post-exercise. The value of energy expenditure at 6 and 24 hr post-exercise was not difference from the value at pre-exercise. The value of energy expenditure at immediately post-exercise was higher than the value at 6 and 24 hr post-exercise. The value of energy expenditure at immediately post-exercise

was not difference when compare to the value at 3 hr post-exercise. The value of energy expenditure at 3 hr post-exercise was higher than the value at 6 and 24 hr post-exercise. The value of energy expenditure at 6 hr post-exercise was not difference when compare to the value at 24 hr post-exercise.

Conclusion, energy expenditure at immediately post-exercise, 3, 6, and 24 hr post-exercise values between exercise at low and normal oxygen level were not difference.



ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความเมตตากรุณาอย่างดียิ่ง จากอาจารย์ ดร.คุณัตว์ พิธพรชัยกุล ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์และอาจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ กรรมการที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดียิ่ง จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง สมบูรณ์และมีคุณค่าทางวิชาการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณยิ่งแก่ท่านคณาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านผู้ซึ่งให้ความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ขอขอบคุณนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่สละเวลาเพื่อเข้าร่วมกลุ่มตัวอย่างในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอเทอญพระคุณ คุณพ่อสมเกียรติ กุลกิติเกษ คุณแม่บุญนะ กุลกิติเกษ ตลอดจนน้องชาย ญาติพี่น้อง เพื่อนๆ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ช่วยให้กำลังใจและให้คำปรึกษา ซึ่งเป็นแรงบัลดาลใจให้ผู้วิจัยฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้อย่างดี จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยมีความรู้สึกซาบซึ้งในน้ำใจและความกรุณาของทุกท่านเป็นอย่างสูงยิ่ง

นภนต์ กุลกิติเกษ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
หลักการออกกำลังกาย.....	7
ความหมายของการออกกำลังกาย.....	7
ขั้นตอนในการออกกำลังกาย.....	8
ประโยชน์ของการออกกำลังกาย.....	9
ประโยชน์ของการออกกำลังกายที่มีต่อร่างกาย.....	9
การออกกำลังกายในที่สูง.....	11
การปรับตัวเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูง.....	11
ผลของการออกกำลังกายในที่สูง.....	12
เมตะบอลิซึมของร่างกาย.....	13
อัตราของเมตะบอลิซึม.....	13
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราเมตะบอลิซึม.....	14
กระบวนการสร้างพลังงาน.....	16
ระบบพลังงาน.....	19
การวัดพลังงานของร่างกาย.....	25
ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย.....	28
การทำหน้าที่ของระบบหายใจ.....	29
การระบายอากาศในสภาวะต่างๆ.....	29
การแลกเปลี่ยนก๊าซขณะออกกำลังกาย.....	31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	33
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	33
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	34
การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	36
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	37
ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง.....	38
ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับ กลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ.....	38
ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน ในช่วงเวลาที่ต่างกัน ของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณ ออกซิเจนเบาบางและกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ.....	40
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	45
สังเขปความมุ่งหมาย สมมุติฐาน วิธีการทดลอง และสรุปผลการทดลอง.....	45
อภิปรายผล.....	47
ข้อเสนอแนะ.....	50
ข้อแนะนำสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป.....	50
บรรณานุกรม.....	51

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	55
ภาคผนวก ก.....	56
แบบทดสอบความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด.....	57
แบบทดสอบหาค่าความหนักของงานในการปั่น	
จักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$	58
ภาคผนวก ข.....	59
โปรแกรมการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง.....	60
โปรแกรมการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ.....	61
ภาคผนวก ค.....	62
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	63
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	69

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มตัวอย่าง.....	38
2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ของ กลุ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่ม การออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ.....	39
3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่ม ของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางในช่วงเวลาต่างกัน.....	41
4 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่ม ของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางในช่วงเวลาต่างกัน.....	42
5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่ม ของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติในช่วงเวลาต่างกัน.....	43
6 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่ม ของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติในช่วงเวลาต่างกัน.....	44

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การออกกำลังกายคือ การประกอบกิจกรรมใดๆ ที่ทำให้ร่างกายหรือส่วนต่างๆ ของร่างกายเกิดการเคลื่อนไหว และมีผลให้ระบบต่างๆ ของร่างกายเกิดความสมบูรณ์ แข็งแรงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การออกกำลังกายเป็นความจำเป็นพื้นฐานสำหรับมนุษย์ มนุษย์จะดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างสมบูรณ์ จะต้องมีการเคลื่อนไหวเป็นประจำและพอเพียง ประเภทของการออกกำลังกายแบ่งได้เป็น 7 ประเภท การบริหารด้วยมือเปล่า (Calisthenics Exercise) การบริหารแบบยืดเหยียด (Stretching Exercise) การออกกำลังกายแบบไอโซเมตริก (Isometric Exercise) การออกกำลังกายแบบไอโซโทนิค (Isotonic) การออกกำลังกายแบบไอโซคิเนติก (Isokinetic Exercise) การออกกำลังกายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Exercise) การออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Exercise)(ม้นส ยอดคำ: 2548) ความมุ่งหมายของการออกกำลังกายเพื่อให้เกิดความเหนื่อย เพราะความเหนื่อยจะส่งผลทำให้ไมโทคอนเดรียของทุกเซลล์ในร่างกายเผาไหม้ดีขึ้นด้วยสาเหตุที่เราใช้อัตราการหายใจที่เพิ่มมากขึ้นก็จะพาออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย ซึ่งก็คือการได้รับออกซิเจนเข้าสู่เซลล์มากกว่าปกติ และในขณะเดียวกันยังช่วยส่งเสริมให้ร่างกายเผาผลาญอาหารอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และยิ่งไปกว่านั้นแม้เมื่อหยุดออกกำลังกายจนหายเหนื่อยแล้ว ร่างกายก็อาจยังรักษาระดับอัตราการเผาผลาญอาหารดังเดิมต่อไปหรืออาจยาวนานถึง 15 ชั่วโมง

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพนั้นควรออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Exercise) จะเป็นลักษณะที่มีการหายใจเข้าและหายใจออกในระหว่างที่มีการเคลื่อนไหว เช่น เดิน วิ่ง กระโดด เชือก แอโรบิกแดนซ์ รำมวยจีน ขี่จักรยาน ซึ่งการออกกำลังกายนี้เป็นที่นิยมกันมากในหมู่ของนักออกกำลังกายและเป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์การกีฬา ตลอดจนในวงการแพทย์ เพราะการออกกำลังกายแบบนี้จะสามารถป้องกันถึงสมรรถภาพทางกายของบุคคลนั้นๆ ได้เป็นอย่างดี และยังทำให้ร่างกายได้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก การออกกำลังกายนานๆ พลังงานที่สูญเสียไปก็มากเป็นผลทำให้ไขมันที่สะสมในร่างกายลดน้อยลง (ปรีดา สุทธิวิวัฒน์; และ เสริฐ สุกฤษณ์พัฒน์: 2547) สอดคล้องกับ (สนรยา สีละมาต: 2547) ได้กล่าวไว้ว่า การออกกำลังกายสามารถเพิ่มจำนวนหลอดเลือดแดงฝอยและการไหลเวียนภายในกล้ามเนื้อให้เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้จะป็นผลให้มีการแลกเปลี่ยนสารอาหารและออกซิเจนสำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหารขณะออกกำลังกายเพิ่มขึ้น และความสามารถในการเผาผลาญไขมันเพิ่มขึ้นมากกว่าบุคคลทั่วไป ซึ่งจะเป็นผลให้ร่างกายใช้ไขมันมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยพัฒนาระบบการทำงานของร่างกายที่สร้างปัญหาต่อสุขภาพให้กับคนได้ดีที่สุด นั่นคือระบบไหลเวียนเลือดและระบบหายใจ ส่วนระบบอื่นก็จะมีการพัฒนาตามไปด้วย แต่จะพัฒนาไปมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับประเภทและลักษณะของกิจกรรมที่ใช้ กิจกรรมการออกกำลังกายแบบ

ใช้ออกซิเจน ควรเป็นกิจกรรมที่ไม่ต้องอาศัยทักษะ ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ และไม่มีข้อจำกัดในเรื่องสถานที่ (มนัส ยอดคำ: 2548)

ตามหลักเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์กลไกการทำงานที่จะสนับสนุนการลดน้ำหนักก็คือ การฝึกที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง 2 แบบ หลักเกณฑ์ที่สนับสนุนผลของการสร้างรูปแบบการฝึกที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางที่มีผลต่อสมรรถภาพของร่างกาย จะวัดจากความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือด โดยทั่วไปของการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางหรือ การฝึกหนักสลับเบาที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง มีผลทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือด ลดลงเหลือ 80-85% เมื่อเทียบกับการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ผลของการขาดออกซิเจนที่เกิดจากการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางนี้ มีผลกับร่างกายโดยจะส่งผลให้กล้ามเนื้อ กระดูก จะกลับไปสู่การใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน สำหรับการสร้างพลังงาน ด้วยเหตุนี้ ร่างกายจะมีการเผาผลาญ แคลอรี (Calories) จากที่เก็บไขมันเพื่อใช้ในการสร้างพลังงานระหว่างการออกกำลังกาย จากผลของการศึกษานี้ เส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibrils) จะมีความเสียหายเพิ่มมากขึ้น มีการฉีกขาดหลังจากการออกกำลังกาย ร่างกายจะมีการเผาผลาญ พลังงาน (Calories) เพิ่มมากขึ้นหลังจากออกกำลังกาย และจะมีการสร้างขึ้นใหม่และเสริมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เพื่อช่วยป้องกันสำหรับการออกกำลังกายในครั้งต่อไปและการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางยังแสดงให้เห็นถึงการเผาผลาญ แคลอรี (Calories) ทุกๆ 3 ชั่วโมง เช่นเดียวกับการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติและยังมีการเผาผลาญต่อไปถึง 15 ชั่วโมง หลังจากออกกำลังกาย

ข้อดีของการฝึกที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางเพื่อการลดน้ำหนักคือการใช้เวลาน้อยลง กว่า การออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติเมื่อปฏิบัติที่ความหนักระดับกลาง ที่มากกว่านั้น โปรแกรม การฝึกแบบมีช่วงพักที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางสามารถช่วยเพิ่มการใช้พลังงานในช่วงพักผ่อน ข้อได้เปรียบของ โปรแกรมการฝึกที่ออกซิเจนเบาบางสำหรับการลดน้ำหนัก ผลที่ได้รับตามมาคือ เพิ่มอัตราเผาผลาญไขมัน, ลดความดันเลือดและโรคความดันสูง (Hypoxic Altitude Training. 2007: Online) ซึ่งสอดคล้องกับคิงไฮ และ คณะ (Qinghai, et.al. 2007: Online) ได้ทำการศึกษาการลดน้ำหนักที่ระดับความสูงกว่าระดับน้ำทะเลและอาจนำไปประยุกต์ใช้ในคนที่ เป็นโรคอ้วนพบว่าคนที่อยู่บนที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลจะมีค่าดัชนีมวลกายที่ดีกว่าคนที่อยู่เท่ากับระดับน้ำทะเล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคนที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลจะมีการใช้พลังงานที่มากกว่าคนที่อยู่ระดับเดียวกับน้ำทะเล

จากบทความและงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นถึงอัตราการใช้พลังงานของร่างกายที่เป็นผล มาจากการออกกำลังกายในสภาพอากาศที่ต่างกันและมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถเพิ่มรูปแบบใน การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มอัตราการใช้พลังงานที่มากขึ้น เพื่อให้มีความแปลกใหม่และได้ผลเร็วและ ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายที่ ปริมาณออกซิเจนเบาบางที่ความดันปกติ เพื่อเป็นแนวทางในพัฒนาโปรแกรมการออกกำลังกายใน รูปแบบใหม่และเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ความมุ่งหมายของการศึกษา

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานของร่างกายหลังออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติและปริมาณออกซิเจนเบาบาง

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. ทำให้ทราบถึงอัตราการใช้พลังงานของร่างกายหลังออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติและปริมาณออกซิเจนเบาบาง
2. ทำให้ทราบความแตกต่างของอัตราการใช้พลังงานของร่างกายหลังออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติและปริมาณออกซิเจนเบาบาง
3. ผลการศึกษาค้นคว้าสามารถเป็นแนวทางในการเพิ่มการใช้พลังงานของร่างกายเป็นทางเลือกในผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก

ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมเรื่องอาหาร การพักผ่อน การเรียนวิชาปฏิบัติทางพลศึกษา และการดำรงชีวิตประจำวันก่อนการเข้าโปรแกรมการออกกำลังกายของผู้เข้ารับการทดลอง

ขอบเขตของการศึกษา

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นนิสิตชาย คณะพลศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์

การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จำนวน 120 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นนิสิตชายคณะพลศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จำนวน 12 คน อายุอยู่ในช่วง 18-21 ปีได้มาจากการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Random Sampling) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ถูกคัดเลือกจะต้องผ่านเกณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. มีการออกกำลังกายเป็นประจำเฉลี่ยอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์
2. ไม่มีข้อห้ามทางการแพทย์ที่จะเป็นอุปสรรคในการออกกำลังกาย โดยใช้แบบสอบถาม PAR-Q ปรับปรุงจาก ACSM's (2004)

3. กลุ่มตัวอย่างจะต้องกรอกข้อมูลและลงนามรับรองในหนังสือแสดงความยินยอม (Inform Consent) ก่อนเข้าร่วมการทดลอง

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ โปรแกรมการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติและปริมาณออกซิเจนเบาบาง

ตัวแปรตาม คือ อัตราการใช้พลังงานของร่างกายภายหลังการออกกำลังกาย

ตัวแปรควบคุม คือ ปริมาณออกซิเจนที่ในขณะออกกำลังกายและความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$ เป็นเวลา 30 นาที

นิยามศัพท์เฉพาะ

การออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง หมายถึง การออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนประมาณ 16% โดยการทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการที่มีระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเล 110 เมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ 750 มิลลิเมตรปรอท

การออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ หมายถึง การออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนประมาณ 21% โดยการทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการที่มีระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเล 110 เมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ 750 มิลลิเมตรปรอท

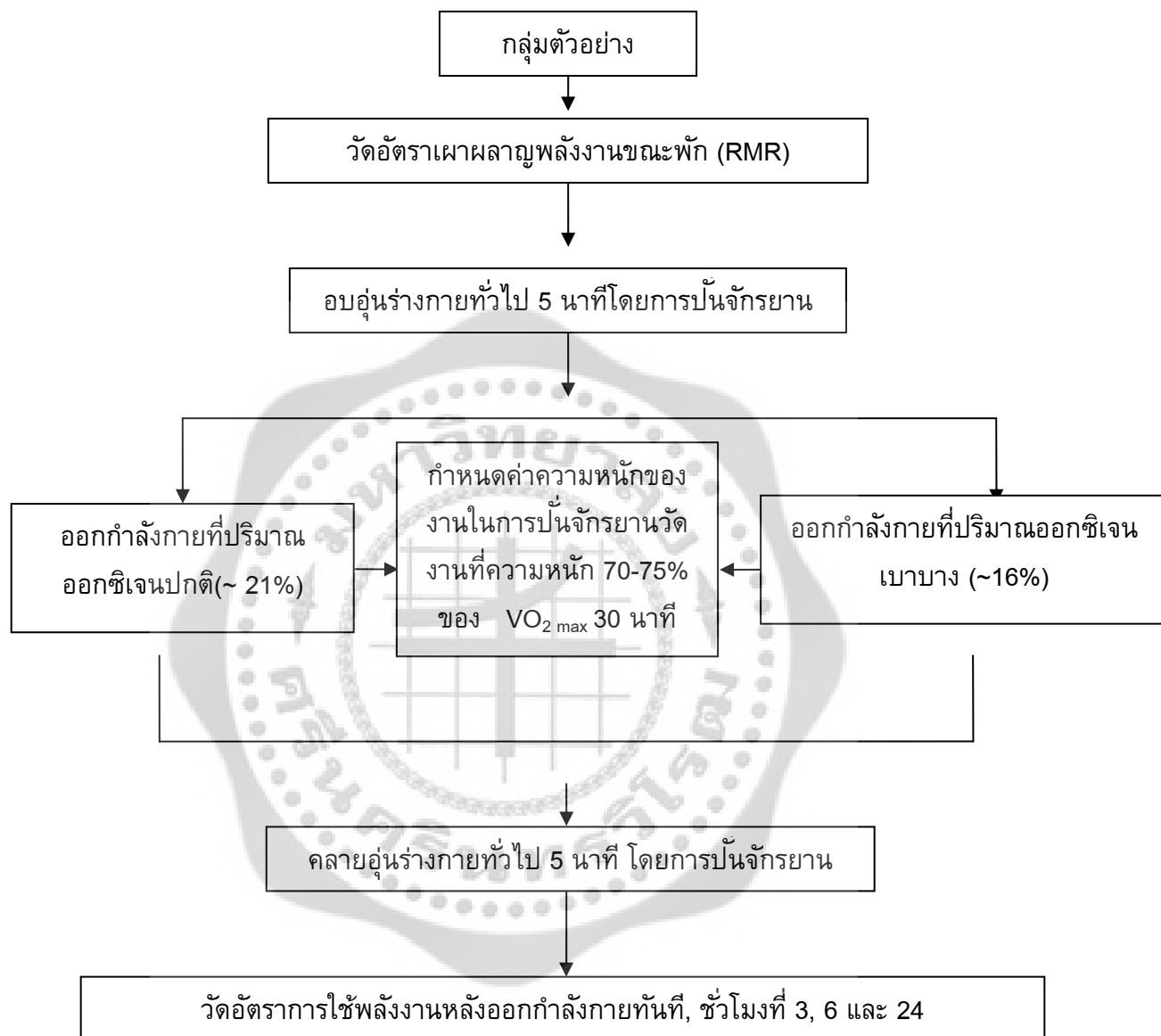
คิดจากสูตรความดันย่อย $P_{O_2} = 0.16 (P_B - 47)$ ไมเคิล และคณะ (Michael, et.al: 2000)
 P_B = ระดับความดันในบริเวณที่อาศัยอยู่

การใช้พลังงาน หมายถึง การใช้พลังงานของร่างกายในขณะออกกำลังกายและภายหลังการออกกำลังกาย ทำการวัดอัตราการใช้พลังงานแบบทางอ้อม (Indirect Calorimetry) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) ภายในห้องปฏิบัติการที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 110 เมตร อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 750 มิลลิเมตรปรอท มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อนาที

การวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพัก (Resting Metabolic Measurement: RMR) หมายถึง การวัดพลังงานต่ำที่สุดในการที่จะรักษากระบวนการทางสรีรวิทยาพื้นฐานของร่างกาย ภายในห้องปฏิบัติการที่มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 110 เมตร ที่ความดันบรรยากาศ 750 มิลลิเมตรปรอท มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อนาที

$VO_{2\max}$ หมายถึง ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายทดสอบหาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Measurement of $VO_{2\max}$) โดยวิธีของการของแลมป์ (Ramp protocol)

กรอบแนวความคิดในการวิจัย



สมมุติฐานในการวิจัย

1. การใช้พลังงานในช่วงหลังออกกำลังกายทันที, 3, 6 และ 24 ชั่วโมงที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติแตกต่างกัน
2. การใช้พลังงานในช่วงก่อนและหลังการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางแตกต่างกัน
3. การใช้พลังงานในช่วงก่อนและหลังการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติแตกต่างกัน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

การออกกำลังกาย

- ความหมายของการออกกำลังกาย
- ขั้นตอนในการออกกำลังกาย
- ประโยชน์ของการออกกำลังกายที่มีต่อร่างกาย

การออกกำลังกายในที่สูง

- การปรับตัวเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูง
- ผลของการออกกำลังกายในที่สูงที่มีต่อร่างกาย

เมตาบอลิซึมของร่างกาย

- อัตราของเมตาบอลิซึม
- ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราเมตาบอลิซึม
- กระบวนการสร้างพลังงาน
- ระบบพลังงาน
- การวัดพลังงานของร่างกาย

ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย

- การทำหน้าที่ของระบบหายใจ
- การระบายอากาศในสภาวะต่างๆ
- การแลกเปลี่ยนก๊าซขณะออกกำลังกาย

การออกกำลังกาย

ความหมายของการออกกำลังกาย

มนัส ยอดคำ.(2548) ได้กล่าวไว้ว่า การออกกำลังกาย หมายถึง การประกอบกิจกรรมใดๆ ที่ทำให้ร่างกายหรือส่วนต่างๆ ของร่างกายเกิดการเคลื่อนไหว และมีผลให้ระบบต่างๆ ของร่างกายเกิดความสมบูรณ์ แข็งแรงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การออกกำลังกายเป็นความจำเป็นพื้นฐานสำหรับมนุษย์ มนุษย์จะดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างสมบูรณ์ จะต้องมีการเคลื่อนไหวเป็นประจำและพอเพียงสอดคล้องกับ (พิชิต ภูติจันทร์: 2547) ยังได้ให้ความหมายของการออกกำลังกาย คือการทำงานของกล้ามเนื้อลาย เพื่อให้ร่างกายมีการเคลื่อนไหวตามความมุ่งหมาย โดยมีการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกาย ช่วยสนับสนุนส่งเสริมให้การออกกำลังกายมีประสิทธิภาพและคงอยู่ได้ การออกกำลังกาย อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การออกกำลังกายแบบเฉียบพลัน

เป็นการออกกำลังกายเพียงครั้งเดียว (ผลเฉียบพลัน) และการออกกำลังกายทุกวันหรือเป็นเดือน โดยกระทำซ้ำๆกัน (ผลการฝึก) สิ่งสำคัญที่จะต้องจดจำก็คือการเปลี่ยนแปลงทางหน้าที่ที่เกิดขึ้นจากการฝึก อาจไม่จำเป็นต้องเกิดจากการออกกำลังกายเพียงครั้งเดียว

การตอบสนอง จะเกิดขึ้นในทันทีที่ออกกำลังกาย เป็นการเปลี่ยนแปลงทางหน้าที่ชั่วคราว หรือช่วงสั้นๆ ภายหลังการออกกำลังกายได้สิ้นสุดลง ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจที่เพิ่มขึ้น ความดันเลือดสูงขึ้น เพิ่มอัตราการหายใจ

การปรับตัว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง หรือหน้าที่ได้มากหรือน้อยภายหลังการฝึก การปรับตัวนี้จะไม่เห็นในทันทีทันใด จะต้องใช้เวลาฝึกไม่น้อยกว่า 1 สัปดาห์ ได้แก่ หัวใจสูบฉีดเลือดได้มากขึ้น กล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่โตขึ้นและนอกจากนั้นการออกกำลังกายยังสามารถช่วยชะลอการเสื่อมโทรมต่ออวัยวะต่างๆ ของร่างกายได้ แต่ทั้งนี้การออกกำลังกายนั้น จะต้องปฏิบัติให้เป็นไปอย่างถูกต้อง และเหมาะสมกับสภาพร่างกายของแต่ละบุคคล มิฉะนั้นอาจก่อให้เกิดโทษมากกว่าประโยชน์ที่ร่างกายจะได้รับ (บรรเทิง เกิดปรางค์: 2541)

กล่าวคือการออกกำลังกาย หมายถึง กิจกรรมการเคลื่อนไหวใดๆ ที่ส่งผลให้ร่างกายเกิดความแข็งแรงสมบูรณ์ตลอดจนช่วยชะลอความเสื่อมโทรมของอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย

ขั้นตอนในการออกกำลังกาย

เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะออกกำลังกายหรือหลังการออกกำลังกาย ผู้ออกกำลังกายควรปฏิบัติตามขั้นตอนของการออกกำลังกาย ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การยืดเหยียดกล้ามเนื้ออยู่กับที่ (Static stretching) คือ การยืดกล้ามเนื้อออกไปยังตำแหน่งที่ไกลที่สุดแล้วค้างไว้อยู่กับที่ เช่น นั่งเหยียดขาแก้มศีรษะค้างไว้จนกระทั่งรู้สึกตึงบริเวณข้อพับขาทั้งสองข้าง ฯลฯ ใช้เวลาในระหว่างนี้ประมาณ 5 นาที (สนธยา สีละมาต: 2547)

2. การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) การอบอุ่นร่างกายมีวัตถุประสงค์เพื่อ การเตรียมอวัยวะระบบต่าง ๆ ของร่างกายให้พร้อมที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular system) ระบบหายใจ (Respiratory system) และระบบไหลเวียนเลือด (Circulatory system) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องและควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย อีกทั้งยังมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของร่างกายด้วย (เจริญ กระบวนรัตน์; 2548)

3. การออกกำลังกาย (Exercise activities) สำหรับการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพควรใช้เวลาอย่างน้อย 20 นาที และไม่ควรเกิน 1 ชั่วโมง ซึ่งควรเป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิค (Aerobic exercise) คือ ต้องเป็นการออกกำลังกายที่กระตุ้นการหายใจและการไหลเวียนโลหิตให้ทำงานมากกว่า 50% ของสมรรถภาพสูงสุด และไม่ควรเกิน 90% ของความสามารถสูงสุดควรจัดการออกกำลังกายให้มีความหนักอยู่ระหว่าง 60-80% ของความสามารถสูงสุด

4. การลดภาวะร่างกาย (Cool down) คือ การทำให้ร่างกายค่อย ๆ ลดความเข้มข้นของการออกกำลังกายลงทีละน้อยอย่างค่อยเป็นค่อยไปตามลำดับ ภายหลังจากการออกกำลังกาย ควรใช้เวลาในการลดภาวะร่างกายพอ ๆ กับการอบอุ่นร่างกาย คือ อย่างน้อย 10 นาที รวมทั้งการยืดเหยียดกล้ามเนื้อด้วย

ประโยชน์ของการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายถ้าปฏิบัติอย่างถูกต้องและเหมาะสมจะเป็นได้ทั้งยาป้องกันโรคและยารักษาโรคไปในตัว การออกกำลังกายนั้นมีคุณค่าและประโยชน์มากมาย (มนัส ยอดคำ: 2548) สอดคล้องกับ (ปรีดา สุทธิวิวัฒน์ และ เสริฐ สุกฤษณ์พัฒน์: 2547) กล่าวถึง การออกกำลังกายอย่างเป็นประจำ จะมีประโยชน์ต่อร่างกายสรุปได้ดังนี้

1. การออกกำลังกายเป็นประจำช่วยให้หัวใจและระบบต่าง ๆ ของร่างกาย ทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นผลให้ร่างกายสมบูรณ์ แข็งแรง อดทน มีบุคลิกภาพที่ดี
2. กล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรง เป็นผลให้การสูบฉีดเลือดดีขึ้น โดยมีปริมาณเลือดที่สูบฉีดแต่ละครั้งมากขึ้น เพื่อนำเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ในขณะที่ปฏิบัติกิจกรรมการออกกำลังกาย
3. ระบบไหลเวียนเลือดดีขึ้น เป็นการเพิ่มปริมาณของเลือดให้แก่ร่างกาย ช่วยปรับปรุงให้หลอดเลือดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ
4. เซลล์กล้ามเนื้อ การสันดาปที่ระดับเซลล์กล้ามเนื้อดีขึ้น ทำให้ไขมันสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว มีการสะสมของคาร์โบไฮเดรต (ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อและตับ) ทำให้สามารถประกอบกิจกรรมการออกกำลังกายได้นานขึ้นโดยไม่รู้สึกเมื่อยล้า อีกทั้งน้ำย่อยที่ช่วยในการเผาผลาญไขมันจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฮอร์โมนต่าง ๆ จะสามารถปรับตัวได้ดีขึ้น
5. การออกกำลังกายเพียงพอ ช่วยเพิ่มระดับไขมันชนิดดีที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Lipoprotein: HDL) ซึ่งไขมันชนิดดีเป็นไขมันที่มีประโยชน์ในการกำจัดตะกอนไขมันที่สะสมที่ผนังด้านในของหลอดเลือด นอกจากนี้การออกกำลังกายยังช่วยลดระดับไขมันโคเลสเตอรอลและไขมันชนิดเลวที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Lipoprotein: LDL) ซึ่งทั้งสองเป็นไขมันที่สะสมบริเวณผนังหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดหัวใจอุดตัน ดังนั้นการออกกำลังกายจึงช่วยเสริมการรักษาผู้ที่ระดับไขมันในเลือดสูงผิดปกติให้ได้ผลดียิ่งขึ้น

ประโยชน์ของการออกกำลังกายที่มีต่อร่างกาย

มงคล แวนโรสง.(2546) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการออกกำลังกายที่มีต่อร่างกายสรุปได้ดังนี้

- ช่วยให้ทรงตัวและบุคลิกภาพสง่างาม สมดุล การทำงานของระบบต่าง ๆ ของร่างกายประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- ช่วยในการดำรงชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่างมีความสุขไม่เจ็บป่วย
- ช่วยในการพัฒนาทักษะของระบบกล้ามเนื้อและระบบประสาท
- ช่วยรักษาน้ำหนักและทรวดทรงให้สมบูรณ์
- กล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรง เป็นผลให้การสูบฉีดเลือดดีขึ้น โดยมีปริมาณเลือดที่สูบฉีดแต่ละครั้งมากขึ้น เพื่อนำไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย ขณะที่ปฏิบัติกิจกรรมการออกกำลังกาย ขณะที่กล้ามเนื้อหดตัวคลายตัว อีกทั้งหลอดเลือดดำจะนำเลือดกลับไปสู่หัวใจดีขึ้น
- ระบบไหลเวียนเลือดดีขึ้น การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ เป็นการเพิ่มปริมาตรของเลือดให้แก่ร่างกาย ช่วยปรับปรุงให้หลอดเลือดทำงานต่อไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- ปอด อากาศในปอดมีมากขึ้น เนื่องจากกล้ามเนื้อช่วยในการขยายกระบังลมทำงานได้ดีขึ้น การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดีขึ้น
- เซลล์กล้ามเนื้อ การสันดาปที่ระดับเซลล์กล้ามเนื้อดีขึ้น ทำให้ไขมันสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว มีการสะสมคาร์โบไฮเดรต (ไกลโคเจน ในการเนื้อและในตับ) ทำให้สามารถประกอบกิจกรรมการออกกำลังกายได้เป็นเวลานานขึ้น โดยไม่รู้สึกเหนื่อยเมื่อยล้า เพราะโดยปกติแล้วไกลโคเจนในกล้ามเนื้อถูกใช้หมด ขณะที่ออกกำลังกาย และระดับน้ำตาลลดลง จะทำให้รู้สึกเมื่อยล้า เพราะไม่สามารถผลิตออกมาให้ทันกับความต้องการได้ ถ้าออกกำลังกายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ปริมาณน้ำตาลในเลือดจะเพียงพอต่อความต้องการ เพราะการผลิตน้ำตาลในตับเพิ่มมากขึ้นอีกทั้งน้ำย่อยที่ช่วยในการเผาผลาญไขมัน จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฮอร์โมนต่างๆจะสามารถปรับตัวได้ดีขึ้น
- น้ำหนักของร่างกายที่เหมาะสม การออกกำลังกายทำให้ได้ใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก การออกกำลังกายนานๆ พลังงานที่สูญเสียไปก็มากเป็นผลให้ไขมันสะสมในร่างกายลดน้อยลง และนอกจากนี้สมองที่ควบคุมความรู้สึกอยากอาหาร จะปรับตัวในการรับปริมาณอาหารและการใช้พลังงานออกไปอย่างเหมาะสม การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นการควบคุมน้ำหนักของร่างกายโดยให้ปริมาณอาหารที่รับเข้าไปเท่ากับปริมาณงานที่ใช้ในแต่ละวัน
- กระดูก กระดูกอ่อน เอ็นและข้อต่างๆ แข็งแรงขึ้น คือ เอ็นต่างๆ มีความสามารถในการยืดและหดตัวได้ดีขึ้น ข้อต่อเคลื่อนไหวได้ตลอดช่วงการเคลื่อนไหว หรือเคลื่อนไหวได้มากกว่าปกติ กระดูกแข็งแรง เมื่อองค์ประกอบที่ช่วยในการเคลื่อนไหวแข็งแรงอัตราการบาดเจ็บจากการออกกำลังกาย การฝึกกีฬา และอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในวีดิประจำวันก็ลดน้อยลงลงกลับทำให้สมรรถภาพทางกายในทุกๆ ด้านดีขึ้นตามลำดับด้วย
- ป้องกันโรคที่เกิดจากความบกพร่องของระบบไหลเวียนเลือดได้ เช่น ความดันโลหิตสูง ซึ่งเกิดจากคอเลสเตอรอลที่หลอดเลือดสูง เคยมีผู้วิจัยพบว่า ถ้าออกกำลังกายสม่ำเสมอเป็นระยะเวลาที่นานพอ จะช่วยให้สารคอเลสเตอรอลลดได้ (บรรเทิง เกิดปรำงค์: 2541)

การออกกำลังกายในที่สูง

การปรับตัวเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูง

ชูศักดิ์ เวชแพทย์. (2536) ได้กล่าวว่าในโลกนี้มีประชากรมากกว่า 40 ล้านคน อาศัยอยู่ในที่สูง คือสูงตั้งแต่ 10,000-18,000 ฟุตเหนือระดับน้ำทะเล บริเวณดังกล่าวนี้เรียกว่า high altitude บุคคลพื้นเมืองที่อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวนี้มีการปรับตัวต่อออกซิเจนที่สูง เช่นผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณแถบภูเขาหิมาลัยซึ่งสูง 5,846 เมตร ก็ยังอาศัยอยู่ได้ กล่าวคือในที่สูงจะมีความหนาแน่นของอากาศลดลง ตัวอย่างเช่น ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่า 760 มม.ปรอท ที่ความสูง 3,480 เมตร จะมีความดันบรรยากาศ 510 มม.ปรอท แต่เมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูง ร่างกายจะมีการปรับตัวจนชินต่อที่สูง โดยการปรับตัวจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทั้งการปรับตัวระยะสั้นและระยะยาวต่อการอยู่ในที่สูงโดยใช้เวลาหลายสัปดาห์หรือหลายเดือน ถึงแม้ว่าความมากมายของการปรับตัวขึ้นกับความสูง แต่ยังคงขึ้นอยู่กับบุคคลแต่ละคนด้วยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ซานตานเดอร์ และ คณะ (Santander, et.al. 2000) ได้ทำการฝึกหนักสลับเบาที่ออกซิเจนเบาบางที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุด ที่ความสูงระดับกลาง กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดสอบ Step test ที่ระดับต่ำกว่าสูงสุดภายใต้ออกซิเจนปกติและออกซิเจนเบาบาง (16% Oxygen) กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนเบาบางจะต้องเข้าไปปรับสภาพของร่างกายในห้องที่มีสภาวะออกซิเจนเบาบางแต่มีความดันปกติ (16% Oxygen) 30-35 นาทีต่อวัน เป็นเวลา 5 วัน ก่อนที่จะขึ้นไปอยู่บนที่สูง กลุ่มควบคุมไม่มีการเข้าไปปรับสภาพของร่างกายในห้องที่มีสภาวะออกซิเจนเบาบางแต่มีความดันปกติ (16% Oxygen) ก่อนขึ้นไปพักบนที่สูง การทดสอบ Step test จะทำในวันแรกและวันที่ 3 ของการขึ้นไปอยู่บนที่สูง (2443 เมตร) และวัด อัตราการเต้นของหัวใจ การซึมซับของเส้นเลือดใหญ่ (SaO_2) ความเข้มข้นของ Lactate ในเลือด (La_b) และมาตรวัดความรู้สึก (RPE) เพื่อให้ได้ข้อมูลก่อนและระหว่างการทดสอบ Step test ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ (SaO_2) ระหว่างทำ การฝึกหนักสลับเบาที่สภาวะออกซิเจนเบาบาง ยังคงรักษา ระดับการเพิ่มขึ้นของ (SaO_2) เมื่ออยู่บนที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล ($p < 0.05$) ระหว่างการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุดให้ผลดี การเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจ La_b และ RPE ระหว่างการทดสอบ Step test ที่ระดับสูงกว่าน้ำทะเลซึ่งกลุ่มที่มีการปรับสภาพก่อนการขึ้นไปฝึกหนักสลับเบาที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางมีเกณฑ์ที่ต่ำกว่าในขณะที่เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$) และได้แนะนำว่าการฝึกหนักสลับเบาที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางที่เหมาะสมควรที่จะมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมก่อนที่จะขึ้นไปอยู่บนที่สูงเช่นเดียวกับ ริชาเลต และคณะ (Richalet, et.al. 1992) ได้ทำการศึกษาเรื่องประโยชน์ของห้องบรรยากาศสำหรับการปรับสภาพก่อนการปีนเขา Everest เนื่องจากการขึ้นไปบนเขา Everest จำเป็นต้องมีการปรับสภาพของร่างกายก่อนการขึ้นไปประมาณ 3 – 4 สัปดาห์เพื่อลดความเสี่ยงของร่างกายผู้วิจัยจึงให้กลุ่มตัวอย่าง 5 คน เป็นชาย 4 คน หญิง 1 คน เข้าไปปรับสภาพในห้องปรับบรรยากาศ ที่สภาพความสูง 4350-4807 เมตร รวมเวลา 38 ชั่วโมง 4 วันติดต่อกันจากค่าความสูงพื้นฐาน 5000-7800 เมตร จากนั้นขึ้นไปอยู่ที่ความสูง 7800 เมตร 5 วัน ผลการปรับสภาพแสดงให้เห็นถึงจำนวนฮีโมโกลบินที่เพิ่มขึ้น 12 % การดูดซับออกซิเจน

ในเลือดเพิ่มขึ้นจากผลแสดงให้เห็นว่าถ้ามีการปรับสภาพก่อนการขึ้นไปบนเขาจะสามารถประหยัดเวลาได้ถึง 1 -3 สัปดาห์และปลอดภัยต่อร่างกาย

ผลของการออกกำลังกายในที่สูง

ชิงไฮ (Qinghai, 2007: Online) ได้ทำการศึกษาในการลดน้ำหนักที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลและอาจนำไปประยุกต์ใช้ในคนไข้ที่เป็นโรคอ้วน โดยการให้กลุ่มตัวอย่าง 115 คน ขึ้นไปอยู่บนที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลที่ระดับ (4600 เมตร) เป็นเวลา 1 เดือน โดยกลุ่มตัวอย่างครึ่งหนึ่งเป็นผู้ที่อาศัยอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล (2000 เมตร) และอีกครึ่งหนึ่งเป็นผู้ที่อาศัยอยู่ระดับเดียวกับน้ำทะเล โดยทั้งสองกลุ่มได้มีการวัดค่าดัชนีมวลกายก่อนที่จะขึ้นไปอยู่ที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล ผลคือกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยอยู่ระดับเดียวกับน้ำทะเล มีค่าดัชนีมวลกายลดลงมากกว่ากลุ่มผู้ที่อาศัยอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล (2000 เมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีมวลกายก่อนขึ้นไปอยู่บนที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลที่ระดับ (4600 เมตร)

โรเอลส์ และคณะ (Roels, et.al. 2007) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบออกซิเจนเบาบางแบบมีช่วงพักที่มีต่อการเผาผลาญไขมันในมนุษย์โดยดูจากเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยใช้นักกีฬาประเภททนทานจำนวน 18 คน แบ่งออกเป็นกลุ่มที่ฝึกโดยออกซิเจนปกติ 8 คนและกลุ่มที่ฝึกโดยออกซิเจนเบาบาง 10 คน ใช้ระยะเวลาในการฝึก 3 สัปดาห์ โดยแต่ละครั้งในการฝึกของทั้ง 2 กลุ่มจะใช้เวลา $1 - 1.1 \frac{1}{2}$ ชั่วโมง ก่อนและหลังการฝึกของทั้ง 2 กลุ่มจะทำการทดสอบ การเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายจนถึงจุดหมดแรง (Incremental test to exhaustion) และทำการตัดกล้ามเนื้อต้นขาและทำการวัดการหายใจของเซลล์โดยวัดการซึมผ่านของออกซิเจน/พลังสูงสุดที่แสดงออกมาผลคือทั้งคู่มีค่าเพิ่มขึ้นโดยที่ออกซิเจนปกติเพิ่มขึ้น 7.2% ที่ออกซิเจนเบาบางเพิ่มขึ้น 6.6% ส่วนค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดไม่เปลี่ยนแปลง การกระตุ้นการสร้าง ADP มีค่าเพิ่มมากขึ้นสรุป การฝึก 3 สัปดาห์จะมีการเพิ่มขึ้นของพลังที่แสดงออกมาที่ระดับออกซิเจนปกติ การใช้ ออกซิเจนสูงสุดไม่เปลี่ยนแปลง และการฝึกที่ระดับออกซิเจนเบาบางนั้นจะมีปัจจัยภายในของแต่ละบุคคลที่แตกต่างกันไป เช่น คุณสมบัติการทำปฏิกิริยาภายในเซลล์

โรเบิร์ต และคณะ (Robert D, et.al. 1999) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงาน และรูปแบบของการลดลงของไขมันในการปีนภูเขาเอเวอร์เรสต์ พบว่าอัตราการใช้พลังงานในการปีนเขา ช่วงความสูงจากระดับน้ำทะเล (5,300-8,848 เมตร) นั้นจะมีค่าเฉลี่ยเป็น 2.5-3 เท่าของการใช้พลังงานที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ จะมีผลต่อการลดลงของการเก็บสะสมไขมันที่เก็บในกล้ามเนื้อ ซึ่งจะมีผลต่อการขาดพลังงานนำเข้า และการรักษาน้ำหนักตัว

เวสเตอร์แท็ป และคณะ (Westertep K.R, et.al. 1992) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานในการปีนภูเขาเอเวอร์เรสต์ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้หญิง 2 คนและ ผู้ชาย 3 คน อายุระหว่าง 31-42 ปี โดยกลุ่มตัวอย่างจะถูกสังเกตระหว่างการเตรียมตัวบนภูเขาแอลป์ 4 วัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล (4,260 เมตร) และปรับตัวในห้องปรับความดันบรรยากาศความสูง

(5,600-7,000 เมตร) ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นจะใช้เวลา 7-10 วัน โดยทำการวัดเป็นช่วงๆ โดยรวมระยะเวลาที่อยู่บนยอดเขา (8,872 เมตร) ในช่วงที่ 4 วัดการได้รับพลังงานจากอาหาร โดยการใช้การบันทึกอาหารประจำวัน ค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานในแต่ละวัน ระดับของน้ำในร่างกาย และ ปริมาณการใช้พลังงานในขณะพัก (Resting Metabolic Rate) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส การวัดองค์ประกอบของร่างกายนั้นจะใช้สกินโฟลด์วัดชั้นไขมันใต้ผิวหนัง และการวัดปริมาณน้ำในร่างกาย ซึ่งกลุ่มตัวอย่างนั้นจะมีสถานะของสมดุลพลังงานเป็นลบ (-5.7 ± 1.9 MJ/day) จากการศึกษาพบว่า ระหว่างการเตรียมตัวทั้งการปีนภูเขา แอลป์ และ เอเวอร์เรสต์ นั้นมีการสูญเสียไขมันหลังจากการสังเกตเป็นช่วงๆ ประมาณ 1.4 ± 0.7 กิโลกรัม ซึ่งเฉลี่ยแล้วจะมีการหายไปของน้ำหนักประมาณ 2.2 ± 1.5 กิโลกรัม ซึ่งสัมพันธ์กับ การใช้พลังงาน ($r=0.84, P<0.05$)

มีวเซน และคณะ (Meeuwssen, et.al. 2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของการฝึกที่มีต่อการเพิ่มความสามารถของนักกีฬาที่ระดับน้ำทะเล ที่จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะของนักกีฬา โดยใช้การฝึกแบบ Hypobaric Hypoxia โดยกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมี 16 คน กลุ่มที่ 1 ทำการฝึกด้วยวิธีปกติ กลุ่มที่ 2 ทำการฝึกที่ระดับความสูง 2500 เมตร Hypoxia เป็นระยะเวลา 10 วัน โดยการปั่นจักรยาน 2 ชั่วโมงต่อวัน 60-70 เปอร์เซ็นต์ของความหนักคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจสำรอง ทำการทดสอบ ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด พลังสูงสุด ค่าเฉลี่ยของพลังต่อน้ำหนักตัว ค่าสูงสุดของพลังต่อกิโลกรัม ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า กลุ่มที่ทำการฝึกที่ระดับน้ำทะเลปกติ นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางสรีรวิทยาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กลุ่มที่ทำการฝึกแบบ Hypobaric Hypoxia นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น 7 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยของพลังสูงสุดต่อน้ำหนักตัว เพิ่มขึ้น ร้อยละ 7.4 ค่าเฉลี่ยของพลังเฉลี่ยต่อน้ำหนักตัวนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ และพลังสูงสุดต่อน้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัม เพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถสรุปได้ว่า การฝึกแบบ Hypobaric Training นั้นสามารถเพิ่มความสามารถของพลังงานแบบแอโรบิก และระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกได้

เมตาบอลิซึมของร่างกาย

อัตราของเมตาบอลิซึม

พิชิต ภูติจันทร์. (2535) ได้กล่าวว่า อาหารที่เข้าสู่ร่างกาย จะถูกย่อยให้มีโมเลกุลที่เล็กที่สุด โดยคาร์โบไฮเดรตจะอยู่ในรูปกลูโคส ไขมันอยู่ในรูปกรดไขมันและกลีเซอรอล โปรตีนอยู่ในรูปกรดอะมิโน จะถูกทำลายไปสู่เซลล์และเนื้อเยื่อต่างๆทำให้เกิดการเผาผลาญขึ้น การเผาผลาญนี้เรียกว่า เมตาบอลิซึม (Metabolism) จะได้พลังงาน ATP ซึ่งร่างกายจะนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ต่อไป ดังนั้นเมตาบอลิซึมเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสารอาหารสอดคล้องกับ (พัชรา วีระกลัส. 2544) ได้ให้ความหมายถึงเมตาบอลิซึมว่าเป็นผลรวมของปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน ทำให้สามารถนำพลังงานและสสารจากสิ่งแวดล้อมมาใช้ในการดำรงชีวิตได้ คำว่าเมตาบอลิซึมมาจากภาษากรีก แปลว่า การ

เปลี่ยนแปลง กระบวนการนี้ประกอบด้วยสารเคมีต่างๆ ที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารและพลังงานที่เซลล์ได้รับจากสิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นสารและพลังงานในรูปที่เซลล์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการทำกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์ได้ซึ่งทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถเจริญเติบโตและดำรงชีวิตต่อไปได้เช่นเดียวกับ (อนุสรณ์: 2549) ได้ให้ความหมายของเมตาบอลิซึมคือการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและพลังงานที่เกิดขึ้นในร่างกาย ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ นับเป็นพื้นฐานของปรากฏการณ์ต่างๆ ทางสรีรวิทยาและเมตาบอลิซึมเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นกับสารอาหารแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ

- กระบวนการสลาย (Catabolism) เป็นกระบวนการเผาผลาญอาหาร ตลอดจนสารประกอบที่ซับซ้อนที่เก็บสะสมไว้ในเซลล์ ถูกเปลี่ยนให้มีขนาดเล็กลงโดยวิธีการทางเคมี กระบวนการสลายนี้ จะให้พลังงาน ซึ่งบางส่วนจะนำมาใช้ในกระบวนการสร้าง อีกส่วนหนึ่งก็จะนำไปใช้ในกิจกรรมการทำงานของอวัยวะต่างๆ ของร่างกายในชีวิตประจำวัน

- กระบวนการสร้าง (Anabolism) เป็นกระบวนการที่ร่างกายนำเอาสารอาหารที่ย่อยแล้วมาแปรเปลี่ยนเป็นส่วนประกอบที่ซับซ้อนของเนื้อเยื่อ เพื่อเสริมสร้างซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ และทำให้ร่างกายเติบโต (พิชิต ภูติจันทร์; 2535)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราเมตาบอลิซึม

ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. (2542) กล่าวว่า อัตราของเมตาบอลิซึมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. อายุ ใน 2-3 สัปดาห์หลังคลอด อัตราเมตาบอลิซึมของทารกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงสุดเมื่ออายุประมาณ 1-2 ปี อัตราเมตาบอลิซึมนี้จะลดลงโดยลำดับเมื่ออายุเพิ่มขึ้น
2. เพศ เพศหญิงมีอัตราเมตาบอลิซึมต่ำกว่าเพศชาย 6-10% เมื่อเทียบในกลุ่มอายุเดียวกัน เนื่องจากเพศหญิงมีไขมันใต้ผิวหนังมากกว่าเพศชาย
3. เชื้อชาติ คนในเขตร้อนมีอัตราเมตาบอลิซึมต่ำกว่าคนทางยุโรปและอเมริกาประมาณ 10% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างในเชื้อชาติหรือภูมิอากาศ
4. ขนาดรูปร่าง คนตัวใหญ่จะมีอัตราเมตาบอลิซึมสูงกว่าคนตัวเล็ก ขนาดรูปร่างที่นำมาเปรียบเทียบกันได้ดี คือ เนื้อที่ผิวกาย (body surface area) กล่าวคือ อัตราเมตาบอลิซึมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเนื้อที่ผิวกาย

การคำนวณโดยหาเนื้อที่ผิวกายโดยใช้สูตรของ DuBois

$$\text{เนื้อที่ผิวกาย} = W^{0.425} \times H^{0.725} \times 0.07184$$

เมื่อเนื้อที่ผิวกายส่วนเป็นตารางเมตร, W = น้ำหนักเป็นกิโลกรัม, H = ความสูงเป็นเซนติเมตร สามารถหาเนื้อที่ผิวกายวิธีง่ายๆ คือหาจาก nomogram

5. อุณหภูมิกาย ทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อัตราเมตะบอลิกจะเพิ่มประมาณ 13% ทั้งนี้ส่วนใหญ่เนื่องจากการบวนการในร่างกายถูกเร่ง และส่วนน้อยจากการที่ต่อมเหงื่อ กล้ามเนื้อหายใจ และกล้ามเนื้อหัวใจทำงานเพิ่มขึ้น

6. อุณหภูมิแวดล้อม คนอยู่ในเขตร้อนมีอัตราเมตะบอลิกต่ำกว่าคนในเขตหนาวในที่เย็น อัตราเมตะบอลิกเนื่องจากการสั่นและขนลุก ทำให้ความร้อนเกิดเพิ่มขึ้น และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากรหัสลอร์ดฮอร์โมนซึ่งหลังเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในที่อากาศเย็น ถ้าอยู่ในที่ร้อนช่วงสั้นมีผลต่ออัตราเมตะบอลิกเพิ่มขึ้นน้อยมาก แต่ถ้าอยู่นานมีผลลดอัตราเมตะบอลิกเนื่องจากไทรอยด์ฮอร์โมนหลังลดลง

7. การออกกำลังกาย (physical activity) การออกกำลังกายในระดับต่างๆ มีผลเปลี่ยนแปลงอัตราเมตะบอลิกได้มาก อัตราเมตะบอลิกต่ำสุดขณะนอนหลับ คือประมาณ 35 แคลอรีต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง การออกกำลังกายเพิ่มอัตราเมตะบอลิกได้มาก การออกกำลังกายที่สามารถทำได้ยาวนานในคนที่สุขภาพดีนั้นจะใช้พลังงานประมาณ 350 แคลอรีต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง คือประมาณ 10 เท่าของค่าต่ำสุด การออกกำลังกายที่ใช้พลังงานมากกว่านี้จะทำได้ในระยะสั้นๆ เท่านั้น

การใช้สมอง (mental activity) มีผลต่ออัตราเมตะบอลิกน้อยมาก การใช้ความคิดอย่างหนัก เช่น การคำนวณที่ยาก จะเพิ่มอัตราเมตะบอลิกเพียง 3-4% เท่านั้น

8. อาหาร หลังรับประทานอาหารอัตราเมตะบอลิกจะเพิ่มขึ้น คือความร้อนเกิดขึ้นหลังรับประทานอาหาร 1 ชั่วโมง และเพิ่มอยู่หลายชั่วโมงจึงลดลงเท่ากับภาวะเบซัล ความร้อนที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้เรียก specific dynamic action (SDA) ของอาหาร ซึ่งขึ้นกับชนิดของอาหารเมื่อรับประทานอาหารโปรตีน ความร้อนที่เกิดขึ้นต่อชั่วโมงจะเพิ่มจากภาวะเบซัลประมาณ 30% ของ caloric value ของอาหารโปรตีนที่รับประทาน เช่น ถ้ารับประทานโปรตีน 25 กรัมซึ่งให้ความร้อนเท่ากับ 100 แคลอรี จะมีผลให้ความร้อนในร่างกายเพิ่มขึ้น 30 แคลอรีเป็นเวลาหลายชั่วโมง อัตราเมตะบอลิกจึงเพิ่มขึ้นดังกล่าว สำหรับคาร์โบไฮเดรตและไขมันจะเพิ่มความร้อนเช่นกันแต่น้อยกว่า คือประมาณ 6% และ 4% ของ caloric value ของอาหารดังกล่าว ความร้อนที่เพิ่มของนี้เข้าใจว่าเป็นผลจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารการดูดซึม และการเก็บอาหาร (storage) ในร่างกาย กรดอะมิโนที่เกิดจากการย่อยอาหารโปรตีนมีฤทธิ์กระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมีภายในเซลล์ซึ่งเพิ่มอัตราเมตะบอลิก

9. การตั้งครรภ์ ระยะท้ายของครรภ์คือประมาณอายุครรภ์ 6 เดือน อัตราเมตะบอลิกเพิ่มประมาณ 20% การเพิ่มนี้เกือบทั้งหมดเกิดจากเมตะบอลิซึมของทารกในครรภ์ เนื่องจากมีปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์

10. สารเคมีและฮอร์โมนต่างๆ เช่น thyroxine, epinephrine, caffeine, Bazedrine เพิ่มอัตราเมตะบอลิก การสูบบุหรี่โดยเฉพาะการอดควัน เพิ่มเมตะบอลิกได้ถึง 9%

กระบวนการสร้างพลังงาน

การทำหน้าที่ของระบบต่างๆ ของร่างกายในการประกอบกิจกรรมต่างๆ นั้น ร่างกายจำเป็นต้องได้รับอาหารเพื่อนำมาสร้างเป็นพลังงาน และนำพลังงานที่ได้มาใช้ในการประกอบกิจกรรม สำหรับอาหารที่เป็นแหล่งสร้างพลังงานให้กับร่างกาย ส่วนมากได้มาจากอาหารจำพวก คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งมีกระบวนการสร้างพลังงาน ดังนี้

1. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรต เกิดจากการรวมตัวตามกระบวนการทางเคมี มี 6 คาร์บอน 12 ไฮโดรเจน และ 6 ออกซิเจน เป็นสูตรรวมกันคือ $(6 \text{ Carbon} + 12 \text{ Hydrogen} + 6 \text{ Oxygen} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$ ซึ่งเป็นโมเลกุลของกลูโคส เป็นอาหารที่ทำให้เกิดพลังงานได้แก่ อาหารพวกแป้ง น้ำตาล (1 กรัมให้พลังงาน 4 แคลอรี) เป็นอาหารที่นำมาใช้สร้างพลังงานโดยเฉพาะกิจกรรมของกล้ามเนื้อ เมื่อคาร์โบไฮเดรตย่อยแล้ว จะแปรสภาพเป็นน้ำตาลกลูโคส ซึมเข้าสู่กระแสโลหิต ถ้ามีปริมาณมากเกินไป ความจำเป็นก็จะแปรสภาพไปเก็บไว้ในรูปของน้ำตาลไกลโคเจน (glycogen) เก็บไว้ในกล้ามเนื้อ ถ้ามีปริมาณมากก็จะเก็บสะสมไว้ในตับ

คาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารจำพวกแป้งและน้ำตาล แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1.1 โมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharides) หรือน้ำตาลชั้นเดียว (simple sugar) พวกนี้มีสูตรโมเลกุลคือ $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$ สามารถดูดซึมเข้าร่างกายได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลง ได้แก่ กลูโคส (glucose) หรือเดกซ์โตรส (dextrose) ซึ่งมีในโลหิต ในผลไม้ ฟรุคโตส (fructose) อยู่รวมกับกลูโคส ในผลไม้ ผัก และกาแลคโตส (Galactose) ในนม

1.2 ไดแซคคาไรด์ (disaccharides) หรือน้ำตาลสองชั้น (double sugar) มีสูตรโมเลกุลคือ $(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})$ ได้แก่ พวก ซูโครส (sucrose) หรือน้ำตาลในอ้อย หรือผลไม้ที่มีรสหวาน แลคโตส (lactose) ที่ได้จากน้ำนมของสัตว์ มอลโตส (maltose) ที่ได้จากการย่อยอาหารจำพวกแป้ง (จำพวก เมล็ด) ในร่างกาย อาหารนี้จะต้องย่อยเป็นพวกน้ำตาลชั้นเดียวก่อนดูดซึมเข้าร่างกาย

1.3 โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) หรือน้ำตาลสามชั้น (multiple sugar) มีสูตรโมเลกุลคือ $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ ได้แก่ แป้งที่มีอยู่ในจำพวกเมล็ด ราก หัว ผัก เซลลูโลสที่เป็นกากพืชหรือเปลือกนอกของเมล็ดหรือผัก ช่วยเป็นกากอาหารในลำไส้

อาหารพวกคาร์โบไฮเดรต จะถูกย่อยให้แตกตัวเป็นน้ำตาลชั้นต้น เมื่อเข้าสู่ปากจะถูกน้ำย่อยไทาลิน (ptyalin) ทำให้กลายเป็นมอลโตสประมาณ 5% ของปริมาณอาหารแป้งน้ำตาลที่รับประทานเข้าสู่กระเพาะอาหาร จะมีน้ำย่อยที่มีฤทธิ์เป็นกรดเข้ามาย่อยอีก 40% ให้เป็นมอลโตส จนกระทั่งเข้าสู่ลำไส้เล็กก็จะถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นกลูโคสประมาณ 80% เป็นฟรุคโตส 10% และเป็นกาแลคโตส 10%

เป็นที่ทราบกันดีว่าอาหารที่ให้พลังงานในการทำงานของกล้ามเนื้อ คือ คาร์โบไฮเดรตกับ ไขมัน ส่วนอาหารจำพวกโปรตีนนั้นใช้น้อยมาก เมื่อร่างกายมีการออกกำลังกายเป็นระยะเวลานานๆ ปริมาณของไกลโคเจนจะลดลง เมื่อมีการขับถ่ายปัสสาวะออกมาจะไม่มีปริมาณของไนโตรเจน

เพิ่มขึ้นด้วยเหตุนี้แสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อไม่ได้มีการใช้โปรตีนเป็นแหล่งผลิตพลังงาน คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งสร้างพลังงานที่ดีที่สุดและให้พลังงานเร็วที่สุด ในขณะที่พักหรือออกกำลังกายเบาๆ ร่างกายเผาผลาญทั้งไขมันและคาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายในรูปของไกลโคเจนตามกล้ามเนื้อ ตับ เลือด พร้อมทั้งจะสลายตัวเป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อเผาผลาญเป็นพลังงานทันทีเมื่อร่างกายต้องการ

เซอร์แมน และคณะ (Sherman, et.al. 1995) กล่าวว่า คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่พร้อมที่สุดของพลังงาน ในร่างกายจะเก็บสะสมพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตประมาณ 2,000 kcal ซึ่งร่างกายสามารถใช้ในการออกกำลังกายได้ต่อเนื่องประมาณ 90 นาที ที่ระดับความหนัก 60% - 80% VO_{2max} คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญเพราะเป็นแหล่งที่ให้พลังงานที่รวดเร็วที่สุดใน 3 สารอาหารทั้ง 3 ชนิด และมีความสำคัญอย่างมากและเป็นแหล่งพลังงานสำหรับสมอง ซึ่งหน่วยที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรต คือ กลูโคส (Glucose) คาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานได้แก่ ขนมปัง พาสต้า ข้าว และน้ำตาล ซึ่งโมเลกุลใหญ่ๆ เหล่านี้จะถูกย่อยให้เล็กลงเป็นกลูโคสเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับสมองและลอยอยู่ในกระแสเลือดเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานได้ทันที

ร่างกายไม่สามารถเก็บสะสมกลูโคสได้ ดังนั้น กลูโคสที่เหลือใช้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไกลโคเจน (Glycogen) ที่จะถูกเก็บสะสมไว้ที่ตับและกล้ามเนื้อ และจะถูกนำมาใช้อีกทีหลัง คาร์โบไฮเดรต 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญคือ จะถูกเผาผลาญในขณะที่ยออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง และเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานอย่าง

2. ไขมัน (Fats)

ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงสุดมากกว่าสารอาหารอื่นๆ คือ 1 กรัมให้พลังงาน 9 แคลอรี เป็นสารอาหารที่ได้จากไขมันทั้งพืชและสัตว์ ส่วนใหญ่อาหารไขมันจะเป็นพวกที่เป็นกลาง เช่น ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) และฟอสโฟไลปิดส์ (phospholipids) สารอาหารไขมันเกิดจากธาตุประกอบขึ้นเป็นโมเลกุลไขมัน โดยการรวมตัวของอะตอมต่างๆ คือ 57 คาร์บอน 110 ไฮโดรเจน และ 6 ออกซิเจน ($57 \text{ carbon} + 110 \text{ hydrogen} + 6 \text{ oxygen} = C_{57}H_{110}O_6$) หน่วยที่เล็กที่สุด คือ กรดไขมัน (fatty acid) ไขมันแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

2.1 ไขมันปกติ (simple fats) ไขมันธรรมดาหรือไขมันแท้ (neutral fats) ซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (โมเลกุลของ triglycerides ประกอบขึ้นจากสารกลีเซอรอล (glycerol) และกรดไขมัน คือ $\text{glycerol} + 3 \text{ fatty acid}$) ซึ่งเป็นส่วนประกอบทั่วร่างกายมนุษย์ถึง 99%

2.2 ไขมันรวม (compound fats) ไขมันรวมหรือสารไขมันที่เกิดจากการรวมตัวของไขมันธรรมดากับไขมันที่รวมตัวกับสารเคมีอื่นๆ เช่น ฟอสโฟไลปิดส์ (phospholipides) กลูโคไลปิดส์ (glucolipids) และลิโปโปรตีน (lipoproteins) ไขมันประเภทนี้จะพบในโครงสร้างของเซลล์อวัยวะภายในและเซลล์เนื้อเยื่อร่างกาย

2.3 ไขมันรวมตัว (derived fats) เกิดจากการรวมตัวของไขมันธรรมดากับไขมันรวมที่รวมกับสารเคมีอื่นๆ (simple fats + compound fats) โดยปกติไขมันพวกนี้รู้จักกันในนาม

คอเลสเตอรอล (cholesterol) ซึ่งจะได้จากไขมันสัตว์ชนิดเดียวกันเท่านั้น และสามารถดูดซึมผ่านผนังเซลล์และผนังลำไส้ได้ ไขมันพวกนี้จะอยู่ในร่างกายในรูปไขมันอิสระ หรืออาจจะรวมกับกรดไขมันอื่น ๆ มีประโยชน์ต่อการกระตุ้นให้ฮอร์โมนในร่างกายทำงาน กระตุ้นการผลิตฮอร์โมนเพศ

อาหารไขมันเป็นอาหารที่เหมาะสมกับการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลายาวนาน นอกจากไขมันจะเป็นพลังงานสำรองแล้วยังเป็นตัวสำคัญในการละลายวิตามิน A.E.D.K. เพื่อทำหน้าที่ตามที่ร่างกายต้องการ อาหารไขมันจะเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กับกล้ามเนื้อใหญ่ คือ ประมาณร้อยละ 80 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของร่างกาย แต่การใช้ไขมันต้องอาศัยออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลาญมากกว่าปกติ ดังนั้น ไขมันจึงไม่เหมาะกับการสร้างพลังงานเมื่อออกกำลังกายแต่เป็นการสะสมพลังงาน เพราะไขมันให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรตถึง 2 เท่า สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของการใช้พลังงานจากไขมันนั้นมีน้อย เนื่องจากต้องใช้ใช้ออกซิเจนจำนวนมาก โดยปกติไขมันเหมาะสมกับการออกกำลังกายเบาๆ

3. โปรตีน (protein)

โปรตีนเป็นสารอาหารที่เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลเช่นเดียวกับไขมันและคาร์โบไฮเดรต และมีสารไนโตรเจนกับสารอื่นๆ เข้ามาด้วย เช่น กำมะถัน ฟอสฟอรัส เหล็ก เป็นต้น สิ่งมีชีวิตต้องการโปรตีน เพราะโปรตีนเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อย เป็นสารประกอบของฮอร์โมนและรวมเป็นส่วนประกอบของอวัยวะ เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อและเซลล์โปรตีนทุกชนิดประกอบขึ้นด้วยการรวมตัวของกรดอะมิโน (amino acid) ซึ่งเป็นส่วนที่เล็กที่สุดของโปรตีน

โปรตีนทำให้ร่างกายเจริญเติบโต และโปรตีนชนิดนี้คือ โปรตีนสมบูรณ์ (complete protein) ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโน ในโมเลกุลของโปรตีนซึ่งมีอยู่ในไข่ นม เนย แป้ง ถั่วเหลือง และเนื้อสัตว์ โปรตีนเป็นสารประกอบที่มีน้ำหนักมาก ในร่างกายคนเราจะมีประมาณ 12% ของน้ำหนักตัว และอยู่ตามอวัยวะต่างๆ ทั่วไป เช่น อยู่ในกล้ามเนื้อลาย 45% ในโครงกระดูก 18% ผิวหนัง 10% ในไขมัน (adipose tissue) 4% โดยโปรตีนแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

3.1 โปรตีนขั้นต้น (simple protein) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนอย่างเดียว เช่น อัลบูมิน (albumin) กลูบูลิน (globulin)

3.2 โปรตีนรวม (conjugated protein) เป็นโปรตีนที่มีสารอื่นปนอยู่ในโมเลกุล เช่น ไขมัน เฮโมโกลบิน คาร์โบไฮเดรต

3.3 โปรตีนพิเศษหรือโปรตีนต้นกำเนิด (derived protein) เป็นโปรตีนที่มีอยู่ในนม ในกระดูก เอ็น เป็นโปรตีนที่มีกระดูกมาก

สารโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนมากกว่า 20 ชนิด ได้จากทั้งสัตว์และพืช คุณค่าจึงแตกต่างกัน หากจำแนกตามคุณลักษณะทางเคมีจะมี 2 ประเภท คือ

1. กรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid)

เป็นกรดอะมิโนที่ช่วยร่างกายเจริญเติบโต ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้ แต่สามารถสังเคราะห์จากกรดอื่น ถ้าขาดสารประเภทนี้จะที่ผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย

2. กรดอะมิโนไม่จำเป็น (non-essential amino acid)

เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสร้างขึ้นเองได้ หรืออาจจะเปลี่ยนมาจากกรดอื่น เมื่อร่างกายต้องการโปรตีนเป็นแหล่งพลังงานงาน โปรตีนจะให้พลังงาน 1 กรัม 4 แคลอรี เป็นอาหารสร้างความเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ (พีระพงศ์ บุญศิริ: 2538)

ระบบพลังงาน

การทำหน้าที่ของระบบต่างๆ ของร่างกายโดยเฉพาะระบบกล้ามเนื้อ (Muscular System) ในการประกอบกิจกรรมต่างๆ หรือในการออกกำลังกาย ร่างกายล้วนมีความต้องการพลังงานสำหรับการทำหน้าที่ของระบบต่างๆ เพื่อให้ร่างกายสามารถปฏิบัติกิจกรรมนั้นๆ ได้ โดยพลังงานที่ใช้จะมาจากระบบพลังงานที่แตกต่างกันและแต่ละระบบจะมีลักษณะการทำงานที่เฉพาะเจาะจงขึ้นอยู่กับความหนักและระยะเวลาของการประกอบกิจกรรม ซึ่งระบบพลังงานแบ่งเป็น 3 ระบบ ดังนี้

1. ระบบแอนแอโรบิค อแลคเตต (Anaerobic alactate system)

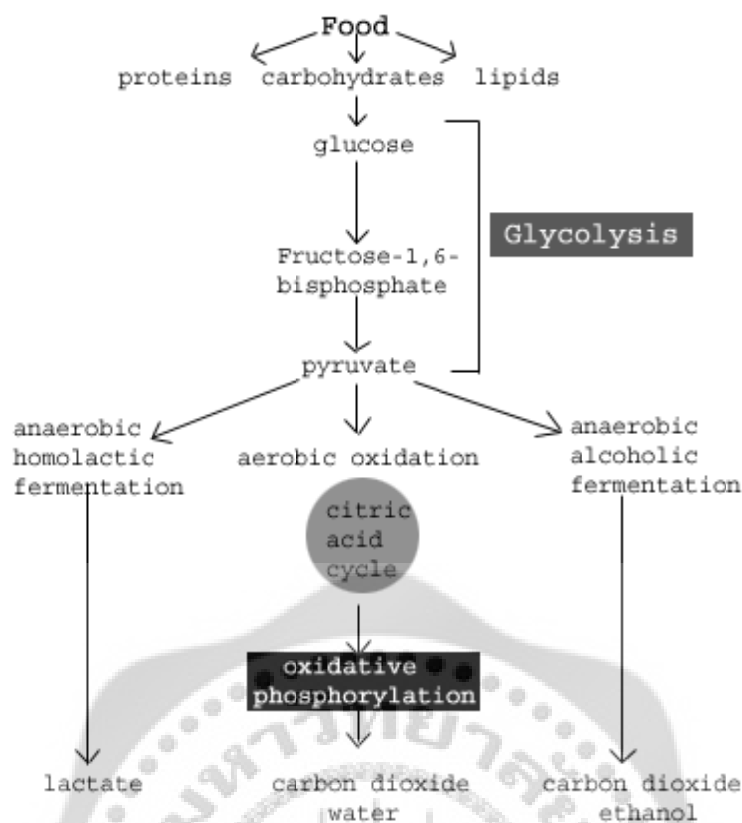
ระบบแอนแอโรบิค อแลคเตต หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า แหล่งพลังงาน เอทีพี-พีซี (ATP-PC energy source) (ประเวศ เกษกัน: 2547) กล่าวว่า เป็นระบบที่นำเอาพลังงานสำรองซึ่งสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อในรูปของ ATP (Adenosine triphosphate) และสามารถสังเคราะห์ ATP ใหม่ โดยใช้เอทีเอ็น ฟอสเฟต (Creatine phosphate : CP) ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ พลังงานที่เกิดขึ้นจะสามารถนำมาใช้ได้ในระยะเวลานั้นๆ ไม่เกิน 10 วินาที และการสร้างพลังงานในระบบนี้จะไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ (lactic acids) เมื่อ ATP ถูกใช้หมดไป CP ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อจะแตกตัวให้ phosphate แล้วทำให้ ADP (Adenosine diphosphate) รวมกับ Phosphate กลายเป็น ATP โดยที่ระบบนี้จะเกิดขึ้นใน Sarcoplasm ของเซลล์กล้ามเนื้อ สอดคล้องกับ (สนธิยา สิละมาด; 2547) กล่าวว่า ระบบพลังงานนี้สามารถสำรองพลังงาน ATP ได้ประมาณ 6-8 วินาที เนื่องจากปริมาณสารครีเอทีนฟอสเฟตจะหมดลงในเวลาอันสั้น การสำรองพลังงานโดยการเปลี่ยนรูปของสารครีเอทีนฟอสเฟตส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นออกกำลังกาย และการสร้างกลับคืนของครีเอทีนฟอสเฟตหลังการออกกำลังกายหยุดลงจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยประมาณ 3 ถึง 5 นาที สอดคล้องกับ (ภาวิณี: 2542) กล่าวว่า ระบบพลังงานนี้เป็นระบบพลังงานที่กล้ามเนื้อจะดึงมาใช้ได้ทันที เมื่อใดก็ตามที่ ATP ถูกใช้ไป CP ก็จะสลายตัวให้ฟอสเฟตไปสร้าง ATP ทดแทนทันที พลังงานจากแหล่งนี้มีให้ใช้ได้ทันที แต่มีไม่มากคือประมาณ 0.3 โมล จึงเหมาะกับกีฬาที่ต้องการความรวดเร็วแต่ไม่นาน การวิ่ง 100 เมตร ก็จะใช้พลังงานส่วนนี้หมดพอดีในตอนท้ายของการวิ่ง ดังสมการต่อไปนี้



ชนินทร์ชัย อินทิตราภรณ์. (2544) กล่าวว่า ในการใช้พลังงานจากแหล่งเอทีพี-พีซี นั้นจะใช้ในสถานการณ์ที่นักกีฬาต้องเคลื่อนที่ด้วยความรวดเร็ว หรือออกแรงอย่างมากในระยะเวลาอันสั้น เอทีพี-พีซี ก็จะหมดไป เมื่อมีการหยุดพักก็จะมีกระบวนการสะสมเอทีพี-พีซี ไว้ในกล้ามเนื้ออีก

2. ระบบแอนแอโรบิก แล็คเตต (Anaerobic lactate system)

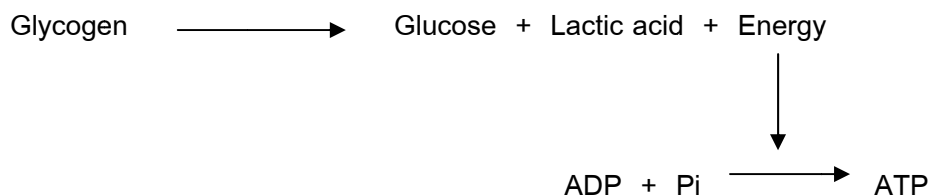
ระบบแอนแอโรบิก แล็คเตต หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า แหล่งพลังงานกรดแลคติก (Lactic acid energy source) (ประเวศ เกษกัน: 2547) กล่าวว่า ระบบแอนแอโรบิก แล็คเตต เป็นระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเกิดกรดแลคติก (Anaerobic latic) ซึ่งระบบพลังงานนี้กล้ามเนื้อสร้างพลังงานจากกลูโคส (Glucose) ในกระแสเลือด ไกลโคเจน (Glycogen) ที่สะสมไว้ในกล้ามเนื้อและในตับ สารดังกล่าวจะถูกนำมาสร้างพลังงาน โดยผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) ดังภาพประกอบที่ 1 ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน พลังงานที่ได้จากการแตกตัวของกลูโคส และไกลโคเจน สามารถนำไปใช้สร้าง ATP ให้ 2-3 ATP จึงทำให้สามารถสร้างพลังงานได้อย่างรวดเร็ว โดยระบบนี้สามารถสร้าง ATP ซึ่งนำมาใช้ได้ระหว่าง 30-90 วินาที แต่ระบบนี้ทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นผลของการสร้างพลังงานในระบบนี้ เมื่อกรดแลคติกถูกสร้างขึ้นในปริมาณที่มากเกินไปกว่าที่ระบบไหลเวียนโลหิตจะกำจัดออกได้ จะทำให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle fatigue) นั่นคือ มีการรบกวนต่อกระบวนการในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ระบบพลังงานดังกล่าวสามารถคงการทำกิจกรรมให้ประมาณ 3 นาที



ภาพประกอบ 1 กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis)

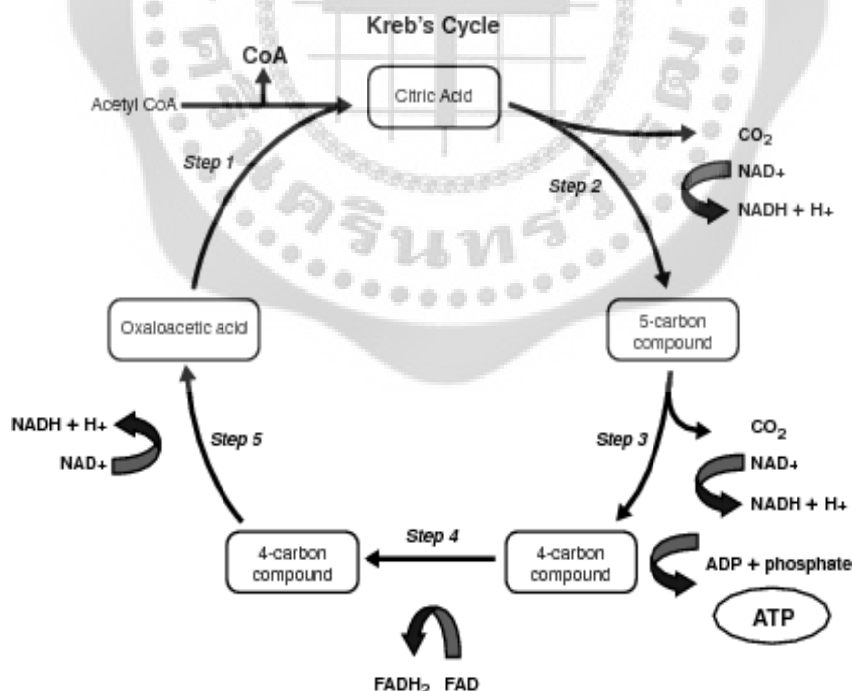
ที่มา: <http://www.accessexcellence.org>

สนธยา สีละมาต. (2547) กล่าวว่า ระบบแอนแอโรบิก แล็คเทต เป็นระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการสำรองพลังงานเอทีพี เช่นเดียวกับระบบแอนแอโรบิก อแล็คเทต แต่การสำรองพลังงานจะก่อให้เกิดกรดแลคติกขึ้นจึงเป็นระบบที่นำมาใช้ในกรณีฉุกเฉิน (Emergency system) เช่น มีการทำงานหนักอย่างรวดเร็วและยาวนานโดยเฉพาะการทำงานในช่วงเวลา 20 วินาที ถึง 45 วินาที ซึ่งพลังงานสำรอง (ไกลโคเจน) จากระบบนี้จะถูกนำมาใช้มากที่สุด จำนวนไกลโคเจนที่เก็บสะสมในกล้ามเนื้อจะสนับสนุนการวิ่งเร็วสูงสุดได้ประมาณ 75-80 วินาที อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติจริงจะไม่สามารถกระทำได้นี้เนื่องจากผลผลิตของกระบวนการไกลโคสิสจะเกิดกรดแลคติกและอนุภาคไฟฟ้าบวก (H^+) ซึ่งก่อให้เกิดกรดอย่างสูงเป็นสาเหตุทำให้ระดับความเป็นกรดในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของกรดจะมีผลต่อองค์ประกอบที่จำเป็นของการหดตัวของกล้ามเนื้อ อย่างน้อยสองอย่างคือหนึ่ง ลดความสามารถในการทำงานของฟอสโฟฟรุกโตไคเนส (Phosphofructokinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญของกระบวนการไกลโคไลซิส และสอง แทรกแซงการทำงานของแคลเซียมกับโทรโปนิน-ซี (Troponin-C) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้น โดยผลผลิตของกระบวนการไกลโคไลซิสจะนำไปสู่การลดลงของการสำรองพลังงานเอทีพีและการลดลงของแรง (Force) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังสมการต่อไปนี้



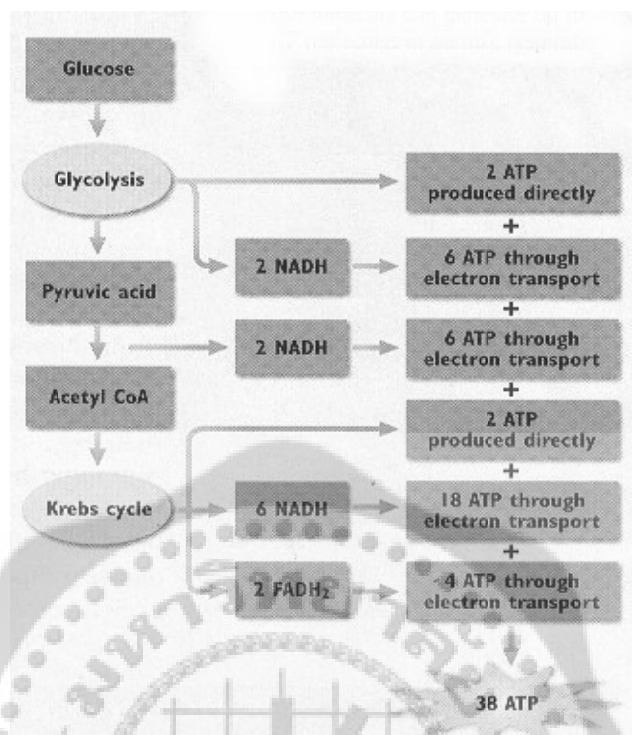
3. ระบบแอโรบิก (Aerobic system)

ระบบแอโรบิก หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า แหล่งพลังงานแอโรบิก (Aerobic energy source) (ชนินทร์ชัย อินทราภรณ์: 2544) กล่าวว่า การเผาผลาญอาหารคาร์โบไฮเดรตโดยออกซิเจนนี้เริ่มต้นเหมือนกับกระบวนการแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส แต่เนื่องจากมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ สารประกอบไพรูเวตที่เกิดขึ้นจึงไม่เปลี่ยนสภาพเป็นกรดแลคติก แต่จะเข้าไปในขั้นตอนของปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า วัฏจักรเคร็บ (Kreb's cycle) และการขนส่งออกซิเจน (Electron transport) ในขั้นสุดท้ายจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) น้ำ และเอทีพี ซึ่งไกลโคเจนหนึ่งโมเลกุลจะได้ 39 เอทีพี ส่วนการเผาผลาญอาหารประเภทไขมันจะแตกต่างออกไป โดยเข้าไปในขั้นตอนของปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า เบตา ออกซิเดชัน (Beta oxidation) และเข้าสู่วัฏจักรเคร็บโดยตรง ในขั้นสุดท้ายจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเอทีพี เช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 2 วัฏจักรเคร็บ (Kreb's cycle)

ที่มา: <http://www.accessexcellence.org>

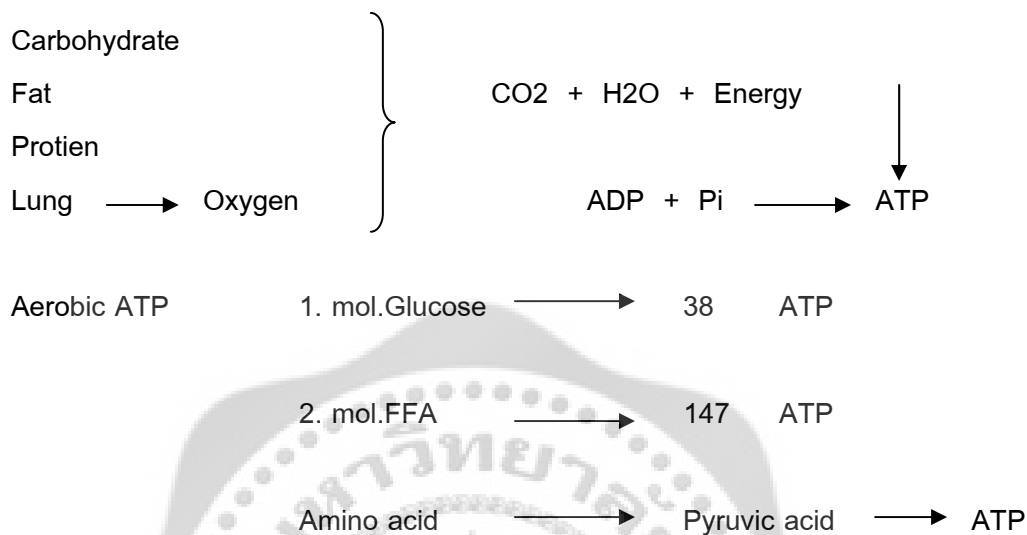


ภาพประกอบ 3 การขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport)

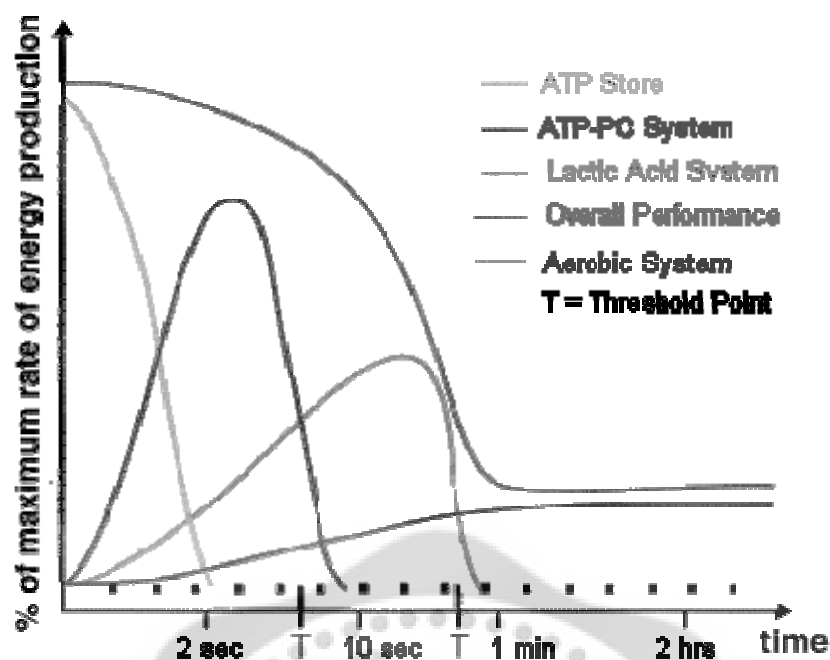
ที่มา: <http://www.accessexcellence.org>

ปริมาณของพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายได้รับ และปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ในแต่ละหน่วยเวลา โดยทั่วไปจะใช้หน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมต่อนาที เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานอีกสองชนิด แหล่งพลังงานออกซิเจนจะให้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลาได้น้อยที่สุด ดังนั้น แหล่งพลังงานออกซิเจนจึงเป็นแหล่งพลังงานหลักในสถานการณ์ของการแข่งขันกีฬาที่ใช้ระยะเวลายาวนาน ที่มีความหนักในระดับต่ำ และในปริมาณที่ไม่จำกัดทราบเท่าที่ยังมีอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต และไขมัน สอดคล้องกับ (สนธยา สีละมาต: 2547) กล่าวว่า ระบบแอโรบิกต้องการใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม แม้จะมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ กระบวนการเผาผลาญก็อาจจะถูกจำกัดโดยปัจจัยทางด้านเอนไซม์และไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสำหรับการผลิตพลังงาน และถ้ามีจำนวนจำกัดจะทำให้ปริมาณการผลิตพลังงานลดลง ระบบพลังงานแอโรบิกสามารถใช้เชื้อเพลิงมากกว่าหนึ่งชนิด คาร์โบไฮเดรตและไขมันที่เก็บสะสมอยู่ในร่างกายเป็นต้นต่อสำคัญในการผลิตพลังงานของระบบแอโรบิก การสะสมของคาร์โบไฮเดรตจะมีจำนวนจำกัด ขณะที่

การเก็บสะสมของไขมันมีจำนวนไม่จำกัด การสำรองพลังงานจากทั้งสองต้นตอจะทำงานในเวลาเดียวกัน แต่จะแบ่งสัดส่วนกันสำรองพลังงาน โดยขึ้นอยู่กับระดับความหนักของการออกกำลังกาย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย และสภาพการฝึกซ้อมของแต่ละบุคคล ดังสมการต่อไปนี้



ภาวิณี ปิยะจุตรวัณน์. (2542) กล่าวว่า พลังงานที่กล้ามเนื้อจะนำมาใช้กีฬาแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับชนิด (Type) ของกีฬานั้นๆ ความหนัก (Intensity) และระยะเวลา (Duration) ของกีฬา อย่างไรก็ตาม กีฬาทุกชนิดต้องการความว่องไวเหมือนกัน เมื่อเริ่มเล่นกีฬาหรือแข่งขัน พลังงานทั้ง 3 ระบบจะถูกกระตุ้นให้เริ่มทำงานพร้อมๆ กัน เพียงแต่ว่าระบบใดจะมีส่วนมากกว่ากัน ดังภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการออกกำลังกายกับการทำงานของพลังงานในระบบต่างๆ

ที่มา: <http://www.accessexcellence.org>

การวัดพลังงานของร่างกาย

พิชิต ภูติจันทร์. (2535) กล่าวว่า เมื่อพลังงานถูกใช้ในการทำงาน ความร้อนจะถูกปลดปล่อยให้เป็นอิสระจากกล้ามเนื้อที่ทำงาน (Work muscle) ด้วยเหตุนี้ เมตะบอลิซึมของอาหารควรสมดุลกับปริมาณความร้อนที่ร่างกายสูญเสียไป เมื่อพลังงานกลแปลงรูปเป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล สัดส่วนของพลังงานทั้งสองนี้ จะมีปริมาณคงที่ สอดคล้องกับ (สุวรรณ หังสพฤกษ์: 2541) กล่าวว่า ร่างกายได้รับพลังงานจากออกซิเดชันของอาหาร พลังงานที่ร่างกายใช้หรือพลังงานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมาในรูปของความร้อน ถ้าขณะนั้นมีการทำงาน พลังงานส่วนน้อยจะเข้าไปในการทำงาน เช่น การหดตัวของกล้ามเนื้อลาย ดังนั้นการวัด heat production หรือความร้อนที่เกิดขึ้นในระยะเวลาจำกัด จึงเป็นการวัดอัตราเมตะบอลิซึม วิธีการวัดความร้อนที่เกิดขึ้น (heat production) เรียกว่า Calorimetry ซึ่งมี 2 แบบ คือ

1. Direct calorimetry วัดความร้อนที่เกิดขึ้นโดยตรง หลักการเหมือนการหาค่าพลังงานของอาหาร เครื่องมือที่ใช้เรียก human calorimeter หรือ whole body calorimeter โดยการให้ผู้ถูกทดลองนั่งหรือนอนในห้องที่มีฉนวนหุ้มกันการสูญเสียความร้อน ภายในห้องมีท่อน้ำไหลผ่าน ความร้อนที่เกิดจากเมตะบอลิซึมจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ วัดอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและไหลออก วัดปริมาตร

ของน้ำที่ไหลผ่าน ซึ่งเท่ากับน้ำหนักของน้ำ จากนั้นคำนวณหาความร้อนที่เกิดขึ้น (heat production) อาจหาความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำงาน โดยให้ผู้ถูกทดลองใช้ ergometer ออกกำลังภายในห้องทดลอง วิธี Direct calorimetry นี้มีข้อดีที่ได้ผลแม่นยำถ้าทำถูกต้อง แต่มีข้อเสียที่เครื่องมือยุ่งยาก ใหญ่โต และราคาแพง การทำต้องละเอียด ถ้าทำไม่ดีมีข้อผิดพลาด ผลจะไม่ดีไปกว่าวิธีที่ 2 วิธีนี้จึงไม่นิยมใช้ ยกเว้นในห้องปฏิบัติการเฉพาะทางเพื่องานวิจัย

2. Indirect calorimetry วัดความร้อนที่เกิดขึ้นทางอ้อม เนื่องจากพลังงานมากกว่า 95% ที่ร่างกายใช้ไป เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอาหารชนิดต่าง ๆ กับออกซิเจน ดังนั้นจึงหาอัตราเมตาบอลิซึมได้โดยการคำนวณจาก VO_2 พบว่าค่าเทียบแคลอรีของออกซิเจนไม่ต่างกันมากนัก สำหรับอาหารแต่ละชนิด สำหรับคนที่รับประทานอาหารผสมธรรมดา ในภาวะเบซัลจะมีค่า RQ ประมาณ 0.82 ค่าเทียบความร้อนของออกซิเจนประมาณ 4.825 แคลอรีต่อลิตรออกซิเจน กล่าวคือ เมื่อใช้ออกซิเจนไป 1 ลิตรจะให้พลังงานประมาณ 4.825 แคลอรี

การวัดทางหายใจ (Respiratory calorimetry) เป็นวิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ ($VCO_2 : VO_2$) ขณะหายใจ เป็นวิธีการที่สะดวกต่อการวัดการใช้พลังงานของร่างกาย ส่วนมากจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Metabolic cart ซึ่งจะเป็นการวัดปริมาณออกซิเจน (VO_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (VCO_2) โดยจะมีท่อต่อจากผู้ถูกวัดไปยังเครื่องวิเคราะห์การเผาผลาญ โดยกิจกรรมที่มีอาจจะอยู่ในขณะพักหรือเดิน วิ่ง ปั่นจักรยานวัดงานก็ได้ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะหารด้วยปริมาณออกซิเจนที่ใช้ ที่เราเรียกว่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ หรือ (Respiratory exchange ratio, $RER = VCO_2 / VO_2$) ซึ่งค่า RER นี้จะสามารถใช้คำนวณการเผาผลาญของไขมันและคาร์โบไฮเดรต จากพลังงานสารอาหารทั้งหมด โดยอัตราการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรต และอัตราการใช้พลังงานจะคำนวณได้จากสูตร ฟาร์เย (Frayn, 1983) ดังนี้ การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (g/min) = $4.55 \times VCO_2 - 3.21 \times VO_2 - 2.87 \times n$ การเผาผลาญไขมัน (g/min) = $1.67 \times VO_2 - 1.67 \times VCO_2 - 1.92 \times n$ โดย กำหนดโปรตีน (n)=0

การวัดพลังงานแบบไม่วัดความร้อน (Noncalorimetric Methods) เป็นวิธีวัดจากการประมาณค่าพลังงานที่ร่างกายใช้ด้วยข้อมูลที่สัมพันธ์กับค่าการใช้พลังงานจากวิธีการวัดพลังงานแบบทางอ้อม (Indirect respiratory calorimetry) เช่นการวัดด้วยการใช้ความสัมพันธ์ของเส้นตรงระหว่างอัตราการเต้นหัวใจและปริมาณการใช้ออกซิเจน (HR- VO_2 regression line) หรือการใช้เครื่องตรวจวัดการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Accelerometers) ขณะมีกิจกรรมต่างๆ การวัดพลังงานความร้อนทางอ้อม เป็นวิธีการวัดพลังงานที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีการวัดที่มีข้อผิดพลาดน้อย โดยวิธีนี้มีข้อผิดพลาดน้อยมาก แตกต่างจากการวัดพลังงานความร้อนทางตรงไม่เกิน 10% นอกจากนี้ยังสามารถวัดได้ง่ายกว่า สะดวกกว่า และที่สำคัญยังมีต้นทุนในการวัดที่น้อยกว่าการวัดพลังงานความร้อนทางตรง (สุวรรณา หังสพฤกษ์ และ สุพรพิมพ์ เจียสกุล: 2544) จากข้อได้เปรียบดังกล่าวทำให้มีการนำวิธีการวัดพลังงานความร้อนทางอ้อม มาใช้ในการศึกษาอัตราการใช้พลังงานทางด้านการกีฬาและการออกกำลังกายมากขึ้น

ค่าเศษส่วนของการหายใจ (Respiratory quotient: RQ)

ค่าเศษส่วนของการหายใจ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตออกมา (CO_2 production, V_{CO_2}) กับออกซิเจนที่ใช้ไป (O_2 consumption, V_{O_2}) (สุวรรณ: 2541) สอดคล้องกับ (ประทุม ม่วงมี. 2527) กล่าวว่า ในสภาวะปกตินักกีฬาหรือผู้ออกกำลังกายได้รับพลังงานส่วนใหญ่ จากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน เราสามารถคำนวณหาสารตั้งต้นที่ถูกใช้ในการสร้างพลังงานเป็นคาร์โบไฮเดรตหรือไขมันจำนวนเท่าไร วิธีการคำนวณหาโดยการวัดปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ผลิตออกมากับจำนวนของออกซิเจน (O_2) ที่ถูกใช้ไปในช่วงเวลาเดียวกัน

RQ มีค่าไม่เท่ากัน แล้วแต่ชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์ ดังนั้นถ้าทราบค่า RQ จะบอกชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์ในขณะนั้นได้ เช่น อาหารคาร์โบไฮเดรต RQ เท่ากับ 1 อาหารไขมัน RQ เท่ากับ 0.7 อาหารโปรตีน RQ เท่ากับ 0.8 ในผู้ที่รับประทานอาหารผสมธรรมดา RQ มีค่าประมาณ 0.85 ค่า RQ ขึ้นกับ oxidative metabolism คือ ขึ้นกับอัตราการแลกเปลี่ยนออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ค่าจะเปลี่ยนแปลงได้จากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ขณะออกกำลังกายอย่างหนัก (heavy exercise) จะมี hyperventilation มี CO_2 production เพิ่มขึ้น ค่า RQ จะสูงได้ถึง 1.5-1.7 ตรงกันข้ามถ้ามี hypoventilation ซึ่งค่า CO_2 production ที่วัดได้ลดลง ค่า RQ จะต่ำกว่า 0.7 ได้ RQ ในภาวะเช่นนี้จึงบ่งถึงสภาวะการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้บ่งถึงชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์

พีระพงศ์ บุญศิริ. (2538) กล่าวว่า ค่าเศษส่วนการหายใจ หมายถึง ค่าเศษส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายกำจัดหารด้วยออกซิเจนที่ร่างกายนำเข้า ดังสมการ

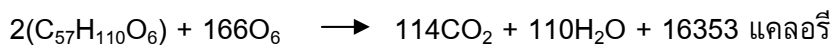
$$\text{RQ} = \frac{\text{การเกิด } \text{CO}_2 (\text{CO}_2 \text{ production})}{\text{การใช้ } \text{O}_2 (\text{O}_2 \text{ consumption})}$$

โดยคนปกติทั่วไปหรือนักกีฬาจะใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โดยอาหารคาร์โบไฮเดรตเหมาะกับการสร้างพลังงานมากกว่าเนื่องจากการสันดาปออกซิเจนจะเท่ากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกำจัดออกมา ($\text{RQ} = 1.0$) ส่วนไขมันเมื่อถูกสังเคราะห์จะได้คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าออกซิเจน ($\text{RQ} = 0.7$) ในการสันดาปคาร์โบไฮเดรต ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ต้องใช้ออกซิเจนถึง 6 โมเลกุลจึงจะสามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล ดังสมการ



$$\text{ดังนั้น RQ} = \frac{6\text{CO}_2}{6\text{O}_2} = 1.0$$

ส่วนการสันดาปไขมัน ($C_{57}H_{110}O_6$) จะเป็นสมการดังนี้



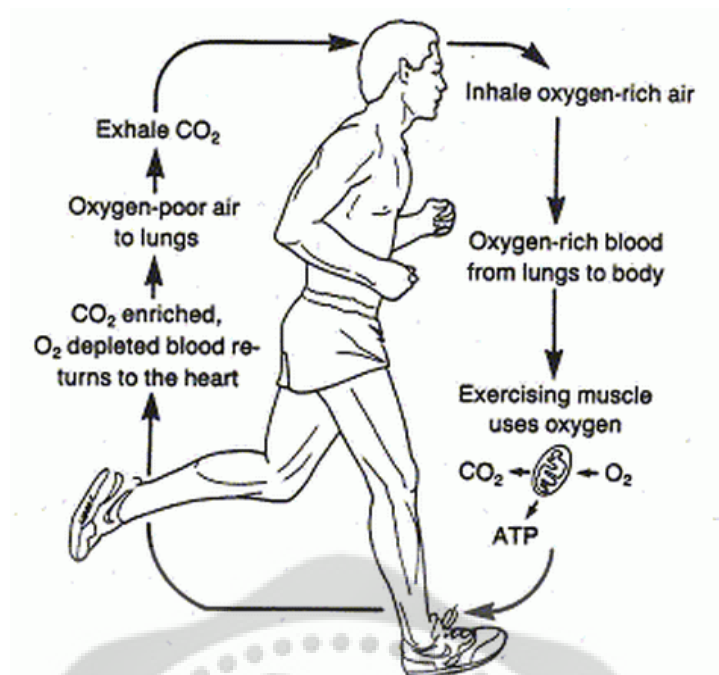
$$\text{ดังนั้น RQ} = 0.7$$

ค่าเศษส่วนของการหายใจทำให้เราทราบได้ว่า กล้ามเนื้อใช้พลังงานจากสารอาหารประเภทใด โดยใช้ค่ามาตรฐานของการสันดาปคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.828 ลิตร

ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย

หน้าที่ของระบบหายใจคือการจัดหาออกซิเจนสำหรับเมแทบอลิซึมของร่างกายและกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการออกซิเดชัน ปกติในขณะที่พัก ร่างกายจะใช้ออกซิเจนประมาณ 250 มล.ต่อนาที แต่เมื่อมีการออกกำลังกายอย่างหนักร่างกายอาจต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นถึง 30 เท่า ดังนั้นร่างกายจึงต้องปรับการหายใจให้เปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการของร่างกายในขณะออกกำลังกาย นอกจากนี้ การออกกำลังกายยังมีบทบาทในการรักษาสสมดุลกรด-ด่างในเลือดในขณะออกกำลังกาย (ชูศักดิ์ เวชแพทย์: 2533)

พระพงศ์ บุญศิริ. (2538) กล่าวว่า ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย คือ ความสัมพันธ์ระหว่างการนำเชื้อเพลิงเข้าไปช่วยสร้างพลังงานให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหมายถึง การที่สารอาหารต่างๆ ที่เป็นตัวทำให้เกิดพลังงานนั้น จะต้องอาศัยออกซิเจนเข้าไปช่วยเผาผลาญ ทำให้กลายเป็นพลังงาน และเมื่อมีการทำงานหรือการออกกำลังกายแล้ว ร่างกายจะมีการหายใจเพิ่มมากขึ้นเพื่อนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และนำของเสียหรือสิ่งที่เกิดจากการเผาผลาญสารอาหารหรือส่วนที่เหลือจากการใช้จะต้องระบายขับออกจากเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ กรดแลคติก และอื่นๆ ระบบหายใจเป็นตัวการสำคัญในการนำเข้าออกซิเจนและระบายออกของเสียคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งออกมาในรูปของอากาศที่หายใจออกนั่นเอง ดังภาพประกอบที่ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงวิธีการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากอากาศเข้าสู่ร่างกายเพื่อนำไปใช้ในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ

ที่มา: <http://www.accessexcellence.org>

การทำหน้าที่ของระบบหายใจ

โดยปกติคนเราจะหายใจเข้าออกประมาณ 16-20 ครั้งต่อนาที ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายต้องการในขณะที่พักประมาณ 0.3 ลิตร อากาศที่เข้าสู่ปอดและถ่ายออกมานั้น เกิดจากลักษณะความแตกต่างของความกดดันของอากาศภายนอกกับความกดดันของอากาศในถุงลมปอด ซึ่งปกติในขณะที่พักความกดดันในถุงลมปอดจะน้อยกว่า 760 มิลลิเมตรปรอท ประกอบกับกล้ามเนื้อซี่โครงหดตัวยกซี่โครงขึ้นและกล้ามเนื้อกะบังลมหดตัวทำให้ช่องว่างภายในทรวงอกมากขึ้น อากาศจากภายนอกก็จะไหลเข้าสู่ปอดสู่ถุงลมปอดเรียกว่า การหายใจเข้า เมื่อกล้ามเนื้อซี่โครงและกล้ามเนื้อกะบังลมคลายตัวจะบีบอากาศภายในปอด อากาศภายในปอดจะมีความกดดันสูงขึ้นก็จะถูกกดให้ไหลถ่ายเทออกมาสู่ภายนอกเรียกว่า การหายใจออก

การระบายอากาศในสภาวะต่าง ๆ

การระบายอากาศขณะพัก (Ventilation at rest)

พิชิต ภูติจันทร์. (2535) กล่าวว่า ในสภาวะปกติ ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้ง (tidal volume) ประมาณ 400-600 มิลลิลิตร และความถี่ของการหายใจต่อนาทีประมาณ 16-20 ครั้งต่อนาที โดยทั่วไปการระบายอากาศขณะพักจะมีเท่ากับ $500 \times 16 = 8,000$ มิลลิลิตร หรือ 8 ลิตร อย่างไรก็ตาม ค่าการระบายอากาศขณะพักอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามอิริยาบถของร่างกาย อัน

เนื่องมาจากความถี่และความลึกในการหายใจเปลี่ยนแปลงไป สอดคล้องกับ (ชูศักดิ์ เวชแพทย: 2533) กล่าวว่า ตามปกติอัตราการหายใจมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16-20 ครั้งต่อนาที ส่วนความลึกของการหายใจ ซึ่งวัดเป็นปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้งในขณะที่พักมีค่าประมาณ 500 มิลลิลิตร ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในคนปกติขณะพักมีค่าประมาณ 6 ลิตรต่อนาที สามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที} = \text{อัตราการหายใจ} \times \text{ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้ง}$$

การระบายอากาศระหว่างออกกำลังกาย (Ventilation during exercise)

ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีที่เพิ่มขึ้นในระหว่างออกกำลังกาย การเพิ่มขึ้นนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มปริมาตรของออกซิเจนที่หายใจเข้าไป และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อในเวลา 1 นาที ในผู้ที่ออกกำลังกายอยู่เสมอมักมีค่าการระบายอากาศหายใจต่อนาทีต่ำ แต่สามารถทำงานหนักได้เท่าเดิมโดยไม่ต้องหายใจมาก ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการหายใจ นอกจากนี้ ในผู้ที่ได้รับการฝึกจะมีค่าสมรรถภาพการนำใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก การออกกำลังกายทำให้การระบายอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลง สรุปได้ดังนี้

1. การระบายอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 นาที ภายหลังเริ่มการออกกำลังกาย การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นของระบบประสาทที่มาจากรีเซปเตอร์ของข้อต่อที่เคลื่อนไหวจากการออกกำลังกาย
2. ในการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุด การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แล้วเข้าสู่ระดับคงที่ (steady state) แต่ในการออกกำลังกายที่ระดับสูงสุดนั้น การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นอยู่เรื่อยๆ และไม่มีระดับคงที่ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นไปกระตุ้นรีเซปเตอร์และศูนย์ประสาททำให้การระบายอากาศเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดช่วงการออกกำลังกาย
3. การเปลี่ยนแปลงการระบายอากาศเมื่อออกกำลังกายระยะยาว เมื่อมีการออกกำลังกายนานขึ้น ค่าของการระบายอากาศจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น แต่ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้งกลับลดลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกาย, pH ของเลือดแดง หรือแลคติกของเลือด

การระบายอากาศระหว่างฟื้นตัว (Ventilation during recovery)

เมื่อหยุดออกกำลังกายแล้ว การระบายอากาศจะค่อยๆ ลดลงสู่ระดับปกติ แต่ยังคงสูงกว่าระดับก่อนการออกกำลังกาย สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระยะคือ

1. เมื่อหยุดออกกำลังกายทันที การระบายอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของศูนย์ประสาทยวดยิ่งที่ควบคุมการหายใจหยุดไปแล้ว แต่ยังคงมีการกระตุ้นระบบประสาทที่ส่งมาจากรีเซปเตอร์ซึ่งอยู่ในกล้ามเนื้อและข้อต่อต่อไป
2. เป็นระยะที่การหายใจค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในกรณีที่มีการออกกำลังกายอย่างหนัก จะใช้เวลานานกว่าที่การระบายอากาศจะกลับสู่ระดับปกติ การเปลี่ยนแปลงนี้เกี่ยวข้องกับการลดลงของการกระตุ้น ที่เป็นผลมาจากจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (ชูศักดิ์ เวชแพทย: 2536)

การแลกเปลี่ยนก๊าซขณะออกกำลังกาย

การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างถุงลมและหลอดเลือดฝอยของปอด เกิดขึ้นโดยการแพร่กระจายเนื่องจากความแตกต่างของความดันก๊าซ การแพร่กระจายเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก แม้ในการออกกำลังกายอย่างหนักที่เลือดมีเวลาผ่านปอดเพียง 0.5 วินาที ก็ยังสามารถแลกเปลี่ยนก๊าซได้จนถึงสมดุล (ขณะไม่ได้ออกกำลังกายเลือดมีเวลาอยู่ในปอดนาน 0.75 วินาที) ขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซในปอดเมื่อออกกำลังกายความสามารถในการแพร่กระจาย (diffusing capacity) ของปอดเพิ่มขึ้น คือในระยะพักมีค่า 20-30 ลบ.ซม.ของออกซิเจน/นาที/ความแตกต่างของความดัน 1 มม. แต่เมื่อออกกำลังกายอย่างหนักจนสมรรถภาพในการจับออกซิเจน (Oxygen uptake capacity) มีค่า 5 ลิตรต่อนาที การแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้นถึง 75 ลบ.ซม. ความสามารถในการแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มออกกำลังกาย แต่เมื่อการออกกำลังกายมากเกินไปเกินระดับ 40% ของการออกกำลังกายสูงสุดแล้ว อัตราการเพิ่มของการแพร่กระจายจะลดน้อยลง การแพร่กระจายที่เพิ่มขึ้นจากการออกกำลังกายนั้น เกิดจากจำนวนหลอดเลือดฝอยของปอดเปิดใช้งานเพิ่มขึ้น (มีจำนวนหนึ่งปิดอยู่ในขณะพัก) พบว่าในขณะออกกำลังกายหลอดเลือดฝอยของกล้ามเนื้อเปิดเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 10 เท่าจากขณะพัก

ระบบหายใจเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อร่างกายเป็นอย่างมาก หน้าที่หลักของระบบนี้คือการจัดหาออกซิเจนสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึมของร่างกาย เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานในการดำรงชีวิตและประกอบกิจกรรมต่างๆ การจำกัดของเสียหรือสิ่งที่เกิดจากการเผาผลาญสารอาหารหรือส่วนที่เหลือจากการใช้และจะต้องระบายขับออกจากเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ กรดแลคติก และอื่นๆ ซึ่งออกมาในรูปของอากาศที่หายใจออกนั่นเอง จะเห็นได้ว่าระบบหายใจมีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างพลังงานของร่างกายเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ การวัดการใช้พลังงานของร่างกายก็ยังสามารถวัดได้จากระบบหายใจเช่นกัน เรียกว่า การวัดทางการหายใจ (Respiratory calorimetry) เป็นวิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส (VCO_2 : VO_2) ขณะหายใจ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความผิดพลาดน้อย และสะดวก

บอร์เซมและบาร์ (Borsheim and Bahr; 2003) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลของระยะเวลา ความหนัก และรูปแบบของการออกกำลังกายที่มีต่อสภาวะการใช้ออกซิเจนในร่างกายของผู้ที่มี สุขภาพดี จากการศึกษาพบว่า หลังการออกกำลังกายในช่วงระยะฟื้นฟู (recovery period) ร่างกาย จะมีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของการใช้ออกซิเจนนั้น ขึ้นอยู่กับความหนักและ ระยะเวลาในการออกกำลังกายประเภทนั้นๆ การศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่ออกกำลังกาย พบว่า ภายหลังจากการออกกำลังกายสภาวะการใช้ออกซิเจนในร่างกายจะลดลงสู่ระดับพัก (resting level) อย่างรวดเร็ว เป็นผลมาจากในขณะออกกำลังกายร่างกายมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ระบบไหลเวียนโลหิต และหายใจมีการทำงานเพิ่มมากขึ้น ร่างกายมีการเผาผลาญอาหารเพื่อให้เกิดพลังงาน โดยใช้ ปริมาณออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น หลังการออกกำลังกายสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนขณะนั้นลดลงแต่ ไม่ถึงขณะพัก ทำให้ร่างกายมีปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สูงสุดเพิ่มขึ้นด้วย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นนิสิตคณะพลศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จำนวน 120 คน อายุอยู่ในช่วง 18 – 21 ปี

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

นิสิตชายคณะพลศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จำนวน 12 คน อายุอยู่ในช่วง 18 – 21 ปี ได้มาจากคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Random Sampling) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ถูกคัดเลือกจะต้องผ่านเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

1. มีการออกกำลังกายเฉลี่ยอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์
2. ไม่มีข้อห้ามทางการแพทย์ที่จะเป็นอุปสรรคในการออกกำลังกาย โดยใช้ แบบสอบถาม ประเมินสุขภาพ (Physical Activity Readiness Questionnaire: PAR-Q) ปรับปรุงจาก American College of Sports Medicine: ACSM (2004)
3. กลุ่มตัวอย่างจะต้องกรอกข้อมูลและลงนามรับรองในหนังสือแสดงความยินยอม (Inform Consent) ก่อนเข้าร่วมการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างโปรแกรมการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานวัดงาน 2 แบบ คือ

1. โปรแกรมการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ เป็นเวลา 30 นาที กำหนดค่าความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$
2. โปรแกรมการออกกำลังกายออกซิเจนเบาบาง เป็นเวลา 30 นาที กำหนดค่าความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$
3. ใบกรอกข้อมูลประกอบด้วยชื่อนามสกุล อายุ เพศ น้ำหนัก ค่าส่วนสูง ระดับที่นั่ง ค่าความหนักที่ใช้ในการปั่นจักรยาน (วัตต์)

4. มาตรวัดความรู้สึกทางใจ RPE (Rating of Perceived Exertion)

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

5.1 จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ Monark Ergonomic รุ่น 839E

5.2 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพลาร์

(Polar) รุ่น T31

5.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง

5.5 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (COSMED Quark PFT Ergo)

5.6 เครื่องทำออกซิเจนเบาบาง (COLORADO ALTITUDE TRAINING)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทำหนังสือถึงภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ และอุปกรณ์

2. ทำหนังสือถึงโครงการจัดตั้งสถาบันวิจัยกีฬาและการออกกำลังกาย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือเพื่อศึกษาวิจัย

3. เตรียมแบบสอบถาม PAR-Q ให้กลุ่มตัวอย่างทำเพื่อคัดเลือกเข้ารับการทดลอง

4. เตรียมหนังสือแสดงความยินยอมให้กลุ่มตัวอย่างได้ลงลายมือชื่อเพื่อรับทราบวัตถุประสงค์ในการวิจัย

5. จัดเตรียมสถานที่ อุปกรณ์ และรูปแบบการปฏิบัติ เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

- สถานที่อุปกรณ์ ได้แก่ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

6. นัดวัน เวลา ให้กลุ่มตัวอย่างให้ทราบโดยทั่วถึงกัน

7. เตรียมกลุ่มผู้เข้ารับการทดสอบ

7.1 อธิบายเกี่ยวกับจุดมุ่งหมายวิธีการเก็บข้อมูลให้กลุ่มตัวอย่างทราบ

7.2 อธิบายวิธีการปฏิบัติและการเก็บข้อมูลให้กลุ่มตัวอย่างทราบ

7.3 ให้กลุ่มตัวอย่างทดลองปฏิบัติ ให้มีความเข้าใจในวิธีการ ขั้นตอนการทดลองทุก

ขั้นตอน

8. ก่อนวันทำการทดลอง จะนัดกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Measurement of VO_{2max}) เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดค่าความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ VO_{2max}

โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนเข้ารายงานตัวที่ห้องปฏิบัติการเวลา 06.00 น. เพื่อทำการชั่งน้ำหนักตัว วัดส่วนสูง และทดสอบหาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยกลุ่มตัวอย่างได้งดกิจกรรมการเคลื่อนไหวทางกาย หรือการออกกำลังกายก่อนเข้ารับการทดลองเป็นระยะเวลา 24

ข้าวโม่ง และงดอาหาร แอลกอฮอล์ บุหรี่ และเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน อย่างน้อย 3 ชั่วโมง ก่อนการทดลองแล้วบันทึกผล

9. ในครั้งแรกของการทดลองการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ

9.1 ก่อนเริ่มทำการทดลองในแต่ละครั้ง กลุ่มตัวอย่างจะต้องวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพัก โดยให้กลุ่มตัวอย่างนั่งบนเก้าอี้ในท่าที่สบายเป็นเวลา 5- 10 นาทีจนกระทั่งมีค่า RER คงที่ประมาณ 0.80 หลังจากนั้นเริ่มทำการวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพักโดยวิธีวัดอัตราการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect Calorimetry) จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สเป็นเวลา 10 นาที

9.2 ให้กลุ่มตัวอย่างปั่นจักรยานเพื่ออบอุ่นร่างกายเป็นเวลา 5 นาที

9.3 หลังจากทำการอบอุ่นร่างกายทั่วไป ให้กลุ่มตัวอย่างทำการออกกำลังกายบนจักรยานวัดงานที่ความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$ โดยใส่หน้ากากที่ปรับปริมาณออกซิเจนปกติ เป็นเวลา 30 นาที

9.4 เมื่อออกกำลังกายครบตามกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างคลายอุณหภูมิจานาน 5 นาทีโดยให้ใส่หน้ากากไว้ก่อน หลังจากนั้นจะทำการวัดอัตราการใช้พลังงานหลังออกกำลังกายทันที

9.5 หลังจากนั้นให้กลุ่มตัวอย่าง พักอยู่ในขอบเขตที่ผู้วิจัยกำหนดให้ และจะทำการวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพัก (RMR) ของกลุ่มตัวอย่างทุกๆ 3 ชั่วโมง ภายหลังจากการออกกำลังกาย 2 ครั้งและทำการวัดอีกครั้งภายหลังจากการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง และบันทึกค่าที่ได้เก็บไว้

10. ในครั้งที่ 2 ของการทดลองการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง

10.1 ทำการอบอุ่นร่างกายเหมือนการทดลองครั้งแรก

10.2 หลังจากทำการอบอุ่นร่างกายทั่วไปแล้วให้กลุ่มตัวอย่างทำการออกกำลังกายบนจักรยานวัดงานที่ความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$ โดยใส่หน้ากากที่ปรับปริมาณออกซิเจนเบาบางเป็นเวลา 30 นาที

10.3 เมื่อออกกำลังกายครบตามกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างคลายอุณหภูมิจานาน 5 นาที โดยให้ใส่หน้ากากไว้ก่อนและจะทำการวัดการใช้พลังงานพลังงานของกลุ่มตัวอย่างทันที

10.4 หลังจากนั้นให้กลุ่มตัวอย่าง พักอยู่ในขอบเขตที่ผู้วิจัยกำหนดให้ และจะทำการวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพัก เหมือนกับครั้งแรก

ทั้งนี้ในการทดลอง กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะต้องทำการทดลองทั้งสองวิธี โดยเมื่อทดสอบวิธีแรกเสร็จจะให้พักเป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนการทดลองครั้งที่ 2

11. บันทึกผลและทำการคำนวณค่าการใช้พลังงานของทั้งสองการทดลอง

12. การวัดอัตราการใช้พลังงานและการคำนวณพลังงานปริมาณ VO_2 และ VCO_2 ที่วัดได้จะถูกนำมาคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานจากสูตรการคำนวณของฟรายเออร์ (Frayn, 1983) ดังนี้

$$\text{CHO (g/min)} = 4.55 \times \text{VCO}_2 - 3.21 \times \text{VO}_2 - 2.87 \text{ n}$$

$$\text{Fat (g/min)} = 1.67 \times \text{VO}_2 - 1.67 \times \text{VCO}_2 - 1.92 \text{ n}$$

โดยกำหนดให้ n (โปรตีน) = 0

อัตราการใช้พลังงานจะถูกเปลี่ยนเป็น Kcal/min โดยกำหนดให้ 1g CHO = 4 Kcal

และ 1g Fat = 9 Kcal

13. นำผลที่ได้จากการคำนวณมาวิเคราะห์ทางสถิติ

การจัดกระทำข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของข้อมูลแต่ละกลุ่ม
2. ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน ระหว่างการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติกับการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางภายหลังการออกกำลังกายทันทีและภายหลังชั่วโมงที่ 3, 6 และ 24 โดยใช้สถิติแบบที (Pair Sample t-test)
3. ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (One way Analysis of Variance with Repeated Measure) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทันที และภายหลังชั่วโมงที่ 3, 6 และ 24 ของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง
4. หากพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติจะทำการเปรียบเทียบรายคู่ ด้วยวิธีของบอนเฟอโรนี (Bonferroni)
5. กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องผลของการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางที่มีต่อการใช้พลังงาน ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกาย ของการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับปริมาณออกซิเจนปกติ มาทำการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ต่างกันของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ดังนี้

M	แทน	ค่าเฉลี่ย (Mean)
S.D.	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
t	แทน	ค่าสถิติทดสอบค่าความมีนัยสำคัญ
F	แทน	ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน
Df	แทน	ระดับของความเป็นอิสระ (Degree of freedom)
SS	แทน	ผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (Sum of square)
MS	แทน	ค่าเฉลี่ยของผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (Mean of square)
P	แทน	ค่าความน่าจะเป็น (Probability)
***	แทน	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001
**	แทน	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01
*	แทน	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง โดยนำข้อมูลความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุมีค่าเท่ากับ 22.08 ± 0.51 ปี ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักตัวมีค่าเท่ากับ 69 ± 13.54 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของส่วนสูงมีค่าเท่ากับ 172.42 ± 5.57 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 17.82 ± 2.9 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ผู้วิจัยได้นำค่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ได้มาเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง และกำหนดความหนักในการออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มตัวอย่าง 12 คน

รายการ	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	M	S.D.
อายุ (ปี)	23	21	22.08	.51
น้ำหนักตัว (กก.)	97	52	69	13.54
ส่วนสูง (ซม.)	182	163	172.42	5.57
VO _{2max} (มล./กก./นาที)	22.83	14.00	17.82	2.90

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ

ผู้วิจัยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ผลปรากฏว่า ก่อนออกกำลังกายมีค่า $3.05 \pm .14$ กับ $3.17 \pm .10$ กิโลจูลต่อนาที หลังออกกำลังกายทันทีมีค่า $5.58 \pm .29$ กับ $5.60 \pm .35$ กิโลจูลต่อนาที หลังออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงมีค่า $4.82 \pm .31$ กับ $4.52 \pm .21$ กิโลจูลต่อนาที หลังออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงมีค่า $3.98 \pm .29$ กับ $3.65 \pm .16$ กิโลจูลต่อนาที และหลังออกกำลังกาย 24 ชั่วโมงมีค่า $2.96 \pm .28$ กับ $2.94 \pm .16$ กิโลจูลต่อนาที ตามลำดับ ดังตาราง 2

จากนั้น ผู้วิจัยทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกาย เพื่อควบคุมให้ความสามารถในการใช้พลังงานขณะพักของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม มีความสามารถที่ไม่แตกต่างกันหรือมีความสามารถใกล้เคียงกัน โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกายโดยใช้สถิติแบบที่ พบว่า กลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับ

กลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่มออกกำลังกายที่

ปริมาณออกซิเจนปกติมีความสามารถในการใช้พลังงานขณะพักไม่แตกต่างกันหรือใกล้เคียงกัน ดังตาราง 2

ตาราง 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ

ช่วงเวลา	กลุ่มออกกำลังกายที่ ปริมาณออกซิเจนเบาบาง		กลุ่มออกกำลังกายที่ ปริมาณออกซิเจนปกติ		t	P value
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ก่อนการออกกำลังกาย	3.05	.14	3.17	.10	.61	.55
ภายหลังทันที	5.58	.29	5.60	.35	.10	.91
ชั่วโมงที่ 3	4.82	.31	4.52	.21	-.85	.41
ชั่วโมงที่ 6	3.98	.29	3.65	.16	-1.03	.32
ชั่วโมงที่ 24	2.96	.28	2.94	.16	-.08	.93

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผู้วิจัยทำการทดสอบหาความแตกต่างของค่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันทีของทั้ง 2 กลุ่ม ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันทีของทั้ง 2 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตาราง 2 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติมีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันทีที่ไม่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานภายหลังจากการออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มในช่วง ภายหลังจากการออกกำลังกาย 3, 6 และ 24 ชั่วโมง เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ระหว่างกลุ่ม

ตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม โดยใช้สถิติแบบที ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ของทั้ง 2 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตาราง 2 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่มออก

กำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ มีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ต่างกัน ของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนการใช้พลังงานภายในของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ผลปรากฏดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการใช้พลังงานภายในกลุ่มของการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง พบว่าการใช้พลังงานในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 3, 6 และ 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $3.05 \pm .14$, $5.58 \pm .29$, $4.82 \pm .31$, $3.98 \pm .29$ และ $2.96 \pm .28$ กิโลจูลต่อนาที ตามลำดับ ดังตาราง 2 จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ดังตาราง 3 แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางในช่วงเวลาที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างน้อย

1 คู่ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) ผลปรากฏว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง, หลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง กับ หลังออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ยกเว้นการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง, หลังออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง กับ หลังออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง, หลังออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง กับ หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางมีค่าน้อยกว่าหลังการออกกำลังกายทันที หลังการออกกำลังกาย 3 และ 6 ชั่วโมง ยกเว้นภายหลังจากออกกำลังกาย 24 ชั่วโมงที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน การใช้พลังงานหลังออกกำลังกายทันทีที่มีค่าการใช้พลังงานมากกว่าภายหลังจากออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมง ยกเว้น

ภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน ส่วนการใช้พลังงาน ภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง แต่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกับภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง และการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ดังตาราง 4

ตาราง 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางในช่วงเวลาต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P value
ระหว่างสมาชิก	19.782	11	1.798		
ภายในกลุ่มสมาชิก	90.217	48	1.879		
ระหว่างเวลาที่ทดสอบ	61.269	4	15.317	23.282***	.000
ความคลาดเคลื่อน	28.948	44	.658		
รวม	109.999	59			

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

ตาราง 4 การเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางในช่วงเวลาต่างกัน

การเปรียบเทียบ	ความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ย	ความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน	P value
ก่อนการออกกำลังกาย : ภายหลังทันที	-2.528***	.333	.000
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 3	-1.768**	.358	.004
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 6	-.932*	.254	.037
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 24	.087	.339	1.000
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 3	.760	.222	.058
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 6	1.596**	.305	.003
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 24	2.615***	.377	.000
ชั่วโมงที่ 3 : ชั่วโมงที่ 6	.836	.339	.312
ชั่วโมงที่ 3 : ชั่วโมงที่ 24	1.855**	.404	.008
ชั่วโมงที่ 6 : ชั่วโมงที่ 24	1.019	.339	.120

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ พบว่าการใช้พลังงานในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 3, 6 และ 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $3.17 \pm .10$, $5.60 \pm .35$, $4.52 \pm .21$, $3.65 \pm .16$ และ $2.94 \pm .16$ กิโลจูลต่อนาทีตามลำดับ ดังตาราง 3 จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน

ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ดังตาราง 5 แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติในช่วงเวลาที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) ผลปรากฏว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001, การใช้พลังงานก่อนออกกำลังกายกับภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง, ภายหลังการออกกำลังกายทันทีกับหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง, หลังการออก

กำลังกาย 3 ชั่วโมงกับหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง, หลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงกับหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01, ก่อนการออกกำลังกายกับหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง, ก่อนการออกกำลังกายกับหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง, ภายหลังการออกกำลังกายทันทีกับหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง, ภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงกับหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากผลทางสถิติแสดงให้เห็นว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติมีค่าน้อยกว่าหลังการออกกำลังกายทันทีและหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง ยกเว้นภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมง ที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน การใช้พลังงานหลังออกกำลังกายทันทีที่มีค่าการใช้พลังงานมากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมงยกเว้นหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน ส่วนการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมง และการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงมีค่าไม่แตกต่างกับภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ดังตาราง 6

ตาราง 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติในช่วงเวลาต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P value
ระหว่างสมาชิก	10.199	11	.927		
ภายในกลุ่มสมาชิก	78.977	48	1.645		
ระหว่างเวลาที่ทดสอบ	57.505	4	14.376	29.460***	.000
ความคลาดเคลื่อน	21.472	44	.488		
รวม	89.176	59			

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

ตาราง 6 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่ม
ออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติในช่วงเวลาต่างกัน

การเปรียบเทียบ	ความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ย	ความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน	P value
ก่อนการออกกำลังกาย : ภายหลังทันที	-2.437***	.357	.000
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 3	-1.352**	.240	.002
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 6	-.480	.209	.425
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 24	.233	.229	1.000
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 3	1.084	.324	.066
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 6	1.957**	.372	.003
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 24	2.669***	.353	.000
ชั่วโมงที่ 3 : ชั่วโมงที่ 6	.872**	.165	.003
ชั่วโมงที่ 3 : ชั่วโมงที่ 24	1.585**	.294	.002
ชั่วโมงที่ 6 : ชั่วโมงที่ 24	.713	.222	.084

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สังเขปความมุ่งหมาย สมมุติฐาน วิธีการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการใช้พลังงานของร่างกายหลังการออกกำลังกายของการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและปริมาณออกซิเจนปกติ และเปรียบเทียบการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและปริมาณออกซิเจนปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 12 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Random Sampling) กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบหาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยวิธีการของรอมป์ (Ramp protocol) ด้วยการปั่นจักรยาน เพื่อนำค่าที่ได้มากำหนดความหนักในการออกกำลังกายที่ 70-75 เปอร์เซ็นต์ของ VO_{2max} จากนั้นทำการออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คือ โปรแกรมการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง ทำการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานเป็นเวลา 30 นาที ที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ของ VO_{2max} โดยให้ออกซิเจนที่ 16 % และโปรแกรมการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ทำการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานเป็นเวลา 30 นาที ที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ของ VO_{2max} โดยให้ออกซิเจนที่ 21 % ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด จากนั้นทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ โดยใช้สถิติแบบที (Pair Sample t-test) และวิเคราะห์ความแปรปรวนการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ต่างกันของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (One way Repeated Measure) และเมื่อพบความแตกต่างจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) ผลสรุปได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุมีค่าเท่ากับ 22.08 ± 0.51 ปี ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักตัวมีค่าเท่ากับ 69 ± 13.54 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของส่วนสูงมีค่าเท่ากับ 172.42 ± 5.57 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการในใช้ออกซิเจนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 17.82 ± 2.9 มิลลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที

2. การเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางกับกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ผลปรากฏดังนี้

ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกายทันที หลังการออกกำลังกาย 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ระหว่างการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและปริมาณออกซิเจนปกติ ไม่แตกต่างกัน

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ต่างกันของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ผลปรากฏดังนี้

3.1 การใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง ผลปรากฏว่า การใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง ผลปรากฏว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางมีค่าน้อยกว่าหลังการออกกำลังกายทันที หลังการออกกำลังกาย 3 และ 6 ชั่วโมง ยกเว้นภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมงที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน การใช้พลังงานหลังออกกำลังกายทันทีที่มีค่าการใช้พลังงานมากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมง ยกเว้นภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน ส่วนการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง แต่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกับภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง และการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงมีค่ามีค่ามากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ดังตาราง 4

3.2 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ผลปรากฏว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติมีค่าน้อยกว่าหลังการออกกำลังกายทันทีและหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง ยกเว้นภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมง ที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน การใช้พลังงานหลังออกกำลังกายทันทีที่มีค่าการใช้พลังงานมากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมง ยกเว้นภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงที่มีค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน ส่วนการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงมีค่ามากกว่าภายหลังการออกกำลังกาย 6 และ 24 ชั่วโมง และการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงมีค่าไม่แตกต่างกับภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ดังตาราง 6

อภิปรายผล

จากการศึกษาการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง โดยการวัดอัตราการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ แล้วนำผลการวัดที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผลการศึกษา พบว่า การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและปริมาณออกซิเจนปกติ การใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกาย ผู้วิจัยทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่ากลุ่มออกกำลังกายทั้ง 2 กลุ่ม มีความสามารถในการใช้พลังงานขณะพักไม่แตกต่างกันหรือใกล้เคียงกัน ดังตาราง 2 หลังจากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันที หลังการออกกำลังกาย 3, 6 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ค่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันที, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ของทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ภายหลังการออกกำลังกายทันที, 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ของทั้ง 2 กลุ่ม ร่างกายยังคงมีการใช้พลังงานในอัตราที่สูงอยู่ ซึ่งเป็นผลมาจากการออกกำลังกาย สอดคล้องกับ โรเอลส์ และคณะ (Roels, et.al. 2006) กล่าวว่า การฝึกร่างกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและออกซิเจนปกติให้ผลดีต่อร่างกายไม่ต่างกัน จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการใช้พลังงานของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติในช่วงเวลาที่ต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 3 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี ดังตารางที่ 4 พบว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายกับหลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกายกับหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง, ก่อนการออกกำลังกายกับหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงแตกต่างกัน เนื่องจากภายหลังการออกกำลังกายร่างกายได้รับการกระตุ้นให้มีการใช้พลังงานมากกว่าปกติ หลังจากนั้นร่างกายจึงค่อยๆ ลดระดับการใช้พลังงานลงจนกระทั่งกลับสู่สภาวะพัก เป็นเหตุให้อัตราการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันที หลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมงมีมากกว่า ก่อนการออกกำลังกาย แต่การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายกับหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน เพราะว่าภายหลังการออกกำลังกายร่างกายจะค่อยๆ ลดอัตราการใช้พลังงานลงจนกระทั่งกับสู่สภาวะพัก การลดอัตราการใช้พลังงานจะค่อยๆ ลดปริมาณลงในระดับคงที่ และประกอบกับการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางเป็นการออกกำลังกายที่กระทำเพียงวันละครั้ง ทำให้ภายหลังการออกกำลังกายร่างกายไม่ได้รับการกระตุ้นการใช้พลังงานอีก จึงทำให้อัตราการใช้พลังงานค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งกับสู่สภาวะพัก ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้อัตราการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน

การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทันทีกับหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงไม่แตกต่างกันแต่ภายหลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง, ภายหลังการออกกำลังกายทันทีกับหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมงแตกต่างกัน เพราะว่าภายหลังการออก

กำลังกายร่างกายยังคงมีการใช้พลังงานในระดับที่สูงอยู่ แล้วจึงค่อยๆ ลดการใช้พลังงานลง สอดคล้องกับ (ชูศักดิ์ และ กันยา: 2536) กล่าวว่า การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทันที ยังคงมีสูงอยู่ และจะค่อยๆ ลดลงสู่ระดับปกติ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันทีที่มีการใช้พลังงานมากกว่าภายหลังการออกกำลังกายช่วงอื่นๆ ส่วนการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง กับ หลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงไม่ต่างกัน เนื่องมาจากภายหลังการออกกำลังกายร่างกายจะค่อยๆ ลดระดับการใช้พลังงานลงในระดับที่คงที่ แต่การออกกำลังกายนี้ จะยังคงมีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายอีกอย่างน้อย 6 ชั่วโมง จึงทำให้ภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง ร่างกายยังมีการใช้พลังงานในระดับที่สูงอยู่ เป็นเหตุให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงกับหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง แตกต่างกับหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง เนื่องจากภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ร่างกายจะลดอัตราการใช้พลังงานจนกระทั่งไม่แตกต่างหรือมีค่าใกล้เคียงกับขณะพัก ซึ่งต่างกับการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงที่ยังคงมีการใช้พลังงานในระดับที่สูงอยู่ จึงเป็นเหตุให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงมากกว่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ส่วนการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกับหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมงและการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติในช่วงเวลาที่ต่างกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 5 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี ดังตารางที่ 6 พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงแตกต่างกันเนื่องจากภายหลังการออกกำลังกายร่างกายได้รับการกระตุ้นให้มีการใช้พลังงานมากกว่าปกติ จึงเป็นเหตุให้ร่างกายมีการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายน้อยกว่าหลังการออกกำลังกายทันที และ 3 ชั่วโมง แต่การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงแตกต่างและก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน เพราะว่าภายหลังการออกกำลังกายร่างกายจะค่อยๆ ลดอัตราการใช้พลังงานลงจนกระทั่งกับสู่ขณะพักปรกอบกับกลุ่มตัวอย่างอาจมีกิจกรรมทางกายของวันที่ทดสอบน้อย จึงเป็นเหตุให้ใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงและก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงไม่แตกต่างกันแต่ภายหลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงและภายหลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงแตกต่างกัน เพราะว่า ภายหลังการออกกำลังกายร่างกายยังคงมีการใช้พลังงานในระดับที่สูงอยู่ เช่นเดียวกับการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง จึงทำให้การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทันทีมากกว่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายช่วงอื่นๆ แต่การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง แตกต่างกับ หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง เนื่องจากภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ร่างกายจะลดอัตราการใช้พลังงานจนกระทั่ง

ไม่แตกต่างกันหรือมีค่าใกล้เคียงกับขณะพัก ซึ่งต่างกับการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง ที่ยังคงมีการใช้พลังงานในระดับที่สูงอยู่ จึงเป็นเหตุให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมงมากกว่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ส่วนการใช้พลังงานงานหลังออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกับหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง และการใช้พลังงานช่วงหลังการออกกำลังกาย 3 และ 6 ชั่วโมง แตกต่างกัน เพราะเป็นผลมาจากการลดอัตราการใช้พลังงานที่เร็วของกลุ่มตัวอย่างจึงเป็นผลทำให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับหลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6 แตกต่างกัน

จากผลการทดลองข้างต้น สรุปได้ว่า การออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางมีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายหลังการออกกำลังกาย ไม่แตกต่างกับการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ ในชั่วโมงที่ 3 ชั่วโมงที่ 6 และ หลังการออกกำลังกาย ในชั่วโมงที่ 24 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ลาวด์บี้ และคณะ (Loundby C, et al.2005) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกในอากาศเบาบาง โดยทำการฝึกแบบเป็นช่วงๆ (Intermittent) ที่ระดับความสูง 4,100 เมตร โดยทำการฝึกที่ระดับน้ำทะเล โดยการฝึกในห้องปรับความดันเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงต่อครั้งเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 4 สัปดาห์พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ ฮีโมโกลบิน ฮีมาโตคริต เรติคิวโรไซด์ ซีรั่มทรานสเฟอร์ริน รีเซพเตอร์ หรือระดับของ EPO ในเลือด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ออกซิเจนที่ระดับเกือบสูงสุดทดสอบโดยใช้การปั่นจักรยานที่ความหนัก 150 วัตต์ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของงานที่ทำได้ต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน จึงสามารถสรุปได้ว่า การฝึกที่ระดับความสูง 4,100 เมตร เป็นระยะเวลา 14 วันๆ ละ 2 ชั่วโมงนั้นไม่มีผลต่อความสามารถในการออกกำลังกาย เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยข้างต้นงานวิจัยนี้ใช้ความเข้มข้นของออกซิเจน ร้อยละ 16 จากการคำนวณตามกฎของความดันย่อยจะเท่ากับความสูงประมาณ 1,800 เมตรจากระดับน้ำทะเล ซึ่งจะอยู่ในระดับที่เรียกว่าความสูงระดับต่ำ Low Altitude กันก้า (Gunga, 2005) ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้พลังงานของร่างกายด้วยการออกกำลังกายที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งเป็นความหนักที่อยู่ในระบบพลังงานแบบแอโรบิกและการวิจัยดังกล่าวนั้นเป็นการใช้การให้ออกซิเจน เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยใดๆ เนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาผลของการฝึกในอากาศเบาบางที่มีต่อการใช้พลังงานของร่างกายเพียงแค่ครั้งเดียวการออกกำลังกายทั้งสองแบบจึงไม่มีความแตกต่างกันแต่ถึงอย่างไรการออกกำลังกายทั้งสองแบบนี้ ก็จะส่งผลต่อสุขภาพในการพัฒนาระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต ระบบกล้ามเนื้อ อีกทั้งยังช่วยให้ปริมาณคลอเรสเตอรอลลดลงอีกด้วย (บรรเทิง เกิดปรำรงค์: 2541)

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง พบว่า การออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางมีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายที่เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยนี้ควรมีการสังเกตอัตราการเต้นของหัวใจ ค่าความเหนื่อยล้าสัมพัทธ์เพิ่มเข้ามาเพื่อที่จะช่วยบ่งบอกถึงผลของงานวิจัยนี้ได้กว้างมากขึ้น และยังควรทำการทดลองในสถานที่จริงเพื่อผลที่ได้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น

ข้อแนะนำสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางที่มีต่อการใช้พลังงานในผู้ที่เป็โรคอ้วน
2. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางที่ระดับความหนักต่าง ๆ ที่มีต่อการใช้พลังงาน
3. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางที่มีต่อการออกกำลังกายรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเดิน การวิ่ง ที่มีต่อการใช้พลังงาน



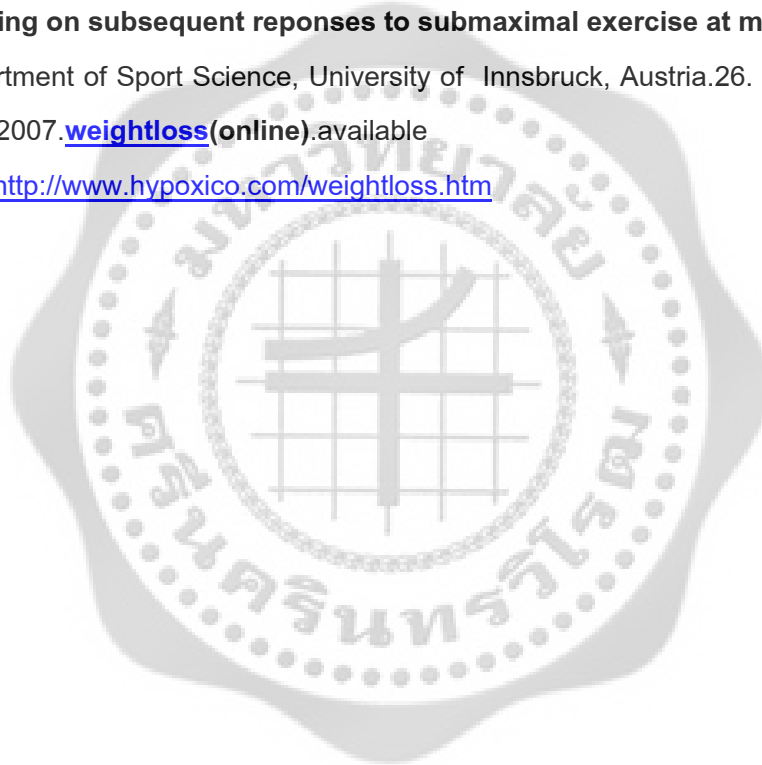


บรรณานุกรม

- เจริญ กระบวนรัตน์. (2548). หลักการและเทคนิคการฝึกกรีทา. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชนินทร์ชัย อินทราภรณ์. (2544). การเปรียบเทียบผลของการฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่กับการฝึกด้วยน้ำหนัก การฝึกพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนัก และการฝึกเชิงซ้อนที่มีต่อการพัฒนากล้ามเนื้อขา. ปรินญาตฐฎิบัณฑิต. (พลศึกษา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูศักดิ์ เวชแพทย. (2536). สรีรวิทยาการออกกำลังกาย. กรุงเทพฯ : ธรรมกมลการพิมพ์.
- _____. (2540). สรีรวิทยา1. กรุงเทพฯ : สวัสดิการพิมพ์.
- บรรเทิง เกิดปรำรงค์. (2541). การเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- ประทุม ม่วงมี. (2527). สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย. กรุงเทพฯ : บุรพาสารัน.
- ประเวท เกษกัน. (2547). ผลการฝึกด้วยน้ำหนักในจำนวนครั้งต่างกันที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา. ปรินญาตฐฎิบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรีดา สุทธิวิวัฒน์ และ เสรีฐิต์ สุกณะพัฒน์. (2547). การออกกำลังกายและการกีฬา. กรุงเทพฯ : บรรณากิจ 1991 จำกัด.
- พัชรา วีระกลัษ. (2544). พลังงานและเมแทบอลิซึม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิชิต ภูติจันทร์. (2535). สรีรวิทยาการออกกำลังกาย. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์
- _____. (2547). วิทยาศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์
- พีระพงศ์ บุญศิริ. (2538). สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์
- ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. (2542). สรีรวิทยา 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์.
- มงคล แวนไธสง. (2546). การออกกำลังกายแบบแอโรบิค. กรุงเทพฯ : แม็ค
- มนัส ยอดคำ. (2548). สุขภาพกับการออกกำลังกาย. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- สนธยา สีละมาด. (2547). หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวรรณ หังสพฤกษ์ และ สุพรพิมพ์ เจียสกุล. (2544). สรีรวิทยา 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์.

- American College of Sports Medicine. (2004). **ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment Manual**. United States.
- Benoit H.; Germain M.; Barthelemy JC.; Denis C., Castells J.; Lacour JR.; Gevssant A. 1992. **Pre-acclimatization to high altitude using exercise with normobaric gas mixtures**. Int J Sport Med. (October; 13)
- Borsheim, E. and Bahr, R. (2003). **Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption**. Sports Medicine, 33(14):1037-1060.
- Frayn, KN. (1983). **Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange**. Journal of Applied Physiology. 55: 628-634.
- Hanns-Christian Gunga.(2005). **Erythropoietin under different environmental and Physical conditions**. Institut for Physiologie Zentrum for Weltraummedizin and extreme Umwelten Charit – Universitätsmedizin Berlin.
- K. R. Westerterp, B. Kayser, F. Brouns, J. P. Herry and W. H. Saris. (1992). **Energy expenditure climbing Mt. Everest**. Journal of Applied Physiology. 73: 1815-1819
- Lundby, C. 1; Nielsen, T. K. 2; Dela, F. 3; Damsgaard, R. 2.(2005). **The influence of intermittent altitude exposure to 4100 m on exercise capacity and blood variables**. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 15(3):182-187
- Meeuwsen T., Ingrid J.M. Hendriksen' and Michael Holewijn. (2001). **Training-induced Increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobarichypoxia**. Eur J Appl Physiol. 84: 283-290
- Michael P. Ward.; James S. Milledge.; John B. West. (2000). **High Altitude Medicine and Physiology**. Oxford University Press Inc., New York. 2
- Qinghai, Xining. 15 september 2007. **Progress in studying weight loss at high altitude and it's potential application in patients with obesity**. available
URL:<http://www.hypoxico.com/weightloss.htm>
- Richalet JP., Bittel J., Herry JP., Savourey G., Le Trong JL., Auvert JF., Janin C.1992. **Use of a hypobaric chamber for pre-acclimatization before climbing Mount Everest**. Int J Sport Med. (October; 13)

- Robert D. Reynolds, Julie Ann Lickteig, Patricia A. Deuster, Mary P. Howard, Joan M. Conway, Anneke Pietersma, Joyce deStoppelaar and Paul Deurenberg. (1999). **Energy metabolism increases and regional body fat decreases while regional muscle mass is spared in humans climbing Mt. Everest.** Journal of Nutrition. 129: 1307-1314
- Roels B.; Thomas C.; Bentley DJ.; Mercier J.; Hayot M.; Millet G., 2007. **Effects of Intermittent hypoxic training on amino and fatty acid oxidative combustion in human permeabilized muscle fibers.** J Appl Physiol. (Sep; 21)
- Santander E.; Faulhaber M.; Flatz, M.; Burtcher.2000. **Effects of interval hypoxic Training on subsequent reponses to submaximal exercise at moderate altitude.** Department of Sport Science, University of Innsbruck, Austria.26.
- 15september2007.[weightloss](http://www.hypoxico.com/weightloss.htm)(online).available
URL:<http://www.hypoxico.com/weightloss.htm>





ภาคผนวก ก

แบบทดสอบความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_{2\max}$)

และ

แบบทดสอบหาค่าความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก

70-75% ของ $VO_{2\max}$

แบบทดสอบความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_{2\max}$)

ทดสอบหาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Measurement of $VO_{2\max}$) โดยวิธีของการของแลมป์ (Ramp protocol)

การทดสอบหาค่า $VO_{2\max}$ โดยการปั่นจักรยาน มีวิธีการทดสอบดังนี้

กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกาย โดยทำการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ โดยมีความความแตกต่างไม่เกิน 5 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาทีและทำการเพิ่มความหนักขึ้นอีก 5 วัตต์ ทุกๆ 12 วินาที ความเร็วในการปั่น 60 รอบต่อนาที (rpm) ค่าความต่างไม่เกิน 5 รอบต่อนาที ปฏิบัติเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งกลุ่มตัวอย่างมีค่าเข้าหลักเกณฑ์ 3 ใน 5 ข้อ ดังนี้

1. อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเปลี่ยนแปลง น้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 มล.ต่อนาที เมื่อมีความเร็วเพิ่มขึ้นอีกระดับหนึ่ง
2. อัตราส่วนระหว่าง CO_2 ต่อ O_2 (RER) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.1
3. ค่าความรู้สึกความเหนื่อยสัมพัทธ์ (RPE) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 18
4. อัตราการเต้นของหัวใจของกลุ่มตัวอย่างมีความแตกต่าง $\pm 5\%$ ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (200-อายุ)
5. กลุ่มตัวอย่างหมดแรง

**แบบทดสอบหาค่าความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก
70-75% ของ $VO_{2\max}$**

1. ทำการคำนวณหาค่าความหนักที่ระดับ 70-75% ของค่าความสามารถในการจับออกซิเจนได้สูงสุด ($VO_{2\max}$)
2. ทำการทดสอบหาค่าความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$ ดังนี้
3. เริ่มต้นให้ทำการอบอุ่นร่างกาย โดยทำการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ โดยมีความความแตกต่างไม่เกิน 5 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาทีและทำการเพิ่มความหนักขึ้นอีก 10 วัตต์ วัตต์ ในทุก ๆ 3 นาที ความเร็วในการปั่น 60 รอบต่อนาที (rpm) ค่าความต่างไม่เกิน 5 รอบต่อนาที ปฏิบัติเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง
4. ค่า $VO_{2\max}$ ที่ระดับความหนัก 70-75% คงที่ หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 5 มิลลิลิตรต่อนาที (ml/min) เป็นเวลา 5 นาทีและนำค่าความหนักที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 นาที ใน 5 นาที มาเฉลี่ยเพื่อนำมากำหนดเป็นความหนักในการออกกำลังกาย



โปรแกรมการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ

1. ผู้เข้ารับการทดลองดื่มน้ำเปล่าปริมาตร 3 มล.ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ก่อนการทดลอง
เป็น
เวลา 30 นาที
2. ผู้เข้ารับการทดลองตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินชีวิตประจำวัน
3. ทำการอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
4. เริ่มการออกกำลังกายเริ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนปกติ(~21%)
 - ช่วง 15 นาทีแรก เพิ่มความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$ โดยใส่หน้ากากที่ปรับปริมาณออกซิเจนปกติ
 - ออกกำลังกายที่ความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$ โดยใส่หน้ากากที่ปรับปริมาณออกซิเจนปกติเป็นเวลา 30 นาที
 - วัดค่าความรู้สึกความเหนื่อยสัมพันธ์ (RPE) ทุก ๆ 5 นาที
5. ทำการคลายอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
6. วัดการใช้พลังงานขณะพัก (RMR) ภายหลังการออกกำลังกายทันที และทุกๆ 3 ชั่วโมง
อีกครั้ง คือ ชั่วโมงที่ 3, 6 และ 24

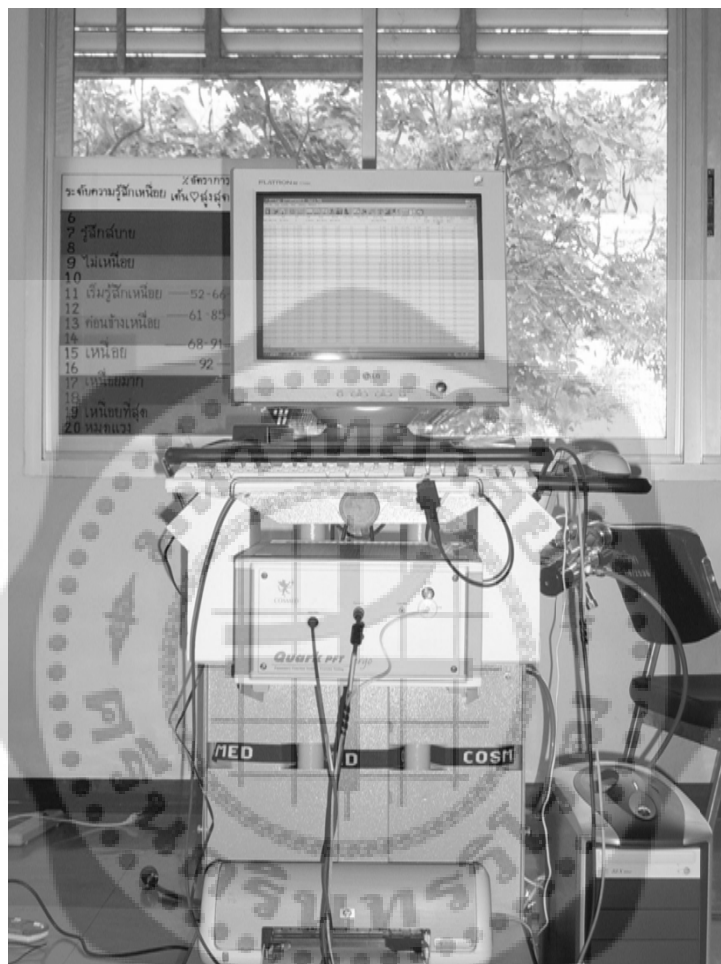
โปรแกรมการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง

1. ผู้เข้ารับการทดลองดื่มน้ำเปล่าปริมาตร 3 มล. ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ก่อนการทดลอง
เป็น
เวลา 30 นาที
2. ผู้เข้ารับการทดลองตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินชีวิตประจำวัน
3. ทำการอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
4. เริ่มการออกกำลังกายเริ่มการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง (~16%)
 - ช่วง 15 นาทีแรก เพิ่มความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$ โดยใส่หน้ากากที่ปรับปริมาณออกซิเจนเบาบาง
 - ออกกำลังกายที่ความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$ โดยใส่หน้ากากที่ปรับปริมาณออกซิเจนปกติเป็นเวลา 30 นาที
 - วัดค่าความรู้สึกความเหนื่อยสัมพันธ์ (RPE) ทุก ๆ 5 นาที
5. ทำการคลายอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
6. วัดการใช้พลังงานขณะพัก (RMR) ภายหลังการออกกำลังกายทันที และทุกๆ 3 ชั่วโมง
อีกครั้ง คือ ชั่วโมงที่ 3, 6 และ 24



ภาคผนวก ค
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

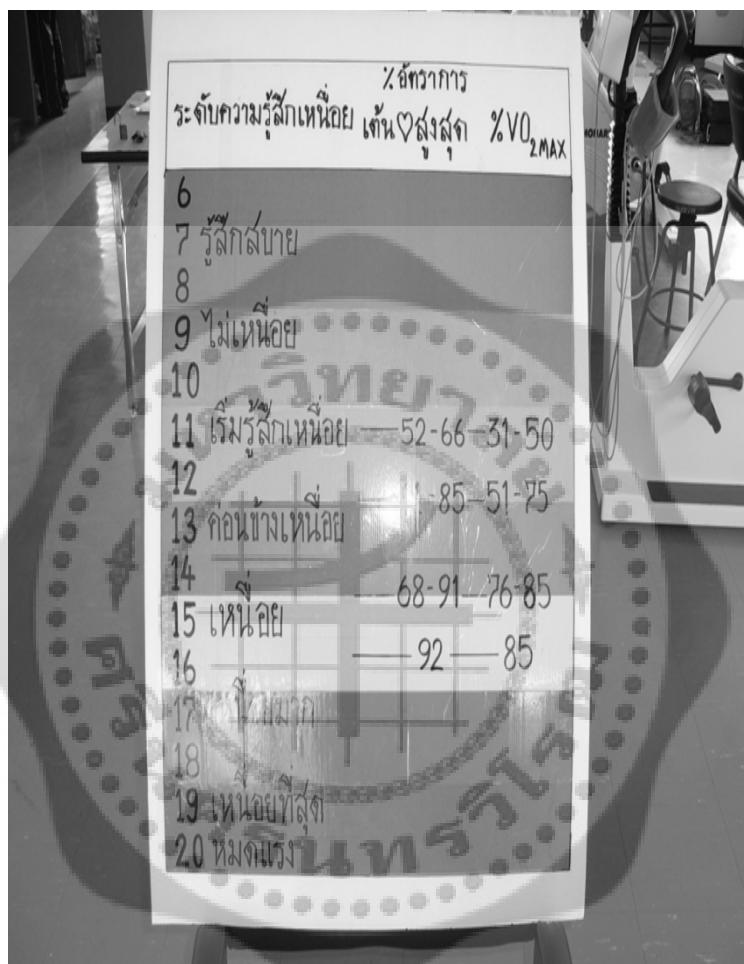
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล



เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer)
ยี่ห้อ Cosmed รุ่น PFT Ergo



จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ Monark Ergomedic
รุ่น 839E



ระดับความรู้สึกเหนื่อย	%อัตราการเต้นหัวใจ	% $\dot{V}O_{2\text{MAX}}$
6		
7 รู้สึกสบาย		
8		
9 ไม่เหนื่อย		
10		
11 เริ่มรู้สึกเหนื่อย	52-66	31-50
12	66-85	51-75
13 ค่อนข้างเหนื่อย		
14	68-91	76-85
15 เหนื่อย	92-85	
16		
17 เหนื่อยมาก		
18		
19 เหนื่อยที่สุด		
20 หายใจแรง		

ตารางวัดค่าความเหนื่อยสัมพันธ์

(Rating of Perceived Exertion: RPE Borg Scale)



เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor)
ยี่ห้อ Polar



เครื่องปรับปริมาณออกซิเจน
ยี่ห้อ Colorado Altitude training

หนังสือแสดงความยินยอม (Inform Consent)

ข้าพเจ้า นายณนนต์ กุลกิติเกษ นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา(ปริญญาโท) สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จังหวัดนครนายก ทำการศึกษาวิจัย

เรื่อง การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบาง

ชื่อภาษาอังกฤษ ENERGY EXPENDITURE AFTER EXERCISE AT
NORMOBARIC HYPOXIC

โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานของร่างกายหลังการออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายที่ปริมาณออกซิเจนเบาบางและออกซิเจนปกติ ซึ่งจะทำให้การทดลองโดยการให้ผู้เข้าร่วมการทดลองปั่นจักรยานที่ความหนักของงานในการปั่นจักรยานวัดงานที่ความหนัก 70-75% ของ $VO_{2\max}$ 30 นาทีโดยใส่หน้ากากในปริมาณออกซิเจนที่ต่างกัน 2 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะทำการวัดค่าการใช้พลังงานหลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 3, 6 และ 24 ชั่วโมง

ในการเข้าร่วมการทดลองในครั้งนี้ ไม่มีค่าตอบแทนใดๆ และไม่ว่าท่านจะเข้าร่วมการทดลองหรือไม่ก็ตาม จะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อตัวท่าน ข้าพเจ้าเชื่อมั่นว่า ในการเข้าร่วมการทดลองในการวิจัยครั้งนี้จะไม่มีความเสี่ยงต่อการเรียนและการฝึกซ้อมกีฬา หรือภาระกิจประจำวันของท่าน และผู้ที่สมัครเข้าร่วมการทดลอง สามารถขอดูหรือสอบถามข้อมูลการวิจัยได้ นอกจากนั้นยังสามารถถอนตัวออกจากการเข้าร่วมการทดลองได้ทุกเมื่อ แม้ว่าการวิจัยนี้ยังไม่เสร็จสิ้นก็ตาม

หากท่านประสงค์เข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้ กรุณาลงลายมือชื่อ เพื่อแสดงความยินยอมในที่ว่างที่เว้นไว้ ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาและการกีฬาในต่อไปและหากท่านมีข้อสงสัยหรือต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อข้าพเจ้าได้ที่เบอร์โทรศัพท์ 08-1456-1706 ข้าพเจ้าขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ ที่ท่านกรุณาให้ความร่วมมือในการเข้าร่วมในการวิจัยในครั้งนี้

ลงชื่อผู้เข้าร่วมการวิจัย

(ชื่อตัวบรรจง.....)

เบอร์โทรศัพท์ วันที่

ลงชื่อผู้วิจัย.....

ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อชื่อสกุล	นายณณนธ์ กุลกิติเกษ
วันเดือนปีเกิด	14 มีนาคม 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดตาก
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	431/1 ถ.ไทยชนะ ต.เชียงเงิน อ.เมือง จ.ตาก 63000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2538	ประถมศึกษา จากโรงเรียนอนุบาลตาก
พ.ศ. 2541	มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนตากพิทยาคม
พ.ศ. 2544	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนตากพิทยาคม
พ.ศ. 2548	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2552	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา : หมวดวิชาเอก วิทยาศาสตร์การออกกำลังกาย จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ