

ผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
ที่มีต่อการใช้พลังงาน

ปริญญานิพนธ์
ของ
นิพนธ์ วิชชุตเวส

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
พฤษภาคม 2551

ผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
ที่มีต่อการใช้พลังงาน

ปริญญานิพนธ์
ของ
นิพนธ์ วิชชุดเวส

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
พฤษภาคม 2551
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
ที่มีต่อการใช้พลังงาน

บทคัดย่อ
ของ
นิพนธ์ วิชชุดเวส

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
พฤษภาคม 2551

นายนิพนธ์ วิษุตเวส. (2551). ผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม

ที่มีต่อการใช้พลังงาน. ปรินทิพนิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : ดร.คุณัตว์ พิธพรชัยกุล, อ.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานของร่างกายขณะออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 12 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Random Sampling) กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบหาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และทำการออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คือ โปรแกรมการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง และโปรแกรมการออกกำลังกายแบบสะสม นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบค่าทีและวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำและเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในขณะที่พักก่อนการออกกำลังกาย ขณะออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมงของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกัน
2. ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันที และหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงของทั้งสองกลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. ค่าเฉลี่ยความเหนื่อยล้าของทั้งสองกลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05
4. ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ต่างกัน ผลปรากฏดังนี้ การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6 นั้นไม่แตกต่างกัน
5. ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน ผลปรากฏดังนี้ การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับหลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3, หลังการออก

กำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24 ไม่แตกต่างกัน

สรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบสะสมมีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 และ 6 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง แต่มีผลทำให้ร่างกายมีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันที และหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง นอกจากนี้การออกกำลังกายแบบสะสมยังทำให้เกิดความเหนื่อยและความเมื่อยล้าน้อยกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

THE EFFECT OF CONTINUOUS AND ACCUMULATED EXERCISE
ON ENERGY EXPENDITURE

AN ABSTRACT
BY
NIPON VICHUTAVAS

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Science degree in Sports Science
At Srinakharinwirot University
May 2551

Nipon Vichutavas. (2008). *The effect of continuous and accumulated exercise on energy expenditure*. Master Thesis, M.Sc. (Sports Science). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Kunat Pithapornchaikul, Thanormsak senakham.

The purpose of this study is to investigate and compare the effect of continuous and accumulated exercise on energy expenditure. Subjects are 12 males who are Sport Science major students of Srinakharinwirot University. Participants were assigned into 2 method (Continuous exercise and Accumulated exercise) using purposive random sampling. Results are analyzed using mean, standard deviation, t-test and one-way analysis of variance with repeated measure and multiple comparisons with Bonferroni method.

The results are as follows;

1. The mean score for Energy expenditure in before exercise, during exercise, 3 hours and 6 hours after 1st exercise in two groups are not difference.

2. The mean score for Energy expenditure in after exercise and after 24 hours exercise of two groups are significantly different at .05 level.

3. The mean score for Rating of Perceived Exhaustion of two groups are significantly different at .05 level.

4. The results of the mean score for Energy expenditure between subjects in Continuous exercise groups in difference times are as follows; Before exercise and after exercise, Before exercise and 3 hours after exercise, Before exercise and 6 hours after exercise, After exercise and 3 hours after exercise, After exercise and 6 hours after exercise, After exercise and 24 hours after exercise, 3 hours after exercise and 24 hours after exercise, 6 hours after exercise and 24 hours after exercise are significantly different at .05 level but Before exercise and 24 hours after exercise, 3 hours after exercise and 6 hours after exercise are not difference.

5. The results of the mean score for Energy expenditure between subjects in Accumulated exercise groups in difference times are as follows; Before exercise and after exercise, Before exercise and 3 hours after exercise, Before exercise and 6 hours after exercise, After exercise and 3 hours after exercise, After exercise and 6 hours after exercise, After exercise and 24 hours after exercise are significantly different at .05 level but Before exercise and 24 hours after exercise, 3 hours after exercise and 6 hours after exercise, 3 hours after exercise and 24 hours after exercise, 6 hours after exercise and 24 hours after exercise are not difference.

In conclusion, The effect of accumulated exercise on energy expenditure at after 3, 6 hours and continuous exercise are not difference but to result in energy expenditure at after exercise and 24 hours after exercise of accumulated exercise more than continuous exercise. Furthermore, Rating of Perceived Exertion of accumulated exercise is less than continuous exercise.

ปริญญาานิพนธ์
เรื่อง
ผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
ที่มีต่อการใช้พลังงาน
ของ
นิพนธ์ วิชชุดเวส

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรการกีฬา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสิริ จีระเดชากุล)
วันที่ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2551

คณะกรรมการควบคุมปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร.คุณัตว์ พิธพรชัยกุล)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มยุรี ศุภวิบูลย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ถนอมศักดิ์ เสนาคำ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อภิสิทธิ์ เทียนทอง)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.คุณัตว์ พิธพรชัยกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ถนอมศักดิ์ เสนาคำ)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยความเมตตากรุณาอย่างดียิ่ง จาก อาจารย์ ดร.คุณัตว์ พิธพรชัยกุล ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์ถนอมศักดิ์ เสนาคำ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะและตรวจสอบแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี จึงทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง สมบูรณ์และมีคุณค่าทางวิชาการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณยิ่งแต่ท่านคณาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านผู้ซึ่ง ให้ความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ขอขอบคุณนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่สละเวลา เพื่อเข้าร่วมกลุ่มตัวอย่างในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอเทอญพระคุณ คุณพ่อพัฒน์พงศ์ วิชชุดเวส คุณแม่นงนค์ วิชชุดเวส ตลอดจน น้องชาย ญาติพี่น้อง เพื่อนๆ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ช่วยให้กำลังใจและให้คำปรึกษา ซึ่งเป็นแรงบันดาลใจให้ผู้วิจัยฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้อย่างดี จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยมีความรู้สึกซาบซึ้งในน้ำใจและความกรุณาของทุกท่านเป็นอย่างสูงยิ่ง

นิพนธ์ วิชชุดเวส

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า.....	3
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	4
ตัวแปรในการศึกษาค้นคว้า.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
สมมติฐานของการศึกษาค้นคว้า.....	5
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
หลักการออกกำลังกาย.....	7
การกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกาย.....	7
ขั้นตอนในการออกกำลังกาย.....	8
ประโยชน์ของการออกกำลังกาย	9
การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง	11
หลักการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง	11
ประโยชน์ของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง	11
การออกกำลังกายแบบสะสม.....	12
หลักการออกกำลังกายแบบสะสม.....	12
ประโยชน์ของการออกกำลังกายแบบสะสม.....	12
เมตะบอลิซึมของร่างกาย	13
อัตราของเมตะบอลิซึม.....	13
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราเมตะบอลิซึม.....	16
กระบวนการสร้างพลังงาน	18
ระบบพลังงาน	21
การวัดพลังงานของร่างกาย	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 (ต่อ)	
ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย	30
การทำหน้าที่ของระบบหายใจ.....	31
การระบายอากาศในสภาวะต่างๆ.....	32
การแลกเปลี่ยนก๊าซขณะออกกำลังกาย.....	33
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	35
เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า	35
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	36
วิธีการดำเนินการก่อนการทดลอง	36
วิธีการดำเนินการทดลอง	37
การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	38
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	39
ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง	40
ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ และค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายแบบ ต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบแบบสะสม	40
ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน ของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและกลุ่มออกกำลังกาย แบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน	43
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	47
สังเขปความมุ่งหมาย สมมุติฐาน วิธีการทดลอง และสรุปผลการทดลอง.....	47
อภิปรายผล.....	49
ข้อเสนอแนะ	54
ข้อแนะนำสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป.....	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	57
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก	
แบบทดสอบความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด	62
ภาคผนวก ข	
โปรแกรมการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง.....	64
โปรแกรมการออกกำลังกายแบบสะสม.....	65
ภาคผนวก ค	
ใบอนุญาตทำการวิจัยในมนุษย์.....	67
ภาคผนวก ง	
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	69
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	74

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มตัวอย่าง	40
2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ของ กลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มการออกกำลังกาย แบบสะสม	41
3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเหนื่อยล้าสัมพัทธ์ขณะการออกกำลังกาย ของกลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มการออกกำลังกาย แบบสะสม	42
4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่ม ของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาต่างกัน	44
5 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่ม ของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาต่างกัน	44
6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่ม ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาต่างกัน	45
7 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่ม ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาต่างกัน	46

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis).....	23
2 วัฏจักรเคร็บ (Kreb's cycle)	25
3 การขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport)	25
4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการออกกำลังกาย กับการทำงานของพลังงานในระบบต่างๆ	27
5 แสดงวิธีการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากอากาศเข้าสู่ร่างกาย เพื่อนำไปใช้ในการเคลื่อนไหวนៃของกล้ามเนื้อ.....	31
6 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) ยี่ห้อ Cosmed รุ่น PFT Ergo.....	69
7 จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ Monark Ergonomic รุ่น 839E	70
8 ตารางวัดค่าความเหนื่อยล้าสัมพัทธ์ (Rating of Perceived Exertion: RPE Borg Scale).....	71
9 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย (Heart rate monitor) ยี่ห้อ Polar.....	72

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การออกกำลังกาย ได้กลายเป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในยุคปัจจุบัน เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่างๆ เป็นสาเหตุให้มีการเคลื่อนไหวและกิจกรรมทางกายลดน้อยลง ดังที่ พิชิต ภูติจันทร์ (2547 : 69) ได้กล่าวว่า ความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่างๆ ทำให้มีความจำเป็นในการใช้แรงงานของตนเองมีน้อย เพราะมนุษย์ได้นำเอาเครื่องมือเครื่องใช้ และเครื่องยนต์กลไกต่างๆ เข้ามาช่วยในการทำงานมากขึ้น เป็นเหตุให้มีการเคลื่อนไหวทางกายน้อยลง ดังนั้น มนุษย์จึงหาวิธีการในการที่จะชดเชยกิจกรรมทางกายด้วยการออกกำลังกาย การออกกำลังกายจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ เจริญ กระบวนรัตน์ (2542 : 3) กล่าวว่า การออกกำลังกาย ช่วยให้ระบบการทำงานของอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายเกิดการปรับตัวและเปลี่ยนแปลง เกิดการพัฒนาทางด้านสมรรถภาพทางกาย ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการปรับตัวเพื่อตอบสนองและเตรียมพร้อมที่จะรับสถานการณ์ ความเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านปริมาณและความหนักในการออกกำลังกายที่เพิ่มขึ้นในโอกาสต่อไป ดังนั้น คนที่มีการออกกำลังกายบ่อยๆ จึงมีสุขภาพร่างกายที่ดีกว่าคนที่ไม่มีการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายเพื่อให้ได้ประโยชน์ต่อสุขภาพมากที่สุด คือการออกกำลังกายแบบแอโรบิค ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่ช่วยพัฒนาระบบหัวใจไหลเวียนเลือด กล่าวคือ ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรงขึ้นสามารถสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ปริมาณมากขึ้น หลอดเลือดมีความยืดหยุ่นดีขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจลดต่ำลง การไหลเวียนเลือดเป็นไปอย่างสะดวก และภายหลังการออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะคืนสู่สภาพปกติได้เร็วกว่าผู้ที่ไม่ได้ออกกำลังกาย การที่หัวใจและหลอดเลือดสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้ร่างกายสามารถประกอบกิจกรรมได้เป็นระยะเวลายาวนานยิ่งขึ้น (ลาวัลย์ เรื่องปรัชญากุล. 2536) การออกกำลังกายแบบแอโรบิคมิได้หมายถึง การเดินแอโรบิคเพียงอย่างเดียว แต่ครอบคลุมถึงการออกกำลังกายอย่างอื่นด้วย เช่น การเดิน วิ่ง ขี่จักรยาน ว่ายน้ำ เป็นต้น ซึ่งร่างกายจะได้รับออกซิเจนเต็มที่ กระตุ้นการไหลเวียนของโลหิตทำให้หัวใจและปอดแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันและรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือดได้เป็นอย่างดี (สุรัชย์ พันธุ์กำเนิด. 2541 : 40)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิคสามารถปฏิบัติได้หลายรูปแบบและหลายวิธี การเลือกกิจกรรมการออกกำลังกายควรคำนึงถึงความเหมาะสมของแต่ละบุคคล เพื่อให้การออกกำลังกายนั้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง เป็นการออกกำลังกายอีกรูปแบบหนึ่งตามหลักการออกกำลังกายแบบแอโรบิค การทำงานของร่างกายอย่างต่อเนื่องกันโดยไม่มีการหยุดพักระหว่างการออกกำลังกายที่ความหนักปานกลาง พลังงานที่ร่างกายนำมาใช้ได้มาจากออกซิเจนที่ร่างกายหายใจเข้าไป การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องจะช่วยให้ร่างกายพัฒนาการใช้

ออกซิเจนได้ดียิ่งขึ้น (วิชิต คณิงสุขเกษม. 2541) การออกกำลังกายแบบแอโรบิคเป็นการพัฒนาระบบแอโรบิคซึ่งมีผลในการช่วยเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของหลอดเลือดฝอย (Density of Capillary) จำนวนและขนาดของไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) การเพิ่มขึ้นดังกล่าวจะส่งผลให้การขนส่งออกซิเจนและการสำรองพลังงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและสามารถเคลื่อนย้ายของเสียจากกระบวนการสำรองพลังงานได้เร็วขึ้น (สนธยา สีละมอด. 2547 : 339) การใช้พลังงานในการออกกำลังกายที่มีระยะเวลานาน แหล่งพลังงานที่สำคัญได้มาจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ในระยะแรกของการออกกำลังกาย พลังงานที่สำคัญได้มาจากไกลโคเจน แต่ในช่วงท้ายของการออกกำลังกายนั้น ร่างกายจะใช้ไขมันเป็นต้นตอของพลังงานที่สำคัญ (ชูศักดิ์ เวชแพศย์. 2536 : 151)

สำหรับการออกกำลังกายแบบสะสมเป็นการออกกำลังกายอีกรูปแบบหนึ่งที่อาศัยหลักการออกกำลังกายแบบแอโรบิค ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่ทำติดต่อกันเกิน 3 นาทีขึ้นไป ความหนักของการออกกำลังกายที่ระดับปานกลาง มีการออกกำลังกายหลายช่วง แต่ละช่วงของการออกกำลังกายใช้ระยะเวลานั้นกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง มีช่วงของการพักและการออกกำลังกายในช่วงต่อไป แต่ละช่วงของการออกกำลังกายจะมีการใช้พลังงานในระบบแอโรบิค (เสก อักษรานุเคราะห์. 2534) การออกกำลังกายแบบสะสมเป็นการออกกำลังกายที่เปิดโอกาสให้ร่างกายมีการฟื้นฟูสภาพ ช่วยให้สามารถทำงานได้เพิ่มขึ้นทั้งทางด้านความหนักและปริมาณการฝึกซ้อม จึงส่งผลให้มีการพัฒนาและปรับปรุงความสามารถในการใช้ออกซิเจน การควบคุมกรด-ด่าง (Buffers) ของร่างกาย เป็นผลนำไปสู่การปรับปรุงความสมบูรณ์ทางกายเกี่ยวกับการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนเลือด และเกิดขึ้นเร็วกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง การใช้พลังงานในการออกกำลังกายแบบสะสมที่มีความหนักสูงสามารถเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเผาผลาญอาหารแบบใช้ออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเผาผลาญอาหารดังกล่าวช่วยเพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) และลดการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate oxidation) ซึ่งจะช่วยลดการสะสมของกรด (H^+) ภายในกล้ามเนื้อ (สนธยา สีละมอด. 2547 : 349) การออกกำลังกายเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออัตราเมตาบอลิซึม กล่าวคือ การออกกำลังกายในระดับต่าง ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราเมตาบอลิซึมได้มาก และสามารถช่วยเพิ่มอัตราเมตาบอลิซึมได้มาก เมื่อมีการออกกำลังกายบ่อยครั้งก็สามารถช่วยเพิ่มอัตราเมตาบอลิซึมได้ ซึ่งการออกกำลังกายแบบสะสมก็เป็นการออกกำลังกายที่สามารถปฏิบัติได้บ่อยครั้ง ดังนั้น การออกกำลังกายแบบสะสมสามารถช่วยเพิ่มอัตราเมตาบอลิซึมได้มาก (สุพรพิมพ์ เจียสกุล. 2544)

ปัจจุบันผู้ที่ออกกำลังกายทั่วไปมีความคิดว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมีการใช้พลังงานของร่างกายที่มากกว่า และมีประโยชน์ต่อสุขภาพดีกว่าการออกกำลังกายแบบสะสม แต่จากการศึกษาของ เดอร์ลิง (Darling : 2005) พบว่า มีเพียงพลังงานที่ใช้ในขณะที่ออกกำลังกายเท่านั้น ที่การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมีการใช้พลังงานที่มากกว่าการออกกำลังกายแบบสะสม แต่เมื่อรวมการใช้พลังงานทั้งในขณะที่ออกกำลังกายและในขณะที่พักภายหลังการออกกำลังกาย 45 นาที ปรากฏว่าการออกกำลังกายแบบสะสมมีการใช้พลังงานที่มากกว่าการออกกำลังกาย

แบบต่อเนื่อง จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายแบบสะสมสามารถช่วยกระตุ้นอัตราการเผาผลาญพลังงานในขณะที่พักได้มากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง จึงเป็นผลให้มีการใช้พลังงานโดยรวมที่มากกว่า ส่วนด้านประโยชน์ที่มีต่อสุขภาพนั้น การออกกำลังกายแบบสะสมเป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิคเช่นเดียวกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง จึงมีประโยชน์ต่อสุขภาพเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับ แวกเนอร์ (Wagner : 1996) กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบสะสมในระหว่างวัน ที่ใช้เวลาในการออกกำลังกายแต่ละครั้งไม่มากนัก โดยการเดินครั้งละ 10 นาที จำนวน 3 ครั้ง มีผลดีต่อสุขภาพไม่น้อยไปกว่าการออกกำลังกายที่มีระยะเวลานาน

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในขณะที่การออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้ออกกำลังกายให้สามารถออกกำลังกายได้อย่างเหมาะสม และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกายของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
2. เพื่อศึกษาค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ในขณะที่ออกกำลังกายของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
3. เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
4. เพื่อเปรียบเทียบค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ในขณะที่ออกกำลังกายของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. ทำให้ทราบการใช้พลังงานของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกายของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
2. ทำให้ทราบความแตกต่างของการใช้พลังงานของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
3. ทำให้ทราบค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ในขณะที่ออกกำลังกายของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
4. ทำให้ทราบความแตกต่างของค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ในขณะที่ออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
5. สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษามาเป็นแนวทางในการเลือกรูปแบบการออกกำลังกายให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล

ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ทำการศึกษาไม่สามารถควบคุมเรื่องอาหาร การพักผ่อน การเรียนวิชา ปฏิบัติทางพลศึกษา และการปฏิบัติตนในชีวิตประจำวัน ก่อนการเข้าโปรแกรมการออกกำลังกายของผู้เข้ารับการทดลอง

ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนิสิตชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 120 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนิสิตชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 12 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Random Sampling) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ถูกคัดเลือกจะต้องผ่านเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

1. มีการออกกำลังกายเป็นประจำเฉลี่ยอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์
2. ไม่มีข้อห้ามทางการแพทย์ที่จะเป็นอุปสรรคในการออกกำลังกาย และการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) โดยใช้แบบสอบถามความพร้อมในการปฏิบัติกิจกรรมทางกาย (PAR-Q) ปรับปรุงจาก ACSM's (2004)
3. กลุ่มตัวอย่างจะต้องกรอกข้อมูลและลงนามรับรองในหนังสือยินยอม (Inform Consent) ก่อนเข้าร่วมการทดลอง

ตัวแปรในการศึกษาค้นคว้า

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่ รูปแบบการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ การใช้พลังงานของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกาย
3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ระดับความหนักของงานที่ให้ในการออกกำลังกายที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ของ VO_{2max}

นิยามศัพท์เฉพาะ

การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (Continuous exercise) หมายถึง การออกกำลังกายที่กำหนดความหนักของการทำงานที่ระดับ 70-75 เปอร์เซ็นต์ ของ VO_{2max} เป็นเวลาติดต่อกัน 30 นาที โดยไม่มีช่วงหยุดพักระหว่างการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายแบบสะสม (Accumulated exercise) หมายถึง การออกกำลังกายที่กำหนดความหนักของการทำงานที่ระดับ 70-75 เปอร์เซ็นต์ ของ VO_{2max} โดยแบ่งการออกกำลังกายออกเป็น 3 ช่วงๆ ละ 10 นาที ระยะเวลาระหว่างช่วงการออกกำลังกายห่างกัน 4 ชั่วโมง รวมเวลาของการออกกำลังกาย 30 นาที

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum oxygen consumption : VO_{2max}) หมายถึง ปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายใช้ไปใน 1 นาที ในภาวะที่ร่างกายออกกำลังกายจนถึงจุดที่อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด

การใช้พลังงาน หมายถึง การใช้พลังงานของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกายและภายหลังการออกกำลังกาย ทำการวัดโดยวิธีการวัดการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect Calorimetry) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีต่อนาที (Kcal/min)

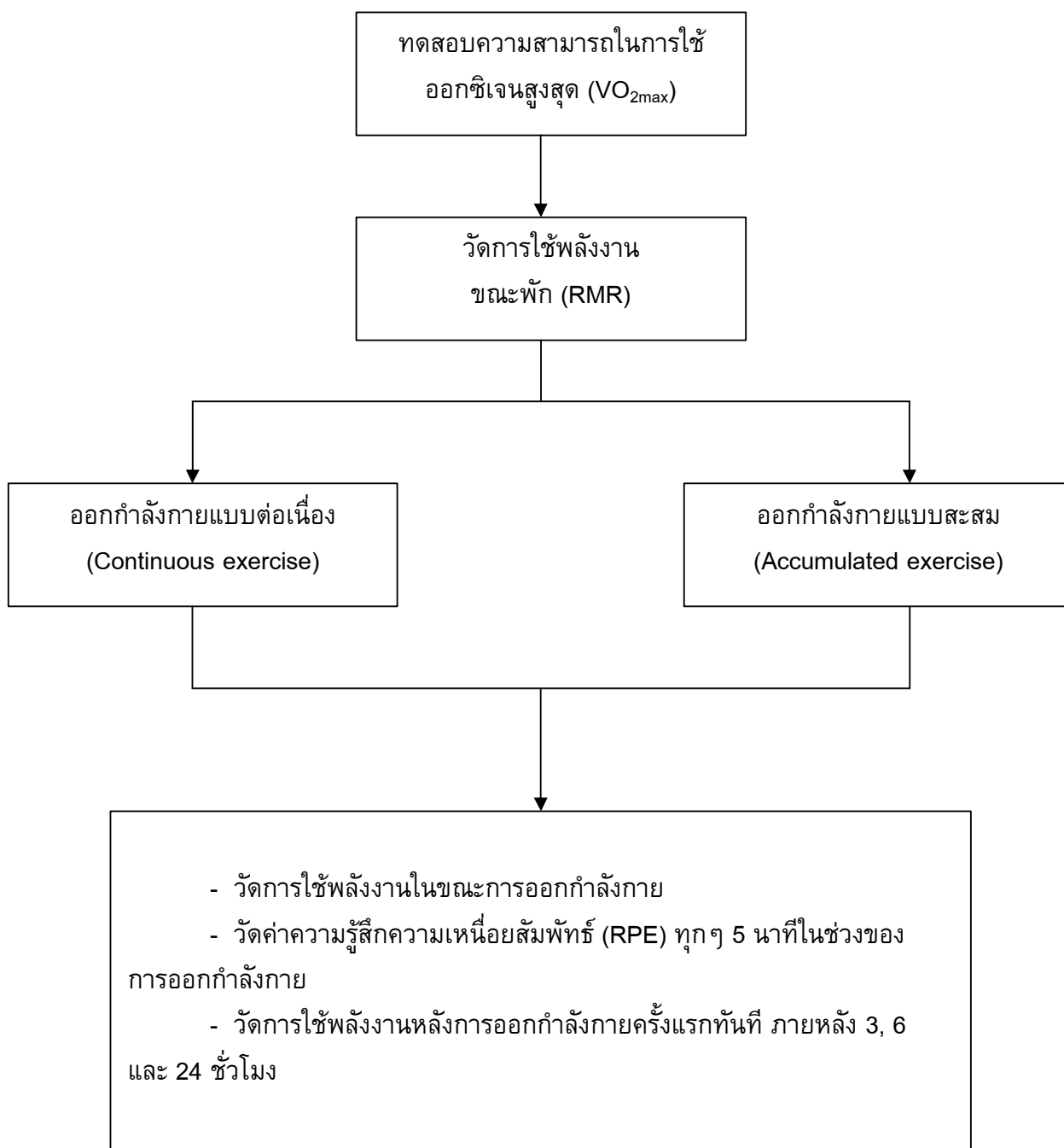
การวัดการใช้พลังงานขณะพัก (Resting Metabolic Measurement: RMR) หมายถึง การวัดพลังงานต่ำที่สุดในการที่จะรักษากระบวนการทางสรีรวิทยาพื้นฐานของร่างกาย

ค่าความเหนื่อยสัมพัทธ์ (Rating of Perceived Exertion: RPE Borg Scale) หมายถึง ค่าที่ใช้วัดระดับความหนักของการออกกำลังกายจากความรู้สึกเหนื่อยของการออกกำลังกายออกมาเป็นตัวเลข โดยผู้ออกกำลังกายเป็นผู้ประเมินเอง โดยใช้สเกลของบอร์ก (Borg Scale) มีทั้งหมด 15 ระดับ เริ่มตั้งแต่ 6-20

สมมติฐานในการศึกษาค้นคว้า

1. การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมในขณะที่ออกกำลังกายมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน
2. การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมภายหลังการออกกำลังกายทันที ภายหลัง ชั่วโมงที่ 3, 6 และ 24 มีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน
3. การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมในขณะที่ออกกำลังกายมีค่าความรู้สึกความเหนื่อยสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน
4. กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ต่างกันมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน
5. กลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกันมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน

กรอบแนวคิดในการวิจัย



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ตามลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

1. หลักการออกกำลังกาย
 - 1.1 การกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกาย
 - 1.2 ขั้นตอนในการออกกำลังกาย
 - 1.3 ประโยชน์ของการออกกำลังกาย
2. การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง
 - 2.1 หลักการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง
 - 2.2 ประโยชน์ของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง
3. การออกกำลังกายแบบสะสม
 - 3.1 หลักการออกกำลังกายแบบสะสม
 - 3.2 ประโยชน์ของการออกกำลังกายแบบสะสม
4. เมตะบอลิซึมของร่างกาย
 - 4.1 อัตราของเมตะบอลิซึม
 - 4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราเมตะบอลิซึม
 - 4.3 กระบวนการสร้างพลังงาน
 - 4.4 ระบบพลังงาน
 - 4.5 การวัดพลังงานของร่างกาย
5. ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย
 - 5.1 การทำหน้าที่ของระบบหายใจ
 - 5.2 การระบายอากาศในสภาวะต่างๆ
 - 5.3 การแลกเปลี่ยนก๊าซขณะออกกำลังกาย

หลักการออกกำลังกาย

การกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกาย

การกำหนดโปรแกรมในการออกกำลังกายเทียบได้กับการรักษาโรค คือต้องทราบว่าจะใช้วิธีการอะไร ปริมาณเท่าไร ระยะเวลาเท่าใด และความถี่อย่างไร จึงจะเกิดผลดีต่อสุขภาพตามที่ต้องการ โปรแกรมการออกกำลังกายจึงจำเป็นต้องกำหนดให้มีความเหมาะสมกับผู้ออกกำลังกายแต่ละรายไป และควรเป็นโปรแกรมที่ชวนให้ปฏิบัติได้นานโดยไม่เกิดความเบื่อหน่ายก่อนที่จะเกิดผล

ทางสรีรวิทยาอีกด้วย (วิรุพห์ ปรมัตถการ. 2537 : 14) องค์ประกอบพื้นฐานของหลักการกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ คือ

1. ประเภท (Type) ของกิจกรรม หมายถึง ชนิดของกิจกรรมที่จะใช้ในการออกกำลังกายหรือการฝึกเพื่อให้เหมาะสมกับการพัฒนาองค์ประกอบของร่างกาย เช่น การเสริมสร้างความอดทนของระบบหัวใจและไหลเวียน กิจกรรมที่เหมาะสม จึงควรเป็นกิจกรรมที่ใช้แหล่งพลังงานจากระบบแอโรบิก กิจกรรมที่นิยมกันทั่วไป ได้แก่ การวิ่งเหยาะ เดินเร็ว ปั่นจักรยาน ว่ายน้ำ เป็นต้น สำหรับผู้ที่เริ่มต้นออกกำลังกาย ควรเลือกการออกกำลังกายที่ทำได้ง่ายโดยไม่ต้องเกร็งมากนัก เพื่อให้เกิดการพัฒนสมรรถภาพทางกายเสียก่อน

2. ความหนัก (Intensity) ของการออกกำลังกาย คือ การกำหนดความหนักของการออกกำลังกาย ที่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะทางด้านสรีรวิทยาและขบวนการเผาผลาญในร่างกายในขณะออกกำลังกาย ซึ่งระดับความหนักของการออกกำลังกายเริ่มต้นของการกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายจะขึ้นอยู่กับเป้าหมายของโปรแกรม อายุ ความสามารถ ความชอบและระดับสมรรถภาพ เช่น เพื่อให้เกิดการพัฒนาของระบบหัวใจและไหลเวียน การออกกำลังกายควรจะมี ความหนักมากกว่า 50-60% แต่ไม่เกิน 75-85% ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max})

3. ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Duration) ของการออกกำลังกาย หมายถึงระยะเวลา และระดับความหนักของการออกกำลังกายจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน คือ ถ้าระดับความหนักสูงระยะเวลาของการออกกำลังกายจะสั้น ซึ่งระยะเวลาของการออกกำลังกายไม่ได้ขึ้นอยู่กับระดับความหนักเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับสุขภาพ ระดับสมรรถภาพเริ่มต้นความสามารถในการใช้ออกซิเจนของร่างกาย และเป้าหมายของโปรแกรม เพื่อให้เกิดประโยชน์ควรใช้เวลาในการออกกำลังกายอย่างน้อย 20-30 นาที ติดต่อกันโดยใช้กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ทำงานแบบต่อเนื่อง หรืออาจจะแบ่งทำเป็นช่วงๆ ในหนึ่งวันให้ครบ 30 นาที ซึ่งจะเหมาะสำหรับคนที่มีความสมบูรณ์ทางกายต่ำ

4. ความถี่หรือความบ่อย (Frequency) หมายถึง จำนวนครั้งของการออกกำลังกายในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งจากรายงานการวิจัยพบว่าการออกกำลังกาย 3 วันในหนึ่งสัปดาห์ ทำวันเว้นวันก็เพียงพอต่อการพัฒนาองค์ประกอบต่างๆ ของสมรรถภาพทางกาย อย่างไรก็ตามความถี่ของการออกกำลังกายยังเกี่ยวข้องกับระยะเวลาและระดับความหนัก

ขั้นตอนในการออกกำลังกาย

เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นในขณะออกกำลังกายหรือหลังการออกกำลังกาย ผู้ออกกำลังกายควรปฏิบัติตามขั้นตอนของการออกกำลังกาย ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การยืดเหยียดกล้ามเนื้ออยู่กับที่ (Static stretching) คือ การยืดกล้ามเนื้อออกไปยังตำแหน่งที่ไกลที่สุดแล้วค้างไว้อยู่กับที่ เช่น นั่งเหยียดขาข้ามศีรษะค้างไว้จนกระทั่งรู้สึกตึงบริเวณข้อพับขาทั้งสองข้าง ฯลฯ ใช้เวลาในระหว่างนี้ประมาณ 5 นาที (สนธยา สีละมาด. 2547 : 432)

2. การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) การอบอุ่นร่างกายมีวัตถุประสงค์เพื่อ การเตรียมอวัยวะระบบต่างๆ ของร่างกายให้พร้อมที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular system) ระบบหายใจ (Respiratory system) และระบบไหลเวียนเลือด (Circulatory system) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องและควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย อีกทั้งยังมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของร่างกายด้วย (เจริญ กระบวนรัตน์. 2548 : 94)

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

4. การลดภาวะร่างกาย (Cool down) คือ การทำให้ร่างกายค่อยๆ ลดความเข้มข้นของการออกกำลังกายลงทีละน้อยอย่างค่อยเป็นค่อยไปตามลำดับ ภายหลังการออกกำลังกาย ควรใช้เวลาในการลดภาวะร่างกายพอๆ กับการอบอุ่นร่างกาย คือ อย่างน้อย 10 นาที รวมทั้งการยืดเหยียดกล้ามเนื้อด้วย

ประโยชน์ของการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายถ้าปฏิบัติอย่างถูกต้องและเหมาะสมจะเป็นได้ทั้งยาป้องกันโรคและยารักษาโรคไปในตัว การออกกำลังกายนั้นมีคุณค่าและประโยชน์มากมาย (มนัส 2548 : 49) สอดคล้องกับ ปรีดา สุทธิวิวัฒน์ และ เสริฐ สุกฤษณ์พัฒน์. (2547 : 6) กล่าวว่า การออกกำลังกายอย่างเป็นประจำ จะมีประโยชน์ต่อร่างกายสรุปได้ดังนี้

1. การออกกำลังกายเป็นประจำช่วยให้อวัยวะในระบบต่างๆ ของร่างกาย ทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นผลให้ร่างกายสมบูรณ์ แข็งแรง อดทน มีบุคลิกภาพที่ดี
2. กล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรง เป็นผลให้การสูบฉีดเลือดดีขึ้น โดยมีปริมาณเลือดที่สูบฉีดแต่ละครั้งมากขึ้น เพื่อนำเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย ในขณะที่ปฏิบัติกิจกรรมการออกกำลังกาย
3. ระบบไหลเวียนเลือดดีขึ้น เป็นการเพิ่มปริมาณของเลือดให้แก่ร่างกาย ช่วยปรับปรุงให้หลอดเลือดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ
4. เซลล์กล้ามเนื้อ การสันดาปที่ระดับเซลล์กล้ามเนื้อดีขึ้น ทำให้ไขมันสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว มีการสะสมของคาร์โบไฮเดรต (ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อและตับ) ทำให้สามารถประกอบกิจกรรมการออกกำลังกายได้นานขึ้นโดยไม่รู้สึกเมื่อยล้า อีกทั้งน้ำย่อยที่ช่วยในการเผาผลาญไขมัน จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฮอร์โมนต่างๆ จะสามารถปรับตัวได้ดีขึ้น

5. การออกกำลังกายเพียงพอ ช่วยเพิ่มระดับไขมันชนิดดีที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Lipoprotein; HDL) ซึ่งไขมันชนิดดีเป็นไขมันที่มีประโยชน์ในการกำจัดตะกอนไขมันที่สะสมที่ผนังด้านในของหลอดเลือด นอกจากนี้การออกกำลังกายยังช่วยลดระดับไขมันโคเลสเตอรอลและไขมันชนิดเลวที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Lipoprotein; LDL) ซึ่งทั้งสองเป็นไขมันที่สะสมบริเวณผนังหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดหัวใจอุดตัน ดังนั้นการออกกำลังกายจึงช่วยเสริมการรักษาผู้ที่ระดับไขมันในเลือดสูงผิดปกติให้ได้ผลดียิ่งขึ้น

6. กระดูก กระดูกอ่อน เอ็น และข้อต่อต่างๆ แข็งแรงขึ้น คือ เอ็นต่างๆ มีความสามารถในการยืดและหดตัวได้ดีขึ้น ข้อต่อเคลื่อนไหวได้ตลอดช่วงของการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนไหวได้มุมกว้างมากขึ้นกว่าปกติ

7. การออกกำลังกายร่วมกันเป็นหมู่หลายๆ ทำให้เกิดความเข้าใจและเรียนรู้พฤติกรรมมีบุคลิกภาพที่ดี มีมนุษยสัมพันธ์ที่ดี และสามารถอยู่ร่วมกันในสังคมได้อย่างมีความสุข

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ หมายถึง การออกกำลังกายที่มีจุดประสงค์เพื่อการพัฒนาสุขภาพร่างกายและจิตใจ รวมถึงการรักษาสุขภาพที่ดีอยู่แล้วมิให้ลดถอยลง ปรับปรุงสุขภาพที่ทรุดโทรมให้ดีขึ้น ป้องกันโรคที่เกี่ยวข้องกับการขาดการออกกำลังกาย ตลอดจนช่วยรักษาและฟื้นฟูสภาพร่างกายจากโรคบางอย่าง การออกกำลังกายแต่ละชนิดมีผลต่อสุขภาพแตกต่างกัน แม้จะเป็นการออกกำลังกายชนิดเดียวกัน แต่ถ้ามีวิธีการ ความหนัก ระยะเวลา หรือความบ่อยในการออกกำลังกายต่างกัน ก็มีผลต่อสุขภาพไม่เหมือนกัน (วุฒิพงษ์ ปรมัตถการ. 2537 : 46) สอดคล้องกับ พิชิต อุทัยกุล. (2547 : 129) กล่าวว่า การออกกำลังกายมีหลายรูปแบบ แต่ละแบบอาจให้ผลที่แตกต่างกัน ดังนั้น ผู้ออกกำลังกายควรเลือกรูปแบบการออกกำลังกายให้ตรงตามวัตถุประสงค์และความเหมาะสมของตนเอง การออกกำลังกายที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพมากที่สุดคือการออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic exercise) ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่ร่างกายต้องการใช้ออกซิเจนจำนวนมากและต้องปฏิบัติติดต่อกันระยะเวลาหนึ่งซึ่งนานพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่จะเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย กล่าวคือ ช่วยในการพัฒนาระบบหายใจและระบบไหลเวียนเลือด ซึ่งเป็นสมรรถภาพพื้นฐานของแต่ละบุคคล ส่วนระบบอื่นภายในร่างกายก็จะมีการพัฒนาตามไปด้วย แต่การที่จะพัฒนามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับประเภทและกิจกรรมที่ใช้ สันธยา สีละมาต. (2547 : 374) กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจนเป็นวิธีการที่สนับสนุนให้มีการพัฒนาระบบหัวใจไหลเวียนเลือด ความสามารถในการเผาผลาญอาหารของกล้ามเนื้อ และการทำงานของประสาทกล้ามเนื้อ ซึ่งวิธีการที่นิยมในการออกกำลังกายแบบแอโรบิค (Aerobic exercise) คือ การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (Continuous exercise) และการออกกำลังกายแบบสะสม (Accumulated exercise)

การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (Continuous exercise)

หลักการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องเป็นลักษณะการปฏิบัติกิจกรรม เช่น การวิ่ง การปั่นจักรยาน หรือการว่ายน้ำ อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ 30 นาที ขึ้นไป ถึง 2 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความสามารถและจุดมุ่งหมายของการออกกำลังกาย การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องจะถูกจำกัดด้วยความหนักของงาน ส่วนใหญ่จะปฏิบัติที่ระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดของแต่ละบุคคล ถ้าผู้ออกกำลังกายต้องการออกกำลังกายที่มีความหนักมากขึ้น เวลาในการออกกำลังกายก็จะลดลง แต่ถ้าต้องการออกกำลังกายให้ได้ระยะเวลานานขึ้นความหนักของการออกกำลังกายก็จะลดต่ำลง (สนธยา สีละมาต. 2547 : 374) สอดคล้องกับ เจริญ กระบวนรัตน์. (2548 : 154) กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องจะต้องพยายามควบคุมความหนักในการออกกำลังกายโดยให้อัตราการเต้นของหัวใจอยู่ระหว่าง 130-160 ครั้งต่อนาที ระยะเวลาในการออกกำลังกายอาจจะมากกว่า 30 นาที ส่วนระดับความหนักของการออกกำลังกาย ควรปรับขึ้นทีละน้อยตามความสามารถของแต่ละบุคคล

ประโยชน์ของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมายและได้มีการศึกษาประโยชน์ที่รับจากการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง สรุปได้ดังนี้

1. ช่วยพัฒนาระบบหายใจและไหลเวียนเลือด กล่าวคือ การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องช่วยพัฒนาระบบหายใจ โดยการเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด และพัฒนาระบบไหลเวียนเลือด โดยการเพิ่มขนาดของหัวใจห้องล่างซ้าย ทำให้หัวใจมีความสามารถในการสูบฉีดเลือดมากขึ้น สอดคล้องกับ ธวัชชัย กาญจนะทวีกุล. (2541 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษา ผลของการฝึกออกกำลังกายประเภทอดทนต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของหัวใจ กลุ่มตัวอย่างเป็น นักศึกษาชายที่มีสุขภาพสมบูรณ์และไม่เป็นนักกีฬา จำนวน 10 คน อายุระหว่าง 20-21 ปี ฝึกออกกำลังกายด้วยการวิ่งระยะไกลที่ความเร็ว 8 ± 2 นาที/ กิโลเมตร สัปดาห์ละ 3 วัน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำการวัดโครงสร้างและการทำงานของหัวใจห้องล่างซ้าย ก่อนการฝึกและหลังการฝึกด้วยคลื่นเหนือเสียง และวัดความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึก ผลการศึกษาพบว่า ขนาดภายในหัวใจห้องล่างซ้ายเพิ่มขึ้น และความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจนก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกต่างเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ.05

2. ช่วยลดระดับไขมันในกระแสเลือด จากการศึกษาของ พิชิตพล อุทัยกุล. (2546 : บทคัดย่อ) ซึ่งทำการศึกษา ผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิค 6 สัปดาห์ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับไขมันในเลือดของบุคลากรในวิทยาลัยเทคนิคเชียงราย กลุ่มตัวอย่างมีอายุระหว่าง 35-57 ปี จำนวน 20 คน เป็นชาย 13 คน หญิง 7 คน ที่มีคอเลสเตอรอลในร่างกายน้อยกว่า 240 มิลลิกรัม/เดซิลิตร โดยให้กลุ่มตัวอย่างตรวจวัดระดับไขมันในเลือดได้แก่คอเลสเตอรอล,

ไทรกลีเซอไรด์, เอชดีแอล -คลอเลสเตอรอล และแอลดีแอล-คลอเลสเตอรอล และร้อยละของไขมันในร่างกาย ก่อนและหลังการฝึกวิ่งเหยาะๆ 6 สัปดาห์ๆ ละ 3 วัน วันเว้นวัน วันละ 30 นาที การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า การฝึกวิ่งเหยาะๆ 6 สัปดาห์ๆ 3 วันเว้นวัน วันละ 30 นาที มีผลช่วยในการลดระดับไขมันในเลือดทำให้ร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาการไปในทางที่ดี

การออกกำลังกายแบบสะสม (Accumulated exercise)

หลักการออกกำลังกายแบบสะสม

การออกกำลังกายแบบสะสม คือ การออกกำลังกายที่มีการปฏิบัติหลายครั้งต่อวัน และในการออกกำลังกายแบบนี้มีสลับช่วงด้วยการพักระหว่างการออกกำลังกาย การออกกำลังกายแบบสะสมช่วยให้ผู้ออกกำลังกายมีการทำงานที่มีความหนักเพิ่มขึ้น โดยการเปิดโอกาสให้ร่างกายมีการฟื้นคืนสภาพ (Recovery) ระหว่างการออกกำลังกาย นอกจากนี้ การออกกำลังกายแบบสะสมยังสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบของการออกกำลังกายให้มีความเหมาะสมกับแต่ละบุคคลได้มากกว่าการออกกำลังกายแบบอื่นทั้งในด้านความหนัก ระยะเวลา และชนิดของการออกกำลังกาย สอดคล้องกับ เดวิด (David 2001 : 93) กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบสะสมที่มีความหนักปานกลางมีประโยชน์ และสามารถพัฒนาสุขภาพในด้านต่างๆ ให้มีความเหมาะสมกับแต่ละบุคคล โดยการออกกำลังกายแบบสะสมนี้ควรมีความหนักปานกลางและใช้เวลาอย่างน้อย 30 นาทีต่อวัน

ประโยชน์ของการออกกำลังกายแบบสะสม

เนื่องจากการออกกำลังกายแบบสะสมเป็นรูปแบบหนึ่งของการออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งรูปแบบของการออกกำลังกายสามารถปฏิบัติได้ง่ายและใช้เวลาน้อย สามารถทำได้วันละหลายๆ ครั้ง จึงทำให้การออกกำลังกายแบบสะสมได้รับความนิยมในหมู่ของผู้ที่ออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ ด้วยเหตุนี้ทำให้มีผู้ศึกษาประโยชน์ที่ได้รับจากการออกกำลังกายรูปแบบนี้ พอสรุปได้ดังนี้

1. ช่วยพัฒนาระบบหายใจและไหลเวียนเลือด จากการศึกษาของ ปรัชญา วังตระกูล. (2545 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาผลของโปรแกรมการฝึกแบบเป็นช่วงกับโปรแกรมการฝึกแบบต่อเนื่องต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักวิ่งระยะกลาง กลุ่มตัวอย่างคือนักวิ่งระยะกลางตัวแทนจังหวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2544 ที่มีอายุระหว่าง 13-23 ปี จำนวน 10 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มการฝึกแบบเป็นช่วง และกลุ่มการฝึกแบบต่อเนื่อง โดยทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 6 สัปดาห์ ก่อนการฝึกมีการทดสอบ Cooper' s test วิ่ง 12 นาที เพื่อนำมากำหนดความหนักของการฝึก และทำการทดสอบค่าประสิทธิภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยใช้หลักการของ Astrand และ Rhyming Bicycle Ergo meter ก่อนและหลังการฝึก การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า ผลการฝึกแบบเป็นช่วงช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นมากกว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง สอดคล้องกับการศึกษาของ ไทเลอร์ และคณะ (Taylor et al. 2006) ที่

ทำการศึกษากิจกรรมที่มีรูปแบบเป็นช่วงที่มีระยะเวลาสั้นมากกับแบบต่อเนื่องในผู้ที่ไม่มีกิจกรรมทางกาย กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่ไม่มีกิจกรรมทางกายจำนวน 15 คน อายุระหว่าง 35-60 ปี ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ออกกำลังกาย 30 นาที 3-4 วันต่อสัปดาห์ และกลุ่มที่ออกกำลังกาย 6 นาที 5 ครั้งต่อวัน 4-5 วันต่อสัปดาห์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้พลังงานไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้ง 2 กลุ่ม และมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 กลุ่ม การศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบเป็นช่วงสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายได้ ไม่แตกต่างกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

2. ช่วยลดระดับไขมันในกระแสเลือด จากการศึกษาของ โทมัส และคณะ (Thomas et al. 2004) ซึ่งทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบมีช่วงเวลาพักที่มีต่อระดับของไขมันในกระแสเลือด โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ที่ไม่มีกิจกรรมทางกาย ทำการปฏิบัติกิจกรรมทั้งหมด 3 อย่างในระหว่างวัน วันแรกกลุ่มตัวอย่างรับประทานไขมันในปริมาณสูงเพียงอย่างเดียว วันที่ 2 กลุ่มตัวอย่างรับประทานไขมันในปริมาณสูงและออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง และวันที่ 3 กลุ่มตัวอย่างรับประทานไขมันในปริมาณสูงและออกกำลังกายแบบมีช่วงเวลาพัก โดยออกกำลังกาย 10 นาที พัก 20 นาที ผลการศึกษาพบว่า ระดับของไขมันในกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบมีช่วงเวลาพัก ภายหลังการรับประทานไขมันในปริมาณสูงลดลง 27% มากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ลดลง 15% จากการศึกษาสรุปได้ว่าการออกกำลังกายแบบมีช่วงเวลาพักสามารถช่วยลดระดับของไขมันในกระแสเลือดได้มากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

มาเรียร์ (Marie. 1998) ได้ทำการศึกษาผลการฝึกการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง 30 นาที และแบบไม่ต่อเนื่อง 3 ช่วงๆ ละ 10 นาที ในการฝึก 1 วัน ที่มีผลต่อสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด และการลดไขมันในร่างกาย โดยความหนักของการฝึกที่ 70-80% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด พบว่า การฝึกแบบไม่ต่อเนื่องมีผลต่อการพัฒนาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด และช่วยลดไขมันในร่างกายได้ใกล้เคียงกับการฝึกแบบต่อเนื่อง

เมตาบอลิซึมของร่างกาย

อัตราของเมตาบอลิซึม (Metabolic rate)

เมตาบอลิซึม หมายถึง ผลรวมของปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน ทำให้สามารถนำเอาพลังงานและสารจากสิ่งแวดล้อมมาใช้ในการดำรงชีวิตได้ (พัชรา 2544 : 5) สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ เวชแพทย์. (2540 : 359) ได้ให้ความหมายของเมตาบอลิซึมไว้ว่า หมายถึง ปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ของเซลล์รวมทั้งการสร้างและการใช้พลังงานของร่างกายด้วย สิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องได้รับพลังงานและสารจากสิ่งแวดล้อมเพื่อนำไปใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมต่างๆ และเพื่อให้ชีวิตดำรงอยู่ต่อไป พร้อมกันนั้นก็จะขับสารที่เหลือใช้ เช่น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ของเสียอื่นๆ และพลังงานความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม

รัชฎา แก่นสาร. (2540 : 377) กล่าวว่า เมตะบอลิซึมเป็นกระบวนการที่ประกอบด้วย ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ หรือเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต เพื่อนำเอาพลังงานและสสารจากสิ่งแวดล้อมมาใช้ในการสร้างสาร และซ่อมแซมองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต ทำให้สิ่งมีชีวิตเจริญเติบโต และมีชีวิตยืนยาวได้ อุปกรณ์ที่สิ่งมีชีวิตใช้เพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการ เมตะบอลิซึม ได้แก่ เอนไซม์ กล่าวได้ว่า เมตะบอลิซึมคือ กระบวนการปฏิกิริยาเคมีที่เร่งโดยเอนไซม์ เพื่อนำเอา พลังงานและสสารจากสิ่งแวดล้อมมาดำรงชีพ โดยการเปลี่ยนให้เป็นปัจจัยสามอย่าง ได้แก่ พลังงาน เคมี (Biochemical energy) ได้แก่ สารชีวเคมีที่สามารถให้พลังงาน ช่วยผลักดันปฏิกิริยาตัวที่สำคัญที่สุดคือ เอทีพี (ATP) อิเล็กตรอน (Electron) เป็นสารชีวเคมีที่สามารถรับและถ่ายอิเล็กตรอนได้ ตัวที่สำคัญคือ นิโคตินาไมด์ อดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ (Nicotinamide adenine dinucleotide ; NAD^+) นิโคตินาไมด์ อดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ ฟอสเฟส (Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate ; $NADP^+$) ฟลาวิน อดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ (Flavime Nicotinamide adenine dinucleotide ; FAD^+) และสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ (Biosynthetic precursor) ซึ่งได้แก่ สารที่มีโครงสร้างง่ายๆ นับตั้งแต่ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย อะซิเตท ไปจนถึงกลูโคสและกรดอะมิโนจะได้มาจากการ ย่อยสลายอาหารประเภทแป้ง ไขมัน และโปรตีน เพื่อนำไปสังเคราะห์องค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตที่กิน สารอาหารเหล่านั้นเข้าไป มนุษย์ไม่สามารถเปลี่ยนพลังงานให้เป็นเอทีพี และเอ็นเอดีพีเอช (NADPH) ได้ จึงต้องเปลี่ยนสารอาหารให้เป็นเอทีพีและเอ็นเอดีเอช เอ็นเอดีพีเอช เอฟเอดีเอช (ATP, NADH, NADPH, $FADH_2$) และสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ กระบวนการนี้เรียกว่า การสลาย (Catabolism) ปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะปล่อยพลังงานเคมีหรือเอทีพีและนำอิเล็กตรอนจาก สารอาหารมาให้แก่สารนำอิเล็กตรอน เอทีพี และเอ็นเอดีเอช รวมทั้งสารตั้งต้นที่ได้จากการสลายจะถูกนำไปใช้สังเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตโดยกระบวนการสร้างเสริม (Anabolism)

จะเห็นได้ว่าเมตะบอลิซึมประกอบด้วยกระบวนการสลาย ซึ่งทำลายสารโมเลกุลใหญ่ให้เป็น โมเลกุลเล็ก เพื่อป้อนให้กับกระบวนการสร้างเสริมเพื่อสร้างสารโมเลกุลใหญ่ของร่างกายต่อไป นอกจากนี้สารโมเลกุลใหญ่ที่จะถูกทำลายโดยกระบวนการสลาย จะได้มาจากสารอาหารหรือ องค์ประกอบไม่ใช่แล้วหรือหมดสภาพแล้วภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตเองก็ได้ ดังนั้น วัฏจักรการ สร้างและการทำลายจะนำไปสู่การกำจัดองค์ประกอบของร่างกายที่เสื่อมสภาพให้หมดไป และสร้าง สิ่งใหม่ขึ้นมาทดแทน ผลก็คือร่างกายจะมีองค์ประกอบที่ใช้งานได้เป็นเวลานานขึ้น เป็นการยังชีพ และยืดอายุของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ

โมเลกุลใหญ่ๆ เป็นองค์ประกอบของสารอาหารหรือของร่างกายจำแนกได้เป็นสี่ชนิด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และกรดนิวคลีอิก เมตะบอลิซึมของสารเหล่านี้จัดแบ่งได้เป็นสาม ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างโมเลกุลกับหน่วยโครงสร้าง (Building unit) ขั้นตอนที่สอง เป็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างหน่วยโครงสร้างกับโมเลกุลง่ายๆ เช่น ACETYL CoA ขั้นตอนที่สาม เป็นการเผาผลาญโมเลกุลง่ายๆ ให้เป็นของเสีย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อปล่อย ออกจากสิ่งมีชีวิตคืนสู่สิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปการสลายโมเลกุลใหญ่ในขั้นตอนแรกจะเป็นการสลายให้ได้หน่วยโครงสร้าง แต่จะไม่ได้พลังงานหรืออิเล็กตรอน ส่วนขั้นตอนที่สองและสามจะให้พลังงานและอิเล็กตรอนออกมาบางส่วน การสังเคราะห์สารโมเลกุลใหญ่ถือว่าเริ่มจากสารโมเลกุลง่ายๆ ให้เป็นหน่วยโครงสร้าง จากนั้นนำหน่วยโครงสร้างมาเชื่อมต่อกันเป็นโมเลกุลใหญ่ กล่าวคือกระบวนการสร้างเสริมสองขั้นตอนซึ่งต้องใช้พลังงานและอิเล็กตรอน

เนื่องจากเอนไซม์เป็นตัวจักรสำคัญสำหรับเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ในวิถีเมแทบอลิซึมเซลล์หรือองค์ประกอบของเซลล์หรือเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นเมแทบอลิซึมของสารโดยอ้อมมีเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของสารดังกล่าวในเซลล์หรือเนื้อเยื่อนั้นๆ ซึ่งถ้าขาดเอนไซม์ (สับสเตรท โคเอนไซม์) ปฏิกิริยาหรือวิถีเมแทบอลิซึมจะไม่เกิดขึ้น นับได้ว่าเป็นวิธีควบคุมวิถีเมแทบอลิซึมนั้น โดยควบคุมอัตราเร่งของตัวเอนไซม์เองซึ่งทำได้โดยควบคุมอัตราเร่งของเอนไซม์ (ใช้ตัวกระตุ้น หรือตัวยับยั้ง) หรือควบคุมปริมาณของเอนไซม์ที่ทำงานได้ นอกจากนี้วิถีเมแทบอลิซึมยังถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาที่ช้าที่สุด และโดยระบบต่อมไร้ท่อเพื่อให้เมแทบอลิซึมของอวัยวะหรือเนื้อเยื่อมีอัตราเร็ว หรือลดอัตราเร็วให้พอเหมาะกับอวัยวะอื่นๆ

สิ่งมีชีวิตต้องการพลังงาน อิเล็กตรอน และสสารต้นตอเพื่อการดำรงชีพ พลังงานที่สิ่งมีชีวิตใช้จะต้องเป็นพลังงานเคมีในรูปของเอทีพี ซึ่งสร้างและใช้โดยอาศัยหลักพลังงานศาสตร์ และเทอร์โมไดนามิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานอิสระ เอทีพีเป็นธนบัตรของพลังงานซึ่งสังเคราะห์ได้จากฟอสฟอริเลชันระดับสับสเตรท ออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน และโฟโตฟอริเลชัน นอกจากนี้ยังมีวัฏจักรเครบส์ในโตคอนเดรียของสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจนซึ่งจะสลายอะเซทิลโคเอ ให้เป็นคาร์บอนไดร็อกไซด์ ขณะเดียวกันก็ได้ 4 NADH 1 FADH และ GTP เมื่อเอาสารนำอิเล็กตรอนไปเปลี่ยนเป็นเอทีพีจะได้ 12 เอทีพีต่อ 1 อะเซทิลโคเอ นอกจากนี้ตัวกลางของวัฏจักรยังใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์กรดอะมิโน กลูโคสและไขมัน วัฏจักรเครบส์จะทำงานมากขึ้นเมื่อสิ่งมีชีวิตต้องการพลังงาน และจะช้าลงเมื่อพลังงานเพียงพอ การศึกษาเมแทบอลิซึมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. เมแทบอลิซึมของพลังงาน (Energy metabolism) หมายถึง เรื่องที่เกี่ยวกับการสร้างและการใช้พลังงานของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย เพื่อใช้ในการทำงานของอวัยวะต่างๆ เช่น การทำงานของหัวใจ การหลั่งน้ำย่อยอาหาร การสร้างฮอร์โมน การหดตัวของกล้ามเนื้อลาย รวมทั้งความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสลายอาหารหรือการสลายพลังงาน

2. เมแทบอลิซึมของขบวนการที่เกิดกลางทาง (Intermediary metabolism) หมายถึง ปฏิกิริยาเฉพาะทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในร่างกายเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของอาหารคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน เป็นการศึกษาทางชีวเคมี

อัตราของเมตาบอลิซึมพื้นฐาน (Basal metabolic rate, BMR)

อัตราของเมตาบอลิซึมพื้นฐาน หมายถึง ปริมาณการเผาผลาญที่ร่างกายใช้ออกซิเจน ในขณะที่พักผ่อน เมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่ได้รับประทานอาหาร ซึ่งปริมาณที่ใช้ในการเผาผลาญนี้ก็เพื่อรักษาระดับกระบวนการของการดำรงชีวิตในระดับที่น้อยสุด (วุฒิพงษ์ ปรมัตถการ. 2537 : 137) สอดคล้องกับ (สุวรรณา หังสพฤกษ์. 2541 : 558) กล่าวว่า BMR หมายถึง ความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่ร่างกายเกือบอยู่ในภาวะพักทั้งกายและสมองอย่างเต็มที่และไม่มีการดูดซึมอาหาร (postabsorptive stage) คือต้องอดอาหารเข้าก่อนตรววัด ความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะนั้นเพื่อรักษา vital activity ของร่างกาย ค่านี้ไม่ใช่ค่าต่ำสุด ค่าอัตราเมตาบอลิซึมระหว่างหลับจะต่ำกว่า BMR ประมาณ 10% โดยที่ความร้อนที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงได้จากปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวแล้ว การหา BMR ต้องกำหนดภาวะมาตรฐาน (standard condition) ให้เป็นค่า basal คือวัดหลังตื่นนอนตอนเช้า หลังนอนพักเต็มที่แล้วอย่างน้อย 8 ชั่วโมง อุณหภูมิกายต้องปกติ อุณหภูมิห้องพอสบายประมาณ 20-25 C° ความร้อนที่เกิดขึ้นคิดเทียบต่อเนื้อที่ผิวกายต่อหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นแคลอรี / ตารางเมตร / ชั่วโมง และคิดเทียบเป็นร้อยละของค่ามาตรฐานตามเกณฑ์อายุและเพศเดียวกัน ค่าปกติไม่เกิน $\pm 15\%$ ของค่ามาตรฐาน การหา BMR ใช้ Indirect calorimetry แบบเดียวกับการหาอัตราเมตาบอลิซึมที่ได้กล่าวมาแล้ว วิธีที่นิยมใช้คือ หาโดยใช้ Benedict-Roth spirometer

อัตราของเมตาบอลิซึมในขณะพัก (Resting metabolic rate, RMR)

การตรววัดอัตราการใช้พลังงานในขณะพัก ซึ่งสามารถทำได้สะดวกกว่าการวัดค่า BMR แต่การวัดแบบนี้จะมีค่าสูงกว่าค่า BMR เล็กน้อย โดยเป็นค่าของการใช้พลังงานที่ใช้สำหรับปฏิบัติการทางเคมีพื้นฐานในร่างกาย ร่วมกับการทำงานของฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ (thyroid hormone) และระบบประสาทซิมพาเทติก (ชูศักดิ์ เวชแพทย์. 2540 : 372)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราเมตาบอลิซึม

อัตราเมตาบอลิซึมนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

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

5. อุณหภูมิกาย ทุกๆ 1 C° ของอุณหภูมิกายที่เพิ่มขึ้น อัตราเมตะบอลิซึมจะเพิ่มขึ้นประมาณ 13% ทั้งนี้ส่วนใหญ่เนื่องจากการกระบวนการทางเคมีในร่างกายถูกเร่ง และส่วนน้อยจากการที่ต่อมเหงื่อ กล้ามเนื้อหายใจ และกล้ามเนื้อหัวใจทำงานเพิ่มขึ้น

6. อุณหภูมิแวดล้อม คนอยู่ในเขตร้อนมีอัตราเมตะบอลิซึมต่ำกว่าคนในเขตหนาว ในที่เย็นอัตราเมตะบอลิซึมเพิ่มขึ้นเนื่องจากการสั่นและขนลุก ทำให้ความร้อนเกิดเพิ่มขึ้น และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากรอยต่อฮอร์โมนซึ่งหลังเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในอากาศเย็น ถ้าอยู่ในที่ร้อนช่วงสั้นมีผลต่ออัตราเมตะบอลิซึมน้อยมาก แต่ถ้าอยู่นานๆ จะมีผลต่อการลดอัตราเมตะบอลิซึมเนื่องจากฮอร์โมนหลังลดลง

7. การออกกำลังกาย (Physical activity) การออกกำลังกายในระดับต่างๆ มีผลเปลี่ยนแปลงอัตราเมตะบอลิซึมได้มาก อัตราเมตะบอลิซึมต่ำสุดขณะนอนหลับ คือ ประมาณ 35 แคลอรี / ตารางเมตร / ชั่วโมง การออกกำลังกายเพิ่มอัตราเมตะบอลิซึมได้มาก การออกกำลังกายที่สามารถทำได้ยาวนานในคนที่สุขภาพดีนั้นใช้พลังงานประมาณ 350 แคลอรี / ตารางเมตร / ชั่วโมง คือประมาณ 10 เท่าของค่าต่ำสุด การออกกำลังกายที่ใช้พลังงานมากกว่านี้จะทำได้ในระยะสั้นๆ เท่านั้น

การใช้สมอง (Mental activity) มีผลต่ออัตราเมตะบอลิซึมน้อยมาก การใช้ความคิดอย่างหนัก เช่น การคำนวณที่ยาก จะเพิ่มอัตราเมตะบอลิซึมเพียง 3-4% เท่านั้น

8. อาหาร หลังรับประทานอาหารอัตราเมตะบอลิซึมจะเพิ่มขึ้น คือความร้อนเกิดเพิ่มขึ้นหลังรับประทานอาหาร 1 ชั่วโมง และเพิ่มอยู่หลายชั่วโมงจึงลดลงเท่าภาวะเบซัล ความร้อนที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้เรียก specific dynamic action (SDA) ของอาหาร ซึ่งขึ้นกับชนิดของอาหารเมื่อรับประทานอาหารโปรตีน ความร้อนที่เกิดขึ้นต่อชั่วโมงจะเพิ่มขึ้นจากภาวะเบซัลประมาณ 30% ของ caloric value ของอาหารโปรตีนที่รับประทาน เช่น ถ้ารับประทานอาหารโปรตีน 25 กรัม ซึ่งให้ความร้อนเท่ากับ 100 แคลอรี จะมีผลให้ความร้อนในร่างกายเพิ่มขึ้น 30 แคลอรีเป็นเวลาหลายชั่วโมง อัตราเมตะบอลิซึมจึงเพิ่มขึ้นดังกล่าว สำหรับคาร์โบไฮเดรตและไขมันจะเพิ่มความร้อนเช่นกันแต่น้อยกว่า คือประมาณ 6% และ 4% ของ caloric value ของอาหารดังกล่าว ตามลำดับ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นนี้เข้าใจว่าเป็นผลจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร การดูดซึม และการเก็บอาหาร (storage) ในร่างกาย กรดอะมิโนที่เกิดจากการย่อยอาหารโปรตีนมีฤทธิ์กระตุ้นปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ซึ่งเพิ่มอัตราเมตะบอลิซึม

9. การตั้งครรภ์ ระยะท้ายของครรภ์คือประมาณอายุครรภ์ 6 เดือน อัตราเมตะบอลิซึมเพิ่มขึ้นประมาณ 20% การเพิ่มขึ้นนี้เกือบทั้งหมดเกิดจากเมตะบอลิซึมของทารกในครรภ์ เนื่องจากมีปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์

10. สารเคมีและฮอร์โมนต่างๆ เช่น thyroxine, epinephrine, caffeine, benzedrine เพิ่มอัตราเมตะบอลิซึม การสูบบุหรี่โดยเฉพาะการอัดควัน เพิ่มอัตราเมตะบอลิซึมได้ถึง 9%
สุวรรณา หังสพฤกษ์. (2541 : 557)

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) หรือเดกซ์โตรอส (dextrose) ซึ่งมีในโลหิต ในผลไม้ ฟรุคโตส (fructose) อยู่รวมกับกลูโคสในผลไม้ ผัก และกาแลคโตส (galactose) ในนม

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

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

อาหารพวกคาร์โบไฮเดรต จะถูกย่อยให้แตกตัวเป็นน้ำตาลชั้นต้น เมื่อเข้าสู่ปากจะถูกน้ำย่อยไธาลิน (Ptyalin) ทำให้กลายเป็นมอลโตสประมาณ 5% ของปริมาณอาหารแป้งน้ำตาลที่รับประทานเข้าสู่กระเพาะอาหาร จะมีน้ำย่อยที่มีฤทธิ์เป็นกรดเข้ามาย่อยอีก 40% ให้เป็นมอลโตส จนกระทั่งเข้าสู่ลำไส้เล็กก็就会被ย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นกลูโคสประมาณ 80% เป็นฟรุคโตส 10% และเป็นกาแลคโตส 10%

เป็นที่ทราบกันดีว่าอาหารที่ให้พลังงานในการทำงานของกล้ามเนื้อ คือ คาร์โบไฮเดรตกับไขมัน ส่วนอาหารจำพวกโปรตีนนั้นใช้น้อยมาก เมื่อร่างกายมีการออกกำลังกายเป็นระยะเวลานานๆ

ปริมาณของไกลโคเจนจะลดลง เมื่อมีการขยับถ่ายปัสสาวะออกมาจะไม่มีปริมาณของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นด้วยเหตุนี้แสดงให้เห็นว่ากล้ามเนื้อไม่ได้มีการใช้โปรตีนเป็นแหล่งผลิตพลังงาน คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งสร้างพลังงานที่ดีที่สุดและให้พลังงานเร็วที่สุด ในขณะที่พักหรือออกกำลังกายเบาๆ ร่างกายเผาผลาญทั้งไขมันและคาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายในรูปของไกลโคเจนตามกล้ามเนื้อ ตับ เลือด พร้อมทั้งจะสลายตัวเป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อเผาผลาญเป็นพลังงานทันทีเมื่อร่างกายต้องการ

เซอร์แมน (Sherman. 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 กลูโคสที่เหลือใช้จะถูกเปลี่ยนไปเป็น ไกลโคเจน (Glycogen) ที่จะถูกเก็บสะสมไว้ที่ตับและกล้ามเนื้อ และจะถูกนำมาใช้อีกทีหลัง คาร์โบไฮเดรต 1 กรัมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี คาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญคือ จะถูกเผาผลาญในขณะที่ยอกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง และเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานอย่างรวดเร็ว

2. ไขมัน (Fats)

ไขมันเป็นสารอาหารพลังงานที่ให้กับร่างกายในรูปเซลล์ ร่างกายจะเก็บสะสมพลังงานไว้ประมาณ 100,000 กิโลแคลอรี ในรูปเซลล์ไขมันในแต่ละคน ซึ่งเราสามารถจะใช้ได้ประมาณ 120 ชั่วโมง ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานสูงสุดมากกว่าสารอาหารอื่นๆ คือ 1 กรัมให้พลังงาน 9 แคลอรี ในการทำกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง ไขมันจะให้พลังงานเป็น 2 เท่าของคาร์โบไฮเดรต สารอาหารที่ได้จากไขมันทั้งพืชและสัตว์ ส่วนใหญ่อาหารไขมันจะเป็นพวกที่เป็นพวกที่เป็นกลาง 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 glycerol + 3 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 หรืออาจจะรวมกับกรดไขมันอื่นๆ มีประโยชน์ต่อการกระตุ้นให้ฮอร์โมนในร่างกายทำงาน กระตุ้นการผลิตฮอร์โมนเพศ

อาหารไขมันเป็นอาหารที่เหมาะสมกับการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลายาวนาน นอกจากไขมันจะเป็นพลังงานสำรองแล้วยังเป็นตัวสำคัญในการละลายวิตามิน A.E.D.K. เพื่อทำหน้าที่ตามที่ต้องการ ร่างกายต้องการ อาหารไขมันจะเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กับกล้ามเนื้อใหญ่ คือ ประมาณร้อยละ 80 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของร่างกาย แต่การใช้ไขมันต้องอาศัยออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลาญมากกว่าปกติ ดังนั้น ไขมันจึงไม่เหมาะกับการสร้างพลังงานเมื่อออกกำลังกายแต่เป็นการสะสมพลังงาน เพราะไขมันให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรตถึง 2 เท่า สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของการใช้พลังงานจากไขมันนั้นมีน้อย เนื่องจากต้องใช้ออกซิเจนจำนวนมาก 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% ในเนื้อไขมัน (adipose tissue) 4% โดยโปรตีนแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

3.1 โปรตีนขั้นต้น (simple protein) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนอย่างเดี่ยว เช่น อัลบูมิน (albumin) โกลบูลิน (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 ถ้าขาดสารประเภทนี้จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย

2. กรดอะมิโนไม่จำเป็น (non-essential amino acid) เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสร้างขึ้นเองได้ หรืออาจจะเปลี่ยนมาจากกรดอื่น เมื่อร่างกายต้องการโปรตีนเป็นแหล่งพลังงานงาน โปรตีนจะให้พลังงาน 1 กรัม 4 แคลอรี เป็นอาหารสร้างความเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ พีระพงค์ บุญศิริ. (2538 : 49)

ระบบพลังงาน

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

1. ระบบแอนแอโรบิก อแล็คเตท (Anaerobic alactate system)

ระบบแอนแอโรบิก อแล็คเตท หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า แหล่งพลังงาน เอทีพี-พีซี (ATP-PC energy source) ประเวท เกษกัน (2547 : 11) กล่าวว่า เป็นระบบที่นำเอาพลังงานสำรองซึ่งสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อในรูปของ ATP (Adenosine triphosphate) และสามารถสังเคราะห์ ATP ใหม่ โดยใช้เอทีเอ็น ฟอสเฟต (Creatine phosphate : CP) ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ พลังงานที่เกิดขึ้นจะสามารถนำมาใช้ได้ในช่วงเวลาสั้นๆ ไม่เกิน 10 วินาที และการสร้างพลังงานในระบบนี้จะไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ (lactic acids) เมื่อ ATP ถูกใช้หมดไป CP ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อจะแตกตัวให้ phosphate แล้วทำให้ ADP (Adenosine diphosphate) รวมกับ Phosphate กลายเป็น ATP โดยที่ระบบนี้จะเกิดขึ้นใน Sarcoplasm ของเซลล์กล้ามเนื้อ สอดคล้องกับ สนทยา สีละมาต (2547 : 63) กล่าวว่า ระบบพลังงานนี้สามารถสำรองพลังงาน ATP ได้ประมาณ 6-8 วินาที เนื่องจากปริมาณสารครีเอทีนฟอสเฟตจะหมดลงในเวลาอันสั้น การสำรองพลังงานโดยการเปลี่ยนรูปของสารครีเอทีนฟอสเฟตส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นออกกำลังกาย และการสร้างกลับคืนของครีเอทีนฟอสเฟตหลังการออกกำลังกายหยุดลงจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยประมาณ 3 ถึง 5 นาที สอดคล้องกับ ภาวิณี ปิยะจตุรวัฒน์ (2542 : 251) กล่าวว่า ระบบพลังงานนี้เป็นระบบพลังงานที่กล้ามเนื้อจะดึงมาใช้ได้ทันที เมื่อใดก็ตามที่ ATP ถูกใช้ไป CP ก็จะสลายตัวให้ฟอสเฟตไปสร้าง ATP ทดแทนทันที พลังงานจากแหล่งนี้มีให้ใช้ได้ทันที แต่มีไม่มากคือประมาณ 0.3 โมล จึงเหมาะ

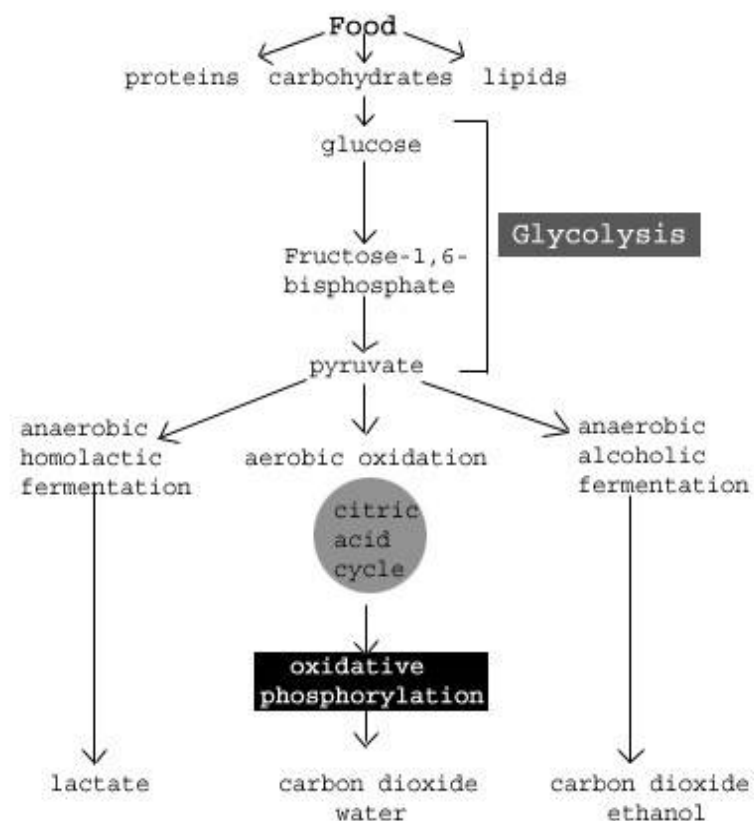
กับกีฬาที่ต้องการความรวดเร็วแต่ไม่นาน การวิ่ง 100 เมตร ก็จะใช้พลังงานส่วนนี้หมดพอดีในตอนท้ายของการวิ่ง ดังสมการต่อไปนี้



ชนินทร์ชัย อินทราภรณ์ (2544 : 25) กล่าวว่า ในการใช้พลังงานจากแหล่งเอทีพี-พีซี นั้นจะใช้ในสถานการณ์ที่นักกีฬาต้องเคลื่อนที่ด้วยความรวดเร็ว หรือออกแรงอย่างมากในระยะเวลานั้น เอทีพี-พีซี ก็จะหมดไป เมื่อมีการหยุดพักก็จะมีกระบวนการสะสมเอทีพี-พีซี ไว้ในกล้ามเนื้ออีก

2. ระบบแอนแอโรบิก แล็คเตต (Anaerobic lactate system)

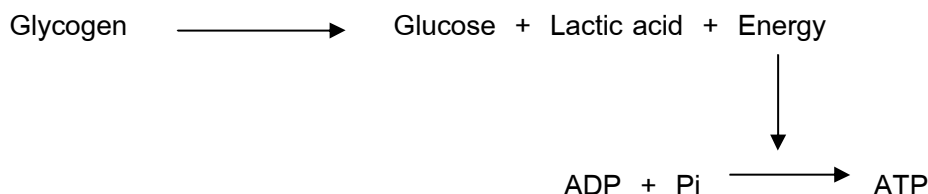
ระบบแอนแอโรบิก แล็คเตต หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า แหล่งพลังงานกรดแลคติก (Lactic acid energy source) ประเวศ เกษกัน (2547 : 12) กล่าวว่า ระบบแอนแอโรบิก แล็คเตต เป็นระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเกิดกรดแลคติก (Anaerobic latic) ซึ่งระบบพลังงานนี้กล้ามเนื้อสร้างพลังงานจากกลูโคส (Glucose) ในกระแสเลือด ไกลโคเจน (Glycogen) ที่สะสมไว้ในกล้ามเนื้อและในตับ สารดังกล่าวจะถูกนำมาสร้างพลังงาน โดยผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) ดังภาพประกอบ 1 ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ออกซิเจน พลังงานที่ได้จากการแตกตัวของกลูโคส และไกลโคเจน สามารถนำไปใช้สร้าง ATP ให้ 2-3 ATP จึงทำให้สามารถสร้างพลังงานได้อย่างรวดเร็ว โดยระบบนี้สามารถสร้าง ATP ซึ่งนำมาใช้ได้ระหว่าง 30-90 วินาที แต่ระบบนี้ทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นผลของการสร้างพลังงานในระบบนี้ เมื่อกรดแลคติกถูกสร้างขึ้นในปริมาณที่มากเกินไปกว่าที่ระบบไหลเวียนโลหิตจะกำจัดออกได้ จะทำให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle fatigue) นั่นคือ มีการรบกวนต่อขบวนการในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ระบบพลังงานดังกล่าว สามารถคงการทำกิจกรรมให้ประมาณ 3 นาที



ภาพประกอบ 1 กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis)

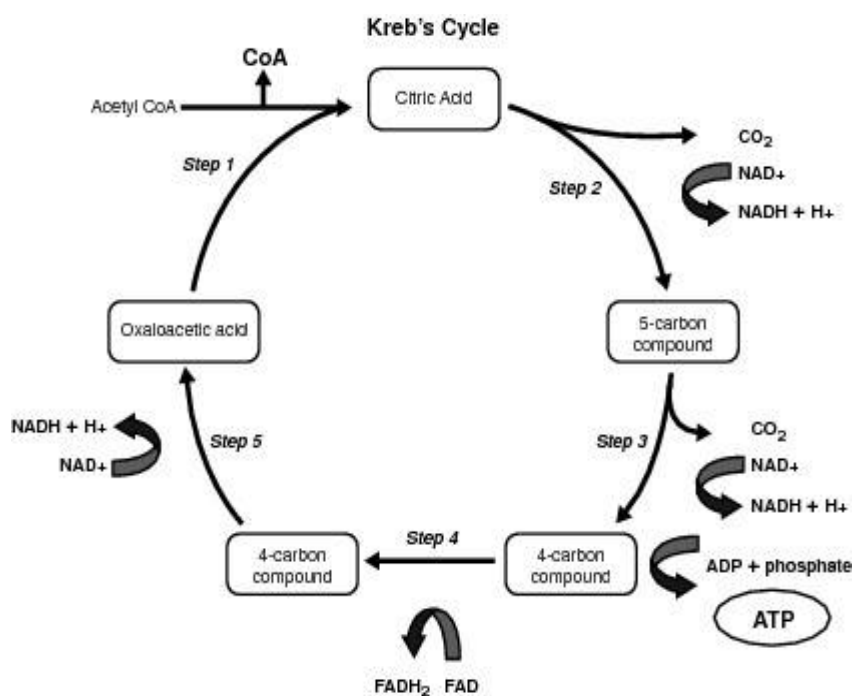
สนทยา สีละมาต (2547 : 63-64) กล่าวว่า ระบบแอนแอโรบิก แล็คเทต เป็นระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการสํารองพลังงานเอทีพี เช่นเดียวกับระบบแอนแอโรบิก อลแล็คเทต แต่การสํารองพลังงานจะก่อให้เกิดกรดแลคติกขึ้น จึงเป็นระบบที่นำมาใช้ในกรณีฉุกเฉิน (Emergency system) เช่น มีการทำงานหนักอย่างรวดเร็วและยาวนานโดยเฉพาะการทำงานในช่วงเวลา 20 วินาที ถึง 45 วินาที ซึ่งพลังงานสํารอง (ไกลโคเจน) จากระบบนี้จะถูกนำมาใช้มากที่สุด จำนวนไกลโคเจนที่เก็บสะสมในกล้ามเนื้อจะสนับสนุนการวิ่งเร็วสูงสุดได้ประมาณ 75-80 วินาที อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติจริงจะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากผลผลิตของกระบวนการไกลโคสิสจะเกิดกรดแลคติกและอนุภาคไฟฟ้าบวก (H^+) ซึ่งก่อให้เกิดกรดอย่างสูงเป็นสาเหตุทำให้ระดับความเป็นกรดในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของกรดจะมีผลต่อองค์ประกอบที่จำเป็นของการหดตัวของกล้ามเนื้อ อย่างน้อยสองอย่างคือ หนึ่ง ลดความสามารถในการทำงานของฟอสโฟฟลูคโตไคเนส (Phosphofructokinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญของกระบวนการไกลโคไลซิส และสอง แทรกแซงการทำงานของแคลเซียมกับโทรโปนิน-ซี (Troponin-C) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้น ผลผลิต

ของกระบวนการไกลโคไลซิสจะนำไปสู่การลดลงของการสำรองพลังงานเอทีพีและการลดลงของแรง (Force) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังสมการต่อไปนี้

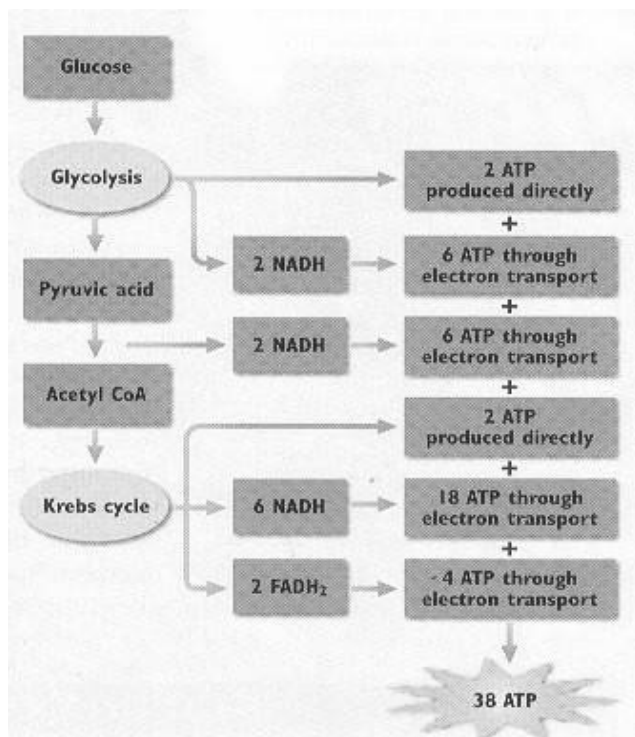


3. ระบบแอโรบิก (Aerobic system)

ระบบแอโรบิก หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า แหล่งพลังงานแอโรบิก (Aerobic energy source) ชนิทเธอร์ซี่ อินทราภรณ์ (2544 : 26) กล่าวว่า การเผาผลาญอาหารคาร์โบไฮเดรตโดยออกซิเจนนี้ เริ่มต้นเหมือนกับกระบวนการแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส แต่เนื่องจากมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ สารประกอบไพรูเวตที่เกิดขึ้นจึงไม่เปลี่ยนสภาพเป็นกรดแลคติก แต่จะเข้าไปในขั้นตอนของ ปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า วัฏจักรเคร็บ (Kreb's cycle) ดังภาพประกอบ 2 และการขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport) ดังภาพประกอบ 3 ในขั้นสุดท้ายจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) น้ำ และเอทีพี ซึ่งไกลโคเจนหนึ่งโมเลกุลจะได้ 39 เอทีพี ส่วนการเผาผลาญอาหารประเภทไขมันจะ แตกต่างออกไป โดยเข้าไปในขั้นตอนของปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า เบตา ออกซิเดชัน (Beta oxidation) และเข้าสู่วัฏจักรเคร็บโดยตรง ในขั้นตอนสุดท้ายจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเอทีพี เช่นเดียวกัน

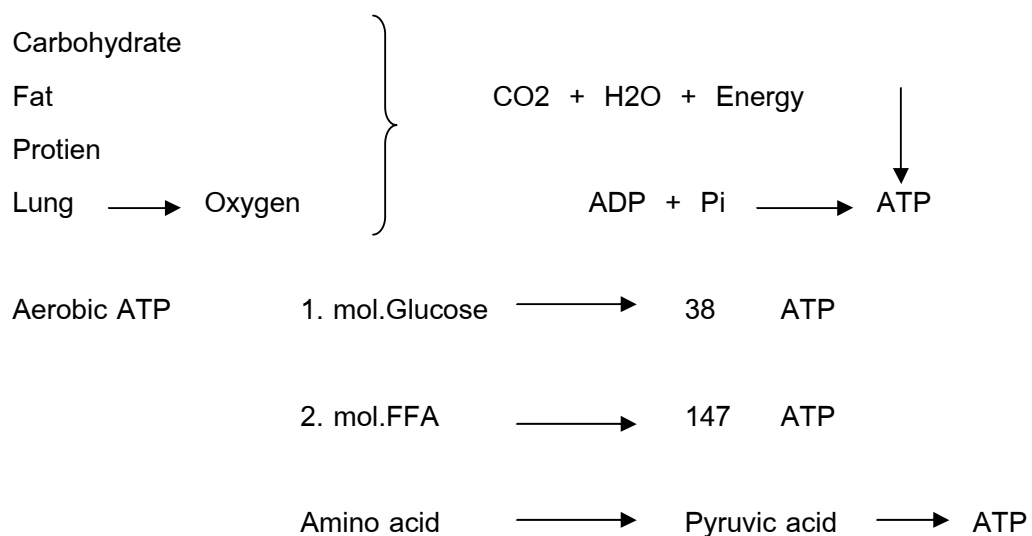


ภาพประกอบ 2 วัฏจักรเคร็บ (Kreb's cycle)



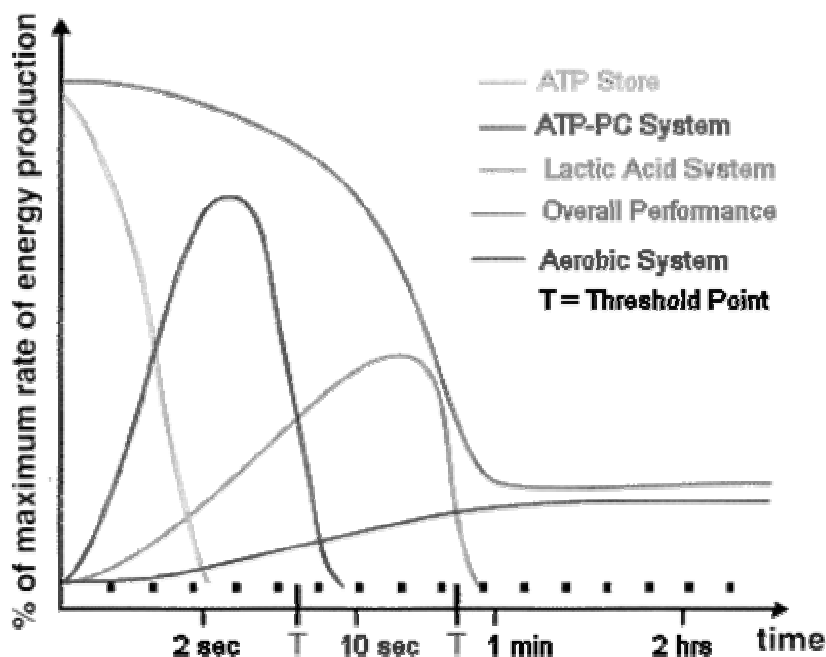
ภาพประกอบ 3 การขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport)

ปริมาณของพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายได้รับ และปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ได้หนึ่งหน่วยเวลา โดยทั่วไปจะใช้หน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมต่อนาที เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานอีกสองชนิดแล้ว แหล่งพลังงานออกซิเจนจะให้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลาได้น้อยที่สุด ดังนั้น แหล่งพลังงานออกซิเจนจึงเป็นแหล่งพลังงานหลักในสถานการณ์ของการแข่งขันกีฬาที่ใช้ระยะเวลายาวนาน ที่มีความหนักในระดับต่ำ และในปริมาณที่ไม่จำกัดทราบเท่าที่ยังมีอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต และไขมัน สอดคล้องกับ สนทยา สีละมาด (2547 : 67) กล่าวว่า ระบบแอโรบิกต้องการใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม แม้จะมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ กระบวนการเผาผลาญก็อาจจะถูกจำกัดโดยปัจจัยทางด้านเอนไซม์และไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสำหรับการผลิตพลังงาน และถ้ามีจำนวนจำกัดจะทำให้ปริมาณการผลิตพลังงานลดลง ระบบพลังงานแอโรบิกสามารถใช้เชื้อเพลิงมากกว่าหนึ่งชนิด คาร์โบไฮเดรตและไขมันที่เก็บสะสมอยู่ในร่างกายเป็นต้นตอสำคัญในการผลิตพลังงานของระบบแอโรบิก การสะสมของคาร์โบไฮเดรตจะมีจำนวนจำกัด ขณะที่การเก็บสะสมของไขมันมีจำนวนไม่จำกัด การสำรองพลังงานจากทั้งสองต้นตอจะทำงานในเวลาเดียวกัน แต่จะแบ่งสัดส่วนกันสำรองพลังงาน โดยขึ้นอยู่กับระดับความหนักของการออกกำลังกาย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย และสภาพการฝึกซ้อมของแต่ละบุคคล ดังสมการต่อไปนี้



ภาวิณี ปิยะจุตรวัณน์ (2542 : 253) กล่าวว่า พลังงานที่กล้ามเนื้อจะนำมาใช้กีฬาแต่ละชนิดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิด (Type) ของกีฬานั้นๆ ความหนัก (Intensity) และระยะเวลา (Duration) ของกีฬา อย่างไรก็ตาม กีฬาทุกชนิดต้องการความว่องไวเหมือนกัน เมื่อเริ่มเล่นกีฬาหรือแข่งขัน พลังงานทั้ง 3 ระบบจะถูกกระตุ้นให้เริ่มทำงานพร้อมๆ กัน เพียงแต่ว่าระบบใดจะมีส่วนมากกว่ากัน

ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการออกกำลังกายกับการทำงานของพลังงานในระบบต่างๆ

การวัดพลังงานของร่างกาย

พิชิต ภูติจันทร์. (2535 : 47) กล่าวว่า เมื่อพลังงานถูกใช้ในการทำงาน ความร้อนจะถูกปลดปล่อยให้เป็นอิสระจากกล้ามเนื้อที่ทำงาน (Work muscle) ด้วยเหตุนี้ เมตาบอลิซึมของอาหารควรสมดุลกับปริมาณความร้อนที่ร่างกายสูญเสียไป เมื่อพลังงานกลเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล สัดส่วนของพลังงานทั้งสองนี้ จะมีปริมาณคงที่ สอดคล้องกับสุวรรณา หังสพฤกษ์. (2541 : 553) กล่าวว่า ร่างกายได้รับพลังงานจากออกซิเดชันของอาหาร พลังงานที่ร่างกายใช้หรือพลังงานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมาในรูปของความร้อน ถ้าขณะนั้นมีการทำงาน พลังงานส่วนน้อยจะเข้าไปในการทำงาน เช่น การหดตัวของกล้ามเนื้อลาย ดังนั้นการวัด heat production หรือความร้อนที่เกิดขึ้นในระยะเวลาจำกัด จึงเป็นการวัดอัตราเมตาบอลิซึม วิธีการวัดความร้อนที่เกิดขึ้น (heat production) เรียกว่า Calorimetry ซึ่งมี 2 แบบ คือ

1. Direct calorimetry วัดความร้อนที่เกิดขึ้นโดยตรง หลักการเหมือนการหาค่าพลังงานของอาหาร เครื่องมือที่ใช้เรียก human calorimeter หรือ whole body calorimeter โดยการให้ผู้ถูกทดลองนั่งหรือนอนในห้องที่มีฉนวนหุ้มกันการสูญเสียความร้อน ภายในห้องมีท่อน้ำไหลผ่าน ความร้อนที่เกิดจากเมตาบอลิซึมจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ วัดอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและไหลออก วัดปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่าน ซึ่งเท่ากับน้ำหนักของน้ำ จากนั้นคำนวณหาความร้อนที่เกิดขึ้น (heat production)

อาจหาความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำงาน โดยให้ผู้ถูกทดลองใช้ ergometer ออกกำลังกายในห้องทดลอง วิธี Direct calorimetry นี้มีข้อดีที่ได้ผลแม่นยำถ้าทำถูกต้อง แต่มีข้อเสียที่เครื่องมือยุ่งยาก ใหญ่โต และราคาแพง การทำต้องละเอียด ถ้าทำไม่ดีมีข้อผิดพลาด ผลจะไม่ดีไปกว่าวิธีที่ 2 วิธีนี้จึงไม่นิยมใช้ ยกเว้นในห้องปฏิบัติการเฉพาะทางเพื่องานวิจัย

2. Indirect calorimetry วัดความร้อนที่เกิดขึ้นทางอ้อม เนื่องจากพลังงานมากกว่า 95% ที่ร่างกายใช้ไป เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอาหารชนิดต่าง ๆ กับออกซิเจน ดังนั้นจึงหาอัตราเมตะบอลิซึมได้โดยการคำนวณจาก VO_2 พบว่าค่าเทียบแคลอรีของออกซิเจนไม่ต่างกันมากนักสำหรับอาหารแต่ละชนิด สำหรับคนที่รับประทานอาหารผสมธรรมดา ในภาวะเบซัลจะมีค่า RQ ประมาณ 0.82 ค่าเทียบความร้อนของออกซิเจนประมาณ 4.825 แคลอรี / ลิตรออกซิเจน กล่าวคือเมื่อใช้ออกซิเจนไป 1 ลิตรจะให้พลังงานประมาณ 4.825 แคลอรี

การวัดทางการหายใจ (Respiratory calorimetry) เป็นวิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ ($VCO_2 : VO_2$) ขณะหายใจ เป็นวิธีการที่สะดวกต่อการวัดการใช้พลังงานของร่างกาย ส่วนมากจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Metabolic cart ซึ่งจะเป็นการวัดปริมาณออกซิเจน (VO_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (VCO_2) โดยจะมีท่อต่อจากผู้ถูกวัดไปยังเครื่องวิเคราะห์การเผาผลาญ โดยกิจกรรมที่มีอาจอยู่ในขณะพักหรือเดิน วิ่ง ปั่นจักรยานวัดงานก็ได้ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะหารด้วยปริมาณออกซิเจนที่ใช้ ที่เราเรียกว่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ หรือ (Respiratory exchange ratio, $RER = VCO_2 / VO_2$) ซึ่งค่า RER นี้จะสามารถใช้คำนวณการเผาผลาญของไขมันและคาร์โบไฮเดรต จากพลังงานสารอาหารทั้งหมด โดยอัตราการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรต และอัตราการใช้พลังงานจะคำนวณได้จากสูตร (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) ขณะมีกิจกรรมต่าง ๆ

การวัดพลังงานความร้อนทางอ้อม เป็นวิธีการวัดพลังงานที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีการวัดที่มีข้อผิดพลาดน้อย โดยวิธีนี้มีข้อผิดพลาดน้อยมาก แตกต่างจากการวัดพลังงานความร้อนทางตรงไม่เกิน 10% นอกจากนี้ยังสามารถวัดได้ง่ายกว่า สะดวกกว่า และที่สำคัญยังมีต้นทุนในการวัดที่น้อยกว่าการวัดพลังงานความร้อนทางตรง สุวรรณ หังสพฤกษ์. (2544 : 555) จากข้อได้เปรียบดังกล่าวทำให้มีการนำวิธีการวัดพลังงานความร้อนทางอ้อม มาใช้ในการศึกษาอัตราการใช้พลังงานทางด้านการกีฬาและการออกกำลังกายมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับเดอร์ริง และคณะ (Darling et al. 2005) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างการ

ออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและการออกกำลังกายแบบสะสม กลุ่มตัวอย่างเป็นชายที่มีสุขภาพแข็งแรง อายุ 18-25 ปี จำนวน 12 คน ทำการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องโดยการวิ่งเป็นเวลา 30 นาที ที่ความหนัก 70% ของ VO_{2max} และพักเป็นเวลา 45 นาที และออกกำลังกายแบบสะสม โดยการวิ่งเป็นเวลา 10 นาที ที่ความหนัก 70% ของ VO_{2max} และพักเป็นเวลา 15 นาที การออกกำลังกายทำซ้ำกัน 3 ครั้งในหนึ่งวัน แต่ละครั้งระยะเวลาห่างกันไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากการศึกษาสรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบสะสมมีการใช้พลังงานทั้งหมดที่มากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

ปีเตอร์สัน และคณะ (Peterson et al. 2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานความร้อนของการเดินที่มีความหนักระดับปานกลางเป็นเวลา 30 นาที กับการเดินแบบเป็นช่วงๆ ละ 10 นาที กลุ่มตัวอย่างเป็นชายที่มีสุขภาพไม่แข็งแรง จำนวน 20 คน อายุระหว่าง 40-49 ปี โดยการทดสอบ Balke graded การทดลองประกอบด้วย 4 การทดลอง คือ การเดินแบบ 30 นาที กับการเดินแบบ 3 x 10 นาที ทำซ้ำอย่างละ 2 ครั้ง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างในการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างทั้ง 2 กลุ่ม ซึ่งพวกเขาสรุปว่า การเดินแบบเป็นช่วงๆ 3 x 10 นาที ตลอดวันสามารถทำให้เกิดประโยชน์ได้เช่นเดียวกับการเดินแบบต่อเนื่อง 30 นาที

ค่าเศษส่วนของการหายใจ (Respiratory quotient, RQ)

ค่าเศษส่วนของการหายใจ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตออกมา (CO_2 production, V_{CO_2}) กับออกซิเจนที่ใช้ไป (O_2 consumption, V_{O_2}) (สุวรรณ หังสพฤกษ์. 2541 : 551) ประทุม ม่วงมี. (2527 : 15) กล่าวว่า ในสภาวะปกตินักกีฬาหรือผู้ออกกำลังกายได้รับพลังงานส่วนใหญ่จากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน 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 นอกจากนี้ค่าจะเปลี่ยนแปลงได้ตามปัจจัยอื่นๆ 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 ในภาวะเช่นนี้จึงบ่งถึงสภาวะการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้บ่งถึงชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์

พีระพงศ์ บุญศิริ (2538 : 99) กล่าวว่า ค่าเศษส่วนการหายใจ หมายถึง ค่าเศษส่วนระหว่าง คาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายกำจัดหารด้วยออกซิเจนที่ร่างกายนำเข้า ดังสมการ

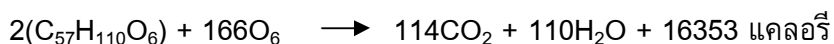
$$RQ = \frac{\text{การเกิด CO}_2 \text{ (CO}_2 \text{ production)}}{\text{การใช้ O}_2 \text{ (O}_2 \text{ consumption)}}$$

โดยคนปกติทั่วไปหรือนักกีฬาจะใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โดยอาหาร คาร์โบไฮเดรตเหมาะกับการสร้างพลังงานมากกว่าเนื่องจากการสันดาปออกซิเจนจะเท่ากับ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกำจัดออกมา ($RQ = 1.0$) ส่วนไขมันเมื่อถูกสังเคราะห์จะได้ คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าออกซิเจน ($RQ = 0.7$) ในการสันดาปคาร์โบไฮเดรต ($C_6H_{12}O_6$) ต้องใช้ออกซิเจนถึง 6 โมเลกุล จึงจะสามารถกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล ดังสมการ



$$\text{ดังนั้น } RQ = \frac{6CO_2}{6O_2} = 1.0$$

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



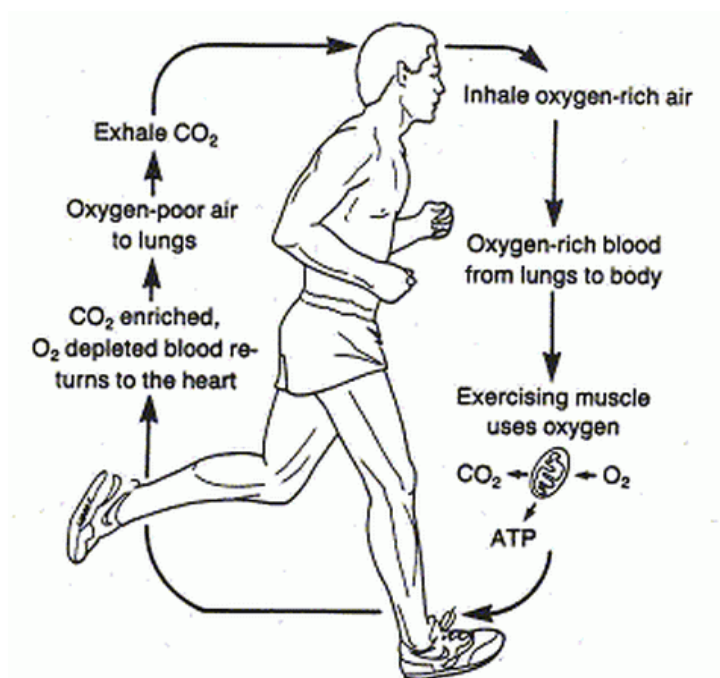
$$\text{ดังนั้น } RQ = 0.7$$

ค่าเศษส่วนของการหายใจทำให้เราทราบได้ว่า กล้ามเนื้อใช้พลังงานจากสารอาหารประเภทใด โดยใช้ค่ามาตรฐานของการสันดาปคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.828 ลิตร

ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย

หน้าที่ของระบบหายใจคือการจัดหาออกซิเจนสำหรับเมตาบอลิซึมของร่างกายและกำจัด คาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการออกซิเดชัน ปกติในขณะพัก ร่างกายจะใช้ออกซิเจนประมาณ 250 มล./นาที แต่เมื่อมีการออกกำลังกายอย่างหนักร่างกายอาจ ต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นถึง 30 เท่า ดังนั้นร่างกายจึงต้องปรับการหายใจให้เปลี่ยนแปลงไปตาม ความต้องการของร่างกายในขณะออกกำลังกาย นอกจากนี้ การออกกำลังกายยังมีบทบาทในการ รักษาสมดุลกรด-ด่างในเลือดในขณะออกกำลังกาย (ชูศักดิ์ เวชแพศย์. 2533 : 75)

พีระพงศ์ บุญศิริ. (2538 : 90) กล่าวว่า ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย คือ ความสัมพันธ์ระหว่างการนำเชื้อเพลิงเข้าไปช่วยสร้างพลังงานให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหมายถึง การที่สารอาหารต่างๆ ที่เป็นตัวทำให้เกิดพลังงานนั้น จะต้องอาศัยออกซิเจนเข้าไปช่วยเผาผลาญ ทำให้กลายเป็นพลังงาน และเมื่อมีการทำงานหรือการออกกำลังกายแล้ว ร่างกายจะมีการหายใจเพิ่มมากขึ้นเพื่อนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และนำของเสียหรือสิ่งที่เกิดจากการเผาผลาญสารอาหารหรือส่วนที่เหลือจากการใช้จะต้องระบายขับออกจากเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ กรดแลคติก และอื่นๆ ระบบหายใจเป็นตัวการสำคัญในการนำเข้าออกซิเจนและระบายออกของเสียคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งออกมาในรูปของอากาศที่หายใจออกนั่นเอง ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงวิธีการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากอากาศเข้าสู่ร่างกายเพื่อนำไปใช้ในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ

การทำหน้าที่ของระบบหายใจ

โดยปกติคนเราจะหายใจเข้าออกประมาณ 16-20 ครั้งต่อนาที ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายต้องการในขณะพักประมาณ 0.3 ลิตร อากาศที่เข้าสู่ปอดและถ่ายออกมานั้น เกิดจากลักษณะความแตกต่างของความกดดันของอากาศภายนอกกับความกดดันของอากาศในถุงลมปอด ซึ่งปกติในขณะพักความกดดันในถุงลมปอดจะน้อยกว่า 760 มิลลิเมตรปรอท ประกอบกับกล้ามเนื้อซี่โครงหดตัวยกซี่โครงขึ้นและกล้ามเนื้อกะบังลมหดตัวทำให้ช่องว่างภายในทรวงอกมากขึ้น อากาศจาก

ภายนอกก็จะไหลเข้าสู่ปอดสู่ถุงลมปอดเรียกว่า การหายใจเข้า เมื่อกล้ามเนื้อซี่โครงและกล้ามเนื้อกะบังลมคลายตัวจะบีบอากาศภายในปอด อากาศภายในปอดจะมีความกดดันสูงขึ้นก็จะถูกกดให้ไหลถ่ายเทออกมาสู่ภายนอกเรียกว่า การหายใจออก

การระบายอากาศในสภาวะต่าง ๆ

การระบายอากาศขณะพัก (Ventilation at rest)

พิชิต ภูติจันทร์ (2535 : 104) 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 อันเนื่องมาจากความถี่และความลึกในการหายใจเปลี่ยนแปลงไป สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ เวชแพศย์ (2536 : 75) กล่าวว่า ตามปกติอัตราการหายใจมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16-20 ครั้งต่อนาที ส่วนความลึกของการหายใจ ซึ่งวัดเป็นปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้งในขณะพักมีค่าประมาณ 500 มิลลิลิตร ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในคนปกติขณะพักมีค่าประมาณ 6 ลิตรต่อ นาที ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

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

การระบายอากาศระหว่างออกกำลังกาย (Ventilation during exercise)

ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีที่เพิ่มขึ้นในระหว่างออกกำลังกาย การเพิ่มขึ้นนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มปริมาตรของออกซิเจนที่หายใจเข้าไป และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อในเวลา 1 นาที ในผู้ที่ออกกำลังกายอยู่เสมอมักมีค่าการระบายอากาศหายใจต่อนาทีต่ำ แต่สามารถทำงานหนักได้เท่าเดิมโดยไม่ต้องหายใจมาก ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการหายใจ นอกจากนี้ ในผู้ที่ได้รับการฝึกจะมีค่าสมรรถภาพการนำใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก การออกกำลังกายทำให้การระบายอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงสรุปได้ดังนี้

1. การระบายอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1-2 นาที ภายหลังเริ่มการออกกำลังกาย การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นของระบบประสาทที่มาจากรีเซปเตอร์ของข้อต่อที่เคลื่อนไหวจากการออกกำลังกาย
2. ในการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุด การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แล้วเข้าสู่ระดับคงที่ (steady state) แต่ในการออกกำลังกายที่ระดับสูงสุดนั้น การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นอยู่

เรื่อยๆ และไม่มีระดับคงที่ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดจากการบวมไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นไปกระตุ้นรีเซปเตอร์และศูนย์ประสาททำให้การระบายอากาศเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดช่วงการออกกำลังกาย

3. การเปลี่ยนแปลงการระบายอากาศเมื่อออกกำลังกายระยะยาว เมื่อมีการออกกำลังกายนานขึ้น ค่าของการระบายอากาศจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น แต่ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้งกลับลดลง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกาย, pH ของเลือดแดง หรือแลคติกของเลือด

การระบายอากาศระหว่างฟื้นตัว (Ventilation during recovery)

เมื่อหยุดออกกำลังกายแล้ว การระบายอากาศจะค่อยๆ ลดลงสู่ระดับปกติ แต่ยังคงสูงกว่าระดับก่อนการออกกำลังกาย ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระยะคือ

1. เมื่อหยุดออกกำลังกายทันที การระบายอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของศูนย์ประสาทที่ควบคุมการหายใจหยุดไปแล้ว แต่ยังคงมีการกระตุ้นระบบประสาทที่ส่งมาจากรีเซปเตอร์ซึ่งอยู่ในกล้ามเนื้อและข้อต่อต่อไป
2. เป็นระยะที่การหายใจค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในกรณีที่มีการออกกำลังกายอย่างหนักจะใช้เวลามากกว่าที่การระบายอากาศจะกลับสู่ระดับปกติ การเปลี่ยนแปลงนี้เกี่ยวข้องกับการลดลงของการกระตุ้น ที่เป็นผลมาจากจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (ชูศักดิ์ เวชแพศย์. 2536 : 75)

การแลกเปลี่ยนก๊าซขณะออกกำลังกาย

การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างถุงลมและหลอดเลือดฝอยของปอด เกิดขึ้นโดยการแพร่กระจายเนื่องจากความแตกต่างของความดันก๊าซ การแพร่กระจายเกิดขึ้นโดยรวดเร็วมาก แม้ในการออกกำลังกายอย่างหนักที่เลือดมีเวลาผ่านปอดเพียง 0.5 วินาที ก็ยังสามารถแลกเปลี่ยนก๊าซได้จนถึงสมดุล (ขณะไม่ได้ออกกำลังกายเลือดมีเวลาอยู่ในปอดนาน 0.75 วินาที) ขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซในปอดเมื่อออกกำลังกายความสามารถในการแพร่กระจาย (diffusing capacity) ของปอดเพิ่มขึ้นคือในระยะพักมีค่า 20-30 ลบ.ซม.ของออกซิเจน/นาที/ความแตกต่างของความดัน 1 มม. แต่เมื่อออกกำลังกายอย่างหนักจนสมรรถภาพในการจับออกซิเจน (oxygen uptake capacity) มีค่า 5 ลิตร/นาที การแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้นถึง 75 ลบ.ซม. ความสามารถในการแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้นโดยรวดเร็วเมื่อเริ่มออกกำลังกาย แต่เมื่อการออกกำลังกายมากเกินระดับ 40% ของการออกกำลังกายสูงสุดแล้ว อัตราการเพิ่มของการแพร่กระจายจะลดน้อยลง การแพร่กระจายที่เพิ่มขึ้นจากการออกกำลังกายนั้น เกิดจากจำนวนหลอดเลือดฝอยของปอดเปิดใช้งานเพิ่มขึ้น (มีจำนวนหนึ่งปิดอยู่ในขณะพัก) พบว่าในขณะออกกำลังกายหลอดเลือดฝอยของกล้ามเนื้อเปิดเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 10 เท่าจากขณะพัก

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

บอร์เชมและบาร์ (Borsheim and Bahr. 2003) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลของระยะเวลาความหนัก และรูปแบบของการออกกำลังกายที่มีต่อสภาวะการใช้ออกซิเจนในร่างกายของผู้ที่มีสุขภาพดี จากการศึกษาพบว่า หลังการออกกำลังกายในช่วงระยะฟื้นฟู (recovery period) ร่างกายจะมีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของการใช้ออกซิเจนนั้น ขึ้นอยู่กับความหนักและระยะเวลาในการออกกำลังกายประเภทนั้นๆ การศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่ออกกำลังกาย พบว่า ภายหลังจากการออกกำลังกายสภาวะการใช้ออกซิเจนในร่างกายจะลดลงสู่ระดับพัก (resting level) อย่างรวดเร็ว เป็นผลมาจากในขณะออกกำลังกายร่างกายมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ระบบไหลเวียนโลหิต และหายใจมีการทำงานเพิ่มมากขึ้น ร่างกายมีการเผาผลาญอาหารเพื่อให้เกิดพลังงาน โดยใช้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น หลังการออกกำลังกายสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนขณะนั้นลดลงแต่ไม่ถึงระดับพัก ทำให้ร่างกายมีปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นด้วย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

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

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนิสิตชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 120 คน

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนิสิตชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 12 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Random Sampling) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ถูกคัดเลือกจะต้องผ่านเกณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

1. มีการออกกำลังกายเป็นประจำอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์
2. ไม่มีข้อห้ามทางการแพทย์ที่จะเป็นอุปสรรคในการออกกำลังกาย และการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) โดยใช้แบบสอบถามความพร้อมในการปฏิบัติกิจกรรมทางกาย (PAR-Q) ปรับปรุงจาก ACSM's (2004)
3. กลุ่มตัวอย่างจะต้องกรอกข้อมูลและลงนามรับรองในหนังสือยินยอม (Inform Consent) เข้าร่วมในโครงการวิจัยก่อนเข้าร่วมการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

1. โปรแกรมการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานวัดงาน 2 แบบ ดังนี้
 - 1.1 โปรแกรมที่ 1 การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง เป็นเวลา 30 นาที ที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด
 - 1.2 โปรแกรมที่ 2 การออกกำลังกายแบบสลับ เป็นเวลา 10 นาที จำนวน 3 ครั้ง โดยการออกกำลังกายแต่ละครั้งมีระยะเวลาห่างกัน 4 ชั่วโมง ที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

- 2.1 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) ยี่ห้อ Cosmed รุ่น PFT Ergo
- 2.2 จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ Monark Ergonomic รุ่น 839E
- 2.3 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย (Heart rate monitor) ยี่ห้อ Polar
- 2.4 ตารางวัดค่าความเหนื่อยสัมพัทธ์ (Rating of Perceived Exertion: RPE

Borg Scale)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ก่อนการเก็บข้อมูลวิจัย ผู้วิจัยทำการขอใบอนุญาตทำการวิจัยในมนุษย์ จากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และได้ผ่านความเห็นชอบในการทำวิจัยในมนุษย์ ใบอนุญาตเลขที่ 51/2550

วิธีการดำเนินการก่อนการทดลอง (Preexperimental Protocol)

กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนเข้ารายงานตัวที่ห้องปฏิบัติการเวลา 06.00 น. เพื่อทำการชั่งน้ำหนักตัว วัดส่วนสูง และทดสอบหาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Measurement of $\text{VO}_{2\text{max}}$) โดยกลุ่มตัวอย่างได้งดกิจกรรมการเคลื่อนไหวทางกาย หรือการออกกำลังกายก่อนเข้ารับการทดลองเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง และงดอาหาร แอลกอฮอล์ บุหรี่ และเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน อย่างน้อย 3 ชั่วโมงก่อนการทดลอง

ทดสอบหาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยวิธีการของการของแลมปี (Ramp protocol) 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 ข้อดังนี้

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

การวัดการใช้พลังงานเพื่อหาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ใช้วิธีการวัดการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect Calorimetry) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) ยี่ห้อ Cosmed รุ่น PFT Ergo ก่อนการทดสอบในแต่ละครั้งจะทำการปรับตั้งออกซิเจน และ คาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยการใช้แก๊สที่มีความเข้มข้นตามคู่มือเครื่องวิเคราะห์แก๊สแนะนำ (12% O₂, 6% CO₂ และ Nitrogen Balance) และปรับตั้งอัตราการไหลของแก๊ส (Flow meter) โดยการใช้กระบอกบรรจุอากาศ 3 ลิตร (3-L Syringe)

อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ แรงดันบรรยากาศ ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องวิเคราะห์แก๊ส และจดบันทึกค่าลงในโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

การวัดอัตราการใช้พลังงานและการคำนวณพลังงานปริมาณ VO₂ และ VCO₂ ที่วัดได้จะถูกนำมาคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานจากสูตรการคำนวณของฟรายน์ (Fraysn, 1983) ดังนี้

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

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

$$\text{โดยกำหนดให้ n (โปรตีน)} = 0$$

อัตราการใช้พลังงานจะถูกเปลี่ยนเป็น Kcal/min โดยกำหนดให้ 1g CHO = 4 Kcal และ 1g Fat = 9 Kcal

วิธีการดำเนินการทดลอง (Experimental Protocol)

1. วัดการใช้พลังงานขณะพัก (Resting Metabolic Measurement: RMR)

กลุ่มตัวอย่างนั่งบนเก้าอี้ในท่าที่สบายเป็นเวลา 5-15 นาที จนกระทั่งมีค่า RER คงที่ ประมาณ 0.80 หลังจากนั้นเริ่มทำการวัดการใช้พลังงานขณะพัก โดยวิธีการวัดการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect Calorimetry) จากเครื่องวิเคราะห์แก๊ส เป็นเวลา 10 นาที

2. ออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

2.1 การออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง โดยการปั่นจักรยานเป็นเวลา 30 นาที ที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ ของ VO_{2max} และนั่งพักเป็นเวลา 30 นาที ทำการวัดการใช้พลังงานในช่วงการออกกำลังกายและการนั่งพัก วัดค่าความรู้สึกความเหนื่อยล้าสัมพัทธ์ทุกๆ 5 นาทีในช่วงของการออกกำลังกาย วัดการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทุกๆ 3 ชั่วโมง ภายหลังการออกกำลังกายอีก 2 ครั้ง และวัดการใช้พลังงานขณะพัก ภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง

2.2 การออกกำลังกายแบบสลับ โดยการปั่นจักรยานเป็นเวลา 10 นาที ที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ ของ VO_{2max} และนั่งพักเป็นเวลา 10 นาที การออกกำลังกายทำซ้ำกัน 3 ครั้งในหนึ่งวัน แต่ละครั้งใช้ระยะเวลาห่างกัน 4 ชั่วโมง ทำการวัดการใช้พลังงานในช่วงการออกกำลังกายและการนั่งพัก วัดค่าความรู้สึกความเหนื่อยล้าสัมพัทธ์ทุกๆ 5 นาทีในช่วงของการออกกำลังกาย วัดการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทุกๆ 3 ชั่วโมง ภายหลังการ

ออกกำลังกายครั้งแรกอีก 2 ครั้ง และวัดการใช้พลังงานขณะพักภายหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมง

การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้มีวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของข้อมูลแต่ละกลุ่ม
2. ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานก่อนออกกำลังกาย

ขณะออกกำลังกาย, หลังออกกำลังกายครั้งที่ 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสะสม โดยใช้สถิติแบบที่

(Pair Sample t-test)

3. ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเหนื่อยล้าสัมพัทธ์ ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสะสม โดยใช้สถิติแบบที่ (Pair Sample t-test)

4. ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (One way Repeated Measure) หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี (Bonferroni)

5. ทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ของการออกกำลังกายแบบสะสม โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (One way Repeated Measure) หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี (Bonferroni)

6. กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมที่มีต่อการใช้พลังงาน ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย ขณะออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกาย และค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ ของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับแบบสะสม มาทำการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ และค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบแบบสะสม

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน

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 ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง โดยนำข้อมูลที่ได้ออกค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุมีค่าเท่ากับ 20.67 ± 0.78 ปี ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักตัวมีค่าเท่ากับ 69.92 ± 11.45 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของส่วนสูงมีค่าเท่ากับ 173.58 ± 5.55 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 32.68 ± 6.26 มิลลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ผู้วิจัยได้นำค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดที่ได้มาเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง และกำหนดความหนักในการออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างแต่ละคน ดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มตัวอย่าง

รายการ	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	M	S.D.
อายุ (ปี)	22.00	20.00	20.67	.78
น้ำหนักตัว (กก.)	95.00	58.00	69.92	11.45
ส่วนสูง (ซม.)	182.00	165.00	173.58	5.55
VO _{2max} (มล./กก./นาที)	43.46	26.01	32.68	6.26

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ และค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบแบบสะสม ผู้วิจัยทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกาย เพื่อควบคุมให้ความสามารถในการใช้พลังงานขณะพักของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม มีความสามารถที่ไม่แตกต่างกันหรือมีความสามารถใกล้เคียงกัน โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกายโดยใช้สถิติแบบที พบว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม มีความสามารถในการใช้พลังงานขณะพักไม่แตกต่างกันหรือใกล้เคียงกัน ดังตาราง 2

ผู้วิจัยทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของทั้ง 2 กลุ่ม โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของทั้ง 2 กลุ่มโดยใช้สถิติแบบที ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของทั้ง 2 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม มีการใช้พลังงานขณะการออกกำลังกายไม่แตกต่างกัน ดังตาราง 2

ตาราง 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ของกลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มการออกกำลังกายแบบสะสม

ช่วงเวลา	กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง		กลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม		t	P
	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
ก่อนการออกกำลังกาย	10.53	2.34	9.91	2.60	1.833	.094
ขณะออกกำลังกาย	231.22	36.83	229.41	26.28	.168	.870
ภายหลังทันที	18.65	3.24	21.73	4.25	-2.277*	.044
ชั่วโมงที่ 3	14.13	2.79	13.15	3.09	1.40	.189
ชั่วโมงที่ 6	13.52	3.44	14.08	3.58	-.566	.583
ชั่วโมงที่ 24	9.74	2.05	11.80	3.03	-3.633**	.004

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ขณะการออกกำลังกาย เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ขณะออกกำลังกายของทั้ง 2 กลุ่ม โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเหนื่อยสัมพันธ์ขณะการออกกำลังกายของทั้ง 2 กลุ่ม โดยใช้สถิติแบบที่ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยความเหนื่อยสัมพันธ์ของทั้ง 2 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม

มีค่าเฉลี่ยความเหนื่อยล้าแตกต่างกัน โดยกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมีค่าเฉลี่ยความเหนื่อยล้ามากกว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม ดังตาราง 3

ตาราง 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเหนื่อยล้าระหว่างการออกกำลังกายของกลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มการออกกำลังกายแบบสะสม

กลุ่ม	Mean	S.D.	t	P
กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง	13.28	1.71	3.326**	.007
กลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม	10.86	1.78		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากนั้น ผู้วิจัยทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทันที เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทันทีของทั้ง 2 กลุ่ม โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันทีของทั้ง 2 กลุ่ม โดยใช้สถิติแบบที ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทันทีของทั้ง 2 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตาราง 2 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทันทีแตกต่างกัน โดยกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมมีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทันทีมากกว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานภายหลังจากการออกกำลังกายครั้งแรกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มอีก 3 ครั้ง คือภายหลังจากการออกกำลังกายครั้งแรก 3, 6 และ 24 ชั่วโมง เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ของทั้ง 2 กลุ่มโดยใช้สถิติแบบที ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมงของทั้ง 2 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตาราง 2 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม มีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 ชั่วโมง ผลปรากฏว่า

ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 ชั่วโมง ของทั้ง 2 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตาราง 2 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม มีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมง ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมง ของทั้ง 2 กลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังตาราง 2 แสดงให้เห็นว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม มีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงแตกต่างกัน โดยกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมมีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน นอกจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานระหว่างกลุ่มออกกำลังกายแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มในช่วงเวลาที่ต่างกันด้วย เพื่อทดสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มในช่วงเวลาที่ต่างกัน ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ผู้วิจัยไม่ได้นำค่าการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายมีวิเคราะห์ด้วย เนื่องจากการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายนั้นมีความการใช้พลังงานสูงกว่าช่วงเวลาอื่นๆ อย่างมาก ทำให้เกิดความแตกต่างของการใช้พลังงานอย่างชัดเจน ด้วยเหตุนี้ จึงไม่นำค่าการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายมาวิเคราะห์ด้วย สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ดังตาราง 4 แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ต่างกันมีความแตกต่างกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) ผลปรากฏว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6 ไม่แตกต่างกัน ดังตาราง 5

ตาราง 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่ม
ออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
ระหว่างสมาชิก	277.61	11	25.24		
ภายในกลุ่มสมาชิก	757.68	48	15.79		
ระหว่างเวลาที่ทดสอบ	596.59	4	149.15	40.739***	.000
ความคลาดเคลื่อน	161.09	44	3.66		
รวม	1035.29	59			

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

ตาราง 5 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่ม ออก
กำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาต่างกัน

การเปรียบเทียบ	ความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ย	ความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน	P
ก่อนการออกกำลังกาย : ภายหลังทันที	-8.12***	.76	.000
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 3	-3.61**	.59	.001
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 6	-2.99*	.75	.021
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 24	.79	.47	1.000
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 3	4.52*	1.05	.013
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 6	5.13**	.83	.001
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 24	8.91***	.82	.000
ชั่วโมงที่ 3 : ชั่วโมงที่ 6	.61	.96	1.000
ชั่วโมงที่ 3 : ชั่วโมงที่ 24	4.39**	.71	.001
ชั่วโมงที่ 6 : ชั่วโมงที่ 24	3.78**	.69	.002

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การทดสอบความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน เพื่อทดสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มในช่วงเวลาที่ต่างกัน ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกันมีความแตกต่างกัน ดังตาราง 6 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) ผลปรากฏว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับหลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

แต่การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 6 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24 นั้นไม่แตกต่างกัน ดังตาราง 7

ตาราง 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาต่างกัน

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
ระหว่างสมาชิก	411.74	11	37.43		
ภายในกลุ่มสมาชิก	1052.6	48	21.93		
ระหว่างเวลาที่ทดสอบ	877.79	4	219.45	55.233***	.000
ความคลาดเคลื่อน	174.81	44	3.98		
รวม	1464.34	59			

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

ตาราง 7 การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่ม
ออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาต่างกัน

การเปรียบเทียบ	ความแตกต่าง ของค่าเฉลี่ย	ความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน	P
ก่อนการออกกำลังกาย : ภายหลังทันที	-11.22***	.71	.000
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 3	-3.24**	.54	.001
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 6	-4.17**	.74	.001
ก่อนการออกกำลังกาย : ชั่วโมงที่ 24	-1.89	.66	.159
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 3	7.98***	.73	.000
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 6	7.06***	.71	.000
ภายหลังทันที : ชั่วโมงที่ 24	9.33***	1.02	.000
ชั่วโมงที่ 3 : ชั่วโมงที่ 6	-.93	.77	1.000
ชั่วโมงที่ 3 : ชั่วโมงที่ 24	1.35	.91	1.000
ชั่วโมงที่ 6 : ชั่วโมงที่ 24	2.27	1.16	.753

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สังเขปความมุ่งหมาย สมมุติฐาน วิธีการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการใช้พลังงานของร่างกายขณะออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกายของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของร่างกายขณะออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกาย และค่าความเหนื่อยสัมพัทธ์ ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสม กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตชาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 12 คน โดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Random Sampling) กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบหาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยวิธีของการของแลมปี (Ramp protocol) โดยการปั่นจักรยาน เพื่อนำค่าที่ได้มากำหนดความหนักในการออกกำลังกายที่ 70-75 เปอร์เซ็นต์ของ VO_{2max} จากนั้นทำการออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คือ โปรแกรมการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง โดยทำการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานเป็นเวลา 30 นาที ที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ของ VO_{2max} และโปรแกรมการออกกำลังกายแบบสะสม โดยทำการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานเป็นเวลา 10 นาที จำนวน 3 ครั้ง โดยการออกกำลังกายแต่ละครั้งมีระยะเวลาห่างกัน 4 ชั่วโมง ที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ของ VO_{2max}

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์และแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานก่อนออกกำลังกาย, ขณะออกกำลังกาย, หลังออกกำลังกายทันที, 3, 6, 24 ชั่วโมง และค่าความเหนื่อยสัมพัทธ์ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม โดยใช้สถิติแบบที (Pair Sample t-test)

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (One way Repeated Measure) หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี (Bonferroni)

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนี้ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุมีค่าเท่ากับ 20.67 ± 0.78 ปี ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักตัวมีค่าเท่ากับ 69.92 ± 11.45 กิโลกรัม ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของส่วนสูงมีค่าเท่ากับ 173.58 ± 5.55 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการในใช้ออกซิเจนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 32.68 ± 6.26 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ และค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบแบบสะสม ผลปรากฏดังนี้

2.1 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสะสมไม่แตกต่างกัน

2.2 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสะสมไม่แตกต่างกัน

2.3 ค่าเฉลี่ยความเหนื่อยสัมพันธ์ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสะสมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมีค่าเฉลี่ยมากกว่าการออกกำลังกายแบบสะสม

2.4 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทันที ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสะสมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยการออกกำลังกายแบบสะสมมีค่าเฉลี่ยมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

2.5 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสะสมไม่แตกต่างกัน

2.6 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมง ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสะสมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยการออกกำลังกายแบบสะสมมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและกลุ่มออกกำลังกายแบบแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน ผลปรากฏดังนี้

3.1 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

3.2 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

ผลปรากฏว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 3, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 3, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 6 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 24 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 6 ไม่แตกต่างกัน

3.3 ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม

ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

3.4 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม ผลปรากฏ

ว่า การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 3, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับหลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 3, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 6, หลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 24 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่การใช้พลังงานการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 6, หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 3 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 24, หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 6 กับ หลังการออกกำลังกายชั่วโม่งที่ 24 ไม่แตกต่างกัน

อภิปรายผล

จากการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมที่มีต่อการใช้พลังงาน โดยการวัดการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ และค่าเฉลี่ยความเหนื่อยสัมพันธ์ขณะออกกำลังกาย แล้วนำผลการวัดที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผลการศึกษา พบว่า

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ และค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ ระหว่างกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบแบบสะสม

1.1 การใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกาย ผู้วิจัยทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่ากลุ่มออกกำลังกายทั้ง 2 กลุ่ม มีความสามารถในการใช้พลังงานขณะพักไม่แตกต่างกันหรือใกล้เคียงกัน ดังตาราง 2

1.2 การใช้พลังงานขณะการออกกำลังกาย กลุ่มตัวอย่างทำการออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น และทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะการออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม มีการใช้พลังงานขณะการออกกำลังกายไม่แตกต่างกัน ดังตาราง 2 เนื่องจากการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมมีรูปแบบของการออกกำลังกายที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ การออกกำลังกายทั้งสองแบบมีความหนักของการออกกำลังกายเท่ากัน คือ ออกกำลังกายที่ความหนัก 70-75 เปอร์เซ็นต์ของ VO_{2max} มีระยะเวลาของการออกกำลังกายเท่ากัน คือ ใช้เวลาในการออกกำลังกายรวม 30 นาที และเป็นการออกกำลังกายชนิดเดียวกัน คือ การออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยาน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การออกกำลังกายทั้งสองแบบมีการใช้พลังงานที่ไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับ พิชิต ภูติจันทร์ (2535 : 25) กล่าวว่า ในการออกกำลังกายนั้น ร่างกายจะใช้พลังงานปริมาณเท่าใดหรือมีการใช้พลังงานจากระบบใดนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของการออกกำลังกาย ความหนัก และระยะเวลาของการออกกำลังกาย และสอดคล้องกับ ประทุม ม่วงมี (2527) กล่าวว่า กิจกรรมการออกกำลังกายหรือกีฬาที่มีความเข้มข้นต่างกัน ระยะเวลาต่างกันเป็นเครื่องบ่งชี้หลักที่จะบอกว่าในกิจกรรมนั้นๆ มีการใช้พลังงานไปเท่าใด ซึ่งสอดคล้องกับ แพทเตอร์สัน (Peterson. 2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการเดินแบบมีช่วงพักกับแบบต่อเนื่องในผู้หญิง พบว่า การใช้พลังงานของการเดินแบบมีช่วงพักกับแบบต่อเนื่องในผู้หญิงไม่แตกต่างกัน

1.3 ค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ระหว่างการออกกำลังกาย ผู้วิจัยทำการทดสอบค่าความเหนื่อยสัมพันธ์ขณะการออกกำลังกาย พบว่า ค่าเฉลี่ยความเหนื่อยสัมพันธ์ของทั้ง 2 กลุ่มมีความแตกต่างกัน โดยกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมีค่าเฉลี่ยความเหนื่อยสัมพันธ์มากกว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบสะสม ดังตาราง 3 แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องมีความเหนื่อยมากกว่าการออกกำลังกายแบบสะสม เนื่องจากการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องเป็นการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายแต่ละครั้งนานกว่าการออกกำลังกายแบบสะสม ทำให้ร่างกายมีความต้องการใช้พลังงานในการออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง เป็นเหตุให้ร่างกายไม่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการ ร่างกายจึงเกิดการเหนื่อยล้า และเกิดการสะสมของกรดแลคติก ต่างจากการออกกำลังกายแบบสะสมที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายแต่ละครั้งน้อยกว่า ทำให้ร่างกายสามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการ ร่างกายจึงเกิดการเหนื่อยล้า และเกิดการสะสมของกรดแลคติกน้อยกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ และกันยา (2536) กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบเป็นช่วงๆ ต้องการเวลาน้อยกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในการสร้างไกลโคเจนเป็นพลังงาน จึงทำให้ร่างกายสามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอกับความต้องการการใช้พลังงาน เป็นเหตุให้ร่างกายเกิดความเหนื่อยล้าน้อยกว่า แม้เป็นการออกกำลังกายที่มีความหนักเท่ากัน สอดคล้องกับ ประทุม ม่วงมี (2527) กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบมีช่วงเวลาพักเป็นการออกกำลังกายที่เปิดโอกาสให้ร่างกายได้พักเพื่อเติมพลังและขจัดของเสียออกจากกล้ามเนื้อ เป็นการลดความเมื่อยล้าของร่างกาย ทำให้ร่างกายทำงาน

ได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ วินเลียม (Williams. 1995) กล่าวว่า ผู้ที่มีสมรรถภาพร่างกายไม่แข็งแรง จะได้รับประโยชน์จากการออกกำลังกายแบบสั้นๆ หลายช่วงต่อวัน การออกกำลังกายช่วงสั้นๆ ประมาณ 10 นาที จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งความบ่อยครั้งในการปฏิบัติจะสัมพันธ์กับความหนัก และระยะเวลาในการออกกำลังกาย ร่างกายจะปราศจากการเมื่อยล้าและการบาดเจ็บ

1.4 การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทันที ผู้วิจัยทำการทดสอบค่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทันที พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันทีของทั้ง 2 กลุ่ม มีความแตกต่างกัน โดยกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมมีค่าการใช้พลังงานมากกว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง ดังตาราง 2 แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบสะสมมีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันทีมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง เนื่องจากการออกกำลังกายแบบสะสมใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายแต่ละครั้งเพียง 10 นาที แหล่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากไกลโคเจน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ให้พลังงานสูง จึงทำให้ภายหลังจากการออกกำลังกายทันที ร่างกายยังคงการใช้พลังงานที่มาจากไกลโคเจนอยู่ ต่างจากการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายแต่ละครั้งนาน 30 นาที แหล่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ได้มาจากไขมัน ซึ่งภายหลังจากการออกกำลังกายร่างกายจึงยังใช้พลังงานจากไขมัน ด้วยเหตุนี้ การใช้พลังงานภายหลังจากการออกกำลังกายทันทีของการออกกำลังกายแบบสะสมจึงมีมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง สอดคล้องกับ วิลมอร์ (Wilmore. 2004) กล่าวว่า แหล่งของพลังงานที่นำมาใช้ในช่วงแรกของการออกกำลังกายคือ ระบบเอทีพี (ATP) พีซี (PC) และไกลโคเจนเป็นระบบที่ให้พลังงานสูง แต่เมื่อออกกำลังกายต่อเนื่องเป็นเวลาดั้งแต่ 20 นาทีขึ้นไป แหล่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่จะได้มาจากไขมัน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ให้พลังงานน้อยกว่า เมื่อเทียบกันต่อหนึ่งหน่วยโมเลกุล สอดคล้องกับ เดอร์ลิง (Darling. 2005) ได้ทำการศึกษา การใช้พลังงานในการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมในนักศึกษาชาย พบว่า การใช้พลังงานขณะพักหลังการออกกำลังกายทันทีของการออกกำลังกายแบบสะสมมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

1.5 การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ผู้วิจัยทำการทดสอบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายหลังจากการออกกำลังกายครั้งแรกของกลุ่มตัวอย่างอีก 3 ครั้ง คือ ภายหลังจากการออกกำลังกายครั้งแรก 3, 6 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมงของทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน ดังตาราง 2 แสดงให้เห็นว่า ภายหลังจากการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมงของทั้ง 2 กลุ่ม ร่างกายยังคงมีการใช้พลังงานในอัตราที่สูงอยู่ ซึ่งเป็นผลมาจากการออกกำลังกาย หลังจากนั้นร่างกายจะลดการใช้พลังงานลงจนกระทั่งกลับสู่สภาวะพัก โดยการลดอัตราการใช้พลังงานจะค่อยๆ ลดปริมาณลงในระดับคงที่ สอดคล้องกับ เบมห์ (Brehm. 1986) กล่าวว่า การใช้พลังงานของร่างกายหลังการออกกำลังกายจะยังคงอยู่ในระดับสูงกว่าปกติอย่างน้อย 6 ชั่วโมง การใช้พลังงานของร่างกายจึงจะกลับสู่สภาวะปกติ ดังนั้น แม้ว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องจะมีระยะเวลาในการออกกำลังกายแต่ละครั้งนานกว่า แต่การออกกำลังกายแบบสะสมก็เป็นการออกกำลังกายที่มีการกระตุ้นการใช้พลังงานของร่างกายอยู่เป็นระยะ จึงทำให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง

และ 6 ชั่วโมงของทั้ง 2 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน แต่ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงของทั้ง 2 กลุ่ม แตกต่างกัน ดังตาราง 2 เนื่องมาจากการออกกำลังกายแบบสะสมเป็นการออกกำลังกายที่มีการกระตุ้นร่างกายให้ร่างกายมีการใช้พลังงานอยู่เป็นระยะ จึงทำให้ร่างกายมีการใช้พลังงานในอัตราที่มากกว่าปกติอย่างต่อเนื่อง ต่างกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่มีการกระตุ้นการใช้พลังงานของร่างกายเพียงแค่ครั้งเดียว เมื่อการออกกำลังกายสิ้นสุดลงการใช้พลังงานของร่างกายจึงค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งกลับสู่สภาวะปกติ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงของการออกกำลังกายแบบสะสมมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและกลุ่มออกกำลังกายแบบแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน

2.1 การใช้พลังงานภายในกลุ่มของผู้ออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ต่างกัน ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานภายในกลุ่มของผู้ออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกัน ดังตาราง 4 แสดงให้เห็นว่า การใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ต่างกันมีความแตกต่างกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี ดังตาราง 5 พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 ชั่วโมงแตกต่างกัน เนื่องจากภายหลังจากการออกกำลังกายร่างกายได้รับการกระตุ้นให้มีการใช้พลังงานมากกว่าปกติ หลังจากนั้นร่างกายจึงค่อยๆ ลดระดับการใช้พลังงานลงจนกระทั่งกลับสู่สภาวะพัก เป็นเหตุให้อัตราการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันที หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมงมีมากกว่าก่อนการออกกำลังกาย แต่การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน เพราะว่าภายหลังจากการออกกำลังกายร่างกายจะค่อยๆ ลดอัตราการใช้พลังงานลงจนกระทั่งกับสู่สภาวะพัก การลดอัตราการใช้พลังงานจะค่อยๆ ลดปริมาณลงในระดับคงที่ และจากการที่การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องเป็นการออกกำลังกายที่กระทำเพียงวันละครั้ง ทำให้ภายหลังจากการออกกำลังกายร่างกายไม่ได้รับการกระตุ้นการใช้พลังงานอีก จึงทำให้อัตราการใช้พลังงานค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งกับสู่สภาวะพัก ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้อัตราการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน

การใช้พลังงานภายหลังจากการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง, ภายหลังจากการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 ชั่วโมง, ภายหลังจากการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงแตกต่างกัน เพราะว่าภายหลัง

การออกกำลังกายทันทีที่ร่างกายยังคงมีการใช้พลังงานในระดับที่สูงอยู่ แล้วจึงค่อยๆ ลดการระดับใช้พลังงานลง สอดคล้องกับซุซุกิตี เวชแพตย์ และกันยา ปาละวิวัฒน์ (2536 : 153) กล่าวว่า การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทันทีที่ยังคงมีสูงอยู่ และจะค่อยๆ ลดลงสู่ระดับปกติ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันทีที่มีการใช้พลังงานมากกว่าภายหลังการออกกำลังกายช่วงอื่นๆ ส่วนการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 ชั่วโมงไม่ต่างกัน เนื่องมาจากภายหลังการออกกำลังกายร่างกายจะค่อยๆ ลดระดับการใช้พลังงานลงในระดับที่คงที่ แต่การออกกำลังกายนี้จะยังคงมีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายอีกอย่างน้อย 6 ชั่วโมง จึงทำให้ภายหลังการออกกำลังกาย 6 ชั่วโมงแรก ร่างกายยังมีการใช้พลังงานในระดับที่สูงอยู่ เป็นเหตุให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน แต่การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 และ 6 ชั่วโมง แตกต่างกับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมง เนื่องจากภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ร่างกายจะลดอัตราการใช้พลังงานจนกระทั่งไม่แตกต่างหรือมีค่าใกล้เคียงกับขณะพัก ซึ่งต่างกับการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 และ 6 ชั่วโมงที่ยังคงมีการใช้พลังงานในระดับที่สูงอยู่ จึงเป็นเหตุให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 3 และ 6 ชั่วโมง มากกว่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง

2.2 การใช้พลังงานภายในกลุ่มของกลุ่มออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบสะสมในช่วงเวลาที่ต่างกัน มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า การใช้พลังงานของกลุ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ต่างกันมีความแตกต่างกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ โดยวิธีการของบอนเฟอโรนี ดังตาราง 7 พบว่า ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายทันที, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง, ก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 ชั่วโมงแตกต่างกัน เนื่องจากภายหลังการออกกำลังกายร่างกายได้รับการกระตุ้นให้มีการใช้พลังงานมากกว่าปกติ จึงเป็นเหตุให้ร่างกายมีการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกายน้อยกว่าหลังการออกกำลังกายทันที, 3 และ 6 ชั่วโมง แต่การใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน เพราะว่าภายหลังการออกกำลังกายร่างกายจะค่อยๆ ลดอัตราการใช้พลังงานลงจนกระทั่งกับสู่ขณะพัก จึงเป็นเหตุให้อัตราการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน

การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง, ภายหลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 ชั่วโมง, ภายหลังการออกกำลังกายทันที กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงแตกต่างกัน เพราะว่า ภายหลังการออกกำลังกายทันทีที่ร่างกายยังคงมีการใช้พลังงานในระดับที่สูงอยู่ เช่นเดียวกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง จึงทำให้การใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทันทีมากกว่าการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายช่วงอื่นๆ ส่วนการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3

ชั่วโมง กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 และ 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน เพราะว่าการออกกำลังกายแบบสะสมเป็นการออกกำลังกายที่มีการกระตุ้นร่างกายให้มีการใช้พลังงานอยู่เป็นระยะๆ จึงทำให้ร่างกายมีการใช้พลังงานในระดับสูงอยู่ตลอดเวลา เป็นเหตุให้การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 ชั่วโมง กับ หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 6 และ 24 ชั่วโมงไม่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองข้างต้น สรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบสะสมมีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกายครั้งแรก 3 และ 6 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง แต่มีผลทำให้ร่างกายมีการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายทันที และหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมงมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง นอกจากนี้การออกกำลังกายแบบสะสมยังทำให้เกิดความเหนื่อยและความเมื่อยล้าน้อยกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบสะสมมีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง และยังทำให้เกิดความเมื่อยล้า น้อยกว่า นอกจากนี้การออกกำลังกายทั้งสองแบบยังมีผลดีต่อสุขภาพไม่ต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับ ดีบุสค์ และคณะ (Debusk, al. 1990) ได้ทำการศึกษาผลของการเดินแบบต่อเนื่องและการเดินเป็นช่วงสั้นๆ แบบสะสม ในผู้ชายที่มีสุขภาพดี พบว่า การออกกำลังกายแบบอย่างต่อเนื่อง และแบบสะสมเป็นช่วงๆ มีผลต่อสมรรถภาพทางกายไม่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้การออกกำลังกายแบบสะสมเป็นการออกกำลังกายอีกรูปแบบหนึ่งที่ผู้ออกกำลังกายสามารถเลือกนำไปใช้ เพื่อให้การออกกำลังกายเป็นไปตามวัตถุประสงค์ และสมรรถภาพของผู้ออกกำลังกายเอง

ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลอง พบว่า การใช้พลังงานและค่าความเหนื่อยสัมพัทธ์ของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับแบบสะสมแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ผู้วิจัยตั้งไว้ แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบสะสมมีผลต่อการใช้พลังงานของร่างกายภายหลังการออกกำลังกายมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง และยังทำให้เกิดความเมื่อยล้า น้อยกว่า ดังนั้น การออกกำลังกายแบบสะสมจึงเป็นการออกกำลังกายอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับผู้เริ่มออกกำลังกาย ต้องการออกกำลังกายเพื่อลดน้ำหนัก และเพื่อเสริมสร้างสุขภาพ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การวัดการใช้พลังงานของการออกกำลังกายมีความแม่นยำยิ่งขึ้น ควรมีการควบคุมการพักผ่อน และการบริโภคอาหารของผู้เข้าร่วมการทดลองให้มากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมที่มีต่อปัจจัยทางสรีรวิทยาด้านอื่นๆ เช่น การใช้ไขมันและคาร์โบไฮเดรตของร่างกาย
2. ควรมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมที่มีต่อการใช้พลังงานในช่วงวัยต่างๆ เช่น ในวัยเด็ก วัยผู้ใหญ่ เป็นต้น
3. ควรมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมที่มีต่อการใช้พลังงานในผู้ที่เป็โรคอ้วน
4. ควรมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบสะสมที่มีต่อการใช้พลังงานในรูปแบบอื่นๆ เช่น ลดจำนวนครั้งของการออกกำลังกายลงเหลือ 2 ครั้งต่อวัน แต่เพิ่มระยะเวลาในการออกกำลังกายแต่ละครั้งเป็น 30 นาที

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- เจริญ กระบวนรัตน์. (2548). หลักการและเทคนิคการฝึกกรีฑา. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชนินทร์ชัย อินทราภรณ์. (2544). การเปรียบเทียบผลของการฝึกพลัยโอเมตริกควบคู่กับการฝึกด้วยน้ำหนัก การฝึกพลัยโอเมตริกด้วยน้ำหนัก และการฝึกเชิงซ้อนที่มีต่อการพัฒนากล้ามเนื้อขา. ปรินญาตฤษฏีบัณฑิต. (พลศึกษา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- ชูศักดิ์ เวชแพทย. (2536). สรีรวิทยาการออกกำลังกาย. กรุงเทพฯ : ธรรมการพิมพ์.
- _____. (2540). สรีรวิทยา1. กรุงเทพฯ : สวัสดิการพิมพ์.
- ธวัชชัย กาญจนะทิวกุล. (2541). ผลของการฝึกออกกำลังกายประเภทอดทนต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของหัวใจ. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ประทุม ม่วงมี. (2527). สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย. กรุงเทพฯ : บุรพาสาร์.
- ประเวท เกษกัน. (2547). ผลการฝึกด้วยน้ำหนักในจำนวนครั้งต่างกันที่มีต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา. ปรินญาตฤษฏีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ปรีชา วังตระกูล. (2545). ผลของโปรแกรมการฝึกแบบเป็นช่วงกับโปรแกรมการฝึกแบบต่อเนื่องต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในนักวิ่งระยะกลาง. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร.
- ปรีดา สุทธิวิวัฒน์. (2536). สรีรวิทยาการออกกำลังกาย. กรุงเทพฯ : ธรรมการพิมพ์.
- ปรีดา สุทธิวิวัฒน์ และ เสริฐ สกฤษณ์พัฒน์. (2547). การออกกำลังกายและการกีฬา. กรุงเทพฯ : บรรณกิจ 1991 จำกัด.
- พัชรา วีระกะลีส. (2544). พลังงานและเมแทบอลิซึม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิชิต ภูติจันทร์. (2547). วิทยาศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- พิชิตพล อุทัยกุล. (2546). ผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก 6 สัปดาห์ต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับไขมันในเลือดของบุคลากรในวิทยาลัยเทคนิคเชียงราย. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ถ่ายเอกสาร.
- พีระพงศ์ บุญศิริ. (2538). สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮาส์
- รัชฎา แก่นสาร. (2540). สรีรวิทยา. กรุงเทพฯ : ยุทธรินทร์ การพิมพ์ จำกัด.

- ลาวัลย์ เรื่องปรัชญากุล. (2536). *ผลการชี้จักรยานที่มีต่อระบบไหลเวียนโลหิต*. ปรินญาณิพนธ์ กศ. ม.(พลศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- วิจิต คณิงสุขเกษม. (2541). *เอกสารประกอบการสอนวิชาสรีรวิทยาการออกกำลังกาย 1. ภาควิชาพลศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*. กรุงเทพฯ.
- วุฒิพงษ์ ปรมัตถากร. (2537). *การออกกำลังกาย*. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- สนธยา สีละมาด. (2547). *หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสก อักษรานุเคราะห์. (2534). *การออกกำลังกายสายกลางเพื่อสุขภาพและชะลอความแก่*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- สุรัชย์ พันธุ์กำเนิด. (2541). *ออกกำลังกายอย่างไรจึงจะพอดี*. วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา. 2(1) : 40.
- สุวรรณา หังสพฤกษ์ และ สุพรพิมพ์ เจียสกุล. (2544). *สรีรวิทยา 2*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์.
- หทัยรัตน์ ราชนาวิ. (2543). *ผลของการฝึกโปรแกรมออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด*. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- American College of Sports Medicine. (2004). *ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment Manual*. United States.
- Borsheim, E., Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Medicine*, 33(14):1037-1060.
- Brehm, BA. and B. Gutin. (1986). Recovery energy expenditure for steady state exercise in runners and nonexercisers. *Med Sci Sports Exercise*. 18:205-210.
- Darling, L., Linderman, K. and Laubach, L. (2005). Energy expenditure of Continuous and Intermittent Exercise in College aged males. *Journal of Exercise Physiology*. (August); 8(4).
- Debusk, RF., Stenestrand. U., et al. (1990). Training effects of long versus short bouts exercise in healthy subjects. *Am J Cardio*. (August); 65: 499-450.
- Frayn, KN. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *Journal of Applied Physiology*. 55:628-634.
- Marie, HM. (1998). Training effects of short and long bouts brisk walking in sedentary women. *Med. Sci. Sports Exerc*. 30:152-157.

- Peterson, MJ., Palmer, DR. and Laubach, LL. (2004). Comparison of caloric expenditure in intermittent and continuous walking bouts. *J Strength Cond Res.* (May); 18(2) : 373-376.
- Sherman, WM. (1995). Metabolism of sugar and physiological performance. *Am J Clin Nutr.* 62(supply):228S-41S.
- Thomas, TR., Ball SD., Michaelson JL. and Altena. (2004). Single sessions of intermittent and continuous exercise and postprandial lipemia. *Med Science Sport Exercise.* (August); 36(8):1364-1371.
- Williams. (1995). *ACSM's Guideline for Exercise Testing and Prescription. 5 th.*, American College of Sport Medicine, United States of America. 373p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max})

แบบทดสอบความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max})

ทดสอบหาความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Measurement of VO_{2max}) โดยวิธีของการของแลมปี (Ramp protocol)

การทดสอบหาค่า VO_{2max} โดยการปั่นจักรยาน มีวิธีการทดสอบดังนี้

กลุ่มตัวอย่างทำการปั่นจักรยาน เริ่มจากความหนัก 0 วัตต์ และทำการเพิ่มความหนักขึ้น 5 วัตต์ ทุกๆ 12 วินาที ความเร็วในการปั่น 60 รอบต่อนาที (rpm) ค่าความต่างไม่เกิน 5 รอบต่อนาที ปฏิบัติเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งกลุ่มตัวอย่างมีค่าเข้าหลักเกณฑ์ 3 ใน 5 ข้อดังนี้

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

ภาคผนวก ข
โปรแกรมการออกกำลังกาย

โปรแกรมการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (Continuous Exercise)

1. ผู้เข้ารับการทดลองดื่มน้ำเปล่าปริมาตร 3 มล.ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ก่อนการทดลองเป็นเวลา 30 นาที
2. ผู้เข้ารับการทดลองตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินชีวิตประจำวัน
3. ทำการอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที
4. เริ่มการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (Continuous Exercise)
 - ช่วง 15 นาทีแรก เพิ่มความหนักของงานจนถึง 70-75% ของ VO_{2max}
 - ออกกำลังกายที่ความหนักของงาน 70-75% ของ VO_{2max} จนครบ 30 นาที
 - วัดอัตราการใช้พลังงาน
 - วัดค่าความรู้สึกความเหนื่อยล้าสัมพัทธ์ (RPE) ทุกๆ 5 นาที
5. ทำการคลายอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที
6. ผู้เข้ารับการทดลองพักโดยการนั่งเป็นเวลา 30 นาที และวัดการใช้พลังงาน
7. วัดการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายทุกๆ 3 ชั่วโมง อีก 2 ครั้ง คือชั่วโมงที่ 3 และ 6
8. วัดการใช้พลังงานขณะพัก (RMR) ภายหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง

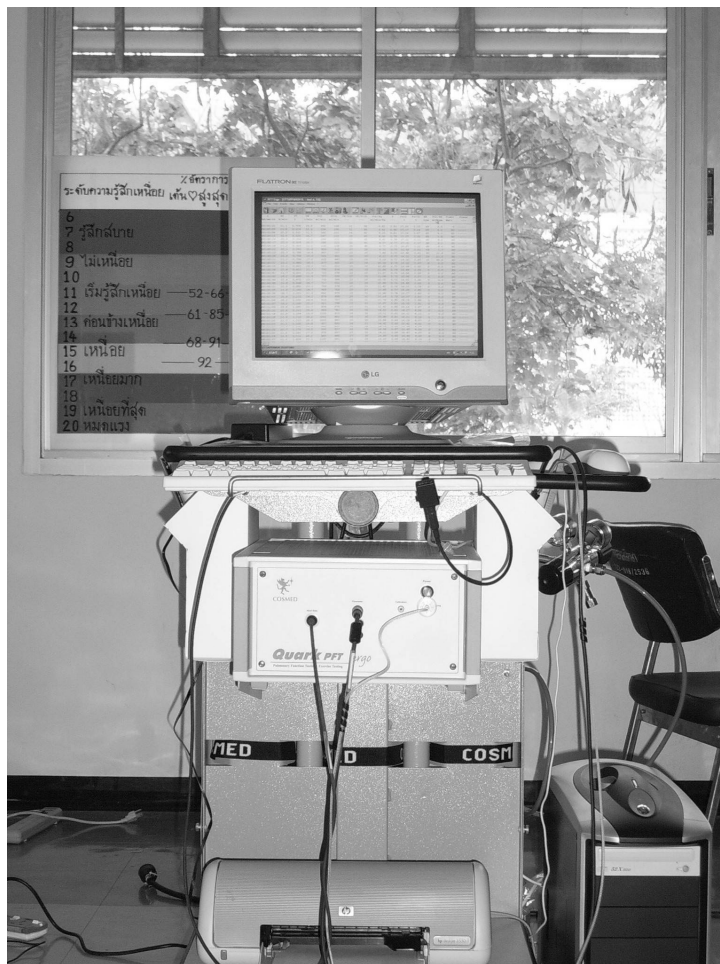
โปรแกรมการออกกำลังกายแบบสะสม (Accumulated Exercise)

1. ผู้เข้ารับการทดลองดื่มน้ำเปล่าปริมาตร 3 มล.ต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ก่อนการทดลองเป็นเวลา 30 นาที
2. ผู้เข้ารับการทดลองตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินชีวิตประจำวัน
3. ทำการอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที
4. เริ่มการออกกำลังกายแบบสะสม (Accumulated Exercise)
 - ช่วง 5 นาทีแรก เพิ่มความหนักของงานจนถึง 70-75% ของ VO_{2max}
 - ออกกำลังกายที่ความหนักของงาน 70-75% ของ VO_{2max} จนครบ 10 นาที
 - วัดการใช้พลังงาน
 - วัดค่าความรู้สึกความเหนื่อยสัมพัทธ์ (RPE) ทุกๆ 5 นาที
5. ทำการคลายอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที
6. ผู้เข้ารับการทดลองพักโดยการนั่งเป็นเวลา 10 นาที และวัดการใช้พลังงาน
7. ทำการออกกำลังกายตามโปรแกรมออกกำลังกายแบบสะสมอีก 2 ครั้ง ภายหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทุก 4 ชั่วโมง
8. วัดการใช้พลังงานภายหลังการออกกำลังกายครั้งแรกทุกๆ 3 ชั่วโมง อีก 2 ครั้ง คือชั่วโมงที่ 3 และ 6
9. วัดการใช้พลังงานขณะพัก (RMR) ภายหลังการออกกำลังกายครั้งแรก 24 ชั่วโมง

ภาคผนวก ค
ใบอนุญาตทำการวิจัยใหม่มนุษย์

ภาคผนวก ง
อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล



ภาพประกอบ 6 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer)

ยี่ห้อ Cosmed รุ่น PFT Ergo



ภาพประกอบ 7 จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ Monark Ergomedic รุ่น 839E

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

ภาพประกอบ 8 ตารางวัดค่าความเหนื่อยสัมพัทธ์
(Rating of Perceived Exertion: RPE Borg Scale)



ภาพประกอบ 9 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย
(Heart rate monitor) ยี่ห้อ Polar

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล
วันเดือนปีเกิด
สถานที่เกิด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน

นายนิพนธ์ วิชชุดเวส
22 มกราคม 2526
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
5/10 ถ.กำเนิดวิถี ต.หัวหิน อ.หัวหิน
จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2538

ประถมศึกษา

โรงเรียนร่ำรวยวิทยา

พ.ศ. 2541

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนสามร้อยยอดวิทยาคม

พ.ศ. 2544

มัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนสามร้อยยอดวิทยาคม

พ.ศ. 2548

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.)

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

พ.ศ. 2551

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.)

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

หมวดวิชาเอกวิทยาศาสตร์การออกกำลังกาย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ