การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ ระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

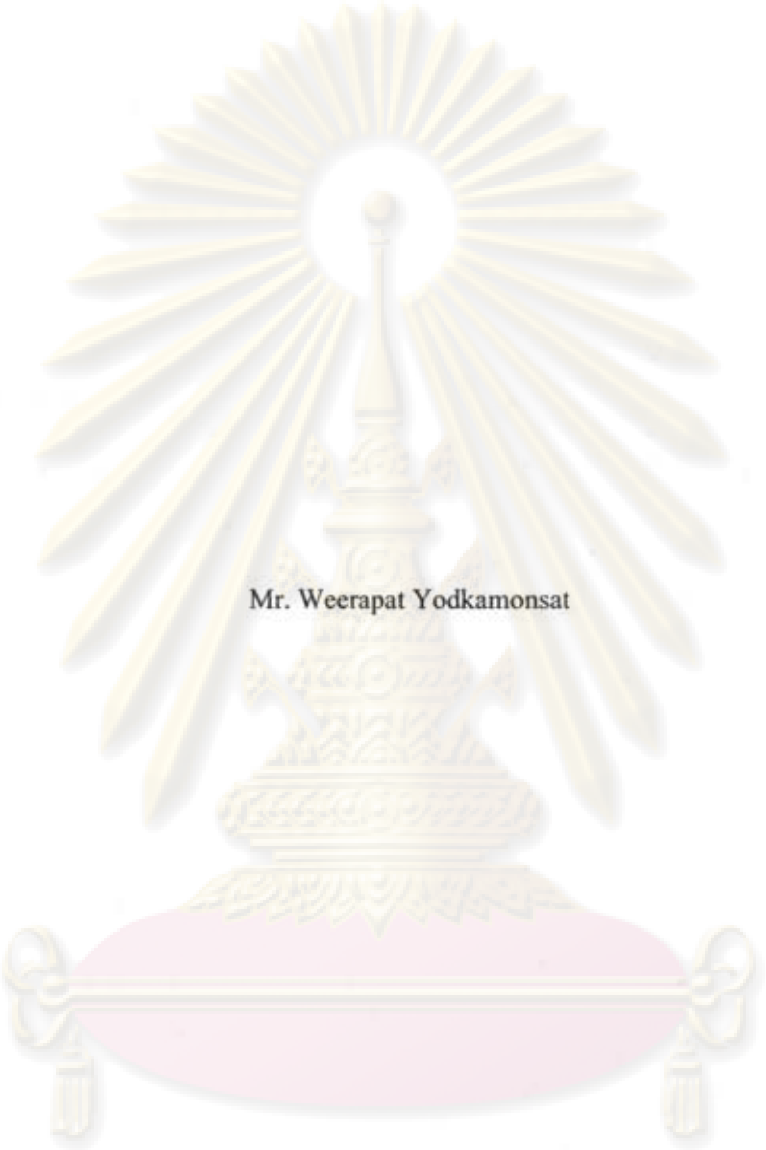
นาย วีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การกีฬา
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARATIVE STUDY OF ENERGY EXPENDITURE IN VARIOUS TYPES OF EXERCISE FOR HEALTH BETWEEN OVERWEIGHT AND NORMAL-WEIGHT FEMALE



Mr. Weerapat Yodkamonsat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Sports science
School of Sports Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

501341

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ
โดย	นายวีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ครุณวรรณ สุขสม

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีสำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิม ชัยวัชราภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เฉลิม ชัยวัชราภรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ครุณวรรณ สุขสม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. ทศพร ยิ้มลมัย)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย บุญรอด)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์: การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ. (A COMPARATIVE STUDY OF ENERGY EXPENDITURE IN VARIOUS TYPES OF EXERCISE FOR HEALTH BETWEEN OVERWEIGHT AND NORMAL-WEIGHT FEMALE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. ครุณวรรณ สุขสม, 166 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆในหญิงที่มีน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ อาสาสมัครเป็นนิสิตหญิงของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 26 คน (อายุ 18 – 25 ปี) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มน้ำหนักเกิน (BMI = 25.00 – 29.99 กก./ตร.ม.) จำนวน 11 คน และกลุ่มน้ำหนักปกติ (BMI = 18.50 – 24.99 กก./ตร.ม.) จำนวน 15 คน อาสาสมัครทุกคนได้รับการสุ่มแบบครอสโอเวอร์ดีไซน์ให้ออกกำลังกายเพื่อสุขภาพทั้ง 4 ชนิด อันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกที่ความหนักระดับปานกลาง (64 – 76 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด) เป็นเวลา 30 นาที ก่อนดำเนินการทดลอง ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนได้รับการวัดค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะ ในวันทำการทดลองทั้งก่อนและหลังการออกกำลังกายแต่ละชนิด อาสาสมัครได้รับการวัดองค์ประกอบร่างกาย ได้แก่ น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมัน และเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมัน ขณะออกกำลังกาย ทำการบันทึกค่าตัวแปรทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายและค่าการใช้พลังงาน ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจ ความดันโลหิต สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด การระบายอากาศ อัตราส่วนการหายใจ และการใช้พลังงาน (ช่วงเริ่มต้น ช่วงของการออกกำลังกายคงที่ ช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย และช่วงการใช้พลังงานโดยรวมของการออกกำลังกาย) แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรระหว่างกลุ่มตัวอย่างด้วยการทดสอบค่าที และเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรระหว่างชนิดของการออกกำลังกายด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

ผลการวิจัยพบว่า

1. อัตราการเต้นของหัวใจ อัตราส่วนการหายใจ และความดันโลหิตที่ทำการบันทึกค่าทุกๆนาทีตั้งแต่นาทีที่ 1-35 ขณะออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ แต่พบว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ และการระบายอากาศต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ

2. การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) ช่วงคงที่ (นาทีที่ 11-20) ช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) และ การใช้พลังงานโดยรวม (นาทีที่ 1-30) ของการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก ในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของการออกกำลังกาย พบว่า การใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกายของการเดินและการวิ่งมีค่าสูงกว่าการปั่นจักรยานทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ

3. การออกกำลังกายด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก มีผลทำให้น้ำหนักตัวหลังออกกำลังกายมีค่าต่ำกว่าก่อนออกกำลังกาย แต่ไม่พบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ไขมันและเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกาย ทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์การกีฬา..... ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา.....2550..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

##4978615939: MAJOR SPORTS PHYSIOLOGY
KEYWORD: ENERGY EXPENDITURE / EXERCISE FOR HEALTH / OVERWEIGHT

WEERAPAT YODKAMONSAT: A COMPARATIVE STUDY OF ENERGY EXPENDITURE IN VARIOUS TYPES OF EXERCISE FOR HEALTH BETWEEN OVERWEIGHT AND NORMAL – WEIGHT FEMALE. THESIS PRINCIPLE ADVISOR: ASST. PROF. DAROONWAN SUKSOM, Ph.D, 166 pp.

The purposes of the study were to compare energy expenditure in various types of exercise for health between overweight and normal-weight female. Twenty six females students of Chulalongkorn University (age 18 – 25 years) were divided into 2 groups: overweight (BMI = 25.00-29.99 kg/m²; n=11) and normal-weight (BMI = 18.50-24.99 kg/m²; n=15). All subjects participated in a crossover design including four types of exercise: walking, running, cycling and aerobic dance with moderate intensity (64 - 76 % of maximal heart rate) for 30 minutes. Resting physiological data and health-related physical fitness were obtained before the study. On the day of experiment, bodyweight, %fat and % fat free mass were measured at rest and immediately after exercise. During each exercise session, heart rate (HR), blood pressure (BP), oxygen uptake (VO_2), carbondioxide production (VCO_2), maximal oxygen consumption (VO_2max), minute ventilation (MV), respiratory exchange ratio (RER) and energy expenditure (EE) at the beginning (min 1-5), the steady state (min 11-20), the recovery period (min 30-35) and the total of exercise task (min 1-30) were assessed. All values are expressed as means and standard deviation. T-test and one way ANOVA was used to determined differences between groups and types of exercise, respectively. Statistical significance was accepted at $p < .05$.

The results were as follows:

1. There were no significant differences in HR, RER and BP that were monitored every minute (min 1-35) during all types of exercise examined between overweight and normal-weight groups. But it was found that overweight subjects had lower VO_2, VCO_2 and MV than normal-weight subjects.

2. EE at the beginning, the steady state, the recovery period and the total of exercise task in all types of exercise were higher in overweight group when compared with normal-weight group. The total EE of walking and running were higher than cycling in both groups of subject.

3. Bodyweight of overweight and normal-weight groups were lower after exercise with walking, running, cycling and aerobic dance. But there were no significant differences in % fat and % fat free mass when compared between before and after exercise in both overweight and normal-weight groups.

Field of Study: .....Sports Science..... Student's Signature: .....

Academic Year: .....2007..... Principal Advisor's Signature: .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ทำให้ศิษย์ได้เรียนรู้อะไรหลายๆอย่างมากขึ้น ผู้วิจัยจึงของกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิม ชัยวัชราภรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. วันชัย บุญรอด และอาจารย์ ดร. ทศพร ยิ้มลมัย คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิด คำแนะนำ และตรวจแก้ไข ปรับปรุง ข้อบกพร่องต่างๆอันส่งผลให้วิทยานิพนธ์นี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่าน ที่ให้ความเมตตา ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆด้วยดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านผู้บริหาร คณาจารย์ และนิสิตจุฬาฯทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการวิจัย อันส่งผลให้งานวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆนิสิตปริญญาโท แขนงวิชา สรีรวิทยาการกีฬา สำหรับกำลังใจความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยเสมอมา

ท้ายสุดนี้ด้วยความสำนึกในพระคุณ ขอกราบเท้าคุณบิดา-มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนในเรื่องการศึกษาตลอดมา ทั้งทางด้านกำลังทรัพย์และกำลังใจ ทำให้ผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์มาได้ และส่งผลให้สามารถประสบความสำเร็จในการเรียนครั้งนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญแผนภูมิ ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ 1

ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

คำถามการวิจัย 3

สมมุติฐานการวิจัย 3

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

ขอบเขตของการวิจัย 4

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย 5

ข้อจำกัดของการวิจัย 5

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 5

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 7

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

ภาวะน้ำหนักเกิน 9

การใช้พลังงาน 12

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก 26

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ 35

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40

งานวิจัยภายในประเทศ 40

งานวิจัยต่างประเทศ 42

กรอบแนวคิดงานวิจัย 45

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย	46
	กลุ่มตัวอย่าง	46
	เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย	46
	เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยออกจากการวิจัย	47
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	47
	ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	47
	อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นในการวิจัย	52
	ความเสี่ยงและผลข้างเคียงที่อาจขึ้นในการวิจัย	52
	การพิทักษ์สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัย	52
	การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	53
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	54
5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	131
	สรุปผลการวิจัย	131
	อภิปรายผลการวิจัย	134
	ข้อเสนอแนะจากการวิจัย	140
รายการอ้างอิง		142
ภาคผนวก		148
	ภาคผนวก ก	149
	ภาคผนวก ข	150
	ภาคผนวก ค	155
	ภาคผนวก ง	156
	ภาคผนวก จ	157
	ภาคผนวก ฉ	158
	ภาคผนวก ช	159
	ภาคผนวก ซ	160
	ภาคผนวก ฌ	161
	ภาคผนวก ญ	162
	ภาคผนวก ฎ	163
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		166

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยาระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....55

2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสุขสมรรถนะระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....56

3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....57

4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....59

5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.... 61

6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....63

7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....66

8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....66

9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....68

10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....68

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ หน้า

11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....70

12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....70

13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....72

14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 72

15 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....76

16 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 78

17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 80

18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 82

19 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างสองกลุ่ม..... 85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ หน้า

20 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างสองกลุ่ม..... 87

21 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างสองกลุ่ม..... 89

22 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างสองกลุ่ม..... 91

23 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 94

24 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 96

25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 98

26 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....100

27 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 103

28 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 105

29 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 107

30 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....109

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ หน้า

31 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด ในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ.....112

32 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกิน.....113

33 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีน้ำหนักปกติ.....113

34 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานในช่วงของการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด ในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ.....115

35 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานในช่วงของการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักปกติ.....116

36 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ..... 117

37 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักปกติ.....118

38 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ..... 119

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ หน้า

39 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกิน 120

40 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักปกติ 120

41 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ 122

42 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของกลุ่มน้ำหนักเกิน 123

43 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของกลุ่มน้ำหนักปกติ 123

44 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักตัวโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ 125

45 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ 127

46 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์มวลกล้ามเนื้อที่ปราศจากไขมันโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ 129

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่ หน้า

1 แสดงอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักน้ำหนักปกติ....58

2 แสดงอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....60

3 แสดงอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....62

4 แสดงอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....64

5 สรุปรวมกราฟแสดงอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....65

6 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....67

7 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....67

8 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....69

9 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....69

10 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ หน้า

11 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 71

12 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 73

13 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 73

14 สรุปรวมกราฟแสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายทุกชนิด เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 74

15 สรุปรวมกราฟแสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายทุกชนิด เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 75

16 แสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบ ระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....77

17 แสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบ ระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....79

18 แสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบ เทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....81

19 แสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกเปรียบ เทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....83

20 สรุปรวมกราฟแสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายทุกชนิด เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 84

21 แสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเดิน เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ หน้า

22 แสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 88

23 แสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักปกติและกลุ่มน้ำหนักเกิน..... 90

24 แสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 92

25 สรุปรวมกราฟแสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 93

26 แสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 95

27 แสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 97

28 แสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 99

29 แสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....101

30 สรุปรวมกราฟแสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....102

31 แสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....104

32 แสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ..... 106

33 แสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ.....108

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ หน้า

34 แสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....110

35 สรุปรวมกราฟแสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ....111

36 การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด ในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ....114

37 การใช้พลังงานในช่วงการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด ในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ....116

38 การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด ในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ....118

39 การใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด ในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ....121

40 กราฟเปรียบเทียบการออกกำลังกายชนิดต่างๆต่อค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของทั้ง 2 กลุ่ม....124

41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักตัวระหว่างก่อนและหลังออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของทั้ง 2 กลุ่ม....126

42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายระหว่างก่อนและหลังออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของทั้ง 2 กลุ่ม....128

43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์มวลกล้ามเนื้อที่ปราศจากระหว่างก่อนและหลังออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของทั้ง 2 กลุ่ม....130

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภาวะน้ำหนักเกิน หรือ ภาวะที่มีน้ำหนักสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยทั่วไปนิยมใช้การอ้างอิงจากค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI) มีวิธีการวัดด้วยการคำนวณค่าของน้ำหนัก (กิโลกรัม) หารด้วยส่วนสูงยกกำลังสอง (ตารางเมตร) คนที่มีน้ำหนักปกติจะมีค่าดัชนีมวลกายระหว่าง 18.50 ถึง 24.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร คนที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าระหว่าง 25.00 ถึง 29.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (American College of Sports Medicine [ACSM], 2006) ซึ่งภาวะน้ำหนักเกินมีสาเหตุมาจากดุลพลังงานที่ไม่เท่ากัน (Intake output imbalance) จึงเกิดความไม่สมดุลระหว่างพลังงานที่รับเข้าไปจากสารอาหารกับพลังงานที่ใช้ในการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มีไขมันสะสมอยู่ภายในร่างกาย (Brook and Fahey, 1984) ซึ่งไขมันที่สะสมมากขึ้นนั้น มาจากการเพิ่มของเซลล์ไขมัน (Body fat cell) โดยใน 1 ชั่วชีวิตคน เซลล์ไขมันมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ตามวัย ดังนี้ คือ วัยทารก วัยเด็ก และเข้าสู่วัยรุ่น หลังจากนั้นก็จะมีแต่การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของขนาดเซลล์ไขมันเท่านั้น เช่น การมีปริมาณเซลล์ไขมันเพิ่มมากกว่าปกติตั้งแต่เด็ก แม้จะโตเป็นผู้ใหญ่ก็จะไม่ลดจำนวนเซลล์ไขมันลงอีก หรืออาจหมายความว่า เป็นการลดขนาดเซลล์ไขมันลงเท่านั้น มิได้หมายถึงการลดจำนวนเซลล์ไขมันลง ดังนั้นเซลล์ไขมัน เมื่อมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเพียงครั้งเดียว ก็จะไม่ลดจำนวนลงตราบชั่วชีวิต แม้ภายหลังจะพยายามลดน้ำหนัก ซึ่งหากมีลักษณะการดำเนินชีวิตที่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อภาวะน้ำหนักเกิน ก็จะมีโอกาสที่เซลล์ไขมันแต่ละเซลล์ขยายตัวหรือเพิ่มขนาดได้อีก (พนิดา กุลประสูติดิลก, 2545) การที่ประชากรมีภาวะน้ำหนักเกินจำนวนมากขึ้น ปัจจุบันประชากรที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีจำนวนมากขึ้นทั่วโลก พบว่า วัยผู้ใหญ่ ประมาณ 61 เปอร์เซ็นต์ (110 ล้านคน) ของวัยผู้ใหญ่ทั้งหมด มีอัตราความชุกของคนที่มีภาวะน้ำหนักเกินหรือเสี่ยงที่จะเกิดภาวะโรคอ้วน เพิ่มขึ้นจากเดิม 30.5 เปอร์เซ็นต์ เป็น 34.0 เปอร์เซ็นต์ (Flegal et al, 1998) และจากการสำรวจอัตราการชุกของโรคอ้วนในประเทศไทยครั้งที่ 4 โดยกรมอนามัยในปี พ.ศ. 2538 พบว่ามีอัตราเพิ่มขึ้นจากการสำรวจครั้งที่ 3 (พ.ศ. 2529) ในทุกกลุ่มอายุ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเพศชายกับหญิงพบว่า ภาวะน้ำหนักเกินของเพศหญิงจะสูงกว่าเพศชาย (พรทิตา ชัยอำนวย, 2545) ภาวะน้ำหนักเกิน มีสาเหตุหลักมาจากความไม่สมดุลระหว่างพลังงานจากอาหารที่ได้รับและการใช้พลังงานของร่างกาย พลังงานที่เหลือใช้จะสะสมในเซลล์ไขมัน โดยจะมีการเพิ่มทั้งขนาดหรือจำนวนเซลล์ ปริมาณไขมันที่มากขึ้นทำให้มีรูปร่างที่อ้วนและความผิดปกติทางเมตาบอลิซึม การหลั่งของกรดไขมันอิสระและเปปไทด์ฮอร์โมนต่างๆอย่างผิดปกติจากเซลล์ไขมัน ทำให้เกิดโรค

เรื้อรังต่างๆที่ตามมา เช่นโรคเบาหวาน นิ่วในถุงน้ำดี ข้อเสื่อม โรคหัวใจ และการเพิ่มอุบัติการณ์ของการเกิดมะเร็งบางชนิด (ธเนศ ชิตาพนารักษ์ และคณะ, 2548) การออกกำลังกายถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งต่อการป้องกันและแก้ไขภาวะน้ำหนักเกิน ซึ่งจะส่งผลด้านบวกในการลดภาวะเสี่ยงต่อโรคต่างๆที่ตามมาได้ ดังนั้นการเข้าใจและรู้ซึ้งถึงวิธีการออกกำลังกายที่ถูกต้องและเหมาะสมในผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การออกกำลังกายที่มีประสิทธิภาพในการลดน้ำหนักประกอบไปด้วยหลักการสำคัญสี่ข้อดังต่อไปนี้ ข้อแรก ทำให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักไขมันในร่างกายและน้ำหนักของส่วนที่ไม่ใช่ไขมันลดลง ข้อที่สองกระตุ้นให้เกิดการทำงานของกล้ามเนื้อของร่างกายที่ไม่ค่อยได้ใช้งานและกล้ามเนื้อที่อ่อนแรง ข้อที่สาม ฝึกการเคลื่อนไหวของข้อต่อสำคัญๆ เช่น ข้อต่อบริเวณคอ หลัง เอว ไหล่ และเข่าอย่างสม่ำเสมอ และข้อสุดท้าย เพิ่มสมรรถภาพระบบไหลเวียนโลหิตและระบบการหายใจ (วิฑูร แสงศิริสุวรรณ และไอ้ออน ชินธเนศ, 2549)

ประเภทการออกกำลังกายแบ่งตามลักษณะของการเผาผลาญพลังงานที่รับจากสารอาหารได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise) คือ การออกกำลังกายที่ใช้ออกซิเจนเผาผลาญสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน และการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic exercise) ซึ่งจะไม่ใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญพลังงาน (Plowman, 2003) จรวยพร ธรณินทร์ (2534) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีผลต่อการเพิ่มออกซิเจน ช่วยให้กล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจแข็งแรง และลดแรงต้านที่มีต่อการไหลเวียนของอากาศ ทำให้อากาศกระจายเข้าออกจากปอดได้ดีขึ้น ช่วยให้หัวใจสูบฉีดได้ดีและแรง ทำให้ได้ปริมาตรของเลือดต่อการบีบตัวของหัวใจแต่ละครั้งมากขึ้น, ทำให้การลำเลียงอากาศหรือออกซิเจนจากปอดไปยังหัวใจได้ดีขึ้น และการขนส่งออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆทั่วร่างกายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีความหนักระดับปานกลางเป็นระยะเวลา 30 นาที จะเป็นการกระตุ้นให้ร่างกายต้องใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงานขณะออกกำลังกาย ซึ่งทำให้เกิดการเผาผลาญพลังงาน ทำให้หัวใจและปอดได้ทำงานอย่างต่อเนื่องเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ดีในร่างกาย เพิ่มสมรรถภาพในการจับและลำเลียงออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย ช่วยให้ปอด หัวใจ และหลอดเลือด ตลอดจนระบบอื่นๆทั่วร่างกายแข็งแรง ทนทาน และทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (วารุณี วรศักดิ์เสนีย์, 2537) นอกจากนี้ ศิริลักษณ์ โอตาคาร (2544) รายงานว่า การออกกำลังกายระดับปานกลางเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมต่อการป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจตีบตัน เนื่องจากไม่ทำให้เกิดภาวะความเครียดต่อการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระ และระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาทีมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการเผาผลาญพลังงานของไขมัน โดยที่การออกกำลังกายด้วยความหนักในระดับปานกลาง (Moderate intensity) ที่ว่านี้ ควรรักษาระดับอัตราการเต้นของหัวใจให้อยู่ในระหว่าง 64 ถึง 76

เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ACSM, 2006) การออกกำลังกายแบบแอโรบิกได้รับความนิยมเป็นอย่างมากภายในประเทศ เนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยรวม คือ เพิ่มความสามารถทางประสิทธิภาพร่างกายสูงสุด แต่ทำได้ด้วยความปลอดภัย ง่าย จูงใจ และ สนุก ไม่ว่าจะเป็นการเดินเร็ว การวิ่ง การว่ายน้ำ การขี่จักรยาน การกระโดดเชือก หรือแอโรบิกแดนซ์ที่มีต่อสมรรถภาพทางกาย (ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2524)

จากการที่ "ภาวะน้ำหนักเกิน" เกิดจากการเผาผลาญพลังงาน หรือการใช้พลังงานที่ได้รับจากสารอาหารลดลง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัจจัยเสี่ยงต่อโรคต่างๆที่อาจทำให้เกิดการเจ็บป่วยเรื้อรังหรือเสียชีวิตได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะศึกษาวิเคราะห์ผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า มีประโยชน์ในการเผาผลาญพลังงาน เพื่อลดการสะสมไขมันในร่างกาย จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก ซึ่งเป็นการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพที่นิยมในประเทศไทย (กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2545) แต่ยังไม่มีข้อมูลเปรียบเทียบชัดเจนในเรื่องของการใช้พลังงานที่ส่งผลต่อผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายรูปแบบต่างๆดังกล่าวด้วยความหนักและระยะเวลาที่เท่ากัน โดยเปรียบเทียบระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินกับหญิงที่มีน้ำหนักปกติ ว่าจะมีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร ผลการศึกษาที่ได้จะทำให้ทราบถึงค่าตัวแปรทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายและการใช้พลังงานช่วงต่างๆของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพในแบบแอโรบิกแต่ละประเภท เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับนำไปใช้ในการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพและลดน้ำหนักของผู้ที่มีน้ำหนักเกิน อีกทั้งยังเป็นฐานข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าวิจัยด้านสรีรวิทยาการกีฬาในโอกาสต่อไป

คำถามการวิจัย

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแบบแอโรบิกแต่ละชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก ที่ความหนักระดับปานกลางเป็นระยะเวลา 30 นาที จะมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกันหรือไม่ระหว่างในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ และอย่างไร

สมมุติฐานการวิจัย

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแบบแอโรบิกแต่ละชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก ที่ความหนักระดับปานกลางเป็นระยะเวลา 30 นาที มีความแตกต่างของการใช้พลังงานระหว่างในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

2. เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆอันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ กลุ่มตัวอย่าง คือ นิสิตหญิงของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18 ถึง 25 ปี จำนวน 26 คน ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) โดยใช้ค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI) เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มน้ำหนักปกติ จำนวน 15 คน มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 18.50 ถึง 24.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และกลุ่มน้ำหนักเกิน จำนวน 11 คน มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 25.00 ถึง 29.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ตัวแปรที่จะใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบไปด้วย

1. ตัวแปรต้น หรือ ตัวแปรอิสระ (Independent variable) ได้แก่ ชนิดของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก โดยกำหนดความหนักของการออกกำลังกายทุกชนิดในระดับปานกลาง คือ 64 ถึง 76 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เป็นเวลา 30 นาที

2. ตัวแปรตาม (Dependent variable)

2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด การระบายอากาศ และอัตราส่วนการหายใจ

2.2 การใช้พลังงานทั้งหมด 4 ช่วง ได้แก่ การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) การใช้พลังงานในช่วงการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) หรือสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนหลังการออกกำลังกาย (EPOC) และการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30)

2.3 องค์ประกอบร่างกาย ได้แก่ น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมัน

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสุขภาพร่างกายแข็งแรงสมบูรณ์และให้ความร่วมมือด้วยความเต็มใจ

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการชี้แจงถึงขั้นตอนต่างๆของการดำเนินการวิจัย และการปฏิบัติตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยโดยละเอียด และต้องลงชื่อในใบยินยอมของผู้เข้าร่วมวิจัยก่อนการวิจัย

3. ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการกระตุ้นและจูงใจให้ออกกำลังกายตามลำดับวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งจะกระทำโดยผู้วิจัยหรือผู้ช่วยวิจัยชุดเดียวกัน และในสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกัน (สถานที่และช่วงเวลาเดียวกัน)

4. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด มีความแม่นตรง สามารถเชื่อถือได้

ข้อจำกัดของการวิจัย

ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมการประกอบกิจกรรมประจำวันของผู้เข้าร่วมวิจัยให้เหมือนกันได้ เช่น การรับประทานอาหาร การพักผ่อน เป็นต้น

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

การใช้พลังงาน (Energy expenditure) หมายถึง การที่ร่างกายนำพลังงานที่ได้จากการเผาผลาญพลังงานมาทำให้เกิดกิจกรรมทางกาย ซึ่งพลังงานที่ว่านี้ได้มาจากกระบวนการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย ในที่นี้จะกล่าวถึง การใช้พลังงานทั้งหมด 4 ช่วง ได้แก่ การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น การใช้พลังงานในช่วงการออกกำลังกายคงที่ การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย และการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องทางสรีรวิทยา (Physiological - related parameters) ในงานวิจัยนี้จะหมายถึง อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด การระบายอากาศ และอัตราส่วนการหายใจ

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ (Exercise for health) หมายถึง การเคลื่อนไหวหรือออกกำลังกายที่กระตุ้นการใช้กล้ามเนื้อกลุ่มใหญ่อย่างต่อเนื่อง (ระยะเวลาต่อเนื่อง 30 นาที) และความหนักที่เหมาะสม (ความหนักระดับปานกลาง 64 ถึง 76 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด) ต่อการทำให้ระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจในร่างกายทำงานได้อย่างเต็มที่ ทำให้ร่างกายมีความแข็งแรง สมบูรณ์ ปราศจากโรคภัยต่างๆ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการออกกำลังกายด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก

ภาวะน้ำหนักเกิน (Overweight) หมายถึง ภาวะที่มีค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI) มีค่าระหว่าง 25.00 ถึง 29.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate หรือ HR) หมายถึง ความสามารถของหัวใจในการออกแรงบีบตัวและคลายตัวซ้ำๆกันในช่วงระยะเวลา 1 นาที

ความดันโลหิต (Blood Pressure หรือ BP) หมายถึง ความดันที่เกิดขึ้นเมื่อหัวใจบีบตัวเพื่อสูบฉีดเลือดให้ไหลไปตามหลอดเลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆของร่างกาย การบีบตัวของหัวใจจะทำให้เกิดความดันโลหิตในหลอดเลือด ซึ่งการไหลของเลือดนั้น จะไหลจากบริเวณที่มีความดันสูงไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำ ประกอบด้วย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic Blood Pressure หรือ SB) และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic Blood Pressure หรือ DB)

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน (VO_2 หรือ Oxygen uptake) หมายถึง ค่าของการที่ร่างกายมีความต้องการนำออกซิเจนมาใช้ในกระบวนการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย อันเนื่องมาจากการออกกำลังกาย

สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (VCO_2 หรือ Carbondioxide production) หมายถึง ค่าการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อันเนื่องมาจากกระบวนการเผาผลาญพลังงานในระบบหายใจ

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Consumption) หมายถึง ค่าของความสามารถสูงสุดที่ร่างกายมีความต้องการนำออกซิเจนมาใช้ในกระบวนการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย

การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกายหรือสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนหลังออกกำลังกาย (Excess post-exercise oxygen consumption หรือ EPOC) หมายถึง ค่าของการที่ร่างกายมีต้องการนำออกซิเจนมาใช้ในกระบวนการฟื้นฟูร่างกายให้กลับสู่สภาวะปกติภายหลังจากการออกกำลังกาย

การระบายอากาศ (Minute ventilation หรือ V_E) หมายถึง ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าหรือออกอย่างใดอย่างหนึ่งภายในเวลา 1 นาทีระหว่างออกกำลังกาย

อัตราส่วนการหายใจ (Respiratory Exchange Ratio หรือ RER) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นกับจำนวนออกซิเจนที่ใช้ไปในการออกกำลังกาย

องค์ประกอบร่างกาย (Body composition) ในที่นี้จะหมายรวมถึง น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมัน

เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (% Body fat) หมายถึง ค่าร้อยละของไขมันที่แทรกอยู่ตามส่วนต่างๆของร่างกาย

เปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมัน (% Fat Free Mass) หมายถึง ค่าร้อยละของมวลของร่างกายซึ่งไม่นับรวมไขมันที่แทรกอยู่ตามส่วนต่างๆของร่างกาย

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบถึงผลความแตกต่างของการใช้พลังงานและองค์ประกอบร่างกายของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินกับหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

2. ได้ทราบถึงผลความแตกต่างของการใช้พลังงานและองค์ประกอบร่างกายระหว่างการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแต่ละชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

3. เป็นแนวทางในการเลือกออกกำลังกายเพื่อสุขภาพสำหรับผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินและผู้ที่มีน้ำหนักปกติ

4. เป็นแนวทางในการศึกษาผลทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก ในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้อง สรุปเป็นเนื้อหาสาระสำคัญใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย มีหัวข้อสำคัญดังนี้

1. ภาวะน้ำหนักเกิน (Overweight)
   - 1.1 เกณฑ์ในการวัดค่าของผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน
   - 1.2 สาเหตุของภาวะน้ำหนักเกิน
   - 1.3 ข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับภาวะน้ำหนักเกิน
   - 1.4 โรคและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน
   - 1.5 แนวทางปฏิบัติเพื่อแก้ไขภาวะน้ำหนักเกิน
2. การใช้พลังงาน (Energy Expenditure)
   - 2.1 ประเภทของพลังงาน
   - 2.2 วัฏจักรของพลังงานในสิ่งมีชีวิต
   - 2.3 กระบวนการสร้างพลังงานในร่างกาย
     - 2.3.1 การสังเคราะห์เอทีพีของสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต
     - 2.3.2 การสังเคราะห์เอทีพีของสารอาหารประเภทไขมัน
     - 2.3.3 การสังเคราะห์เอทีพีของสารอาหารประเภทโปรตีน
3. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic Exercise)
   - 3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายภายหลังจากการออกกำลังกายแบบแอโรบิก
   - 3.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก
4. การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ (Exercise for Health)
   - 4.1 ลักษณะของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ
   - 4.2 หลักการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ
   - 4.3 ข้อห้ามของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ
   - 4.4 อาการที่แสดงว่าควรหยุดออกกำลังกาย
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   - 5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ
   - 5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างประเทศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ภาวะน้ำหนักเกิน (Overweight)

1.1 เกณฑ์ในการวัดค่าของผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน (ACSM, 2006) โดยทั่วไปนิยมใช้การอ้างอิงจากค่าดัชนีมวลกาย ซึ่งจะคำนวณได้จาก

ค่าดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2) = *น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) / ส่วนสูง^2 (เมตร^2)*

โดยกำหนดให้คนปกติมีค่าดัชนีมวลกาย 18.50 - 24.99 กิโลกรัม/เมตร^2 สำหรับผู้ที่มีค่าดัชนีน้อยกว่า 18.50 และมากกว่า 25.00 กิโลกรัม/เมตร^2 อยู่ในประเภทน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติและน้ำหนักตัวมากเกินปกติ ตามลำดับ และได้แบ่งระดับความรุนแรงออกเป็น 4 ระดับ คือ เริ่มอ้วนหรือภาวะน้ำหนักเกิน, อ้วนระดับที่ 1, อ้วนระดับที่ 2 และอ้วนระดับที่ 3 โดยกำหนดให้มีค่าดัชนีมวลกายเท่ากับ 25.00 - 29.99, 30.00 - 34.99, 35.00 - 39.99 และมากกว่า 40.00 กิโลกรัม/เมตร^2 ตามลำดับ

1.2 สาเหตุของภาวะน้ำหนักเกิน ในยุคปัจจุบันความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำให้มนุษย์มีการดำรงชีวิตที่สะดวกสบาย ประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือใหม่ๆเพื่อใช้ในการทุ่นแรงอยู่มากมาย มีผลต่อการลดลงของกิจกรรมทางกายในชีวิตประจำวัน เช่น ใช้รถแทนการเดิน ใช้ลิฟต์แทนการขึ้นลงบันได เป็นต้น รวมไปถึง การมีอาหารให้เลือกบริโภคมากมายทั้งที่มีประโยชน์และมีโทษแอบแฝง ถ้ามีการบริโภคที่ไม่ถูกสุขลักษณะหรือมีการบริโภคที่เกินความจำเป็นร่วมกับการไม่ได้ออกกำลังกาย จะทำให้เกิดความไม่สมดุลของพลังงานระหว่างพลังงานที่รับเข้าไปจากสารอาหารกับพลังงานที่ใช้ในการเผาผลาญสารอาหาร ซึ่งหากเปรียบเทียบเป็นถังบรรจุน้ำ นั่นคือ น้ำถูกบรรจุเข้าไปในถัง โดยมีก๊อกเปิดปิดน้ำอยู่ 2 จุด คือ ก๊อกที่อยู่ข้างบนถังจะปล่อยน้ำลงในถัง ส่วนก๊อกที่อยู่ข้างล่างถังจะปล่อยน้ำออกจากถัง น้ำที่ไหลเพิ่มเข้าไปในถังจากก๊อกบนคล้ายกับการเพิ่มจำนวนแคลอรีของอาหารในร่างกาย ระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นในถังเปรียบเสมือนจำนวนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของร่างกาย ส่วนก๊อกล่างเปรียบเสมือนการออกกำลังกาย ดังนั้นถ้าปิดก๊อกข้างล่างก็เท่ากับขาดการออกกำลังกาย ซึ่งจะมีผลทำให้ระดับไขมันในร่างกายเพิ่มมากขึ้น (ไบเลย์, 2535) สอดคล้องกับ หนึ่งในเกณฑ์การจำแนกแบบร่างกายของเชลดอน (The Sheldon Somatotype) คือ เอนโดมอร์ฟี (Endomorphy) ที่กล่าวว่า ภาวะน้ำหนักเกินเป็นลักษณะของร่างกายที่กลมและนิ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางจากด้านหน้าไปสู่ด้านหลังจะเท่าๆกับด้านซ้ายไปสู่ขวา ท้องใหญ่กว่าอก คอสั้น มีการสะสมไขมันอยู่มาก (Sheldon, 1954)

1.3 ข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับภาวะน้ำหนักเกิน ภาวะน้ำหนักเกิน เป็นปัญหาสำคัญที่ได้ระบาดไปทั่วโลกทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่กำลังพัฒนา โดยผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลทางสถิติที่น่าสนใจของภาวะน้ำหนักเกิน ไว้ดังนี้

ฟีกัลและคณะ (1998) ได้กล่าวถึง สถาบันการสำรวจตรวจสอบทางด้านโภชนาการและสุขภาพแห่งชาติ (National Health and Nutrition Examination Survey หรือ NHANES) ที่ทำการสำรวจครั้งที่ 3 พบว่า ผู้ใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกา ประมาณ 61 เปอร์เซ็นต์ (110 ล้านคน) ของผู้ใหญ่ทั้งหมด มีอัตราความชุกของคนที่มีภาวะน้ำหนักเกินหรือเสี่ยงที่จะเกิดภาวะโรคอ้วนเพิ่มขึ้นจากเดิม 30.5 เปอร์เซ็นต์ (ค.ศ. 1960) เป็น 34.0 เปอร์เซ็นต์ (ค.ศ. 1980)

พรทิตา ชัยอำนวย (2545) ได้กล่าวถึง อัตราการชุกของโรคอ้วนในประเทศไทยครั้งที่ 4 โดยกรมอนามัยในปี พ.ศ. 2538 พบว่า มีอัตราเพิ่มขึ้นจากการสำรวจครั้งที่ 3 (พ.ศ. 2529) ในทุกกลุ่มอายุ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเพศชายกับหญิงพบว่า ภาวะน้ำหนักเกินของเพศหญิงจะสูงกว่าเพศชาย

ศูนย์ข้อมูลโรคไม่ติดต่อ (2548) พบว่า จากการสำรวจพฤติกรรมเสี่ยงโรคไม่ติดต่อและพฤติกรรมเสี่ยง พ.ศ. 2548 พบว่า ความชุกของภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วนในคนไทยอายุ 15-74 ปี มีความชุก เท่ากับ 16.14 โดยในเพศหญิงมีความชุกเป็น 17.83 หรือ ประมาณการว่า ประชากรหญิงมีภาวะน้ำหนักเกิน 4,191,219 คน มากกว่าในประชากรเพศชายที่มีความชุก 14.38 หรือประมาณ 3,228,524 คน

1.4 โรคและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

ลาบิบ (2003) ได้กล่าวถึง งานวิจัยจาก Harward school of public health & Harvard medical school ซึ่งตีพิมพ์ในวารสาร The Journal of the American Medical Association ทำการสำรวจสตรีจำนวน 116,000 คน เป็นเวลา 14 ปี พบว่า สตรีที่มีน้ำหนักตัวเพิ่มตั้งแต่ 5 ถึง 8 กิโลกรัม มีโอกาสเกิดโรคหัวใจวายเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ ถ้าน้ำหนักเพิ่มขึ้น 8 ถึง 11 กิโลกรัม โอกาสจะเพิ่มขึ้นถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และถ้าน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่า 11 กิโลกรัม โอกาสดังกล่าวจะเพิ่มสูงถึง 300 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะไขมันในเลือดมาก ระดับน้ำตาลในเลือดสูง ความดันโลหิตจึงสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ ลาบิบ ยังกล่าวเพิ่มเติมว่า ผู้ที่มีน้ำหนักเกินมาตรฐานมีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวานชนิดไม่พึ่งอินซูลินได้มากกว่าคนปกติ เนื่องจากมีไขมันในเซลล์ไขมันมากขึ้น ทำให้ความไวในการตอบสนองต่ออินซูลินลดลง ระดับน้ำตาลในเลือดจึงสูงขึ้น ผู้หญิงที่อ้วนมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานชนิดนี้สูงกว่าผู้ที่มีน้ำหนักปกติ 12.7 เท่า

สูและคณะ (2004) ได้รายงานว่า ผู้ที่มีน้ำหนักตัวสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ10 พบว่ามีระดับคอเรสเตอรอลในเลือดสูงขึ้น 12 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ซึ่งอาจไปเกาะตามผนังหลอด

เลือด ทำให้เลือดไปเลี้ยงหัวใจไม่สะดวก หากเกิดต่อเนื่องเป็นเวลานานจะทำให้เกิดโรคหัวใจขาดเลือดหรือกล้ามเนื้อหัวใจตาย โดยผู้ที่มีน้ำหนักตัวสูงกว่ามาตรฐานร้อยละ 20 จะมีโอกาสเกิดโรคหัวใจวายมากกว่าคนปกติถึง 3 เท่า คนอ้วนจะมีแรงต้านการไหลเวียนของเลือดมาก ทำให้หัวใจต้องออกแรงสูบฉีดโลหิตมากขึ้นเป็นผลให้ความดันโลหิตสูงกว่าปกติ โดยทั้งผู้ชายและผู้หญิงที่มีค่าดัชนีมวลกายมากกว่า 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคความดันโลหิตสูงมากกว่าผู้ที่มีความดันโลหิตปกติ 1.6 เท่า และ 1.32 เท่าตามลำดับ

วิชัย ตันไพจิตร (2545) ได้กล่าวถึง โรคข้ออักเสบในคนที่น้ำหนักเกิน อาจเกิดจากน้ำหนักตัวไปเพิ่มแรงกดที่ข้อต่อต่างๆเพิ่มขึ้นมีผลทำให้กระดูกอ่อนที่บุอยู่ถูกทำลายปลายกระดูกเสียดสีกัน จึงมีอาการปวดข้อและข้อเสื่อมได้

1.5 แนวทางปฏิบัติเพื่อแก้ไขภาวะน้ำหนักเกิน (รุจิรา สัมมะสุต, 2547) มีดังต่อไปนี้ คือ

บริโภคนิสัย นักโภชนาการจะซักประวัติผู้ป่วย เพื่อทราบถึงบริโภคนิสัย พลังงานและสารอาหารที่ได้รับในแต่ละวัน ชนิดอาหารที่ชอบ ไม่ชอบ รวมถึงมื้ออาหารในแต่ละวัน และนำข้อมูลมาวางแผนให้โภชนบำบัด กำหนดพลังงานและปริมาณอาหาร พร้อมทั้งกำหนดรายการอาหารที่ควรบริโภคในแต่ละวัน โดยผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักต้องตัดสินเองว่า จะลดปริมาณอาหารลงมากน้อยเท่าใดภายใต้คำแนะนำของนักโภชนาการ และต้องให้เวลาตนเองในการเปลี่ยนนิสัยและสร้างนิสัยใหม่ในการเลือกและบริโภคอาหาร เพราะปริมาณและชนิดของอาหารที่บริโภคนั้นติดนิสัยมานานเท่ากับอายุของคนที่มีภาวะน้ำหนักเกิน การจะลดหรือเปลี่ยนทันทีทันใดย่อมเป็นเรื่องยากที่จะปฏิบัติได้ ถ้าไม่สามารถเปลี่ยนบริโภคนิสัยได้ ถึงแม้จะลดน้ำหนักแล้วก็อาจจะกลับสู่ภาวะน้ำหนักเกินได้ใหม่อีกในเวลาไม่นาน ดังนั้นผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักจึงต้องใช้ความอดทนและมีความตั้งใจจริงจังอย่างมาก

มื้ออาหาร การรับประทานอาหารของคนที่มีภาวะน้ำหนักเกินนั้น ส่วนมากจะควบคุมเฉพาะมื้อหลัก เช่น มื้อเช้า มื้อกลางวัน และมื้อเย็น ควรเว้นการบริโภคอาหารมื้ออื่นๆ เช่น ของว่าง ของกินเล่น ระหว่างมื้อหลัก โดยความเป็นจริงแล้ว คนที่มีภาวะน้ำหนักเกิน มักบริโภคอาหารระหว่างมื้อมากกว่าคนทั่วไป อาจจะบริโภคไม่มาก แต่บริโภคบ่อยๆ จึงทำให้เกิดการสะสมไขมันขึ้นทีละเล็กละน้อย เช่นเดียวกับการหยอดเหรียญใส่กระปุกออมสิน นานวันเข้าก็ย่อมเต็ม และล้นออกมาได้ ดังนั้นการบริโภคอาหารเรื่อยๆบ่อยๆโดยไม่จำกัด จึงเป็นสิ่งที่ควรละเว้น

ลักษณะรสชาติของอาหาร เป็นสิ่งที่ควรนำมาประกอบการพิจารณาเลือกบริโภคอาหารของผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักด้วย โดยทั่วไปคนที่มีภาวะน้ำหนักเกิน มักจะชอบอาหารที่ให้พลังงานสูงในตัวของมันเอง เช่น แกงมัสมั่น ผัดเผ็ดปลาดุก ทอดกรอบ เป็นต้น อาหารในลักษณะนี้จะต้องมีมันมาก และรสจะต้องค่อนข้างหวาน ดังนั้นควรละเว้นอาหารที่มีลักษณะดังกล่าวด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การออกกำลังกาย คนที่มีภาวะน้ำหนักเกิน มักจะเป็นเพราะไม่ชอบออกกำลังกาย จึงเกิดการสะสมอาหารที่บริโภคมากเกินไปไว้ และผลก็คือ ในระยะยาวมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นและในที่สุดก็จะเข้าสู่ภาวะน้ำหนักเกิน ดังนั้นการออกกำลังกายจึงเป็นการเอาพลังงานส่วนเกินมาใช้แทนที่จะเก็บสะสม การออกกำลังกายในระยะแรกควรจะเป็นไปอย่างพอเหมาะพอควร แล้วค่อยๆเพิ่มเวลาให้นานขึ้น เช่น เริ่มต้นด้วย 5 ถึง 10 ใน 2 ถึง 3 วันแรก และเพิ่มเป็น 15 ถึง 20 นาทีในสัปดาห์ที่ 2 เป็นต้น พยายามทำให้ติดต่อกันทุกวันจนเป็นกิจวัตรประจำวันที่จะต้องทำ เป็นทางหนึ่งที่จะช่วยลดน้ำหนักได้ดียิ่งขึ้น

ถ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ก็จะช่วยให้ประสบความสำเร็จในการลดน้ำหนักได้ดียิ่งขึ้น สิ่งสำคัญที่สุดสำหรับผู้ต้องการลดน้ำหนักก็คือ อย่าเชื่อคำบอกเล่า คำโฆษณาใดๆ เพราะจะไม่ทำให้ลดน้ำหนักได้ แต่จะสูญเสียเงินเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงควรพบแพทย์หรือนักโภชนาการ เพื่อขอคำแนะนำในการปฏิบัติตนได้ถูกต้อง และจะต้องปฏิบัติตนด้วยตนเองเท่านั้นจึงจะได้ผล นั่นคือ ควบคุมอาหาร ออกกำลังกายและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคอาหารให้ถูกต้องและเหมาะสม

2. การใช้พลังงาน (Energy Expenditure)

2.1 ประเภทของพลังงาน (Fox and Mathews, 1981) แบ่งตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบอื่นๆ ได้เป็น 6 รูปแบบ ดังนี้ คือ

พลังงานเคมี (Chemical Energy) เป็นพลังงานพื้นฐานของกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต

พลังงานกล (Mechanical Energy) เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ต่างๆสำหรับพลังงานเสียงก็จัดรวมอยู่ในพลังงานกลด้วย

พลังงานความร้อน (Heat Energy) เป็นพลังงานที่ได้จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงต่างๆ

พลังงานแสง (Light Energy) เป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ในลักษณะคลื่นจากแหล่งพลังงาน

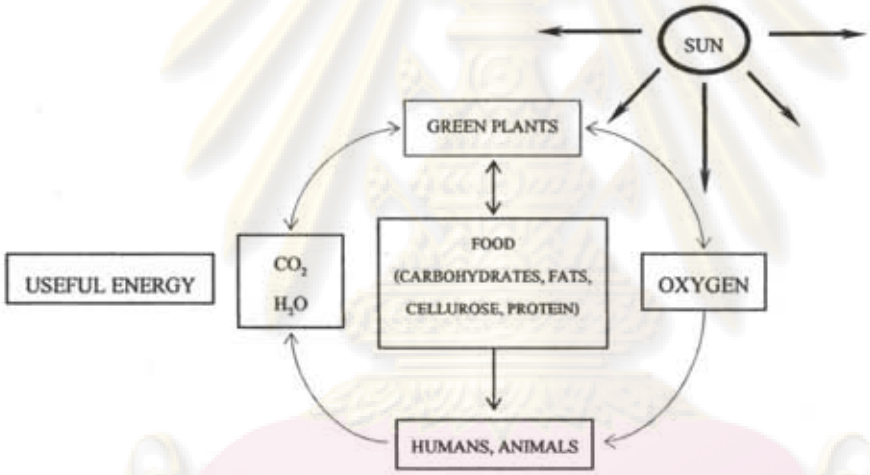
พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) เป็นพลังงานที่เกิดจากการไหลของอิเล็กตรอนในสื่อไฟฟ้า

พลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear Energy) ไม่พบในร่างกายมนุษย์

อย่างไรก็ดี พลังงานแต่ละชนิด สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปยังอีกรูปหนึ่งได้ เรียกว่า การแปลงพลังงาน (Transformation of energy) ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าตื่นเต้นมาก เช่น พลังงานในสิ่งมีชีวิตสามารถเปลี่ยนจากพลังงานเคมีมาเป็นพลังงานกลสำหรับการเคลื่อนไหวร่างกาย เป็นต้น

2.2 วัฏจักรของพลังงานในสิ่งมีชีวิต (Fox and Mathews, 1981) พลังงานทั้งหมดที่ได้ในระบบสุริยจักรวาลถือกำเนิดมาจากดวงอาทิตย์ พลังงานจากดวงอาทิตย์นั้นเกิดจากพลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานนิวเคลียร์บางชนิดก็แผ่มายังพื้นผิวโลกในรูปของแสงอาทิตย์หรือพลังงานแสง พืชสีเขียวจะนำพลังงานแสงไปใช้สังเคราะห์โมเลกุลของอาหาร เช่น กลูโคส เซลลูโลส โปรตีนและไขมัน จากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) กระบวนการสร้างอาหารของพืชโดยใช้แสงนี้ เรียกว่า การสังเคราะห์ด้วยแสง

กระบวนการสร้างอาหารของพืชจะคายก๊าซออกซิเจนออกมา ซึ่งมนุษย์และสัตว์จำเป็นต้องนำออกซิเจนไปสังเคราะห์พลังงาน ก็คือ การหายใจนั่นเอง พลังงานที่เกิดขึ้นจากการหายใจจะถูกเก็บสะสมในรูปสารเคมีที่มีพันธะพลังงานสูง นั่นคือ เอทีพี เพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโต การหดตัวของกล้ามเนื้อ กระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า "วัฏจักรของพลังงานในสิ่งมีชีวิต" (The Biological Energy Cycle)



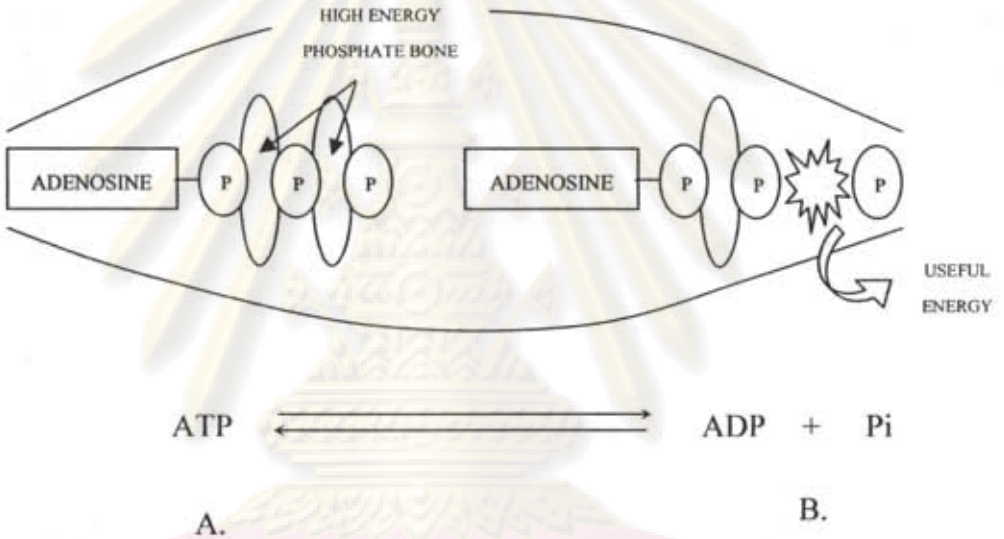
รูปที่ 1 แสดงวัฏจักรของพลังงานในสิ่งมีชีวิต ที่มา : (ดัดแปลงมาจาก Fox and Mathews, 1981: 13)

ในแง่เชิงสรีรวิทยาของการออกกำลังกายนั้น ร่างกายจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยเริ่มตั้งแต่การเกิดปฏิกิริยาของสารอาหารที่บริโภคเข้าไปตั้งแต่การย่อย จนกระทั่งเป็นส่วนละเอียด แล้วจึงนำไปเลี้ยงเซลล์ต่างๆทั่วร่างกาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ (พีระพงศ์ บุญศิริ และ ภมร เสนาฤทธิ์, 2541) คือ

การเปลี่ยนแปลงโดยการสลายตัวของเซลล์ (Catabolism) คือ กระบวนการทำให้สารอาหารแตกสลายออกเป็นสารเล็กๆเกิดเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานที่ใช้เพื่อการทำงานของร่างกาย เนื่องจากเซลล์มีการสร้างและสลายตัวเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา สารอาหารที่บริโภคเข้าไปจึงถูกนำไปเป็นส่วนหนึ่งในการซ่อมแซมส่วนที่สลายไป

การเปลี่ยนแปลงโดยการสังเคราะห์เซลล์ (Anabolism) คือ กระบวนการในการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่บริโภคเข้าไปให้กลายเป็นสารใหม่เพื่อนำไปใช้เสริมสร้างความเจริญเติบโตของอวัยวะ ซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดสึกหรอใหม่สภาพดีขึ้น

2.3 กระบวนการสร้างพลังงานในร่างกาย (พิชิต ภูติจันทร์, 2535) พลังงานที่ได้มาจากการสลายอาหาร โดยการสะสมไว้ในรูปสารเคมีที่มีพันธะพลังงานสูง (High energy bond) คือ อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate) ซึ่งเรียกย่อๆว่า เอทีพี (ATP) ซึ่งสารดังกล่าวนี้ถูกเก็บสะสมไว้ในเซลล์กล้ามเนื้อทั้งหมด กิจกรรมของเซลล์ทุกอย่างที่ต้องใช้พลังงาน ก็จะได้รับพลังงานโดยตรงจากเอทีพี ดังนั้น กล้ามเนื้อจะไม่สามารถหดตัวได้ถ้าหากไม่มีเอทีพี



รูปที่ 2 A. แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของเอทีพี แสดงพันธะพลังงานที่เชื่อมต่อหมู่ฟอสเฟต
B. แสดงการแตกตัวของเอทีพี และฟอสเฟตอนินทรีย์ จะปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งเอทีพี 1 โมเลกุล เมื่อแตกตัวจะให้พลังงานระหว่าง 7-12 กิโลแคลอรี

ที่มา : (ดัดแปลงมาจาก Fox and Mathews, 1981: 13)

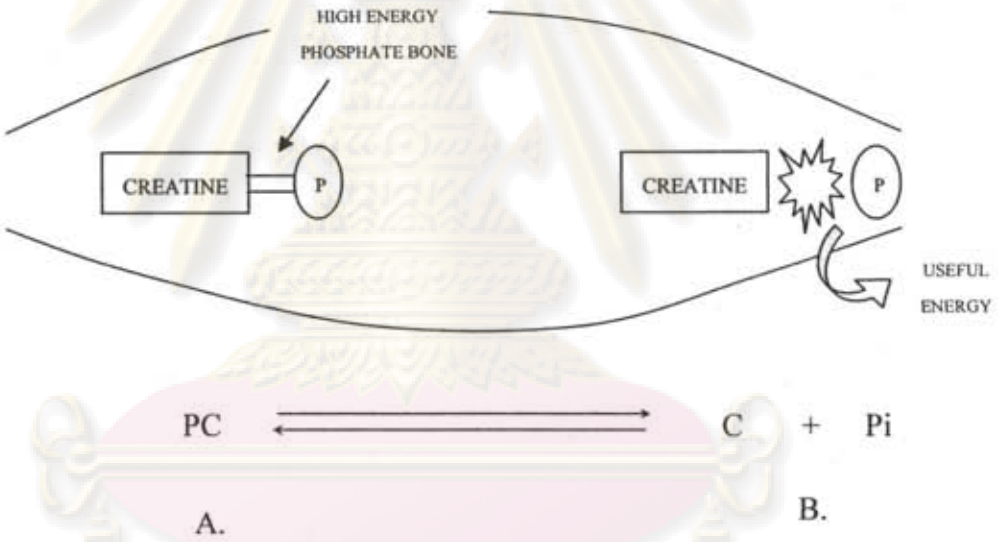
โครงสร้างของเอทีพี เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยเบสอินทรีย์ชื่ออะดีนีน (Adenine) น้ำตาลไรโบส (Ribose) และหมู่ฟอสเฟต (Pi) อีก 3 หมู่ พันธะที่เชื่อมระหว่างหมู่ฟอสเฟตด้วยกัน เรียกว่า พันธะฟอสเฟต (Phosphate bond) เมื่อใดที่พันธะแตกตัวจะได้สารใหม่เกิดขึ้นมาคือ อะดีโนซีน ไดฟอสเฟต (Adenosine diphosphate) และฟอสเฟตอนินทรีย์ (Inorgamic phosphate = Pi) ใน 1 โมเลกุลของเอทีพี จะปลดปล่อยพลังงานออกมาระหว่าง 7-12 กิโลแคลอรี (Kilocalories = kcal) หรือ 29.4-50.4 กิโลจูล (Kilojoules = kJ)

2.3.1 การสังเคราะห์เอทีพีของสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต (พิชิต ภูติจันทร์, 2535) การแตกตัวของเอทีพีจะเกิดพลังงานขึ้นทันที เพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ และใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่ การสังเคราะห์เอทีพี แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

ระบบฟอสฟาเจน *(Phosphagen System)* หรือเขียนย่อว่า "ATP–PC" ในระบบนี้พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีมาจากการแตกตัวของสารประกอบฟอสโฟครีเอทีน (Phosphocreatine = PC) ฟอสโฟครีเอทีนมีความคล้ายคลึงกับเอทีพีมาก เพราะต่างก็ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตและอยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อเหมือนกัน เมื่อฟอสโฟครีเอทีนแตกตัว ผลผลิตที่ได้ก็คือฟอสเฟตอนินทรีย์ครีเอทีน และให้พลังงานในทันที พลังงานที่เกิดขึ้นนี้ ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่ ดังสมการ

$$PC \longrightarrow Pi + C + \text{พลังงาน}$$

$$\text{พลังงาน} + ADP + Pi \longrightarrow ATP$$



รูปที่ 3 A. แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของฟอสโฟครีเอทีน แสดงพันธะพลังงานที่เชื่อมต่อหมู่ฟอสเฟต
B. แสดงการแตกตัวของฟอสโฟครีเอทีน และฟอสเฟตอนินทรีย์ จะปลดปล่อยพลังงานออกมา เพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์เอทีพี
ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก Fox and Mathews, 1981: 15)

ระบบกรดแลกติก *(Lactic acid System)* หรือเรียกว่า "แอนาโรบิกไกลโคไลซิส" (Anaerobic glycolysis) เป็นระบบสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นการเผาผลาญกลูโคสที่ไม่สมบูรณ์ กลูโคส (มีคาร์บอน 6 อะตอม) แต่ละโมเลกุลจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก (มีคาร์บอน 3 อะตอม) ได้ 2 โมเลกุล ในระบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ เอทีพี จะถูกสังเคราะห์ขึ้นในเซลล์กล้ามเนื้อ

รวมถึงการแตกตัวที่ไม่สมบูรณ์ของอาหารที่บริโภคเข้าไปประเภทหนึ่ง นั่นคือ คาร์โบไอเดรต (น้ำตาล) ไปเป็นกรดแลกติก ดังนั้นในระบบนี้จึงได้ชื่อว่า "ระบบกรดแลกติก" ในร่างกายของเรา อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งจะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ในทันที และจะถูกเก็บไว้ในตับและกล้ามเนื้อในรูปไกลโคเจน (Glycogen) เพื่อไว้ใช้ในภายหลัง

กระบวนการการสลายกลูโคสขั้นที่ 1 หรือไกลโคไลซิส ซึ่งเกิดในเซลล์กล้ามเนื้อ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

ปฏิกิริยา A ไกลโคเจนแตกตัวเป็น กลูโคส-1-ฟอสเฟต

ปฏิกิริยา B เป็นการเพิ่มหมู่ฟอสเฟตให้แก่กลูโคส โดยใช้พลังงานเอทีพี 1 โมเลกุล เปลี่ยนเป็น กลูโคส-6-ฟอสเฟต ซึ่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยามากขึ้น และจัดเรียงตัวใหม่เป็น ฟรักโทส-6-ฟอสเฟต

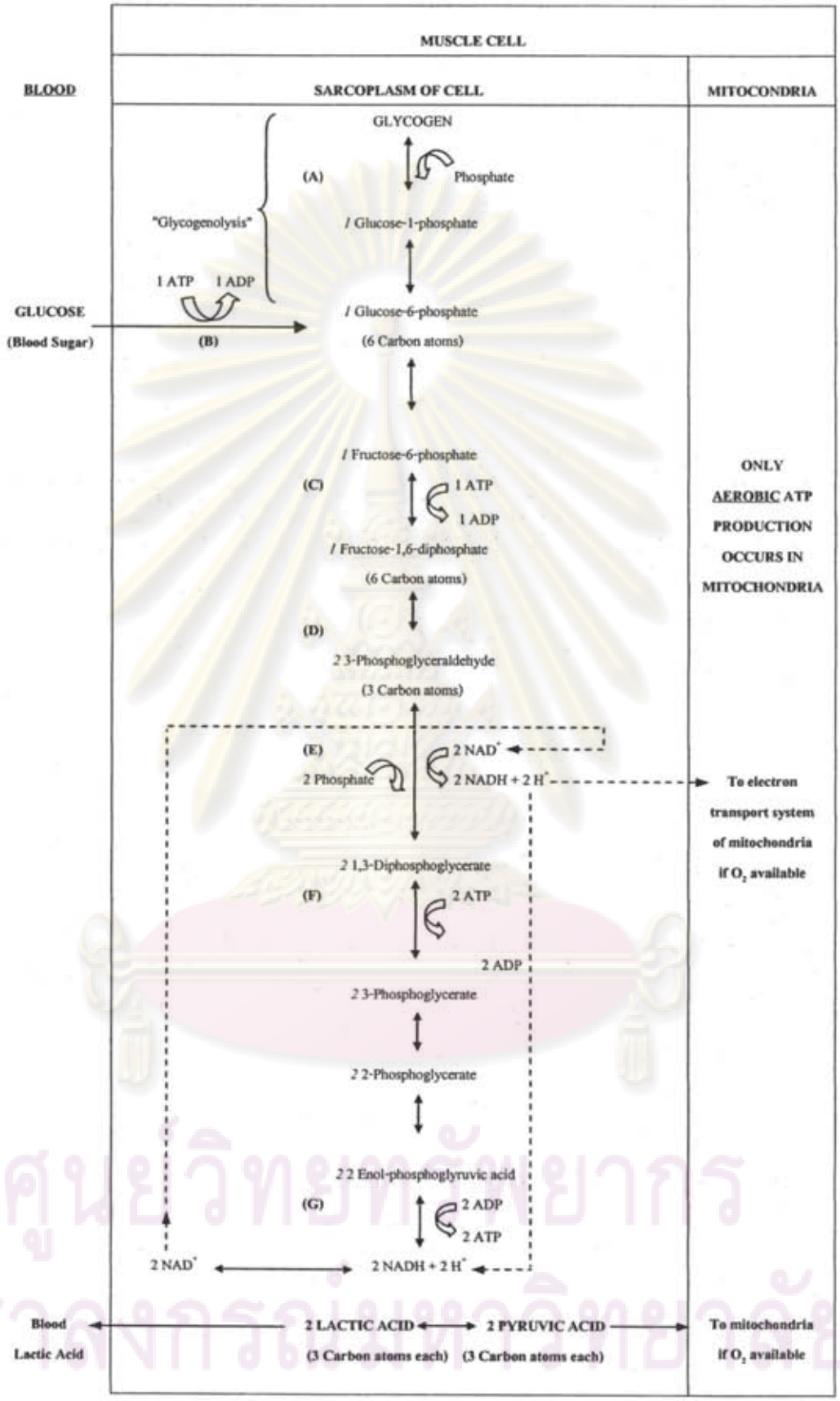
ปฏิกิริยา C เป็นการเพิ่มหมู่ฟอสเฟตให้แก่ ฟรักโทส-6-ฟอสเฟต โดยใช้พลังงานเอทีพี 1 โมเลกุล เกิดเป็น ฟรักโทส-1,6-ไดฟอสเฟต

ปฏิกิริยา D ฟรักโทส-1,6-ไดฟอสเฟต แตกตัวเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม 2 โมเลกุล คือ 3-ฟอสเฟตกลีเซอรอลดีไฮด์ และไดไฮดรอกซีอะซีโตนฟอสเฟต (สารประกอบคู่นี้สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้)

ปฏิกิริยา E 3-ฟอสโฟกลีเซอรอลดีไฮด์แต่ละโมเลกุลจะถูกออกซิไดส์เป็นกรด 1,3-ไดฟอสโฟกลีเซอริก และพลังงานที่ได้จะใช้เพื่อเพิ่มฟอสเฟตอนินทรีย์เข้าไปในโมเลกุล และมีโคเอนไซม์ NAD (Nicotinamide adenine dinucleotide) มารับไฮโดรเจนอะตอมเป็น $NADH_2$ และไฮโดรเจนอะตอมนี้จะถ่ายทอดให้แก่ออกซิเจนในระบบขนส่งออกซิเจน (สำหรับการหายใจแบบใช้ออกซิเจน)

ปฏิกิริยา F กรด 1,3-ไดฟอสโฟกลีเซอเรต จะปล่อยหมู่ฟอสเฟตออกมา 1 หมู่ พร้อมกับพลังงานเพื่อใช้รวมตัวกับเอดีพี (Adenosine diphosphate = ADP) เกิดเป็นเอทีพี นับเป็นเอทีพีโมเลกุลแรก เรียกการสร้างเอทีพี แบบนี้ว่า "Substrate level phosphorelation" ได้เป็นกรด 3-ฟอสโฟกลีเซอริก และจัดเรียงตัวใหม่เป็น กรด 2-ฟอสโฟกลีเซอเรต และจัดเรียงตัวใหม่อีกครั้งเป็น กรดอีนอลฟอสโฟไพรูวิก

ปฏิกิริยา G กรดอีนอลฟอสโฟไพรูวิก จะปล่อยหมู่ฟอสเฟตออกมาพร้อมกับพลังงาน สร้างเป็น เอทีพีได้อีก 1 โมเลกุล เช่นเดียวกับปฏิกิริยา F และตัวเองกลายเป็นกรดไพรูวิก ซึ่งกรดไพรูวิกสามารถเปลี่ยนเป็นกรดแลกติกได้ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน แต่ถ้าเป็นการหายใจ (สร้างพลังงาน) แบบใช้ออกซิเจน กรดไพรูวิกจะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปเพื่อเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย



รูปที่ 4 แสดงกระบวนการสลายกลูโคสครั้งที่ 1 หรือไกลโคไลซิส ซึ่งเกิดในเซลล์กล้ามเนื้อ

ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก Lamb, 1984: 42)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมด กลูโคส 1 โมเลกุล จะได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล การเริ่มต้นเพื่อสลายกลูโคสจะต้องใช้พลังงานเอทีพี 2 โมเลกุล เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสลายกลูโคสขั้นที่ 1 จะได้ พลังงานเอทีพี 4 โมเลกุล ดังนั้นเซลล์จะได้พลังงานเอทีพีสุทธิ 2 โมเลกุล สิ่งที่สำคัญที่เกิดขึ้นในกระบวนการคือ เมื่อกระบวนการสิ้นสุด ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ไม่มีการใช้ออกซิเจน และมีไฮโดรเจนเกิดขึ้น 4 อะตอม โดยไม่อยู่ในรูปอิสระ แต่มีโคเอนไซม์ NAD จะจับกับไฮโดรเจนอะตอม เพื่อนำส่งให้ออกซิเจนและสร้างพลังงานเอทีพี ในภายหลัง NAD จะจับกับไฮโดรเจนอะตอมได้เป็น $NADH_2$ กระบวนการสลายกลูโคสขั้นที่ 1 หรือไกลโคไลซิส จะมีขั้นตอนเกิดขึ้นอยู่ในไซโทพลาสซึมของเซลล์กล้ามเนื้อ เขียนเป็นปฏิกิริยารวมได้ดังนี้

$$\underset{\text{(กลูโคส)}}{C_6H_{12}O_6} + 2\ ADP + 2\ Pi \longrightarrow \underset{\text{(กรดไพรูวิก)}}{2\ C_3H_4O_3} + 2\ ATP + \text{พลังงาน}$$

สรุปแล้ว ถึงแม้ว่าจะเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นมากมาย แต่พลังงานที่เกิดขึ้นและถูกเก็บอยู่ในรูปเอทีพีนั้นน้อยมาก ที่น่าสนใจมากก็คือ ปฏิกิริยาการสลายกลูโคสเกิดขึ้นได้โดยไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นในขณะที่เซลล์มีออกซิเจนไม่พอ เซลล์ก็ยังผลิตพลังงานเอทีพีจำนวนเล็กน้อยจากกระบวนการสลายกลูโคสขั้นที่ 1 มาใช้ได้ โดยเกิดผลผลิต ก็คือ กรดแลกติกแทนกรดไพรูวิก ตัวอย่างเช่น ในเซลล์กล้ามเนื้อของเราเมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก กระแสเลือดไม่สามารถนำออกซิเจนมาให้เพียงพอกับความต้องการของเซลล์ ในภาวะเช่นนี้ เซลล์กล้ามเนื้อจึงต้องสร้างพลังงานโดยไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดกรดแลกติกสะสมอยู่ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเมื่อยล้า (Muscular fatigue) เมื่อกล้ามเนื้อได้พักและมีออกซิเจนเพียงพอ กรดแลกติกจึงถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไพรูวิก เพื่อเข้าสู่กระบวนการสร้างพลังงานแบบอื่นๆต่อไป

เป็นที่น่าสังเกตว่า สำหรับไกลโคเจนเมื่อเข้าสู่กระบวนการสลายกลูโคสจนได้กรดไพรูวิกแล้ว จะได้พลังงานเอทีพีถึง 3 โมเลกุล แตกต่างจากกลูโคสซึ่งได้เอทีพีเพียง 2 โมเลกุล ดังสมการ

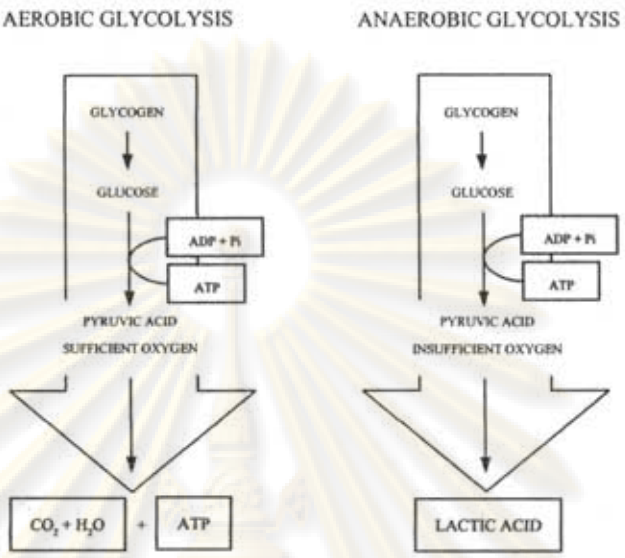
$$\underset{\text{(ไกลโคเจน)}}{(C_6H_{12}O_6)_n} \longrightarrow \underset{\text{(กรดแลกติก)}}{2\ C_3H_6O_3} + \text{พลังงาน}$$

$$\text{พลังงาน} + 3\ ADP + 3\ Pi \longrightarrow 3\ ATP$$

ระบบออกซิเจน (Oxygen System) หรือเรียกอีกอย่างว่า "แอโรบิก ไกลโคไลซิส" (Aerobic glycolysis) ในระบบออกซิเจนนี้ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน โดยจะแยกกล่าวทีละขั้นตอนดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 1 การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน (Aerobic Glycolysis)



รูปที่ 5 แสดงการสลายกลูโคสโดยใช้และไม่ใช้ออกซิเจนไกลโคเจนแตกตัวจนได้เป็นกรดไพรูวิกและเอทีพี ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยไม่ใช้ออกซิเจนเลย กรดไพรูวิกจะแตกตัวต่อไปโดยมีออกซิเจนเข้าช่วยกลายเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์และได้เอทีพีเกิดขึ้น ในการสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจน กรดไพรูวิกจะเปลี่ยนเป็นกรดแลกติกและไม่มีเอทีพีเกิดขึ้น ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก Lamb, 1984: 19)

ขั้นตอนที่ 2 การสังเคราะห์อะซิทิลโคเอนไซม์เอ (Acetyl Co.A Synthesis)

กรดไพรูวิกแต่ละโมเลกุล จะถูกเปลี่ยนเป็นอะซิทิลโคเอนไซม์เอ เรียกย่อๆว่า อะซิทิลโคเอ โดยกลุ่มเอนไซม์หลายชนิด ได้ผลผลิตคือ

เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล แต่จากกลูโคส 1 โมเลกุล ทำให้เกิดกรดไพรูวิก 2 โมเลกุล ดังนั้นจึงได้รับคาร์บอนไดออกไซด์รวม 2 โมเลกุลต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส

เกิดไฮโดรเจน 4 อะตอม ซึ่งจะรวมกับ NAD กลายเป็น $NADH_2$ 1โมเลกุล ดังนั้นจะได้ $NADH_2$ จำนวน 2 โมเลกุล

สมการรวมของปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้ คือ

$$2\,(C_3H_4O_3)_3 + 2\,Co.A \longrightarrow 2\,C_2H_3OS\,Co.A + 2\,CO_2 + 2\,NADH_2$$

(กรดไพรูวิก) (อะซิทิลโคเอ)

อะซิทิลโคเอ หากไม่เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ อาจเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน ไกลโคเจน หรือโปรตีนก็ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 3 วัฏจักรเครบส์ (Krebs Cycle)

กรดไพรูวิกที่ได้จากการสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน จะเปลี่ยนเป็นอะซิทิลโคเอ และแตกตัวต่อไปในอนุกรมของปฏิกิริยาที่เรียกว่า วัฏจักรเครบส์ ซึ่งค้นพบโดย เซอร์ ฮันส์ อดอล์ฟ เครบส์ และได้รับรางวัลโนเบลสาขาสรีรวิทยาหรือการแพทย์ ในปี ค.ศ. 1953 วัฏจักรเครบส์นี้อาจเรียกชื่อเป็นอย่างอื่นได้ เช่น วัฏจักรซีติก (Citic acid Cycle) หรือ วัฏจักรกรดไตรคาร์บอกซิลิก (TCA Cycle) ในวัฏจักรเครบส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้น 2 ประการ คือ การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเดชัน เช่น การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน กรดไพรูวิกที่ได้จากการสลายกลูโคสมิได้เข้าไปในวัฏจักรเครบส์ แต่จะเปลี่ยนเป็นอะซิทิลโคเอ ก่อนจึงจะเข้าไปในวัฏจักรเครบส์จะมีอนุกรมของปฏิกิริยา ดังนี้

ปฏิกิริยา A กรดไพรูวิกจะถูกออกซิไดส์โดยคาร์บอนไดออกไซด์และอะซิทิลโคเอ โดยมี NAD มารับ H ได้เป็น $NADH_2$ ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป อะซิทิลโคเอทำปฏิกิริยากับกรดออกซาโลแอซีติกได้กรดซีติก ส่วนโคเอนไซม์เอจะแยกตัวออกไปเพื่อรวมกับกรดไพรูวิกโมเลกุลใหม่ กรดซีติกปรับโครงสร้างใหม่เป็นกรดซิสอะโคนิทิก แล้วปรับโครงสร้างใหม่อีกครั้งได้เป็น กรดไอโซซีติก

ปฏิกิริยา B กรดไอโซซีติกเปลี่ยนเป็นกรดออกซาโลซักซินิก โดยมี NAD มารับ H ได้เป็น $NADH_2$ ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป

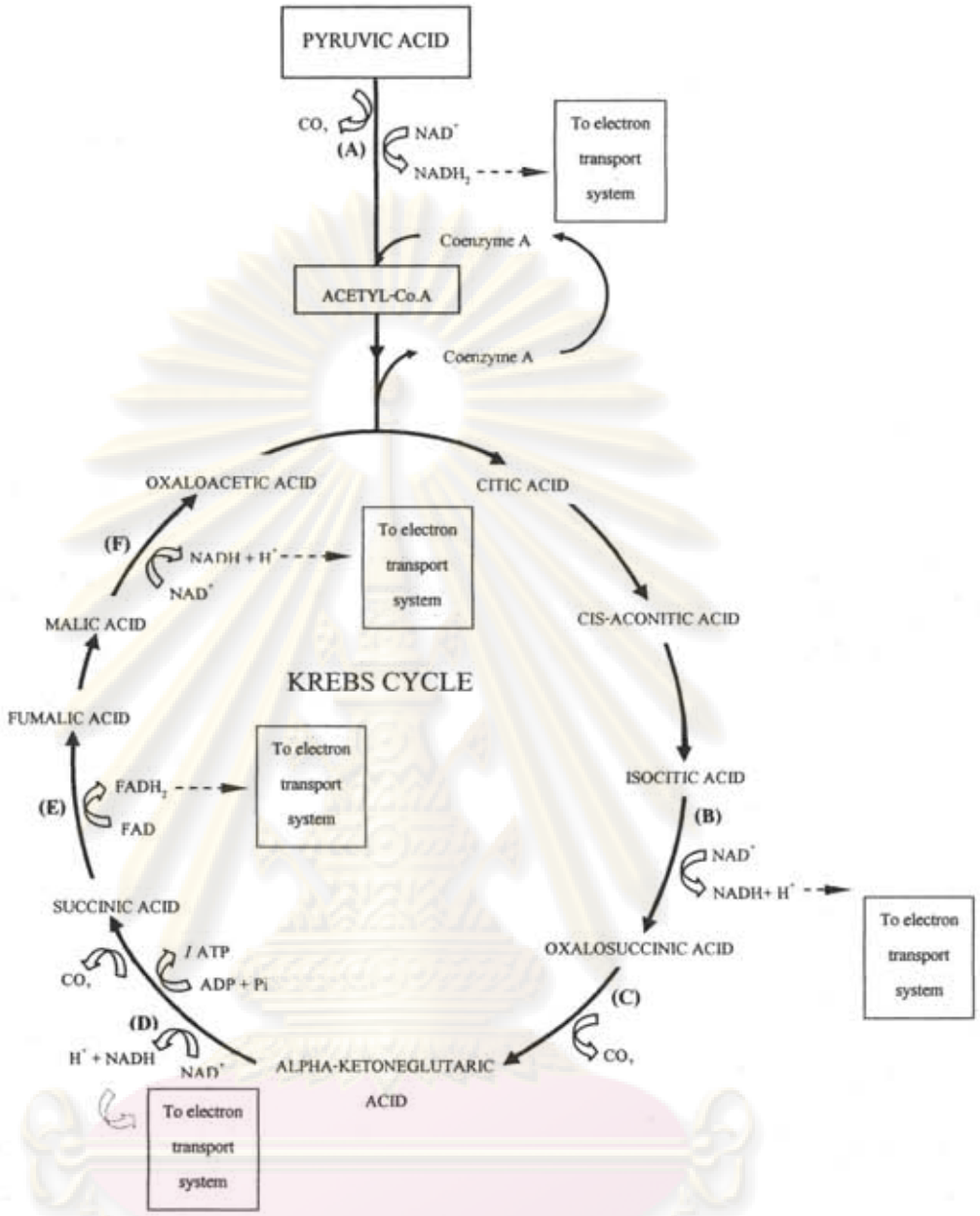
ปฏิกิริยา C กรดออกซาโลซักซินิกถูกออกซิไดส์ได้คาร์บอนไดออกไซด์ออกมา 1 โมเลกุล และเปลี่ยนเป็นกรดแอลฟาคีโทกลูทาริก

ปฏิกิริยา D กรดแอลฟาคีโทกลูทาริก ถูกออกซิไดส์ได้เป็นกรดซัลซินิกและมีคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีก 1 โมเลกุล และมี NAD มารับ H เป็น $NADH_2$ เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป ในการนี้จะได้พลังงานออกมาพอที่จะรวมเอาหมู่ฟอสเฟตอนินทรีย์เข้ากับเอดีพีเป็นเอทีพี

ปฏิกิริยา E กรดซัลซินิกถูกออกซิไดส์เปลี่ยนเป็นกรดฟูมาริก โดยมี FAD (Flavoprotein) มารับไฮโดรเจนเป็น $FADH_2$ เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป แล้วกรดฟูมาริกจะเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก

ปฏิกิริยา F กรดมาลิกจะถูกออกซิไดส์ได้เป็นกรดออกซาโลแอซีตริก โดยมี NAD มารับ H เป็น $NADH_2$ เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป แล้วกรดออกซาโลแอซีตริกจะรวมกับอะซิทิลโคเอโมเลกุลใหม่เป็นกรดซีตริกได้อีก เพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์รอบใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6 แสดงการแตกตัวของกรดไพรูวิก 1 โมเลกุล เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ อิเล็กตรอน และไฮโดรเจน ไอออน ในวัฏจักรเครบส์ (ในวัฏจักรเครบส์ จะได้พลังงานเอทีพี 2 โมเลกุล) ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก Lamb, 1984: 47)

อะซิทิลโคเอ 2 โมเลกุล (จากกลูโคส 1 โมเลกุล) เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ปลดปล่อยออกมา 4 โมเลกุล ดังนั้น เมื่อรวมกับ 2 โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์จากการสร้างอะซิทิลโคเอ ก็จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล อาจกล่าวได้ว่า คาร์บอนทั้ง 6 ตัวในกลูโคสถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์หมด และจะถูกขนส่งออกนอกเซลล์ต่อไป

ในวัฏจักรเครบส์ จะมีปฏิกิริยาที่ปลดปล่อยไฮโดรเจนออกมา 4 ปฏิกิริยา ในจำนวนนี้จะมี 3 ปฏิกิริยาที่มี NAD มาเป็นตัวรับไฮโดรเจนอะตอม และอีก 1 ปฏิกิริยาที่มี FAD มารับไฮโดรเจน

อะตอมจะเห็นได้ว่า ในวัฏจักรเครบส์ยังไม่มีการใช้ออกซิเจน สรุปสมการรวมในวัฏจักรเครบส์เป็นดังนี้คือ

$$2\ \text{Acetyl Co.A} + 6\ H_2O + 2\ \text{ADP} + 2\ \text{Pi} \longrightarrow 4\ CO_2 + 2\ \text{ATP} + 2\ \text{Co.A} + NADH_2 + 2\ FADH_2$$

ขั้นตอนที่ 4 ระบบขนส่งอิเล็กตรอน (Electron Transport System = ETS)

ระบบขนส่งอิเล็กตรอนในช่วงนี้เรียกว่า โซ่การหายใจ (Respiratory chain) หรือ ระบบไซโทโครม (Cytochrome System) ในระบบขนส่งอิเล็กตรอน (รูปที่7) ทั้งอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนไอออน (หรือโปรตอน) จะถูกถ่ายทอดจากสารประกอบหนึ่งไปยังสารประกอบถัดไป พลังงานที่ใช้ในการขนส่งอิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา 3 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยา A, D และ G ในวัฏจักรเครบส์ (รูปที่ 6) พลังงานที่ได้จะใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีจากเอดีพี และใช้ในการสังเคราะห์ฟอสเฟต

ในกรณีการสูญเสียอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) เป็นไปเพื่อการรวมฟอสเฟตกับเอดีพีเกิดเป็น เอทีพี (ปฏิกิริยาฟอสโฟรีเลชัน) ดังนั้นการสังเคราะห์เอทีพีในไมโทคอนเดรีย เป็นการคู่ควบระหว่างปฏิกิริยาออกซิเดชันและฟอสโฟรีเลชัน ซึ่งเรียกว่า ออกซิเดทีฟ ฟอสโฟรีเลชัน (Oxidative phosphorylation)

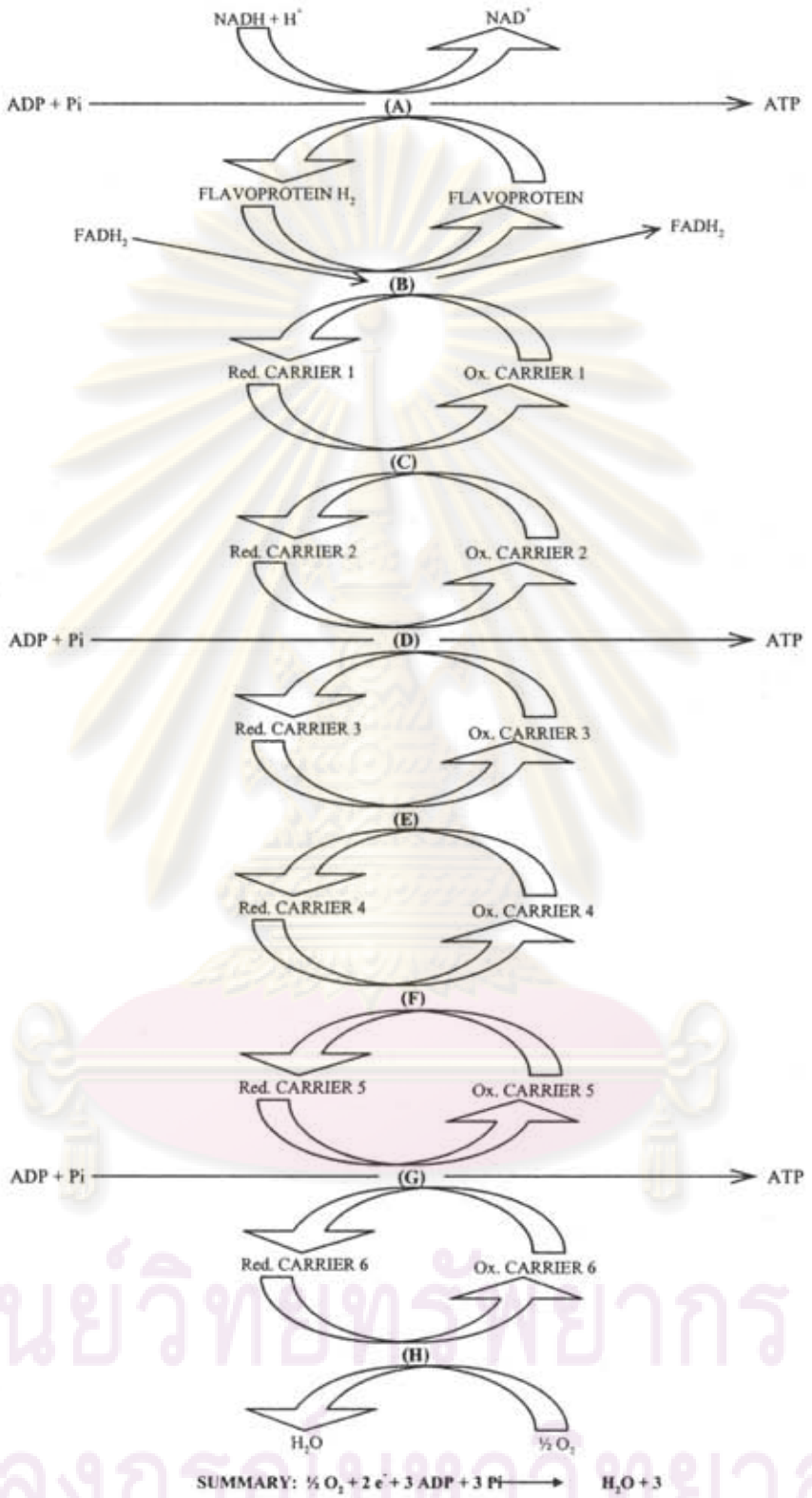
ในกระบวนการนี้ จะเป็นแหล่งผลิตเอทีพีได้มากที่สุด เพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ จากรูปที่ 7 ปฏิกิริยา A โมเลกุลแรกที่ถูกออกซิไดส์ คือ นิโคตรรินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ (Nicotinamide adenine dinucleotide = NADH)

ในปฏิกิริยา B $FADH_2$ ที่ถูกรีดิวซ์ในปฏิกิริยา A กลับเปลี่ยนเป็นถูกออกซิเดชัน จากจุดนี้ไปจนถึงปฏิกิริยา H อิเล็กตรอนเท่านั้นที่ถูกถ่ายทอดจากสารประกอบ เป็นที่ซึ่ง 2 H^+ จะไปสู่ FADH ซึ่งผ่านมาในสารละลาย และสามารถนำมาใช้ได้อีกในปฏิกิริยา H ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ที่ซึ่งออกซิเจนจากเลือดได้รับ 2 e^- จากสารประกอบไซโทโครมออกซิเดส (A_3) และจะรวมกับ 2 H_2 กลายเป็นน้ำ

ในแบบแผนของการขนส่งอิเล็กตรอนจะเห็นว่า ทุกๆ 2 อิเล็กตรอน (หรือไฮโดรเจนอะตอม) ที่ส่งผ่านมาจาก $NADH + H^+$ มาจนกระทั่งเป็นโมเลกุลของน้ำจะมีเอทีพีเกิดขึ้น 3 โมเลกุล (ปฏิกิริยา A, D และG)

ดังนั้น ในการสลายกลูโคสหรือไกลโคเจนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ทุกๆ 1 โมเลกุลของ NADH ที่เข้าสู่กระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนจะได้ผลผลิต คือ เอทีพี 3 โมเลกุล ในกรณีที่เป็น $FADH_2$ (ได้จากวัฏจักรเครบส์) เมื่อเข้าสู่กระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน จะให้เอทีพี 2 โมเลกุลเท่านั้น ดังสมการ

$$1/2\ O_2 + 2e^- + 3\text{ADP} + 3\text{Pi} \longrightarrow H_2O + 3\ \text{ATP}$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7 แสดงภาพของระบบขนส่งอิเล็กตรอน: พาหะ 1 คือ ไซโทโครมคิว พาหะ 2 คือ ไซโทโครมบี พาหะ 3 คือ ไซโทโครมซีหนึ่ง พาหะ 4 คือ ไซโทโครมซี พาหะ 5 คือ ไซโทโครมเอ และหาพะ 6 คือ ไซโทโครมออกซิเดส (A_3) เส้นประในรูปแสดงถึงทิศทางของอิเล็กตรอน ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก Lamb, 1984: 49)

สรุปสมการรวมในระบบขนส่งอิเล็กตรอน

$$10\ NADH + 2\ FADH_2 + 6\ O_2 + 34\ ADP + 34\ Pi \longrightarrow 12\ H_2O + 34\ ATP$$

สรุปการสังเคราะห์เอทีพีในระบบการใช้ออกซิเจน จากกลูโคส-6-ฟอสเฟต 1 โมเลกุล ดังนี้

จากการสลายกลูโคส (รูปที่ 4 ปฏิกิริยา B, C, F, G) ได้ 2 ATP = เกิดในไซโทพลาสซึม

จากวัฏจักรเครบส์ (รูปที่ 6 ปฏิกิริยา D) ได้ 2 ATP

จากการขนส่งอิเล็กตรอน (ออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชัน)

ก. ออกซิเดชันของ $FADH_2$ (รูปที่ 6 ปฏิกิริยา E) ได้ 4 ATP — เกิดในไมโทคอนเดรีย

ข. ออกซิเดชันของ NADH (รูปที่ 4 ปฏิกิริยา E รูปที่ 6 ปฏิกิริยา A, B, D, F): 3ATP/NADH

หรือ (10 X 3 = 30) ได้ 30 ATP

รวมพลังงานต่อกลูโคส-6-ฟอสเฟต = ได้ ***38*** ATP

สรุปว่า ในระบบออกซิเจนทั้ง 4 ขั้นตอน คือ การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน การสร้างอะซิทิลโคเอ วัฏจักรเครบส์ และการขนส่งอิเล็กตรอน เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องสัมพันธ์กัน จะเห็นว่าออกซิเจนจะเข้าไปร่วมในปฏิกิริยาในกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน ส่วนในกระบวนการอื่นๆ ออกซิเจนไม่ได้เข้าไปร่วมในปฏิกิริยาเลย

2.3.2 การสังเคราะห์เอทีพีของสารอาหารประเภทไขมัน (พิชิต ภูติจันทร์, 2535)

เริ่มต้นโดยไขมันสลายตัวเป็นกรดไขมัน (Fatty acid) และกลีเซอรอล (Glycerol) จากนั้นทั้งสองจะมีการสลายด้วยปฏิกิริยาคนละทางกล่าวคือ กลีเซอรอลจะเข้าสู่ปฏิกิริยาไกลโคไลซิส เปลี่ยนเป็น 3-ฟอสโฟกลีเซอรอลดีไฮด์ ส่วนกรดไขมันจะเปลี่ยนเป็นนอะซิทิลโคเอแล้วเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ กระบวนการสลายไขมันเรียกว่า เบต้าออกซิเดชัน (Beta oxidation) ไขมัน 1 โมเลกุล ผลิตอะซิทิลโคเอได้มากกว่ากลูโคส ดังนั้น พลังงานจากการสลายไขมันจึงมีมากกว่ากลูโคสเมื่อเทียบกับน้ำหนักกรัมต่อกรัม ไขมันจะทำให้มีการสังเคราะห์เอทีพีได้มากกว่ากลูโคสประมาณ 3 เท่า ดังสมการตัวอย่างการสลายไขมันบางตัว

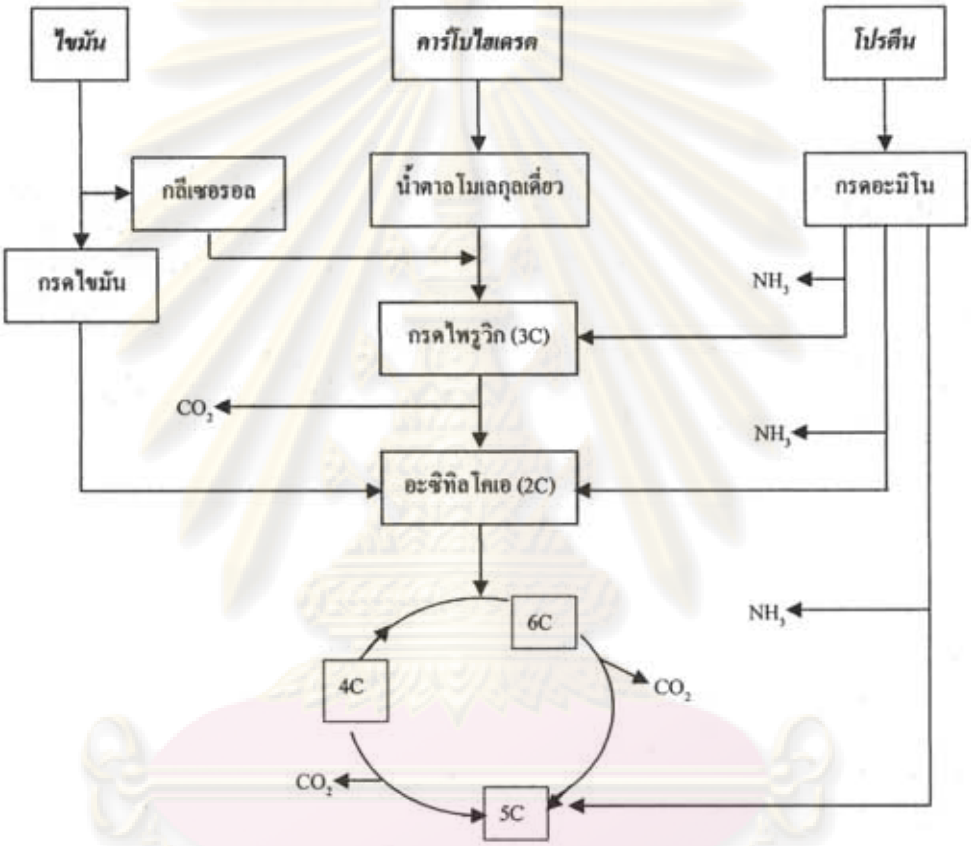
$C_{18}H_{32}O_2 + 23\ O_2 \longrightarrow 2\ CO_2 + 16\ H_2O +$ พลังงาน

(กรดพาร์มิติก)

พลังงาน + 130 ADP + 130 Pi $\longrightarrow$ 130 ATP

2.3.3 การสังเคราะห์เอทีพีของสารอาหารประเภทโปรตีน (พิชิต ภูติจันทร์, 2535)

เริ่มต้นด้วยกรดอะมิโน (Amino acid) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่สุดของสารอาหารประเภทโปรตีน จะเข้าสู่กระบวนการสลายกลูโคสได้หลายทาง ได้แก่ ทางอะซิทิลโคเอแล้วเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ หรือเข้าสู่วัฏจักรเครบส์เลยทางกรดออกซาโลแอซีตริก หรือทางกรดแอลฟาคีโทกลูทาริก แต่ก่อนที่กรดอะมิโนจะเข้าสู่กระบวนการสลายกลูโคส กรดอะมิโน จะมีการดึงกลุ่มไนโตรเจนออกก่อนในรูปแอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนอย่างรวดเร็วเป็นยูเรีย (Urea)



รูปที่ 8 แสดงภาพสรุปการสลายอาหารทั้งประเภทคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน
ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก พิชิต ภูติจันทร์ และคนอื่นๆ 2533: 118)

โดยสรุปจึงกล่าวได้ว่า กระบวนการสร้างพลังงานในร่างกาย จะเริ่มจากการสร้างประกอบทางเคมีที่ชื่อ เอทีพี (Adenosine triphosphate หรือ ATP) ซึ่งเมื่อแตกตัวจะให้พลังงานสำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ และกระบวนการอื่นๆของสิ่งมีชีวิต เอทีพีสังเคราะห์ได้จากกระบวนการทางชีวเคมีทั้งระบบใช้ออกซิเจนและระบบไม่ใช้ออกซิเจน สำหรับในระบบไม่ใช้ออกซิเจน มีสองระบบย่อย คือ ระบบฟอสฟาเจน และระบบกรดแลกติก ซึ่งในระบบแรกคือ ระบบฟอสฟาเจน จะเป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่ใช้ในกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ และสามารถนำเอทีพีมาใช้ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อใช้ระหว่างออกกำลังกายที่มีความเข้มสูงและมีช่วงระยะเวลาสั้นๆ เช่น วิ่ง 100 เมตร, ยกน้ำหนัก, ยิมนาสติก เป็นต้น สำหรับระบบที่สอง คือ ระบบกรดแลกติก จะมีการสลายกลูโคสโดย

ไม่ใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยพลังงานออกมา พลังงานที่ได้จากระบบนี้ จะทำให้การแตกตัวของคาร์โบไฮเดรต (กลูโคสและไกลโคเจน) กลายเป็นกรดแลกติก ซึ่งกรดแลกติกที่ได้นี้ ถ้าสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและในเลือดมากเพียงพอ จะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเมื่อยล้าได้ เรียกระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนทั้งสองระบบย่อยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อร่างกายในลักษณะนี้ว่า *"การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic exercise)"*

ส่วนระบบที่งานวิจัยในครั้งนี้สนใจทำการศึกษาคือ ระบบใช้ออกซิเจน เป็นระบบพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากการแตกตัวของสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และบางครั้งอาจนำมาจากโปรตีน หลังการแตกตัวของสารอาหารประเภทต่างๆแล้วจะทำให้เกิดผลผลิตที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนี้ ในระบบใช้ออกซิเจน ยังถือว่า เป็นระบบที่เกิดปฏิกิริยาซับซ้อนมาก เริ่มจากปฏิกิริยาการสลายสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต หรือ ปฏิกิริยาการสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยานี้จะทำให้ไกลโคเจนแตกตัวเป็นกรดไพรูวิก จากนั้นจึงเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ต่อไป ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยานี้คือ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนอะตอม จะถูกส่งต่อไปรวมกับออกซิเจนที่ได้จากระบบหายใจ เพื่อรวมตัวเป็นน้ำพร้อมกับเกิดการสังเคราะห์เอทีพีขึ้น สำหรับสารอาหารประเภทไขมันก็เกิดเช่นเดียวกับปฏิกิริยาการสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน เว้นแต่ในช่วงเริ่มจะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า เบต้าออกซิเดชัน โดยสรุปแล้ว ระบบออกซิเจนจะถูกใช้มากในกิจกรรมที่มีความเข้มต่ำถึงปานกลาง และเกิดในช่วงระยะเวลาที่นานในระดับหนึ่ง เรียกระบบออกซิเจนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อร่างกายในลักษณะนี้ว่า *"การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise)"*

3. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise)

หากแบ่งประเภทการออกกำลังกายตามลักษณะของการเผาผลาญพลังงานที่รับจากสารอาหาร จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise) คือ การออกกำลังกายที่ใช้ออกซิเจนเผาผลาญสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน ส่วนการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic exercise) นั้นจะไม่ใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญพลังงาน (Plowman, 2003) และจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเมื่อศึกษาเทียบเคียงแล้ว สามารถให้คำจำกัดความของการออกกำลังกายทั้งแบบแอโรบิกและแบบแอนแอโรบิกที่มีประโยชน์เหมือนและแตกต่างกัน อันจะส่งผลต่อการแก้ไขภาวะน้ำหนักเกิน ได้ดังนี้คือ

ดำรง กิจกุศล (ม.ป.ป.) ได้กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยการวิ่งมาราธอน พบว่า ร่างกายมีความต้องการใช้พลังงานมาก จึงเกิดการเผาผลาญสารอาหารที่มากกว่าปกติ (5.5 ถึง 6.0 กิโลแคลอรี) ดังนั้นพลังงานที่ได้มาจึงถูกนำไปใช้มาก จึงไม่เหลือเป็นไขมันสะสมอยู่

เสก อักษรานุเคราะห์ (ม.ป.ป.) ได้กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างระบบไหลเวียนโลหิตกับระบบหายใจ คือ ระบบไหลเวียนโลหิตจะลำเลียงเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆทั่วร่างกาย ส่วนระบบหายใจนำออกซิเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในกระแสเลือดแลกเปลี่ยนก๊าซที่บริเวณปอด ดังนั้น ขณะออกกำลังกายระบบไหลเวียนโลหิตจึงต้องการออกซิเจนมากตามการเผาผลาญพลังงานที่เพิ่มมากขึ้นด้วย เช่นเดียวกับระบบหายใจที่จะเพิ่มการหายใจ ซึ่งเป็นผลมาจากสมองสั่งการให้เกิดการเคลื่อนไหวให้ทำงานสอดคล้องกับกล้ามเนื้อที่จะขับของเสียออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ และกระตุ้นให้เกิดความต้องการใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญพลังงานในระหว่างออกกำลังกายมากขึ้น

จรวยพร ธรณินทร์ (2534) ได้กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีผลต่อการเพิ่มออกซิเจน ช่วยให้กล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจแข็งแรง และลดแรงต้านที่มีต่อการไหลเวียนของอากาศ ทำให้อากาศกระจายเข้าออกจากปอดได้ดีขึ้น ช่วยให้หัวใจสูบฉีดได้ดีและแรง ทำให้ได้ปริมาตรของเลือดต่อการบีบตัวของหัวใจแต่ละครั้งมากขึ้น, ทำให้การลำเลียงอากาศหรือออกซิเจนจากปอดไปยังหัวใจได้ดีขึ้น และการขนส่งออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆทั่วร่างกายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

พิชิต ภูติจันทร์ (2535) ได้กล่าวว่า การออกกำลังกายนั้นจะทำให้เกิดการเผาผลาญสารอาหารนั้น ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซที่สำคัญบริเวณปอด ซึ่งมีค่าที่เกี่ยวข้องได้แก่ ค่าอัตราส่วนการหายใจ (Respiratory Exchange Ratio หรือ RER) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่หายใจออกต่อนาทีกับปริมาณออกซิเจนที่หายใจเข้าต่อนาที ซึ่งค่าดังกล่าวจะทำให้เราทราบว่า สารอาหารชนิดใดถูกนำมาใช้เป็นพลังงานในช่วงเวลาใด เนื่องจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะมีค่าอัตราส่วนการหายใจที่แตกต่างกัน ในการหาค่าอัตราส่วนการหายใจ ทำได้โดยการวัดปริมาตรของออกซิเจนที่รับเข้าไป และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ถ้าอัตราส่วนเท่ากับ 1.0 แสดงว่า มีการใช้พลังงานจากสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ถ้าอัตราส่วนเท่ากับ 0.7 แสดงว่า มีการใช้พลังงานจากสารอาหารประเภทไขมัน และถ้าอัตราส่วนเท่ากับ 0.8 แสดงว่า มีการใช้พลังงานจากสารอาหารประเภทโปรตีน ถ้าอัตราส่วนอยู่ระหว่างค่าดังกล่าว แสดงว่า ใช้สารอาหารหลายๆประเภท

วารุณี วรศักดิ์เสนีย์ (2537) ได้กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีความหนักระดับปานกลางเป็นระยะเวลา 30 นาที จะเป็นการกระตุ้นให้ร่างกายต้องใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงานขณะออกกำลังกาย ซึ่งทำให้เกิดการเผาผลาญพลังงาน ทำให้หัวใจและปอดได้ทำงานอย่างต่อเนื่องเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ดีในร่างกาย เพิ่มสมรรถภาพในการจับและลำเลียงออกซิเจนไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย ช่วยให้ปอด หัวใจ และหลอดเลือด ตลอดจนระบบอื่นๆทั่วร่างกาย แข็งแรง ทนทาน และทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และกุลธิดา เชิงฉลาด (2544) ได้ให้คำนิยามของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกไว้ว่า เป็นกระบวนการใช้พลังงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งต้องใช้ออกซิเจนในการสันดาปสารอาหาร การออกกำลังกายแบบแอโรบิกต้องใช้ระยะเวลาติดต่อกันนานอย่างน้อย 20 นาที และความหนักปานกลาง เช่น กายบริหาร วิ่งเหยาะ ว่ายน้ำ การเต้นแอโรบิกแบบต่างๆ และปั่นจักรยาน เป็นต้น เพื่อให้ร่างกายเพิ่มการใช้ปริมาณออกซิเจนที่หายใจเข้าไปมากขึ้นและกระตุ้นการทำงานของหัวใจ ปอด และหลอดโลหิต เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนโลหิตช่วยให้ร่างกายแข็งแรง มีความต้านทานโรคเพิ่มขึ้น

ศิริลักษณ์ โอตาคาร (2544) ได้กล่าวว่า การออกกำลังกายระดับปานกลางเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมต่อการป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจตีบตัน เนื่องจากไม่ทำให้เกิดภาวะความเครียดต่อการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระ และระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาทีมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการเผาผลาญพลังงานของไขมัน โดยที่การออกกำลังกายด้วยความหนักในระดับปานกลาง (Moderate intensity) ที่ว่านี้ ควรรักษาระดับอัตราการเต้นของหัวใจให้อยู่ในระหว่าง 64 ถึง 76 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ACSM, 2006)

แจ็คโคสกิ (2545) ได้กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เช่น การวิ่ง, ขี่จักรยาน, ว่ายน้ำ หรือกระโดดเชือก ช่วยทำให้ตัวเล็กลง แต่การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก เช่น การยกน้ำหนัก, ลุก-นั่ง (Sit-up), ดันพื้น จะเป็นการช่วยเพิ่มกล้ามเนื้อและทำให้ตัวใหญ่ขึ้น

3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายภายหลังจากการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์, 2539) คือ ระบบหัวใจและหลอดเลือด กล้ามเนื้อ ตลอดจนการทำงานของระบบอวัยวะต่างๆให้เข้ากับภาวะที่ต้องใช้กำลังกายมากขึ้น ซึ่ง หมายถึง ภาวะที่ร่างกายต้องการออกซิเจนมากขึ้นเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางร่างกาย เนื่องจากการออกกำลังกายมีอยู่ 2 ประการ คือ ผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในระยะสั้น และผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในระยะยาว

ผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในระยะสั้น (Acute effects) มีดังนี้

1. มีการหมุนเวียนของเลือดในเส้นเลือดฝอยในกล้ามเนื้อมากขึ้น

2. เลือดฉีดออกจากหัวใจเพิ่มขึ้น เพราะชีพจรหรืออัตราการเต้นของหัวใจเร็ว ปริมาณเลือดที่สูบฉีดแต่ละครั้งเพิ่มขึ้นอาจเป็น 4-5 เท่าของภาวะปกติ

3. ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว มีค่าลดต่ำลง เนื่องจากการขยายตัวและปรับตัวของเส้นเลือดในร่างกาย

4. มีการสร้างความพร้อมในร่างกายมากขึ้น จึงมีการระบายความร้อนโดยเส้นเลือดที่ผิวหนังจะขยายตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในระยะยาว (Chronic effects) มีดังนี้

1. ชีพจรเต้นช้าลงทั้งขณะฝึกและขณะออกกำลังกาย

2. หัวใจจะโตขึ้นทั้งขนาดและปริมาตร ทำให้การสูบฉีดของเลือดได้มากขึ้น

3. ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวจะมีค่าลดลง

4. เลือดจะไหลไปเลี้ยงส่วนกล้ามเนื้อหัวใจได้ดีขึ้น

5. การสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจจะได้ครั้งละมากขึ้นกว่าปกติ และขณะออกกำลังกายจะมีเลือดสูบฉีดไปยังส่วนต่างๆของร่างกายมากขึ้น

6. เลือดจะฉีดไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกายขณะออกกำลังกายมากขึ้น

7. การแข็งตัวของเส้นเลือดที่จะทำให้เส้นเลือดเปราะได้จะเกิดขึ้นช้าลง

8. เพิ่มระดับไขมันชนิดเอช ดี แอล (HDL – High density lipoprotein) ซึ่งเป็นผลดีต่อการป้องกันโรคหัวใจ

9. การเปลี่ยนแปลงของระบบต่อมไร้ท่อ ทำให้ประจำเดือนของเพศหญิงมีน้อยลง ขนาดของต่อมหมวกไตมีขนาดใหญ่ขึ้น

10. ระบบหายใจที่เกิดจากการฝึกหรือออกกำลังกาย จะทำให้การหายใจไม่ต้องใช้พลังงานมากแต่ได้ปริมาณงานเท่าๆกัน การใช้ออกซิเจนจะคงระดับอยู่ได้

3.2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยในเรื่องของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆต่อการใช้พลังงานที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบการไหลเวียนโลหิตและระบบการหายใจในร่างกาย ซึ่งจะกล่าวถึงค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังนี้

อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate - HR) ในคนปกติทั่วไป อาจมีอัตราการเต้นของหัวใจที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับอิริยาบถ การออกกำลังกาย อารมณ์ อายุ เพศ ความสมบูรณ์ของร่างกาย เป็นต้น ผู้ใหญ่ชายจะมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 72 ครั้งต่อนาที ผู้ใหญ่หญิงจะมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 80 ครั้งต่อนาที เด็กแรกเกิดอาจเต้นถึง 135 ครั้งต่อนาที ในนักกีฬาที่ได้รับการฝึกมานาน หัวใจอาจเต้นเพียง 50 ครั้งต่อนาที อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักจะลดลงในผู้ที่ฝึกเป็นประจำในหญิงจะมีอัตราการเต้นของหัวใจสูงกว่าชายประมาณ 5-10 ครั้ง การวัดการเต้นของหัวใจโดยนับเป็นจำนวนครั้งต่อนาทีที่หัวใจห้องล่างซ้ายมือบีบตัว โดยตรวจนับที่บริเวณหัวใจแต่อาจตรวจนับอัตราการเต้นของหัวใจบริเวณข้อพับ เช่น ข้อมือ ส่วนบนด้านหน้าคอ เป็นต้น การวัดอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นหนึ่งในวิธีการวัดค่าการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect calorimeter) โดยอาศัยค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและการใช้ออกซิเจนโดยดูความต้องการ การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อและการใช้เชื้อเพลิงจากอาหารซึ่งต้องการตามความหนักและเวลาของการทำกิจกรรมเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเพิ่มการใช้ออกซิเจนกับการสูบฉีดโลหิตจึงมีความสัมพันธ์กันอย่าง

มาก โดยวิธีการนี้จะดูจากการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงของอัตราการเต้นของหัวใจกับการใช้ออกซิเจน (Payne et al, 1971) เมื่อมีการออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเกือบจะทันที และจะคงสูงอยู่ตลอดระยะเวลาในการออกกำลังกาย การเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจเกิดจาก การควบคุมโดยตรงจากกลไกทางระบบประสาท และกระตุ้นโดยผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการออกกำลังกาย เนื่องจากอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับงาน ดังนั้นเมื่อออกกำลังกายจนถึงระยะเวลาคงที่ Steady state) อัตราการเต้นของหัวใจก็มักจะคงที่ด้วย การเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจจะขึ้นอยู่กับระดับของการออกกำลังกาย สำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดความหนักไว้ที่ระดับปานกลาง (Moderate exercise) ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจในระดับนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 120-140 ครั้งต่อนาที โดยขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการออกกำลังกายด้วย หลังจากนั้นอัตราการเต้นของหัวใจจะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่ออกกำลังกาย เมื่อหยุดออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจจะค่อยๆกลับสู่สภาวะปกติ (จุไรพร สมบุญวงค์ และคณะ, 2546)

ความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย (Blood pressure - BP) เมื่อหัวใจบีบตัวเพื่อสูบฉีดเลือดให้ไหลไปตามหลอดเลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆของร่างกาย การบีบตัวของหัวใจจะทำให้เกิดความดันในหลอดเลือด ซึ่งการไหลของเลือดนั้น จะไหลจากบริเวณที่มีความดันสูงไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำ ความดันโลหิตโดยทั่วไป จะหมายถึง ความดันในหลอดเลือดแดง นิยมวัดที่หลอดเลือดแดงขนาดปานกลางบริเวณต้นแขน (Brachial artery) ซึ่งค่าความดันโลหิตสูงสุดในระยะบีบตัวจะเรียกว่า "ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure หรือ SBP)" ส่วนค่าความดันโลหิตสูงสุดในระยะคลายตัวจะเรียกว่า "ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure หรือ DBP)" ซึ่งโดยปกติค่าระหว่าง SBP กับ DBP จะมีค่าเท่ากับ 120 / 80 มิลลิลิตรปรอท ถ้าเกิดความดันโลหิตสูง จะมีค่าระหว่าง SBP กับ DBP ที่สูงกว่าปกติ เช่น 150 / 90 มิลลิลิตรปรอท (พิชิต ภูติจันทร์, 2535) เมื่อมีการออกกำลังกาย อัตราการไหลเวียนทั่วร่างกายเพิ่มสูงขึ้น ความดันโลหิตจะเพิ่มขึ้นในช่วง 2-3 นาทีแรก หลังจากนั้นจะเข้าสู่ภาวะคงที่ ระดับความดันโลหิตจะขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการออกกำลังกาย เมื่อหยุดออกกำลังกาย ความดันโลหิตจะลดลงทันทีและต่ำกว่าระยะพักเล็กน้อยเพียง 5-10 นาที หลังจากนั้นความดันเลือดจะค่อยๆกลับเพิ่มสูงขึ้น ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (DBP) มักไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่อออกกำลังกายระดับเบาหรือระดับปานกลาง แต่อาจจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก ส่วนค่าความความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (SBP) จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความหนักของการออกกำลังกาย เช่น การออกกำลังกายถึงระดับสูงสุด ความความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (SBP) อาจถึงระดับ 200 มิลลิลิตรปรอท หรือสูงกว่าในขณะพักถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (จุไรพร สมบุญวงค์ และคณะ, 2546)

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน (VO_2 หรือ Oxygen uptake) หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายรับไปให้เซลล์ใช้ต่อนาที ซึ่งถูกกำหนดโดยปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อ และปริมาณของ

ออกซิเจนจากเลือดที่แพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อนั้น (คนทั่วไปขณะพักจะมีค่าประมาณ 3.5 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ซึ่งอาจเรียกค่านี้ในขณะพักว่า 1 Metabolic equivalent หรือ 1 MET) ขณะออกกำลังกายสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนจะแปรตามความหนักเบาของการออกกำลังกาย โดยการใช้ออกซิเจนจะค่อยๆเพิ่มขึ้นระหว่าง 2-3 นาทีแรกของการออกกำลังกายแล้วจะถึงระดับคงที่ (Steady State) ซึ่งสมรรถภาพการรับออกซิเจนจากเลือดจะใกล้เคียงกับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อ ซึ่งเมื่อหยุดออกกำลังกาย สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนจะค่อยๆลดลงจนสู่ภาวะปกติ (ระดับพัก) คนที่ไม่ได้รับการฝึกจะสามารถเพิ่มสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนได้ 3 เท่า (0.75 ลิตรต่อนาที) ระหว่างการออกกำลังกายเบาๆ และเป็น 8-12 เท่า (2-3 ลิตรต่อนาที) ระหว่างการออกกำลังกายหนัก สำหรับนักกีฬาที่รับการฝึกมาเป็นอย่างดี สามารถเพิ่มสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนได้มากถึง 16-20 เท่า (4-5 ลิตรต่อนาที) (ชูศักดิ์ เวชแพทย์ และกันยา ปาละวิวัชน์, 2536) ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะนำสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายมาเปลี่ยนเป็นการใช้พลังงานของการออกกำลังกายทั้ง 4 ช่วง (ช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย ช่วงของการออกกำลังกายคงที่ ช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย และช่วงการใช้พลังงานโดยรวมของการออกกำลังกาย) ซึ่งมีหน่วยพลังงานความร้อน คือ แคลอรี (Calorie หรือ cal) ซึ่งหมายถึง ปริมาณความร้อนที่สามารถทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากหน่วยแคลอรีเป็นหน่วยที่เล็กมาก ดังนั้นอัตราการเผาผลาญพลังงาน จึงนิยมใช้หน่วยเป็น กิโลแคลอรี (Kilocalorie หรือ Kcal) โดย 1 กิโลแคลอรี มีค่าเท่ากับ 1,000 แคลอรี (จุไรพร สมบุญวงค์และคณะ, 2546)

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Consumption) จะมีความหมายถึงความสามารถของร่างกายในการรับออกซิเจนไปเลี้ยงสู่เซลล์ต่างๆ ซึ่งถูกกำหนดโดยปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อ และปริมาณของออกซิเจนที่แพร่จากเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อ เป็นตัวบ่งชี้การทำงานของระบบไหลเวียนและระบบหายใจที่มีความสำคัญต่อการผลิตพลังงาน เพื่อใช้ในการออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่องและระยะเวลานาน โดยออกซิเจนจะลำเลียงเข้าสู่เซลล์บริเวณไมโทคอนเดรียและในกระบวนการนี้จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกำจัดออกจากร่างกายด้วย ขณะที่ร่างกายทำงานหนักมากขึ้นเรื่อยๆ กระบวนการใช้ออกซิเจนและกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จะทำงานเร็วขึ้น จนในที่สุดเซลล์และเนื้อเยื่อไม่สามารถรับออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นได้อีก สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีความแตกต่างกันตามเพศ อายุ และสัดส่วนของร่างกาย ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ ซึ่งจะสูงเมื่ออายุ 20-25 ปีในเพศชาย และเมื่ออายุ 25-30 ปีในในเพศหญิง หลังจากนั้นจะค่อยๆลดลง โดยทั่วไปเพศชายจะมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดประมาณ 50 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ส่วนเพศหญิงจะมีค่าประมาณ 40 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ซึ่งน้อยกว่าเพศชาย และหลังจากช่วงอายุดังกล่าวสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนจะคงระดับ และค่อยๆลดต่ำลง ซึ่งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกจะ

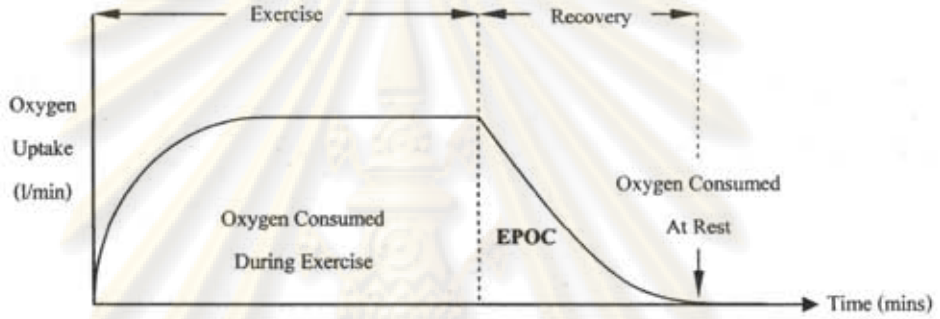
ช่วยมีผลต่อการพัฒนาระบบการไหลเวียนโลหิตและระบบการหายใจ หรือรักษาระดับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดไว้ได้ (ชูศักดิ์ เวชแพทย์ และกันยา ปาละวิวัชน์, 2536)

การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกายหรือสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนหลังการออกกำลังกาย (Excess post-exercise oxygen consumption หรือ EPOC) ในขณะที่เราออกกำลังกายแบบเข้มนานขึ้น ความสามารถในการสังเคราะห์พลังงานเอทีพีจะไม่สูงตามไปด้วย เนื่องจากระหว่างการสังเคราะห์พลังงานแบบนี้สูงสุดแล้ว แต่เราก็ยังสามารถออกกำลังกายในระดับที่เข้มได้ต่อไปเรื่อยๆ ก็เพราะได้พลังงานจากระบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนจะออกกำลังกายได้นานแค่ไหนนั้นย่อมขึ้นอยู่กับความสามารถของร่างกายในอันที่จะทนต่อสารต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์พลังงานโดยวิธีไม่ใช้ออกซิเจนโดยเฉพาะกรดแลกติก หลังจากการสังเคราะห์พลังงานโดยไม่ใช้ออกซิเจนสิ้นสุดลง พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการยังคงรักษาระดับสูงไว้เท่าเดิม แล้วจึงค่อยๆลดลง และจะลดลงสู่ระดับปกติก็ต่อเมื่อสารเหล่านั้นถูกขจัดให้อยู่ในระดับปกติเช่นกัน ระยะนี้เองที่เรียกว่า "ระยะการฟื้นตัว" (Recovery time) ซึ่งเป็นระยะที่กล้ามเนื้อได้รับการเติมพลังงานให้กับคืนสู่สภาพเดิม ระยะการฟื้นตัวเป็นระยะที่ผู้ออกกำลังกายใช้เวลาสำหรับการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกายซึ่งเรียกว่า "การเป็นหนี้ออกซิเจน" ออกซิเจนจำนวนนี้จะถูกจ่ายคืนให้กับออกซิเจนที่ร่างกายควรจะได้รับในระหว่างการออกกำลังกาย แต่เนื่องจากร่างกายมีขีดจำกัดไม่สามารถรับเข้าไปได้ทันในขณะที่ออกกำลังกาย จึงจำเป็นต้องเป็นหนี้ไว้ก่อน กล้ามเนื้อเป็นอวัยวะที่ทนต่อการเป็นหนี้ออกซิเจนได้ดีกว่าอวัยวะอื่นๆ การคำนวณหาปริมาณของการเป็นหนี้ออกซิเจน จะคำนวณได้โดยวัดปริมาณของออกซิเจนที่หายใจเข้าไปในระยะการฟื้นตัว ลบด้วยปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้จริงในขณะพัก เป็นที่ยอมรับกันว่า ปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้ในระหว่างการออกกำลังกาย จะเท่ากับปริมาณที่ได้ใช้ไปจริงระหว่างการออกกำลังกายรวมกับการเป็นหนี้ออกซิเจน นักสรีรวิทยาการออกกำลังกาย เรียกผลรวมของออกซิเจนในสองช่วงนี้ว่า เป็นปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้สำหรับการออกกำลังกายนั้นๆ (Oxygen requirement) (ประทุม ม่วงมี, 2527)

การจ่ายหนี้ในระยะแรกเป็นการจ่ายหนี้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาประมาณ 2-3 นาทีในระยะฟื้นตัว เชื่อกันว่า ออกซิเจนที่จ่ายคืนในระยะนี้นำไปใช้ในการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอทีนกลับคืน จากนั้นออกซิเจนจะค่อยๆลดปริมาณลงอยู่ในระดับคงที่ และเข้าสู่ระยะหลัง ซึ่งอาจใช้เวลาเป็นชั่วโมงในคนที่ร่างกายไม่ฟิต เชื่อกันว่า ออกซิเจนในระยะหลังนี้ ถูกนำไปเผาผลาญกรดแลกติก ฮอร์โมนอะดรีนาลิน หรือกระบวนการเมแทบอลิซึมยังสูงอยู่ แม้จะหยุดออกกำลังกายแล้วก็ตาม (Margaria et al., 1963)

สรุปแล้ว การเป็นหนี้ออกซิเจน ช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย ปริมาณของออกซิเจนที่นำเข้าสู่ร่างกายจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งร่างกายสามารถผลิตพลังงานให้พอเพียง (การใช้ปริมาณของ

กรดแลกติกยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ) ร่างกายก็จะสามารถทำงานต่อไปอย่างสม่ำเสมอ แต่เมื่อระยะเวลาของการออกกำลังกายผ่านไปในช่วงเวลาหนึ่ง พลังงานของร่างกายจะได้มาจากการสลายตัวของเอทีพีภายในกล้ามเนื้อโดยไม่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ปริมาณของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อทำหน้าที่ผลิตพลังงานต่อเนื่อง โดยกระบวนการไกลโคไลซีส จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน น้ำ และกรดไพรูวิก ในช่วงนี้หากปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อไม่เพียงพอ ร่างกายจะทำการยืมออกซิเจนจากเนื้อเยื่ออื่นๆมาใช้ในช่วงภาวการณ์นี้อย่างเร่งด่วน หลังจากการออกกำลังกายผ่านไป ร่างกายก็จะสามารถนำออกซิเจนเข้าโดยการหายใจเร็วๆเพื่อชดเชยคืนให้กับเนื้อเยื่อต่างๆ (พีระพงศ์ บุญศิริ และ ภมร เสนาฤทธิ์, 2541)



รูปที่ 9 แสดงกราฟเมื่อเริ่มออกกำลังกาย ปริมาณออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 1-2 นาทีแรก หลังจากนั้นจะรักษาสถานะคงตัว (Steady State) แล้วค่อยๆลดลงเมื่อหยุดออกกำลังกายสู่ระดับปกติ (ระดับพัก) ปริมาณของออกซิเจนที่ขาดไปก่อนถึงระดับคงที่จะต้องจ่ายคืนในระยะฟื้นตัว เรียกออกซิเจนจำนวนนี้ว่า "การเป็นหนี้ออกซิเจน" (Oxygen Debt = EPOC) ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก Lamb, 1984: 104)

การระบายอากาศ (Minute ventilation หรือ V_E) การที่ร่างกายทำงานมากขึ้นระหว่างการออกกำลังกาย การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นโดยแปรผันตามระดับการออกกำลังกาย ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ก่อนการออกกำลังกายจนสิ้นสุดการออกกำลังกาย โดยเกิดขึ้นได้จากการเพิ่มทั้งความลึกของการหายใจและอัตราการหายใจ หรือโดยการเปลี่ยนแปลงอย่างใดอย่างหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างบุคคลและระดับของการออกกำลังกาย ถ้ามีการออกกำลังกายระดับเบาหรือปานกลาง มักมีการเพิ่มความลึกของการหายใจเป็นส่วนใหญ่และมีการเพิ่มอัตราการหายใจเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อมีการออกกำลังกายที่หนักเพิ่มขึ้น ความลึกของการหายใจจะเพิ่มขึ้นถึงระดับคงที่ (2.5-3 ลิตร) แต่อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นมาก (ประมาณ 30-40 ครั้งต่อนาที) เพราะเวลาในการหายใจเข้าและหายใจออกจะสั้นลง ปริมาณการระบายอากาศต่อนาที เรียกว่า "Minute ventilation หรือ V_E" ในคนปกติขณะพักจะมีค่าประมาณ 5-6 ลิตรต่อนาที ซึ่งคำนวณได้จาก ผลคูณระหว่างปริมาณอากาศที่หายใจเข้าหรือออกหนึ่งครั้ง (Tidal volume หรือ TV) กับ อัตราการหายใจ (Respiratory rate) ซึ่งในขณะพักนั้น ปริมาณอากาศที่หายใจเข้าหรือออกหนึ่งครั้งประมาณ 500 มิลลิลิตร และอัตราส่วนการหายใจเฉลี่ยประมาณ 12-16 ครั้ง แต่เมื่อมีการออกกำลังกายค่าการระบายอากาศจะ

เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากอาจถึง 120 ลิตรต่อนาที (3 ลิตร คูณกับ 40 ครั้งต่อนาที) ในการออกกำลังกายเบาถึงหนักปานกลาง พบว่า มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างปริมาณการระบายอากาศต่อนาทีกับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน แต่เมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะหมดไป คือ ปริมาณการระบายอากาศต่อนาทีจะเพิ่มขึ้นมากเกินสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นหรือเกินสัดส่วนความหนักของการออกกำลังกาย อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวนี้ไม่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการระบายอากาศในการออกกำลังกายที่หนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนและอัตราการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ จนกระทั่งถึงจุดที่ร่างกายเปลี่ยนมาใช้พลังงานเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นพลังงานหลัก กล่าวคือ เมื่อออกกำลังกายหนักเกือบเต็มที่จะมีการเพิ่มอัตราการระบายอากาศมากกว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนต่อนาที เพราะร่างกายเปลี่ยนมาใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้ว จุดนี้จะเรียกว่า จุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold หรือ AT) (จุไรพร สมบุญวงค์ และคณะ, 2546)

อัตราส่วนการหายใจ (Respiratory Exchange Ratio หรือ RER) หมายถึง ค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นกับจำนวนออกซิเจนที่ใช้ไปในการออกกำลังกาย ซึ่งเกิดจากการวัดค่าของการหายใจเข้าออกต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซในปอด

	Energy (พลังงาน)	%Kcal (เปอร์เซ็นต์)	
RER	Kcal / LO_2 (กิโลแคลอรี/ลิตรออกซิเจน)	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน
0.71	4.69	0.0	100.0
0.75	4.74	15.6	84.4
0.80	4.80	33.4	66.6
0.85	4.86	50.7	49.3
0.90	4.92	67.5	32.5
0.95	4.99	84.0	16.0
1.00	5.05	100.0	0.0

ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก Willmore et al, 1999)

โดยสามารถใช้เพื่อให้บอกได้ถึงชนิดของสารอาหารชนิดใดที่ให้พลังงานจากสารอาหาร ค่าอัตราส่วนการหายใจไม่เท่ากันแล้วแต่ชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์ เช่น คาร์โบไฮเดรตจะมีค่าอยู่ที่ 1.0 ไขมันจะมีค่า 0.7 โปรตีนจะมีค่า 0.8 แต่ถ้าต่ำกว่า 0.7 จะบ่งชี้ถึงการแลกเปลี่ยนระหว่างก๊าซทั้งสองชนิด แต่จะไม่บอกถึงชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์ ปกติโปรตีนจะสร้างพลังงานน้อยมากระหว่างการออกกำลังกาย นักสรีรวิทยาจึงไม่นับพลังงานที่ได้จากโปรตีนในจากค่า RER โปรตีนอาจจะสร้างพลังงานหลังจากการออกกำลังกายหลายชั่วโมงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการใช้พลังงานเทียบกับอัตราส่วนการหายใจและประเภทของแหล่งพลังงาน

จากสารอาหาร แสดงได้จากค่าในตารางข้างต้นเปรียบเทียบพบว่า ค่าอัตราส่วนการหายใจ จะเริ่มจาก 0.71 นั่นคือ ใช้พลังงาน 4.69 กิโลแคลอรีต่อการใช้ออกซิเจน 1 ลิตร แหล่งพลังงานจะได้จากสารอาหารประเภทไขมัน 100 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งความหนักมากขึ้นค่าอัตราส่วนการหายใจก็จะเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การใช้ไขมันจะลดลง แต่เปอร์เซ็นต์การใช้คาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น ถ้าค่าอัตราส่วนการหายใจเพิ่มขึ้นถึง 1.00 แหล่งพลังงานที่ได้มาจากการใช้สารอาหารประเภทคาร์โบไอเดรต 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้พลังงาน 4.05 กิโลแคลอรีต่อการใช้ออกซิเจน 1 ลิตร (Willmore et al, 1999)

4. การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ (Exercise for Health)

การออกกำลังกาย ถือเป็นนโยบายหนึ่งที่สำคัญในการส่งเสริมสุขภาพให้คนไทยปราศจากโรคภัยไข้เจ็บด้วยการออกกำลังกายอย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยงานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นจะทำการศึกษาผลทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายแต่ละชนิดแบบครั้งเดียว (Acute Exercise) ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลเปรียบเทียบชนิดของการออกกำลังกายที่น่าเชื่อถือ และลดความคลาดเคลื่อนในการเก็บข้อมูล จึงกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องทำการออกกำลังกายทุกชนิด (Cross over design) ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก

การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ หากแบ่งการออกกำลังกายโดยทั่วไปแล้ว สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท (สุภกร บัวสาย, 2548) ได้แก่

ออกกำลังกายขณะทำงาน คนเมืองจำนวนหนึ่งมักทำงานใช้แรงน้อยจึงมองข้ามเรื่องนี้ไป แต่ยังมีคนอีกหลายอาชีพที่ต้องออกแรงไปตามลักษณะของงาน กรณีกรรมกรแบกข้าวสารจึงได้ออกกำลังอยู่ทุกวัน และคงจะได้ประโยชน์น้อย หากต้องมาเต้นแอโรบิก

ออกกำลังกายจากการเดินทาง ชาวชนบทจำนวนมากต้องเดินทางวันละหลายกิโลเมตร การเดินทางด้วยเท้าหรือจักรยานเป็นโอกาสออกกำลังกายที่หลายคนมีอยู่เสมอในชีวิตประจำวัน

ออกกำลังกายกับงานบ้าน แม่บ้านเช็ดถูบ้าน การทำสวน ขุดดิน ปลูกต้นไม้ ฯลฯ ล้วนเป็นตัวอย่างที่ดี

ออกกำลังกายเพื่อการพักผ่อน การออกกำลังกายประเภทที่สี่นี้ หมายรวมถึง การเล่นกีฬาหรือออกกำลังกายด้วยการเต้น วิ่ง เดิน ว่ายน้ำ และเคลื่อนไหวท่าทางต่างๆ โดยมิได้เป็นส่วนหนึ่งของอาชีพหรืองานดังสามประเภทข้างต้น

แต่ในการออกกำลังกายที่ตรงกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ (สอดคล้องกับประเภทที่ 4) นั่นก็คือ "การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ" ซึ่งกล่าวได้ว่า เป็นกิจกรรมที่เล่นเพื่อความสนุกสนานและเพลิดเพลิน เป็นการบำรุงแรง และผ่อนคลายความเครียดได้ ซึ่งควรเป็นการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพในแบบแอโรบิก (ระดับความหนักและระยะเวลาพอสมควร) และข้อที่พึงระวังในการออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำลังกายเพื่อสุขภาพ นั่นก็คือ การออกกำลังกายโดยปราศจากการบาดเจ็บ เพราะการบาดเจ็บถือว่าเป็นการเสียสุขภาพ อันเนื่องมาจากสาเหตุของการใช้ร่างกายบางส่วนซ้ำๆมากหรือนานเกินไป ก็จะทำให้เกิดการบาดเจ็บ (Overuse injury) ต่ออวัยวะนั้นได้ (ดำรง กิจกุศล, 2539)

4.1 ลักษณะของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ

ในที่นี้จะขอเสนอลักษณะการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ จำนวน 4 ชนิด คือ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และเต้นแอโรบิกที่ถูกต้อง ได้แก่

ลักษณะของการเดิน (กรมอนามัย, 2547) หากแบ่งตามความเร็ว จะแบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้ดังนี้

เดินทอดน่อง (Normal Walking) เป็นการเดินแบบสบายๆที่เดินอยู่ทุกวัน อาจไม่หนักเพียงพอต่อการเสริมสร้างสมรรถภาพของระบบหายใจ และไหลเวียนโลหิต แต่ถ้าเดินอย่างสม่ำเสมอเกือบทุกวันและนานพอ ให้เกิดการเผาผลาญพลังงานประมาณ 150 แคลอรีต่อวัน จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้

เดินเร็ว (Brisk Walking) เป็นการเดินที่กระฉับกระเฉงขึ้นและก้าวยาวกว่าการเดินทอดน่อง ใช้ความเร็วเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 4.8 ถึง 5.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (3 ถึง 3.5 ไมล์ต่อชั่วโมง) เป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ช่วยเสริมสร้างสมรรถภาพของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต ผู้สูงอายุจะได้ประโยชน์จากการเดินเร็ว รวมทั้งผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักหรือต้องการออกกำลังกายในระดับปานกลาง

เดินสาวเท้า (Striding) เป็นการเดินเร็วขึ้นไปอีกเป็น 5.6 ถึง 8.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (3.5 ถึง 5.5 ไมล์ต่อชั่วโมง) สาวเท้าก้าวยาวไปข้างหน้าพร้อมเหวี่ยงแขนอย่างแรงไปข้างหลังเพื่อเพิ่มความหนัก ถือว่าเป็นการออกกำลังกายแบบรุนแรง อาจถืออุปกรณ์เพิ่มน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม (1 ถึง 3 ปอนด์) ไปด้วยหรือสะพายหลังด้วยน้ำหนักประมาณ 3 ถึง 6 กิโลกรัม (6 ถึง 12 ปอนด์) เพื่อเพิ่มการเผาผลาญพลังงาน และเพิ่มสมรรถภาพแก่ระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต

เดินทน (Race Walking) แตกต่างจากการเดินที่กล่าวมาทั้ง 3 แบบข้างต้น โดยทุกส่วนในร่างกายมีบทบาทในการเคลื่อนไหวไม่ว่าจะเป็นกล้ามเนื้อบริเวณไหล่, แขน, ลำตัว และขา ความเร็วประมาณ 8 ถึง 14.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (5 ถึง 9 ไมล์ต่อชั่วโมง) การเดินทนหรือการเดินแข่งนั้นไม่เพียงแต่มีความเร็วมากกว่าการเดินเร็วหรือเดินสาวเท้าเท่านั้น หากยังเท่ากับการวิ่งที่ความเร็วประมาณ 8.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถเผาผลาญพลังงานเท่ากับการวิ่งเหยาะที่ความเร็ว 8.8 ถึง 9.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ลักษณะของการวิ่ง (เกษม ช่วยพนัง, 2536) เป็นการออกกำลังกายรูปแบบหนึ่งที่นิยม เพราะโดยธรรมชาติมนุษย์รู้จักการวิ่งมาตั้งแต่อดีต การวิ่งทำให้ร่างกายทุกส่วนได้มีการเคลื่อนไหว ระยะเริ่มต้นอาจใช้เวลา 5 ถึง 10 นาทีในการวิ่งเหยาะก่อน จึงค่อยเพิ่มความเร็วมากขึ้น ตารางข้างล่างแสดงลักษณะของท่าวิ่งที่ถูกและท่าวิ่งที่ผิด ดังนี้คือ

ท่าวิ่งที่ถูก	ท่าวิ่งที่ผิด
• ตัวตรง ไหล่ แขน และคอ ต้องผ่อนคลาย • ข้อศอกงอไม่เกิน 90-100 องศา • แขนแกว่งตามไปขนานกับแนวดิ่ง • กำมือหลวมๆ • ลู่วิ่งราบเรียบได้ระดับ ไม่แข็ง ไม่นุ่มเกินไป และความหนาแน่นของพื้นเท่ากันหมด • เวลาวิ่งให้ลงส้นเท้า	• ก้มตัวหรือเกร็งมากเกินไป • ข้อศอกงอมากเกินไป • แกว่งแขนข้ามลำตัว • กำมือแน่นเกินไป • ลู่วิ่งไม่ราบเรียบเป็นพื้นผิวที่แข็งหรือนิ่มเกินไป และความหนาแน่นของพื้นไม่เท่ากันหมด • เวลาวิ่งลงปลายเท้า

ลักษณะของการปั่นจักรยาน (เกษม ช่วยพนัง, 2536) เป็นการออกกำลังกายที่นิยมมาก โดยเฉพาะในท้องถิ่นซึ่งการจราจรไม่คับคั่งจนไม่เป็นที่ปลอดภัยแก่ผู้ใช้จักรยาน การปั่นจักรยานเพื่อการออกกำลังกายทำได้หลายรูปแบบ เช่น อาจใช้จักรยานเดินทางท่องเที่ยวเพื่อทัศนศึกษา หรือการใช้จักรยานเพื่อไปซื้อของจ่ายตลาด เป็นต้น วิธีการปั่นจักรยานเพื่อให้ร่างกายแข็งแรงอาจทำได้โดยปั่นด้วยความเร็วพอควร แต่สม่ำเสมอ หรือปั่นช้าสลับเร็ว เป็นช่วงๆก็ได้ แล้วค่อยเพิ่มระยะทางหรือเพิ่มความเร็วขึ้นก็ได้ ปัจจุบันมีการผลิตจักรยานชนิดปั่นอยู่กับที่ (Ergometer) เพื่อใช้สำหรับการออกกำลังกายโดยเฉพาะ ซึ่งได้รับความนิยมมากเช่นกัน เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายอย่าง เช่น สามารถปั่นได้ไม่ว่าจะอยู่ในบ้าน ระเบียง ห้องนั่งเล่น หรือแม้แต่ในห้องนอน ในที่ทำงานก็สามารถมีจักรยานไว้ตั้งได้ สามารถออกกำลังกายได้ตามความต้องการ มีความสะดวกปลอดภัย และยังสามารถตั้งความหนัก (ความฝืด) ของล้อและควบคุมระยะทางในการปั่นได้ เพื่อให้สามารถเพิ่มสมรรถภาพของหัวใจให้แข็งแรงขึ้น

ลักษณะของการเต้นแอโรบิก (สุดา กาญจนะวณิชย์, 2543) หมายถึง การนำเอาท่ากายบริหารมารวมกับการเคลื่อนไหวเบื้องต้นและทักษะการเต้นรำ เพื่อเป็นการเสริมสร้างสมรรถภาพของร่างกาย ซึ่งมีหลายรูปแบบ คือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเต้นแอโรบิกแบบแรงกระแทกต่ำ (Low impact aerobic dance) จะเป็นการเคลื่อนไหววงกว้าง มีการยกเข่าสูง เท้าใดเท้าหนึ่งจะอยู่บนพื้นตลอดเวลา ไม่มีการกระโดดจึงไม่มีอันตรายแก่ผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับเข่า ข้อเท้า หรือหลังของผู้สูงอายุ เป็นวิธีการอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยรักษาสภาพของระบบไหลเวียนโลหิต กล้ามเนื้อมีความแข็งแรง และยังเป็นการเสริมสร้างความอดทนให้มากขึ้นอีกประการหนึ่งด้วย (ในงานวิจัยเลือกใช้การเต้นแอโรบิกชนิดนี้)

การเต้นแอโรบิกแบบแรงกระแทกสูง (High impact aerobic dance) จะเป็นการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องไม่มีช่วงหยุดพัก เพื่อให้ร่างกายสามารถนำออกซิเจนเข้ากล้ามเนื้อได้ตลอดเวลา ซึ่งต้องอาศัยท่าทางการบริหารกายและทักษะการเต้นรำผสมผสานกันให้เข้ากับจังหวะดนตรี เป็นการเคลื่อนไหวที่รวดเร็ว มีการกระโดดเกือบตลอดเวลาของการเต้น เป็นการเคลื่อนไหวที่จัดท่าทางไว้ด้วยความรวดเร็วและสมบูรณ์แบบ เพิ่มความสนุกสนานมากขึ้น มีผลต่อสมรรถภาพทางกายเพิ่มขึ้น โดยใช้ระยะเวลาน้อย เนื่องจากมีความหนักของงานมาก

ความแตกต่างระหว่างการเดิน, การวิ่งเหยาะ และการวิ่ง (คำรง กิจกุศล, 2539) คำถามที่สับสนอยู่บ่อยๆระหว่าง การวิ่งเหยาะกับการวิ่งนั้นแตกต่างกันอย่างไร เพราะจริงๆแล้วทั้งสองอย่างข้างต้นก็คือ การวิ่ง เหมือนกันนั่นเอง แต่จะต่างกันกับการเดิน ตรงที่ การเดินจะมีช่วงที่เท้าแตะพื้นอยู่เสมอ หรือหมายความว่า การเดินจะต้องมีช่วงที่เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้นพร้อมกันด้วย (Double support) นั่นคือ ช่วงที่เท้าข้างหนึ่งลงมาถึงพื้นแล้ว แต่เท้าอีกข้างหนึ่งยังไม่ทันได้ยกขึ้นพ้นพื้นไป ซึ่งช่วงนี้จะยาวหรือสั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของการเดิน คือ ถ้าเดินช้าๆ ช่วงที่เท้าทั้ง 2 ข้างสัมผัสพื้นก็จะยาว เมื่อเดินเร็วขึ้นช่วงนี้ก็จะสั้นลง หากเดินเร็วจนช่วงนี้หมดไปก็หมายความว่า ไม่มีช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นเลย ก็จะถือว่าหมดสภาพของการเดินแล้ว และเข้าสู่สภาพของการวิ่ง อย่างไรก็ตาม บางคนอาจจะแบ่งตามความรู้สึก คือ ถ้าเป็นการวิ่งช้าๆสบายๆไปเรื่อยๆ ก็ถือว่าเป็นการวิ่งเหยาะ ถ้าจริงจังกว่านั้นก็เป็นการวิ่ง นอกจากนี้ การวิ่งยังต่างจากการเดินตรงที่มีช่วงที่เท้าทั้งสองข้างลอยพ้นจากพื้นไปเสมอ แต่ในทางทฤษฎีแล้ว นักวิชาการได้แบ่งชนิดของการออกกำลังกายระหว่างการเดิน, การวิ่งเหยาะ และการวิ่ง โดยถือเอาความเร็วเป็นเกณฑ์ จะแบ่งได้ดังนี้คือ การเดิน (Walking) มีความเร็วไม่เกิน 6.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง, การวิ่งเหยาะ(Jogging) มีความเร็วไม่เกิน 8.0 ถึง 10.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ การวิ่ง (Running) มีความเร็ว 10.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป

4.2 หลักการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ (ไพวัลย์ ตัณลาพุฒ, 2530) มีหลักการปฏิบัติ ดังนี้

ต้องใช้วิธีค่อยทำค่อยไป คือ เริ่มต้นจากการออกกำลังกายเบาๆไปหาหนัก จากปริมาณน้อยๆแล้วค่อยๆเพิ่มปริมาณมากขึ้น และจากการออกกำลังกายง่ายๆแล้วจึงค่อยๆเพิ่มความยากขึ้นเป็นลำดับ

ต้องให้ทุกส่วนของร่างกายได้ออกแรงหรือเคลื่อนไหว ไม่ควรออกกำลังเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย

การออกกำลังกายควรทำโดยสม่ำเสมอ อย่างน้อย 3 วันต่อหนึ่งสัปดาห์ หรือทำทุกวันก็ได้และควรทำในเวลาเดียวกับทุกครั้ง อาจเป็นเวลาเช้าหรือบ่ายตามแต่สะดวก

4.3 ข้อห้ามของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ (การกีฬาแห่งประเทศไทย, 2542) สำหรับคนทั่วไปควรงดการออกกำลังกายชั่วคราวในภาวะต่อไปนี้

เจ็บป่วย ความเจ็บป่วยทุกชนิดทำให้สมรรถภาพของร่างกายลดลง และร่างกายต้องการการพักผ่อนอยู่แล้ว การออกกำลังที่เคยทำอยู่ย่อมเป็นการเกินกว่าที่สภาพร่างกายจะรับได้และอาจทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อชีวิต เฉพาะอย่างยิ่งการเป็นไข้ซึ่งร่างกายมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ และหัวใจจึงต้องทำงานหนักอย่างยิ่ง จนแม้แต่งานเบาๆก็อาจเป็นการหนักเกินได้ นอกจากนั้น หากเป็นไข้ที่เกิดจากเชื้อโรค การไหลเวียนเลือดที่เพิ่มขึ้นจากการออกกำลังกายอาจทำให้เชื้อโรคแพร่หลายไปตามส่วนต่างๆของร่างกายและทำให้เกิดการอักเสบทั่วร่างกายหรือในอวัยวะที่สำคัญซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิต สำหรับการเป็นหวัด แพ้อากาศ ถ้าไม่มีอาการอื่นร่วม เช่น ไข้เจ็บคอ ไอ อ่อนเพลีย สามารถฝึกซ้อมและออกกำลังกายได้ตามปกติ

หลังจากฟื้นไข้ใหม่ๆ ความแข็งแรงสมบูรณ์ของร่างกายเป็นหัวใจสำคัญ และจำเป็นอย่างยิ่งในการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา เพราะถ้าร่างกายยังไม่แข็งแรงเพียงพอ ก็จะเป็นการเพิ่มโอกาสให้ร่างกายเกิดการเจ็บป่วยขึ้นได้อีก

หลังจากรับประทานอาหารอิ่มมาใหม่ๆ ในเวลาอิ่มจัด กระเพาะอาหารซึ่งอยู่ใต้กะบังลมจะเป็นตัวทำให้การขยายของปอดเป็นไปไม่ได้ดีเท่าที่ควร เพราะกะบังลมไม่อาจหดตัวต่ำลงได้มาก ในขณะเดียวกัน การไหลเวียนเลือดจะต้องแบ่งเลือดส่วนหนึ่งไปใช้ในการย่อยและดูดซึมอาหาร ทำให้เลือดที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหดลดน้อยลง จึงเป็นผลเสียต่อการออกกำลังกาย ยิ่งกว่านั้นในกีฬาที่มีการกระทบกระแทก กระเพาะอาหารที่เต็มแน่นจะแตกได้ง่ายกว่ากระเพาะอาหารที่ว่าง หลักทั่วไปจึงให้งดอาหารหนักก่อนการออกกำลังกาย 3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ในกีฬาที่ใช้ความอดทนเป็นชั่วโมงๆ เช่น วิ่งมาราธอน และจักรยานทางไกล ร่างกายต้องใช้พลังงานมาก การที่ท้องว่างอยู่นานอาจทำให้พลังงานสำรองหมดไป ดังนั้นก่อนการแข่งขันและระหว่างการแข่งขัน อาจเติมอาหารที่ย่อยง่ายในปริมาณไม่ถึงอิ่มได้เป็นระยะๆ

ในเวลาที่อากาศร้อนจัดและอบอ้าวมาก การออกกำลังกายในที่อากาศร้อนจัดอาจทำให้เกิดตะคริวแดด เพลียแดด หรือลมแดดได้ โดยทั่วไปแล้วการเล่นกีฬาในที่ที่มีอากาศร้อนสามารถกระทำได้ ถ้านักกีฬามีความสมบูรณ์ มีสมรรถภาพทางกายดี และมีการฝึกซ้อมหรือเล่นกีฬาอยู่เป็นประจำ แต่ถ้านักกีฬามีความสมบูรณ์ไม่เพียงพอ หรือเพิ่งเริ่มเล่นกีฬาใหม่ๆ การเล่นกีฬาในที่ที่มี

อากาศร้อนจะทำให้เกิดอันตรายได้ตามความรุนแรงแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะมีการสูญเสียน้ำและเกลือแร่ทางเหงื่อ และการควบคุมอุณหภูมิในร่างกายเสียไป

4.4 อาการที่แสดงว่าควรหยุดออกกำลังกาย (การกีฬาแห่งประเทศไทย, 2542) ในบางกรณีที่ร่างกายอ่อนแอไปชั่วคราว เช่น ภายหลังท้องเสียหรืออดนอน การออกกำลังกายที่เคยทำอยู่อาจกลายเป็นหนักเกินไป เมื่อมีอาการต่อไปนี้อย่างเดียวหรือหลายอย่างร่วมกัน ต้องหยุดออกกำลังกายทันที คือ

1. ความรู้สึกเหนื่อยผิดธรรมดา
2. อาการใจเต้นหรือใจสั่น
3. อาการหายใจขัดหรือหายใจไม่ทั่วท้อง
4. อาการเวียนศีรษะ
5. อาการคลื่นไส้
6. อาการหน้ามืด
7. ชีพจรเร็วกว่า 140 ครั้งต่อนาที (สำหรับผู้สูงอายุ) หรือ 160 ครั้งต่อนาที (สำหรับคนหนุ่มสาว) ควรนั่งพักหรือนอนราบจนอาการนั้นๆหายไป และไม่ควรออกกำลังกายต่อไปอีกถ้าอาการเหล่านั้นยังไม่หาย จนกว่าจะได้ไปพบแพทย์ให้ทำการตรวจสอบร่างกายเสียก่อน

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ

ศุลีพร แซ่ฉั่ว (2529) ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายบางด้านของนักเรียนชาย อายุ 15-17 ปี ภายหลังการฝึกเดินและการฝึกวิ่งเหยาะ โดยใช้สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน กลุ่มที่ 1 ฝึกเดินด้วยอัตราชีพจร 60 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด กลุ่มที่ 2 ฝึกวิ่งเหยาะด้วยอัตราชีพจร 60 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด กลุ่มที่ 3 ฝึกเดินด้วยอัตราชีพจร 70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด และกลุ่มที่ 4 ฝึกวิ่งด้วยอัตราชีพจร 70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ทุกกลุ่มฝึกเป็นเวลา 30 นาที เป็นเวลา 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 5 วัน ทำการทดสอบสมรรถภาพอีกครั้ง แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่า ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01, ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของกลุ่มเดิน 60 เปอร์เซ็นต์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05, อัตราเต้นหัวใจขณะพักของทุกกลุ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01, น้ำหนักของกลุ่มเดิน 60 เปอร์เซ็นต์ ลดลงจากก่อนฝึกอย่างมีนัยสำคัญทีระดับ .05, เปอร์เซ็นต์ไขมันในกลุ่มวิ่งเหยาะทั้งสองกลุ่มลดลงจากก่อนฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ส่วนกลุ่มเดิน 60

เปอร์เซ็นต์ ลดลงจากก่อนฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดเทียบระหว่างก่อนและหลังการฝึก ในกลุ่มวิ่งเหยาะ 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มเดินสองกลุ่ม มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ส่วนกลุ่มวิ่งเหยาะ 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

สุดา กาญจนะวณิชย์ (2543) ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเต้นแอโรบิกแบบมวยไทยกับแบบแรงกระแทกต่ำที่มีต่อสมรรถภาพทางกาย โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตหญิงในหอพักจุฬาฯ อายุ 18-22 ปีที่มีสุขภาพดี จำนวน 40 คน โดยใช้วิธีการจับคู่ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มแอโรบิกมวยไทย กลุ่มสองเป็นกลุ่มแบบแรงกระแทกต่ำ ใช้เวลาจำนวน 10 สัปดาห์ๆละ 3 วันๆละ 45 นาที ทำการวัดสมรรถภาพทางกายหลังทดลอง 5 สัปดาห์ และหลังการทดลอง 10 สัปดาห์ แล้วทำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า กลุ่มแอโรบิกมวยไทย ก่อนการทดลอง หลังทดลอง 5 สัปดาห์ และหลังทดลอง 10 สัปดาห์ ค่าความดันโลหิตบีบตัวขณะพัก เปอร์เซ็นต์ไขมัน สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด ความจุปอด ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนและขา และอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดขณะปั่นจักรยานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05, กลุ่มแรงกระแทกต่ำ ก่อนการทดลอง หลังทดลอง 5 สัปดาห์ และหลังทดลอง 10 สัปดาห์ มีอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ความอ่อนตัว เปอร์เซ็นต์ไขมัน สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดขณะปั่นจักรยาน ความจุปอด ความแข็งแรงขา และอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดขณะปั่นจักรยาน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และหลังการทดลอง 10 สัปดาห์ กลุ่มแอโรบิกมวยไทย มีเปอร์เซ็นต์ไขมันลดลงและสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มแรงกระแทกต่ำอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ศิริลักษณ์ โอตาคาร (2544) ศึกษาผลของการออกกำลังกายปานกลางต่อภาวะการเกิดไดอีนคอนจูเกชั่นของโล-เดนซิตี้ ไลโปโปรตีนในผู้ใหญ่ไทยที่ไม่ได้ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ โดยกลุ่มตัวอย่างที่นำมาศึกษาจำนวน 62 คน (ชาย 26 คนและหญิง 36 คน) มีการวัดการเปลี่ยนแปลงภาวะการเกิดไดอีนคอนจูเกชั่น ไลโปโปรตีน เปรียบเทียบก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที และหลังออกกำลังกาย 2 ชั่วโมง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยานเป็นเวลา 30 นาที สรุปได้ว่าการออกกำลังกายระดับปานกลาง(ความเข้มของการปั่น 50 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดของการใช้ออกซิเจนของบุคคลนั้น) เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมต่อการป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจตีบตัน เนื่องจากไม่ทำให้เกิดภาวะความเครียดต่อการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระ และระยะเวลาอย่างน้อย 30 นาทีมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการเผาผลาญพลังงานของไขมัน โปรแกรมนี้มีประโยชน์ในการให้คำแนะนำต่อบุคคลที่ออกกำลังกายไม่สม่ำเสมอ ซึ่งความหนักระดับปานกลางนี้ จะไม่ส่งผลให้เกิดอันตรายในการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดหัวใจตีบตัน

สุเทพ ชานุ (2545) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีจักรยานของออสตรานด์ กับดรรชนีการวัดค่าการทำงานของหัวใจโดยวิธีใช้เครื่องวัดความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ เป็นนิสิตปริญญาบัณฑิต และบุคลากรของจุฬาฯ จำนวน 120 คน แบ่งกลุ่มอายุออกเป็น 3 กลุ่มๆละ 40 คน ทุกกลุ่มแบ่งเป็น ชาย 20 คน และหญิง 20 คน โดยที่กลุ่มที่ 1 ช่วงอายุ 20 ถึง 29 ปี, กลุ่มที่ 2 ช่วงอายุ 30 ถึง 39 ปี, กลุ่มที่ 3 ช่วงอายุ 40 ถึง50 ปี โดยให้ทุกกลุ่มชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง และวัดอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก ทำการวัดดรรชนีการทำงานของหัวใจด้วยเครื่องวัดความแปรผันของอัตราการเต้นหัวใจ แล้ววัดสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีจักรยานของออสตรานด์ นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่า สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีจักรยานของออสตรานด์ กับดรรชนีการทำงานของหัวใจด้วยเครื่องวัดความแปรผันของอัตราการเต้นหัวใจ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.72 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

นงพะงา ศิวานุวัฒน์ (2548) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการเดินแบบสะสม และแบบต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสุขภาพของหญิงวัยทำงานที่มีระดับเคลื่อนไหวออกกำลังกายน้อยอายุ 45 ถึง 59 ปี จำนวน 40 คน ใช้สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม ออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่หนึ่ง เป็นกลุ่มควบคุม จำนวน 15 คน ดำเนินชีวิตปกติ กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มเดินสะสม จำนวน 11 คน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงๆละ 10 นาที คือ ช่วงเช้า 10 นาที ช่วงกลางวัน 10 นาที และช่วงเย็น 10 นาที สะสม 30 นาทีต่อวัน 3 วันต่อสัปดาห์ และกลุ่มที่สาม เป็นกลุ่มเดินต่อเนื่อง จำนวน 14 คน โดยเดินแบบต่อเนื่อง 30 นาทีต่อวัน 3 วันต่อสัปดาห์ สำหรับกลุ่มที่สองและสาม เดินบนสายพานด้วยความหนักของงาน 65 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ใช้เวลาจำนวน 10 สัปดาห์ ทำการทดสอบสมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสุขภาพก่อนและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 10 แล้วนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า หลังการทดลอง 10 สัปดาห์ พบว่าทั้งสามกลุ่ม มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิต ความอุปอด ความอ่อนตัว ความอดทนของกล้ามเนื้อแขนและขา แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบรายคู่ พบว่า กลุ่มที่หนึ่ง มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดแตกต่างจากกลุ่มที่สอง และกลุ่มที่สาม ทั้งนี้สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มสองและสาม ไม่แตกต่างกัน และตัวแปรส่วนใหญ่ของสมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสุขภาพ ก่อนและหลังการทดลอง 10 สัปดาห์ของทั้งสามกลุ่ม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

เซดล็อค (1991) ทำการศึกษาวิจัยผลที่เกิดจากความหนักที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาในสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนหลังออกกำลังกาย (Excess post-exercise oxygen consumption หรือ EPOC) ในผู้หญิง โดยให้แต่ละคนออกกำลังกายทุกความหนักและแต่ละความหนักไม่ทำในวัน

เดียวกัน จำนวน 7 คน ปั่นจักรยานที่ความหนัก 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak oxygen uptake) ให้ได้พลังงาน 850 กิโลจูล จากนั้นบันทึกค่าการใช้ออกซิเจนพื้นฐานและอัตราการเต้นของหัวใจระหว่าง 10 ถึง 45 นาทีหลังการนั่งพัก ค่าการใช้พลังงานและอัตราการเต้นของหัวใจจะวัดอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งค่าการใช้ออกซิเจนกลับสู่ค่าพื้นฐานจึงหยุด พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ระหว่างการออกกำลังกายต่อความหนักทั้งสองระดับ และได้ค่าการใช้ออกซิเจนหลังออกกำลังกายเฉลี่ย(ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) มีค่าดังนี้คือ 30(17) และ 36(13) กิโลจูล ของความหนัก 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สวาน และคณะ (1997) ทำการศึกษาเพื่อหาความแม่นตรงของเครื่องที่ใช้ในการประมาณค่าการใช้พลังงานระหว่างการออกกำลังกาย 3 รูปแบบคือ การวิ่ง การเดินลู่ และการก้าวเท้า โดยให้ผู้หญิงจำนวน 31 คน อายุเฉลี่ย(ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) คือ 22.6(5) ปี อาสาสมัครแต่ละคนต้องทำการทดสอบหาค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ใช้สมการรีเกรสชั่น (Regression) ระหว่างค่าการใช้พลังงานกับอัตราการเต้นของหัวใจ ในการทำนายการใช้พลังงานจากค่าอัตราการเต้นหัวใจของแต่ละบุคคล ผลการวิจัยปรากฏว่า เครื่องประมาณค่าการใช้พลังงานคำนวณค่าในผู้วิ่งและผู้เดินสูงกว่าค่าจริง แต่กับผู้ก้าวเท้าได้ค่าต่ำกว่าค่าจริง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ไม่มีความเที่ยงตรงต่อการคำนวณค่าการใช้พลังงานเปรียบเทียบกันระกว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ

รอดีกัส (1997) ทำการวิจัยเรื่อง ผลการเต้นแอโรบิกเมื่อเปรียบเทียบกับกายบริหารและการวิ่งเหยาะที่มีต่อชีพจรและเจตคติต่อการออกกำลังกาย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียน เกรด 5 และเกรด 6 เป็นชาย 9 คน และหญิง 17 คน แบ่งเป็นกลุ่มๆละ 13 คน ทั้งสองกลุ่มออกกำลังกายกลุ่มละ 20 นาทีต่อครั้ง และฝึก 1 ถึง 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ผลการวิจัยพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องของชีพจรและเจตคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คัง และคณะ (2002) ได้ศึกษาการใช้พลังงานระหว่างการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานด้วยมือเทียบกับการปั่นจักรยานด้วยเท้า โดยเป็นนักเรียนจำนวน 24 คน มาแบ่งเป็นสองกลุ่ม กลุ่มละ 12 คน แต่ละคนต้องปั่นให้ครบ 3 ความเร็ว ซึ่งแต่ละความเร็วจะทำคนละวันกัน โดยการสุ่มให้ปั่นด้วยความเร็วในการปั่น 40, 60 และ 80 รอบต่อนาที ความเร็วละ 10 นาที และควบคุมความหนักไว้ที่ 50 วัตต์ ค่าการใช้ออกซิเจนคงที่และอัตราส่วนการหายใจ (Respiratory exchange ratio หรือ RER) จะถูกวัดทุกครั้งของการออกกำลังกาย ค่าการใช้พลังงานถูกคำนวณโดยการใช้ค่าการใช้ออกซิเจนที่คงที่ต่อการเปลี่ยนแปลงทางเมแทบอลิซึมที่ได้จากอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ ซึ่งสามารถทำให้ทราบถึงการใช้คาร์โบไฮเดรตและไขมันระหว่างการออกกำลังกาย ผลการวิจัยพบว่า พลังงานและการใช้คาร์โบไอเดรต เมื่อปั่น ณ ความเร็ว 80 รอบต่อนาที มากกว่า 40 รอบต่อนาที ส่วนความเร็วระหว่าง 40 กับ 60 รอบต่อนาที และความเร็วระหว่าง 60 กับ 80 รอบต่อนาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง การปั่นจักรยานด้วยมือและเท้า ส่วนการใช้ไขมันนั้น ไม่มีความ

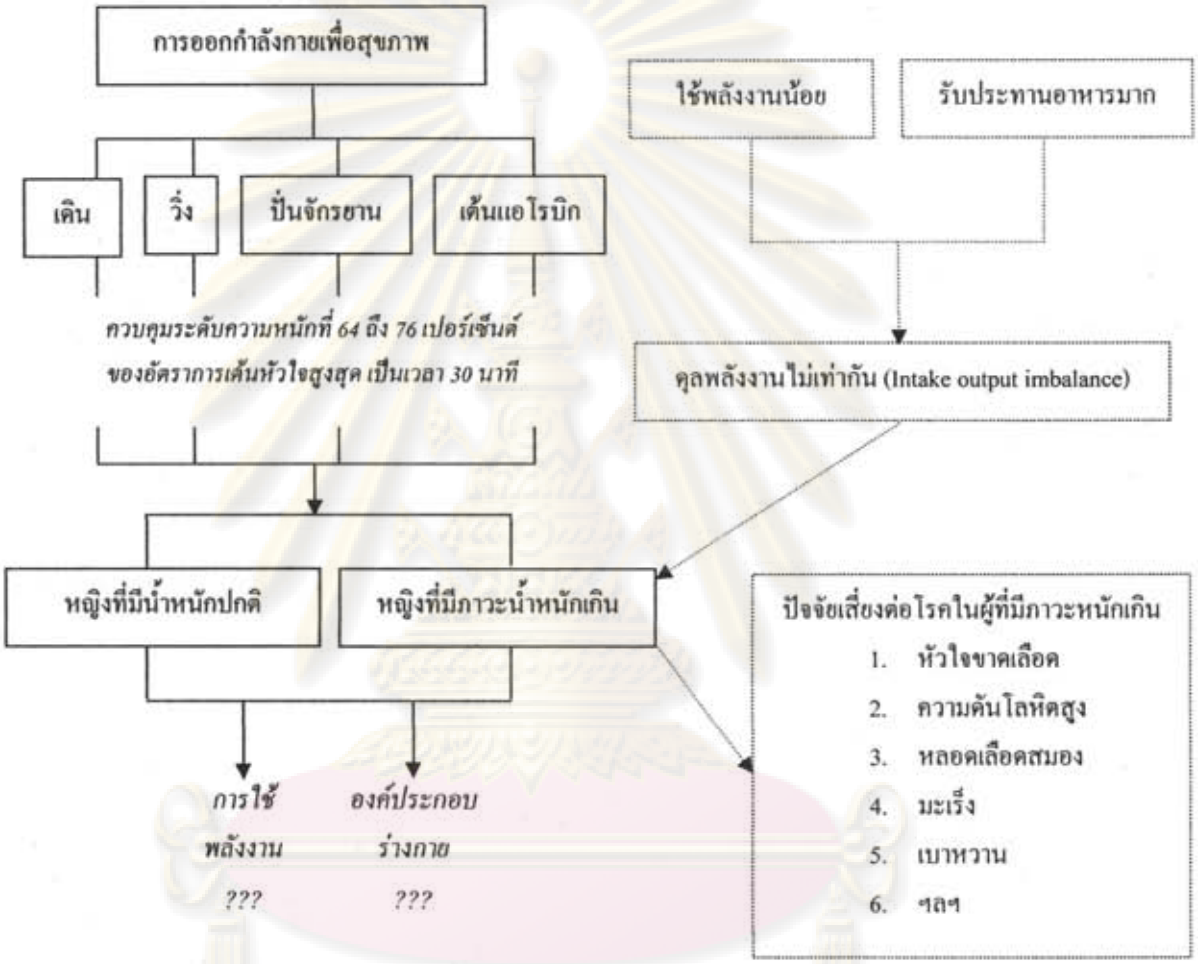
แตกต่างกันในการปั่นด้วยความเร็วทั้งสามระดับ จึงสรุปได้ว่า การปั่นจักรยานที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาทีสามารถใช้พลังงานได้มากที่สุดระหว่างการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานด้วยมือและเท้า และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญต่อการใช้มือหรือเท้าในการปั่นจักรยาน และมีผลต่อการใช้คาร์โบไอเดรตในขณะออกกำลังกาย ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

เจมส์ และ เจนนิเฟอร์ (2006) ทำการวิจัยในเรื่อง การใช้พลังงานด้วยวิธีทำงานที่โต๊ะทำงานพร้อมกับการเดินในผู้ที่มีภาวะโรคอ้วน โดยมีแนวคิดที่ว่า คนส่วนมากใช้เวลาอยู่หน้าคอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมาก จึงคิดว่า การรักษาและป้องกันภาวะโรคอ้วน ควรจะมีการเพิ่มกิจกรรมทางกาย เพราะระดับกิจกรรมทางกายของคนกลุ่มนี้ค่อนข้างต่ำ จึงตั้งสมมุติฐานไว้ว่า การเดินน่าจะเพิ่มการใช้พลังงานมากกว่านั่งทำงาน จึงเกิดแนวคิดในการดำเนินงานวิจัย เป็นลักษณะของการทำงานในแนวดิ่ง (The vertical work station) คือ ให้คนทำงานหน้าคอมพิวเตอร์ในขณะที่กำลังเดินบนเครื่องเดินลู่กลที่กำหนดระดับความเร็วเฉพาะบุคคล ซึ่งเป็นผู้ทำงานนั่งโต๊ะเกือบตลอดเวลา (Sedentary) จำนวน 15 คน เป็นหญิง 14 คน และ ชาย 1 คน (อายุเฉลี่ย 43 ± 7.5 ปี, น้ำหนักเฉลี่ย 86 ± 9.6 กิโลกรัม; ค่าดัชนีมวลกายเฉลี่ย 32 ± 2.6 kg/m^2) ภายใต้เครื่องมือวัดพลังงานขณะพัก โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มนั่งทำงานบนเก้าอี้ทำงาน กับ กลุ่มยืนทำงานหน้าคอมพิวเตอร์ขณะเดินบนลู่กล และทำการบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องวัดค่าองค์ประกอบร่างกาย (Dual X-ray absorptiometry) พบว่า ค่าการใช้พลังงานขณะนั่งทำงานมีค่า 72 ± 10 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ในขณะที่เดินไปทำงานไปที่ความเร็ว 1.1 ± 0.4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าการใช้พลังงาน 191 ± 29 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของการเดินไปทำงานไป มีค่าการใช้พลังงานสูงกว่านั่งทำงานอย่างเดียว 119 ± 25 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง จึงสรุปได้ว่า ถ้านั่งทำงานถูกแทนด้วยการเดินไปทำงานไป การใช้พลังงานจะสูงขึ้น 100 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ถ้าบุคคลที่มีภาวะโรคอ้วนแทนการนั่งทำงานด้วยการเดินทำงานเป็นระยะเวลา 2 ถึง 3 ชั่งโมงต่อหนึ่งวัน จะทำให้ปัจจัยด้านสมดุลพลังงานเกิดอย่างต่อเนื่อง มีโอกาสลดน้ำหนักได้ถึง 20 ถึง 30 กิโลกรัมต่อปี

สควอซ์ และคณะ (2006) ศึกษาเกี่ยวกับการเดินในความหนักระดับต่างๆต่อผลตอบสนองทางเมแทบอลิซึมโดยให้อาสาสมัครจำนวน 16 คน เป็นชาย 10 คน และหญิง 6 คน อายุเฉลี่ย 53 ± 9 ปี โดยขั้นแรกทำการทดสอบหาค่าเฉลี่ยของความหนักสูงสุดของการทดสอบสมรรถภาพทางกายเพื่อคัดกลุ่มตัวอย่าง หลังจากนั้น 2 ถึง 7 วันจะทำการทดสอบการเดินเพื่อหาค่าความเร็วสูงสุดของแต่ละบุคคล (Incremental treadmill walking test) หลังจากนั้นอีก 2 ถึง 7 วัน จะทำการทดสอบการเดินแบบสุ่มกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม ให้เดินที่ความเร็วแตกต่างกัน คือ 70, 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วสูงสุด เป็นเวลา 30 นาที เพื่อหาค่าดังต่อไปนี้ คือ การใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญพลังงาน, อัตราการเต้นของหัวใจ, ความเข้มข้นของกรดแลกติกในเลือด, คาทีโอลามีน (Catecholamine) และ ค่าความเหนื่อย (Rating of perceived exertion หรือ RPE) และสามารถสรุป

ผลการวิจัยได้ว่า การเดินที่ระดับความเร็ว 80 เปอร์เซ็นต์ ของความเร็วสูงสุด มีผลให้ระบบไหลเวียนและปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมทำงานได้ดีที่สุด

กรอบแนวคิดงานวิจัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Design) มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติและเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในหญิงที่มีน้ำหนักปกติ ขั้นตอนการศึกษาวิจัยได้ผ่านการพิจารณาและการคัดกรองงานวิจัยเพื่อเข้ารับการพิจารณาจริยธรรมโดยคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์และการใช้สัตว์ทดลองในการวิจัย กลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย *(ภาคผนวก ง)* ซึ่งประกอบด้วยวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คือ นิสิตหญิงของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อายุระหว่าง 18 ถึง 25 ปี เป็นอาสาสมัคร (Voluntary Samples) จำนวน 26 คน ที่มีสุขภาพร่างกายแข็งแรงสมบูรณ์

ผู้วิจัยใช้เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) โดยใช้ค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI) เป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่มที่มีน้ำหนักตัวปกติ จำนวน 15 คน (ค่าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 18.50 ถึง 24.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

2. กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกิน จำนวน 11 คน (ค่าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 25.00 ถึง 29.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสุขภาพแข็งแรงปราศจากโรคหรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมที่จะออกกำลังกาย โดยประเมินจากแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) ต้องตอบว่า "ไม่เคย" ทุกข้อ จึงจะสามารถผ่านเกณฑ์

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งที่ผู้วิจัยต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกณฑ์การคัดผู้เข้าร่วมวิจัยออกจากการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมการทดลองต่อ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องชั่งน้ำหนักตัวอัตโนมัติ (Automatic weighting scale ยี่ห้อ Tanita)

2. ตลับเมตรวัดส่วนสูง (Height scale)

3. เครื่องวัดความดันโลหิตขณะพัก (Digital blood pressure ยี่ห้อ BP3BTO-A)

4. เครื่องวัดความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย (Brilliant blood pressure solutions ยี่ห้อ Suntecg Medical)

5. แผ่นอิเล็กโทด (Electrode plates ยี่ห้อ Ambu blue sensor SP)

6. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Portable cardiopulmonary gas exchange system ยี่ห้อ Cortex รุ่น Metamax 3B: Breath by breath จากประเทศเยอรมนี)

7. เครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Bioelectrical impedance analyzer ยี่ห้อ Maltron)

8. เครื่องวัดความจุปอด (Spirometer ยี่ห้อ Spiropet)

9. เครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand grip strength dynamometer ยี่ห้อ T.K.K.5001)

10. เครื่องวัดความอ่อนตัว (Flexiometer ยี่ห้อ TKK)

11. เครื่องวัดความแข็งแรงของขาและหลัง (Back & leg strength dynamometer)

12. เครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor ยี่ห้อ Polar รุ่น S610)

13. สายคาดวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Transmitter ยี่ห้อ Polar รุ่น S610)

14. เครื่องเดินลู่กล (Treadmill ยี่ห้อ HP Cosmos Mercury)

15. จักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer ยี่ห้อ Marathon)

16. นาฬิกาจับเวลา (Stop watch ยี่ห้อ FBT)

17. วีดีทัศน์ประกอบการเต้นแอโรบิก (Visual aerobic dance)

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยสามารถแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ทบทวนวรรณกรรมและจัดทำเอกสารสำคัญที่เกี่ยวข้องก่อนเริ่มการวิจัย ดังต่อไปนี้

1.1 ใบยินยอมของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย *(ภาคผนวก ก)*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 ใบบันทึกข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย *(ภาคผนวก ข)*

1.3 แบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย *(ภาคผนวก ค)*

1.4 ใบบันทึกข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะ *(ภาคผนวก จ)*

1.5 ใบบันทึกข้อมูลการออกกำลังกายด้วยการเดิน, การวิ่ง, การปั่นจักรยาน และเต้นแอโรบิก *(ภาคผนวก ฉ - ฌ)*

2. รับสมัครผู้เข้าร่วมวิจัยและทำการจำแนกกลุ่มตัวอย่าง โดยการวัดน้ำหนักและส่วนสูง ซึ่งผู้เข้าร่วมการวิจัยควรแต่งกายในชุดกีฬา เสื้อยืด กางเกงวอร์ม และไม่สวมรองเท้าในขณะทำการวัดค่า เมื่อได้ค่าทั้งสองแล้ว จะนำค่าที่ได้มาหาดัชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI) โดยนำมาคำนวณจากสูตรคือ น้ำหนัก (กิโลกรัม) หารด้วย ส่วนสูง^2 (ตารางเมตร) เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัยออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่มีน้ำหนักตัวปกติ จำนวน 15 คน (ค่าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 18.50 ถึง 24.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกิน จำนวน 11 คน (ค่าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 25.00 ถึง 29.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

เมื่อได้ผู้เข้าร่วมวิจัยตามกำหนดแล้ว ผู้วิจัยอธิบายวัตถุประสงค์ ระเบียบวิธีการ และรายละเอียดในการวัดค่าต่างๆ โดยที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง

3. ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะ โดยก่อนที่ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละบุคคลจะทำการออกกำลังกาย ดังต่อไปนี้ คือ

3.1 น้ำหนัก (กิโลกรัม) โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักตัวอัตโนมัติ (Automatic weighting scale ยี่ห้อ Tanita) *และ ส่วนสูง (เมตร)* โดยใช้ตลับเมตรวัดส่วนสูง (Height scale)

3.2 อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที) ของผู้รับการวิจัย โดยให้ผู้เข้ารับการทดลองนั่งพักในเวลา 5 นาที แล้วจึงใช้เครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor ยี่ห้อ Polar รุ่น S610) และสายคาดวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Transmitter ยี่ห้อ Polar รุ่น S610) เพื่อวัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักเป็นเวลา 1 นาที

3.3 สมรรถภาพการจับออกซิเจนพื้นฐาน (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพักและใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Portable cardiopulmonary gas exchange system ยี่ห้อ Cortex รุ่น Metamax 3B) วัดค่าเป็นเวลา 1 นาที ก่อนทำการทดสอบการออกกำลังกาย (Exercise test)

3.4 ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวในขณะพัก (มิลลิเมตรปรอท) และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวในขณะพัก (มิลลิเมตรปรอท) โดยให้อาสาสมัครนั่งพัก 1 นาที จากนั้นจึงวัดค่าดังกล่าว โดยใช้เครื่องวัดความดันโลหิตขณะพัก (Digital blood pressure ยี่ห้อ BP3BTO-A)

3.5 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน (กิโลกรัม) โดยใช้เครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand grip strength dynamometer ยี่ห้อ T.K.K.5001) วัดค่าจำนวน 3 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.6 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและหลัง (กิโลกรัม) โดยใช้เครื่องวัดความแข็งแรงของขาและหลัง (Back & leg strength dynamometer) วัดค่าจำนวน 3 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.7 ความทนทานของกล้ามเนื้อ (ครั้ง) โดยใช้ท่าดันพื้น (push up) และท่าลุกนั่ง (sit up) ภายในระยะเวลา 30 วินาที แล้วบันทึกจำนวนครั้งที่นับได้

3.8 ความอ่อนตัว (เซนติเมตร) โดยใช้เครื่องวัดความอ่อนตัว (Flexiometer ยี่ห้อ TKK) โดยการนั่งเหยียดขาเท้ายันกล่องไว้แล้วเหยียดแขนให้เลยปลายเท้า แล้วจึงวัดความยาวของปลายนิ้วที่เกินออกมา

3.9 ความจุปอด (มิลลิลิตร) โดยใช้เครื่องวัดความจุปอด (Spirometer ยี่ห้อ Spiropet) วัดค่าจำนวน 3 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.10 การทดสอบการออกกำลังกาย (Exercise test) โดยใช้โปรแกรมการเดินลู่กลแบบบรูซ (Bruce Treadmill Protocol) เพื่อหาค่าการวัด*อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)* และ*สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)* โดยเครื่องวิเคราะห์แก๊สสำหรับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย

4. ผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดต้องออกกำลังกายทุกชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกแบบแรงกระแทกต่ำ (Low impact aerobic dance) โดยการออกกำลังกายทุกชนิดกำหนดความหนักในระดับปานกลาง (Moderate exercise) คือ 64 ถึง 76 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ACSM, 2006) เป็นระยะเวลา 30 นาที และพักระหว่างชนิดของการออกกำลังกาย เป็นเวลา 1 สัปดาห์ (ดังรูปที่ 10) โดยกำหนดค่าความหนักเริ่มต้น (Start load) ไว้ดังนี้ (จากการทำ Pilot study) คือ

4.1 การเดิน ใช้เครื่องเดินลู่กลโดยตั้งค่าเริ่มต้นที่ระดับ 3.0 ไมล์ต่อชั่วโมง (mph) และความชัน 3 เปอร์เซ็นต์

4.2 การวิ่ง ใช้เครื่องเดินลู่กลโดยตั้งค่าเริ่มต้นที่ระดับ 5.0 ไมล์ต่อชั่วโมง (mph) และความชัน 5 เปอร์เซ็นต์

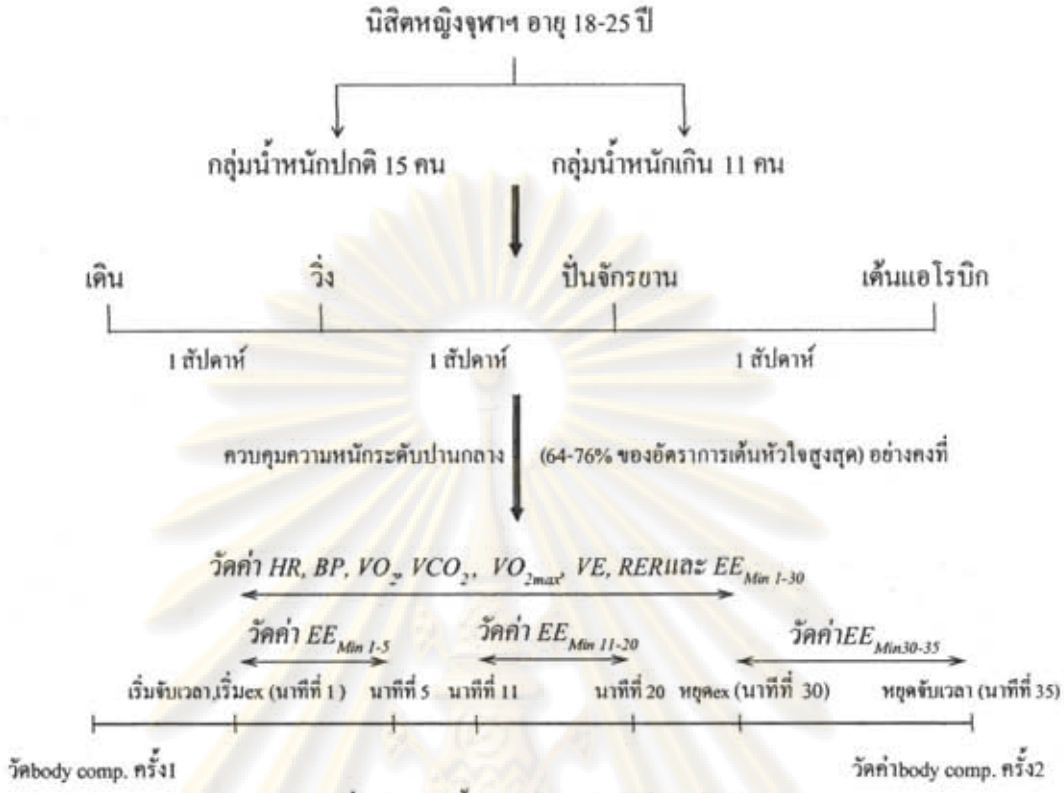
4.3 การปั่นจักรยาน ใช้จักรยานวัดงานตั้งค่าความหนักในการปั่นจักรยานที่ระดับ 50 วัตต์

4.4 การเต้นแอโรบิก ใช้วีดีทัศน์ประกอบ เพลงที่ประกอบการเต้นกำหนดความเร็วของจังหวะดนตรี 136 ถึง 148 จังหวะต่อนาที (Lexic อ้างถึงใน สุดา กาญจนะวณิชย์, 1992)

วิธีการควบคุมความหนักระหว่างการใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส		
การเดินและการวิ่ง	*การปั่นจักรยาน*	*การเต้นแอโรบิก*
ทำการปรับความเร็วและความชันของเครื่องเดินลู่กลตามข้อ 4.1 สำหรับการเดิน และ 4.2 สำหรับการวิ่ง จากนั้นจะเพิ่มความเร็วก่อนทีละ 1.0 ไมล์ต่อชั่วโมง แล้วจึงค่อยเพิ่มความชันทีละ 1 เปอร์เซ็นต์สลับกันไปอย่างละหนึ่งนาที จนกระทั่งถึงอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย จึงหยุดเพิ่มความเร็วและความชัน และคงความเร็วกับความชันนี้ไว้จนครบ 30 นาที	ทำการปรับความหนักของจักรยานวัดงานตามข้อ 4.3 จากนั้นปรับอานจักรยานให้มีความสูงเหมาะสมกับผู้ทดสอบแล้วให้ Subject ปั่นจักรยานที่อัตราความเร็ว 50 รอบต่อนาที (rpm) และค่อยๆเพิ่มความหนักทุกๆนาที นาทีละ 25 วัตต์ จนกระทั่งถึงอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมาย จึงหยุดเพิ่มความหนัก และคงความหนักนี้ไว้จนครบ 30 นาที	ทำการเปิดวีดีทัศน์ประกอบการเต้นแอโรบิก (โดยกำหนดความเร็วของจังหวะดนตรีตามข้อ 4.4) ที่มีระยะเวลาในการเต้นทั้งหมด 30 นาที สำหรับท่าของการเต้นแอโรบิกที่อยู่ในวีดีทัศน์นั้น ควรเป็นแบบแรงกระแทกต่ำทั้งหมด (Low impact aerobic dance) ได้ผ่านการเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิก่อนที่จะนำมาใช้ในการวิจัย
โดยกำหนดให้อย่างช้าที่สุดนาทีที่ 5 ต้องถึงอัตราการเต้นของหัวใจเป้าหมายของการออกกำลังกาย และคงอัตราการเต้นของหัวใจนี้ไปจนถึงนาทีที่ 30		

5. การควบคุมสภาพแวดล้อมในวันที่ทำการออกกำลังกายแต่ละชนิด เพื่อวัดค่าที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน จะเริ่มจากการกรอกข้อมูลส่วนบุคคลเบื้องต้น เช่น ชื่อ อายุ เพศ น้ำหนัก เป็นต้น ทำการวัดค่าองค์ประกอบของร่างกาย , เครื่องวัดความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย แล้วจึงติดเครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ สายคาดวัดอัตราการเต้นของหัวใจ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวิเคราะห์แก๊ส และติดแผ่นอิเล็กโทดที่ใช้กับเครื่องวัดความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย หลังจากนั้นจึงวัดค่าเริ่มต้นในขณะพักของผู้ทดสอบ เป็นเวลา 3 นาที ในห้องเดินสายพาน ต้องควบคุมสภาพแวดล้อมให้มีความเท่ากัน คือ ควบคุมระดับอุณหภูมิให้คงที่ (25 องศาเซลเซียส) หลังจากออกกำลังกายเสร็จ ทำการวัดค่าองค์ประกอบของร่างกายอีกครั้งหนึ่ง *(ภาคผนวก ญ - ฏ)*

6. ตัวแปรที่ต้องการวัดในวันที่มีการออกกำลังกายแต่ละชนิด จะมีการวัดค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่างๆดังต่อไปนี้ (ดังรูปที่ 10)



รูปที่ 10 แสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

6.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องทางสรีรวิทยา ทำการบันทึกค่าทุกๆนาที โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Portable cardiopulmonary gas exchange system ยี่ห้อ Cortex รุ่น Metamax 3B) ได้แก่

- อัตราการเต้นของหัวใจ
- สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน
- สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์
- สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด
- การระบายอากาศ
- อัตราส่วนการหายใจ
- ความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย ใช้เครื่องวัดความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย (Brilliant blood pressure solutions ยี่ห้อ Suntecg Medical) ซึ่งจะทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที เมื่อครบ 30 นาที จึงหยุดบันทึกค่า

6.2 การใช้พลังงานทั้งหมด 4 ช่วง ได้แก่ การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) การใช้พลังงานในช่วงการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) และการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) ซึ่งค่าที่ดังกล่าวในงานวิจัยนี้ จะคำนวณโดยนำค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กำลังกายทั้ง 4 ชนิด มาเปลี่ยนเป็น ค่าการใช้พลังงานของทุกช่วงการออกกำลังกาย (Energy Expenditure - EE) มีหน่วยเป็น กิโลแคลอรี ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการบันทึกผลของเครื่องวิเคราะห์แก๊สในแต่ละนาที โดยที่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย 1 ลิตร จะสามารถเปลี่ยนเป็นการใช้พลังงานเท่ากับ 5 กิโลแคลอรี (Sherry, 1990)

6.3 องค์ประกอบร่างกาย ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมัน โดยใช้เครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Bioelectrical impedance analyzer ยี่ห้อ Maltron) ก่อนและหลังการออกกำลังกายแต่ละชนิด

อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นในการวิจัย

เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมลักษณะของการดำเนินชีวิตของผู้เข้าร่วมวิจัยให้เหมือนกันได้ ดังนั้นในการออกกำลังกายตามรูปแบบที่ผู้วิจัยกำหนด ผู้เข้าร่วมวิจัยอาจจะไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนของการวิจัย ทั้งนี้ผู้วิจัยจะทำการบอกผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นระยะๆ ว่าให้ผู้เข้าร่วมวิจัยพยายามปฏิบัติตามขั้นตอนของการวิจัย เพื่อให้การวิจัยมีความถูกต้องและต่อเนื่อง

ความเสี่ยงและผลข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เพื่อความปลอดภัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย จึงมีการตรวจสอบวิธีดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ เพื่อมิให้เกิดความเสี่ยงใดๆที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย อาจมีผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ แขนขา ในขณะออกกำลังกายและหลังออกกำลังกายเพื่อสุขภาพในแต่ละชนิด หรือไม่มีกำลังและท้อแท้ในระหว่างขณะทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยา หรือรู้สึกอึดอัดหายใจไม่สะดวกขณะทำการทดสอบการออกกำลังกาย (Exercise testing) แต่อาการดังกล่าวจะหายเป็นปกติในเวลาอันสั้น ทั้งนี้ก่อนและหลังการออกกำลังกายทุกครั้งในการออกกำลังกายจะมีการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) และผ่อนคลายกล้ามเนื้อ (Cool down) เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้น หากพบว่ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นระหว่างการออกกำลังกายให้หยุดการออกกำลังกายทันที ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องรีบแจ้งผู้วิจัยทราบโดยเร็ว เพื่อที่ผู้วิจัยจะทำการรับผิดชอบในการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา

การพิทักษ์สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยพบผู้เข้าร่วมวิจัยและแนะนำตัว อธิบายวัตถุประสงค์ และขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการทำวิจัย และชี้แจงให้ทราบว่า การตอบรับหรือการปฏิเสธ การเข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้ จะไม่มีผลต่อผู้เข้าร่วม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิจัย ข้อมูลทุกอย่างจะถือเป็นความลับ และนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น ผลการวิจัยจะเสนอในภาพรวม ผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถแจ้งออกจากการวิจัยได้ก่อนที่การวิจัยจะสิ้นสุดลง โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผลหรือคำอธิบายใดๆ ซึ่งการกระทำดังกล่าวจะไม่มีผลอย่างใดต่อผู้เข้าร่วมวิจัยและครอบครัว และเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเซ็นต์ลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสังคมศาสตร์ (Statistical Package for the Social Science หรือ SPSS) เวอร์ชั่น 14 เพื่อหาค่าสถิติดังนี้

1. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานและตัวแปรต่างๆ ของการออกกำลังกายแต่ละชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่น้ำหนักปกติ

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการใช้พลังงานต่อการออกกำลังกายแต่ละชนิดระหว่างหญิงที่มีน้ำหนักภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ ด้วยการทดสอบค่าที (Independent Sample t – test) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

3. เปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเพื่อสุขภาพระหว่างการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกของผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งสองกลุ่ม ได้แก่ ในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในหญิงที่มีน้ำหนักปกติ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way Analysis of Variance หรือ ANOVA) หากพบความแตกต่างของค่าอย่างน้อยเพียง 1 คู่ จะทำการทดสอบความแตกต่างแบบรายคู่ (Post hoc test) ด้วยวิธีตูกี้ เอ (Tukey A) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

4. เปรียบเทียบองค์ประกอบร่างกายก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเพื่อสุขภาพด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกระหว่างหญิงที่มีน้ำหนักเกินกับหญิงที่มีน้ำหนักปกติ ด้วยการทดสอบค่าทีแบบวัดซ้ำ (Pair t – test) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ผลตามระเบียบวิธีการทางสถิติที่ได้จากการศึกษาผลการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก โดยทำการเปรียบเทียบภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มน้ำหนักปกติ และกลุ่มน้ำหนักเกิน จากนั้นจึงนำผลมาวิเคราะห์เสนอในรูปตารางและแผนภูมิประกอบความเรียง โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 4 ตอน ดังนี้คือ

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องในการออกกำลังกาย (อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ การระบายอากาศ และอัตราส่วนการหายใจ) ของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ 4 ชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก ในแต่ละนาที ระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในการออกกำลังกายแต่ละช่วง ได้แก่ ช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) ช่วงการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) และช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) การใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) รวมถึง สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เปรียบเทียบระหว่างการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกของหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขององค์ประกอบร่างกาย (น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมัน) ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายจำนวนเพื่อสุขภาพ 4 ชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกทั้งในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยาระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยา (Physiological Parameters)	กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)		กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
อายุ (ปี)	19.64	1.96	19.87	1.25	- .366	.718
ส่วนสูง(เมตร)	1.61	0.07	1.60	0.05	.440	.664
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	72.09	12.44	53.15	2.99	5.714	.000*
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที)	86.18	13.83	76.07	12.84	1.922	.067
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวในขณะพัก (มิลลิลิตรปรอท)	119.73	15.58	108.40	11.89	2.106	.046*
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวในขณะพัก (มิลลิลิตรปรอท)	72.45	5.52	61.93	6.39	4.388	.000*

* $p < .05$

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่า กลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ มีค่าเฉลี่ยของอายุ ส่วนสูง อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักที่ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่า กลุ่มน้ำหนักเกินมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก (72.09 ± 12.44 กิโลกรัม) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวในขณะพัก (119.73 ± 15.58 มิลลิเมตรปรอท) และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวในขณะพัก (72.45 ± 5.52 มิลลิเมตรปรอท) ที่มากกว่ากลุ่มน้ำหนักปกติที่มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก (53.15 ± 2.99 กิโลกรัม) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (108.40 ± 11.89 มิลลิลิตรปรอท) และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวในขณะพัก (61.93 ± 6.39 มิลลิลิตรปรอท) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสุขสมรรถนะระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ค่าสุขสมรรถนะ (Health-related Physical Fitness Parameter)	กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)		กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
องค์ประกอบร่างกาย (Body Composition)						
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	27.82	3.08	20.92	1.35	7.756	.000*
เปอร์เซ็นต์ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	37.93	4.10	26.51	2.79	8.458	.000*
ความอ่อนตัว (Flexibility)						
ความอ่อนตัว (เซนติเมตร)	7.91	8.17	7.40	9.05	.147	.884
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular Strength)						
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน (กิโลกรัม)	28.86	5.46	28.37	4.23	.262	.796
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง (กิโลกรัม)	70.15	21.17	58.85	19.98	1.390	.177
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)	83.00	25.97	75.71	25.86	.709	.485
ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular Endurance)						
ดันพื้น (ครั้ง)	20.45	7.75	23.00	6.45	- .913	.370
ลุกนั่ง (ครั้ง)	17.45	5.37	18.27	5.91	- .359	.722
ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและการหายใจ (Cardiorespiratory Endurance)						
ความจุปอด (มิลลิลิตร)	1942.64	537.46	1783.53	332.25	.932	.360
อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ครั้งต่อนาที)	177.36	8.30	179.40	10.06	- .548	.589
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนขณะพัก (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)	5.09	1.30	4.93	1.28	.308	.761
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)	28.64	3.91	33.67	3.98	- 3.211	.004*

* $p < .05$

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 2 พบว่า กลุ่มน้ำหนักเกินมีค่าเฉลี่ยของดัชนีมวลกาย (27.82 ± 3.08 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (37.93 ± 4.10 เปอร์เซ็นต์) ที่มากกว่ากลุ่มน้ำหนักปกติที่มีค่าเฉลี่ยของดัชนีมวลกาย (20.92 ± 1.35 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (26.51 ± 2.79 เปอร์เซ็นต์) แต่พบว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในกลุ่มน้ำหนักเกิน (8.64 ± 3.91 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที) ต่ำกว่ากลุ่มน้ำหนักปกติ (33.67 ± 3.98 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

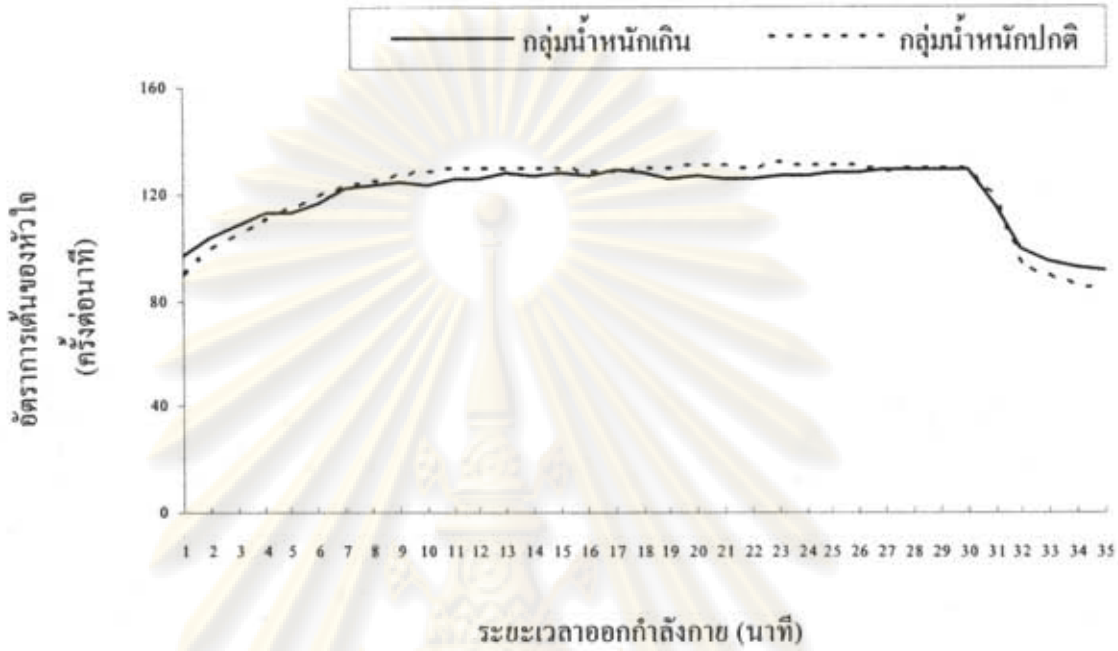
ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องในการออกกำลังกายของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ 4 ชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในแต่ละนาทีระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการเดินในแต่ละนาทีระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

	อัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการเดิน (ครั้งต่อนาที)					
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	97	7.39	89	10.30	2.225	.360
2	104	10.09	99	9.52	1.387	.178
3	108	10.74	104	11.76	.962	.346
4	113	14.24	109	11.45	.709	.485
5	113	14.45	113	13.42	.230	.982
6	117	9.85	119	11.76	.444	.661
7	121	7.19	122	8.76	.128	.900
8	123	6.07	124	7.07	- .316	.755
9	124	6.79	127	6.54	- 1.103	.281
10	123	5.84	128	8.08	- 1.546	.135
11	126	6.43	128	9.23	- .815	.423
12	126	6.29	129	9.99	- .876	.390
13	128	5.10	129	11.58	- .359	.724
14	127	5.68	129	9.16	- .737	.468
15	127	5.50	129	8.51	- .412	.684
16	127	5.05	128	8.66	- .464	.647
17	128	4.72	128	9.75	- .172	.865
18	127	4.36	129	8.20	- .800	.432
19	126	5.65	129	8.62	- .975	.339
20	126	5.20	130	8.84	- 1.216	.236
21	126	4.98	130	9.04	- 1.235	.229
22	126	6.18	129	9.27	- 1.054	.302
23	127	6.83	131	9.43	- 1.315	.201
24	126	5.92	131	8.87	- 1.460	.157
25	128	5.66	130	9.39	- .607	.549
26	128	5.10	130	9.31	- .493	.627
27	129	5.23	128	8.68	.298	.768
28	129	5.60	129	9.04	.059	.954
29	129	5.10	129	8.54	- .250	.805
30	129	6.12	129	9.27	- .072	.944
31	115	9.80	117	10.64	- .626	.537
32	99	16.00	92	14.79	1.074	.293
33	94	17.46	88	11.19	1.013	.321
34	93	16.42	86	9.83	1.365	.185
35	91	18.62	83	9.50	1.257	.230

$p > .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 1 แสดงอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 3 และแผนภูมิที่ 1 พบว่า ค่า $p > .05$ ทุกๆนาทีของการออกกำลังกายด้วยการเดินตั้งแต่นาทีที่ 1-35 (ใช้เวลาในการออกกำลังกาย 30 นาที และพัก 5 นาที) แสดงว่า การออกกำลังกายด้วยการเดินของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีอัตราการเต้นหัวใจไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

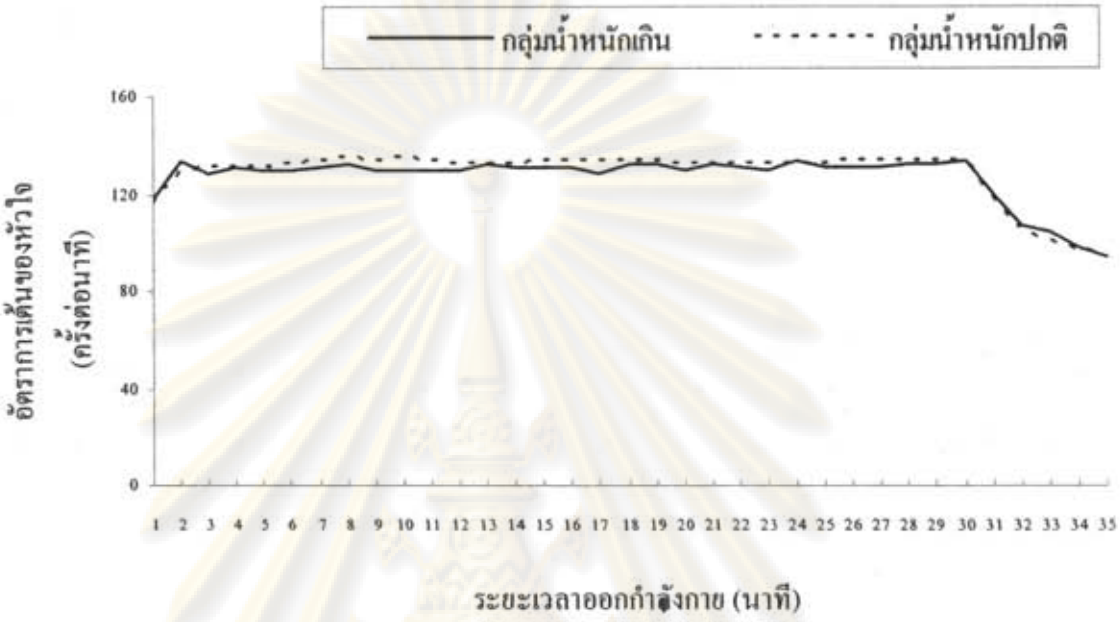
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	อัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง (ครั้งต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	119	9.33	116	14.85	.539	.595
2	133	10.03	129	13.66	.853	.402
3	128	8.66	131	10.67	- .743	.465
4	130	7.86	131	10.23	- .275	.785
5	129	7.78	131	8.84	- .503	.620
6	129	5.28	132	9.15	- .933	.360
7	131	7.14	133	8.63	- .621	.541
8	132	5.67	135	10.52	- .690	.497
9	129	5.92	134	9.25	- 1.371	.183
10	129	7.52	135	10.21	- 1.540	.137
11	130	7.61	133	8.74	- .926	.363
12	130	5.46	132	8.45	- .824	.418
13	132	5.65	132	9.40	- .031	.976
14	131	5.50	132	9.36	- .294	.772
15	131	5.88	133	8.71	- .554	.585
16	131	4.39	133	8.32	- .934	.360
17	128	4.95	133	8.43	- 1.934	.066
18	132	5.45	133	8.63	- .444	.661
19	132	6.62	133	8.08	- .340	.737
20	130	7.52	132	8.40	- .710	.485
21	133	5.37	132	9.30	.238	.814
22	130	5.78	133	7.61	- .858	.399
23	130	5.92	132	8.96	- .699	.491
24	133	6.60	132	8.68	.147	.884
25	131	5.35	132	7.47	- .529	.602
26	131	6.87	133	9.08	- .805	.429
27	130	7.04	133	7.81	- .894	.380
28	131	5.24	134	8.21	- .877	.389
29	132	3.88	134	8.85	- .843	.409
30	133	7.28	133	8.91	- .144	.887
31	120	7.43	117	12.95	.690	.497
32	106	11.13	104	13.58	.467	.645
33	105	10.42	100	13.60	.926	.364
34	98	14.28	97	12.95	.287	.777
35	94	13.79	95	13.43	- .056	.956

$p > .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 2 แสดงอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 4 และแผนภูมิที่ 2 พบว่า ค่า $p > .05$ ทุกๆนาทีของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งตั้งแต่นาทีที่ 1-35 (ใช้เวลาในการออกกำลังกาย 30 นาที และพัก 5 นาที) แสดงว่า การออกกำลังกายด้วยการวิ่งของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีอัตราการเต้นหัวใจไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

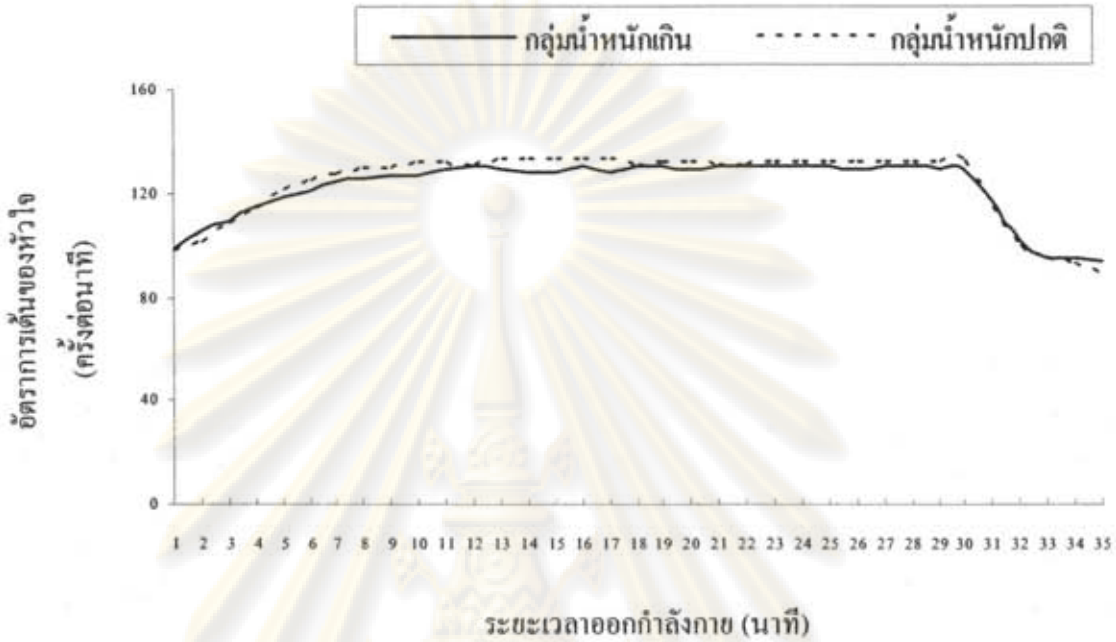
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	อัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน (ครั้งต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	99	10.52	97	11.82	.411	.685
2	106	10.98	100	10.88	1.250	.223
3	109	15.67	108	10.85	.293	.772
4	115	16.91	113	10.89	.198	.845
5	118	13.59	121	10.98	- .640	.528
6	120	9.71	124	11.44	- .883	.386
7	124	7.38	127	11.03	- .762	.453
8	126	7.01	131	8.21	- .793	.435
9	127	6.75	129	10.25	- .605	.551
10	127	5.83	132	9.70	- .497	.147
11	129	5.12	132	10.65	- .882	.387
12	131	4.96	130	7.94	.154	.879
13	130	5.70	133	9.32	- .973	.340
14	128	4.13	133	8.28	- 1.767	.090
15	128	4.83	132	7.61	- 1.610	.120
16	130	4.62	132	8.28	- .791	.437
17	128	6.80	132	8.49	- 1.461	.157
18	130	4.41	131	8.21	- 0.350	.729
19	130	5.55	132	9.22	- .508	.616
20	129	6.00	132	7.64	- .780	.443
21	130	5.97	130	8.33	.018	.985
22	130	6.08	131	9.71	- .206	.839
23	130	4.67	132	9.69	- .588	.562
24	130	4.74	132	9.99	- .479	.637
25	131	5.49	131	9.90	.176	.862
26	130	5.39	131	8.90	- .604	.551
27	130	5.75	131	7.87	- .274	.786
28	130	5.70	131	8.15	- .306	.762
29	130	5.99	132	7.50	- .846	.406
30	129	6.39	133	8.11	- 1.208	.239
31	118	6.22	115	14.45	.744	.465
32	102	11.31	99	8.34	.635	.531
33	95	10.47	94	9.78	.196	.847
34	95	9.65	92	9.72	.575	.571
35	94	11.65	88	8.68	1.300	.206

$p > .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 3 แสดงอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 5 และแผนภูมิที่ 3 พบว่า ค่า $p > .05$ ทุกๆนาทีของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานตั้งแต่นาทีที่ 1-35 (ใช้เวลาในการออกกำลังกาย 30 นาที และพัก 5 นาที) แสดงว่า การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีอัตราการเต้นหัวใจไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	อัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก (ครั้งต่อนาที) กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	95	11.70	98	11.46	- .552	.586
2	108	10.35	109	12.61	- .207	.838
3	115	10.79	117	13.81	- .475	.639
4	114	10.30	119	15.16	- .804	.429
5	114	11.73	116	13.95	- .387	.702
6	115	9.70	115	15.25	- .046	.964
7	125	10.12	121	16.56	.593	.559
8	124	8.53	124	14.46	- .097	.924
9	126	8.31	127	12.31	- .271	.789
10	128	7.80	129	12.84	- .320	.752
11	129	7.24	128	12.81	.127	.900
12	127	7.55	128	9.84	- .351	.729
13	128	6.03	129	15.55	- .332	.743
14	130	6.39	133	12.44	- .751	.460
15	126	7.26	129	10.98	- .580	.567
16	128	7.68	130	10.32	- .507	.617
17	129	6.73	132	10.01	- .830	.415
18	128	5.82	133	8.72	- 1.876	.073
19	128	8.28	128	10.34	.024	.981
20	129	7.16	129	10.32	- .254	.802
21	130	6.30	130	11.82	.009	.993
22	130	7.76	130	13.13	.029	.977
23	127	6.54	128	9.40	- .425	.674
24	128	7.15	131	9.55	- .929	.362
25	125	7.02	131	9.43	- 1.696	.103
26	127	7.37	130	8.38	- 1.082	.290
27	127	4.81	131	8.96	- 1.360	.187
28	131	7.15	131	8.83	-.099	.922
29	126	7.37	131	8.14	- 1.442	.162
30	128	5.47	131	7.70	- 1.184	.248
31	106	13.51	111	14.77	- .800	.432
32	92	10.65	91	12.86	.064	.950
33	90	9.97	88	12.65	.486	.631
34	88	9.06	86	12.21	.395	.696
35	87	11.34	85	12.00	.328	.746

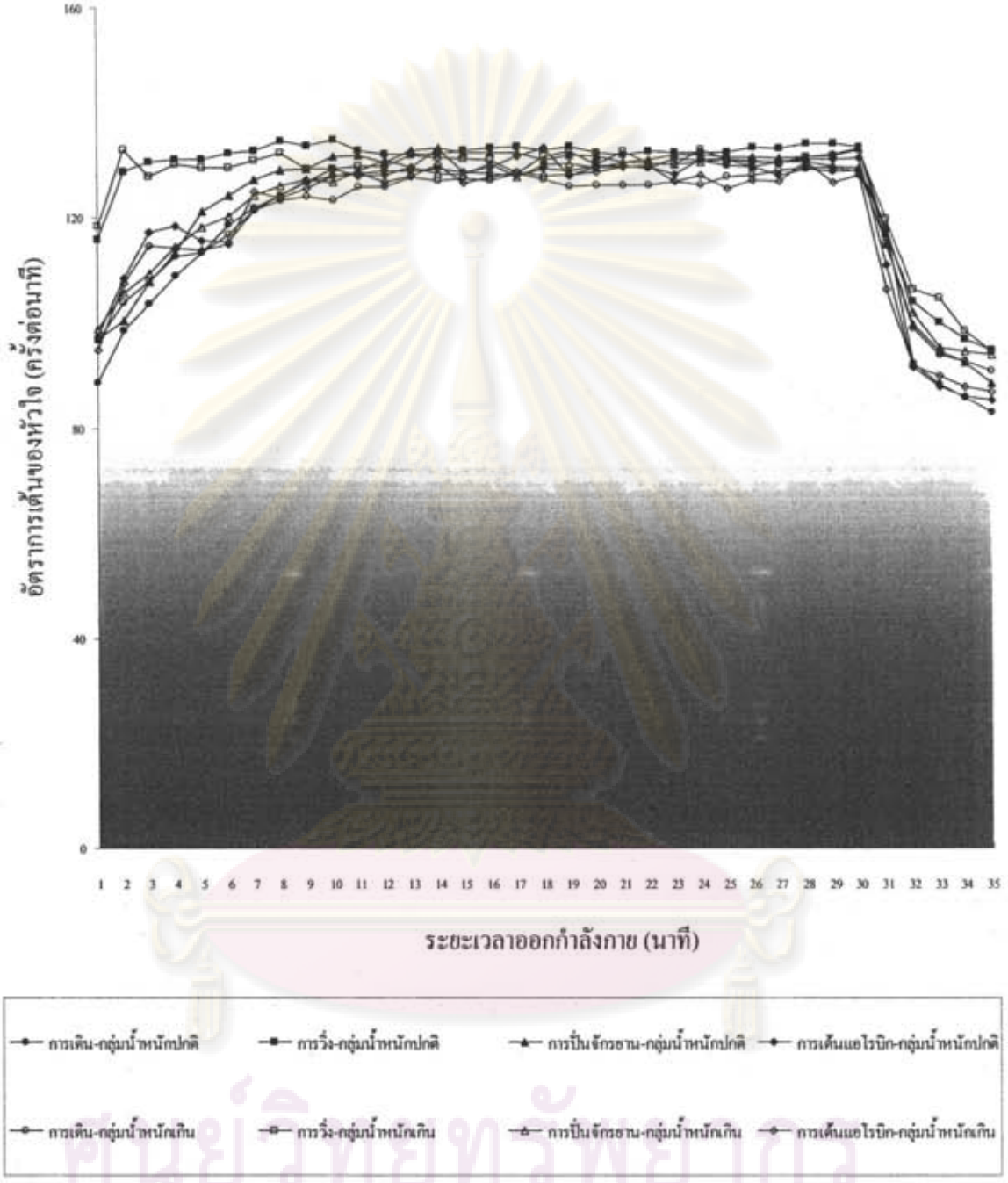
$p > .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4 กราฟแสดงค่าอัตราการเต้นใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 6 และแผนภูมิที่ 4 พบว่า ค่า $p > .05$ ทุกๆนาทีของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกตั้งแต่นาทีที่ 1-35 (ใช้เวลาในการออกกำลังกาย 30 นาที และพัก 5 นาที) แสดงว่า การออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกของกลุ่มน้ำหนักที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีอัตราการเต้นหัวใจไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 5 สรุปรวมกราฟแสดงอัตราการเต้นหัวใจของการออกกำลังกายทุกชนิดระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดิน (มิลลิลิตรปรอท)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
5	124	29.15	126	23.45	- .170	.866
10	128	27.75	136	22.88	- .777	.445
15	120	28.92	134	21.06	- 1.447	.161
20	127	20.75	136	19.54	- 1.196	.244
25	137	32.74	128	23.44	.769	.449
30	145	30.09	138	20.52	.697	.492

$p > .05$

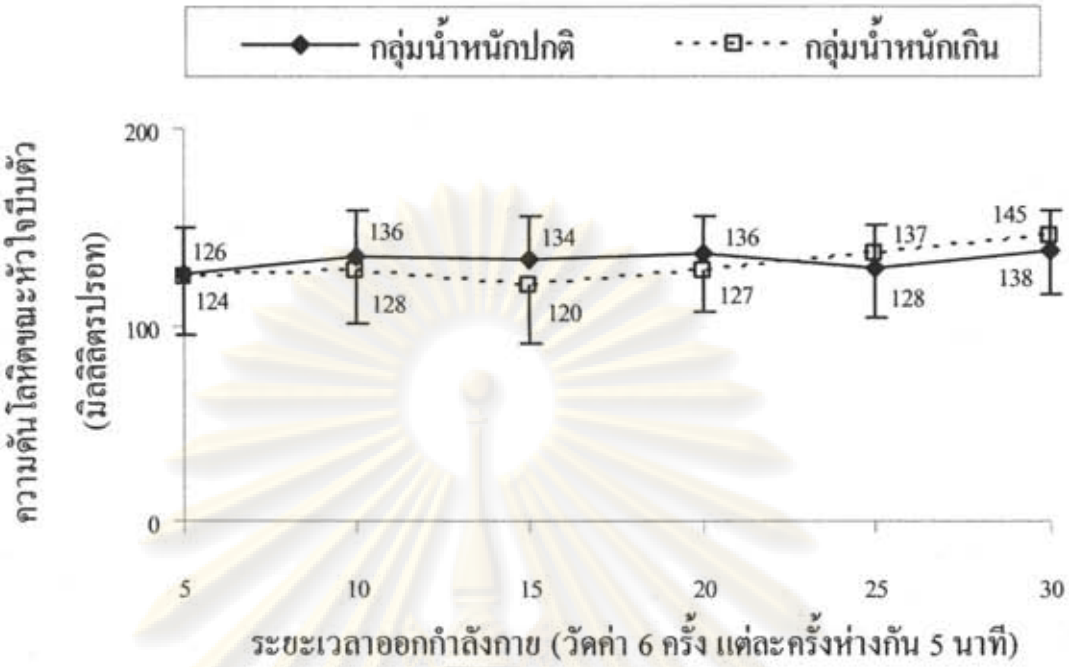
ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดิน (มิลลิลิตรปรอท)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
5	73	19.74	67	10.39	.999	.328
10	67	13.13	68	8.95	- .219	.829
15	66	11.69	65	7.79	.296	.770
20	69	13.78	65	6.20	1.029	.322
25	64	21.03	72	15.55	- 1.149	.262
30	77	20.47	70	16.45	.979	.337

$p > .05$

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 7-8 และแผนภูมิที่ 6-7 พบว่า ค่า $p > .05$ ทุกๆ 5 นาที ของการออกกำลังกายด้วยการเดิน แสดงว่า การออกกำลังกายด้วยการเดินของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกิน มีความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย (ขณะหัวใจบีบตัวและขณะหัวใจคลายตัว) ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 6 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

แผนภูมิที่ 7 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง (มิลลิลิตรปรอท)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
5	143	34.42	116	28.69	2.187	.039*
10	138	33.39	115	29.54	1.883	.072
15	133	31.40	121	21.39	1.137	.267
20	134	21.95	132	22.58	.202	.841
25	134	23.18	132	16.68	.220	.828
30	143	22.91	130	18.76	1.598	.123

* $p < .05$

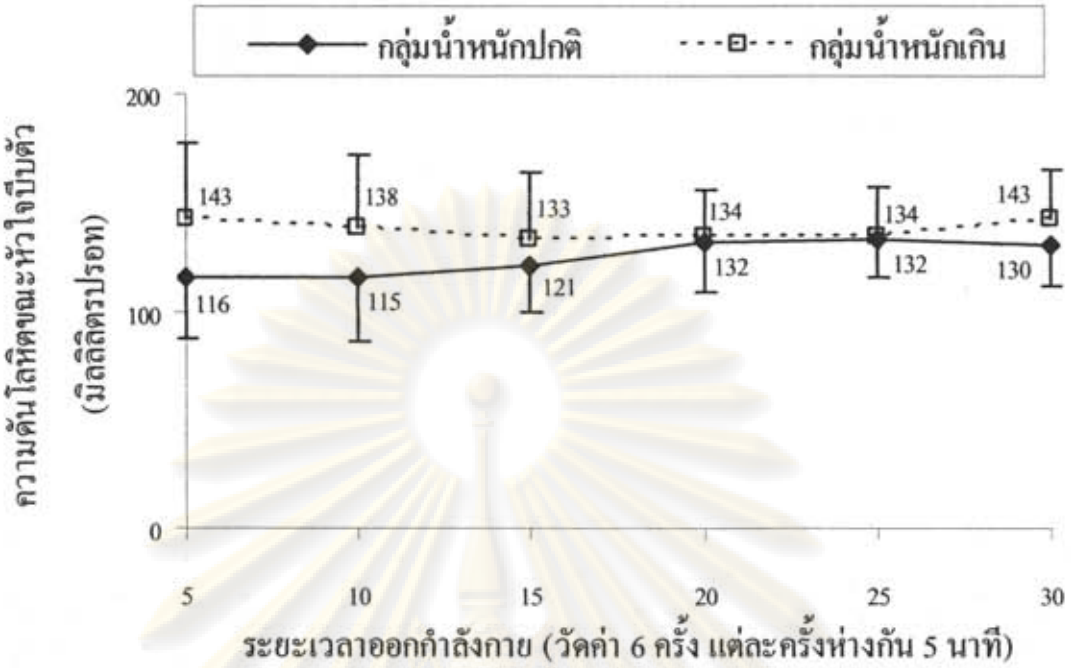
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง (มิลลิลิตรปรอท)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
5	67	13.07	72	18.44	- .794	.435
10	68	12.21	69	15.38	- .223	.825
15	68	17.67	75	17.00	- 1.001	.327
20	70	9.06	69	12.74	.128	.899
25	69	9.44	70	10.31	- .284	.779
30	74	19.44	68	10.01	1.160	.258

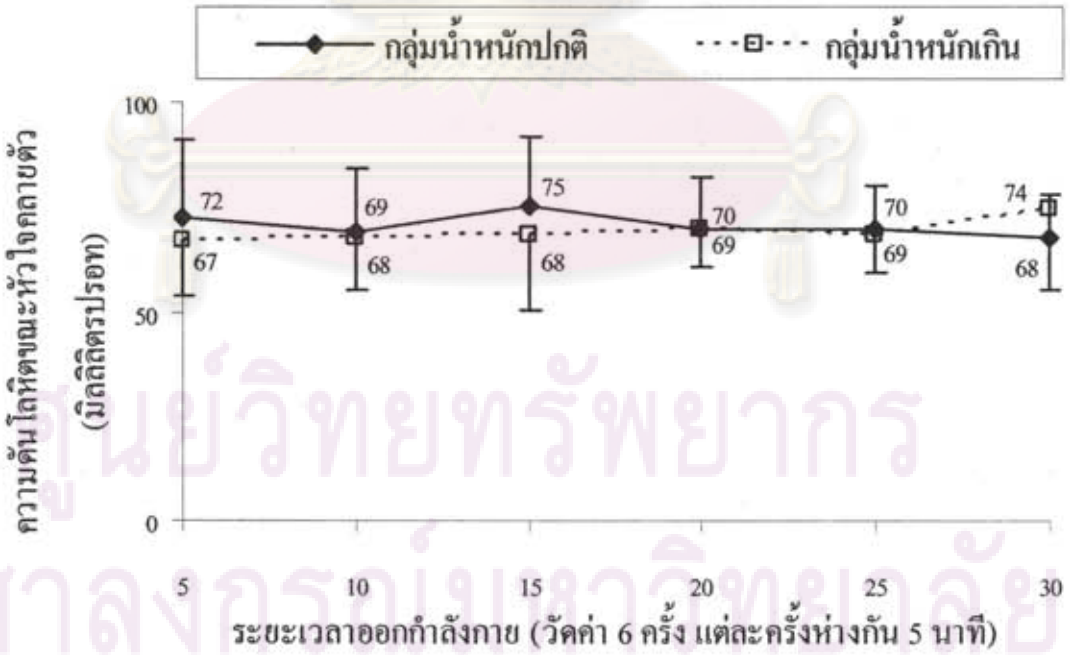
$p > .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 9-10 และแผนภูมิที่ 8-9 พบว่า โดยส่วนมากจะมีค่า $p > .05$ ทุกๆ 5 นาทีของการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง แสดงว่า การออกกำลังกายด้วยการวิ่งของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกิน มีความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย (ขณะหัวใจบีบตัวและขณะหัวใจคลายตัว) ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



แผนภูมิที่ 8 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ



แผนภูมิที่ 9 กราฟแสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน (มิลลิลิตรปรอท)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
5	134	18.76	123	23.75	1.312	.202
10	138	18.34	134	18.91	.509	.615
15	140	20.83	136	17.74	.597	.556
20	141	17.44	135	18.51	.933	.360
25	136	19.75	131	17.09	.767	.450
30	136	16.70	131	16.88	.784	.441

$p > .05$

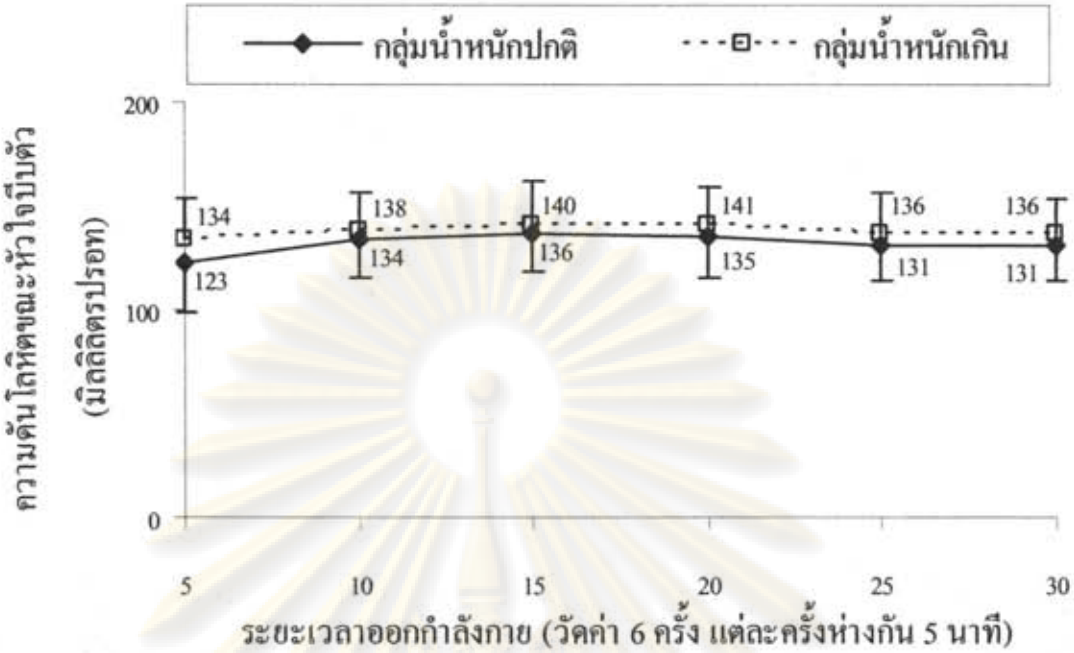
ตารางที่ 12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน (มิลลิลิตรปรอท)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
5	65	13.06	68	11.20	- .765	.452
10	66	11.30	68	11.06	- .583	.565
15	61	8.51	62	8.62	- .043	.966
20	63	9.19	65	9.71	- .375	.711
25	62	9.79	64	10.16	- .503	.619
30	64	11.58	64	9.60	- .096	.924

$p > .05$

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 11-12 และแผนภูมิที่ 10-11 พบว่า ค่า $p > .05$ ทุกๆ 5 นาทีของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน แสดงว่า การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกิน มีความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย (ขณะหัวใจบีบตัวและขณะหัวใจคลายตัว) ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 10 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

แผนภูมิที่ 11 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก (มิลลิลิตรปรอท)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
5	116	36.87	125	21.99	- .839	.410
10	131	19.26	120	23.58	1.318	.200
15	142	17.64	123	23.21	2.273	.032*
20	133	26.05	118	18.73	1.676	.107
25	136	22.22	130	15.67	.775	.446
30	132	21.94	132	17.94	.033	.974

* $p < .05$

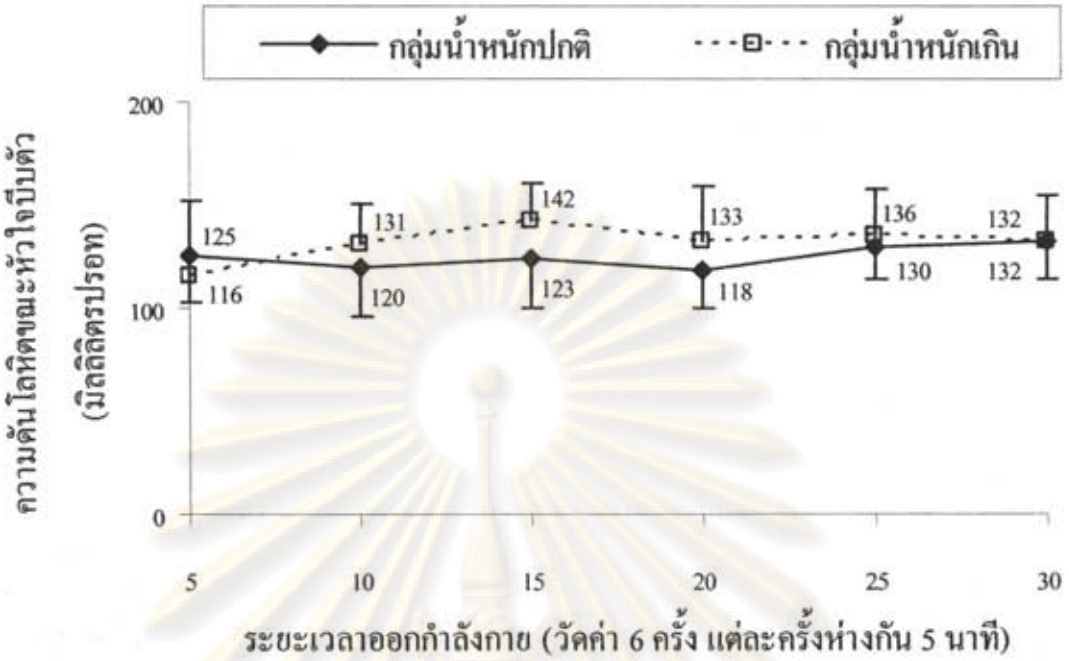
ตารางที่ 14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก (มิลลิลิตรปรอท)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
5	70	15.81	73	13.53	- .504	.619
10	77	13.12	70	18.45	1.214	.237
15	79	13.53	69	14.68	1.805	.084
20	72	8.60	74	15.22	- .482	.634
25	75	7.79	65	10.06	2.879	.008*
30	79	18.57	68	10.27	1.907	.069

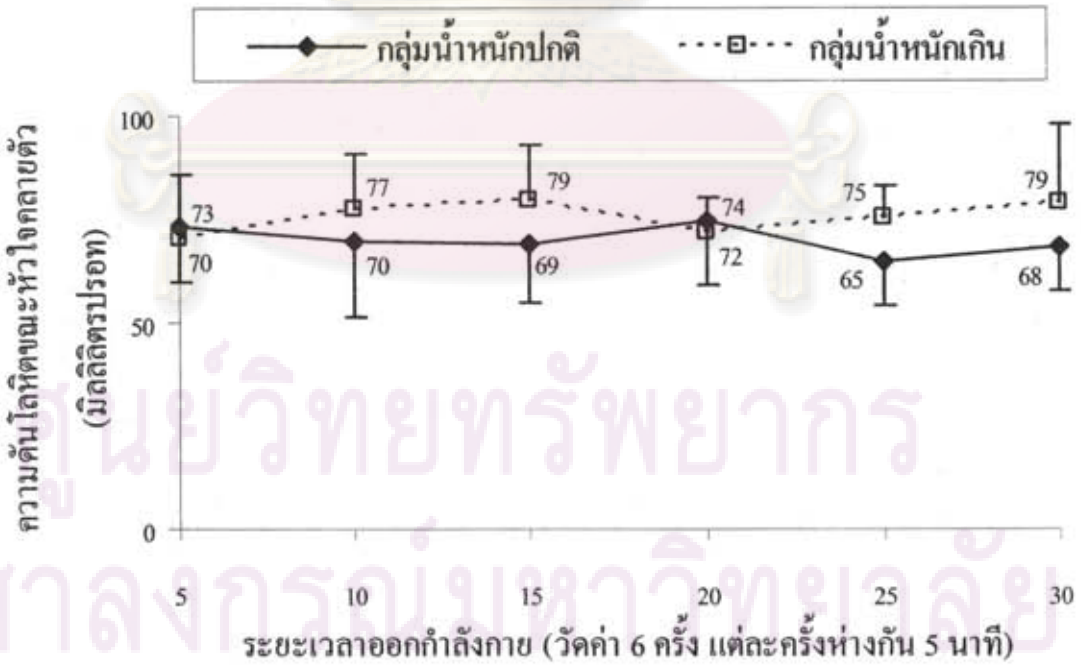
* $p < .05$

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 13-14 และแผนภูมิที่ 12-13 พบว่า ส่วนมากค่า $p > .05$ ทุกๆ 5 นาทีของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก แสดงว่า การออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก ของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกิน มีความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย (ขณะหัวใจบีบตัวและขณะหัวใจคลายตัว) ไม่แตกต่างกับกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

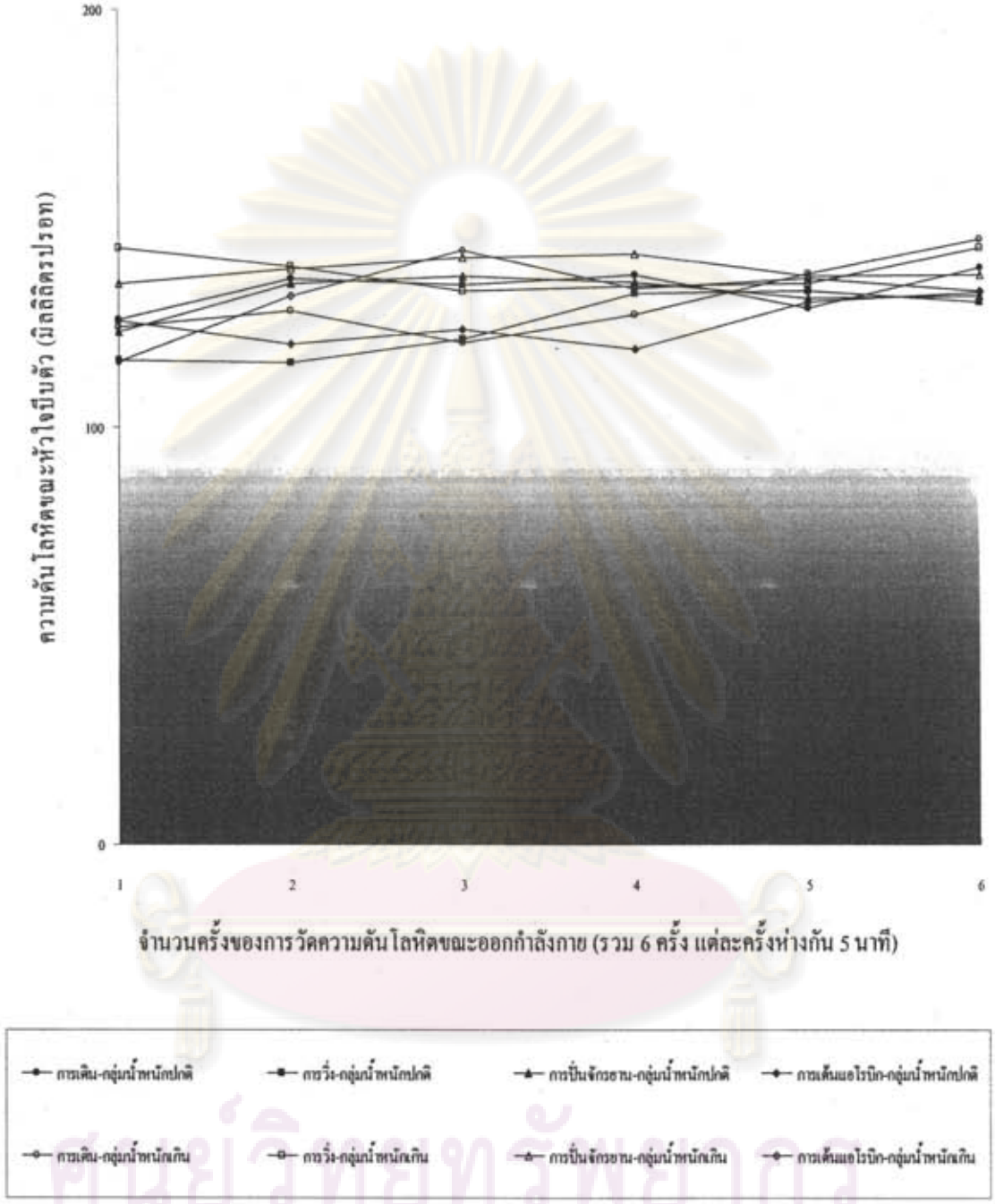


แผนภูมิที่ 12 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ



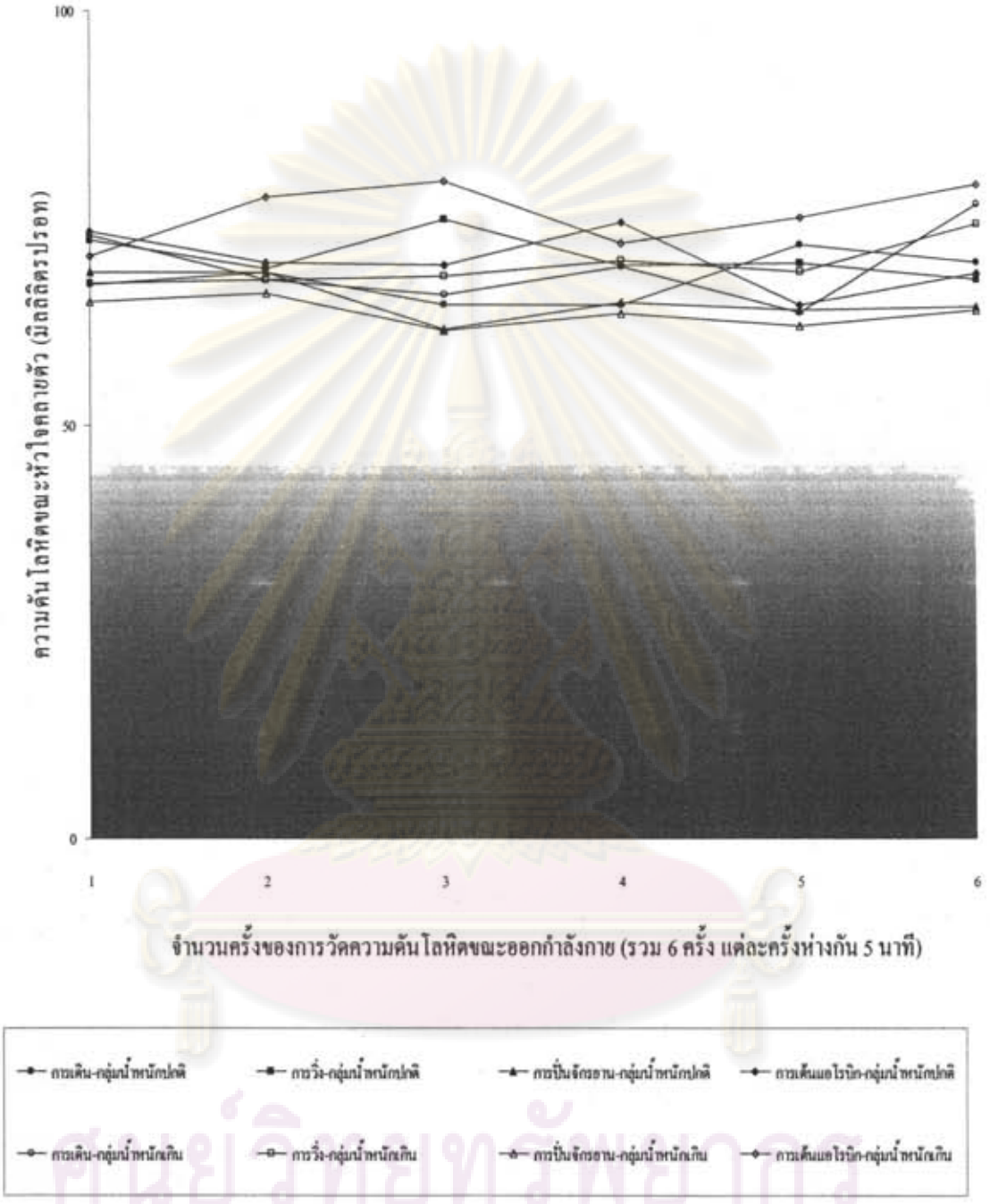
แผนภูมิที่ 13 แสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 14 สรุปรวมกราฟแสดงความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 15 สรุปรวมกราฟแสดงความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

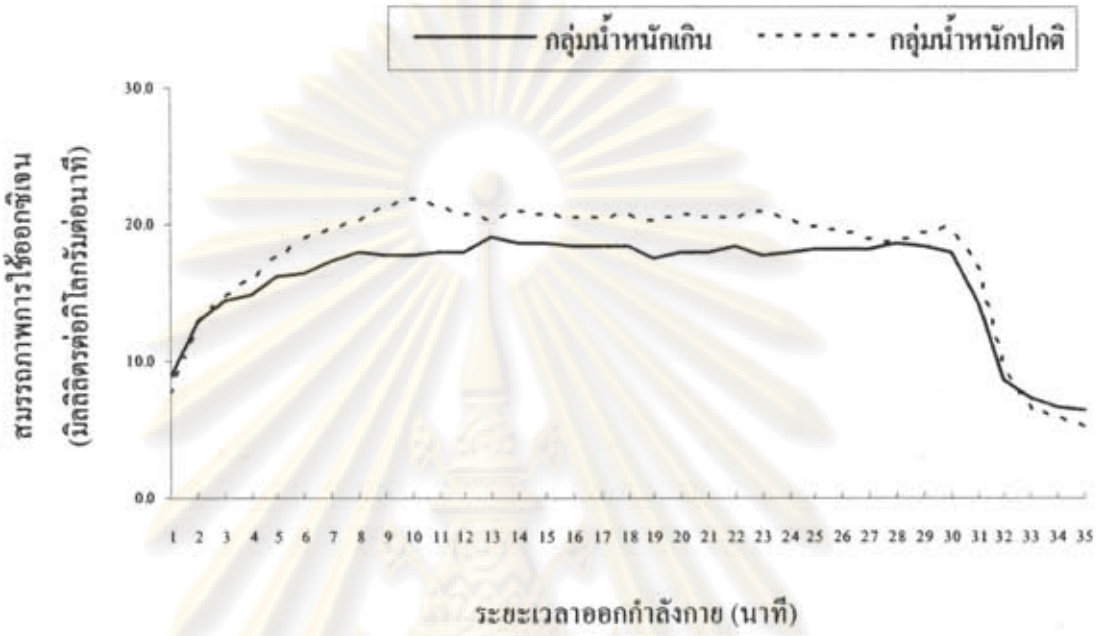
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเดิน (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	9.0	1.48	7.5	2.03	.027	.054
2	13.0	3.55	12.6	2.44	.341	.736
3	14.5	3.64	14.7	2.87	- .219	.829
4	14.8	4.24	16.0	2.78	- .860	.398
5	16.2	3.31	17.5	2.97	- 1.038	.310
6	16.4	3.32	18.9	2.94	- 2.084	.048*
7	17.3	2.80	19.5	2.61	- 2.053	.051
8	18.1	2.81	20.3	2.49	- 2.085	.048*
9	17.8	2.86	21.3	3.28	- 2.791	.010*
10	17.8	2.60	21.9	3.96	- 2.947	.007*
11	17.9	2.26	21.3	3.42	- 2.887	.008*
12	18.0	2.90	20.6	2.38	- 2.509	.019*
13	19.1	3.05	20.3	2.37	- 1.107	.279
14	18.6	2.80	21.0	2.45	- 2.288	.031*
15	18.6	3.26	20.7	3.20	- 1.585	.126
16	18.5	2.77	20.5	2.80	- 1.879	.072
17	18.4	2.87	20.4	2.06	- 2.108	.046*
18	18.4	2.46	20.6	2.97	- 2.034	.053
19	17.5	3.17	20.3	2.53	- 2.496	.020*
20	18.0	3.13	20.7	3.33	- 2.068	.050
21	18.0	3.07	20.5	2.36	- 2.323	.029*
22	18.5	3.30	20.5	2.64	- 1.707	.101
23	17.8	2.86	20.9	3.41	- 2.458	.022*
24	17.9	3.24	20.3	3.08	- 1.887	.071
25	18.2	2.93	19.9	2.90	- 1.458	.158
26	18.2	2.79	19.5	2.85	- 1.146	.263
27	18.2	3.22	18.9	5.21	- .384	.704
28	18.7	3.69	18.7	4.50	.037	.971
29	18.5	3.53	19.3	2.63	- .598	.556
30	18.1	3.14	19.8	2.62	- 1.509	.144
31	14.3	3.20	16.6	2.03	- 2.272	.032*
32	8.7	4.20	9.3	3.01	- .382	.706
33	7.3	4.65	6.5	1.25	.560	.586
34	6.6	4.11	5.8	1.42	.648	.530
35	6.5	4.68	5.1	1.06	1.065	.298

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 16 แสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 15 และแผนภูมิที่ 16 พบว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนในขณะออกกำลังกายด้วยการเดินตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 6, 8-12, 14, 17, 19, 21, 23 และ 31 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเดินต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นเวลา 12 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

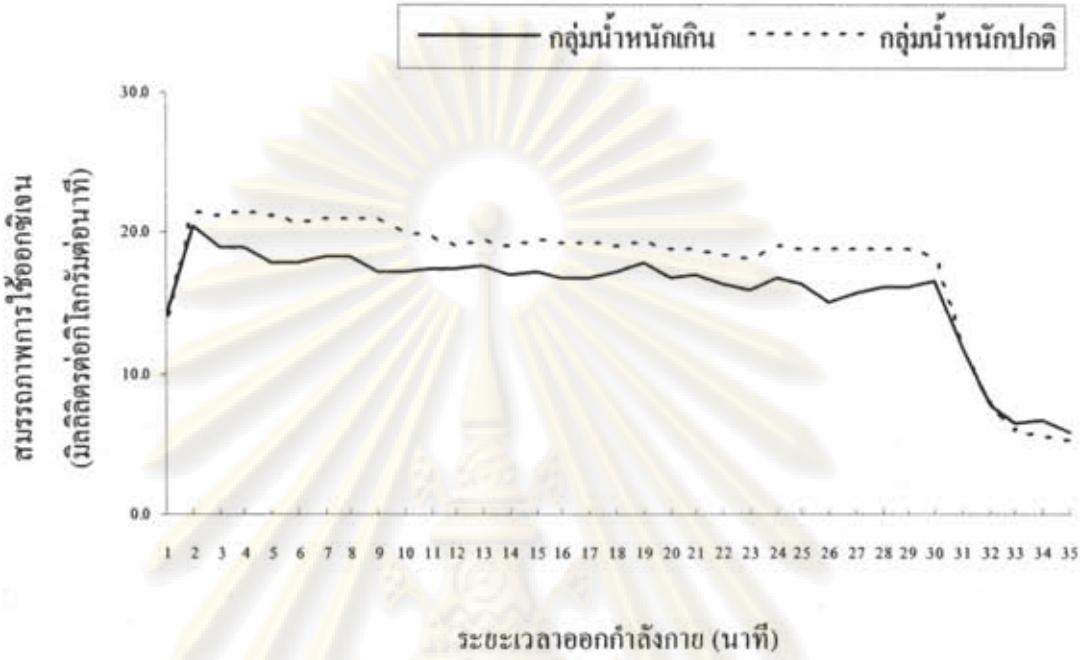
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	14.1	12.73	12.7	2.74	1.140	.265
2	20.5	3.72	21.3	3.20	- .597	.556
3	18.9	3.78	21.1	3.08	- 1.603	.122
4	19.0	3.03	21.3	3.99	- 1.622	.118
5	18.0	2.65	21.1	4.11	- 2.160	.041*
6	17.8	3.25	20.8	4.46	- 1.878	.073
7	18.4	4.13	21.0	4.24	- 1.583	.127
8	18.3	3.10	20.9	3.91	- 1.818	.081
9	17.3	3.20	20.9	3.79	- 2.595	.016*
10	17.2	3.22	20.1	3.92	- 1.995	.058
11	17.5	2.62	19.7	4.27	- 1.563	.131
12	17.5	2.81	18.9	3.65	- 1.120	.274
13	17.6	3.17	19.5	3.42	- 1.389	.177
14	17.1	3.14	19.1	3.24	- 1.555	.133
15	17.4	3.53	19.3	4.06	- 1.289	.210
16	16.7	2.80	19.1	3.94	- 1.726	.097
17	16.9	2.66	19.3	3.86	- 1.739	.095
18	17.2	2.71	19.1	3.56	- 1.470	.155
19	17.8	3.09	19.1	3.89	- .926	.364
20	16.9	2.95	18.8	3.55	- 1.438	.163
21	17.0	3.19	18.7	3.75	- 1.237	.228
22	16.5	2.70	18.4	3.29	- 1.603	.122
23	15.9	2.95	18.2	3.93	- 1.623	.118
24	16.8	3.16	18.9	3.97	- 1.458	.158
25	16.4	2.84	18.8	3.93	- 1.745	.094
26	15.2	3.43	18.7	3.86	- 2.425	.023*
27	15.7	3.61	18.7	3.95	- 1.986	.059
28	16.3	2.80	18.8	4.04	- 1.781	.088
29	16.2	2.86	18.9	4.03	- 1.884	.072
30	16.6	3.88	18.3	3.99	- 1.083	.290
31	11.9	3.02	11.7	3.35	.138	.892
32	7.8	2.56	7.5	3.58	.224	.824
33	6.5	3.08	5.7	1.39	.816	.429
34	6.6	2.77	5.5	1.19	1.471	.154
35	5.7	2.83	5.1	0.83	.773	.447

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 17 แสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 16 และแผนภูมิที่ 17 พบว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนในขณะออกกำลังกายด้วยการวิ่งตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 5, 9 และ 26 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 3 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

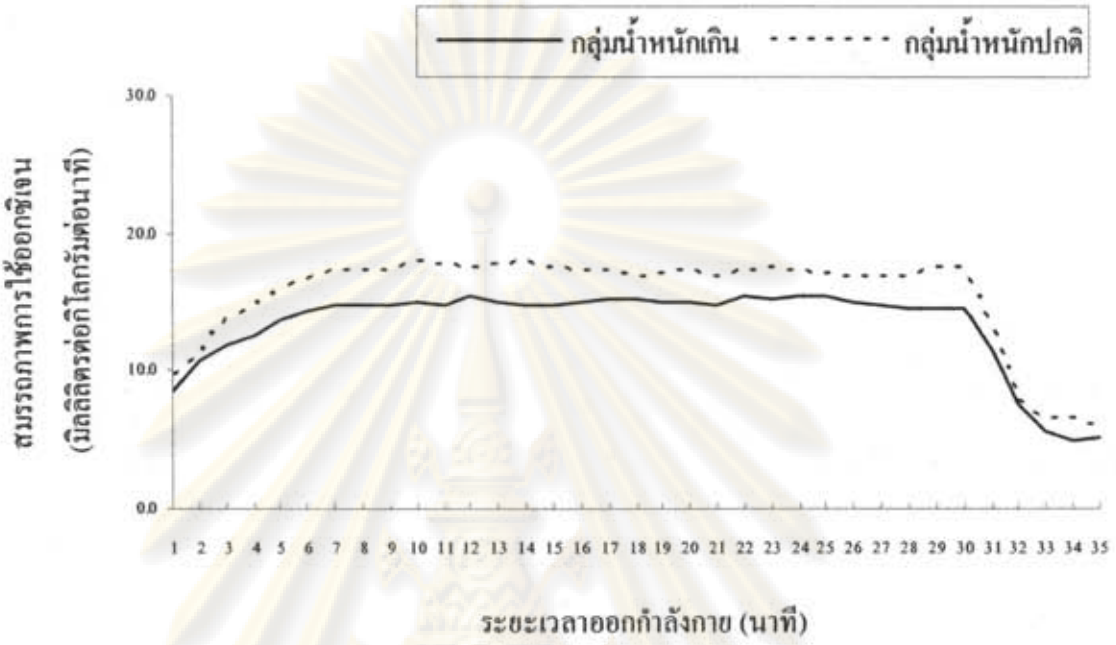
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	8.5	0.93	9.5	1.19	- 2.285	.031*
2	10.6	3.04	11.1	1.13	- .517	.615
3	11.9	3.81	13.8	2.04	- 1.637	.115
4	12.5	4.41	14.5	2.45	- 1.421	.168
5	13.5	3.45	15.8	2.08	- 2.079	.048*
6	14.3	2.72	16.7	1.72	- 2.749	.011*
7	14.8	2.86	17.3	2.34	- 2.400	.025*
8	14.8	3.25	17.2	3.00	- 1.930	.066
9	14.8	3.12	17.2	3.51	- 1.789	.086
10	14.9	2.95	17.9	3.48	- 2.278	.032*
11	14.8	2.52	17.7	3.43	- 2.380	.026*
12	15.5	3.67	17.5	3.52	- 1.350	.190
13	14.9	3.02	17.6	3.62	- 2.004	.056
14	14.7	2.97	18.0	3.36	- 2.574	.017*
15	14.7	2.76	17.5	2.88	- 2.500	.020*
16	14.9	2.77	17.3	2.69	- 2.182	.039*
17	15.2	2.71	17.2	2.83	- 1.826	.080
18	15.2	3.16	16.9	3.23	- 1.327	.197
19	14.9	2.51	16.9	3.22	- 1.733	.096
20	14.9	2.30	17.2	3.10	- 2.066	.050
21	14.8	3.54	16.8	2.91	- 1.566	.131
22	15.5	3.05	17.1	3.00	- 1.402	.174
23	15.3	3.52	17.5	3.40	- 1.601	.122
24	15.5	3.24	17.3	2.92	- 1.549	.134
25	15.4	2.94	17.0	3.05	- 1.372	.183
26	15.0	2.79	16.8	2.68	- 1.663	.109
27	14.7	2.20	16.9	2.33	- 2.372	.026*
28	14.5	2.11	16.9	3.11	- 2.216	.036*
29	14.6	2.34	17.5	2.90	- 2.661	.014*
30	14.5	2.34	17.4	3.64	- 2.345	.028*
31	11.4	3.04	12.9	2.69	- 1.393	.176
32	7.6	2.11	7.7	2.43	- .106	.916
33	5.6	0.92	6.4	1.45	- 1.526	.140
34	4.8	0.75	6.4	2.16	- 2.623	.017*
35	5.2	1.66	5.9	1.55	- 1.079	.291

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 18 แสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 17 และแผนภูมิที่ 18 พบว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนในขณะออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่มในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 1, 5-7, 10-11, 14-16, 27-30 และ 34 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 14 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

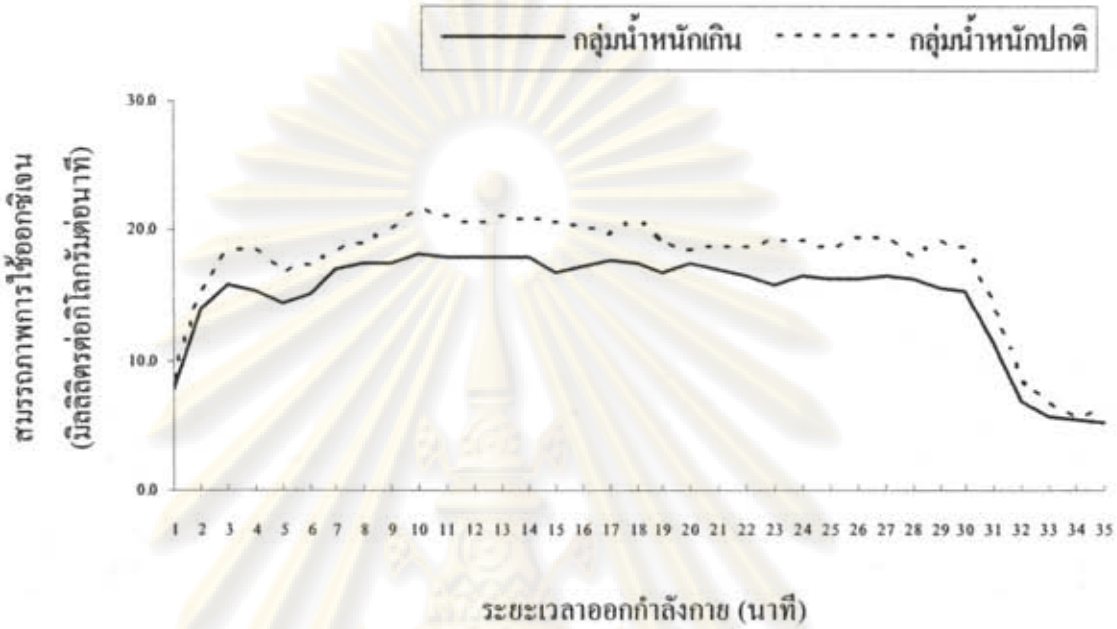
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	7.8	3.31	8.6	1.50	- .812	.425
2	13.9	2.70	15.2	2.01	- 1.401	.174
3	15.9	2.12	18.3	2.89	- 2.349	.027*
4	15.4	1.91	18.3	2.66	- 3.144	.004*
5	14.4	1.63	16.9	2.97	- 2.520	.019*
6	15.1	1.87	17.1	2.83	- 2.082	.048*
7	17.0	2.32	18.4	3.68	- 1.186	.247
8	17.5	2.58	18.8	2.40	- 1.276	.214
9	17.5	3.45	20.0	2.54	- 2.097	.047*
10	18.3	2.80	21.6	3.31	- 2.697	.013*
11	17.9	3.39	21.0	4.96	- 1.781	.088
12	18.0	3.16	20.4	3.25	- 1.882	.072
13	17.9	2.74	20.9	3.58	- 2.343	.028*
14	18.0	3.07	20.8	4.13	- 1.895	.070
15	16.8	2.82	20.6	3.02	- 3.242	.003*
16	17.3	2.37	20.2	3.63	- 2.329	.029*
17	17.6	2.73	19.6	3.29	- 1.611	.120
18	17.5	2.16	20.7	2.91	- 3.144	.004*
19	16.8	2.56	18.9	2.72	- 1.943	.064
20	17.5	3.24	18.3	4.82	- .469	.643
21	17.1	2.81	18.7	3.81	- 1.158	.258
22	16.6	3.20	18.7	3.35	- 1.607	.121
23	15.7	2.33	19.2	3.51	- 2.847	.009*
24	16.5	2.73	19.1	4.58	- 1.664	.109
25	16.3	2.37	18.5	4.27	- 1.533	.138
26	16.3	2.53	19.3	4.10	- 2.183	.039*
27	16.5	2.66	19.5	5.04	- 1.800	.084
28	16.4	2.42	18.1	3.88	- 1.280	.213
29	15.6	2.66	19.1	5.19	- 2.001	.057
30	15.5	2.02	18.7	3.67	- 2.670	.013*
31	11.3	2.57	14.1	2.76	- 2.621	.015*
32	6.9	1.38	8.3	1.71	- 2.166	.040*
33	5.7	1.49	6.6	0.99	- 1.801	.084
34	5.5	1.51	5.7	0.96	- .576	.570
35	5.2	1.54	5.9	1.30	- 1.228	.231

* $p < .05$

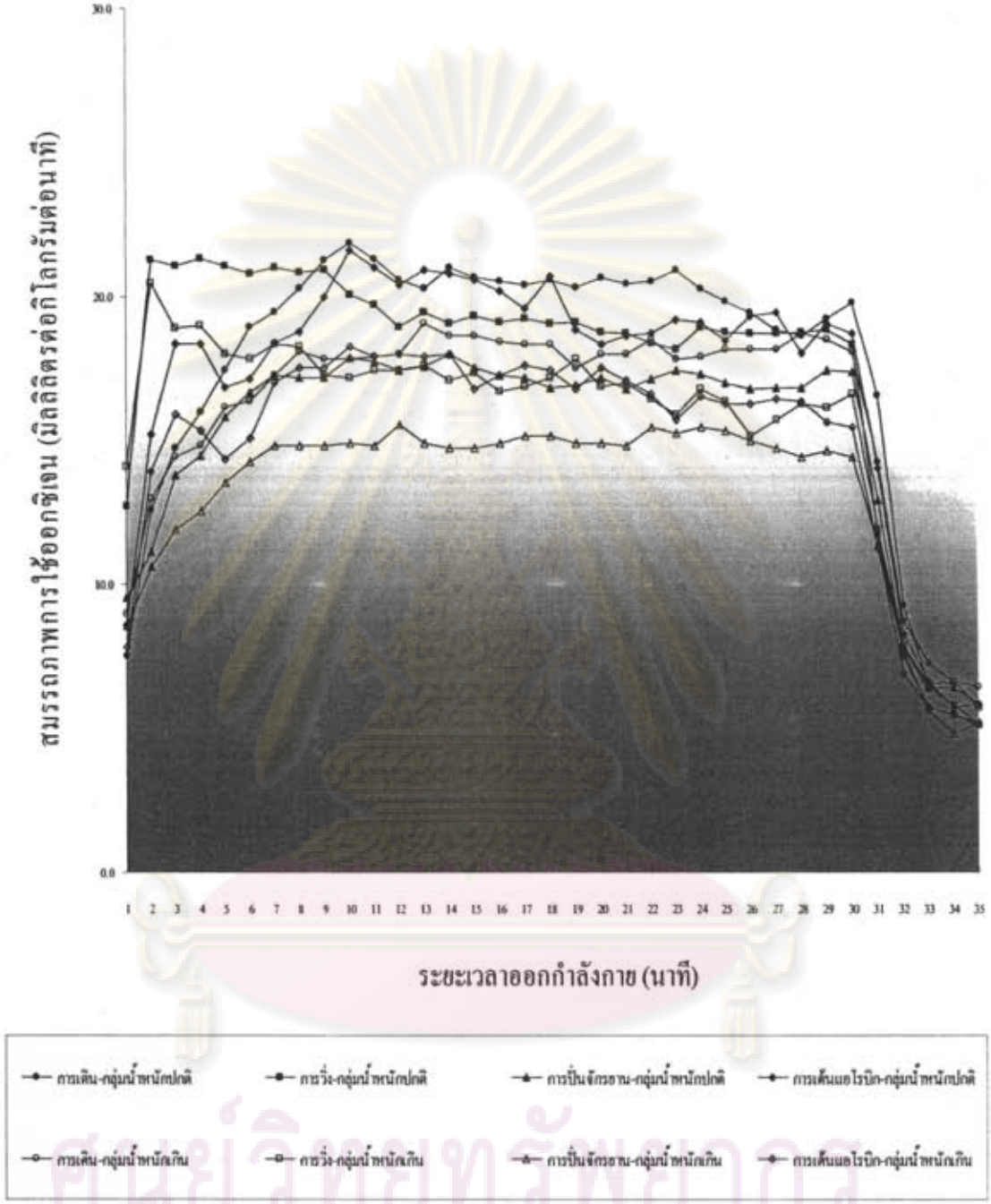
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 19 แสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 18 และกราฟที่ 19 พบว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนในขณะออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 3-6, 9-10, 13, 15-16, 18, 23, 26 และ 30-32 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 15 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 20 สรุปรวมกราฟแสดงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

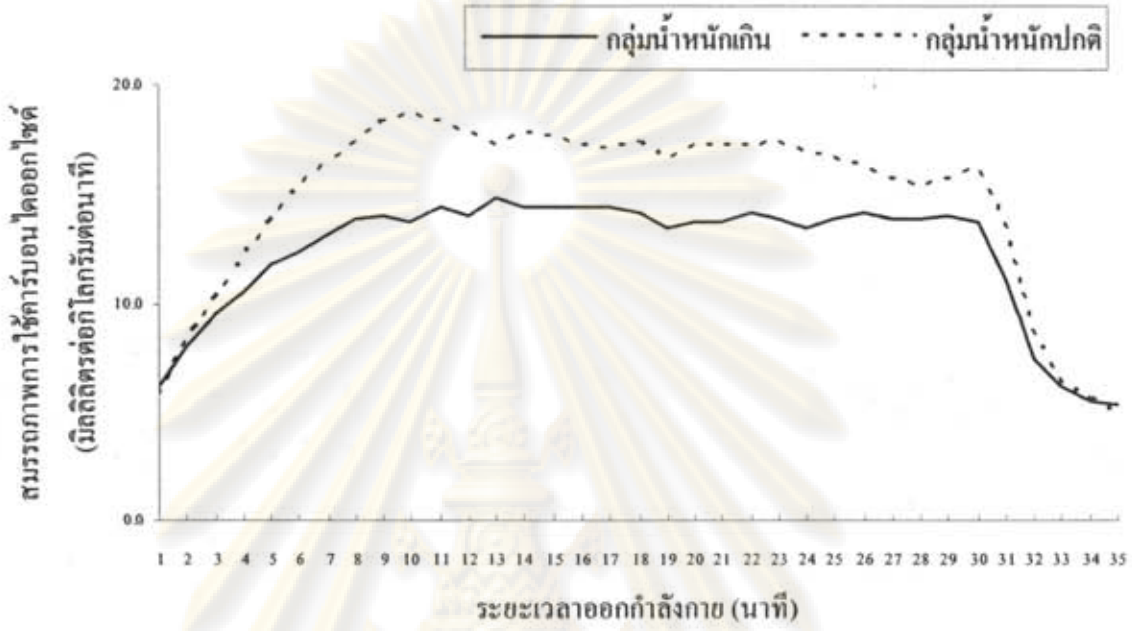
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างสองกลุ่ม

สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเดิน (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	6.1	0.70	5.7	1.40	0.922	.366
2	8.0	2.10	8.2	1.42	- 0.290	.774
3	9.5	2.34	10.3	1.98	- 0.957	.348
4	10.5	3.17	12.1	2.28	- 1.425	.167
5	11.7	2.83	13.7	2.64	- 1.796	.085
6	12.3	2.76	15.3	3.02	- 2.648	.014*
7	13.1	2.55	16.5	2.36	- 3.557	.002*
8	13.8	2.79	17.3	2.61	- 3.299	.003*
9	14.0	2.83	18.3	2.97	- 3.750	.001*
10	13.6	2.38	18.7	3.39	- 4.206	.000*
11	14.5	2.34	18.3	3.29	- 3.335	.003*
12	14.0	2.68	17.7	2.37	- 3.750	.001*
13	14.8	2.64	17.3	2.34	- 2.496	.020*
14	14.5	2.54	17.7	2.37	- 3.376	.003*
15	14.4	2.69	17.6	2.69	- 3.027	.006*
16	14.5	2.91	17.2	2.43	- 2.621	.015*
17	14.5	2.84	17.1	2.15	- 2.671	.013*
18	14.2	1.89	17.3	2.58	- 3.425	.002*
19	13.5	2.02	16.6	2.35	- 3.569	.002*
20	13.6	1.86	17.3	2.46	- 4.099	.000*
21	13.7	1.85	17.3	2.19	- 4.344	.000*
22	14.1	2.26	17.2	2.37	- 3.374	.003*
23	13.8	2.18	17.3	2.69	- 3.554	.002*
24	13.5	2.25	16.9	2.50	- 3.579	.002*
25	13.8	2.79	16.7	2.58	- 2.689	.013*
26	14.2	2.36	16.2	2.01	- 2.353	.027*
27	13.9	2.39	15.7	4.32	- 1.263	.219
28	13.9	2.63	15.4	3.83	- 1.111	.278
29	14.0	2.49	15.7	2.49	- 1.753	.092
30	13.7	2.61	16.2	2.27	- 2.574	.017*
31	11.1	2.77	13.5	2.07	- 2.508	.019*
32	7.5	3.47	8.4	2.77	- 0.772	.448
33	6.1	3.86	6.3	1.35	- 0.227	.823
34	5.5	3.59	5.6	1.06	- 0.149	.882
35	5.4	3.61	4.9	1.10	0.437	.666

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 21 แสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 19 และแผนภูมิที่ 21 พบว่า สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในขณะออกกำลังกายด้วยการเดินตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 6-26, และ 30-31 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเดินต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นเวลา 23 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

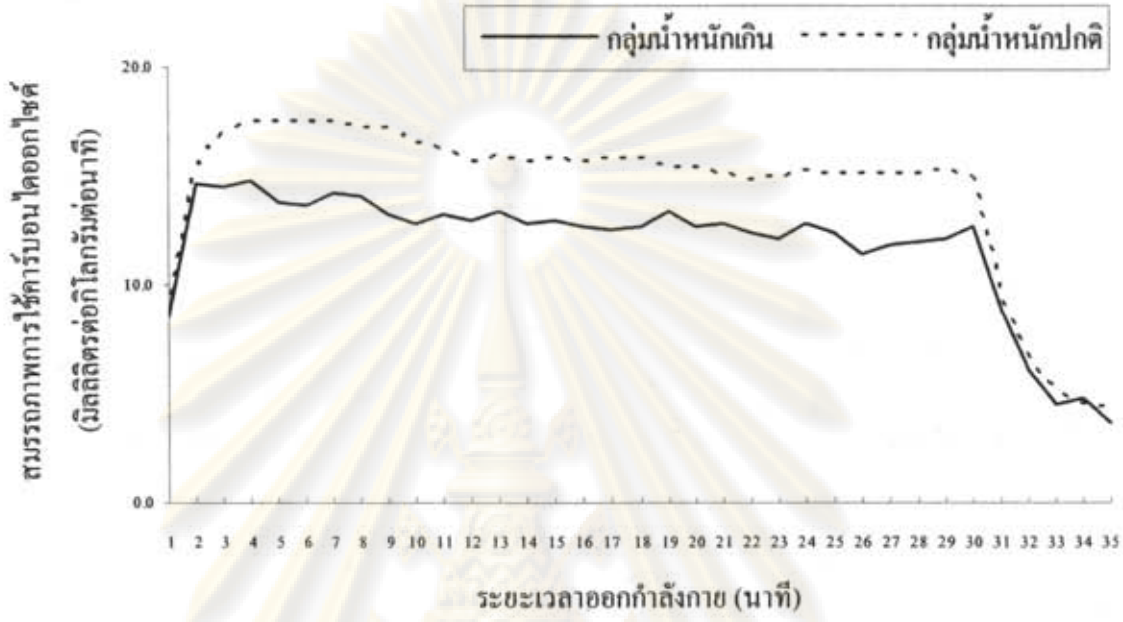
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างสองกลุ่ม

สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	8.6	1.96	8.8	1.61	- 0.233	.818
2	14.6	2.66	15.3	1.63	- 0.828	.416
3	14.5	3.17	17.0	1.51	- 2.629	.015*
4	14.8	2.89	17.5	2.29	- 2.606	.016*
5	13.8	2.18	17.5	2.77	- 3.612	.001*
6	13.7	2.80	17.5	3.02	- 3.273	.003*
7	14.2	4.19	17.4	3.00	- 2.288	.031*
8	14.1	3.62	17.1	2.64	- 2.483	.020*
9	13.3	2.72	17.2	2.62	- 3.711	.001*
10	12.8	2.71	16.5	2.88	- 3.272	.003*
11	13.3	2.41	16.3	3.41	- 2.485	.020*
12	13.0	2.83	15.7	2.82	- 2.379	.026*
13	13.4	3.20	15.9	2.49	- 2.304	.030*
14	12.8	2.52	15.6	2.53	- 2.773	.011*
15	13.0	3.32	15.8	2.65	- 2.394	.025*
16	12.7	2.80	15.6	2.59	- 2.705	.012*
17	12.5	2.77	15.7	2.87	- 2.842	.009*
18	12.7	2.69	15.8	2.37	- 3.090	.005*
19	13.4	2.94	15.4	2.53	- 1.894	.070
20	12.6	2.66	15.3	2.32	- 2.756	.011*
21	12.8	2.75	15.1	2.36	- 2.307	.030*
22	12.4	2.46	14.7	1.98	- 2.721	.012*
23	12.2	2.64	14.9	2.58	- 2.663	.014*
24	12.8	2.86	15.2	2.48	- 2.268	.033*
25	12.5	2.62	15.1	2.66	- 2.490	.020*
26	11.5	3.01	15.1	2.53	- 3.380	.002*
27	11.8	3.03	15.1	2.63	- 2.919	.008*
28	12.0	2.49	15.1	2.83	- 2.934	.007*
29	12.1	2.88	15.3	2.60	- 2.939	.007*
30	12.6	3.50	14.9	2.46	- 1.968	.061
31	8.9	2.66	9.5	2.45	- 0.553	.585
32	6.0	1.41	6.5	2.26	- 0.601	.553
33	4.5	1.63	5.1	0.99	- 1.317	.200
34	4.7	1.62	4.5	0.92	0.389	.701
35	3.6	1.21	4.4	0.51	- 2.212	.037*

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 22 แสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 20 และแผนภูมิที่ 22 พบว่า สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในขณะออกกำลังกายด้วยการวิ่งตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 3-18, 20-29 และ 35 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นเวลา 27 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

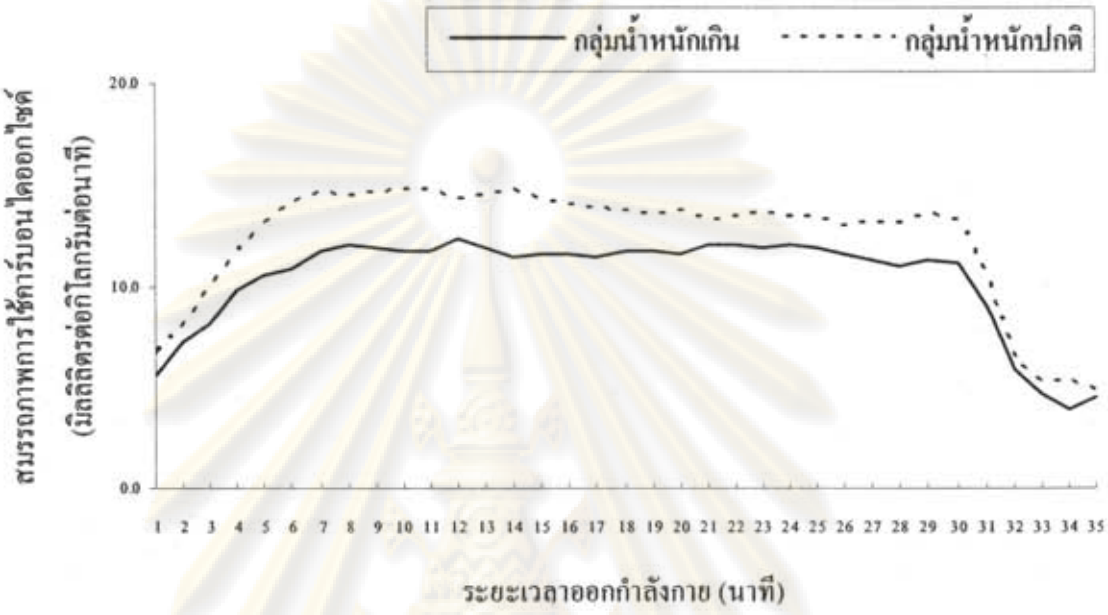
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างสองกลุ่ม

นาทีที่	สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	5.6	0.81	6.7	0.90	- 3.007	.006*
2	7.2	2.14	7.9	1.39	- 1.089	.287
3	8.2	3.31	9.9	1.53	- 1.810	.083
4	9.8	3.95	11.6	2.67	- 1.376	.181
5	10.5	3.24	13.1	2.49	- 2.329	.029*
6	10.8	2.32	14.1	2.05	- 3.779	.001*
7	11.7	2.72	14.5	2.23	- 2.887	.008*
8	12.0	2.65	14.4	2.64	- 2.288	.031*
9	11.9	2.43	14.6	3.16	- 2.357	.027*
10	11.7	2.28	14.8	3.47	- 2.553	.017*
11	11.7	2.05	14.7	3.37	- 2.616	.015*
12	12.3	2.57	14.3	3.29	- 1.724	.098
13	11.9	2.21	14.4	3.33	- 2.150	.042*
14	11.5	2.11	14.7	3.27	- 2.846	.009*
15	11.5	2.16	14.3	2.52	- 2.883	.008*
16	11.6	1.91	13.9	2.05	- 2.901	.008*
17	11.5	2.02	13.8	2.18	- 2.797	.010*
18	11.7	2.49	13.7	2.34	- 2.099	.047*
19	11.7	2.00	13.5	2.59	- 1.926	.066
20	11.6	1.80	13.7	2.74	- 2.134	.043*
21	12.0	2.37	13.3	2.31	- 1.366	.185
22	12.1	1.76	13.3	2.29	- 1.502	.146
23	11.8	2.23	13.5	2.45	- 1.833	.079
24	12.0	2.05	13.4	2.35	- 1.580	.127
25	11.9	1.76	13.4	2.26	- 1.817	.082
26	11.5	1.63	12.9	2.02	- 1.873	.073
27	11.3	1.19	13.1	2.17	- 2.569	.017*
28	11.0	1.26	13.1	2.20	- 2.877	.008*
29	11.3	1.62	13.6	2.61	- 2.603	.016*
30	11.1	1.58	13.3	3.08	- 2.137	.043*
31	9.0	1.79	10.5	2.53	- 1.641	.114
32	5.8	1.40	6.3	1.45	- 0.909	.373
33	4.6	0.92	5.2	0.94	- 1.520	.142
34	3.9	0.94	5.2	1.57	- 2.421	.023*
35	4.5	1.29	4.8	1.01	- 0.764	.452

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 23 แสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 21 และแผนภูมิที่ 23 พบว่า สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในขณะออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 1, 5-11, 13-18, 20, 27-30 และ 34 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นเวลา 20 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

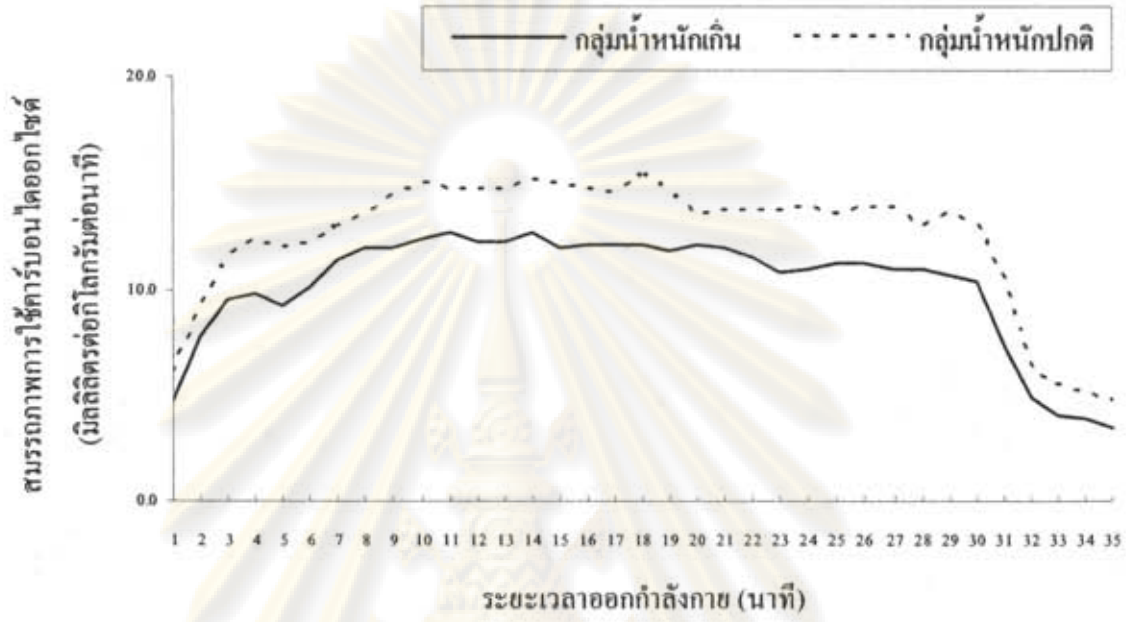
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างสองกลุ่ม

สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)						
นาทีที่	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	4.7	1.79	6.1	1.22	- 2.268	.033*
2	7.8	1.40	9.1	1.10	- 2.548	.018*
3	9.5	1.37	11.5	1.77	- 3.142	.004*
4	9.7	0.90	12.3	1.91	- 4.076	.000*
5	9.2	0.87	11.9	2.02	- 4.226	.000*
6	10.1	1.30	12.1	1.79	- 3.101	.005*
7	11.4	1.86	12.9	2.31	- 1.851	.076
8	12.0	2.49	13.5	1.88	- 1.790	.086
9	12.0	2.57	14.3	1.88	- 2.681	.013*
10	12.4	2.16	15.0	2.48	- 2.826	.009*
11	12.6	2.58	14.7	3.65	- 1.625	.117
12	12.3	2.37	14.7	2.92	- 2.230	.035*
13	12.2	2.23	14.7	2.64	- 2.530	.018*
14	12.6	2.54	15.1	3.35	- 2.015	.055
15	12.0	2.53	15.0	2.62	- 2.927	.007*
16	12.1	2.12	14.7	3.10	- 2.432	.023*
17	12.1	2.43	14.5	2.80	- 2.258	.033*
18	12.1	2.39	15.3	2.53	- 3.309	.003*
19	11.8	2.60	14.5	2.45	- 2.657	.014*
20	12.1	1.87	13.5	3.85	- 1.143	.264
21	11.9	2.43	13.7	3.15	- 1.541	.137
22	11.5	2.66	13.7	2.69	- 1.996	.057
23	10.8	2.18	13.7	2.55	- 2.982	.006*
24	11.0	2.19	13.8	3.51	- 2.328	.029*
25	11.3	2.15	13.5	3.36	- 1.896	.070
26	11.2	1.89	13.8	3.47	- 2.262	.033*
27	11.0	1.84	13.8	3.34	- 2.504	.019*
28	10.9	1.81	12.9	3.35	- 1.813	.082
29	10.6	1.91	13.5	3.74	- 2.346	.028*
30	10.4	1.69	13.1	3.09	- 2.683	.013*
31	7.3	1.74	10.3	1.88	- 4.236	.000*
32	4.9	0.94	6.2	1.26	- 2.847	.009*
33	4.0	0.77	5.4	1.12	- 3.557	.002*
34	3.8	0.60	5.0	1.20	- 3.000	.006*
35	3.5	0.82	4.7	1.10	- 3.244	.003*

* $p < .05$

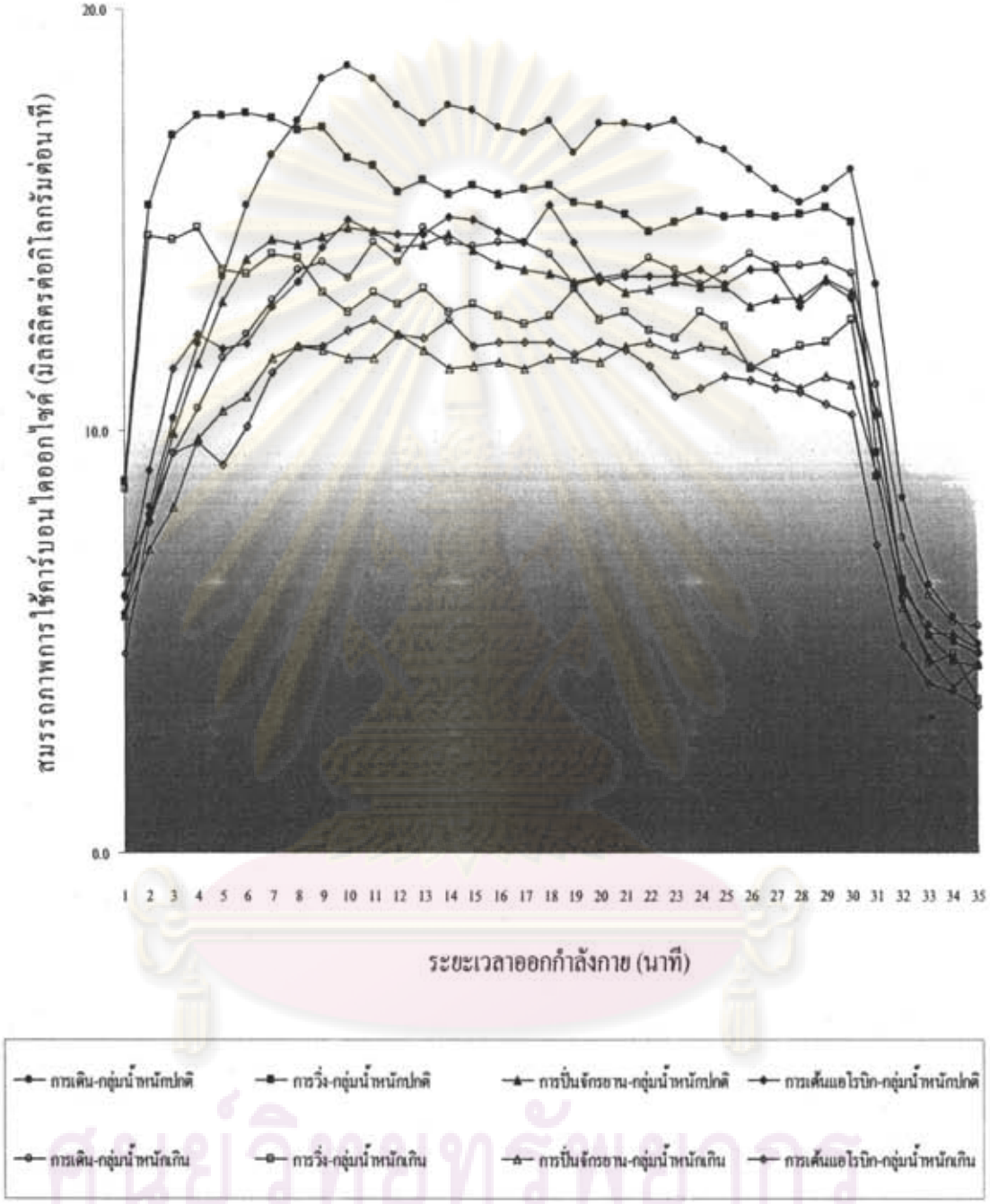
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 24 แสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 22 และแผนภูมิที่ 24 พบว่า สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในขณะออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 1-6, 9-10, 12-13, 15-19, 23-24, 26-27 และ 29-35 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นเวลา 26 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 25 สรุปรวมกราฟแสดงสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

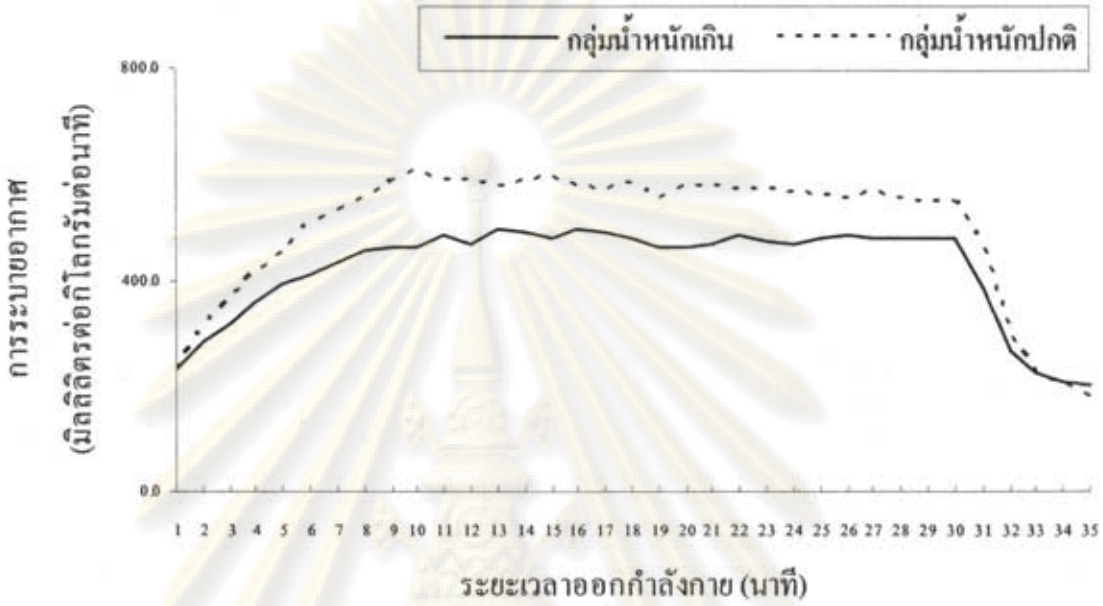
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	การระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเดิน (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	227.9	42.73	228.5	58.24	- 0.027	.979
2	281.4	76.47	310.1	56.09	- 1.109	.278
3	316.3	112.17	364.6	66.18	- 1.379	.181
4	354.3	101.41	412.3	83.01	- 1.605	.122
5	393.2	93.98	447.8	84.50	- 1.553	.133
6	410.9	90.92	504.3	88.35	- 2.630	.015*
7	431.7	96.02	526.8	58.99	- 3.126	.005*
8	454.3	97.41	553.2	43.44	- 3.505	.002*
9	461.4	104.08	586.8	57.49	- 3.937	.001*
10	461.0	77.48	606.3	86.20	- 4.426	.000*
11	482.9	94.40	584.8	75.04	- 3.068	.005*
12	466.8	84.56	585.3	51.13	- 4.448	.000*
13	494.8	83.16	574.6	67.93	- 2.692	.013*
14	487.4	87.45	587.9	58.07	- 3.527	.002*
15	480.1	67.55	592.5	70.61	- 4.082	.000*
16	492.4	90.37	577.9	67.21	- 2.774	.011*
17	491.4	74.44	568.7	57.54	- 2.993	.006*
18	479.3	62.85	578.5	69.61	- 3.737	.001*
19	462.7	72.53	554.9	84.85	- 2.903	.008*
20	460.2	67.12	573.1	99.72	- 3.247	.003*
21	468.8	68.87	573.6	68.29	- 3.851	.001*
22	482.2	86.20	572.5	68.64	- 2.975	.007*
23	470.1	95.24	568.5	78.75	- 2.883	.008*
24	467.3	85.96	562.0	79.57	- 2.900	.008*
25	475.2	86.36	560.1	83.95	- 2.519	.019*
26	481.7	82.17	551.0	75.35	- 2.230	.035*
27	479.1	73.40	562.7	72.32	- 2.896	.008*
28	480.1	93.08	552.2	70.50	- 2.251	.034*
29	479.5	81.67	545.0	83.31	- 1.998	.057
30	477.1	97.80	549.4	83.77	- 2.027	.054
31	383.8	95.71	463.5	77.66	- 2.343	.028*
32	266.4	111.61	291.5	97.88	- 0.609	.548
33	224.0	116.65	226.2	61.61	- 0.062	.951
34	207.2	107.06	203.9	48.03	0.105	.918
35	200.4	109.69	181.0	45.93	0.617	.543

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 26 แสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 23 และแผนภูมิที่ 26 พบว่า การระบายอากาศในขณะออกกำลังกายด้วยการเดินตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 6-28 และ 31 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเดินต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 24 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

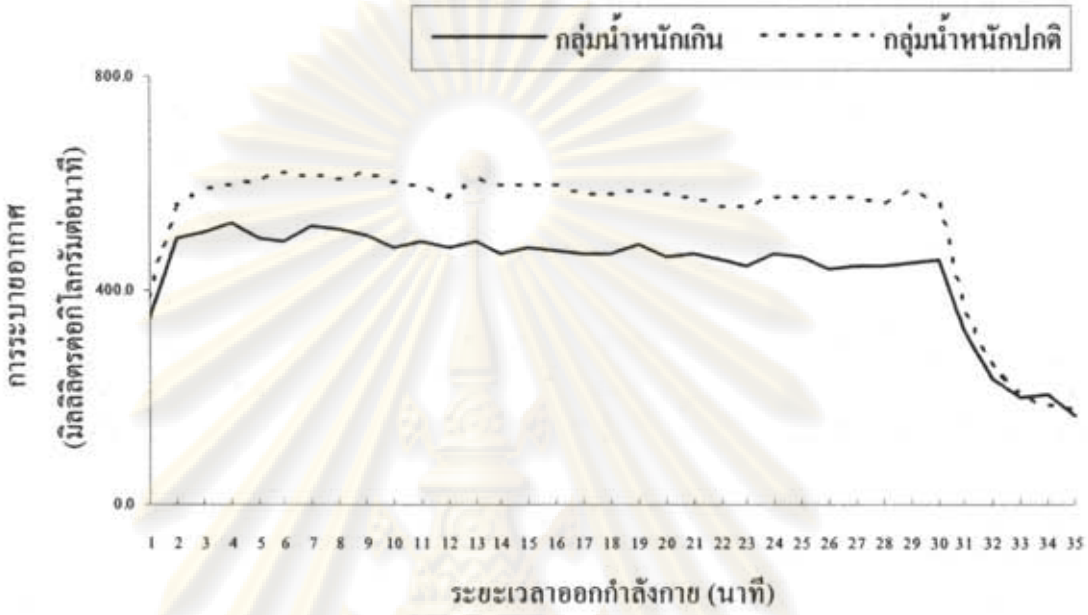
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	การระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	346.9	75.25	383.9	87.46	- 1.129	.270
2	496.1	91.21	552.5	78.56	- 1.689	.104
3	508.5	95.48	586.6	70.71	- 2.399	.025*
4	524.3	81.33	596.8	88.26	- 2.138	.043*
5	496.7	72.28	608.1	92.71	- 3.310	.003*
6	489.8	86.10	619.1	116.86	- 3.098	.005*
7	522.4	125.91	614.1	109.47	- 1.981	.059
8	511.8	112.68	603.2	80.21	- 2.421	.023*
9	501.8	90.98	616.9	96.65	- 3.074	.005*
10	479.7	79.07	601.1	109.83	- 3.115	.005*
11	489.1	73.70	594.7	109.95	- 2.756	.011*
12	481.9	78.27	573.5	91.95	- 2.668	.013*
13	489.6	91.71	604.0	103.89	- 2.910	.008*
14	466.5	66.19	594.1	97.34	- 3.749	.001*
15	479.5	86.61	596.7	101.54	- 3.089	.005*
16	472.5	78.31	591.8	108.45	- 3.098	.005*
17	469.5	63.82	579.1	106.06	- 3.040	.006*
18	468.5	73.50	578.9	89.76	- 3.336	.003*
19	488.2	80.07	580.1	102.44	- 2.468	.021*
20	463.7	72.32	579.0	88.00	- 3.549	.002*
21	469.3	70.25	571.8	85.29	- 3.254	.003*
22	458.8	70.18	555.6	73.86	- 3.370	.003*
23	444.7	82.35	552.2	103.11	- 2.849	.009*
24	469.4	71.57	573.2	94.78	- 3.046	.006*
25	460.7	70.50	574.3	104.18	- 3.120	.005*
26	441.4	83.72	571.6	102.19	- 3.456	.002*
27	445.7	78.89	571.3	85.15	- 3.829	.001*
28	445.8	71.16	562.1	101.30	- 3.257	.003*
29	452.5	83.13	582.4	86.87	- 3.833	.001*
30	459.7	88.28	563.9	93.97	- 2.863	.009*
31	326.2	80.00	360.2	91.62	- 0.985	.334
32	233.1	78.90	252.3	76.31	- 0.626	.537
33	202.8	84.17	198.8	42.69	0.160	.874
34	204.0	82.80	185.4	39.35	0.764	.452
35	166.1	81.21	176.9	25.23	- 0.489	.629

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 27 แสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 24 และแผนภูมิที่ 27 พบว่า การระบายอากาศในขณะออกกำลังกายด้วยการวิ่งตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายตั้งแต่นาทีที่ 3-6 และ 8-30 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 27 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

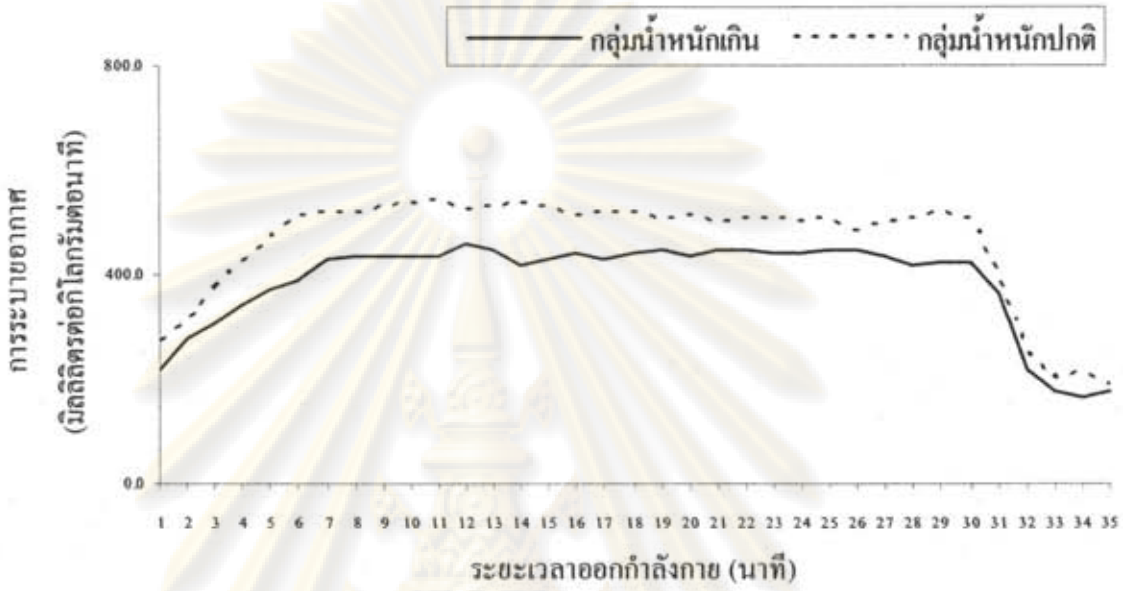
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	การระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	217.5	28.96	268.2	44.25	- 3.304	.003*
2	274.0	71.67	304.1	49.22	- 1.271	.216
3	304.0	100.05	367.8	57.41	- 2.059	.051
4	341.4	124.13	423.3	74.11	- 2.105	.046*
5	372.2	112.43	465.1	68.42	- 2.618	.015*
6	387.7	73.08	512.3	53.79	- 5.015	.000*
7	429.6	97.06	518.0	57.98	- 2.901	.008*
8	432.9	90.12	515.1	71.47	- 2.597	.016*
9	436.3	86.49	528.7	80.36	- 2.807	.010*
10	434.3	78.77	536.3	85.25	- 3.112	.005*
11	435.0	67.22	540.9	84.83	- 3.420	.002*
12	458.4	82.99	524.9	78.05	- 2.090	.047*
13	445.7	82.65	529.7	85.36	- 2.510	.019*
14	415.8	58.65	537.4	91.36	- 3.858	.001*
15	428.7	72.65	528.1	77.06	- 3.328	.003*
16	440.9	83.37	510.3	75.51	- 2.215	.037*
17	430.4	76.08	516.7	84.87	- 2.673	.013*
18	441.5	87.74	520.5	76.63	- 2.446	.022*
19	446.4	63.66	506.1	75.77	- 2.121	.044*
20	437.0	61.41	511.6	74.51	- 2.710	.012*
21	446.5	88.76	501.6	64.85	- 1.831	.080
22	448.5	64.52	503.8	71.18	- 2.033	.053
23	439.5	86.53	506.2	83.90	- 1.978	.060
24	443.5	68.37	499.2	73.95	- 1.959	.062
25	444.8	61.14	504.0	77.30	- 2.099	.046*
26	444.6	66.95	481.1	60.38	- 1.455	.159
27	437.5	46.56	499.7	71.12	- 2.527	.018*
28	415.0	58.51	504.3	79.21	- 3.155	.004*
29	426.4	51.13	516.5	66.64	- 3.745	.001*
30	424.7	59.11	505.8	98.85	- 2.414	.024*
31	364.4	83.03	392.7	92.49	- 0.806	.428
32	214.9	48.27	249.7	72.73	- 1.375	.182
33	177.3	32.78	198.3	41.66	- 1.388	.178
34	163.0	33.44	209.3	57.94	- 2.371	.026*
35	177.1	44.92	189.5	33.30	- 0.813	.424

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 28 แสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 25 และแผนภูมิที่ 28 พบว่า การระบายอากาศในขณะออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 1, 4-20, 25, 27-30 และ 34 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 24 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

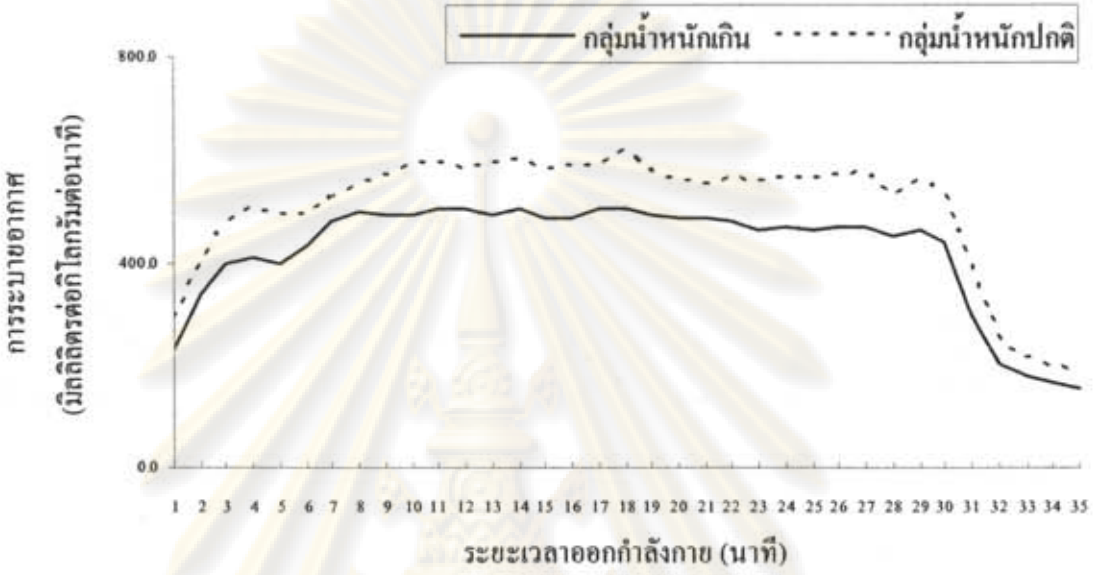
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 26 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	การระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	233.3	53.60	290.4	66.36	- 2.345	.028*
2	338.4	52.99	399.3	44.41	- 3.185	.004*
3	395.9	64.24	472.1	65.04	- 2.965	.007*
4	408.0	56.34	505.3	82.05	- 3.382	.002*
5	395.1	61.00	492.5	84.64	- 3.241	.003*
6	432.7	67.84	494.3	81.76	- 2.033	.053
7	477.6	97.34	529.3	107.55	- 1.258	.221
8	499.7	97.18	551.5	86.68	- 1.431	.165
9	490.5	102.03	567.2	67.32	- 2.311	.030*
10	492.1	87.12	592.7	95.84	- 2.747	.011*
11	503.3	85.93	592.1	120.39	- 2.083	.048*
12	503.8	91.88	579.3	94.13	- 2.041	.052
13	494.5	81.54	595.3	98.24	- 2.768	.011*
14	505.4	93.18	599.9	112.21	- 2.274	.032*
15	487.9	93.43	580.1	74.63	- 2.800	.010*
16	483.5	88.08	588.2	99.61	- 2.776	.011*
17	502.6	88.53	589.2	104.44	- 2.222	.036*
18	502.1	76.85	616.0	89.18	- 3.406	.002*
19	493.0	91.65	572.9	82.92	- 2.323	.029*
20	487.0	66.62	556.5	107.92	- 1.884	.072
21	486.5	95.97	550.8	114.89	- 1.509	.144
22	480.9	95.58	565.5	93.10	- 2.263	.033*
23	460.8	79.98	558.0	92.37	- 2.800	.010*
24	468.9	65.41	563.9	137.80	- 2.111	.045*
25	462.8	79.65	563.9	127.90	- 2.306	.030*
26	467.8	72.57	570.7	120.89	- 2.504	.019*
27	465.6	62.26	576.5	151.87	- 2.276	.032*
28	450.3	66.12	528.1	117.42	- 1.975	.060
29	459.6	87.24	565.7	163.18	- 1.953	.063
30	440.5	52.09	535.9	98.67	- 2.910	.008*
31	298.1	59.14	391.3	74.18	- 3.438	.002*
32	203.4	47.65	244.4	51.13	- 2.080	.048*
33	175.8	49.99	214.8	49.13	- 1.984	.059
34	164.4	44.45	196.5	28.79	- 2.242	.034*
35	154.5	46.61	190.1	37.15	- 2.168	.040*

* $p < .05$

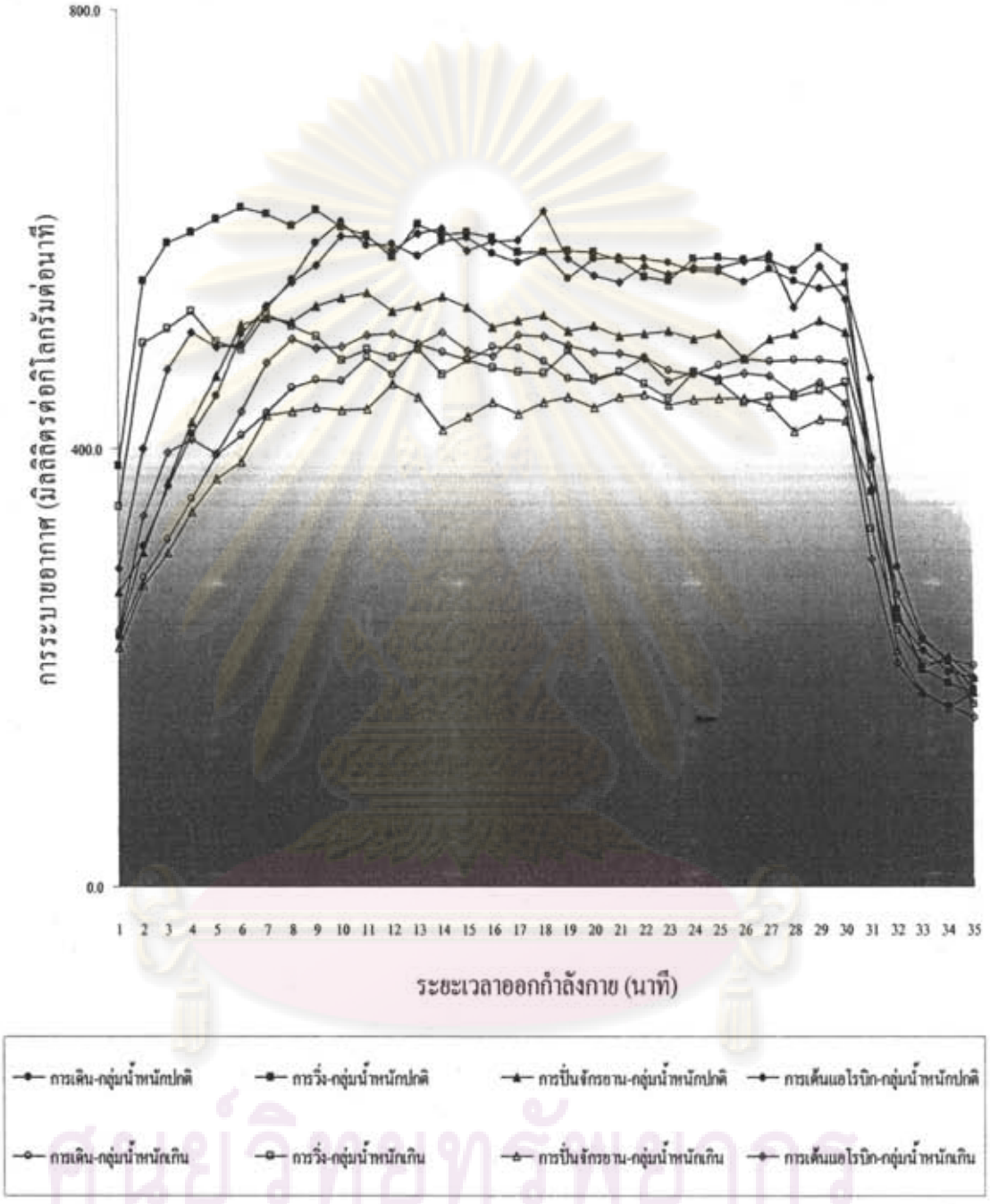
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 29 แสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก เปรียบเทียบระหว่าง กลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 26 และแผนภูมิที่ 29 พบว่า การระบายอากาศในขณะออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 1-5, 9-11, 13-19, 22-27, 30-32 และ 34-35 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีการระบายอากาศของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 26 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 30 สรุปรวมกราฟแสดงการระบายอากาศของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

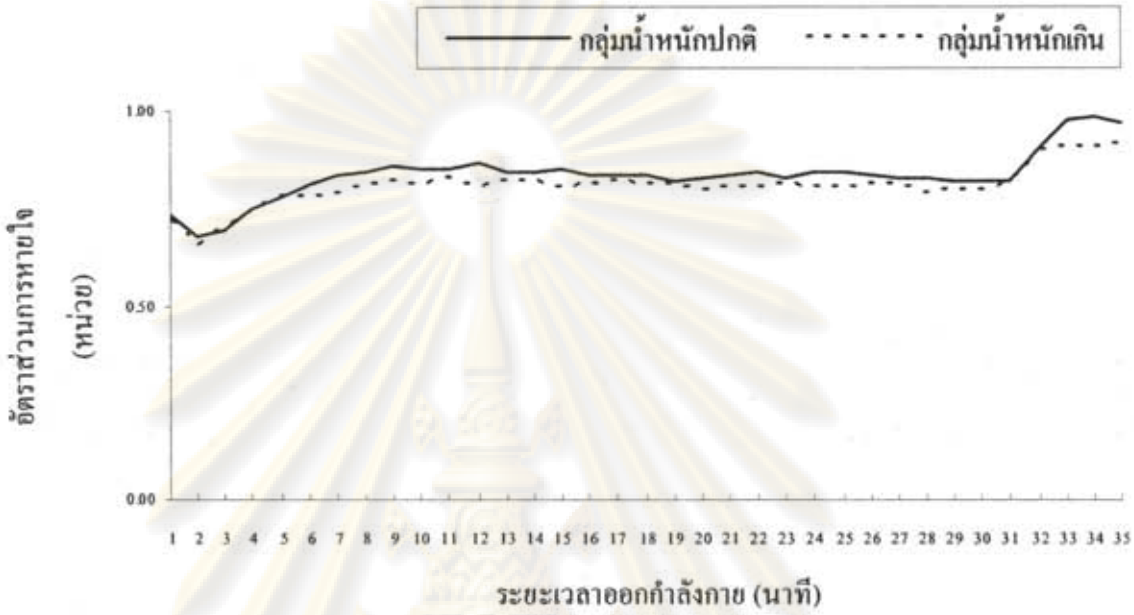
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเดินระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	อัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเดิน (หน่วย)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	0.72	0.09	0.73	0.10	.445	.660
2	0.65	0.07	0.68	0.09	.763	.453
3	0.70	0.07	0.69	0.05	- .325	.748
4	0.74	0.06	0.75	0.05	.180	.858
5	0.78	0.06	0.78	0.04	.254	.802
6	0.78	0.04	0.81	0.05	1.946	.063
7	0.79	0.05	0.84	0.05	2.540	.018*
8	0.81	0.05	0.85	0.05	1.770	.090
9	0.82	0.05	0.86	0.06	1.854	.076
10	0.81	0.05	0.85	0.05	1.725	.097
11	0.83	0.05	0.85	0.06	1.146	.263
12	0.81	0.06	0.86	0.06	2.446	.022*
13	0.82	0.06	0.84	0.05	1.282	.212
14	0.82	0.05	0.84	0.04	1.502	.146
15	0.80	0.06	0.85	0.06	1.948	.063
16	0.81	0.06	0.84	0.05	1.001	.327
17	0.82	0.06	0.83	0.05	.695	.494
18	0.81	0.06	0.83	0.05	.938	.358
19	0.81	0.07	0.82	0.05	.431	.670
20	0.80	0.06	0.83	0.05	1.687	.105
21	0.80	0.07	0.84	0.05	1.571	.129
22	0.80	0.05	0.84	0.05	2.074	.049*
23	0.81	0.06	0.83	0.05	.802	.430*
24	0.80	0.06	0.84	0.05	1.732	.096
25	0.80	0.05	0.84	0.05	1.780	.088
26	0.81	0.06	0.83	0.05	.846	.406
27	0.81	0.07	0.83	0.06	.631	.534
28	0.79	0.06	0.83	0.07	1.579	.128
29	0.80	0.06	0.82	0.04	.896	.379
30	0.80	0.05	0.82	0.05	1.087	.288
31	0.81	0.07	0.82	0.08	.346	.732
32	0.90	0.10	0.91	0.12	.267	.792
33	0.90	0.07	0.98	0.15	1.714	.101
34	0.90	0.11	0.99	0.14	1.655	.111
35	0.92	0.09	0.96	0.13	1.015	.320

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 31 แสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเดินเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 27 และแผนภูมิที่ 31 พบว่า อัตราส่วนการหายใจในขณะออกกำลังกายด้วยการเดินตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 7, 12 และ 22-23 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเดินต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 4 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	อัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง (หน่วย)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	0.63	0.08	0.68	0.06	1.858	.075
2	0.71	0.08	0.69	0.05	- .927	.363
3	0.77	0.07	0.78	0.07	.151	.881
4	0.78	0.08	0.79	0.06	.523	.606
5	0.77	0.08	0.80	0.04	1.193	.252
6	0.76	0.06	0.81	0.05	2.119	.045*
7	0.78	0.10	0.80	0.05	.722	.483
8	0.76	0.10	0.79	0.05	1.128	.271
9	0.78	0.09	0.80	0.04	.751	.466
10	0.76	0.07	0.80	0.05	1.629	.116
11	0.76	0.07	0.80	0.05	1.436	.164
12	0.74	0.09	0.78	0.05	1.403	.173
13	0.75	0.08	0.78	0.05	1.432	.165
14	0.75	0.08	0.79	0.05	1.575	.128
15	0.76	0.08	0.79	0.05	1.092	.286
16	0.76	0.08	0.79	0.05	1.338	.193
17	0.74	0.07	0.78	0.04	1.766	.090
18	0.75	0.08	0.79	0.04	1.455	.168
19	0.75	0.08	0.78	0.05	1.473	.154
20	0.75	0.09	0.80	0.06	1.536	.138
21	0.75	0.07	0.78	0.05	.991	.332
22	0.76	0.08	0.77	0.04	.397	.698
23	0.75	0.09	0.77	0.05	.846	.406
24	0.75	0.07	0.77	0.05	1.078	.292
25	0.76	0.08	0.78	0.05	.642	.527
26	0.71	0.23	0.77	0.05	1.031	.313
27	0.76	0.08	0.78	0.05	.761	.454
28	0.74	0.08	0.77	0.06	1.270	.216
29	0.74	0.08	0.78	0.05	1.286	.211
30	0.74	0.08	0.78	0.05	1.312	.209
31	0.76	0.12	0.78	0.07	.380	.707
32	0.80	0.15	0.82	0.09	.359	.724
33	0.81	0.13	0.84	0.08	.691	.496
34	0.81	0.13	0.84	0.10	.513	.612
35	0.79	0.14	0.83	0.11	1.009	.323

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 32 แสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 28 และแผนภูมิที่ 32 พบว่า อัตราส่วนการหายใจในขณะออกกำลังกายด้วยการวิ่งตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 6 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 1 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

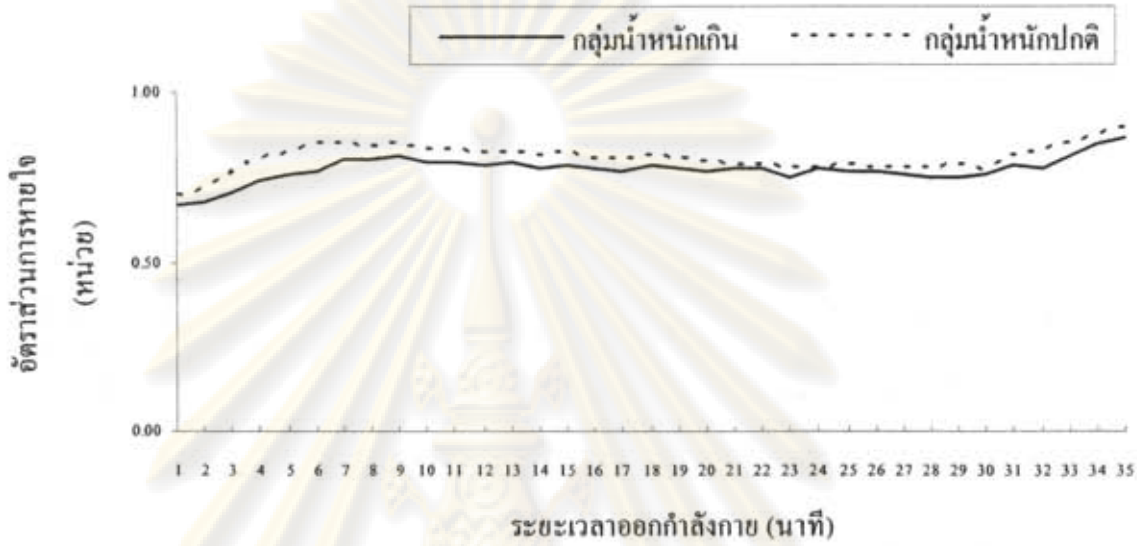
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	อัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน (หน่วย)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	0.67	0.07	0.70	0.07	.972	.341
2	0.67	0.08	0.71	0.08	1.282	.212
3	0.70	0.09	0.75	0.09	1.567	.130
4	0.74	0.09	0.80	0.08	1.869	.074
5	0.76	0.08	0.82	0.08	1.929	.066
6	0.77	0.08	0.85	0.07	2.745	.011*
7	0.80	0.05	0.84	0.07	1.798	.085
8	0.80	0.07	0.84	0.05	1.535	.138
9	0.81	0.06	0.85	0.06	1.678	.106
10	0.79	0.04	0.83	0.06	2.041	.052
11	0.80	0.03	0.83	0.06	2.081	.050
12	0.79	0.03	0.82	0.05	1.816	.082
13	0.79	0.03	0.82	0.05	1.416	.170
14	0.78	0.03	0.81	0.05	1.736	.095
15	0.78	0.03	0.82	0.06	1.760	.093
16	0.77	0.04	0.81	0.07	1.382	.180
17	0.77	0.04	0.80	0.05	1.750	.093
18	0.78	0.04	0.81	0.05	1.330	.196
19	0.78	0.04	0.80	0.05	1.094	.285
20	0.77	0.05	0.79	0.05	1.349	.190
21	0.77	0.05	0.79	0.05	.625	.538
22	0.77	0.04	0.78	0.05	.478	.637
23	0.75	0.05	0.78	0.06	1.347	.190
24	0.77	0.04	0.77	0.05	.022	.983
25	0.76	0.04	0.78	0.05	.985	.335
26	0.76	0.04	0.77	0.05	.582	.566
27	0.76	0.04	0.78	0.05	1.163	.256
28	0.75	0.05	0.77	0.05	1.236	.229
29	0.75	0.05	0.78	0.07	1.285	.211
30	0.75	0.04	0.77	0.05	.764	.452
31	0.78	0.06	0.81	0.09	.907	.373
32	0.78	0.09	0.83	0.12	1.238	.228
33	0.81	0.08	0.85	0.10	.983	.335
34	0.84	0.09	0.88	0.12	.829	.415
35	0.86	0.08	0.89	0.11	.680	.503

* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 33 แสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 29 และแผนภูมิที่ 33 พบว่า อัตราส่วนการหายใจในขณะออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 6 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 1 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 30 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

นาทีที่	อัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก (หน่วย)				ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน		กลุ่มน้ำหนักปกติ			
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
1	0.62	0.17	0.72	0.10	1.779	.088
2	0.59	0.06	0.60	0.05	.552	.586
3	0.62	0.06	0.64	0.06	.861	.398
4	0.67	0.05	0.67	0.05	-.034	.973
5	0.68	0.05	0.71	0.06	1.165	.255
6	0.69	0.04	0.71	0.05	.926	.364
7	0.69	0.04	0.71	0.05	.873	.391
8	0.71	0.06	0.72	0.04	.501	.621
9	0.70	0.04	0.71	0.04	.786	.440
10	0.69	0.04	0.70	0.05	.307	.761
11	0.70	0.07	0.71	0.04	.648	.523
12	0.70	0.04	0.71	0.05	.468	.644
13	0.71	0.05	0.72	0.06	.855	.401
14	0.71	0.04	0.73	0.05	.980	.337
15	0.73	0.07	0.73	0.05	.139	.890
16	0.71	0.05	0.73	0.06	.875	.390
17	0.71	0.05	0.73	0.05	1.210	.238
18	0.72	0.06	0.74	0.07	.762	.454
19	0.72	0.07	0.77	0.06	1.982	.059
20	0.71	0.05	0.70	0.13	-.153	.879
21	0.71	0.04	0.73	0.06	.835	.412
22	0.72	0.04	0.73	0.05	.321	.751
23	0.71	0.04	0.72	0.04	.556	.583
24	0.70	0.04	0.72	0.06	1.228	.231
25	0.71	0.06	0.73	0.06	1.109	.279
26	0.70	0.03	0.72	0.05	.863	.397
27	0.70	0.06	0.71	0.06	.637	.530
28	0.69	0.05	0.72	0.08	1.248	.224
29	0.70	0.05	0.71	0.05	.108	.915
30	0.69	0.04	0.71	0.08	.669	.510
31	0.69	0.06	0.72	0.08	1.073	.294
32	0.77	0.08	0.76	0.10	-.342	.735
33	0.79	0.10	0.82	0.12	.652	.520
34	0.77	0.08	0.85	0.11	1.813	.082
35	0.76	0.06	0.82	0.07	2.397	.025*

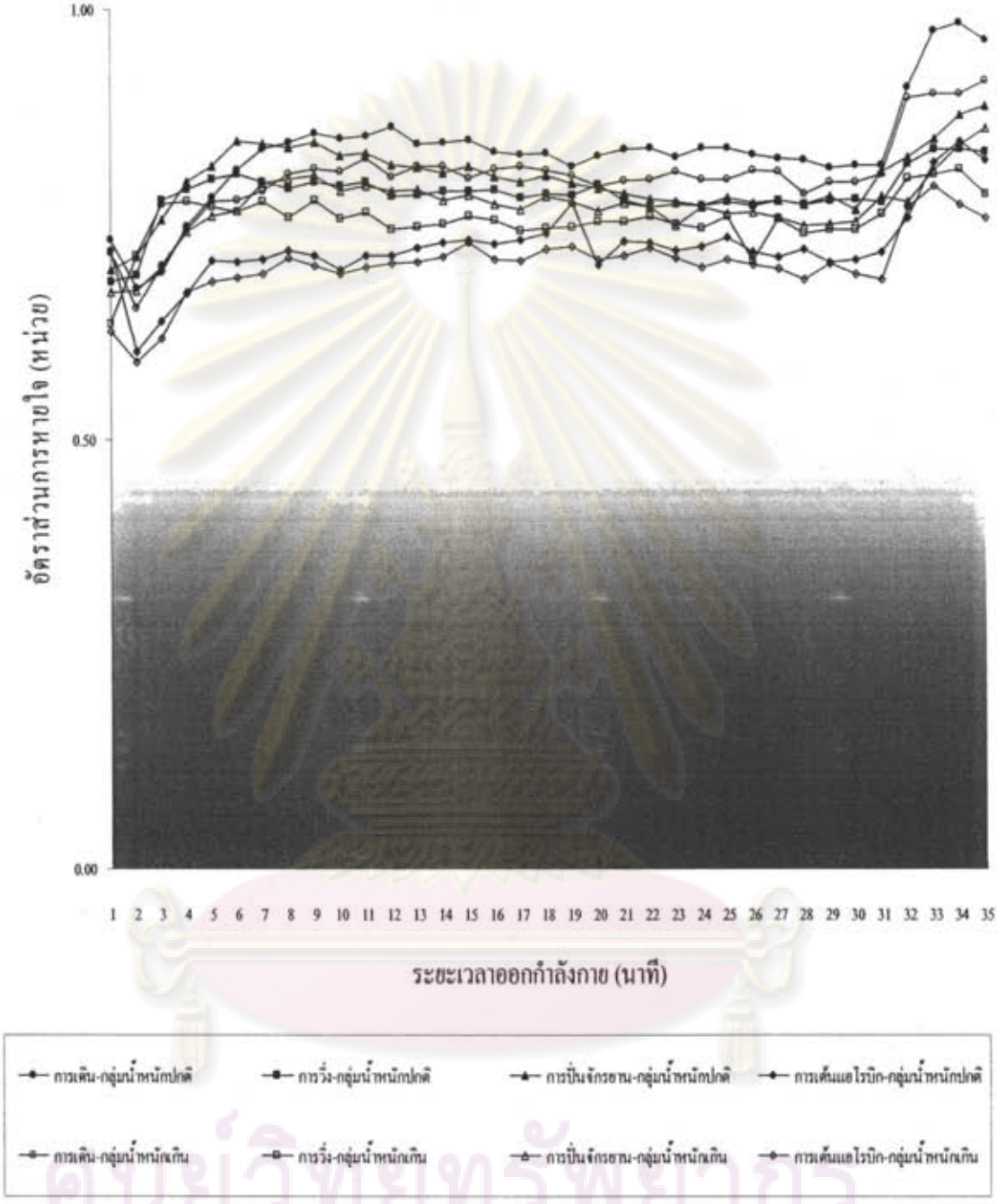
* $p < .05$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 34 แสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 30 และแผนภูมิที่ 34 พบว่า อัตราส่วนการหายใจในขณะออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกตั้งแต่นาทีที่ 1-35 เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม ในช่วงเวลาของการออกกำลังกายนาทีที่ 35 จะมีค่า $p < .05$ แสดงว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติเป็นจำนวน 1 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 35 สรุปรวมกราฟแสดงอัตราส่วนการหายใจของการออกกำลังกายทุกชนิดเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มน้ำหนักเกินและกลุ่มน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในการออกกำลังกายแต่ละช่วง ได้แก่ ช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) ช่วงการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) และช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) การใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) รวมถึงสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกของหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ตารางที่ 31 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

	การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (กิโลแคลอรี)									
	กลุ่มน้ำหนักเกิน				กลุ่มน้ำหนักปกติ				ค่า t	p-value
ชนิดของการออกกำลังกาย	Mean	S.D.	ค่า F	p-value	Mean	S.D.	ค่า F	p-value		
การเดิน	24.16	5.66			18.23	3.16			- 3.411	.002*
การวิ่ง	32.54	7.58			25.55	3.97			- 3.057	.005*
			9.938	.000**			23.124	.000**		
การปั่นจักรยาน	20.16	3.92			17.07	1.9			- 2.671	.013*
การเต้นแอโรบิก	23.99	3.99			20.3	2.68			- 2.825	.009*

* ผลการทดสอบค่าทีระหว่างสองกลุ่มของแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

** ความแปรปรวนระหว่างการออกกำลังกายทั้งสี่ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 31-33 และแผนภูมิที่ 36 พบว่า

กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีการใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้นที่สูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติในทุกชนิดของการออกกำลังกายอันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก นอกจากนี้ ยังพบว่าทั้งกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ การออกกำลังกายด้วยการวิ่ง มีการใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้นที่สูงกว่าการเดิน การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 32 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

ชนิดของการออกกำลังกาย	$\overline{X}$	การเดิน 24.16	การวิ่ง 32.54	การปั่นจักรยาน 20.16	การเต้นแอโรบิก 23.99
การเดิน	24.16	-	- 8.38* (P = .005)	4.00 (P = .334)	.17 (P = 1.000)
การวิ่ง	32.54		-	12.38* (P = .000)	8.55* (P = .004)
การปั่นจักรยาน	20.16			-	- 3.83 (P = .371)
การเต้นแอโรบิก	23.99				-

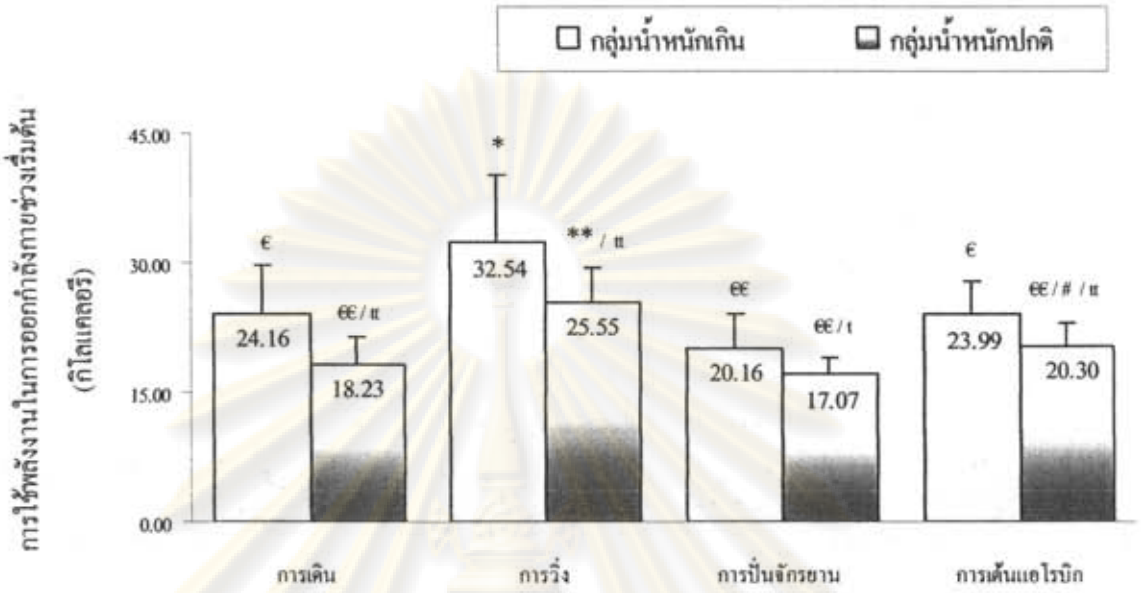
* p < .05

ตารางที่ 33 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ชนิดของการออกกำลังกาย	$\overline{X}$	การเดิน 18.23	การวิ่ง 25.55	การปั่นจักรยาน 17.07	การเต้นแอโรบิก 20.30
การเดิน	18.23	-	- 7.32* (P = .000)	1.16 (P = .724)	- 2.07 (P = .249)
การวิ่ง	25.55		-	8.48* (P = .000)	5.25* (P = .000)
การปั่นจักรยาน	17.07			-	-3.23* (P = .025)
การเต้นแอโรบิก	20.30				-

* p < .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* คือ $p < .05$, ** คือ $p < .001$ เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินของกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

€ คือ $p < .01$, €€ คือ $p < .001$ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งของกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

\# คือ $p < .05$ เมื่อเปรียบเทียบกับการปั่นจักรยานของกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

t คือ $p < .05$, tt คือ $p < .01$ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มน้ำหนักเกิน

แผนภูมิที่ 36 การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 34 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานในช่วงการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ชนิดของการออกกำลังกาย	การใช้พลังงานช่วงของการออกกำลังกายคงที่ (กิโลแคลอรี)								ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน				กลุ่มน้ำหนักปกติ					
	Mean	S.D.	ค่า F	p-value	Mean	S.D.	ค่า F	p-value		
การเดิน	66.59	15.43			54.96	5.62			- 2.386	.034*
การวิ่ง	61.97	13.53			50.25	8.85			- 2.673	.013*
			2.000	.129			4.336	.008**		
การปั่นจักรยาน	53.49	10.53			45.72	7.44			- 2.208	.037*
การเต้นแอโรบิก	62.73	11.8			52.73	7.21			- 2.683	.013*

* ผลการทดสอบค่าทีระหว่างสองกลุ่มของแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

** ความแปรปรวนระหว่างการออกกำลังกายทั้งสี่ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 34-35 และแผนภูมิที่ 37 พบว่า

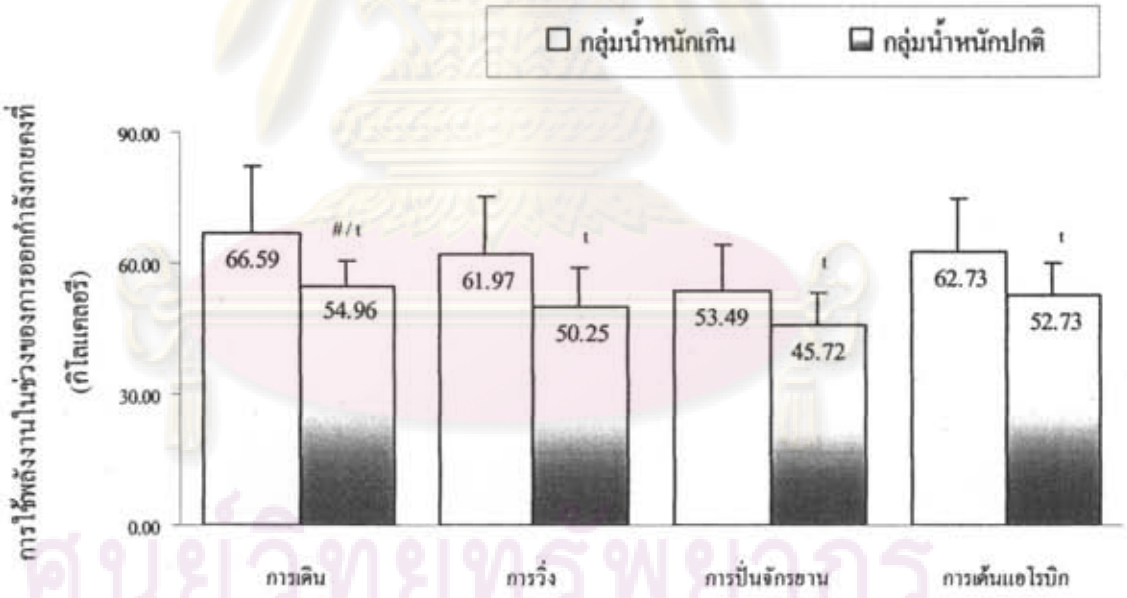
กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีการใช้พลังงานในช่วงของการออกกำลังกายคงที่สูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติในทุกชนิดของการออกกำลังกายอันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้พลังงานในช่วงของการออกกำลังกายคงที่ของการเดินมีค่าสูงกว่าการปั่นจักรยานในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างชนิดของการออกกำลังกายในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 35 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานในช่วงการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ชนิดของการออกกำลังกาย		การเดิน	การวิ่ง	การปั่นจักรยาน	การเต้นแอโรบิก
	$\overline{X}$	54.96	50.25	45.72	52.73
การเดิน	54.96	-	4.71 (P = .308)	9.24* (P = .006)	2.23 (P = .840)
การวิ่ง	50.25		-	4.53 (P = .342)	- 2.48 (P = .794)
การปั่นจักรยาน	45.72			-	- 7.01 (P = .055)
การเต้นแอโรบิก	52.73				-

* $p < .05$



คือ $p < .01$ เมื่อเปรียบเทียบกับการปั่นจักรยานของกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

t คือ $p < .05$ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มน้ำหนักเกิน

แผนภูมิที่ 37 การใช้พลังงานในช่วงการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 36 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ชนิดของการออกกำลังกาย	การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี)									
	กลุ่มน้ำหนักเกิน				กลุ่มน้ำหนักปกติ				ค่า t	p-value
	Mean	S.D.	ค่า F	p-value	Mean	S.D.	ค่า F	p-value		
การเดิน	14.03	2.86			11.55	1.45			- 2.831	.010*
การวิ่ง	13.84	4.25			9.38	2.06			- 3.217	.006*
			1.205	.321			4.923	.004**		
การปั่นจักรยาน	12.28	1.97			10.35	1.41			- 2.912	.008*
การเต้นแอโรบิก	12.21	1.67			10.66	1.20			- 2.767	.011*

* ผลการทดสอบค่าทีระหว่างสองกลุ่มของแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

** ความแปรปรวนระหว่างการออกกำลังกายทั้งสี่ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 36-37 และแผนภูมิที่ 38 พบว่า

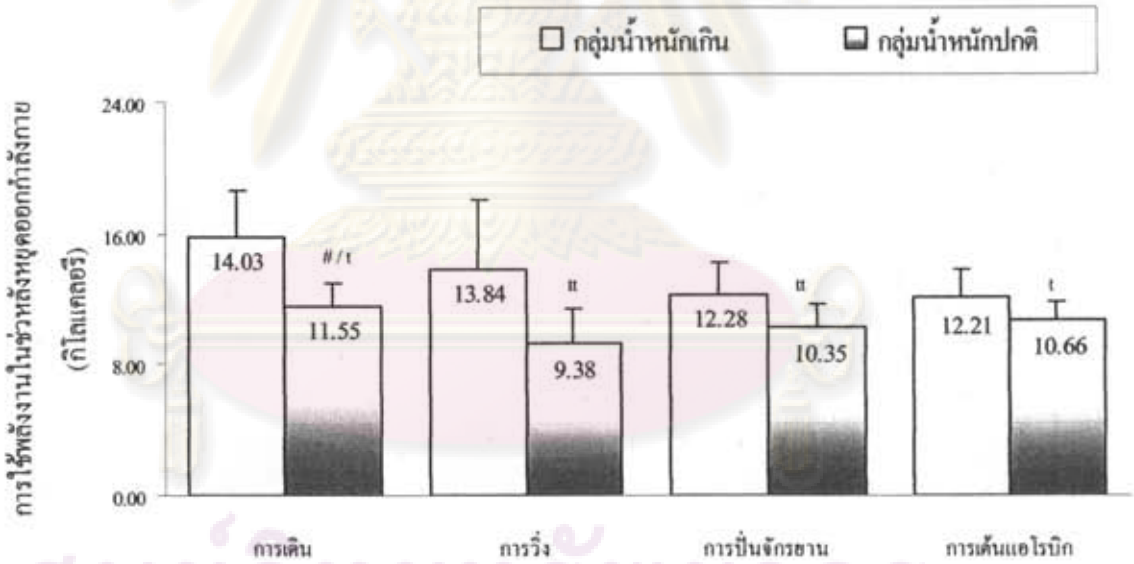
กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีการใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกายสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติในทุกชนิดของการออกกำลังกายอันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกายของการเดินมีค่าสูงกว่าการวิ่งในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างชนิดของการออกกำลังกายในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 37 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ชนิดของการออกกำลังกาย	$\overline{X}$	การเดิน 11.55	การวิ่ง 9.38	การปั่นจักรยาน 10.35	การเต้นแอโรบิก 10.66
การเดิน	11.55	-	2.17* (P = .002)	1.20 (P = .164)	.89 (P = .405)
การวิ่ง	9.38		-	- .97 (P = .333)	- 1.28 (P = .126)
การปั่นจักรยาน	10.35			-	- .31 (P = .950)
การเต้นแอโรบิก	10.66				-

* $p < .05$



\# คือ $p < .01$ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งของกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

t คือ $p < .05$, tt คือ $p < .01$ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มน้ำหนักเกิน

แผนภูมิที่ 38 การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 38 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ชนิดของการออกกำลังกาย	การใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี)								ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน				กลุ่มน้ำหนักปกติ					
	Mean	S.D.	ค่า F	p-value	Mean	S.D.	ค่า F	p-value		
การเดิน	196.95	32.15			153.11	16.83			2.728	.018*
การวิ่ง	192.11	35.51			151.77	26.17			2.512	.019*
การปั่นจักรยาน	158.35	19.94	3.833	.018**	130.51	18.06	4.042	.011**	2.664	.014*
การเต้นแอโรบิก	182.15	19.70			147.57	17.83			3.068	.005*

* ผลการทดสอบค่าทีระหว่างสองกลุ่มของแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

** ความแปรปรวนระหว่างการออกกำลังกายทั้งสี่ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 38-40 และแผนภูมิที่ 39 พบว่า

กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกายสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติในทุกชนิดของการออกกำลังกายอันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก นอกจากนี้ ยังพบว่า การใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกายของการเดินและการวิ่งมีค่าสูงกว่าการปั่นจักรยานทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 39 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

ชนิดของการออกกำลังกาย	$\overline{X}$	การเดิน 196.95	การวิ่ง 192.11	การปั่นจักรยาน 158.35	การเต้นแอโรบิก 182.15
การเดิน	196.95	-	4.84 (P = .980)	38.60* (P = .018)	14.80 (P = .635)
การวิ่ง	192.11		-	33.76* (P = .047)	9.96 (P = .853)
การปั่นจักรยาน	158.35			-	- 23.80 (P = .238)
การเต้นแอโรบิก	182.15				-

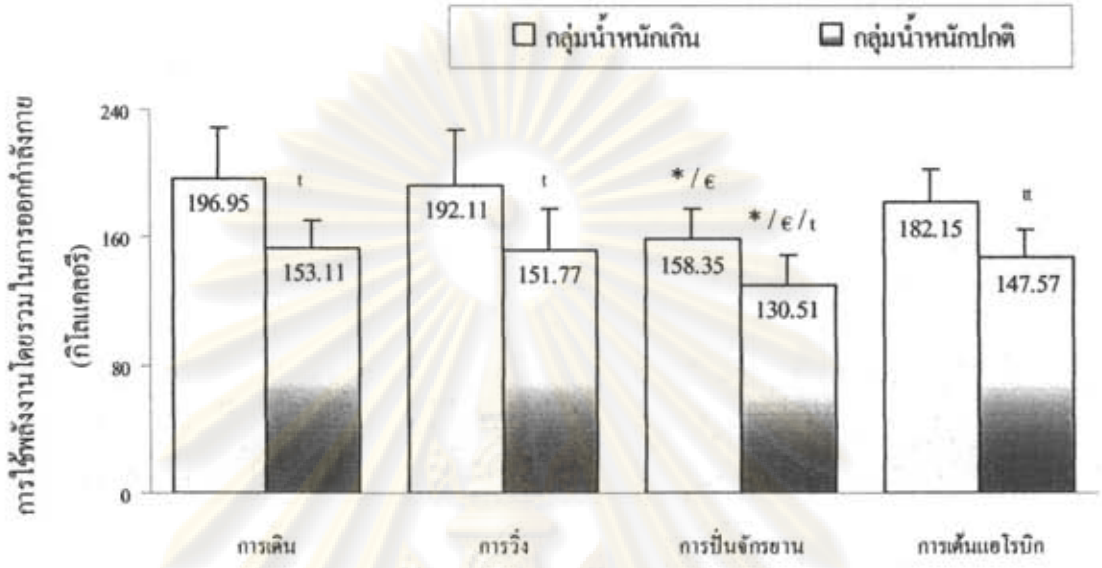
* p < .05

ตารางที่ 40 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของการใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักปกติ

ชนิดของการออกกำลังกาย	$\overline{X}$	การเดิน 153.11	การวิ่ง 151.77	การปั่นจักรยาน 130.51	การเต้นแอโรบิก 147.57
การเดิน	153.11	-	1.34 (P = .998)	22.60* (P = .016)	5.54 (P = .874)
การวิ่ง	151.77		-	21.26* (P = .027)	4.20 (P = .940)
การปั่นจักรยาน	130.51			-	- 17.06 (P = .104)
การเต้นแอโรบิก	147.57				-

* p < .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* คือ $p < .05$ เมื่อเปรียบเทียบกับการเดินของกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

€ คือ $p < .05$ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งของกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

t คือ $p < .05$, tt คือ $p < .01$ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มน้ำหนักเกิน

แผนภูมิที่ 39 การใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด ในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 41 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ชนิดของการออกกำลังกาย	สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)								ค่า t	p-value
	กลุ่มน้ำหนักเกิน				กลุ่มน้ำหนักปกติ					
	Mean	S.D.	ค่า F	p-value	Mean	S.D.	ค่า F	p-value		
การเดิน	19.55	2.85			21.95	2.99			- 2.062	.050*
การวิ่ง	20.60	3.22			23.75	2.94			- 2.558	.019*
การปั่นจักรยาน	16.20	3.33	3.558	0.023**	19.35	2.97	4.509	0.007**	- 2.337	.033*
การเต้นแอโรบิก	19.01	2.99			22.27	4.27			- 2.291	.031*

* ผลการทดสอบค่าทีระหว่างสองกลุ่มของแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

** ความแปรปรวนระหว่างการออกกำลังกายทั้งสี่ชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 41-43 และแผนภูมิที่ 40 พบว่า

กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติในทุกชนิดของการออกกำลังกายอันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก นอกจากนี้ ยังพบว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดของการวิ่งมีค่าสูงกว่าการปั่นจักรยานทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 42 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เปรียบเทียบการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของกลุ่มน้ำหนักเกิน

ชนิดของการออกกำลังกาย	$\overline{X}$	การเดิน 19.55	การวิ่ง 20.60	การปั่นจักรยาน 16.20	การเต้นแอโรบิก 19.01
การเดิน	19.55	-	- 1.05 (P = .855)	3.35 (P = .092)	-.54 (P = 0.977)
การวิ่ง	20.60		-	4.40* (P = .015)	1.59 (P = .627)
การปั่นจักรยาน	16.20			-	- 2.81 (P = .197)
การเต้นแอโรบิก	19.01				-

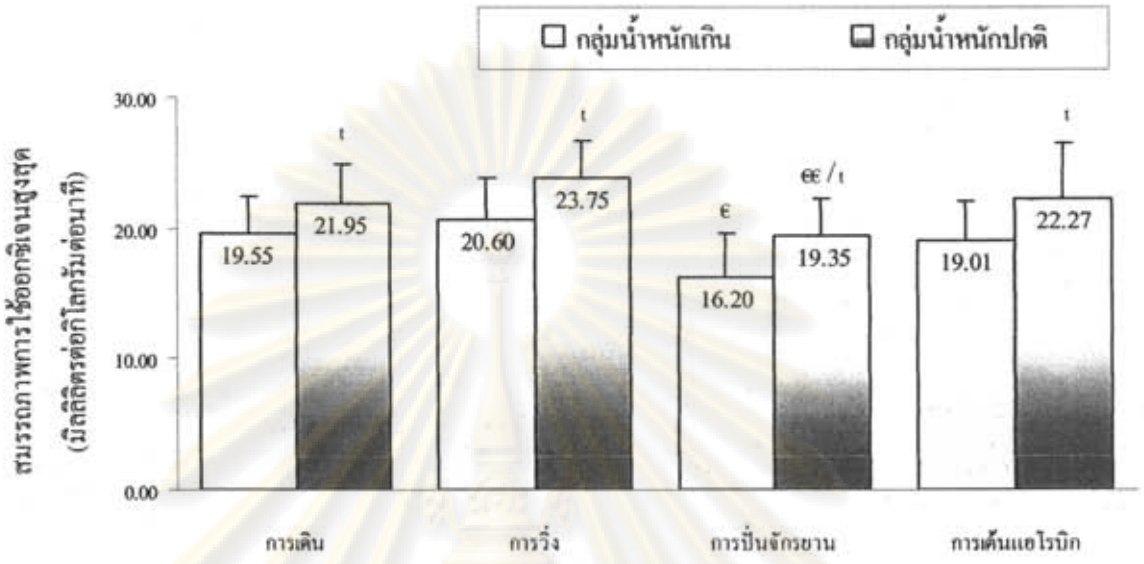
* p < .05

ตารางที่ 43 ผลการทดสอบความแตกต่างรายคู่ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เปรียบเทียบการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของกลุ่มน้ำหนักปกติ

ชนิดของการออกกำลังกาย	$\overline{X}$	การเดิน 21.95	การวิ่ง 23.75	การปั่นจักรยาน 19.35	การเต้นแอโรบิก 22.27
การเดิน	21.95	-	- 1.80 (P = .457)	2.60 (P = .156)	- .32 (P = .993)
การวิ่ง	23.75		-	4.40* (P = .004)	1.48 (P = .621)
การปั่นจักรยาน	19.35			-	- 2.92 (P = .089)
การเต้นแอโรบิก	22.27				-

* p < .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



€ คือ $p < .05$, €€ คือ $p < .01$ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิ่งของกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

t คือ $p < .05$ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มน้ำหนักเกิน

แผนภูมิที่ 40 กราฟเปรียบเทียบการออกกำลังกายชนิดต่างๆต่อสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของทั้ง 2 กลุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานขององค์ประกอบร่างกาย (น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมัน) ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายจำนวนเพื่อสุขภาพ 4 ชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกทั้งในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

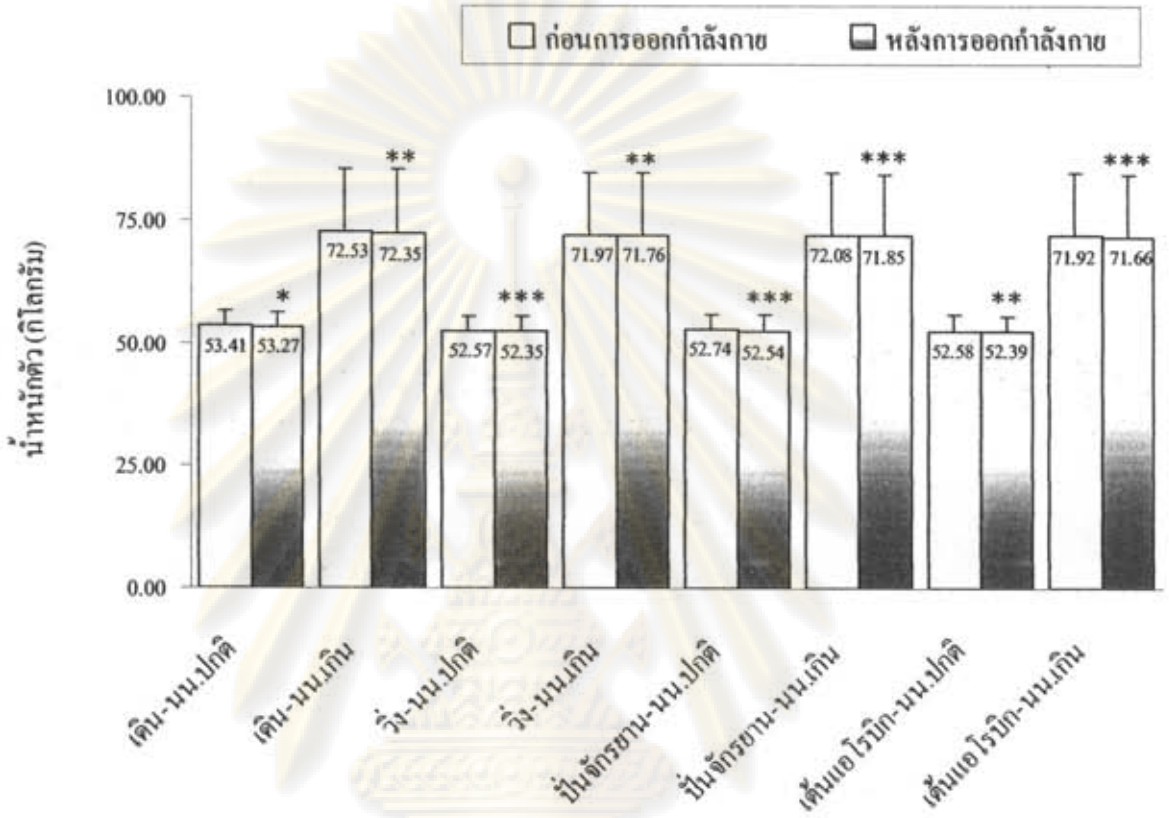
ตารางที่ 44 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักตัว โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	ก่อนการออกกำลังกาย		หลังการออกกำลังกาย		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
การออกกำลังกายด้วยการเดิน						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	53.41	3.02	53.27	2.88	2.226	.043*
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	72.53	12.89	72.35	12.94	4.541	.001*
การออกกำลังกายด้วยการวิ่ง						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	52.57	2.96	52.35	2.96	7.179	.000*
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	71.97	12.84	71.76	12.77	4.701	.001*
การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	52.74	3.18	52.54	3.18	11.832	.000*
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	72.08	12.55	71.85	12.50	5.469	.000*
การออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	52.58	3.05	52.39	2.99	5.850	.000*
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	71.92	12.68	71.66	12.76	6.957	.000*

* $p < .05$

จากตารางที่ 44 และแผนภูมิที่ 41 พบว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวก่อนการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด และทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าสูงกว่าหลังการออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด และทั้ง 2 กลุ่ม มีผลให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวมีค่าลดลงกว่าก่อนการออกกำลังกาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



* คือ $p < .05$, ** คือ $p < .01$ และ *** คือ $p < .001$
เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการออกกำลังกายในแต่ละชนิดของกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน

แผนภูมิที่ 41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักตัวระหว่างก่อนและหลังออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของทั้ง 2 กลุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

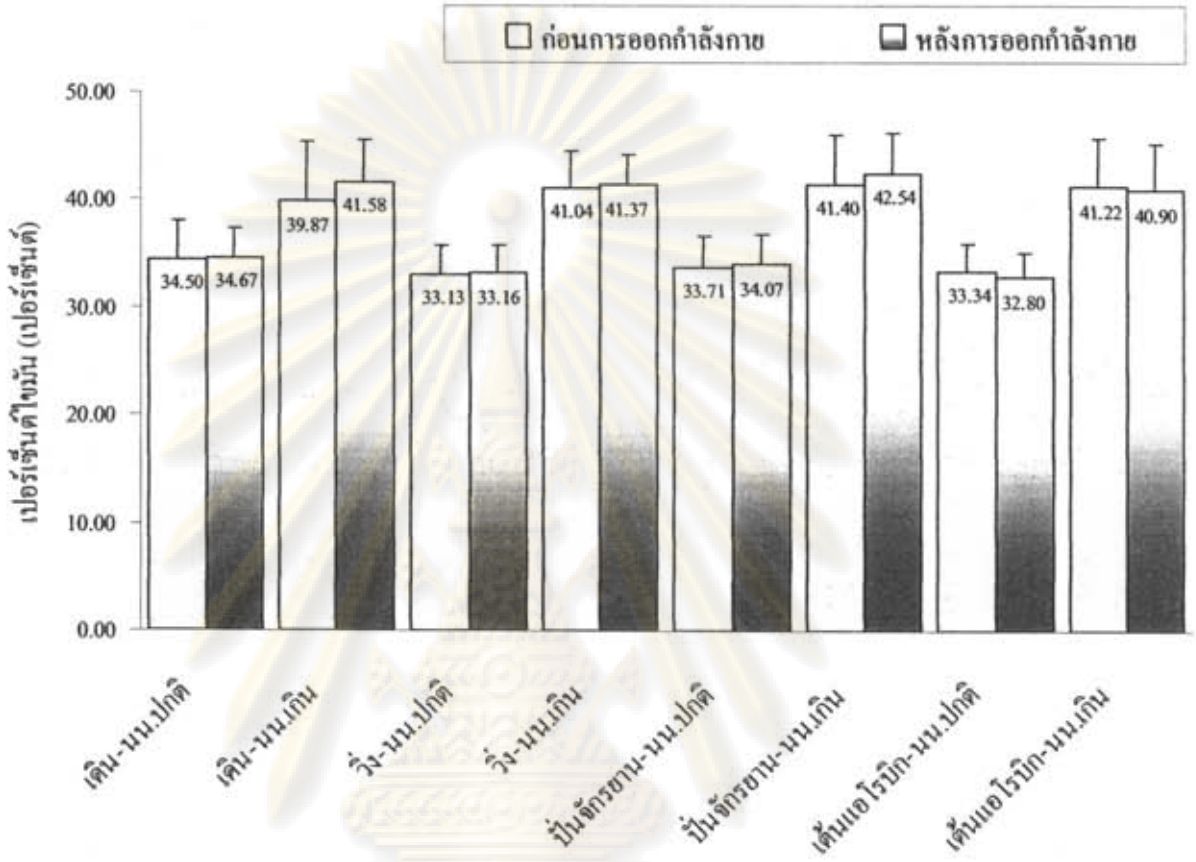
ตารางที่ 45 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (เปอร์เซ็นต์)	ก่อนการออกกำลังกาย		หลังการออกกำลังกาย		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
การออกกำลังกายด้วยการเดิน						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	34.50	3.50	34.67	2.68	- .149	.884
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	39.87	5.51	41.58	3.96	- .855	.413
การออกกำลังกายด้วยการวิ่ง						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	33.13	2.61	33.16	2.57	- .094	.927
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	41.04	3.40	41.37	2.79	- .599	.563
การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	33.71	2.96	34.07	2.83	- .482	.637
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	41.40	4.73	42.54	3.69	- 1.285	.228
การออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	33.34	2.60	32.80	2.24	1.137	.275
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	41.22	4.43	40.90	4.22	.402	.696

$p > .05$

จากตารางที่ 45 และแผนภูมิที่ 42 พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายก่อนการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด และทั้ง 2 กลุ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับหลังการออกกำลังกาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด และทั้ง 2 กลุ่ม มีผลให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ไขมันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 42 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายระหว่างก่อนและหลังออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของทั้ง 2 กลุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

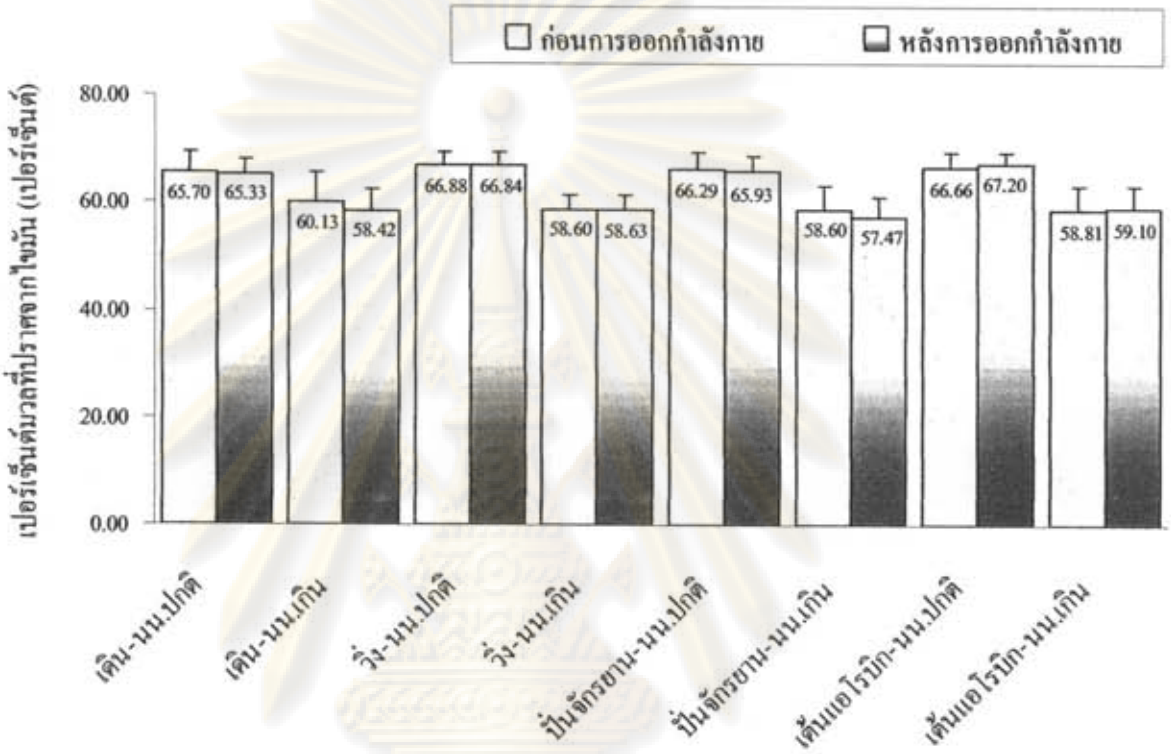
ตารางที่ 46 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์มวลกล้ามเนื้อที่ปราศจากไขมัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

เปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	ก่อนการออกกำลังกาย		หลังการออกกำลังกาย		ค่า t	p-value
	$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.		
การออกกำลังกายด้วยการเดิน						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	65.70	3.53	65.33	2.68	.321	.753
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	60.13	5.51	58.42	3.96	.855	.413
การออกกำลังกายด้วยการวิ่ง						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	66.88	2.60	66.84	2.57	.115	.910
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	58.60	2.98	58.63	2.79	- .069	.947
การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	66.29	2.96	65.93	2.83	.482	.637
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	58.60	4.73	57.47	3.68	1.280	.230
การออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิก						
กลุ่มน้ำหนักปกติ (n = 15)	66.66	2.61	67.20	2.24	- 1.144	.272
กลุ่มน้ำหนักเกิน (n = 11)	58.81	4.43	59.10	4.22	- .366	.722

$p > .05$

จากตารางที่ 46 และแผนภูมิที่ 43 พบว่า ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมันก่อนการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด และทั้ง 2 กลุ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับหลังการออกกำลังกาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิด และทั้ง 2 กลุ่ม มีผลให้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมันระหว่างก่อนและหลังออกกำลังกายทั้ง 4 ชนิดของทั้ง 2 กลุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก ในหญิงที่มีน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตหญิงของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 26 คน (อายุ 18 – 25 ปี) สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย โดยมีคุณสมบัติดังนี้ มีสุขภาพร่างกายแข็งแรงสมบูรณ์ ปราศจากโรคที่เสี่ยงต่อการออกกำลังกาย เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจอุดตัน โรคกล้ามเนื้อหัวใจตาย โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน เป็นต้น ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) จำแนกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้ค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index - BMI) เป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มน้ำหนักปกติ (BMI = 18.50 – 24.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) จำนวน 15 คน และกลุ่มน้ำหนักเกิน (BMI = 25.00 – 29.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) จำนวน 11 คน โดยที่ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนต้องออกกำลังกายเพื่อสุขภาพทั้ง 4 ชนิด อันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก การออกกำลังกายแต่ละชนิดเว้นระยะห่างเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ในแต่ละชนิดของการออกกำลังกายใช้เวลา 30 นาที (ไม่รวมการอบอุ่นร่างกาย 10 นาที) และมีความหนักระดับปานกลาง (64 – 76 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด) ซึ่งควบคุมการออกกำลังกายโดยผู้วิจัยหรือผู้ช่วยวิจัยชุดเดียวกัน และมีสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน (สถานที่และช่วงเวลาเดียวกัน) ก่อนดำเนินการวิจัย ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการชี้แจงถึงขั้นตอนต่างๆของการดำเนินการวิจัย และการปฏิบัติตัวโดยละเอียด พร้อมกับลงนามยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย จากนั้นจึงทำการวัดค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะ ในวันทำการทดลอง ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการชี้แจงพร้อมทั้งได้รับการกระตุ้นและจูงใจให้ออกกำลังกาย ทำการวัดค่าองค์ประกอบร่างกาย ได้แก่ น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมัน และเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมันทั้งก่อนและหลังการออกกำลังกาย ขณะออกกำลังกายทำการบันทึกค่าตัวแปรทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายและค่าการใช้พลังงาน ซึ่งทำการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Portable cardiopulmonary gas exchange system ยี่ห้อ Cortex รุ่น Metamax 3B: Breath by breath) ได้แก่ อัตราการเต้นหัวใจ ความดันโลหิต สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด การระบายอากาศ อัตราส่วนการหายใจ และการใช้พลังงาน (ช่วงเริ่มต้น ช่วงของการออกกำลังกายคงที่ ช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย และช่วงการใช้พลังงานโดยรวมของการออกกำลังกาย) แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยการทดสอบค่าที เพื่อ

เปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรดังกล่าวระหว่างกลุ่มตัวอย่าง และทำการทดสอบความแตกต่างระหว่างชนิดของการออกกำลังกายด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One way Analysis of Variance - ANOVA) หากพบความแตกต่างจะทำการเปรียบเทียบรายคู่ด้วยวิธีตูกี้ เอ ใช้ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ผลการวิจัยพบว่า

1. กลุ่มตัวอย่างนิสิตหญิงจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีค่าเฉลี่ยของอายุ ส่วนสูง อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักที่ไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ โดยพบว่า กลุ่มน้ำหนักเกิน มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัว (72.09 ± 12.44 กิโลกรัม) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวในขณะพัก (119.73 ± 15.58 มิลลิลิตรปรอท) และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวในขณะพัก (72.45 ± 5.52 มิลลิลิตรปรอท) มากกว่ากลุ่มน้ำหนักปกติ(มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัว 53.15 ± 2.99 กิโลกรัม ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวในขณะพัก 108.40 ± 11.89 มิลลิลิตรปรอท และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวในขณะพัก 61.93 ± 6.39 มิลลิลิตรปรอท)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สำหรับตัวแปรเกี่ยวกับสุขสมรรถนะนั้น พบว่า กลุ่มน้ำหนักเกินมีดัชนีมวลกาย (27.82 ± 3.08 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (37.93 ± 4.10 เปอร์เซ็นต์) มากกว่ากลุ่มน้ำหนักปกติ (มีค่าเฉลี่ยของดัชนีมวลกาย 20.92 ± 1.35 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย 26.51 ± 2.79 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่า กลุ่มน้ำหนักเกินมีค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (28.64 ± 3.91 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที) น้อยกว่ากลุ่มน้ำหนักปกติ (มีค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด 33.67 ± 3.98 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก เมื่อทำการวัดค่าตัวแปรทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องที่บันทึกค่าทุกๆนาทีตั้งแต่นาทีที่ 1-35 พบว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว และอัตราส่วนการหายใจ ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่สำหรับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ และการระบายอากาศของในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5) ของการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก ในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และเมื่อ

เปรียบเทียบระหว่างชนิดของการออกกำลังกาย พบว่า การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงเริ่มต้นของการวิ่งทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ มีค่าสูงกว่าการเดิน การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงคงที่ (นาทีที่ 11-20) ของการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของการออกกำลังกาย พบว่า การใช้พลังงานในการออกกำลังกายช่วงคงที่ของการเดินมีค่าสูงกว่าการปั่นจักรยานในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างชนิดของการออกกำลังกายในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. การใช้พลังงานช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) ของการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของการออกกำลังกาย พบว่า การใช้พลังงานช่วงหลังหยุดออกกำลังกายของการเดินมีค่าสูงกว่าการวิ่งในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างชนิดของการออกกำลังกายในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

6. การใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) ของการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของการออกกำลังกาย พบว่า การใช้พลังงานโดยรวมในการออกกำลังกายของการเดินและการวิ่งมีค่าสูงกว่าการปั่นจักรยานทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

7. สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดในการออกกำลังกายของการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของการออกกำลังกาย พบว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดของการเดินและการวิ่งมีค่าสูงกว่าการปั่นจักรยานทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

8. การออกกำลังกายด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก มีผลทำให้น้ำหนักตัวหลังออกกำลังกายมีค่าต่ำกว่าก่อนออกกำลังกาย แต่ไม่พบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ไขมันและเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ

อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาผลทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแบบแอโรบิกแต่ละชนิด อันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก เปรียบเทียบระหว่างบุคคลน้ำหนักเกินและน้ำหนักปกติในด้านค่าตัวแปรทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายและการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อบุคคลทั่วไป และผู้มีน้ำหนักเกินซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของประเทศ ส่งเสริมให้คนไทยได้ออกกำลังกายอย่างเหมาะสมกับบริบทของตนเอง สอดคล้องกับนโยบายรัฐบาลที่มุ่งรณรงค์ให้คนไทยมีสุขภาพดีด้วยการออกกำลังกาย งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบครั้งเดียว (Acute exercise) ของแต่ละชนิดการออกกำลังกาย มิได้ศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกาย (Chronic exercise or training) ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลเปรียบเทียบชนิดของการออกกำลังกายที่น่าเชื่อถือ และลดความคลาดเคลื่อนในการเก็บข้อมูล จึงกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องทำการออกกำลังกายทุกชนิด (Cross over design) ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างชนิดของการออกกำลังกายของตนเอง อีกทั้งผู้วิจัยยังใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์การกีฬาที่มีประสิทธิภาพ และตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีความครอบคลุม โดยจะอภิปรายผลการทดลองตามหัวข้อต่างๆดังนี้

1. ค่าพื้นทางทางสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะของหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะ ได้แก่ น้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย และเปอร์เซ็นต์ไขมันของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นั้นเป็นผลมาจากการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเป็นเกณฑ์ ซึ่งงานวิจัยนี้แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีน้ำหนักตัวปกติ จำนวน 15 คน (ค่าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 18.50 ถึง 24.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) และกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกิน จำนวน 11 คน (ค่าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 25.00 ถึง 29.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) โดยสถาบันวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (American College of Sports Medicine : ACSM, 2006) ได้กำหนดเกณฑ์ในการจำแนกระดับความอ้วนไว้ว่า ผู้ที่มีค่าดัชนีมวลกายน้อยกว่า 18.5 และมากกว่า 25.00 กิโลกรัมต่อตารางเมตร อยู่ในประเภทน้ำหนักตัวน้อยกว่าปกติและน้ำหนักตัวมากเกินปกติ ตามลำดับ และได้แบ่งระดับความรุนแรงของภาวะน้ำหนักเกินออกเป็น 4 ระดับ คือ เริ่มอ้วนหรือภาวะน้ำหนักเกิน อ้วนระดับที่ 1 อ้วนระดับที่ 2 และอ้วนระดับที่ 3 ซึ่งมีค่าดัชนีมวลกายเท่ากับ 25.00 - 29.99, 30.00 - 34.99, 35.00 - 39.99 และมากกว่า 40.00 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ดังงานวิจัยของ จิรภา น้ำคณาคุปต์ (2542) ที่ได้ทำการศึกษา

เปรียบเทียบผลของกิจกรรมการเคลื่อนไหวทางร่างกายและการใช้พลังงานระหว่างเด็กอ้วนและเด็กไม่อ้วนในกรุงเทพมหานคร พบว่า เด็กอ้วนมีดัชนีมวลกาย ร้อยละของน้ำหนักตัวต่อส่วนสูง ความหนาของไขมันใต้ผิวหนัง ร้อยละของไขมันในร่างกาย มวลไขมันในร่างกาย และอัตราการใช้พลังงานรวมของร่างกายทั้งขณะพักและขณะมีกิจกรรมมากกว่าเด็กไม่อ้วน สำหรับความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวในขณะพักของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นั้น อาจมีสาเหตุเนื่องมาจาก กลไกในร่างกายที่เกิดการกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก มีผลต่อการเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ รวมไปถึงทำให้อัตราการไหลของเลือดในหนึ่งนาทีมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการกระตุ้นของระบบดังกล่าวอาจส่งผลต่อการหดตัวของหลอดเลือด (Vasoconstriction) ทำให้เกิดความต้านทานของหลอดเลือดสูงขึ้น นอกจากนี้การมีความดันโลหิตสูงของผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินสามารถเกิดได้จากภาวะดื้อดึงต่ออินซูลิน (Insulin Resistance) และความตึงตัวอันเกิดจากการเกาะตัวของไขมันที่มากขึ้นบริเวณหลอดเลือดแดงอันส่งผลให้เกิดความเสื่อมสภาพที่บริเวณเยื่อบุภายในผนังหลอดเลือด (Arterial Stiffness & Endothelial dysfunction) (Brian, 2007) เหตุผลดังกล่าวสอดคล้องกับ สูและคณะ (2004) ซึ่งกล่าวไว้ว่า คนที่มีค่าดัชนีมวลกายมากกว่า 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 10 – 20 เปอร์เซ็นต์) ทั้งผู้ชายและผู้หญิงจะมีระดับคอเรสเตอรอลในเลือดสูงขึ้น ซึ่งอาจไปเกาะตามผนังหลอดเลือด ทำให้เลือดไปเลี้ยงหัวใจไม่สะดวก เกิดแรงด้านการไหลเวียนของเลือดมาก ส่งผลให้หัวใจต้องออกแรงสูบฉีดโลหิตมากขึ้น จึงทำให้มีโอกาสเกิดโรคความดันโลหิตสูงมากกว่าผู้ที่มีน้ำหนักปกติ 1.6 เท่า และ 1.32 เท่า ตามลำดับ ซึ่งการออกกำลังกายเป็นประจำจะช่วยลดปัจจัยเสี่ยงของโรคต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนโลหิต อันได้แก่ ลดความดันโลหิต ลดอัตราการเต้นของหัวใจ ลดไตรกลีเซอไรด์ ลดโอกาสการเกิดเลือดแข็งตัวง่ายผิดปกติ เพิ่มความสามารถละลายลิ่มเลือด ทำให้เลือดไม่จับตัวแข็งเป็นลิ่มได้ง่าย และช่วยลดการเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (จุไรพร สมบุญวงค์ และคณะ, 2546) สำหรับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นตัวบ่งชี้การทำหน้าที่ของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจ ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตพลังงาน เพื่อใช้ในการออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานๆ จะมีค่าที่แตกต่างกันไปตามสถานะทางเพศ อายุ ขนาด รูปร่าง (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัธน์, 2536) ผลที่ได้จากการวัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดสามารถใช้เป็นตัวกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายที่เหมาะสมแต่ละบุคคลได้ (นภพร ทัศนัยนา, 2547) ซึ่งสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะมีประสิทธิภาพมากน้อยอย่างไรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ปริมาณเลือดที่หัวใจบีบตัวในแต่ละครั้ง (Stroke volume หรือ SV) อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate หรือ HR) และความแตกต่างของออกซิเจนที่หลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (a-VO_2 diff) ดังนั้น การเพิ่มสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดจึงเกิดขึ้นโดยมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก การขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อลายเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มอัตราการไหลของเลือดจากหัวใจต่อนาที (SV x HR) และประการที่สอง

กล้ามเนื้อลายสกัดออกซิเจนออกมาจากหลอดเลือดของกล้ามเนื้อลายเพิ่มขึ้น (อุดม ทิพยมนตรี, 2540) จากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงถึง บุคคลที่มีภาวะน้ำหนักเกินจะมีสมรรถภาพทางด้านหัวใจ ปอด และหลอดเลือดที่ด้อยกว่าบุคคลที่มีน้ำหนักปกติ ซึ่งทำให้การกำหนดความหนักของการออกกำลังกายสำหรับบุคคลที่มีภาวะน้ำหนักเกินควรมีความแตกต่างจากบุคคลที่มีน้ำหนักปกติที่มีเพศและอายุเดียวกัน

2. ผลของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

การออกกำลังกายที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านการพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิต ควรเป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ซึ่งการออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นกระบวนการใช้พลังงานของกล้ามเนื้อ ที่ต้องใช้ออกซิเจนในการสันดาป ใช้ระยะเวลาติดต่อกันนานอย่างน้อย 20 นาที และความหนักปานกลาง เพื่อให้ร่างกายเพิ่มการใช้ปริมาณออกซิเจนที่หายใจเข้าไปมากขึ้น และกระตุ้นการทำงานของหัวใจ ปอดและหลอดโลหิต เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนโลหิตช่วยให้ร่างกายแข็งแรง มีความต้านทานโรคเพิ่มขึ้น (ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และกุลธิดา เชิงฉลาด, 2544) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลจากการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแบบแอโรบิก ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในหญิงที่มีน้ำหนักปกติ เมื่อทำการวัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ และการระบายอากาศทุกๆนาทีโดยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Portable cardiopulmonary gas exchange system ยี่ห้อ Cortex รุ่น Metamax 3B: Breath by breath) ตั้งแต่นาทีที่ 1-35 พบว่า มีลักษณะของกราฟเปรียบเทียบระหว่างชนิดของการออกกำลังกายและระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่คล้ายๆกัน (ไม่แตกต่างกันระหว่างชนิดของการออกกำลังกายและกลุ่มตัวอย่าง ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ .05) คือ กราฟช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกายจะมีความชันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงช่วงที่มีระดับการออกกำลังกายคงที่ (ความชันคงที่) จากนั้นช่วงหลังจากการหยุดออกกำลังกาย กราฟจะมีความชันลดต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นผลจากการที่ ช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย ปริมาณของออกซิเจนที่นำเข้าสู่ร่างกายจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งร่างกายสามารถผลิตพลังงานให้พอเพียง (การใช้ปริมาณของกรดแลกติกยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ) ร่างกายก็จะสามารถทำงานต่อไปอย่างสม่ำเสมอ แต่เมื่อระยะเวลาของการออกกำลังกายผ่านไปในช่วงเวลาหนึ่ง พลังงานของร่างกายจะได้มาจากการสลายตัวของเอทีพีภายในกล้ามเนื้อโดยใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ปริมาณของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อทำหน้าที่ผลิตพลังงานต่อเนื่อง โดยกระบวนการไกลโคไลซีส จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน น้ำ และกรดไพรูวิก ในช่วงนี้หากปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อ

ไม่เพียงพอ ร่างกายจะทำการยืมออกซิเจนจากเนื้อเยื่ออื่นๆมาใช้ในช่วงภาวการณ์นี้อย่างเร่งด่วน หลังจากการออกกำลังกายผ่านไป ร่างกายก็จะสามารถนำออกซิเจนเข้าโดยการหายใจเร็วๆเพื่อชดเชยคืนให้กับเนื้อเยื่อต่างๆ (พีระพงศ์ บุญศิริ และ ภมร เสนาฤทธิ์, 2541) แต่ลักษณะกราฟของค่าอัตราส่วนการหายใจ จะแตกต่างจากกราฟของค่าอัตราการเต้นของหัวใจ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ และการระบายอากาศ ตรงช่วงท้ายของการออกกำลังกาย (หลังจากนาทีที่ 30) ซึ่งเห็นว่าจะมีความชันสูงขึ้นต่อเนื่องมาจากช่วงของระยะการออกกำลังกายคงที่ในทุกชนิดของการออกกำลังกายและทุกกลุ่มตัวอย่าง ค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นกับจำนวนออกซิเจนที่ใช้ไปในการออกกำลังกาย อันเกิดจากการวัดค่าของการหายใจเข้าออกต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซในปอด สามารถใช้เพื่อให้บอกถึงชนิดของสารอาหารประเภทต่างๆที่ให้พลังงานระหว่างของการออกกำลังกาย ค่าอัตราส่วนการหายใจจะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์ เช่น คาร์โบไฮเดรตจะมีค่าอยู่ที่ 1.0 ไขมันจะมีค่า 0.7 โปรตีนจะมีค่า 0.8 แต่ถ้าต่ำกว่า 0.7 จะบ่งชี้ถึงการแลกเปลี่ยนระหว่างก๊าซทั้งสองชนิด แต่จะไม่บอกถึงชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์ (Wilmore et al, 1999) จากผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่าการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแบบแอโรบิกทั้ง 4 ชนิด มีลักษณะกราฟอัตราส่วนการหายใจในรูปแบบเดียวกัน อธิบายได้ว่า ช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย (อัตราส่วนการหายใจประมาณ 0.7) มีการนำสารอาหารประเภทไขมันมาใช้ในการเผาผลาญพลังงาน จนกระทั่งช่วงของการออกกำลังกายคงที่ (อัตราส่วนการหายใจประมาณ 0.7-0.9) แสดงถึง มีการนำสารอาหารทั้งสามประเภท ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน มาใช้ในการเผาผลาญพลังงานเป็นสัดส่วนที่แตกต่างกัน สำหรับช่วงหลังการออกกำลังกาย (อัตราส่วนการหายใจประมาณ 0.9-1.0) แสดงถึง มีการนำสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตมาใช้ในการเผาผลาญพลังงาน ในขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิก สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนจะค่อยๆเพิ่มขึ้นระหว่าง 2-3 นาทีแรกของการออกกำลังกาย และจะแปรผันตรงตามความหนักเบาของการออกกำลังกาย เมื่อเพิ่มความหนักเรื่อยๆจนเข้าสู่ระดับการออกกำลังกายคงที่ (Steady State) ซึ่งเมื่อถึงระดับนี้จะทำให้สมรรถภาพการรับออกซิเจนจากเลือดมีค่าใกล้เคียงกับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อ จากนั้นเมื่อหยุดออกกำลังกาย สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนจะค่อยๆลดลงจนสู่ภาวะปกติ (ชูศักดิ์ เวชแพทย์ และกันยา ปาละวิวัชน์, 2536) ความสัมพันธ์ระหว่างระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิตที่มีการใช้เมตาบอลิซึมแบบแอโรบิกในขณะออกกำลังกายที่สูงขึ้น เพื่อทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์มีการขนส่งไปให้เพียงพอกับความต้องการของทางเมตาบอลิซึมในขณะนั้น (สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนและสมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น) ซึ่งมีการระบายอากาศที่อาจเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มทั้งความลึกของการหายใจและอัตราส่วนการหายใจ หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับของการออกกำลังกาย ถ้าออกกำลังกายระดับเบาถึงปานกลาง มักมีการเพิ่มความลึกของการหายใจเป็นส่วนใหญ่ และมีอัตราการหายใจเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อออกแรงหนัก

เพิ่มมากขึ้น ความลึกของการหายใจจะเพิ่มขึ้นถึงระดับคงที่ ส่วนอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นมาก เพราะเวลาทั้งในการหายใจเข้าและหายใจออกจะสั้นลง เพิ่มการกำซาบของเลือดหรือปริมาตรเลือดที่ไหลไปสู่ปอดเพื่อแลกเปลี่ยนก๊าซและหลอดเลือดที่ปอดมีการขยายตัวสูงขึ้น และเพิ่มสมรรถนะการแพร่หรือปริมาณของก๊าซที่แพร่ข้ามเยื่อหุ้มถุงลมปอดไปสู่หลอดเลือดฝอยในแต่ละนาที (วิรุฬห์ เหล่าภัทรเกษม, 2537) สำหรับงานวิจัยนี้พบว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินจะมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ และการระบายอากาศ ต่ำกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นการแสดงให้เห็นว่า กลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีสมรรถภาพการใช้เมตาบอลิซึมแบบแอโรบิกหรือสุขภาพด้านการหายใจและหลอดเลือดด้อยกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ ซึ่งสอดคล้องกับ ลาบิบ (2003) ได้กล่าวถึง คนที่มีน้ำหนักตัวเพิ่มตั้งแต่ 5 ถึง 8 กิโลกรัม มีโอกาสเกิดโรคหัวใจวายเพิ่มขึ้น 25 เปอร์เซ็นต์ ถ้าน้ำหนักเพิ่มขึ้น 8 ถึง 11 กิโลกรัม โอกาสจะเพิ่มขึ้นถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และถ้าน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่า 11 กิโลกรัม โอกาสดังกล่าวจะเพิ่มสูงถึง 300 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะไขมันในเลือดที่เพิ่มสูงขึ้น ระดับน้ำตาลในเลือดสูง ความดันโลหิตจึงสูงขึ้นด้วย อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการวิจัยในครั้งนี้ที่พบว่า ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวในขณะพักของกลุ่มน้ำหนักเกินมีค่าที่สูงกว่ากลุ่มน้ำหนักปกติเช่นกัน

3. ผลของการใช้พลังงานในแต่ละช่วงของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ

การมีน้ำหนักเกินเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น เกิดจากพยาธิสภาพของระบบต่อมไร้ท่อ หรือในกรณีไม่มีพยาธิสภาพมักเป็นผลจากการใช้พลังงานน้อยกว่าพลังงานที่ได้รับ ในแง่ของความสมดุลของพลังงานหากการรับพลังงานมีมากกว่าการใช้พลังงานของร่างกาย จะส่งผลให้ร่างกายได้รับพลังงานเกินขนาดและทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ดังนั้นการควบคุมสมดุลของพลังงานที่ร่างกายได้รับจึงมีความสำคัญซึ่งทำได้โดยการควบคุมปริมาณและคุณภาพของอาหารที่รับประทาน และรักษาระดับของพลังงานที่ใช้ซึ่งทำได้โดยการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ (วิฑูร แสงศิริสุวรรณ และไอ้ออน ชินธเนศ, 2549) การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ 4 ชนิด อันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก เมื่อนำผลของการใช้พลังงานในทุกช่วงของออกกำลังกาย คือ ช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-5) ช่วงระยะการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20) ช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) และช่วงการใช้พลังงานโดยรวมของการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30) ที่ได้มาศึกษาเปรียบเทียบ พบว่า ในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินมีการใช้พลังงานในการออกกำลังกายสูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติในทุกชนิดของการออกกำลังกาย ทั้งนี้เนื่องจากการออกกำลังกายมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัว พบว่า บุคคลที่มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อการใช้พลังงานที่สูงขึ้นไปในระหว่างการออกกำลังกาย (McArdle et al., 2007) นอกจากนี้ คนที่มีน้ำหนักมากจะมีกระบวนการสร้างพลังงานซึ่งเกิดจาก

ขนาดของกล้ามเนื้อที่ใหญ่มากกว่าคนปกติที่จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหดตัว จึงทำให้สามารถออกแรงได้มากขึ้น (วันใหม่ ประพันธ์บัณฑิต, 2549) เมื่อเปรียบเทียบชนิดของการออกกำลังกายที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในช่วงต่างๆจะพบว่า การใช้พลังงานช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งมีค่าสูงกว่าการออกกำลังกายชนิดอื่นๆน่าจะมีสาเหตุจากความแตกต่างกันของธรรมชาติของการเคลื่อนไหวขณะการออกกำลังกาย ซึ่งการวิ่งมีช่วงที่เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้นพร้อมกันด้วย (Double support) นั่นคือ ช่วงที่เท้าข้างหนึ่งลงมาถึงพื้นแล้ว แต่เท้าอีกข้างหนึ่งยังไม่ทันได้ยกขึ้นพ้นพื้นไป ซึ่งช่วงนี้จะยาวหรือสั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของการเดิน คือ ถ้าเดินช้าๆ ช่วงที่เท้าทั้ง 2 ข้างสัมผัสพื้นก็จะยาว เมื่อเดินเร็วขึ้นช่วงนี้ก็จะสั้นลง หากเดินเร็วจนช่วงนี้หมดไปก็หมายความว่า ไม่มีช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นเลย ก็จะถือว่าหมดสภาพของการเดินแล้ว และเข้าสู่สภาพของการวิ่ง ซึ่งเมื่อเข้าสู่การวิ่งแล้วจะทำให้เกิดการกดทับของน้ำหนักตัวมากขึ้น (คำรง กิจกุศล, 2539) จึงทำให้การวิ่งมีการใช้พลังงานช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกายมากกว่าการออกกำลังกายชนิดอื่น และสำหรับการใช้พลังงานโดยรวม พบว่า การออกกำลังกายของการเดินและการวิ่งมีการใช้พลังงานโดยรวมสูงกว่าการปั่นจักรยานทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ อาจเป็นเพราะธรรมชาติของการเดินและวิ่งมีลักษณะของการเคลื่อนไหวที่คล้ายคลึงกัน มีการใช้มัดกล้ามเนื้อของร่างกายทั้งส่วนบนและส่วนล่าง (Upper and lower body) แต่จะแตกต่างกับการปั่นจักรยาน ซึ่งจะมีการใช้มัดกล้ามเนื้อที่เน้นเฉพาะส่วนล่างของร่างกาย (Secher, 1977) อีกทั้งอาจเป็นเพราะความแตกต่างของการระดมหน่วยยนต์ภายในมัดกล้ามเนื้อ (Motor unit recruitment) จากกระบวนการสลายกลูโคสหรือไกลโคเจน ซึ่งส่งผลให้เกิดการสร้างพลังงานมาใช้ในร่างกายที่แตกต่างกันไป (Scott et al, 2006) สอดคล้องกับ เพอร์เรย์ และคณะ (2001) ที่กล่าวถึง การออกกำลังกายชนิดใดก็ตามที่มีการใช้ปริมาณรวมในการระดมมัดกล้ามเนื้อต่อการหดตัว (Concentric muscle action) และคลายตัว (Eccentric muscle action) ได้มากกว่า จะทำให้มีการสร้างพลังงานได้มากกว่า ซึ่งการเดินและการวิ่งจะมีการระดมมัดกล้ามเนื้อต่อการหดตัวเพื่อให้เกิดการสร้างพลังงานในขณะที่มีการออกกำลังกายที่มากกว่าการปั่นจักรยาน ผลการทดลองที่พบว่า การออกกำลังกายด้วยการเดินมีการใช้พลังงานที่สูงเทียบเท่ากับการออกกำลังกายชนิดอื่น สอดคล้องกับของเจมส์และเจนนิเฟอร์ (2006) ที่ทำการศึกษาการใช้พลังงานด้วยวิธีทำงานที่โต๊ะทำงานพร้อมกับการเดินในผู้ที่มีภาวะโรคอ้วน พบว่า ค่าเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของการเดินไปทำงานไป มีค่าการใช้พลังงานสูงกว่านั่งทำงานอย่างเดียว จึงสรุปได้ว่า ถ้านั่งทำงานถูกแทนด้วยการเดินไปทำงานไป การใช้พลังงานจะสูงขึ้น 100 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง และถ้าเดินทำงาน เป็นระยะเวลา 2 ถึง 3 ชั่งโมงต่อหนึ่งวัน จะทำให้ปัจจัยด้านสมดุลพลังงานเกิดอย่างต่อเนื่อง มีโอกาสลดน้ำหนักได้ถึง 20 ถึง 30 กิโลกรัมต่อปี ดังนั้น การเดินจึงเป็นรูปแบบการออกกำลังกายที่เหมาะสมสำหรับผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

4. ผลของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆต่อองค์ประกอบร่างกาย

ขนาดของร่างกาย (Body size) เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ที่จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างบุคคลต่ออัตราการเผาผลาญพลังงานขั้นพื้นฐานขณะพัก และค่าองค์ประกอบร่างกาย (Cláudia, 2004) สำหรับงานวิจัยนี้ กลุ่มน้ำหนักเกิน มีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย มากกว่ากลุ่มน้ำหนักปกติ เมื่อทำการออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกที่มีความหนักระดับปานกลาง (64 – 76 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด) เป็นเวลา 30 นาที มีผลทำให้น้ำหนักตัวหลังออกกำลังกายมีค่าต่ำกว่าก่อนออกกำลังกาย แต่ไม่พบความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์ไขมันและเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกาย ทั้งในกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินและในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ เป็นไปได้ว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยความหนักและระยะเวลาดังกล่าวเพียงครั้งเดียว (Acute exercise) ทำให้น้ำหนักลดลงนั้น อาจเป็นเพราะเป็นผลมาจากการสูญเสียน้ำในร่างกายขณะการออกกำลังกาย ดังนั้น ผู้นำไปปฏิบัติจึงควรพิจารณาการทดแทนน้ำขณะออกกำลังกายด้วย อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกชนิดต่างๆดังกล่าวไม่เพียงพอที่จะทำให้ไขมันในร่างกายลดลงได้ในครั้งเดียว จำเป็นต้องปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ซึ่งรุจิรา สัมมะสุต (2547) ได้กล่าวถึงแนวทางการปฏิบัติตนเพื่อลดน้ำหนักไว้ว่า ผู้ต้องการลดน้ำหนักก็คือ ปรึกษาแพทย์หรือนักโภชนาการ เพื่อขอคำแนะนำในการปฏิบัติตนได้ถูกต้อง และจะต้องปฏิบัติตนด้วยตนเองเท่านั้น นั่นคือ มีการออกกำลังกายให้ถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งลักษณะของการออกกำลังกาย ในระยะแรกควรจะเป็นไปอย่างพอเหมาะพอควร แล้วค่อยๆเพิ่มเวลาให้นานขึ้น พยายามทำให้ติดต่อกันทุกวันจนเป็นกิจวัตรประจำวัน จะเป็นแนวทางที่ช่วยลดน้ำหนักได้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแบบแอโรบิกด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกที่มีความหนักระดับปานกลาง สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมสำหรับผู้ที่มีภาวะน้ำหนักปกติ

2. การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยการวิ่งแม้จะเป็นการออกกำลังกายที่ใช้พลังงานมากในช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย แต่อาจส่งผลทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อข้อเข่า และข้อเท้า อาจไม่เหมาะสมสำหรับผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน การออกกำลังกายด้วยการเดินมีการใช้พลังงานไม่

แตกต่างไปจากการวิ่ง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเสนอว่า การเดินเป็นการออกกำลังกายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก

3. การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยการปั่นจักรยาน เป็นการออกกำลังกายที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดอื่นๆ แต่ก็มีข้อดีในเรื่องของการลดแรงที่กระทำต่อข้อต่อช่วงล่างของร่างกาย

4. การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยการเต้นแอโรบิก เมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายชนิดอื่นๆ มีข้อดีในเรื่องของความสนุกสนานเพลิดเพลินอันเนื่องมาจากเป็นกิจกรรมประกอบจังหวะเพลง และได้ใช้กล้ามเนื้อมัดต่างๆของร่างกายครบทุกส่วน แต่ก็มีข้อควรระวังคือ ควรใช้ท่าเต้นที่มีแรงกระแทกต่ำ หากจำเป็นต้องใช้สำหรับผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน หรือผู้มีปัญหาเรื่องข้อต่อและกระดูก

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีทำการศึกษาเกี่ยวกับการฝึกออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆที่มีความหนักแตกต่างกันในบุคคลกลุ่มวัยต่างๆ หรือกลุ่มบุคคลที่เป็นโรคต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคกระดูกพรุน เป็นต้น

2. ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานเกี่ยวกับการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ (นอกเหนือจากการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิก) เช่น การว่ายน้ำ การวิ่งเหยาะ การเดินเร็ว เป็นต้น

3. ควรทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ เปรียบเทียบการใช้พลังงาน กับการเปลี่ยนแปลงของสารชีวเคมีในเลือด และระดับฮอร์โมน

4. ควรมีการเปรียบเทียบการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพที่มีผลต่อความเครียด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การกีฬาแห่งประเทศไทย. การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: เซเว่นพริ้นติ้ง กรุ๊ปจำกัด, 2542.

เกษม ช่วยพนัง. วิทยาศาสตร์การกีฬา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เอมพันธ์, 2536.

จรวยพร ธรณินทร์. ออกกำลังกายและกีฬาเพื่อสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ตะเกียง, 2534.

จิรภา น้ำคณาคุปต์. การศึกษากิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายและการใช้พลังงานระหว่างเด็กไทยที่อ้วนและไม่อ้วนในกรุงเทพมหานคร. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเวชศาสตร์การกีฬา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

จุไรพร สมบุญวงค์ และคณะ. การควบคุมระบบไหลเวียนขณะออกกำลังกาย (Circulatory controls during exercise) ใน สรีรวิทยาพื้นฐาน ฉบับปรับปรุง 2546 เล่ม 2. หน้า 125-130. (ม.ป.ท.), 2546.

จุไรพร สมบุญวงค์ และคณะ. เมแทบอลิซึม และพลังงาน (Energy Metabolism) ใน สรีรวิทยาพื้นฐาน ฉบับปรับปรุง 2546 เล่ม 3. หน้า 90-97. (ม.ป.ท.), 2546.

แจ็คโคสกิ, เอ.เจ. ออกกำลังกายอย่างไรให้เหมาะสมกับรูปร่าง . แปลโดย รัชดา แดงจำรูญ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อิมเมจ, 2545.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์. สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย. พิมพ์ครั้งที่ 2. (ม.ป.ท.), 2524.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ . กายวิภาคและสรีรวิทยาของการออกกำลัง. กรุงเทพมหานคร: ธรรมกมลการพิมพ์, 2536.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัชน์. สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ธรรมกมลการพิมพ์, 2536.

ดำรง กิจกุศล. การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ. ใน วิชัย วนดุรงค์วรรณ (บรรณาธิการ), กีฬาเวชศาสตร์พื้นฐาน(ฉบับปรับปรุงใหม่), หน้า 18-26. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ดำรง กิจกุศล. คู่มือออกกำลังกาย . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์หมอชาวบ้าน, (ม.ป.ป.)

ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ และกุลธิดา เชิงฉลาด. ปทานุกรมศัพท์กีฬา พลศึกษา และวิทยาศาสตร์การกีฬา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กระทรวง. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. รายงานการสำรวจพฤติกรรมการเล่นกีฬาและการดูกีฬาของประชากร พ.ศ. 2545. (ม.ป.ท.), 2546.

ธเนศ ชิตาพนารักษ์ และคณะ. อายุรศาสตร์ประยุกต์ 3 . พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่ : เชียงใหม่ขุมทรัพย์การพิมพ์, 2548.

นงพะงา ศิวานุวัฒน์. การเปรียบเทียบผลของการเดินแบบสะสมและแบบต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสุขภาพของหญิงวัยทำงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.

นภพร ทัศนัยนา . การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ. ศูนย์กีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2547.

ไบเลย์, โคเวิร์ต . หยุดอ้วนเสียที (Fit or fat?) แปลโดย วิชิต คนึงสุขเกษม . กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2535.

ประทุม ม่วงมี. รากฐานทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายและพลศึกษา. กรุงเทพฯ: บูรพาสาส์น, 2527.

พรทิตา ชัยอำนวย. แนวทางการป้องกันและรักษาโรคอ้วนในประชากรไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: วิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร, 2545.

พนิดา กุลประสูติดิลก. ทำไมลดน้ำหนักไม่ลง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สุขภาพใจ, 2545.

พิชิต ภูติจันทร์ และคณะ. วิทยาศาสตร์การกีฬา . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ต้นอ้อ, 2533.

พิชิต ภูติจันทร์. สรีรวิทยาการออกกำลังกาย . พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2535.

พีระพงศ์ บุญศิริ และ ภมร เสนาฤทธิ์. โภชนาการและการออกกำลังกาย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, 2541.

ไพวัลย์ ตัณลาพุฒ. พลศึกษาเบื้องต้น.พิมพ์ครั้งที่ 2 .กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

รุจิรา สัมมะสุต. โภชนาการและการควบคุมน้ำหนัก. ใน ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ (บรรณาธิการ), เอกสารอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง "การเป็นผู้นำการออกกำลังกายและกีฬาเพื่อสุขภาพ

สำหรับเจ้าหน้าที่สาธารณสุขและเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองท้องถิ่น", หน้า 5-13. (ม. ป.ท.) , 2547.

วันใหม่ ประพันธ์บัณฑิต. สมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness). ใน ไอ้ออน ชินธเนศ (บรรณาธิการ), วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา. หน้า 109-11, 2549.

วิฑูร แสงศิริสุวรรณ และไอ้ออน ชินธเนศ. ตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้การออกกำลังกายเพื่อควบคุมและลดน้ำหนักตัว. ใน ไอ้ออน ชินธเนศ (บรรณาธิการ), วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา. หน้า 93-7, 2549.

วารุณี วรศักดิ์เสนีย์. ผลของการเดินที่มีต่อระบบไหลเวียนโลหิตและสารเคมีในเลือดของหญิงสูงอายุ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาพลศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2537.

วิชัย ตันไพจิตร และคณะ . การตรวจคัดกรองโรคอ้วนและภาวะทุพโภชนการในผู้ใหญ่ใน แนวทางการตรวจและการเสริมสุขภาพสำหรับประชาชนไทย : ฉบับเฉลิมพระชนม์ 72 พรรษามหาราชา. หน้า 112-120. กรุงเทพมหานคร: กลุ่มสถาบันฝึกอบรมแพทย์เฉพาะทางแห่งประเทศไทย, 2545.

วิรุฬห์ เหล่าภัทรเกษม. กีฬาเวชศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: พี.บี ฟอเรน บุคส์เซ็นเตอร์, 2537.

วุฒิพงษ์ ปรมัตถากร และ อารี ปรมัตถากร. วิทยาศาสตร์การกีฬา (Sport Science). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, 2532.

ศิริลักษณ์ โอตาคาร. ผลของการออกกำลังกายปานกลางแบบเฉียบพลันต่อภาวะการเกิดไดอีนคอนจูเกชั่นของไล-เดนซิตี้ไลโปโปรตีนในผู้ใหญ่ไทยที่ไม่ได้ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ ฉบับเฉลิมพระชนม์ 72 พรรษามหาราชา.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา บัณฑิตวิทยาลัย.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544 .

ศุลีพร แซ่ฉั่ว. การเปรียบเทียบสมรรถภาพทางกายบางด้านของนักเรียนชาย อายุ 15 ถึง 17 ปี ภายหลังการฝึกเดินและการฝึกวิ่งเหยาะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาพลศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2529.

ศูนย์ควบคุมโรคไม่ติดต่อ. กระทรวงสาธารณสุข. สถานการณ์ของปัจจัยเสี่ยงสำคัญ 5 ปัจจัยต่อการเกิดโรคเรื้อรัง จากการสำรวจพฤติกรรมเสี่ยงโรคไม่ติดต่อและการบาดเจ็บ, 2548.

สุดา กาญจนะวณิชย์. การเปรียบเทียบผลของการเต้นแอโรบิกแบบศิลปะมวยไทยกับการเต้นแอโรบิกแบบแรงกระแทกต่ำที่มีต่อสมรรถภาพทางกาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาพลศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.

สุภกร บัวสาย. ออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ. ใน ออกกำลังกายเป็นยาวิเศษ . หน้า 20-25. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2548.

สุเทพ ชานุ. ความสัมพันธ์ระหว่างการจับออกซิเจนสูงสุดโดยวิธีจักรยานของออสตรานด์กับดรรชนีการวัดค่าการทำงานของหัวใจโดยวิธีการใช้เครื่องวัดค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาพลศึกษา คณะครุศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.

เสก อักษรานุเคราะห์. การออกกำลังกายเพื่อชะลอความแก่ . กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (ม.ป.ป.)

อนามัย, กรม . กองออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ . ใน ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ (บรรณาธิการ), เอกสารอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง "การเป็นผู้นำการออกกำลังกายและกีฬาเพื่อสุขภาพสำหรับเจ้าหน้าที่สาธารณสุขและเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองท้องถิ่น", หน้า 100-101. (ม.ป.ท.), 2547.

อุดม ทิพยมนตรี. การอบรมวิชาการสรีร-พยาธิสรีรวิทยา. คณะวิทยาศาสตร์และภาควิชาสรีรวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลร่วมกับสรีรวิทยาสมาคม วันที่ 6-9 พฤษภาคม 2540.

ภาษาอังกฤษ

American College of Sport Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription . 7th ed. Pennsylvania: Lippincott Williams & Wilkin, 2006.

Brian, T., et al Overweight, physical activity and high blood pressure in children: a review of the literature. *vasc health risk manag*. 2007, 1: 139-149.

Brook, G.A. and Fahey, T.D. Exercise physiology human biogenergetics and its applications. New York: Macmillan publications, 1984.

Cláudia M.M., et al. Acute effects of resistance exercise on energy expenditure: revisiting the impact of the training variables. *Rev Bras Med Esporte*. 2004, 10: 122-130.

Flegal, K.M., et al. Overweight and obesity in the United States: prevalence and trends, 1960-1994. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1998, 22: 39-47.

Fox, E.L. and Mathews, D.K. The physiological basic of physical education and athletics. 3rd ed. Philadelphia: CBS College Publishing, 1981.

George, A.B., et al. Some respiratory and metabolic effects of exercise in moderately obese men. *Metabolism*. 1977, 26: 403-421.

Hu, G.B., et al. Relationship of Physical activity and body mass index to the risk hypertension: a prospective study in finland. *Hypertension* . 2004, 43: 25-30.

James, A.L.L. and Jennifer, M. The energy expenditure of using a "walk-and-work" desk for office-workers with obesity. *Br J Sports Med*. 2006, 10:1-4.

Kang, J., et al. Effect of contraction frequency on energy expenditure and substrate utilisation during upper and lower body exercise *Br J Sports Med*. 2002, 38: 31-35.

Koppo, K., et al. Oxygen uptake kinetics during high-intensity arm and leg exercise. *Respir Physiol Neurobiol*. 2002, 133: 241-250.

Labib, M. The Investigation and Management of Obesity. *J Clin Pathol*. 2003, 56: 17-25.

Lamb, D.R. Physiology of Exercise. 2nd ed. New York: Macmillan Publishing Co., 1984.

Lexic, W. Aerobic instructor course in Hongkong, 23-30 April, Network for Fitness Professionals, 1992.

Magaria, R., et al. Kinetic and mechanism of oxygen debt contraction in man. *J. Appl.Physiol*. 1963, 18: 371-377.

McArdle, W.D., et al. Exercise Physiology, Energy, Nutrition, and Human Performance. 6th ed. Pennsylvania: Lippincott Williams & Wilkin, 2007.

Payne P.R., et al. Prediction of daily energy expenditure from average pulse rate. *Am J Clin Nutr*. 1971, 9 : 1164-1170

Perrey, S., et al. Comparison of oxygen uptake kinetics during concentric and eccentric cycle exercise. *J. Appl. Physiol*. 2001, 91: 2135-2142.

Plowman, S.A. and Smith D.L. Exercise physiology for health, fitness, and performance . 2nd ed. San Francisco: Benjamin Cummings, 2003.

Rodriguez, M.A. The effect of exercise dance compare with calisthenics and jogging on heart rate and student attitude toward exercise. *Dissertation Master Thesis (M.A.) California State University*, Fresno, 1997.

Scott, C.B., et al. Difference in oxygen uptake but equivalent energy expenditure between a brief bout of cycling and running. *Nutrition & Metabolism*. 2006, 3:1-5.

Sedlock, D.A. Effect of exercise intensity on postexercise energy expenditure in women. *Br. J. Sports Med*. 1991, 25: 38-40.

Secher, N.H. Physiological and biological aspects of rowing. *J. Sport. Sci*. 1993, 15: 24-42.

Schwar, M., et al. Cardiocirculatory and metabolic responses at different walking intensities. *Br. J. Sports Med*. 2006, 40: 64-67.

Sheldon, W.H. Altas of Men. New York: Harper and brothers, 1954.

Sherry T.Z. How to use the American College of Sports Medicine metabolic equations. New York: PRC Publishing, 1990.

Swan, P.D., et al. Energy expenditure estimates of the caltrac accelerometer for running, race walking, and stepping. *Br. J. Sports Med*. 1997, 31: 235-239.

Willmore, J.H. and Costill, D.L. Physiology of sport and exercise. 2nd ed. Indiana: Human Kinetics, 1999.

Wyatt, F.B. A meta – analysis of the non – linear dynamic associated with anaerobic threshold. *Doctoral Dissertation, University of Northern Corolado, 1996. Dissertation Abstracts International* .2518, 6: 52-54.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก ใบยินยอมของประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

(Informed Consent Form)

ชื่อโครงการ การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ ระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

เลขที่ ประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย.....

ข้าพเจ้าได้รับทราบจากผู้วิจัยชื่อ นาย วีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์ ที่อยู่ 539 ซอย ส.ธรณินทร์ 7 ถนนประชาอุทิศ แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10320 โทรศัพท์มือถือ 086-374-3480 ซึ่งได้ลงนามด้านท้ายของหนังสือนี้ ถึงวัตถุประสงค์ ลักษณะ และขั้นตอนการศึกษาวิจัยเรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ข้าพเจ้ายินดีเข้าร่วมการศึกษาวิจัยครั้งนี้โดยสมัครใจ และมีสิทธ์ที่จะปฏิเสธการเข้าร่วมงานวิจัยได้ตามต้องการ และข้าพเจ้ายินดีให้ข้อมูลของข้าพเจ้าต่อผู้วิจัยเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา โดยผู้วิจัยรับรองว่า จะเก็บข้อมูลเป็นความลับและจะเปิดเผยได้เฉพาะข้อมูลสรุปผลการวิจัย การเปิดเผยข้อมูลเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าต่อหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง กระทำได้เฉพาะกรณีจำเป็นด้วยเหตุผลทางวิชาการเท่านั้น

สุดท้ายข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นและมีความเข้าใจดีทุกประการ ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้แล้วข้างต้น จึงได้ลงนามในใบยินยอมนี้

.....	.....
สถานที่ / วันที่	ลงนามผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
.....	.....
สถานที่ / วันที่	(นาย วีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์)
	ลงนามผู้วิจัยหลัก
.....	.....
สถานที่ / วันที่	(.....)
	ลงนามพยาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข ข้อมูลสำหรับประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

(Patient/ Participant Information Sheet)

ชื่อโครงการวิจัย การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ผู้วิจัย นาย วีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์ นิสิตปริญญาโทปีที่ 2
แขนงวิชาสรีรวิทยาการกีฬา

สถานที่ติดต่อ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์มือถือ 08X-XXX-XXXX **อีเมลล์** pankcu20@hotmail.com

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดรุณวรรณ สุขสม

เรียน ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่าน

ท่านเป็นหนึ่งในผู้รักการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ *จำนวน 26 คน* ที่ได้รับเชิญให้เข้าร่วมการวิจัยเรื่องการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ ระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ
2. เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆอันได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสุขภาพแข็งแรงปราศจากโรคหรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมที่จะออกกำลังกาย โดยประเมินจากแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) ต้องตอบว่า "ไม่เคย" ทุกข้อ จึงจะสามารถผ่านเกณฑ์

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งที่ผู้วิจัยต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกณฑ์การคัดผู้เข้าร่วมวิจัยออกจากการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมการทดลองต่อ

ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีสุขภาพร่างกายแข็งแรงสมบูรณ์และให้ความร่วมมือด้วยความเต็มใจ

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการชี้แจงถึงขั้นตอนต่างๆของการดำเนินการวิจัย และการปฏิบัติตัวของผู้เข้าร่วมวิจัยโดยละเอียด และต้องลงชื่อในใบยินยอมของผู้เข้าร่วมวิจัยก่อนการวิจัย

3. ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการกระตุ้นและจูงใจให้ออกกำลังกายตามลำดับวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งจะกระทำโดยผู้วิจัยหรือผู้ช่วยวิจัยชุดเดียวกัน และในสภาวะแวดล้อมใกล้เคียงกัน (สถานที่และช่วงเวลาเดียวกัน)

4. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด มีความแม่นตรง สามารถเชื่อถือได้

ข้อจำกัดของการวิจัย

ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมการประกอบกิจกรรมประจำวันของผู้เข้าร่วมวิจัยให้เหมือนกันได้ เช่น การรับประทานอาหาร การพักผ่อน เป็นต้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นวิธีการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research Design) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ มีรายละเอียดของวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. อาสาสมัครทำการตอบแบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire หรือ PAR-Q) เป็นระยะเวลา 10 นาที เพื่อคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีสุขภาพแข็งแรงปราศจากโรคประจำตัวที่จะส่งผลต่อการออกกำลังกาย และวัดน้ำหนักกับส่วนสูง แล้วนำไปหาค่าดัชนีมวลกาย (Body Mass Index หรือ BMI) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย โดยแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยเป็น 2 กลุ่ม คือ

   1.1. กลุ่มน้ำหนักตัวปกติ จำนวน 15 คน (ค่า BMI ระหว่าง 18.50 ถึง 24.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2. กลุ่มภาวะน้ำหนักเกิน จำนวน 11 คน (ค่า BMI ระหว่าง 25.00 ถึง 29.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

2. ก่อนที่ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละบุคคลจะทำการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแต่ละชนิด ผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้ คือ

2.1. ค่าพื้นฐานทางสรีรวิทยา คือ อัตราการเต้นหัวใจขณะพัก สมรรถภาพการจับออกซิเจนพื้นฐาน ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวในขณะพัก ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (แขน ขา และหลัง) ความทนทานของกล้ามเนื้อ (ดันพื้น และลุกนั่ง) ความอ่อนตัว และความจุปอด

2.2. การทดสอบการออกกำลังกาย (Exercise test) เพื่อหาค่าการวัดอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย

3. ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่านออกกำลังกายทุกชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกแบบแรงกระแทกต่ำ ที่ความหนักระดับปานกลาง คือ 64 ถึง 76 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เป็นระยะเวลา 30 นาที และพักระหว่างชนิดของการออกกำลังกาย เป็นเวลา 1 สัปดาห์

4. ในวันที่ทำการออกกำลังกายแต่ละชนิด จะมีการวัดค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่างๆดังต่อไปนี้

4.1. ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สมรรถภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด การระบายอากาศ และอัตราส่วนการหายใจ

4.2. การใช้พลังงานทั้งหมด 4 ช่วง ได้แก่ การใช้พลังงานช่วงเริ่มต้น (นาทีที่ 1-5), การใช้พลังงานช่วงของการออกกำลังกายคงที่ (นาทีที่ 11-20), การใช้พลังงานหลังหยุดออกกำลังกาย (นาทีที่ 30-35) และการใช้พลังงานโดยรวมของการออกกำลังกาย (นาทีที่ 1-30)

4.3. องค์ประกอบร่างกาย ได้แก่ น้ำหนักตัว เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และเปอร์เซ็นต์มวลที่ปราศจากไขมัน

5. นำข้อมูลที่ได้จากการออกกำลังกายทุกชนิดของผู้เข้าร่วมวิจัยมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัยต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบถึงผลความแตกต่างของการใช้พลังงานและองค์ประกอบร่างกายของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยการเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินกับหญิงที่มีน้ำหนักปกติ
2. ได้ทราบถึงผลความแตกต่างของการใช้พลังงานและองค์ประกอบร่างกายระหว่างการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพแต่ละชนิด ได้แก่ การเดิน การวิ่ง การปั่นจักรยาน และการเต้นแอโรบิกในหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ
3. เป็นแนวทางในการเลือกออกกำลังกายเพื่อสุขภาพสำหรับผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินและผู้ที่มีน้ำหนักปกติทั่วไป
4. เป็นแนวทางต่อไปในการศึกษาผลทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพในแต่ละชนิด

ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับศึกษาวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เพื่อความปลอดภัยกับผู้เข้าร่วมวิจัย จึงมีการตรวจสอบวิธีดำเนินการวิจัยอย่างรอบคอบ เพื่อมิให้เกิดความเสี่ยงใดๆที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย อาจมีผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ แขนขา ในขณะออกกำลังกายและหลังออกกำลังกายเพื่อสุขภาพในแต่ละชนิด หรือไม่มีกำลังและท้อแท้ในระหว่างขณะทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยา หรือรู้สึกอึดอัดหายใจไม่สะดวกขณะทำการทดสอบการออกกำลังกาย แต่อาการดังกล่าวจะหายเป็นปกติในเวลาอันสั้น ทั้งนี้ก่อนและหลังการออกกำลังกายทุกครั้งในการออกกำลังกายจะมีการอบอุ่นร่างกาย และผ่อนคลายกล้ามเนื้อ เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้น หากพบว่ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นระหว่างการออกกำลังกายให้หยุดการออกกำลังกายทันที ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องรีบแจ้งผู้วิจัยทราบโดยเร็ว เพื่อที่ผู้วิจัยจะทำการส่งต่อ ณ สถานพยาบาล และถ้ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นผู้วิจัยจะเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา

การพิทักษ์สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยพบผู้เข้าร่วมวิจัยและแนะนำตัว อธิบายวัตถุประสงค์ และขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งขอความร่วมมือในการทำวิจัย และชี้แจงให้ทราบว่า การตอบรับหรือการปฏิเสธ การเข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้ จะไม่มีผลต่อผู้เข้าร่วมวิจัย ข้อมูลทุกอย่างจะถือเป็นความลับ และนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้เท่านั้น ผลการวิจัยจะเสนอในภาพรวม ผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถแจ้งออกจากการวิจัยได้ก่อนที่การวิจัยจะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิ้นสุดลง โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผลหรือคำอธิบายใดๆ ซึ่งการกระทำดังกล่าวจะไม่มีผลอย่างใดต่อผู้เข้าร่วมวิจัยและครอบครัว และเมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

การเปิดเผยข้อมูล

ข้อมูลส่วนตัวและข้อมูลอื่นๆที่อาจนำไปสู่การเปิดเผยตัวของท่านจะได้รับการปกปิด ยกเว้นว่าได้รับคำยินยอมจากท่าน ข้อมูลของท่านจะถูกเก็บไว้เป็นความลับเฉพาะผู้วิจัย อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ตรวจสอบ และคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรม และจะเปิดเผยผลการวิจัยในภาพรวม หากท่านมีข้อซักถามประการใด กรุณาติดต่อนาย วีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์ โทรศัพท์มือถือ 08X-XXX-XXXX หรือทางอีเมลล์ pankcu20@hotmail.com

ขอขอบคุณในความร่วมมือของท่านมา ณ ที่นี้

.....

(นาย วีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์)

ผู้วิจัยหลัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค แบบสอบถามประวัติสุขภาพเพื่อการออกกำลังกาย (PAR-Q)

ชื่อ.....นามสกุล.....

อายุ.....ปี.....เดือน

แบบสอบถามนี้ใช้สำหรับบุคคลที่มีอายุระหว่าง 15 - 69 ปี มีจำนวนทั้งสิ้น 7 ข้อ

ใช่	ไม่	กรุณาทำเครื่องหมายถูกหน้าข้อที่เกิดขึ้น
○	○	*1. แพทย์เคยพูดถึงปัญหาสุขภาพที่เกี่ยวกับหัวใจ หรือเคยได้รับคำแนะนำจากแพทย์ในเรื่องดังกล่าวหรือไม่?*
○	○	*2. คุณเคยเจ็บหน้าอกขณะมีการออกกำลังกายหรือไม่?*
○	○	*3. ใน 1 เดือนที่ผ่านมา คุณเคยเจ็บหน้าอก แม้ไม่ได้มีการออกกำลังกายหรือไม่?*
○	○	*4. คุณเคยเสียการทรงตัว เพราะสาเหตุมาจากการเวียนศีรษะ หรือเคยหมดสติหรือไม่?*
○	○	*5. คุณเคยมีปัญหาเรื่องข้อกระดูก (เช่น ปวดหลัง, ปวดเข่า, ปวดสะโพก) หรือไม่? ถ้าเคยมีปัญหาดังกล่าว สาเหตุมาจากการออกกำลังกายหรือไม่?*
○	○	*6. แพทย์เคยให้ยาที่ใช้สำหรับลดความดัน หรือ ยาที่เกี่ยวข้องกับการรักษาอาการโรคหัวใจหรือไม่?*
○	○	*7. คุณทราบเหตุผลอื่นๆที่จะทำให้คุณไม่ควรออกกำลังกายหรือไม่?*

หมายเหตุ : PAR-Q หรือ Physical Activity Readiness Questionnaire (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม ปี ค.ศ.2002) โดยสถาบันสรีรวิทยาการออกกำลังกายแห่งประเทศแคนาดา (Canadian Society for Exercise Physiology)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง แบบอนุมัติผลการพิจารณาจริยธรรม

เลขที่ใบรับรอง **096/2550**

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน
กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการวิจัย : การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่างๆ ระหว่างหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกินและหญิงที่มีน้ำหนักปกติ
(A COMPARATIVE STUDY OF ENERGY EXPENDITURE IN VARIOUS TYPES OF EXERCISE FOR HEALTH BETWEEN OVERWEIGHT AND NORMAL-WEIGHT FEMALE)

ผู้วิจัยหลัก : นายวีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์ นิสิตระดับมหาบัณฑิต

หน่วยงาน : สำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

☑ อนุมัติในแง่จริยธรรมให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องข้างต้นได้

.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา หัสนประดิษฐ์)

.....เลขานุการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชัยชนะวงศาโรจน์)

รับรองวันที่ 2 พฤศจิกายน 2550 วันหมดอายุ 2 กันยายน 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ แบบบันทึกข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาและสุขสมรรถนะของผู้วิจัย

ชื่อ/นามสกุล ..... First name..... Last name.....

Birthday (...../...../.....) Age (.....) y Height (.....) cm BMI (.....) kg/m^2

ก่อนทำการวัดค่า - นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที เพื่อวัดค่าดังต่อไปนี้

HR Resting (.....) bpm BP Resting (...../.....) mmHg

Resting VO_2(.....) ml/min/kg

Vital Capacity (1) ..... + (2) ..... + (3) ..... = ... / 3 = (.....) ml

Health-related Physical Fitness

1. Body composition

Weight (.....) kg % fat (.....)

2. Flexibility (.....) cm

3. Muscular strength

Handgrip(1) .....+ (2) .....+ (3) ..... = ... / 3 = (.....) kg

Back (1) .....+ (2) .....+ (3) ..... = ... / 3 = (.....) kg

Leg (1) .....+ (2) .....+ (3) ..... = ... / 3 = (.....) kg

4. Muscular endurance

Push ups 30 sec (.....) times

Sit ups 30 sec (.....) times

5. Cardiorespiratoryfitness - Bruce Treadmill Protocol

STAGE	*A*			*B*			*C*			*D*			*E*		
TIME (min)	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
SPEED (mph)		*1.70*			*2.50*			*3.40*			*4.20*			*5.00*	
SPEED (kph)		*2.72*			*4.00*			*5.44*			*6.72*			*8.00*	
% GRADE	*10*			*12*			*14*			*16*			*18*		
MET (female)	*3.10*	*3.90*	*4.70*	*5.40*	*6.20*	*7.00*	*8.00*	*8.60*	*9.40*	*10.10*	*10.90*	*11.70*	*12.50*	*13.20*	*14.10*
HR															
BP															
RER															
RPE															

Max HR (.....) bpm , Moderate Intensity (MI) 64-76% Max HR (.....-.....) bpm

VO_2Max (.....) ml/kg/min , Total times (.....) , D/M/Y (...../...../.....)

Comments : " ผู้วิจัยเป็นผู้ทำการวัดและบันทึกค่า โดยผู้เข้าร่วมวิจัยรับทราบข้อมูลต่างๆตรงกัน "

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ แบบบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สจากการเดินโดยเครื่องเดินลู่กล

รหัสหมายเลข (.....) O = หญิงน้ำหนักเกิน, N = หญิงน้ำหนักปกติ

First name (.....) Last name (.....) Age (.....) y Height (.....) cm

ก่อนการออกกำลังกาย - นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที เพื่อวัดค่าดังต่อไปนี้

Weight (.....) kg % fat (.....) % fat free mass (.....)

Resting VO_2 (.....) ml/min/kg HR Resting (.....) bpm

BP Resting (.....) mmHg Max HR (.....) bpm

Moderate Intensity (MI) 64-76% Max HR (.....-.....) bpm

ช่วงของการออกกำลังกาย (แสดงผลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สในรูปของข้อมูลทางสถิติและกราฟ)

TIME (min)	*Stretching Warm Up (5min)แล้วจึงเริ่มทำการบันทึกค่า (เน้นเพิ่ม%GRADE และให้ HR ถึง MI ภายในนาทีที่5)*					*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
SPEED (mph)										
%GRADE										
HR (bpm)										
BP (mmHg)						*วัด BP ครั้งที่ 1*				
TIME (min)	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
SPEED (mph)										
%GRADE										
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 2*					*วัด BP ครั้งที่ 3*				
TIME (min)	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	*22*	*23*	*24*	*25*
SPEED (mph)										
%GRADE										
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 4*					*วัด BP ครั้งที่ 5*				
TIME (min)	*26*	*27*	*28*	*29*	*30*	*31*	*32*	*33*	*34*	*35*
SPEED (mph)						*หยุดออกกำลังกายในนาทีที่ 30 แต่บันทึกค่าอัตราการเต้นของหัวใจจนครบนาทีที่ 35*				
%GRADE										
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 6*					*หยุดบันทึกค่าความดันโลหิต*				

หลังหยุดบันทึกค่าวัดค่าดังต่อไปนี้

Weight (.....) kg % fat (.....) % fat free mass (.....)

Comments : "ผู้วิจัยเป็นผู้ทำการวัดและบันทึกค่า โดยผู้เข้าร่วมวิจัยรับทราบข้อมูลต่างๆตรงกัน"

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช แบบบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สจากการวิ่งโดยเครื่องเดินลู่กล

รหัสหมายเลข (.....) O = หญิงน้ำหนักเกิน, N = หญิงน้ำหนักปกติ

First name (.....) Last name (.....) Age (.....) y Height (.....) cm

ก่อนการออกกำลังกาย - นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที เพื่อวัดค่าดังต่อไปนี้

Weight (.....) kg % fat (.....) % fat free mass (.....)

Resting VO_2 (.....) ml/min/kg HR Resting (.....) bpm

BP Resting (.....) mmHg Max HR (.....) bpm

Moderate Intensity (MI) 64-76% Max HR (.....-.....) bpm

ช่วงของการออกกำลังกาย (แสดงผลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สในรูปของข้อมูลทางสถิติและกราฟ)

TIME (min)	*Stretching Warm Up (5นาที)แล้วจึงเริ่มทำการบันทึกค่า (เน้นเพิ่ม%SPEED และให้ HR ถึง MI ภายในนาทีที่5)*					*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
SPEED (mph)										
%GRADE										
HR (bpm)										
BP (mmHg)						*วัด BP ครั้งที่ 1*				
TIME (min)	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
SPEED (mph)										
%GRADE										
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 2*					*วัด BP ครั้งที่ 3*				
TIME (min)	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	*22*	*23*	*24*	*25*
SPEED (mph)										
%GRADE										
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 4*					*วัด BP ครั้งที่ 5*				
TIME (min)	*26*	*27*	*28*	*29*	*30*	*31*	*32*	*33*	*34*	*35*
SPEED (mph)						*หยุดออกกำลังกายในนาทีที่ 30 แต่บันทึกค่าอัตราการเต้นของหัวใจจนครบนาทีที่ 35*				
%GRADE										
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 6*					*หยุดบันทึกค่าความดันโลหิต*				

หลังหยุดบันทึกค่าวัดค่าดังต่อไปนี้

Weight (.....) kg % fat (.....) % fat free mass

Comments : "ผู้วิจัยเป็นผู้ทำการวัดและบันทึกค่า โดยผู้เข้าร่วมวิจัยรับทราบข้อมูลต่างๆตรงกัน"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ แบบบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สด้วยการออกกำลังกายโดยจักรยานวัดงาน

รหัสหมายเลข (.....) O = หญิงน้ำหนักเกิน, N = หญิงน้ำหนักปกติ

First name (.....) Last name (.....) Age (.....) y Height (.....) cm

ก่อนการออกกำลังกาย - นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที เพื่อวัดค่าดังต่อไปนี้

Weight (.....) kg % fat (.....) % fat free mass (.....)

Resting VO_2 (.....) ml/min/kg HR Resting (.....) bpm

BP Resting (.....) mmHg Max HR (.....) bpm

Moderate Intensity (MI) 64-76% Max HR (.....-.....) bpm

ช่วงของการออกกำลังกาย (แสดงผลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สในรูปของข้อมูลทางสถิติและกราฟ)

TIME (min)	*Stretching Warm Up (5นาที)แล้วจึงเริ่มทำการบันทึกค่า (เน้นเพิ่ม%SPEED และให้ HR ถึง MI ภายในนาทีที่5)*					*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
Pedal Rate (rpm)										
Work Load (watt)										
HR (bpm)										
BP (mmHg)						*วัด BP ครั้งที่ 1*				
TIME (min)	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
Pedal Rate (rpm)										
Work Load (watt)										
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 2*					*วัด BP ครั้งที่ 3*				
TIME (min)	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	*22*	*23*	*24*	*25*
Pedal Rate (rpm)										
Work Load (watt)										
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 4*					*วัด BP ครั้งที่ 5*				
TIME (min)	*26*	*27*	*28*	*29*	*30*	*31*	*32*	*33*	*34*	*35*
Pedal Rate (rpm)						*หยุดออกกำลังกายในนาทีที่ 30 แต่บันทึกค่าอัตราการเต้นของหัวใจจนครบนาทีที่ 35*				
Work Load (watt)										
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 6*					*หยุดบันทึกค่าความดันโลหิต*				

หลังหยุดบันทึกค่าวัดค่าดังต่อไปนี้

Weight (.....) kg % fat (.....) % fat free mass (.....)

Comments : "ผู้วิจัยเป็นผู้ทำการวัดและบันทึกค่า โดยผู้เข้าร่วมวิจัยรับทราบข้อมูลต่างๆตรงกัน"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฌ แบบบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สด้วยการออกกำลังกายแบบต้นแอโรบิก

รหัสหมายเลข (.....) O = หญิงน้ำหนักเกิน, N = หญิงน้ำหนักปกติ

First name (.....) Last name (.....) Age (.....) y Height (.....) cm

ก่อนการออกกำลังกาย - นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที เพื่อวัดค่าดังต่อไปนี้

Weight (.....) kg % fat (.....) % fat free mass (.....)

Resting VO_2(.....) ml/min/kg HR Resting (.....) bpm

BP Resting (.....) mmHg Max HR (.....) bpm

Moderate Intensity (MI) 64-76% Max HR (.....-.....) bpm

ช่วงของการออกกำลังกาย (แสดงผลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สในรูปของข้อมูลทางสถิติและกราฟ)

TIME (min)	*Stretching Warm Up (5นาที) แล้วจึงเริ่มทำการบันทึกค่า โดยให้ HR ถึง MI ภายในนาทีที่5*					*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
HR (bpm)										
BP (mmHg)						*วัด BP ครั้งที่ 1*				
TIME (min)	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 2*					*วัด BP ครั้งที่ 3*				
TIME (min)	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	*22*	*23*	*24*	*25*
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 4*					*วัด BP ครั้งที่ 5*				
TIME (min)	*26*	*27*	*28*	*29*	*30*	*31*	*32*	*33*	*34*	*35*
HR (bpm)										
BP (mmHg)	*วัด BP ครั้งที่ 6*					*หยุดบันทึกค่าความดันโลหิต*				

หลังหยุดบันทึกค่าวัดค่าดังต่อไปนี้ (หยุดออกกำลังกายในนาทีที่ 30 หยุดบันทึกค่า HR เมื่อครบนาทีที่ 35)

Weight (.....) kg % fat (.....) % fat free mass (.....)

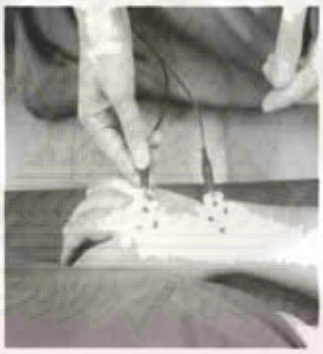
Comments : "ผู้วิจัยเป็นผู้ทำการวัดและบันทึกค่า โดยผู้เข้าร่วมวิจัยรับทราบข้อมูลต่างๆตรงกัน"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ญ แสดงภาพวิธีการวัดค่าองค์ประกอบร่างกายก่อนและหลังการออกกำลังกาย

ขั้นตอนที่ 1 เช็ดแอลกอฮอล์ที่ข้อมือและข้อเท้าก่อนการวัด

ขั้นตอนที่ 2 ติดขั้วไฟฟ้าให้เส้นสีแดงอยู่ใกล้กับหัวใจทั้งที่ข้อมือและข้อเท้าของข้างที่ผู้เข้าร่วมวิจัยถนัด



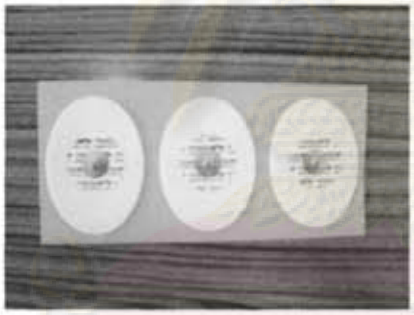
ขั้นตอนที่ 3 ทำการวัดค่าองค์ประกอบร่างกายโดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยอยู่ในลักษณะของท่านอนที่ผ่อนคลาย

ภาคผนวก ฎ แสดงภาพวัดค่าการใช้พลังงานในขณะทำการออกกำลังกาย

ขั้นตอนที่ 1 คาดเข็มขัดโพลาร์และใช้นาฬิกาโพลาร์เพื่อใช้วัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจ

ขั้นตอนที่ 2 ผู้เข้าร่วมวิจัยติดแผ่นอิเล็กโทดจำนวนสามจุด คือ

1. V_2 (ตำแหน่งใต้ราวนมข้างซ้ายอยู่เหนือกว่า V_6)
2. V_6 (ตำแหน่งใต้ชายโครงข้างซ้าย)
3. RL (ตำแหน่งใต้ชายโครงข้างขวาต่ำกว่า V_6)



ขั้นตอนที่ 3 ผู้เข้าร่วมวิจัยสอดมือเข้ากับผ้าพันของเครื่องวัดความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 4 ใส่อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวิเคราะห์แก๊ส

ขั้นตอนที่ 5 บันทึกผลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สในขณะทำการออกกำลังกายด้วยการเดินและการวิ่งโดยใช้เครื่องเดินลู่กล

ขั้นตอนที่ 6 บันทึกผลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สในขณะทำการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานโดยใช้จักรยานวัดงาน

ขั้นตอนที่ 7 บันทึกผลที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สในขณะทำการออกกำลังกายด้วยการเต้นแอโรบิกประกอบกับสื่อวีดีทัศน์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	:	นาย วีรพัฒน์ ยอดกมลศาสตร์
เกิดวันที่	:	20 กันยายน 2526
สถานที่เกิด	:	539 ถ.ประชาอุทิศ แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง กทม. 10320
ประวัติการศึกษา	:	จบการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนอำนวยพิทยา มัธยมศึกษาที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการรัชดาฯ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จากสำนักวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2548
ประวัติการทำงาน	:	ปฏิบัติงานตำแหน่ง ผู้ฝึกส่วนบุคคล (Personal trainer) ในศูนย์ออกกำลังกายแคลิฟอร์เนียฟิตเนส สาขาสีลม กรุงเทพฯ เมื่อปี พ.ศ. 2545

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย