จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม
ศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ
ดร.นภัสกร ชื่นศิริ

ตุลาคม 2559

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

ชื่อผู้วิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม
ศาสตราจารย์ ดร.ฮิโรฟุมิ ทานากะ
ดร.นภัสกร ชื่นศิริ

เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ เดือนพฤษภาคม ปีพ.ศ. 2558

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปรียบเทียบผลฉับพลันของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน และเพื่อเปรียบเทียบผลระยะยาวของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน การศึกษาวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การศึกษา สำหรับการศึกษาที่ 1 กลุ่มตัวอย่างเป็นเด็กชาย อายุ 8 – 12 ปี แบ่งเป็นเด็กน้ำหนักปกติ 18 คน และเด็กอ้วน 17 คน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี โดยค่าดัชนีมวลกาย มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. จะอยู่ในกลุ่มอ้วน ทำออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนักสูงมาก 100, 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100, 130 and 170% VO_2peak) ทดสอบตัวแปรด้านการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดระหว่างก่อน และหลังการออกกำลังกาย ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ แบบ 2x3 (กลุ่ม x ความหนักของการออกกำลังกาย) และเปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี (LSD) นำผลที่ได้จากการศึกษาที่ 1 มาใช้ในการศึกษาที่ 2 โดยการศึกษาที่ 2 กลุ่มตัวอย่างจะเป็นเด็กอ้วน จำนวน 37 คน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มควบคุม จำนวน 11 คน กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak ใช้เวลาในการออกกำลังกาย 24 นาที จำนวน 11 คน และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak ใช้เวลาในการออกกำลังกาย 14 นาที จำนวน 15 คน ทำการฝึกออกกำลังกาย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ทดสอบตัวแปรด้านการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ แบบ 3x2 (กลุ่ม x ความหนักของการออกกำลังกาย)

ผลการวิจัย พบว่า

สำหรับการศึกษาที่ 1 ภายหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก เด็กอ้วนมีการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายสูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติทั้ง 3 ความหนักของการออกกำลังกาย เด็กน้ำหนักปกติ และเด็กอ้วนมีคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลง หลังออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนัก 130 และ 170% VO_2peak การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน หลังออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนัก 170% VO_2peak เท่านั้นที่สูงกว่าก่อนการออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

สำหรับการศึกษาที่ 2 ภายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak มีการเผาผลาญพลังงานขณะพักสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ไม่พบความแตกต่างของดัชนีมวลกาย น้ำหนักตัว และไขมันในร่างกาย ในทั้ง 3 กลุ่มทดลอง กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak มีความหนาของผนังหลอดเลือด และความแข็งตัวของหลอดเลือดลดลง คอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ลดลง และมีไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ไม่พบความแตกต่างของครีเอทีนฟอสโฟไคเนส และมาลอนไดอัลดีไฮด์ ในทั้ง 2 กลุ่มออกกำลังกาย และการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak มีความสนุกสนานมากกว่าการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

สรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak สามารถที่จะนำมาใช้เป็นรูปแบบในการออกกำลังกายของเด็กอ้วนได้ โดยสามารถพัฒนาโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด อีกทั้งยังใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อย ปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บ และมีความสนุกสนาน

Project Title	COMPARISON OF HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING AND SUPRA-HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING ON BODY COMPOSITION AND VASCULAR FUNCTION IN OBESE CHILDREN
Name of the investigators	Assoc. Prof. Daroonwan Suksom, Ph.D. Prof. Hirofumi Tanaka, Ph.D. Miss Napasakorn Chuensiri, Ph.D.
Year	2015

Abstract

The main objectives of the present study were to determine acute and chronic effects of supra-high intensity interval training (supra-HIIT) on energy expenditure and vascular function in obese prepubescent boys. Obese prepubescent boys, aged 8 - 12 years, participated in this series of studies. The participants had BMI ≥

+2 SD above the growth reference data for boys aged 5-18 years. This research was divided into 2 studies. Study 1, eighteen lean and seventeen obese prepubescent boys were asked to perform supra-high intensity interval training at 100, 130 and 170% VO_2peak. The Measurements of energy expenditure and vascular function were assessed before and after each exercise session. A 2x3 (group x exercise intensity) ANOVA with repeated measures followed by LSD's multiple comparisons was used to analyze the data. The results from the 1st study were used to set exercise intensity for study 2. Thirty seven obese prepubescent boys were randomly assigned into three groups including control group (CON; n=11), HIIT at 90% VO_2peak (Total exercise time = 24 min) (HIIT; n=11) and supra-HIIT at 170% VO2peak (Total exercise time = 14 min) (supra-HIIT; n=15). Both exercise groups were asked to perform exercises on a mechanically-braked cycle ergometer 3 times/week for 12 weeks. A 3x2 (group x time) ANOVA with repeated measures followed by LSD's multiple comparisons was used to analyze the data.

The results of the present study were as follows

1. For the study 1, the obese group had significantly greater total energy expenditure in all three HIIT intensities than the lean group. Brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV) decreased significantly after HIIT at 130 and 170% VO_2peak in both lean and obese groups. Only the HIIT at 170% VO_2peak demonstrated greater flow mediate vasodilatation (FMD) compared with the baseline.

2. For the study 2, after 12 weeks, supra-HIIT and HIIT had significantly greater resting energy expenditure than the control group ($p<0.05$). There were no significant differences in BMI, body weight and body fat following CON, HIIT and supra-HIIT. Artery wall thickness and baPWV decreased in supra-HIIT. Cholesterol and triglyceride decreased and nitric oxide level increased in both HIIT and supra-HIIT (all $p<0.05$). There were no significant differences in creatine phosphokinase and malondialdehyde following both HIIT and supra-HIIT. Physical activity enjoyment score in supra-HIIT was significantly higher than HIIT ($p<0.05$).

In conclusion, supra-HIIT performed at the intensity of 170% VO_2peak can be a feasible exercise modality for improving vascular structure and function in obese prepubescent boys. Moreover, it requires much less time to complete, provides no muscle damage and make enjoyment in obese children.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วิชิต คนึงสุขเกษม ศาสตราจารย์ ดร.ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทิราภรณ์ และรองศาสตราจารย์ นพ.ปัญญา ไข่มุก ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียนเยาวลักษณ์วิทยาธนบุรี และผู้บังคับการโรงเรียนนวชิราวุธวิทยาลัย และครูทุกท่านของโรงเรียน ที่ให้ความอนุเคราะห์ สถานที่และกลุ่มตัวอย่าง ให้ความร่วมมือและความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลงานวิจัยเป็นอย่างดี และผู้ที่มีความสำคัญมากที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้ปกครองและเด็กนักเรียนทุกคนที่เข้าร่วมงานวิจัย ที่เสียสละเวลาอันมีค่า และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งในงานวิจัยนี้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และสุขภาพ และนิสิตบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่สละเวลา คอยช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนวิจัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนสำหรับดำเนินการทำวิจัยในครั้งนี้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย……i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……ii
กิตติกรรมประกาศ……iii
สารบัญ……iv
สารบัญตาราง……viii
สารบัญรูป……xiii
บทที่ 1 บทนำ……1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย……5
คำถามของการวิจัย……6
สมมติฐานของการวิจัย……7
ขอบเขตของการวิจัย……7
คำจำกัดความของการวิจัย……10
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย……13
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……14
เด็กอ้วน……15
เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด……19
การเผาผลาญพลังงาน……30
การออกกำลังกาย……37
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……47
กรอบแนวคิดในการวิจัย……54
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย……56
การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน……56

กลุ่มตัวอย่าง……56

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย……57

การวิเคราะห์ข้อมูล……64

การศึกษาที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน……65

กลุ่มตัวอย่าง……65

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย……66

การวิเคราะห์ข้อมูล……78

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย……78

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ……82

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน……85

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน……85

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100, 130 and 170% VO_2peak) ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน……92

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน……102

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน……113

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลัง

กายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....113

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....131

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....142

ตอนที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....149

ตอนที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....162

ตอนที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 171

ตอนที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านความสนุกสนานของการออกกำลังกาย หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ระหว่างการออกกำลังกายที่ความหนักสูง (90% VO2peak) และการออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก (90% VO2peak) 177

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....179

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน……..179

สรุปผลการวิจัย……..180

อภิปรายผล……..181

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน…….185

สรุปผลการวิจัย……..185

อภิปรายผล……..187

สรุปผลการศึกษาวิจัยในภาพรวม……193

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย……194

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป…….194

รายการอ้างอิง.....195

ภาคผนวก.....209

ภาคผนวก ก……210

ภาคผนวก ข……228

ภาคผนวก ค……231

ภาคผนวก ง……233

ภาคผนวก จ……239

ภาคผนวก ฉ……242

ภาคผนวก ช……244

ภาคผนวก ซ……246

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 85

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 92

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 93

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 94

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กน้ำหนักปกติ..... 95

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100, 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กอ้วน 96

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อนการออกกำลังกาย ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน..... 102

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 103

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 104

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 105

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กน้ำหนักปกติ 106

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กอ้วน..... 107

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม 113

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) 115

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 117

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)119

ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)121

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม..... 131

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) 132

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 133

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 134

ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 136

ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม 142

ตารางที่ 24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO2peak) 142

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 144

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 145

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 146

ตารางที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม 149

ตารางที่ 29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) 150

ตารางที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 151

ตารางที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 153

ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 155

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม..... 162

ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) 163

ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 164

ตารางที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 165

ตารางที่ 37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 166

ตารางที่ 38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม 171

ตารางที่ 39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) 172

ตารางที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 173

ตารางที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 174

ตารางที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 175

ตารางที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านความสนุกสนานของกิจกรรมออกกำลังกายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกิจกรรมการออกกำลังกายที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกิจกรรมการออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 177

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 ความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด 25
รูปที่ 2 กระบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต 33
รูปที่ 3 กระบวนการสลายไขมัน 35
รูปที่ 4 การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน 36
รูปที่ 5 กรอบแนวคิดในการวิจัยของการศึกษาที่ 1 54
รูปที่ 6 กรอบแนวคิดในการวิจัยของการศึกษาที่ 2 55
รูปที่ 7 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของการศึกษาที่ 1 61
รูปที่ 8 ขั้นตอนการฝึกออกกำลังกาย 69
รูปที่ 9 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของการศึกษาที่ 2 71
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 87
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 87
รูปที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 88
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 88
รูปที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน89
รูปที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนเอว-สะโพกก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 89
รูปที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 90
รูปที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 90

รูปที่ 18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 91

รูปที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 91

รูปที่ 20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 97

รูปที่ 21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak..... 97

รูปที่ 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak..... 98

รูปที่ 23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน..... 98

รูปที่ 24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130 และ 170% VO_2peak99

รูปที่ 25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130 และ 170% VO_2peak..... 99

รูปที่ 26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 100

รูปที่ 27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130 และ 170% VO_2peak..... 100

รูปที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130 และ 170% VO_2peak 101

รูปที่ 29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 108

รูปที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak 108

รูปที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความ 100 130 และ 170% VO_2peak 109

รูปที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 109

รูปที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak 110

รูปที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak 110

รูปที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 111

รูปที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak..... 111

รูปที่ 37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak 112

รูปที่ 38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 123

รูปที่ 39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 123

รูปที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 124

รูปที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 124

รูปที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 125

รูปที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 125

รูปที่ 44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบเอวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 126

รูปที่ 45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบสะโพกก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 126

รูปที่ 46 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนเอว-สะโพกก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 127

รูปที่ 47 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 127

รูปที่ 48 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 128

รูปที่ 49 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 129

รูปที่ 50 การเปรียบเทียบความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ยก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 129

รูปที่ 51 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 130

รูปที่ 52 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพัก ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 138

รูปที่ 53 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 139

รูปที่ 54 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 140

รูปที่ 55 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 140

รูปที่ 56 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเผาผลาญไขมันขณะพัก ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 141

รูปที่ 57 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเผาผลาญไขมันขณะพัก ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 141

รูปที่ 58 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 147

รูปที่ 59 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)..... 147

รูปที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 148

รูปที่ 61 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 157

รูปที่ 62 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคอเลสเตอรอล ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 157

รูปที่ 63 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไตรกลีเซอไรด์ ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 158

รูปที่ 64 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 158

รูปที่ 65 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 159

รูปที่ 66 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฮอร์โมนเลปติน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 159

รูปที่ 67 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอะดิโพเนคติน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 160

รูปที่ 68 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไนตริกออกไซด์ ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 160

รูปที่ 69 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมาลอนไดอัลดีไฮด์ ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 161

รูปที่ 70 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยครีเอทีนฟอสโฟไคเนส ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 161

รูปที่ 71 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความจุปอดก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 167

รูปที่ 72 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงบีบมือด้านขวา ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 167

รูปที่ 73 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงบีบมือด้านซ้าย ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 168

รูปที่ 74 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการนั่งงอตัว ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 168

รูปที่ 75 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 169

รูปที่ 76 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 169

รูปที่ 77 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความอ่อนตัว ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 170

รูปที่ 78 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยงานในการปั่นจักรยาน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 170

รูปที่ 79 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนก้าวในการเดินต่อวัน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 176

รูปที่ 80 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 176

รูปที่ 81 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของกิจกรรมการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) 178

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เด็กอ้วน หมายถึงเด็กที่มีภาวะโภชนาการเกินหรือภาวะอ้วน ซึ่งสามารถประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี หากค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. ถือว่าอ้วน (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2542) (ภาคผนวก ข) จากการสำรวจขององค์การอนามัยโลก ในปีค.ศ. 2013 พบว่า ในศตวรรษที่ 21 เด็กอ้วนมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว พบเด็กมีภาวะอ้วนมากกว่า 42 ล้านคนจากประชากรเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปีทั่วโลก (World Health Organization, 2015) สำหรับในประเทศไทยจากการสำรวจของกระทรวงสาธารณสุข ในปีพ.ศ.2555 พบว่า ประมาณร้อยละ 14.5 ของเด็กไทยมีรูปร่างอ้วน (กระทรวงสาธารณสุข, 2557) ภาวะเด็กอ้วนที่สูงนี้ถือเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของประชากรในยุคปัจจุบัน และมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน เนื่องจากเด็กที่มีภาวะน้ำหนักเกินหรือภาวะอ้วน จะมีแนวโน้มนำไปสู่ภาวะอ้วนในวัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่ (Frontini et al., 2003; Serdula et al., 1993) ภาวะอ้วนในวัยเด็กนั้นเกี่ยวข้องอย่างมากกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรและความพิการในวัยผู้ใหญ่ จากการสำรวจขององค์การอนามัยโลก พบว่าประชากรอย่างน้อย 2.6 ล้านคนทั่วโลกเสียชีวิตจากภาวะน้ำหนักเกินและภาวะอ้วนในแต่ละปี (World Health Organization, 2015) และภาวะอ้วนยังเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ (Noncommunicable diseases) เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน (Diabetes) โรคความดันโลหิตสูง (Hypertension) และโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดต่างๆ (Vascular disease) (McGill et al., 2002; World Health Organization, 2015) ซึ่งโรคไม่ติดต่อเรื้อรังดังกล่าว มักมีเหตุพื้นฐานมาจากการสูญเสียหน้าที่ของเซลล์บุผนังหลอดเลือด (Endothelial dysfunction) (Bray, 2004)

เซลล์บุผนังหลอดเลือด หรือเอนโดทีเลียมเซลล์ (Endothelium cell) คือเซลล์ที่อยู่บริเวณชั้นในสุดของหลอดเลือด ทำหน้าที่รักษาความสมดุลย์ของหลอดเลือด ควบคุมการหดตัวและขยายตัวของหลอดเลือด (Vasoconstriction and vasodilation) ประสานกับเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ ควบคุมกระบวนการแข็งตัวของเลือด เป็นตัวกั้น (Barrier) ระหว่างเลือดกับเซลล์ เป็นเซลล์เป้าหมาย (Target cells) สำหรับการตอบสนองของฮอร์โมนต่างๆ ต้านการอักเสบในหลอดเลือด (Inflammation) และช่วยในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Immune system) ซึ่งการทำงานที่ผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของหลอดเลือดหัวใจและสามารถพัฒนากลายเป็นโรคหลอด

เลือดหัวใจได้ เหตุสำคัญที่ทำให้เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดทำงานผิดปกติในคนอ้วนนั้น มาจากน้ำตาลและไขมันในร่างกายที่มากเกินไป และการทำงานที่ผิดปกติของระบบเผาผลาญ (Finkelstein et al., 2012) ที่ผ่านมามีงานวิจัยจำนวนหนึ่ง พบว่า ภาวะอ้วนในวัยเด็กยังเป็นต้นเหตุของการเกิดความผิดปกติของโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด (Short et al., 2009) เช่น ผนังหลอดเลือดมีความหนาเพิ่มขึ้น (Elkiran et al., 2013) และมีความสามารถในการขยายและหดตัวของหลอดเลือดลดลง (Davison et al., 2010; Woo et al., 2004b) ในปีค.ศ. 2008 อังกวนและคณะ (Aggoun et al., 2008) พบว่าในเด็กอ้วนจะมีการตอบสนองของหลอดเลือดจากการกระตุ้นด้วยการไหลของเลือด (Flow-mediate dilation; FMD) น้อยกว่าเด็กที่มีน้ำหนักตัวปกติ แสดงให้เห็นว่าหลอดเลือดเริ่มมีการสูญเสียการทำงานในเด็กอ้วน ต่อมาในปีค.ศ. 2009 ช๊อตและคณะ (Short et al., 2009) ได้รายงานว่าในเด็กอ้วนจะพบการอักเสบและระยะเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือด อันส่งผลให้เกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดในวัยผู้ใหญ่ สำหรับความเสี่ยงในการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังในวัยผู้ใหญ่นั้น สามารถเพิ่มสูงขึ้นได้ หากอ้วนตั้งแต่วัยเด็ก (World Health Organization, 2015) ดังนั้นภาวะอ้วนจึงควรได้รับการดูแลที่ถูกต้องตั้งแต่วัยเด็ก ซึ่งจะส่งผลให้ความเสี่ยงของการเกิดโรคอ้วนและโรคอื่นๆในวัยผู้ใหญ่ลดลงไปด้วย

ภาวะอ้วนมักจะมีสาเหตุหลักมาจากความไม่สมดุลย์ระหว่างพลังงานที่ได้รับ (Energy intake) และการใช้พลังงานของร่างกาย (Energy expenditure) (American College of Sports medicine, 2012; Bleich et al., 2011) ซึ่งด้วยวิถีชีวิตของเด็กในปัจจุบัน ทำให้เด็กส่วนใหญ่มีการบริโภคที่ไม่เหมาะสม เช่น รับประทานอาหารที่ให้พลังงานสูงมากเกินไป หรือรับประทานอาหารที่มีปริมาณของน้ำตาลและไขมันมาก อีกทั้งยังมีกิจกรรมทางกายที่ลดลง จากการที่เด็กมีการเรียนพิเศษเพิ่มมากขึ้น เทคโนโลยีทำให้เด็กติดเกมมากขึ้น และการลดชั่วโมงวิชาพลศึกษาในโรงเรียน ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุที่ทำให้เด็กในยุคสมัยนี้มีภาวะอ้วนหรือน้ำหนักเกินได้ง่าย (World Health Organization, 2015) ที่ผ่านมามีงานวิจัยในต่างประเทศที่รายงานถึงผลดีและประโยชน์ของการควบคุมอาหาร และการออกกำลังกายในเด็กที่เป็นโรคอ้วน เพื่อควบคุมน้ำหนัก และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของหลอดเลือดที่เริ่มจะมีความผิดปกติในวัยเด็ก ในช่วงแรกงานของงานวิจัยจะเน้นไปที่การควบคุมอาหารกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ซึ่งการทำกิจกรรมทั้งสองอย่างควบคู่กันไปจะได้ผลที่ดีกว่าในการเพิ่มประสิทธิภาพในการไหลเวียนโลหิต เพิ่มความยืดหยุ่นของหลอดเลือด และลดความหนาของผนังหลอดเลือด อีกทั้งยังลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดอีกด้วย (Ribeiro et al., 2005; Woo et al., 2004a) ต่อมามีรายงานการวิจัยที่ศึกษาถึงผลของการออกกำลังกายรูปแบบต่างๆที่มีผลดีต่อเด็กอ้วน อาทิเช่น การใช้เกมกีฬาสลับกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Watts et al., 2004) การใช้เกมเต้นแทนการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Murphy et al., 2009) การออกกำลังกายแบบผสมผสานระหว่างแอโรบิกกับใช้แรงต้าน (Farpour-Lambert et al., 2009; Park et

al., 2012) ซึ่งพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ได้ออกกำลังกายแล้วนั้นทุกกิจกรรมให้ผลดีกว่าในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานและโครงสร้างของหลอดเลือดและทำให้เด็กอ้วนมีสุขภาพที่ดีขึ้น ในปีค.ศ.2012 ปาร์คและคณะ (Park et al., 2012) ได้ศึกษาการออกกำลังกายแบบแอโรบิกแบบต่อเนื่องผสมกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านเพื่อศึกษาการพัฒนาของหลอดเลือดในเด็กที่มีภาวะน้ำหนักเกิน โดยใช้การวิ่งบนลู่กลแล้วจึงออกกำลังกายโดยการเคลื่อนไหวแบบสถานี ซึ่งใช้เวลาในการออกกำลังกายรวมทั้งสิ้น 80 นาที พบว่า ภายหลังจากออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ความหนาของผนังหลอดเลือด (Carotid intima-media) ลดลง อย่างไรก็ตามการออกกำลังกายแอโรบิกที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายค่อนข้างนาน อาจส่งผลให้เด็กเบื่อและหมดความสนใจในการออกกำลังกายได้ (Crisp et al., 2012b) ผู้วิจัยจึงสนใจที่ศึกษารูปแบบการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลาน้อยและได้ประสิทธิผลเท่ากันหรือดีกว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกแบบต่อเนื่องที่ใช้เวลานาน จากการค้นคว้าพบว่ามีหลากหลายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval training) ให้ผลต่อการทำงานของหลอดเลือดดีกว่าหรือเทียบเท่ากับการออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่อง (Freyssin et al., 2012; Tjonna et al., 2008; Wisloff et al., 2007)

การออกกำลังกายแบบสลับช่วง หมายถึงการออกกำลังกายที่มีช่วงสลับระหว่างช่วงที่ออกกำลังกายหนักกับช่วงที่ออกกำลังกายเบาหรือหยุดพัก ด้วยการที่มีช่วงออกกำลังกายเบาหรือหยุดพักจึงทำให้สามารถเพิ่มความหนักในการออกกำลังกายได้สูงขึ้น และได้มีผู้ทำการศึกษาถึงผลดีของความหนักในการออกกำลังกาย พบว่า การออกกำลังกายที่ความหนักมากกว่า ส่งผลต่อการเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) หลังจากออกกำลังกายและยังเพิ่มการใช้พลังงานได้มากกว่า (Hunter et al., 1998; Yoshioka et al., 2001) งานวิจัยเกี่ยวกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ผ่านมามักทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายสลับช่วงที่ความหนักสูง (High intensity interval training: HIIT) โดยจะควบคุมช่วงออกกำลังอยู่ที่ความหนักประมาณ 85-90% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดสลับกับการพัก (Fisher et al., 2004; Little et al., 2011; Talanian et al., 2007) พบว่า สามารถเพิ่มการเผาผลาญไขมัน เพิ่มการใช้ออกซิเจนสูงสุดในการออกกำลังกายได้ (Talanian et al., 2007) แต่ยังใช้เวลาในการออกกำลังกายใกล้เคียงกับแอโรบิกแบบต่อเนื่อง ต่อมาจึงมีการลดระยะเวลาในช่วงออกกำลังกายและช่วงฟื้นฟูลงและเพิ่มรอบของการสลับแทน เช่น ปั่นจักรยานที่ความเร็ว 90%ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด 60 วินาที หลังจากนั้นพัก 60 วินาที ทำสลับกัน 10 รอบ พบว่า สามารถเพิ่มการอัตราการเผาผลาญได้ในคนที่เป็นโรคเบาหวานประเภทที่ 2 (Little et al., 2011) การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงนี้ ได้ผลดีเป็นอย่างมากในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายและการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต (Tjonna et al., 2008; Trilk et al., 2011; Wisloff et al., 2007) อีกทั้งการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงด้วยลู่วิ่งไฟฟ้าและจักรยานไม่เป็นอันตรายสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจหลังจากได้ทำการผ่าตัดบายพาส (Freyssin et al., 2012; Wisloff et

al., 2007) และผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Little et al., 2011) จากแนวคิดที่ว่าความหนักในการออกกำลังกายที่สูงกว่าส่งผลต่อระบบต่างๆได้มากกว่า จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supra-High intensity interval training: Supra-HIIT) คือใช้ความหนักของการออกกำลังกายที่ระดับมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Burgomaster et al., 2008; Crisp et al., 2012a; Tabata et al., 1996) ส่วนใหญ่ใช้ความสามารถในการวิ่งหรือปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุด (Sprint) โดยลดช่วงเวลาในการออกกำลังกายลงเหลือเพียง 4-60 วินาที ใช้เวลาในการหยุดพัก 10-120 วินาที และทำ 6-10 รอบ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเผาผลาญพลังงานของกล้ามเนื้อในทางที่ดี ผลตรวจทางคลินิกของคนที่เป็นโรคอ้วนดีขึ้น เพิ่มความสามารถของกล้ามเนื้อ เพิ่มอัตราการเผาผลาญขณะพัก เพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมันสูงสุด เพิ่มสมรรถภาพทางกาย และส่งผลดีเป็นอย่างมากต่อระบบหลอดเลือดหัวใจและการไหลเวียนโลหิตในบุคคลที่มีภาวะอ้วน (Burgomaster et al., 2008; Nie et al., 2012) นอกจากนี้มีผู้รายงานถึงผลดีของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงด้วยจักรยานที่มีความหนักสูงมากซึ่งใช้ความหนักของการออกกำลังกายสูงสุดถึง 170%Vo_2max และใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อย แต่สามารถเพิ่มการใช้พลังงานสูงสุดและเพิ่มการเผาผลาญได้ในกลุ่มวัยรุ่นชาย (Tabata et al., 1996)

เด็กควรจะมีกิจกรรมทางกายระดับปานกลางไปจนถึงหนักมาก เพื่อที่จะควบคุมน้ำหนัก และโดยต้องมีการเพิ่มความสนุกสนานให้กับการออกกำลังกาย (Centers for Disease Control and Prevention, 2011) วิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (American College of Sports Medicine; ACSM) ได้ระบุไว้ว่าโปรแกรมการออกกำลังกายสำหรับเด็ก ควรที่จะต้องมีความเหมาะสมกับวัย ความสนุกสนานและความปลอดภัย (American College of Sports Medicine, 2014) จากการที่การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากให้ผลเช่นเดียวกับการออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่องในด้านการเผาผลาญไขมัน จึงได้มีการนำการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากมาใช้เป็นโปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อควบคุมน้ำหนัก และพัฒนาสุขภาพในเด็กผู้ชายที่มีภาวะน้ำหนักเกิน โดยในปีค.ศ.2012 คริสป์และคณะ (Crisp et al., 2012a) ได้เปรียบเทียบผลของการปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ความหนักที่เผาผลาญไขมันได้สูงสุด (Continuous cycling at fat_{max}) กับการเพิ่มการปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดแบบสลับช่วงระหว่างการปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ความหนักที่เผาผลาญไขมันได้สูงสุด (Sprint interval exercise consist of continuous cycling at fat_{max}) โดยจะปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดนาน 4 วินาที สลับกับการปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ความหนักที่เผาผลาญไขมันได้สูงสุด 2 นาที ระยะเวลาในการออกกำลังกายทั้ง

2 กลุ่ม เท่ากันคือ 30 นาที ในเด็กชายอายุ 8-12 ปี พบว่า การเพิ่มการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากใช้พลังงานในการออกกำลังกายมากกว่า โดยที่อัตราการเผาผลาญไขมันไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่อง และเด็กชื่นชอบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากมากกว่าการออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่องที่ใช้ระยะเวลายาวนานกว่า

จากที่กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นได้ว่ารูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงและสูงมากมีประโยชน์สำหรับการเพิ่มสมรรถภาพทางกายและการเผาผลาญพลังงาน ใช้ระยะเวลาสั้นไม่ทำให้เด็กเบื่อ และก่อให้เกิดความสนุกสนาน แต่ยังไม่มีผู้ใดทำการศึกษาเปรียบเทียบการออกกำลังกายดังกล่าว ว่าควรมีความหนักสูงเท่าไรและอย่างไรจึงจะมีผลต่อการเผาผลาญพลังงานและการทำงานของหลอดเลือดที่ชัดเจนในเด็กอ้วน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (High intensity interval training) กับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก (Supra-high intensity interval training) มาใช้ในการควบคุมองค์ประกอบของร่างกายและพัฒนาสมรรถภาพของหัวใจและหลอดเลือดสำหรับเด็กที่มีภาวะอ้วน โดยคาดว่าการออกกำลังกายทั้งสองแบบจะส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการเผาผลาญขณะพัก อัตราการเผาผลาญไขมัน ควบคุมน้ำหนัก ช่วยส่งเสริมให้เด็กอ้วนมีสุขสมรรถนะที่ดี และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของหลอดเลือดได้ ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้เด็กอ้วนได้ออกกำลังกายอย่างมีประสิทธิภาพต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้ประโยชน์จากการออกกำลังกายที่ยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 การศึกษา โดยวัตถุประสงค์ของแต่ละการศึกษา ดังนี้

การศึกษาที่ 1

เพื่อเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

การศึกษาที่ 2

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

วัตถุประสงค์รอง

เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีในเลือด และสุขสมรรถนะในเด็กอ้วน

คำถามของการวิจัย

การศึกษาที่ 1

การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันส่งผลฉับพลันต่อการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

การศึกษาที่ 2

1. การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากส่งผลต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
2. การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากส่งผลต่อองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีในเลือด และสุขสมรรถนะในเด็กอ้วนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

สมมติฐานของการวิจัย

การศึกษาที่ 1

การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันส่งผลฉับพลันต่อการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วนแตกต่างกัน

การศึกษาที่ 2

1. การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากส่งผลต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วนแตกต่างกัน
2. การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากส่งผลต่อองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีในเลือด และสุขสมรรถนะในเด็กอ้วนแตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอาสาสมัครเด็กชาย อายุระหว่าง 8-12 ปี (Crisp et al., 2012a) ที่มีน้ำหนักปกติและมีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี หากค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มอ้วน แต่ถ้าค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) น้อยกว่า +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มน้ำหนักปกติ (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2542) (ภาคผนวก ข) แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้
    1. กลุ่มทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มน้ำหนักปกติ
    2. กลุ่มทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มอ้วน
2. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรต้น (Independent variables) เป็นความหนักของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ที่ให้กับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนัก 100, 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100, 130 and 170% VO_2peak)

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) ประกอบด้วย

2.2.1 ตัวแปรทางสรีรวิทยา (Physiological variables) ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI) ไขมัน สัดส่วนเอว-สะโพก (Waist-hip ratio) อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Resting heart rate: RHR) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) ขณะพัก และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ขณะพัก

2.2.2 ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน (Energy expenditure) ได้แก่ การใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย (Energy expenditure during exercise) สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกาย (VO_2peak during exercise) และอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย (Peak heart rate during exercise)

2.2.3 ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด (Vascular function) ได้แก่ การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediate dilation: FMD) ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media Thickness: IMT) บริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV)

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอาสาสมัครเด็กชาย อายุระหว่าง 8-12 ปี (Crisp et al., 2012a) ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี โดยมีค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score)

มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. ถือว่าอ้วน (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2542) (ภาคผนวก ข) แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม

1. กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุมที่เป็นกลุ่มที่ดำเนินชีวิตตามปกติ ไม่ได้รับโปรแกรมการออกกำลังกาย แต่ได้รับคำแนะนำเรื่องกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหารในระหว่างที่เข้าร่วมวิจัย

2. กลุ่มทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง [90 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (90% VO_2peak)]

3. กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก [170 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak)]

กลุ่มทดลองที่ 2 และ 3 ออกกำลังกาย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ รวมออกกำลังกายทั้งสิ้น 36 ครั้ง

2. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรต้น (Independent variables) เป็นการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (90% VO_2peak) และการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak)

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) ประกอบด้วย

2.2.1 ตัวแปรทางสรีรวิทยา (Physiological variables) ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI) และองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ได้แก่ ไขมัน และมวลกล้ามเนื้อ (Muscle mass) รอบเอว รอบสะโพก สัดส่วนเอว-สะโพก (Waist-hip ratio) อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Resting heart rate: RHR) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ขณะพัก

2.2.2 ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน (Energy expenditure) ได้แก่ การใช้พลังงานขณะพัก (Resting metabolic rate) การเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) และการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate oxidation)

2.2.3 ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด (Vascular function) ได้แก่ การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediate dilation: FMD) ความหนาของ

ผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT) บริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV)

2.2.4 ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลในเลือด (Fasting blood sugar) คอเลสเตอรอล (Cholesterol) ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (High density lipoprotein: HDL) โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein: LDL) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) เลปติน (Leptin) อะดิโพเนคติน (Adiponectin) ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) รีแอคทีพออกซิเจนสปีชีร์ อินดิเคเตอร์; มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ROS indicator: malondialdehyde: MDA) และครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase)

2.2.5 ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ (Physical fitness variables) ได้แก่ ความอดทนของระบบหัวใจและการหายใจ (Cardiorespiratory endurance) ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular strength and endurance) และความอ่อนตัว (Flexibility)

2.2.6 ตัวแปรในการประเมินกิจกรรมทางกายในชีวิตประจำวัน ได้แก่ จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)

2.2.7 ตัวแปรในการประเมินการรับประทานอาหารในชีวิตประจำวัน ได้แก่ คะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี

2.2.8 ตัวแปรในการประเมินความสนุกสนานของกิจกรรมการออกกำลังกาย ได้แก่ คะแนนความคิดเห็นของกิจกรรมการออกกำลังกาย

คำจำกัดความของการวิจัย

เด็กอ้วน หมายถึง เด็กอายุระหว่าง 8-12 ปี (ก่อนวัยเจริญพันธุ์) (Crisp et al., 2012a) ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี โดยมีค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D.

การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval training) หมายถึง การฝึกออกกำลังกายที่มีช่วงสลับระหว่างช่วงที่ออกกำลังกายหนักกับช่วงที่ออกกำลังกายเบาหรือหยุดพัก

การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High intensity interval training: HIIT) หมายถึง การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักในการออกกำลังกายน้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (<100% VO_2peak) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (90% VO_2peak) สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วน 2 :1 คือ ปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 1 นาที ทำทั้งหมด 8 รอบ เป็นเวลา 24 นาที (Gibala et al., 2012; Tjonna et al., 2008)

การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supra-high intensity interval training: Supra-HIIT) หมายถึง การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักในการออกกำลังกายเท่ากับหรือมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (≥100% VO_2peak) (Crisp et al., 2012b; Trilk et al., 2011) เท่ากับหรือมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าพลังสูงสุด (100% $Power_{peak}$) (Barker et al., 2014) หรือความเร็วสูงสุด (Maximum speed/ sprint) (Racil et al., 2013) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100, 130 and 170% VO_2peak) สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วน 2 :1 คือ ปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 วินาที สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ เป็นเวลา 4 นาที

การทำงานของหลอดเลือด หมายถึง ความสามารถในการทำงานของหลอดเลือด เพื่อตอบสนองการกระตุ้นทางด้านสรีรวิทยา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลเวียนเลือด และโครงสร้างของหลอดเลือด การตอบสนองของหลอดเลือด เกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ หลอดเลือดหดตัว (Vasoconstriction) และหลอดเลือดขยายตัว (Vasodilation) สำหรับงานวิจัยนี้ประเมินการทำงานของหลอดเลือด ด้วยวิธีการวัดการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation: FMD) และวัดคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) และประเมินโครงสร้างของหลอดเลือด ด้วยวิธีการวัดความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน (Intima-media thickness: IMT)

การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation: FMD) หมายถึง การขยายตัวสูงสุดของหลอดเลือดในช่วงที่หลอดเลือดคลายตัว (Diastolic) หลังการปิดกั้นการไหลของเลือด ด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound) บริเวณหลอดเลือดข้อพับแขนด้านหน้า (Brachial artery) (Corretti et al., 2002; Devan et al., 2011; Mitranun et al., 2014)

คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) หมายถึง เวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด (Brachial-ankle time delay) ที่หลอดเลือดบริเวณต้นแขน (Brachial artery) และหลอดเลือดบริเวณข้อเท้า (Posterior tibial artery) ต่อความยาวของทั้ง 2 จุด ด้วยเครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) เพื่อตรวจวัดความยืดหยุ่นของเส้นเลือดแดง หรือการแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness) (Sugawara et al., 2005)

ความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน (Intima-media thickness: IMT) หมายถึง ความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นในทั้งด้านใกล้และไกล (Near and far wall) บริเวณลำคอ (Carotid artery wall) ด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound) (Meyer et al., 2006)

การใช้พลังงาน หมายถึง ความสามารถในการเผาผลาญพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) โปรตีน (Protein) และไขมัน (Fat) ของร่างกาย เพื่อใช้ในการทำงานของระบบต่างๆในร่างกาย เจริญเติบโตและซ่อมแซมร่างกาย และใช้เป็นพลังงานในการเคลื่อนไหวเพื่อทำกิจกรรมทางกายต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) การใช้พลังงานขณะพัก (Resting metabolic rate) ปริมาณการเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) และคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate oxidation) (American College of Sports Medicine, 2012; Kamen, 2001; นัยนา บุญทวียุวัฒน์, 2546; พัชรา วีระกะลัส, 2549)

องค์ประกอบของร่างกาย หมายถึง น้ำหนักของร่างกาย ไขมัน (Percent of fat) และมวลกล้ามเนื้อ (Muscle mass) ทดสอบได้โดยวิธีไบโออิเล็กทริคอลอิมพิแดนซ์อนาไลซิส (Bioelectrical Impedance Analysis: BIA) โดยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (BIA analyzer)

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงการตอบสนองของการทำงานหลอดเลือดต่อการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากแบบฉับพลันในเด็ก

2. ทำให้ทราบถึงการตอบสนองที่แตกต่างกันของการทำงานหลอดเลือดต่อการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันแบบฉับพลันในเด็ก

3. ทำให้ทราบถึงการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายที่แตกต่างกันต่อการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันในเด็ก

4. ทำให้ทราบถึงผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

5. ทำให้ทราบถึงผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีในเลือด และสุขสมรรถนะในเด็กอ้วน

6. เกิดองค์ความรู้ใหม่ในประเด็นผลดีของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากต่อการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

7. เกิดองค์ความรู้ใหม่ในประเด็นทางเลือกของการออกกำลังกายสำหรับเด็กอ้วนที่ได้ประสิทธิผล

8. เป็นแนวทางในการสร้างเสริมสุขภาพด้วยการออกกำลังกายในเด็กอ้วน ให้มีสุขภาพกายที่แข็งแรง และส่งเสริมให้มีคุณภาพชีวิตดีขึ้น

9. ได้ฐานข้อมูลสำหรับการศึกษาเรื่องการออกกำลังกายในเด็กอ้วนเพื่อศึกษาต่อยอดให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้นต่อไป

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน โดยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง สรุปเป็นเนื้อหาสาระสำคัญใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย มีหัวข้อสำคัญดังนี้

- เด็กอ้วน
  - ความหมาย
  - ภาวะอ้วนในเด็ก
  - สาเหตุของภาวะอ้วนในเด็ก
  - ผลของการเกิดภาวะอ้วนในเด็ก
  - แนวทางการแก้ไขภาวะอ้วนในเด็ก
- เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด
  - หน้าที่ของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด
  - สารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหลอดเลือด
  - วิธีการประเมินการทำงานของหลอดเลือด
- การเผาผลาญพลังงานปัจจัยที่มีผลต่อการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย
  - การเผาผลาญคาร์โบไอเดรต
  - การเผาผลาญไขมัน
- การออกกำลังกาย
  - ความหมายของการออกกำลังกาย
  - ประโยชน์ของการออกกำลังกาย
  - หลักการออกกำลังกายในเด็ก

- หลักการออกกำลังกายในผู้ที่มีภาวะอ้วนและน้ำหนักเกิน
- รูปแบบการออกกำลังกาย
- สมรรถภาพทางกาย

- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- กรอบแนวคิดในการวิจัย

เด็กอ้วน

ความหมายของเด็ก

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 ได้ให้ความหมายว่า เด็ก คือ บุคคลที่มีอายุเกิน 7 แต่ยังไม่เกิน 14 ปีบริบูรณ์ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2542) องค์การสหประชาชาติ ได้ให้ความหมายว่า เด็ก คือ บุคคลที่มีอายุต่ำกว่า 18 ปี (UNICEF, 2007) และองค์การอนามัยโลกได้ให้ความหมายไว้ว่า เด็ก คือ บุคคลที่มีช่วงวัยอยู่ระหว่างวัยทารกและวัยรุ่น (วัยเจริญพันธ์) (World Health Organization, 2014)

ภาวะอ้วนในเด็ก

เกณฑ์การจำแนกประเภทของน้ำหนักตัวในเด็ก

ประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิง น้ำหนัก ส่วนสูง และเครื่องชี้วัดภาวะโภชนาการของประชาชนไทย อายุ 2 วัน - 19 ปี ของกรมอนามัย หากค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มอ้วน แต่ถ้าค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) น้อยกว่า +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มน้ำหนักปกติ โดยเพศชายและเพศหญิงจะใช้เกณฑ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2542) (ภาคผนวก ข)

เด็กอ้วนแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ

1. ค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. เป็นโรคอ้วนระดับ 1

2. ค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +3 S.D เป็นโรคอ้วนระดับ 2

สถานการณ์เด็กอ้วน

จากการสำรวจขององค์การอนามัยโลก ภาวะอ้วนในวัยเด็ก มีอัตราการเพิ่มมากขึ้น 2-3 เท่า ในระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา ตัวอย่าง เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา เด็กอายุระหว่าง 6-11 ปี มีอัตราของเด็กอ้วนเพิ่มขึ้นจาก 7 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนประชากร เป็น 18 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนประชากร ในปี 2010 และ มีเด็กและวัยรุ่นมากกว่า 1ใน 3 ของจำนวนประชากร ที่มีน้ำหนักเกินและมีภาวะอ้วน อีกทั้งในปี ค.ศ.2013 จากจำนวนประชากรเด็กที่อายุต่ำกว่า 5 ปีทั่วโลก มีภาวะอ้วนมากกว่า 42 ล้านคน (World Health Organization, 2015)

สำหรับในประเทศไทยจากการสำรวจของกระทรวงสาธารณะสุข ในปีพ.ศ. 2555 พบว่า ประมาณร้อยละ 14.5 ของเด็กไทยมีรูปร่างอ้วน ซึ่งกรมอนามัยได้สำรวจเด็กนักเรียนชั้นอนุบาลและประถมศึกษา พบว่า มีเด็กที่มีภาวะโภชนาการเกินสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (กระทรวงสาธารณสุข, 2557) ซึ่งจากการสำรวจสถานะสุขภาพประชากรไทย ใน ปี 2540 ถึง ปี 2544 พบว่า เด็กก่อนวัยเรียนอ้วนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5.8 เป็นร้อยละ 7.9 หรือเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ36 ส่วนเด็กวัยเรียนอายุ 6-13 ปี อ้วนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5.8 เป็นร้อยละ 6.7 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.5 (กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2547) มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยได้ร่วมกันวิเคราะห์ข้อมูลน้ำหนักและส่วนสูงของเด็กชั้นประถมศึกษา 6 จำนวน 47,389 คน ในโรงเรียนประถมศึกษาในเขตเมืองทั่วประเทศจำนวน 268 โรงเรียน ในปี 2548 พบว่า มีเด็กอ้วนร้อยละ 12 เด็กท้วมร้อยละ 5 บางโรงเรียนในภาคกลางมีเด็กอ้วนถึงร้อยละ 25 อีกทั้งผลการสำรวจภาวะโภชนาการของเด็กไทยในวัยเรียน ปี 2552 พบว่า เด็กอายุ 6-14 ปีในเขตเมืองพบภาวะอ้วนร้อยละ 9.5 เยาวชนในเขตเมืองอายุ 15-18 ปี พบภาวะอ้วนร้อยละ 17.7 (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2553)

สาเหตุของภาวะอ้วนในเด็ก (Centers for Disease Control and Prevention, 2011)

การเกิดภาวะอ้วนในเด็ก มีสาเหตุทั้งปัจจัยภายในและภายนอกร่างกาย ดังนี้

1. พันธุกรรม (Genetic) พ่อหรือแม่คนใดคนหนึ่งที่มีภาวะน้ำหนักเกินหรือเป็นโรคอ้วนจะส่งผลให้ลูกเป็นเด็กอ้วนถึงร้อยละ 40 แต่ถ้าหากทั้งพ่อและแม่ มีภาวะน้ำหนักเกินหรือเป็นโรคอ้วน

ทั้งคู่ ลูกจะมีโอกาสเป็นเด็กอ้วนสูงถึงร้อยละ 80 ไม่เพียงแต่พันธุกรรมเท่านั้น สภาพแวดล้อม การดำเนินชีวิต และการเลี้ยงดูยังส่งผลต่อต่อการอ้วนของเด็กอีกด้วย

2. อัตราการเผาผลาญ (Metabolic rate) ความสมดุลย์ระหว่างการใช้พลังงาน การลดลงของการเผาผลาญ

3. กิจกรรมทางกายน้อย ผู้ที่มีกิจกรรมทางกายน้อย มีความเสี่ยงที่จะเป็นโรคอ้วนมากกว่าผู้ที่มีกิจกรรมทางกายมาก ถึงแม้ว่าผู้ที่มีกิจกรรมทางกายมากมีสัดส่วนการรับพลังงานมากกว่าก็ตาม

4. ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม การเลี้ยงดูของครอบครัว ระยะเวลาในการดูโทรทัศน์ที่เพิ่มขึ้น

5. การบริโภค การบริโภคอาหารที่มากจนเกินไป หรือไม่สมดุลย์กับพลังงานที่ใช้ออกไปในแต่ละวัน เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เป็นโรคอ้วนในปัจจุบัน

ผลของการเกิดภาวะอ้วนในเด็ก (Avogaro & de Kreutzenberg, 2005; Centers for Disease Control and Prevention, 2011; Meyer et al., 2006; Short et al., 2009)

1. เสียชีวิตก่อนวัยอันควร อันเกิดมาจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ ในวัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่

2. มีระดับไขมันในเลือดสูงเกินปกติ ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็ง (Atherosclerosis) และโรคความดันโลหิตสูง (Hypertension) ซึ่งเป็นปัจจัยที่เพิ่มโอกาสการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Cardiovascular disease)

3. เกิดภาวะดื้อต่ออินซูลิน (Insulin resistant) ส่งผลให้เซลล์ต่างๆในร่างกายไม่สามารถนำน้ำตาลกลูโคสเข้าสู่เซลล์ได้ จึงมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเลือดมากเกินปกติ ซึ่งเป็นปัจจัยที่เพิ่มโอกาสการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 Diabetes Mellitus)

4. เกิดความผิดปกติของการหายใจและการนอนหลับ ทางเดินหายใจอาจถูกอุดกั้นในขณะนอนหลับ (Obstructive sleep apnea) ได้ง่าย โดยเด็กที่เป็นโรคนี้มักจะนอนกรน หรือหยุดหายใจขณะหลับ

5. น้ำหนักตัวที่มากเกินปกติ และการพัฒนาของกระดูกโครงร่างยังไม่พัฒนาอย่างเต็มที่ส่งผลให้มีโอกาสเกิดความผิดปกติของกระดูกและข้อ เช่น กระดูกขาโก่ง เป็นต้น

6. เกิดความผิดปกติของตับและท่อน้ำดี ส่งผลให้เกิดนิ่วในถุงน้ำดี ร่วมกับภาวะเม็ดเลือดแดงแตกเรื้อรัง และมีไขมันสะสมในตับมากขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่เพิ่มโอกาสเกิดโรคไขมันพอกตับ (Hepatic steatohepatitis)

7. มีความผิดปกติด้านจิตใจและสังคมอันเกิดมาจากโรคอ้วน ทำให้แยกตัวจากเพื่อน ขาดความมั่นใจ ภาวะซึมเศร้า มีปัญหากับสมาชิกในครอบครัว ผลการเรียนไม่ดี เป็นต้น

แนวทางการแก้ไขภาวะอ้วนในเด็ก (American College of Sports Medicine, 2012, 2014)

1. ให้ความรู้ด้านโภชนาการแก่คนที่เป็นโรคอ้วน ได้ทราบถึงวิธีการและอาหารที่เหมาะสมต่อการลดน้ำหนัก เช่น ควรรับประทานอาหารให้ครบทุกมื้อ ไม่ควรอดอาหาร เพราะจะทำให้ร่างกายลดอัตราการเผาผลาญลง ส่งผลให้การลดน้ำหนักไม่ได้ผลเท่าที่ควรและมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักที่เร็ว หรือแนะนำให้รับประทานอาหารที่มีปริมาณของไขมัน น้ำตาล และเกลือในปริมาณที่ต่ำ เพื่อลดปริมาณพลังงานที่ร่างกายได้รับ เป็นต้น

2. การควบคุมการรับประทานอาหาร พฤติกรรมการรับประทานอาหารมีอิทธิพลมาจากร่างกาย สิ่งแวดล้อม และสภาวะทางอารมณ์เป็นหลัก ฉะนั้นการที่เราจะควบคุมการรับประทานอาหารได้นั้น เราจะต้องทราบถึงสาเหตุของการรับประทานมากเกินกว่าความต้องการเสียก่อน และแก้ไขที่ต้นเหตุนั้นๆ จึงจะเป็นการลดน้ำหนักที่เหมาะสมและถาวร ในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการรับประทานนั้น ในบางครั้งผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักอาจจะต้องการการสนับสนุนหรือแรงกระตุ้นจากบุคคลรอบข้าง เช่น คนในครอบครัว เพื่อน หรือนักโภชนาการเป็นต้น เพื่อให้ผลดีในการลดน้ำหนัก

3. การออกกำลังกาย การออกกำลังกายที่เหมาะสมควบคู่กับการควบคุมอาหาร เป็นการลดน้ำหนักที่เหมาะสมและยั่งยืนที่สุด เนื่องจากการออกกำลังกายเป็นการเพิ่มการทำงานงานของกล้ามเนื้อและระบบต่างๆภายในร่างกาย ทำให้อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกยังเป็นการออกกำลังกายที่ร่างกายดึงเอาพลังงานจากไขมันออกมาใช้ได้มากอีกด้วย

เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด

เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดหรือเซลล์เอนโดทีเลียม (Endothelium) คือเซลล์ที่อยู่บริเวณชั้นในสุดของหลอดเลือด เป็น สความัสเซลล์ (Squamous cell) รูปร่างคล้ายภูเขา มีความหนา 0.2-0.4 ไมโครเมตร มีลักษณะเป็นเซลล์ชั้นเดียวเรียงต่อกันเป็นแถว (Monolayer) อยู่บนเยื่อหุ้ม (Basement membrane) ด้านบนของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ หลอดเลือดชนิดต่างกันจะมีโครงสร้างของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดต่างกัน ในสภาวะปกติเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดจะไม่มีการแบ่งตัว แต่จะสามารถแบ่งตัวเพื่อทดแทนเซลล์ที่หมดอายุหรือหลุดลอกออกไปได้ เซลล์ที่แบ่งตัวทดแทนจะเกิดจากการ

แบ่งตัวของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดข้างเคียง และเซลล์ชนิดอื่นๆ เช่น เซลล์ที่ยังไม่พัฒนาไปทำหน้าที่เฉพาะ (Undifferentiated cell) ในชั้นล่างของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด ไฟโบรบลาสต์ (Fibroblast) เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle cell) และ เซลล์เม็ดเลือดในระบบไหลเวียน (Circulating blood cell) เป็นต้น (Caterina & Libby, 2007; พัชรินทร์ เทพอารีนันท์, 2555; ศุภชัย ไชยธีระพันธ์ และสมชาย เอี่ยมอ่อง, 2540)

หน้าที่ของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด

1. ทำงานประสานกับเซลล์กล้ามเนื้อเรียบโดยทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณจากสิ่งเร้าต่างๆ แล้วแปลผลและส่งสัญญาณที่แปลผลแล้วกลับมายังเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ

2. มีหน้าที่รักษาความสมดุลย์ของหลอดเลือด ควบคุมการหดตัวและขยายตัวของหลอดเลือด (Vasoconstriction and vasodilation) โดยทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเกล็ดเลือด เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ เม็ดเลือดขาวโมโนไซต์ และแมคโครฟาจ เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดจะรักษาสมดุลย์โดยการควบคุมการสร้างสารกระตุ้นการหดตัวของหลอดเลือด ได้แก่ สารก่อการแข็งตัวของหลอดเลือด (Pro-thombotic and pro-atherogenic) และ สารก่อการอักเสบ (Pro-inflammatory) เช่น ซีแลคติน (Selectins) อินเตอร์เซลลูลาร์ เอ็ดฮีชั่น โมเลกุล วัน (Intercellular adhesion molecule-1: ICAM-1) วาสคูลาร์ เซลล์ เอ็ดฮีชั่น โมเลกุล วัน (Vascular cell adhesion molecule-1: VCAM-1) อินเตอร์ลิวคิน เอ็ท (Interleukin-8: IL-8) โมโนไซต์ เคโมเอ็ท แทรกแตนท์ โปรตีน วัน (Monocyte chemoattractant protein-1: MCP-1) เพลทเล็ท แอคติเวตติ้ง แฟคเตอร์ (Platelet-activating factor: PAF) เอ็นโดทีลิน วัน (Endothelin-1: ET-1) แองจิโอเท็นซิน ทู (AngiotensinII: AngII) ทรอมบิน แอคทิเวทเทเบิล ไฟบริโนไลซิส อินฮิบิเตอร์ (Thrombin-activatable fibrinolysis inhibitor: TAFI) พลาสมิโนเจน เอคติเวทเตอร์ อินฮิบิเตอร์ วัน (Plasminogen activator inhibitor-1: PAI-1) และวาสคูลาร์ เอ็นโดทีเลียล แฟคเตอร์ (Vascular endothelial growth factor: VEGF) เป็นต้น เพื่อให้มีปริมาณที่พอเหมาะกับสารที่กระตุ้นการคลายตัวของหลอดเลือด ได้แก่ สารต้านการอักเสบ (Anti-inflammatory) สารต้านการแข็งตัวของเลือด (Anti-thombotic and Anti-atherogenic) เช่น ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) พลอสตาไซคลิน (Prostacyclin: PGI_2) เอ็นโดทีเลียมดีรีฟไฮเปอร์โพลาร์ไรซ์ซิ่ง (Endothelium-derived hyperpolarizing factor: EDHF) และทรอมโบโมดูลิน (Thrombomodulin) เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมความดันโลหิตด้วย

3. ควบคุมกระบวนการแข็งตัวของเลือด เป็นกระบวนการละลายเลือดที่แข็งตัวหรือลิ่มเลือด ทำให้เลือดคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือด (Thombosis and fibrinolysis)

4. ทำหน้าที่เป็นตัวกั้น (Barrier) ระหว่างเลือดกับเซลล์ เป็นตัวเลือกผ่านระหว่างโพรงของหลอดเลือดกับบริเวณรอบๆเนื้อเยื่อ ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆระหว่างเซลล์และเลือด ควบคุมการขนส่งเม็ดเลือดขาวเข้าและออกกระแสเลือด และควบคุมสมดุลย์ของสารอิเล็คโทรไลต์ (electrolyte) ทั้งภายในและภายนอกหลอดเลือด โดยควบคุมการขนส่งน้ำและสารละลายต่างๆ

5. เป็นเซลล์เป้าหมาย (Target cells) สำหรับการตอบสนองของฮอร์โมนต่างๆ

6. ช่วยในการเปลี่ยนแปลงสาร แองจิโอเท็นซิน วัน (Angiotensin I) ไปเป็น แองจิโอเท็นซินทู (AngiotensinII)

7. การสร้างหลอดเลือดใหม่ (Angiogenesis)

8. การต้านการอักเสบในหลอดเลือด (Inflammation)

9. ช่วยในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Immune system) (Caterina & Libby, 2007)

สารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด

ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO)

ไนตริกออกไซด์เป็นสารที่สร้างจากเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด มีผลทำให้หลอดเลือดคลายตัว ค้นพบในปีค.ศ. 1980 โดย เฟิชก๊อตต์ (Furchgott) และ ซาวาซสกี้ (Zawadzki) ได้ทำการทดลองค้นคว้าจนทราบว่า ไนตริกออกไซด์มีคุณสมบัติช่วยให้หลอดเลือดคลายตัว เช่นเดียวกันกับอะเซทีลโคลีน (Acetylcholine) ไนตริกออกไซด์เป็นสารที่เกิดจากแอลอาร์จินิน (L-arginine) โดยอาศัยปัจจัยร่วม นิโคตินาไมด์ อะดรีนิน ไดนิวคลีโอไทด์ ฟอสเฟต (Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate: NADPH) และมีเอนไซม์ไนตริกออกไซด์ซินเทรส (Nitric oxide synthase: NOS) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ และซิทรูลีน (Citrulline)

ไนตริกออกไซด์ซินเทรส เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไนตริกออกไซด์ มี 3 รูปแบบ ได้แก่ เบรนนอส หรือ นิรอนนอส (Brain NOS หรือ Neuronal NOS : bNOS, nNOS, NOS I) พบมากที่สมอง และกล้ามเนื้อลาย และยังพบในระบบประสาทส่วนปลาย แมคโครฟาจ นอส (Macrophage NOS หรือInducible: iNOS, NOS II) พบในแม็คโครฟาจ ในหลอดเลือด กล้ามเนื้อเรียบ และ เอ็นโดทีเลียม นอส (Endothelial NOS: eNOS, NOS III) พบใน

เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด อาจพบบ้างในเกล็ดเลือด เม็ดเลือดขาว นิวโทรฟิลล์ สมองส่วนฮิปโปแคมปัส และเซลล์ท่อไต และพบว่าเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแรงเค้นภายในหลอดเลือด (shear stress) จะสร้างและหลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้หลอดเลือดขยายตัว และลดการเกาะกลุ่มของเม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด

ไนตริกออกไซด์มีสถานะเป็นก๊าช ที่ไม่มีการสะสม โดยจะซึมผ่านอย่างอิสระสู่ตำแหน่งที่ออกฤทธิ์ มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 3-5 วินาทีภายหลังจากที่เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดสร้างขึ้น ออกฤทธิ์ที่เซลล์ทำให้เกิดการกระตุ้นของ กัวนิลไซเครส (Guanylate cyclase) ซึ่งทำให้มีไซคลิกจีเอ็มพี (Cyclic GMP) เพิ่มขึ้น จะกระตุ้นเอนไซม์โปรตีนไคเนส (Protein kinase) เกิดปฏิกิริยาฟอสฟอเลชั่น กับสารโปรตีน มีผลทำให้แคลเซียมเคลื่อนที่ออกจากไซโตพลาสซึมของเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แคลเซียมในเซลล์มีปริมาณลดลง เกิดการทำงานของเซลล์ในด้านต่างๆเช่น การหดตัว การคัดหลั่ง การเคลื่อนที่ของเซลล์ เป็นต้น ไนตริกออกไซด์ ที่หลั่งจากเซลล์ในกระบวนการอักเสบนั้น สามารถทำหน้าที่เป็นสารที่มีพิษต่อเซลล์ จากการทำปฏิกิริยากับธาตุเหล็ก เกิดการปล่อยสารอนุพันธ์ของไนตริกออกไซด์ เช่น เพอร์รอกซีไนไตรท์ (Peroxynitrite) ไฮดรอกซิล และเรดิคอล (Hydroxyl radical) สามารถทำลายเนื้อเยื่อได้

ไนตริกออกไซด์มีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมแรงตึงตัวของหลอดเลือดในขณะพัก โดยควบคุมสมดุลย์ในการสร้างสารที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการหดตัว และคลายตัวของหลอดเลือดให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ส่งผลให้หลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำส่วนกลางขยายตัว และช่วยในการไหลเวียนเลือดในหลอดเลือดขนาดเล็ก ซึ่งการสร้างและหลั่งไนตริกออกไซด์จะถูกควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติของระบบไหลเวียนเลือดและระบบประสาท โดยจะขึ้นอยู่กับความต้องการปริมาณเลือดของเนื้อเยื่อในขณะนั้นๆ หากเนื้อเยื่อมีความต้องการเลือดเพิ่มขึ้น หรือขาดเลือดไปเลี้ยงบริเวณนั้น จะเกิดการกระตุ้นการหลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทำให้หลอดเลือดบริเวณนั้นขยายตัวเพื่อเพิ่มปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนนั้น ดังนั้นภาวะขาดเลือดจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มการขยายตัวของหลอดเลือด และอีกปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้เกิดการหลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มมากขึ้น คือ แรงเค้นในหลอดเลือดหรือแรงที่กระทำต่อผนังหลอดเลือด (Shear stress) ที่เกิดจากการไหลเวียนเลือดที่เพิ่มขึ้น ในการหลั่งไนตริกออกไซด์นั้นอาจต้องอาศัยสารที่สร้างจากเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงหลายชนิด เช่น อะเซตทีลโคลีน (Acetylcholine) เบรดดีไคนิน (Bradykinin) แองจิโอเท็นซิน ทู

(Angiotensin II) แคทีโคลามีน (Catecholamines) และวาโซเพรสซิน (Vasopressin) ซึ่งหากมีความผิดปกติเกิดขึ้นจากการสร้างและหลั่งไนตริกออกไซด์ อาจส่งผลให้เกิดโรคต่างๆ เช่น ความดันโลหิตสูง หลอดเลือดสมองตีบ โรคหลอดเลือดต่างๆ เป็นต้น (Prakhinkit et al., 2014)

เลปติน (Leptin)

เลปตินเป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่งที่สร้างขึ้นจากเซลล์ไขมัน ซึ่งจะไปออกฤทธิ์ที่สมองส่วนไฮโปธาลามัส (Hypothalamus) กำหนดความรู้สึกหิวและอิ่มของร่างกาย ในคนอ้วนเลปตินจะถูกสร้างขึ้นในปริมาณมาก แสดงให้เห็นถึงปริมาณของไขมันในร่างกายที่มีอยู่มาก ในทางกลับกันคนที่มีปริมาณไขมันในร่างกายน้อย ก็จะมีปริมาณเลปตินน้อยตามไปด้วย อันที่จริงการที่มีปริมาณของเลปตินสูงนั้น จะส่งผลให้ร่างกายเพิ่มการเผาผลาญ และควบคุมให้มีการรับประทานอาหารที่น้อยลง

การทำงานของเลปตินที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายนั้นจำเป็นที่จะต้องอาศัยโปรตีนอื่นๆ ด้วย โดยหลังจากที่เลปตินจับกับรีเซ็บเตอร์ที่อยู่ในสมองส่วนไฮโปธาลามัสแล้วนั้น จะลดการหลั่งสารนิวโรเปปไทด์ วาย (Neuropeptide Y: NPY) ลง ซึ่งสารชนิดนี้จะมีผลให้ร่างกายลดการใช้พลังงานลง แต่จะกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกหิวขึ้นมาแทน อีกทั้งสารชนิดนี้ยังควบคุมการสร้างพลังงานจากเซลล์ไขมันชนิดสีน้ำตาล (Brown fat cell) การเพิ่มของระดับอินซูลินในเลือด (Plasma insulin) การเพิ่มของระดับฮอร์โมนคอร์ติโคสเตอรอยด์ (Corticosteroid) และการเพิ่มของระดับฮอร์โมนคอร์ติโคโทฟินรีลิสซิ่ง (Corticotrophin releasing hormone: CRH) ซึ่งทำหน้าที่ยับยั้งความอยากในการรับประทานอาหาร (Yang & Barouch, 2007)

โดยทั่วไปปริมาณเลปตินในซีรั่มของคนปกติจากวิเคราะห์ด้วยวิธีเรดิโออิมมูโนเอสเสย์ (Radioimmunoassay) จะมีประมาณ 5 ± 15 นาโนกรัม/มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณเลปตินนี้จะเพิ่มขึ้นในคนที่มีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน (31.3±24.1 นาโนกรัม/มิลลิลิตร) จากการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ของระดับเลปตินนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณของไขมันในร่างกาย รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไขมันในร่างกาย เช่น ดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI) และเพศ (ผู้หญิงมีการสะสมไขมันตามร่างกายมากกว่าผู้ชาย อันเนื่องมาจากความจำเป็นในการใช้ไขมันมากกว่าเพศชาย หรืออาจจะเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนเพศ)

อะดิโพเนคติน (Adiponectin)

อะดิโพเนคติน มีบทบาทสำคัญในการควบคุมระบบเมตาบอลิซึมของกลูโคสและไขมันในร่างกาย โดยพบว่าโปรตีนชนิดนี้มีหน้าที่สำคัญใน การเพิ่มความไวของอินซูลินในกล้ามเนื้อลายและตับ จึงส่งผลในการลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี โปรตีนอะดิโพเนคตินสามารถตรวจพบได้ทั่วไปในร่างกาย โดยมีปริมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 5 ถึง 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาของพอตตี้ และคณะ (Pottie et al., 2006) พบว่าอะดิโพเนคตินมีผลต่อการจับตัวของเซลล์เม็ดเลือดขาว (Monocyte) กับเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelium) การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ไมอิลอยด์ (Myeloid cell) การสร้างไซโตไคน์ของแมคโครฟาจ (Macrophage) และการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว (Phagocytosis) ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้มีผลเกี่ยวข้องกับการก่อตัวอุดตัน (Plaque formation) ของหลอดเลือด และความแข็งตัวของหลอดเลือด ซึ่งก่อให้เกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็งและอักเสบ (Athereosclerosis) ซึ่งในการศึกษาความสัมพันธ์ของอะดิโพเนคตินกับโรคหลอดเลือดหัวใจ พบว่าระดับโปรตีนอะดิโพเนคตินลดลงกว่าระดับปกติ (Noriyuki et al., 2000)

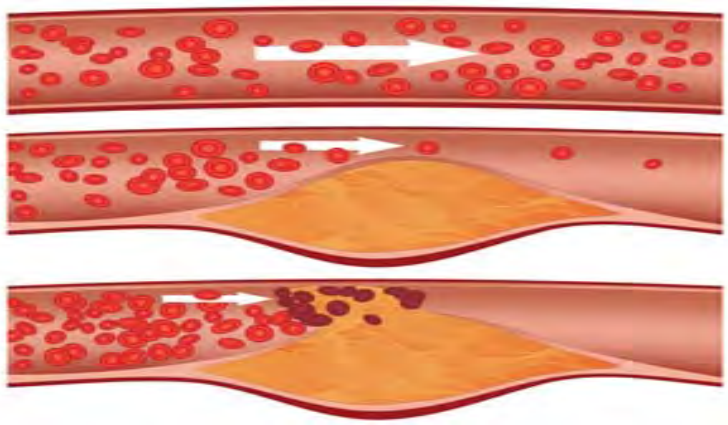
การวิเคราะห์หาปริมาณอะดิโพเนคตินในเลือด ปัจจุบันใช้วิธีอีไลซ่า (ELISA) และเรดิโออิมมูโนเอสเสย์ (Radioimmunoassay) โดยใช้หลักการของปฏิกิริยาระหว่างแอนติเจน (Antigen) กับแอนติบอดี (Antibody) ซึ่งค่าปกติของอะดิโพเนคตินในเลือดอยู่ที่ >7.5 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

สารอนุมูลอิสระ (Free radical)

สารอนุมูลอิสระ หมายถึง อะตอมหรือโมเลกุล หรือสารประกอบที่มีอิเลคตรอนเดี่ยวอยู่ในออร์บิทัลวงนอกสุด รวมถึงอะตอมของไฮโดรเจนและอิออนของโลหะทรานซิชันเป็นส่วนใหญ่และโมเลกุลของออกซิเจนซึ่งมีอิเลคตรอน 2 อิเลคตรอน แต่ละอิเลคตรอนจะแยกกันอยู่เป็นอิสระ สารอนุมูลอิสระ มีทั้งสิ้น 3 ชนิดได้แก่ สารอนุมูลอิสระที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ (Reactive oxygen species: ROS) สารอนุมูลอิสระที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ(Reactive

nitrogen species: RNS) และสารอนุมูลอิสระที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (Reactive chlorine species: RCS)

สารอนุมูลอิสระจะเป็นสารที่มีคุณสมบัติไม่คงที่สามารถรวมกับสารอื่นได้ง่าย โดยเฉพาะสารชีวโมเลกุลในร่างกายที่สามารถออกซิไดซ์ได้ง่าย อาทิเช่น ลิพิดที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์เมมเบรน โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของสารสื่อประสาท เอนไซม์ รีเซพเตอร์ ดีเอนเอ ซึ่งสารชีวโมเลกุลเหล่านี้จะมีอิเลคตรอนหลุดออกได้ง่าย สารอนุมูลอิสระจึงสามารถเข้าไปรวมตัวหรือจับตัวด้วยได้ง่าย ซึ่งจะทำให้สารชีวโมเลกุลดังกล่าวมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป และเกิดการทำหน้าที่ที่ผิดปกติ อันนำไปสู่การเกิดโรคได้ ซึ่งมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde) ก็เป็นหนึ่งในสารอนุมูลอิสระ



รูปที่ 1 ความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด
ที่มา: โคมิเนียเร็ก (Kominiarek, 2015)

การสูญเสียหน้าที่ของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Caterina & Libby, 2007; ศุภชัย ไชยธีระพันธ์ และสมชาย เอี่ยมอ่อง, 2540)

เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดมีลักษณะทางกายวิภาคและหน้าที่ทางสรีรวิทยาที่สลับซับซ้อน การเกิดอันตรายต่อเซลล์เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการคงสภาพสมดุลย์ (Homeostasis) ตามหน้าที่ตามธรรมชาติ ซึ่งร่างกายหรือเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดเองอาจสามารถแก้ไขจนกลับสู่สภาพสมดุลย์ตามเดิม หรือต้องปรับตัวไปอยู่ในสภาพใหม่ที่มีผลเสียต่อร่างกายน้อยที่สุด หรืออาจเสียหายจนมีพยาธิสภาพที่เด่นชัด โดยการปรับเปลี่ยนไปสู่สภาพใหม่ และไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้นั้น เป็นพื้นฐานของการเกิดโรคเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือดแดงแข็ง (Atherosclerosis) โรคความดันโลหิตสูง (Hypertension) โรคหัวใจขาดเลือด (Ischemic heart disease) เป็นต้น เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดเมื่อถูกทำลาย จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

ความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด ในกรณีที่ไม่รุนแรงนักจะทำให้เซลล์ทำงานเบี่ยงเบนไปจากปกติหรือทำให้เซลล์ปรับตัวไปสู่สถานะใหม่ แต่ถ้าความผิดปกติรุนแรงหรือเกิดอยู่นานเรื้อรังจะทำให้เซลล์ตายในที่สุด ซึ่งความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

1. การบาดเจ็บที่ทำให้เซลล์ตาย (Denudation injury) หมายถึง ความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดที่รุนแรงจนเซลล์ตาย และหลุดลอกจากผนังหลอดเลือด ในกรณีนี้ผนังหลอดเลือดในตำแหน่งนั้นจะสูญเสียการทำงานที่ปกติไป และผนังหลอดเลือดจะสัมผัสกับ น้ำเลือด เกล็ดเลือด และเม็ดเลือดชนิดต่างๆโดยตรง อันก่อให้เกิดการกระตุ้นขบวนการของการอักเสบ (inflammation) มีการเกาะติดของเม็ดเลือดขาวและเกล็ดเลือด มีการสร้างลิ่มเลือด มีการเปลี่ยนแปลงการทำงาน คือสูญเสียหน้าที่โดยปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด

2. การบาดเจ็บที่ไม่ทำให้เซลล์ตาย (Non-denudation injury) หมายถึง ความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดที่ไม่รุนแรง โดยอาจมีหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาค การเบี่ยงเบนการทำงานหมายถึง การที่เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดทำงานเกินขอบเขตหน้าที่ โดยอาจเปลี่ยนแปลงเสียหายเฉพาะบางหน้าที่หรือทุกหน้าที่ก็ได้ หรือเกิดการเสียสมดุลย์ของหน้าที่ต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน ความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดที่ไม่ทำให้เซลล์นั้นตาย (Sublethal injury) แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

2.1 การตอบสนองฉับพลัน เช่น ไนตริกออกไซด์ทำให้เกิดความผิดปกติของการขยายและหดตัวของหลอดเลือด หรือยับยั้งการเกาะตัวของเกล็ดเลือดที่ผนังหลอดเลือด

2.2 การตอบสนองในระยะยาว ขึ้นกับกระบวนการสังเคราะห์ เอ็มอาร์เอ็นเอ (mRNA) และโปรตีน ซึ่งก่อให้เกิดการบวมของเซลล์ (Cell swelling) การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การพองที่ผิวของเซลล์ (Bleb formation at cell surface) เกิดการสะสมของลิปิดภายในเซลล์ มีการเกาะติดของเม็ดเลือดขาวหรือเกล็ดเลือดที่ผนังเซลล์ การเสื่อมของส่วนประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ การเสียสมดุลย์ในการควบคุมการหดและขยายตัวของหลอดเลือด (Vasomotor tone) กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle cell) เป็นต้น

การสูญเสียการทำงานของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial dysfunction) เกิดจากการทำงานที่ผิดปกติของกระบวนการทางชีวเคมี และมีปัจจัยร่วมอื่นอีกด้วย เช่น การเกิดภาวะช็อคที่มีการติดเชื้ออย่างรุนแรง (Septic shock) ความดันโลหิตสูง ภาวะที่มีไขมันกลุ่มคอเลสเตอรอลในเลือดสูง (Hypercholesterolaemia) เบาหวาน (Diabetic) โรคอ้วน (Obese) สูบบุหรี่ มลพิษทางอากาศ เป็นต้น หากเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดสูญเสียการทำงาน (Endothelial dysfunction) ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการขยายและหดตัวของหลอดเลือด ยับยั้งการหลั่งและฤทธิ์ของสารไนตริกออกไซด์ไฮโดรเจนเพอร๊อกไซด์ (NO hydrogen peroxide) เกิดการอักเสบของผนังหลอดเลือด ส่งผลให้เกิดหลอดเลือดตีบและอุดตัน

สาเหตุที่ทำให้เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดเกิดความผิดปกติ ได้แก่

1. เกิดจากเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดถูกแรงกระทำโดยตรง (Direct trauma) จนถึงขั้นที่ทำให้เซลล์ตายและหลุดลอกออกไป

2. เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดขาดเลือดไประยะเวลาหนึ่ง (Reperfusion Injury) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึมอย่างรุนแรง ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่การทำงาน และตายได้

3. เกิดจาการฉายเคมีรังสี (Photochemical injury) ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่การทำงาน และตายได้

4. เกิดจากไขมัน โดยเฉพาะ คอเลสเตอรอล (Cholesterol) และแอลดีแอล (LDL) ซึ่งโมเลกุลของไขมันเหล่านี้ ส่งเสริมให้เม็ดเลือดขาวเกาะติดกับผนังเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดได้ง่าย กระตุ้นให้เกล็ดเลือดจับตัวบริเวณผนังเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด ยับยั้งเอ็นโดทีเลียมดีเพ็นเด็นรีแลคเซชั่น (Endothelium-dependent relaxation) เป็นต้น

5. เกิดจากการติดเชื้อและอักเสบ (Infection and inflammation) อันเกิดมาจากโรคต่างๆ เช่น เอดส์ เป็นต้น

6. เกิดจากภูมิคุ้มกัน (Immune-induced injury) จากการปลูกถ่ายอวัยวะ

7. เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันโลหิตที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (Hemodynamic factors)

8. เกิดจากโรคเบาหวาน เช่น การพองที่ผิวของเซลล์ (Bleb formation at cell surface) มีการเกาะติดของเม็ดเลือดขาวหรือเกล็ดเลือดที่ผนังเซลล์ ลดเอ็นโดทีเลียมดีเพ็นเด็นรีแลคเซชั่น (Endothelium-dependent relaxation) เป็นต้น

9. เกิดจากการสูบบุหรี่ สารนิโคตินกระตุ้นให้เกิดเอ็นโดทีเลียมดีเพ็นเด็นคอนแทรคชั่น (Endothelium-dependent contractions) ทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไป และบุหรี่สามารถเปลี่ยนแอลดีแอล (LDL) เป็นออกไซด์แอลดีแอล (Oxidized LDL)

วิธีการประเมินการทำงานของหลอดเลือด

การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD)

การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน วัดโดยใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์ ทำการวัดการขยายตัวสูงสุดของหลอดเลือดในช่วงที่หลอดเลือดคลายตัว (Diastolic) ขณะพัก ขณะหลอดเลือดหดตัวเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะหลอดเลือดขยายตัวหลังเปิดการปิดกั้นการไหลของเลือด และขณะหลอดเลือดกลับสู่ภาวะปกติหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณแขนท่อนล่าง ทำการอัลตร้าซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งข้อพับแขนด้านหน้า (Brachial artery) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพักเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตเหนือความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) 50 มิลลิเมตรปรอท ค้างไว้ 5 นาที ซึ่งเป็นการทำให้เกิดการขาดเลือดในช่วงสั้นๆ วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะถูกปิดกั้น จากนั้นปล่อยแรงดันออกจนหมดคลายการบีบของเครื่องวัดความดันโลหิต จะกระตุ้นให้หลอดเลือดขยายตัว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้น เป็นเวลา 5 นาที (Corretti et al., 2002; Devan et al., 2011; Mitranun et al., 2014) คำนวณค่าการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD) จากสูตร (Naidu, Rajasekhar, & Latheef, 2011)

$$FMD\ (\%) = D2\text{-}D1 \times 100/D1$$

เมื่อ D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือดขณะพัก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของหลอดเลือดภายหลังถูกปิดกั้นการไหลของเลือด หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT)

ความหนาของผนังหลอดเลือด วัดโดยใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์บริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง (Common carotid artery) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย เอียงศีรษะไปทางซ้าย 45 องศา ทำการอัลตร้าซาวด์หลอดเลือดแดงของลำคอด้านขวา วัดความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นในทั้งด้านใกล้และไกล (Near and far wall) (Meyer et al., 2006) แล้วเข้าโปรแกรมคิวแลป (QLAB) คำนวณหาความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน

คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV)

คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า วัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) โดยวัดเวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด (Brachial-ankle time delay) ที่หลอดเลือดบริเวณต้นแขน (Brachial artery) และหลอดเลือดบริเวณข้อเท้า (Posterior tibial artery) จากนั้นวัดความยาวจากจุดที่วัดทั้งสองจุด เพื่อตรวจวัดความยืดหยุ่นของเส้นเลือดแดง หรือการแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness) ทำคำนวณค่าคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) จากสูตร ดังต่อไปนี้ (Sugawara et al., 2005)

baPWV (cm/sec) = Length / Brachial-ankle time delay

เมื่อ Length คือ ความยาวระหว่างจุดที่วัดบริเวณต้นแขนและข้อเท้า หน่วยเป็นเซนติเมตร

Brachial-ankle time delay คือ เวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด หน่วยเป็นวินาที

โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือดพันบริเวณต้นแขนและข้อเท้าทั้ง 2 ข้าง จากนั้นติดอุปกรณ์

สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardioigram) และคลื่นเสียงการเต้นของหัวใจ (Phonocardiogram) จากนั้นเริ่มทำการวิเคราะห์ ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

การเผาผลาญพลังงาน

การเผาผลาญพลังงาน หมายถึง ร่างกายของมนุษย์เผาผลาญพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) โปรตีน (Protein) และไขมัน (Fat) เพื่อสร้างพลังงานในการดำรงการทำงานของระบบต่างๆในร่างกาย เช่น การหายใจ การเต้นของหัวใจ ทำให้ร่างกายอบอุ่น และระบบอื่นๆในร่างกายที่ทำให้มนุษย์ยังมีชีวิต ทำกิจกรรมทางกายต่างๆ การเคลื่อนไหว และเจริญเติบโตและซ่อมแซมร่างกาย

การเผาผลาญพลังงานในหนึ่งวันของแต่ละคน ประกอบด้วย พลังงานพื้นฐานที่ใช้ในการเผาผลาญ (Basal metabolic rate: BMR) พลังงานที่ใช้ในการย่อยอาหาร (Dietary-induced thermogenesis: DIT) และกิจกรรมทางกาย (Physical activity: PA) (Dunford, 2010; Kamen, 2001; Wildman & Miller, 2004; นัยนา บุญทวียุวัฒน์, 2546; พัชรา วีระกะลัส, 2549)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาผลาญพลังงาน (McArdle, Katch, & Katch, 2006)

1. กิจกรรมทางกาย (Physical activity) มีความสำคัญในการเผาผลาญพลังงานในมนุษย์ โดยในคนทั่วไปมีอัตราการเผาผลาญพลังงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 10 เท่าของอัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพัก ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 2,500-3,000 กิโลแคลอรี่ต่อวัน แต่ในนักกีฬาระดับโลกอย่าง ไมเคิล เฟลป์ (Michael Phelps) นักกีฬาว่ายน้ำ 18 เหรียญทองกีฬาโอลิมปิก มีอัตราการเผาผลาญพลังงานสูงกว่าคนปกติถึง 4 เท่า หรือประมาณ12,000 กิโลแคลอรี่ต่อวัน เนื่องมาจากการฝึกออกกำลังกายอย่างหนักโดยเฉลี่ยวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน และฝึก 6 วันต่อสัปดาห์

2. การผลิตความร้อนจากอาหารที่ได้รับ (Dietary-induced thermogenesis) ร่างกายของมนุษย์ใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นในกระบวนการคลุกเคล้า ย่อย และดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ร่างกาย ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของอาหารที่รับประทาน โดยทั่วไปจะใช้พลังงานอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานพื้นฐานที่ใช้ในการเผาผลาญ

3. ภูมิอากาศ (Climate) ผู้ที่อาศัยอยู่ในภูมิอากาศเขตร้อนจะมีอัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพักสูงกว่าผู้ที่อาศัยอยู่ในภูมิอากาศอบอุ่นโดยเฉลี่ย 5-20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากอุณหภูมิภายนอกที่สูงทำให้ร่างกายมนุษย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นไปด้วย ร่างกายต้องกายที่จะถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกายจึงเพิ่มการทำงานของต่อมเหงื่อและเส้นเลือดฝอยที่ผิวหนัง จึงใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นในการระบายความร้อน

4. การตั้งครรภ์และให้นมบุตร

5. ความเจ็บป่วยและเป็นไข้

เพราะระยะเวลาจะมีความสัมพันธ์กับการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย โดยใน 3-5นาทีแรกของการออกกำลังกายที่ต่อเนื่อง เซลล์กล้ามเนื้อจะใช้พลังงานแบบแอโรบิกเป็นหลัก ซึ่งได้มาจากสารอาหารที่สะสมในร่างกาย อาทิเช่น คาร์โบไฮเดรตสะสมในรูปกลูโคส ไขมันสะสมในรูปไขมันอิสระ ซึ่งในช่วง 20 นาทีแรกจะใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน โดยใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก หลังจาก 45 นาทีไปแล้ว ร่างกายจะใช้พลังงานจากไขมันเป็นหลัก

การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate oxidation)

เมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต (Metabolism pathways of carbohydrate) (นัยนา บุญทวียุวัฒน์, 2546)

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดของร่างกาย ซึ่งสามารถพบได้จากอาหารหลากหลายชนิด เช่น ข้าว ขนมปัง น้ำตาล เป็นต้น ซึ่งกระบวนการในการสลายคาร์โบไฮเดรต (รูปที่ 2)เพื่อให้ได้พลังงานนั้น มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis pathway)

กระบวนการไกลโคไลซิส เป็นกระบวนการเริ่มต้นของการสลายกลูโคสให้ได้พลังงาน ซึ่งมีรายละเอียดสำคัญ ดังนี้

1. เกิดในทุกเซลล์ของร่างกาย และเกิดในส่วนไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)
2. กระบวนการไกลโคไลซิส ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงาน
3. สารตั้งต้น คือกลูโคส และสารสุดท้ายคือ ไพรูเวท (Pyruvate) และไพรูเวทจะเปลี่ยนเป็นแลคเตท (lactate) ซึ่งในสภาวะที่มีออกซิเจน ไพรูเวท จะเข้าสู่การสลายต่อในวงจรเครบ (Kreb’s cycle)
4. พลังงานที่ได้จากการสลายกลูโคส ถ้าเป็นกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน จะได้ เอทีพี (ATP) 2 โมเลกุล ซึ่งจะสิ้นสุดโดยจะเหลือของเสียเป็น Lactate 2 โมเลกุล ถ้าเป็นกระบวนการที่ใช้ออกซิเจน จะได้อะดิโนซีนไตรฟอสเฟส (Adenosine triphosphate: ATP) 2 โมเลกุลและเอ็นเอดีเอช (NADH) 2 โมเลกุล

ในกรณีที่ออกกำลังกายอย่างหนัก จะต้องใช้พลังงานสูงมาก ซึ่งถ้าได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ร่างกายจะมีการสร้างแลคเตทเป็นจำนวนมาก ทำให้เสียความสมดุลย์ของกรด-ด่างในร่างกาย เซลล์ต่างๆ ทำงานบกพร่อง เกิดอาการเหนื่อยล้า แต่จะเป็นชั่วคราว แลคเตทในกระแสเลือดจะลดลงโดยเข้าสู่ตับ ตับจะนำแลคเตทไปสร้างเป็นกลูโคสกลับมาใช้ต่อไป

วงจรเครบ (Kreb's cycle)

วงจรเครบ (Kreb's cycle) เป็นกระบวนการสลายให้ได้พลังงานต่อเนื่องจากกระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งมีรายละเอียดสำคัญ ดังนี้

1. ไพรูเวทจะเข้าไปในไมโตคอนเดรีย (Mitochondria) และเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอ (Acetyl CoA) เพื่อเข้าสู่การสลายต่อในวงจรเครบ (Krebs cycle)

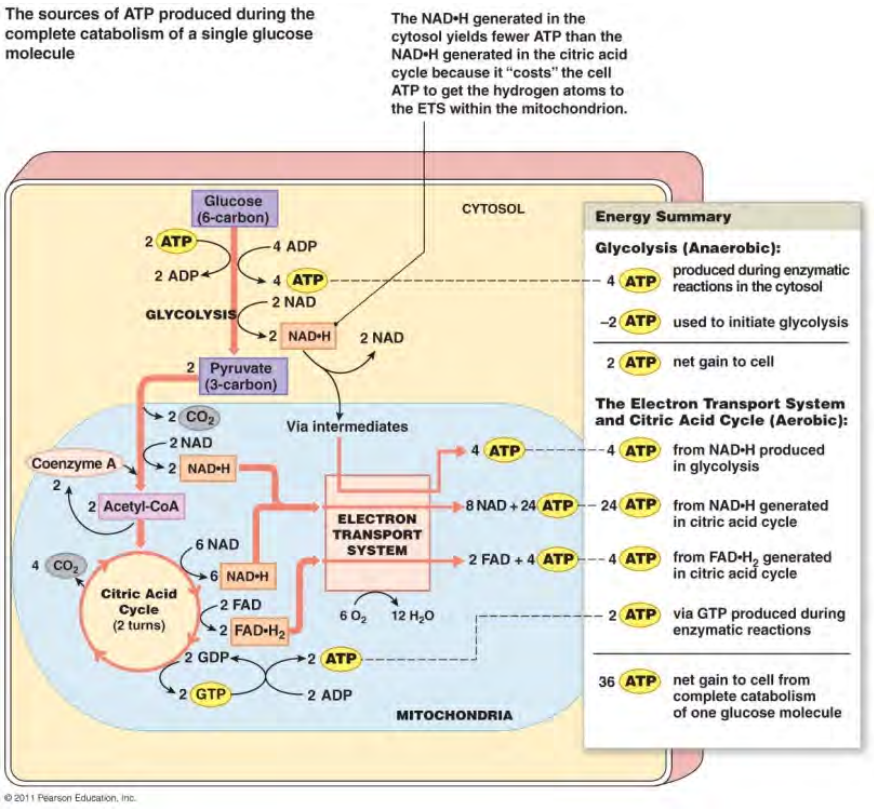
$$\text{Pyruvate} + NAD^+ + \text{CoA-SH} \longrightarrow \text{Acetyl-CoA} + NADH + H^+ + CO_2$$

2. วงจรเครบ (Kreb's cycle) เป็นกระบวนการที่ใช้ออกซิเจน เป็นตัวรับอิเลคตรอนตัวสุดท้าย เพื่อให้ได้พลังงานที่สมบูรณ์ โดยจะได้ผลผลิตคือ น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์

3. วงจรเครบ (Kreb's cycle) จะไม่ได้พลังงานเคมี ATP โดยตรง แต่จะได้ GTP และโคเอนไซดม์ในรูปรีดิวซ์คือ NADH และ FADH ซึ่งเมื่อเข้าในกระบวนการขนส่งอิเลคตรอนในไมโตคอนเดรียจะให้ ATP ในที่สุด

4. พลังงานที่ได้ทั้งหมดจากการสลายกลูโคส เท่ากับ 36 หรือ 38 เอทีพี (ATP)

5. คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงานทั้งสิ้น 4 กิโลแคลอรี่ (Kilocalorie : kcal)



รูปที่ 2 กระบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต

ที่มา: สแคนลอน และแซนเดอส์ (Scanlon & Sanders, 2013)

การคำนวณปริมาณการใช้คาร์โบไฮเดรตจากการออกกำลังกาย

ในทางกลับกัน เราสามารถคำนวณปริมาณการใช้คาร์โบไฮเดรต เพื่อมาเป็นพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายได้จากปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (VCO_2)ในการออกกำลังกาย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzer)

สมการในการคำนวณการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate oxidation) (Frayn, 1983; Riddell et al, 2007)

สูตร $C = 4.55\ VCO_2 - 3.21\ VO_2 - 2.87n$

เมื่อ VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจน

VCO_2 คือ อัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

N คือ ไนโตรเจน

การเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) (นัยนา บุญทวียุวัฒน์, 2546)

ไขมันในร่างกายประกอบด้วย ไตรกลีเซอไรด์ เป็นไขมันส่วนใหญ่ในร่างกาย นอกจากนี้ยังมี ฟอสโฟไลปิด (Phospholipids) และคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ซึ่งประโยชน์ของไขมันแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกัน คือ การสร้างและสลายไตรกลีเซอไรด์ เพื่อใช้เป็นพลังงานและเก็บสะสมเพื่อเป็นพลังงาน ส่วนการสร้างและสลายฟอสโฟไลปิด และคอเลสเตอรอล เพื่อใช้ในการสร้างสารที่จำเป็น และเป็นส่วนประกอบของเซลล์ รายละเอียดสำคัญของการเผาผลาญไขมัน ดังนี้

1. ไตรกลีเซอไรด์ที่เนื้อเยื่อไขมัน จะสลายได้กรดไขมัน 3 โมเลกุล (Fatty acid) กับ กลีเซอรอล 1 โมเลกุล (Glycerol) ในการสลายกรดไขมันเพื่อให้ได้ Fatty Acetyl CoA จะต้องใช้ โคเอนไซม์เอ (Coenzyme A) และ ATP ปฏิกิริยานี้เกิดในไซโตพลาสซึม ส่วนกลีเซอรอลจะต้องใช้ ATP เพื่อเปลี่ยนเป็น Glyceroldehyde-3-Phosphate) และเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส แต่จะเป็นส่วนน้อย ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อสร้างไตรกลีเซอร์ไรด์ในร่างกาย และใช้สร้างกลูโคส

2. การเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) เกิดในไมโตคอนเดรีย เมื่อเข้าไปในไมโตคอนเดรีย Fatty Acetyl CoA จะถูกสลายออกเป็น Acetyl CoA และได้เป็น $NADH + H^+$ และ $FADH_2$ ซึ่งจะเข้าสู่ระบบการขนส่งอิเลคตรอนให้ได้พลังงาน ส่วน Acetyl CoA ก็จะเข้าสู่การสลายต่อในวงจรเครบ (Kreb's cycle)

3. พลังงานที่ได้จากการสลายไขมันแต่ละชนิดนั้นไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่รูปแบบของโมเลกุล

4. การสลายกรดไขมัน จะทำให้เกิดสารประกอบคีโตน ซึ่งถ้ามีในปริมาณมากจะทำให้เลือดมีภาวะความเป็นกรดสูง (Ketoacidosis)

5. ไขมัน (ไตรกลีเซอไรด์) 1 กรัม ให้พลังงานทั้งสิ้น 9 กิโลแคลอรี่ (Kilocalorie : kcal)

การคำนวณปริมาณการใช้คาร์โบไฮเดรตจากการออกกำลังกาย

ในทางกลับกัน เราสามารถคำนวณปริมาณการใช้ไขมัน เพื่อมาเป็นพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายได้จากปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (VCO_2)ในการออกกำลังกาย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzer)

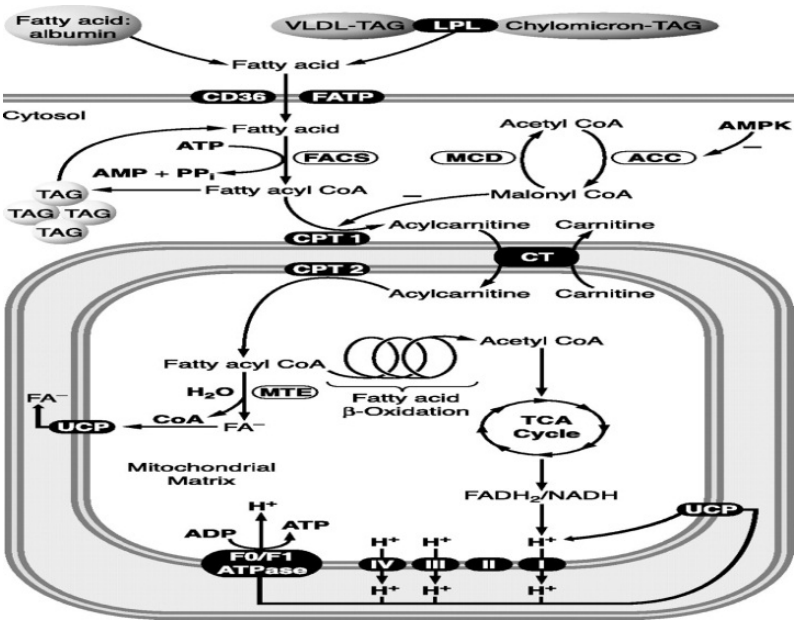
สมการในการคำนวณการเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) (Frayn, 1983; Riddell et al, 2007)

สูตร $F=1.67\ VO_2-1.67\ VCO_2-1.92n$

เมื่อ VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจน

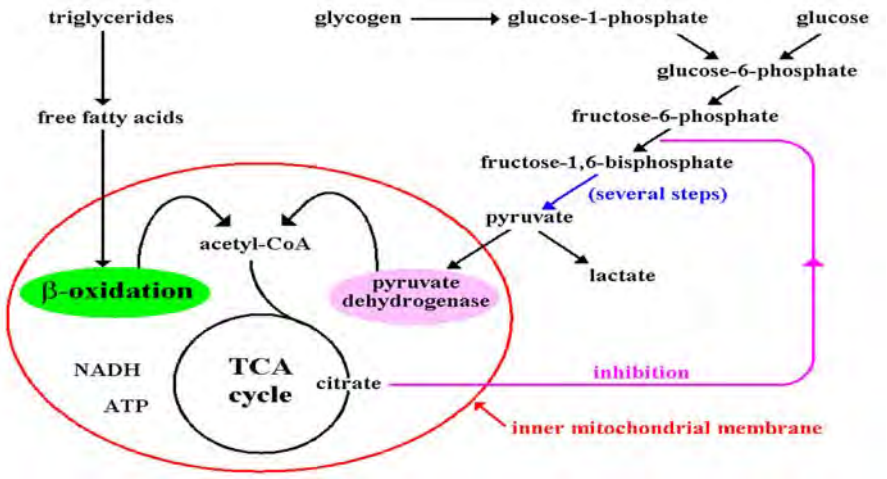
VCO_2 คือ อัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

N คือ ไนโตรเจน



รูปที่ 3 กระบวนการสลายไขมัน

ที่มา: โลพาสชัค และคณะ (Lopaschuk et al., 2010)



รูปที่ 4 การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน

ที่มา: อิลลิ่งเวิร์ธ (Illingworth, 2006)

อาหารกับระบบพลังงาน (Sharon & Denise, 2011)

เมื่อร่างกายได้รับอาหาร จะเปลี่ยนเป็นพลังงาน โดยระบบการย่อยอาหาร และสะสมไว้เป็นพลังงานของร่างกาย ในยามที่จำเป็น ซึ่งโดยปกตินั้นร่างกายจะมีระบบสมดุลย์ในการใช้พลังงาน เมื่อรับประทานอาหารเท่าไหร่ ก็จะมีการใช้พลังงานเท่านั้น ซึ่งจะสามารถควบคุมน้ำหนักของร่างกายได้ แต่ถ้าร่างกายได้รับพลังงานมากเกินไปจากการรับประทานอาหาร หรือมีการใช้พลังงานที่น้อยเกินไป จะส่งผลให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าร่างกายมีการใช้พลังงานมากเกินไป และได้รับพลังงานจากการรับประทานอาหารน้อย จนมีความจำเป็นที่จะต้องนำพลังงานที่เก็บสะสมไว้มาใช้ จะส่งผลให้น้ำหนักตัวลดลง พลังงานในร่างกาย นิยมใช้เป็นหน่วย กิโลแคลอรี่ (Kilocalorie: kcal) ซึ่งหมายถึงพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กิโลกรัม อุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส โดยพลังงานที่ได้จากสารอาหารแต่ละชนิดมีปริมาณไม่เท่ากัน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี่ ไขมัน ให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี่ สูตรสมดุลย์พลังงาน ได้แก่

Caloric balance = food intake – basal metabolic rate – thermogenesis - work or exercise metabolism – energy excreted in waste products

Caloric balance คือ สมดุลย์การใช้พลังงาน ซึ่งควรจะมีค่าเป็น 0

Basal metabolic rate คือ ระดับพลังงานขั้นต่ำที่ร่างกายใช้ในการดำรงชีวิต ซึ่งแปลผันตามขนาดของร่างกาย เพศ และอายุ

Thermogenesis คือ พลังงานที่ใช้ในการย่อยสลายอาหาร

Work or exercise metabolism คือ พลังงานที่ใช้ในการทำกิจวัตรต่างๆ รวมทั้งการออกกำลังกาย

Energy excreted in waste products คือ พลังงานที่ใช้ในการขับของเสียของร่างกาย

การออกกำลังกาย

ความหมายของการออกกำลังกาย (ถนอมวงศ์กฤษณ์เพ็ชร์ และกุลธิดา เชิงฉลาด, 2536)

1. การเคลื่อนไหวร่างกาย หรือกิจกรรมการออกกำลังกายที่เกี่ยวข้องกับการใช้มัดกล้ามเนื้อใหญ่ๆมากกว่าการใช้กลุ่มกล้ามเนื้อเฉพาะหรือมัดเล็กๆ กิจกรรมการออกกำลังกาย ได้แก่ กายบริหาร เกม และกิจกรรมที่มีรูปแบบ เช่น การวิ่ง การว่ายน้ำ และวิ่งเหยาะ

2. กิจกรรมการเคลื่อนไหวใดๆ ที่ออกแบบสำหรับฝึกหรือพัฒนาทักษะ

การออกกำลังกาย ช่วยให้ร่างกายแข็งแรง นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ช่วยลดระดับไขมันและน้ำตาลในเลือด ช่วยลดความดันโลหิต ช่วยในการนอนหลับได้ดี และช่วยคลายเครียด ทำให้อารมณ์แจ่มใส เบิกบาน มีความสนุกสนาน การออกกำลังกายที่ถูกต้องและสม่ำเสมอ จะช่วยลดอัตราเสี่ยงการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ (Noncommunicable Diseases) เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคเบาหวาน (Diabetes) โรคความดันโลหิตสูง (Hypertension) และโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดต่างๆ (Vascular disease) (McArdle et al., 2006; McGill et al., 2002) รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในด้านต่างๆ ของร่างกาย และเพื่อที่จะได้ประโยชน์สูงสุดของการออกกำลังกาย จึงควรที่จะต้องกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับผู้ออกกำลังกายด้วย

ประโยชน์ของการออกกำลังกาย (ดรุณวรรณ สุขสม, สุพรรณ สุขอรุณ, & สุวิมล ทรัพย์วโรบล, 2553)

ในเด็ก การออกกำลังกายช่วยให้ระบบประสาท และจิตใจทำงานได้ดีเป็นปกติ สามารถป้องกันและลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคในวัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่ได้ โดยทั่วไปการออกกำลังกายให้ประโยชน์ดังนี้

1. ทำให้ระบบไหลเวียนเลือดทำงานได้ดีขึ้น การออกกำลังกายบางรูปแบบ เช่น การออกกำลังกายแอโรบิก หรือแบบสลับช่วง จะมีผลทำให้ระบบการทำงานของหัวใจ ปอด หลอดเลือด และการไหลเวียนเลือดทั่วร่างกายแข็งแรง และมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิม

2. ช่วยชะลอความเสื่อมและลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรค การออกกำลังกายที่เหมาะสมจะสามารถชะลอความเสื่อมของอวัยวะต่างๆ ลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด

3. ทำให้รูปร่างและการทรงตัวดีขึ้น การออกกำลังกายเป็นการช่วยให้การเผาผลาญอาหารภายในเซลล์ต่างๆ ของร่างกายได้รวดเร็วและปริมาณมากขึ้น ช่วยให้มีรูปร่างดีขึ้น เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันว่าการออกกำลังกายเป็นการลดความอ้วน และการควบคุมน้ำหนักที่ได้ผลดี การมีรูปร่างที่ดี จะทำให้มีความคล่องตัวเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้จิตใจสบาย ร่าเริงแจ่มใส และเกิดความเชื่อมั่นในตัวเองสูงขึ้น การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ จะช่วยให้มีการทรงตัวดีขึ้น มีความกระฉับกระเฉงว่องไว ทำให้การทำงานของอวัยวะต่างๆ มีความสัมพันธ์ และประสานงานกันได้ดี

4. ทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรง การออกกำลังกายช่วยให้กล้ามเนื้อแข็งแรงขึ้น สามารถเคลื่อนไหวได้ดียิ่งขึ้น

5. ช่วยให้ระบบขับถ่ายของเสียของร่างกายดีขึ้น การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ จะช่วยให้ระบบขับถ่ายดีขึ้นทุกระบบ เช่น ระบบขับเหงื่อ ปัสสาวะ และอุจจาระ

6. ทำให้การนอนหลับดีขึ้น การออกกำลังกายจะช่วยลดความเครียด และความวิตกกังวล ทำให้นอนหลับได้ดียิ่งขึ้น

7. ช่วยด้านจิตใจ การออกกำลังกายช่วยให้มีการหลั่งสารเอ็นดอร์ฟิน สารนี้นอกจากจะลดความเจ็บปวดแล้วยังเป็นสารที่ต่อต้านความซึมเศร้า ช่วยให้จิตใจสบาย อารมณ์แจ่มใสและร่าเริง

หลักการออกกำลังกายสำหรับเด็ก (American College of Sports Medicine, 2014; Williamson, 2011)

การออกกำลังกายในเด็ก จะเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมทางกาย เพื่อพัฒนาสุขภาพและสมรรถภาพ เด็กควรจะได้รับการสนับสนุนให้เข้าร่วมกิจกรรมทางกายที่หลากหลาย ซึ่งจะต้องมีความสนุกสนาน และเหมาะสมกับวัย

สมาคมเวชศาสตร์การกีฬาของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดหลักการออกกำลังกายสำหรับเด็ก โดยยึดหลักฟิต (The FITT principle) ดังนี้

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก

1. ความถี่ของการออกกำลังกาย (Frequency) ควรออกกำลังกายหรือมีกิจกรรมทางกายทุกวัน

2. ความหนักของการออกกำลังกาย (Intensity) ควรออกกำลังกายที่ความหนักปานกลางถึงความหนักสูงมาก (Moderate - vigorous) และควรเพิ่มการออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก อย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ การออกกำลังกายที่ความหนักปานกลาง สังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate : HR) และการหายใจ (Breathing) การออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก สังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นอย่างมากของอัตราการเต้นของหัวใจ และการหายใจ

3. ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Time) ควรออกกำลังกายอย่างน้อย 60 นาทีต่อวัน

4. ชนิดของการออกกำลังกาย (Type) การออกกำลังกายหรือกิจกรรมทางกายชนิดใดก็ได้ ที่เน้นความสนุกสนาน และการพัฒนาสมอง กิจกรรมสำหรับเด็กมีหลายประเภท เช่น เดินเร็ว วิ่ง ว่ายน้ำ เต้นรำ และปั่นจักรยาน เป็นต้น

การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

1. ความถี่ของการออกกำลังกาย (Frequency) ควรออกกำลังกายอย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์

2. ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Time) เป็นส่วนหนึ่งของการออกกำลังกาย 60 นาทีต่อวัน หรือมากกว่านั้นก็ได้

3. ชนิดของการออกกำลังกาย (Type) กิจกรรมทางกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ อาจจะเป็นกิจกรรมที่มีรูปแบบหรือไม่ก็ได้ เช่น ปีนต้นไม้ เล่นในสนามเด็กเล่น เป็นต้น

การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกระดูก

1. ความถี่ของการออกกำลังกาย (Frequency) ควรออกกำลังกายอย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์

2. ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Time) เป็นส่วนหนึ่งของการออกกำลังกาย 60 นาทีต่อวัน หรือมากกว่านั้นก็ได้

3. ชนิดของการออกกำลังกาย (Type)กิจกรรมทางกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกระดูก ควรเพิ่มการวิ่ง กระโดดเชือก บาสเกตบอล เทนนิส การออกกำลังกายแบบใช้แรงต้าน เป็นต้น

หลักการออกกำลังกายในผู้ที่มีภาวะอ้วนและน้ำหนักเกิน (American College of Sports Medicine, 2014; Williamson, 2011)

สมาคมเวชศาสตร์การกีฬาของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดหลักการออกกำลังกายสำหรับผู้ที่มีภาวะอ้วนและน้ำหนักเกิน โดยยึดหลักฟิต (The FITT principle) ดังนี้

1. ความถี่ของการออกกำลังกาย (Frequency) ควรออกกำลังกายมากกว่าหรือเท่ากับ 5 ครั้ง/สัปดาห์ เพื่อที่จะใช้พลังงานให้ได้มากที่สุด

2. ความหนักของการออกกำลังกาย (Intensity) สำหรับผู้ที่มีภาวะอ้วนและน้ำหนักเกิน ระดับความหนักที่เหมาะสม ควรจะอยู่ที่ความหนักปานกลางถึงความหนักสูงมาก (Moderate - vigorous) ควรเริ่มการออกกำลังกายที่ความหนักปานกลางก่อน (40%-<60% VO_2R or HRR) แล้วจึงเพิ่มขึ้นจนถึงความหนักสูงมาก (≥60% VO_2R or HRR) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสุขภาพและสมรรถภาพของแต่ละคนด้วย

3. ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Time) ผู้ที่มีภาวะอ้วนและน้ำหนักเกินควรออกกำลังกายอย่างน้อย 30 – 60 นาทีต่อวัน หรือรวมระยะเวลาอย่างน้อย 150 นาทีต่อสัปดาห์ สำหรับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักปานกลาง (Moderate aerobic exercise) ในการเพิ่มการออกกำลังกายด้วยความหนักสูงมาก เพื่อที่จะเพิ่มผลของการออกกำลังกาย ควรคำนึงถึงความสามารถและความต้องการในการออกกำลังกายของผู้ออกกำลังกายด้วย และต้องระมัดระวังการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้นได้ง่ายจากการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักสูงมาก จึงมีการแนะนำทางเลือกในการออกกำลังกายแทนการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักสูงมากเป็นระยะเวลานาน โดยใช้การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Intermittent exercise) ที่ความหนักสูงมาก เพื่อลดระยะเวลาที่ร่างกายจะต้องออกกำลังต่อเนื่องกัน และเพิ่มระยะเวลาในการพัก การออกกำลังกายแบบนี้ควรออกกำลังอย่างน้อย 10 นาที ซึ่งจะได้ผลดีเช่นเดียวกันกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักสูงมาก และอาจจะเหมาะสมสำหรับผู้ที่เริ่มต้นออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก

4. ชนิดของการออกกำลังกาย (Type) การออกกำลังกายสำหรับผู้ที่มีภาวะอ้วนและน้ำหนักเกิน ในระยะแรกเริ่มควรเป็นกิจกรรมทางกายแบบแอโรบิกที่ใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ ควรมีการเพิ่มการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้าน และความอ่อนตัวด้วย

รูปแบบของการออกกำลังกาย (Kamen, 2001; McArdle et al., 2006)

รูปแบบของการออกกำลังกาย แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะของการใช้พลังงานในการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise)

แอโรบิก หมายถึง การใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึม หรือกระบวนการสร้างพลังงาน ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน

ของร่างกาย โดยทั่วไปการออกกำลังกายประเภทนี้มักจะใช้ความหนักของการออกกำลังกายต่ำไปจนถึงปานกลาง โดยใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายนาน เช่น เช่น การปั่นจักรยาน การเดิน การวิ่งระยะไกลโดยจะให้ความสำคัญกับการเพิ่มความอดทนของระบบหัวใจและหายใจ แต่ไม่ใช้การวิ่งหรือปั่นจักรยานเร็ว (Sprint)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างต่อเนื่อง (Continuous training) เป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักต่ำแต่ใช้ระยะเวลานาน ค่างานหรือความหนักในการออกกำลังกายในการออกกำลังกายมักจะคำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (HRmax) หรือสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max)

ประโยชน์ที่ได้จากการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

1. กล้ามเนื้อหัวใจแข็งแรงมีขนาดขึ้น ส่งผลให้การสูบฉีดเลือดดีขึ้น มีผลให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลง

2. เม็ดเลือดแดงมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เพื่อทำหน้าที่ในการขนส่งออกซิเจน

3. พัฒนาระบบหายใจ กล้ามเนื้อและอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการหายใจมีความแข็งแรงมากขึ้น

4. พัฒนาการทำงานของกล้ามเนื้อ กระตุ้นหลอดเลือดฝอยในกล้ามเนื้อ ร่างกายสามารถส่งออกซิเจนปยังกล้ามเนื้อได้ดี พัฒนาระบบไหลเวียนเลือด ลดความดันเลือด และขจัดของเสียอันเกิดมาจากการเผาผลาญพลังงานของกล้ามเนื้อได้ดี เช่น กรดแลคติก (Lactic acid)

5. ควบคุมและลดน้ำหนัก ควรทำควบคู่ไปกับการควบคุมอาหาร และเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

6. ลดโรค ภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วน เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิด โรคหัวใจ ความดันโลหิตสูง เส้นเลือดในสมองตีบ เบาหวาน และมะเร็ง น้ำหนักที่ลดลง ลดความเสี่ยงของโรคดังกล่าว นอกจากนี้การออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยเพิ่มน้ำหนัก (Weight-bearing aerobic exercise) ลดการเกิดโรคกระดูกพรุน (Osteoporosis) และอาการที่เกี่ยวข้องได้ อีกทั้งการออกกำลังายแบบแอโรบิกที่มีแรงกระทำต่ำ (Low-impact aerobic exercises) เช่นการว่ายน้ำ ออกกำลังกายในน้ำ หรือจักรยาน เป็นต้น ช่วยโรคข้อเสื่อม โดยที่ไม่เพิ่มความเครียดให้กับข้อ

7. พัฒนาระบบภูมิคุ้มกัน ผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำ จะกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันให้ดีขึ้น การไม่สบายเล็กน้อย เช่นไข้หวัดจะลดลง

8. พัฒนาด้านจิตใจ การออกกำลังกายแบบแอโรบิกช่วยให้มีการหลั่งสารเอ็นดอร์ฟิน สารนี้ช่วยลดความเจ็บปวด แล้วยังเป็นสารที่ช่วยลดความเครียด อาการซึมเศร้า และวิตกกังวลต่างๆ ได้

9. เพิ่มความอดทนให้กับร่างกาย การออกกำลังกายส่งผลให้เกิดความเหนื่อยล้าขณะออกกำลังกายหรือหลังออกกำลังกาย แต่ในระยะยาวร่างกายจะเพิ่มความอดทน และลดอาการเหนื่อยล้าลง

การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic exercise)

แอนแอโรบิก หมายถึง กระบวนการสร้างพลังงาน ที่ไม่ใช้ออกซิเจน การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิกนั้นจะใช้พลังงานสูงในระยะเวลาอันสั้น กลไกการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิก (Glycolysis and lactic acid fermentation) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อออกกำลังกายที่ความสูงแต่ใช้ระยะเวลาสั้น มักจะเป็นกิจกรรมที่มีความหนักสูง แต่ใช้ระยะเวลาในการออกำลังกายสั้นไม่เกิน 2 นาที การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิกที่เป็นที่นิยม คือการออกกำลังกายแบบเพิ่มความแข็งแรง (Strength exercise) การออกกำลังกายแบบนี้ จะใช้แรงต้านในการทำงานของกล้ามเนื้อ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เพิ่มความอดทนของระบบแอนแอโรบิก และขนาดของกล้ามเนื้อลาย การออกกำลังกายแบบนี้มีหลายวิธีการ เช่น การยกน้ำหนัก การออกกำลังกายแบบใช้แรงต้าน เป็นต้น โดยจะให้ความสำคัญกับการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในเวลาอันสั้น

Isometric exercise เป็นการออกกำลังกายแบบค้างเกร็งในลักษณะที่กล้ามเนื้อออกแรงต้านอยู่

Dynamic Resistance exercise เป็นการออกกำลังกายแบบมีแรงต้านและเคลื่อนไหวข้อต่อ การออกกำลังกายแบบนี้สามารถใช้น้ำหนักตัว ลูกตุ้ม หรือ เครื่องออกกำลังกาย ได้

ประโยชน์ที่ได้จากการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก

1. เพิ่มความแข็งแรงและทนทานของกระดูก กล้ามเนื้อ เอ็นต่างๆ ลดความเสี่ยงการเป็นโรคกระดูกพรุน
2. เพิ่มการทำงานของข้อต่อต่างๆ
3. ลดการบาดเจ็บอันเกิดมาจากกล้ามเนื้ออ่อนแรง
4. เพิ่มการทำงานของหัวใจ
5. พัฒนาการทำงานประสานกันของร่างกายและการทรงตัว (Coordination and balance)

การออกกำลังกายแบบผสมระหว่างแอโรบิกกับแอนแอโรบิก (Aerobic and Anaerobic exercise)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลดีต่อความดันเลือดสูง โรคอ้วน โรคหัวใจ เบหวาน โรคนอนไม่หลับ และโรคซึมเศร้า การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ส่งผลให้ เกิดการเผาผลาญพลังงานหลังจากออกกำลังกายนานถึง 24 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถส่งผลดีต่อระบบหัวใจและหายใจได้ดีเท่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ฉะนั้นการออกกำลังกายแบบผสมระหว่างแอโรบิกและแอนแอโรบิก จะส่งผลดีต่อกลไลการทำงานของหัวใจ โดยเพิ่มปริมาณการสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจ (Cardiac volume) หรือเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardial thickness)

การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval traning) เป็นการออกกำลังกายที่สามารถพัฒนาได้ทั้งระบบแอโรบิก และแอนแอโรบิก โดยจะมีทั้งการออกกำลังกายที่ความหนักสูงกับการพัก การกระตุ้นด้วยความหนักที่สูงกว่าปกติจะส่งผลให้เกิดความเครียดให้กับระบบพลังงาน เช่นเดียวกับการออกำลังกายแบบแอโรบิกในระยะยาว ข้อดีที่สำคัญที่สุดของการออกกำลังกายประเภทนี้คือ งานที่ทำได้ทั้งหมดในการออกกำลังกายสามารถแบ่งทำเป็นส่วนๆ ได้โดยไม่ต้องทำติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น นักกีฬาที่ได้รับการฝึกเป็นอย่างดี สามารถออกกำลังกายที่ความหนัก 100% VO_2max ได้เป็นระยะเวลา 10 นาที ก่อนที่จะเหนื่อย ในทางกลับกัน ถ้าเปลี่ยนวิธีการฝึกเป็น ออกกำลังกายต่อเนื่อง 2-3 นาที สลับกับพัก 2-3 นาที นักกีฬาคนนี้จะสามารถออกกำลังกายได้ถึง 1 ชั่วโมง การออกกำลังกายแบบสลับช่วงสามารถทำได้นานถึง 30 นาที ในขณะที่การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องทำได้เพียง 10 นาที นั้นส่งผลให้ค่างานรวมในการออกกำลังกายแบบสลับช่วงนั้นมากกว่าแบบต่อเนื่องที่ความหนักเดียวกัน กลไกการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิก (Glycolysis and lactic acid fermentation) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงแต่ใช้ระยะเวลาสั้น (High intensity, low duration) เช่นการวิ่งหรือปั่นจักรยานเร็ว (Sprinting) การออกกำลังกายแบบแอโรบิกไม่สามารถเพิ่มการเผาผลาญพลังงานพื้นฐานได้ดีเท่าการยกน้ำหนัก (Weight-training) ซึ่งส่งผลดีต่อการควบคุมน้ำหนัก

สมรรถภาพทางกาย

ความหมายของสมรรถภาพทางกาย

1. ความสามารถในการควบคุมร่างกายและการทำงานของร่างกายได้ทันที และได้นานโดยไม่เสื่อมสมรรถภาพ

2. ความสามารถของร่างกายในการปฏิยัติหน้าที่ประจำวันในสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่มีความเหน็ดเหนื่อยอ่อนแอจนเกินไป สามารถสงวนและถนอมกำลังไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน และใช้เวลาว่างเพื่อความสนุกสนาน และความบันเทิงในชีวิตตนเองด้วย (เจริญทัศน์ จินตนเสรี, 2538)

ประเภทของสมรรถภาพทางกาย

สมรรถภาพทางกาย แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. สมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสุขภาพ หรือสุขสมรรถนะ (Health related physical fitness) ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1. องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition)
2. ความอดทนของระบบหัวใจ และหายใจ (Cardiorespiratory endurance)
3. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength)
4. ความอดทนของกล้ามเนื้อ Muscular endurance)
5. ความอ่อนตัว (Flexibility)

2. สมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับทักษะ หรือทักษะสมรรถนะ (Skill related physical fitness) ประกอบด้วย 10 องค์ประกอบ ดังนี้

1. สัดส่วนของร่างกาย (Body composition)
2. ความอดทนของระบบหัวใจ และหายใจ (Cardiorespiratory endurance)
3. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength)
4. ความอดทนของกล้ามเนื้อ Muscular endurance)
5. ความอ่อนตัว (Flexibility)
6. กำลัง (Power)
7. ความเร็ว (Speed)
8. ความคล่องแคล่วว่องไว (Agility)
9. ปฏิกิริยาตอบสนอง (Reaction time)
10. การทรงตัว (Balance)

องค์ประกอบของสมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสุขภาพ หรือสุขสมรรถนะ (Docherty, 1996)

1. องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) หมายถึง องค์ประกอบที่มีอยู่ในร่างกาย ได้แก่ น้ำหนักร่างกายปลอดไขมัน ไขมันร่างกาย และส่วนที่ไม่ใช่ไขมัน ทดสอบได้โดยวิธีการทางห้องปฏิบัติการ (Laboratory methods) ได้แก่ การชั่งน้ำหนักใต้น้ำ (Hydrostatic weighing) และการใช้เครื่องเด็กซ่า (Dual-Energy X-ray absorptiometry: DEXA) เป็นต้น หรือทดสอบได้โดยวิธีการทางภาคสนาม (Field methods) ได้แก่ การวัดไขมันใต้ผิวหนังโดยใช้สกินโฟล์ดแคลิเปอร์ (Skinfold caliper) และวิธีไบโออิเล็กทริคอลอิมพิแดนซ์อะนาไลซิส Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) โดยเครื่องวิเคราะห์องประกอบของร่างกาย (BIA analyzer) โดยในเด็กก็สามารถที่จะใช้วิธีการวัดดังที่กล่าวมานี้ได้

2. ความอดทนของระบบหัวใจ และหายใจ (Cardiorespiratory endurance) หมายถึง ความสามารถของการทำงานของหัวใจ ปอด หลอดเลือด และเซลล์ต่างๆ ในการไหลเวียนเลือดและนำออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ รวมถึงความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะนำออกซิเจนไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการระบายของเสียออกจากกล้ามเนื้อ ส่วนใหญ่ใช้การทดสอบการหาค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Max/Peak oxygen consumption) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) ทดสอบได้โดยการออกกำลังกายสูงสุด (Maximal exercise test) ด้วยวิธีการเดินหรือวิ่งบนลู่กลของบรูซ (Bruce treadmill protocol) วิธีการเดินหรือวิ่งบนลู่กลของบัลกี (Balke treadmill protocol) วิธีการปั่นจักรยาน (Bicycle ergometer exercise test protocol) ของออสตรานต์ (Astrand) ฟอกซ์ (Fox) และแมคอาเดิล (MacArdle) หรือทดสอบได้โดยการออกกำลังกายเกือบสูงสุด (Submaximal exercise test) ด้วยวิธีการเดินหรือวิ่งบนลู่กลของบรูซ (Bruce treadmill protocol) วิธีการปั่นจักรยาน (Bicycle ergometer exercise test protocol) ของเกรดเอ็กเซอร์ไซส์เทส (Grade exercise test) ออสตรานต์ (Astrand) วายเอ็มซีเอ (YMCA) และเอซีเอสเอ็ม (ACSM) เป็นต้น

ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างเป็นเด็ก จึงทดสอบหาค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (Peak oxygen consumption) โดยการออกกำลังกายสูงสุด (Maximal exercise test) ด้วยวิธีการปั่นจักรยาน (Bicycle ergometer exercise test protocol) เนื่องจากความเสี่ยงในการบาดเจ็บจะน้อยกว่าลู่กล ด้วยเกรดเอ็กเซอร์ไซส์เทส (Grade exercise test) (Crisp et al., 2012) โดยเริ่มด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนักของงาน 20 วัตต์ (Watt) และจะเพิ่มความหนัก 20 วัตต์ ทุกๆ 3 นาที ในการทดสอบนี้จะคงความเร็วของการปั่นจักรยานที่ 50

รอบต่อนาที และจะเพิ่มแรงต้านด้วยแผ่นน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความหนักของงานที่กระทำ ทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าผู้ร่วมวิจัยถึงจุดล้าหรืออาการอื่นๆที่แสดงว่าถึงขีดสุดของความสามารถในการออกกำลังกายแล้ว เช่น เวียนศีรษะ หายใจแรงมาก เป็นต้น

3. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular strength) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำให้เกิดแรงดึงสูงสุด ทดสอบได้โดย วิธีไอโซเมตริก (Isometric muscle testing) ได้แก่ การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแยนและมือ โดยเครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand grip dynamometer) การวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหลังและขา โดยเครื่องวัดแรงดึงหลังและขา (Back and leg lift dynamometer) เป็นต้น หรือทดสอบได้โดยวิธีไดนามิก (Dynamic muscle testing) การวัดน้ำหนักสูงสุดที่สามารถออกแรงกระทำได้ใน 1 ครั้ง (1RM) และการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแต่ละส่วนด้วยเครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) เป็นต้น โดยในเด็กก็สามารถที่จะใช้วิธีการวัดดังที่กล่าวมานี้ได้

4. ความอดทนของกล้ามเนื้อ Muscular endurance) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อ ในการออกแรงทำงานได้ต่อเนื่องระยะเวลาหนึ่ง ทดสอบได้โดย การวัดความอดทนของกล้ามเนื้อหน้าท้องด้วยการลุกนั่ง (Sit up or Curl up) การวัดความอดทนของกล้ามเนื้อแขนด้วยการดันพื้น (Push up) หรือดึงข้อ (Pull up)/ ดึงข้องอศอก (Flex arm hang) และการวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแต่ละส่วนด้วยเครื่องไอโซคิเนติก (Isokinetic dynamometer) เป็นต้น โดยในเด็กก็สามารถที่จะใช้วิธีการวัดดังที่กล่าวมานี้ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การดันพื้น และลุกนั่งด้วยความเร็ว 1 นาที

5. ความอ่อนตัว (Flexibility) หมายถึง พิกัดการเคลื่อนไหวของข้อต่อ หรือความสามารถของข้อต่อในการเคลื่อนไหวได้อย่างกว้างขวาง ทดสอบได้โดยการวัดโดยตรง (Direct method) ด้วยเครื่องวัดมุม หรือทดสอบได้โดยการวัดโดยอ้อม (Indirect method) โดยการทดสอบนั่งเหยียดขาพับตัว (Sit and reach test) โดยในเด็กก็สามารถที่จะใช้วิธีการวัดดังที่กล่าวมานี้ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศ

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2547) ได้ทำการสำรวจภาวะอาหารและโภชนาการของประชาชนในกรุงเทพมหานคร พ. ศ. 2547 พบว่า กลุ่มตัวอย่างวัยเรียน อายุ 6-14 ปี ในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 884 คน จาก 775 ครัวเรือน พบว่ามีอัตราความชุกของภาวะโภชนาการเกิน ร้อยละ 15.0 โดยเด็กวัยเรียนเพศชายเป็นโรคอ้วนมากกว่าเด็กวัยเรียนเพศหญิง ดังนั้น การดำเนินงานด้านอาหารและโภชนาการ เพื่อให้เด็กวัยเรียนมีภาวะโภชนาการที่ดี จะได้เพิ่มประสิทธิผลการเรียนรู้ เติบโตเป็นผู้ใหญ่ที่มีคุณภาพ เป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยในอนาคต

จิรภา น้าคณาคุปต์ (2542) ได้ศึกษาเกี่ยวกับกิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายและการใช้พลังงานระหว่างเด็กไทยที่อ้วนและไม่อ้วนในกรุงเทพมหานคร โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นเด็กอ้วน จำนวน 21 คนและเด็กไม่อ้วน จำนวน 26 คน รวมทั้งสิ้น 47 คน อายุ 9-12 ปี ทำการวัดสัดส่วนของร่างกาย การใช้พลังงานของร่างกาย และกิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกาย พบว่า เด็กอ้วนมี อัตราการใช้พลังงานขณะพักและขณะมีกิจกรรมสูงกว่าเด็กไม่อ้วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$)

เสาวลักษณ์ สุนทราลักษณ์ (2552) ได้ศึกษาเรื่องการเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกและการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกพร้อมกับการใช้แรงต้านที่มีต่อการเผาผลาญพลังงานและสุขสมรรถนะของหญิงภาวะน้ำหนักเกิน โดยอาสาสมัครเป็นนิสิตหญิง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 42 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มน้ำหนักปกติ จำนวน 20 คน และกลุ่มน้ำหนักเกิน 22 คน และทั้งสองกลุ่ม แบ่งเป็นกลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการปั่นจักรยาน และกลุ่มการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกพร้อมกับการใช้แรงต้านโดยการปั่นจักรยานพร้อมกับการใช้ยางยืด ใช้ความหนักในการออกกำลังกาย 64-76 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เป็นระยะเวลา 30 นาที ทั้งหมด 8 สัปดาห์ พบว่า การฝึกออกกำลังกายแบบแอโร

บิกพร้อมกับการใช้แรงต้านมีประสิทธิภาพในการเพิ่มอัตราการเผาผลายพลังงาน รวมถึงพัฒนาสุขสมรรถนะและการไหลของเลือดชั้นผิวหนังได้มากกว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างเดียวทั้งในบุคคลที่มีน้ำหนักปกติและน้ำหนักเกิน

สว่างจิต แซ่โง้ว (2552) ได้ศึกษาเรื่องผลการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบวงจรที่มีต่อสุขสมรรถนะของเด็กที่มีภาวะน้ำหนักเกิน โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนที่มีภาวะน้ำหนักเกิน อายุ 10 – 12 ปี จำนวน 50 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม จำนวน 25 คน และกลุ่มทดลอง จำนวน 25 คน โดยกลุ่มทดลองทำการฝึกตามโปรแกรมการออกกำลังกายแบบวงจร 8 สถานี ใช้เวลา 60 นาที ฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ รวมทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ พบว่า หลังการทดลอง 8 สัปดาห์กลุ่มทดลองมีสุขสมรรถนะดีกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

งานวิจัยต่างประเทศ

ทาบาตะ และคณะ (Tabata et al., 1996) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบทนทานที่ความหนักปานกลางกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงที่มีผลต่อความจุของพลังงานแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity) และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงl6f งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 2 การฝึกด้วยจักรยาน การศึกษาที่ 1 ผลของการฝึกการออกกำลังกายแบบทนทานที่ความหนักปานกลาง (170% VO_2max) 60 นาทีต่อวัน 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ความจุของพลังงานแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity) ไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น การศึกษาที่ 2 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ประกอบด้วย การปั่นจักรยานที่ความหนักสูง (170% VO_2max) 20 วินาที แล้วพัก 10 วินาที ทำ 7-8 รอบ ต่อวัน 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า มีผลต่อการเพิ่มความจุของพลังงานแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity) และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

วู และคณะ (Woo et al., 2004a) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายและการควบคุมอาหารที่มีผลต่อการสูญเสียการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน มีผู้เข้าร่วมงานวิจัยเป็นเด็กที่มีภาวะน้ำหนักเกิน 82 คน (ค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกาย 25 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) ซึ่งมีอายุระหว่าง 9-12 ปีโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมอาหารอย่างเดียว กับกลุ่มที่ควบคุมอาหารและออกกำลังไปด้วย ใช้ระยะเวลาในการทดลอง 6 สัปดาห์ และติดตามผลภายหลัง 1 ปี โดยยังคงควบคุมอาหารและออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง พบว่า หลัง 6 สัปดาห์ ทั้งสองกลุ่มให้ผลดีในการลดสัดส่วนระหว่างเอวกับสะโพก และระดับคอเลสเตอรอล การออกกำลังกายควบคู่ไปกับการควบคุมอาหารให้ผลดีมากกว่าการควบคุมอาหารเพียงอย่างเดียวในการพัฒนาการทำงานของหลอดเลือด เมื่อครบ 1 ปี มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของการลดความหนาของผนังหลอดเลือด และมีการพัฒนาไขมันในร่างกายและระดับไขมันในเลือดในกลุ่มที่มีการออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่อง ($p<0.001$) กลุ่มที่มีการออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่องจะมีการทำงานของหลอดเลือดดีกว่ากลุ่มที่ไม่ออกกำลังกาย

อังกวน และคณะ (Aggoun et al., 2008) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของเอนโดทิเลียมและกล้ามเนื้อเรียบ และความเครียดของหลอดเลือดที่เกิดขึ้นในเด็กอ้วนวัยก่อนเจริญพันธุ์ และความเกี่ยวข้องกับความดันโลหิตที่สูงขึ้น มีผู้เข้าร่วมเป็นเด็กอ้วน 48 คน และเด็กที่มีน้ำหนักปกติ 23 คน ก่อนวัยเจริญพันธุ์ อายุเฉลี่ย 8.8 ปี พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของการตอบสนองของหลอดเลือดจากการกระตุ้นด้วยการไหลของเลือด (Flow mediate dilation: FMD) และการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบ (Nitroglycerin-mediated dilation: NTGMD) ซึ่งในเด็กอ้วนจะมีการตอบสนองของหลอดเลือดจากการกระตุ้นด้วยการไหลของเลือด น้อยกว่าในเด็กที่มีน้ำหนักตัวปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในเด็กอ้วนเริ่มมีการสูญเสียการทำงานของหลอดเลือด

ราโคโบชัค และคณะ (Rakobowchuk et al., 2008) ได้ทำการศึกษา การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก เปรียบเทียบกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ โดยการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อยมาก (Low-volume, Sprint

interval) โดยการปั่นจักรยานแบบเร็วที่สุด 30 วินาทีสลับกับหยุดพัก 4.5 นาที จำนวน 4 – 6 ครั้งต่อเนื่องกัน (4 – 6 x 30 sec “all out” sprint) 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในผู้ใหญ่ พบว่าสามารถพัฒนาโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดแดงส่วนปลายได้ (Peripheral arterial) เมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักปานกลาง 65 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (65% VO_2peak) (Moderate-intensity continuous exercise) ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกาย 40-60 นาที

เบเกอร์ และคณะ (Baker et al., 2004) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยจักรยานที่ระดับความหนักสูงในด้านสรีรวิทยา สารชีวเคมีและกลการทำงานของกล้ามเนื้อ พบว่าหลังจากออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง เมื่อวัดค่ามาลอนไดอัลดีไฮด์ทันทีหลังจากออกกำลังกายนั้นค่ามาลอนไดอัลดีไฮด์เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อวัดหลังจากออกกำลังกายแล้ว 24 ชั่วโมง ค่ามาลอนไดอัลดีไฮด์ไม่แตกต่างกับก่อนออกกำลังกาย แสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายที่ความหนักสูงไม่ส่งผลทำลายกล้ามเนื้อ

ราโคโบชัค และคณะ (Rakobowchuk et al., 2009) ได้ทำการศึกษา การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อยมาก (Low-volume, Sprint interval) เปรียบเทียบกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักปานกลาง (Moderate-intensity continuous exercise) ในผู้ใหญ่ โดยการปั่นจักรยานแบบเร็วที่สุด 30 วินาทีสลับกับหยุดพัก จำนวน 4 – 6 ครั้งต่อเนื่องกัน (4-6x30 sec “all out” sprint) เปรียบเทียบกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักปานกลาง (Moderate-intensity continuous exercise) ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกาย 40 นาที พบว่า ส่งผลแบบฉับพลันต่อการพัฒนาโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

คริสป์ และคณะ (Crisp et al., 2012a) ได้ศึกษารูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงด้วยการปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดที่ดีที่สุดต่อการใช้พลังงานสูงสุดและความสนุกสนาน

ในเด็กชายที่มีน้ำหนักเกิน โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อหารูปแบบของความถี่ของช่วงที่ปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดที่เหมาะสม การใช้พลังงาน ผลอย่างฉับพลันของการรับพลังงานหลังออกกำลังกาย และความสนุกสนานในการออกกำลังกาย โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นเด็กชายที่น้ำหนักตัวเกิน 11 คน ออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบต่อเนื่อง 30 นาที ที่ความหนักปานกลาง หรือออกกำลังกายแบบสลับช่วงด้วยการปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุด โดยมีช่วงเวลาที่ปั่นเร็วสูงสุดสลับกับปั่นจักรยานที่ความหนักปานกลาง แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ ปั่นเร็วสูงสุด 4 วินาที ทุกๆ 2 นาที ปั่นเร็วสูงสุด 4 วินาที ทุกๆ 1 นาที และปั่นเร็วสูงสุด 4 วินาที ทุกๆ 30 วินาที พบว่าการใช้พลังงาน (Energy expenditure) เพิ่มขึ้น เมื่อมีการปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่าง 3 กลุ่มที่ปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุด แต่ในกลุ่มที่ปั่นเร็วสูงสุด 4 วินาที ทุกๆ 1 นาที มีความต้องการพลังงานหลังออกกำลังกายน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ แสดงว่ารูปแบบการออกกำลังกายแบบปั่นเร็วสูงสุด 4 วินาที ทุกๆ 1 นาทีเหมาะสมต่อเด็กชายที่มีน้ำหนักตัวเกินมากที่สุด แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดในทุกกลุ่มในด้านความสนุกสนาน

ลิตเติ้ล และคณะ (Little et al., 2011) ได้ทำการศึกษา การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ในผู้ชายสุขภาพแข็งแรง โดยการปั่นจักรยานด้วยความหนักของค่างานสูงสุดของการออกกำลังกาย (Work load: watt) เมื่อทดสอบค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) เป็นเวลา 60 วินาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 วัตต์ เป็นเวลา 75 วินาที (Low –volume, high-intensity) จำนวน 8-12 ครั้ง ในวันจันทร์ พุธ และศุกร์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง สามารถเพิ่มปฏิกิริยาของไมโตคอนเดรียล ไบโอเจเนซิส(Mitochondria biogenesis) ในกล้ามเนื้อลาย และการพัฒนาสมรรถภาพการเผาผลาญพลังงานได้

เฟรสซิน และคณะ (Freyssin et al., 2012) ได้ศึกษาการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High intensity interval training) กับการออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่อง (Continuous exercise) ที่มีผลต่อการฟื้นฟูผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจวายเรื้อรัง (Chronic heart failure) ใน 8 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างเป็น ผู้ป่วยโรคหัวใจวาย 26 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม

ที่ออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (45 นาที) และกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (ออกกำลังที่ความหนักสูงมาก 30 วินาที แล้วพัก 60 วินาที ทำ 12 รอบ) 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มมากขึ้น

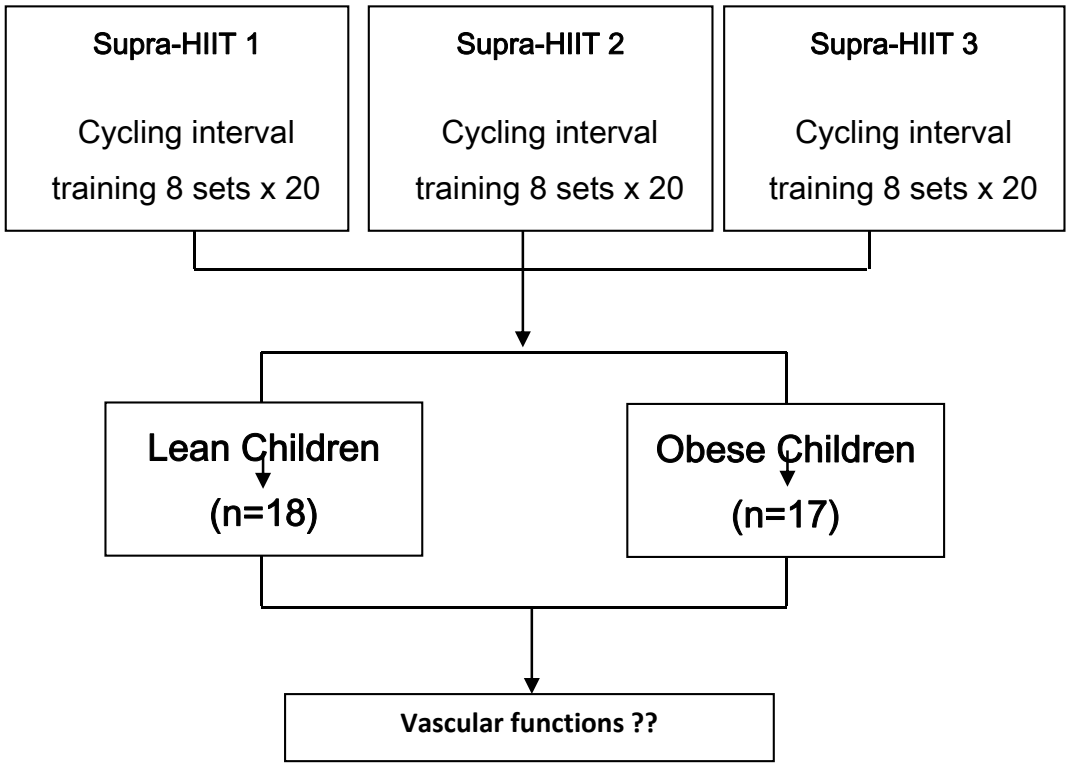
ไวท์ และคณะ (Whyte et al., 2013) ได้ทำการศึกษา โดยการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อยมาก เปรียบเทียบกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักปานกลาง (Moderate-intensity continuous exercise) ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ชายอ้วนหรือน้ำหนักเกินที่มีกิจกรรมทางกายต่ำ โดยการปั่นจักรยานแบบเร็วที่สุด 30 วินาทีสลับกับหยุดพัก จำนวน 4 ครั้งต่อเนื่องกัน (4x30 sec “all out” sprint) เปรียบเทียบกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักปานกลาง (Moderate-intensity continuous exercise) ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกาย 60 – 90 นาที พบว่า ส่งผลแบบฉับพลันให้ความดื้อต่ออินซูลินลดลง และระบบการเผาผลาญไขมันดีขึ้น

เฮดารี่ และคณะ (Heydari, Boutcher, & Boutcher, 2013) ได้ทำการศึกษาเรื่องผลกระทบของการออกกำลังกายสลับช่วงที่ความหนักสูงต่อการตอบสนองของเส้นเลือดหัวใจต่อการทดสอบทางใจและทางกาย วัตถุประสงค์ของงากรวิจัยคือ เพื่อศึกษาผลกระทบของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงจำนวน 12 สัปดาห์ต่อเส้นเลือดหัวใจและการตอบสนองอัตโนมัติของผู้ชายต่อการทดสอบทั้งร่างกายและจิตใจ กลุ่มตัวอย่างคือชายหนุ่มที่มีน้ำหนักเกินจำนวน 34 คนที่ถูกสุ่มให้เป็นทั้งกลุ่มออกกำลังกายและกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายจะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความถี่สูง 3 ครั้งต่อสัปดาห์ตลอด 12 สัปดาห์ การตอบสนองของเส้นเลือดหัวใจต่อการออกกำลังกายถูกวัดทั้งก่อนและหลังการทดสอบโดยการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณเลือดของการบีบตัวของหัวใจหนึ่งครั้ง ความแข็งของหลอดเลือดแดง ความไวต่อแรงกด และการไหลเวียนของเลือดในกล้ามเนื้อลาย กลุ่มที่มีการออกกำลังกายพัฒนาระดับในการออกกำลังกายขึ้น 17% และลดน้ำหนักได้ 1.6 กิโลกรัม ผู้ที่ออกกำลังกายเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมมีอัตราการเต้นของหัวใจลดลงอย่างมีนัยสำคัญและมี

ปริมาณเลือดต่อการบีบของหัวใจหนึ่งครั้งเพิ่มขึ้นในขณะพัก ระหว่างการออกกำลังกาย รวมทั้งความแข็งตัวของหลอดเลือดแดงที่ลดลงด้วยในขณะที่ความไวต่อแรงกดเพิ่มขึ้น มีการเพิ่มขึ้นของการไหลเวียนเลือดบริเวณปลายแขนในระหว่างสองนาทีแรกในการออกกำลังกาย การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดหัวใจและการตอบสนองอัตโนมัติทั้งในขณะพักและระหว่างการทดสอบทั้งทางกายและใจหลังการทดสอบ 12 สัปดาห์ผ่านไป

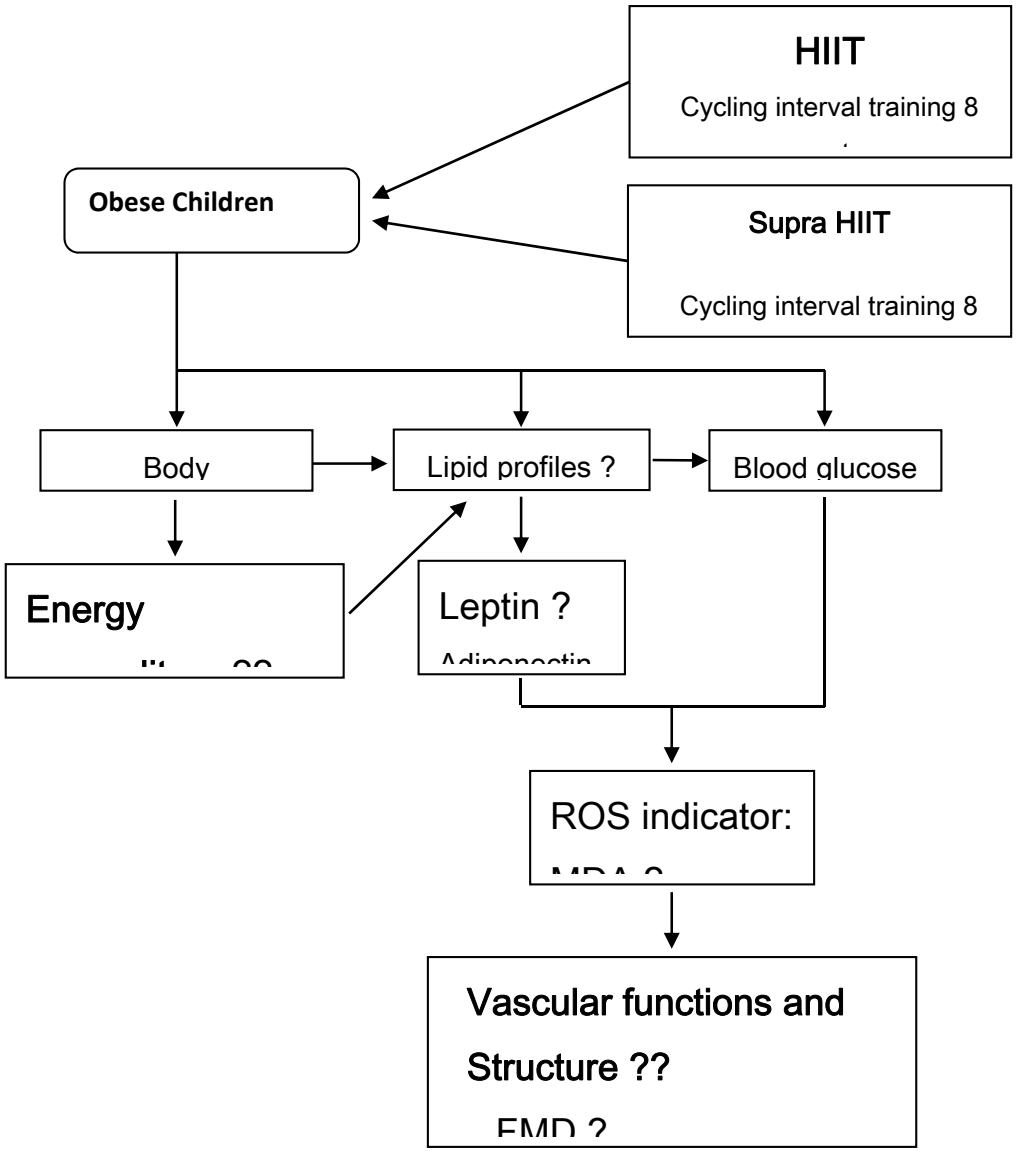
กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน



รูปที่ 5 กรอบแนวคิดในการวิจัยของการศึกษาที่ 1

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน



รูปที่ 6 กรอบแนวคิดในการวิจัยของการศึกษาที่ 2

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน และเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน และได้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมโดยคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2556 COA NO. 130.1/56 (ภาคผนวก ก) วิธีดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็น 2 การศึกษา ดังนี้

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

กลุ่มตัวอย่าง

อาสาสมัครเป็นเด็กชายที่มีน้ำหนักปกติและมีภาวะอ้วน อายุระหว่าง 8 – 12 ปี ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี หากค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มอ้วน แต่ถ้าค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) น้อยกว่า +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มน้ำหนักปกติ (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2542) (ภาคผนวก ข) กำหนดกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ตารางคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างของ โคเฮน (Cohen, 1977) และกำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) ที่ .70 ขนาดของผลกระทบ (Effect size) ที่ .40 และระดับนัยสำคัญที่ .05 ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 20 คน โดยผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) ตามค่าดัชนีมวลกายของกลุ่มตัวอย่างดังที่กล่าวมาในขั้นต้น แต่มีกลุ่ม

ตัวอย่างขาดหายไปทั้งหมด 5 คน เนื่องจากเจ็บป่วยและไม่สามารถมาเข้าร่วมการออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่องตามที่กำหนด จึงเหลือกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มทดลองดังนี้

1. กลุ่มทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มน้ำหนักปกติ จำนวน 18 คน
2. กลุ่มทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มอ้วน จำนวน 17 คน

รวมเป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 35 คน

เกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยอายุระหว่าง 8-12 ปี ที่มีน้ำหนักตัวปกติและมีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี หากค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มอ้วน และค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) น้อยกว่า +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มน้ำหนักปกติ (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2542) (ภาคผนวก ข)
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสุขภาพดีแข็งแรงปราศจากโรค หรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมในการออกกำลังกาย ประเมินโดยแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก (Physical Activity Readiness Questionnaire for Children; PAR-Q for Children) (ภาคผนวก ค) ซึ่งผู้ปกครองของผู้เข้าร่วมวิจัยต้องตอบว่า “ไม่” ทุกข้อจึงจะผ่านเกณฑ์การประเมิน
3. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีความสมัครใจเข้าร่วมในงานวิจัย ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัยและได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองในการลงนามใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมงานวิจัยต่อไปได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมในการทำวิจัยต่อ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสารเกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากในกลุ่มตัวอย่างต่างๆ เช่น เด็ก วัยรุ่น ผู้ใหญ่ และผู้ป่วยที่เป็นโรคเรื้อรังต่างๆ

เช่นโรคหัวใจ โรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง รวมทั้งรูปแบบการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับเด็กอ้วน

2. ศึกษาและคิดวิเคราะห์รูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เหมาะสมกับเด็กอ้วนและมีผลดีต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือด ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้น จึงได้รูปแบบการอออกกำลังกายแบบสลับช่วงด้วยจักรยาน โดยใช้อัตราส่วน 2:1

3. ดำเนินการหากลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยประสานงานกับผู้บังคับการโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย และผู้อำนวยการโรงเรียนเยาวลักษณ์วิทยาธนบุรี ขออนุญาตเข้าเก็บรวบรวมข้อมูล ดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเข้า โดยการสมัครใจเข้าร่วม ซึ่งได้เด็กชายน้ำหนักตัวปกติ 20 คน และเด็กชายที่มีภาวะอ้วน จำนวน 20 คน

4. ผู้สมัครใจเข้าร่วมและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้า ได้รับทราบรายละเอียดของวิธีปฏิบัติตัวในการทดสอบและการเก็บข้อมูล และผู้ปกครองลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยจัดสถานที่ทำการอบรมเกี่ยวกับประโยชน์ที่จะได้รับจากการออกกำลังกาย ความรู้เกี่ยวกับการรับประทานอาหาร การเตรียมตัวก่อนการออกกำลังกาย และการปฏิบัติตัวระหว่างช่วงที่เข้าร่วมงานวิจัย ให้กับผู้เข้าร่วมวิจัย ผู้ปกครองและครู

5. ผู้เข้าร่วมวิจัยและผู้ปกครองกรอกข้อมูลในแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก และแบบสอบถามประวัติสุขภาพทั่วไป

6. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยมาทำการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จำนวน 4 ครั้ง โดยมีระยะเวลาห่างกันแต่ละครั้ง เป็นเวลา 3 วัน มีผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ จำนวนทั้งสิ้น 3 คน เป็นผู้ควบคุมดูแล ก่อนการทดสอบทุกครั้ง ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง และจะทดสอบหลังจากรับประทานอาหารแล้วอย่างน้อย 2 – 3 ชั่วโมง รายละเอียดของการดำเนินการ มีดังนี้ (ดูรูปที่ 7)

6.1 ครั้งที่ 1 : เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยมาถึง ณ สถานที่ทดสอบ จะทำการพัก เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นจะได้รับการประเมินตัวแปรด้านสรีรวิทยา ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI) ไขมัน สัดส่วนเอว-สะโพก (Waist-hip ratio) อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) ขณะพัก และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ขณะพัก ด้านการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD) ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT) และ คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) และทำการวัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) โดยการปั่นจักรยาน (Bicycle) จนเหนื่อยหมดแรง (Exhaustive exercise)

เท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ ทำการวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzer) ตลอดการทดสอบ การประเมินค่าตัวแปรต่างๆจะกระทำตามลำดับดังที่กล่าวมาในขั้นต้น ในงานวิจัยครั้งนี้จะนำค่างาน (Work load) ที่ได้ในขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุดมาคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย (Crisp et al., 2012) ซึ่งค่างานที่ได้นี้จะเท่ากับความหนักของการออกกำลังกายที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100% VO_2peak)

6.2 ครั้งที่ 2 : ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supra-High Intensity Interval Training: Supra - HIIT) ระดับความหนัก 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100% VO_2peak) โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

6.2.1 เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยมาถึง ณ สถานที่ทดสอบ จะทำการพัก เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นจะได้รับการประเมินตัวแปรด้านสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) ขณะพัก และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ขณะพัก จากนั้นจะทำการทดสอบการออกกำลังกายต่อไป

6.2.2 ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน มีรายละเอียด ดังนี้

6.2.2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัยอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที

6.2.2.2 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน เพื่ออบอุ่นร่างกายก่อนปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก โดยปรับแรงต้านให้ค่างานเท่ากับที่ระดับความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (50% VO_2peak) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (Heydari et al., 2013; Tabata et al., 1996)

6.2.2.3 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน โดยปรับแรงต้านให้ค่างานเท่ากับที่ระดับความหนัก 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100% VO_2peak) สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วน 2 : 1 คือ ปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 วินาที สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ เป็นเวลา 4 นาที (Tabata et al., 1996)

6.2.2.4 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน เพื่อคลายอุ่นร่างกายหลังปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก โดยปรับแรงต้านให้ค่างานเท่ากับที่ระดับความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (50% VO_2peak) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (Heydari et al., 2013; Tabata et al., 1996)

จากข้อ 6.2.2.2 ถึง 6.2.2.4 ระยะเวลาในการปั่นจักรยานทั้งสิ้น 14 นาที

6.2.2.5 ผู้เข้าร่วมวิจัยยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที (หลังได้รับการประเมินตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดแล้ว)

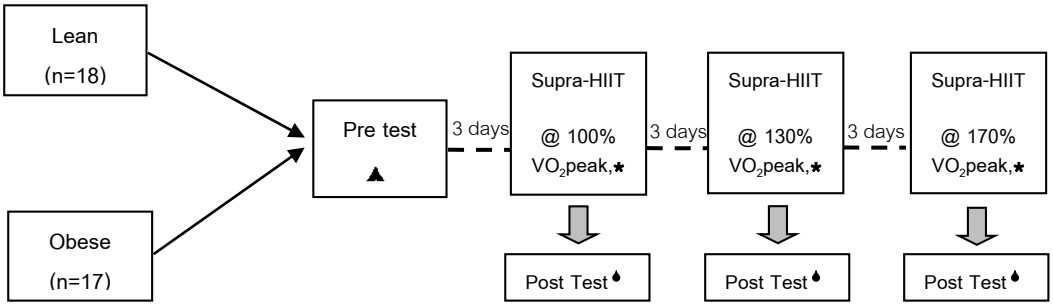
6.2.3 ระหว่างการทดสอบการออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการประเมินอัตราการเต้นของหัวใจ และการใช้พลังงาน (Energy expenditure) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzer)

6.2.4 หลังการทดสอบการออกกำลังกายทันที ไม่เกิน 5 นาที ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการประเมินตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD) ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT) และ คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 20 นาที

ผู้เข้าร่วมวิจัยใช้เวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ 80 นาที

6.3 ครั้งที่ 3 : ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากระดับความหนัก 130 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (130% VO_2peak) โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังรายละเอียดที่กล่าวไปในข้อ 6.2 แต่เปลี่ยนความหนักในข้อ 6.2.2.3 เป็น 130 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (130% VO_2peak) การคำนวณความหนักของการออกกำลังกายใช้สูตร ค่าความหนักของการออกกำลังกาย (Intensity) = เปอร์เซ็นต์ของความหนักที่ต้องการ x ค่างานที่ได้ในขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุด (Work load at VO_2peak) (Crisp et al 2012)

6.4 ครั้งที่ 4 : ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากระดับความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak) โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังรายละเอียดที่กล่าวไปในข้อ 6.2 แต่เปลี่ยนความหนักในข้อ 6.2.2.3 เป็น 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak) โดยใช้วิธีคำนวณตามข้อ 6.3



Pre test ▲	During exercise test *	Post test ♦
1. Height 2. Weight 3. BMI 4. Fat (%) 5. Waist-hip ratio 6. Resting HR 7. Resting BP 8. VO_2peak 9. FMD (%) 10. IMT 11. baPWV	1. HR 2. Gas exchange	1. FMD (%) 2. IMT 3. baPWV

รูปที่ 7 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของการศึกษาที่ 1

7. การทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยา การใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือด มีรายละเอียด ดังนี้

7.1 ตัวแปรด้านสรีรวิทยา ได้แก่

7.1.1 ส่วนสูง (เซนติเมตร) น้ำหนัก (กิโลกรัม) ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร) ไขมัน (เปอร์เซ็นต์) สัดส่วนเอว-สะโพก

ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยถอดรองเท้าก่อนทำการวัดด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Bioelectrical Impedance Analyzer)

7.1.2 อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวขณะพัก และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวขณะพัก (มิลลิเมตรปรอท)

ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยนั่งพักเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงวัดตัวแปรด้วยเครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอลขณะพัก (Semi-automated blood pressure device) ในท่านั่ง

7.2 ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน

7.2.1 การใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย (Energy expenditure during exercise) (กิโลแคลอรี่) (American College of Sports Medicine, 2010)

Energy expenditure = (VO_2peak /1000) x T x 5

เมื่อ VO_2peak คือ ค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง

T คือ เวลาในการออกกำลังกายทั้งหมด

7.2.2 สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกาย (VO_2peak during exercise) (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)

ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวขณะพัก (มิลลิเมตรปรอท) จากนั้นติดอุปกรณ์สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ใส่อุปกรณ์สำหรับวัดออกซิเจน และใส่ท่อหายใจที่ต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Breath by breath Cardiopulmonary gas exchange system) หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบโดยการปั่นจักรยาน หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบ ผู้เข้าร่วมการวิจัยทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวขณะพัก (มิลลิเมตรปรอท) อีกครั้ง

7.3 ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่

7.3.1 การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD)

การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน วัดโดยใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์ทำการวัดการขยายตัวสูงสุดของหลอดเลือดในช่วงที่หลอดเลือดคลายตัวขณะพัก ขณะหลอดเลือดหดตัวเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะหลอดเลือดขยายตัวหลังเปิดการปิดกั้นการไหลของเลือด และขณะหลอดเลือดกลับสู่ภาวะปกติหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณแขนท่อนล่าง ทำการอัลตร้าซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งข้อพับแขนด้านหน้า (Brachial artery) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพักเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตเหนือความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว 50 มิลลิเมตรปรอท ค้างไว้ 5 นาที ซึ่งเป็นการทำให้เกิดการขาดเลือดในช่วงสั้นๆ วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะถูกปิดกั้น จากนั้นปล่อยแรงดันออกจนหมดคลายการบีบของเครื่องวัดความดันโลหิต จะกระตุ้นให้หลอดเลือดขยายตัว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้น เป็นเวลา 5 นาที (Corretti et al., 2002; Devan et al., 2011; Mitranun et al., 2014) คำนวณค่าการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD) จากสูตร (Naidu et al., 2011)

FMD (%) = D2-D1x 100/D1

เมื่อ D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือดขณะพัก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของหลอดเลือดภายหลังถูกปิดกั้นการไหลของเลือด หน่วยเป็นมิลลิเมตร

7.3.2 ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT)

ความหนาของผนังหลอดเลือด วัดโดยใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์บริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง (Common carotid artery) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย เอียงศีรษะไปทางซ้าย 45 องศา ทำการอัลตร้าซาวด์หลอดเลือดแดงของลำคอด้านขวา วัดความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นในทั้งด้านใกล้และไกล (Near and far wall) (Meyer et al., 2006) แล้วเข้าโปรแกรมคิวแลป (QLAB) คำนวณหาความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน

7.3.3 คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV)

คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า วัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) โดยวัดเวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด (Brachial-ankle time delay) ที่หลอดเลือดบริเวณต้นแขน (Brachial artery) และหลอดเลือดบริเวณข้อเท้า (Posterior tibial artery) จากนั้นวัดความยาวจากจุดที่วัดทั้งสองจุดเพื่อตรวจวัดความยืดหยุ่นของเส้นเลือดแดง หรือการแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness) ทำ

คำนวณค่าคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) จากสูตร ดังต่อไปนี้ (Sugawara et al., 2005)

baPWV (cm/sec) = Length / Brachial-ankle time delay

เมื่อ Length คือ ความยาวระหว่างจุดที่วัดบริเวณต้นแขนและข้อเท้า หน่วยเป็นเซนติเมตร

Brachial-ankle time delay คือ เวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด หน่วยเป็นวินาที

โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือดพันบริเวณต้นแขนและข้อเท้าทั้ง 2 ข้าง จากนั้นติดอุปกรณ์สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardioigram) และคลื่นเสียงการเต้นของหัวใจ (Phonocardiogram) จากนั้นเริ่มทำการวิเคราะห์ ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

ในการทดสอบครั้งที่ 1 จะทำการทดสอบตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อนการทดสอบตัวแปรสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง แต่ในการทดสอบครั้งที่ 2, 3 และ 4 จะทำการทดสอบตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังจากการทดสอบการออกกำลังกาย

8. นำข้อมูลของตัวแปรที่ได้ก่อน และหลังการออกกำลังกายแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบด้วยวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM)

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ด้านสรีรวิทยา อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกาย ด้านการใช้พลังงาน (Energy expenditure) ได้แก่ พลังงานขณะออกกำลังกาย และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) ขณะออกกำลังกาย และด้านการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD) ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT) และ คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของแต่ละกลุ่มและระหว่างกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ [Two way ANOVA with repeated measures (2X3: group x intensity)]

และเปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี (LSD) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ด้านสรีรวิทยา ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมัน สัดส่วนเอว-สะโพก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวขณะพัก และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวขณะพัก และด้านการใช้พลังงาน ได้แก่ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) ระหว่างกลุ่มเด็กน้ำหนักตัวปกติและเด็กอ้วนทั้ง 2 กลุ่ม โดยใช้การทดสอบค่าทีแบบรายคู่ (Independent t-test) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การศึกษาที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

กลุ่มตัวอย่าง

อาสาสมัครเป็นเด็กชาย อายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี โดยมีค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2542) (ภาคผนวก ข) กำหนดกลุ่มตัวอย่าง ใช้ตารางคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างของ โคเฮน (Cohen, 1977) และกำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) ที่ .80 ขนาดของผลกระทบ (Effect size) ที่ .50 และระดับนัยสำคัญที่ .05 ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 15 คน โดยผู้วิจัยได้ทำการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) จากกลุ่มประชากรโดยวิธีการจับฉลาก เพื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีกลุ่มตัวอย่างขาดหายไปทั้งหมด 8 คน เนื่องจากไม่สมัครใจจะเข้าร่วมการวิจัยต่อ เจ็บป่วยและไม่สามารถมาเข้าร่วมการออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่องตามที่กำหนด จึงเหลือกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มทดลองดังนี้

1. กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุมที่เป็นกลุ่มที่ดำเนินชีวิตตามปกติ ไม่ได้รับโปรแกรมการออกกำลังกาย แต่ได้รับคำแนะนำเรื่องกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหารในระหว่างที่เข้าร่วมวิจัย จำนวน 11 คน

2. กลุ่มทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง [90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (90% VO_2peak)] จำนวน 11 คน

3. กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก [170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak)] จำนวน 15 คน

รวมเป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 37 คน กลุ่มทดลองที่ 2 และ 3 ออกกำลังกาย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ รวมออกกำลังกายทั้งสิ้น 36 ครั้ง

เกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยอายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี โดยมีค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2542) (ภาคผนวก ข)

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสุขภาพดีแข็งแรงปราศจากโรค หรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมในการออกกำลังกาย ประเมินโดยแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก (Physical Activity Readiness Questionnaire for Children; PAR-Q for Children) (ภาคผนวก ค) ซึ่งผู้ปกครองของผู้เข้าร่วมวิจัยต้องตอบว่า “ไม่” ทุกข้อจึงจะผ่านเกณฑ์การประเมิน

3. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีความสมัครใจเข้าร่วมในงานวิจัย ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัยและได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองในการลงนามใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมงานวิจัยต่อไปได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมในการทำวิจัยต่อ

3. สำหรับกลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกาย : เข้าร่วมการออกกำลังกายไม่ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของช่วงระยะเวลาการฝึก (ออกกำลังกายน้อยกว่า 29 ครั้ง) จากการฝึกออกกำลังกายทั้งหมด 36 ครั้ง

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสารเกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากในกลุ่มตัวอย่างต่างๆ เช่น เด็ก วัยรุ่น ผู้ใหญ่ และผู้ป่วยที่เป็นโรคเรื้อรังต่างๆ

เช่นโรคหัวใจ โรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง รวมทั้งรูปแบบการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับเด็กและเด็กอ้วน

2. ศึกษาและคิดวิเคราะห์รูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เหมาะสมกับเด็กอ้วนและมีผลดีต่อองค์ประกอบของร่างกาย การใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือด ซึ่งจากการศึกษาที่ 1 จึงได้รูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ระดับ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak) เนื่องด้วย จากการศึกษาที่ 1 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ระดับ 170% VO_2peak มีการใช้พลังงานสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลต่อการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนเพิ่มขึ้น และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

3. ดำเนินการหากลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยประสานงานกับผู้อำนวยการโรงเรียนเยาวลักษณ์วิทยาธนบุรี ขออนุญาตเข้าเก็บรวบรวมข้อมูล ดำเนินการค้นหาและคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเข้า โดยการสมัครใจเข้าร่วม ซึ่งประกอบด้วยเด็กชายที่มีภาวะอ้วน จำนวน 45 คน

4. ผู้สมัครใจเข้าร่วมและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้า ได้รับทราบรายละเอียดของวิธีปฏิบัติตัวในการทดสอบและการเก็บข้อมูล และผู้ปกครองลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยจัดสถานที่ทำการอบรมเกี่ยวกับประโยชน์ที่จะได้รับจากการออกกำลังกาย ความรู้เกี่ยวกับการรับประทานอาหาร การเตรียมตัวก่อนการออกกำลังกาย และการปฏิบัติตัวระหว่างช่วงที่เข้าร่วมงานวิจัย ให้กับผู้เข้าร่วมวิจัย ผู้ปกครองและครู

5. ผู้เข้าร่วมวิจัยและผู้ปกครองกรอกข้อมูลในแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก และแบบสอบถามประวัติสุขภาพทั่วไป แนะนำการรับประทานอาหารระหว่างการวิจัย และอธิบายการทดสอบกิจกรรมทางกาย ก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์

6. ทำการแบ่งผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (ดูรูปที่ 8)

6.1 กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุมที่เป็นกลุ่มที่ดำเนินชีวิตตามปกติ ไม่ได้รับโปรแกรมการออกกำลังกาย แต่ได้รับคำแนะนำเรื่องกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหารในระหว่างที่เข้าร่วมวิจัย จำนวน 11 คน

6.2 กลุ่มทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง หรือ 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (High Intensity Interval Training: HIIT at 90% VO_2peak) และได้รับคำแนะนำเรื่องกิจกรรมทางกาย และการรับประทานอาหารในช่วงเข้าร่วมการศึกษาทดลอง จำนวน 11 คน ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน มีรายละเอียด ดังนี้

6.2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัยอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที

6.2.2 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน โดยปรับแรงต้านให้ค่างาน (Work load) เท่ากับที่ระดับความหนัก 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (90% VO_2peak) สลับกับลด

ความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วน 2 :1 คือ ปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 1 นาที ทำทั้งหมด 8 รอบ เป็นเวลา 24 นาที โดยการคำนวณความหนักของการออกกำลังกายใช้สูตร ค่าความหนักของการออกกำลังกาย (Intensity) = เปอร์เซ็นต์ของความหนักที่ต้องการ x ค่างานที่ได้ในขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุด (Work load at VO_2peak) (Crisp et al., 2012)

6.2.3 ผู้เข้าร่วมวิจัยคลายอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 44 นาที

6.3 กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก หรือ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (Supra-HIIT at 170% VO_2peak) และได้รับคำแนะนำเรื่องกิจกรรมทางกาย และการรับประทานอาหารในช่วงเข้าร่วมวิจัย จำนวน 15 คน ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน มีรายละเอียด ดังนี้

6.3.1 ผู้เข้าร่วมวิจัยอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที

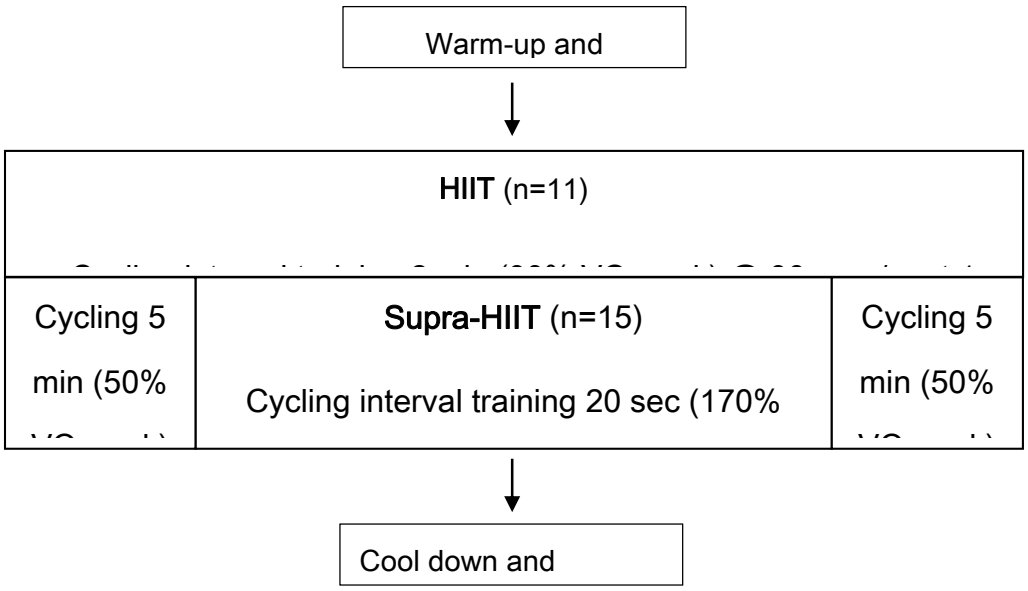
6.3.2 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน เพื่ออบอุ่นร่างกายก่อนปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก โดยปรับแรงต้านให้ค่างาน (Work load) เท่ากับที่ระดับความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (50% VO_2peak) โดยคำนวณความหนักของการออกกำลังกายตามข้อ 6.2.2 ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (Heydari et al., 2013; Tabata et al., 1996)

6.3.3 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน เพื่อคลายอุ่นร่างกายก่อนปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก โดยปรับแรงต้านให้ค่างาน (Work load) เท่ากับที่ระดับความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak) สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วน 2 :1 คือ ปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 วินาที สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ เป็นเวลา 4 นาที โดยคำนวณความหนักของการออกกำลังกายตามข้อ 6.2.2 (Tabata et al., 1996)

6.3.4 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน โดยปรับแรงต้านให้ค่างาน (Work load) เท่ากับที่ระดับความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (50% VO_2peak) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (Heydari et al., 2013; Tabata et al., 1996)

6.3.5 ผู้เข้าร่วมวิจัยคลายอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 34 นาที

การฝึกออกกำลังกายของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องออกกำลังกาย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ในวันจันทร์ พุธ และศุกร์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ รวมการออกกำลังกายทั้งสิ้น 36 ครั้ง ณ โรงเรียนของผู้เข้าร่วมวิจัย โดยมีผู้วิจัย และครู เป็นผู้ควบคุมดูแล



รูปที่ 8 ขั้นตอนการฝึกออกกำลังกาย

7. ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคน ทำการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยา ด้านการใช้พลังงาน ด้านการทำงานของหลอดเลือด ด้านสารชีวเคมีในเลือด และด้านสุขสมรรถนะ ณ ห้องปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จำนวน 2 ครั้ง ก่อนและหลังทำการศึกษาทดลอง 12 สัปดาห์ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 วัน รวมทั้งสิ้น 4 วัน ซึ่งตัวแปรด้านสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด และการทำงานของหลอดเลือด จะทำการทดสอบในวันแรก และตัวแปรด้านการใช้พลังงาน และสุขสมรรถนะ จะทำการทดสอบในวันที่ 2 โดยมีผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ จำนวนทั้งสิ้น 3 คน เป็นผู้ควบคุมดูแล และมีพยาบาล 2 คน ช่วย

ในการเก็บตัวอย่างเลือด ก่อนการทดสอบทุกครั้ง ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง และจะทดสอบหลังจากรับประทานอาหารแล้วอย่างน้อย 2 – 3 ชั่วโมง ยกเว้นการเจาะเลือดที่จะต้องอดอาหารอย่างน้อย 8 - 12 ชั่วโมง แต่สามารถดื่มน้ำเปล่าได้เล็กน้อย รายละเอียดของการดำเนินการมีดังนี้ (ดูรูปที่ 9)

7.1 ค่าตัวแปรก่อนทำการศึกษาทดลอง (Pre test)

7.1.1 ตัวแปรด้านสรีรวิทยา ได้แก่

7.1.1.1 ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย และองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ได้แก่ ไขมัน มวลกล้ามเนื้อ รอบเอว รอบสะโพก และสัดส่วนเอว-สะโพก

ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยถอดรองเท้าก่อนทำการวัดด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Bioelectrical impedance analyzer)

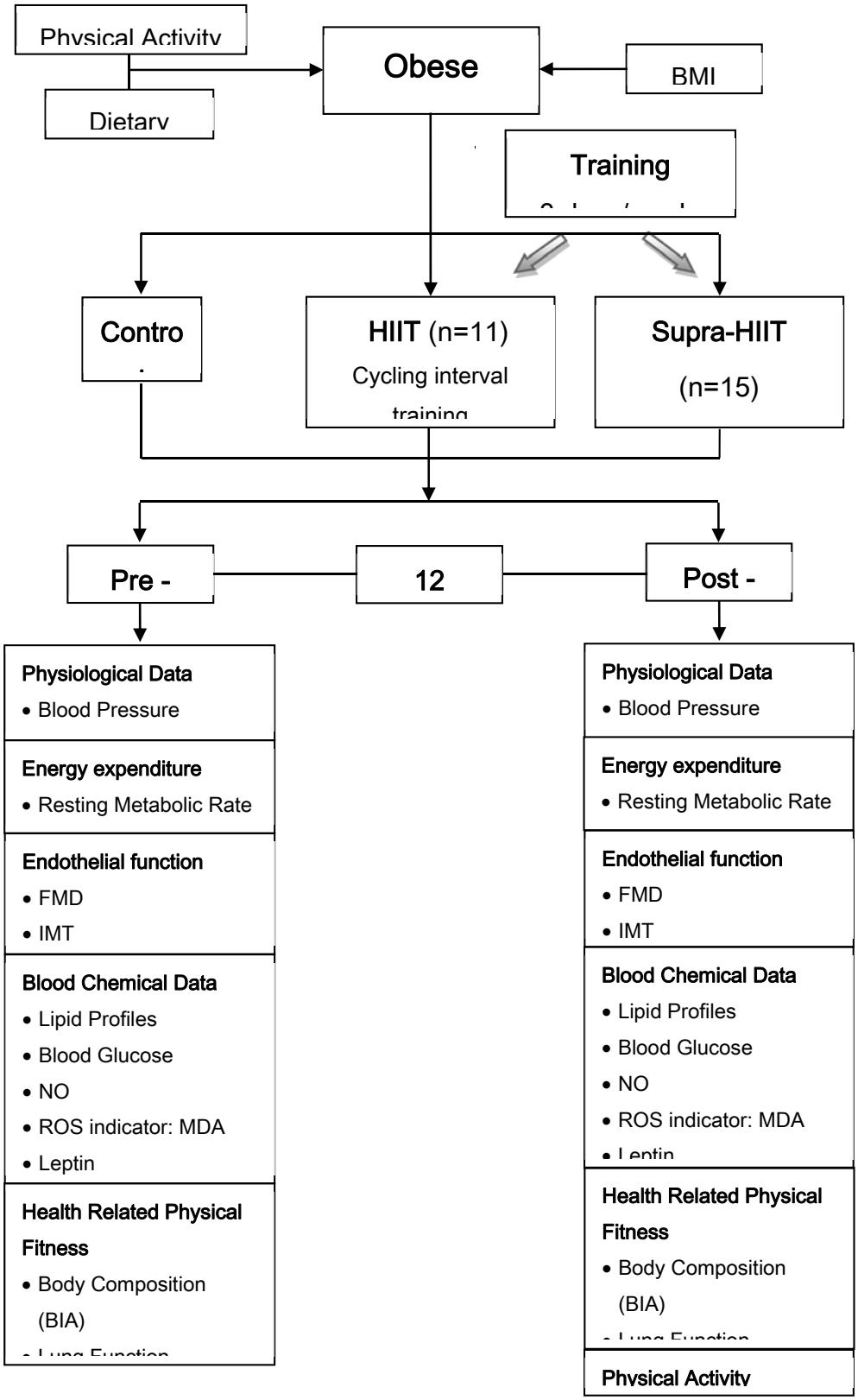
7.1.1.2 อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ขณะพัก (มิลลิเมตรปรอท)

ให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยนั่งพักเป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงวัดตัวแปรด้วยเครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอลขณะพัก (Semi-automated blood pressure device) ในท่านั่ง

7.1.2 ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน

7.1.2.1 การใช้พลังงานขณะพัก (Resting metabolic rate: RMR)

วัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Breath by breath Cardiopulmonary gas exchange system) โดยวิธีการคำนวณพลังงานทางอ้อมจากการหายใจ (Indirect calorimetry on spontaneous-breathing and ventilator-dependent) ซึ่งจะคำนวณจากอัตราการใช้ออกซิเจน [Oxygen consumption (VO_2)] อัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide production: VCO_2) และ อัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส [Respiratory exchange ratio (RER = VCO_2 / VO_2)] จะทำการวัดในเวลา 9.00 – 12.00 น.



รูปที่ 9 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของการศึกษาที่ 2

ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องนอนหลับอย่างน้อย 8 ชั่วโมง และรับประทานอาหารแล้วอย่างน้อย 3 ชั่วโมง ขณะทำการวัดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนพักเป็นเวลา 30 นาที ห้ามเคลื่อนไหวร่างกาย แต่ห้ามหลับ พร้อมทั้งใส่หน้ากากคาโนปี (Canopy) เพื่อทำการวิเคราะห์แก๊ส (Gas analysis) จะได้ค่าตัวแปรการใช้พลังงานขณะพัก (Resting Metabolic Rate)

7.1.2.2 การเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) คำนวณปริมาณการเผาผลาญไขมัน (Fat) จากสูตร (Crisp et al., 2012; Frayn, 1983)

Fat (gram) = 1.67 VO_2-1.67 VCO_2-1.92n

เมื่อ VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจน

VCO_2 คือ อัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

N คือ ปริมาณไนโตรเจน

7.1.2.3 การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate oxidation) คำนวณปริมาณการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) จากสูตร (Crisp et al., 2012; Frayn, 1983)

Carbohydrate (gram) = 4.55 VCO_2-3.21 VO_2-2.87n

เมื่อ VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจน

VCO_2 คือ อัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

N คือ ปริมาณไนโตรเจน

7.1.3 ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่

7.1.3.1 การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation: FMD)

การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน วัดโดยใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์ ทำการวัดการขยายตัวสูงสุดของหลอดเลือดในช่วงที่หลอดเลือดคลายตัวขณะพัก ขณะหลอดเลือดหดตัวเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะหลอดเลือดขยายตัวหลังเปิดการปิดกั้นการไหลของเลือด และขณะหลอดเลือดกลับสู่ภาวะปกติหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณแขนท่อนล่าง ทำการอัลตร้าซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งข้อพับแขนด้านหน้า (Brachial artery) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพักเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตเหนือความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว 50 มิลลิเมตรปรอท ค้างไว้ 5 นาที ซึ่งเป็นการทำให้เกิดการขาดเลือดในช่วงสั้นๆ วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะถูกปิดกั้น จากนั้นปล่อย

แรงดันออกจนหมดคลายการบีบของเครื่องวัดความดันโลหิต จะกระตุ้นให้หลอดเลือดขยายตัว วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้น เป็นเวลา 5 นาที (Corretti et al., 2002; Devan et al., 2011; Mitranun et al., 2014) คำนวณค่าการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation: FMD) จากสูตร (Naidu et al., 2011)

FMD (%) = D2-D1x 100/D1

เมื่อ D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือดขณะพัก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของหลอดเลือดภายหลังถูกปิดกั้นการไหลของเลือด หน่วยเป็นมิลลิเมตร

7.1.3.2 ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT)

ความหนาของผนังหลอดเลือด วัดโดยใช้เครื่องอัลตร้าซาวด์บริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง (Common carotid artery) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย เอียงศีรษะไปทางซ้าย 45 องศา ทำการอัลตร้าซาวด์หลอดเลือดแดงของลำคอด้านขวา วัดความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นในทั้งด้านใกล้และไกล (Near and far wall) (Meyer et al., 2006) แล้วเข้าโปรแกรมคิวแลป (QLAB) คำนวณหาความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน

7.1.3.3 คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV)

คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า วัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) โดยวัดเวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด (Brachial-ankle time delay) ที่หลอดเลือดบริเวณต้นแขน (Brachial artery) และหลอดเลือดบริเวณข้อเท้า (Posterior tibial artery) จากนั้นวัดความยาวจากจุดที่วัดทั้งสองจุด เพื่อตรวจวัดความยืดหยุ่นของเส้นเลือดแดง หรือการแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness) ทำการคำนวณค่าคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) จากสูตร ดังต่อไปนี้ (Sugawara et al., 2005)

baPWV (cm/sec) = Length / Brachial-ankle time delay

เมื่อ Length คือ ความยาวระหว่างจุดที่วัดบริเวณต้นแขนและข้อเท้า หน่วยเป็นเซนติเมตร

Brachial-ankle time delay คือ เวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด หน่วยเป็นวินาที

โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือดพันบริเวณต้นแขนและข้อเท้าทั้ง 2 ข้าง จากนั้นติดอุปกรณ์สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardioigram) และคลื่นเสียงการเต้นของหัวใจ (Phonocardiogram) จากนั้นเริ่มทำการวิเคราะห์ ใช้เวลาประมาณ 10 นาทีตัวแปรด้านการใช้พลังงาน

7.1.4 ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด

การเจาะเลือดของผู้เข้าร่วมวิจัยจะทำการเจาะในเวลา 7.00 – 8.00 น. ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องนอนหลับอย่างน้อย 8 ชั่วโมง งดรับประทานอาหารอย่างน้อย 8 - 12 ชั่วโมง แต่สามารถดื่มน้ำได้เล็กน้อย และจะต้องทำการบันทึกการรับประทานอาหาร 3 วันก่อนวันเจาะเลือด เมื่อมาถึงสถานที่เจาะเลือด ผู้เข้าร่วมวิจัยจะนั่งพัก เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงทำการวัด อัตราการเต้นของหัวใจ และความดันโลหิตขณะพัก หลังจากนั้นจึงทำการเจาะเลือด 10 ซีซี (ประมาณ 2 ช้อนชา) โดยพยาบาลวิชาชีพ และส่งตรวจ ณ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจะวิเคราะห์เลปติน (Leptin) อะดิโพเนคติน (Adiponectin) ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) และรีแอคทีพออกซิเจนสปีชีร์ อินดิเคเตอร์ คือ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ROS indicator: malondialdehyde: MDA) และคณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ซึ่งจะวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในเลือด (Fasting blood sugar) คอเลสเตอรอล (Cholesterol) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (High density lipoprotein: HDL) และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein: LDL) โดยสารชีวเคมีต่างๆวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

ปริมาณน้ำตาลในเลือด (Fasting blood sugar) คอเลสเตอรอล (Cholesterol) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) วิเคราะห์ด้วยวิธีการ เอนไซเมติก คัลเลอร์ริ่เมตริก แอสเซ (Enzymatic colorimetric method) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ออโตเมต (Automate)

ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (High density lipoprotein: HDL) โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein: LDL) วิเคราะห์ด้วยวิธีการ ไดเร็ก แอสเซ (Direct assay method) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ออโตเมต (Automate)

เลปติน (Leptin) วิเคราะห์โดยใช้ ชุดคิท ฮิวแมน เลปติน ด้วยวิธีการ อีไลซ่า (Human leptin ELISA kit)

อะดิโพเนคติน (Adiponectin) วิเคราะห์โดยใช้ ชุดคิท ฮิวแมน อะดิโพเนคติน ด้วยวิธีการ อีไลซ่า (Human adiponectin ELISA kit)

ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) วิเคราะห์ด้วยวิธีการ กริส เรเจ้นท์ ซิสเต็ม (Griess reagent system)

รีแอคทีพออกซิเจนสปีชีร์ อินดิเคเตอร์ คือ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ROS indicator: malondialdehyde; MDA) วิเคราะห์ด้วยวิธีการ คัลเลอร์รี่เมตริก แอสเซ (Colorimetric assay) ด้วยวิธีแมนวล (Manaul)

ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (Creatine phosphokinase) วิเคราะห์ด้วยวิธีการ คัลเลอร์รี่เมตริก แอสเซ (Colorimetric assay)

7.1.5 ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ได้แก่ (American College of Sports Medicine, 2014; Docherty, 1996)

7.1.5.1 สมรรถภาพปอด

ประเมินสมรรถภาพปอด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยถือเครื่องวัดความจุปอดในมือ (Spirometer) ใช้ปากอมตัวเป่าแล้วออกแรงเป่าลมอย่างเต็มที่ จะได้ค่าความจุปอด (มิลลิลิตร)

7.1.5.2 ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ

7.1.5.2.1 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนส่วนปลาย

ประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนส่วนปลาย (Forearm) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยถือเครื่องวัดแรงบีบมือ เหยียดแขนตรงข้างลำตัว ออกแรงกำมืออย่างเต็มที่ จะได้ค่าแรงบีบมือ (กิโลกรัม)

7.1.5.2.2 ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อแขนและลำตัว

ประเมินความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อแขนและลำตัว โดยใช้การดันพื้น (Push-up) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนคว่ำ งอข้อศอก ฝ่ามือวางบริเวณด้านข้างราวนม ปลายเท้าตั้งกับพื้น ช่วงลำตัวตั้งแต่หน้าอกลงไปถึงปลายเท้าไม่มีส่วนใดสัมผัสพื้น แต่ให้คางสัมผัสพื้นเป็นท่าเตรียม หลังจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยดันตัวเองขึ้นจากพื้น จนแขนเหยียดตรง จากนั้นงอแขนลง เพื่อกลับไปอยู่ในท่าเตรียม นับจำนวนครั้งที่ทำได้ใน 1 นาที

7.1.5.2.3 ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อท้องและหลัง

ประเมินความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อท้องและหลัง โดยใช้การลุกนั่ง (Abdominal curl-up/Sit up) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย ตั้งขา

โดยงอเข่าเป็นมุม 90 องศา ไขว้แขนไว้บริเวณหน้าอก เป็นท่าเตรียม หลังจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยกตัวเองขึ้นจากพื้น จนเป็นทางนั่ง และนอนลงเพื่อกลับไปอยู่ในท่าเตรียม นับจำนวนครั้งที่ทำได้ใน 1 นาที

7.1.5.2.4 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง

ประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนอยู่บนเครื่องวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังและขา ออกแรงเหยียดหลังเต็มที่ จะได้ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง (กิโลกรัม)

7.1.5.2.5 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา

ประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนอยู่บนเครื่องวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังและขา ออกแรงเหยียดขาเต็มที่ จะได้ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)

7.1.5.3 ความอ่อนตัว

ประเมินความอ่อนตัว โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งเหยียดขา จากนั้นก้มตัวเพื่อไปแตะปลายเท้า (Sit and reach) วัดระยะห่างจากปลายเท้าถึงปลายนิ้วมือ โดยระยะทางที่ยังไม่ถึงปลายเท้าให้เป็นค่าบวก และระยะทางที่เลยปลายเท้าจะเป็นค่าลบ จะได้ค่าความอ่อนตัว (เซนติเมตร)

7.2 ค่าตัวแปรระหว่างทำการศึกษาทดลอง

ผู้วิจัยได้ขอความร่วมมือจากผู้เข้าร่วมวิจัยและผู้ปกครองประเมินกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ในสัปดาห์ที่1-2 และสัปดาห์ที่ 11-12 ของการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์

7.2.1 กิจกรรมทางกาย

ประเมินกิจกรรมทางกาย ด้วยเครื่องนับก้าว (Pedometer) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัย ใส่เครื่องนับก้าวไว้กับตัว เป็นเวลา 7 วันต่อเนื่อง ยกเว้นเวลานอนและอาบน้ำ จะได้ค่าจำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว) (Eather, Morgan, & Lubans, 2013)

7.2.2 การรับประทานอาหาร

ประเมินการรับประทานอาหาร โดยผู้เข้าร่วมวิจัยและผู้ปกครองเป็นผู้บันทึกการรับประทานอาหารประจำวัน เป็นเวลา 7 วัน และแบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย, 2555) (ภาคผนวก จ) จะได้ค่าคะแนนพฤติกรรมการ

บริโภคอาหาร (คะแนน) โดยเกณฑ์การให้คะแนนคือ หากปฏิบัติจะได้ 1 คะแนน และถ้าไม่ปฏิบัติจะได้ 0 คะแนน

7.3 ค่าตัวแปรหลังทำการศึกษาทดลอง (Post test)

ดำเนินการเก็บข้อมูลตัวแปรตัวแปรด้านสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด การทำงานของหลอดเลือด การใช้พลังงาน และสุขสมรรถนะ ดังรายละเอียดที่กล่าวไปในข้อ 7.1.1 - 7.1.5 จากนี้ทำการประเมินความสนุกสนานของการออกกำลังกาย (Physical Activity Enjoyment Scale) (Motl et al., 2001) ด้วยแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อของกิจกรรมการออกกำลังกาย (ภาคผนวก ฉ) ในกลุ่มออกกำลังกายทั้ง 2 กลุ่ม ภายหลังเสร็จสิ้นการฝึกออกกกำลังกายทั้ง 12 สัปดาห์แล้ว โดยแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อของกิจกรรมการออกกำลังกายจะกำหนดค่าคะแนนแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) กำหนดระดับความคิดเห็นออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่

5 หมายถึง เห็นด้วยมาก

4 หมายถึง เห็นด้วย

3 หมายถึง เห็นด้วยปานกลาง

2 หมายถึง ไม่เห็นด้วย

1 หมายถึง ไม่เห็นด้วยมาก

การแปลความหมายค่าเฉลี่ยจะใช้เกณฑ์การแปลความหมายดังนี้

4.51 – 5.00 มีความสนุกสนานมากที่สุด

3.51 – 4.50 มีความสนุกสนานมาก

2.51 – 3.50 มีระดับความสนุกสนานปานกลาง

1.51 – 2.50 มีความสนุกสนานน้อย

1.00 – 1.50 ไม่มีความสนุกสนาน

8. นำข้อมูลของตัวแปรที่ได้ก่อน ระหว่าง และหลังการศึกษาทดลองมาเปรียบเทียบด้วยวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM)

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างกลุ่มควบคุมที่ดำเนินชีวิตตามปกติ ไม่ได้รับโปรแกรมการออกกำลังกาย กลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak) ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของแต่ละกลุ่มและระหว่างกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ [Two way ANOVA with repeated measures (3X2: group x time)] และเปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี (LSD) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

<u>เครื่องมือที่ใช้ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง</u>

1. ข้อมูลสำหรับผู้ปกครองและผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (ภาคผนวก ก)
2. ใบยินยอมสำหรับผู้ปกครองและผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (ภาคผนวก ก)
3. แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกายสำหรับเด็ก (Physical Activity Readiness Questionnaire for Children; PAR-Q for Children) (ภาคผนวก ค)

<u>เครื่องมือสำหรับการฝึกการออกกำลังกาย</u>

1. จักรยาน (Bicycle) ยี่ห้อโมนาร์ก (Monark) รุ่นเออร์โกเมดดิก 894อี พีค ไบค์ (Ergomedic 894E Peak Bike) ประเทศสวีเดน (Ergomedic 894E Peak Bike, Monark, Stockholm, Sweden)

2. เครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพลาร์ รุ่นเอฟที40 (FT40) ประเทศฟินแลนด์ (FT40, Polar, Finland)

เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรทางสรีรวิทยา

1. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (Bioelectrical Impedance Analyzer) ยี่ห้อ เจวอน (JAWON) รุ่นไอโอไอ353 (ioi 353) ประเทศเกาหลี (ioi 353 whole body bioelectrical impedance analyzer, Jawon, Korea)

2. เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอล (Semi-automated blood pressure device) ยี่ห้อจีอี (GE Dinamap) รุ่นแคร์สเกป วี100 (Carescape V100) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Carescape V100, GE Dinamap, USA)

3. เครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพลาร์ รุ่นเอฟที40 (FT40) ประเทศฟินแลนด์ (FT40, Polar, Finland)

4. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Breath by breath Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อวีแม๊กซ์ (Vmax) รุ่นเอนคอร์29 (Encore 29) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Stationary Gas Analyzer: Vmax Encore 29 system, Yorba Linda, CA, USA)

เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านการใช้พลังงาน

1. จักรยาน (Bicycle) ยี่ห้อโมนาร์ก (Monark) รุ่นเออร์โกเมดดิก 894อี พีค ไบค์ (Ergomedic 894E Peak Bike) ประเทศสวีเดน (Ergomedic 894E Peak Bike, Monark, Stockholm, Sweden)

2. เครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อโพลาร์ รุ่นเอฟที40 (FT40) ประเทศฟินแลนด์ (FT40, Polar, Finland)

3. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Breath by breath Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อวีแม๊กซ์ (Vmax) รุ่นเอนคอร์29 (Encore 29) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Stationary Gas Analyzer: Vmax Encore 29 system, Yorba Linda, CA, USA)

เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด

1. เครื่องอัลตร้าซาวด์หลอดเลือด (Ultrasound system) ยี่ห้อฟิลลิป (Philips) รุ่น CX50 ประเทศสหรัฐอเมริกา (CX50, Philips, Andover, MA, USA)

2. เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) ยี่ห้อออมรอน (Omron) รุ่น คอลลิน วีพี 1000 พลัส (Collin VP-1000 plus) ประเทศญี่ปุ่น (Collin VP-1000 plus, Omron, Ukyo-ku, Kyoto, Japan)

<u>เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด</u>

1. เครื่องปั่นแรงเหวี่ยงสูง (Centrifugator)

2. ตู้เย็นแช่แข็ง -80 องศาเซลเซียส (°C) (Freezer)

3. เครื่องตรวจวิเคราะห์เซลล์ (Flow cytometry)

<u>เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรทางสุขสมรรถนะ</u>

1. เครื่องวัดความจุปอด (Spirometer) ยี่ห้อสไปโรเพท (Spiropet) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Spiropet, USA)

2. เครื่องวัดแรงบีบมือ (Handgrip dynamometer) ยี่ห้อ ทาเคอิ (Takei scientific instruments) รุ่น ทีเคเค 5001 (T.K.K.5001) ประเทศญี่ปุ่น

3. เครื่องวัดแรงเหยียดหลังและขา (Back and leg dynamometer) ยี่ห้อ ทาเคอิ (Takei scientific instruments) รุ่น ทีเคเค 5002 (T.K.K.5001) ประเทศญี่ปุ่น

4. กล่องวัดความยืดหยุ่นของร่างกาย (Sit and reach box)

<u>เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรในการประเมินกิจกรรมทางกาย</u>

1. เครื่องนับก้าว (Pedometer) ยี่ห้อ ออมรอน (Omron) รุ่น เอชเจ 113 (HJ-113) ประเทศญี่ปุ่น

<u>เครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล</u>

1. แบบบันทึกข้อมูลตัวแปรทางสรีรวิทยา ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนักตัว อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และความดันโลหิตขณะพัก (ภาคผนวก ง)

2. แบบบันทึกข้อมูลตัวแปรทางสุขสมรรถนะ ได้แก่ สัดส่วนของร่างกาย ความจุปอด ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ ความอ่อนตัว (ภาคผนวก ง)

3. แบบบันทึกการประเมินการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ความหนาของผนังหลอดเลือด และความแข็งตัวของหลอดเลือด (ภาคผนวก ง)

4. แบบบันทึกการประเมินสมรรถภาพการใช้พลังงานขณะพัก (Resting metabolic rate) (ภาคผนวก ง)

5. แบบบันทึกการประเมินสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) (Grade exercise test) (ภาคผนวก ง)

6. แบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี (ภาคผนวก จ)

7. แบบบันทึกการรับประทานอาหารประจำวัน (ภาคผนวก จ)

8. แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อของกิจกรรมการออกกำลังกาย (ภาคผนวก ฉ)

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน และเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูล และนำมาทดสอบความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ [Two way ANOVA with repeated measures (groups x times : 3X2)] จึงนำผลวิเคราะห์ข้อมูลเสนอในรูปแบบตารางประกอบความเรียง และแผนภูมิ โดยแบ่งการนำเสนอ ดังนี้

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการออกกำลังกาย ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100, 130 and 170% VO_2peak) ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak) ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงานระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตอนที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตอนที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak)และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตอนที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak)และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตอนที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านความสนุกสนานของกิจกรรมออกกำลังกาย หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

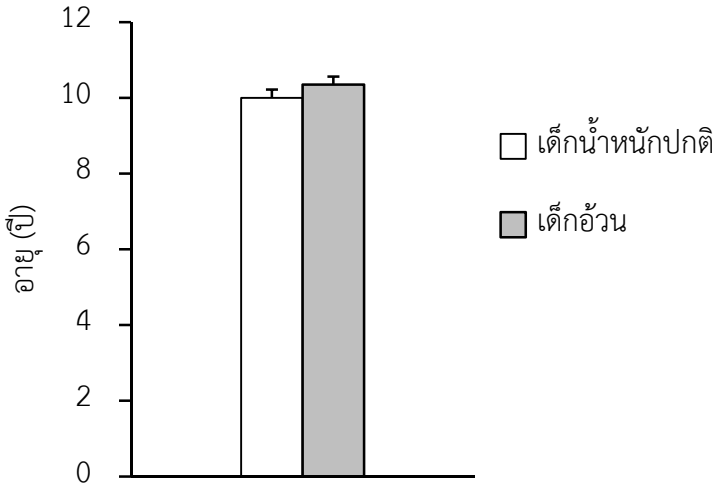
ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

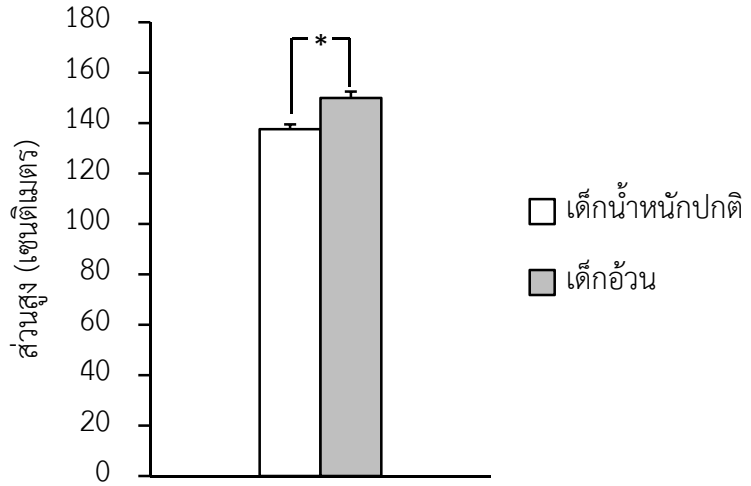
ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
อายุ (ปี)	10.00	0.22	10.35	0.21
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	137.63	1.88	149.98*	2.55
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	32.88	2.07	57.85*	3.02
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2)	17.07	0.66	25.43*	0.83
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	19.47	1.47	31.52*	0.91
สัดส่วนเอว-สะโพก	0.91	0.01	1.01*	0.01
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	85.94	1.71	94.41*	3.30
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	100.50	2.05	123.29*	3.65
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	70.50	2.00	76.88*	2.35
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	40.78	1.54	29.90*	1.66

*p<.05

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 10-19 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการออกกำลังกายเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยอายุ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ย ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมัน สัดส่วนเอว-สะโพก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวสูงกว่า และ มีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงต่ำกว่า เด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

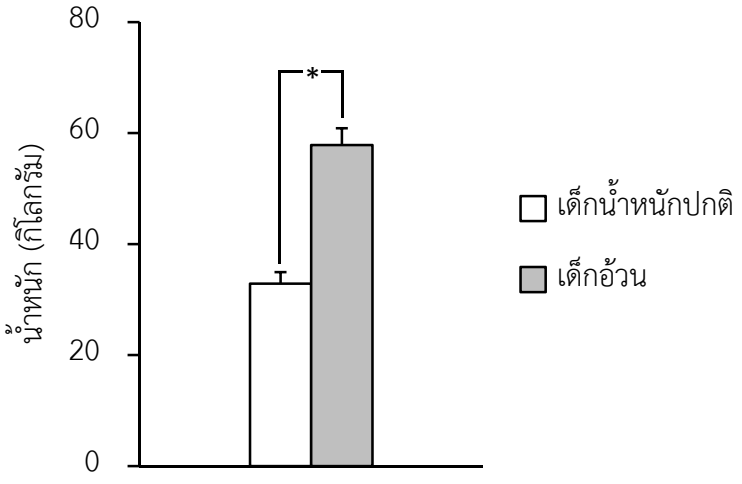


รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน



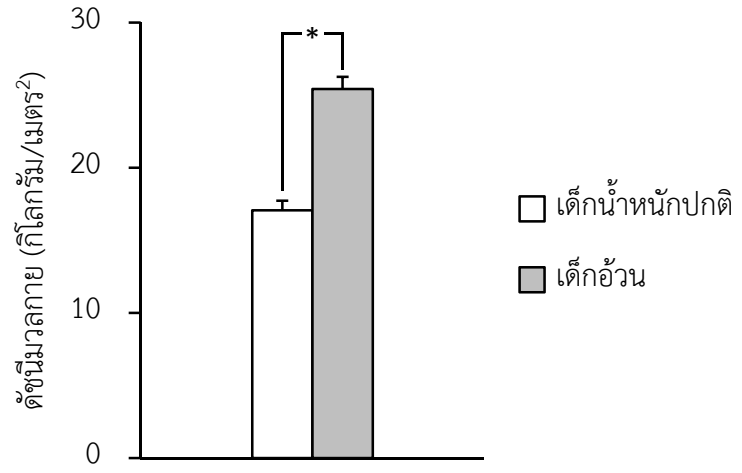
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



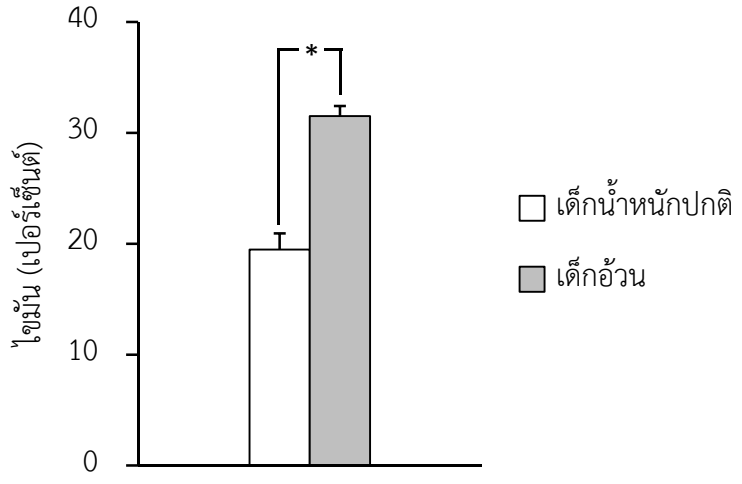
รูปที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



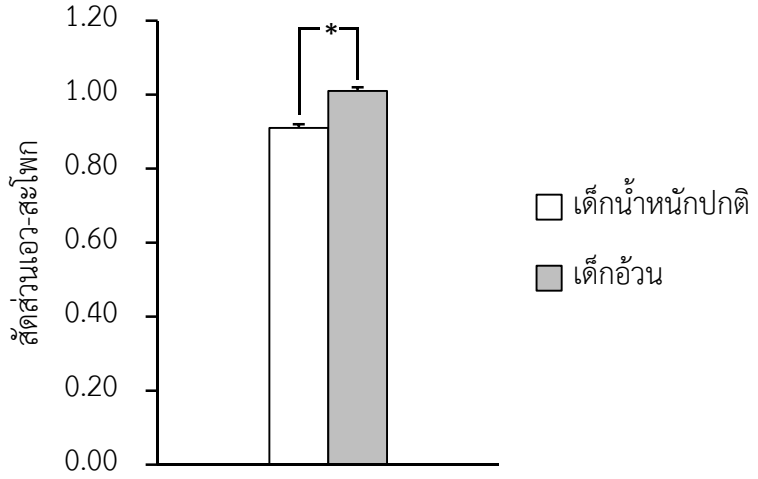
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



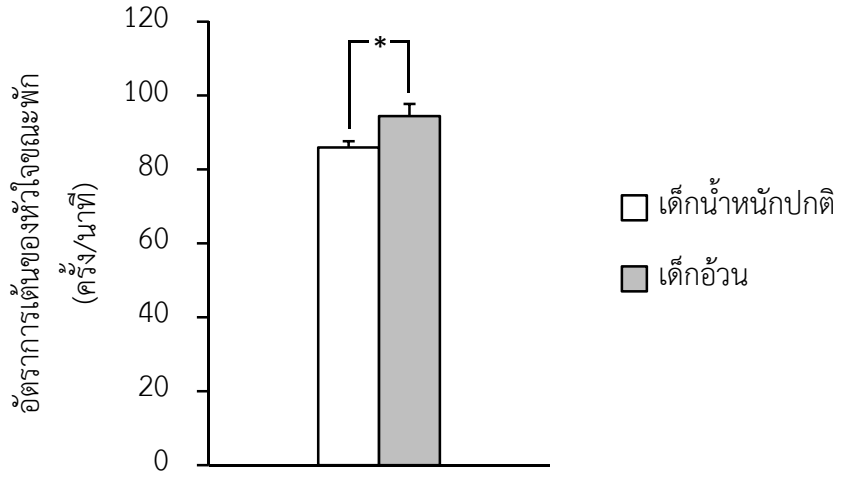
รูปที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



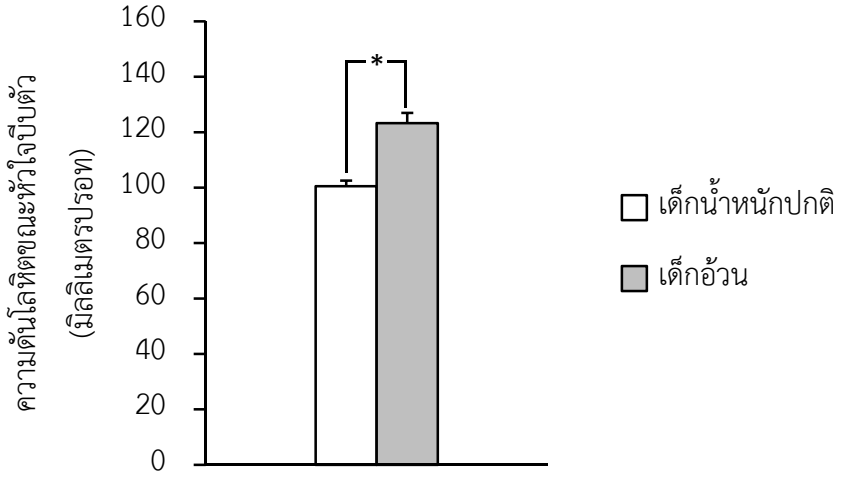
รูปที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนเอว-สะโพกก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



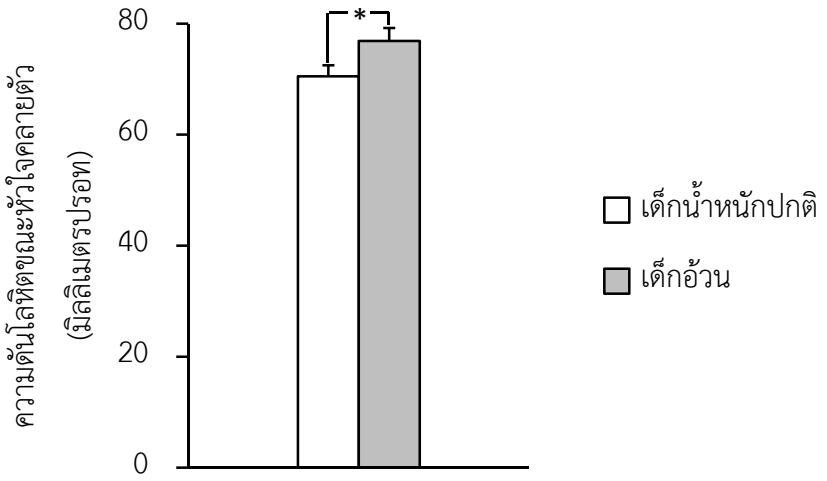
รูปที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



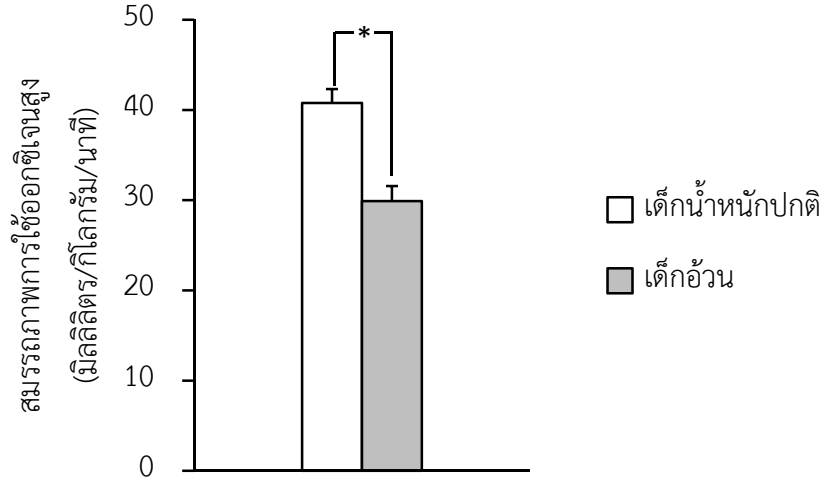
รูปที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100, 130 and 170% VO_2peak) ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
ขณะออกกำลังกาย	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
พลังงานขณะออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี่)	76.56	5.80	106.20*	6.00
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	39.00	1.50	31.00*	1.55
อัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย (ครั้ง/นาที)	185.94	2.21	188.44	1.88

*p<.05

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า ขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายสูงกว่า และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกายต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
พลังงานขณะออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี่)	88.87	5.80	114.54*	6.00
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	45.72	1.50	33.29*	1.55
อัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย (ครั้ง/นาที)	187.44	1.76	192.56	1.66

*p<.05

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า ขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายสูงกว่า และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกายต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
พลังงานขณะออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี่)	95.25	5.80	122.62*	6.00
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	49.17	1.50	36.12*	1.55
อัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย (ครั้ง/นาที)	192.44	2.31	196.06	1.4

*p<.05

จากตารางที่ 4 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า ขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายสูงกว่า และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกายต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กน้ำหนักปกติ

ตัวแปรด้าน	เด็กน้ำหนักปกติ (n =18)					
การใช้พลังงาน	100% VO_2peak		130% VO_2peak		170% VO_2peak	
ขณะออกกำลังกาย	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
พลังงานขณะออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี่)	76.56	5.80	88.87	5.80	95.25*	5.80
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	39.00	1.50	45.72	1.50*	49.17*	1.50
อัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย (ครั้ง/นาที)	185.94	2.21	187.44	1.76	192.44*	2.31

*p<.05 เปรียบเทียบกับระดับความหนัก 100% VO_2peak

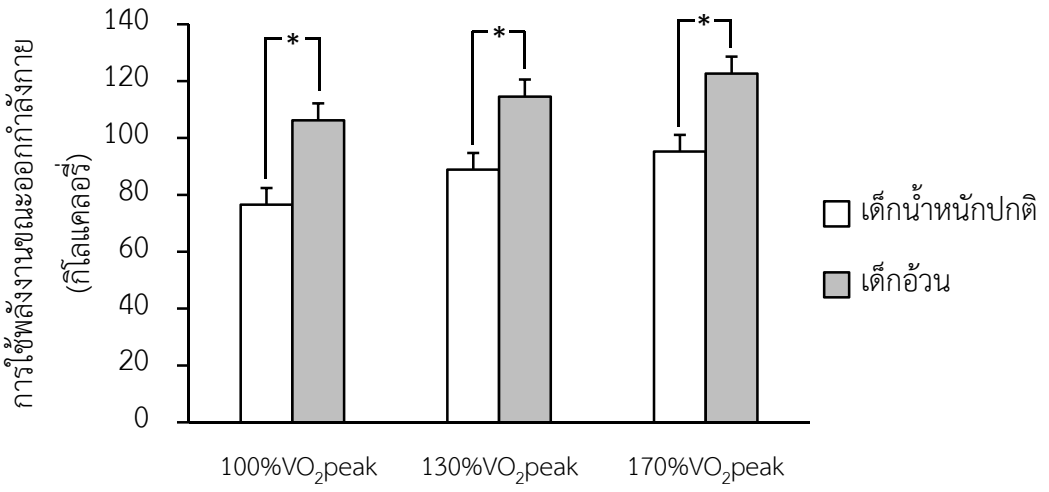
จากตารางที่ 5 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า เด็กน้ำหนักปกติมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย และอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak สูงกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ไม่แตกต่างกับ 130% VO_2peak และมีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกาย เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% VO_2peak สูงกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100, 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย	เด็กอ้วน (n =17)					
	100% VO_2peak		130% VO_2peak		170% VO_2peak	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
พลังงานขณะออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี่)	106.20	6.00	114.54	6.00	122.62*	6.00
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	31.00	1.55	33.29	1.55	36.12*	1.55
อัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย (ครั้ง/นาที)	188.44	1.88	192.56	1.66	196.06*	1.40

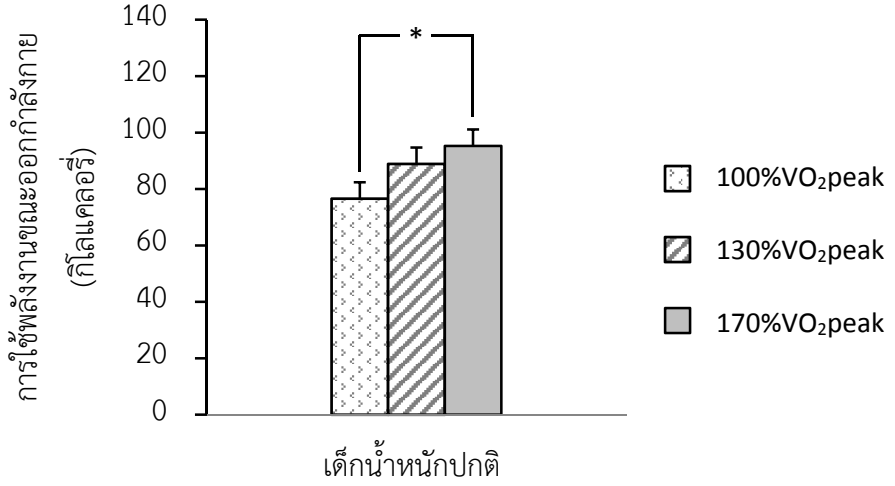
*p<.05 เปรียบเทียบกับระดับความหนัก 100% VO_2peak

จากตารางที่ 6 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง และอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกาย เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak สูงกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ไม่แตกต่างกับ 130% VO_2peak



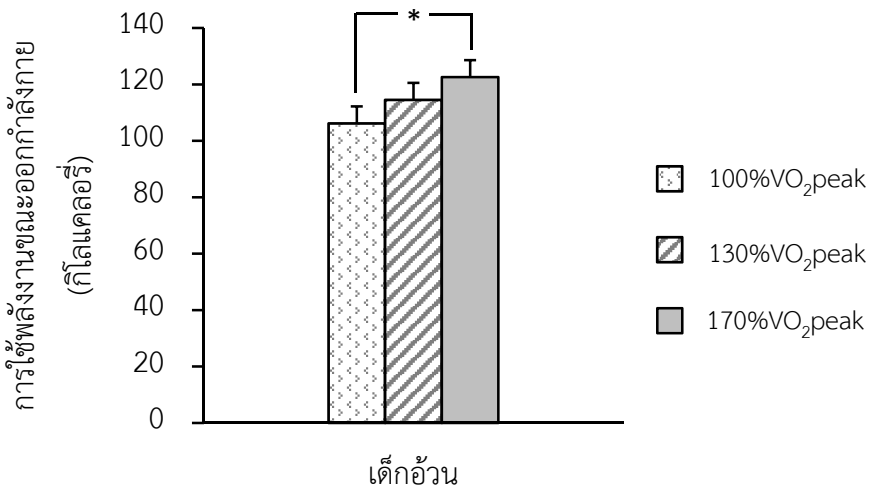
รูปที่ 20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



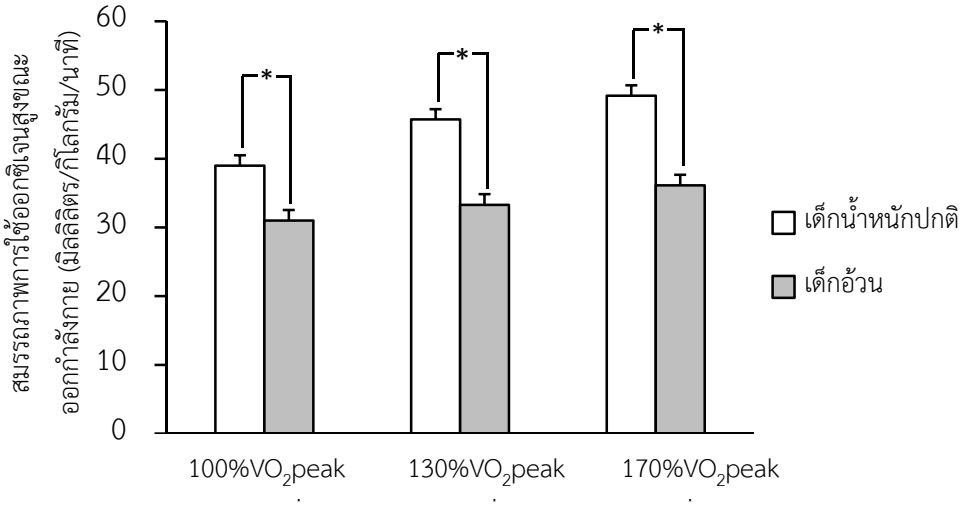
รูปที่ 21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนักปกติระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



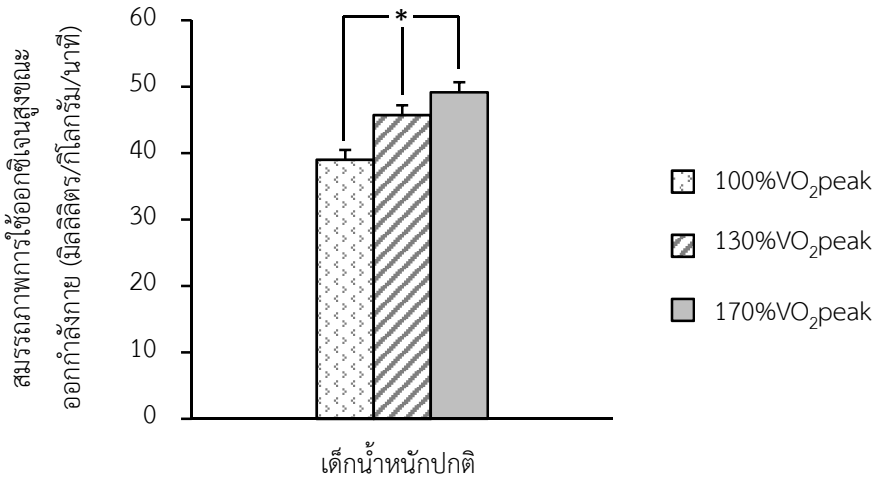
รูปที่ 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



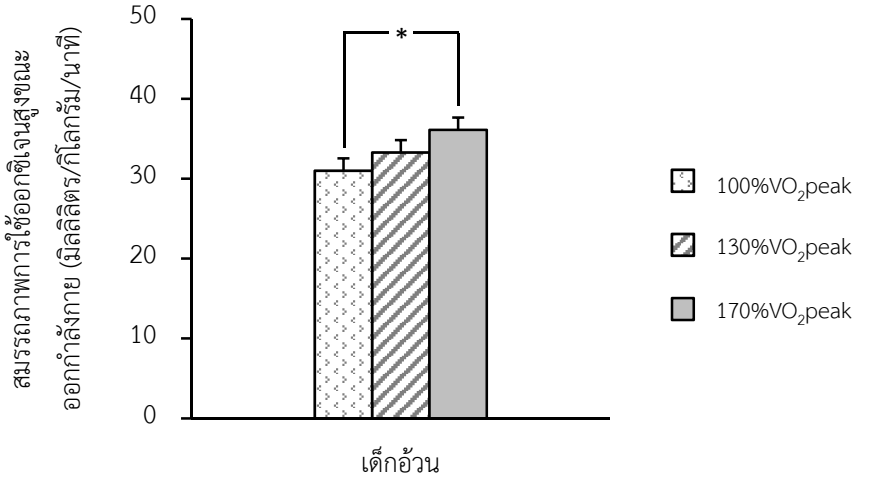
รูปที่ 23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



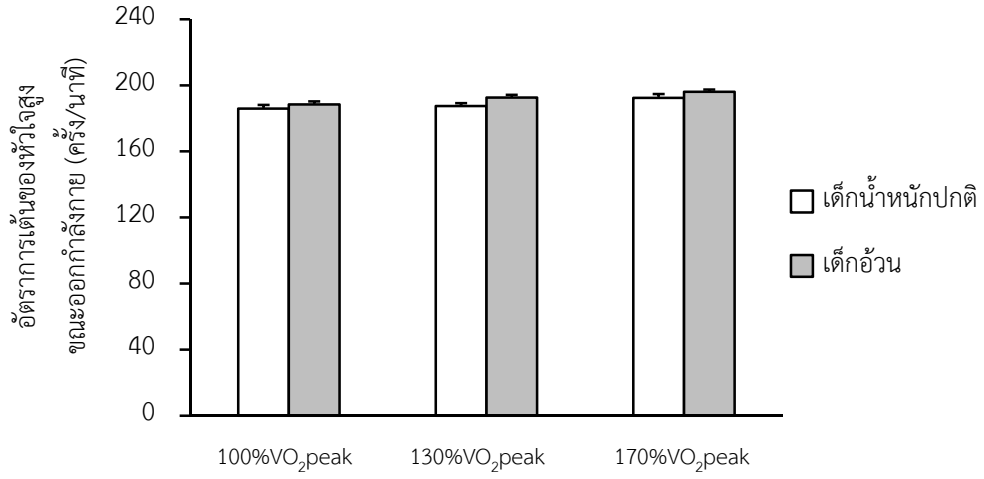
รูปที่ 24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

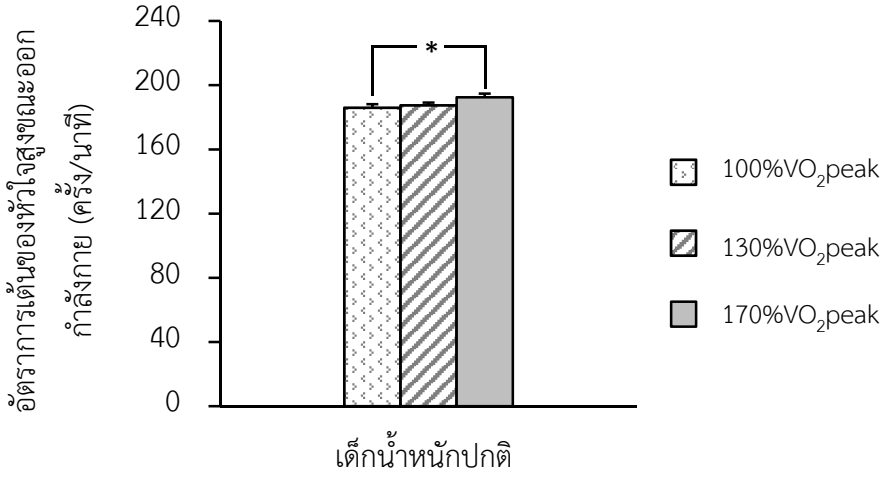


รูปที่ 25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

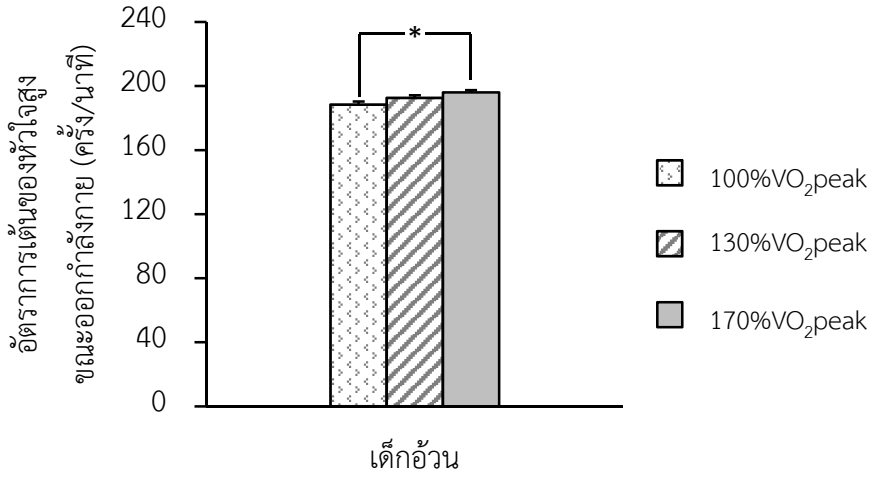


รูปที่ 26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน



รูปที่ 27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วนระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างการจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อนการออกกำลังกาย ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	10.28	2.14	9.15	2.21
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.42	0.01	0.43*	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างบริเวณต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	808.84	20.78	900.53*	21.38

*p<.05

จากตารางที่ 7 และรูปที่ 29-37 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการออกกำลังกายเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าสูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	14.80	2.21	13.29	2.21
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.41	0.01	0.43*	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	735.73	20.78	805.59*	21.38

*p<.05

จากตารางที่ 8 และรูปที่ 29-37 แสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าสูงกว่า เด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	15.04	2.14	14.69	2.14
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.41	0.01	0.43*	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	673.71	20.78	717.39	21.38

*p<.05

จากตารางที่ 9 และรูปที่ 29-37 แสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดสูงกว่าเมื่อเทียบกับเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	18.10	2.21	16.64	2.28
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.41	0.01	0.43*	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	628.13	20.78	674.68	21.38

*p<.05

จากตารางที่ 10 และรูปที่ 29-37 แสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดสูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กน้ำหนักปกติ

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กน้ำหนักปกติ (n =18)							
	Baseline		100% VO_2peak		130% VO_2peak		170% VO_2peak	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	10.28	2.14	14.80	2.21	15.04	2.14	18.10*	2.21
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.42	0.01	0.41	0.01	0.41	0.01	0.41	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	808.84	20.78	735.73	20.78	673.71*	20.78	628.13*	20.78

*p<.05 เปรียบเทียบกับก่อนออกกำลังกาย

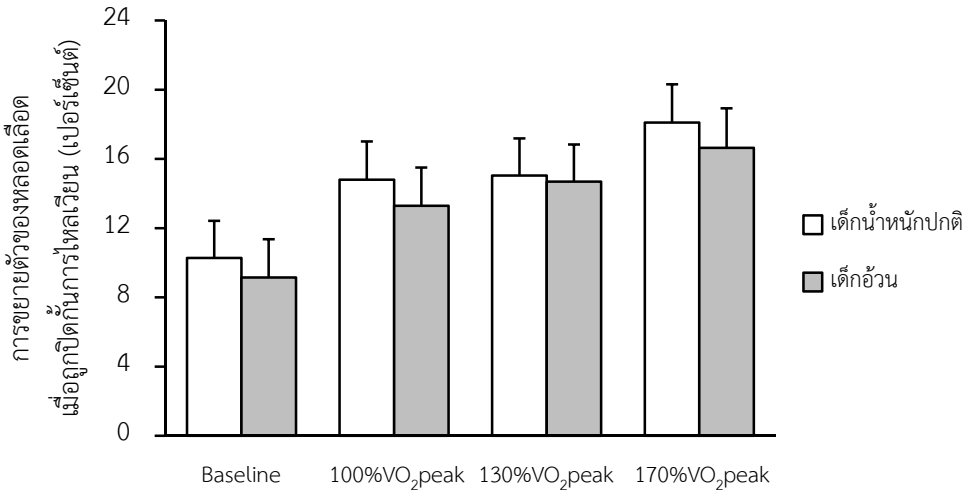
จากตารางที่ 11 และรูปที่ 29-37 แสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak เด็กน้ำหนักปกติมีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% VO_2peak เด็กน้ำหนักปกติมีค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กอ้วน

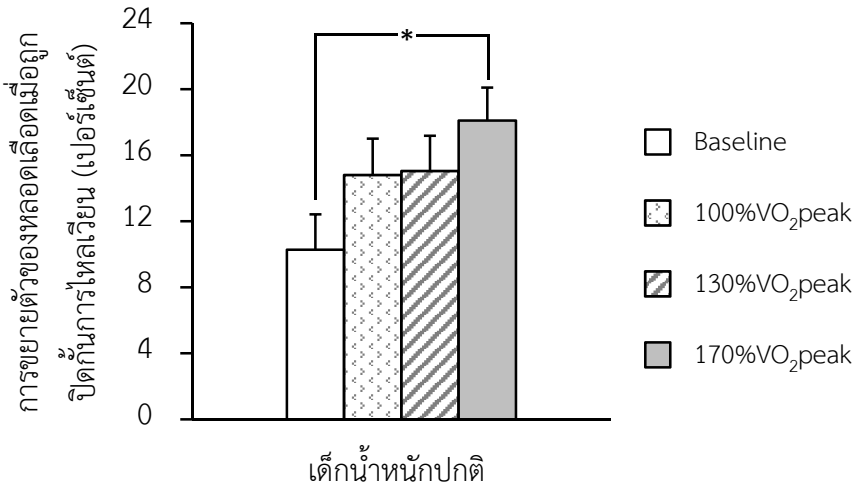
ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กอ้วน (n =17)							
	Baseline		100% VO_2peak		130% VO_2peak		170% VO_2peak	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	9.15	2.21	13.29	2.21	14.69	2.14	16.64*	2.28
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.43	0.01	0.43	0.01	0.43	0.01	0.43	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	900.53	21.38	805.59	21.38	717.39*	21.38	674.68*	21.38

*p<.05 เปรียบเทียบกับก่อนออกกำลังกาย

จากตารางที่ 12 และรูปที่ 29-37 แสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% VO_2peak เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

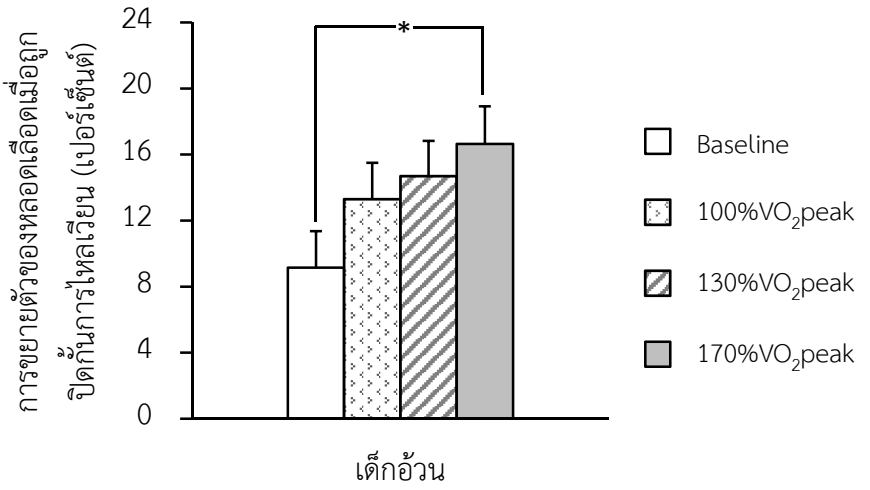


รูปที่ 29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน



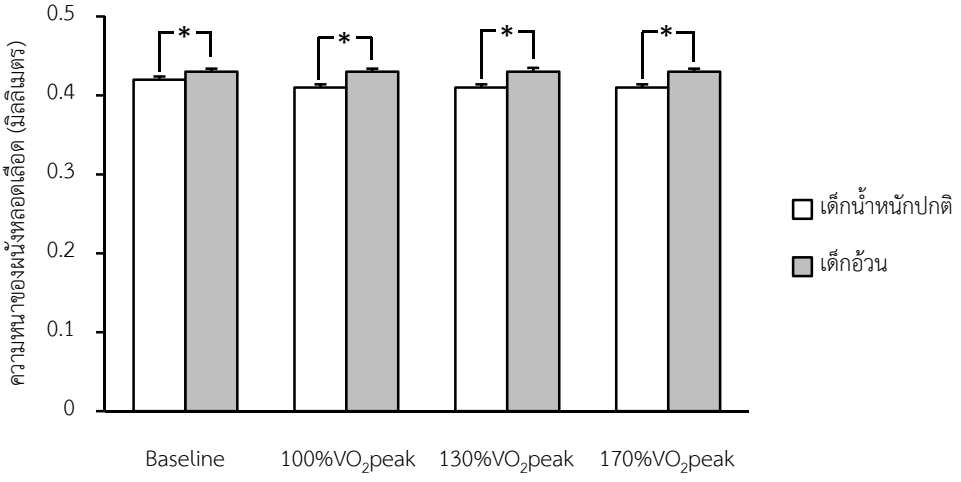
รูปที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



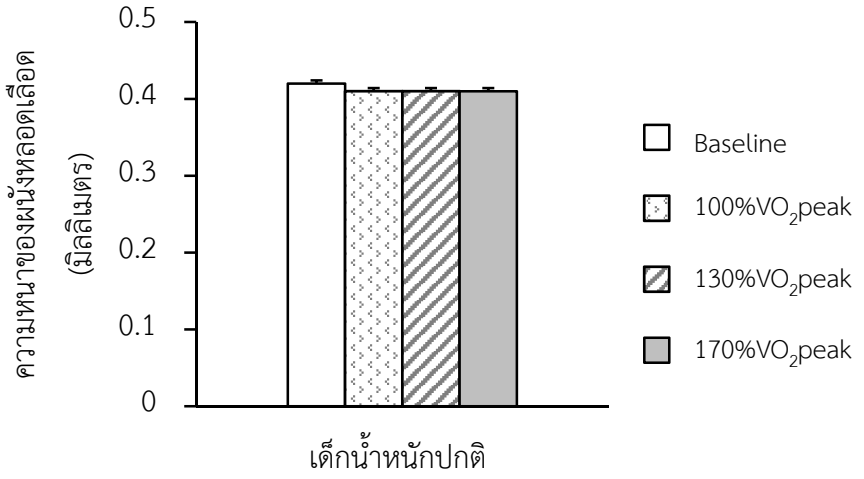
รูปที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

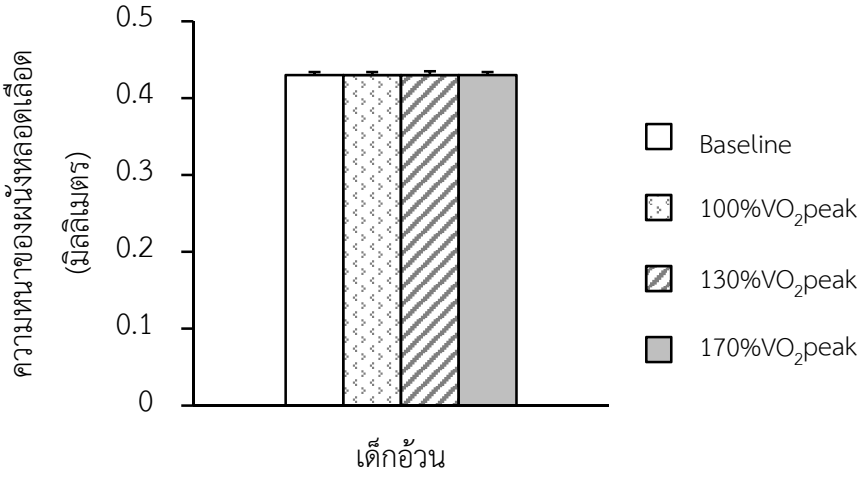


รูปที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

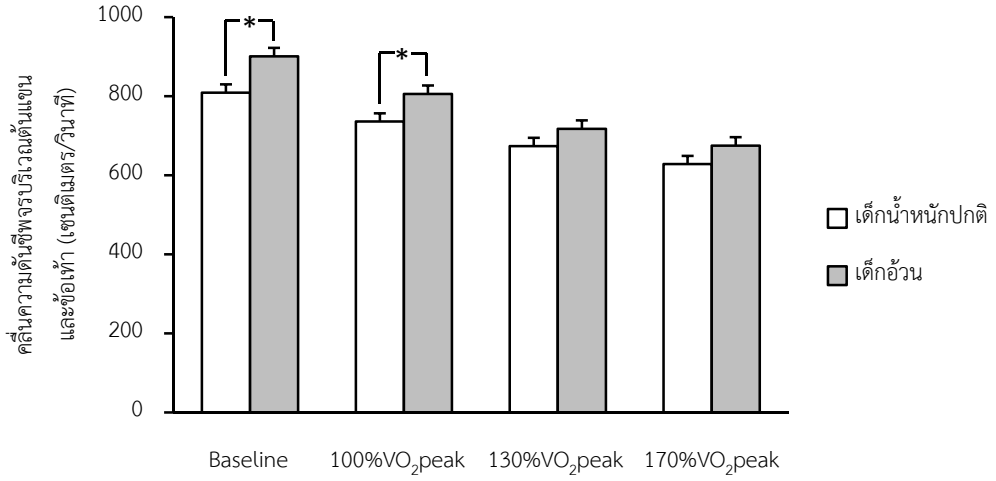
*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

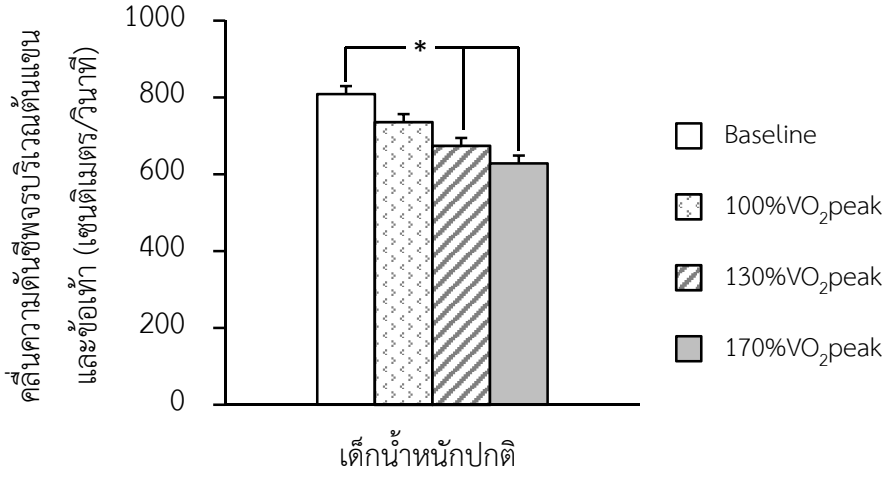


รูปที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak



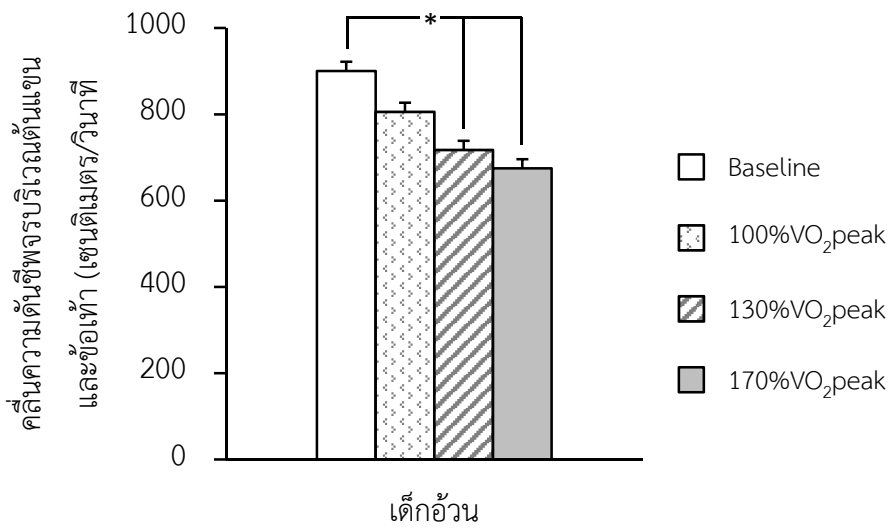
รูปที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าของเด็กอ้วนระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

*แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
อายุ (ปี)	10.64	0.24	10.64	0.24
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	145.96	2.49	147.80	2.54
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	55.49	3.60	56.28	3.95
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2)	26.10	1.02	25.51	1.14
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	24.79	1.65	24.28	1.72
มวลกล้ามเนื้อ (กิโลกรัม)	38.09	1.76	38.89	1.99
รอบเอว (เซนติเมตร)	85.70	2.39	87.65	2.39
รอบสะโพก (เซนติเมตร)	91.75	2.05	89.65	2.23
สัดส่วนเอว-สะโพก	0.93	0.02	0.98	0.01
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	88.91	3.10	88.64	3.62
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	120.45	3.32	121.27	3.31
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	73.36	2.25	74.27	1.83
ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	87.12	2.47	85.55	2.47
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	25.90	1.11	26.61	1.58

จากตารางที่ 13 และรูปที่ 38-51 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมัน มวลกล้ามเนื้อ รอบเอว รอบสะโพก สัดส่วนเอว-สะโพก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ย และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
อายุ (ปี)	11.00	0.27	11.00	0.27
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	154.85	3.09	156.84	2.98
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	58.60	3.28	59.71	3.20
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2)	23.75	0.98	24.13	0.74
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	22.85	1.46	21.52	1.67
มวลกล้ามเนื้อ (กิโลกรัม)	41.47	1.83	43.07	1.88
รอบเอว (เซนติเมตร)	86.10	2.26	84.23	2.23
รอบสะโพก (เซนติเมตร)	91.87	1.84	88.68	1.91
สัดส่วนเอว-สะโพก	0.94	0.01	0.95	0.01
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	85.55	5.16	75.45	2.69
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	132.91	4.54	124.64	3.11
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	76.91	2.82	76.73	1.79
ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	91.30	2.72	91.45	2.59
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	31.78	2.17	37.10*	1.60

*p<.05

จากตารางที่ 14 และรูปที่ 38-51 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีค่าเฉลี่ยอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมัน มวลกล้ามเนื้อ รอบเอว รอบสะโพก สัดส่วนเอว-สะโพก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว และความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
อายุ (ปี)	11.07	0.21	11.07	0.21
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	154.95	2.30	156.87	2.35
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	64.43	3.85	64.84	3.67
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2)	26.54	1.04	26.14	1.02
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	26.24	1.38	24.84	1.36
มวลกล้ามเนื้อ (กิโลกรัม)	43.15	1.90	44.53	1.96
รอบเอว (เซนติเมตร)	90.47	2.50	88.63	2.35
รอบสะโพก (เซนติเมตร)	94.42	1.81	92.27	2.08
สัดส่วนเอว-สะโพก	0.96	0.01	0.96	0.01
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	88.93	3.18	82.87	3.38
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	126.67	4.37	116.00*	3.46
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	76.33	1.96	71.40	1.99
ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	88.80	2.41	81.33*	2.97
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	26.52	0.97	30.84*	1.07

*p<.05

จากตารางที่ 15 และรูปที่ 38-51 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยอายุ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมัน มวลกล้ามเนื้อ รอบเอว รอบสะโพก สัดส่วนเอว-สะโพก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ยลดลง แต่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
อายุ (ปี)	10.64	0.24	11.00	0.27	11.07	0.21
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	145.96	2.49	154.85*	3.09	154.95*	2.30
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	55.49	3.60	58.60	3.28	64.43*	3.85
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2)	26.10	1.02	23.75	0.98	26.54	1.04
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	24.79	1.65	22.85	1.46	26.24	1.38
มวลกล้ามเนื้อ (กิโลกรัม)	38.09	1.76	41.47	1.83	43.15	1.90
รอบเอว (เซนติเมตร)	85.70	2.39	86.10	2.26	90.47	2.50
รอบสะโพก (เซนติเมตร)	91.75	2.05	91.87	1.84	94.42	1.81
สัดส่วนเอว-สะโพก	0.93	0.02	0.94	0.01	0.96	0.01
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	88.91	3.10	85.55	5.16	88.93	3.18
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	120.45	3.32	132.91*	4.54	126.67	4.37
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	73.36	2.25	76.91	2.82	76.33	1.96
ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	87.12	2.47	91.30	2.72	88.8	2.41
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	25.9	1.11	31.78*	2.17	26.52†	0.97

*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

†p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 16 และรูปที่ 38-51 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีค่าเฉลี่ยส่วนสูง และความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยส่วนสูง และน้ำหนักสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงต่ำกว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

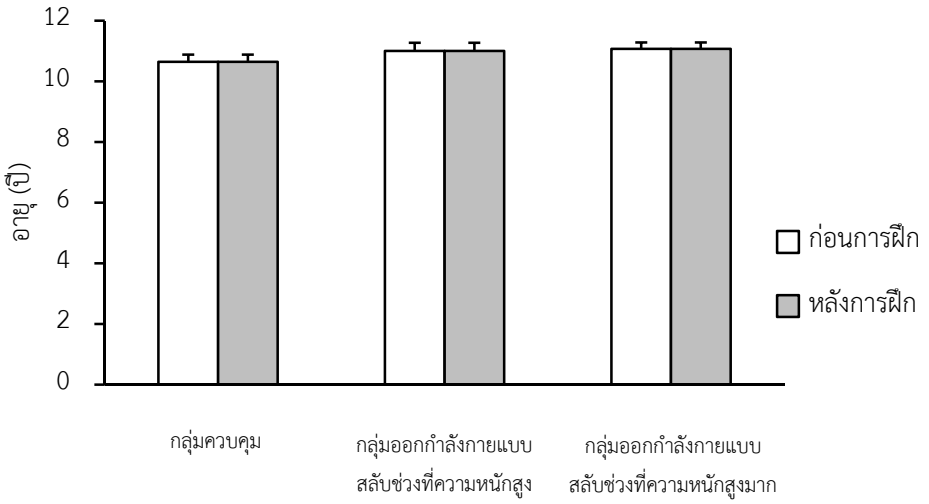
ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
อายุ (ปี)	10.64	0.24	11.00	0.27	11.07	0.21
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	147.80	2.54	156.84*	2.98	156.87*	2.35
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	56.28	3.95	59.71	3.20	64.84*	3.67
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2)	25.51	1.14	24.13	0.74	26.14	1.02
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	24.28	1.72	21.52	1.67	24.84	1.36
มวลกล้ามเนื้อ (กิโลกรัม)	38.89	1.99	43.07	1.88	44.53*	1.96
รอบเอว (เซนติเมตร)	87.65	2.39	84.23	2.23	88.63	2.35
รอบสะโพก (เซนติเมตร)	89.65	2.23	88.68	1.91	92.27	2.08
สัดส่วนเอว-สะโพก	0.98	0.01	0.95	0.01	0.96	0.01
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	88.64	3.62	75.45*	2.69	82.87	3.38
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	121.27	3.31	124.64	3.11	116.00	3.46
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	74.27	1.83	76.73	1.79	71.40	1.99
ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	85.55	2.47	91.45	2.59	81.33†	2.97
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	26.61	1.58	37.10	1.60*	30.84	1.07†

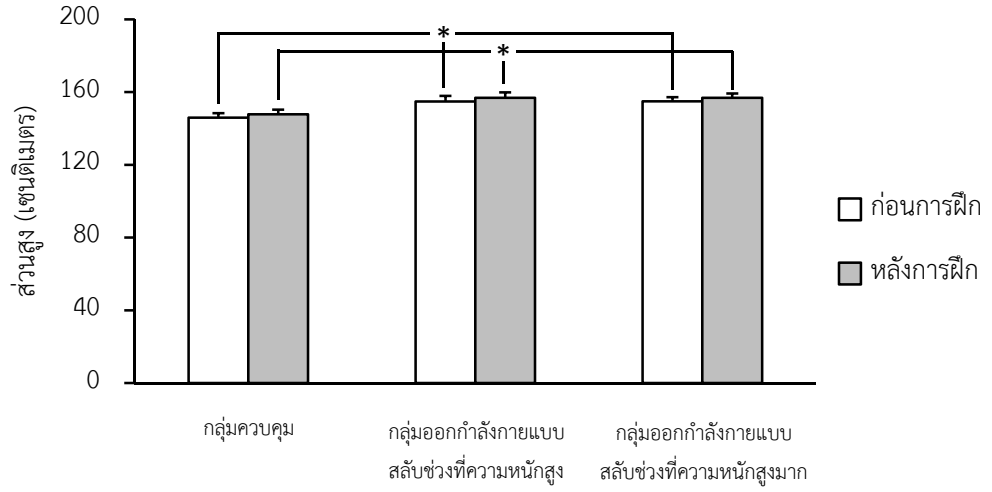
*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

†p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

จากตารางที่ 17 และรูปที่ 38-51 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมีค่าเฉลี่ยส่วนสูง และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสูงกว่า แต่มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยส่วนสูง น้ำหนัก และมวลกล้ามเนื้อสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่มีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง และความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

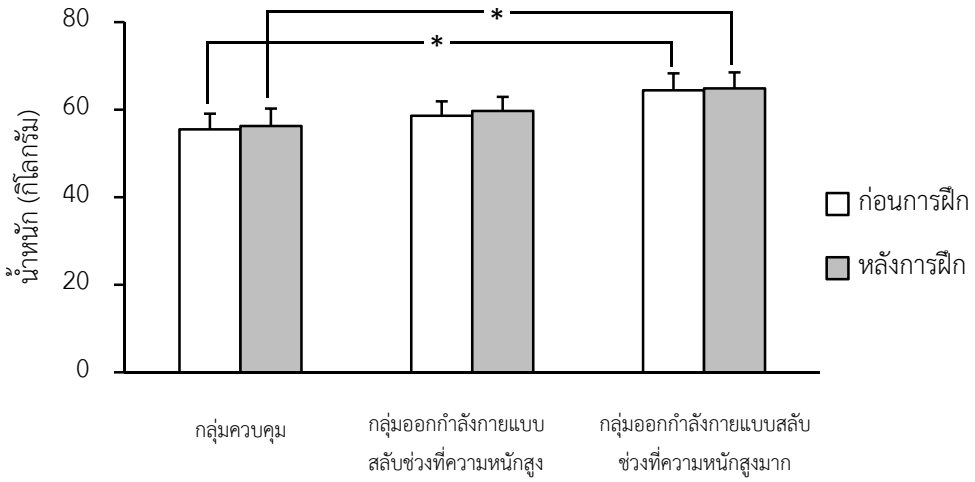


รูปที่ 38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)



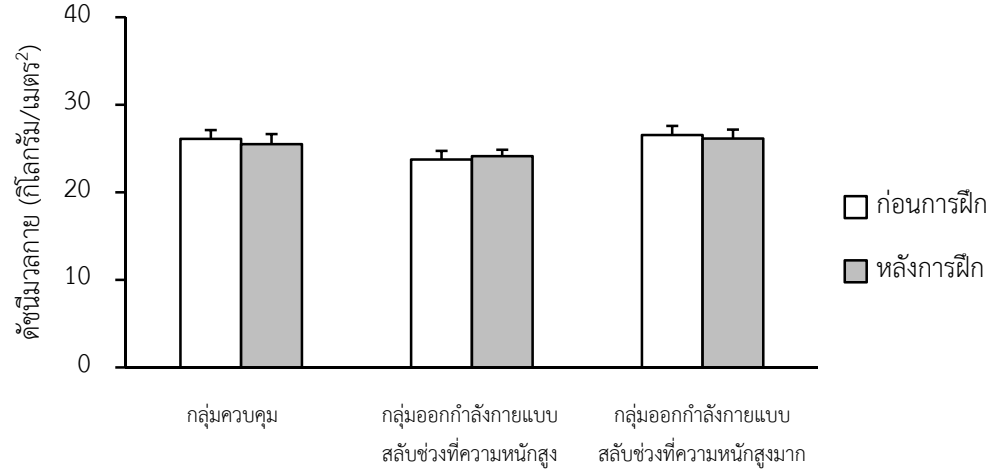
รูปที่ 39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

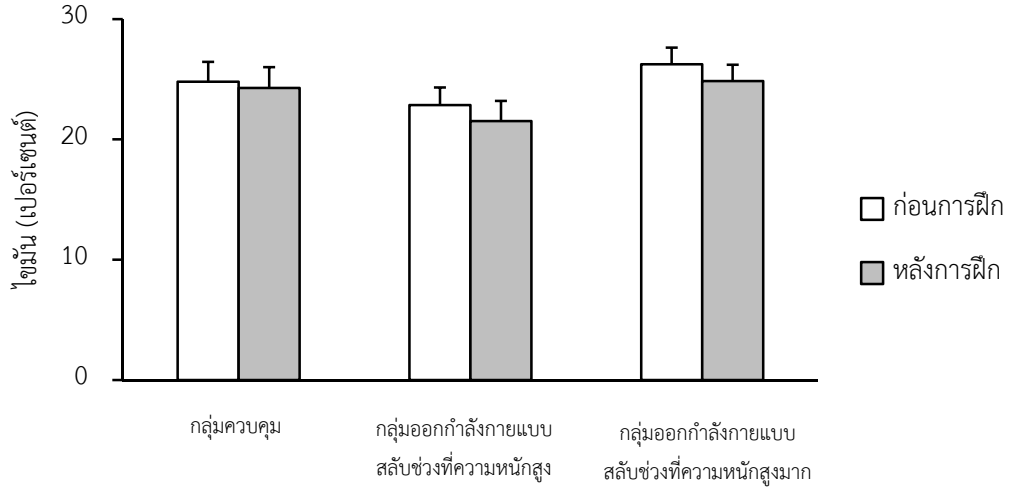


รูปที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

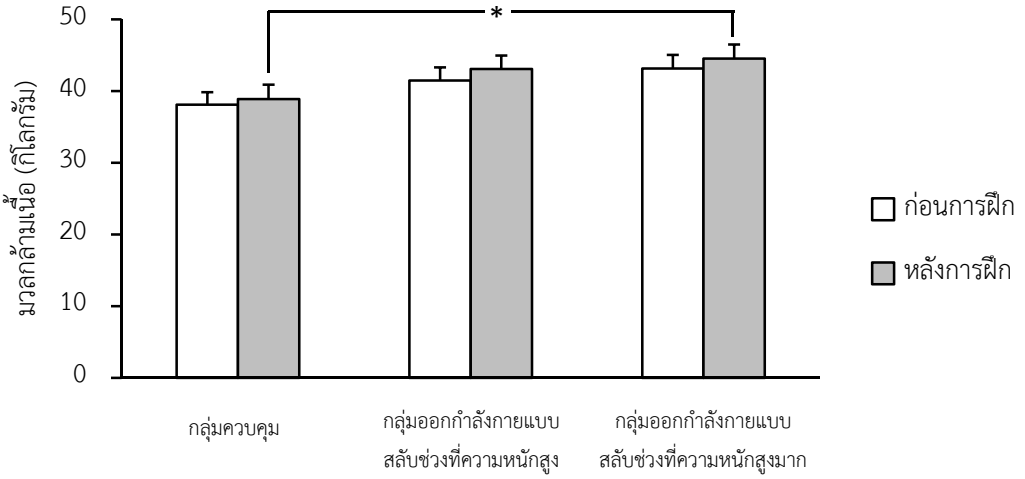
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

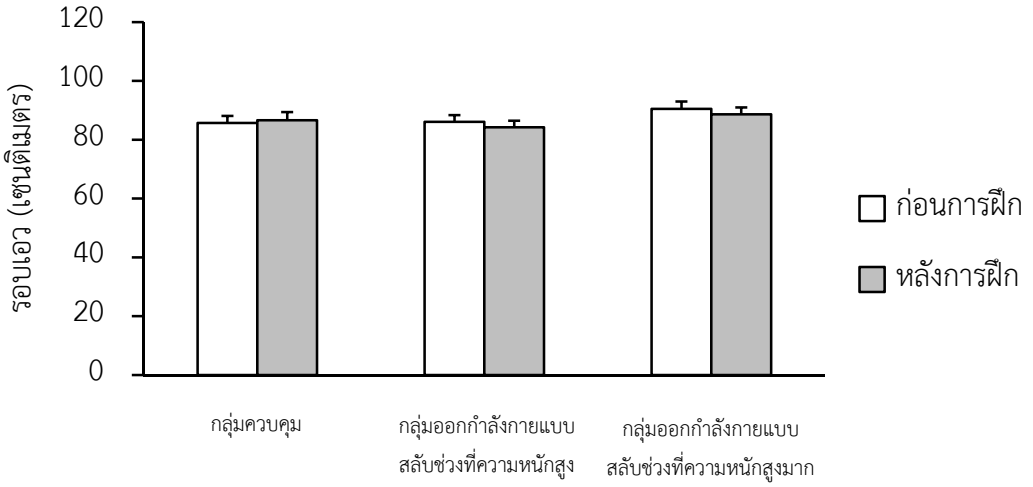


รูปที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

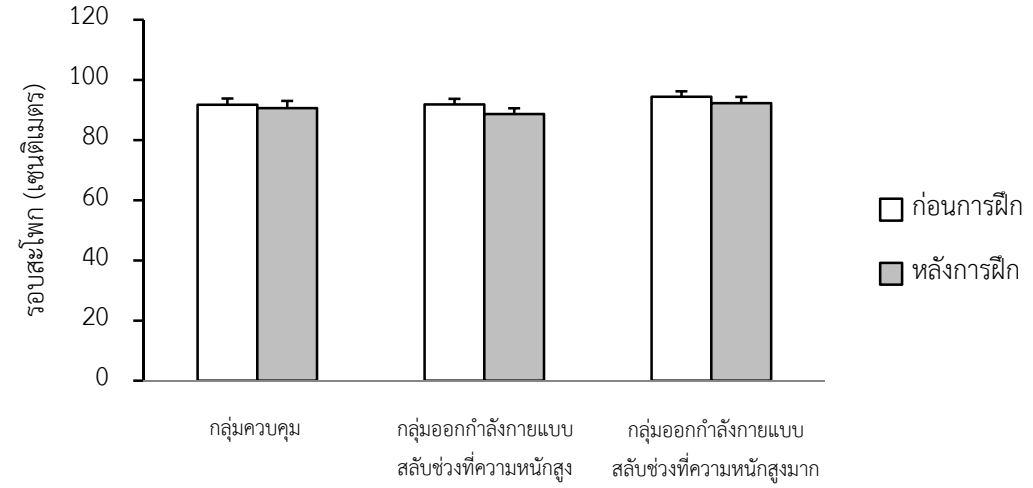


รูปที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

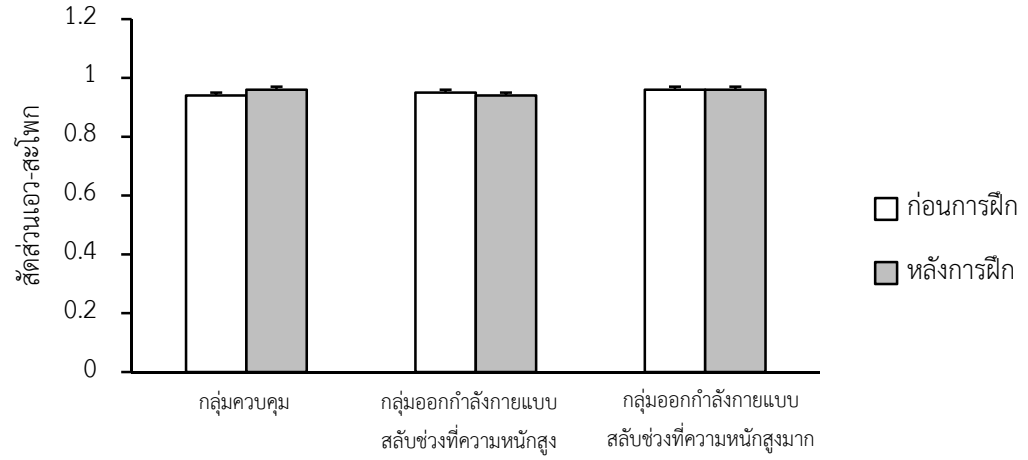
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบเอวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

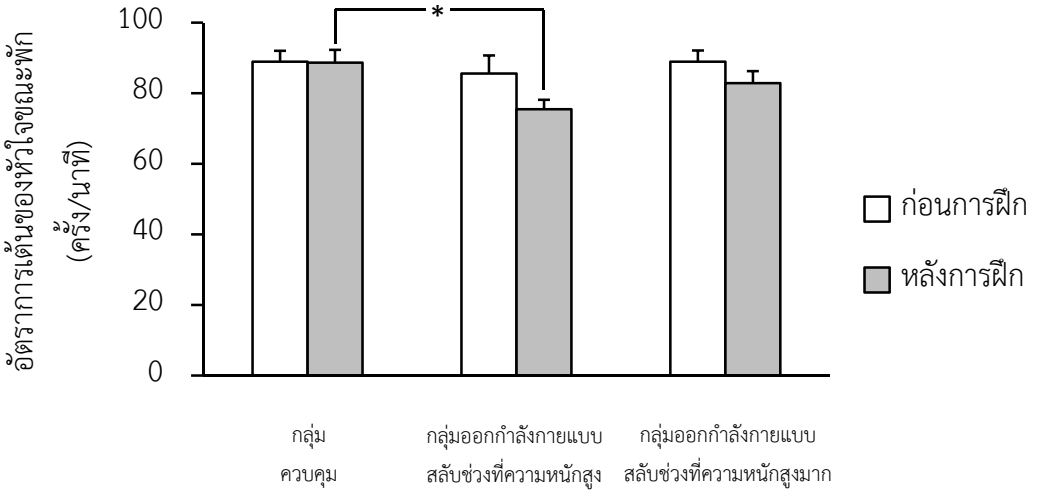


รูปที่ 45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบสะโพกก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)



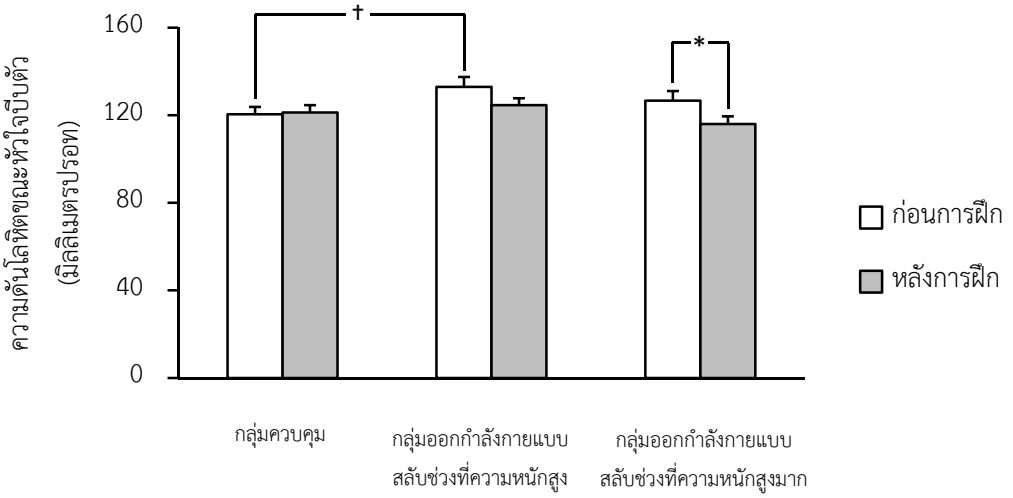
รูปที่ 46 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนเอว-สะโพกก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 47 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

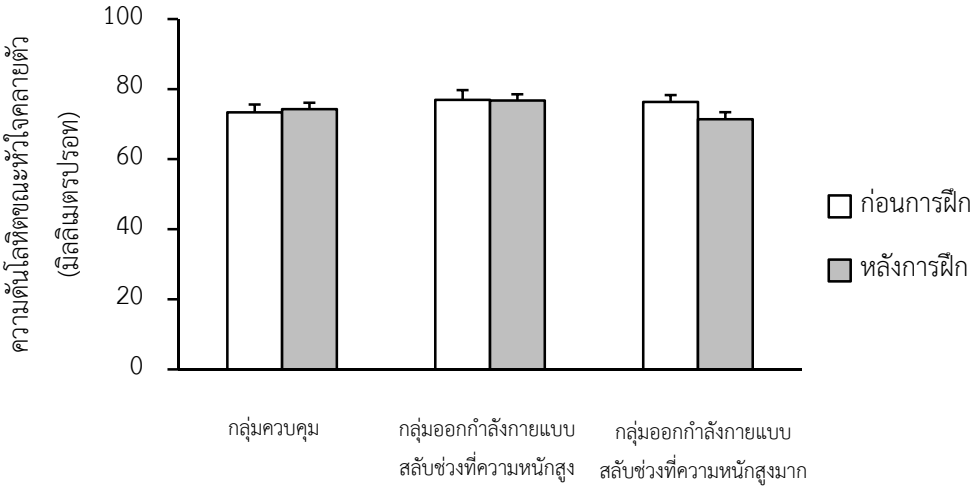
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



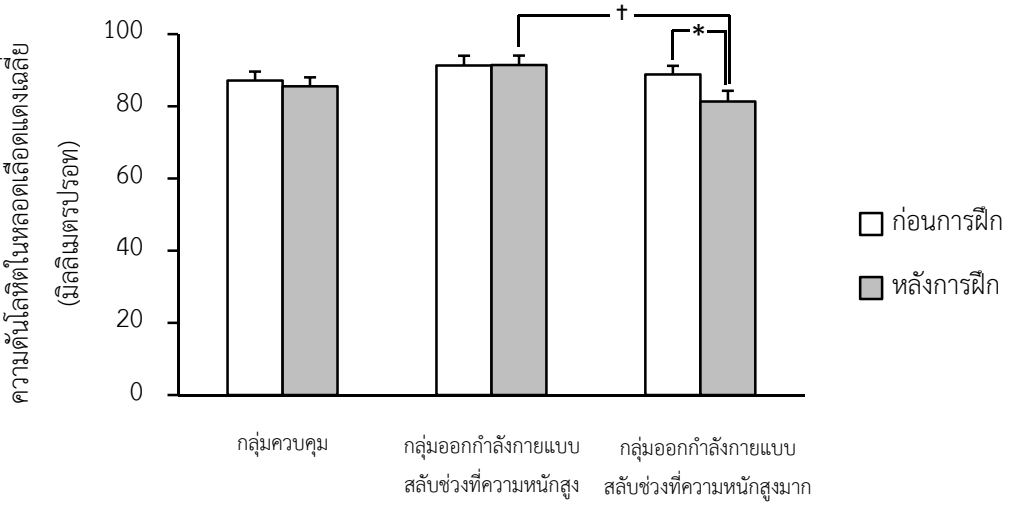
รูปที่ 48 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



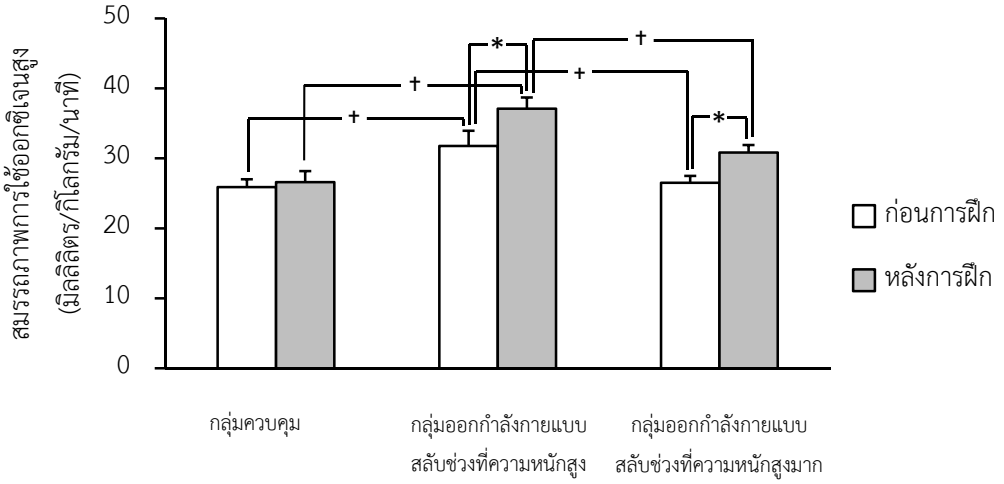
รูปที่ 49 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)



รูปที่ 50 การเปรียบเทียบความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ยก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 51 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
การใช้พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรี่)	1544.27	63.05	1535.27	97.95
การใช้ออกซิเจนขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.24	0.01	0.22	0.01
การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.20	0.02	0.18	0.01
สัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก	0.83	0.03	0.79	0.02
การเผาผลาญไขมันขณะพัก (กรัม)	0.06	0.01	0.08	0.01
การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพัก (กรัม)	0.15	0.04	0.09	0.02

จากตารางที่ 18 และรูปที่ 52-57 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพัก การใช้ออกซิเจนขณะพัก การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพัก สัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก การเผาผลาญไขมันขณะพัก และการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพัก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak)

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
การใช้พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรี่)	1688.73	88.33	1860.18	73.21
การใช้ออกซิเจนขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.22	0.01	0.27*	0.01
การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.19	0.01	0.22	0.01
สัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก	0.87	0.03	0.82	0.03
การเผาผลาญไขมันขณะพัก (กรัม)	0.04	0.01	0.08*	0.014
การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพัก (กรัม)	0.17	0.034	0.14	0.032

*p<.05

จากตารางที่ 19 และรูปที่ 52-57 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพัก การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพัก สัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก และการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนขณะพัก และการเผาผลาญไขมันขณะพักเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การใช้พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรี่)	1770.80	80.76	1882.07	87.87
การใช้ออกซิเจนขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.26	0.01	0.27	0.01
การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.20	0.01	0.22	0.01
สัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก	0.78	0.02	0.79	0.02
การเผาผลาญไขมันขณะพัก (กรัม)	0.10	0.01	0.09	0.01
การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพัก (กรัม)	0.08	0.03	0.11	0.02

จากตารางที่ 20 และรูปที่ 52-57 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพัก การใช้ออกซิเจนขณะพัก การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพัก สัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก การเผาผลาญไขมันขณะพัก และการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การใช้พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรี่)	1544.27	63.05	1688.73	88.33	1770.80	80.76
การใช้ออกซิเจนขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.24	0.01	0.22	0.01	0.26†	0.01
การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.20	0.02	0.19	0.01	0.20	0.01
สัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก	0.83	0.03	0.87	0.03	0.78†	0.02
การเผาผลาญไขมันขณะพัก (กรัม)	0.06	0.01	0.04	0.01	0.10*†	0.01
การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพัก (กรัม)	0.15	0.04	0.17	0.03	0.08†	0.03

*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

†p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

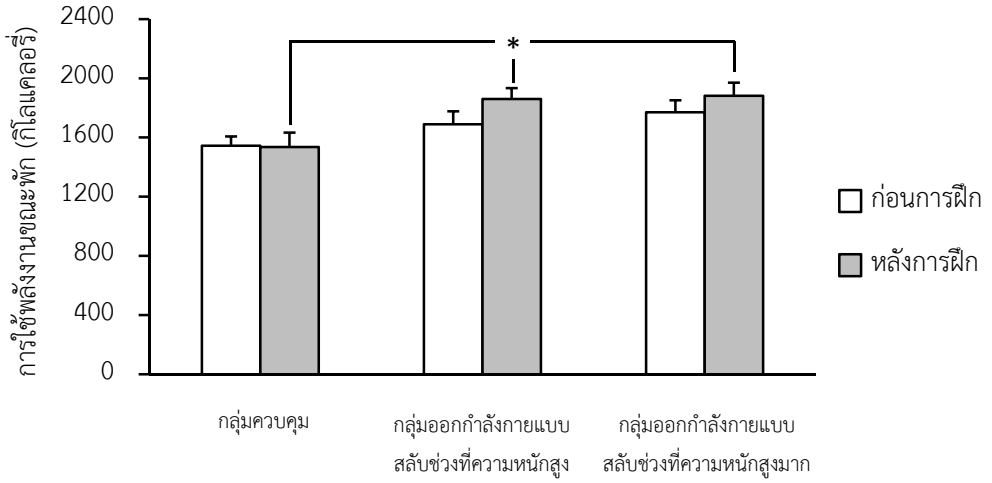
จากตารางที่ 21 และรูปที่ 52-57 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนขณะพัก และการเผาผลาญไขมันขณะพักสูงกว่า แต่ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก และการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพักต่ำกว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และมีค่าเฉลี่ยการเผาผลาญไขมันขณะพักสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การใช้พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรี่)	1535.27	97.95	1860.18*	73.21	1882.07*	87.87
การใช้ออกซิเจนขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.22	0.01	0.27*	0.01	0.27*	0.01
การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.18	0.01	0.22*	0.01	0.22*	0.01
สัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก	0.79	0.02	0.82	0.03	0.79	0.02
การเผาผลาญไขมันขณะพัก (กรัม)	0.08	0.01	0.08	0.01	0.09	0.01
การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพัก (กรัม)	0.09	0.02	0.14	0.03	0.11	0.02

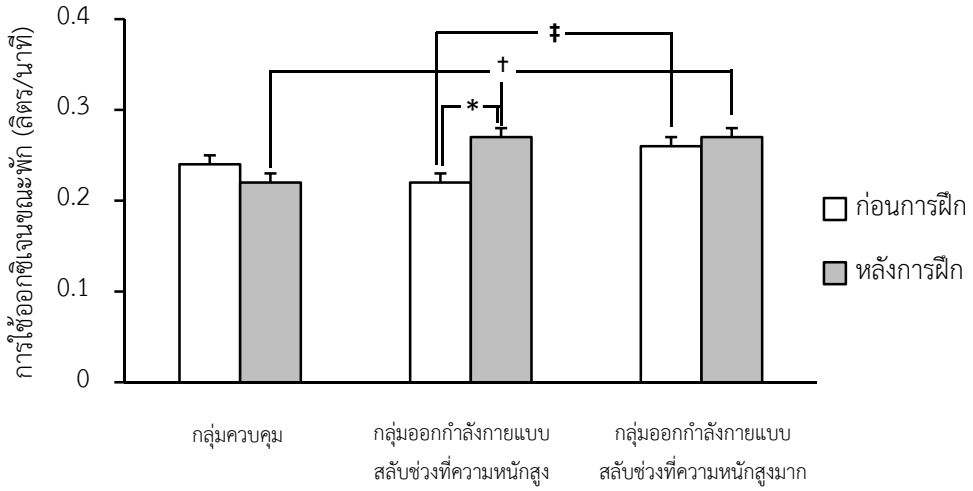
*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

จากตารางที่ 22 และรูปที่ 52-57 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพัก การใช้ออกซิเจนขณะพัก และการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพักสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก การเผาผลาญไขมันขณะพัก และการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตขณะพัก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 52 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพัก ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

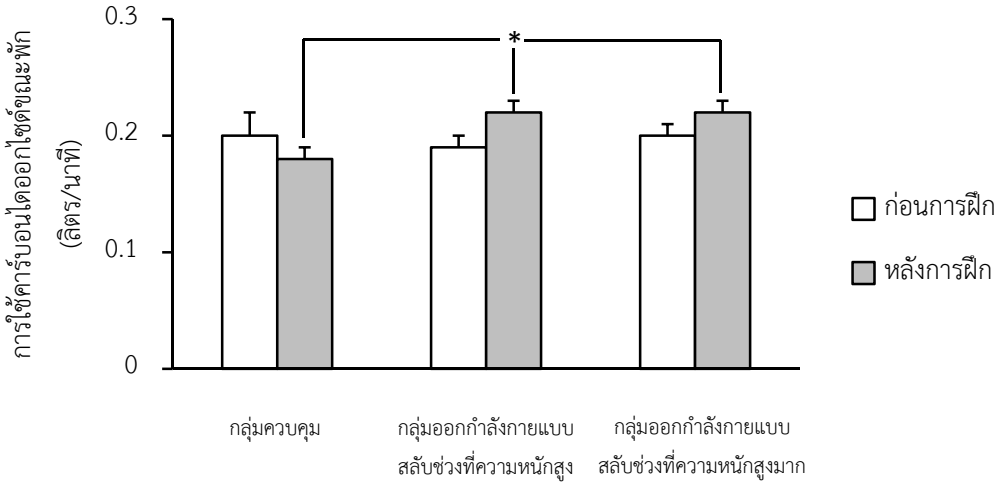


รูปที่ 53 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

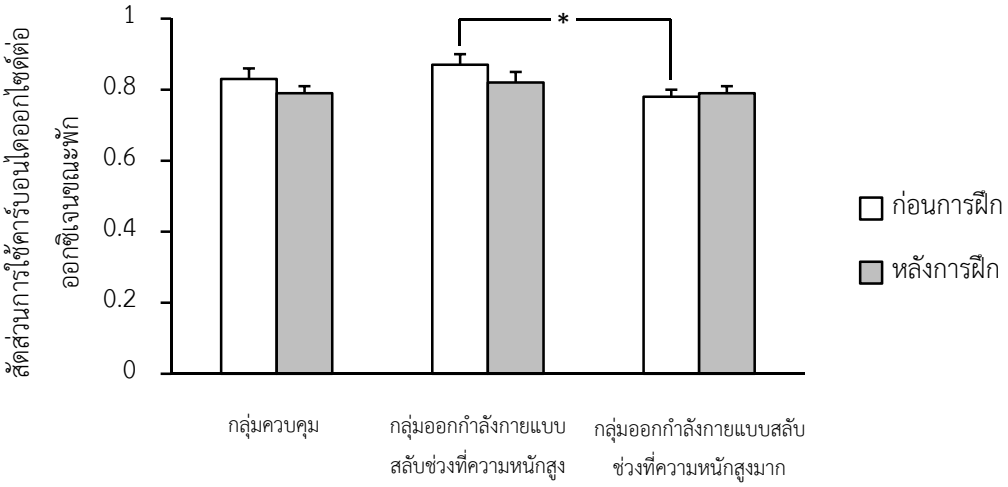
†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

‡แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



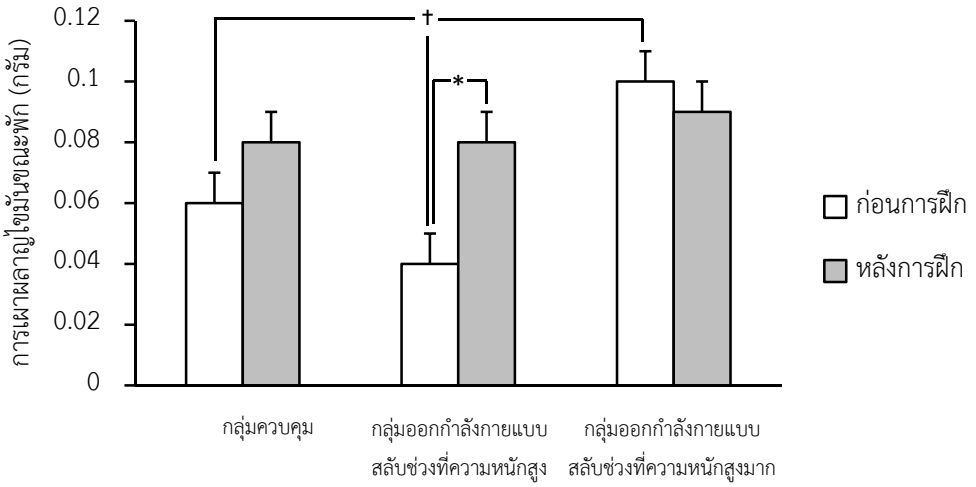
รูปที่ 54 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 55 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

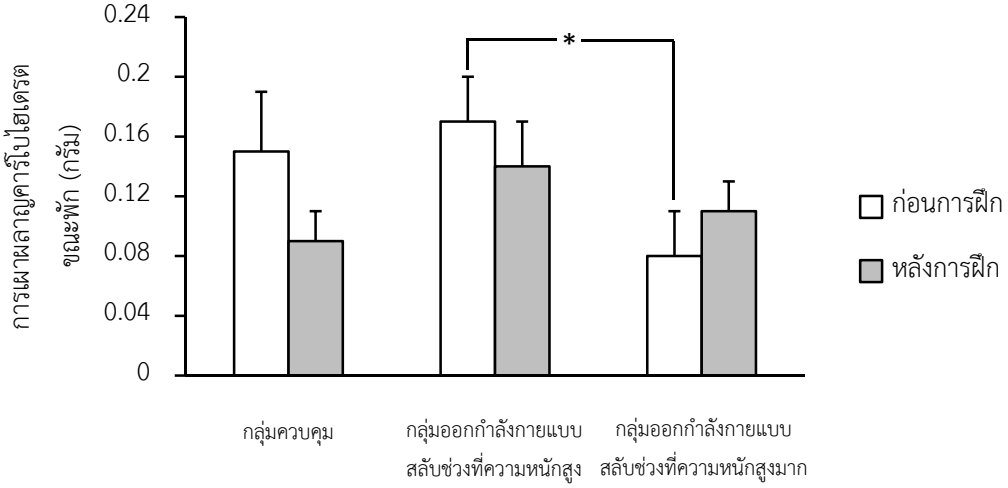
*แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 56 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเผาผลาญไขมันขณะพัก ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 57 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเผาผลาญไขมันขณะพัก ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	8.29	0.77	7.41	1.14
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.43	0.01	0.43	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	1003.64	38.42	1020.45	31.87

จากตารางที่ 23 และรูปที่ 58-60 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak)

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	8.93	1.03	11.05	1.31
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.44	0.01	0.42*	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	996.64	28.87	930	22.89

*p<.05

จากตารางที่ 24 และรูปที่ 58-60 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ความหนาของผนังหลอดเลือดลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	7.89	0.64	10.10	1.11
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.43	0.01	0.41*	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	985.53	28.47	905.80*	24.54

*p<.05

จากตารางที่ 25 และรูปที่ 58-60 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่มีความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	8.29	0.77	8.93	1.03	7.89	0.64
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.43	0.01	0.44	0.01	0.43	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	1003.64	38.42	996.64	28.87	985.53	28.47

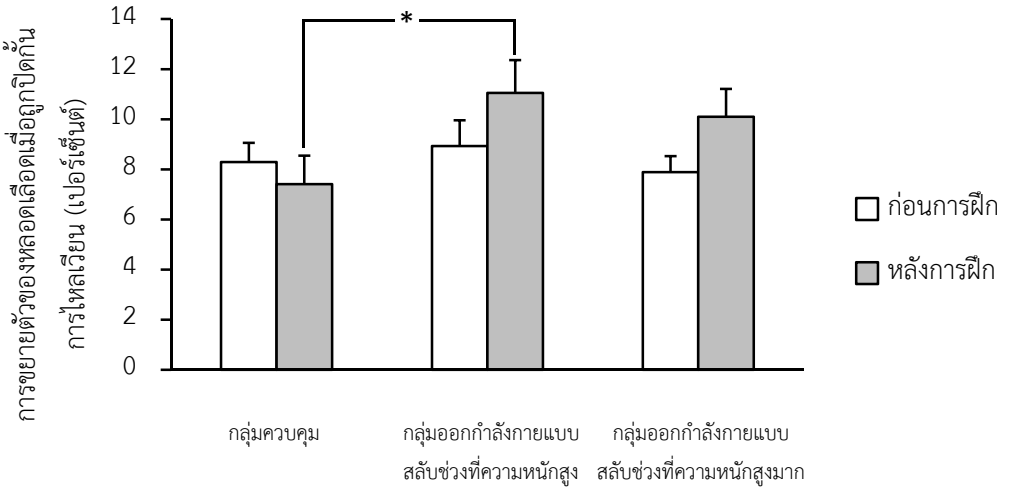
จากตารางที่ 26 และรูปที่ 58-60 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	7.41	1.14	11.05*	1.31	10.10	1.11
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.43	0.01	0.42*	0.01	0.41*	0.01
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (เซนติเมตร/วินาที)	1020.45	31.87	930.00	22.89	905.80*	24.54

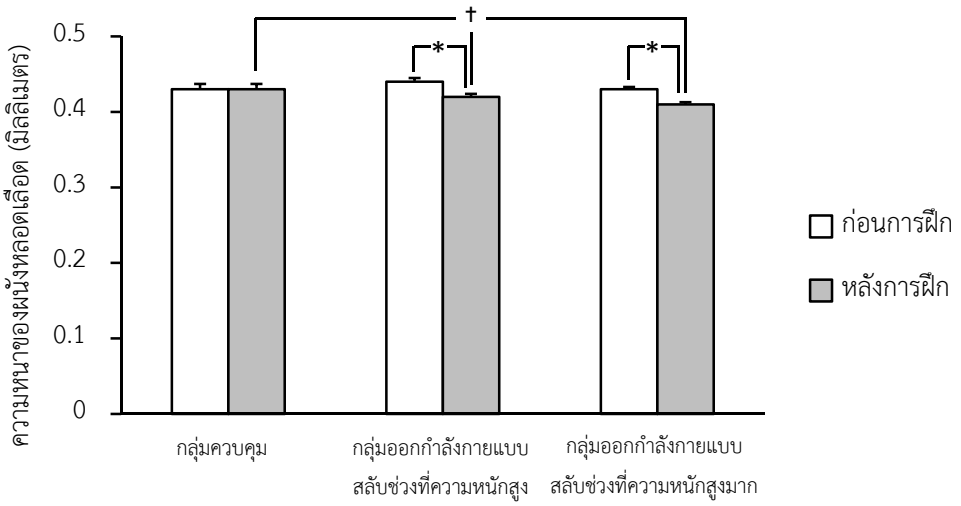
*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

จากตารางที่ 27 และรูปที่ 58-60 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และกลุ่มออกกำลังกายหนักสูง มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 58 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

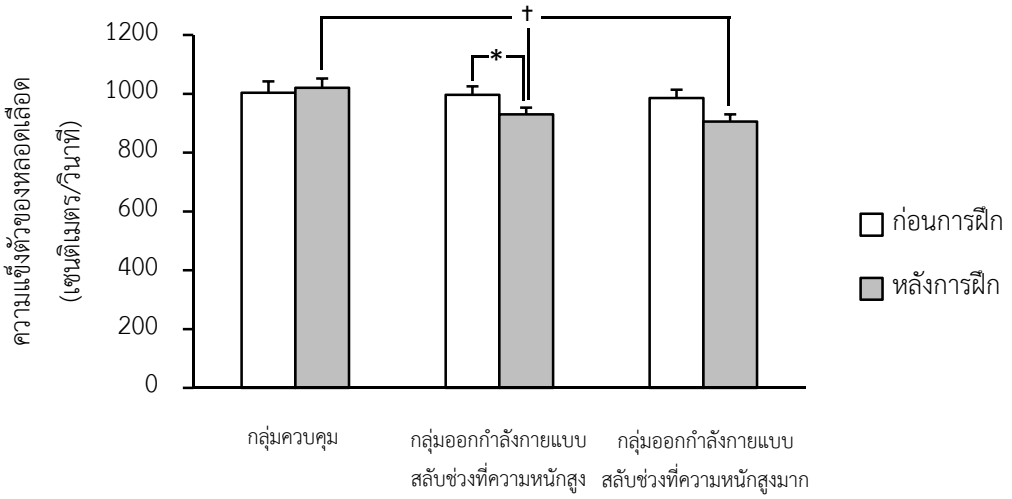
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 59 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตารางที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
น้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	83.00	2.68	75.73*	2.74
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	185.56	12.75	176.40	9.74
ไตรกลีเซอไรด์ (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	106.36	18.01	115.64	24.96
ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	55.45	2.81	52.09	1.90
โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	113.20	10.2	106.55	10.55
เลปติน (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)	7.90	1.24	6.58	1.35
อะดิโพเนคติน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	102.78	16.86	109.72	17.81
ไนตริกออกไซด์ (ไมโครโมล)	4.65	0.62	6.76	0.91
มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ไมโครโมล)	0.32	0.027	0.37	0.029
ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (ยูนิต/ลิตร)	162.50	17.70	144.22	15.10

*p<.05

จากตารางที่ 28 และรูปที่ 61 - 70 แสดงให้เห็นว่า หลังการทดลอง 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือดลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน เลปติน อะดิโพเนคติน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคเนส

ตารางที่ 29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
น้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	84.36	2.26	77.44*	2.48
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	181.00	8.20	145.45*	5.90
ไตรกลีเซอไรด์ (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	128.73	7.67	77.90*	9.28
ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	51.00	3.40	45.30	3.62
โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	111.50	7.87	88.10*	4.01
เลปติน (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)	5.25	0.77	4.24	0.62
อะดิโพเนคติน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	92.87	16.96	100.86	13.49
ไนตริกออกไซด์ (ไมโครโมล)	5.50	0.91	8.05*	1.39
มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ไมโครโมล)	0.29	0.03	0.29	0.02
ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (ยูนิต/ลิตร)	183.34	28.29	153.64	27.01

*p<.05

จากตารางที่ 29 และรูปที่ 61 - 70 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนลดลง แต่ไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน เลปติน อะดิโพเนคติน มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคเนส

ตารางที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
น้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	83.5	1.35	77.92*	1.62
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	163.27	5.93	131.07*	8.25
ไตรกลีเซอไรด์ (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	123.07	9.00	86.36*	8.91
ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	48.53	2.32	43.29	2.60
โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	90.07	5.77	74.00	6.17
เลปติน (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)	6.84	1.08	5.66	0.98
อะดิโพเนคติน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	87.28	14.66	118.36	14.20
ไนตริกออกไซด์ (ไมโครโมล)	4.67	0.38	7.26*	0.84
มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ไมโครโมล)	0.32	0.02	0.31	0.02
ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (ยูนิต/ลิตร)	189.80	22.29	169.77	24.19

*p<.05

จากตารางที่ 30 และรูปที่ 61 - 70 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ลดลง แต่ไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน เลปติน อะดิโพเนคติน มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคเนส

ตารางที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
น้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	83.00	2.68	84.36	2.26	83.50	1.35
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	185.56	12.75	181.00	8.20	163.27	5.93
ไตรกลีเซอไรด์ (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	106.36	18.01	128.73	7.67	123.07	9.00
ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	55.45	2.81	51.00	3.40	48.53	2.32
โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	113.20	10.20	111.50	7.87	90.07*†	5.77
เลปติน (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)	7.90	1.24	5.25	0.77	6.84	1.08
อะดิโพเนคติน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	102.78	16.86	92.87	16.96	87.28	14.66
ไนตริกออกไซด์ (ไมโครโมล)	4.65	0.62	5.50	0.91	4.67	0.38
มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ไมโครโมล)	0.32	0.03	0.29	0.03	0.32	0.02
ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (ยูนิต/ลิตร)	162.50	17.70	183.34	28.29	189.80	22.29

*$p<.05$ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

†$p<.05$ เปรียบเทียบกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

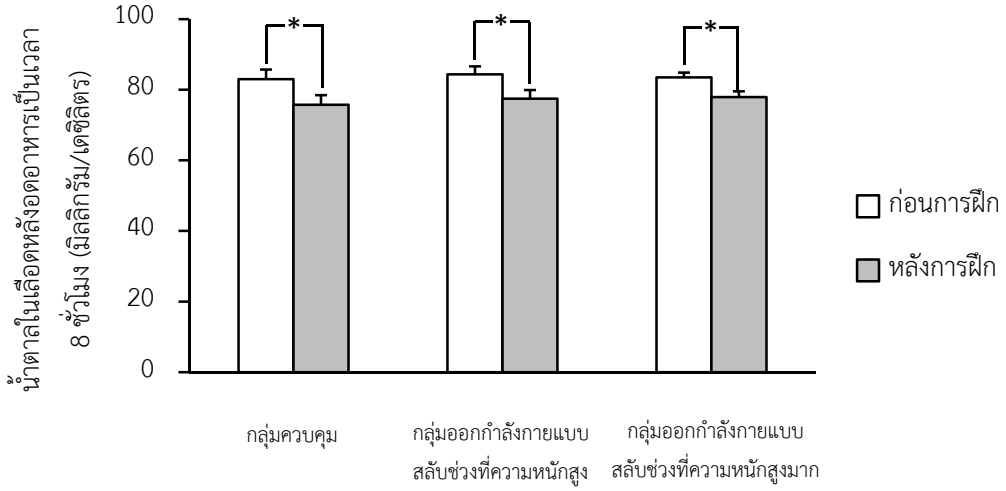
จากตารางที่ 31 และรูปที่ 61 - 70 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ทั้ง 3 กลุ่ม ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน เลปติน อะดิโพเนคติน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคเนส แต่กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนต่ำกว่า เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
น้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	75.73	2.74	77.44	2.48	77.92	1.62
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	176.40	9.74	145.45*	5.90	131.07*	8.25
ไตรกลีเซอไรด์ (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	115.64	24.96	77.90	9.28	86.36	8.91
ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	52.09	1.90	45.30	3.62	43.29*	2.60
โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	106.55	10.55	88.10	4.01	74.00*	6.17
เลปติน (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)	6.58	1.35	4.24	0.62	5.66	0.98
อะดิโพเนคติน (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	109.72	17.81	100.86	13.49	118.36	14.20
ไนตริกออกไซด์ (ไมโครโมล)	6.76	0.91	8.05	1.39	7.26	0.84
มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ไมโครโมล)	0.37	0.03	0.29	0.02*	0.31	0.02
ครีเอทีนฟอสโฟไคเนส (ยูนิต/ลิตร)	144.22	15.10	153.64	27.01	169.77	24.19

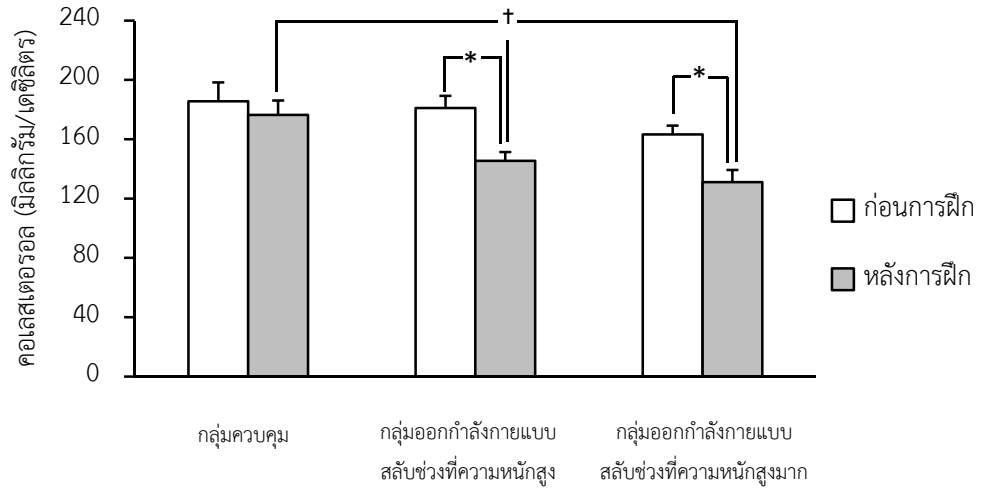
*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

จากตารางที่ 32 และรูปที่ 61 - 70 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีค่าเฉลี่ยคอเลสเตอรอล และมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยคอเลสเตอรอล ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ทั้ง 3 กลุ่มไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ไตรกลีเซอไรด์ เลปติน อะดิโพเนคติน ไนตริกออกไซด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคเนส



รูปที่ 61 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

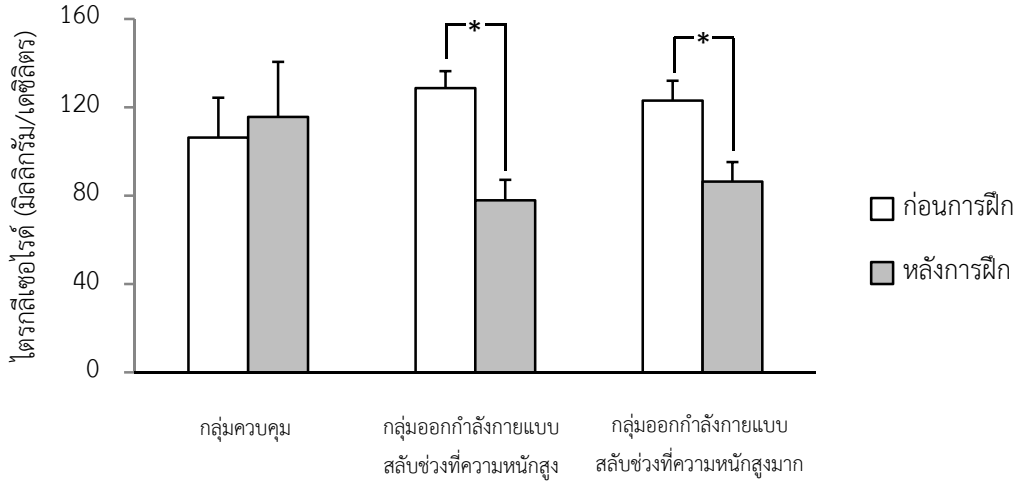
*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 62 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคอเลสเตอรอล ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

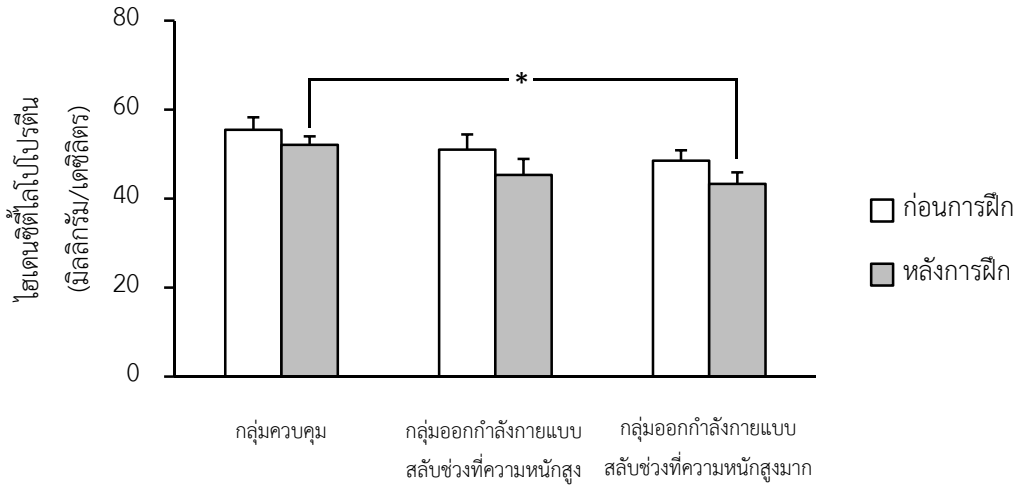
*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



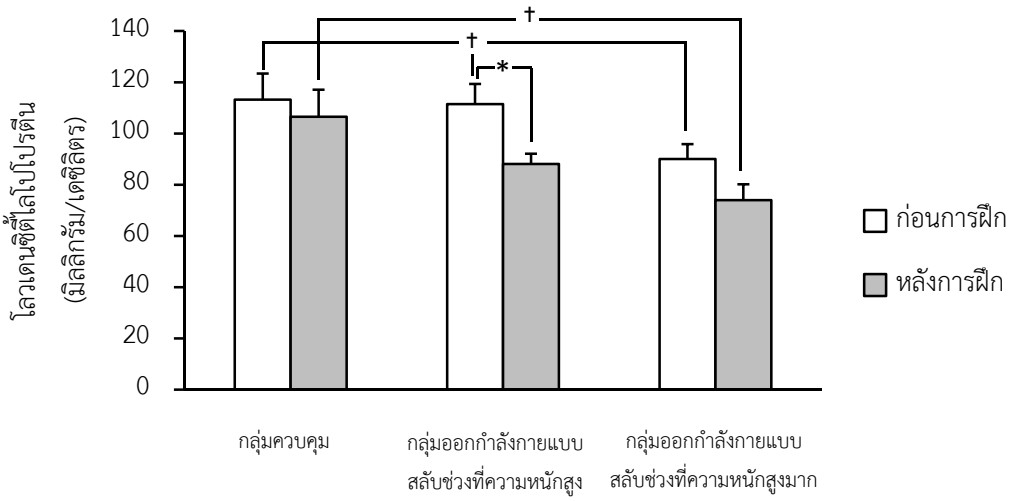
รูปที่ 63 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไตรกลีเซอไรด์ ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 64 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

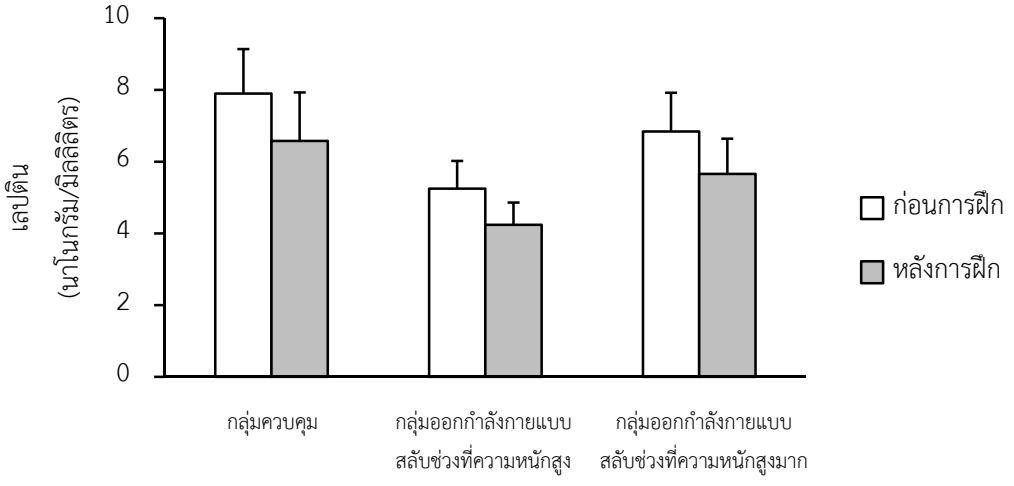
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



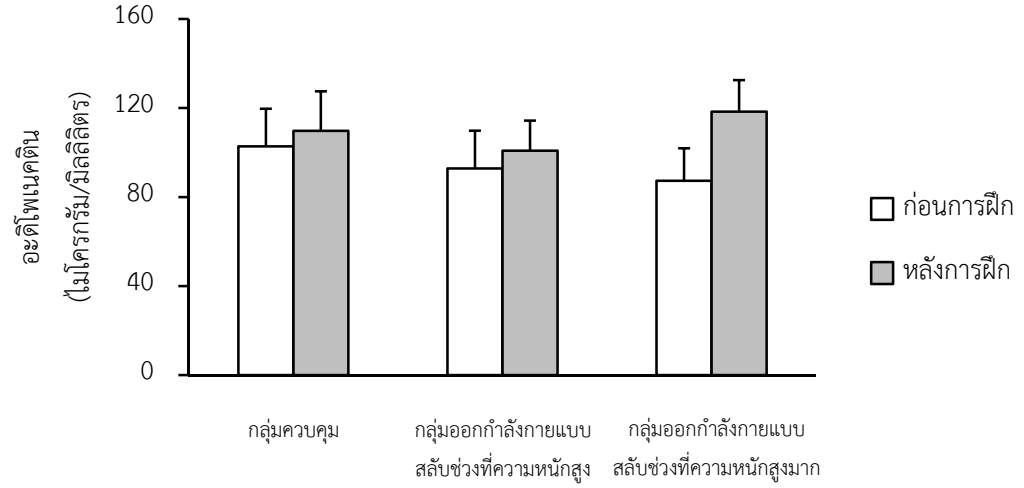
รูปที่ 65 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

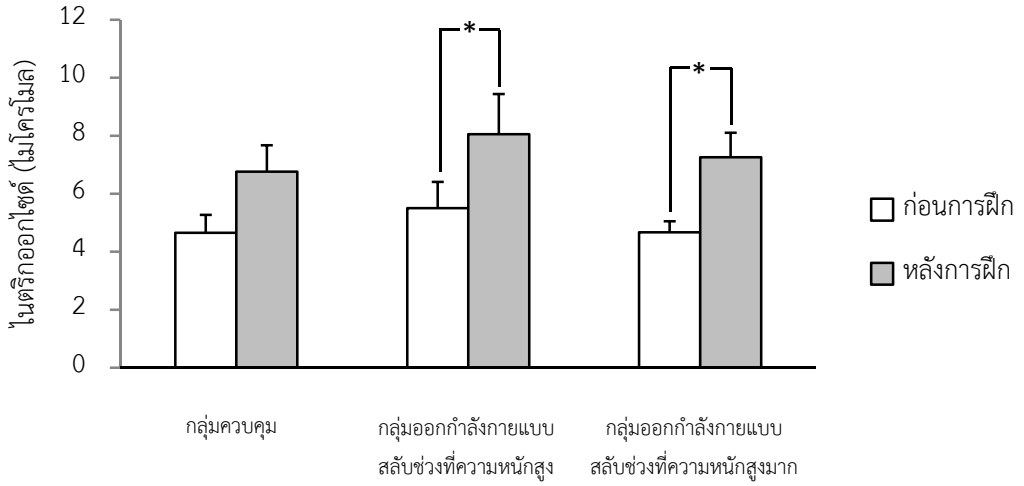
†แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 66 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฮอร์โมนเลปติน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

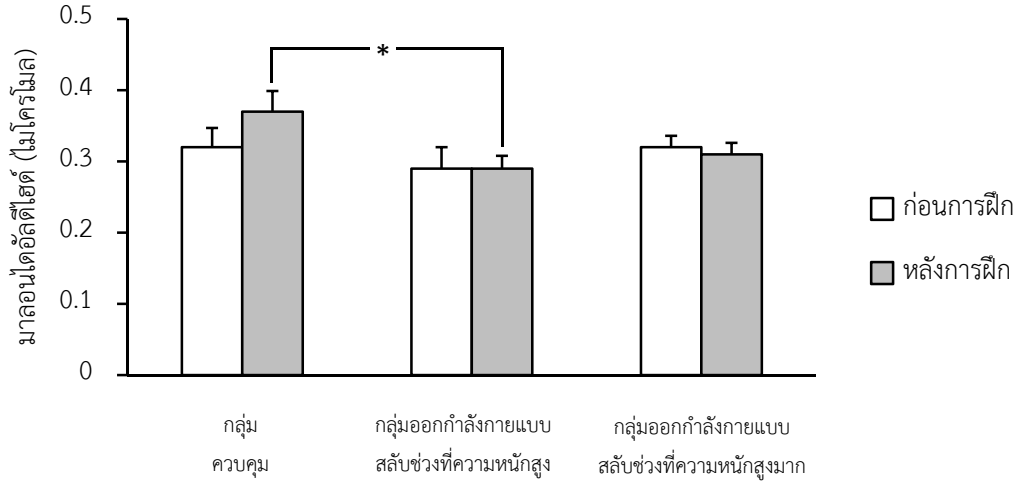


รูปที่ 67 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอะดิโพเนคติน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)



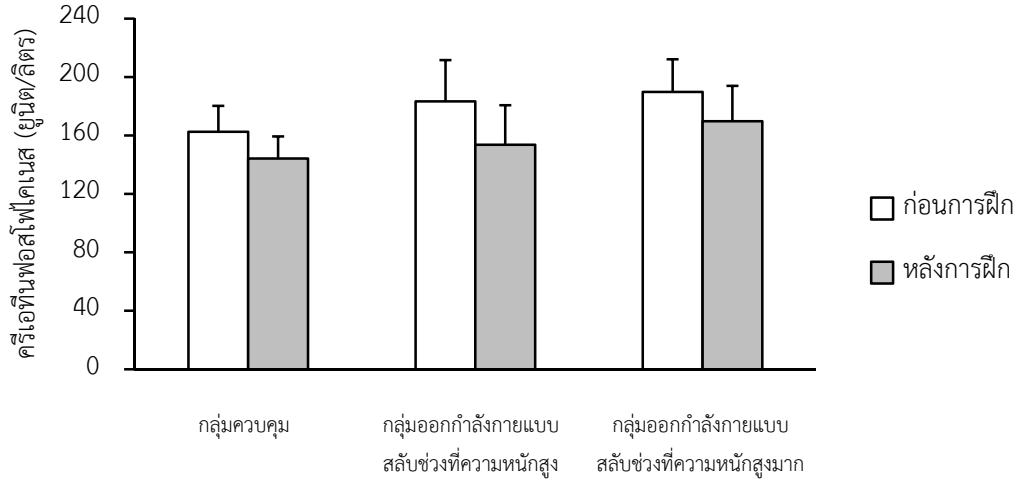
รูปที่ 68 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไนตริกออกไซด์ ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 69 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมาลอนไดอัลดีไฮด์ ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 70 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยครีเอทีนฟอสโฟไคเนส ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตอนที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
ความจุปอด (มิลลิลิตร)	2345.45	209.92	2463.64	176.47
แรงบีบมือด้านขวา (กิโลกรัม)	19.27	1.75	20.18	1.16
แรงบีบมือด้านซ้าย (กิโลกรัม)	17.68	1.40	18.45	1.39
ดันพื้น (ครั้ง)	0.55	0.39	0.55	0.39
ลุกนั่ง (ครั้ง)	15.00	2.51	16.18	2.46
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง (กิโลกรัม)	42.64	3.63	45.55	3.08
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)	54.00	5.19	60.91	5.92
ความอ่อนตัว (เซนติเมตร)	0.41	1.30	-2.64	1.45
งานในการปั่นจักรยาน (วัตต์)	72.45	5.47	65.18	4.45

จากตารางที่ 33 และรูปที่ 71 - 78 แสดงให้เห็นว่า หลังการทดลอง 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยความจุปอด แรงบีบมือด้านขวา แรงบีบมือด้านซ้าย ดันพื้น ลุกนั่ง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว และงานในการปั่นจักรยาน ไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
ความจุปอด (มิลลิลิตร)	2513.64	255.32	2868.18	226.66
แรงบีบมือด้านขวา (กิโลกรัม)	22.59	2.06	27.68*	1.99
แรงบีบมือด้านซ้าย (กิโลกรัม)	20.55	2.22	24.77	2.07
ดันพื้น (ครั้ง)	0.00	0.00	0.00	0.00
ลุกนั่ง (ครั้ง)	17.82	2.38	21.73	2.80
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง (กิโลกรัม)	52.09	4.69	61.91	4.55
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)	55.18	5.22	63.09	4.79
ความอ่อนตัว (เซนติเมตร)	2.23	2.35	4.05	2.55
งานในการปั่นจักรยาน (วัตต์)	83.18	4.89	113.00*	6.67

*p<.05

จากตารางที่ 34 และรูปที่ 71 - 78 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมีค่าเฉลี่ยความจุปอด แรงบีบมือด้านซ้าย ดันพื้น ลุกนั่ง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และความอ่อนตัว ไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยแรงบีบมือด้านขวา และงานในการปั่นจักรยานเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
ความจุปอด (มิลลิลิตร)	2673.33	214.97	3073.33	165.46
แรงบีบมือด้านขวา (กิโลกรัม)	22.23	1.37	25.33	1.11
แรงบีบมือด้านซ้าย (กิโลกรัม)	20.63	1.27	23.37	1.28
ดันพื้น (ครั้ง)	0.00	0.00	0.00	0.00
ลุกนั่ง (ครั้ง)	12.00	1.80	16.00	1.60
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง (กิโลกรัม)	51.53	3.59	61.27	3.58
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)	55.20	4.15	72.13*	5.80
ความอ่อนตัว (เซนติเมตร)	1.16	1.69	2.63	1.61
งานในการปั่นจักรยาน (วัตต์)	87.00	4.77	115.47*	5.43

*p<.05

จากตารางที่ 35 และรูปที่ 71 - 78 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยความจุปอด แรงบีบมือด้านขวา แรงบีบมือด้านซ้าย ดันพื้น ลุกนั่ง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง และความอ่อนตัว ไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และงานในการปั่นจักรยานเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{x}$	SEM	$\bar{x}$	SEM	$\bar{x}$	SEM
ความจุปอด (มิลลิลิตร)	2345.45	209.92	2513.64	255.32	2673.33	214.97
แรงบีบมือด้านขวา (กิโลกรัม)	19.27	1.75	22.59	2.06	22.23	1.37
แรงบีบมือด้านซ้าย (กิโลกรัม)	17.68	1.40	20.55	2.22	20.63	1.27
ดันพื้น (ครั้ง)	0.55	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
ลุกนั่ง (ครั้ง)	15.00	2.51	17.82	2.38	12.00	1.80
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง (กิโลกรัม)	42.64	3.63	52.09	4.69	51.53	3.59
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)	54.00	5.19	55.18	5.22	55.20	4.15
ความอ่อนตัว (เซนติเมตร)	0.41	1.30	2.23	2.35	1.16	1.69
งานในการปั่นจักรยาน (วัตต์)	72.45	5.47	83.18	4.89	87.00	4.77

*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

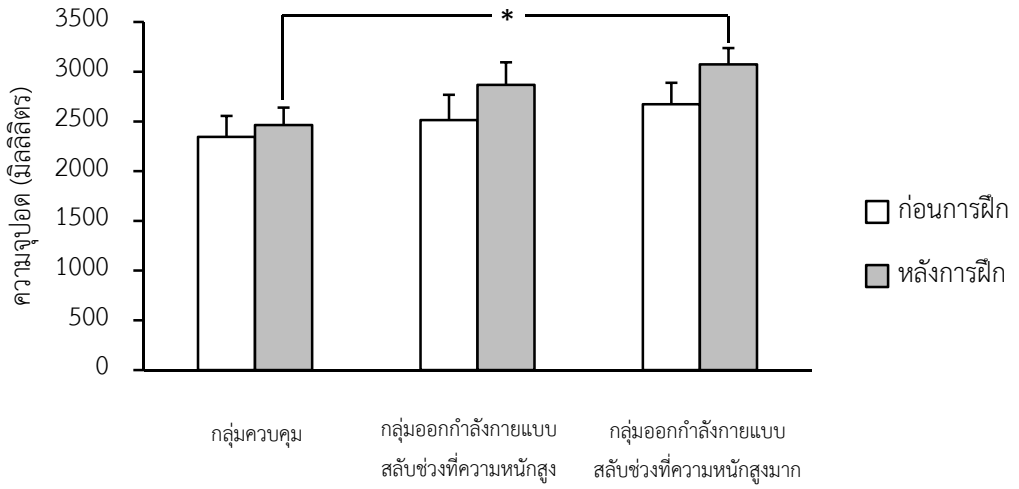
จากตารางที่ 36 และรูปที่ 71 - 78 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยความจุปอด แรงบีบมือด้านขวา แรงบีบมือด้านซ้าย ดันพื้น ลุกนั่ง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว และงานในการปั่นจักรยานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
ความจุปอด (มิลลิลิตร)	2463.64	176.47	2868.18	226.66	3073.33*	165.46
แรงบีบมือด้านขวา (กิโลกรัม)	20.18	1.16	27.68*	1.99	25.33	1.11
แรงบีบมือด้านซ้าย (กิโลกรัม)	18.45	1.39	24.77*	2.07	23.37*	1.28
ดันพื้น (ครั้ง)	0.55	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00
ลุกนั่ง (ครั้ง)	16.18	2.46	21.73	2.80	16.00	1.60
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง (กิโลกรัม)	45.55	3.08	61.91*	4.55	61.27*	3.58
ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (กิโลกรัม)	60.91	5.92	63.09	4.79	72.13	5.80
ความอ่อนตัว (เซนติเมตร)	-2.64	1.45	4.05*	2.55	2.63*	1.61
งานในการปั่นจักรยาน (วัตต์)	65.18	4.45	113.00*	6.67	115.47*	5.43

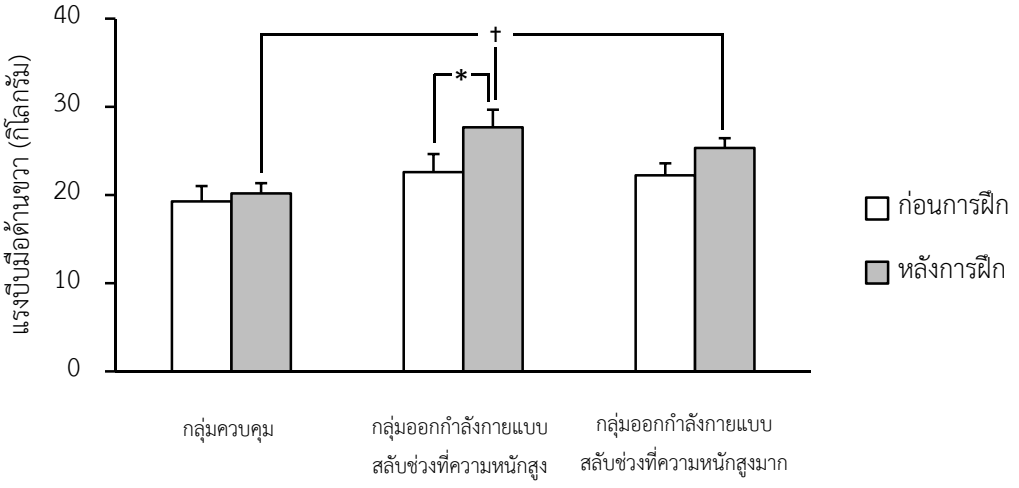
*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

จากตารางที่ 37 และรูปที่ 71 - 78 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยแรงบีบมือด้านซ้าย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ความอ่อนตัว และงานในการปั่นจักรยานสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยความจุปอดสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีค่าเฉลี่ยแรงบีบมือด้านขวาสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และทั้ง 3 กลุ่ม ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดันพื้น ลุกนั่ง และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 71 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความจุปอดก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

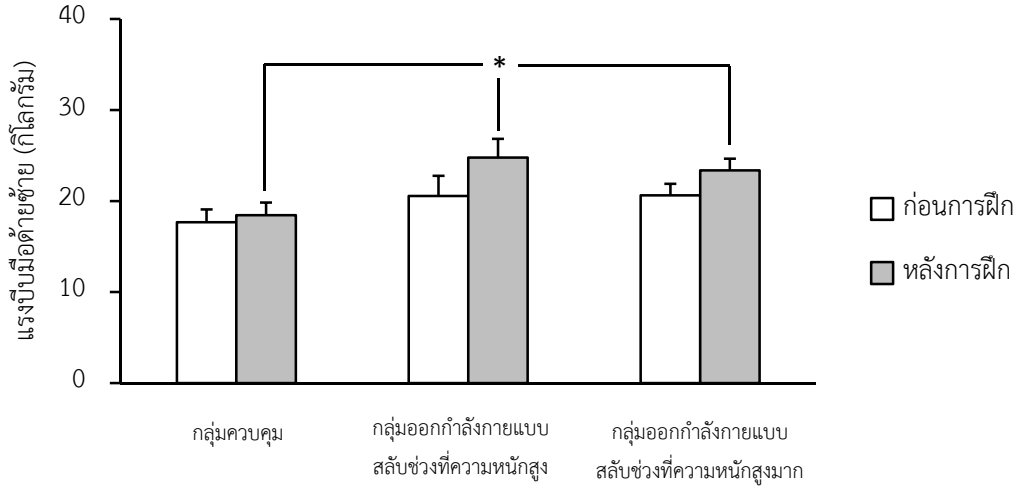
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 72 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงบีบมือด้านขวา ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

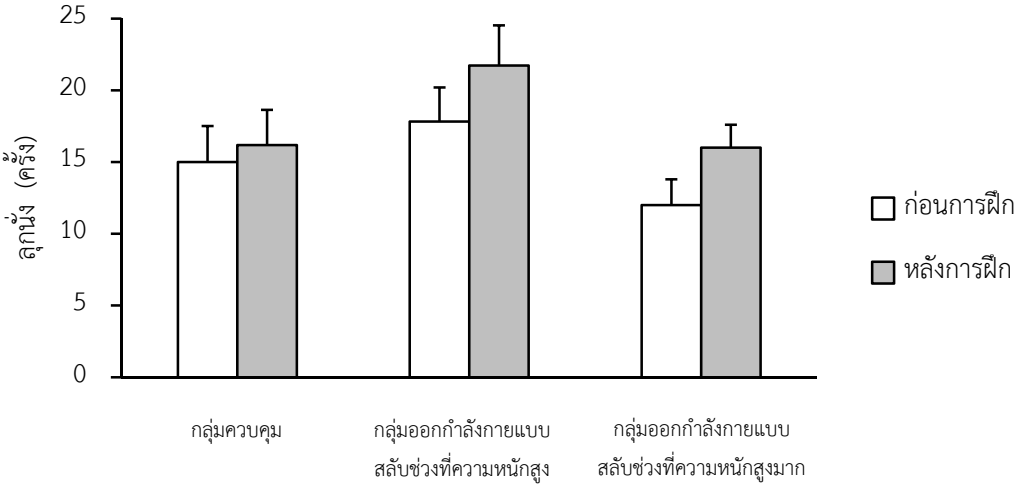
*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

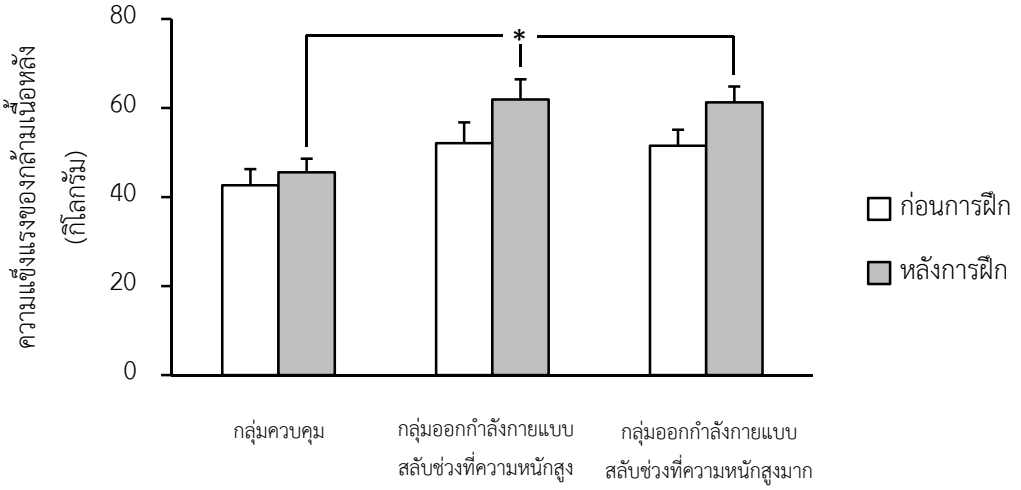


รูปที่ 73 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงบีบมือด้านซ้าย ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

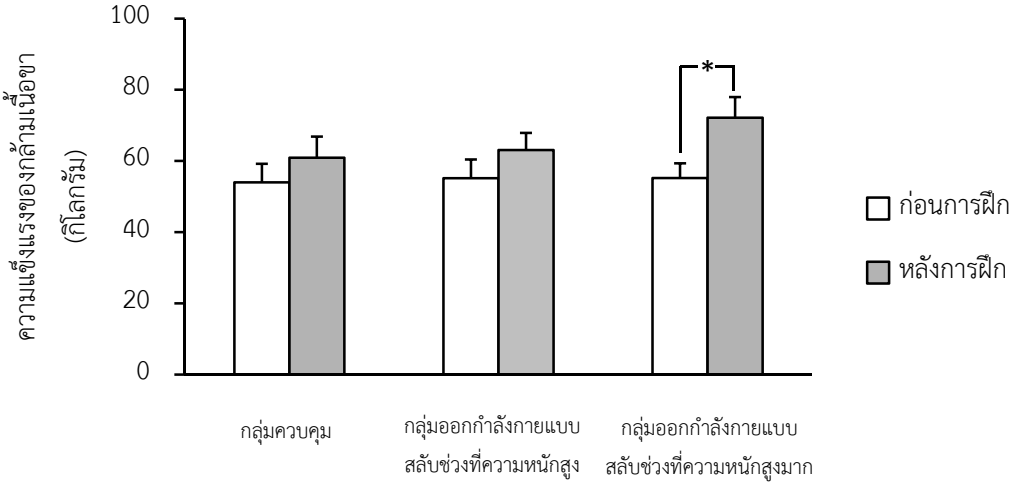


รูปที่ 74 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการนั่งงอตัว ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)



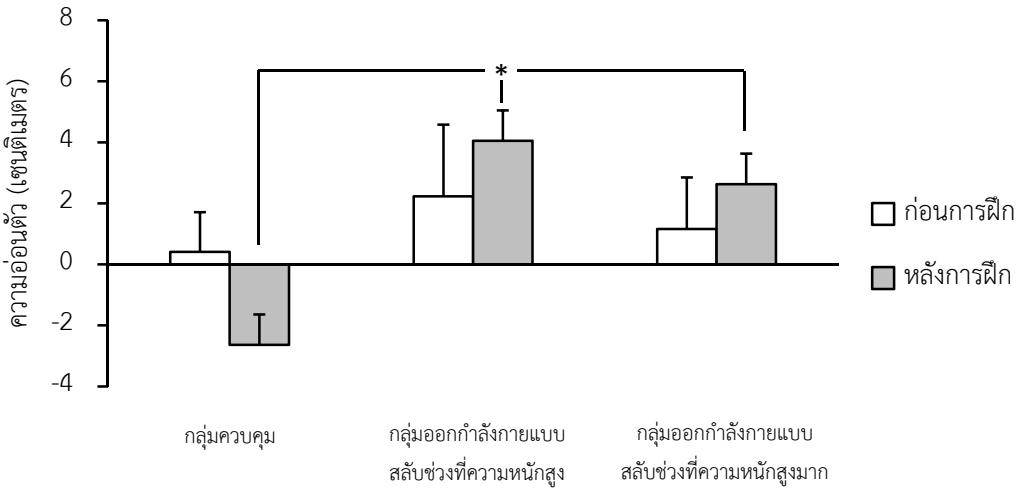
รูปที่ 75 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



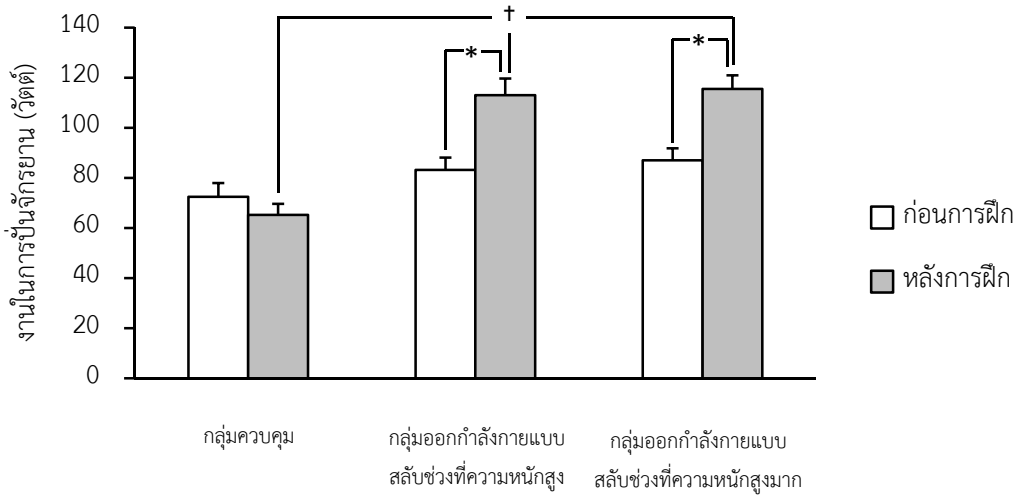
รูปที่ 76 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 77 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความอ่อนตัว ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 78 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยงานในการปั่นจักรยาน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตารางที่ 38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)	8864.36	425.45	8545.8	690.92
คะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร	7.64	0.54	7.64	0.54

จากตารางที่ 38 และรูปที่ 79 - 80 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยจำนวนก้าวในการเดินต่อวัน และคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak)

ตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)	8952.18	531.15	8582.45	626.19
คะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร	7.45	0.69	7.45	0.69

จากตารางที่ 39 และรูปที่ 79 - 80 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีค่าเฉลี่ยจำนวนก้าวในการเดินต่อวัน และคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)	8296.73	464.88	8046.27	598.83
คะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร	7.27	0.12	7.27	0.12

จากตารางที่ 40 และรูปที่ 79 - 80 แสดงให้เห็นว่า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยจำนวนก้าวในการเดินต่อวัน และคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

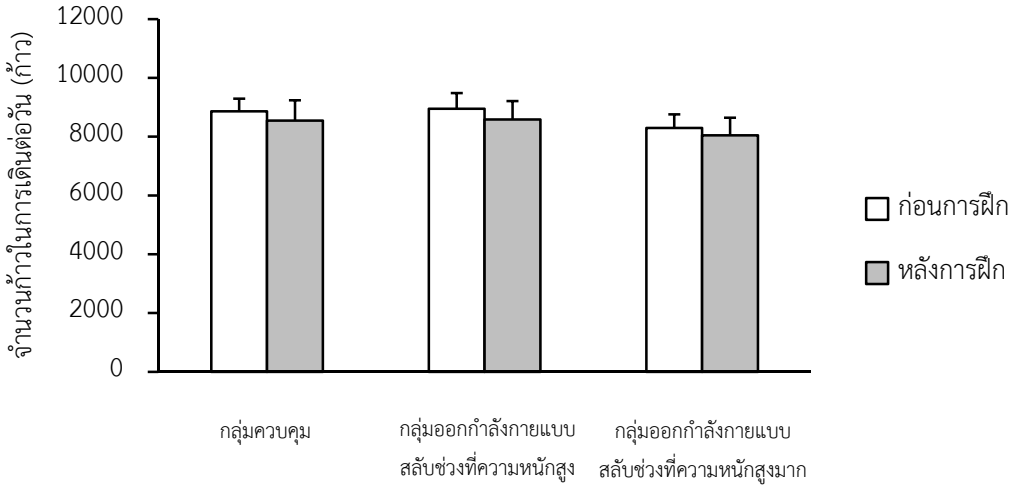
ตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{x}$	SEM	$\bar{x}$	SEM	$\bar{x}$	SEM
จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)	8864.36	425.45	8952.18	531.15	8296.73	464.88
คะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร	7.64	0.54	7.45	0.69	7.27	0.12

จากตารางที่ 41 และรูปที่ 79 - 80 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยจำนวนก้าวในการเดินต่อวัน และคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

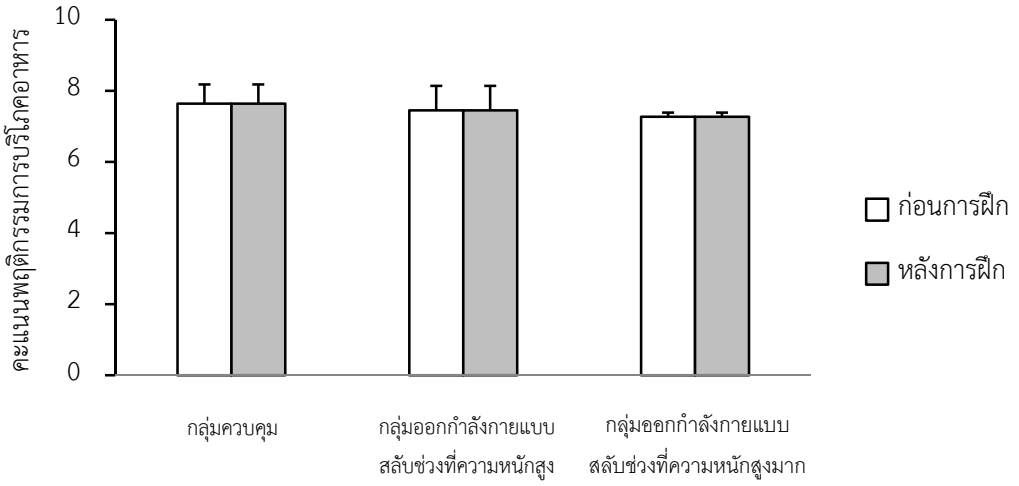
ตารางที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM	$\bar{X}$	SEM
จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)	8545.80	690.92	8582.45	626.19	8046.27	598.83
คะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร	7.64	0.54	7.45	0.69	7.27	0.12

จากตารางที่ 42 และรูปที่ 79 - 80 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยจำนวนก้าวในการเดินต่อวัน และคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 79 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนก้าวในการเดินต่อวัน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)



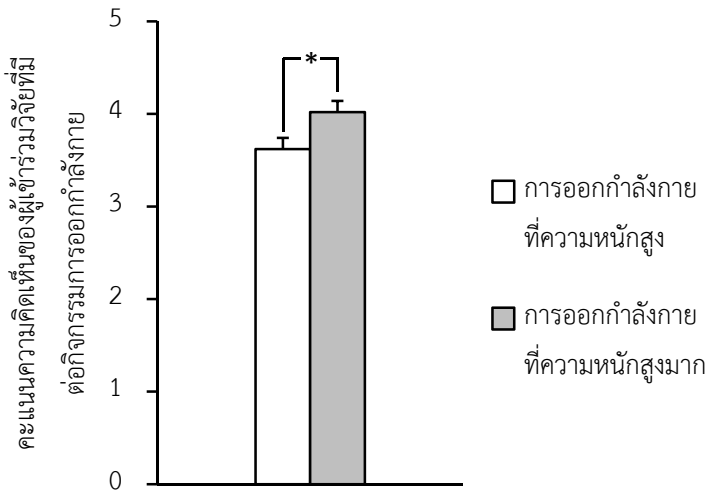
รูปที่ 80 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตอนที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านความสนุกสนานของการออกกำลังกาย หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ระหว่างการออกกำลังกายที่ความหนักสูง (90% VO2peak) และการออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก (90% VO2peak)

ตารางที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านความสนุกสนานของกิจกรรมออกกำลังกายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกิจกรรมการออกกำลังกายที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกิจกรรมการออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

ตัวแปรด้านความสนุกสนานของกิจกรรมออกกำลังกาย	การออกกำลังกายที่ความหนักสูง		การออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก	
	$\overline{X}$	SEM	$\overline{X}$	SEM
คะแนนความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อกิจกรรมการออกกำลังกาย	3.62	0.12	4.02*	0.12

จากตารางที่ 43 และรูปที่ 81 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ การออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) มีค่าเฉลี่ยคะแนนความคิดเห็นของกิจกรรมการออกกำลังกายสูงกว่าการออกกำลังกายที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 81 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของกิจกรรมการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

*แตกต่างจากการออกกำลังกายที่ความหนักสูง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน และเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน องค์ประกอบของร่างกาย และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การศึกษา ได้แก่ การศึกษาที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน และการศึกษาที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน สำหรับรายละเอียดของการสรุปผลการวิจัย และอภิปรายผลของแต่ละการศึกษา มีดังต่อไปนี้

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

กลุ่มตัวอย่างที่เป็นอาสาสมัครเด็กชาย อายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีน้ำหนักปกติและมีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี หากถ้าค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มอ้วน แต่ถ้าค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) น้อยกว่า +2S.D. จะจัดอยู่ในกลุ่มน้ำหนักปกติ (กรมอนามัย, 2542) (ภาคผนวก ข) โดยผู้วิจัยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเด็กน้ำหนักปกติ จำนวน 18 คน และกลุ่มเด็กอ้วน จำนวน 17 คน ทำการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยา การใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือด แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ [Two way ANOVA with repeated measures (2X3)] เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนักสูงมาก 100 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100, 130 and 170% VO_2peak) ของแต่ละกลุ่มและระหว่างกลุ่ม เปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี (LSD) ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent t-test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างกลุ่มเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน ที่ได้รับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนักเดียวกัน โดยมีการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัย

1. เด็กอ้วนมีส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมัน และสัดส่วนเอวต่อสะโพกสูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. เด็กอ้วนมีอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตขณะพักสูงกว่า และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ทั้งเด็กอ้วนและเด็กน้ำหนักปกติเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak มีการใช้พลังงาน สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง และอัตราการเต้นของหัวใจขณะการออกกำลังกายสูงกว่าเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak และเด็กน้ำหนักปกติเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2peak มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสูงกว่าเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. เด็กอ้วนมีการใช้พลังงานขณะการออกกำลังกาย และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงขณะการออกกำลังกายสูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak

5. ก่อนการออกกำลังกาย เด็กอ้วนมีความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT) สูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบการเปลี่ยนแปลงหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ในทั้ง 2 กลุ่ม

6. ก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak เด็กอ้วนมีการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation: FMD) ไม่แตกต่างกับเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak ทั้ง 2 กลุ่ม มีการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนสูงกว่าเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

7. ก่อนการออกกำลังกาย และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak เด็กอ้วนมีคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) สูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% VO_2peak เด็กอ้วนมีคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกับเด็กน้ำหนักปกติ และทั้ง 2 กลุ่ม เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% VO_2peak คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าต่ำกว่าก่อนออกกำลังกายและหลังออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาวิจัย พบว่า ก่อนการออกกำลังกาย เด็กอ้วนมีน้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมันในร่างกาย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวขณะพัก (Systolic and diastolic blood pressure) สูงกว่า แต่มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า สมรรถภาพทางกายพื้นฐานของเด็กอ้วนมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ไม่ดีเมื่อเทียบกับเด็กน้ำหนักปกติในวัยเดียวกัน ซึ่งการเพิ่มสูงขึ้นของความดันโลหิตเกี่ยวข้องเป็นอย่างยิ่งกับการเป็นโรคความดันโลหิตสูงในวัยผู้ใหญ่ตอนต้น หรือการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร จึงมีความจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญและติดตามผลของความดันโลหิตในเด็กอ้วน (Dietz, 1998; Serdula et al., 1993) การเพิ่มขึ้นของความดันโลหิตในเด็กอ้วนนั้น อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังหลอดเลือดหรือความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial dysfunction) (Avogaro et al., 2005, Aggoun et al., 2008, Short et al., 2009) ซึ่งสาเหตุโดยส่วนใหญ่เกิดจากโมเลกุลของไขมันโดยเฉพาะคอเลสเตอรอล (cholesterol) และแอลดีแอล (LDL)

และน้ำตาลกลูโคสที่อยู่ในเลือดทำปฏิกิริยากับเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด เกาะติดบริเวณนั้น กระตุ้นให้เกิดการอักเสบที่บริเวณเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด ส่งเสริมให้เม็ดเลือดขาวเกาะติดกับผนังเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดได้ง่าย หรือกระตุ้นให้เกล็ดเลือดจับตัวบริเวณผนังเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดง่ายขึ้น เป็นต้น (Caterina & Libby, 2007; ศุภชัย ไชยธีระพันธ์ และสมชาย เอี่ยมอ่อง, 2540) ส่งผลให้ผนังหลอดเลือดบริเวณนั้นมีความหนาเพิ่มมากขึ้น โดยงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของความดันโลหิตสัมพันธ์กับความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นในบริเวณลำคอที่เพิ่มขึ้น (Carotid intima-media thickness) (Davis et al., 2001; Elkiran et al., 2013) และการลดลงของความยืดหยุ่นของหลอดเลือด (Raitakari, Juonala, & Viikari, 2005) และจากผลการศึกษาวิจัยนี้ ในกลุ่มเด็กอ้วนมีความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน (Intima-media thickness: IMT) ซึ่งประเมินด้วยเครื่องอัล-ตร้าซาวด์ (Ultrasound) มากกว่าเด็กน้ำหนักปกติ จึงอาจส่งผลให้มีความแข็งตัวของหลอดเลือดที่สูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติด้วย สอดคล้องกับรายงานวิจัยที่ผ่านมาหลายฉบับ (Avogaro & de Kreutzenberg, 2005; Elkiran et al., 2013; Tounian et al., 2001) อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่วัดความหนาของผนังหลอดเลือดในเด็กผู้หญิงอ้วน พบว่ามีความหนาของผนังหลอดเลือดและการแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness) มากกว่าเด็กน้ำหนักปกติ (Zhu et al., 2005) จึงพบความดันโลหิตที่สูงขึ้นเฉพาะในกลุ่มเด็กอ้วนเท่านั้น แต่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังหลอดเลือดหรือความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดในระดับต้นนั้น สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงกลับสู่สภาพปกติได้ ด้วยการออกกำลังกายและการควบคุมอาหาร (Short et al., 2009; Woo et al., 2004a) การออกกำลังกายช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และส่งผลโดยตรงต่อแรงเค้นในหลอดเลือดที่ส่งผลต่อการทำงานของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Gielen & Hambrecht, 2004) ในปัจจุบันจึงมีผู้นำการออกกำลังกายแบบความหนักสูงมาใช้ออกกำลังกายเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และโรคหลอดเลือด (Currie et al., 2014) อีกทั้งพัฒนาการทำงานของหลอดเลือดและเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Heydari et al., 2013; Rakobowchuk et al., 2009)

จากหลากหลายงานวิจัยในปัจจุบัน พบว่า รูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supra-HIIT) ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มสูงขึ้น เพื่อให้ได้ค่างานรวม (total workload) ในการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้น (Hanssen et al., 2015; Rossow et al., 2010; Tabata et al., 1996; Talanian et al., 2007) แต่ยังไม่ชัดเจนว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความ

หนักสูงมาก โดยใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อย (Low-volume, high-intensity) จะมีความปลอดภัยที่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเด็กหรือไม่

การศึกษาวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่นำการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกัน คือความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak มาเปรียบเทียบกัน เพื่อทดสอบผลฉับพลันของการออกกำลังกายต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือด ซึ่งตลอดการทำการศึกษาวิจัยนี้ ไม่มีเหตุอันไม่พึงประสงค์ หรือเกิดอันตรายขึ้นระหว่างการออกกำลังกายในเด็ก โดยเฉพาะผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นเด็กอ้วนทุกคนสามารถทำการทดลองนี้ได้ จากการศึกษาวิจัยนี้ หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ระดับความหนักแตกต่างกัน โดยใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายทั้งสิ้น 14 นาที พบว่า การใช้พลังงานขณะการออกกำลังกาย (Total energy expenditure during exercise) เพิ่มสูงมากขึ้น เมื่อเพิ่มความหนักในการออกกำลังกายมากยิ่งขึ้น ซึ่งหมายความว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak มีการใช้พลังงานในการออกกำลังกายสูงที่สุด ซึ่งมีการใช้พลังงานเท่ากับ 122.6 ± 6.0 กิโลแคลอรี่ ในขณะที่การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 100% VO_2peak ใช้พลังงานในการออกกำลังกายเท่ากับ 114.5 ± 6.0 106.2 ± 6.0 กิโลแคลอรี่ และในเด็กอ้วนมีการใช้พลังงานในการออกกำลังกายสูงกว่าในเด็กน้ำหนักปกติ ซึ่งการที่มีการใช้พลังงานสูงในการออกกำลังกายนั้น จะส่งผลให้พลังงานขณะพักเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากใช้พลังงานในการออกกำลังกายมาก พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตอาจไม่เพียงพอต่อการใช้พลังงาน แต่กลไกการเผาผลาญไขมันนั้นก็ใช้ระยะเวลาในการเผาผลาญนาน จึงส่งผลให้ร่างกายจำเป็นต้องเผาผลาญพลังงานในขณะพักเพิ่มสูงขึ้น (Wilmore & Costill, 2004)

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังพบว่าหลังจากที่การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak ด้วยการปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 วินาที สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ เป็นเวลา 4 นาที ร่วมกับการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50% VO_2peak เป็นเวลา 10 นาที รวมทั้งสิ้น 14 นาที สามารถพัฒนาการทำงานของหลอดเลือด โดยประเมินจากการขยายตัวของหลอดเลือด (Vasodilation) ที่เพิ่มสูงขึ้น ด้วยเครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound) ด้วยวิธีการวัดการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน และสามารถลดคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลง ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ค่า

ความแข็งตัวของหลอดลือด ซึ่งวัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 100 และ 130% VO_2peak คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า และการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนเพิ่มมากขึ้น เมื่อการออกกำลังกายที่ความหนักสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่มีความหนักสูงที่สุด ซึ่งก็คือ ความหนัก 170% VO_2peak น่าจะเป็นการออกกำลังกายที่มีอัตราการไหลเวียนเลือด (blood flow velocity) สูงที่สุด อาจจะเกิดมาจากแรงเค้นหรือแรงที่เลือดกระทำกับผนังหลอดเลือดชั้นใน (Shear stress) ที่เพิ่มสูงขึ้นจากการไหลของเลือด (Suksom et al., 2014) และการเพิ่มขึ้นของแรงเค้นในหลอดเลือดจะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดหลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองของหลอดเลือดได้ดีขึ้น (Jungersten et al., 1997; Kingwell et al., 1997) แต่จากผลการวิจัย ไม่พบความเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ระหว่างเด็กอ้วนและเด็กน้ำหนักปกติ ทั้งก่อนและหลังการออกกำลังกาย อาจเป็นเพราะว่าอายุเฉลี่ยของเด็กที่เข้าร่วมงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงก่อนวัยเจริญพันธุ์ คือ อายุประมาณ 10 ปี ซึ่งยังมีอายุน้อย จึงอาจจะยังไม่แสดงให้เห็นความแตกต่างของความผิดปกติของการตอบสนองของหลอดเลือดอย่างชัดเจนระหว่างเด็กอ้วนและเด็กน้ำหนักปกติ

สรุปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ซึ่งใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อย ทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ 100 130 และ 170% VO_2peak พบว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak มีการใช้พลังงานในการออกกำลังกายสูงที่สุด ส่งผลต่อการพัฒนาการตอบสนองของหลอดเลือด และลดความแข็งตัวของหลอดเลือดได้ดีที่สุด โดยการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากมีความเหมาะสม ปลอดภัย และสามารถที่จะนำมาใช้การออกกำลังกายในเด็กอ้วนได้

ในการศึกษาที่ 2 จึงนำการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak มาใช้ในการฝึกการออกกำลังกาย เพื่อประเมินผลของการฝึกระยะยาวของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak ที่มีต่อการใช้พลังงาน การทำงานของหลอดเลือด องค์ประกอบในร่างกาย และสารชีวเคมีในเลือดในเด็กอ้วนต่อไป

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้อาสาสมัครเป็นเด็กชาย อายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี โดยค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D. (กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2542) (ภาคผนวก ข) แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุมที่เป็นกลุ่มที่ดำเนินชีวิตตามปกติ จำนวน 11 คน
2. กลุ่มทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง หรือ 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (90% VO_2peak) จำนวน 11 คน
3. กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก หรือ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak) จำนวน 15 คน

รวมเป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 37 คน ออกกำลังกาย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ รวมออกกำลังกายทั้งสิ้น 36 ครั้ง ทำการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยา การใช้พลังงาน การทำงานของหลอดเลือด สารชีวเคมีในเลือด สุขสมรรถนะ กิจกรรมทางกาย การรับประทานอาหาร และความสนุกสนานของการออกกำลังกาย แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ [Two way ANOVA with repeated measures (3X2)] เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างก่อน ขณะออกกำลังกาย และหลังการออกกำลังกาย ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และเปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี (LSD) กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัย

1. ผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และความหนักสูงมาก(170% VO_2peak) หลังการฝึก 12 สัปดาห์

1.1. ในกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) พบว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง และไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น และความหนาของผนังหลอดเลือด

น้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และโลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีนลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

1.2. ในกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) พบว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง ไนตริกออกไซด์ และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาเพิ่มขึ้น และความดันโลหิต ความหนาของผนังหลอดเลือด คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า น้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

2. ผลของการเปรียบเทียบตัวแปรด้านสรีรวิทยา การใช้พลังงาน การทำงานของหลอดเลือด สารชีวเคมีในเลือด และสุขสมรรถนะ หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)

2.1 ด้านสรีรวิทยา

กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงมากกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มออกกำลังกายหนักมาก (170% VO_2peak) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

2.2 ด้านการใช้พลังงาน

กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) มีพลังงานขณะพักสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

2.3 ด้านการทำงานของหลอดเลือด

กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) มีความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) มีการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

2.4 ด้านสารชีวเคมีในเลือด

กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) มีคอเลสเตอรอลและมาลอนไดอัลดีไฮด์ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) มีคอเลสเตอรอล ไฮเดนซิตี้ไลโปโปรตีน และโลวเดนซิตี้ไล

โปโปรตีนต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และทั้ง 3 กลุ่มไม่พบความแตกต่างของน้ำตาลในเลือด ไตรกลีเซอไรด์ เลปติน อะดิโพเนคติน ไนตริกออกไซด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคเนส

2.5 ด้านสุขสมรรถนะ

กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) มีแรงบีบมือด้านซ้าย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ความอ่อนตัว และงานในการปั่นจักรยานขณะทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีความจุปอดสูงกว่า และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีแรงบีบมือด้านขวาสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และทั้ง 3 กลุ่ม ไม่พบความแตกต่างของการดันพื้น ลุกนั่ง และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา

4. ไม่มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางกายและการรับประทานอาหารระหว่างการฝึก 12 สัปดาห์ ในทั้ง 3 กลุ่มทดลอง

5. การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) มีความสนุกสนานมากกว่าการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า หลังการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมาก เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า องค์ประกอบของร่างกาย อันประกอบไปด้วย น้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย และเปอร์เซ็นต์ไขมันใต้ผิวหนัง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในทั้ง 3 กลุ่มทดลอง แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันใต้ผิวหนังมีแนวโน้มลดลงในกลุ่มที่ออกกำลังกายทั้ง 2 กลุ่ม อีกทั้งยังพบว่า ไขมันในเลือด คือคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ลดลงหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ถึงแม้ว่าการออกกำลังกายที่ความหนักสูงจะส่งผลดีต่อการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเลือด (Kannan et al., 2014; Lira et al., 2009; Racil et al., 2013) แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย และเปอร์เซ็นต์ไขมันใต้ผิวหนังนั้น อาจเป็นเพราะการออกกำลังกายเพียงอย่างเดียวอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย และเปอร์เซ็นต์ไขมันใต้ผิวหนังในเด็กอ้วน

(Tolfrey et al., 1998) ดังงานวิจัยที่ผ่านมาว่าการออกกำลังกายเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการควบคุมอาหาร ไม่สามารถที่จะลดน้ำหนักตัว และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายได้ (Nassis et al., 2005) นอกจากนี้อาจเป็นเพราะพฤติกรรมการรับประทานอาหารและกิจกรรมทางกายที่ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการทดลอง ถึงแม้ว่าจะได้รับการแนะนำในการรับประทานอาหาร แต่ควบคุมกิจกรรมทางกายอื่นๆ ให้อยู่ในระดับเดิม แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการรับประทานอาหารและกิจกรรมทางกายไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในระยะเวลาอันสั้น และส่งผลเป็นอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของร่างกาย (Bray & Champagne, 2004; Schrauwen & Westerterp, 2000) จากเหตุผลดังกล่าวการเพิ่มการออกกำลังกายในเด็กอ้วนจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากและควรทำอย่างต่อเนื่อง

หลังการฝึก 12 สัปดาห์ การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak) ส่งผลให้ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) และค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตในหลอดเลือดแดง (Mean arterial pressure) ลดลง และมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่าสมรรถภาพทางกายพื้นฐานของเด็กอ้วนมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น โดยเฉพาะความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) และค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตในหลอดเลือดแดง (Mean arterial pressure) ซึ่งจะส่งผลให้อัตราเสี่ยงในการเกิดความดันโลหิตสูง (Hypertension) อันเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Cardiovascular disease) และโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดต่างๆ (Vascular disease) ลดลง (Caterina & Libby, 2007; McGill et al., 2002) เนื่องจากการที่ความดันโลหิตมีค่าสูงนั้น อาจจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังหลอดเลือด หรือการสูญเสียหน้าที่ของเซลล์บุผนังหลอดเลือด (Endothelial dysfunction) ดังที่กล่าวไว้ในการศึกษาที่ 1 ว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังหลอดเลือด หรือการสูญเสียหน้าที่ของเซลล์บุผนังหลอดเลือด ส่งผลให้ความหนาของผนังหลอดเลือด (Arterial wall thickness) เพิ่มมากขึ้น และความยืดหยุ่นของหลอดเลือดลดน้อยลง (Aggoun et al., 2008; Avogaro & de Kreutzenberg, 2005; Bray, 2004; Short et al., 2009) ในการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak ส่งผลให้ความหนาของผนังหลอดเลือดและการแข็งตัวของหลอดเลือดลดลง ซึ่งเป็นผลทำให้ความดันโลหิตในเด็กอ้วนลดลงได้

จากผลการศึกษาที่ 1 เด็กอ้วนสามารถที่จะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supra-HIIT) ได้เป็นอย่างดี และยังส่งผลดีต่อระบบการเผาผลาญพลังงาน (Energy expenditure) อีกด้วย ซึ่งในการศึกษานี้ พบว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak ใช้พลังงานในการออกกำลังกายเฉลี่ย 396.95 กิโลแคลอรี่ต่อสัปดาห์ (kcal/week) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak ใช้พลังงานในการออกกำลังกายเฉลี่ย 299.31 กิโลแคลอรี่ต่อสัปดาห์ (kcal/week) ถึงแม้ว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak จะใช้ระยะเวลาและพลังงานในการออกกำลังกายต่อสัปดาห์น้อยกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak แต่สารชีวเคมีในเลือดที่เป็นสารตั้งต้นของแหล่งพลังงานในร่างกาย ได้แก่ น้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และ โลวเดนซิตี้ไลโปโปรตีน ลดลง ไม่แตกต่างจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในกลุ่มชายหญิงอายุเฉลี่ย 23 ปี โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (SIT) โดยการปั่นจักรยานที่ความเร็วสูงสุด 30 วินาที ความหนักประมาณ 500 วัตต์ สลับกับปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 วัตต์ 4 นาที 30 วินาที จำนวน 6 รอบ ออกกำลังกาย 3 ครั้ง/สัปดาห์ กลุ่มที่ 2 ออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง ปั่นจักรยานที่ความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (65% VO_2peak) ระยะเวลา 40 – 60 นาที ออกกำลังกาย 5 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้ง 2 กลุ่มออกกำลังกายทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มแรกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อยกว่าอีกกลุ่มถึง 3 เท่า และมีการใช้พลังงานระหว่างออกกำลังกายน้อยกว่าถึง 10 เท่า แต่ทั้ง 2 กลุ่ม มีการเพิ่มขึ้นของไมโตรคอนเดรียมาร์คเกอร์ในกล้ามเนื้อลาย (Mitochondrial markers for skeletal muscle) การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ที่ไม่แตกต่างกัน (Burgomaster et al., 2008) ที่เป็นเช่นนี้ อาจจะเกิดมาจากการเร่งปฏิกิริยาของไมโตคอนเดรียล ไบโอเจเนซิส (Mitochondria biogenesis) ในกล้ามเนื้อลาย และการพัฒนาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนในร่างกาย ดังงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่ทำการศึกษาในผู้ชายสุขภาพแข็งเรง ฝึกโดยการปั่นจักรยานด้วยความหนักของค่างานสูงสุดของการออกกำลังกาย (Work load: watt) เมื่อทดสอบค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) เป็นเวลา 60 วินาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ความหนัก 30 วัตต์ เป็นเวลา 75 วินาที (Low –volume, high-intensity) จำนวน 8-12 ครั้ง ในวันจันทร์ พุธ และศุกร์ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ พบว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก สามารถเพิ่มปฏิกิริยาของไมโตคอนเดรียล ไบโอเจเนซิส (Mitochondria

biogenesis) ในกล้ามเนื้อลาย และการพัฒนาสมรรถภาพการเผาผลาญพลังงานได้ (Little et al., 2011) การเพิ่มขึ้นของระบบการเผาผลาญพลังงาน (Energy expenditure) นี้ ส่งผลให้กลุ่มที่การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak) มีการใช้พลังงานขณะพักสูงขึ้น แต่ด้วยกลไกการเผาผลาญไขมัน ต้องใช้พลังงานในการเผาผลาญมากกว่าคาร์โบไฮเดรต การเผาผลาญไขมันต้องการออกซิเจนมากกว่าการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงกว่า จึงใช้เวลานานกว่า (Wilmore & Costill, 2004) ทั้งรูปแบบการใช้พลังงาน ความหนักและระยะเวลาในการออกกำลังกาย จึงส่งผลให้การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายนานกว่า มีอัตราการใช้ไขมันในการออกกำลังกายสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษา โดยการปั่นจักรยานที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (90% VO_2peak) เป็นเวลา 4 นาที สลับกับหยุดพัก 2 นาที จำนวน 10 ครั้ง [10x (4 min at 90% VO_2peak /2min rest)] ทำการฝึก 7 วันใน 2 สัปดาห์ พบว่า สามารถเพิ่มไมโตรคอนเดรียลในกล้ามเนื้อลาย ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการเผาผลาญไขมันในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้หญิง (Talanian et al., 2007)

ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลและไขมันในเลือด แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเลปตินกับอะดิเนคตินในงานวิจัยนี้ อาจเป็นเพราะเลปตินถูกสร้างขึ้นจากเซลล์ไขมัน จึงทำให้ปริมาณของเลปตินนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับเนื้อเยื่อไขมัน และเกี่ยวข้องกับระบบสมดุลย์ของพลังงาน (Ronghua and Lili, 2007) โดยจะส่งผลต่อระบบการเผาผลาญและการควบคุมความหิว ในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า คนอ้วนมีปริมาณเลปตินสูงกว่าคนน้ำหนักปกติ (Montague et al., 1997; Fredeich et al., 1995) แต่ในงานวิจัยนี้พบว่า ปริมาณเลปตินในเด็กอ้วนอยู่ในเกณฑ์ปกติก่อนออกกำลังกาย จึงอาจส่งผลให้หลังออกกำลังกายไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของเลปติน นอกจากนี้จากผลวิจัยที่ผ่านมาการออกกำลังกายที่จะส่งผลในการลดปริมาณเลปตินนั้น จะต้องเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลย์ของพลังงาน การพัฒนาความไวต่ออินซูลิน การเปลี่ยนแปลงการเผาผลาญพลังงาน การลดมวลไขมันในร่างกาย และปัจจัยอื่นๆ รวมทั้งรูปแบบการออกกำลังกายที่ต้องเวลาในการออกกำลังกายนานมากกว่า 60 นาที หรือระยะเวลาในการฝึกออกกำลังกายที่มากกว่า 12 สัปดาห์ (Kraemer et al., 2002) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของเลปตินนั้นจะต้องมีปัจจัยหลายปัจจัยด้วยกันจึงเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนได้ จึงเป็นไปได้ว่างานวิจัยนี้ไม่เห็นผลการเปลี่ยนแปลงของเลปตินจากการ

ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก นอกจากนี้ยังมีอะโพเนคตินที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญพลังงานเช่นเดียวกับเลปติน โดยเฉพาะพลังงานในการออกกำลังกาย การออกกำลังกายที่มีความหนักสูงนั้นส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของการไหลเวียนอะดิโพเนคติน (Circulating adiponectin) ได้เนื่องจากอะดิโพเนคตินจะช่วยส่งเสริมการเผาผลาญไขมัน และช่วยในการส่งน้ำตาลเข้าสู่กล้ามเนื้อลาย แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาระบุว่าการเปลี่ยนแปลงของอะดิโพเนคตินนั้นขึ้นอยู่กับเปอร์เซนต์ไขมันในร่างกายด้วย (Racil et al., 2013) ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย จึงอาจเป็นไปได้ว่าจะส่งผลให้อะดิโพเนคตินไม่เปลี่ยนแปลง

การศึกษาวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่นำการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak โดยใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายทั้งสิ้น 14 นาที มาใช้ในการฝึกการออกกำลังกายในเด็กอ้วน เพื่อทดสอบผลที่มีต่อโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด (Vascular structure and functions) โดยสามารถประเมินความหนาของผนังหลอดเลือดได้ โดยเครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound) ด้วยวิธีการวัดความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน (Intima-media thickness: IMT) บริเวณลำคอ (carotid artery wall) ประเมินการทำงานของหลอดเลือดด้วยการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation: FMD) โดยเครื่องอัลตร้าซาวด์ (Ultrasound) และวัดคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) วัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ความหนาของผนังหลอดเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน เห็นแต่เพียงแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นหลังการฝึก 12 สัปดาห์ อาจเป็นเพราะว่าอายุเฉลี่ยของเด็กที่เข้าร่วมงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงก่อนวัยเจริญพันธุ์ คืออายุประมาณ 10 ปี ซึ่งมีอายุน้อยกว่างานวิจัยอื่นๆค่อนข้างมาก จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของกลไกการทำงานของหลอดเลือดในเด็กก่อนวัยเจริญพันธุ์อาจไม่เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นการตอบสนองของหลอดเลือดลดลงอย่างชัดเจน แต่ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ซึ่งบ่งชี้ถึงความแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness) ที่ลดลงนั้น อาจเกิดมาจากการออกกำลังกายที่ความหนักสูงมากไปกระตุ้นให้เกิดการไหลเวียนเลือดเพิ่มสูงขึ้น (Figueroa et al., 2001)

โดยเฉพาะในช่วงขา แล้วไปกระทำต่อผนังหลอดเลือดเกิดมาเป็นแรงเค้นหรือแรงที่เลือดกระทำกับผนังหลอดเลือดชั้นใน (Shear stress) (Suksom D. et al., 2014) กระตุ้นให้เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดหลั่งไนตริกออกไซด์ออกมาในปริมาณที่มาก ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองของหลอดเลือดได้ดีขึ้น (Jungersten et al., 1997; Kingwell et al., 1997) อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นหลอดเลือดฝอยหลอดเลือดฝอยส่วนปลายให้ลดแรงต้านทานเพื่อขับของเสียอันเกิดจากการใช้งานบริเวณนั้นอีกด้วย อีกทั้งการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อยมาก ยังสามารถพัฒนาโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดแดงฝอยได้เป็นอย่างดี (Peripheral arterial) เมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักปานกลาง (Rakobowchuk et al., 2008) และการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานด้วยขา สามารถส่งผลให้การไหลเวียนของเลือดที่ต้นแขนดีขึ้นได้ (Green et al., 2002) จากกลไกการเพิ่มขึ้นอย่างกระทันหันของการไหลเวียนเลือดเมื่อออกกำลังกาย จึงกระตุ้นเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดหลั่งไนตริกออกไซด์ออกมา สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงการทำงานของหลอดเลือด โดยไนตริกออกไซด์ทำหน้าที่ควบคุมแรงตึงตัวของหลอดเลือดในขณะพัก ควบคุมการหดตัวและคลายตัวของหลอดเลือด และส่งเสริมการไหลเวียนในหลอดเลือดขนาดเล็ก ซึ่งได้มีการทำการทดลองเกี่ยวกับการออกกำลังกายที่จะไปกระตุ้นให้เกิดการหลั่งไนตริก-ออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทั้งในคนและสัตว์ (Green et al., 2002)

อีกทั้งการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak ในเด็กอ้วน ยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา อย่างมีนัยสำคัญ อันเกิดมาจากการเพิ่มงานในการปั่นจักรยาน (Workload) ให้มีความหนักสูงมาก ด้วยการเพิ่มแรงต้านด้วยตุ้มน้ำหนัก โดยไม่เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากครีเอทีนฟอสโฟไคเนสและมาลอนไดอัลดีไฮด์ที่ไม่เพิ่มสูงขึ้นหลังการฝึก 12 สัปดาห์ จึงเห็นได้ว่าการออกกำลังกายแบบนี้ ปลอดภัยสามารถที่จะนำไปใช้ฝึกกับเด็กอ้วนได้ และในส่วนที่สำคัญที่สุดของการออกกำลังกายในเด็กคือ ความสนุกสนาน สามารถดึงดูดให้เด็กทำการออกกำลังกายได้จนจบโดยต่อเนื่อง ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ได้สอบถามความคิดเห็นของเด็กที่มาเข้าร่วมการออกกำลังกาย พบว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อย มีคะแนนความสนุกสนานสูงถึง 4.02 คะแนน ซึ่งมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายมาก ซึ่งมีคะแนนความสนุกสนานเพียง 3.62 คะแนน

สรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (Supra-HIIT at 170% VO_2peak) โดยใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อย มีความเหมาะสมสามารถนำมาใช้เป็นรูปแบบในการฝึกออกกำลังกายอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวในเด็กอ้วนได้ ซึ่งส่งผลดีต่อการใช้พลังงาน โดยเพิ่มการเผาผลาญพลังงานขณะพัก ลดไขมันในเลือดโดยเฉพาะคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอร์ไรด์ และพัฒนาการทำงานของหลอดเลือด อันเกิดจากการลดการแข็งตัวและความหนาของผนังหลอดเลือด โดยไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือการอักเสบของกล้ามเนื้อ

สรุปผลการศึกษาวิจัยในภาพรวม

การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (Supra-HIIT at 170% VO_2peak) ส่งผลดีต่อเด็กทั้งแบบฉับพลันและการฝึกระยะยาวโดยแบบฉับพลันมีการใช้พลังงาน และการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนหลังออกกำลังกายสูงกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 100 และ 130 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (100 and 130% VO_2peak) และแบบระยะยาว กลุ่มการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (170% VO_2peak) มีคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าต่ำกว่ากลุ่มการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (90% VO_2peak) และการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak มีความสนุกสนานมากกว่าการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% VO_2peak ส่งผลต่อการทำงานของหลอดเลือดได้ดีขึ้น สามารถลดไขมันในเลือด และเพิ่มปริมาณไนตริกออกไซด์ ซึ่งมีผลในการขยายหลอดเลือด โดยใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อยกว่าการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

1. การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ควรอยู่ในความดูแลของผู้เชี่ยวชาญ และควรประเมินสมรรถภาพทางกายก่อนการออกกำลังกาย

2. การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ควรปฏิบัติอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ จึงจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในผู้ที่มีภาวะอ้วน

3. การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2max) เป็นทางเลือกหนึ่งในการออกกำลังกายที่มีระยะเวลาสั้น และสนุกสนานเหมาะสำหรับผู้ที่มีเวลาในการออกกำลังกายน้อย หรือเบื่อการออกกำลังกายแบบเดิมๆ

4. ควรค่อยๆเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายจนถึงระดับสูงมากอย่างค่อยเป็นค่อยไป

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากควบคู่กับการกำหนดโปรแกรมการรับประทานที่ควบคุมพลังงาน เพื่อที่จะให้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงด้านองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีในเลือด และการทำงานของหลอดเลือดที่ชัดเจนขึ้น

2. ควรมีการปรับปรุงช่วงการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ให้มีความเหมาะสมกับบุคคลกลุ่มพิเศษอื่นๆต่อไป

รายการอ้างอิง

Aggoun, Y., Farpour-Lambert, N. J., Marchand, L. M., Golay, E., Maggio, A. B., & Beghetti, M. (2008). Impaired endothelial and smooth muscle functions and arterial stiffness appear before puberty in obese children and are associated with elevated ambulatory blood pressure. *Eur Heart J,* 29(6), 792-799. doi: 10.1093/eurheartj/ehm633

American College of Sports Medicine. (2010). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (8 ed.). Baltimore: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.

American College of Sports Medicine. (2012). *The Exercise Professional's Gulde to Optimizing Health*. Baltimore: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.

American College of Sports Medicine. (2014). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (9 ed.). Baltimore: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.

Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., & Jurancich, M. (2012). Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO2max, and muscular force. *J Strength Cond Res,* 26(1), 138-145. doi: 10.1519/JSC.0b013e318218dd77

Avogaro, A., & de Kreutzenberg, S. V. (2005). Mechanisms of endothelial dysfunction in obesity. *Clin Chim Acta,* 360(1-2), 9-26. doi: 10.1016/j.cccn.2005.04.020

Babraj, J. A., Vollaard, N. B., Keast, C., Guppy, F. M., Cottrell, G., & Timmons, J. A. (2009). Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC Endocr Disord,* 9, 3. doi: 10.1186/1472-6823-9-3

Baker, J. S., Bailey, D. M., Hullin, D., Young, I., & Davies, B. (2004). Metabolic implications of resistive force selection for oxidative stress and markers of muscle damage during 30 s of high-intensity exercise. *Eur J Appl Physiol,* 92(3), 321-327. doi: 10.1007/s00421-004-1090-9

Barker, A. R., Day, J., Smith, A., Bond, B., & Williams, C. A. (2014). The influence of 2 weeks of low-volume high-intensity interval training on health outcomes in adolescent boys. *J Sports Sci,* 32(8), 757-765. doi: 10.1080/02640414.2013.853132

Betik, A. C., Luckham, V. B., & Hughson, R. L. (2004). Flow-mediated dilation in human brachial artery after different circulatory occlusion conditions. *Am J Physiol Heart Circ Physiol,* 286(1), H442-448. doi: 10.1152/ajpheart.00314.2003

Bhattacharjee, R., Alotaibi, W. H., Kheirandish-Gozal, L., Capdevila, O. S., & Gozal, D. (2010). Endothelial dysfunction in obese non-hypertensive children without evidence of sleep disordered breathing. *BMC Pediatr,* 10, 8. doi: 10.1186/1471-2431-10-8

Bleich, S. N., Ku, R., & Wang, Y. C. (2011). Relative contribution of energy intake and energy expenditure to childhood obesity: a review of the literature and directions for future research. *Int J Obes (Lond),* 35(1), 1-15. doi: 10.1038/ijo.2010.252

Boutcher, S. H. (2011). High-intensity intermittent exercise and fat loss. *J Obes,* 2011, 868305. doi: 10.1155/2011/868305

Bray, G. A. (2004). How do we get fat? An epidemiologic and metabolic approach. *Clin Dermatol,* 22(4), 281-288. doi: 10.1016/j.clindermatol.2004.01.009

Bray, G. A., & Champagne, C. M. (2004). Obesity and the Metabolic Syndrome: implications for dietetics practitioners. *J Am Diet Assoc,* 104(1), 86-89. doi: 10.1016/j.jada.2003.10.041

Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol,* 586(1), 151-160. doi: 10.1113/jphysiol.2007.142109

Caterina, R. D., & Libby, P. (2007). *Endothelial Dysfunctions and Vascular Disease*. Malden: Blackwell Futura.

Centers for Disease Control and Prevention. (2011). School Health Guidelines to Promote Healthy Eating and Physical Activity (Vol. 60).

Cohen, J. (1977). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (rev*: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Corretti, M. C., Anderson, T. J., Benjamin, E. J., Celermajer, D., Charbonneau, F., Creager, M. A., . . . International Brachial Artery Reactivity Task, F. (2002). Guidelines for the ultrasound assessment of endothelial-dependent flow-mediated vasodilation of the brachial artery: a report of the International Brachial Artery Reactivity Task Force. *J Am Coll Cardiol,* 39(2), 257-265.

Corte de Araujo, A. C., Roschel, H., Picanco, A. R., do Prado, D. M., Villares, S. M., de Sa Pinto, A. L., & Gualano, B. (2012). Similar health benefits of endurance and high-intensity interval training in obese children. *PLoS One,* 7(8), e42747. doi: 10.1371/journal.pone.0042747

Coyle, E. F. (2005). Very intense exercise-training is extremely potent and time efficient: a reminder. *J Appl Physiol (*1985), 98(6), 1983-1984. doi: 10.1152/japplphysiol.00215.2005

Crisp, N. A., Fournier, P. A., Licari, M. K., Braham, R., & Guelfi, K. J. (2012a). Adding sprints to continuous exercise at the intensity that maximises fat oxidation: implications for

acute energy balance and enjoyment. *Metabolism,* 61(9), 1280-1288. doi: 10.1016/j.metabol.2012.02.009

Crisp, N. A., Fournier, P. A., Licari, M. K., Braham, R., & Guelfi, K. J. (2012b). Optimising sprint interval exercise to maximise energy expenditure and enjoyment in overweight boys. *Appl Physiol Nutr Metab,* 37(6), 1222-1231. doi: 10.1139/h2012-111

Crisp, N. A., Guelfi, K. J., Licari, M. K., Braham, R., & Fournier, P. A. (2012). Does exercise duration affect Fatmax in overweight boys? *Eur J Appl Physiol,* 112(7), 2557-2564. doi: 10.1007/s00421-011-2232-5

Csiszar, A., Wang, M., Lakatta, E. G., & Ungvari, Z. (2008). Inflammation and endothelial dysfunction during aging: role of NF-kappaB. *J Appl Physiol (*1985*),* 105(4), 1333-1341. doi: 10.1152/japplphysiol.90470.2008

Currie, K. D., Bailey, K. J., Jung, M. E., McKelvie, R. S., & MacDonald, M. J. (2014). Effects of resistance training combined with moderate-intensity endurance or low-volume high-intensity interval exercise on cardiovascular risk factors in patients with coronary artery disease. *J Sci Med Sport*. doi: 10.1016/j.jsams.2014.09.013

Dangardt, F., Chen, Y., Berggren, K., Osika, W., & Friberg, P. (2013). Increased rate of arterial stiffening with obesity in adolescents: a five-year follow-up study. *PLoS One,* 8(2), e57454. doi: 10.1371/journal.pone.0057454

Davis, P. H., Dawson, J. D., Riley, W. A., & Lauer, R. M. (2001). Carotid intimal-medial thickness is related to cardiovascular risk factors measured from childhood through middle age: The Muscatine Study. *Circulation,* 104(23), 2815-2819.

Davison, K., Bircher, S., Hill, A., Coates, A. M., Howe, P. R., & Buckley, J. D. (2010). Relationships between Obesity, Cardiorespiratory Fitness, and Cardiovascular Function. *J Obes,* 2010, 191253. doi: 10.1155/2010/191253

Devan, A. E., Umpierre, D., Harrison, M. L., Lin, H. F., Tarumi, T., Renzi, C. P., . . . Tanaka, H. (2011). Endothelial ischemia-reperfusion injury in humans: association with age and habitual exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol,* 300(3), H813-819. doi: 10.1152/ajpheart.00845.2010

Dietz, W. H. (1998). Health consequences of obesity in youth: childhood predictors of adult disease. *Pediatrics,* 101(3 Pt 2), 518-525.

Docherty, D. (1996). *Measurement in Pediatric Exercise Science*. Champaign: Human Kenetics.

Dunford, M. (2010). *Fundamental of Sport and Exercise Nutrition*. Champaign: Human Kinetics.

Eather, N., Morgan, P. J., & Lubans, D. R. (2013). Improving the fitness and physical activity levels of primary school children: results of the Fit-4-Fun group randomized controlled trial. *Prev Med,* 56(1), 12-19. doi: 10.1016/j.ypmed.2012.10.019

Elkiran, O., Yilmaz, E., Koc, M., Kamanli, A., Ustundag, B., & Ilhan, N. (2013). The association between intima media thickness, central obesity and diastolic blood pressure in obese and overweight children: a cross-sectional school-based study. *Int J Cardiol,* 165(3), 528-532. doi: 10.1016/j.ijcard.2011.09.080

Escalante, Y., Saavedra, J. M., Garcia-Hermoso, A., & Dominguez, A. M. (2012). Improvement of the lipid profile with exercise in obese children: a systematic review. *Prev Med,* 54(5), 293-301. doi: 10.1016/j.ypmed.2012.02.006

Farpour-Lambert, N. J., Aggoun, Y., Marchand, L. M., Martin, X. E., Herrmann, F. R., & Beghetti, M. (2009). Physical activity reduces systemic blood pressure and improves early markers of atherosclerosis in pre-pubertal obese children. *J Am Coll Cardiol,* 54(25), 2396-2406. doi: 10.1016/j.jacc.2009.08.030

Figueroa, A., Vicil, F., & Sanchez-Gonzalez, M. A. (2011). Acute exercise with whole-body vibration decreases wave reflection and leg arterial stiffness. *Am J Cardiovasc Dis,* 1(1), 60-67.

Finkelstein, E. A., Khavjou, O. A., Thompson, H., Trogdon, J. G., Pan, L., Sherry, B., & Dietz, W. (2012). Obesity and severe obesity forecasts through 2030. *Am J Prev Med,* 42(6), 563-570. doi: 10.1016/j.amepre.2011.10.026

Fisher, R. C., Slayton, W. B., Chien, C., Guthrie, S. M., Bray, C., & Scott, E. W. (2004). PU.1 supports proliferation of immature erythroid progenitors. *Leuk Res,* 28(1), 83-89.

Frayn, K. N. (1983). Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol,* 55(2), 628-634.

Freyssin, C., Verkindt, C., Prieur, F., Benaich, P., Maunier, S., & Blanc, P. (2012). Cardiac rehabilitation in chronic heart failure: effect of an 8-week, high-intensity interval training versus continuous training. *Arch Phys Med Rehabil,* 93(8), 1359-1364. doi: 10.1016/j.apmr.2012.03.007

Frontini, M. G., Srinivasan, S. R., & Berenson, G. S. (2003). Longitudinal changes in risk variables underlying metabolic Syndrome X from childhood to young adulthood in female subjects with a history of early menarche: the Bogalusa Heart Study. *Int J Obes Relat Metab Disord,* 27(11), 1398-1404. doi: 10.1038/sj.ijo.0802422

Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol,* 590(Pt 5), 1077-1084. doi: 10.1113/jphysiol.2011.224725

Gielen, S., & Hambrecht, R. (2004). The childhood obesity epidemic: impact on endothelial function. *Circulation,* 109(16), 1911-1913. doi: 10.1161/01.CIR.0000127130.82333.C9

Green, D., Cheetham, C., Mavaddat, L., Watts, K., Best, M., Taylor, R., & O'Driscoll, G. (2002). Effect of lower limb exercise on forearm vascular function: contribution of nitric oxide. *Am J Physiol Heart Circ Physiol,* 283(3), H899-907. doi: 10.1152/ajpheart.00049.2002

Hanssen, H., Nussbaumer, M., Moor, C., Cordes, M., Schindler, C., & Schmidt-Trucksass, A. (2015). Acute effects of interval versus continuous endurance training on pulse wave reflection in healthy young men. *Atherosclerosis,* 238(2), 399-406. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2014.12.038

Heydari, M., Boutcher, Y. N., & Boutcher, S. H. (2013). The effects of high-intensity intermittent exercise training on cardiovascular response to mental and physical challenge. *Int J Psychophysiol,* 87(2), 141-146. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2012.11.013

Hunter, G. R., Weinsier, R. L., Bamman, M. M., & Larson, D. E. (1998). A role for high intensity exercise on energy balance and weight control. *Int J Obes Relat Metab Disord,* 22(6), 489-493.

Illingworth, J. (2006). BIOC1110 Biochemistry for Biologists Fitness Training. Leeds: University of Leeds.

Jain, S., Khera, R., Corrales-Medina, V. F., Townsend, R. R., & Chirinos, J. A. (2014). "Inflammation and arterial stiffness in humans". *Atherosclerosis,* 237(2), 381-390. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2014.09.011

Joo Turoni, C., Maranon, R. O., Felipe, V., Bruno, M. E., Negrete, A., Salas, N., . . . Peral de Bruno, M. (2013). Arterial stiffness and endothelial function in obese children and adolescents and its relationship with cardiovascular risk factors. *Horm Res Paediatr,* 80(4), 281-286. doi: 10.1159/000354991

Jungersten, L., Ambring, A., Wall, B., & Wennmalm, A. (1997). Both physical fitness and acute exercise regulate nitric oxide formation in healthy humans. *J Appl Physiol (*1985*),* 82(3), 760-764.

Kamen, G. (2001). *Foundations of Exercise Science*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

Kannan, U., Vasudevan, K., Balasubramaniam, K., Yerrabelli, D., Shanmugavel, K., & John, N. A. (2014). Effect of exercise intensity on lipid profile in sedentary obese adults. *J Clin Diagn Res,* 8(7), BC08-10. doi: 10.7860/JCDR/2014/8519.4611

Kingwell, B. A., Berry, K. L., Cameron, J. D., Jennings, G. L., & Dart, A. M. (1997). Arterial compliance increases after moderate-intensity cycling. *Am J Physiol,* 273(5 Pt 2), H2186-2191.

Klonizakis, M., Tew, G., Michaels, J., & Saxton, J. (2009). Impaired microvascular endothelial function is restored by acute lower-limb exercise in post-surgical varicose vein patients. *Microvasc Res,* 77(2), 158-162. doi: 10.1016/j.mvr.2008.09.009

Koeppen, B. M., & Stanton, B. A. (2010). *Berne & Levy Physiology* (6 ed.). Philadelphia: Mosby Elsevier.

Kominiarek, R. (2015). VENDYS Vascular Function Test. Retrieved January, 15, 2015, from http://www.alphamaleinstitute.com/vendys-vascular-function-testing/

Kowalski, K. C., Crocker, P., & Faulkner, R. A. (1997). Validation sf the physical activity questionnaire for older children. *Pediatric exercise science,* 9(4), 174-186.

Kraemer, R. R., Chu, H., & Castracane, V. D. (2002). Leptin and exercise. *Exp Biol Med (Maywood),* 227(9), 701-708.

Lira, F. S., Zanchi, N. E., Lima-Silva, A. E., Pires, F. O., Bertuzzi, R. C., Santos, R. V., . . . Seelaender, M. (2009). Acute high-intensity exercise with low energy expenditure reduced LDL-c and total cholesterol in men. *Eur J Appl Physiol,* 107(2), 203-210. doi: 10.1007/s00421-009-1115-5

Little, J. P., Gillen, J. B., Percival, M. E., Safdar, A., Tarnopolsky, M. A., Punthakee, Z., . . . Gibala, M. J. (2011). Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol (*1985*),* 111(6), 1554-1560. doi: 10.1152/japplphysiol.00921.2011

Lopaschuk, G. D., Ussher, J. R., Folmes, C. D., Jaswal, J. S., & Stanley, W. C. (2010). Myocardial fatty acid metabolism in health and disease. *Physiol Rev,* 90(1), 207-258. doi: 10.1152/physrev.00015.2009

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2006). *Essentials of exercise physiology*: Lippincott Williams & Wilkins.

McDuffie, J. R., Adler-Wailes, D. C., Elberg, J., Steinberg, E. N., Fallon, E. M., Tershakovec, A. M., . . . Yanovski, J. A. (2004). Prediction equations for resting energy expenditure in overweight and normal-weight black and white children. *Am J Clin Nutr,* 80(2), 365-373.

McGill, H. C., Jr., Herderick, E. E., McMahan, C. A., Zieske, A. W., Malcolm, G. T., Tracy, R. E., & Strong, J. P. (2002). Atherosclerosis in youth. *Minerva Pediatr,* 54(5), 437-447.

Meyer, A. A., Kundt, G., Lenschow, U., Schuff-Werner, P., & Kienast, W. (2006). Improvement of early vascular changes and cardiovascular risk factors in obese children after a six-month exercise program. *J Am Coll Cardiol,* 48(9), 1865-1870. doi: 10.1016/j.jacc.2006.07.035

Meyer, A. A., Kundt, G., Steiner, M., Schuff-Werner, P., & Kienast, W. (2006). Impaired flow-mediated vasodilation, carotid artery intima-media thickening, and elevated endothelial plasma markers in obese children: the impact of cardiovascular risk factors. *Pediatrics,* 117(5), 1560-1567. doi: 10.1542/peds.2005-2140

Mitranun, W., Deerochanawong, C., Tanaka, H., & Suksom, D. (2014). Continuous vs interval training on glycemic control and macro- and microvascular reactivity in type 2 diabetic patients. *Scand J Med Sci Sports,* 24(2), e69-76. doi: 10.1111/sms.12112

Motl, R. W., Dishman, R. K., Saunders, R., Dowda, M., Felton, G., & Pate, R. R. (2001). Measuring enjoyment of physical activity in adolescent girls. *Am J Prev Med,* 21(2), 110-117.

Murphy, E. C., Carson, L., Neal, W., Baylis, C., Donley, D., & Yeater, R. (2009). Effects of an exercise intervention using Dance Dance Revolution on endothelial function and other risk factors in overweight children. *Int J Pediatr Obes,* 4(4), 205-214. doi: 10.3109/17477160902846187

Naidu, O. A., Rajasekhar, D., & Latheef, S. A. (2011). Assessment of endothelial function by brachial artery flow mediated dilatation in microvascular disease. *Cardiovasc Ultrasound,* 9, 40. doi: 10.1186/1476-7120-9-40

Naka, K., Doshi, S., Ashton, M., Frenneaux, M., Jones, C., & Goodfellow, J. (2000). *Changes in pulse wave velocity in large arteries are NO-mediated.* Paper presented at the Eur Heart J.

Naka, K. K., Tweddel, A. C., Parthimos, D., Henderson, A., Goodfellow, J., & Frenneaux, M. P. (2003). Arterial distensibility: acute changes following dynamic exercise in normal subjects. *Am J Physiol Heart Circ Physiol,* 284(3), H970-978. doi: 10.1152/ajpheart.00529.2002

Nassis, G. P., Papantakou, K., Skenderi, K., Triandafillopoulou, M., Kavouras, S. A., Yannakoulia, M., . . . Sidossis, L. S. (2005). Aerobic exercise training improves insulin sensitivity without changes in body weight, body fat, adiponectin, and inflammatory markers in overweight and obese girls. *Metabolism,* 54(11), 1472-1479. doi: 10.1016/j.metabol.2005.05.013

Nie, J., Kong, Z., Baker, J. S., Tong, T. K., Lei, S. H., & Shi, Q. (2012). Acute changes in glycemic homeostasis in response to brief high-intensity intermittent exercise in obese adults. *Journal of Exercise Science & Fitness,* 10(2), 97-100.

Noriyuki, O., Shinji, K., Yukio, A., Kazuhisa, M., Hiroshi, K., Yoshihisa, O., . . . Yuji, M. (2000). Brief Rapid Communication Novel Modulator for Endothelial Adhesion Molecules: Adipocyte-Derived Plasma Protein Adiponectin. *Circulation,* 102, 1296-1301. doi: 10.1161/01.CIR.102.11.1296

Parikh, N. I., Pencina, M. J., Wang, T. J., Lanier, K. J., Fox, C. S., D'Agostino, R. B., & Vasan, R. S. (2007). Increasing trends in incidence of overweight and obesity over 5 decades. *Am J Med,* 120(3), 242-250. doi: 10.1016/j.amjmed.2006.06.004

Park, J. H., Miyashita, M., Kwon, Y. C., Park, H. T., Kim, E. H., Park, J. K., . . . Park, S. K. (2012). A 12-week after-school physical activity programme improves endothelial cell function in overweight and obese children: a randomised controlled study. *BMC Pediatr,* 12, 111. doi: 10.1186/1471-2431-12-111

Patil, R. D., DiCarlo, S. E., & Collins, H. L. (1993). Acute exercise enhances nitric oxide modulation of vascular response to phenylephrine. *Am J Physiol,* 265(4 Pt 2), H1184-1188.

Pottie, P., Presle, N., Terlain, B., Netter, P., Mainard, D., & Berenbaum, F. (2006). Obesity and osteoarthritis: more complex than predicted. *Ann Rheum Dis,* 65(11), 1403-1405. doi: 10.1136/ard.2006.061994

Prakhinkit, S., Suppapitiporn, S., Tanaka, H., & Suksom, D. (2014). Effects of Buddhism walking meditation on depression, functional fitness, and endothelium-dependent vasodilation in depressed elderly. *J Altern Complement Med,* 20(5), 411-416. doi: 10.1089/acm.2013.0205

Racil, G., Ben Ounis, O., Hammouda, O., Kallel, A., Zouhal, H., Chamari, K., & Amri, M. (2013). Effects of high vs. moderate exercise intensity during interval training on lipids and

adiponectin levels in obese young females. *Eur J Appl Physiol,* 113(10), 2531-2540. doi: 10.1007/s00421-013-2689-5

Raitakari, O. T., Juonala, M., & Viikari, J. S. (2005). Obesity in childhood and vascular changes in adulthood: insights into the Cardiovascular Risk in Young Finns Study. *Int J Obes (Lond),* 29 *Suppl* 2, S101-104.

Rakobowchuk, M., Stuckey, M. I., Millar, P. J., Gurr, L., & Macdonald, M. J. (2009). Effect of acute sprint interval exercise on central and peripheral artery distensibility in young healthy males. *Eur J Appl Physiol,* 105(5), 787-795. doi: 10.1007/s00421-008-0964-7

Rakobowchuk, M., Tanguay, S., Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Gibala, M. J., & MacDonald, M. J. (2008). Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol,* 295(1), R236-242. doi: 10.1152/ajpregu.00069.2008

Ribeiro, M. M., Silva, A. G., Santos, N. S., Guazzelle, I., Matos, L. N., Trombetta, I. C., . . . Villares, S. M. (2005). Diet and exercise training restore blood pressure and vasodilatory responses during physiological maneuvers in obese children. *Circulation,* 111(15), 1915-1923. doi: 10.1161/01.CIR.0000161959.04675.5A

Rossow, L., Fahs, C. A., Guerra, M., Jae, S. Y., Heffernan, K. S., & Fernhall, B. (2010). Acute effects of supramaximal exercise on carotid artery compliance and pulse pressure in young men and women. *Eur J Appl Physiol,* 110(4), 729-737. doi: 10.1007/s00421-010-1552-1

Scanlon, V. C., & Sanders, T. (2013). *Essentials of Anatomy and Physiology* (6 ed.). London: Pearson Education.

Schrauwen, P., & Westerterp, K. R. (2000). The role of high-fat diets and physical activity in the regulation of body weight. *Br J Nutr,* 84(4), 417-427.

Serdula, M. K., Ivery, D., Coates, R. J., Freedman, D. S., Williamson, D. F., & Byers, T. (1993). Do obese children become obese adults? A review of the literature. *Prev Med,* 22(2), 167-177. doi: 10.1006/pmed.1993.1014

Sharon, A. P., & Denise, L. S. (2011). *Exercise Physiology for Health, Fitness, and Performance* (3 ed.). Baltimore: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins.

Short, K. R., Blackett, P. R., Gardner, A. W., & Copeland, K. C. (2009). Vascular health in children and adolescents: effects of obesity and diabetes. *Vasc Health Risk Manag,* 5, 973-990.

Singh, D. K., Winocour, P., & Farrington, K. (2010). Review: Endothelial cell dysfunction, medial arterial calcification and osteoprotegerin in diabetes. *The British Journal of Diabetes & Vascular Disease,* 10(2), 71-77.

Sugawara, J., Hayashi, K., Yokoi, T., Cortez-Cooper, M. Y., DeVan, A. E., Anton, M. A., & Tanaka, H. (2005). Brachial-ankle pulse wave velocity: an index of central arterial stiffness? *J Hum Hypertens,* 19(5), 401-406. doi: 10.1038/sj.jhh.1001838

Suksom, D., Phanpheng, Y., Soogarun, S., & Sapwarobol, S. (2014). Step aerobic combined with resistance training improves cutaneous microvascular reactivity in overweight women. *J Sports Med Phys Fitness*.

Suksom, D., Siripatt, A., Lapo, P., & Patumraj, S. (2011). Effects of two modes of exercise on physical fitness and endothelial function in the elderly: exercise with a flexible stick versus Tai Chi. *Journal of the Medical Association of Thailand= Chotmaihet thangphaet,* 94(1), 123-132.

Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., & Yamamoto, K. (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO2max. *Med Sci Sports Exerc,* 28(10), 1327-1330.

Talanian, J. L., Galloway, S. D., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J Appl Physiol (*1985*),* 102(4), 1439-1447. doi: 10.1152/japplphysiol.01098.2006

Tan, S., Wang, X., & Wang, J. (2012). Effects of supervised exercise training at the intensity of maximal fat oxidation in overweight young women. *Journal of Exercise Science & Fitness,* 10(2), 64-69.

Tjonna, A. E., Lee, S. J., Rognmo, O., Stolen, T. O., Bye, A., Haram, P. M., . . . Wisloff, U. (2008). Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. *Circulation,* 118(4), 346-354. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.108.772822

Tolfrey, K., Campbell, I. G., & Batterham, A. M. (1998). Exercise training induced alterations in prepubertal children's lipid-lipoprotein profile. *Med Sci Sports Exerc,* 30(12), 1684-1692.

Tounian, P., Aggoun, Y., Dubern, B., Varille, V., Guy-Grand, B., Sidi, D., . . . Bonnet, D. (2001). Presence of increased stiffness of the common carotid artery and endothelial dysfunction in severely obese children: a prospective study. *Lancet,* 358(9291), 1400-1404. doi: 10.1016/S0140-6736(01)06525-4

Trilk, J. L., Singhal, A., Bigelman, K. A., & Cureton, K. J. (2011). Effect of sprint interval training on circulatory function during exercise in sedentary, overweight/obese women. *Eur J Appl Physiol,* 111(8), 1591-1597. doi: 10.1007/s00421-010-1777-z

UNICEF. (2007). Child Marriage and the Law. Retrieved March, 20 2015, from United Nations Children's Fund

Urbina, E. M., Kimball, T. R., Khoury, P. R., Daniels, S. R., & Dolan, L. M. (2010). Increased arterial stiffness is found in adolescents with obesity or obesity-related type 2 diabetes mellitus. *J Hypertens,* 28(8), 1692-1698. doi: 10.1097/HJH.0b013e32833a6132

Watts, K., Beye, P., Siafarikas, A., O'Driscoll, G., Jones, T. W., Davis, E. A., & Green, D. J. (2004). Effects of exercise training on vascular function in obese children. *J Pediatr,* 144(5), 620-625. doi: 10.1016/j.jpeds.2004.02.027

Whyte, L. J., Ferguson, C., Wilson, J., Scott, R. A., & Gill, J. M. (2013). Effects of single bout of very high-intensity exercise on metabolic health biomarkers in overweight/obese sedentary men. *Metabolism,* 62(2), 212-219. doi: 10.1016/j.metabol.2012.07.019

Wildman, R., & Miller, B. (2004). *Sport and Fitness Nutrition* Belmont: Thompson Learning.

Williamson, P. (2011). *Exercise for Special Populations*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2004). *Prescription of exercise for health and fitness* (3 ed.). Windsor: Human kinetics.

Wisloff, U., Stoylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognmo, O., Haram, P. M., . . . Skjaerpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation,* 115(24), 3086-3094. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041

Woo, K. S., Chook, P., Yu, C. W., Sung, R. Y., Qiao, M., Leung, S. S., . . . Celermajer, D. S. (2004a). Effects of diet and exercise on obesity-related vascular dysfunction in children. *Circulation,* 109(16), 1981-1986. doi: 10.1161/01.CIR.0000126599.47470.BE

Woo, K. S., Chook, P., Yu, C. W., Sung, R. Y., Qiao, M., Leung, S. S., . . . Celermajer, D. S. (2004b). Overweight in children is associated with arterial endothelial dysfunction and

intima-media thickening. *Int J Obes Relat Metab Disord,* 28(7), 852-857. doi: 10.1038/sj.ijo.0802539

World Health Organization. (2014). Children. Retrieved March, 8, 2015, from http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs178/en/

World Health Organization. (2015). Obesity and overweight. Retrieved January, 20, 2015, from http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/

Yang, R., & Barouch, L. A. (2007). Leptin signaling and obesity: cardiovascular consequences. *Circ Res,* 101(6), 545-559. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.107.156596

Yoshioka, M., Doucet, E., St-Pierre, S., Almeras, N., Richard, D., Labrie, A., . . . Tremblay, A. (2001). Impact of high-intensity exercise on energy expenditure, lipid oxidation and body fatness. *Int J Obes Relat Metab Disord,* 25(3), 332-339. doi: 10.1038/sj.ijo.0801554

Zakrzewski, J. K., & Tolfrey, K. (2012). Acute effect of Fatmax exercise on the metabolism in overweight and nonoverweight girls. *Med Sci Sports Exerc,* 44(9), 1698-1705. doi: 10.1249/MSS.0b013e31825804cf

Zebekakis, P. E., Nawrot, T., Thijs, L., Balkestein, E. J., van der Heijden-Spek, J., Van Bortel, L. M., . . . Staessen, J. A. (2005). Obesity is associated with increased arterial stiffness from adolescence until old age. *J Hypertens,* 23(10), 1839-1846.

Zhu, W., Huang, X., He, J., Li, M., & Neubauer, H. (2005). Arterial intima-media thickening and endothelial dysfunction in obese Chinese children. *Eur J Pediatr,* 164(6), 337-344. doi: 10.1007/s00431-005-1642-y

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2542). เกณฑ์อ้างอิงน้ำหนัก ส่วนสูง และเครื่องชี้วัดภาวะโภชนาการของประชาชนไทย อายุ 1 วัน - 19 ปี. กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กระทรวงสาธารณสุข. (2557). แผนสุขภาพเขตบริการสุขภาพที่ 5 ปีงบประมาณ 2557 - 2559 : กลุ่มเด็กวัยเรียน. Retrieved 9 มีนาคม 2558 http://www.hpc4.go.th/director/data/regionPlan57/23_student.pdf

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2547). การสำรวจภาวะอาหารและโภชนาการของประชาชนในกรุงเทพมหานคร พ . ศ . 2547. Retrieved 24 เม.ย. 2556 http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=1&id=615

จิรภา น้าคณาคุปต์. (2542). กิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายและการใช้พลังงานระหว่างเด็กไทยที่อ้วนและไม่อ้วนในกรุงเทพมหานคร (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เจริญทัศน์ จินตนเสรี. (2538). วิทยาศาสตร์การกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬาและนักกีฬา. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย.

ดรุณวรรณ สุขสม, สุพรรณ สุขอรุณ, & สุวิมล ทรัพย์วโรบล. (2553). รายงานการวิจัย เรื่องผลของการเต้นสเตปแอโรบิกร่วมกับการใช้แรงต้านที่มีต่อสุขสมรรถนะ หน้าที่ของเซลล์บุผนังหลอดเลือด และสารชีวเคมีในเลือดของบุคลากรจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เข้าร่วมโครงการที่มีน้ำหนักเกิน. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ถนอมวงศ์กฤษณ์เพ็ชร์ และกุลธิดา เชิงฉลาด. (2536). ปทานุกรมศัพท์กีฬาพลศึกษาและวิทยาศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นัยนา บุญทวียุวัฒน์. (2546). ชีวเคมีทางโภชนาการ. กรุงเทพมหานคร: ซิกม่า ดีไซน์กราฟฟิก.

พัชรา วีระกะลัส. (2549). พลังงานและเมแทบอลึซึม (2 ed.). กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัชรินทร์ เทพอารีนันท์. (2555). สรีรวิทยา ระบบหัวใจและหลอดเลือด. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2542). พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพมหานคร: นานมีบุ๊คส์พับลิเคชั่นส์.

ศุภชัย ไชยธีระพันธ์ และสมชาย เอี่ยมอ่อง. (2540). *Endothelium*. กรุงเทพมหานคร: Text and Journal Publication.

สว่างจิต แซ่โง้ว และถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร์. (2552). ผลการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบวงจรที่มีต่อสุขสมรรถนะของเด็กที่มีภาวะน้ำหนักเกิน. วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ, 10, 31 - 44.

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. (2553). ภัยอ้วนในเด็กไทย. Retrieved 10 ตุลาคม,, 2556, from http://www.trf.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=2050:2010-10-14-17-38-18&catid=34&Itemid=358

สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. (2555). แบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี. Retrieved 12 กรกฎาคม,, 2557, from http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/index.php

สุสารี ประคินกิจ. (2555). ผลของโปรแกรมการออกกำลังกายเดินแกว่งแขนสมาธิตามวิธีพุทธต่อการขยายหลอดเลือดผ่านการทำงานของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดและสมรรถภาพทางกายในผู้สูงอายุที่มีภาวะซึมเศร้า. (วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสาวลักษณ์ สุนทราลักษณ์ และดรุณวรรณ สุขสม. (2552). ผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกและการออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่วมกับใช้แรงต้านที่มีต่อการเผาผลาญพลังงานและการไหลเวียนเลือดชั้นคิวทาเนียสในหญิงภาวะน้ำหนักปกติและหญิงภาวะน้ำหนักเกิน. วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ, 10 ฉบับพิเศษ, 16 - 32.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก

ใบรับรองโครงการวิจัย

AE 01-12

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ชั้น 4 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์: 0-2218-8147 โทรสาร: 0-2218-8147 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 184/2556

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 130.1/56 : ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกายและการลดปริมาณของหลอดเลือดในเส้นเอ็น

ผู้วิจัยหลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.สรุณวรรณ สุขสม

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พิจารณา โดยใช้หลัก ของ The International Conference on Harmonization – Good Clinical Practice (ICH-GCP) อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปรีดา ทัศนประดิษฐ)
ประธาน

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทรี ชีพชนะวงศ์โรจน์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 4 พฤศจิกายน 2556 **วันหมดอายุ** : 3 พฤศจิกายน 2557

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1) โครงการวิจัย
2) ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย
3) คู่วิจัย
4) แบบสอบถาม

เอกสารโครงการวิจัย 130.1/56
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

เงื่อนไข

1. ข้อเสนอโครงการวิจัยฉบับนี้ ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ได้เสนอไว้ในการขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย
2. การรับรองโครงการวิจัยนี้มีอายุ 1 ปี ต้องดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าต้องการดำเนินการวิจัยต่อ ต้องยื่นขอต่ออายุการรับรองก่อนวันหมดอายุ
3. ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด
4. ให้ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย แบบสอบถาม ที่ผู้วิจัยจะใช้ในการวิจัย **ต้องได้รับการพิจารณาและรับรองก่อน**
5. รายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ที่ร้ายแรงและที่คาดไม่ถึงทันที ภายใน 3 วันทำการ
6. รายงานการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ส่งพร้อมกระดาษพิจารณาของคณะกรรมการ
7. โครงการวิจัยนี้ได้รับ ( ) ตัวอย่างเอกสารยินยอมที่ลงนามแล้ว ( ) ตัวอย่างเอกสารยินยอมการวิจัยฉบับ ( ) ฉบับ เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น สำหรับโครงการวิจัยที่มีการเก็บตัวอย่างให้ส่งรายงานการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น

ข้อมูลสำหรับผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย การศึกษาที่ 1

ข้อมูลสำหรับผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

เลขที่โครงการวิจัย 130.
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน (การศึกษาที่ 1)

ชื่อผู้วิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.ดรุณวรรณ สุขสม

ชื่อผู้ร่วมวิจัย Prof. Dr.Hirofumi Tanaka

ชื่อผู้ช่วยวิจัย นางสาวนภัสกร ชื่นศิริ

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 081-341-5736 E-mail: daroonwanc@hotmail.com

1. **ขอเรียนเชิญ** ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจให้ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. **โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านการสร้างเสริมสุขภาพในเด็กโดยเฉพาะเด็กที่มีภาวะอ้วน** โดยมุ่งคิดค้นการออกกำลังกาย ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะใช้การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและสูงมากที่มีผลต่อการใช้พลังงาน การทำงานของหลอดเลือด และสมรรถภาพทางกาย

3. **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากแบบฉับพลันที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กที่มีน้ำหนักตัวปกติและเด็กอ้วน

4. **รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

ผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้คือ เด็กนักเรียนชาย อายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีน้ำหนักตัวปกติและมีภาวะอ้วน

<u>เกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion criteria)</u>

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยอายุระหว่าง 8-12 ปี ที่มีน้ำหนักตัวปกติและมีภาวะอ้วน ประเมินโดยใช้น้ำหนักตัวเทียบกับเส้นน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง แล้วอยู่เหนือเส้น *+2เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน*

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสุขภาพดีแข็งแรง ปราศจากโรค หรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมในการออกกำลังกาย โดยการประเมินแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก ซึ่งท่านต้องตอบว่า “ไม่” ทุกข้อจึงจะผ่านเกณฑ์การประเมิน

3. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีความสมัครใจเข้าร่วมในงานวิจัย ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย และได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองในการลงนามใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมงานวิจัยต่อไปได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมในการทำวิจัยต่อ

เมื่อได้ผู้เข้าร่วมวิจัยครบจำนวน 40 คน แบ่งผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 20 คน ดังนี้

เลขที่โครงการวิจัย 130.1/58
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่น้ำหนักตัวปกติ

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่อ้วน

เหตุผลที่ได้รับเชิญเข้าร่วมโครงการวิจัย เนื่องจากเด็กเป็นบุคคลที่ควรได้รับการสร้างเสริมสุขภาพทางกายให้แข็งแรง เพื่อป้องกันการเกิดโรคทางกายในวัยเด็กและเมื่อโตเป็นผู้ใหญ่ อีกทั้งยังทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้น

5. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

5.1 ผู้วิจัยทำการประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย *ด้วยแบบแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก จำนวน 7 ข้อ* วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก วัดองค์ประกอบของร่างกาย และการทำงานของหลอดเลือด โดยการทำอัลตร้าซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งแขน ใช้เวลาประมาณ 45 นาที

5.2 ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการออกกำลังกาย 4 ครั้ง การออกกำลังกายแต่ละครั้งมีรายละเอียด ดังนี้

การออกกำลังกายในแต่ละครั้ง มีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกายดังนี้ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยติดเครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ ทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching) เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นออกกำลังกายตามรูปแบบการออกกำลังกายที่กำหนด แล้วจึงทำการผ่อนคลาย (Cool down) และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching) เป็นเวลา 10 นาที ณ *โรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย ทั้งนี้ได้รับอนุญาตให้ทำการศึกษาวิจัยในโรงเรียนแล้ว* โดยมีผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย ครู และเจ้าหน้าที่คอยให้การดูแลอย่างใกล้ชิด ภายหลังการออกกำลังกายในแต่ละครั้ง จะทำการประเมินการทำงานของหลอดเลือด *ในการศึกษานี้ จะใช้เวลา 4 วัน (4 ครั้ง) วันละประมาณ 45 นาที* การออกกำลังกายครั้งที่ 1 : วัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยการปั่นจักรยาน จนเหนื่อยหมดแรงเท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ ทำการวิเคราะห์แก๊ส ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ ขณะที่ทำการทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัยจะทำการวัดคลื่นหัวใจด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์สมรรถภาพหัวใจ ควบคู่ไปด้วย ผลที่ได้จะนำไปให้แพทย์ประเมินผลเพื่อยืนยันสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย

การออกกำลังกายครั้งที่ 2 : ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 100% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Supra-High Intensity Interval Training: Supra- HIIT) โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก 100% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วน 2 :1 คือปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก 100% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 20 วินาที ที่ความเร็ว 90 รอบต่อนาที ปรับแรงต้านที่ 100% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน และลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ รวมระยะเวลา 4 นาที ทำการวิเคราะห์แก๊ส ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ จะได้ค่าตัวแปรสมรรถภาพการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก อันได้แก่ การใช้พลังงาน การเผาผลาญไขมัน การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (โดยเว้นระยะห่างภายหลังการออกกำลังกายครั้งที่ 1 เป็นเวลา 3 วัน)

การออกกำลังกายครั้งที่ 3 : ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากประมาณ 130% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก 130% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วน 2 :1 คือปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก 130% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 20 วินาที ที่ความเร็ว 90 รอบต่อนาที ปรับแรงต้านที่ 130% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน และลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ รวมระยะเวลา 4 นาที ทำการวิเคราะห์แก๊ส ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ จะได้ค่าตัวแปรสมรรถภาพการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก อันได้แก่ การใช้พลังงาน การเผาผลาญไขมัน การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (โดยเว้นระยะห่างภายหลังการออกกำลังกายครั้งที่ 2 เป็นเวลา 3 วัน)

การออกกำลังกายครั้งที่ 4 : ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากประมาณ 170% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจะออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก 170% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วน 2 :1 คือปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก 170% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 20 วินาที ที่ความเร็ว 90 รอบต่อนาที ปรับแรงต้านที่ 170% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน และลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ รวมระยะเวลา 4 นาที ทำการวิเคราะห์แก๊ส ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ จะได้ค่าตัวแปรสมรรถภาพการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก อันได้แก่ การใช้พลังงาน การเผาผลาญไขมัน การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (โดยเว้นระยะห่างภายหลังการออกกำลังกายครั้งที่ 3 เป็นเวลา 3 วัน)

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56

วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556

วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยและผู้ปกครองทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด

7. **ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า** ได้แก่ เด็กที่มีน้ำหนักตัวปกติหรือมีภาวะอ้วนแต่ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและรายงานแก่ครูในโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย เพื่อให้การดูแลเรื่องสุขภาพและการออกกำลังกายต่อไป

8. **อันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ และมีผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย ครูของโรงเรียนวชิราวุธคอยดูแลอย่างใกล้ชิดในเรื่องความปลอดภัยทั้งในขณะออกกำลังกายและไม่ได้ออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้ป้องกันการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายโดยจัดลำดับการออกกำลังกายเป็นขั้นตอน เพื่อให้ร่างกายค่อยๆ ปรับสภาพ อีกทั้งยังจัดความหนักของโปรแกรมที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคลในการออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะออกกำลังกายในสภาวะที่ปลอดภัย ในช่วงแรกของการออกกำลังกายอาจทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้ ซึ่งเป็นอาการปกติของผู้ที่เริ่มออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการอบอุ่นร่างกาย ผ่อนคลาย และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เพื่อที่จะลดอาการดังกล่าว หากพบว่ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นทั้งในขณะทดสอบและขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะทำการปฐมพยาบาลและส่งต่อไปยังสถานพยาบาล และผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา และหากผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับความผิดปกติเนื่องจากการเข้าร่วมการวิจัย และแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพิสูจน์ได้ว่าเป็นผลจากการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย และรับการรักษาจนกว่าจะหาย ผู้วิจัยจะแจ้งต่อคณะกรรมการวิจัยและเพื่อความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมการวิจัย

9. **ประโยชน์ในการเข้าร่วมวิจัย** ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมวิจัย ดังนี้ ได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้การเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อสร้างเสริมสุขภาพกายให้แข็งแรง และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ผลจากงานวิจัยนี้จะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับเด็ก และสามารถนำไปใช้ได้จริง โดยผู้วิจัยจะนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการฝึกออกกำลังกายสำหรับเด็ก

10. **การเข้าร่วมในการวิจัยของผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเป็นโดยสมัครใจ** และสามารถ**ปฏิเสธ**ที่จะเข้าร่วมหรือ**ถอนตัว**จากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านจะเก็บเป็น**ความลับ** หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่าน

เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

ได้จะไม่ปรากฏในรายงาน เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลาย

13. ภายหลังการเข้าร่วมการออกกำลังกาย ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านจะได้รับค่าชดเชยการเสียเวลาเป็น*ค่าเสียเวลา 400 บาทและหนังสือสำหรับเด็ก 1 เล่ม*

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-8147 หรือ 0-2218-8141 โทรสาร 0-2218-8147 E-mail: eccu@chula.ac.th

เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56

วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556

วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย การศึกษาที่ 1

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

สำหรับผู้ปกครอง (การศึกษาที่ 1)

ทำที่.....

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ. .....

เลขที่ .....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้เกี่ยวข้องเป็น (โปรดระบุเป็น พ่อ/แม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแลของ (ชื่อผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย) .....) ขอแสดงความยินยอมให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

ชื่อผู้วิจัยหลัก รองศาสตราจารย์ ดร. ดรุณวรรณ สุขสม

ชื่อผู้ร่วมวิจัย Prof. Dr.Hirofumi Tanaka

ชื่อผู้ช่วยวิจัย นางสาวนภัสกร ชื่นศิริ

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 081-341-5736 E-mail: daroonwanc@hotmail.com

ข้าพเจ้าและผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า **ได้รับทราบ**รายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ ข้าพเจ้าได้อ่านรายละเอียดในเอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยโดยตลอด และ**ได้รับคำอธิบาย**จากผู้วิจัย **จนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว**

ข้าพเจ้า**จึงสมัครใจ**ให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้ในเอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า เข้าร่วมในการในการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบสมรรถภาพทางกาย การตรวจอุลตร้าซาวด์หลอดเลือดบริเวณแขน รวมทั้งเข้ารับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก เป็นจำนวนทั้งสิ้น 4 ครั้ง

ข้าพเจ้ามีสิทธิให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าหรือเป็นความประสงค์ของผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแล **ถอนตัว**ออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าและตัวข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆที่เกี่ยวข้องกับผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะ**เก็บรักษาเป็นความลับ** โดยจะนำเสนอข้อมูลจากการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าและตัวข้าพเจ้า

หากผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-8147, 0-2218-8141 โทรสาร 0-2218-8147 **E-mail: eccu@chula.ac.th**

ข้าพเจ้าและผู้ที่อยู่ในปกครองเข้าใจข้อความในข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือยินยอมโดยตลอดแล้ว ได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

(.....) (.....)

ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย พ่อ/แม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแล

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ครุณวรรณ สุขสม) (.....)

ผู้วิจัยหลัก พยาน

ข้อมูลสำหรับผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย การศึกษาที่ 2

ข้อมูลสำหรับผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย	ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน (การศึกษาที่ 2)
ชื่อผู้วิจัย	รองศาสตราจารย์ ดร.ครุณวรรณ สุขสม
ชื่อผู้ร่วมวิจัย	Prof. Dr.Hirofumi Tanaka
ชื่อผู้ช่วยวิจัย	นางสาวนภัสกร ชื่นศิริ
สถานที่ติดต่อผู้วิจัย	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์	081-341-5736 E-mail: daroonwanc@hotmail.com

สภาจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย
เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

1. **ขอเรียนเชิญ** ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจให้ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่ชัดเจนได้ตลอดเวลา

2. **โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านการสร้างเสริมสุขภาพในเด็กโดยเฉพาะเด็กที่มีภาวะอ้วน** โดยมุ่งคิดค้นการออกกำลังกาย ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะใช้การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและสูงมากที่มีผลต่อการใช้พลังงาน การทำงานของหลอดเลือด และสมรรถภาพทางกาย

3. **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพื่อศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน องค์ประกอบของร่างกายและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

4. **รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

ผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้คือ เด็กนักเรียนชาย อายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีภาวะอ้วน

<u>เกณฑ์ในการคัดเข้า (Inclusion criteria)</u>

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยอายุระหว่าง 8-12 ปี มีภาวะอ้วน ประเมินโดยใช้น้ำหนักตัวเทียบกับเส้นน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง แล้วอยู่เหนือเส้น +2เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสุขภาพดีแข็งแรงปราศจากโรค หรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมในการออกกำลังกาย โดยการประเมินแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก ซึ่งท่านต้องตอบว่า "ไม่" ทุกข้อจึงจะผ่านเกณฑ์การประเมิน

3. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีความสมัครใจเข้าร่วมในงานวิจัย ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย และได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองในการลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมงานวิจัยต่อไปได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมในการทำวิจัยต่อ

3. สำหรับกลุ่มที่ได้รับการออกกำลังกาย : ขาดการออกกำลังกายมากกว่า 7 ครั้ง จากการออกกำลังกายทั้งหมด 36 ครั้ง

เมื่อได้ผู้เข้าร่วมวิจัยครบจำนวน 45 คน แบ่งผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 15 คน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม ดำเนินชีวิตตามปกติ

กลุ่มที่ 2 ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด

กลุ่มที่ 3 ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (รอผลการศึกษาที่ 1)

เหตุผลที่ได้รับเชิญเข้าร่วมโครงการวิจัย เนื่องจากเด็กที่มีภาวะอ้วนเป็นบุคคลที่ควรได้รับการสร้างเสริมสุขภาพทางกายให้แข็งแรง และลดน้ำหนักตัวอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการเกิดโรคทางกายในวัยเด็กและเมื่อโตเป็นผู้ใหญ่ อีกทั้งยังทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้น

5. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

5.1 ผู้วิจัยทำการประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย *ด้วยแบบแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก จำนวน 7 ข้อ* วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ทดสอบสมรรถภาพทางกาย โดยวัดองค์ประกอบของร่างกาย วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน และลำตัวส่วนบน วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อท้อง หลัง และต้นขา วัดความอ่อนตัวของร่างกายส่วนล่าง วัดความจุปอด

วัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยการปั่นจักรยาน จนเหนื่อยหมดแรงเท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ ทำการวิเคราะห์แก๊ส ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ ขณะที่ทำการทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัยจะทำการวัดคลื่นหัวใจด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์สมรรถภาพหัวใจ ควบคู่ไปด้วย ผลที่ได้จะนำไปให้แพทย์ประเมินผลเพื่อยืนยันสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย

การทำงานของหลอดเลือด โดยการทำอัลตร้าซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งแขน โดยใช้เวลาประมาณ 45 นาที

วัดสมรรถภาพการใช้พลังงาน ด้วยการปั่นจักรยาน ที่ความหนัก 55-60% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 30 นาที ทำการวิเคราะห์แก๊ส ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ (โดยเว้นระยะห่างภายหลังการทดสอบวันที่ 1 เป็นเวลา 3 วัน)

เจาะเลือด 10 ซีซี (ประมาณ 2 ช้อนชา) เพื่อวิเคราะห์หาค่าระดับน้ำตาลในเลือด อินซูลิน

ระดับไขมันในเลือด เลปติน อะดิโพเนคติน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอตินไคเนส ปริมาณ 2 ช้อนชา *โดยพยาบาลวิชาชีพและส่งตรวจ ณ กรุงเทพอาร์ไอแลปและคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเมื่อการศึกษาสิ้นสุดจะมีการทำลายเลือดทั้งหมด*

5.2 เมื่อการตรวจเสร็จสิ้น จะดำเนินการฝึกออกกำลังกายตามกลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม ดำเนินชีวิตตามปกติ ไม่ได้รับโปรแกรมการออกกำลังกาย แต่ได้รับคำแนะนำเรื่องกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหารในระหว่างที่เข้าร่วมวิจัย

กลุ่มที่ 2 ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (High Intensity Interval Training: HIIT) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูง 90% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วนคือ 2:1 โดยปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูง 90% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด 2 นาที ที่ความเร็ว 90 รอบต่อนาที ปรับแรงต้านที่ 90% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคน และลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 1 นาที ทำทั้งหมด 8 รอบ *รวมระยะเวลา 24 นาที จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์*

กลุ่มที่ 3 ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (รอผลการศึกษาที่ 1) (Supra-High Intensity Interval Training: Supra-HIIT) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วนคือ 2:1 โดยปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก 20 วินาที ที่ความเร็ว 90 รอบต่อนาที และ ลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ *รวมระยะเวลา 4 นาที จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์*

การฝึกออกกำลังกายของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 มีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกายดังนี้ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยติดเครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ ทำการอบอุ่นร่างกาย (Warm up) และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching) เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นออกกำลังกายตามรูปแบบการออกกำลังกายของแต่ละกลุ่ม หลังจากนั้นทำการผ่อนคลาย (Cool down) และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching) เป็นเวลา 10 นาที *ณ โรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย ทั้งนี้ได้รับอนุญาตให้ทำการศึกษาวิจัยในโรงเรียนแล้ว* โดยมีผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย ครู และเจ้าหน้าที่คอยให้การดูแลอย่างใกล้ชิด

ระหว่างการออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะต้องทำการประเมินกิจกรรมทางกายด้วยการติดเครื่องวัดอัตราเร่งการเคลื่อนที่ ก่อน ระหว่างและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ และ*ประเมินการรับประทานอาหาร โดยขอความร่วมมือจากผู้ปกครองประเมินแบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี ในแต่ละสัปดาห์ที่กลับบ้านลงในใบ ในส่วนของอาหารที่รับประทานที่โรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย ผู้วิจัยจะขอข้อมูลจากฝ่ายโภชนาการของโรงเรียน*

ภายหลังออกกำลังกายครบตามระยะเวลาที่กำหนด จะทำการประเมิน สมรรถภาพทางกาย องค์ประกอบของร่างกาย การทำงานของหลอดเลือด และวิเคราะห์หาสารชีวเคมีในเลือดอีกครั้ง และเพิ่มการประเมินความสนุกสนานของการออกกำลังกาย

เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

เลขที่โครงการวิจัย 4 130.1/58
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

6. **กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยและผู้ปกครองทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด

7. **ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้นั้นไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า** ได้แก่ เด็กที่มีภาวะอ้วนแต่ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและรายงานแก่ครูในโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย เพื่อให้การดูแลเรื่องสุขภาพและการออกกำลังกายต่อไป

8. **อันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ในการเจาะเลือด อาจมีอาการเขียวช้ำหรือเจ็บเล็กน้อยบริเวณที่เจาะ ผู้วิจัยจะแนะนำให้พักการใช้บริเวณนั้นและทำการประคบด้วยความเย็น มีผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย ครูของโรงเรียนวชิราวุธ คอยดูแลอย่างใกล้ชิดในเรื่องความปลอดภัยทั้งในขณะออกกำลังกายและไม่ได้ออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้ป้องกันการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายโดยจัดลำดับการออกกำลังกายเป็นขั้นตอน เพื่อให้ร่างกายค่อยๆปรับสภาพ อีกทั้งยังจัดความหนักของโปรแกรมที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคลในการออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะออกกำลังกายในสภาวะที่ปลอดภัย ในช่วงแรกของการออกกำลังกายอาจทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้ ซึ่งเป็นอาการปกติของผู้ที่เริ่มออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการอบอุ่นร่างกาย ผ่อนคลาย และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เพื่อที่จะลดอาการดังกล่าว หากพบว่ามีการบาดเจ็บเกิดขึ้นทั้งในขณะทดสอบและขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะทำการปฐมพยาบาลและส่งต่อไปยังสถานพยาบาล และผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา และหากผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับความผิดปกติเนื่องจากการเข้าร่วมการวิจัย และแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพิสูจน์ได้ว่าเป็นผลจากการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย และรับการรักษาจนกว่าจะหาย ผู้วิจัยจะแจ้งต่อคณะกรรมการวิจัยและเพื่อความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมการวิจัย

9. **ประโยชน์ในการเข้าร่วมวิจัย** ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมวิจัย ดังนี้ ได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้การเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อสร้างเสริมสุขภาพกายให้แข็งแรง และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ผลจากงานวิจัยนี้จะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับเด็กอ้วน โดยผู้วิจัยจะนำผลที่ได้จากการศึกษาเสนอต่อผู้การโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย ระบุเป็นกิจกรรมออกกำลังกายแก่เด็กนักเรียนที่มีภาวะอ้วน และจะเผยแพร่การออกกำลังกายแก่ครูในโรงเรียนอื่นๆ เพื่อจะนำไปใช้ในการออกกำลังกายสำหรับเด็กอ้วนต่อไป สำหรับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกายตามโปรแกรมหากโปรแกรมได้ผลดี ผู้วิจัยจะจัดเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนฝึกปฏิบัติให้สามารถเข้าใจและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง

10. **การเข้าร่วมในการวิจัยของผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเป็นโดยสมัครใจ** และสามารถ**ปฏิเสธ**ที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหาก

ผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านจะเก็บเป็น**ความลับ** หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลาย และเลือดของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลายโดยผู้เชี่ยวชาญเทคนิคการแพทย์

13. ภายหลังการเข้าร่วมการออกกำลังกาย ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านจะได้รับค่าชดเชยการเสียเวลาเป็น*ค่าเสียเวลา 400 บาทและหนังสือสำหรับเด็ก 1 เล่ม* รวมทั้งกลุ่มควบคุมซึ่งจะได้รับค่าชดเชยการเข้าร่วมการวิจัยวันเดียวกับกลุ่มที่มีการออกกำลังกาย รวมจำนวนทั้งสิ้น 45 คน

14. หากท่านไม่ได้รับการปฏิบัติตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-8147 หรือ 0-2218-8141 โทรสาร 0-2218-8147 E-mail: eccu@chula.ac.th

เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56

วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556

วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย การศึกษาที่ 2

หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

สำหรับผู้ปกครอง (การศึกษาที่ 2)

ทำที่.....

วันที่ .....เดือน.....พ.ศ. .....

เลขที่ .....

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามท้ายหนังสือนี้เกี่ยวข้องเป็น (โปรดระบุเป็น พ่อ/แม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแลของ (ชื่อผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย) .....) ขอแสดงความยินยอมให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วมโครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

สถาบันพลศึกษา วิทยาเขตจันทรเกษม
เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

ชื่อผู้วิจัยหลัก รองศาสตราจารย์ ดร. ดรุณวรรณ สุขสม

ชื่อผู้ร่วมวิจัย Prof. Dr.Hirofumi Tanaka

ชื่อผู้ช่วยวิจัย นางสาวนภัสกร ชื่นศิริ

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 081-341-5736 E-mail: daroonwanc@hotmail.com

ข้าพเจ้าและผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า **ได้รับทราบ**รายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ ข้าพเจ้าได้อ่านรายละเอียดในเอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยโดยตลอด และ**ได้รับคำอธิบาย**จากผู้วิจัย **จนเข้าใจเป็นอย่างดี**แล้ว

ข้าพเจ้าจึง**สมัครใจ**ให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้ในเอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า เข้าร่วมในการในการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบสมรรถภาพทางกาย การตรวจอุลตร้าซาวด์หลอดเลือดบริเวณแขน การเจาะเลือดโดยพยาบาลวิชาชีพ เพื่อวิเคราะห์ระดับไขมันและน้ำตาลในเลือด ไนตริกออกไซด์ เลปติน อะดิโพเนคติน ครีเอทีนไคเนส จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 2 ช้อนชา ซึ่งจะมีการทำลายเลือด เมื่อสิ้นสุดการวิจัย รวมทั้งเข้ารับการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมาก เป็นเวลา 12 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 36 ครั้ง

ข้าพเจ้ามีสิทธิให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าหรือเป็นความประสงค์ของผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแล **ถอนตัว**ออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ **โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล** ซึ่งการถอนตัวออกจากการวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าและตัวข้าพเจ้าทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ตามข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆที่เกี่ยวข้องกับผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะเก็บรักษาเป็นความลับ โดยจะนำเสนอข้อมูลจากการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าและตัวข้าพเจ้า

หากผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ชั้น 4 อาคารสถาบัน 2 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-8147, 0-2218-8141 โทรสาร 0-2218-8147 **E-mail: eccu@chula.ac.th**

ข้าพเจ้าและผู้ที่อยู่ในปกครองเข้าใจข้อความในข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือยินยอมโดยตลอดแล้ว ได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญต่อหน้าพยาน ทั้งนี้ข้าพเจ้าได้รับสำเนาเอกสารข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรตัวอย่างหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และสำเนาหนังสือแสดงความยินยอมไว้แล้ว

เลขที่โครงการวิจัย 130.1/56
วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

ลงชื่อ.....	ลงชื่อ.....
(.....)	(.....)
ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย	พ่อ/แม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแล
ลงชื่อ.....	ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดรุณวรรณ สุขสม)	(.....)
ผู้วิจัยหลัก	พยาน

ข้อมูลโครงการวิจัยสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ข้อมูลโครงการวิจัยสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

โครงการวิจัย เรื่อง ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

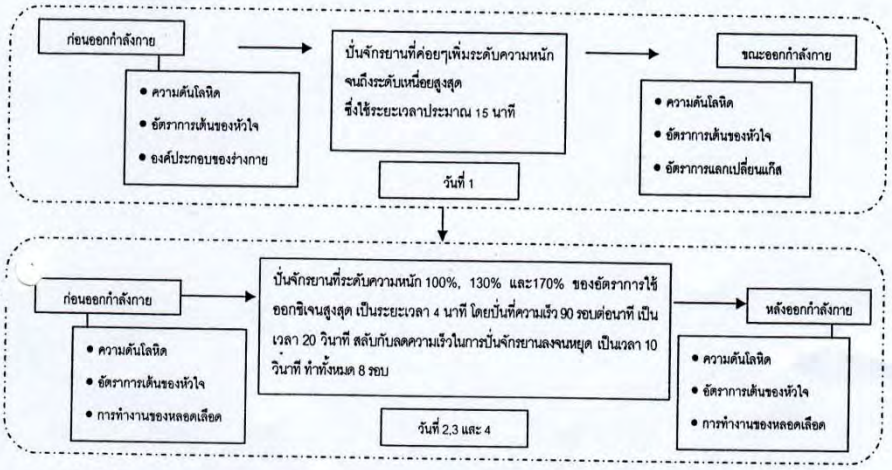
เลขที่โครงการวิจัย 130-1/56

วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556

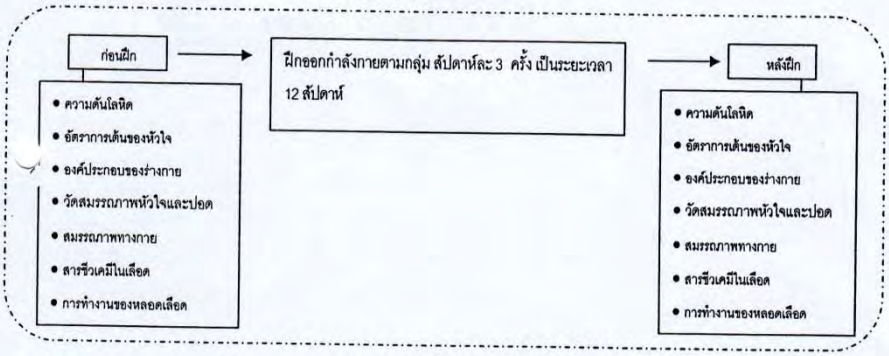
วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาที่ 1 ผลของการออกกำลังกาย : การออกกำลังกายแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที จำนวน 4 ครั้ง



การศึกษาที่ 2 ผลของการฝึกออกกำลังกาย: นักเรียนกลุ่มที่ 1 ใช้เวลาประมาณ 40 นาทีต่อวัน นักเรียนกลุ่มที่ 2 ใช้เวลาประมาณ 15 นาทีต่อวัน 3วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 เดือน โดยมีการเจาะเลือดก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย



ความเสี่ยงในการวิจัยครั้งนี้ งานวิจัยนี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ผู้เข้าร่วมวิจัยในช่วงแรกของการออกกำลังกาย อาจทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้ ซึ่งเป็นอาการปกติของผู้ที่เริ่มออกกำลังกาย เจาะเลือดปริมาณ 2 ช้อนชา โดยนักเทคนิคการแพทย์หรือพยาบาลวิชาชีพ ซึ่งอาจมีอาการเขียวช้ำหรือเจ็บเล็กน้อยบริเวณที่เจาะ

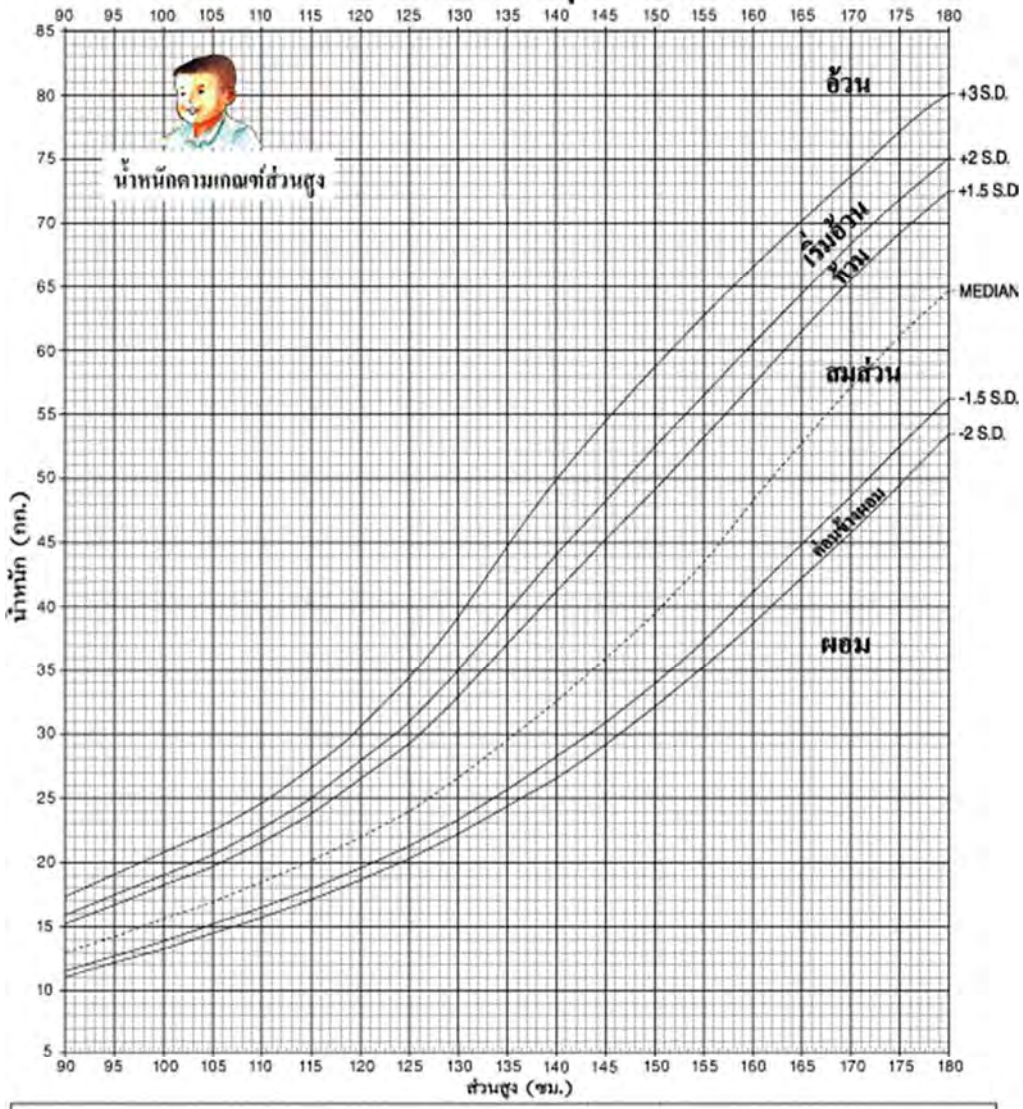
ประโยชน์ในการเข้าร่วมวิจัย ได้รับการตรวจสุขภาพอย่างละเอียด โดยเฉพาะระดับไขมันในเลือดและการทำงานของหลอดเลือด ได้รับการทดสอบสมรรถภาพทางกายและออกกำลังกายที่เหมาะสมกับเด็กอ้วน ได้รับความรู้และการปฏิบัติตัวเพื่อควบคุมน้ำหนักที่ถูกต้องและเหมาะสม และเป็นนักเรียนต้นแบบในการนำโปรแกรมการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมาใช้ควบคุมน้ำหนัก เพื่อนำไปเผยแพร่ต่อไป นอกจากนั้นนักเรียนจะได้มีประสบการณ์ในการมีส่วนร่วมในโครงการศึกษาวิจัย ส่งผลให้เกิดการเรียนรู้เชิงวิชาการเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อไป

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข

เกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชาย อายุ 5-18 ปี

กราฟแสดงเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโต
ของเพศชาย อายุ 5–18 ปี



วิธีการอ่านกราฟ

น้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง แสดงความอ้วน–ผอม

ดูส่วนสูงตามแนวนอนว่าอยู่ที่จุดใด แล้วไล่ขึ้นตามแนวตั้งว่าตรงกับน้ำหนักที่จุดใด อ่านผลตามเกณฑ์นั้น : อ้วน เริ่มอ้วน ท้วม สมส่วน ค่อนข้างผอม ผอม

ส่วนสูงตามเกณฑ์อายุ แสดงการเจริญเติบโตด้านความสูง

ดูอายุตามแนวนอนว่าอยู่ที่จุดใด แล้วไล่ขึ้นตามแนวตั้งว่าตรงกับส่วนสูงที่จุดใด อ่านผลตามเกณฑ์ส่วนสูงนั้น : สูง ค่อนข้างสูง ส่วนสูงตามเกณฑ์ ค่อนข้างเตี้ย เตี้ย

น้ำหนักตามเกณฑ์อายุ แสดงการเจริญเติบโตด้านน้ำหนัก

ดูอายุตามแนวนอนว่าอยู่ที่จุดใด แล้วไล่ขึ้นตามแนวตั้งว่าตรงกับน้ำหนักที่จุดใด อ่านผลตามเกณฑ์น้ำหนักนั้น : น้ำหนักมากกว่าเกณฑ์ น้ำหนักค่อนข้างมาก น้ำหนักตามเกณฑ์ ค่อนข้างน้อย น้อยกว่าเกณฑ์

ข้อมูล : กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2542 เกณฑ์อ้างอิง น้ำหนัก ส่วนสูง และเครื่องชี้วัดภาวะโภชนาการของประชาชนไทย อายุ 1 วัน – 19 ปี

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค

แบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก

แบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก

ผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยเป็นผู้ตอบคำถาม

ชื่อของผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัย .....

วันเดือนปีเกิด ..... อายุ .....

เนื่องด้วยผู้อยู่ในความปกครอง การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย/ท่านกรุณาตอบคำถามเกี่ยวกับความพร้อมในการออกกำลังกายของผู้อยู่ในความปกครองการดูแลของท่าน/

กรุณาทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน ☐ ที่กำหนดไว้ **ใช่** **ไม่**

ท่านได้รับการอธิบายขั้นตอนการทดสอบและออกกำลังกายอย่างละเอียด

1. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่าน มีปัญหาเกี่ยวกับหัวใจ และกิจกรรมทางกายผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านต้องได้รับคำแนะนำจากแพทย์เท่านั้น ☐ ☐
2. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเคยมีอาการเจ็บหน้าอกขณะมีกิจกรรมทางกาย ☐ ☐
3. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเคยมีการสูญเสียการทรงตัวจากการเวียนศีรษะหรือเคยหมดสติ ☐ ☐
4. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านมีปัญหาเกี่ยวกับกระดูกหรือข้อต่อที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางที่ไม่ดีหากเข้าร่วมกิจกรรมทางกายในงานวิจัย ☐ ☐
5. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเป็นโรคหอบหืดแบบควบคุมไม่ได้ ☐ ☐
6. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านได้รับการดูแลหรือแนะนำจากแพทย์เกี่ยวกับความดันโลหิตหรือหัวใจ ☐ ☐
7. ท่านทราบสาเหตุที่ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านไม่สามารถทำกิจกรรมทางกายได้หรือไม่ อาจจะรวมถึงโรคเบาหวานการบาดเจ็บในอดีต หรือการเจ็บป่วยที่รุนแรงอื่นๆ ☐ ☐

ถ้าท่านตอบว่า “ไม่” ทุกคำถาม ท่านสามารถมั่นใจได้ว่าผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านสามารถมีส่วนร่วมในกิจกรรมทางกายของงานวิจัยได้

ถ้าท่านตอบ “ใช่” กรุณาปรึกษาแพทย์เกี่ยวกับคำถามที่ท่านตอบ “ใช่”

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลที่เขียนไว้ทั้งหมดข้างต้นนี้เป็นความจริง

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัย

...../...../.....

ลงชื่อ.....

(.....)

พยาน

...../...../.....

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ

แบบบันทึกข้อมูล

ชื่อ-นามสกุล.....ชื่อเล่น.....

อายุ..... วันเดือนปีเกิด..... ผู้บันทึก.....

ข้อมูลทางสรีรวิทยา (ก่อนการทดสอบ – นั่งพักเป็นเวลา 5 นาที)

ส่วนสูง .....ซม. น้ำหนัก ..... กก.

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ..... ครั้ง/นาที

ความดันโลหิตขณะพัก ..... มม.ปรอท MAP.....

ข้อมูลด้านสุขสมรรถนะ และการทรงตัว

องค์ประกอบทางกาย

1. อัตราส่วน (เอว:สะโพก) ..... เอว ..... ซม. สะโพก ..... ซม.

ความจุปอด

1. ความจุปอด.....มล.

ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ

1. แรงบีบมือ (Hand grip strength) (ขวา) ..... กก. (ซ้าย) ..... กก.
2. ลุกนั่ง (1 minute sit up) ..... ครั้ง
3. วิดพื้น (1 minute push up) ..... ครั้ง
4. กำลังหลัง.....กก.
5. กำลังขา.....กก.

ความอ่อนตัว

1. นั่งงอตัว (Sit & reach) ครั้งที่ 1 ..... ซม. ครั้งที่ 2 ..... ซม.

การทำงานของหลอดเลือด

☐ baPWV : ด้านขวา.....ซม./วินาที ด้านซ้าย.....ซม./วินาที

☐ FMD

☐ IMT.....

	Carotid	Baseline	Occlusion 0-5 min	Deflated 5-6 min	After deflated		
					7	8	9
เริ่มบันทึก	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
VDO1							
VDO2							
VDO3							
VDO4							
PW1							
PW2							
ภาพนิ่ง							

ข้อสังเกต..... .....

.....

....

***mark VDO ที่มีค่าTAPVที่สูงที่สุดด้วย**

□ **สมรรถภาพการใช้พลังงานขณะพัก** (Resting metabolic rate)

อุปกรณ์ที่ใช้ใส่ทดสอบ หน้ากาก

1. ข้อมูลก่อนเริ่มทดสอบ (หลังจากนั่งพัก 5 นาที ก่อนทดสอบ) หมายเหตุ

1.1 ความดันโลหิต (Blood pressure - มม.ปรอท)		
1.2 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate - ครั้ง/นาที)		
1.3 ระดับความเหนื่อย (RPE)		

2. ข้อมูลขณะทดสอบ (นั่งนิ่งๆ 30 นาที)

อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate - ครั้ง/นาที) ทุกๆ 5 นาที

นาทีที่ 5	นาทีที่ 10	นาทีที่ 15	นาทีที่ 20	นาทีที่ 25	นาทีที่ 30

Start time : .....

Steady state 1 .....

2 .....

3 .....

4 .....

Energy .....kcal

□ **สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง** (VO2peak) (Grade Exercise Test)

อุปกรณ์ที่ใช้ใส่ทดสอบ

หน้ากาก **ท่อหายใจ**

1. ข้อมูลในขณะพัก (หลังจากนั่งพัก 5 นาที ก่อนทดสอบ)		**หมายเหตุ**
1.1 ความดันโลหิต (Blood pressure - มม.ปรอท)		MAP.....
1.2 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate - ครั้ง/นาที)		
1.3 ระดับความเหนื่อย (RPE)		
2. ข้อมูลหลังจากการทดสอบ (ทันที)		Time
2.1 ความดันโลหิต (Blood pressure - มม.ปรอท)		MAP.....
2.2 ระดับความเหนื่อย (RPE)		
2.3 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate - ครั้ง/นาที)		
2.4 ความหนักที่สามารถทำได้ (watt)		
3. ข้อมูลหลักจากการนั่งพัก (หลังทดสอบเสร็จและนั่งพักเป็นเวลา 5 นาที)		Time
3.1 ความดันโลหิต (Blood pressure - มม.ปรอท)		MAP.....
3.2 ระดับความเหนื่อย (RPE)		
3.3 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate - ครั้ง/นาที)		
4. ข้อมูลหลักจากการนั่งพัก (หลังทดสอบเสร็จและนั่งพักเป็นเวลา 10 นาที)		Time
4.1 ความดันโลหิต (Blood pressure - มม.ปรอท)		MAP.....
4.2 ระดับความเหนื่อย (RPE)		
4.3 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate - ครั้ง/นาที)		
5. ข้อมูลหลักจากการนั่งพัก (หลังทดสอบเสร็จและนั่งพักเป็นเวลา 15 นาที)		Time
3.1 ความดันโลหิต (Blood pressure - มม.ปรอท)		MAP.....
3.2 ระดับความเหนื่อย (RPE)		
3.3 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate - ครั้ง/นาที)		

Stage	Watt	minute	rpm	Resistance (kp)	HR	BP	PCERT	Time
0	0	3	50	0				
1	20	6	50	0.4				
2	40	3	50	0.8				
3	60	6	50	1.2				
4	80	9	50	1.6				
5	100	12	50	2				
6	120	15	50	2.4				
7	140	18	50	2.8				

** กรณีที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยไม่สามารถทำการทดสอบได้ครบถ้วนตามระยะเวลาที่กำหนด ให้บันทึกระยะเวลา ที่สามารถทำการทดสอบได้ และให้บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (HR peak) และระดับความเหนื่อย (RPE) จากการทดสอบด้วย **

VO_2max (ml/kg/min).....RER.....

เวลาที่ออกกำลังกายทั้งหมด (Total cycling time).....

เหตุผลในการหยุดออกกำลังกาย (Reason for termination).....

.....

.....

หมายเหตุ (Comments).....

.....

ภาคผนวก จ

ภาคผนวก จ

แบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี

แบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี

วิธีประเมิน

1. กำหนดช่วงเวลาการประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหาร เช่น 1 สัปดาห์ หรือ 1 เดือน เป็นต้น
2. ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องปฏิบัติหรือไม่ปฏิบัติในพฤติกรรมแต่ละข้อ

พฤติกรรมการบริโภคอาหารที่เหมาะสม	**ปฏิบัติ**	**ไม่ปฏิบัติ**
1. กินอาหารเช้าที่มีกลุ่มอาหารอย่างน้อย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มข้าว-แป้งและเนื้อสัตว์ ทุกวัน		
2. กินอาหารหลัก วันละ 3 มื้อ (เช้า กลางวัน เย็น) ทุกวัน		
3. กินอาหารว่าง วันละ 2 ครั้ง (ช่วงสายและช่วงบ่าย) ทุกวัน		
4. ปริมาณอาหารที่บริโภคในแต่ละกลุ่ม		
4.1 กินอาหารกลุ่มข้าว-แป้ง วันละ 8 ทัพพี ทุกวัน		
4.2 กินอาหารกลุ่มผักวันละ 4 ทัพพี ทุกวัน		
4.3 กินอาหารกลุ่มผลไม้ วันละ 3 ส่วน ทุกวัน		
4.4 กินอาหารกลุ่มเนื้อสัตว์ วันละ 6 ช้อนกินข้าว ทุกวัน		
4.5 ดื่มนมจืด วันละ 3 แก้วหรือกล่อง ทุกวัน		
5. กินอาหารที่เป็นแหล่งธาตุเหล็ก เช่น ตับ เลือด เนื้อสัตว์โดยเฉพาะเนื้อแดง สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง		
6.ใช้เกลือเสริมไอโอดีนหรือน้ำปลาเสริมไอโอดีนในการปรุงอาหารทุกครั้ง		
7. กินยาเม็ดธาตุเหล็ก • สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 1 เม็ด สำหรับเด็กที่มีการเจริญเติบโตดี		
8. กินอาหารประเภทผัด ทอด และกะทิ • ไม่มากกว่า 2 อย่างต่อวัน สำหรับเด็กอ้วนและกลุ่มเสี่ยง		
9. กินขนมกรุบกรอบ ปลาเส้นปรุงรส เครื่องดื่มที่มีรสหวาน น้ำอัดลม ไอติมหวานเย็น ลูกอม เยลลี่ หมากฝรั่ง ช็อคโกแล็ต ขนมปังเวเฟอร์ <u>รวมกันไม่เกิน 2 ชนิดๆละ 1 ห่อเล็ก/แก้ว/อัน /เม็ด/แท่ง ต่อวัน</u>		
10. <u>ไม่กิน</u>เนื้อสัตว์ติดมัน เช่น หมูสามชั้น ขาหมู คอหมู หนังไก่ หนังเป็ด ทุกวัน		
11. <u>ไม่เติม</u>เครื่องปรุงรสเค็ม เช่น น้ำปลา ซีอิ๊ว แม็กกี้ ในอาหารที่ปรุงสุกแล้ว ทุกครั้ง		

แบบบันทึกการรับประทานอาหารประจำวัน

แบบบันทึกการรับประทานอาหารประจำวัน

ผู้ปกครองและนักเรียนกรุณาบันทึกชนิดและปริมาณอาหารที่รับประทานในแต่วันอย่างละเอียด

ว/ด/ป	มื้อ	ชนิดอาหาร	ปริมาณอาหาร	หน่วย
	เช้า	ข้าว(สวย/กล้อง/เหนียว/ต้ม).....	.....	ทัพพี
		ก๋วยเตี๋ยว.....	.....	จาน
		อาหารแป้งชนิดอื่นๆ เช่น ขนมปัง ขนมจีน	.....	ชิ้น/จาน/แผ่น
		.....	.....	
		กับข้าว.....	.....	
		กับข้าว.....	.....	
		เครื่องดื่ม(ยกเว้นน้ำเปล่า).....	.....	แก้ว
		อื่นๆ/ขนม.....	.....	
	กลางวัน	ข้าว(สวย/กล้อง/เหนียว/ต้ม).....	.....	ทัพพี
		ก๋วยเตี๋ยว.....	.....	จาน
		อาหารแป้งชนิดอื่นๆ เช่น ขนมปัง ขนมจีน	.....	ชิ้น/จาน/แผ่น
		.....	.....	
		กับข้าว.....	.....	
		กับข้าว.....	.....	
		เครื่องดื่ม(ยกเว้นน้ำเปล่า).....	.....	แก้ว
		อื่นๆ/ขนม.....	.....	
	เย็น	ข้าว(สวย/กล้อง/เหนียว/ต้ม).....	.....	ทัพพี
		ก๋วยเตี๋ยว.....	.....	จาน
		อาหารแป้งชนิดอื่นๆ เช่น ขนมปัง ขนมจีน	.....	ชิ้น/จาน/แผ่น
		.....	.....	
		กับข้าว.....	.....	
		กับข้าว.....	.....	
		เครื่องดื่ม(ยกเว้นน้ำเปล่า).....	.....	แก้ว
		อื่นๆ/ขนม.....	.....	

ภาคผนวก ฉ

ภาคผนวก ฉ

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อของกิจกรรมการออกกำลังกาย

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อกิจกรรมการออกกำลังกาย

ข้อ	ความคิดเห็น	ไม่เห็นด้วยมาก	ไม่เห็นด้วย	ปานกลาง	เห็นด้วย	เห็นด้วยมาก
1	ฉันสนุกสนาน	1	2	3	4	5
2	ฉันรู้สึกเบื่อ	1	2	3	4	5
3	ฉันไม่ชอบ	1	2	3	4	5
4	ฉันเพลิดเพลิน	1	2	3	4	5
5	ฉันไม่สนุกเลยซักนิด	1	2	3	4	5
6	ฉันรู้สึกมีพลัง	1	2	3	4	5
7	ฉันรู้สึกหดหู่	1	2	3	4	5
8	ร่างกายของฉันแข็งแรงขึ้น	1	2	3	4	5
9	ฉันได้ประโยชน์จากการออกกำลังกาย	1	2	3	4	5
10	ฉันตื่นเต้นมาก	1	2	3	4	5
11	ฉันคิดว่ากิจกรรมนี้น่าสนใจ	1	2	3	4	5
12	ฉันรู้สึกประสบความสำเร็จอย่างมาก	1	2	3	4	5
13	ฉันรู้สึกดีเมื่อทำกิจกรรม	1	2	3	4	5
14	ฉันน่าจะไปทำอย่างอื่นมากกว่า	1	2	3	4	5

ภาคผนวก ช

ภาคผนวก ช

การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง

ผู้ร่วมวิจัยได้รับการทดสอบการออกกำลังกายแบบเป็นขั้น (Grade Exercise Test) ด้วยการปั่นจักรยาน และใส่เครื่องวัดอัตราการหายใจ (Gas Analyzer) เพื่อหาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) ผู้ร่วมวิจัยแต่ละคนเรียนรู้มาตรวัดความเหนื่อยของเด็ก (The Pictorial Children's Effort Rating Table: PCERT) ก่อนการทดสอบ การทดสอบจะกระทำโดยการปั่นจักรยาน เริ่มด้วยความหนักของงานที่ 20 วัตต์ และจะเพิ่มความหนัก 20 วัตต์ ทุกๆ 3 นาที ในการทดสอบนี้จะคงความเร็วของการปั่นจักรยานที่ 50 รอบต่อนาที และจะเพิ่มแรงต้านด้วยแผ่นน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความหนักของงานที่กระทำทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าผู้ร่วมวิจัยถึงจุดล้าหรืออาการอื่นๆที่แสดงว่าถึงขีดสุดของความสามารถในการออกกำลังกายแล้ว เช่น เวียนศีรษะ หายใจแรงมาก เป็นต้น ผู้วิจัยบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ และประเมินความเหนื่อยเมื่อออกกำลังกายจบทุกขั้น โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1. ผู้ร่วมวิจัยใส่เครื่องวัดอัตราการหายใจ และขึ้นนั่งเตรียมพร้อมบนจักรยาน
2. อบอุ่นร่างกาย 3 นาที โดยการปั่นที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที ไม่ใส่น้ำหนัก
3. เริ่มขั้นที่ 1 ที่ความหนัก 20 วัตต์ โดยคงความเร็วในการปั่นที่ 50 รอบต่อนาที ปั่นจนครบ 3 นาที แล้วจึงวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และประเมินความเหนื่อย ที่ 30 วินาทีก่อนเปลี่ยนขั้น หลังจากนั้นจะเพิ่มแรงต้าน
4. ขั้นที่ 2 ที่ความหนัก 40 วัตต์ เพิ่มความหนักอีก 20 วัตต์ โดยคงความเร็วในการปั่นที่ 50 รอบต่อนาที ปั่นจนครบ 3 นาที แล้วจึงวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และประเมินความเหนื่อย ที่ 30 วินาทีก่อนเปลี่ยนขั้น หลังจากนั้นจะเพิ่มแรงต้าน
5. ขั้นที่ 3 ที่ความหนัก 60 วัตต์ เพิ่มความหนักอีก 20 วัตต์ โดยคงความเร็วในการปั่นที่ 50 รอบต่อนาที ปั่นจนครบ 3 นาที แล้วจึงวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และประเมินความเหนื่อย ที่ 30 วินาทีก่อนเปลี่ยนขั้น หลังจากนั้นจะเพิ่มแรงต้าน

ทำซ้ำไปเรื่อยๆ และทำการหยุดการทดสอบเมื่อผู้ร่วมวิจัยถึงจุดล้า โดยจะบอกด้วยวาจาหรือแสดงอาการที่แสดงว่าถึงขีดสุดของความสามารถในการออกกำลังกายแล้ว เช่น หอบเหนื่อยมาก หายใจแรงมาก เป็นต้น

ภาคผนวก ซ

ภาคผนวก ช

การคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย

การคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย ใช้สูตร

ค่าความหนักของการออกกำลังกาย (Intensity) = เปอร์เซ็นต์ของความหนักที่ต้องการ x ค่างานที่ได้ในขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุด (Work load at VO_2peak)

<u>ตัวอย่าง</u>

ถ้าค่างานสูงสุดที่ได้เมื่อทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูง (VO_2peak) เท่ากับ 120 วัตต์ ต้องการความหนักของการออกกำลังกายที่ระดับ 170% VO_2peak เพราะฉะนั้นจะได้ค่าความหนักของการออกกำลังกายเท่ากับ (170/100) x 120 = 204 วัตต์