

ผลของชนิดการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่ต่างกันก่อนการปั่นจักรยาน
ที่มีต่อการเผาผลาญไขมัน



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

มิถุนายน 2555

ผลของชนิดการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่ต่างกันก่อนการปั่นจักรยาน
ที่มีต่อการเผาผลาญไขมัน



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

มิถุนายน 2555

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลของชนิดการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่ต่างกันก่อนการปั่นจักรยาน
ที่มีต่อการเผาผลาญไขมัน



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

มิถุนายน 2555

กรกต คุณาเพ็ชร. (2555). ผลของชนิดการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่ต่างกันก่อนการปั่นจักรยานที่มีต่อการเผาผลาญไขมัน. ปรินูญานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร.ณอมศักดิ์ เสนาคำ, อาจารย์ ดร.สุภาภรณ์ ศิลาลิศเดชกุล.

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของชนิดการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่แตกต่างกันก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยการปั่นจักรยานที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมัน กลุ่มชายสุขภาพดีจำนวน 12 คน อายุ 19 – 21 ปี เข้าร่วมการทดลอง 3 รูปแบบซึ่งประกอบด้วย (1) ปั่นจักรยานเพียงอย่างเดียว (ควบคุม) (2) ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานีก่อนปั่นจักรยาน (สถานี) และ (3) ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซตก่อนปั่นจักรยาน (หลายเซต) คำนวณอัตราการใช้พลังงาน อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต และไขมัน ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (คอสเมต รูนควาร์กพีเอฟทีเออร์ไก้) ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการฝึกและการใช้พลังงานของการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานี และการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซตไม่มีความแตกต่างกัน อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตในขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยการปั่นจักรยานในกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซต ($P < .05$) อัตราการเผาผลาญไขมันของกลุ่มหลายเซตมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < .05$) อย่างไรก็ตามปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงาน และอัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างกลุ่ม ปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงาน อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และอัตราการเต้นหัวใจ ภายหลังการออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซตก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ทำให้เพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิกได้

EFFECTS OF DIFFERENT TYPES OF RESISTANCE EXERCISE BEFORE CYCLING
ON FAT OXIDATION



Presented in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Master of Sciences Degree in Sports Science
At Srinakharinwirot University
June 2012

Korakot Kuhaphet. (2012). *Effects of Different Types of Resistance Exercise Before Cycling on Fat Oxidation*. Master Thesis, M.Sc. (Sports Science). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Tanormsak Senakham, Dr. Supaporn Silalertdetkul.

The objective of this experimental was to study the effect of different types of resistance exercise prior aerobic cycling exercise on rate of fat oxidation. Twelve healthy males age between 19 – 21 years old were completed three experimental trials consisting of (1) aerobic cycling exercise only (CON) (2) aerobic cycling exercise preceded by circuit resistance exercise (CIR) (3) aerobic cycling exercise preceded by multiple resistance training (MUL). Energy expenditure and rate of carbohydrate and fat oxidation were calculated by using gas analysis (Cosmed, Quark PFT Ergo). Results showed that training volume and energy expenditure of resistance exercise between CIR and MUL were not difference. Carbohydrate oxidation rate during aerobic cycling exercise in CON was higher ($P<.05$) than CIR and MUL trials. Fat oxidation rate in MUL was higher than ($P<.05$) in CON trial. However, oxygen uptake (VO_2) energy expenditure and heart rate during exercise did not reach statistical significant between three trials. There was no difference in oxygen uptake, energy expenditure, carbohydrate oxidation fat oxidation rates and heart rate following exercise. Therefore, performing the multiple resistance exercise prior to aerobic cycling exercise increased fat utilization during subsequent aerobic cycling exercise.

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย
จาก
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของชนิดการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่ต่างกันก่อนการปั่นจักรยาน

ที่มีต่อการเผาผลาญไขมัน

ของ

กรกต คุณาเพชร

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่ เดือน พ.ศ.

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน

..... ประธาน

(อาจารย์ ดร.ธนอมศักดิ์ เสนาคำ)

(อาจารย์ ดร.อาพรพรณชนิด ศิริแพทย์)

..... กรรมการ

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุภาภรณ์ ศิลาเลิศเดชกุล)

(อาจารย์ ดร.ธนอมศักดิ์ เสนาคำ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุภาภรณ์ ศิลาเลิศเดชกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิมลมาศ ประชากุล)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ ดร.ณอมศักดิ์ เสนาคำ ประธานควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.สุภาภรณ์ ศิลาเลิศเดชกุล กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติมอีก 2 ท่าน ได้แก่ อาจารย์ดร.อาพรณชนิต ศิริแพทย์ และอาจารย์ ดร.วิมลมาศ ประชากุล ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ อย่างดียิ่ง ตลอดจนให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้อง สมบูรณ์ และมีคุณค่าทางวิชาการ อีกทั้งยังทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการทำงานวิจัยซึ่งเป็นสิ่งที่มีคุณค่ามากกว่าสิ่งใด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบูรพาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา และภาควิชาสุขศึกษา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ด้วยความเมตตากรุณา อบรมสั่งสอนให้ลูกศิษย์เป็นคนดีมีความรู้เชี่ยวชาญในด้านต่างๆ และช่วยเหลือทั้งการศึกษาและการดำเนินชีวิตตั้งแต่การศึกษาในระดับปริญญาตรี จนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาโท ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่าให้ความร่วมมือ สนับสนุน และตั้งใจ เป็นอย่างดีในการเข้าร่วมงานวิจัย โดยไม่หวังสิ่งตอบแทน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้ที่อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี มีความอดทน ขยันหมั่นเพียร และเป็นผู้สนับสนุนหลักทั้งร่างกาย แรงใจ พร้อมทั้งกำลังใจทรัพย์ เพื่อวางรากฐาน การศึกษาที่ดีให้กับผู้วิจัย คุณความดีของปริญญานิพนธ์เล่มนี้มอบแด่ผู้ให้การสนับสนุนในการวิจัย ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับทุกท่าน ซึ่งมีส่วนช่วยอำนวยความสะดวกและสนับสนุนงานวิจัยนี้ในด้านต่างๆ ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กรกต คุณาเพชร

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
สมมติฐานของการวิจัย.....	6
2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
การออกกำลังกาย.....	7
การออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน.....	7
การออกกำลังกายแบบแอโรบิก.....	11
เมตาบอลิซึมของร่างกาย.....	14
เมตาบอลิซึม.....	14
ปัจจัยที่ส่งผลต่อเมตาบอลิซึม.....	15
ขบวนการสร้างพลังงาน.....	16
ระบบพลังงาน.....	20
การวัดพลังงานของร่างกาย.....	23
การเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกาย.....	24
ระบบหายใจกับการออกกำลังกาย.....	26
การทำหน้าที่ของระบบหายใจ.....	26
การระบายอากาศในสภาวะต่างๆ.....	26
การแลกเปลี่ยนก๊าซในขณะออกกำลังกาย.....	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 (ต่อ)	
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
งานวิจัยต่างประเทศ.....	28
งานวิจัยในประเทศ.....	32
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	33
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	33
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	34
วิธีการดำเนินการทดลอง.....	35
วิธีการดำเนินการทดลอง.....	35
การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	36
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	38
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	55
สรุปผลการวิจัย	56
อภิปรายผล	59
ข้อเสนอแนะ	61
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	61
บรรณานุกรม.....	62

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก	67
ภาคผนวก ข	71
ภาคผนวก ค	74
ภาคผนวก ง	80
ประวัติย่อผู้วิจัย	84



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง.....	39
2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณการฝึก และการใช้พลังงาน ของการ ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานี และการออกกำลังกายแบบแรงต้าน แบบหลายเซท.....	40
3 การตอบสนองทางสรีรวิทยาและอัตราการใช้พลังงานขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท	46
4 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้ พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการเต้นของหัวใจ ก่อนออกกำลังกาย และหลังออกกำลังกายทันที ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ.....	67
5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำของปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการ เผาผลาญไขมัน และอัตราการเต้นหัวใจ ขณะปั่นจักรยาน และหลังออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ.....	68
6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญ ไขมัน และอัตราการเต้นหัวใจ ขณะพักภายในกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท ในช่วงเวลา ก่อน และหลังออกกำลังกาย.....	69

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 วงจรกลูโคสและกรดไขมัน.....	20
2 แหล่งพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายที่ความหนักแต่ละระดับ.....	25
3 อัตราการใช้พลังงานรวมในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท.....	41
4 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลัง ออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท.....	42
5 อัตราการเผาผลาญไขมันในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท.....	43
6 ปริมาณการใช้ออกซิเจนในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท.....	44
7 อัตราการเต้นของหัวใจในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท.....	45
8 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท	47

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
9 อัตราการเผาผลาญไขมันขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเขต	47
10 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน อัตราการใช้ พลังงานรวม (ก) ปริมาณการใช้ออกซิเจน (ข) และอัตราการเต้นของหัวใจ (ค) ขณะพักภายในกลุ่มควบคุม ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที.....	49
11 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการใช้ พลังงานรวม (ง) ปริมาณการใช้ออกซิเจน (จ) อัตราการเต้นของหัวใจ (ฉ) ขณะพักภายในกลุ่มสถานี ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที.....	51
12 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการใช้ พลังงานรวม (ช) ปริมาณการใช้ออกซิเจน (ญ) อัตราการเต้นของหัวใจ (ฎ) ขณะพักภายในกลุ่มหลายเขต ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที.....	53

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ธรรมชาติได้สร้างมนุษย์ให้ใช้ร่างกายทำงาน ในขณะที่ร่างกายเคลื่อนไหว ร่างกายต้องการพลังงานเพื่อนำมาใช้สำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยพลังงานนั้นได้มาจากแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกายประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งการขาดกิจกรรมการเคลื่อนไหวส่งผลให้สมดุลพลังงานในร่างกายเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้เกิดภาวะน้ำหนักตัวเกิน และโรคต่างๆ ตามมา เช่น โรคอ้วน โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น มนุษย์จึงต้องปรับสมดุลของร่างกายโดยการรับประทานอาหาร และที่ขาดไม่ได้นั่นก็คือ การออกกำลังกาย (ACSM. 2010)

การออกกำลังกายมีด้วยกันหลากหลายกิจกรรม แต่กิจกรรมการออกกำลังกายที่นิยมใช้โดยทั่วไปก็คือ การออกกำลังกายแบบแอโรบิก และการออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน กิจกรรมทั้งสองที่ได้กล่าวมานั้นสามารถช่วยกระตุ้นให้ร่างกายทำงานมากกว่าปกติและเพิ่มอัตราการใช้พลังงานให้กับร่างกาย ซึ่งกิจกรรมข้างต้นก็จะมีเอกลักษณ์แตกต่างกันไป โดยกิจกรรมแบบแอโรบิกจะเน้นในเรื่องของการพัฒนาระบบหายใจไหลเวียนเลือด และการออกกำลังกายแบบแรงต้านจะพัฒนาในส่วนของการเพิ่มความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อ

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นกิจกรรมที่ช่วยเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานซึ่งสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการเผาผลาญพลังงานนั้นขึ้นอยู่กับความหนักในการออกกำลังกายโดยความหนักปานกลาง (65 เปอร์เซ็นต์ VO_{2max}) ร่างกายสามารถเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกายได้สูงสุด (Romijn, J.A.; et al. 1993) เป็นไปในทิศทางเดียวกับ จาเมอทัส และคณะ (Jamurtas, A.Z.; et al. 2004) พบว่าการออกกำลังกายแบบที่ความหนักปานกลาง (70 – 75 เปอร์เซ็นต์ VO_{2max}) สามารถเพิ่มอัตราการใช้พลังงานและการเผาผลาญไขมันหลังการออกกำลังกายได้ ในส่วนของรูปแบบการออกกำลังกายแบบแอโรบิกก็มีส่วนในการเพิ่มอัตราการใช้พลังงานและอัตราการเผาผลาญไขมันด้วยเช่นกัน ดังที่ โกโต และคณะ (Goto, K.; et al. 2011) ได้ศึกษาพบว่า การออกกำลังกายแบบเป็นช่วงๆ ที่ความหนักปานกลางสามารถเพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันได้ดีกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง สอดคล้องกับ นิพนธ์ วิษุตเวส (2551) ทำการศึกษาพบว่า การออกกำลังกายแบบสะสมมีการใช้พลังงานขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันที และหลังการออกกำลังกายช่วงที่ 24 มีค่ามากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง

การออกกำลังกายแบบมีแรงต้านก็ให้ผลในทิศทางเดียวกันกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิก โดยเคริก และคณะ (Kirk, E.P.; et al. 2009) ได้ทำการศึกษาการออกกำลังกายด้วยแรงต้านหนึ่งเซต

ที่มีผลต่ออัตราการใช้พลัง 24 ชั่วโมง พบว่าอัตราการใช้พลังงานขณะพักและอัตราการใช้พลังงานขณะหลับในกลุ่มฝึกด้วยแรงต้านมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ ออมส์บี และคณะ (Ormsbee, M.J.; et al. 2007) ทำการศึกษาการออกกำลังกายด้วยแรงต้านสามารถเพิ่มอัตราการใช้พลังงานและอัตราการเผาผลาญไขมันได้ จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าทั้งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกและการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน สามารถเพิ่มอัตราการใช้พลังงานได้ จึงได้มีผู้ทำการทดลองวิจัยโดยนำเอาการออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบมารวมเข้าด้วยกัน ดังที่ โกโต และคณะ (Goto, K.; et al. 2007) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิก พบว่า การเผาผลาญไขมันสามารถเพิ่มได้ด้วยการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่ความหนักสูงก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นไปในทิศทางเดียวกับกับ คัง และคณะ (Kang, J.; et al. 2009) ได้ทำการศึกษาพบว่า การออกกำลังกายแบบมีแรงต้านที่ความหนักสูงก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิกจะช่วยเพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกได้

ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าการออกกำลังกายแบบฝึกด้วยแรงต้านก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นกิจกรรมที่บุคคลทั่วไปนิยมนำมาใช้เป็นวิธีในการออกกำลังกาย แต่จากการศึกษางานวิจัยรูปแบบการออกกำลังกายที่ใช้ในการวิจัยที่ผ่านมาเป็นรูปแบบการฝึกแบบแรงต้านที่ใช้ความหนักที่ระดับปานกลางค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นรูปแบบการฝึกที่ต้องใช้เวลาพักระหว่างการฝึกอย่างน้อย 48 – 72 ชั่วโมง ทำให้การปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอเป็นไปได้ค่อนข้างยาก แต่การฝึกด้วยแรงต้านที่สามารถทำได้บ่อยครั้งจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์การฝึกที่มีความหลากหลายสลับกลุ่มกล้ามเนื้อ ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าน้อย และรูปแบบดังกล่าวนั้นก็คือ การฝึกแบบสแตที ซึ่งรูปแบบนี้สามารถปฏิบัติได้ 3 – 4 ครั้งต่อสัปดาห์ อีกทั้งยังเป็นรูปแบบการฝึกที่ผสมผสานระหว่างการฝึกความแข็งแรงกับความอดทนของระบบหัวใจไหลเวียนเลือด (สนธยา สิละมาต. 2547) ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแรงต้านก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมันขณะและหลังออกกำลังกาย ผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์ต่อนักกีฬา โค้ช ผู้ที่เกี่ยวข้องทางการกีฬา และผู้ที่ต้องการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่มีรูปแบบแตกต่างกันก่อนการปั่นจักรยานที่มีต่อการเผาผลาญไขมันขณะปั่นจักรยาน
2. เพื่อเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่มีรูปแบบแตกต่างกันก่อนการปั่นจักรยานที่มีต่อการเผาผลาญไขมันภายหลังปั่นจักรยาน

ความสำคัญของการวิจัย

นำผลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายสำหรับผู้ที่ต้องการออกกำลังกายเพื่อควบคุมน้ำหนักโดยใช้การเผาผลาญไขมันได้สูงสุด

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นนิสิตชายสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 141 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นนิสิตชายสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling)

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ

- 1.1 รูปแบบการออกกำลังกาย 3 แบบ ได้แก่
 - 1.1.1 ออกกำลังกายแบบแอโรบิกเพียงอย่างเดียว
 - 1.1.2 ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสแตชันและออกกำลังกายแบบแอโรบิก
 - 1.1.3 ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซตและออกกำลังกายแบบแอโรบิก

2. ตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราการใช้พลังงานของร่างกายขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิก และอัตราการใช้พลังงานของร่างกายขณะพักหลังออกกำลังกาย

3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่

- 3.1 ปริมาณการฝึกด้วยน้ำหนัก
- 3.2 ออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์

VO_{2max}

- 3.3 อัตราการใช้พลังงานในการออกกำลังกายแบบแรงต้าน

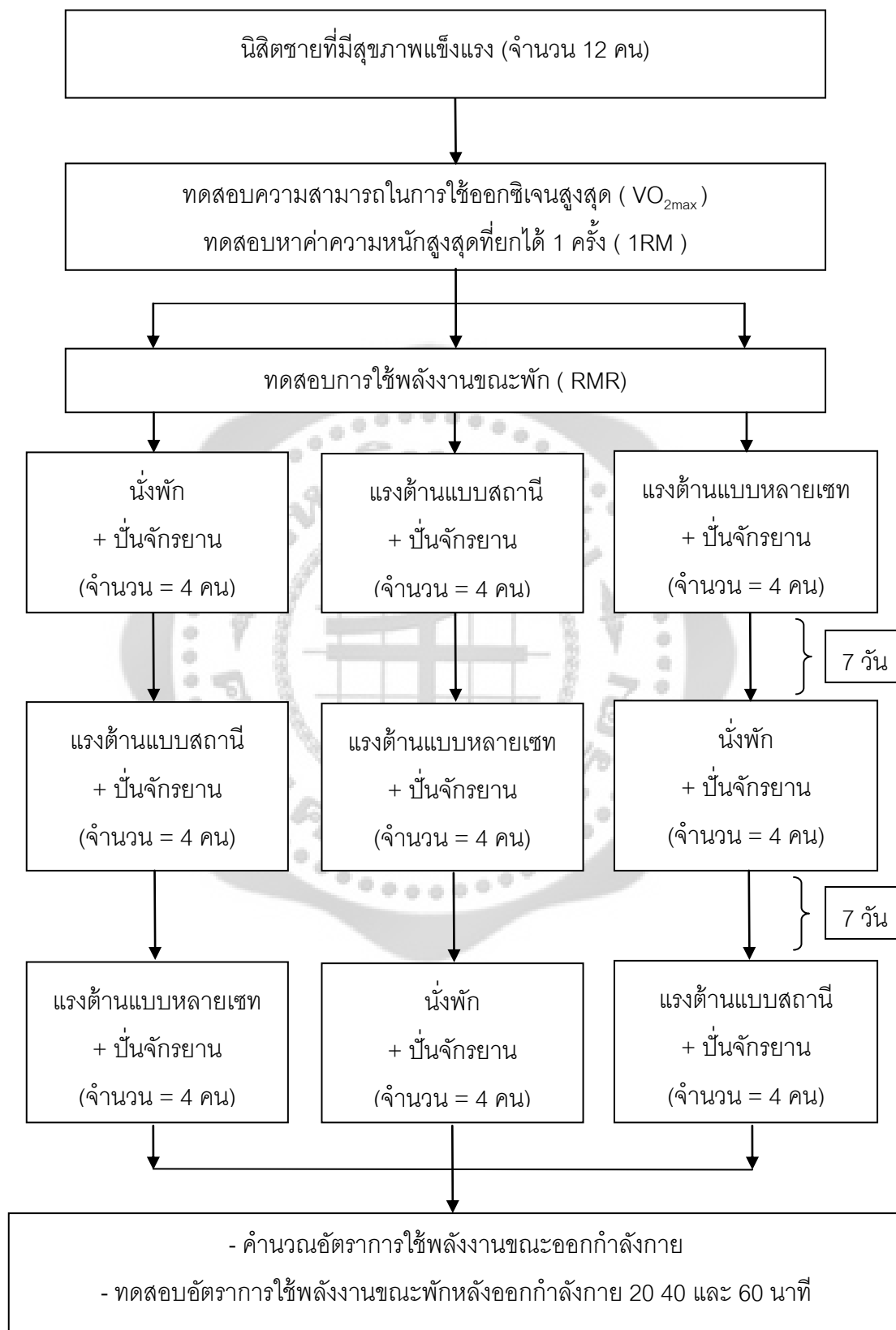
ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ทำการศึกษาไม่สามารถควบคุมเรื่องอาหาร การพักผ่อน การเรียนวิชา ปฏิบัติการทางพลศึกษา และการปฏิบัติตนในชีวิตประจำวัน ก่อนการเข้าโปรแกรมการออกกำลังกายของผู้เข้าร่วมการทดลอง

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การออกกำลังกายแบบแรงต้าน หมายถึง การบริหารร่างกายด้วยการยกน้ำหนัก (Weight Lifting Exercise) เพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกาย
2. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก หมายถึง การออกกำลังกายเพื่อกระตุ้นการทำงานของหัวใจและปอดโดยใช้ระยะเวลาต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในร่างกาย
3. ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum Oxygen Consumption : VO_{2max}) หมายถึง ปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายใช้ไปใน 1 นาที ในภาวะที่ร่างกายออกกำลังกายจนถึงจุดที่อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด
4. อัตราการใช้พลังงาน (Energy Expenditure) หมายถึง การใช้พลังงานของร่างกาย ในขณะที่ออกกำลังกายและภายหลังการออกกำลังกาย ทำการวัดโดยวิธีการวัดการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect Calorimetry) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีต่อนาที (Kcal / min)
5. ระยะเวลาออกกำลังกาย หมายถึง ระยะเวลาในการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) เป็นเวลา 20 นาที
6. หลังออกกำลังกาย หมายถึง ช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที
7. ปริมาณการฝึก (Training Volume) หมายถึง ปริมาณการฝึกรวมของการออกกำลังกายสามารถคำนวณได้จาก ปริมาณการฝึก = น้ำหนักที่ยกได้ x จำนวนครั้ง x จำนวนเซต
8. การฝึกแรงต้านแบบสถานี (Circuit Training) หมายถึง การฝึกหลายสถานีโดยสลับกลุ่มกล้ามเนื้อจากสถานีหนึ่งไปยังอีกสถานีหนึ่ง

กรอบแนวคิดในการวิจัย



สมมุติฐานของการวิจัย

1. รูปแบบการออกกำลังกายทั้งสามรูปแบบส่งผลต่ออัตราการเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกายแตกต่างกัน
2. รูปแบบการออกกำลังกายทั้งสามรูปแบบส่งผลต่ออัตราการเผาผลาญไขมันขณะพักหลังออกกำลังกายแตกต่างกัน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. การออกกำลังกาย

การออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก

2. เมตาบอลิซึมของร่างกาย

เมตาบอลิซึม

ปัจจัยที่ส่งผลต่อเมตาบอลิซึม

ขบวนการสร้างพลังงาน

ระบบพลังงาน

การวัดพลังงานของร่างกาย

การเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกาย

3. ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย

การทำงานของระบบหายใจ

การระบายอากาศในสภาวะต่างๆ

การแลกเปลี่ยนก๊าซในขณะออกกำลังกาย

4. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยต่างประเทศ

งานวิจัยในประเทศ

1. การออกกำลังกาย

การออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน หรือ การฝึกความแข็งแรง

การเคลื่อนไหวทางกายของบุคคลส่วนใหญ่จะกระทำกับแรงต้านทานหลายรูปแบบ เช่น น้ำหนักของร่างกาย แรงดึงดูดของโลก อุปกรณ์การแข่งขัน โดยมีหลักการฝึกดังนี้

ความหนักของการฝึกซ้อม (Intensity of Training)

ในการฝึกซ้อมความแข็งแรง ความหนัก (Intensity) จะแสดงให้เห็นถึงเปอร์เซ็นต์ของความหนักสูงสุดที่ยกได้หนึ่งครั้ง (1RM) ความหนักจะเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงในการกระตุ้นของประสาทที่ใช้ในการฝึกซ้อม ซึ่งตัวกระตุ้นที่ทำให้การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงจะขึ้นอยู่กับน้ำหนัก

ความเร็วในการปฏิบัติ ความหลากหลายของช่วงการพักระหว่างครั้งและเซต และสภาพจิตวิทยาที่เกิดขึ้นจากการออกกำลังกาย ดังนั้นความหนักจะถูกกำหนดโดยแรงพยายามของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องและการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางขณะฝึกซ้อมความแข็งแรง

พื้นฐานการฝึกซ้อมสำหรับบุคคลทั่วไปควรจำกัดความหนักอยู่แค่เพียง 100% ของความหนักสูงสุดที่ยกได้หนึ่งครั้ง

ความหนักสูงสุด (Maximum) คือ ความหนักที่ยกได้ 90 - 100% ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง

ความหนัก (Heavy) คือความหนักระหว่าง 80 - 90% ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง

ความหนักปานกลาง (Medium) คือความหนักที่ยกได้ 70 - 80% ของความหนักที่ยกได้ 1 ครั้ง

ความหนักต่ำ (Low) คือความหนักที่อยู่ระหว่าง 30 - 50% ของความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง

จำนวนเซต (Number of Set)

เซต คือ จำนวนครั้งของการออกกำลังกายที่ตามช่วงเวลาการพัก และจำนวนเซตจะมีความสัมพันธ์ในทางกลับกันระหว่างความต้องการการฝึกซ้อม (ความหนักและจำนวนครั้ง) กับจำนวนของการออกกำลังกายเพิ่มขึ้น จำนวนเซตจะลดลง นอกจากนั้นจำนวนเซตยังขึ้นอยู่กับความสามารถของนักกีฬาและศักยภาพของการฝึกซ้อม จำนวนของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ต้องการฝึกซ้อม (ใช้จำนวนเซตสูงเมื่อกลุ่มกล้ามเนื้อที่ต้องการฝึกซ้อมมีน้อย) จำนวนของการออกกำลังกายในการฝึกซ้อมแต่ละครั้งและระยะของการฝึกซ้อม

จำนวนครั้งต่อเซต (Repetition Per Set)

จำนวนครั้งของการปฏิบัติจะมีความสัมพันธ์กับความหนักของการออกกำลังกาย ถ้านักกีฬาใช้ความหนักเป็นตัวกำหนดการออกกำลังกายจำนวนครั้งของการปฏิบัติจะเป็นผลตามมา แต่ถ้านักกีฬาใช้จำนวนครั้งของการปฏิบัติเป็นตัวกำหนดการออกกำลังกายความหนักจะเป็นผลตามมา อย่างไรก็ตามการเลือกการกำหนดการออกกำลังกายด้วยจำนวนครั้งหรือความหนักจะขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการฝึกซ้อม ตัวอย่าง การพัฒนาความแข็งแรงสูงสุดใช้ความหนักสูงจำนวนครั้งน้อย การพัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อจะใช้ความหนักต่ำจำนวนครั้งมาก โดยการกำหนดจำนวนครั้งในการฝึกซ้อมจะให้ผลแตกต่างกัน

ช่วงเวลาของการพักระหว่างเซต (Rest Interval Between Set)

ระยะเวลาการพักจะขึ้นอยู่กับชนิดของความแข็งแรงที่ฝึกซ้อม สภาพการฝึกซ้อมของนักกีฬา จังหวะและจำนวนครั้งของการปฏิบัติ จำนวนของกลุ่มเนื้อที่เกี่ยวข้อง ระยะเวลาการพักระหว่างการฝึกซ้อมในแต่ละครั้ง ช่วงเวลาการพักที่ไม่เพียงพอจะเป็นสาเหตุทำให้มีการเพิ่มขึ้นของการสำรองพลังงานจากระบบแล็กเทต เนื่องจากระดับของเอทีพีและซีพีทีที่เก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อจะถูกสร้างขึ้น

กลับคืนขณะช่วงเวลาการพักระหว่างเซท ช่วงเวลาการพักที่สั้นจะทำให้มีการสร้างขึ้นกลับคืนน้อยลง และนำไปสู่การสำรองพลังงานได้ไม่เพียงพอสำหรับการทำงานในเซทต่อไป ถ้าช่วงการพักสั้นมาก พลังงานที่จำเป็นสำหรับการทำงานในเซทต่อไปจะได้รับมาจากระบบแล็กเทต ซึ่งจะเป็นปัญหาต่อร่างกายจากการเพิ่มขึ้นของกรดแล็กติกในกล้ามเนื้อที่ทำงานและนำไปสู่การเจ็บปวดและเมื่อยล้า ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการฝึกซ้อมเสียไป ดังนั้นถ้าไม่มีการพิจารณาถึงปัจจัยด้านอื่นๆ แนวทางที่ดีสำหรับการกำหนดเวลาสำหรับการพักระหว่างเซทควรพิจารณาจากความหนักที่นำมาใช้ สำหรับความหนักสูงช่วงเวลาการพักควรจะนาน ความหนักต่ำช่วงเวลาการพักควรจะสั้นลง (สนธยา สีสะมาต. 2547)

ขั้นตอนการฝึกด้วยน้ำหนัก

ขั้นตอนการฝึกด้วยน้ำหนักเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะทำให้การฝึกด้วยน้ำหนักมีประสิทธิภาพ และสามารถป้องกันอาการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นได้ จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ที่จะออกกำลังกายด้วยการฝึกด้วยน้ำหนักควรจะต้องศึกษาซึ่ง อภิสิทธิ์ เทียนทอง (2552) ได้แบ่งขั้นตอนในการออกกำลังกายไว้ดังนี้

1. การเลือกท่าการฝึก

การเลือกท่าฝึกขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการฝึกว่าต้องการพัฒนาหรือเสริมสร้างกล้ามเนื้อใดเป็นหลักสำหรับผู้เริ่มต้นการฝึกส่วนใหญ่จะเน้นในกลุ่มกล้ามเนื้อมัดหลักๆ เอกสารหรือตำราในการฝึกด้วยน้ำหนักทั่วไปจะเน้นในกลุ่มกล้ามเนื้ออันได้แก่ กล้ามเนื้อหน้าอก(Pectoralis Major และ Pectoralis Minor) กลุ่มกล้ามเนื้อไหล่ (Deltoid) กลุ่มกล้ามเนื้อหลัง(Latissimus Dorsi, Trapezius และ Rhomboids) กลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) กลุ่มกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง (Hamstrings) และกลุ่มกล้ามเนื้อท้อง (Rectus Abdominis และ Internal / External Oblique) เป็นต้น

2. การกำหนดน้ำหนักที่จะใช้ทดลองปฏิบัติและอบอุ่นร่างกาย

วัตถุประสงค์ของการฝึกในช่วงแรกสำหรับผู้เริ่มต้นการฝึกนั้นจะมุ่งเน้นการปฏิบัติในเทคนิคที่ถูกต้องมากกว่าการปฏิบัติที่มุ่งเน้นการเสริมสร้างสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ ดังนั้นการเลือกใช้น้ำหนักที่ไม่หนักหรือเบาเกินไปจะช่วยให้การเรียนรู้เทคนิคของการปฏิบัติที่ถูกต้องเป็นไปด้วยดี โดยมีวิธีการคำนวณน้ำหนักที่จะใช้ทดลองปฏิบัติดังนี้

$$\text{น้ำหนักทดลองปฏิบัติ(ปอนด์)} = \text{น้ำหนักตัว(ปอนด์)} \times \text{ค่าคงที่}$$

ขั้นตอนในการอบอุ่นร่างกายนอกจากวิ่งเหยาะๆ เพื่อทำให้กล้ามเนื้อมีอุณหภูมิสูงขึ้นกระตุ้นระบบไหลเวียนเลือดและยืดเหยียดกล้ามเนื้อเพื่อลดการยึดติดของข้อต่อและกล้ามเนื้อแล้ว ควรมีการใช้น้ำหนักที่เหมาะสมในการกระตุ้นกล้ามเนื้อที่ทำงานซึ่งจะช่วยให้ระบบประสาทมีการตื่นตัวพร้อมต่อ

การทำงานหนักได้ดีขึ้น ดังนั้นการกำหนดความหนักสำหรับการอบอุ่นร่างกายจึงมีความจำเป็น ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{น้ำหนักในการอบอุ่นร่างกาย(ปอนด์)} = \text{น้ำหนักทดลองปฏิบัติ} \div 2$$

3. การฝึกปฏิบัติในเทคนิคที่ถูกต้อง

การฝึกปฏิบัติในเทคนิคที่ถูกต้องมีสิ่งที่จะต้องคำนึงคือ

3.1 การจับบาร์ หมายถึง การจับในส่วนที่มีลักษณะเป็นท่อนกลมของอุปกรณ์บาร์เบลล์ ดัมเบลล์ และอุปกรณ์แมชชีนเวทบางท่าฝึก โดยจะต้องเรียนรู้ลักษณะของการจับที่ถูกต้อง และปลอดภัยในการปฏิบัติ

3.2 ทำเริ่มต้นการฝึก หมายถึง การเตรียมร่างกายในช่วงเริ่มต้นก่อนการฝึกด้วยน้ำหนัก โดยจัดท่าให้มีความสมดุล และมั่นคง ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บและเพิ่มประโยชน์จากการฝึกในท่านั้นๆ มากยิ่งขึ้น

3.3 การเคลื่อนไหว หมายถึง การเคลื่อนไหวแขน ขา ลำตัว ที่จะต้องปฏิบัติอย่างเต็มขีดจำกัดของมุมการเคลื่อนไหว

3.4 ความเร็วของการปฏิบัติ หมายถึง ความเร็วในการเคลื่อนไหวบาร์เบลล์ ดัมเบลล์ และมือ ตลอดช่วงของการเคลื่อนไหว ซึ่งความเร็วของการฝึกนั้นควรจะทำด้วยจังหวะที่ช้าไม่เร็วเกินไป

3.5 ลักษณะของการหายใจ เริ่มหายใจออกเมื่อการยกในท่านั้นๆ ถึงจุดที่เรียกว่า “Stick Point” คือ จุดที่รู้สึกว่าการปฏิบัติกระทำได้ยากหรือต้องออกแรงในการปฏิบัติมาก (ประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของช่วงการปฏิบัติทั้งหมด) จนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายของการเคลื่อนไหว ส่วนการหายใจเข้าจะอยู่ในช่วงของการผ่อนแรง คือ จากจุดสุดท้ายของการเคลื่อนไหวกลับสู่จุดเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง

4. การกำหนดความหนักของการฝึก

การกำหนดความหนักของการฝึกจะใช้การประเมินจากน้ำหนักที่ยกได้สูงสุดหนึ่งครั้ง

(1 RM : One Repetition Maximum)

5. การหาน้ำหนักเพื่อการฝึก

การหาน้ำหนักเพื่อการฝึก สามารถปฏิบัติได้หลายวิธี ทั้งจากการคำนวณหาโดยวิธีการทางตรง และโดยวิธีการทางอ้อม

6. การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) และการคลายอุ่น (Cool down)

การฝึกด้วยน้ำหนักถือเป็นกิจกรรมการออกกำลังกายที่หนัก การอบอุ่นร่างกายก่อนการฝึกในการฝึกในแต่ละครั้งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมทางด้านร่างกายและจิตใจก่อนการฝึก ในกิจกรรมการอบอุ่นร่างกายจะประกอบไปด้วยกิจกรรมที่เป็นการเตรียมความ

พร้อมทางด้านระบบหายใจและระบบไหลเวียนเลือด เช่น เดินเร็วหรือวิ่งเหยาะๆ หลังจากนั้นควรตามด้วยกิจกรรมที่เป็นการเตรียมความพร้อมทางด้านกล้ามเนื้อ เช่น การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก

ในร่างกายนมนุษย์ระบบหัวใจและระบบการไหลเวียนเลือดมีหน้าที่สำคัญ คือ นำออกซิเจนไปส่งให้กล้ามเนื้อใช้งานรวมทั้งการนำของเสียกลับออกมาจากกล้ามเนื้อ ดังนั้นความทนทานในการทำงานของกล้ามเนื้อในการออกกำลังกายหรือฝึกซ้อมจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของหัวใจและระบบการไหลเวียนเลือด เมื่อกล้ามเนื้อทำงานเพิ่มขึ้น หัวใจและระบบการไหลเวียนเลือดจะต้องทำงานเพิ่มขึ้นด้วยเพื่อสนองความต้องการของกล้ามเนื้อ

การฝึกสมรรถภาพทางกายหรือออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจนเพื่อพัฒนาความสามารถของระบบหัวใจและระบบการไหลเวียนเลือด โดยใช้ระดับความหนักเกือบสูงสุด (Submaximal Exercise) นั้น ควรพิจารณาถึงปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการ คือ

1. รูปแบบวิธีการฝึก (Type of Training or Exercise)
2. ความหนักที่ใช้ในการฝึก (Intensity)
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกหรือการออกกำลังกายแต่ละครั้ง (Time or Duration)
4. ความบ่อยครั้งในการฝึกหรือการออกกำลังกาย (Frequency)

รูปแบบวิธีการฝึก (Type of Training or Exercise)

ชนิดของการออกกำลังกายจะมีความสัมพันธ์กับหลักการฝึกเฉพาะเจาะจง (Specific Training) การที่จะทำให้การฝึกบรรลุผลสำเร็จสูงสุดจำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ที่ต่อเนื่อง ในการทำงานร่วมกันของกลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ การเดินแอโรบิก การก้าวเท้าสลับขึ้นลงอยู่กับที่ ล้วนเป็นกิจกรรมที่ทำให้ร่างกายต้องใช้กลุ่มกล้ามเนื้อดังกล่าวทำงานเพื่อการเคลื่อนไหว ส่วนกิจกรรมที่ใช้ทั้งร่างกายส่วนบนและส่วนล่างผสมผสานกันไป พายเรือ ว่ายน้ำ ก็เป็นการออกกำลังกายอีกกลุ่มหนึ่งที่ช่วยพัฒนาความสามารถในการทำงานแบบใช้ออกซิเจนสูงสุด

ความหนักที่ใช้ในการฝึก (Intensity)

การกระตุ้นให้ร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยการใช้กฎของการใช้ความหนักมากกว่าปกติ ร่วมกับขบวนการผลิตพลังงานแบบใช้ออกซิเจน จะช่วยให้เกิดความเข้าใจได้มากยิ่งขึ้นว่า การออกกำลังกายหรือการฝึกที่ใช้ความหนักค่อนข้างมากจะกระตุ้นระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนให้ต้องทำงานมากขึ้นโดยการออกกำลังกายที่พอเหมาะเพื่อพัฒนาสมรรถภาพร่างกายนั้น ความหนักที่ใช้ควรอยู่ระหว่าง 50 - 80% ของการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราการเต้นของชีพจรที่ระดับ 60 - 90% ของอัตราเต้นชีพจรสูงสุด

สิ่งที่จะช่วยให้การควบคุมและกำหนดความหนักในการออกกำลังกาย หรือการฝึกเป็นไปอย่างถูกต้อง คือ การกำหนดเป้าหมายของการออกกำลังกายด้วยอัตราการเต้นของชีพจร (THR-Target Heart Rate) ดังสูตรของ Cavonien คือ

$$THR = (MHR - RHR) \times \% \text{ ความหนัก} + RHR$$

$$THR = \text{ชีพจรเป้าหมาย}$$

$$MHR = \text{ชีพจรสูงสุด } 220 - \text{อายุ}$$

$$RHR = \text{ชีพจรขณะพัก}$$

ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Time)

การออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน ถ้าจะให้เกิดผลดีควรใช้เวลาในแต่ละครั้งอย่างน้อยประมาณ 30 นาที และควรออกกำลังกายอย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์ เพื่อพัฒนาหัวใจและระบบการไหลเวียนเลือดและรักษาระดับของสมรรถภาพให้คงสภาพไว้ได้นาน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อออกกำลังกายถึงเป้าหมายของความหนักที่กำหนดแล้ว การออกกำลังกายนั้นจะยังคงดำเนินต่อไปอีกช่วงระยะเวลาหนึ่งที่ระดับของความหนักนั้นเป็นการฝึกให้ร่างกายต้องทำงานแบบใช้ออกซิเจนเกินกว่าสภาวะปกติ จึงเท่ากับเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานของระบบนี้ของร่างกายให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เนื่องจากการฝึกการใช้ออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับค่าออกซิเจนที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมและเกี่ยวข้องกับความหนักและความนานในการฝึกแต่ละช่วง หากเพิ่มความหนักในการฝึกมากขึ้นและลดเวลาในการฝึกให้น้อยลง ผลที่ได้รับจากการฝึกยังคงใกล้เคียงกับเป้าหมายเดิม ลักษณะของการเคลื่อนไหวและความหนักที่ต่างกันจะมีผลทำให้การใช้พลังงานของร่างกายแตกต่างกันไปด้วย

ความบ่อยครั้งในการออกกำลังกาย (Frequency)

ในการออกกำลังกายที่ดี นอกจากจะต้องกระทำโดยใช้ระดับความหนักที่เหมาะสมและมีระยะเวลาในการออกกำลังกายที่ยาวนานเพียงพอแล้ว หากจะให้ได้ดีเป็นที่น่าพอใจควรมีเวลาในการออกกำลังกายที่เหมาะสมอย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์ในระยะแรกเริ่ม ต่อจากนั้นจึงค่อยปรับเปลี่ยนความบ่อยครั้งเป็น 5 วันต่อสัปดาห์ จะให้ผลดีที่สุดและจะต้องมีเวลาในการพักผ่อนอย่างเพียงพอเพื่อการพักฟื้นสภาพร่างกายและป้องกันปัญหาการฝึกเกิน (Over Training) โดยควรมีเวลาพักผ่อนอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 วัน หรือมีการปรับลดระดับของความหนักในการฝึกซ้อมให้น้อยลง โดยสอดคล้องกิจกรรมทางด้านนันทนาการเพื่อให้นักกีฬาได้ผ่อนคลายความเครียดเข้าไปแทน (คณาจารย์วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา. 2548)

การอบอุ่นร่างกายก่อนการออกกำลังกายหรือก่อนการฝึกจะช่วยทำให้ผู้ที่ออกกำลังกายสามารถปฏิบัติกิจกรรมนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันอาการบาดเจ็บ โดยเจริญ กระบวนรัตน์ (2548) ได้แบ่งขั้นตอนดังนี้

ขั้นอบอุ่นร่างกาย (Warm Up)

ในขั้นของการอบอุ่นร่างกายนี้ ควรเริ่มต้นด้วยการปฏิบัติการเล่นไหวในแต่ละส่วนของร่างกายช้าๆ จากนั้นจึงค่อยๆ ปรับจังหวะหรือความเร็วในการเล่นไหวเพิ่มขึ้นทุกส่วน และมุ่งเน้นไปสู่ส่วนของร่างกายที่จำเป็นต่อการปฏิบัติทักษะการเล่นไหวในการฝึกซ้อมนั้นเป็นพิเศษ ซึ่งเป็นการเตรียมความพร้อมให้นักกีฬาเพื่อการฝึกซ้อมในลำดับต่อไป

ขั้นฝึกทักษะ (Skills Unit)

การสอนในขั้นนี้ ควรเริ่มจากทักษะที่คุ้นเคยหรือสามารถปฏิบัติได้ พัฒนาไปสู่ทักษะที่ยังไม่คุ้นเคยหรือยังไม่รู้และไม่สามารถปฏิบัติได้ ขณะเดียวกันควรเปิดโอกาสให้นักกีฬาได้มีการฝึกในทักษะเดิมซ้ำบ่อยครั้ง และในสถานการณ์ที่แตกต่างกันหรือคล้ายคลึงกับเกมการแข่งขันจริง

ในกรณีที่ไม่มีทักษะใหม่ในโปรแกรมการฝึกซ้อมครั้งนั้น และจุดมุ่งหมายของการฝึกซ้อมต้องการเน้นการฝึกทางด้านสมรรถภาพทางกายเป็นสำคัญ ดังนั้นภายหลังจากการอบอุ่นร่างกายพร้อมแล้ว ผู้ฝึกสอนก็พาสโมสรให้นักกีฬาฝึกสมรรถภาพทางกายได้ตามที่ต้องการ

ขั้นการฝึกสมรรถภาพทางกาย (Fitness Unit)

ในขั้นนี้จะเน้นการฝึกสมรรถภาพทางกายทั่วไปและสมรรถภาพทางกายที่จำเพาะประเภทกีฬา ซึ่งกิจกรรมในขั้นนี้อาจจะประกอบไปด้วยการวิ่ง การฝึกยกน้ำหนักหรือการฝึกกับความต้านทานในลักษณะอื่นๆ ที่จะช่วยพัฒนาเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายด้านต่างๆ ที่จำเป็น

ขั้นคลายอุ่น (Cool Down)

การปฏิบัติการเล่นไหวในขั้นนี้เป็นการปรับสภาพร่างกายทั้งทางด้านอุณหภูมิและอัตราการเต้นของหัวใจให้ค่อยๆ ลดลงกลับคืนสู่สภาวะปกติ นอกจากนี้ผู้ฝึกสอนก็พาสโมสรให้นักกีฬาใช้เวลาดังกล่าวนี้ประเมินผลหรือสรุปผลการฝึกซ้อมในแต่ละครั้งให้นักกีฬาได้ทราบอีกด้วย

พึงระลึกไว้เสมอว่า ในการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมที่ต้องการพัฒนาความก้าวหน้าให้กับนักกีฬานั้น กิจกรรมที่นำมาให้นักกีฬาฝึกหรือปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างสมรรถภาพหรือความสามารถ ควร มีลำดับขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

- ฝึกจากง่ายไปยาก
- ฝึกจากช้าไปเร็ว
- ฝึกโดยใช้ช่วงเวลาสั้นๆ ไปสู่ช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น
- ฝึกจากสิ่งที่รู้แล้วหรือคุ้นเคยไปหาสิ่งที่ยังไม่รู้หรือสิ่งที่มีความรู้ใหม่

- ฝึกจากการใช้ความสามารถทั่วไปพัฒนาไปสู่ความสามารถเฉพาะด้าน
- ฝึกจากจุดเริ่มต้นการเคลื่อนไหวของทักษะไปสู่จุดสิ้นสุดการเคลื่อนไหวของทักษะ

2. เมตาบอลิซึมของร่างกาย

เมตาบอลิซึม (Metabolism)

เมตาบอลิซึม หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางเคมีและทางพลังงานที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย การศึกษาเมตาบอลิซึมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. **Energy Metabolism** เพื่อใช้ในการทำงานของอวัยวะต่างๆ เช่น การทำงานของหัวใจ การหลั่งน้ำย่อยอาหาร การสร้างฮอร์โมน การหดตัวของกล้ามเนื้อลาย รวมทั้งความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสลายอาหารหรือการสลายพลังงาน

2. **Intermediary Metabolism** ได้แก่ ปฏิกิริยาเฉพาะทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย เกี่ยวข้องกับเมตาบอลิซึมของอาหารคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เป็นการศึกษาทางชีวเคมี

ทางสรีรวิทยากล่าวถึงเมตาบอลิซึมที่ให้พลังงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. **คาตาบอลิซึม (Catabolism หรือ Dissimilation)** หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยกระบวนการ Oxidation หรือ Hydrolysis มีการสลายฐานโมเลกุลใหญ่เป็นสารโมเลกุลเล็ก ทำให้เกิดพลังงานที่ร่างกายนำไปใช้ได้ Oxidation ของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน ซึ่งอยู่ในเซลล์ของร่างกาย ให้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ พลังงานเคมี (Chemical Energy) ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต เช่น เพื่อการทำงาน (External Work) ได้แก่ การเคลื่อนไหวหรือการทำงานของอวัยวะภายใน (Internal Work) ได้แก่ การทำงานของเซลล์ต่างๆ

2. **อานาบอลิซึม (Anabolism หรือ Assimilation)** ได้แก่ กระบวนการที่มีการสังเคราะห์โมเลกุลใหญ่หรือสะสมพลังงาน เช่น สังเคราะห์สารโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรตจากสารโมเลกุลเล็กๆ การสังเคราะห์เหล่านี้ต้องใช้พลังงาน นอกจากนี้ยังมีการสะสมพลังงานไว้ในรูปของสารประกอบฟอสเฟตที่มีพลังงานสูง (Energy – Rich Phosphate Compound)

อานาบอลิซึมเกิดตามลำพังไม่ได้จะต้องเกิดควบคู่ไปกับคาตาบอลิซึม เนื่องจากพลังงานที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์สารโมเลกุลใหญ่นั้นได้จากการสลายอาหาร คือต้องมีคาตาบอลิซึม

(คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล. 2542)

ปัจจัยที่ส่งผลต่อเมตาบอลิซึม

อัตราเมตาบอลิซึมของแต่ละบุคคลแตกต่างกันและถูกกำหนดโดยหลายปัจจัย โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราเมตาบอลิซึมในร่างกาย ได้แก่

1. มวลกล้ามเนื้อและมวลไขมันในร่างกาย

อัตราเมตาบอลิซึมมีค่ามากในคนที่มีมวลกล้ามเนื้อมากและมวลไขมันน้อยเนื่องจากเซลล์กล้ามเนื้อลายมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ดีกว่าเซลล์ไขมันจึงทำให้เกิดการสันดาปของสารอาหาร และพลังงานความร้อนได้มากกว่า ข้อมูลจากงานวิจัยพบว่าหากไขมันในร่างกายมนุษย์เพิ่มขึ้นร้อยละหนึ่งจะทำให้อัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐานมีค่าลดลงประมาณ 0.01 กิโลแคลอรีต่อนาที่ ดังนั้นในคนที่มีไขมันมากขึ้นร้อยละสิบจะมีค่าอัตราเมตาบอลิซึมพื้นฐานลดลง 0.1 กิโลแคลอรีต่อนาที่ ซึ่งเทียบได้กับ 144 กิโลแคลอรีต่อวัน

2. กิจกรรมประจำวันและการออกกำลังกาย

อัตราเมตาบอลิซึมมีค่ามากในคนที่มีกิจกรรมทางกายมากหรือออกกำลังกายเป็นประจำ เนื่องจากการหดตัวของกล้ามเนื้อซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกายจะเป็นการสร้างงานภายนอก ร่างกายและเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงาน

3. การกินอาหาร

อุณหภูมิร่างกายเพิ่มสูงขึ้นหลังการกินอาหาร เนื่องจากกระบวนการของร่างกายในการสันดาปอาหารต้องใช้พลังงานทำให้อัตราเมตาบอลิซึมเพิ่มมากขึ้นนอกจากนี้ชนิดของอาหารมีผลต่ออัตราเมตาบอลิซึมที่แตกต่างกันด้วย เช่น การกินอาหารที่มีโปรตีนทำให้อัตราเมตาบอลิซึมเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเนื่องจากกระบวนการสลายโปรตีนส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ตับซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานมาก ในขณะที่การกินอาหารที่มีไขมันสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร่างกายน้อยกว่า ดังนั้นการกินอาหารที่ให้พลังงานเท่ากันไม่ได้หมายความว่าร่างกายจะได้รับพลังงานสูงเท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารด้วยเช่นกัน

4. ฮอร์โมน

ฮอร์โมนที่เพิ่มอัตราเมตาบอลิซึม ได้แก่ ฮอร์โมนซึ่งเร่งกระบวนการสลายของเมตาบอลิซึม (Catabolism) เช่น ฮอร์โมนไทรอยด์ (Thyroid Hormones) และฮอร์โมนกลุ่มแคทีโคลามีน (Catecholamines) นอกจากฤทธิ์ในการเร่งกระบวนการสลายเมตาบอลิซึมฮอร์โมนทั้งสองกลุ่มนี้ยังมีฤทธิ์เพิ่มการทำงานของโปรตีนอันคัปปลิง (Uncoupling Proteins) ซึ่งเป็นโปรตีนอยู่ที่ผนังด้านในของไมโทคอนเดรียในเซลล์ ดังนั้นฮอร์โมนไทรอยด์และฮอร์โมนกลุ่มแคทีโคลามีนจึงทำให้ร่างกายสูญเสียพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น

5. อายุและเพศ

อัตราเมตาบอลิซึมมีค่าลดลงเมื่ออายุมากขึ้นเนื่องจากมวลกล้ามเนื้อที่ลดลงในสภาวะชราภาพ และโดยเฉลี่ยอัตราเมตาบอลิซึมของเพศชายมีค่าประมาณ 1.0 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ขณะที่ค่าดังกล่าวในเพศหญิงอยู่ที่ 0.9 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง โดยความแตกต่างเมตาบอลิซึมระหว่างเพศเกิดขึ้นจากความแตกต่างของมวลกล้ามเนื้อเช่นกัน (คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2552)

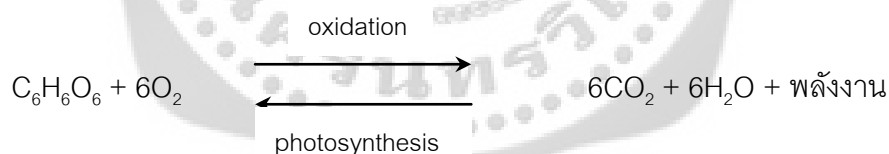
ขบวนการสร้างพลังงาน

กระบวนการสร้างพลังงานของกล้ามเนื้อ (Muscle Metabolism)

พีระพงษ์ บุญศิริ (2538) ได้กล่าวว่า กระบวนการสร้างพลังงานของกล้ามเนื้อ (Muscle Metabolism) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานในกล้ามเนื้อจากสารอาหารต่างๆ ไปเพื่อการทำงานของกล้ามเนื้อ อาหารเหล่านี้จะถูกย่อยและดูดซึมเข้าไปในกระแสโลหิตไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย ส่วนที่เหลือจะเก็บไว้ในส่วนต่างๆ เมื่อถึงเวลาจำเป็นต้องใช้ก็สามารถดึงออกมาใช้ได้

อาหารหลักที่สำคัญในการทำงานของกล้ามเนื้อ ได้แก่ อาหารพวกไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ซึ่งได้แก่ กรดไขมัน (Fatty Acid) กลูโคส และไกลโคเจน สารอาหารทั้งสามชนิดนี้ใช้เพื่อการออกกำลังกายโดยเฉพาะ แต่ละอย่างจะใช้ในสถานการณ์ที่แตกต่างกันไปตามสภาพความหนักเบาของสภาพบุคคลและชนิดของอาหารที่รับประทาน

ATP เกิดจากการสันดาปของอาหารที่รับประทานเข้าไปแล้วเกิดเป็นพลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ



สารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย

ในขณะออกกำลังกายหรือทำกิจกรรมต่างๆ ร่างกายต้องการพลังงานเพื่อนำมาใช้สำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ แหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกายประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโปรตีนจะไม่ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน ยกเว้นเมื่อคาร์โบไฮเดรตหรือไขมันที่สะสมไว้ในร่างกายมีปริมาณลดลง เช่น เมื่อออกกำลังกายหนักเป็นเวลานานๆ หรือในกรณีที่เราอดอาหาร เป็นต้น

1. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารที่ต่างจากโปรตีนและไขมัน เนื่องจากเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายโดยเฉพาะ โมเลกุลที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรต คือ กลูโคส และกลูโคสสามารถสลายเป็นพลังงานได้รวดเร็วที่สุด โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า กระบวนการไกลโคไลซิส

(Glycolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการกลางของการสร้างพลังงานให้แก่ร่างกาย ถึงแม้ว่าสารอาหารคาร์โบไฮเดรตจะสามารถสลายตัวเป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว แต่ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากอวัยวะต่างๆ ไม่สามารถเก็บสะสมสารอาหารคาร์โบไฮเดรตได้มากนัก คาร์โบไฮเดรตที่เก็บสะสมอยู่ในร่างกายจะอยู่ในรูปของไกลโคเจน (Glycogen) ซึ่งการเก็บสะสมไกลโคเจนปริมาณ 1 กรัม จะมีการเก็บสะสมน้ำไว้ด้วยปริมาณ 3 กรัม การเก็บสะสมไกลโคเจนไว้มากๆ จะทำให้ร่างกายมีน้ำมากเกินไป ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย นอกจากนี้จะเก็บสะสมในรูปแบบของไกลโคเจน ร่างกายยังสามารถเก็บสะสมคาร์โบไฮเดรตไว้ในรูปของกลูโคสได้อีกด้วย ซึ่งกลูโคสจะถูกนำมาใช้เพื่อการทำงานตามปกติอยู่ตลอดเวลา ถ้าจำนวนกลูโคสลดลงกว่าปกติเล็กน้อยก็จะมีผลต่อการทำงานของระบบต่างๆ ของร่างกาย

จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่นั้นคาร์โบไฮเดรตจะเก็บในรูปของกลูโคสในเลือด น้ำ และผิวหนังของร่างกายได้มาก แต่ไม่สามารถเก็บได้ตามอวัยวะอื่นๆ ส่วนอวัยวะอื่นๆ นั้นต้องปรับสภาพของกลูโคสให้เป็นไกลโคเจนและเก็บสะสมไว้ในอวัยวะนั้นๆ จะเก็บไว้ได้มากที่สุด การเก็บสำรองในรูปของไกลโคเจนก็เพื่อประโยชน์ เป็นพลังงานสำรองเมื่อต้องการใช้พลังงานทันที และไกลโคเจนก็สามารถนำมาใช้สร้างพลังงานได้ดีกว่ากลูโคสในกระแสเลือด

2. ไขมัน

สารอาหารไขมันเป็นสารอาหารที่ได้จากพืชและสัตว์ ส่วนใหญ่อาหารไขมันจะเป็นพวกไขมันที่เป็นกลาง (Neutral Fat) ซึ่งได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมัน (Fatty Acids) กับกลีเซอรอล (Glycerol) เมื่ออาหารไขมันถูกย่อยแล้วก็จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายในรูปของกรดไขมันกับกลีเซอรอล เข้าสู่ระบบน้ำเหลืองผ่านเข้าสู่กระแสเลือดแล้วเก็บสะสมเป็นไตรกลีเซอไรด์ในเซลล์ต่างๆ ซึ่งเรียกว่า เซลล์ไขมัน (Fat Cell) การเก็บสะสมไตรกลีเซอไรด์ในร่างกายมีไม่จำกัด เนื่องจากไม่รวมเอาน้ำเข้าไปไว้ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ด้วย ดังนั้น ยิ่งบริโภคไขมันมากก็จะยิ่งนำไปเก็บในรูปของไตรกลีเซอไรด์มากขึ้นตามไปด้วย

ไตรกลีเซอไรด์ที่เก็บสะสมอยู่ในเซลล์ต่างๆ จะเป็นแหล่งพลังงานสำรองสำหรับการทำกิจกรรมต่างๆ รองมาจากคาร์โบไฮเดรต การนำไขมันมาใช้จะต้องอาศัยพลังงานจากเอทีพี (ATP) ซึ่งได้มาจากกระบวนการสลายคาร์โบไฮเดรต การสร้างพลังงานจากไขมันจะเริ่มจากการแตกตัวของไตรกลีเซอไรด์กลายเป็นกรดไขมันกลีเซอรอล สารทั้งสองชนิดนี้จะเข้าสู่วัฏจักรของเครป (Kreb's Cycle) เช่นกัน แต่แยกทางกัน คือ กลีเซอรอลจะเปลี่ยนเป็นไดไฮดรอกซี อะซิโตน ฟอสเฟต (Dihydroxy Acetone Phosphate) เปลี่ยนเป็นฟอสโฟกลีเซอรอลดีไฮด์ 3 ตัว (3-Phosphoglyceroldehyde) แล้วเป็นไปตามกระบวนการของการสร้างพลังงานของกลูโคส จนกระทั่งเข้าสู่การสร้างพลังงานที่ไมโทคอนเดรีย (Electron Transport Chain) ส่วนที่เหลือใช้ก็จะ

กลับไปเป็นไขมันแท้อีกครั้งหนึ่ง ส่วนกรดไขมันต้องอาศัยน้ำย่อยพิเศษ (Co-enzyme A) กับตัวนำไฮโดรเจน (NAD) โดยใช้เอทีพีมาสลายเป็นพลังงานหนึ่งตัวและน้ำ เมื่อเริ่มสร้างพลังงานกรดไขมันก็จะเข้าสู่กระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Acetyl Co-enzyme A) มาช่วย ในขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นในไมโทคอนเดรียของเซลล์ เรียกกระบวนการนี้ว่า เบตาออกซิเดชัน (β-Oxidation)

การสร้างไขมันจากพลังงานแท้อหรือไตรกลีเซอไรด์ จะให้พลังงานเอทีพีมากกว่าการสร้างพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต (เมื่อจำนวนโมเลกุลของไขมันและคาร์โบไฮเดรตเท่ากัน) โดยกลีเซอรอล 1 โมเลกุล ให้พลังงานเอทีพี 22 ตัว กรดไขมัน 1 ตัวให้พลังงานเอทีพี 147 ตัว ไขมันแท่จะประกอบด้วยกลีเซอรอลกับกรดไขมัน 3 ตัว ดังนั้นไขมันแท่ 1 โมเลกุลจะให้พลังงานเอทีพีเท่ากับ $22 + (147 \times 3)$ หรือได้พลังงานเอทีพีถึง 463 ตัว อย่างไรก็ตามการสร้างพลังงานจากไขมันจำเป็นต้องใช้เอทีพีจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต และพลังงานจากไขมันจะเกิดขึ้นเฉพาะในกรณีที่ไม่มีออกซิเจนอย่างเพียงพอเท่านั้น (ธาดา สืบหลินวงศ์ และ นวลทิพย์ กมลวารินทร์. 2537)

3. โปรตีน

โปรตีนเป็นสารอาหารที่ช่วยเสริมสร้างร่างกายให้เจริญเติบโต ซ่อมแซมร่างกาย รักษาขนาดและน้ำหนักของกล้ามเนื้อ โปรตีนจึงไม่ได้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญเช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรตและไขมัน แต่สำหรับนักกีฬาประเภทความอดทนการสำรองพลังงาน 5 - 15 % ของการสำรองพลังงานทั้งหมดจะมาจากโปรตีน ซึ่งเปอร์เซ็นต์นี้อาจจะมีการเพิ่มขึ้นเมื่อการทำงานมีความหนักมากขึ้นหรือเมื่อระยะเวลาการออกกำลังกายนานมากขึ้น ในการวิ่งมาราธอนและไตรกีฬาจะใช้โปรตีนเป็นต้นตอของพลังงานมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้กล้ามเนื้อมีขนาดเล็กลงและประสิทธิภาพของความสามารถทางกายจะลดลง ด้วยเหตุนี้จึงควรรับประทานโปรตีน 1 – 1.5 กรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมต่อวัน แต่ก็ไม่ควรให้มากเกินไป 2 กรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมต่อวัน เนื่องจากไม่มีประโยชน์เพราะโปรตีนที่ร่างกายได้รับร่างกายจะสามารถสังเคราะห์ได้ในระดับหนึ่งเท่านั้นแต่ส่วนที่เหลือก็ต้องขับทิ้ง ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียภายหลังได้ (สนธยา สีละมาด. 2547)

การสร้างพลังงานในขณะออกกำลังกาย

ก่อนการปฏิบัติกิจกรรมสภาพร่างกายจะอยู่ในสภาพปกติ กล้ามเนื้อในส่วนต่างๆ จะใช้พลังงานที่ได้จากไขมันเป็นส่วนใหญ่

เมื่อเริ่มมีการออกกำลังกาย หมายถึง กล้ามเนื้อเริ่มทำงาน มีการหดตัว เมื่อกล้ามเนื้อหดตัว ATP และ CP จะเกิดการสลายตัวเพื่อให้ได้พลังงานซึ่งเป็นพลังงานได้จากการบวนการไกลโคไลซิส โดยจากการสันดาปไปสู่วิกจากกรดไขมัน โลหิตก็เพิ่มปริมาณขึ้นมีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ความล้าก็จะค่อยๆ เกิดขึ้นเนื่องจากสารเร่งปฏิกิริยาลดลงในช่วงนี้เป็นระยะสร้างพลังงานโดยไม่ใช้ออกซิเจน แต่

ใช้กลูโคสจากโลหิตสังเคราะห์ ATP เมื่อออกกำลังกายไปได้ 3-5 นาที การใช้พลังงานจากกรดไขมันจะค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงกำหนดเวลา 10 นาที

เมื่อระยะของการออกกำลังอยู่ในระยะคงตัวคือ ระหว่างปฏิบัติงาน ซึ่งหมายถึงการสร้างพลังงานสมดุลกับการใช้พลังงาน โดยกลูโคสในโลหิต กล้ามเนื้อ กรดไขมัน พลาสมาและกลีเซอรอลในกล้ามเนื้อถูกดึงมาสร้างพลังงาน ATP โดยสารเร่งปฏิกิริยาแอคโตไมโอซิน ATPase

การสร้างพลังงานจะขึ้นอยู่กับความหนักเบาของงาน ถ้างานหนักมากก็จะมีปรับตัวโดยการเผาผลาญกรดไขมันมากขึ้นเพิ่มการสันดาปคาร์โบไฮเดรต จึงส่งผลต่อการเพิ่มไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเพื่อออกกำลังกายระยะยาว เมื่อถึงระยะสุดท้ายของการออกกำลังกายหมายถึงช่วงที่เริ่มเหน็ดเหนื่อยนั้น เกิดจากการออกกำลังกายยาวนาน กล้ามเนื้อจะใช้พลังงานจากกระบวนการ “ไกลโคไลซิส” มากขึ้น จำนวนไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ ATP และ CP จะลดลง ร่างกายจะต้องใช้พลังงานจากการสันดาปพลังงานมาช่วยทันที การออกกำลังกายหรือทำงาน กระบวนการสร้างพลังงานเพิ่มขึ้น เราสามารถเพิ่มความสามารถของร่างกายได้โดยการคำนวณหาจากจำนวนออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการสันดาปอาหารเมื่อต้องการพลังงานเพิ่มขึ้น การใช้ออกซิเจนก็สูงขึ้น แต่เป็นการใช้ออกซิเจนอย่างประหยัดและจำเป็น

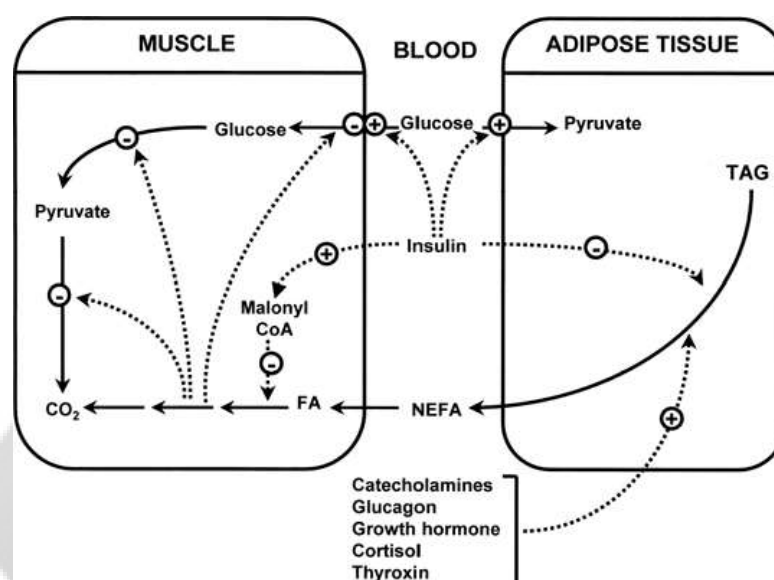
โดยปกติจะมีปริมาณออกซิเจนในปอดและโลหิตประมาณ 1,800 – 2,500 มิลลิลิตร (อาจมีอยู่ในไมโอโกลบิน (Myoglobin) อีก 40 – 400 มิลลิลิตร) ในขณะที่ร่างกายพักผ่อนจะใช้ออกซิเจนประมาณ 200 – 300 มิลลิลิตรต่อนาที ในร่างกายของคนเรามีโครงสร้างเป็นกล้ามเนื้อถึง 2 ใน 5 ของร่างกาย นั่นคือประมาณ 40% ดังนั้นเมื่อทำงานหนักจำนวนออกซิเจนที่ใช้ก็จะเพิ่มขึ้นเป็น 20 เท่าของอัตราปกติ ถ้าทำงานหนักอาจใช้ถึง 50 เท่าของการทำงานปกติ

กิจกรรมที่มีความหนักปานกลางสม่ำเสมอ ออกซิเจนจะนำเข้าร่างกายเป็นปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และลดลงเมื่อผ่านไป 1-2 นาที เป็นเช่นนี้ตลอดระยะเวลาการทำงานของหัวใจ อัตราการเต้นของหัวใจและการผลิตกรดแลคติกอยู่ในลักษณะคงที่ ซึ่งสรุปเรียกว่าระยะคงตัว (พีระพงค์ บุญศิริ. 2538)

วงจรถูกลูโคสและกรดไขมัน (The Glucose Fatty Acid Cycle)

กลูโคสและกรดไขมันเป็นเชื้อเพลิงหลักในขบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกายซึ่งมีกลไกของร่างกายเข้ามาควบคุม แนวคิดเกี่ยวกับวงจรถูกลูโคสและกรดไขมันจะมีความสัมพันธ์กับเมตาบอลิซึมของกลูโคสและกรดไขมัน โดยการใช้พลังงานจากกลูโคสและประสิทธิภาพของอินซูลินจะถูกยับยั้งจากการใช้พลังงานจากกรดไขมันที่สลายจากไตรกลีเซอไรด์ในกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อไขมัน และการใช้พลังงานจากไขมันยังส่งผลให้มีการสะสมของไขมันและกลูโคสในกรณีที่มีการพร่องของไกลโคเจนสำรอง ในทางตรงข้ามปัจจัยที่ส่งผลต่อการยับยั้งการใช้พลังงานจากกรดไขมันประกอบด้วย การ

ทำงานของอินซูลิน กระบวนการไกลโคไลซิสในกล้ามเนื้อ และการใช้พลังงานจากกลูโคส ซึ่งจะทำให้เกิดการยับยั้ง Malonyl-CoA ซึ่งควบคุมเอนไซม์ Carnitine Palmitoyltransferase - 1 ทำให้การใช้พลังงานจากกรดไขมันลดลง ดังภาพประกอบ 1 ดังนั้นการสลายกรดไขมันส่งผลยับยั้งการใช้พลังงานจากกลูโคส และประสิทธิภาพของอินซูลิน และเมื่อมีการใช้พลังงานจากกลูโคส การสลายไขมันจะถูกยับยั้งด้วยเช่นกัน (Randle, P.J.; et al. 1998; Randle, P.J.; et al. 1963; Frayn, K.N. 2003)



ภาพประกอบ 1 แสดงวงจรกลูโคสและกรดไขมัน

ที่มา: <http://www.msdlatinamerica.com/diabetes/sid330171.html>

ระบบพลังงาน

คุณลักษณะของระบบพลังงาน (Characteristics of Energy Supply System)

1. ระบบแอนแอโรบิก อแล็กเทต (Anaerobic Alactate System)

ระบบแอนแอโรบิก อแล็กเทต เป็นระบบที่สำรองพลังงานได้โดยตรง โดยที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการผลิตพลังงานและไม่ก่อให้เกิดกรดแล็กติกเมื่อการทำงานมีความหนักสูงสุด (Maximum) ระบบนี้สามารถสำรองพลังงานเอทีพีได้ประมาณ 6 - 8 วินาที เนื่องจากปริมาณของสารครีเอตินฟอสเฟตจะหมดลงในเวลาอันสั้น การสำรองพลังงานโดยการเปลี่ยนรูปของสารครีเอตินฟอสเฟตส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นออกกำลังกาย และการสร้างกลับคืนของครีเอตินฟอสเฟตหลังการออกกำลังกายหยุดลงจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยประมาณ 3 - 5 นาที

2. ระบบแอนแอโรบิก แล็กเทต (Anaerobic Lactate System)

ระบบแอนแอโรบิก แล็กเทต เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงานเอทีพี เช่นเดียวกับระบบแอนแอโรบิก อแล็กเทต แต่การสร้างพลังงานจะก่อให้เกิดกรดแล็กติกขึ้นจึงเป็นระบบที่นำมาใช้ในกรณีฉุกเฉิน (Emergency System) เช่น มีการทำงานหนักอย่างรวดเร็วและยาวนานโดยเฉพาะการทำงานในช่วงเวลา 20 วินาที ถึง 45 วินาที พลังงานสำรอง (ไกลโคเจน) จากระบบนี้จะถูกนำมาใช้มากที่สุด อย่างไรก็ตาม ระดับการสร้างพลังงานจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความสามารถของแต่ละบุคคล เพศ อายุ และระยะเวลาของการออกกำลังกาย

ตามทฤษฎี จำนวนไกลโคเจนที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อจะสามารถสนับสนุนการวิ่งเร็วสูงสุดได้ประมาณ 75 - 80 วินาที อย่างไรก็ตามการปฏิบัติจริงจะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากผลผลิตของกระบวนการไกลโคไลซิสจะเกิดแล็กเทตและอนุภาคไฟฟ้าบวก (H^+) ซึ่งจะก่อให้เกิดกรดอย่างสูงและเป็นสาเหตุทำให้ระดับความเป็นกรดในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรดจะมีผลต่อองค์ประกอบที่จำเป็นของการหดตัวของกล้ามเนื้ออย่างน้อยสองอย่าง คือ หนึ่งลดความสามารถในการทำงานของฟอสโฟฟรุกโตไคเนส (Phosphofructokinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญของกระบวนการไกลโคไลซิส และสองแทรกแซงการทำงานของแคลเซียมในกระบวนการครอสบริดจ์ (Crossbridge) โดยการป้องกันการเกาะของแคลเซียมกับโทรโปนิน-ซี (Troponin-C) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ดังนั้นโดยผลผลิตของกระบวนการไกลโคไลซิสจะนำไปสู่การลดลงของการสร้างพลังงานเอทีพีและการลดลงของแรง (Force) ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

ร่างกายจะมีวิธีการกำจัดแล็กเทตด้วยการนำกลับมาใช้เป็นพลังงานขึ้นมาใหม่ (เปลี่ยนกลับไปเป็นไพรูเวต) โดยที่กล้ามเนื้อผลิตแล็กเทตขึ้น (Lactate-Producing Muscle) แต่ถ้าปริมาณการผลิตมีมาก เกินความสามารถในการเปลี่ยนกลับของกล้ามเนื้อที่ผลิตขึ้น ระดับการสะสมของแล็กเทตจะสูงและแพร่เข้าสู่กระแสเลือดและจะถูกนำไปใช้โดยเส้นใยกล้ามเนื้อหัวใจและเส้นใยกล้ามเนื้อมัดอื่นๆ และเปลี่ยนกลับเป็นไกลโคเจนที่ตับ (Liver) ประมาณ 20% และในที่สุดถ้าปริมาณการผลิตมีมากเกินความสามารถในการกำจัด (กรณีทำงานหนักอย่างต่อเนื่อง) แล็กเทตจะสะสมอยู่ในกระแสเลือด และต้องรอให้การออกกำลังกายเสร็จสิ้นลงการสะสมของแล็กเทตถึงจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากกระแสเลือดและกล้ามเนื้อและกลับสู่ระดับปกติภายในเวลาประมาณหนึ่งชั่วโมง

การผลิตและการควบคุมแล็กเทตเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในการพัฒนาระบบพลังงานทั้งแอนแอโรบิกและระบบแอโรบิก เนื่องจากแล็กเทตจัดเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิง (Fuel) ที่มีความสำคัญสำหรับการออกกำลังกายและเกี่ยวข้องกับระบบพลังงานแอนแอโรบิก ถ้าแล็กเทตที่ผลิตในกล้ามเนื้อมัดที่มีการทำงานไม่ได้ถูกใช้เป็นต้นตอของพลังงานในกล้ามเนื้อมัดอื่นๆ นักกีฬาก็จะมีความทำงานที่หนักในช่วงท้ายของการแข่งขัน แต่ถ้าแล็กเทตมีการเคลื่อนย้ายออกจากกล้ามเนื้อที่มีการผลิตและถูกใช้เป็น

เชื้อเพลิงในการสำรองพลังงานของกล้ามเนื้ออื่นๆ ปัญหาการเกิดกรดในกล้ามเนื้อที่ีมีการทำงานจะน้อยลง

นอกจากนี้ด้วยความที่แล็กเทตเป็นผลผลิตของกระบวนการไกลโคไลซิสและเป็นเชื้อเพลิงของระบบแอโรบิก แม้ว่าแล็กเทตจะไม่เกี่ยวข้องในระบบบอแล็กเทต แต่การเพิ่มขึ้นของแล็กเทตในปริมาณมากขณะฝึกซ้อมระบบบอแล็กเทต จะเป็นการบ่งชี้ให้เห็นถึงการก้าวขึ้นไปถึงขีดจำกัดของการสำรองพลังงานของระบบบอแล็กเทต เช่นเดียวกันการเพิ่มขึ้นของแล็กเทตระหว่างการฝึกซ้อมระบบแอโรบิกจะหมายถึง ร่างกายมีการใช้ไขมันเป็นเชื้อเพลิงน้อยและใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นเชื้อเพลิงมาก จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬาที่จะต้องเข้าใจว่าอะไรเป็นตัวการในการเพิ่มขึ้นของแล็กเทตถ้าต้องการจัดรูปแบบการทำงานเพื่อฝึกซ้อมระบบพลังงานทั้งสามระบบให้ได้อย่างสมบูรณ์แบบ

3. ระบบแอโรบิก (Aerobic System)

ระบบแอโรบิกต้องการออกซิเจนในกระบวนการเผาผลาญอาหาร แต่อย่างไรก็ตาม แม้จะมีออกซิเจนอย่างพอเพียง กระบวนการเผาผลาญก็อาจจะถูกจำกัดโดยปัจจัยทางด้านเอนไซม์และไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสำหรับการผลิตพลังงาน และถ้ามีจำนวนจำกัดจะทำให้ปริมาณการผลิตพลังงานลดลง ระบบแอโรบิกสามารถใช้เชื้อเพลิงมากกว่าหนึ่งชนิด คาร์โบไฮเดรตและไขมันที่เก็บสะสมอยู่ในร่างกายเป็นต้นตอที่สำคัญของการผลิตพลังงานของระบบแอโรบิก การเก็บสะสมของคาร์โบไฮเดรตจะมีจำนวนจำกัดขณะที่การเก็บสะสมของไขมันมีจำนวนไม่จำกัด การสำรองพลังงานจากทั้งสองต้นตอจะทำงานในเวลาเดียวกัน แต่จะแบ่งสัดส่วนการสำรองพลังงาน โดยขึ้นอยู่กับระดับความหนักของการออกกำลังกาย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย และสภาพการฝึกซ้อมของแต่ละบุคคล

การออกกำลังกายที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal) ระยะเวลายาวนาน ในตอนแรกคาร์โบไฮเดรตจะเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญหรือเป็นต้นตอของพลังงานทั้งหมด แต่เมื่อระยะเวลาการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นการสำรองพลังงานจากการเผาผลาญไขมันจะเข้ามามีบทบาทที่ละน้อยและเพิ่มระดับสูงขึ้นเป็นต้นตอหลักของการผลิตพลังงานทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันของร่างกายในการที่จะคงเหลือไกลโคเจนไว้ในร่างกายสำหรับใช้เป็นพลังงานของสมอง (Brain) กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียวสำหรับการทำงานของสมอง การทำงานร่วมกันของคาร์โบไฮเดรตและไขมันจึงเป็นสิ่งที่ดีต่อร่างกาย และสามารถที่จะฝึกซ้อมระบบพลังงานแอโรบิกได้ตลอดชั่วอายุ (สนธยา สีละมาด.

การวัดพลังงานของร่างกาย

ร่างกายได้รับพลังงานจากออกซิเดชันของอาหาร พลังงานที่ร่างกายใช้หรือพลังงานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมาในรูปของความร้อน ถ้าขณะนั้นมีการทำงาน พลังงานส่วนน้อยจะนำไปในการทำงาน เช่น การหดตัวของกล้ามเนื้อลาย ดังนั้นการวัด Heat Production หรือความร้อนที่เกิดขึ้นในระยะเวลาจำกัด จึงเป็นการวัดอัตราเมตาบอลิซึม วิธีการวัดความร้อนที่เกิดขึ้น (Heat Production) เรียกว่า Calorimetry ซึ่งมี 2 แบบ คือ

1. Direct Calorimetry วัดความร้อนที่เกิดขึ้นโดยตรง หลักการเหมือนการหาค่าพลังงานของอาหาร เครื่องมือที่ใช้เรียก Human Calorimeter หรือ Whole Body Calorimeter โดยการให้ผู้ถูกทดลองนั่งหรือนอนในห้องที่มีฉนวนหุ้มกันการสูญเสียความร้อนภายในห้องมีท่อน้ำไหลผ่าน ความร้อนที่เกิดจากเมตาบอลิซึมจะเพิ่มอุณหภูมิ น้ำ วัดอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและไหลออก วัดปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านซึ่งเท่ากับน้ำหนักของน้ำ จากนั้นคำนวณหาความร้อนที่เกิดขึ้น (Heat Production) อาจหาความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำงาน โดยให้ผู้ถูกทดลองใช้ Ergometer ออกกำลังกายในห้องทดลอง วิธี Direct Calorimetry นี้มีข้อดีที่ได้ผลแม่นยำถ้าทำถูกต้องแต่มีข้อเสียที่เครื่องมือยุ่งยากใหญ่โต และราคาแพง การทำต้องละเอียดถ้าทำไม่ดีมีข้อผิดพลาด ผลจะไม่ดีไปกว่าวิธีที่ 2 วิธีนี้จึงไม่นิยมใช้ ยกเว้นในห้องปฏิบัติการเฉพาะทางเพื่องานวิจัย

2. Indirect Calorimetry วัดความร้อนที่เกิดขึ้นทางอ้อม เนื่องจากพลังงานมากกว่า 95% ที่ร่างกายใช้ไป เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอาหารชนิดต่างๆ กับออกซิเจน ดังนั้นจึงหาอัตราเมตาบอลิซึมได้โดยการคำนวณจาก VO_2 พบว่าค่าเทียบแคลอรีของออกซิเจนไม่ต่างกันมากนัก สำหรับอาหารแต่ละชนิด สำหรับคนที่รับประทานอาหารผสมธรรมดาในภาวะเบซัลจะมีค่า RQ ประมาณ 0.82 ค่าเทียบความร้อนของออกซิเจนประมาณ 4.825 แคลอรีต่อลิตรออกซิเจน กล่าวคือ เมื่อใช้ออกซิเจนไป 1 ลิตรจะให้พลังงานประมาณ 4.825 แคลอรี

การวัดทางการหายใจ (Respiratory Calorimetry) เป็นวิธีการวัดอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ ($VCO_2 : VO_2$) ขณะหายใจ เป็นวิธีการที่สะดวกต่อการวัดการใช้พลังงานของร่างกาย ส่วนมากจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Metabolic Cart ซึ่งจะเป็นการวัดปริมาณออกซิเจน (VO_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (VCO_2) โดยจะมีท่อต่อจากผู้ถูกวัดไปยังเครื่องวิเคราะห์การเผาผลาญ โดยกิจกรรมที่มีอาจจะอยู่ในขณะพักหรือเดิน วิ่ง ปั่นจักรยานวัดงานก็ได้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะหารด้วยปริมาณออกซิเจนที่ใช้ที่เราเรียกว่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจหรือ (Respiratory Exchange Ratio, $RER = VCO_2 / VO_2$) ซึ่งค่า RER นี้จะสามารถใช้คำนวณการเผาผลาญของไขมันและคาร์โบไฮเดรตจากพลังงานสารอาหารทั้งหมด โดยอัตราการเผาผลาญไขมันและคาร์โบไฮเดรต และอัตราการใช้พลังงานจะคำนวณได้จากสูตรของฟรายน์ (Frayn, 1983) ดังนี้

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

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

โดย กำหนดโปรตีน (n) = 0

การวัดพลังงานแบบไม่วัดความร้อน (Noncalorimetric Methods) เป็นวิธีวัดจากการประมาณค่าพลังงานที่ร่างกายใช้ด้วยข้อมูลที่สัมพันธ์กับค่าการใช้พลังงานจากวิธีการวัดพลังงานแบบทางอ้อม (Indirect Respiratory Calorimetry) เช่นการวัดด้วยการใช้ความสัมพันธ์ของเส้นตรงระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณการใช้ออกซิเจน (HR- VO_2 Regression Line) หรือการใช้เครื่องตรวจวัดการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Accelerometers) ขณะมีกิจกรรมต่าง ๆ การวัดพลังงานความร้อนทางอ้อม เป็นวิธีการวัดพลังงานที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีการวัดที่มีข้อผิดพลาดน้อย โดยวิธีนี้มีข้อผิดพลาดน้อยมากแตกต่างจากการวัดพลังงานความร้อนทางตรงไม่เกิน 10% นอกจากนี้ยังสามารถวัดได้ง่ายกว่า สะดวกกว่า และที่สำคัญยังมีต้นทุนในการวัดที่น้อยกว่าการวัดพลังงานความร้อนทางตรง (คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. 2542)

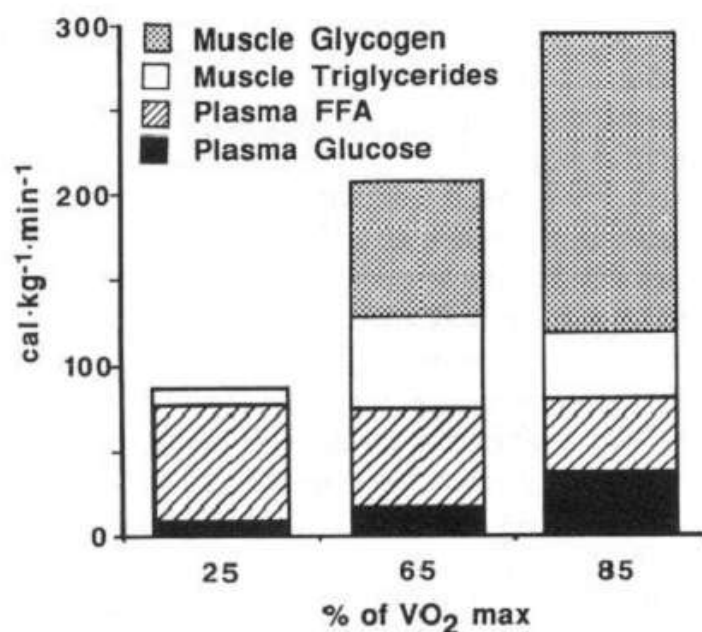
การเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกาย

ในนักกีฬาที่มีสุขภาพดีและมีเปอร์เซ็นต์ไขมันน้อยที่สุดจะมีการสะสมไขมันในเนื้อเยื่อไขมันในการใช้เป็นพลังงานประมาณ 50,000 – 100,000 แคลอรี หรือเป็นพลังงานเพียงพอที่จะเดินหรือวิ่ง 500 – 1,000 ไมล์ (800 – 1,600 กิโลเมตร) โดยไม่มีการได้รับพลังงานเพิ่ม นักกีฬาจะมีการสะสมพลังงานจากไขมันในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อประมาณ 2,000 – 3,000 แคลอรี การสะสมไขมันในร่างกายจะสะสมในรูปของไตรกลีเซอไรด์ การใช้ไตรกลีเซอไรด์เป็นแหล่งพลังงานนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจน การเผาผลาญไขมันสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วง 60 – 65% $\text{VO}_{2\text{max}}$ แต่เมื่อระดับของ $\text{VO}_{2\text{max}}$ เพิ่มขึ้น ออกซิเจนจะไม่เพียงพอทำให้ไม่สามารถใช้พลังงานจากไขมันเป็นหลัก

ไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกเก็บในเนื้อเยื่อไขมันจะแยกออกเป็นกลีเซอรอลกับกรดไขมัน และถูกขนส่งไปยังเลือด ในทุกเนื้อเยื่อสามารถสร้างพลังงานจากกลีเซอรอลได้และกรดไขมันจะถูกย้ายเข้าไปยังกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานอยู่แล้วเผาผลาญเป็นพลังงาน ไตรกลีเซอไรด์ที่ถูกสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อก็จะแตกตัวเป็นกลีเซอรอลกับกรดไขมัน โดยกรดไขมันจะถูกเผาผลาญเป็นพลังงานให้กับการทำงานของกล้ามเนื้อ ส่วนกลีเซอรอลสามารถเผาผลาญเป็นพลังงานให้กับกล้ามเนื้อที่ทำงานหรือถูกขนส่งไปยังเลือดเพื่อให้เนื้อเยื่ออื่นๆ ใช้เป็นพลังงานต่อไป

การออกกำลังกายที่ความหนักต่ำจะใช้พลังงานจากไขมันเป็นหลัก ถ้าความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นสัดส่วนในการเผาผลาญพลังงานจากไขมันจะลดลงและสัดส่วนในการเผาผลาญพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น เช่น ความหนักในการออกกำลังกายเพิ่มขึ้น จำนวนแคลอรีที่

ถูกใช้ในการออกกำลังกายจะเพิ่มขึ้นด้วย แม้ว่าสัดส่วนในการเผาผลาญไขมันจะลดลงแต่พลังงานรวมมีค่ามากทำให้อัตราการเผาผลาญไขมันรวมมีค่ามากกว่าการออกกำลังกายที่ระดับต่ำ (ดังภาพประกอบ 2)



ภาพประกอบ 2 แหล่งพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายที่ความหนักแต่ละระดับ

ที่มา: Romijn, J.A.; et al. (1993). Regulation of Endogenous Fat and Carbohydrate Metabolism in Relation to Exercise Intensity and Duration. Am J Physiol Endocrinol Metab. (Online).

จากภาพประกอบ 2 การออกกำลังกายที่ใช้พลังงานจากไขมันเป็นหลักอยู่ที่ความหนักระดับ 65% VO_{2max} ส่วนระยะเวลาในการออกกำลังกายจะขึ้นอยู่กับมวลไขมันรวมที่ต้องการจะกำจัด สรุปว่าการออกกำลังกายที่ความหนักต่ำสัดส่วนการเผาผลาญพลังงานจากไขมันจะมีค่าในสัดส่วนที่มากแต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การออกกำลังที่ความหนัก 65% VO_{2max} การใช้พลังงานจากไขมันรวมจะมีค่ามากกว่า (Benardot. 2006)

3. ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย

หน้าที่ของระบบหายใจคือการจัดหาออกซิเจนสำหรับเมตาบอลิซึมของร่างกายและกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายซึ่งเป็นผลจากกระบวนการออกซิเดชัน ปกติในขณะพักร่างกายจะใช้ออกซิเจนประมาณ 250 มิลลิลิตรต่อนาที แต่เมื่อมีการออกกำลังกายอย่างหนักร่างกายอาจต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นถึง 30 เท่า ดังนั้นร่างกายจึงต้องปรับการหายใจให้เปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการของร่างกายในขณะออกกำลังกาย นอกจากนี้การออกกำลังกายยังมีบทบาทในการรักษาสมดุลกรด-ด่างในเลือดในขณะออกกำลังกาย (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัฒน์. 2536)

พระพงศ์ บุญศิริ (2538) กล่าวว่า ระบบการหายใจกับการออกกำลังกาย คือ ความสัมพันธ์ระหว่างการนำเชื้อเพลิงเข้าไปช่วยสร้างพลังงานให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหมายถึงการที่สารอาหารต่างๆ ที่เป็นตัวทำให้เกิดพลังงานนั้น จะต้องอาศัยออกซิเจนเข้าไปช่วยเผาผลาญทำให้กลายเป็นพลังงาน และเมื่อมีการทำงานหรือการออกกำลังกายแล้ว ร่างกายจะมีการหายใจเพิ่มมากขึ้นเพื่อนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และนำของเสียหรือสิ่งที่เกิดจากการเผาผลาญสารอาหารหรือส่วนที่เหลือจากการใช้จะต้องระบายขับออกจากเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ กรดแล็กติก และอื่นๆ ระบบหายใจเป็นตัวการสำคัญในการนำเข้าออกซิเจนและระบายของเสียออกคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งออกมาในรูปของอากาศที่หายใจออกนั่นเอง

การทำหน้าที่ของระบบหายใจ

โดยปกติคนเราจะหายใจเข้าออกประมาณ 16 – 20 ครั้งต่อนาที ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายต้องการในขณะพักประมาณ 0.3 ลิตร อากาศที่เข้าสู่ปอดและถ่ายออกมานั้นเกิดจากลักษณะความแตกต่างของความกดดันของอากาศภายนอกกับความกดดันของอากาศในถุงลมปอด ซึ่งปกติในขณะพักความกดดันในถุงลมปอดจะน้อยกว่า 760 มิลลิเมตรปรอท ประกอบกับกล้ามเนื้อซี่โครงหดตัวยกซี่โครงขึ้นและกล้ามเนื้อกะบังลมหดตัวทำให้ช่องว่างภายในทรวงอกมากขึ้น อากาศจากภายนอกก็จะไหลเข้าสู่ปอดสู่ถุงลมปอดเรียกว่า การหายใจเข้า เมื่อกล้ามเนื้อซี่โครงและกล้ามเนื้อกะบังลมคลายตัวจะบีบอากาศภายในปอด อากาศภายในปอดจะมีความกดดันสูงขึ้นก็จะถูกกดให้ไหลถ่ายเทออกมาสู่ภายนอกเรียกว่า การหายใจออก

การระบายอากาศในสภาวะต่างๆ

การระบายอากาศขณะพัก (Ventilation at Rest)

พิชิต ภูติจันทร์ (2535) กล่าวว่า ในสภาวะปกติ ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้ง (Tidal Volume) ประมาณ 400 – 600 มิลลิลิตร และความถี่ของการหายใจต่อนาทีประมาณ 16 - 20 ครั้งต่อนาที โดยทั่วไปการระบายอากาศขณะพักจะมีเท่ากับ $500 \times 16 = 8,000$ มิลลิลิตร หรือ 8 ลิตร อย่างไรก็ตามการระบายอากาศขณะพักอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามอิริยาบถของร่างกาย

อันเนื่องมาจากความถี่และความลึกในการหายใจเปลี่ยนแปลงไป สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัฒน์ (2536) กล่าวว่า ตามปกติอัตราการหายใจมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16–20 ครั้งต่อนาที ส่วนความลึกของการหายใจ ซึ่งวัดเป็นปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้งในขณะพักมีค่าประมาณ 500 มิลลิลิตร ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีในคนปกติขณะพักมีค่าประมาณ 6 ลิตรต่อนาที ซึ่งสามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที = อัตราการหายใจ x

ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้ง

การระบายอากาศระหว่างออกกำลังกาย (Ventilation During Exercise)

ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาทีที่เพิ่มขึ้นในระหว่างออกกำลังกาย การเพิ่มขึ้นนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มปริมาตรของออกซิเจนที่หายใจเข้าไป และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นมาจากการทำงานของกล้ามเนื้อในเวลา 1 นาที ในผู้ที่ออกกำลังกายอยู่เสมอมักมีค่าการระบายอากาศหายใจต่อนาทีต่ำ แต่สามารถทำงานหนักได้เท่าเดิมโดยไม่ต้องหายใจมาก ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการหายใจ นอกจากนี้ในผู้ที่ได้รับการฝึกจะมีค่าสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก การออกกำลังกายทำให้การระบายอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลง สรุปได้ดังนี้

1. การระบายอากาศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1–2 นาที ภายหลังเริ่มการออกกำลังกาย การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นของระบบประสาทที่มาจากรีเซปเตอร์ของข้อต่อที่เคลื่อนไหวจากการออกกำลังกาย

2. ในการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุด การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แล้วเข้าสู่ระดับคงที่ (Steady State) แต่ในการออกกำลังกายที่ระดับสูงสุดนั้น การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นอยู่เรื่อยๆ และไม่มีระดับคงที่ การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นไปกระตุ้นรีเซปเตอร์และศูนย์ประสาททำให้การระบายอากาศเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดช่วงการออกกำลังกาย

3. การเปลี่ยนแปลงการระบายอากาศเมื่อออกกำลังกายระยะยาว เมื่อมีการออกกำลังกายนานขึ้นค่าของการระบายอากาศจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น แต่ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าออกแต่ละครั้งกลับลดลง

การระบายอากาศระหว่างฟื้นตัว (Ventilation During Recovery)

เมื่อหยุดออกกำลังกายแล้วการระบายอากาศจะค่อยๆ ลดลงสู่ระดับปกติ แต่ยังคงสูงกว่าระดับก่อนการออกกำลังกาย ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระยะคือ

1. เมื่อหยุดออกกำลังกายทันทีการระบายอากาศจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของศูนย์ประสาทที่ควบคุมการหายใจหยุดไปแล้ว แต่ยังคงมีการกระตุ้นระบบประสาทที่ส่งมาจากรีเซปเตอร์ซึ่งอยู่ในกล้ามเนื้อและข้อต่อต่อไป

2. เป็นระยะที่การหายใจค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในกรณีที่มีการออกกำลังกายอย่างหนักจะใช้เวลานานกว่าที่การระบายอากาศจะกลับสู่ระดับปกติ การเปลี่ยนแปลงนี้เกี่ยวข้องกับลดลงของการกระตุ้นที่เป็นผลมาจากจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัฒน์. 2536)

การแลกเปลี่ยนก๊าซขณะออกกำลังกาย

การแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างถุงลมและหลอดเลือดฝอยของปอด เกิดขึ้นโดยการแพร่กระจาย เนื่องจากความแตกต่างของความดันก๊าซ การแพร่กระจายเกิดขึ้นโดยรวดเร็วมากแม้ในการออกกำลังกายอย่างหนักที่เลือดมีเวลาผ่านปอดเพียง 0.5 วินาที ก็ยังสามารถแลกเปลี่ยนก๊าซได้จนถึงสมดุล (ขณะไม่ได้ออกกำลังกายเลือดมีเวลาอยู่ในปอดนาน 0.75 วินาที) ขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซในปอดเมื่อออกกำลังกายความสามารถในการแพร่กระจาย (Diffusing Capacity) ของปอดเพิ่มขึ้น คือ ในระยะพักมีค่า 20 - 30 มิลลิตรของออกซิเจนต่อนาทีต่อความแตกต่างของความดัน 1 มิลลิเมตรปรอท แต่เมื่อออกกำลังกายอย่างหนักจนสมรรถภาพในการจับออกซิเจน (Oxygen Uptake Capacity) มีค่า 5 ลิตรต่อนาที การแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้นถึง 75 มิลลิตร ความสามารถในการแพร่กระจายจะเพิ่มขึ้นโดยรวดเร็วเมื่อเริ่มออกกำลังกาย แต่เมื่อการออกกำลังกายมากเกินไประดับ 40% ของการออกกำลังกายสูงสุดแล้ว อัตราการเพิ่มของการแพร่กระจายจะลดน้อยลง การแพร่กระจายที่เพิ่มขึ้นจากการออกกำลังกายนั้น เกิดจากจำนวนหลอดเลือดฝอยของปอดเปิดใช้งานเพิ่มขึ้น (มีจำนวนหนึ่งปิดอยู่ในขณะพัก) พบว่าในขณะออกกำลังกายหลอดเลือดฝอยของกล้ามเนื้อเปิดเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 10 เท่าจากขณะพัก (ชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยา ปาละวิวัฒน์. 2536)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยต่างประเทศ

โกโต และคณะ (Goto, K.; et al. 2011) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเมตาบอลิซึมของไขมันระหว่างการออกกำลังกายต่อเนื่อง 30 นาทีกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงละ 10 นาที ที่ความหนักและระยะเวลาเท่ากัน กลุ่มตัวอย่างเป็นชายสุขภาพดีจำนวน 9 คน เข้ารับการทดลองด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 60% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด 3 รูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 ออกกำลังกายต่อเนื่อง 30 นาที รูปแบบที่ 2 ออกกำลังกายแบบสลับช่วงละ 10 นาทีพักระหว่างช่วง 10 นาที รูปแบบที่ 3 ไม่มีการออกกำลังกาย ทำการวัดระดับกรดแล็กติก และกรีเซอรอลในเลือด หลังจากการออกกำลังกาย 180 นาที ผลการทดลองพบว่า กรดแล็กติกเพิ่มขึ้นหลังการออกกำลังกายในรูปแบบที่ 1 และ 2 แล็กเตตในกระแสเลือดของรูปแบบที่ 1 มีค่าสูงกว่าระหว่างช่วงฟื้นฟูสภาพ (Recovery) กรีเซอรอลในกระแสเลือดไม่พบความแตกต่างของทั้ง 3 รูปแบบ อัตราค่าความ

เหนื่อยสัมพัทธ์ (RPE) ในรูปแบบที่ 2 มีค่าน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ (RER) ไม่พบความแตกต่างระหว่างรูปแบบที่ 1 และ 2 อย่างไรก็ตามอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ (RER) ในช่วงฟื้นฟูสภาพมีค่าน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานจากไขมัน สรุปได้ว่าการออกกำลังกายแบบสะสมช่วงละ 10 นาทีที่ความหนักปานกลางสามารถเพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันหลังออกกำลังกายได้ดีกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง 30 นาที

คัง และคณะ (Kang, J.; et al. 2009) ได้ทำการศึกษาความหนักในการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่มีต่ออัตราการใช้พลังงานและแหล่งพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 32 คน เป็นเพศชายจำนวน 11 คน เพศหญิงจำนวน 21 คน เข้ารับการทดลอง 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 ออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างเดียวโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50% $VO_{2\text{ peak}}$ เป็นเวลา 20 นาที รูปแบบที่ 2 ฝึกด้วยแรงต้านที่ความหนัก 90% ของ 8 RM ก่อนการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50% $VO_{2\text{ peak}}$ เป็นเวลา 20 นาที รูปแบบที่ 3 ออกกำลังกายที่ความหนัก 60% ของ 8 RM ก่อนการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50% $VO_{2\text{ peak}}$ เป็นเวลา 20 นาที ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเผาผลาญไขมันในรูปแบบที่ 2 สูงกว่ารูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 3 ทั้งเพศชายและเพศหญิง อัตราการใช้ออกซิเจนสูงกว่ารูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 3 ในเพศหญิงเท่านั้น อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตของทั้ง 3 กลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลง สรุปได้ว่าการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านที่ความหนักสูงจะช่วยเพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

เคิร์ก และคณะ (Kirk, E.P.; et al. 2009) ได้ทำการศึกษาการออกกำลังกายด้วยแรงต้านหนึ่งเซตที่มีผลต่ออัตราการใช้พลัง 24 ชั่วโมง อัตราการใช้พลังงานขณะพัก (RMR) อัตราการใช้พลังงานขณะหลับ (SMR) และแหล่งพลังงานที่ใช้ในการสันดาปขณะพัก (Substrate Oxidation at Rest) กลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักตัวเกิน ดัชนีมวลกายเท่ากับ $27.7 \pm 0.5 \text{ kg.m}^2$ อายุ 21 ± 0.5 ปี จำนวน 39 คน โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 จำนวน 22 คน ทำการฝึกด้วยแรงต้าน 9 ทำการออกกำลังกายที่ความหนัก 3-6 ครั้งของจำนวนที่ยกได้สูงสุด จำนวน 1 เซต 3 วันต่อสัปดาห์ กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึก ระยะเวลาในการฝึกทั้งหมด 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่าอัตราการใช้พลังงาน 24 ชั่วโมงของทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นแต่อัตราการเผาผลาญไขมันไม่มีการเปลี่ยนแปลง อัตราการใช้พลังงานขณะพัก (RMR) และอัตราการใช้พลังงานขณะหลับ (SMR) ในกลุ่มฝึกมีค่าเพิ่มขึ้นก่อนการฝึกและมากกว่ากลุ่มที่ไม่มีการฝึก

วาร์เรน และคณะ (Warren, A.; et al. 2009) ได้ทำการศึกษาระดับความหนัก ระยะเวลา แบบแผนในการออกกำลังกายที่มีต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ (RER) ในกลุ่มคนที่มีสุขภาพดี กลุ่มตัวอย่างจำนวน 7 คน เข้ารับการทดลองเปรียบเทียบ

รูปแบบการออกกำลังกาย 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ระยะเวลา (สั้น : ยาว) รูปแบบที่ 2 ระดับความหนัก (ต่ำ : สูง) และรูปแบบที่ 3 (แบบสะสม : แบบต่อเนื่อง) ด้วยวิธีการปั่นจักรยาน ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาการออกกำลังกายไม่มีผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) แต่ค่าอัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ (RER) ในการออกกำลังกายแบบระยะเวลาสั้นมีค่าต่ำกว่าการออกกำลังกายแบบยาว และอัตราการเผาผลาญไขมันสูงกว่าในช่วงหลังจากการออกกำลังกาย ส่วนการออกกำลังกายที่ความหนักสูงจะเพิ่มอัตราการใช้พลังงานและอัตราการเผาผลาญไขมันมากกว่าการออกกำลังกายที่ความหนักต่ำ รูปแบบการออกกำลังกาย (แบบสะสม : แบบต่อเนื่อง) ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ (RER) และอัตราการเผาผลาญไขมัน

โกโต และคณะ (Goto, K.; et al. 2007) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิก กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย 10 คน เข้ารับการทดลอง 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 ปั่นจักรยานที่ความหนัก $50\% VO_{2max}$ เป็นเวลา 60 นาทีเพียงอย่างเดียว รูปแบบที่ 2 ออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่ความหนัก 10 RM พัก 20 นาที และปั่นจักรยานที่ความหนัก $50\% VO_{2max}$ เป็นเวลา 60 นาที รูปแบบที่ 3 ออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่ความหนัก 10 RM พัก 120 นาทีและปั่นจักรยานที่ความหนัก $50\% VO_{2max}$ เป็นเวลา 60 นาที ผลการศึกษาพบว่า การออกกำลังกายด้วยแรงต้านสามารถเพิ่มแล็กเทต นออีพีนพรีน โกรทฮอร์โมน อินซูลิน และกรีเซอรอล การออกกำลังกายรูปแบบที่ 3 ทำให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น กรดไขมันอิสระขณะปั่นจักรยานของรูปแบบที่ 2 และ 3 สูงกว่ารูปแบบที่ 1 อัตราการเผาผลาญไขมันขณะปั่นจักรยานของรูปแบบที่ 2 สูงกว่า รูปแบบที่ 1 สรุปว่าการเผาผลาญไขมันสามารถเพิ่มได้ด้วยการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน ก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

ออร์มส์บี และคณะ (Ormsbee, M.J.; et al. 2007) ได้ทำการศึกษาเมตาบอลิซึมของไขมันที่เกิดจากการออกกำลังกายแบบแรงต้านในกลุ่มคนที่ได้รับการฝึก กลุ่มตัวอย่างเป็นชาย 8 คน ที่ออกกำลังกายเป็นประจำ เข้ารับการทดลอง 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ออกกำลังกายด้วยแรงต้าน รูปแบบที่ 2 ไม่ออกกำลังกาย ทำการวัดอัตราการเผาผลาญไขมันก่อนออกกำลังกาย ขณะออกกำลังกาย และหลังออกกำลังกายเป็นเวลา 45 นาที ผลการศึกษาพบว่า กลีเซอรอลขณะออกกำลังกายด้วยแรงต้านมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไม่ออกกำลังกาย ณ เวลาเดียวกัน อัตราการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน 45 นาที มีค่าสูงกว่าไม่ออกกำลังกาย ณ เวลาเดียวกัน อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ (RER) ในการออกกำลังกายด้วยแรงต้านมีค่าน้อยกว่าไม่ออกกำลังกาย ณ เวลาเดียวกัน อัตราการเผาผลาญไขมันของการออกกำลังกายด้วยแรงต้านมีค่ามากกว่า

ไม่ออกกำลังกาย ณ เวลาเดียวกัน สรุปว่าการออกกำลังกายด้วยแรงต้านสามารถเพิ่มอัตราการใช้พลังงานและอัตราการเผาผลาญไขมันได้

จาเมอทัส และคณะ (Jamurtas, A.Z.; et al. 2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการออกกำลังกายแบบแอโรบิก กับการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่มีต่ออัตราการใช้พลังงาน กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย 10 คน ที่มีสุขภาพดี เข้ารับการทดลอง 3 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 ออกกำลังกายแบบแรงต้าน 60 นาที ที่ความหนัก 70 – 75 % ของ 1 RM รูปแบบที่ 2 วิ่ง 60 นาที ที่ความหนัก 70 - 75 % VO_{2max} รูปแบบที่ 3 ไม่ออกกำลังกาย ทำการวัดอัตราการใช้พลังงานก่อนการออกกำลังกาย หลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 10, 24, 48 และ 72 ผลการศึกษาพบว่าอัตราการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 10 และ 24 ในการออกกำลังกายรูปแบบที่ 1 และ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 10 และ 48 ในการออกกำลังกายรูปแบบที่ 2 มีค่าสูงกว่าอัตราการใช้พลังงานก่อนออกกำลังกาย อัตราส่วนแลกเปลี่ยนการหายใจ (RER) ในชั่วโมงที่ 10 และ 24 มีค่าน้อยกว่าก่อนออกกำลังกาย คือเอนโทรปีเพิ่มขึ้นหลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24 ในการออกกำลังกายรูปแบบที่ 1 และ 2 ไทรอยด์ฮอร์โมนไม่มีการเปลี่ยนแปลง สรุปว่าการออกกำลังกายด้วยแรงต้านและการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักและระยะเวลาเท่ากัน สามารถเพิ่มอัตราการใช้พลังงาน และการเผาผลาญไขมัน โดยใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

บาร์ (Bahr, R. 1991) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในกระแสเลือด กลีเซอรอล กลูโคส และแคทีโคลามีน ในขณะออกกำลังกายที่ใช้เวลายาวนาน กลุ่มตัวอย่างเพศชาย จำนวน 12 คน เข้ารับการทดลองด้วยการออกกำลังกายจนหมดแรงด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 70 – 75 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 80 นาที และปั่นจักรยานที่ความหนักน้อยกว่า 29 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ผู้เข้ารับการทดลองได้รับมีอาหารที่อุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรตในช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 2 7 และ 12 ชั่วโมง ตัวอย่างเลือดถูกเก็บในขณะที่พักอยู่บนที่นอนเป็นระยะเวลา 12 – 14 ชั่วโมง และกลุ่มควบคุมไม่ได้ออกกำลังกาย ในกลุ่มตัวอย่างบางคนความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในกระแสเลือดมีระดับเพิ่มสูงขึ้นจนเข้าสู่ภาวะเสี่ยงหลังจากออกกำลังกายจนหมดแรง และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในกระแสเลือดจะเพิ่มขึ้นหลังจากออกกำลังกาย 6 ชั่วโมง และกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นหลังจากออกกำลังกาย 2.5 ชั่วโมง กลูโคสในกระแสเลือดลดลงหลังจากออกกำลังกายจนหมดแรง 12 ชั่วโมง แคทีโคลามีนในกระแสเลือดเพิ่มขึ้นหลังจากออกกำลังกายจนหมดแรง 2 ชั่วโมง คณะผู้วิจัยพบว่า ความเข้มข้นของกรดไขมันและกลีเซอรอลในช่วงหลังออกกำลังกายจะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาและความหนักในการออกกำลังกาย

รอมมิน และคณะ (Romijn, J.A.; et al. 1993) ได้ทำการศึกษามาตรับอลิซึมของไขมันและคาร์โบไฮเดรตที่เกิดภายในเซลล์ที่สัมพันธ์กับความหนักและระยะเวลาในการออกกำลังกาย กลุ่มตัวอย่าง 5 คนที่ได้รับการฝึกเป็นอย่างดี ทำการปั่นจักรยานที่ความหนัก 25%, 65% และ 85% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ผลการศึกษาพบว่าน้ำตาลในเลือดที่ระดับเนื้อเยื่อและการเผาผลาญไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความหนัก แต่การสลายไขมันที่ชั้นใต้ผิวหนังสลายได้สูงสุดที่ความหนักที่ต่ำที่สุด และกรดไขมันในเลือดลดลงเมื่อเพิ่มความหนักมากขึ้น ไตรกรีเซอไรด์ในกล้ามเนื้อจะถูกสลายที่ความหนักสูงเท่านั้น ส่วนระยะเวลาในการปั่นจักรยาน 2 ชั่วโมงที่ความหนัก 65% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด อัตราการเผาผลาญพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในขณะที่การเผาผลาญไกลโคเจนและไตรกรีเซอไรด์ในกล้ามเนื้อลดลง ในช่วงที่สภาพที่ความหนักสูง อัตราการสลายไขมันจะลดลงแต่กรดไขมันในเลือดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มของกรดไขมันมาจากการสลายของไตรกรีเซอไรด์

งานวิจัยในประเทศ

นิพนธ์ วิษุตเวส (2551) ได้ทำการศึกษาอัตราการใช้พลังงานของร่างกายขณะออกกำลังกาย และหลังออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสลับกลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายจำนวน 12 คนที่มีสุขภาพดี ทำการปั่นจักรยานที่ความหนัก 70 – 75 % ของการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นเวลา 30 นาที โดยแบ่งเป็นกลุ่มปั่นจักรยานต่อเนื่อง 30 นาที และกลุ่มปั่นจักรยานแบบสลับเป็นช่วงๆ ละ 10 นาทีแต่ละช่วงห่างกัน 4 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า การออกกำลังกายแบบสลับมีการใช้พลังงานขณะพักภายหลังการออกกำลังกายทันที และหลังการออกกำลังกายชั่วโมงที่ 24 มีค่ามากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง อีกทั้งค่าความเหนื่อยสัมพันธ์และความเมื่อยล้าของการออกกำลังกายแบบสลับมีค่าน้อยกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องอีกด้วย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

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

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นนิสิตชายสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 141 คน

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นนิสิตชายสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ถูกคัดเลือกจะต้องผ่านเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

1. ออกกำลังกายเป็นประจำเฉลี่ยอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์
2. มีสุขภาพดี ไม่มีโรคประจำตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคที่เกี่ยวกับความผิดปกติของระบบเมตาบอลิซึมและระบบต่อมไร้ท่อ
3. ไม่มีข้อห้ามทางการแพทย์ที่จะเป็นอุปสรรคในการออกกำลังกาย และการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max})

ก่อนเข้าร่วมการวิจัย กลุ่มตัวอย่างลงนามในหนังสือยินยอม (Inform Consent) และแบบสอบถามความพร้อมในการปฏิบัติกิจกรรมทางกาย (Physical Activity Readiness Questionnaires : PAR-Q) ปรับปรุงจาก ACSM's 2008

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. รูปแบบการออกกำลังกาย 3 แบบ คือ
 - 1.1 ออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ VO_{2max} เป็นเวลา 20 นาทีเพียงอย่างเดียว

1.2 ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานีที่ความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของ 1 RM จำนวน 6 ท่าการออกกำลังกาย ปฏิบัติ 3 รอบ แต่ละท่าปฏิบัติ 12 ครั้ง พักระหว่างท่า 60 วินาที และพักระหว่างรอบ 180 วินาที พักระหว่างเวลา 5 นาทีและออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ VO_{2max} เป็นเวลา 20 นาที

1.3 ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซตที่ความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของ 1 RM จำนวน 6 ท่าการออกกำลังกาย ปฏิบัติท่าละ 3 เซตๆ ละ 8 ครั้ง พักระหว่างเซตและระหว่างท่า 90 วินาที พักระหว่างเวลา 5 นาทีและออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ VO_{2max} เป็นเวลา 20 นาที

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

2.1 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) ยี่ห้อ Cosmed รุ่น Quark PFT Ergo

2.2 จักรยานวัดงาน ยี่ห้อ Monark Ergonomic รุ่น 839E

2.3 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย (Heart Rate Monitor) ยี่ห้อ Polar

2.4 ตารางวัดค่าความเหนื่อยสัมพัทธ์ (Rating of Perceived Exertion: RPE Borg

Scale)

2.5 เครื่องออกกำลังกายด้วยแรงต้าน (Weight Machines) ยี่ห้อ Johnson ประกอบด้วย 6 เครื่อง ได้แก่

2.5.1 Lat Pulldown

2.5.2 Leg Press

2.5.3 Machine Chest Press

2.5.4 Seated Row

2.5.5 Leg Extension

2.5.6 Machine Shoulder Press

การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ผ่านคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนเข้ารับการทดลอง 3 รูปแบบ ประกอบด้วย รูปแบบที่ 1 ปั่นจักรยาน 20 นาที รูปแบบที่ 2 ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานี และปั่นจักรยาน 20 นาที และรูปแบบที่ 3 ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซต และปั่นจักรยาน 20 นาที การออกกำลังกายแบบแรงต้านได้รับการควบคุมด้วยปริมาณการฝึก โดยหาได้จากสูตร (น้ำหนักที่ยกได้ x จำนวนครั้ง x จำนวนเซต) การทดลองแต่ละรูปแบบเว้นระยะระหว่าง

ครั้งที่เข้ารับการทดลอง 7 วัน และช่วงเวลาที่เข้ารับการทดลองแต่ละครั้งจะเป็นช่วงเวลา 06.00 – 10.00 น.

วิธีการดำเนินการก่อนการทดลอง (Pre-Experimental Protocol)

กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนเข้ารายงานตัวที่ห้องปฏิบัติการเวลา 06.00 น. เพื่อทำการชั่งน้ำหนักตัว วัดส่วนสูง คำนวณดัชนีมวลกาย (Body Mass Index : BMI) ทดสอบหาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Measurement of VO_{2max}) และทดสอบหาค่าความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1RM) (ดูรายละเอียดการทดสอบในภาคผนวก ข) โดยเว้นระยะห่างระหว่างการทดสอบ 2 วัน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างได้งดการออกกำลังกายก่อนเข้ารับการทดลองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และงดอาหาร แอลกอฮอล์ บุหรี่ และเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาเฟอีน อย่างน้อย 3 ชั่วโมงก่อนการทดลอง

วิธีการดำเนินการทดลอง (Experimental Protocol)

งานวิจัยในครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยแบบตัดข้าม (Crossover Design) โดยกลุ่มตัวอย่างออกกำลังกายตามโปรแกรมทั้ง 3 รูปแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างนั่งบนเก้าอี้ในท่าที่สบายเป็นเวลา 5 – 15 นาที จนกระทั่งมีค่า RER ไม่เกิน 0.85 หลังจากนั้นเริ่มทำการวัดการใช้พลังงานขณะพักก่อนออกกำลังกาย โดยวิธีการวัดการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect Calorimetry) จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สเป็นเวลา 10 นาที (McArdle, W.D.; Katch, F.I.; & Katch, V.L. 2001)

2. ออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

- 2.1 ออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ VO_{2max} เป็นเวลา 20 นาทีเพียงอย่างเดียว ทำการวัดอัตราการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย และวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพักหลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที

- 2.2 ออกกำลังกายด้วยแรงต้านแบบสถานที่ความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของ 1 RM จำนวน 6 ท่าการออกกำลังกาย ปฏิบัติ 3 รอบ แต่ละท่าปฏิบัติ 12 ครั้ง พักระหว่างท่า 60 วินาที และพักระหว่างรอบ 180 วินาที พักเป็นเวลา 5 นาทีและออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ VO_{2max} เป็นเวลา 20 นาที ทำการวัดอัตราการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย และวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพักหลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที

- 2.3 ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซตที่ความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของ 1 RM จำนวน 6 ท่าการออกกำลังกาย ปฏิบัติท่าละ 3 เซตๆ ละ 8 ครั้ง พักระหว่างเซตและระหว่างท่า 90 วินาที พักเป็นเวลา 5 นาทีและออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ VO_{2max} เป็นเวลา 20 นาที ทำการวัดอัตราการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย และวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพักหลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที

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

อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์แรงดันบรรยากาศทำการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องวิเคราะห์แก๊ส และจดบันทึกค่าลงในโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

การวัดอัตราการใช้พลังงานและการคำนวณพลังงานปริมาณ VO₂ และ VCO₂ ที่วัดได้จะถูกนำมาคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานจากสูตรการคำนวณของฟรายน์ (Frayn, 1983) ดังนี้

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

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

$$\text{โดยกำหนดให้ n (โปรตีน)} = 0$$

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

การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้มีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของข้อมูลแต่ละกลุ่ม
2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Paired Sample T - Test) ของปริมาณการฝึก และการใช้พลังงานของการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานี และแบบหลายเซต
3. วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two Way ANOVA with Repeated) ของปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะและหลังปั่นจักรยาน ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ โดยหากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบรายคู่โดยวิธีการของแอลเอสดี (LSD)
4. วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) ของปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะปั่นจักรยานระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ ที่แต่ละช่วงเวลา โดยหาก

พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบรายคู่โดยวิธีการของแอลเอสดี (LSD)

5. วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One Way ANOVA with Repeated) ของ อัตราการใช้พลังงานขณะพักหลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที ของการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ โดยหากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการเปรียบเทียบรายคู่โดยวิธีการของแอลเอสดี (LSD)

6. กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่องผลของการออกกำลังกายแบบแรงต้านก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมันขณะและหลังออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองการใช้พลังงาน และปริมาณการใช้ออกซิเจน ขณะและหลังออกกำลังกาย มาทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Paired Sample T - Test) ของปริมาณการฝึก และการใช้พลังงาน ของการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานี และแบบหลายเซท

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ และวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two Way ANOVA with Repeated) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะปั่นจักรยาน ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One Way ANOVA with Repeated) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักภายในกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ที่เป็นตัวอักษรเพื่อใช้ในการคำนวณดังนี้

$\bar{X}$	แทน	ค่าเฉลี่ย
S.D.	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
N	แทน	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
SS	แทน	ผลรวมกำลังสองของค่าเบี่ยงเบน (Sum of Squares)
MS	แทน	ค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนกำลังสอง (Mean Squares)
df	แทน	ระดับของความเป็นอิสระ (Degree of Freedom)

F	แทน	ค่าทดสอบสถิติแบบ F
p - value	แทน	ระดับความมีนัยสำคัญ
๑,๒,๓,๔	แทน	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Paired Sample T - Test) ของปริมาณการฝึก และการใช้พลังงาน ของการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานี และแบบหลายเซต

ตาราง 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

รายการ (N=12)	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	$\bar{X}$	S.D.
อายุ (ปี)	19	21	20	0.60
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	160	180	172.58	4.98
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	55	84	66.83	7.09
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อเมตร ²)	19.44	29.07	22.45	2.41
เปอร์เซ็นต์ไขมัน	12	26.50	16.21	4.35
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที)	32.62	44.71	40.09	3.59
ความแข็งแรงสูงสุด (1RM)				
Lat Pulldown (กิโลกรัม)	41	77	64	10.54
Leg press (กิโลกรัม)	109	242	161	36.60
Machine Chest Press (กิโลกรัม)	45	96	75	15.65
Seated Row (กิโลกรัม)	50	86	70	11.83
Leg Extension (กิโลกรัม)	45	125	99	24.21
Machine Shoulder Press (กิโลกรัม)	32	54	45	8.11

จากตาราง 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 20 ± 0.60 ปี ส่วนสูงเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 172.58 ± 4.98 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 66.83 ± 7.09 กิโลกรัม ดัชนีมวลกาย เฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 22.45 ± 2.41 กิโลกรัมต่อเมตร² เปอร์เซ็นต์ไขมัน

เฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 16.21 ± 4.35 ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 40.09 ± 3.59 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ความแข็งแรงสูงสุดของท่า Lat Pulldown เฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 64 ± 10.54 กิโลกรัม ท่า Leg press เฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 161 ± 36.60 กิโลกรัม ท่า Machine Chest Press เฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 75 ± 15.65 กิโลกรัม ท่า Seated Row เฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 70 ± 11.83 กิโลกรัม ท่า Leg Extension เฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 99 ± 24.21 กิโลกรัม และท่า Machine Shoulder Press เฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 45 ± 8.11 กิโลกรัม

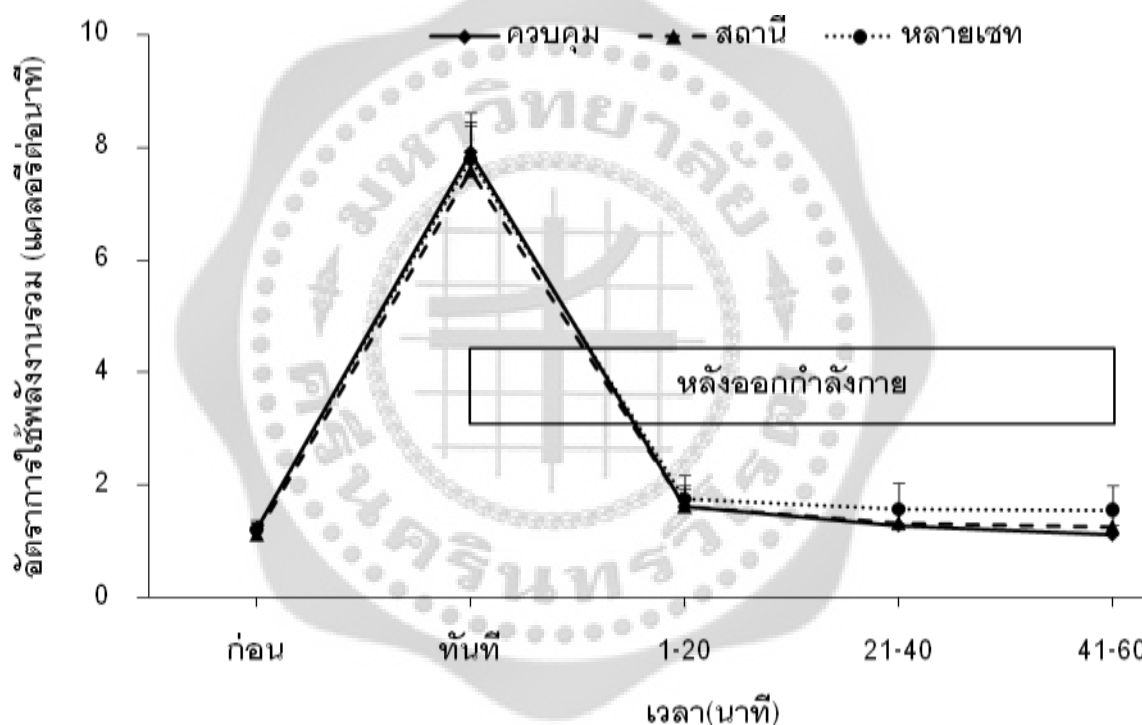
ตาราง 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณการฝึก และการใช้พลังงาน ของการออกกำลังกายแบบ แรงต้านแบบสถานี และการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซต

รายการ	แบบสถานี		แบบหลายเซต		t	p-value
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
Lat Pulldown (กิโลกรัม)	1172	180.57	1150	179.15	1.519	.157
Leg press (กิโลกรัม)	2942	628.22	2897	637.01	1.509	.159
Machine Chest Press (กิโลกรัม)	1389	276.93	1369	283.10	1.043	.320
Seated Row (กิโลกรัม)	1236	232.97	1240	208.56	0.247	.810
Leg Extension (กิโลกรัม)	1780	454.10	1772	408.17	0.205	.842
Machine Shoulder Press (กิโลกรัม)	819	120.01	818	150.91	0.053	.959
การใช้พลังงาน (กิโลแคลอรีต่อนาที)	3.88	1.40	4.10	0.98	0.815	.433

จากตาราง 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณการฝึก และการใช้พลังงาน ของการออกกำลังกายแบบแรงต้านของแบบสถานี และแบบหลายเซต พบว่า ปริมาณการฝึกของท่า Lat Pulldown, Leg press, Machine Chest Press, Seated Row, Leg Extension, Machine Shoulder Press ของการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานีกับการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซตแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

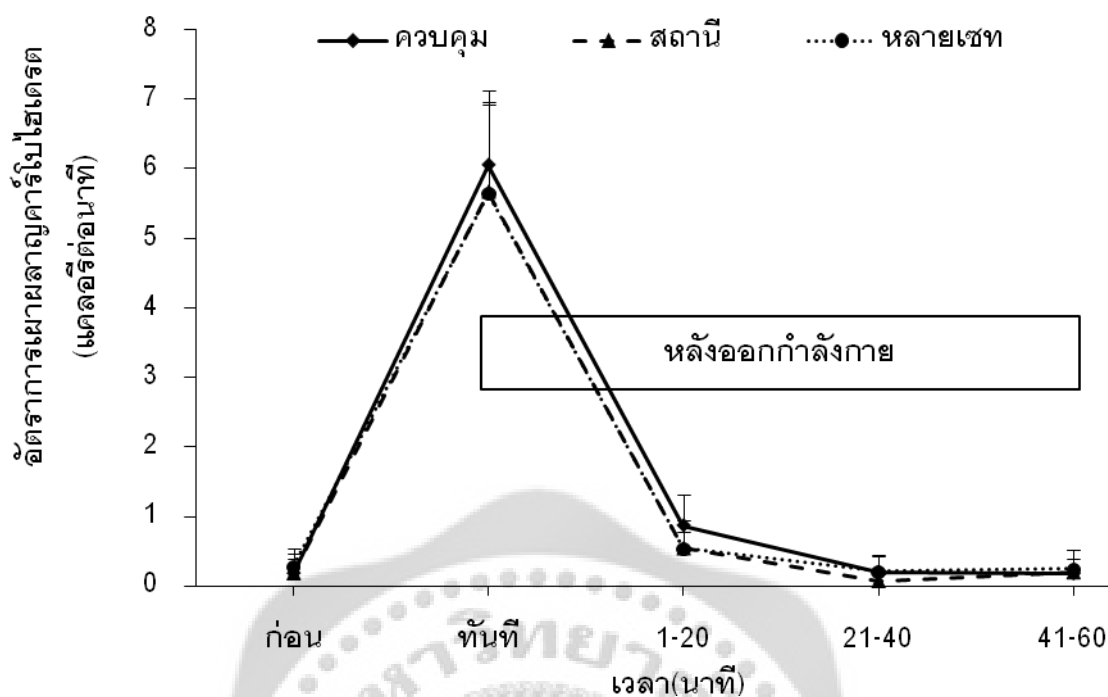
การใช้พลังงานของการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานีกับการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซต แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ และวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two Way ANOVA with Repeated) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะปั่นจักรยาน ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ



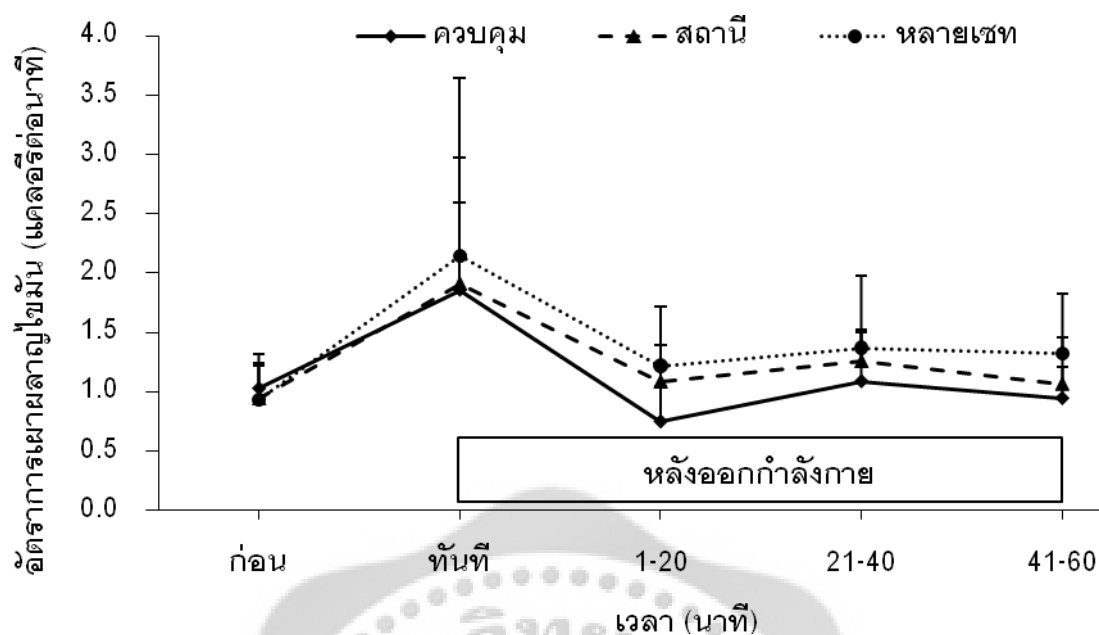
ภาพประกอบ 3 อัตราการใช้พลังงานรวมในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท

จากภาพประกอบ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของอัตราการใช้พลังงานรวมในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



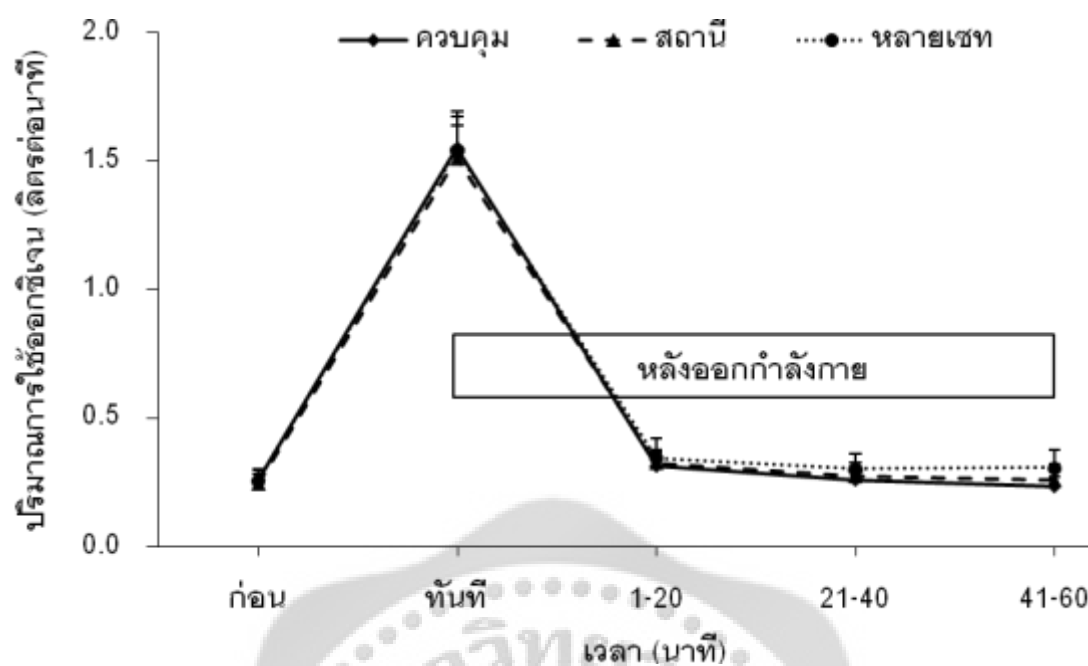
ภาพประกอบ 4 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย ทันที หลังออกกำลังกาย 1-20 นาที หลังออกกำลังกาย 21-40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41-60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซต

จากภาพประกอบ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1-20 นาที หลังออกกำลังกาย 21-40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41-60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซต แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



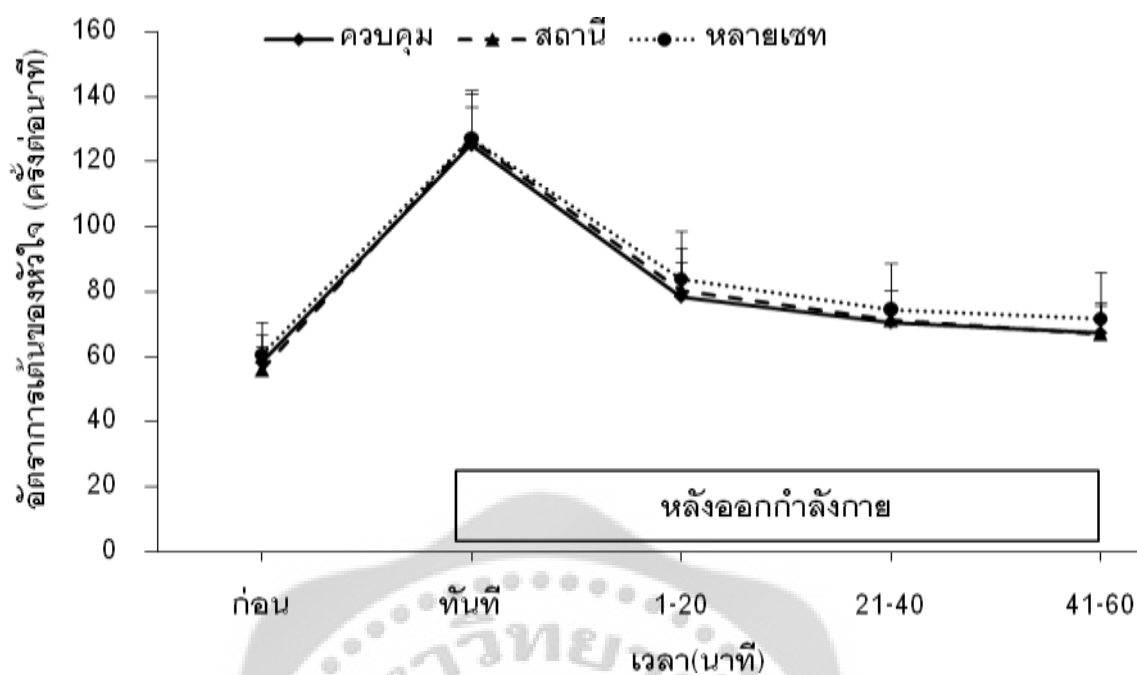
ภาพประกอบ 5 อัตราการเผาผลาญไขมันในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1–20 นาที หลังออกกำลังกาย 21–40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41–60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท

จากภาพประกอบ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1–20 นาที หลังออกกำลังกาย 21–40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41–60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



ภาพประกอบ 6 ปริมาณการใช้ออกซิเจนในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1–20 นาที หลังออกกำลังกาย 21–40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41–60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซต

จากภาพประกอบ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของปริมาณการใช้ ออกซิเจนในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1–20 นาที หลังออกกำลังกาย 21–40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41–60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่ม สถานี และกลุ่มหลายเซต แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



ภาพประกอบ 7 อัตราการเต้นของหัวใจในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1-20 นาที หลังออกกำลังกาย 21-40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41-60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซต

จากภาพประกอบ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1-20 นาที หลังออกกำลังกาย 21-40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41-60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซต แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

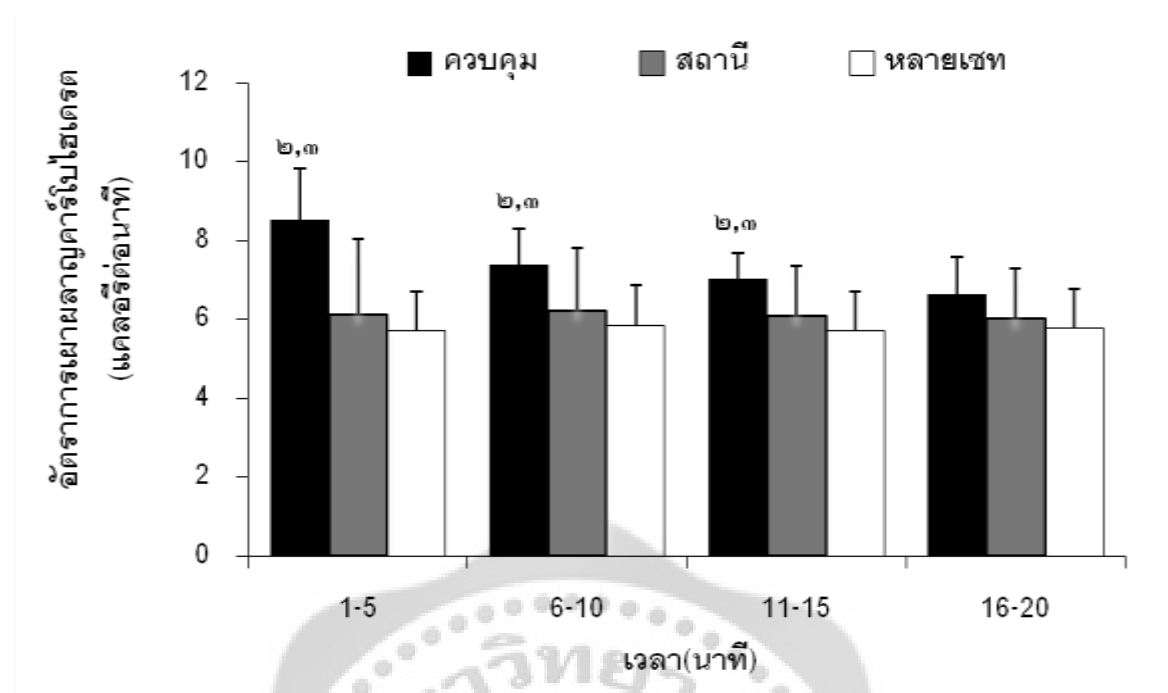
ตาราง 3 การตอบสนองทางสรีรวิทยาและอัตราการใช้พลังงานขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท

ตัวแปร	ควบคุม	สถานี	หลายเซท
ปริมาณการใช้ออกซิเจน (ลิตรต่อนาที)	1.73 ± 0.12	1.71 ± 0.11	1.71 ± 0.13
อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (กิโลแคลอรีต่อนาที)	$7.42 \pm 0.81^{a,ab}$	6.13 ± 1.45	5.78 ± 1.32
อัตราการเผาผลาญไขมัน (กิโลแคลอรีต่อนาที)	1.59 ± 0.60	2.40 ± 1.15	2.81 ± 1.17^c
อัตราการใช้พลังงานรวม (กิโลแคลอรีต่อนาที)	9 ± 0.60	8.53 ± 0.83	8.58 ± 0.64
อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)	128 ± 11.14	134 ± 13.79	135 ± 13.55

^aแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$ ^bแตกต่างจากกลุ่มสถานีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$ ^cแตกต่างจากกลุ่มหลายเซทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$

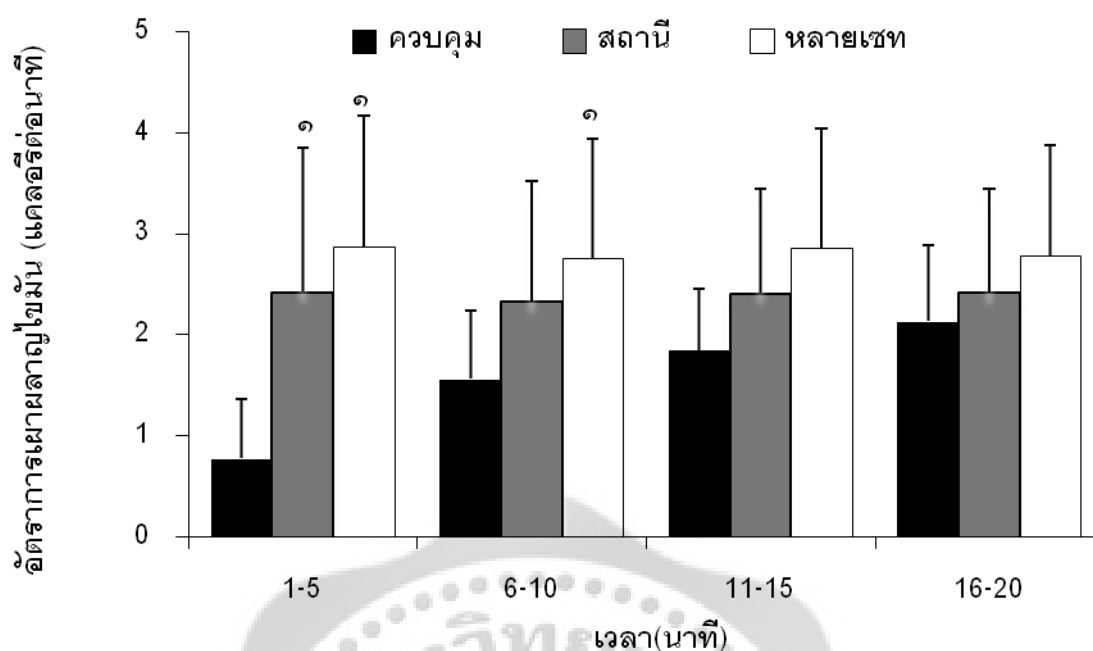
จากตาราง 3 ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำของปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม และอัตราการของเต้นหัวใจระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบขณะปั่นจักรยานแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต และอัตราการเผาผลาญไขมันระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



ภาพประกอบ 8 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเขต^๒แตกต่างจากกลุ่มสถานีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$ ^๓แตกต่างจากกลุ่มหลายเขตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$

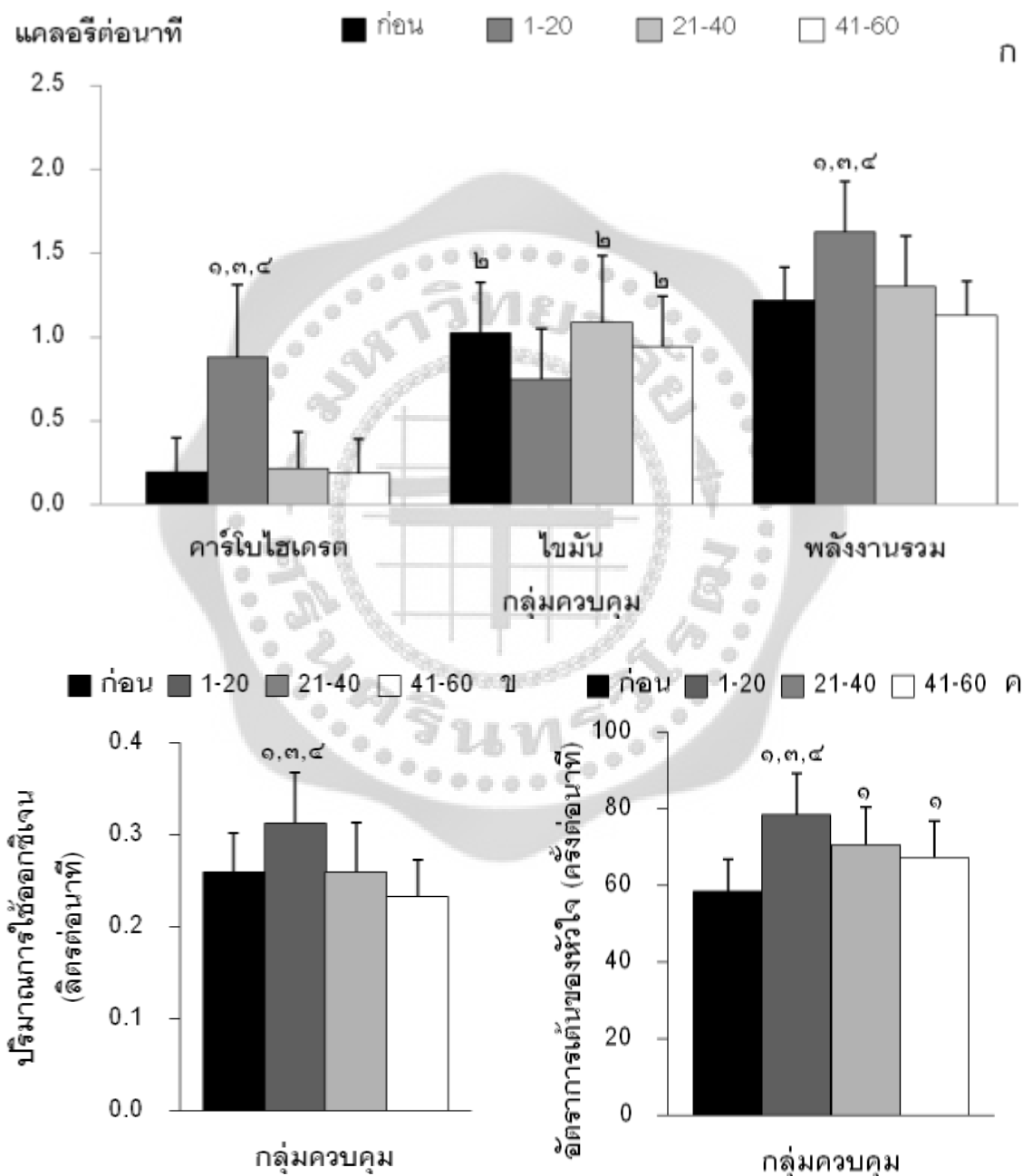
จากภาพประกอบ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำของอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเขต แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตของกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มสถานีและกลุ่มหลายเขตในช่วงเวลา 1 – 15 นาที



ภาพประกอบ 9 อัตราการเผาผลาญไขมันขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์
ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท
ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$

จากภาพประกอบ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำของอัตราการเผาผลาญไขมันขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยกลุ่มหลายเซทมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมในช่วงเวลา 1 - 10 นาที และกลุ่มสถานีมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมในช่วงเวลา 1 - 5 นาที

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One Way ANOVA with Repeated) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักภายในกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที



ภาพประกอบ 10 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน อัตราการใช้พลังงานรวม (ก) ปริมาณการใช้ออกซิเจน (ข) และอัตราการเต้นของหัวใจ (ค) ขณะพักภายในกลุ่มควบคุม

ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ^๑แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P<.05$ ^๒แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P<.05$ ^๓แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P<.05$ ^๔แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P<.05$

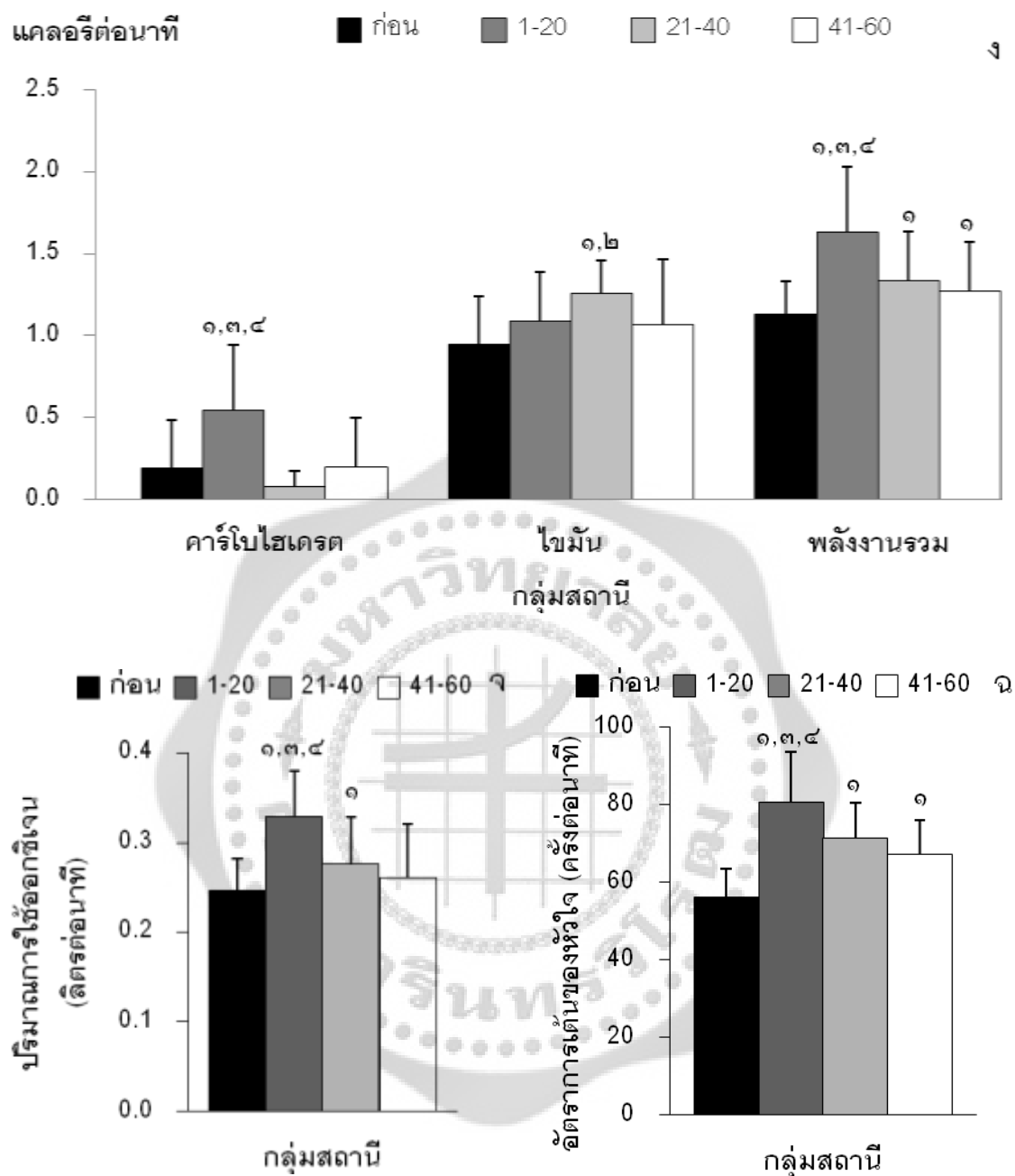
จากภาพประกอบ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำภายในกลุ่มควบคุม พบว่า อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ดังภาพประกอบ 10 (ก)

อัตราการเผาผลาญไขมันขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที แตกต่างกับหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที ดังภาพประกอบ 10 (ก)

อัตราการใช้พลังงานรวมขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ดังภาพประกอบ 10 (ก)

ปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ดังภาพประกอบ 10 (ข)

อัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที และในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย ดังภาพประกอบ 10 (ค)



ภาพประกอบ 11 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการใช้พลังงานรวม (ง) ปริมาณการใช้ออกซิเจน (จ) อัตราการเต้นของหัวใจ (ฉ) ขณะพักภายในกลุ่มสถานี ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ๑ แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$ ๒ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$ ๓ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$ ๔ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$

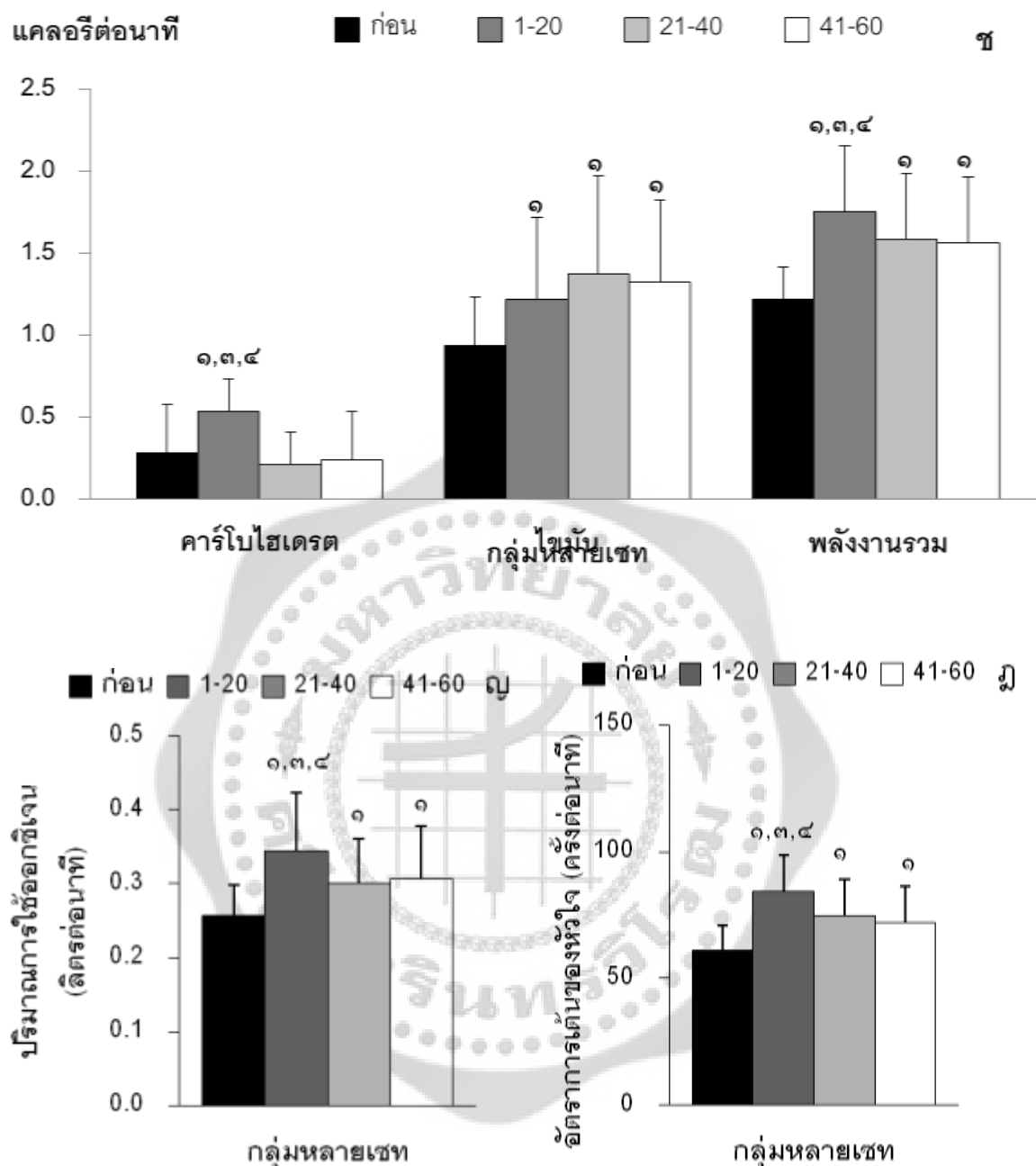
จากภาพประกอบ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำภายในกลุ่มสถานีพบว่า อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ดังภาพประกอบ 11 (ง)

อัตราการเผาผลาญไขมันขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย และหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที ดังภาพประกอบ 11 (ง)

อัตราการใช้พลังงานรวมขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที และในช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที หลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย ดังภาพประกอบ 11 (ง)

ปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที และในช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย ดังภาพประกอบ 11 (จ)

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที และในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย ดังภาพประกอบ 11 (ฉ)



ภาพประกอบ 12 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการใช้พลังงานรวม (ช) ปริมาณการใช้ออกซิเจน (ญ) อัตราการเต้นของหัวใจ (ฎ) ขณะพักภายในกลุ่มหลายเซต ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ๑ แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$ ๒ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$ ๓ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$ ๔ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P < .05$

จากภาพประกอบ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำภายในกลุ่มหลายเซต พบว่า อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ดังภาพประกอบ 12 (ซ)

อัตราการเผาผลาญไขมันขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย ดังภาพประกอบ 12 (ช)

อัตราการใช้พลังงานรวมขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที และในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย ดังภาพประกอบ 12 (ซ)

ปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที และในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย ดังภาพประกอบ 12 (ญ)

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที และในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที แตกต่างกับช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย ดังภาพประกอบ 12 (ฎ)

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สังเขปความมุ่งหมาย สมมติฐาน วิธีการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิก และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานขณะพักก่อนการออกกำลังกาย และอัตราการใช้พลังงานขณะพักหลังการออกกำลังกาย กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตชาย ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) กลุ่มตัวอย่างได้รับการทดสอบก่อนการทดลองประกอบด้วย การทดสอบอัตราการใช้พลังงานขณะพัก (Resting Metabolic Rate : RMR) การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ด้วยวิธีการของแลมปี (Ramp Protocol) และการทดสอบค่าความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1RM) จากนั้นเข้ารับการออกกำลังกายตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ได้แก่ ออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 20 นาทีเพียงอย่างเดียว (ควบคุม) ออกกำลังกายด้วยน้ำหนักแบบสถานีที่ความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของ 1RM จำนวน 6 ท่าการออกกำลังกาย 12 ครั้งปฏิบัติ 3 รอบ ก่อนออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 20 นาที (สถานี) ออกกำลังกายด้วยน้ำหนักแบบหลายเซตที่ความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของ 1RM จำนวน 6 ท่าการออกกำลังกาย 8 ครั้ง 3 เซต ก่อนออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 20 นาที (หลายเซต)

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์และแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Paired Sample T - Test) ของปริมาณการฝึก และการใช้พลังงาน ของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกแบบสถานี และแบบหลายเซต

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ และวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two Way

ANOVA with Repeated) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะปั่นจักรยาน ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One Way ANOVA with Repeated) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักภายในกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที

สรุปผลงานวิจัย

ตอนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Paired Sample T - Test) ของปริมาณการฝึก และการใช้พลังงาน ของการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานี และแบบหลายเซท พบว่า

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณการฝึก และการใช้พลังงาน ของการออกกำลังกายแบบแรงต้านระหว่างแบบสถานี และแบบหลายเซทของท่า Lat Pulldown, Leg press, Machine Chest Press, Seated Row, Leg Extension และ Machine Shoulder Press ไม่แตกต่างกัน

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักก่อนการออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ และวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two Way ANOVA with Repeated) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะปั่นจักรยาน ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ ผลปรากฏเป็นดังนี้

2.1 อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที หลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซทไม่แตกต่างกัน

2.2 อัตราการใช้พลังงานรวม ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท ไม่แตกต่างกัน

2.3 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตของกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซทในช่วงเวลา 1 – 15 นาที

2.4 อัตราการเผาผลาญไขมันขณะปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยกลุ่มหลายเซทมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมในช่วงเวลา 1 - 10 นาที และกลุ่มสถานีมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมในช่วงเวลา 1 – 5 นาที

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One Way ANOVA with Repeated) ของอัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน ปริมาณการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักภายในกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซท ในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที ผลปรากฏเป็นดังนี้

3.1 อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการใช้พลังงานรวม และปริมาณการใช้ออกซิเจน ขณะพักภายในกลุ่มควบคุมที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที มีค่าสูงกว่าช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที

3.2 อัตราการเผาผลาญไขมันขณะพักภายในกลุ่มที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที มีค่าต่ำกว่าช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที

3.3 อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักที่ช่วงเวลาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 1 – 20 นาที มีค่าสูงกว่าช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที และในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 21 – 40 นาที และหลังออกกำลังกาย 41 – 60 นาที มีค่าสูงกว่าช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย

อภิปรายผล

จากการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแรงต้านก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมันขณะและหลังออกกำลังกาย โดยทำการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการเต้นของหัวใจ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติผลการศึกษาพบว่า การออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซต (ความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของ 1RM) ก่อนการปั่นจักรยานส่งผลทำให้อัตราการเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ คังและคณะ (Kang, J.; et al. 2009) ได้ทำการศึกษาความหนักในการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่มีต่ออัตราการใช้พลังงานและแหล่งพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก พบว่า การออกกำลังกายแบบแรงต้านที่ความหนักสูงก่อนออกกำลังกายแบบแอโรบิก สามารถเพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันได้ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการออกกำลังกายแบบแรงต้านที่ความหนักสูงจะส่งผลให้มีการหลั่งฮอร์โมนที่เกี่ยวกับการสลายไขมัน อาทิเช่น นออีพิเนฟรีน โกรทฮอร์โมน กรดไขมัน และกลีเซอรอล (Goto, K.; et al. 2007) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับบาร์ (Bahr, R. 1991) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในกระแสเลือด กลีเซอรอล กลูโคส และแคเทคิโคลามีน ในขณะออกกำลังกายที่ใช้เวลายาวนาน พบว่า การออกกำลังกายที่ความหนักสูงจะเพิ่มการสลายกรดไขมัน กลีเซอรอล และแคเทคิโคลามีนในกระแสเลือด ภายหลังจากออกกำลังกาย

อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตของกลุ่มควบคุมขณะออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีค่าสูงกว่ากลุ่มสถานีและกลุ่มหลายเซต ในช่วง 1 – 15 นาที ในทางตรงข้ามกับอัตราการเผาผลาญไขมันของกลุ่มหลายเซตก็มีค่าสูงกว่ากลุ่มแบบควบคุมในช่วง 1 - 10 นาที ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากวงจรของน้ำตาลและกรดไขมัน โดยการสลายกรดไขมันจะส่งผลยับยั้งการใช้พลังงานจากกลูโคส และประสิทธิภาพของอินซูลิน และเมื่อมีการใช้พลังงานจากกลูโคส การสลายไขมันก็จะถูกยับยั้งด้วยเช่นกัน (Randle, P.J.; et al. 1998; Randle, P.J.; et al. 1963; Frayn, K.N. 2003) เป็นไปในทิศทางเดียวกับ พระพงศ์ บุญศิริ (2538) ได้กล่าวว่าเมื่อออกกำลังกายไปได้ 3 - 5 นาที การใช้พลังงานจากกรดไขมันจะค่อยๆ สูงขึ้นจนถึงกำหนดเวลา 10 นาที สอดคล้องกับสนธิยา สีสะมาต (2547) ได้กล่าวว่า การออกกำลังกายที่ระดับความหนักต่ำกว่าสูงสุด (Submaximal) ระยะเวลา ยาวนาน ในตอนแรกคาร์โบไฮเดรตจะเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญหรือเป็นต้นตอของพลังงานทั้งหมด แต่เมื่อระยะเวลาการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นการสำรองพลังงานจากการเผาผลาญไขมันจะเข้ามามีบทบาทที่ละน้อยและเพิ่มระดับสูงขึ้น ดังนั้นอัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตของกลุ่มควบคุมจึงมีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมากกว่าในช่วงแรกของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

ผลการศึกษาการปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกายทันที และหลังออกกำลังกายระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ ไม่มีความแตกต่างกัน และปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต และอัตราการเต้นของหัวใจ ในขณะที่พัก ที่ช่วงเวลาก่อนออกกำลังกาย หลังออกกำลังกาย 20 40 และ 60 นาที ภายในกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซตเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ จะมีค่าสูงในช่วงแรกหลังจากออกกำลังกายและค่อยๆ ลดต่ำลงแต่ยังมีค่าสูงกว่าก่อนออกกำลังกาย โดยชูศักดิ์ เวชแพศย์ และกันยาปาละวิวัฒน์ (2536) ได้กล่าวว่า เมื่อหยุดออกกำลังกายแล้วการระบายอากาศจะค่อยๆ ลดลงสู่ระดับปกติอย่างช้าๆ ในกรณีที่มีการออกกำลังกายอย่างหนักจะใช้เวลานานกว่าที่การระบายอากาศจะกลับสู่ระดับปกติ ในขณะที่อัตราการเผาผลาญไขมันภายในกลุ่มควบคุมจะมีค่าต่ำกว่าในช่วงแรกหลังจากออกกำลังกายและต่ำกว่าช่วงก่อนออกกำลังกาย และอัตราการเผาผลาญไขมันสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาหลังออกกำลังกายยาวนานขึ้น แต่ภายในกลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเซต อัตราการเผาผลาญไขมันไม่มีความแตกต่างกันระหว่างช่วงเวลาก่อนออกกำลังกายแต่มีค่าสูงกว่าก่อนออกกำลังกาย คือ มีอัตราการเผาผลาญไขมันใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาหลังออกกำลังกายแต่อัตราการเผาผลาญไขมันสูงกว่าก่อนออกกำลังกาย ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากกรดไขมันอิสระในกระแสเลือด และแคทีโคลามีนในกระแสเลือดเพิ่มขึ้นหลังจากออกกำลังกาย (Bahr, R. 1991) สอดคล้องกับโกโต และคณะ (Goto, K.; et al. 2011) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเมตาบอลิซึมของไขมันระหว่างการออกกำลังกายต่อเนื่องกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงๆ ที่ความหนักและระยะเวลาเท่ากัน พบว่า การออกกำลังกายแบบสลับเป็นช่วงๆ ที่ความหนักปานกลางสามารถเพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันหลังออกกำลังกายได้ดีกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง และเป็นไปในทิศทางเดียวกับวาร์เรน และคณะ (Warren, A.; et al. 2009) ได้ทำการศึกษาระดับความหนัก ระยะเวลา แบบแผนในการออกกำลังกายที่มีต่อปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนการหายใจ พบว่า การออกกำลังกายที่ความหนักสูง และการออกกำลังกายที่ระยะเวลายาวนานจะเพิ่มอัตราการใช้พลังงานและอัตราการเผาผลาญไขมันหลังออกกำลังกายมากกว่าการออกกำลังกายที่ความหนักต่ำ และการออกกำลังกายที่ระยะเวลานั้น

การศึกษาในครั้งนี้ อัตราการเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกาย สามารถเพิ่มได้ด้วยการออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซต (ความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของ 1RM) ก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ดังนั้นเราสามารถนำผลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายสำหรับผู้ที่ต้องการออกกำลังกายเพื่อควบคุมน้ำหนักโดยใช้การเผาผลาญไขมันได้สูงสุดต่อไป

ข้อเสนอแนะ

อัตราการเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกายสามารถเพิ่มได้ด้วยการออกกำลังกายแบบแรงต้านก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ดังนั้นผู้ที่ต้องการออกกำลังกายโดยใช้การเผาผลาญไขมันได้สูงสุดควรออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซต (ความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของ 1RM) ก่อนออกกำลังกายแบบแอโรบิก

ข้อเสนอแนะการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรทำการศึกษาการใช้พลังงานในช่วงอายุ วัย สมรรถภาพที่แตกต่างกัน เนื่องจากกลุ่มดังกล่าวจะมีการตอบสนองต่อการใช้พลังงานที่ต่างกัน
2. ควรเพิ่มความเข้มของปริมาณการฝึกแบบสแตที เช่น อัตราส่วนการปฏิบัติกับระยะเวลาพักที่น้อยลง เพื่อศึกษาความเข้มของการฝึกที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน
3. ควรศึกษาการใช้พลังงานหลังจากออกกำลังกายในช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น เช่น หลังออกกำลังกาย 6 12 24 36 และ 48 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการใช้พลังงานหลังจากออกกำลังกายที่อาจยังส่งผลอยู่



บรรณานุกรม

คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยาคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. (2542). สรีรวิทยา 2. พิมพ์ครั้งที่ 4.

กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยาคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล. (2552). สรีรวิทยา.

พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัทเท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชันจำกัด.

คณาจารย์วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดลศาลายา. (2548).

วิทยาศาสตร์การกีฬา (Sports Science). กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดมีเดียเพรส.

เจริญ กระบวนรัตน์. (2548). หลักการและเทคนิคการฝึกกรีฑา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชูศักดิ์ เวชแพศย์; และ ปาละวิวัฒน์ กันยา. (2536). สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย. พิมพ์ครั้งที่ 4.

กรุงเทพฯ: ธรรมกมลการพิมพ์.

ธาดา สืบหลินวงศ์; และ นวฤทธิ์ กมลวารินทร์. (2537). ชีวเคมีทางการแพทย์ Medical

Biochemistry. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิพนธ์ วิษุตเวส. (2551). ผลของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบสะสมที่มีต่อการใช้

พลังงาน. ปรินูญานิพนธ์ วท.ม (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ:

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. สำเนา.

พัชรา วีระกะลัส. (2549). พลังงานและเมแทบอลิซึม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิชิต ภูติจันทร์. (2547). วิทยาศาสตร์การกีฬา(Sports Science). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:

สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

พระพงศ์ บุญศิริ. (2538). สรีรวิทยาการออกกำลังกาย(วิทยาศาสตร์การกีฬา). พิมพ์ครั้งที่ 4.

กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

สนธยา สีละมาด. (2547). หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สนธยา สีละมาด; และ ดุจเดือน สีละมาด. (2552). การฝึกด้วยน้ำหนัก การประยุกต์กายวิภาค

ศาสตร์และสรีรวิทยาสู่เทคนิคการปฏิบัติ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิสิทธิ์ เทียนทอง. (2552). การฝึกด้วยน้ำหนักเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- American College of Sports Medicine. (2010). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 8th. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- (2008). *ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment Manual*. 2nd. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Bahr, R. (1991, September). Effect of exercise on recovery changes in plasma levels of FFA, glycerol, glucose and catecholamines. *Acta Physiological Scandinavica*. 143(1): 105-115.
- Benardot, D. (2006). *Advanced Sports Nutrition*. Illinois: Human Kinetics.
- Frayn, K.N. (2003). The glucose-fatty acid cycle: a physiological perspective. *Biochemical Society Transactions*. 31(6): 1115-1119.
- (1993). Calculation of Substrate Oxidation Rates in Vivo from Gaseous Exchange. *Journal of Applied Physiology*. (55): 628-634.
- Goto, K.; et al. (2011). *A Single Versus Multiple Bouts of Moderate-Intensity Exercise for Fat Metabolism*. 31(3): 215. Retrieved August 19, 2011, from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=A%20Single%20Versus%20Multiple%20Bouts%20of%20ModerateIntensity%20Exercise%20for%20Fat%20Metabolism>
- (2007, February). Effects of Resistance Exercise on Lipolysis During Subsequent Submaximal Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 39(2): 308-315.
- Heyward, V.H. (1998). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. 3rd. Champaign: Human Kinetic.
- Jamurtas, A.Z.; et al. (2004). *The Effects of a Single Bout of Exercise on Resting Energy Expenditure and Respiratory Exchange Ratio*. 92(4-5): 393. Retrieved August 20, 2011, from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15205961>
- Kang, J.; et al. (2009, September). Effect of Preceding Resistance Exercise on Metabolism During Subsequent Aerobic Session. *European Journal of Applied Physiology* 107(1): 43-50.
- Kirk, E.P.; et al. (2009, May). Minimal Resistance Training Improves Daily Energy Expenditure and Fat Oxidation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 41(5): 1122-1129.

- McArdle, W.D.; Katch, F.I.; & Katch, V.L. (2001). *Exercise Physiology Energy, Nutrition, and Human Performance*. 5th. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ormsbee, M.J.; et al. (2007). *Fat Metabolism and Acute Resistance Exercise in Trained Men*. 102(5): 72. Retrieved August 20,2011, from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17234805>
- Randle, P.J.; et al. (1998, December). Regulatory Interactions between Lipids and Carbohydrates: The Glucose Fatty Acid Cycle after 35 Years. *Diabetes Metabolism Reviews*. 14(4): 263-283.
- (1963, April). The Glucose Fatty-Acid Cycle. Its role in insulin sensitivity and the metabolic disturbances of diabetes mellitus. *The Lancet*. 1(7285): 785-759.
- Romijn, J.A.; et al. (1993). *Regulation of Endogenous Fat and Carbohydrate Metabolism in Relation to Exercise Intensity and Duration*. 265(28): 380-391. Retrieved August 19,2011, from <http://www.educ.uidaho.edu/dpaul/PEP518SP09/romijn%20ja%201993.pdf>
- Warren, A.; et al. (2009). *Postexercise Fat Oxidation Effect of Exercise Duration Intensity and Modality* 19(6): 607. Retrieved August 20,2011, from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=%20Postexercise%20Fat%20Oxidation%20Effect%20of%20Exercise%20Duration%20Intensity%20and%20Modality%20>





ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลทางสถิติ

ตาราง 4 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการเต้นของหัวใจ ก่อนออกกำลังกาย และหลังออกกำลังกายทันที ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ

ช่วงเวลา	ตัวแปร	df		SS		MS		F	p-value
		ระหว่างกลุ่ม	ภายในกลุ่ม	ระหว่างกลุ่ม	ภายในกลุ่ม	ระหว่างกลุ่ม	ภายในกลุ่ม		
ก่อนออก กำลังกาย	VO ₂	2	33	0.002	0.050	0.001	0.002	0.501	.611
	EE	2	33	0.056	1.300	0.028	0.039	0.705	.501
	CHO	2	33	0.065	2.003	0.033	0.061	0.536	.590
	FAT	2	33	0.051	2.773	0.025	0.084	0.301	.742
	HR	2	33	136.056	2442.917	68.028	74.028	0.919	.409
หลังออกกำลังกาย ทันที	VO ₂	2	33	0.009	0.597	0.004	0.018	0.242	.787
	EE	2	33	0.712	17.788	0.356	0.539	0.660	.523
	CHO	2	33	1.365	50.443	0.682	1.529	0.446	.644
	FAT	2	33	0.644	43.228	0.332	1.310	0.246	.784
	HR	2	33	33.722	6002.833	16.861	181.904	0.093	.912

VO₂ = ปริมาณการใช้ออกซิเจน, EE = อัตราการใช้พลังงานรวม, CHO = อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต,

FAT = อัตราการเผาผลาญไขมัน, HR= อัตราการเต้นของหัวใจ

ตาราง 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำของปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการของเต้นหัวใจ ขณะปั่นจักรยาน และหลังออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 3 รูปแบบ

ช่วง เวลา	ตัวแปร	df			SS			MS			F	p- value
		จุดตัด	วิธีการ	ความคลาด เคลื่อน	จุดตัด	วิธีการ	ความคลาด เคลื่อน	จุดตัด	วิธีการ	ความคลาด เคลื่อน		
ขณะปั่น จักรยาน	VO ₂	1	2	33	425.769	0.016	1.879	425.769	0.008	0.057	0.137	.873
	EE	1	2	33	10930.703	6.478	64.735	10930.703	3.329	1.962	1.651	.207
	CHO	1	2	33	5985.601	72.286	200.248	5985.601	36.143	6.068	5.956*	.006
	FAT	1	2	33	739.840	37.540	135.040	739.840	18.770	4.092	4.587*	.017
	HR	1	2	33	2531281.000	37.540	135.040	2531281.000	591.187	663.332	0.891	.420
หลังออก กำลังกาย	VO ₂	1	2	33	9.158	0.042	0.278	9.158	0.021	0.008	2.475	.100
	EE	1	2	33	233.789	1.578	10.543	233.789	0.789	0.319	2.470	.100
	CHO	1	2	33	12.745	0.457	5.575	12.745	0.228	0.169	1.352	.273
	FAT	1	2	33	135.565	2.697	15.018	135.565	1.348	0.455	2.963	0.66
	HR	1	2	33	594520.083	476.389	13146.528	594520.083	238.194	398.380	0.598	.556

VO₂ = ปริมาณการใช้ออกซิเจน, EE = อัตราการใช้พลังงานรวม, CHO = อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต,

FAT = อัตราการเผาผลาญไขมัน, HR= อัตราการของเต้นหัวใจ, *p<.05

ตาราง 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำของปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานรวม อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต อัตราการเผาผลาญไขมัน และอัตราการเต้นหัวใจ ขณะพักภายในกลุ่มควบคุม กลุ่มสถานี และกลุ่มหลายเขต ในช่วงเวลาก่อน และหลังออกกำลังกาย

กลุ่ม	ตัวแปร	df		SS		MS		F	p-value
		ระหว่างกลุ่ม	ภายในกลุ่ม	ระหว่างกลุ่ม	ภายในกลุ่ม	ระหว่างกลุ่ม	ภายในกลุ่ม		
ควบคุม	VO ₂	2	33	0.040	0.037	0.013	0.001	12.096*	.000
	EE	2	33	1.692	1.440	0.564	0.044	12.925*	.000
	CHO	1.682	18.498	4.311	1.562	2.563	0.084	30.359*	.000
	FAT	2	33	0.761	0.932	0.254	0.028	8.979*	.000
	HR	1.592	17.517	2547.563	403.188	1599.736	23.016	69.504*	.000
สถานี	VO ₂	2.406	26.465	0.048	0.037	0.020	0.048	14.244*	.000
	EE	2	33	1.654	0.861	0.551	0.026	21.137*	.026
	CHO	2.341	25.740	1.577	1.670	0.674	0.065	10.388*	.000
	FAT	2	33	0.577	2.093	0.192	0.063	3.036*	.043
	HR	1.704	18.749	3704.563	573.188	2173.462	30.572	71.094*	.000
หลายเขต	VO ₂	2	33	0.044	0.051	0.015	0.002	9.487*	.000
	EE	2	33	1.865	1.635	0.622	0.050	12.547*	.000
	CHO	2.574	28.314	0.874	1.031	0.340	0.036	9.328*	.000
	FAT	2	33	1.428	2.042	0.476	0.062	7.688*	.000
	HR	2.065	22.712	3342.167	514.333	1618.167	22.646	71.479*	.000

VO₂=ปริมาณการใช้ออกซิเจน, EE=อัตราการใช้พลังงานรวม, CHO=อัตราการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต, FAT=อัตราการเผาผลาญไขมัน, HR=อัตราการเต้นของหัวใจ, *p<.05

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max})

การทดสอบค่าความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1RM)

แบบทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด(VO_{2max})

ทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยวิธีการของแลมปี (Ramp Protocol) โดยการปั่นจักรยานมีวิธีการทดสอบดังนี้

กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกาย โดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 80 วัตต์ โดยมีความแตกต่างไม่เกิน 5 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที และทำการเพิ่มความหนักขึ้นอีก 5 วัตต์ ทุก ๆ 12 วินาที ความเร็วในการปั่นจักรยาน 60 รอบต่อนาที (rpm) ค่าความต่างไม่เกิน 5 รอบต่อนาที ปฏิบัติเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งกลุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากับเกณฑ์ 3 ใน 5 ข้อดังต่อไปนี้

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



ทดสอบความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max})

การทดสอบค่าความหนักสูงสุดที่ยกได้ 1 ครั้ง (1RM)

เฮวอร์ด (Heyward, V.H. 1998) กล่าวถึงการหา 1 RM ที่อ้างอิงจาก Kraemer and Fry ได้แนะนำไว้มีดังต่อไปนี้

1. ผู้ทดสอบอบอุ่นร่างกายในท่าที่จะทำการทดสอบ จำนวน 10 ครั้ง โดยใช้น้ำหนัก 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ของ 1 RM ที่ได้จากการประมาณ
2. พัก 1 นาที โดยมีการยืดเหยียดกล้ามเนื้อในกลุ่มทำงาน หลังจากนั้นตามด้วยการปฏิบัติจำนวน 3 - 5 ครั้งโดยใช้น้ำหนัก 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ของของ 1 RM ที่ได้จากการประมาณ
3. พัก 3 – 5 นาที หลังจากนั้นเพิ่มน้ำหนักขึ้น 5 – 20 ปอนด์ (ขึ้นอยู่กับ การปฏิบัติในขั้นที่ 2) หากการปฏิบัติได้มากกว่า 1 ครั้ง ทำการปรับน้ำหนักขึ้นอีกครั้ง
4. ถ้าการปฏิบัติสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์หนึ่งครั้ง ให้ถือว่าน้ำหนักที่ใช้ปฏิบัติเป็นน้ำหนักที่แสดงความสามารถสูงสุด
5. การทดสอบควรหาค่าความแข็งแรงสูงสุดได้ภายในการปฏิบัติ 3 - 5 เซต



ทดสอบหาความแข็งแรงสูงสุด (1RM)



ภาคผนวก ค

รูปแบบการออกกำลังกายที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

รูปแบบการออกกำลังกายแบบที่ 1

1. ผู้เข้ารับการทดลองดื่มน้ำเปล่าปริมาตร 3 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ก่อนการทดลองเป็นเวลา 30 นาที
2. ผู้เข้ารับการทดลองตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินชีวิตประจำวัน และวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพัก
- 3.อบอุ่นร่างกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ยืดกล้ามเนื้อทั่วไปเป็นเวลา 5 นาที
4. นิ่งพักเป็นเวลา 30 นาที
5. พักเป็นเวลา 5 นาที
6. เริ่มการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานเพียงอย่างเดียว
 - ช่วง 5 นาทีแรก เพิ่มความหนักของงานจนถึง 65% VO_{2max}
 - ปั่นจักรยานที่ความหนักของงาน 65% VO_{2max} จนครบ 20 นาที
 - วัดอัตราการใช้พลังงาน
 - วัดค่าความรู้สึกเหนื่อยสัมพัทธ์ (RPE) ทุกๆ 5 นาที
7. คลายอบอุ่นร่างกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
8. ผู้เข้ารับการทดสอบพักโดยการนั่ง และวัดอัตราการใช้พลังงาน 20 40 และ 60 นาที



รูปแบบการออกกำลังกายแบบที่ 1 ปั่นจักรยานเพียงอย่างเดียว



วัดอัตราการใช้พลังงานขณะ และภายหลังการออกกำลังกาย

รูปแบบการออกกำลังกายแบบที่ 2

1. ผู้เข้ารับการทดลองดื่มน้ำเปล่าปริมาตร 3 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ก่อนการทดลองเป็นเวลา 30 นาที
2. ผู้เข้ารับการทดลองตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินชีวิตประจำวัน และวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพัก
- 3.อบอุ่นร่างกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ยึดกล้ามเนื้อทั่วไปเป็นเวลา 5 นาที
4. ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบสถานีที่ความหนัก 50% ของ 1 RM จำนวน 6 ท่าการออกกำลังกาย ปฏิบัติ 3 รอบ แต่ละท่าปฏิบัติ 12 ครั้ง พักระหว่างท่า 60 วินาทีและพักระหว่างรอบ 180 วินาที
 - ท่าที่ 1 Lat Pulldown
 - ท่าที่ 2 Leg press
 - ท่าที่ 3 Machine Chest Press
 - ท่าที่ 4 Seated Row
 - ท่าที่ 5 Leg Extension
 - ท่าที่ 6 Machine Shoulder Press
5. พักเป็นเวลา 5 นาที
6. เริ่มการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน
 - ช่วง 5 นาทีแรก เพิ่มความหนักของงานจนถึง 65% VO_{2max}
 - ปั่นจักรยานที่ความหนักของงาน 65% VO_{2max} จนครบ 20 นาที
 - วัดอัตราการใช้พลังงาน
 - วัดค่าความรู้สึกเหนื่อยสัมพัทธ์ (RPE) ทุกๆ 5 นาที
7. คลายอุ่นร่างกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
8. ผู้เข้ารับการทดสอบพักโดยการนั่ง และวัดอัตราการใช้พลังงาน 20 40 และ 60 นาที

รูปแบบการออกกำลังกายแบบที่ 2 (สถานี)



ท่าที่ 1 Lat Pulldown



ท่าที่ 2 Leg Press



ท่าที่ 3 Machine Chest Press



ท่าที่ 6 Machine Shoulder Press



ท่าที่ 5 Leg Extension



ท่าที่ 4 Seated Row



ออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน



วัดอัตราการใช้พลังงานขณะ และภายหลังการออกกำลังกาย

รูปแบบการออกกำลังกายแบบที่ 3

1. ผู้เข้ารับการทดลองดื่มน้ำเปล่าปริมาตร 3 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ก่อนการทดลองเป็นเวลา 30 นาที
2. ผู้เข้ารับการทดลองตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินชีวิตประจำวัน และวัดอัตราการใช้พลังงานขณะพัก
3. อบอุณร่างกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ยืดกล้ามเนื้อทั่วไปเป็นเวลา 5 นาที
4. ออกกำลังกายแบบแรงต้านแบบหลายเซตที่ความหนัก 75% ของ 1 RM จำนวน 6 ท่าการออกกำลังกาย ปฏิบัติ 3 เซตๆ ละ 8 ครั้ง พักระหว่างเซตและระหว่างท่า 90 วินาที
 - ท่าที่ 1 Lat Pulldown
 - ท่าที่ 2 Leg Press
 - ท่าที่ 3 Machine Chest Press
 - ท่าที่ 4 Seated Row
 - ท่าที่ 5 Leg Extension
 - ท่าที่ 6 Machine Shoulder Press
5. พักเป็นเวลา 5 นาที
6. เริ่มการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน
 - ช่วง 5 นาทีแรก เพิ่มความหนักของงานจนถึง $65\% \text{VO}_{2\text{max}}$
 - ปั่นจักรยานที่ความหนักของงาน $65\% \text{VO}_{2\text{max}}$ จนครบ 20 นาที
 - วัดอัตราการใช้พลังงาน
 - วัดค่าความรู้สึกเหนื่อยสัมพัทธ์ (RPE) ทุกๆ 5 นาที
7. คลายอุณร่างกายด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
8. ผู้เข้ารับการทดสอบพักโดยการนั่ง และวัดอัตราการใช้พลังงาน 20 40 และ 60 นาที

รูปแบบการออกกำลังกายแบบที่ 3 (หลายเซต)



ท่าที่ 1 Lat Pulldown



ท่าที่ 2 Leg Press



ท่าที่ 3 Machine Chest Press



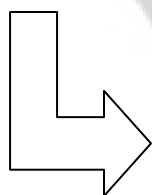
ท่าที่ 4 Seated Row



ท่าที่ 5 Leg Extension



ท่าที่ 6 Machine Shoulder Press



ออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน



วัดอัตราการใช้พลังงานขณะ และภายหลังการออกกำลังกาย

ภาคผนวก ง

ใบขออนุญาตการทำวิจัยในมนุษย์

หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย

ใบขออนุญาตการทำวิจัยในมนุษย์



62 หมู่ 7 ซำเภองงครักน
จังหวัดนครนายก 26120
โทร.0-3739-5451-5 ต่อ 60428-9

เอกสารรับรองโครงการวิจัย

โดย

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับการพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์แบบเร่งพิเศษ
(Expedited Review)

SWUEC/EX เลขที่หนังสือรับรอง 10/2555

ชื่อโครงการ	ผลของการออกกำลังกายแบบแรงต้านก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมันในขณะและหลังออกกำลังกาย
ชื่อหัวหน้าโครงการ / หน่วยงานที่สังกัด	นายกรกต คูหาพิริย์ / นิติระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
SWUEC รหัสโครงการ	SWUEC/Ex 10/2555
เอกสารรับรอง	- ชื่อเสนอโครงการ - ตอบข้อสงสัยชี้แจงตามข้อเสนอนะ - เอกสารชี้แจงและยินยอมเข้าร่วมการวิจัย
รับรองโดย	คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับการพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ (Ex)
วันที่รับรอง	20 กุมภาพันธ์ 2555
วันหมดอายุ	18 กุมภาพันธ์ 2556

หนังสือรับรองฉบับนี้ออกโดยความเห็นชอบในการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับการพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตามประกาศเขตจึงก็

ลงนาม.....

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ชัชวรินทร์ นิรันดร์คน)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมฯ

ลงนาม.....

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์วุฒิสิทธิ์ ธนาพงศ์ธร)

คณะบดีคณะแพทยศาสตร์

หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย

วันที่

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี อยู่บ้านเลขที่.....
ถนน.....หมู่ที่.....แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ.....
จังหวัด.....โทรศัพท์.....

ขอทำหนังสือนี้ให้ไว้ต่อหัวหน้าโครงการวิจัยเพื่อเป็นหลักฐานแสดงว่า

- ข้อ 1. ข้าพเจ้าได้รับทราบโครงการวิจัยของ นายกรกต คุณาเพชร เรื่อง ผลของการออกกำลังกายแบบแรงต้านก่อนการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่ออัตราการเผาผลาญไขมันขณะและหลังออกกำลังกาย
- ข้อ 2. ข้าพเจ้า ยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ด้วยความสมัครใจ โดยมิได้มีการบังคับขู่เข็ญหลอกลวงแต่ประการใด และจะให้ความร่วมมือในการวิจัยทุกประการ
- ข้อ 3. ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย ประสิทธิภาพความปลอดภัย อาการหรืออันตรายที่อาจเกิดขึ้น รวมทั้งแนวทางป้องกันและแก้ไข หากเกิดอันตราย ค่าตอบแทนที่จะได้รับ ค่าใช้จ่ายที่ข้าพเจ้าจะต้องรับผิดชอบจ่ายเอง โดยได้อ่านข้อความที่มีรายละเอียดอยู่ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยโดยตลอด อีกทั้งยังได้รับคำอธิบายและตอบข้อสงสัยจากหัวหน้าโครงการวิจัยเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และตกลงรับผิดชอบตามคำรับรองในข้อ 5 ทุกประการ
- ข้อ 4. ข้าพเจ้า ได้รับการรับรองจากผู้วิจัยว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ จะเปิดเผยเฉพาะผลสรุปการวิจัยเท่านั้น
- ข้อ 5. ข้าพเจ้า ได้รับทราบจากผู้วิจัยแล้วว่า หากมีอันตรายใด ๆ อันเกิดขึ้นจากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้า จะได้รับการรักษาพยาบาลจากคณะผู้วิจัย โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายและจะได้รับค่าชดเชยรายได้ที่สูญเสียไปในระหว่างการรักษาพยาบาลดังกล่าว ตลอดจน มีสิทธิได้รับค่าทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัยตามสมควร
- ข้อ 6. ข้าพเจ้า ได้รับทราบแล้วว่าข้าพเจ้ามีสิทธิจะบอกเลิกการร่วมโครงการวิจัยนี้ และการบอกเลิกการร่วมโครงการวิจัย จะไม่มีผลกระทบต่อการดูแลรักษาโรคที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

- ข้อ 7. หากข้าพเจ้ามีข้อข้องใจเกี่ยวกับขั้นตอนของการวิจัย หรือหากเกิดผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์จากการวิจัยสามารถติดต่อกับ นายกรกต คูหาเพชร ที่อยู่ 23/92 ซ.เอกชัย34 แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กรุงเทพฯ 10150 โทรศัพท์ 087-0930193 โทรสาร 02-893-2658
- ข้อ 8. หากข้าพเจ้า ได้รับการปฏิบัติไม่ตรงตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าจะสามารถติดต่อกับประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับการพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์หรือผู้แทน ได้ที่ ฝ่ายวิจัย คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทรศัพท์ 0-3739-5085-6 ต่อ 10513

ข้าพเจ้าได้อ่านและเข้าใจข้อความตามหนังสือนี้โดยตลอดแล้ว เห็นว่าถูกต้องตามเจตนาของข้าพเจ้าจึงได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญพร้อมกับหัวหน้าโครงการวิจัยและต่อหน้าพยาน

ลงชื่อ	ลงชื่อ
(.....)	(.....)
ผู้ยินยอม / ผู้แทนโดยชอบธรรม	ผู้ให้ข้อมูลและขอความยินยอม/หัวหน้าโครงการวิจัย
ลงชื่อ พยาน	ลงชื่อ พยาน
(.....)	(.....)

ในกรณีที่ผู้เข้าร่วมการวิจัย อ่านหนังสือไม่ออก ผู้ที่อ่านข้อความทั้งหมดแทนผู้เข้าร่วมการวิจัยคือ.....

.....

จึงได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นพยาน

ลงชื่อ พยาน

(.....)



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายกรกต คูหาเพชร
วันเดือนปีเกิด	19 มกราคม พ.ศ. 2528
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 23/92 ซ.เอกชัย 34 ถนนเอกชัย แขวงบางขุนเทียน เขตจอมทอง กรุงเทพฯ 10150

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2540	ระดับประถมศึกษา จาก โรงเรียนอนุบาลวัดนางนอง
พ.ศ.2545	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จาก โรงเรียนทวีธาภิเศก
พ.ศ.2549	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ) สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ.2554	ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม) วิทยาศาสตร์การกีฬา: วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ