

การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและที่ความหนักสูงมากต่อ
การใช้พลังงาน องค์กรประกอบของร่างกาย และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน



นางสาวนภัสกร ชื่นศิริ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON BETWEEN HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING AND SUPRA-
HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING ON ENERGY EXPENDITURE, BODY COMPOSITION
AND VASCULAR FUNCTION IN OBESE CHILDREN

Miss Napasakorn Chuensiri



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Sports Science
Faculty of Sports Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและที่ความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงานองค์ประกอบของร่างกาย และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน
โดย	นางสาวนภัสกร ชื่นศิริ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ดรณวรรณ สุขสม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.อิโรพุมิ ทานากะ

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทிரากรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิต คณิงสุขเกษม) วิทยาลัย
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดรณวรรณ สุขสม)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ศาสตราจารย์ ดร.อิโรพุมิ ทานากะ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ชัย อินทிரากรณ์)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ปัญญา ไข่มุก)

5478607739 : MAJOR SPORTS SCIENCE

KEYWORDS: OBESE PREPUBESCENT CHILDREN / SUPRA-HIGH INTERVAL TRAINING / ENERGY EXPENDITURE / BODY COMPOSITION / VASCULAR FUNCTION

NAPASAKORN CHUENSIRI: A COMPARISON BETWEEN HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING AND SUPRA-HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING ON ENERGY EXPENDITURE, BODY COMPOSITION AND VASCULAR FUNCTION IN OBESE CHILDREN. ADVISOR: ASSOC. PROF. DAROONWAN SUKSOM, Ph.D., CO-ADVISOR: PROF.HIROFUMI TANAKA, Ph.D., 233 pp.

The main objective of the present study was 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 \geq 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% VO_{2peak} (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 group 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.

Field of Study: Sports Science

Academic Year: 2014

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยความมีเมตตากรุณา เอาใจใส่ ช่วยเหลือดูแลเป็นอย่างดีของรองศาสตราจารย์ ดร. ดรณวรรณ สุขสม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ท่านได้เสียสละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิด แนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆ ของการศึกษาวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด ด้วยความรัก ความเข้าใจ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง และไม่สามารถหาคำใดมาบรรยายความรู้สึกนี้ได้ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.อิโรพุมิ ทานากะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ท่านได้เสียสละเวลา ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิด แนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆ ของการศึกษาวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด อีกทั้งยังให้โอกาสผู้วิจัยไปสังเกตการณ์ และปฏิบัติการที่ห้องปฏิบัติการระบบหัวใจและหลอดเลือดในผู้สูงอายุ ณ ประเทศสหรัฐอเมริกา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. วิจิต ฅนิงสุขเกษม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินนทร์ชัย อินทிரารณ และรองศาสตราจารย์ นพ. ปัญญา ไช่มุก กรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ตลอดจนคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียนเยาวลักษ์วิทยาลัยนบุรี และผู้บังคับการโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย และครูทุกท่านของโรงเรียน ที่ให้ความอนุเคราะห์ สถานที่และกลุ่มตัวอย่าง ให้ความร่วมมือและความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลงานวิจัยเป็นอย่างดี และผู้ที่มีความสำคัญมากที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้ปกครอง และเด็กนักเรียนทุกคนที่เข้าร่วมงานวิจัย ที่เสียสละเวลาอันมีค่า และให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดานายปราโมทย์ และมารดานางพัฒนา ชื่นศิริ และครอบครัวชื่นศิริ ที่อบรมสั่งสอน ให้โอกาสในการศึกษา คอยสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และผลักดันให้ผู้วิจัยศึกษาและดำเนินการทำวิจัยจนประสบความสำเร็จ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์และสุขภาพ และเพื่อน พี่น้องบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่สละเวลา คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา และกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนสำหรับดำเนินการทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้คุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดามารดา ครูบาอาจารย์ และทุกท่านที่อบรมสั่งสอน เลี้ยงดู ให้ความรู้ และการสนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
คำถามของการวิจัย.....	6
สมมติฐานของการวิจัย	6
ขอบเขตของการวิจัย	6
คำจำกัดความของการวิจัย.....	9
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	11
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
เด็กอ้วน	14
เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด	17
การเผาผลาญพลังงาน	27
การออกกำลังกาย.....	33
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
กรอบแนวคิดในการวิจัย	48
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	50

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	50
กลุ่มตัวอย่าง.....	50
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	51
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	58
การศึกษาที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน.....	59
กลุ่มตัวอย่าง.....	59
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	60
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	70
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	70
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	74
การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	77
ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน	77
ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (100, 130 and 170% VO ₂ peak) ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน	84
ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO ₂ peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	94

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน 105

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้าน
 สรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม
 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออก
 กำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak) 105

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการ
 ใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่ม
 ควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และ
 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)..... 123

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการ
 ทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์
 ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90%
 VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170%
 VO₂peak)..... 131

ตอนที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสาร
 ชีวเคมีในเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่ม
 ควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และ
 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)..... 138

ตอนที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสุข
 สมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม
 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออก
 กำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak) 150

ตอนที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้าน
 กิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออก
 กำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความ
 หนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก
 (170% VO₂peak)..... 159

ตอนที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้าน ความสนุกสนานของการออกกำลังกาย หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ระหว่างการออกกำลังกายที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak) และการออกกำลังกาย ที่ความหนักสูงมาก (90% VO ₂ peak)	165
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	167
การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลนับพลังงานของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติ และเด็กอ้วน	167
สรุปผลการวิจัย	168
อภิปรายผล	169
การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความ หนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน	172
สรุปผลการวิจัย	173
อภิปรายผล	174
สรุปผลการศึกษาวิจัยในภาพรวม	179
ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย	180
ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป	180
รายการอ้างอิง	181
ภาคผนวก	196
ภาคผนวก ก	197
ภาคผนวก ข	214
ภาคผนวก ค	216
ภาคผนวก ง	218
ภาคผนวก จ	224

ภาคผนวก ฉ	227
ภาคผนวก ซ	229
ภาคผนวก ซ	231
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	233



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสรีรวิทยาก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	77
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO ₂ peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	84
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO ₂ peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	85
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO ₂ peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	86
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO ₂ peak ของเด็กน้ำหนักปกติ.....	87
ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ ระดับความหนัก 100, 130 และ 170% VO ₂ peak ของเด็กอ้วน.....	88
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อนการออกกำลังกาย ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและ เด็กอ้วน.....	94
ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO ₂ peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	95
ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO ₂ peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	96

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน.....	97
ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กน้ำหนักปกติ.....	98
ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak ของเด็กอ้วน.....	99
ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม.....	105
ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak)	107
ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัว แปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....	109
ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสรีรวิทยาก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)	111
ตารางที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสรีรวิทยาหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)	113
ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม.....	123

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak)	124
ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO ₂ peak)	125
ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงาน ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO ₂ peak)	126
ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการใช้พลังงาน หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วง ที่ความหนักสูงมาก (170% VO ₂ peak)	127
ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของ กลุ่มควบคุม.....	131
ตารางที่ 24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak)	132
ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO ₂ peak).....	133
ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak) และกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO ₂ peak)	134

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak) และกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO ₂ peak).....	135
ตารางที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่ม ควบคุม.....	138
ตารางที่ 29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak).....	139
ตารางที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO ₂ peak).....	140
ตารางที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสารชีวเคมีในเลือด ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO ₂ peak).....	141
ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสารชีวเคมีในเลือด หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO ₂ peak).....	143
ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม.....	150
ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO ₂ peak).....	151

ตารางที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปร ด้านความสนุกสนานของกิจกรรมออกกำลังกายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่าง กิจกรรมการออกกำลังกายที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกิจกรรมการออก กำลังกายที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)	165
--	-----



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด	22
รูปที่ 2 กระบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต.....	29
รูปที่ 3 กระบวนการสลายไขมัน.....	31
รูปที่ 4 การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและไขมัน	32
รูปที่ 5 กรอบแนวคิดในการวิจัยของการศึกษาที่ 1	48
รูปที่ 6 กรอบแนวคิดในการวิจัยของการศึกษาที่ 2	49
รูปที่ 7 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของการศึกษาที่ 1	55
รูปที่ 8 ขั้นตอนการฝึกออกกำลังกาย	62
รูปที่ 9 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยของการศึกษาที่ 2	64
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็ก อ้วน.....	79
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็ก อ้วน.....	79
รูปที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็ก อ้วน.....	80
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติ และเด็กอ้วน.....	80
รูปที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็ก อ้วน.....	81
รูปที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนเอว-สะโพกก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนัก ปกติและเด็กอ้วน	81
รูปที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนการออกกำลังกายระหว่าง เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน	82

รูปที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนการออกกำลังกายระหว่าง
เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 82

รูปที่ 18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนการออกกำลังกาย
ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน..... 83

รูปที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนการออกกำลังกาย
ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน..... 83

รูปที่ 20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความ
หนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน 89

รูปที่ 21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่าง
การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak..... 89

รูปที่ 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการ
ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak..... 90

รูปที่ 23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายแบบสลับ
ช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและ
เด็กอ้วน..... 90

รูปที่ 24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายของเด็ก
น้ำหนักปกติ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130
และ 170% VO₂peak..... 91

รูปที่ 25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายของเด็ก
อ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130 และ
170% VO₂peak 91

รูปที่ 26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่
ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็ก
อ้วน..... 92

รูปที่ 27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนัก
ปกติ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130 และ
170% VO₂peak 92

รูปที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak..... 93

รูปที่ 29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน..... 100

รูปที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของเด็ก น้ำหนักปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับ ความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak 100

รูปที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของเด็ก อ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความ 100 130 และ 170% VO₂peak..... 101

รูปที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการ ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน..... 101

รูปที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่าง ก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak..... 102

รูปที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak 102

รูปที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน..... 103

รูปที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าของเด็กน้ำหนัก ปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความ หนัก 100 130 และ 170% VO₂peak 103

รูปที่ 37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2peak	104
รูปที่ 38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)	115
รูปที่ 39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)	115
รูปที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....	116
รูปที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....	116
รูปที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak)	117
รูปที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่ม ควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....	117
รูปที่ 44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบเอวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....	118
รูปที่ 45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบสะโพกก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2peak).....	118

รูปที่ 55 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพักก่อน และหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)..... 129

รูปที่ 56 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเผาผลาญไขมันขณะพัก ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak) 130

รูปที่ 57 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการเผาผลาญไขมันขณะพัก ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak) 130

รูปที่ 58 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ก่อน และหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)..... 136

รูปที่ 59 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak) 136

รูปที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ก่อนและ หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)..... 137

รูปที่ 61 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่ม ควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak) 145

รูปที่ 62 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคอเลสเตอรอล ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่ม ควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่ม ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak) 145

รูปที่ 81 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของกิจกรรมการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)..... 166



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เด็กอ้วน หมายถึงเด็กที่มีภาวะโภชนาการเกินหรือภาวะอ้วน ซึ่งสามารถประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบกับเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 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 จะมีแนวโน้มนำไปสู่ภาวะอ้วนในวัยรุ่นและผู้ใหญ่ (Frontini, Srinivasan, & Berenson, 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 ทำหน้าที่รักษาความสมดุลของหลอดเลือด ควบคุมการหดตัวและขยายตัวของหลอดเลือด (Vasoconstriction and Vasodilation) ประสานกับเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ ควบคุมกระบวนการแข็งตัวของเลือด เป็นตัวกั้น (Barrier) ระหว่างเลือดกับเซลล์ เป็นเซลล์เป้าหมาย (Target cells) สำหรับการตอบสนองของฮอร์โมนต่างๆ ด้านการอักเสบในหลอดเลือด (Inflammation) และช่วยในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Immune system) ซึ่งการทำงานที่ผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนัง

หลอดเลือด ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของหลอดเลือดหัวใจและสามารถพัฒนากลายเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจได้ เหตุสำคัญที่ทำให้เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดทำงานผิดปกติในคนอ้วนนั้น 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 ซ็อตและคณะ (Short et al., 2009) ได้รายงานไว้ในเด็กอ้วนจะพบการอักเสบและระยะเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือด อันส่งผลให้เกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดในวัยผู้ใหญ่ สำหรับความเสี่ยงในการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังในวัยใหญ่นั้น สามารถเพิ่มสูงขึ้นได้ หากอ้วนตั้งแต่วัยเด็ก (World Health Organization, 2015) ดังนั้น ภาวะอ้วนจึงควรได้รับการดูแลที่ถูกต้องตั้งแต่วัยเด็ก ซึ่งจะส่งผลให้ความเสี่ยงของการเกิดโรคอ้วนและโรคอื่นๆในวัยผู้ใหญ่ลดลงไปด้วย

ภาวะอ้วนมักจะมีสาเหตุหลักมาจากความไม่สมดุลระหว่างพลังงานที่ได้รับ (Energy intake) และการใช้พลังงานของร่างกาย (Energy expenditure) (American College of Sports Medicine, 2012; Bleich, Ku, & Wang, 2011) ซึ่งด้วยวิถีชีวิตของเด็กในปัจจุบัน ทำให้เด็กส่วนใหญ่มีการบริโภคที่ไม่เหมาะสม เช่น รับประทานอาหารที่ให้พลังงานสูงมากเกินไป หรือรับประทานอาหารที่มีปริมาณของน้ำตาลและไขมันมาก อีกทั้งยังมีกิจกรรมทางกายที่ลดลง จากการที่เด็กมีการเรียนพิเศษเพิ่มมากขึ้น เทคโนโลยีทำให้เด็กติดเกมมากขึ้น และการลดชั่วโมงวิชาพลศึกษาในโรงเรียน ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุที่ทำให้เด็กในยุคสมัยนี้มีภาวะอ้วนหรือน้ำหนักเกินได้ง่าย (World Health Organization, 2015) ที่ผ่านมามีงานวิจัยในต่างประเทศที่รายงานถึงผลดีและประโยชน์ของการควบคุมอาหาร และการออกกำลังกายในเด็กที่เป็นโรคอ้วน เพื่อควบคุมน้ำหนัก และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของหลอดเลือดที่เริ่มจะมีความผิดปกติในวัยเด็ก ในช่วงแรกรงานของงานวิจัยจะเน้นไปที่การควบคุมอาหารกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ซึ่งการทำกิจกรรมทั้งสองอย่างควบคู่กันไปได้ผลที่ดีกว่าในการเพิ่มประสิทธิภาพในการไหลเวียนโลหิต เพิ่มความยืดหยุ่นของหลอดเลือด และลดความหนาของผนังหลอดเลือด อีกทั้งยังลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือดอีกด้วย (Ribeiro et al., 2005; Woo et al., 2004a) ต่อมามีงานการวิจัยที่ศึกษาถึงผลของการออกกำลังกายรูปแบบต่างๆที่มีผลดีต่อเด็กอ้วน อาทิเช่น การใช้เกมส์กีฬาสลับกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Watts et al., 2004) การใช้เกมส์แทนการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Murphy et al., 2009) การออก

กำลังกายแบบผสมผสานระหว่างแอโรบิกกับใช้แรงต้าน (Farpour-Lambert et al., 2009; Park et al., 2012) ซึ่งพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ออกกำลังกายแล้วนั้นทุกกิจกรรมให้ผลดีกว่าในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานและโครงสร้างของหลอดเลือดและทำให้เด็กอ้วนมีสุขภาพที่ดีขึ้น ในปีค.ศ.2012 ปาร์คและคณะ (Park et al., 2012) ได้ศึกษาการออกกำลังกายแบบแอโรบิกแบบต่อเนื่องผสมกับการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้านเพื่อศึกษาการพัฒนาของหลอดเลือดในเด็กที่มีภาวะน้ำหนักเกิน โดยใช้การวิ่งบนลู่วิ่งแล้วจึงออกกำลังกายโดยการเคลื่อนไหวแบบสถานี ซึ่งใช้เวลาในการออกกำลังกายรวมทั้งสิ้น 80 นาที พบว่า ภายหลังจากออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ความหนาของผนังหลอดเลือด (Carotid intima-media) ลดลง อย่างไรก็ตามการออกกำลังกายแอโรบิกที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายค่อนข้างนาน อาจส่งผลให้เด็กเบื่อและหมดความสนใจในการออกกำลังกายได้ (Crisp et al., 2012b) ผู้วิจัยจึงสนใจที่ศึกษารูปแบบการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลาสั้นและได้ประสิทธิผลเท่ากันหรือดีกว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกแบบต่อเนื่องที่ใช้เวลานาน 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) โดยจะควบคุมช่วงออกกำลังกายอยู่ที่ความหนักประมาณ 85-90% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดสลับกับการพัก (Fisher et al., 2004; Little et al., 2011; Talanian et al., 2007) พบว่า สามารถเพิ่มการเผาผลาญไขมัน เพิ่มการใช้ออกซิเจนสูงสุดในการออกกำลังกายได้ (Talanian et al., 2007) แต่ยังใช้เวลาในการออกกำลังกายใกล้เคียงกับแอโรบิกแบบต่อเนื่อง ต่อมาจึงมีการลดระยะเวลาในช่วงออกกำลังกายและช่วงฟื้นฟูและเพิ่มรอบของการสลับแทน เช่น ปั่นจักรยานที่ความเร็ว 90%ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด 60 วินาที หลังจากนั้นพัก 60 วินาที ทำสลับกัน 10 รอบ พบว่า สามารถเพิ่มการอัตราการเผาผลาญได้ในคนที่โรคเบาหวานประเภทที่ 2 (Little et al., 2011) การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงนี้ ได้ผลดีเป็นอย่างมากในการพัฒนาสมรรถภาพทางกายและการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต (Tjonna et al., 2008; Trilk et al., 2011; Wisloff et al., 2007) อีกทั้งการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงด้วยลู่วิ่งไฟฟ้าและจักรยานไม่เป็นอันตราย

สำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจหลังจากได้ทำการผ่าตัดบายพาส (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) นอกจากนี้มีผู้รายงานถึงผลดีของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงด้วยจักรยานที่มีความหนักสูงมากซึ่งใช้ความหนักของการออกกำลังกายสูงถึง 170% Vo_2max และใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อย แต่สามารถเพิ่มการใช้พลังงานสูงสุดและเพิ่มการเผาผลาญได้ในกลุ่มวัยรุ่นชาย (Tabata et al., 1996)

เด็กควรจะมีกิจกรรมทางกายระดับปานกลางไปจนถึงหนักมาก เพื่อที่จะควบคุมน้ำหนัก และโดยต้องมีการเพิ่มความสนุกสนานให้กับการออกกำลังกาย (Centers for Disease Control and Prevention, 2011) วิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกา (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 การเพิ่มการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่

ความหนักสูงมากใช้พลังงานในการออกกำลังกายมากกว่า โดยที่อัตราการเผาผลาญไขมันไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่อง และเด็กชื่นชอบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากกว่าการออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่องที่ใช้ระยะเวลายาวนานกว่า

จากที่กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นได้ว่ารูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงและสูงมากมีประโยชน์สำหรับการเพิ่มสมรรถภาพทางกายและการเผาผลาญพลังงาน ใช้ระยะเวลาสั้นไม่ทำให้เด็กเบื่อ และก่อให้เกิดความสนุกสนาน แต่ยังไม่มีความรู้ใดที่ศึกษาเปรียบเทียบการออกกำลังกายดังกล่าว ว่าควรมีความหนักสูงเท่าไรและอย่างไรจึงจะมีต่อการเผาผลาญพลังงานและการทำงานของหลอดเลือดที่ชัดเจนในเด็กอ้วน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (High intensity interval training) กับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก (Supra-high intensity interval training) มาใช้ในการควบคุมองค์ประกอบของร่างกายและพัฒนาสมรรถภาพของหัวใจและหลอดเลือดสำหรับเด็กที่มีภาวะอ้วน โดยคาดว่า การออกกำลังกายทั้งสองแบบจะส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการเผาผลาญขณะพัก อัตราการเผาผลาญไขมัน ควบคุมน้ำหนัก ช่วยส่งเสริมให้เด็กอ้วนมีสุขสมรรถนะที่ดี และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของหลอดเลือดได้ ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้เด็กอ้วนได้ออกกำลังกายอย่างมีประสิทธิภาพต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้ประโยชน์จากการออกกำลังกายที่ยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษานี้ แบ่งออกเป็น 2 การศึกษา โดยวัตถุประสงค์ของแต่ละการศึกษา ดังนี้

การศึกษาที่ 1

เพื่อเปรียบเทียบผลสัมพัทธ์ของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

การศึกษาที่ 2

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

วัตถุประสงค์รอง

เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากที่มีต่อองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีในเลือด และสุขสมรรถนะในเด็กอ้วน

คำถามของการวิจัย

การศึกษาที่ 1

การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันส่งผลับปล้นต่อการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

การศึกษาที่ 2

1. การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากส่งผลต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

2. การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากส่งผลต่อองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีในเลือด และสุขสมรรถนะในเด็กอ้วนแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

สมมติฐานของการวิจัย

การศึกษาที่ 1

การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันส่งผลับปล้นต่อการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วนแตกต่างกัน

การศึกษาที่ 2

1. การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากส่งผลต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วนแตกต่างกัน

2. การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากส่งผลต่อองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีในเลือด และสุขสมรรถนะในเด็กอ้วนแตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลับปล้นของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอาสาสมัครเป็นเด็กชาย อายุระหว่าง 8-12 ปี (Crisp et al., 2012a) ที่มีน้ำหนักปกติและมีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกาย เปรียบเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 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 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (100, 130 and 170% VO₂peak)

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) ประกอบด้วย

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

2.2.2 ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน (Energy expenditure) ได้แก่ การใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย (Energy expenditure during exercise) สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย (VO₂peak during exercise) และอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกาย (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. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอาสาสมัครเป็นเด็กชาย อายุระหว่าง 8-12 ปี (Crisp et al., 2012a) ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบกับเกณฑ์อ้างอิง การเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 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 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (90% VO₂peak)]

3. กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก [170 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% VO₂peak)]

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

2. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรต้น (Independent variables) เป็นการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (90% VO₂peak) และการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170 เปอร์เซ็นต์ของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% VO₂peak)

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variables) ประกอบด้วย

2.2.1 ตัวแปรทางสรีรวิทยา (Physiological variables) ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนักดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI) และองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ได้แก่ ไขมัน และมวลกล้ามเนื้อ (Muscle mass) รอบเอว รอบสะโพก สัดส่วนเอว-สะโพก (Waist-hip ratio) อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Resting heart rate: resting HR) 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) ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media Thickness: IMT) บริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV)

2.2.4 ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลในเลือด (Fasting blood sugar) คอเลสเตอรอล (Cholesterol) ไฮเดนซีทีไลโปโปรตีน (High density lipoprotein: HDL) โลวเดนซีทีไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein: LDL) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) เลปติน (Leptin) อะดิพอนคติน (Adiponectin) ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) รีแอกทีฟออกซิเจนสปีชีส์ 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 ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบกับเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 5-18 ปี โดยมีค่าดัชนีมวลกายเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน (Z score) มากกว่าหรือเท่ากับ +2S.D.

การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval training) หมายถึง การฝึกออกกำลังกายที่มีช่วงสลับระหว่างช่วงที่ออกกำลังกายหนักกับช่วงที่ออกกำลังกายเบาหรือหยุดพัก

การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High intensity interval training: HIIT) หมายถึง การฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักในการออกกำลังกายน้อยกว่า 100

เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (<100% VO₂peak) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (90% VO₂peak) 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 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\geq 100\%$ VO₂peak) (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 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (100, 130 and 170% VO₂peak) 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 ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (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) ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound) (Meyer et al, 2006)

การใช้พลังงาน หมายถึง ความสามารถในการเผาผลาญพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) โปรตีน (protein) และไขมัน (fat) ของร่างกาย เพื่อใช้ในการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกาย เจริญเติบโตและซ่อมแซมร่างกาย และใช้เป็นพลังงานในการเคลื่อนไหวเพื่อทำกิจกรรมทางกายต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 peak) การใช้พลังงานขณะพัก (Resting metabolic rate) ปริมาณการเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) และคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate oxidation) (American College of Sports Medicine, 2012; Kamen, 2001; นัยนา บุญทวีวัฒน์, 2546; พิชรา วีระกะลัส, 2549)

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

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงการตอบสนองของการทำงานหลอดเลือดต่อการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากแบบฉับพลันในเด็ก
2. ทำให้ทราบถึงการตอบสนองที่แตกต่างกันของการทำงานหลอดเลือดต่อการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันแบบฉับพลันในเด็ก
3. ทำให้ทราบถึงการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายที่แตกต่างกันต่อการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันในเด็ก
4. ทำให้ทราบถึงผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้ออกซิเจน 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
 - การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต
 - 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 (วัยเจริญพันธุ์) (World Health Organization, 2014)

ภาวะอ้วนในเด็ก

เกณฑ์การจำแนกประเภทของน้ำหนักตัวในเด็ก

ประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบกับเกณฑ์อ้างอิง 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 1 ใน 3 ของจำนวนประชากร ที่มีน้ำหนักเกินและมีภาวะอ้วน อีกทั้งในปี ค.ศ.2013 จากจำนวนประชากรเด็กที่อายุต่ำกว่า 5 ปีทั่วโลก มีภาวะอ้วนมากกว่า 42 ล้านคน (World Health Organization, 2015)

สำหรับในประเทศไทยจากการสำรวจของกระทรวงสาธารณสุข 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 หรือเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 36 ส่วนเด็กวัยเรียนอายุ 6-13 ปี อ้วนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 5.8 เป็นร้อยละ 6.7 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.5 (กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2547) มูลนิธิสาธารณสุขแห่งชาติ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนได้ร่วมกันวิเคราะห์ข้อมูลน้ำหนักและส่วนสูงของเด็กชั้นประถมศึกษา 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) พ่อหรือแม่คนใดคนหนึ่งที่มีภาวะน้ำหนักเกินหรือเป็นโรคอ้วน จะส่งผลให้ลูกเป็นเด็กอ้วนถึงร้อยละ 40 แต่ถ้าหากทั้งพ่อและแม่ มีภาวะน้ำหนักเกินหรือเป็นโรคอ้วน ทั้งคู่ ลูกจะมีโอกาสเป็นเด็กอ้วนสูงถึงร้อยละ 80 ไม่เพียงแต่พันธุกรรมเท่านั้น สภาพแวดล้อม การดำเนินชีวิต และการเลี้ยงดูยังส่งผลต่อการอ้วนของเด็กอีกด้วย

2. อัตราการเผาผลาญ (Metabolic Rate) ความสมดุลระหว่างการใช้พลังงาน การลดลงของการเผาผลาญ

3. กิจกรรมทางกายน้อย ผู้ที่มีกิจกรรมทางกายน้อย มีความเสี่ยงที่จะเป็นโรคอ้วนมากกว่าผู้ที่มีกิจกรรมทางกายมาก ถึงแม้ว่าผู้ที่มีกิจกรรมทางกายมากมีสัดส่วนการรับพลังงานมากกว่าก็ตาม

4. ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม การเลี้ยงดูของครอบครัว ระยะเวลาในการดูโทรทัศน์ที่เพิ่มขึ้น

5. การบริโภค การบริโภคอาหารที่มากเกินไป หรือไม่สมดุลกับพลังงานที่ใช้ออกไปในแต่ละวัน เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เป็นโรคอ้วนในปัจจุบัน

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

1. เสียชีวิตก่อนวัยอันควร อันเกิดมาจากโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ ในวัยรุ่นและผู้ใหญ่
2. มีระดับไขมันในเลือดสูงเกินปกติ ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็ง (Atherosclerosis) และโรคความดันโลหิตสูง (Hypertension) ซึ่งเป็นปัจจัยที่เพิ่มโอกาสการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Cardiovascular disease)

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

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

5. น้ำหนักตัวที่มากเกินไป และการพัฒนาของกระดูกโครงร่างยังไม่พัฒนาอย่างเต็มที่ ส่งผลให้มีโอกาสเกิดความผิดปกติของกระดูกและข้อ เช่น กระดูกขาโก่ง เป็นต้น

6. เกิดความผิดปกติของตับและท่อน้ำดี ส่งผลให้เกิดนิ่วในถุงน้ำดี ร่วมกับภาวะเม็ดเลือดแดงแตกเรื้อรัง และมีไขมันสะสมในตับมากขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่เพิ่มโอกาสเกิดโรคไขมันพอกตับ (Hepatic steatohepatitis)

7. มีความผิดปกติด้านจิตใจและสังคมอันเกิดมาจากโรคอ้วน ทำให้แยกตัวจากเพื่อน ขาดความมั่นใจ ภาวะซึมเศร้า มีปัญหาเกี่ยวกับสมาชิกในครอบครัว ผลการเรียนไม่ดี เป็นต้น

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

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

2. การควบคุมการรับประทานอาหาร พฤติกรรมการรับประทานอาหารมีอิทธิพลมาจากร่างกาย สิ่งแวดล้อม และสภาวะทางอารมณ์เป็นหลัก ฉะนั้นการที่เราจะควบคุมการรับประทานอาหารได้นั้น เราจะต้องทราบถึงสาเหตุของการรับประทานมากเกินไปกว่าความต้องการเสียก่อน และแก้ไขที่ต้นเหตุต่างๆ จึงจะเป็นการลดน้ำหนักที่เหมาะสมและถาวร ในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม การรับประทานนั้น ในบางครั้งผู้ที่ต้องการลดน้ำหนักอาจจะต้องมีการสนับสนุนหรือแรงกระตุ้นจากบุคคลรอบข้าง เช่น คนในครอบครัว เพื่อน หรือนักโภชนาการ เป็นต้น เพื่อให้ผลดีในการลดน้ำหนัก

3. การออกกำลังกาย การออกกำลังกายที่เหมาะสมควบคู่กับการควบคุมอาหาร เป็นการลดน้ำหนักที่เหมาะสมและยั่งยืนที่สุด เนื่องจากการออกกำลังกายเป็นการเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบต่างๆภายในร่างกาย ทำให้อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกยังเป็นการออกกำลังกายที่ร่างกายดึงเอาพลังงานจากไขมันออกมาใช้ได้มากยิ่งขึ้น

เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด

เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดหรือเซลล์เอนโดทีเลียม (Endothelium) คือเซลล์ที่อยู่บริเวณชั้นในสุดของหลอดเลือด เป็น สความัสเซลล์ (Squamous cell) รูปร่างคล้ายภูเขา มีความหนา 0.2-0.4 ไมโครเมตร มีลักษณะเป็นเซลล์ชั้นเดียวเรียงต่อกันเป็นแถว (Monolayer) อยู่บนเยื่อหุ้ม (Basement membrane) ด้านบนของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ หลอดเลือดชนิดต่างกันจะมีโครงสร้างของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดต่างกัน ในสภาวะปกติเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดจะไม่มีการแบ่งตัว แต่จะสามารถแบ่งตัวเพื่อทดแทนเซลล์ที่หมดอายุหรือหลุดลอกออกไปได้ เซลล์ที่แบ่งตัวทดแทนจะเกิดจากการแบ่งตัวของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดข้างเคียง และเซลล์ชนิดอื่นๆ เช่น เซลล์ที่ยังไม่พัฒนาไปทำหน้าที่เฉพาะ (Undifferentiated cell) ในชั้นล่างของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด ไฟโบรบลาสต์ (Fibroblast) เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle cell) และ เซลล์เม็ดเลือดในระบบไหลเวียน

(Circulating blood cell) เป็นต้น (Caterina & Libby, 2007; พัจรินทร์ เทพอารีนันท์, 2555; ศุภชัย ไชยธีระพันธ์ และสมชาย เอี่ยมอ่อง, 2540)

หน้าที่ของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด

1. ทำงานประสานกับเซลล์กล้ามเนื้อเรียบโดยทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณจากสิ่งเร้าต่างๆ แล้วแปลผลและส่งสัญญาณที่แปลผลแล้วกลับมายังเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ

2. มีหน้าที่รักษาความสมดุลของหลอดเลือด ควบคุมการหดตัวและขยายตัวของหลอดเลือด (Vasoconstriction and Vasodilation) โดยทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเกล็ดเลือด เซลล์กล้ามเนื้อเรียบ เม็ดเลือดขาวโมโนไซต์ และแมคโครฟาจ เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดจะรักษาสมดุลโดยการควบคุมการสร้างสารกระตุ้นการหดตัวของหลอดเลือด ได้แก่ สารก่อการแข็งตัวของหลอดเลือด (Pro-thrombotic and Pro-atherogenic) และ สารก่อการอักเสบ (Pro-inflammatory) เช่น ซีแลคติน (Selectins) อินเตอร์เซลล์ลูการ์ เอ็ดฮีชัน โมเลกุล วัน (Intercellular adhesion molecule-1: ICAM-1) วาสคูลาร์ เซลล์ เอ็ดฮีชัน โมเลกุล วัน (Vascular cell adhesion molecule-1: VCAM-1) อินเตอร์ลิวคิน เอ็ด (Interleukin-8: IL-8) โมโนไซต์ เคโมแอ็ทแทรกแตนท์ โพรตีน วัน (Monocyte chemoattractant protein-1: MCP-1) เพลทเล็ต แอคติเวตติ้ง แฟคเตอร์ (Platelet-activating factor: PAF) เอ็นโดทีลีน วัน (Endothelin-1: ET-1) แองจิโอเทนซิน ทู (AngiotensinII: AngII) ทรอมบิโน แอคติเวตเทเบิล ไฟบริโนไลซิส อินฮิบิเตอร์ (Thrombin-activatable fibrinolysis inhibitor: TAFI) พลาสมีโนเจน แอคติเวตเตอร์ อินฮิบิเตอร์ วัน (Plasminogen activator inhibitor-1: PAI-1) และวาสคูลาร์ เอ็นโดทีเลียล เวกโตร์ แฟคเตอร์ (Vascular endothelial growth factor: VEGF) เป็นต้น เพื่อให้มีปริมาณที่พอเหมาะสำหรับสารที่กระตุ้นการคลายตัวของหลอดเลือด ได้แก่ สารต้านการอักเสบ (Anti-inflammatory) สารต้านการแข็งตัวของเลือด (Anti-thrombotic and Anti-atherogenic) เช่น ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) ฟลอสตาไซคลิน (Prostacyclin: PGI₂) เอ็นโดทีเลียลไฮเปอร์โพลาไรซิง แฟคเตอร์ (Endothelium-derived hyperpolarizing factor: EDHF) และทรอมโบโมดูลิน (Thrombomodulin) เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมความดันโลหิตด้วย

3. ควบคุมกระบวนการแข็งตัวของเลือด เป็นกระบวนการละลายเลือดที่แข็งตัวหรือลิ่มเลือด ทำให้เลือดคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือด (Thrombosis and fibrinolysis)

4. ทำหน้าที่เป็นตัวกั้น (Barrier) ระหว่างเลือดกับเซลล์ เป็นตัวเลือกผ่านระหว่างโพรงของหลอดเลือดกับบริเวณรอบๆเนื้อเยื่อ ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆระหว่างเซลล์และเลือด

ควบคุมการขนส่งเม็ดเลือดขาวเข้าและออกกระแสเลือด และควบคุมสมดุลของสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ทั้งภายในและภายนอกหลอดเลือด โดยควบคุมการขนส่งน้ำและสารละลายต่างๆ

5. เป็นเซลล์เป้าหมาย (Target cells) สำหรับการตอบสนองของฮอร์โมนต่างๆ
6. ช่วยในการเปลี่ยนแปลงสาร แองจิโอเทนซิน วัน (Angiotensin I) ไปเป็น แองจิโอเทนซินทู (AngiotensinII)
7. การสร้างหลอดเลือดใหม่ (Angiogenesis)
8. การต้านการอักเสบในหลอดเลือด (Inflammation)
9. ช่วยในการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน (Immune system) (Caterina & Libby, 2007)

สารชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด

ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO)

ไนตริกออกไซด์เป็นสารที่สร้างจากเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด มีผลทำให้หลอดเลือดคลายตัว ค้นพบในปีค.ศ. 1980 โดย เฟิชกือตต์ (Furchgott) และ ซาวาซสกี (Zawadzki) ได้ทำการทดลองค้นคว้าจนทราบว่า ไนตริกออกไซด์มีคุณสมบัติช่วยให้หลอดเลือดคลายตัว เช่นเดียวกับกับอะเซทิลโคลีน (Acetylcholine) ไนตริกออกไซด์เป็นสารที่เกิดจากแอลอาร์จินิน (L-arginine) โดยอาศัยปัจจัยร่วม นิโคตินาไมด์ อะดรีนิน ไดนิวคลีโอไทด์ ฟอสเฟต (Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate: NADPH) และมีเอนไซม์ไนตริกออกไซด์ซินเทส (Nitric oxide synthase: NOS) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเปลี่ยนเป็นไนตริกออกไซด์ และซิทรูลีน (Citrulline)

ไนตริกออกไซด์ซินเทส เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไนตริกออกไซด์ มี 3 รูปแบบ ได้แก่ เบนนอส หรือ นิรอนนอส (Brain NOS หรือ Neuronal NOS : bNOS, nNOS, NOS I) พบมากที่สุดสมอง และกล้ามเนื้อลาย และยังพบในระบบประสาทส่วนปลาย แมโครฟาจ นอส (Macrophage NOS หรือInducible: iNOS, NOS II) พบในแมโครฟาจในหลอดเลือด กล้ามเนื้อเรียบ และ เอ็นโดทีเลียม นอส (Endothelial NOS: eNOS, NOS III) พบในเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด อาจพบบ้างในเกล็ดเลือด เม็ดเลือดขาว นิวโทรฟิลล์ สมอส่วนฮิปโปแคมปัส และเซลล์ท่อไต และพบว่าเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแรงเค้นภายในหลอดเลือด (shear stress) จะสร้างและหลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้หลอดเลือดขยายตัว และลดการเกาะกลุ่มของเม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด

ไนตริกออกไซด์มีสถานะเป็นก๊าซ ที่ไม่มีการสะสม โดยจะซึมผ่านอย่างอิสระสู่ตำแหน่งที่ออกฤทธิ์ มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 3-5 วินาทีภายหลังจากที่เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดสร้างขึ้น ออกฤทธิ์ที่เซลล์ทำให้เกิดการกระตุ้นของ กัวนิลไซเครส (Guanylate cyclase) ซึ่งทำให้มีไซคลิกจีเอ็มพี (Cyclic GMP) เพิ่มขึ้น จะกระตุ้นเอนไซม์โปรตีนไคเนส (Protein kinase) เกิดปฏิกิริยา

พอสฟอเลชั่น กับสารโปรตีน มีผลทำให้แคลเซียมเคลื่อนที่ออกจากไซโตพลาสซึมของเซลล์เพิ่มขึ้น ทำให้แคลเซียมในเซลล์มีปริมาณลดลง เกิดการทำงานของเซลล์ในด้านต่างๆ เช่น การหดตัว การคัดหลั่ง การเคลื่อนที่ของเซลล์ เป็นต้น ไนตริกออกไซด์ ที่หลังจากเซลล์ในกระบวนการอักเสบนั้น สามารถทำหน้าที่เป็นสารที่มีพิษต่อเซลล์ จากการทำปฏิกิริยากับธาตุเหล็ก เกิดการปล่อยสารอนุมูลอิสระของไนตริกออกไซด์ เช่น เพอร์ออกซิไนไตรท์ (Peroxynitrite) ไฮดรอกซิล และเรดิคอล (Hydroxyl radical) สามารถทำลายเนื้อเยื่อได้

ไนตริกออกไซด์มีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมแรงตึงตัวของหลอดเลือดในขณะพัก โดยควบคุมสมดุลในการสร้างสารที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการหดตัว และคลายตัวของหลอดเลือดให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ส่งผลให้หลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำส่วนกลางขยายตัว และช่วยในการไหลเวียนเลือดในหลอดเลือดขนาดเล็ก ซึ่งการสร้างและหลั่งไนตริกออกไซด์จะถูกควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติของระบบไหลเวียนเลือดและระบบประสาท โดยจะขึ้นอยู่กับความต้องการปริมาณเลือดของเนื้อเยื่อในขณะนั้นๆ หากเนื้อเยื่อมีความต้องการเลือดเพิ่มขึ้น หรือขาดเลือดไปเลี้ยงบริเวณนั้น จะเกิดการกระตุ้นการหลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทำให้หลอดเลือดบริเวณนั้นขยายตัวเพื่อเพิ่มปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนนั้น ดังนั้นภาวะขาดเลือดจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มการขยายตัวของหลอดเลือด และอีกปัจจัยหนึ่งที่กระตุ้นให้เกิดการหลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มมากขึ้น คือ แรงเค้นในหลอดเลือดหรือแรงที่กระทำต่อผนังหลอดเลือด (Shear stress) ที่เกิดจากการไหลเวียนเลือดที่เพิ่มขึ้น ในการหลั่งไนตริกออกไซด์นั้นอาจต้องอาศัยสารที่สร้างจากเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงหลายชนิด เช่น อะเซทิลโคลีน (Acetylcholine) เบรดีไคนิน (Bradykinin) แองจิโอเทนซินทู (Angiotensin II) แคทีโกลามีน (Catecholamines) และวาโซเพรสซิน (Vasopressin) ซึ่งหากมีความผิดปกติเกิดขึ้นจากการสร้างและหลั่งไนตริกออกไซด์ อาจส่งผลให้เกิดโรคต่างๆ เช่น ความดันโลหิตสูง หลอดเลือดสมองตีบ โรคหลอดเลือดต่างๆ เป็นต้น (Prakhinkit et al., 2014)

เลปติน (Leptin)

เลปติน เป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่ง ที่สร้างขึ้นจากเซลล์ไขมัน ซึ่งจะไปออกฤทธิ์ที่สมองส่วนไฮโปทาลามัส (Hypothalamus) กำหนดความรู้สึกหิวและอิ่มของร่างกาย ในคนอ้วนเลปตินจะถูกสร้างขึ้นในปริมาณมาก แสดงให้เห็นถึงปริมาณของไขมันในร่างกายที่มีอยู่มาก ในทางกลับกันคนที่มีปริมาณไขมันในร่างกายน้อย ก็จะมีปริมาณเลปตินน้อยตามไปด้วย อันที่จริงการที่มีปริมาณของเลปตินสูงนั้น จะส่งผลให้ร่างกายเพิ่มการเผาผลาญ และควบคุมให้มีการรับประทานอาหารที่น้อยลง

การทำงานของเลปตินที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายนั้นจำเป็นที่จะต้องอาศัยโปรตีนอื่นๆ ด้วย โดยหลังจากที่เลปตินจับกับรีเซปเตอร์ที่อยู่ในสมองส่วนไฮโปทาลามัสแล้ว

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

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

อะดิโปเนคติน (Adiponectin)

อะดิโปเนคติน มีบทบาทสำคัญในการควบคุมระบบเมตาบอลิซึมของกลูโคสและไขมันในร่างกาย โดยพบว่าโปรตีนชนิดนี้มีหน้าที่สำคัญในการเพิ่มความไวของอินซูลินในกล้ามเนื้อลายและตับ จึงส่งผลในการลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี โปรตีนอะดิโปเนคตินสามารถตรวจพบได้ทั่วไปในร่างกาย โดยมีปริมาณอยู่ในช่วงระหว่าง 5 ถึง 30 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

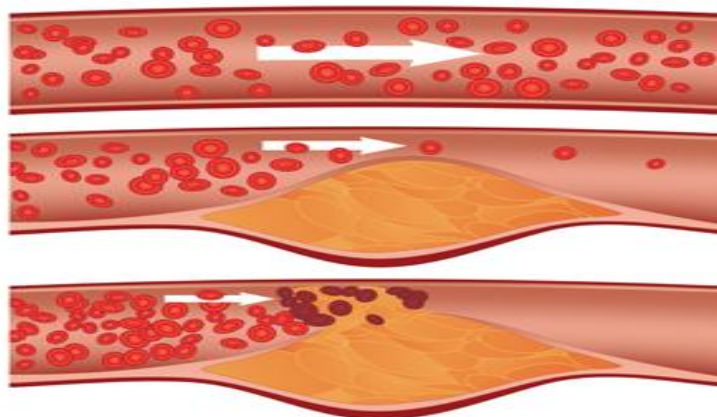
จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาของพอตตี และคณะ (Pottie et al., 2006) พบว่าอะดิโปเนคตินมีผลต่อการจับตัวของเซลล์เม็ดเลือดขาว (Monocyte) กับเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (Endothelium) การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ไมอีลอยด์ (Myeloid cell) การสร้างไซโตไคน์ของแมโครฟาจ (Macrophage) และการจับกินสิ่งแปลกปลอมของเม็ดเลือดขาว (Phagocytosis) ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้มีผลเกี่ยวข้องกับการก่อตัวของคราบ (Plaque formation) ของหลอดเลือด และความแข็งตัวของหลอดเลือด ซึ่งก่อให้เกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็งและอัมพาต (Atherosclerosis) ซึ่งในการศึกษาความสัมพันธ์ของอะดิโปเนคตินกับโรคหลอดเลือดหัวใจ พบว่าระดับโปรตีนอะดิโปเนคตินลดลงกว่าระดับปกติ (Noriyuki et al., 2000)

การวิเคราะห์หาปริมาณอะดิโปเนคตินในเลือด ปัจจุบันใช้วิธีอีไลซ่า (ELISA) และเรดิโออิมมูโนเอสเสย์ (Radioimmunoassay) โดยใช้หลักการของปฏิกิริยาระหว่างแอนติเจน (Antigen) กับแอนติบอดี (Antibody) ซึ่งค่าปกติของอะดิโปเนคตินในเลือดอยู่ที่ >7.5 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

สารอนุมูลอิสระ (Free radical)

สารอนุมูลอิสระ หมายถึง อะตอมหรือโมเลกุล หรือสารประกอบที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอยู่ในออร์บิทัลวงนอกสุด รวมถึงอะตอมของไฮโดรเจนและไอออนของโลหะทรานซิชันเป็นส่วนใหญ่และโมเลกุลของออกซิเจนซึ่งมีอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน แต่ละอิเล็กตรอนจะแยกกันอยู่เป็นอิสระ 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 ดีเอ็นเอ ซึ่งสารชีวโมเลกุลเหล่านี้จะมีอิเล็กตรอนหลุดออกได้ง่าย สารอนุมูลอิสระจึงสามารถเข้าไปรวมตัวหรือจับตัวด้วยได้ง่าย ซึ่งจะทำให้สารชีวโมเลกุลดังกล่าวมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป และเกิดการทำหน้าที่ที่ผิดปกติ อันนำไปสู่การเกิดโรคได้ ซึ่งมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde) ก็เป็นหนึ่งในสารอนุมูลอิสระ



รูปที่ 1 ความผิดปกติของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด
ที่มา: โคมินิเยเร็ก (Kominiarek, 2015)

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

เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดมีลักษณะทางกายวิภาคและหน้าที่ทางสรีรวิทยาที่สลับซับซ้อน การเกิดอันตรายต่อเซลล์เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อ การคงสภาพสมดุล (Homeostasis) ตามหน้าที่ตามธรรมชาติ ซึ่งร่างกายหรือเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดเองอาจสามารถแก้ไขจนกลับสู่สภาพสมดุลตามเดิม หรือต้องปรับตัวไปอยู่ในสภาพใหม่ที่มีผลเสียต่อร่างกายน้อยที่สุด หรืออาจเสียหายจนมีพยาธิสภาพที่เด่นชัด โดยการปรับเปลี่ยนไปสู่สภาพใหม่ และไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้นั้น เป็นพื้นฐานของการเกิดโรคเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือดแดงแข็ง (Atherosclerosis) โรคความดันโลหิตสูง (Hypertension) โรคหัวใจขาดเลือด (Ischemic heart disease) เป็นต้น เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดเมื่อถูกทำลาย จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด

ความผิดปกติของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด ในกรณีที่ไม่รุนแรงนักจะทำให้เซลล์ทำงานเบี่ยงเบนไปจากปกติหรือทำให้เซลล์ปรับตัวไปสู่สถานะใหม่ แต่ถ้าความผิดปกติรุนแรงหรือเกิดอยู่นาน เรื้อรังจะทำให้เซลล์ตายในที่สุด ซึ่งความผิดปกติของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

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

2. การบาดเจ็บที่ไม่ทำให้เซลล์ตาย (Non-denudation injury) หมายถึง ความผิดปกติของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดที่ไม่รุนแรง โดยอาจมีหรือไม่มี การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาค การเบี่ยงเบนการทำงาน หมายถึง การที่เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดทำงานเกินขอบเขตหน้าที่ โดยอาจเปลี่ยนแปลงเสียหายเฉพาะบางหน้าที่หรือทุกหน้าที่ก็ได้ หรือเกิดการเสีย สมดุลย์ของหน้าที่ต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน ความผิดปกติของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดที่ไม่ทำให้เซลล์นั้นตาย (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) เกิดการสะสมของลิพิดภายในเซลล์ มีการเกาะติดของเม็ดเลือดขาวหรือเกล็ดเลือดที่ผนังเซลล์ การเสื่อมของส่วนประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ การเสียสมดุลในการควบคุมการหดและขยายตัวของหลอดเลือด (Vasomotor tone) กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth muscle cell) เป็นต้น

การสูญเสียการทำงานของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (Endothelial dysfunction) เกิดจากการทำงานที่ผิดปกติของกระบวนการทางชีวเคมี และมีปัจจัยร่วมอื่นอีกด้วย เช่น การเกิดภาวะช็อกที่มีการติดเชื้ออย่างรุนแรง (Septic shock) ความดันโลหิตสูง ภาวะที่มีไขมันกลุ่มคอเลสเตอรอลในเลือดสูง (Hypercholesterolaemia) เบาหวาน (Diabetic) โรคอ้วน (Obese) สูบบุหรี่ มลพิษทางอากาศ เป็นต้น หากเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดสูญเสียการทำงาน (Endothelial dysfunction) ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงการขยายและหดตัวของหลอดเลือด ยับยั้งการหลั่งและฤทธิ์ของสารไนตริกออกไซด์ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (NO hydrogen peroxide) เกิดการอักเสบของผนังหลอดเลือด ส่งผลให้เกิดหลอดเลือดตีบและอุดตัน

สาเหตุที่ทำให้เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดเกิดความผิดปกติ ได้แก่

1. เกิดจากเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดถูกแรงกระทำโดยตรง (Direct trauma) จนถึงขั้นที่ทำให้เซลล์ตายและหลุดลอกออกไป
2. เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดขาดเลือดไประยะเวลาหนึ่ง (Reperfusion Injury) ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึมอย่างรุนแรง ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่การทำงาน และตายได้
3. เกิดจากการฉายเคมีรังสี (Photochemical injury) ทำให้เกิดการสูญเสียหน้าที่การทำงาน และตายได้
4. เกิดจากไขมัน โดยเฉพาะ คอเลสเตอรอล (Cholesterol) และแอลดีแอล (LDL) ซึ่งโมเลกุลของไขมันเหล่านี้ ส่งเสริมให้เม็ดเลือดขาวเกาะติดกับผนังเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดได้ง่าย กระตุ้นให้เกล็ดเลือดจับตัวบริเวณผนังเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด ยับยั้งเอ็นโดทีเลียมดีเพนเด้นรีแลกเซชัน (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 ลดเอ็นโดทีเลียมดีเพนเด้นรีแลกเซชัน (Endothelium-dependent relaxation) เป็นต้น
9. เกิดจากการสูบบุหรี่ สารนิโคตินกระตุ้นให้เกิดเอ็นโดทีเลียมดีเพนเด้นคอนแทรกชัน (Endothelium-dependent contractions) ทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไป และบุหรี่สามารถเปลี่ยนแอลดีแอล (LDL) เป็นออกไซด์แอลดีแอล (Oxidized LDL)

วิธีการประเมินการทำงานของหลอดเลือด

การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD)

การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน วัดโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์ ทำการวัดการขยายตัวสูงสุดของหลอดเลือดในช่วงที่หลอดเลือดคลายตัว (diastolic) ขณะพัก ขณะหลอดเลือดหดตัวเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะหลอดเลือดขยายตัวหลังเปิดการปิดกั้นการไหลของเลือด และขณะหลอดเลือดกลับสู่ภาวะปกติหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณแขนท่อนล่าง ทำการอัลตราซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งข้อพับแขนด้านหน้า (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)

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

เมื่อ D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือดขณะพัก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของหลอดเลือดภายหลังถูกปิดกั้นการไหลของเลือด หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT)

ความหนาของผนังหลอดเลือด วัดโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์บริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง (Common carotid artery) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย เอียงศีรษะไปทางซ้าย 45 องศา ทำการอัลตราซาวด์หลอดเลือดแดงของลำคอด้านขวา 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) ทำการคำนวณค่าคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) จากสูตร ดังต่อไปนี้ (Sugawara et al., 2005)

$$\text{baPWV (cm/sec)} = \frac{\text{Length}}{\text{Brachial-ankle time delay}}$$

เมื่อ Length คือ ความยาวระหว่างจุดที่วัดบริเวณต้นแขนและข้อเท้า หน่วยเป็นเซนติเมตร

Brachial-ankle time delay คือ เวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด หน่วยเป็นวินาที

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

สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) 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 บุญทวีวัฒน์, 2546; พัชรา วีระกะลัส, 2549)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเผาผลาญพลังงาน (McArdle, Katch, & Katch, 2006)

1. กิจกรรมทางกาย (Physical Activity) มีความสำคัญในการเผาผลาญพลังงานในมนุษย์ โดยในคนทั่วไปมีอัตราการเผาผลาญพลังงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 10 เท่าของอัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพัก ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 2,500-3,000 กิโลแคลอรีต่อวัน แต่ในนักกีฬาระดับโลกอย่าง ไมเคิล เฟลป์ (Michael Phelps) นักกีฬาว่ายน้ำ 18 เหรียญทองกีฬาโอลิมปิก มีอัตราการเผาผลาญพลังงานสูงกว่าคนปกติถึง 4 เท่า หรือประมาณ 12,000 กิโลแคลอรีต่อวัน เนื่องมาจากการฝึกออกกำลังกายอย่างหนักโดยเฉลี่ยวันละ 5 ชั่วโมงต่อวัน และฝึก 6 วันต่อสัปดาห์
2. การผลิตความร้อนจากอาหารที่ได้รับ (Dietary-induced thermogenesis) ร่างกายของมนุษย์ใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นในกระบวนการคลุกเคี้ยว ย่อย และดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ร่างกาย ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของอาหารที่รับประทาน โดยทั่วไปจะใช้พลังงานอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานพื้นฐานที่ใช้ในการเผาผลาญ
3. ภูมิอากาศ (Climate) ผู้ที่อาศัยอยู่ในภูมิอากาศเขตร้อนจะมีอัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพักสูงกว่าผู้ที่อาศัยอยู่ในภูมิอากาศอบอุ่นโดยเฉลี่ย 5-20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องมาจากอุณหภูมิภายนอกที่สูงทำให้ร่างกายมนุษย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นไปด้วย ร่างกายต้องถ่ายเทความร้อนออกจากร่างกายจึงเพิ่มการทำงานของต่อมเหงื่อและเส้นเลือดฝอยที่ผิวหนัง จึงใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นในการระบายความร้อน
4. การตั้งครรภ์และให้นมบุตร
5. ความเจ็บป่วยและเป็นไข้

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

การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate oxidation)

เมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต (Metabolism pathways of Carbohydrate) (นัยนา บุญทวีวัฒน์, 2546)

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

กระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis pathway)

กระบวนการไกลโคไลซิส เป็นกระบวนการเริ่มต้นของการสลายกลูโคสให้ได้พลังงาน ซึ่งมีรายละเอียดสำคัญ ดังนี้

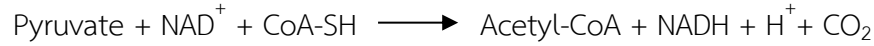
1. เกิดในทุกเซลล์ของร่างกาย และเกิดในส่วนไซโตพลาสซึม (Cytoplasm)
2. กระบวนการไกลโคไลซิส ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงาน
3. สารตั้งต้น คือกลูโคส และสารสุดท้ายคือ ไพรูเวท (Pyruvate) และไพรูเวทจะเปลี่ยนเป็นแลคเตท (lactate) ซึ่งในสภาวะที่มีออกซิเจน ไพรูเวท จะเข้าสู่การสลายต่อในวงจรเครบ (Kreb's cycle)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

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

วงจรเครบ (Kreb's cycle)

วงจรเครบ (Kreb's cycle) เป็นกระบวนการสลายให้ได้พลังงานต่อเนื่องจากกระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งมีรายละเอียดสำคัญ ดังนี้

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

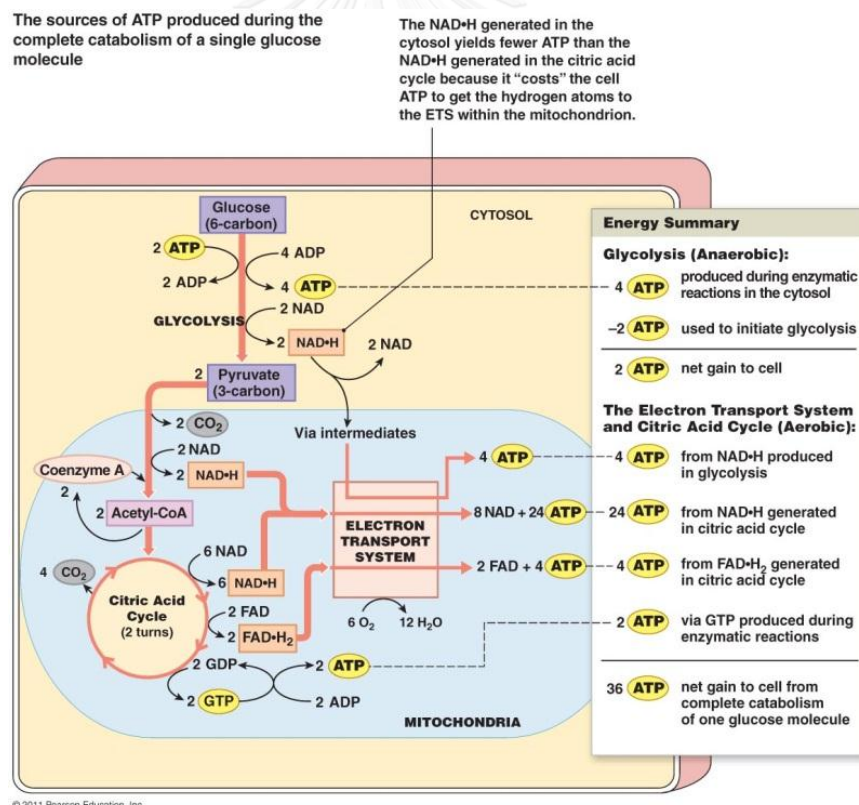


2. วงจรเครบ (Kreb's cycle) เป็นกระบวนการที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย เพื่อให้ได้พลังงานที่สมบูรณ์ โดยจะได้ผลผลิตคือ น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์

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

4. พลังงานที่ได้ทั้งหมดจากการสลายกลูโคส เท่ากับ 36 หรือ 38 เอทีพี (ATP)

5. คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงานทั้งสิ้น 4 กิโลแคลอรี (kilocalorie : kcal)



รูปที่ 2 กระบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต

ที่มา: สแคนลอน และแซนเดอร์ส (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)

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

เมื่อ VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจน

VCO_2 คือ อัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

N คือ ไนโตรเจน

การเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) (นัยนา บุญทวีวัฒน์, 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 ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อสร้างไตรกลีเซอไรด์ในร่างกาย และใช้สร้างกลูโคส

2. การเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) เกิดในไมโทคอนเดรีย เมื่อเข้าไปในไมโทคอนเดรีย Fatty Acetyl CoA จะถูกสลายออกเป็น Acetyl CoA และได้เป็น NADH + H^+ และ $FADH_2$ ซึ่งจะเข้าสู่ระบบการขนส่งอิเล็กตรอนให้ได้พลังงาน ส่วน Acetyl CoA ก็ จะเข้าสู่การสลายต่อในวงจรเครบ (Kreb's cycle)

3. พลังงานที่ได้จากการสลายไขมันแต่ละชนิดนั้นไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่รูปแบบของโมเลกุล

4. การสลายกรดไขมัน จะทำให้เกิดสารประกอบคีโตน ซึ่งถ้ามีในปริมาณมาก จะทำให้เลือดมีภาวะความเป็นกรดสูง (Ketoacidosis)

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

การคำนวณปริมาณการใช้คาร์โบไฮเดรตจากการออกกำลังกาย

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

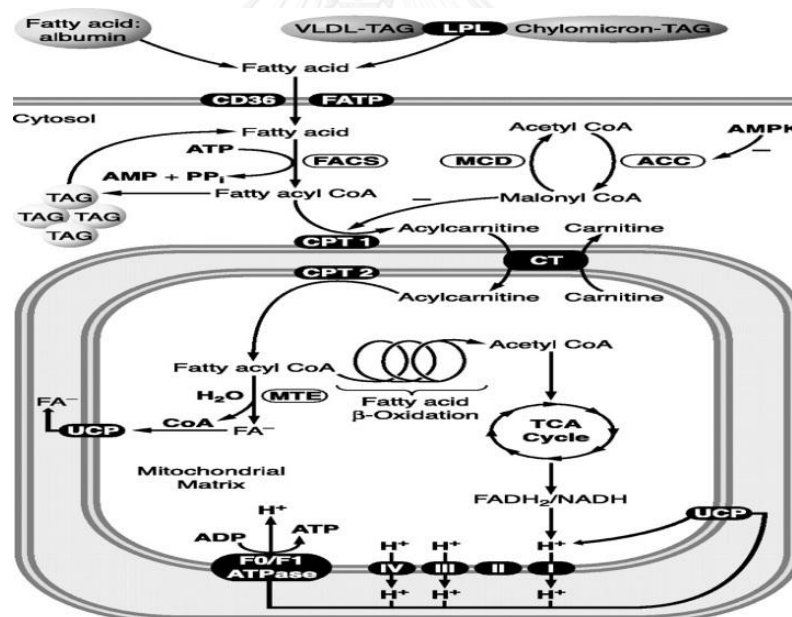
สมการในการคำนวณการเผาผลาญไขมัน (Fat oxidation) (Frayn, 1983; Riddell et al, 2007)

$$\text{สูตร } F = 1.67 VO_2 - 1.67 VCO_2 - 1.92n$$

เมื่อ VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจน

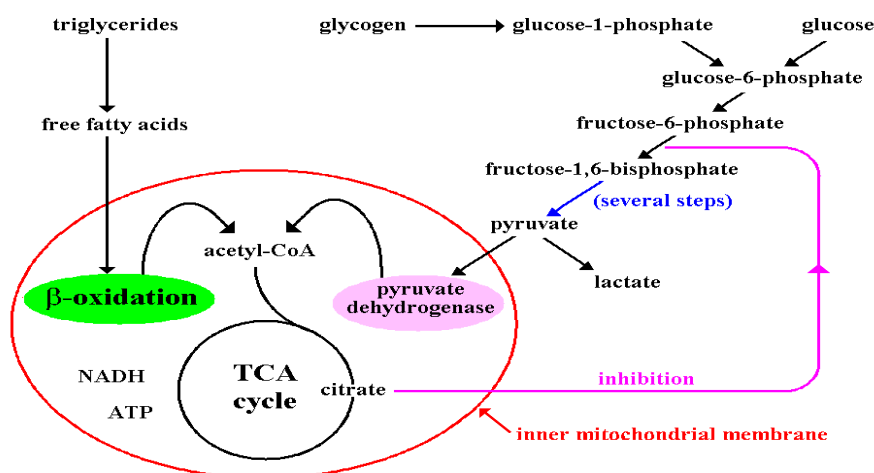
VCO_2 คือ อัตราการใช้คาร์บอนไดออกไซด์

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 ซึ่งโดยปกติในร่างกายจะมีระบบสมดุลในการใช้พลังงาน เมื่อรับประทานอาหารเท่าไร ก็จะมีการใช้พลังงานเท่านั้น ซึ่งจะสามารถควบคุมน้ำหนักของร่างกายได้ แต่ถ้าร่างกายได้รับพลังงานมากเกินไปจากการรับประทานอาหาร หรือมีการใช้พลังงานที่น้อยเกินไป จะส่งผลให้น้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าร่างกายมีการใช้พลังงานมากเกินไป และได้รับพลังงานจากการรับประทานอาหารน้อย จนมีความจำเป็นที่จะต้องนำพลังงานที่เก็บสะสมไว้มาใช้ จะส่งผลให้น้ำหนักตัวลดลง พลังงานในร่างกาย นิยมใช้เป็นหน่วย กิโลแคลอรี (kilocalorie: kcal) ซึ่งหมายถึงพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กิโลกรัม อุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส โดยพลังงานที่ได้จากสารอาหารแต่ละชนิดมีปริมาณไม่เท่ากัน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี ไขมัน ให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี สูตรสมดุลพลังงาน 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 ซึ่งแปรผันตามขนาดของร่างกาย เพศ และอายุ

Thermogenesis คือ พลังงานที่ใช้ในการย่อยสลายอาหาร

Work or exercise metabolism คือ พลังงานที่ใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ รวมทั้งการออกกำลังกาย

Energy excreted in waste products คือ พลังงานที่ใช้ในการขับของเสียของร่างกาย

การออกกำลังกาย

ความหมายของการออกกำลังกาย (ถนอนวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร และกุลธิดา เจริญฉลาด, 2536)

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

2. กิจกรรมการเคลื่อนไหวใดๆ ที่ออกแบบสำหรับฝึกหรือพัฒนาทักษะ

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

ประโยชน์ของการออกกำลังกาย (ดร.ณรรณ สุขสม, สุพรรณ สุขอรุณ, และสุวิมล ทรัพย์วโรบล, 2553)

ในเด็ก การออกกำลังกายช่วยให้ระบบประสาท และจิตใจทำงานได้ดีเป็นปกติ สามารถป้องกันและลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคในวัยรุ่นและผู้ใหญ่ได้ โดยทั่วไปการออกกำลังกายให้ประโยชน์ดังนี้

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

2. ช่วยชะลอความเสื่อมและลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรค การออกกำลังกายที่เหมาะสมจะสามารถชะลอความเสื่อมของอวัยวะต่างๆ ลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด

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

4. ทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรง การออกกำลังกายช่วยให้กล้ามเนื้อแข็งแรงขึ้น สามารถเคลื่อนไหวได้ดียิ่งขึ้น

5. ช่วยในระบบขับถ่ายของเสียของร่างกายดีขึ้น 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 เด็กควรจะได้รับ การสนับสนุนให้เข้าร่วมกิจกรรมทางกายที่หลากหลาย 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 สังเกตได้จากการ

เพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate : HR) และการหายใจ (Breathing) การออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก สังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นอย่างมากของอัตราการเต้นของหัวใจ และการหายใจ

3. ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Time) ควรออกกำลังกายอย่างน้อย 60 นาทีต่อวัน

4. ชนิดของการออกกำลังกาย (Type) การออกกำลังกายหรือกิจกรรมทางกาย ชนิดใดก็ได้ 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 ปั่นต้นไม้ 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 ($\geq 60\%$ 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 เพื่อลดระยะเวลาที่ร่างกายจะต้องออกกำลังกายต่อเนื่องกัน และเพิ่มระยะเวลาในการพัก การออกกำลังกายแบบนี้ควรออกกำลังกายอย่างน้อย 10 นาที ซึ่งจะได้ผลดีเช่นเดียวกันกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักสูงมาก และอาจจะเหมาะสมสำหรับผู้เริ่มต้นออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก

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 ซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของร่างกาย โดยทั่วไปการออกกำลังกายประเภทนี้มักจะใช้ความหนักของการออกกำลังกายต่ำไปจนถึงปานกลาง โดยใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายนาน เช่น เช่น การปั่นจักรยาน การเดิน การวิ่ง

ระยะไกลโดยจะให้ความสำคัญกับการเพิ่มความอดทนของระบบหัวใจและหายใจ 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 ร่างกายสามารถส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อได้ดี พัฒนาระบบไหลเวียนเลือด ลดความดันเลือด และขจัดของเสียอันเกิดมาจากการเผาผลาญพลังงานของกล้ามเนื้อได้ดี เช่น กรดแลคติก (Lactic acid)
5. ควบคุมและลดน้ำหนัก ควรทำควบคู่ไปกับการควบคุมอาหาร และเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ
6. ลดโรค ภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วน เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคหัวใจ ความดันโลหิตสูง เส้นเลือดในสมองตีบ เบาหวาน และมะเร็ง น้ำหนักที่ลดลง ลดความเสี่ยงของโรคดังกล่าว นอกจากนี้การออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยเพิ่มน้ำหนัก (Weight-bearing aerobic exercise) ลดการเกิดโรคกระดูกพรุน (Osteoporosis) และอาการที่เกี่ยวข้องได้ อีกทั้งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีแรงกระทำต่ำ (Low-impact aerobic exercises) เช่นการว่ายน้ำ ออกกำลังกายในน้ำ หรือจักรยาน เป็นต้น ช่วยโรคข้อเสื่อม โดยที่ไม่เพิ่มความเครียดให้กับข้อ
7. พัฒนาระบบภูมิคุ้มกัน ผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำ จะกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันให้ดีขึ้น การไม่สบายเล็กน้อย เช่น ไข้หวัดจะลดลง
8. พัฒนาด้านจิตใจ การออกกำลังกายแบบแอโรบิกช่วยให้มีการหลั่งสารเอ็นดอร์ฟิน สารนี้ช่วยลดความเจ็บปวด และยังเป็นสารที่ช่วยลดความเครียด อาการซึมเศร้า และวิตกกังวลต่างๆ ได้

9. เพิ่มความอดทนให้กับร่างกาย การออกกำลังกายส่งผลให้เกิดความเหนื่อยล้า ขณะออกกำลังกายหรือหลังออกกำลังกาย แต่ในระยะยาวร่างกายจะเพิ่มความอดทน และลดอาการเหนื่อยล้าลง

การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic exercise)

แอนแอโรบิก หมายถึง กระบวนการสร้างพลังงาน ที่ไม่ใช้ออกซิเจน การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิกนั้นจะใช้พลังงานสูงในระยะเวลายันสั้น กลไกการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิก (Glycolysis and lactic acid fermentation) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อออกกำลังกายที่ความสูงแต่ใช้ระยะเวลาสั้น มักจะเป็นกิจกรรมที่มีความหนักสูง แต่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายสั้นไม่เกิน 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 จะส่งผลดีต่อกลไกการทำงานของหัวใจ โดยเพิ่มปริมาณการสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจ (Cardiac volume) (aerobic exercise) หรือเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวใจ (myocardial thickness) (strength training) การออกกำลังกายแบบนี้จะเป็นการใช้พลังงานทั้งแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิกในขณะที่ออกกำลังกาย

การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval training) เป็นการออกกำลังกายที่สามารถพัฒนาได้ทั้งระบบแอโรบิก และแอนแอโรบิก โดยจะมีทั้งการออกกำลังกายที่ความหนักสูงกับการพัก การกระตุ้นด้วยความหนักที่สูงกว่าปกติจะส่งผลให้เกิดความเครียดให้กับระบบพลังงาน เช่นเดียวกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกในระยะยาว 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. ความสามารถของร่างกายในการปฏิบัติหน้าที่ประจำวันในสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ 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. ปฏิกริยาตอบสนอง (Reaction time)
10. การทรงตัว (Balance)

องค์ประกอบของสมรรถภาพทางกายเกี่ยวกับสุขภาพ หรือสุขสมรรถนะ (Docherty, 1996)

1. องค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) หมายถึง องค์ประกอบที่มีอยู่ในร่างกาย ได้แก่ น้ำหนักร่างกายตลอดไขมัน ไขมันร่างกาย และส่วนที่ไม่ใช่ไขมัน ทดสอบได้โดยวิธีการทางห้องปฏิบัติการ (Laboratory methods) ได้แก่ การชั่งน้ำหนักใต้น้ำ (Hydrostatic Weighing) และการใช้เครื่องเต็กซ่า (Dual-Energy X-ray absorptiometry: DEXA) เป็นต้น หรือทดสอบได้โดยวิธีการทางภาคสนาม (Field methods) ได้แก่ การวัดไขมันใต้ผิวหนังโดยใช้สกินโฟลด์

แคลิเปอร์ (Skinfold caliper) และวิธีไบโออิเล็กทริกคอลอิมพีแดนซ์อะนาไลซิส Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) โดยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของร่างกาย (BIA analyzer) โดยในเด็กก็สามารถที่จะใช้วิธีการวัดดังที่กล่าวมานี้ได้

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

ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างเป็นเด็ก จึงทดสอบหาค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak oxygen consumption) โดยการออกกำลังกายสูงสุด (Maximal exercise test) ด้วยวิธีการปั่นจักรยาน (Bicycle ergometer exercise test protocol) เนื่องจากความเสี่ยงในการบาดเจ็บจะน้อยกว่าลู่วิ่ง 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 ความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำให้เกิดแรงตึงสูงสุด ทดสอบได้โดย วิธีไอโซเมตริก (Isometric muscle testing) ได้แก่ การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนและมือ โดยเครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand grip dynamometer) การวัดความแข็งแรงกล้ามเนื้อหลังและขา โดยเครื่องวัดแรงตึงหลังและขา (Back and leg lift dynamometer) เป็นต้น หรือทดสอบได้โดยวิธีไดนามิก (Dynamic muscle testing) การวัดน้ำหนักสูงสุดที่สามารถออกแรงกระทำได้ใน 1 ครั้ง (1RM) และการวัดความแข็งแรงของ

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

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

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

สว่างจิต แซ่โจ้ว (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

ทาบาคะ และคณะ (Tabata et al., 1996) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบทันทานที่ความหนักปานกลางกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงที่มีผลต่อความจุของพลังงานแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity) และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 2 การฝึกด้วยจักรยาน การศึกษาที่ 1 ผลของการฝึกการออกกำลังกายแบบทันทานที่ความหนักปานกลาง ($170\% \text{VO}_2\text{max}$) 60 นาทีต่อวัน 5 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่า ความจุของพลังงานแอนแอโรบิก (Anaerobic capacity) ไม่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น การศึกษาที่ 2 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ประกอบด้วย การปั่นจักรยานที่ความหนักสูง ($170\% \text{VO}_2\text{max}$) 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 ปี โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมอาหารอย่างเดียว กับกลุ่มที่ควบคุมอาหารและออกกำลังกายไปด้วย 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) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของเอนโดทีเลียมและกล้ามเนื้อเรียบ 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 ครั้ง ต่อเนื่องกัน (4 – 6 x 30 sec “all out” sprint) 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ในผู้ใหญ่ พบว่า สามารถพัฒนาโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดแดงส่วนปลายได้ (Peripheral arterial) เมื่อเปรียบเทียบกับ การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักปานกลาง 65 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (65% VO_{2peak}) (Moderate-intensity continuous exercise) ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกาย 40-60 นาที

เบเกอร์ และคณะ (Baker et al., 2004) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายด้วยจักรยานที่ระดับความหนักสูงในด้านสรีรวิทยา สารชีวเคมีและกลการทำงานของกล้ามเนื้อ พบว่าหลังจากออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง เมื่อวัดค่ามาลอนไดออลดีไฮด์ที่หลังจากออกกำลังกายนั้นค่ามาลอนไดออลดีไฮด์เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อวัดหลังจากออกกำลังกายแล้ว 24 ชั่วโมง ค่ามาลอนไดออลดีไฮด์ไม่แตกต่างกับก่อนออกกำลังกาย 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) ได้ศึกษารูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงด้วยการปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดที่ดีที่สุดต่อการใช้พลังงานสูงสุดและความสนุกสนานในเด็กชายที่มีน้ำหนักเกิน 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 มีความต้องการพลังงานหลังออกกกำลังกายน้อยกว่ากลุ่มอื่นๆ แสดงว่ารูปแบบการออกกำลังกายแบบปั่นเร็วสูงสุด 4 วินาที ทุกๆ 1 นาทีเหมาะสมต่อเด็กชายที่มีน้ำหนักตัวเกินมากที่สุด แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดในทุกกลุ่มในด้านความสนุกสนาน

ลิตเติ้ล และคณะ (Little et al., 2011) ได้ทำการศึกษา การออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ความหนักสูง ในผู้ชายสุขภาพแข็งแรง โดยการปั่นจักรยานด้วยความหนักของค่างานสูงสุดของการออกกำลังกาย (Work load: watt) เมื่อทดสอบค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 สามารถเพิ่มปฏิกิริยาของไมโทคอนเดรียล ไบโอเจเนซิส (Mitochondria biogenesis) ในกล้ามเนื้อลาย และการพัฒนาสมรรถภาพการเผาผลาญพลังงานได้

เฟรสซิน และคณะ (Freyssin et al., 2012) ได้ศึกษาการออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ความหนักสูง (High intensity interval training) กับการออกกำลังกายแอโรบิกแบบต่อเนื่อง (Continuous exercise) ที่มีผลต่อการฟื้นฟูผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจวายเรื้อรัง (Chronic Heart Failure) ใน 8 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยโรคหัวใจวาย 26 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (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 โดยการออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ความหนักสูงมาก 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 ส่งผลแบบฉับพลันให้ความถี่ต่ออินซูลินลดลง และระบบการเผาผลาญไขมันดีขึ้น

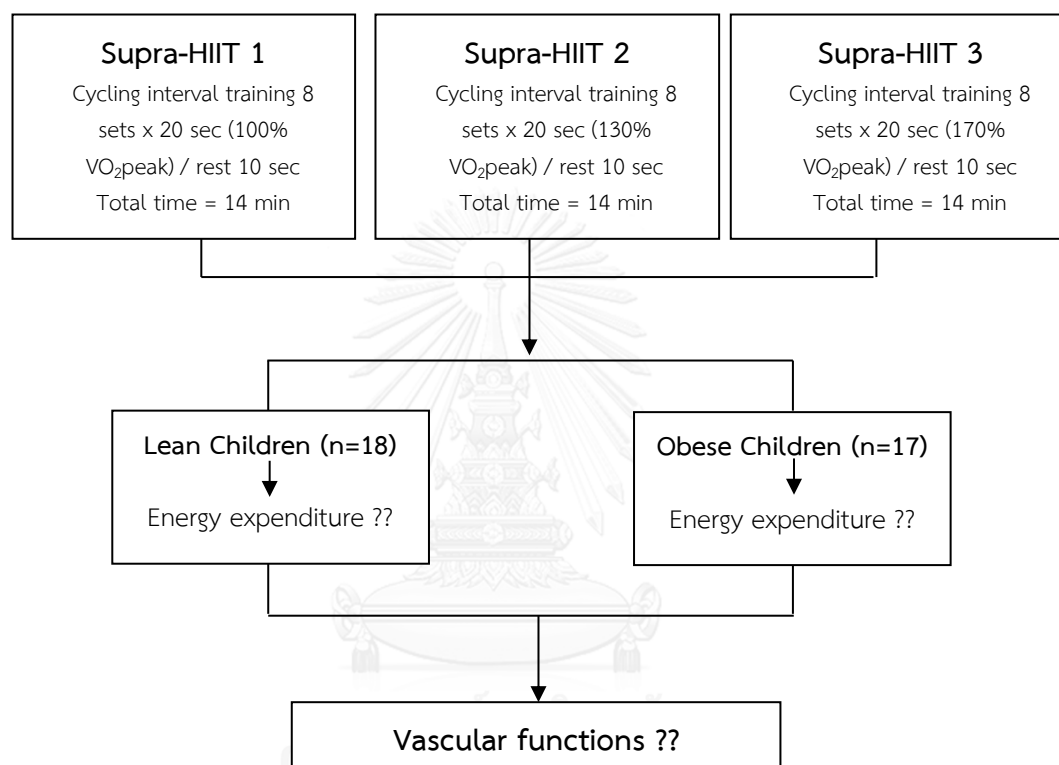
เฮดารี และคณะ (Heydari, Boutcher, & Boutcher, 2013) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลกระทบของการออกกำลังกายสลับช่วงที่ความหนักสูงต่อการตอบสนองของเส้นเลือดหัวใจต่อการทดสอบทางใจและทางกาย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อศึกษาผลกระทบของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงจำนวน 12 สัปดาห์ต่อเส้นเลือดหัวใจและการตอบสนองอัตโนมัติของผู้ชายต่อการทดสอบทั้งร่างกายและจิตใจ กลุ่มตัวอย่างคือชายหนุ่มที่มีน้ำหนักเกินจำนวน 34 คนที่ถูกสุ่มให้เป็นทั้ง

กลุ่มออกกำลังกายและกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายจะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความถี่สูง 3 ครั้งต่อสัปดาห์ตลอด 12 สัปดาห์ การตอบสนองของเส้นเลือดหัวใจต่อการออกกำลังกายถูกวัดทั้งก่อนและหลังการทดสอบโดยการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณเลือดของการบีบตัวของหัวใจหนึ่งครั้ง ความแข็งของหลอดเลือดแดง ความไวต่อแรงกด และการไหลเวียนของเลือดในกล้ามเนื้อลาย กลุ่มที่มีการออกกำลังกายพัฒนาระดับในการออกกำลังกายขึ้น 17% และลดน้ำหนักได้ 1.6 กิโลกรัม ผู้ที่ออกกำลังกายเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมมีอัตราการเต้นของหัวใจลดลงอย่างมีนัยสำคัญและมีปริมาณเลือดต่อการบีบของหัวใจหนึ่งครั้งเพิ่มขึ้นในขณะพัก ระหว่างการออกกำลังกาย รวมทั้งความแข็งตัวของหลอดเลือดแดงที่ลดลงด้วยในขณะที่ความไวต่อแรงกดเพิ่มขึ้น มีการเพิ่มขึ้นของการไหลเวียนเลือดบริเวณปลายแขนในระหว่างสองนาที่แรกในการออกกำลังกาย การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดหัวใจและการตอบสนองอัตโนมัติทั้งในขณะพักและระหว่างการทดสอบทั้งทางกายและใจหลังการทดสอบ 12 สัปดาห์ผ่านไป



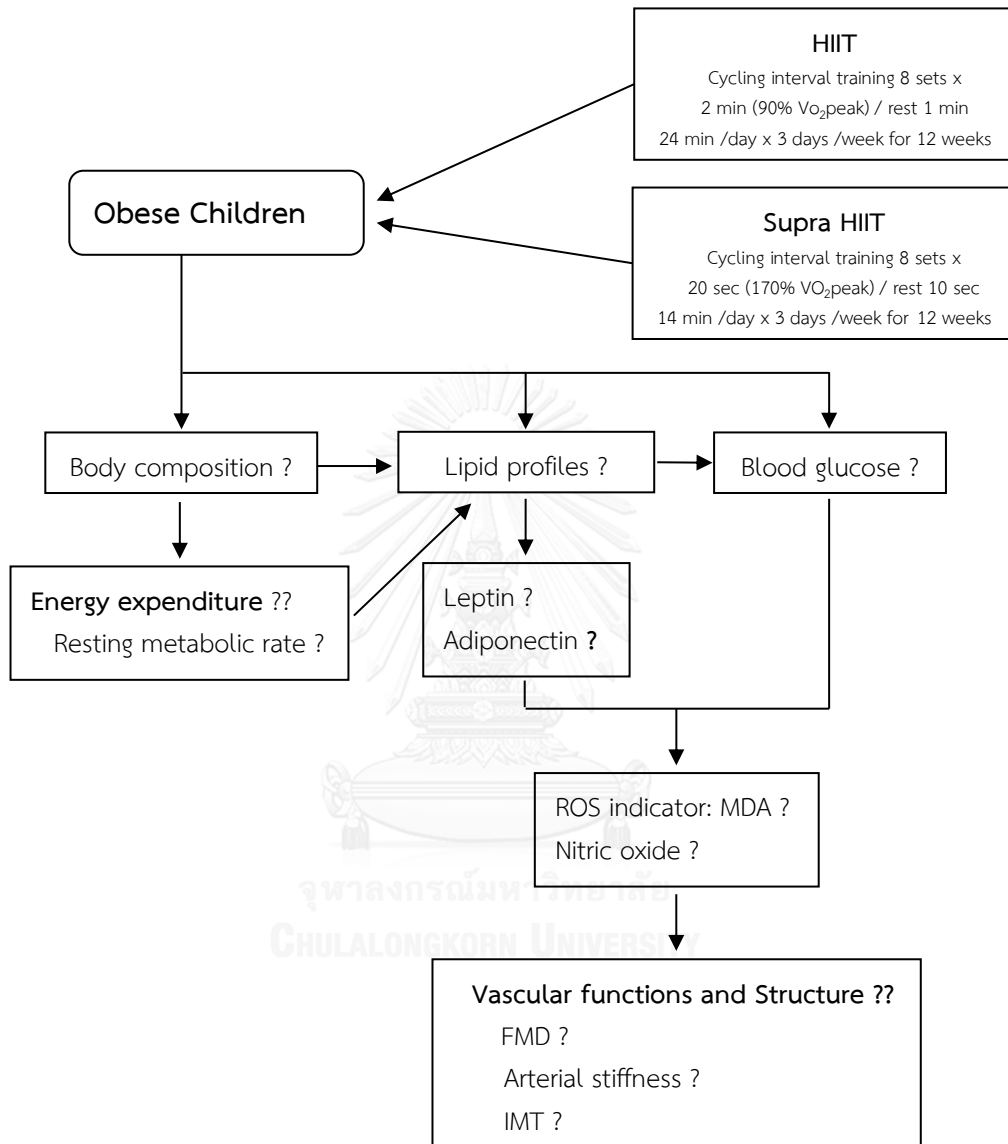
กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลสัมพัทธ์ของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากกว่าความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน 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 การศึกษาดังนี้

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 แต่มีกลุ่มตัวอย่างขาดหายไปทั้งหมด 5 คน เนื่องจากเจ็บป่วยและไม่สามารถมาเข้าร่วมการออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่องตามที่กำหนด จึงเหลือกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มทดลองดังนี้

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

รวมเป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 35 คน

เกณฑ์ในการคัดเลือก (Inclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยอายุระหว่าง 8-12 ปี ที่มีน้ำหนักตัวปกติและมีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบกับเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 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 ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย และได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองในการลงนามใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมงานวิจัยต่อไปได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมในการทำวิจัยต่อ

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสารเกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากในกลุ่มตัวอย่างต่างๆ เช่น เด็ก วัยรุ่น ผู้ใหญ่ และผู้ป่วยที่เป็นโรคเรื้อรังต่างๆ เช่นโรคหัวใจ โรคเบาหวานและโรคความดันโลหิตสูง รวมทั้งรูปแบบการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับเด็กอ้วน

2. ศึกษาและคิดวิเคราะห์รูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เหมาะสมกับเด็กอ้วน และมีผลดีต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือด ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้น จึงได้รูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงด้วยจักรยาน โดยใช้อัตราส่วน 2:1

3. ดำเนินการหากกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยประสานงานกับผู้บังคับการโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย และผู้อำนวยการโรงเรียนยาวลักษณ์วิทยานบุรี ขออนุญาตเข้าเก็บรวบรวมข้อมูล ดำเนินการ

คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเข้า 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) และทำการวัดสมรรถภาพการใช้ ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 peak) โดยการปั่นจักรยาน (Bicycle) จนเหนื่อยหมดแรง (Exhaustive exercise) เท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ ทำการวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzer) ตลอดการทดสอบ การประเมินค่าตัวแปรต่างๆจะกระทำตามลำดับดังที่กล่าวมาในขั้นต้น ในงานวิจัยครั้งนี้จะนำค่างาน (Work load) ที่ได้ในขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุดมาคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย (Crisp et al., 2012) ซึ่งค่างานที่ได้นี้จะเท่ากับความหนักของการออกกำลังกายที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ ออกซิเจนสูงสุด (100% VO_2 peak)

6.2 ครั้งที่ 2 : ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supra-High Intensity Interval Training: Supra - HIIT) ระดับความหนัก 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (50% VO_{2peak}) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (Heydari et al., 2013; Tabata et al., 1996)

6.2.2.3 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน โดยปรับแรงต้านให้ค่างานเท่ากับที่ระดับความหนัก 100 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 เพื่อคลายอบอุ่นร่างกายหลังปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก โดยปรับแรงต้านให้ค่างานเท่ากับที่ระดับความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (50% VO_{2peak}) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (Heydari et al., 2013; Tabata et al., 1996)

รวมระยะเวลาในการปั่นจักรยานทั้งสิ้น 14 นาที

6.2.2.5 ผู้เข้าร่วมวิจัยยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที (หลังได้รับการประเมินตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดแล้ว)

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

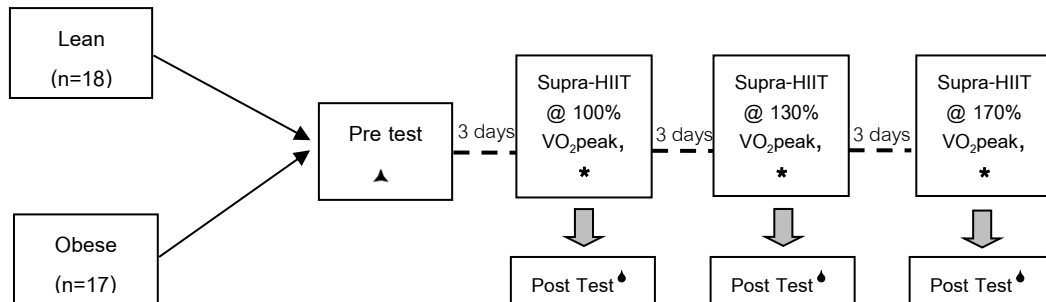
6.2.4 หลังการทดสอบการออกกำลังกายทันที ไม่เกิน 5 นาที ผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการประเมินตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD) ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media

thickness: IMT) และ คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 20 นาที

ผู้เข้าร่วมวิจัยใช้เวลาในการทดสอบทั้งสิ้นประมาณ 80 นาที

6.3 ครั้งที่ 3 : ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากระดับความหนัก 130 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (130% VO₂peak) โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังรายละเอียดที่กล่าวไปในข้อ 6.2 แต่เปลี่ยนความหนักในข้อ 6.2.2.3 เป็น 130 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (130% VO₂peak) การคำนวณความหนักของการออกกำลังกายใช้สูตร ค่าความหนักของการออกกำลังกาย (Intensity) = เปอร์เซ็นต์ของความหนักที่ต้องการ x ค่างานที่ได้ในขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุด (Work load at VO₂peak) (Crisp et al 2012)

6.4 ครั้งที่ 4 : ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากระดับความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% VO₂peak) โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังรายละเอียดที่กล่าวไปในข้อ 6.2 แต่เปลี่ยนความหนักในข้อ 6.2.2.3 เป็น 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% VO₂peak) 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 ₂ peak 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 แล้วจึงวัดตัวแปรด้วยเครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิทัลขณะพัก (Semi-automated blood pressure device) ในท่านั่ง

7.2 ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน

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

$$\text{Energy expenditure} = (\text{VO}_2\text{peak} / 1000) \times T \times 5$$

เมื่อ VO_2peak คือ ค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

T คือ เวลาในการออกกำลังกายทั้งหมด

7.2.2 สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย (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 วัดโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์ทำการวัดการขยายตัวสูงสุดของหลอดเลือดในช่วงที่หลอดเลือดคลายตัวขณะพัก ขณะหลอดเลือดหดตัวเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะหลอดเลือดขยายตัวหลังเปิดการปิดกั้นการไหลของเลือด และขณะหลอดเลือดกลับสู่ภาวะปกติหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตระดับบริเวณแขนท่อนล่าง ทำการอัลตราซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งข้อพับแขนด้านหน้า (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)

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

เมื่อ D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลของเลือดขณะพัก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางกลางสูงสุดของหลอดเลือดภายหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด หน่วยเป็นมิลลิเมตร

7.3.2 ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT)

ความหนาของผนังหลอดเลือด วัดโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์บริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง (Common carotid artery) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย เอียงศีรษะไปทางซ้าย 45 องศา ทำการอัลตราซาวด์หลอดเลือดแดงของลำคอด้านขวา 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) โดยวัดเวลาที่แตกต่างกันของการสับฉีดเลือด (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)

$$\text{baPWV (cm/sec)} = \frac{\text{Length}}{\text{Brachial-ankle time delay}}$$

เมื่อ Length คือ ความยาวระหว่างจุดที่วัดบริเวณต้นแขนและข้อเท้า หน่วยเป็นเซนติเมตร

Brachial-ankle time delay คือ เวลาที่แตกต่างกันของการสับฉีดเลือด หน่วยเป็นวินาที

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

ในการทดสอบครั้งที่ 1 จะทำการทดสอบตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อนการทดสอบตัวแปรสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด แต่ในการทดสอบครั้งที่ 2, 3 และ 4 จะทำการทดสอบตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังจากการทดสอบการออกกำลังกาย

8. นำข้อมูลของตัวแปรที่ได้ก่อน และหลังการออกกำลังกายแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกับวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

- นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM)
- วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ด้านสรีรวิทยา อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกาย ด้านการใช้พลังงาน (Energy expenditure) ได้แก่ พลังงานขณะออกกำลังกาย และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 peak) ขณะออกกำลังกาย และด้านการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilatation: FMD) ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT) และ คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWW) ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของแต่ละกลุ่มและระหว่างกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ [Two way ANOVA with repeated measures (2X3: group x intensity)] และเปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี (LSD) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
- วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ด้านสรีรวิทยา ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมัน สัดส่วนเอว-สะโพก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวขณะพัก และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวขณะพัก และด้านการใช้พลังงาน ได้แก่ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 peak) ระหว่างกลุ่มเด็กน้ำหนักตัวปกติและเด็กอ้วนทั้ง 2 กลุ่ม โดยใช้การทดสอบค่าทีแบบรายคู่ (Independent t-test) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การศึกษาที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

กลุ่มตัวอย่าง

อาสาสมัครเป็นเด็กชาย อายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบกับเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 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 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (90% VO₂peak)] จำนวน 11 คน

3. กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก [170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% VO₂peak)] จำนวน 15 คน

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

เกณฑ์ในการคัดเลือก (Inclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยอายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบกับเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 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 ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย และได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองในการลงนามใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

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. ศึกษาและคิดวิเคราะห์รูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เหมาะสมกับเด็กอ้วน และมีผลดีต่อองค์ประกอบของร่างกาย การใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือด ซึ่งจากการศึกษาที่ 1 จึงได้รูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ระดับ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% VO_{2peak}) เนื่องจากจากการศึกษาที่ 1 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ระดับ 170% VO_{2peak} มีการใช้พลังงานสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลต่อการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนเพิ่มขึ้น และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

3. ดำเนินการหากกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยประสานงานกับผู้อำนวยการโรงเรียนเยาวชนลัทธิวิทย์ วิหารธนบุรี ขออนุญาตเข้าเก็บรวบรวมข้อมูล ดำเนินการค้นหาและคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์คัดเลือก โดยการสมัครใจเข้าร่วม ซึ่งประกอบด้วยเด็กชายที่มีภาวะอ้วน จำนวน 45 คน

4. ผู้สมัครใจเข้าร่วมและมีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเลือก ได้รับทราบรายละเอียดของวิธีปฏิบัติตัวในการทดสอบและการเก็บข้อมูล และผู้ปกครองลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการ

วิจัย 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 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (High Intensity Interval Training: HIIT at 90% VO₂peak) และได้รับคำแนะนำเรื่องกิจกรรมทางกาย และการรับประทานอาหารในช่วงเข้าร่วมการศึกษาทดลอง จำนวน 11 คน ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน มีรายละเอียด ดังนี้

6.2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัยอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที

6.2.2 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน โดยปรับแรงต้านให้ค่างาน (work load) เท่ากับที่ระดับความหนัก 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (90% VO₂peak) สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วน 2 :1 คือ ปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อ นาที เป็นเวลา 2 นาที สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 1 นาที ทำทั้งหมด 8 รอบ เป็นเวลา 24 นาที โดยการคำนวณความหนักของการออกกำลังกายใช้สูตร ค่าความหนักของการออกกำลังกาย (Intensity) = เปอร์เซ็นต์ของความหนักที่ต้องการ × ค่างานที่ได้ในขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุด (Work load at VO₂peak) (Crisp et al., 2012)

6.2.3 ผู้เข้าร่วมวิจัยคลายอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที

รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 44 นาที

6.3 กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก หรือ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Supra-HIIT at 170% VO₂peak) 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 เปอร์เซ็นต์ของ

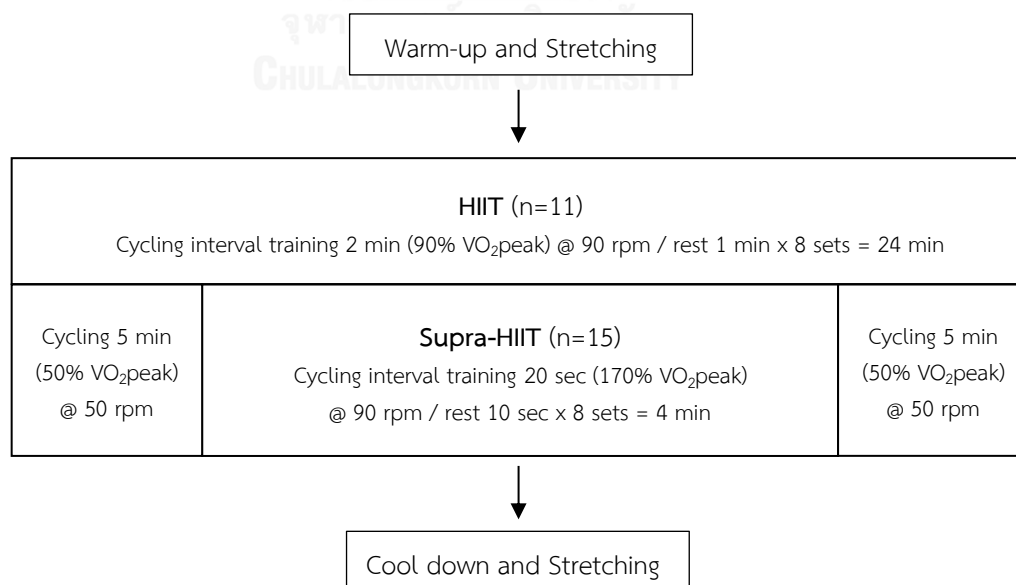
ค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (50% VO_{2peak}) โดยคำนวณความหนักของการออกกำลังกายตามข้อ 6.2.2 ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (Heydari et al., 2013; Tabata et al., 1996)

6.3.3 ผู้เข้าร่วมวิจัยปั่นจักรยาน เพื่อคลายอุ่นร่างกายก่อนปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก โดยปรับแรงต้านให้ค่างาน (work load) เท่ากับที่ระดับความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 ช่วยในการเก็บตัวอย่างเลือด 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)

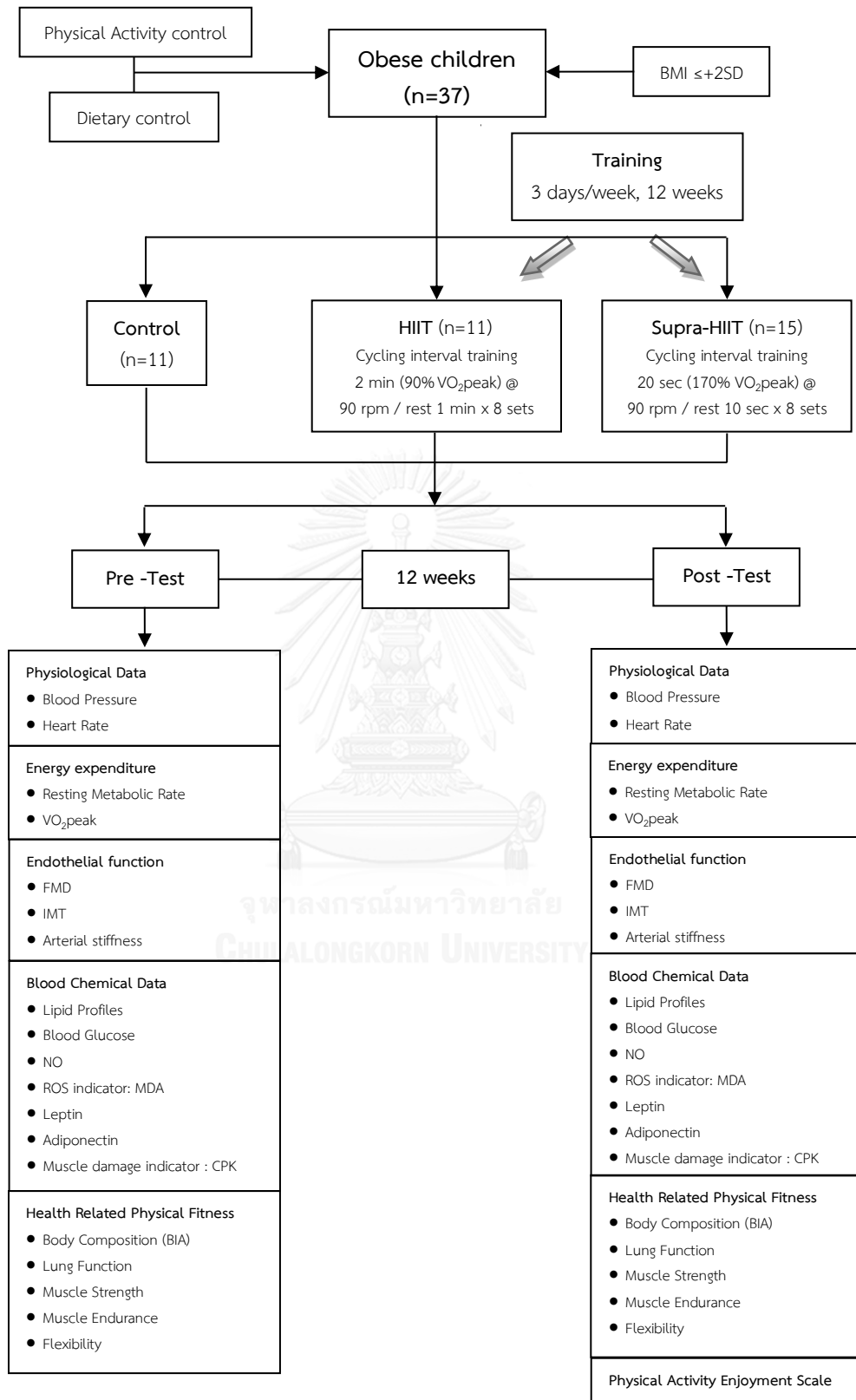
7.1.1.2 อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้งต่อนาที) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ขณะพัก (มิลลิเมตรปรอท)

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)

$$\text{Fat (gram)} = 1.67 \text{ VO}_2 - 1.67 \text{ VCO}_2 - 1.92n$$

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)

$$\text{Carbohydrate (gram)} = 4.55 \text{ VCO}_2 - 3.21 \text{ VO}_2 - 2.87n$$

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 วัดโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์ ทำการวัดการขยายตัวสูงสุดของหลอดเลือดในช่วงที่หลอดเลือดคลายตัวขณะพัก ขณะหลอดเลือดหดตัวเมื่อถูกปิดกั้นการไหลของเลือด ขณะหลอดเลือดขยายตัวหลังเปิดการปิดกั้นการไหลของเลือด และขณะหลอดเลือดกลับสู่ภาวะปกติหลังการปิดกั้นการไหลของเลือด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความดันโลหิตรัดบริเวณแขนท่อนล่าง ทำการอัลตราซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งข้อพับแขนด้านหน้า (Brachial artery) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะพักเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นบีบแรงดันในเครื่องวัดความดันโลหิตเหนือความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว 50 มิลลิเมตรปรอท ค้างไว้ 5 นาที ซึ่งเป็นการทำให้เกิดการขาดเลือดในช่วงสั้นๆ วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดขณะถูกปิดกั้น จากนั้นปล่อยแรงดันออกจนหมดคลายการบีบของเครื่องวัดความดันโลหิต จะกระตุ้นให้หลอดเลือดขยายตัว วัด

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดหลังถูกปิดกั้น 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)

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

เมื่อ D1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลเวียนของเลือดขณะพัก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

D2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของหลอดเลือดภายหลังจากการปิดกั้นการไหลเวียนของเลือด หน่วยเป็นมิลลิเมตร

7.1.3.2 ความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT)

ความหนาของผนังหลอดเลือด วัดโดยใช้เครื่องอัลตราซาวด์บริเวณหลอดเลือดแดงของลำคอด้านข้าง (Common carotid artery) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย เอียงศีรษะไปทางซ้าย 45 องศา ทำการอัลตราซาวด์หลอดเลือดแดงของลำคอด้านขวา 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)

$$\text{baPWV (cm/sec)} = \frac{\text{Length}}{\text{Brachial-ankle time delay}}$$

เมื่อ Length คือ ความยาวระหว่างจุดที่วัดบริเวณต้นแขนและข้อเท้า หน่วยเป็นเซนติเมตร

Brachial-ankle time delay คือ เวลาที่แตกต่างกันของการสูบฉีดเลือด หน่วยเป็นวินาที

โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย พัก 15-20 นาที ใช้แถบผ้าพัน (Cuff) ของเครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือดพันบริเวณต้นแขนและข้อเท้าทั้ง 2 ข้าง จากนั้นติดอุปกรณ์สำหรับวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) 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 ซ้อนชา) โดยพยาบาลวิชาชีพ และส่งตรวจ ณ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจะวิเคราะห์เลปติน (Leptin) อะดิโปเนคติน (Adiponectin) ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) และรีแอคทีฟออกซิเจนสปีชีส์ อินดิเคเตอร์ คือ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ROS indicator: malondialdehyde: MDA) และคณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ซึ่งจะวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในเลือด (Fasting blood sugar) คอเลสเตอรอล (Cholesterol) ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ไฮเดนซีทีไลโปโปรตีน (High density lipoprotein: HDL) และโลวเดนซีทีไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein: LDL) โดยสารชีวเคมีต่างๆวิธีการวิเคราะห์ ดังนี้

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

ไฮเดนซีทีไลโปโปรตีน (High density lipoprotein: HDL) โลวเดนซีทีไลโปโปรตีน (Low density lipoprotein: LDL) วิเคราะห์ด้วยวิธีการ ไดร็ก แอสเซ (Direct assay method) ด้วยเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ (Automate)

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

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

ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide: NO) วิเคราะห์ด้วยวิธีการ กรีส เรเจนท์ ซิสเต็ม (Griess reagent system)

รีแอคทีฟออกซิเจนสปีชีส์ อินดิเคเตอร์ คือ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (ROS indicator: malondialdehyde; MDA) วิเคราะห์ด้วยวิธีการ คัลเลอร์รีเมตริก แอสเซ (Colorimetric assay) ด้วยวิธีแมนวล (Manual)

ครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส (Creatine phosphokinase) วิเคราะห์ด้วยวิธีการ
คัลเลอร์รีเมตริก แอสเซซ (Colorimetric assay)

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

7.1.5.1 สมรรถภาพปอด

ประเมินสมรรถภาพปอด โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยถือเครื่องวัดความจุปอด
ในมือ (Spirometer) ใช้ปากอมตัวเป่าแล้วออกแรงเป่าลมอย่างเต็มที่ จะได้ค่าความจุปอด (มิลลิลิตร)

7.1.5.2 ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ

7.1.5.2.1 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนส่วนปลาย

ประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนส่วนปลาย
(forearm) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยถือเครื่องวัดแรงบีบมือ เขยียดแขนตรงข้างลำตัว ออกแรงกำมืออย่าง
เต็มที่ จะได้ค่าแรงบีบมือ (กิโลกรัม)

7.1.5.2.2 ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อแขนและ

ลำตัว

ประเมินความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ
แขนและลำตัว โดยใช้การดันพื้น (Push-up) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนคว่ำ งอข้อศอก ฝ่ามือวาง
บริเวณด้านข้างราวนม ปลายเท้าตั้งกับพื้น ช่วงลำตัวตั้งแต่หน้าอกลงไปถึงปลายเท้าไม่มีส่วนใดสัมผัส
พื้น แต่ให้คางสัมผัสพื้นเป็นท่าเตรียม หลังจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยดันตัวเองขึ้นจากพื้น จนแขนเหยียด
ตรง จากนั้นงอแขนลง เพื่อกลับไปอยู่ในท่าเตรียม นับจำนวนครั้งที่ทำได้ใน 1 นาที

7.1.5.2.3 ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อท้องและ
หลัง

ประเมินความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ
ท้องและหลัง โดยใช้การลุกนั่ง (Abdominal curl-up/Sit up) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยนอนหงาย ตั้งขา
โดยงอเข่าเป็นมุม 90 องศา ไขว้แขนไว้บริเวณหน้าอก เป็นท่าเตรียม หลังจากนั้นให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยก
ตัวเองขึ้นจากพื้น จนเป็นทางนั่ง และนอนลงเพื่อกลับไปอยู่ในท่าเตรียม นับจำนวนครั้งที่ทำได้ใน 1
นาที

7.1.5.2.4 ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง

ประเมินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง โดยให้
ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนอยู่บนเครื่องวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลังและขา ออกแรงเหยียดหลังเต็มที่ จะได้
ค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง (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

ผู้วิจัยได้ขอความร่วมมือจากผู้เข้าร่วมวิจัยและผู้ปกครองประเมินกิจกรรมทางกาย และการรับประทานอาหาร ในสัปดาห์ที่ 1-2 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) จะได้ค่าคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร (คะแนน) โดยเกณฑ์การให้คะแนนคือ หากปฏิบัติจะได้ 1 คะแนน และไม่ปฏิบัติจะได้ 0 คะแนน

7.3 ค่าตัวแปรหลังทำการศึกษาทดลอง (Post test)

ดำเนินการเก็บข้อมูลตัวแปรตัวแปรด้านสรีรวิทยา สารชีวเคมีในเลือด การทำงานของหลอดเลือด การใช้พลังงาน และสุขสมรรถนะ ดังรายละเอียดที่กล่าวไปในข้อ 7.1.1 - 7.1.5 จากนี้ทำการประเมินความสนุกสนานของการออกกำลังกาย (Physical Activity Enjoyment Scale) (Mottl et al., 2001) ด้วยแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อของกิจกรรมการออกกำลังกาย (ภาคผนวก ฉ) ในกลุ่มออกกำลังกายทั้ง 2 กลุ่ม ภายหลังจากเสร็จสิ้นการฝึกออกกำลังกายทั้ง 12 สัปดาห์แล้ว โดยแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อของกิจกรรมการออกกำลังกาย จะกำหนดค่าคะแนนแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (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 และหลังการศึกษาทดลองมาเปรียบเทียบกับวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM)
2. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างกลุ่มควบคุมที่ดำเนินชีวิตตามปกติ ไม่ได้รับโปรแกรมการออกกำลังกาย กลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (90% VO₂peak) และกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% VO₂peak) ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายของแต่ละกลุ่มและระหว่างกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ [Two way ANOVA with repeated measures (3X2: group x time)] และเปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี (LSD) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

1. ข้อมูลสำหรับผู้ปกครองและผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (ภาคผนวก ก)
2. ใบยินยอมสำหรับผู้ปกครองและผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (ภาคผนวก ก)

3. แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกายสำหรับเด็ก (Physical Activity Readiness Questionnaire for Children; PAR-Q for Children) (ภาคผนวก ค)

เครื่องมือสำหรับการฝึกการออกกำลังกาย

1. จักรยาน (Bicycle) ยี่ห้อโมนาร์ก (Monark) รุ่นเออร์โกเมตติก 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) ยี่ห้อเจวอน (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. เครื่องวิเคราะห์ที่แก๊ส (Breath by breath Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อวีแม็กซ์ (Vmax) รุ่นเอนคอร์29 (Encore 29) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Stationary Gas Analyzer: Vmax Encore 29 system, Yorba Linda, CA, USA)

เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านการใช้พลังงาน

1. จักรยาน (Bicycle) ยี่ห้อโมนาร์ก (Monark) รุ่นเออร์โกเมตติก 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. เครื่องวิเคราะห์ที่แก๊ส (Breath by breath Cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อวีแม็กซ์ (Vmax) รุ่นเอนคอร์29 (Encore 29) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Stationary Gas Analyzer: Vmax Encore 29 system, Yorba Linda, CA, USA)

เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด

1. เครื่องอัลตราซาวด์หลอดเลือด (Ultrasound system) ยี่ห้อฟิลลิป (Philips) รุ่น CX50 ประเทศสหรัฐอเมริกา (CX50, Philips, Andover, MA, USA)
2. เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) ยี่ห้ออมรอน (Omron) รุ่น คอลลิน วีพี 1000 พลัส (Collin VP-1000 plus) ประเทศญี่ปุ่น (Collin VP-1000 plus, Omron, Ukyo-ku, Kyoto, Japan)

เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด

1. เครื่องปั่นแรงเหวี่ยงสูง (Centrifugator)
2. ตู้เย็นแช่แข็ง -80 องศาเซลเซียส (°C) (Freezer)
3. เครื่องตรวจวิเคราะห์ (Flow cytometry)

เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรทางสุขสมรรถนะ

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.5002) ประเทศญี่ปุ่น
4. กล่องวัดความยืดหยุ่นของร่างกาย (Sit and reach box)

เครื่องมือสำหรับการวัดตัวแปรในการประเมินกิจกรรมทางกาย

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

เครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

1. แบบบันทึกข้อมูลตัวแปรทางสรีรวิทยา ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนักตัว อัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพัก และความดันโลหิตขณะพัก (ภาคผนวก ง)
2. แบบบันทึกข้อมูลตัวแปรทางสุขสมรรถนะ ได้แก่ สัดส่วนของร่างกาย ความจุปอด ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ ความอ่อนตัว (ภาคผนวก ง)
3. แบบบันทึกการประเมินการทำงานของหลอดเลือด ได้แก่ การขยายตัวของหลอดเลือด เมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ความหนาของผนังหลอดเลือด และความแข็งตัวของหลอดเลือด (ภาคผนวก ง)
4. แบบบันทึกการประเมินสมรรถภาพการใช้พลังงานขณะพัก (Resting metabolic rate) (ภาคผนวก ง)

5. แบบบันทึกการประเมินสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 peak) (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 และนำมาวิเคราะห์ผลตามระเบียบวิธีทางสถิติแล้วจึงนำผลวิเคราะห์ข้อมูลเสนอในรูปแบบตารางประกอบความเรียง และแผนภูมิ โดยแบ่งการนำเสนอ ดังนี้

การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยา ก่อนการออกกำลังกาย ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (100, 130 and 170% VO_{2peak}) ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_{2peak}) ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยา ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูง (90% $VO_2\text{peak}$) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$)

ตอนที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูง (90% $VO_2\text{peak}$) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$)

ตอนที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของ หลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลัง กายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% $VO_2\text{peak}$) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนัก สูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$)

ตอนที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสารชีวเคมีใน เลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลัง กายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% $VO_2\text{peak}$) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มาก (170% $VO_2\text{peak}$)

ตอนที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูง (90% $VO_2\text{peak}$)และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$)

ตอนที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านกิจกรรมทาง กายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่ม ควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% $VO_2\text{peak}$)และกลุ่มออกกำลัง กายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$)

ตอนที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านความ
ทนุกสนานของกิจกรรมออกกำลังกาย หลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่ม
ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% $VO_2\text{peak}$) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่
ความหนักสูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$)



การศึกษาที่ 1 เปรียบเทียบผลสัมพัทธ์ของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

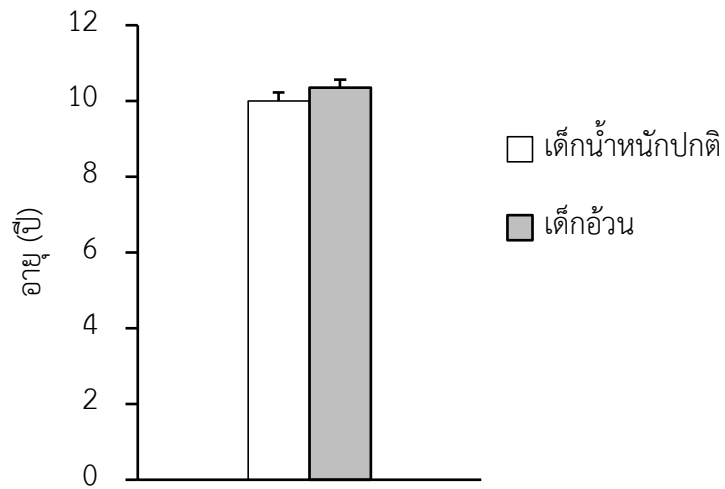
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	\bar{X}	SEM	\bar{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*
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	40.78	1.54	29.90	1.66*

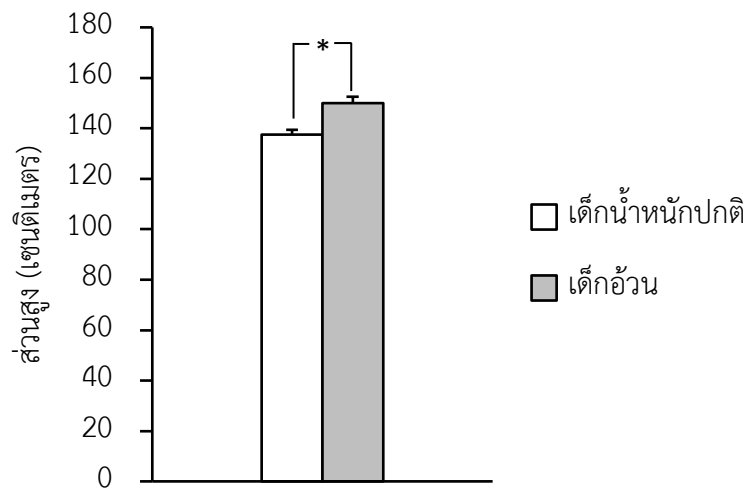
*p<.05

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 10-19 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการออกกำลังกายเด็กรุ่นน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยอายุ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ย ส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมัน สัตส่วนเอว-สะโพก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะ หัวใจบีบตัว และความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวสูงกว่า และ มีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สูงสุดต่ำกว่า เด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



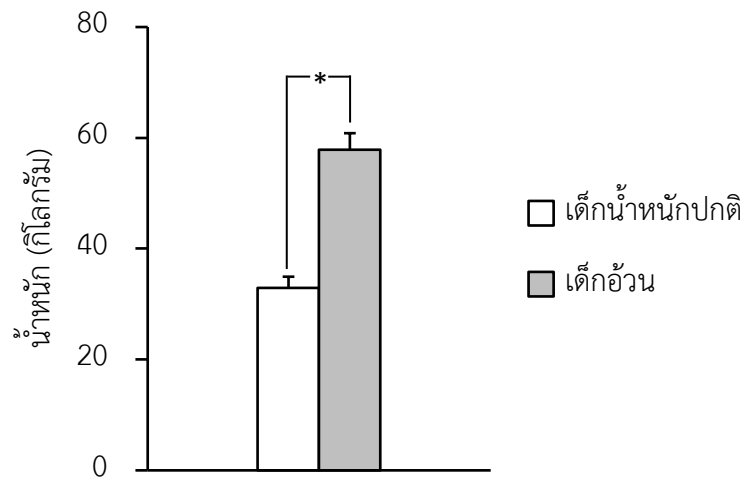


รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน



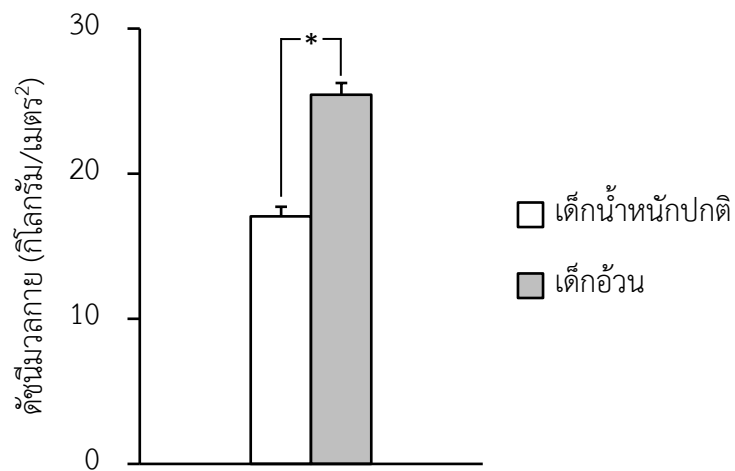
รูปที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



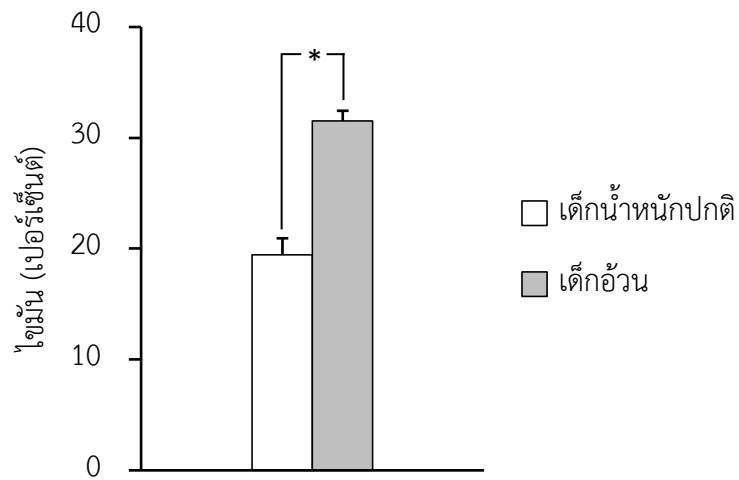
รูปที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักรก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนัปกกติและเด็กออัวน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนัปกกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



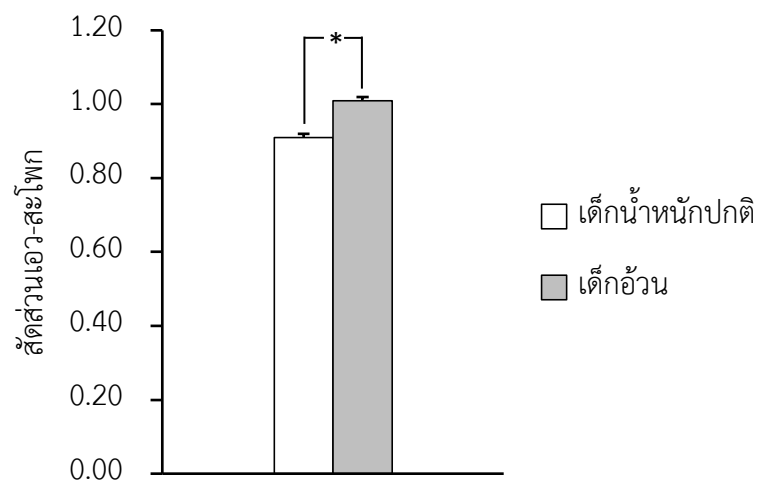
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนัปกกติและเด็กออัวน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนัปกกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



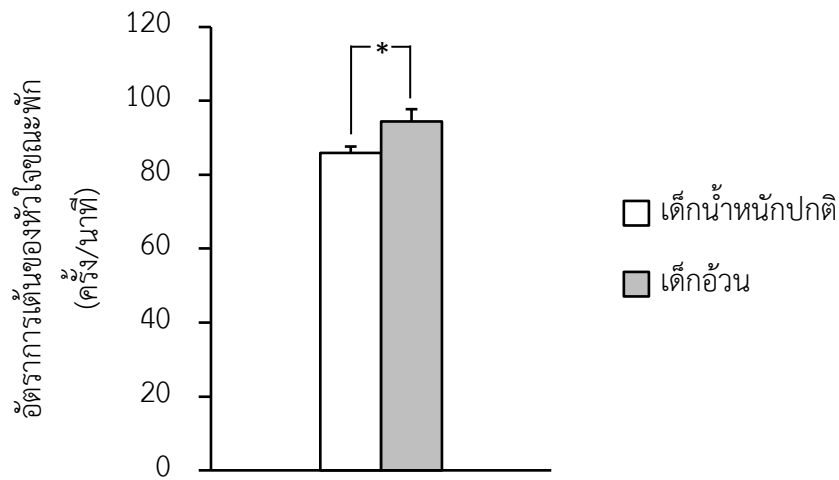
รูปที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กออ๊วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



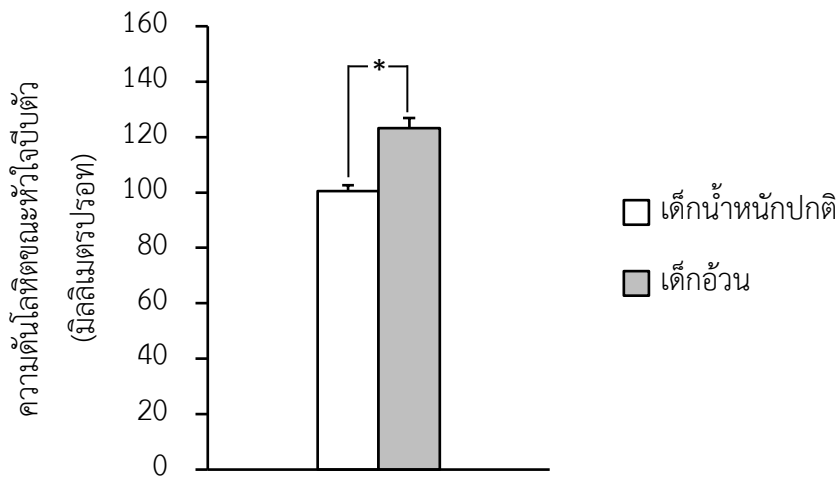
รูปที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนเอว-สะโพกก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กออ๊วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



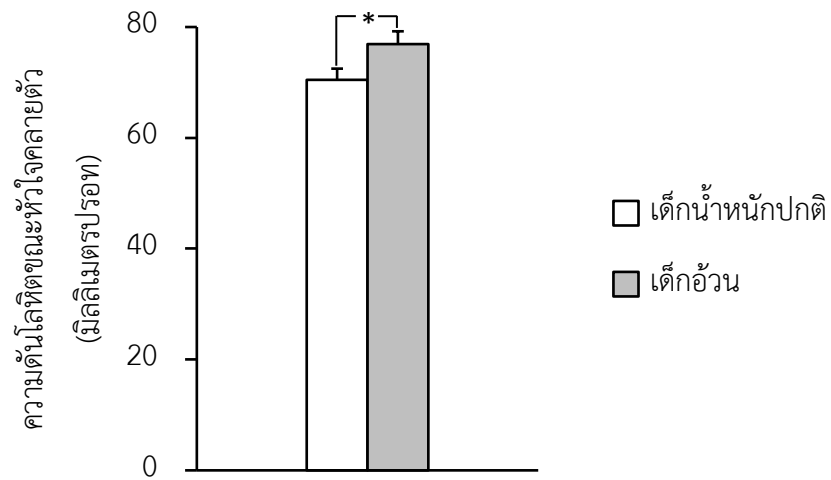
รูปที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



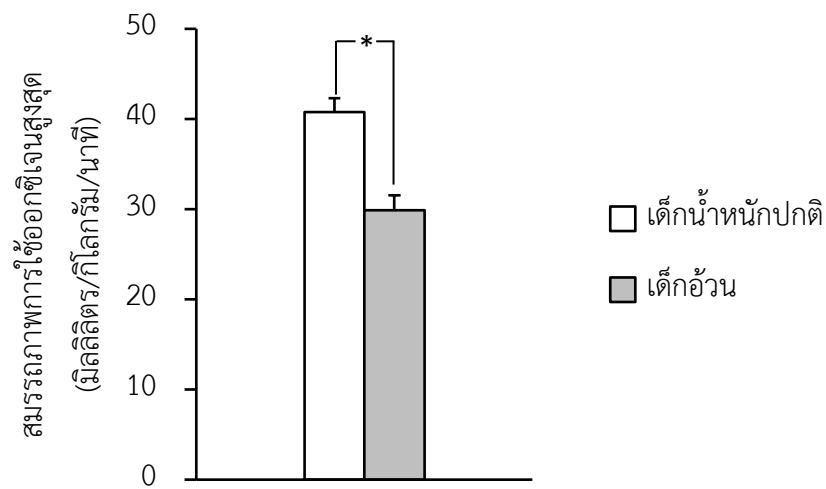
รูปที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนัปกปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนัปกปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนการออกกำลังกายระหว่างเด็กน้ำหนัปกปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนัปกปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (100, 130 and 170% VO₂peak) ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ขณะออกกำลังกาย	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
พลังงานขณะออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี)	76.56	5.80	106.20	6.00*
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	39.00	1.50	31.00	1.55*
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกาย (ครั้ง/นาที)	185.94	2.21	188.44	1.88

*p<.05

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า ขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO₂peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายสูงกว่า และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_{2peak} ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ขณะออกกำลังกาย	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
พลังงานขณะออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี)	88.87	5.80	114.54	6.00*
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	45.72	1.50	33.29	1.55*
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกาย (ครั้ง/นาที)	187.44	1.76	192.56	1.66

*p<.05

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า ขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_{2peak} เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายสูงกว่า และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความ 170% VO_2 peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

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

*p<.05

จากตารางที่ 4 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า ขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2 peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายสูงกว่า และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% $VO_2\text{peak}$ ของเด็กน้ำหนักปกติ

ตัวแปรด้าน การใช้พลังงาน ขณะออกกำลังกาย	เด็กน้ำหนักปกติ (n =18)					
	100% $VO_2\text{peak}$		130% $VO_2\text{peak}$		170% $VO_2\text{peak}$	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
พลังงานขณะออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี)	76.56	5.80	88.87	5.80	95.25	5.80*
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สูงสุดขณะออกกำลังกาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	39.00	1.50	45.72	1.50*	49.17	1.50*
อัตราการเต้นของหัวใจ สูงสุดขณะออกกำลังกาย (ครั้ง/นาที)	185.94	2.21	187.44	1.76	192.44	2.31*

* $p < .05$ เปรียบเทียบกับระดับความหนัก 100% $VO_2\text{peak}$

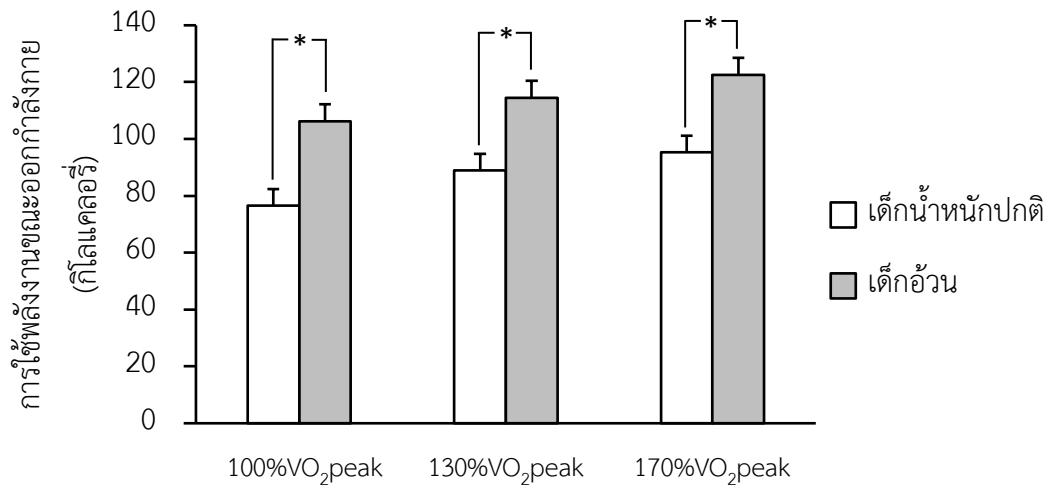
จากตารางที่ 5 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า เด็กน้ำหนักปกติมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย และอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกาย เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% $VO_2\text{peak}$ สูงกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% $VO_2\text{peak}$ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ไม่แตกต่างกับ 130% $VO_2\text{peak}$ และมีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% $VO_2\text{peak}$ สูงกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% $VO_2\text{peak}$ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100, 130 และ 170% $VO_2\text{peak}$ ของเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ขณะออกกำลังกาย	เด็กอ้วน (n =17)					
	100% $VO_2\text{peak}$		130% $VO_2\text{peak}$		170% $VO_2\text{peak}$	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
พลังงานขณะออกกำลังกาย (กิโลแคลอรี)	106.20	6.00	114.54	6.00	122.62	6.00*
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สูงสุดขณะออกกำลังกาย (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	31.00	1.55	33.29	1.55	36.12	1.55*
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ขณะออกกำลังกาย (ครั้ง/ นาที)	188.44	1.88	192.56	1.66	196.06	1.40*

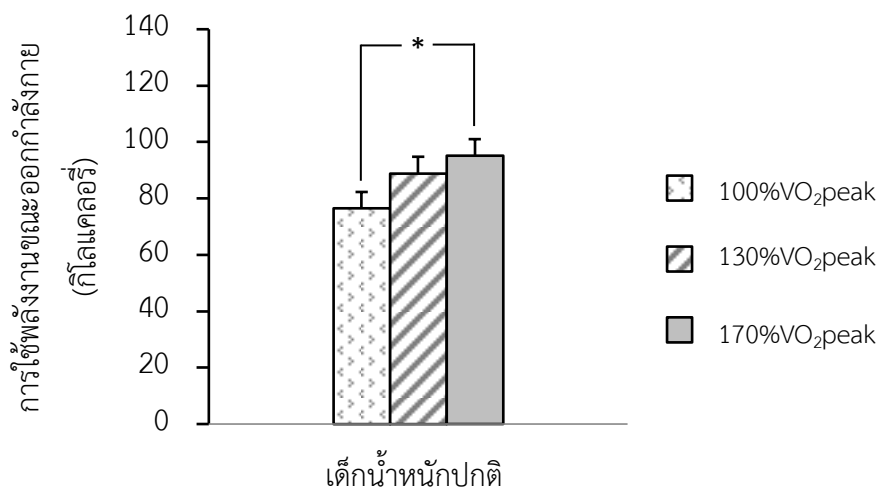
* $p < .05$ เปรียบเทียบกับระดับความหนัก 100% $VO_2\text{peak}$

จากตารางที่ 6 และรูปที่ 20-28 แสดงให้เห็นว่า เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด และอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกาย เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% $VO_2\text{peak}$ สูงกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% $VO_2\text{peak}$ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ไม่แตกต่างกับ 130% $VO_2\text{peak}$



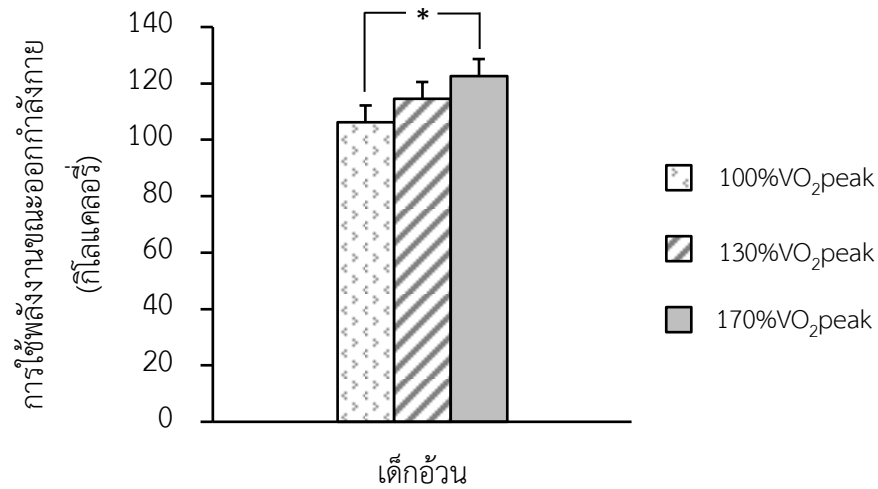
รูปที่ 20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



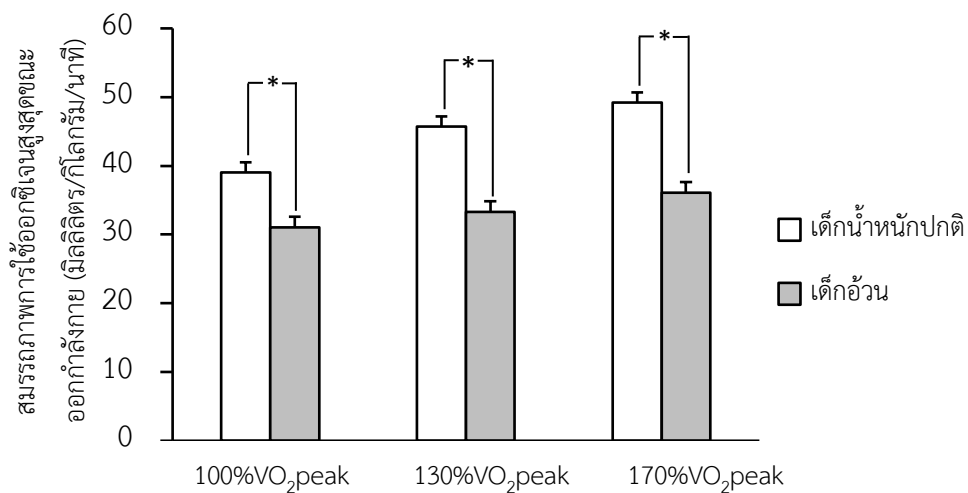
รูปที่ 21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนักปกติระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO₂peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



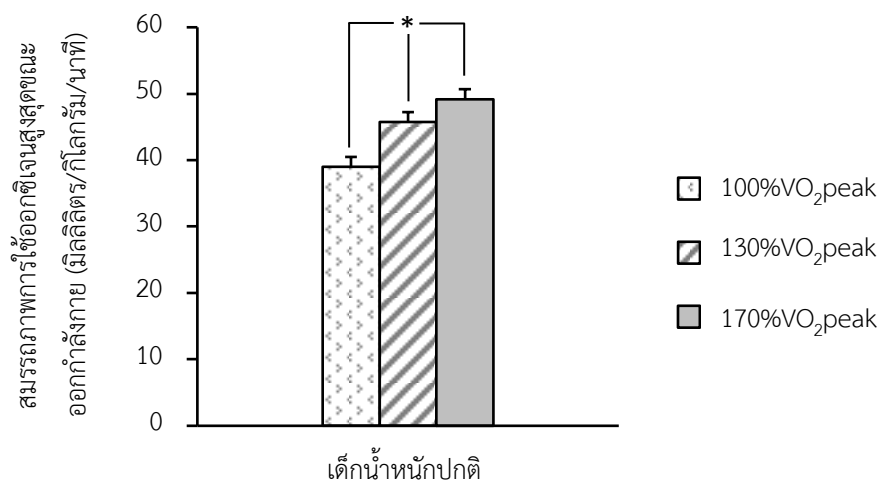
รูปที่ 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO₂peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



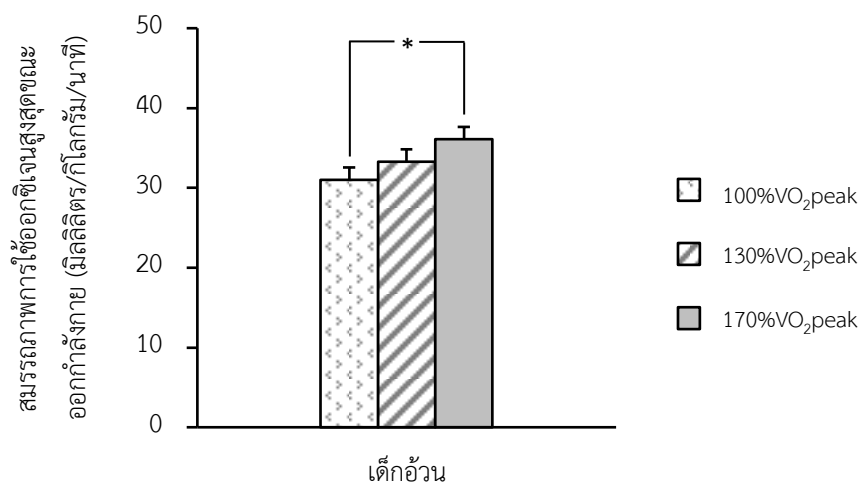
รูปที่ 23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



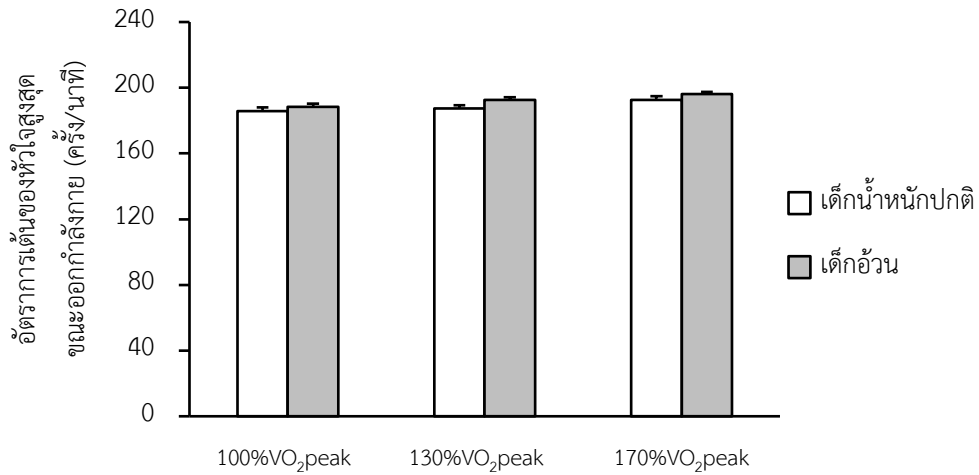
รูปที่ 24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO₂peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

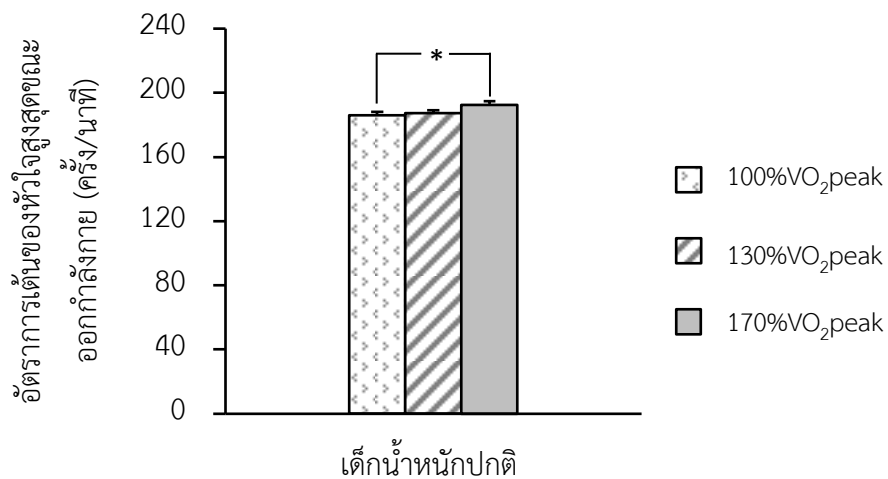


รูปที่ 25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO₂peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

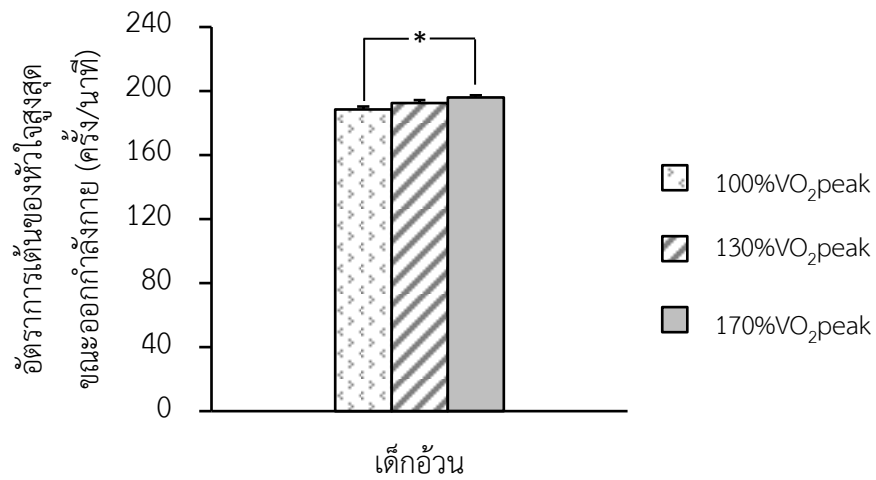


รูปที่ 26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน



รูปที่ 27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกายของเด็ก น้ำหนักปกติ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความที่หนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO₂peak อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ .05



รูปที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกายของเด็กอ้วน ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างการจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO₂peak อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% $VO_2\text{peak}$ ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

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

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้น การไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	10.28	2.14	9.15	2.21
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	0.42	0.01	0.43	0.01*
คลื่นความดันชีพจรระหว่างบริเวณต้นแขน และข้อเท้า (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_2 peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

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

*p<.05

จากตารางที่ 8 และรูปที่ 29-37 แสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2 peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วน มีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าสูงกว่า เด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2 peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

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

*p<.05

จากตารางที่ 9 และรูปที่ 29-37 แสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2 peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดสูงกว่าเมื่อเทียบกับเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2 peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กน้ำหนักปกติ (n=18)		เด็กอ้วน (n=17)	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้น	18.10	2.21	16.64	2.28
การไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)				
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_2 peak เด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดสูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2 peak ของเด็กน้ำหนักปกติ

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กน้ำหนักปกติ (n =18)							
	Baseline		100% VO_2 peak		130% VO_2 peak		170% VO_2 peak	
	\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

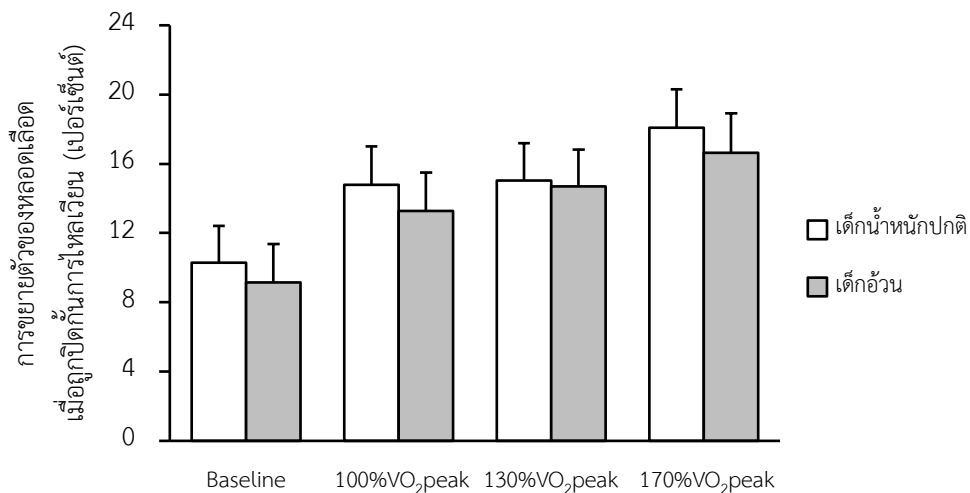
จากตารางที่ 11 และรูปที่ 29-37 แสดงให้เห็นว่า หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2 peak เด็กน้ำหนักปกติมีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% VO_2 peak เด็กน้ำหนักปกติมีค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2 peak ของเด็กอ้วน

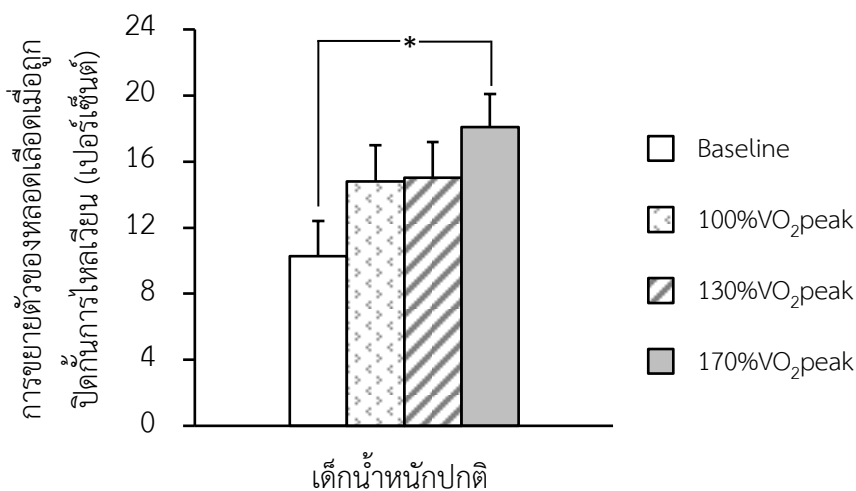
ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	เด็กอ้วน (n =17)							
	Baseline		100% VO_2 peak		130% VO_2 peak		170% VO_2 peak	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)	9.15	2.21	13.29	2.21	14.69	2.14	16.64	2.28*
ความหนาของผนังหลอดเลือด (มิลลิเมตร)	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_2 peak เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% VO_2 peak เด็กอ้วนมีค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

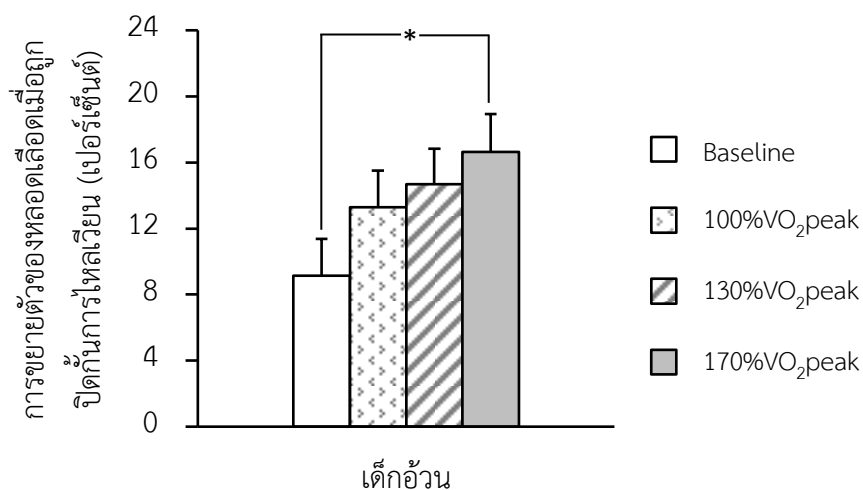


รูปที่ 29 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน



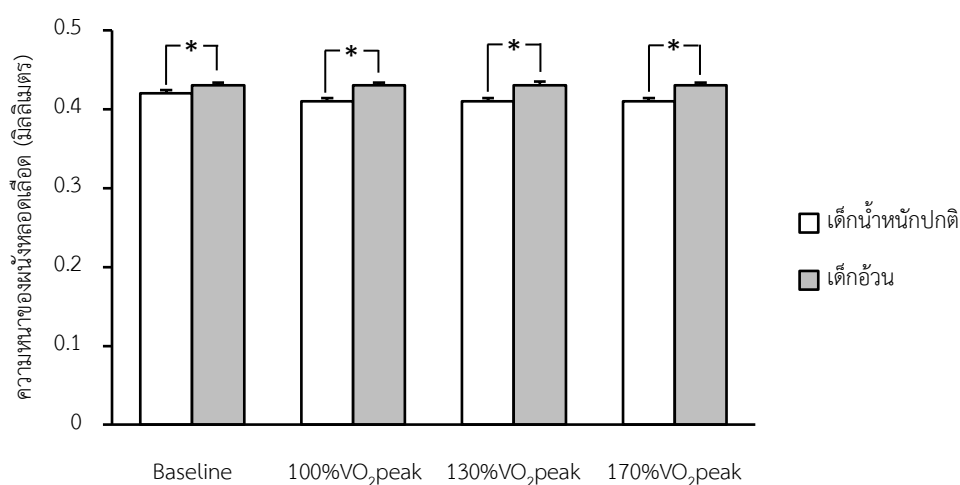
รูปที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



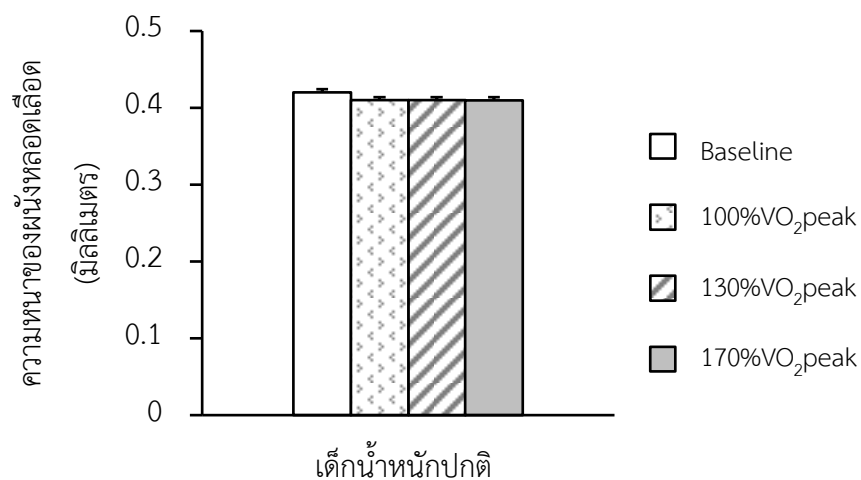
รูปที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความ 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

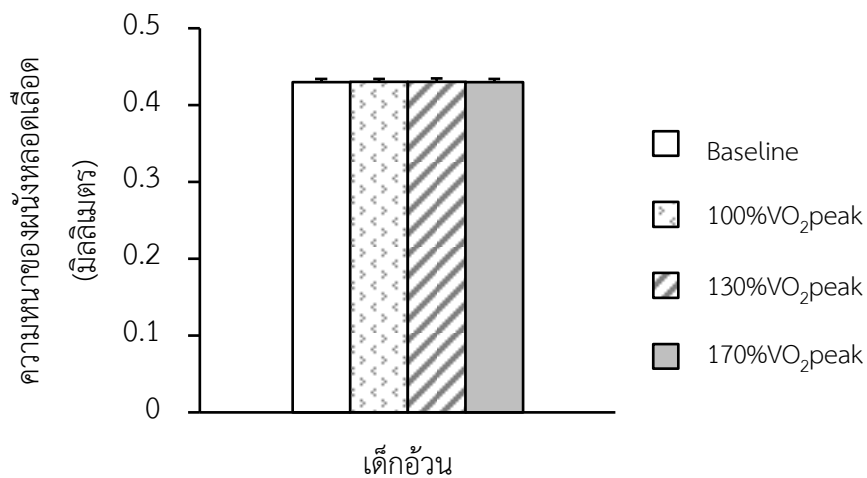


รูปที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน

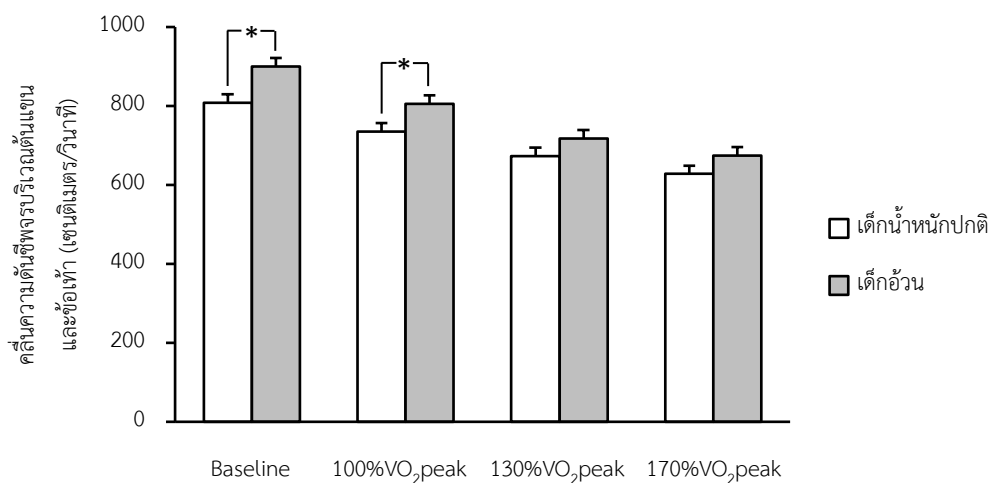
*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดของเด็กน้ำหนัปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

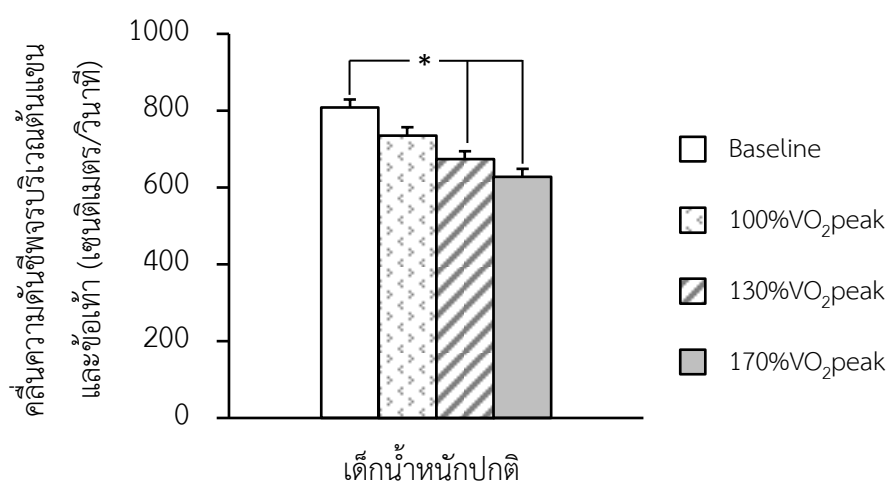


รูปที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือดของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak



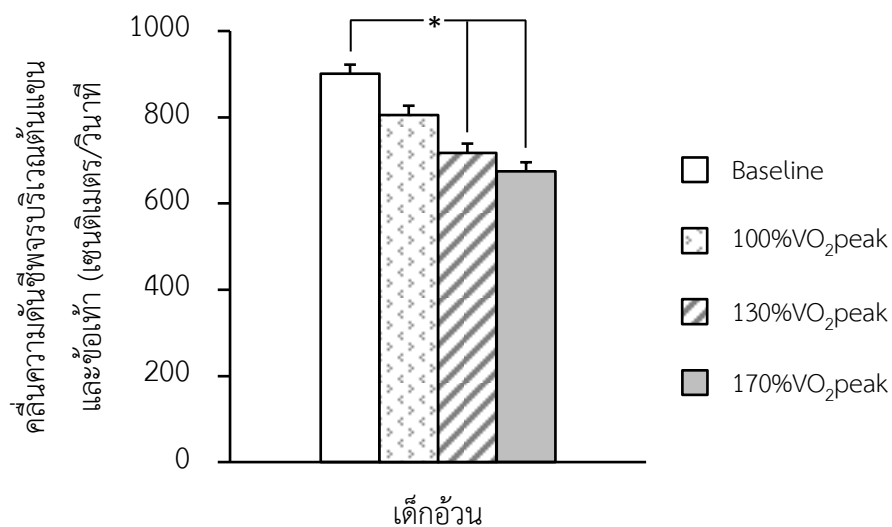
รูปที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak ระหว่างเด็กน้ำหนักปกติและเด็กออทิสซึม

*แตกต่างจากเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าของเด็กน้ำหนักปกติ ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าของเด็กอ้วน ระหว่างก่อน (Baseline) และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO₂peak

*แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

ตอนที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสรีรวิทยา ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยา ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	\bar{X}	SEM	\bar{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
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 ไชมัน มวลกล้ามเนื้อ รอบเอว รอบสะโพก สัดส่วนเอว-สะโพก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ย และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้าน สรีรวิทยา ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนัก สูง (90% VO_2 peak)

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
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลาย ตัว (มิลลิเมตรปรอท)	76.91	2.82	76.73	1.79
ความดันโลหิตในหลอดเลือด แดงเฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	91.30	2.72	91.45	2.59
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สูงสุด (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 มีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



ตารางที่ 15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสรีรวิทยาระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

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
ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดง เฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	88.80	2.41	81.33	2.97*
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 และความดัน

โลหิตขณะหัวใจคลายตัว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ยลดลง แต่สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น 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)		กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความ หนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความ หนักสูงมาก (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
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลาย ตัว (มิลลิเมตรปรอท)	73.36	2.25	76.91	2.82	76.33	1.96
ความดันโลหิตในหลอดเลือด แดงเฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	87.12	2.47	91.30	2.72	88.8	2.41
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน สูงสุด (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 และค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และกลุ่มออกกำลังกาย

กายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยส่วนสูง และน้ำหนักสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่ำกว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .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
ความดันโลหิตในหลอดเลือดแดง เฉลี่ย (มิลลิเมตรปรอท)	85.55	2.47	91.45	2.59	81.33	2.97 [†]
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที)	26.61	1.58	37.10	1.60*	30.84	1.07 [†]

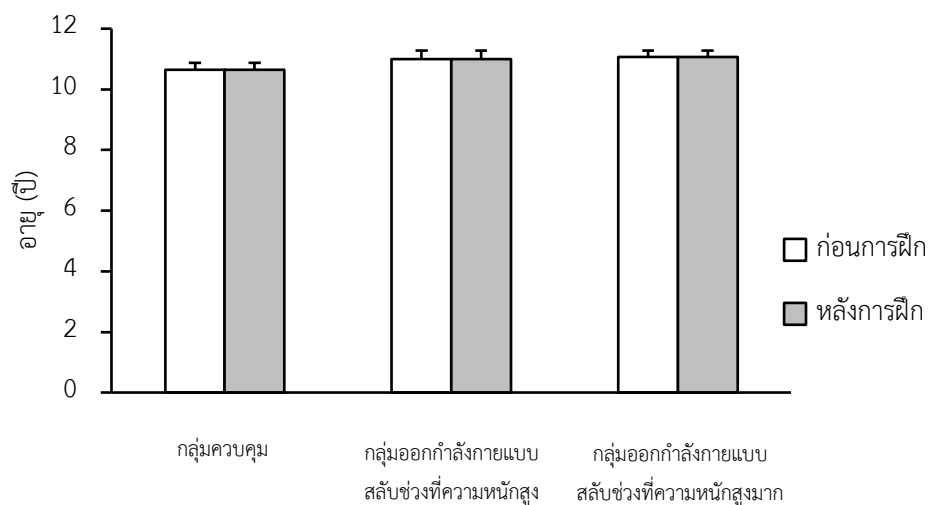
*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

[†]p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

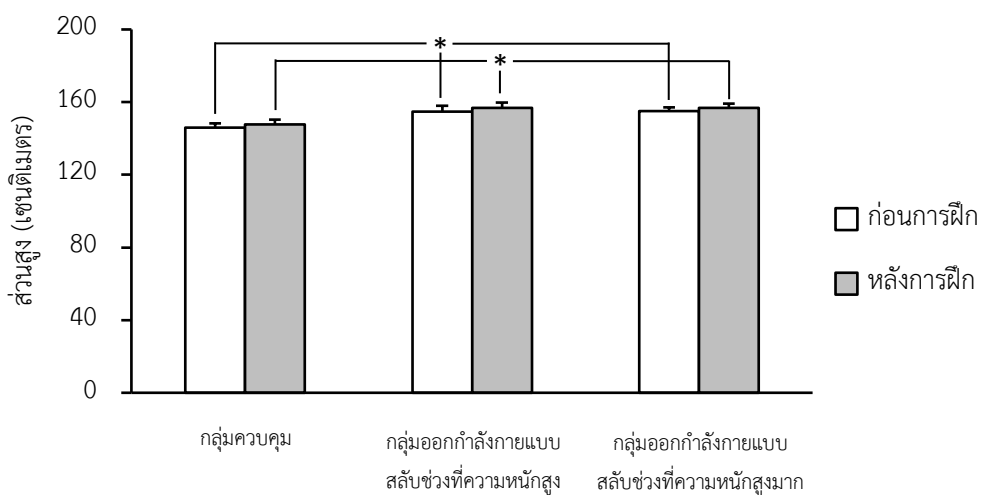
จากตารางที่ 17 และรูปที่ 38-51 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมีค่าเฉลี่ยส่วนสูง และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงกว่า แต่มี

ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยส่วนสูง น้ำหนัก และมวลกล้ามเนื้อสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่มีค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด และความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



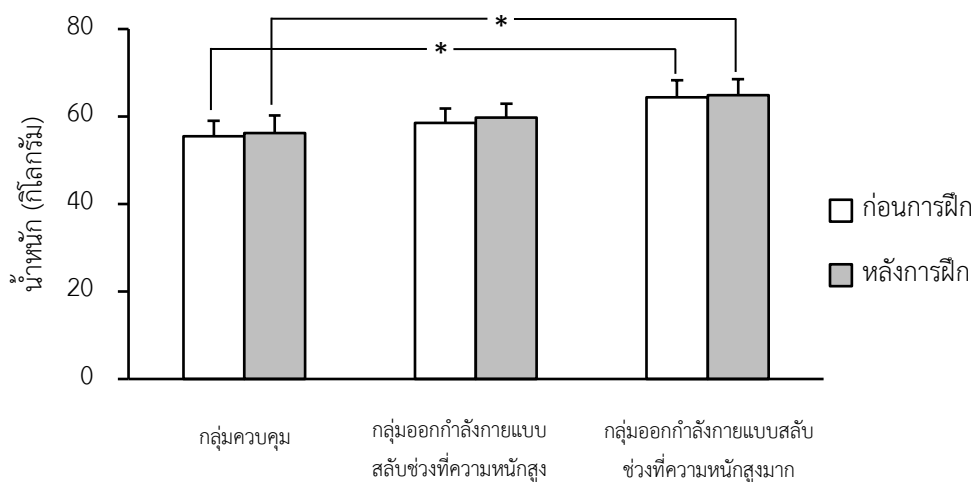


รูปที่ 38 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอายุก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)



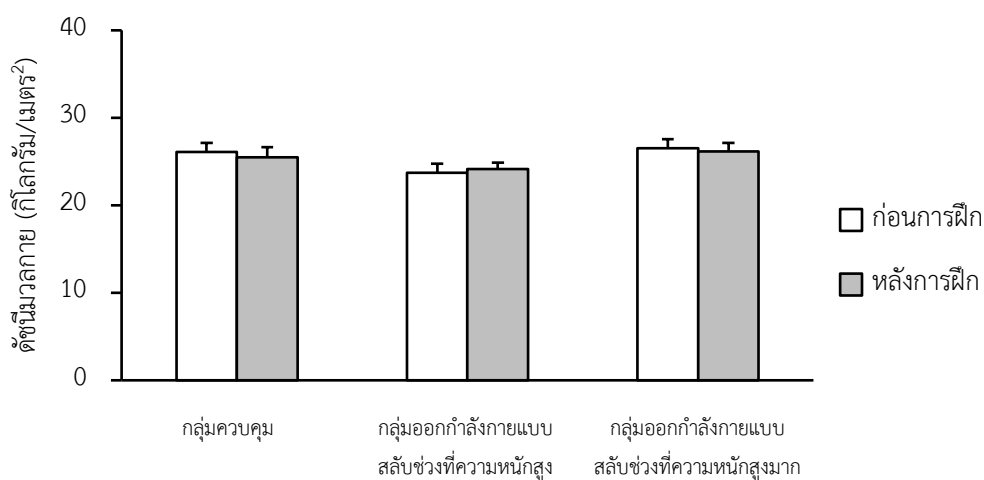
รูปที่ 39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยส่วนสูงก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

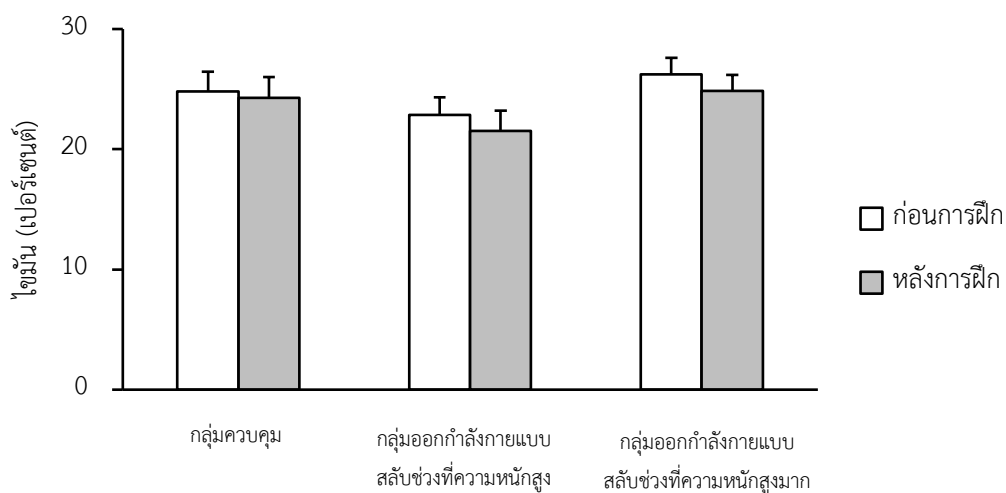


รูปที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำหนักร่างกายก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})

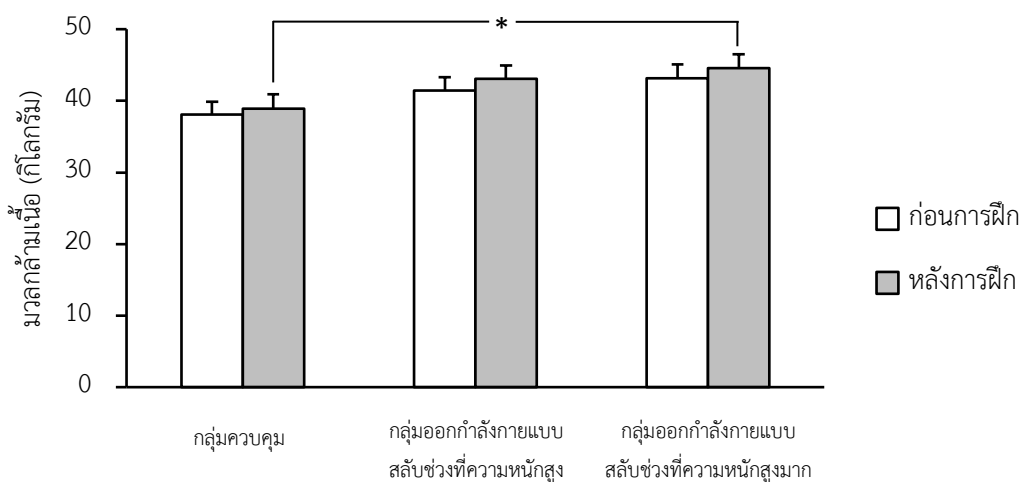
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 41 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกายก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})

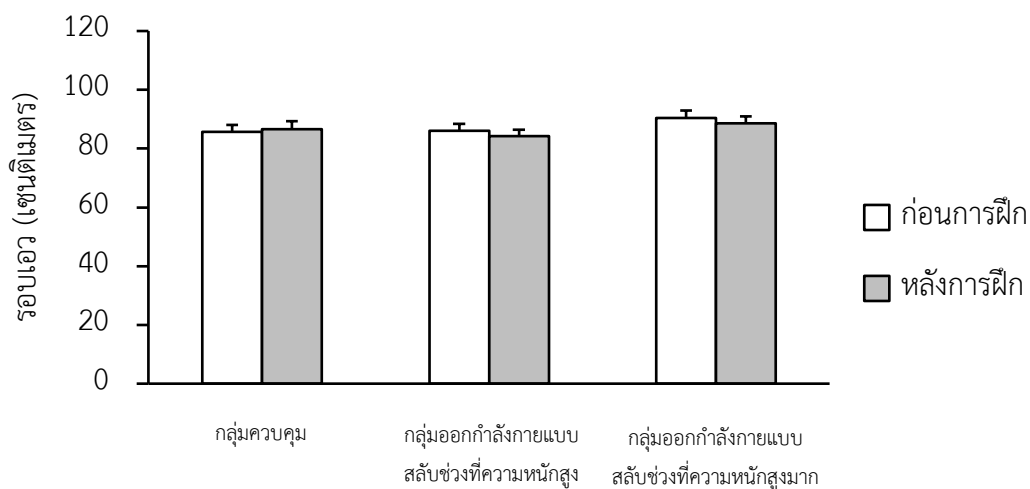


รูปที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

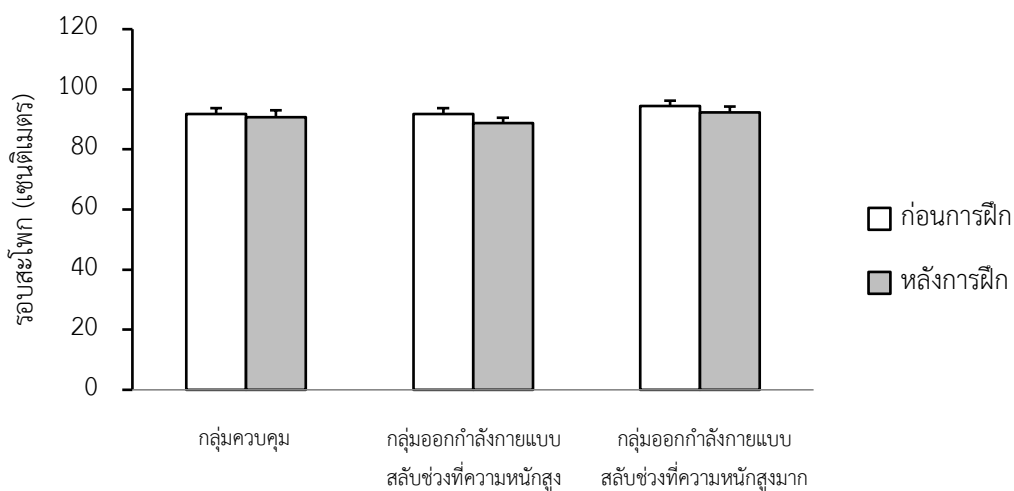


รูปที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมวลกล้ามเนื้อก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

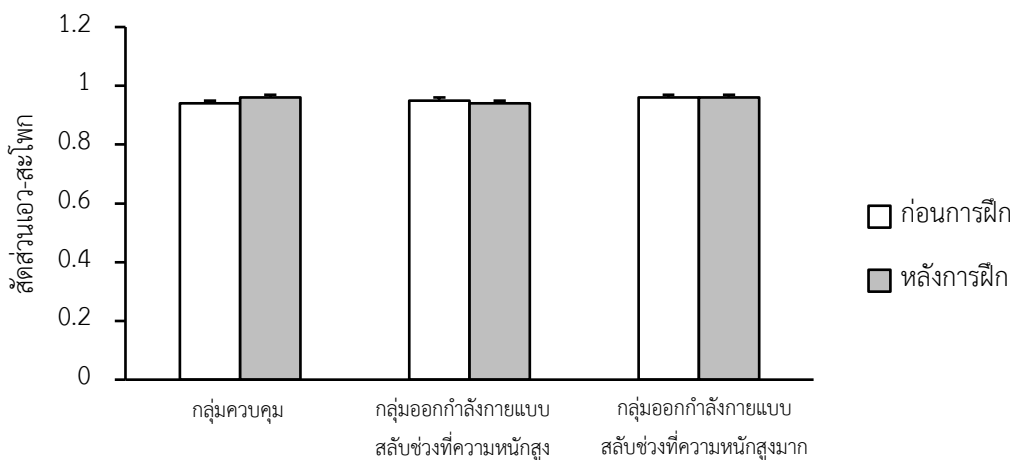
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 44 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบเอวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})

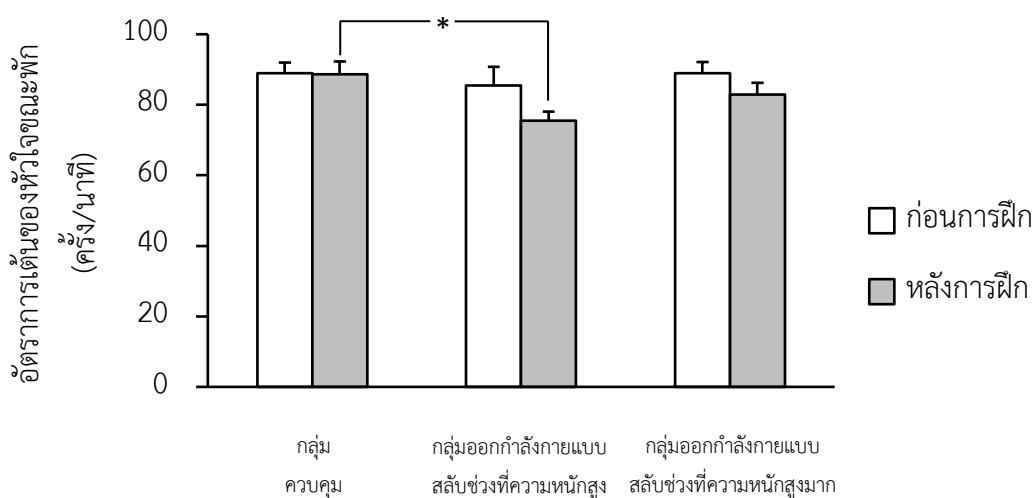


รูปที่ 45 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรอบสะโพกก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})



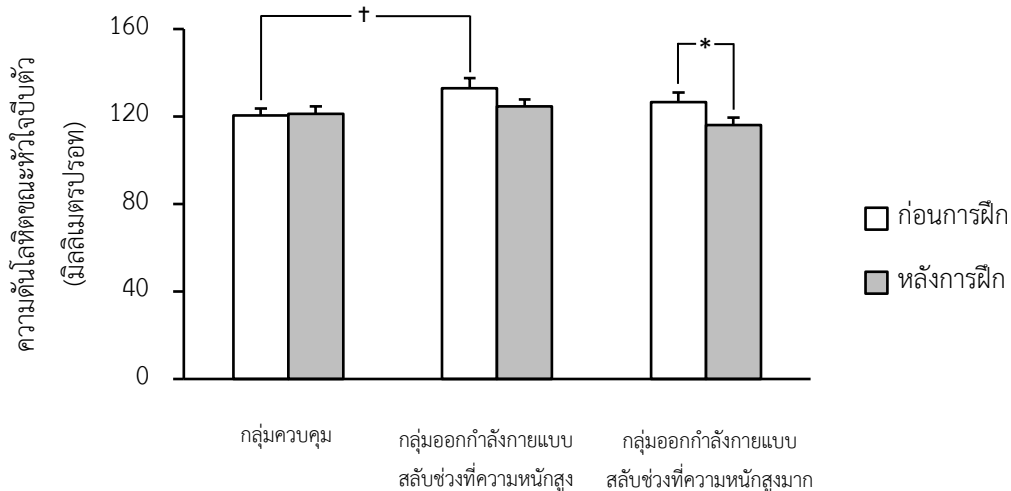
รูปที่ 46 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนเอว-สะโพกก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 47 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

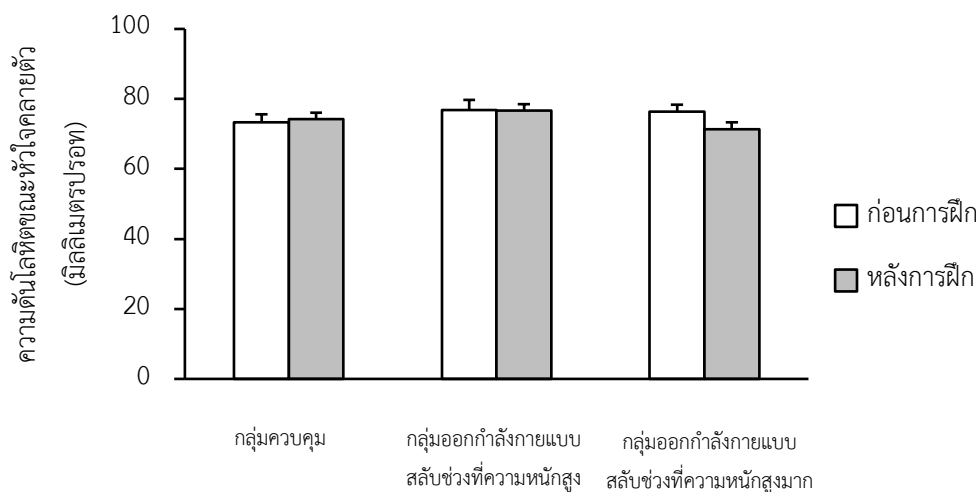
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



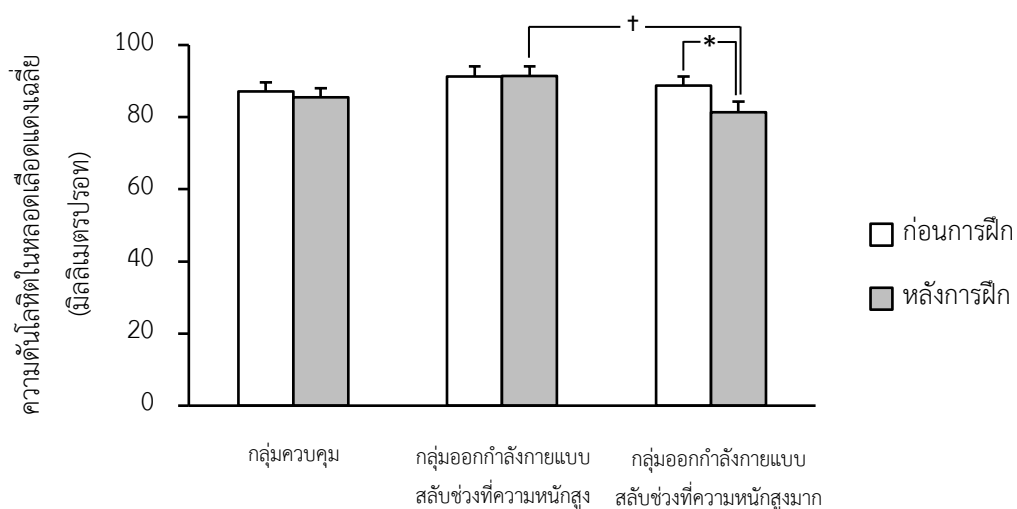
รูปที่ 48 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



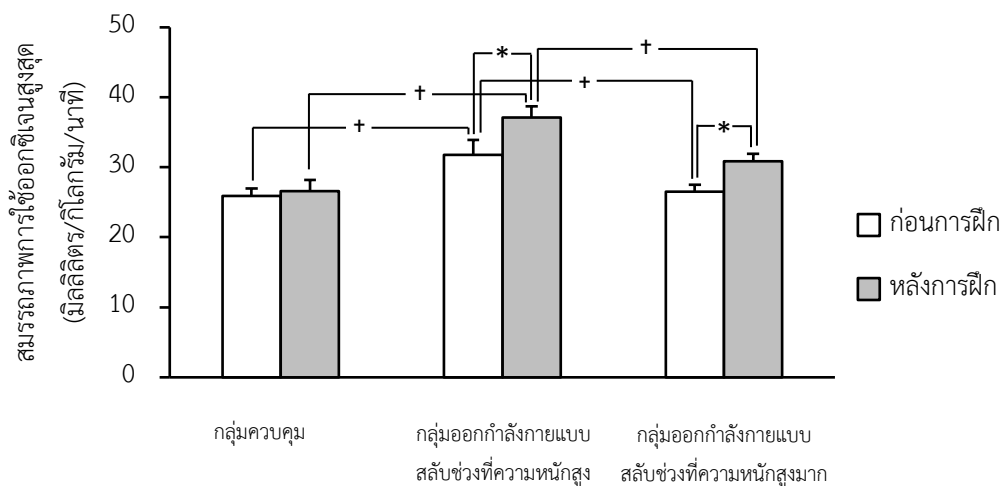
รูปที่ 49 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)



รูปที่ 50 การเปรียบเทียบความดันโลหิตในหลอดเลือดแดงเฉลี่ยก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 51 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนและหลังการฝึก 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 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับ ช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

ตารางที่ 18 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้าน การใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
การใช้พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรี)	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 (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak})

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
การใช้พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรี)	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 มีค่าเฉลี่ยการใช้ ออกซิเจนขณะพัก 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 (กิโลแคลอรี)	1770.80	80.76	1882.07	87.87
การใช้ออกซิเจนขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.26	0.01	0.27	0.01
การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.20	0.01	0.22	0.01
สัดส่วนการใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ต่อ ออกซิเจนขณะพัก	0.78	0.02	0.79	0.02
การเผาผลาญไขมันขณะพัก (กรัม)	0.10	0.01	0.09	0.01
การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ขณะพัก (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% $VO_2\text{peak}$) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$)

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
การใช้พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรี)	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 [†]
การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ขณะพัก (ลิตร/นาที)	0.20	0.02	0.19	0.01	0.20	0.01
สัดส่วนการใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ ต่อออกซิเจนขณะพัก	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* [†]
การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ขณะพัก (กรัม)	0.15	0.04	0.17	0.03	0.08	0.03 [†]

*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

[†]p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

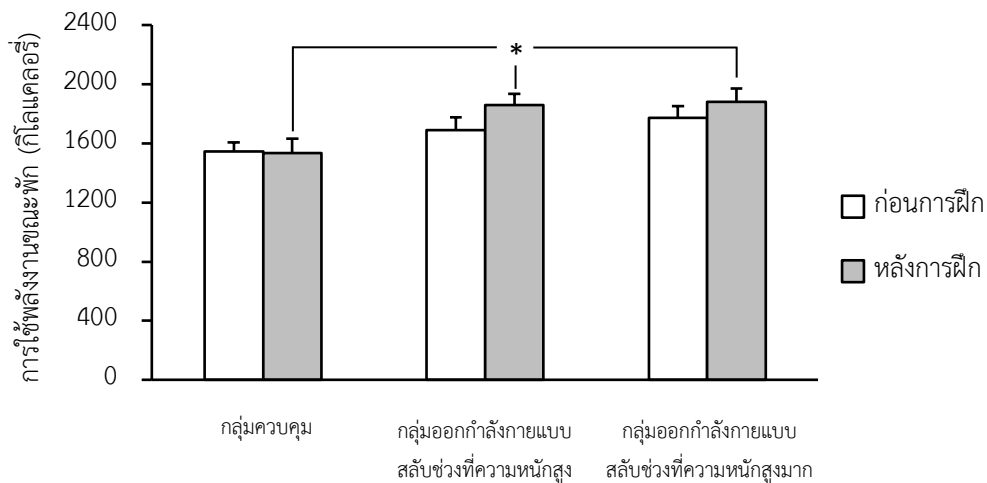
จากตารางที่ 21 และรูปที่ 52-57 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ทั้ง 3 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานขณะพักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยการใช้ออกซิเจนขณะพัก และการเผาผลาญไขมันขณะพักสูงกว่า แต่ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพัก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

ตารางที่ 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการใช้พลังงาน หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

ตัวแปรด้านการใช้พลังงาน	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
การใช้พลังงานขณะพัก (กิโลแคลอรี)	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

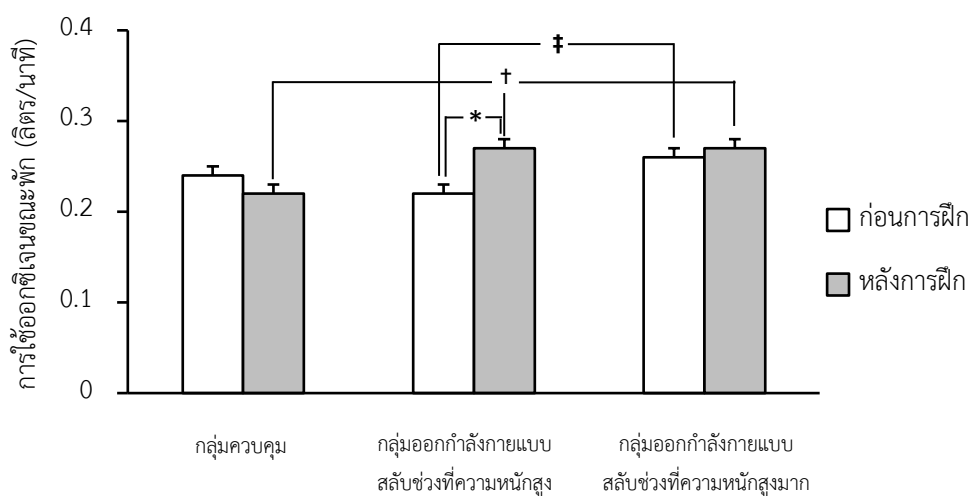
* $p < .05$ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

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% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

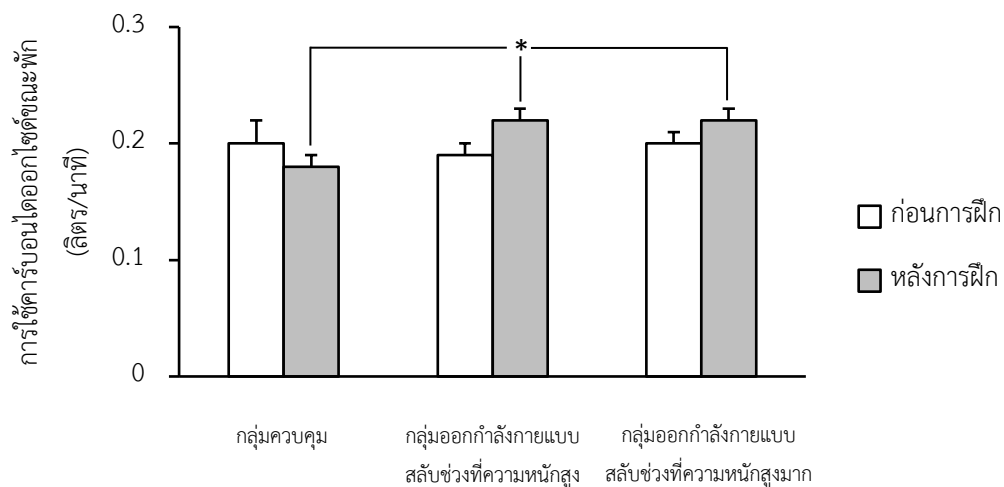


รูปที่ 53 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

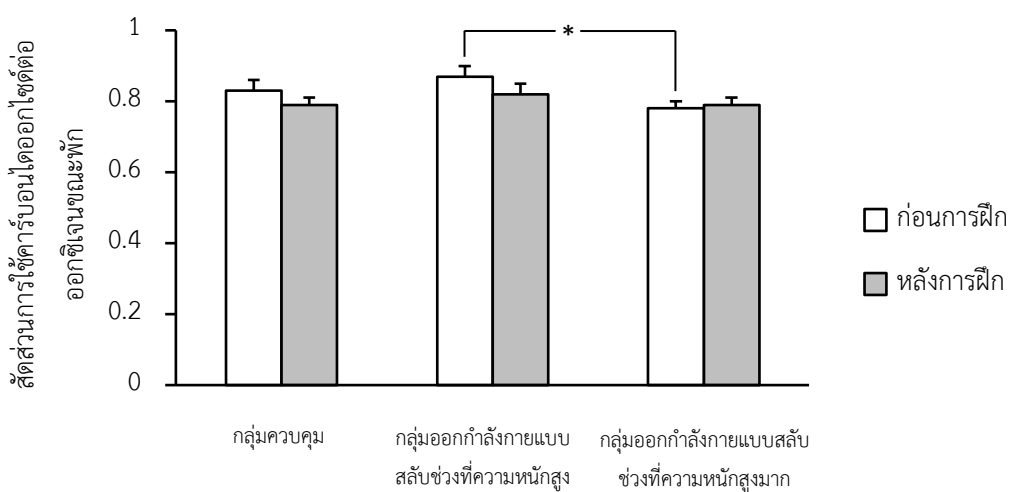
†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

‡แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



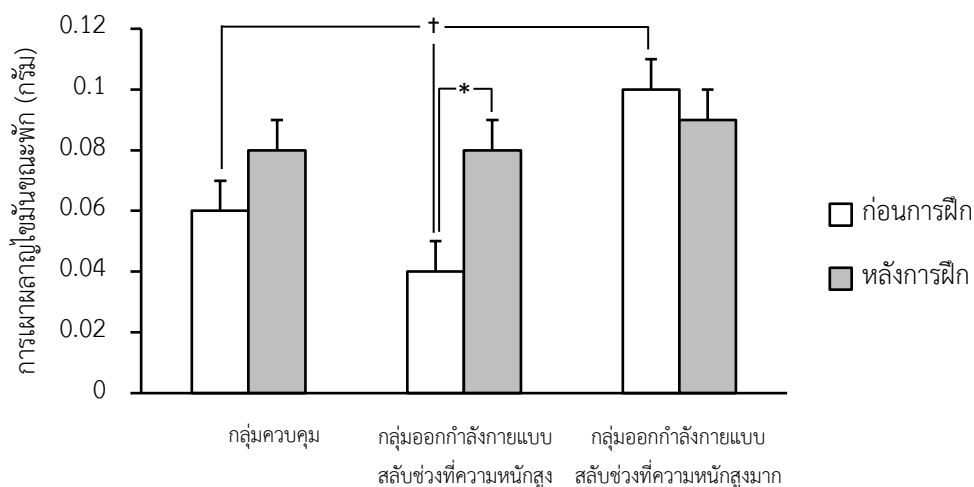
รูปที่ 54 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ขณะพักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 55 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสัดส่วนการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อออกซิเจนขณะพักก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

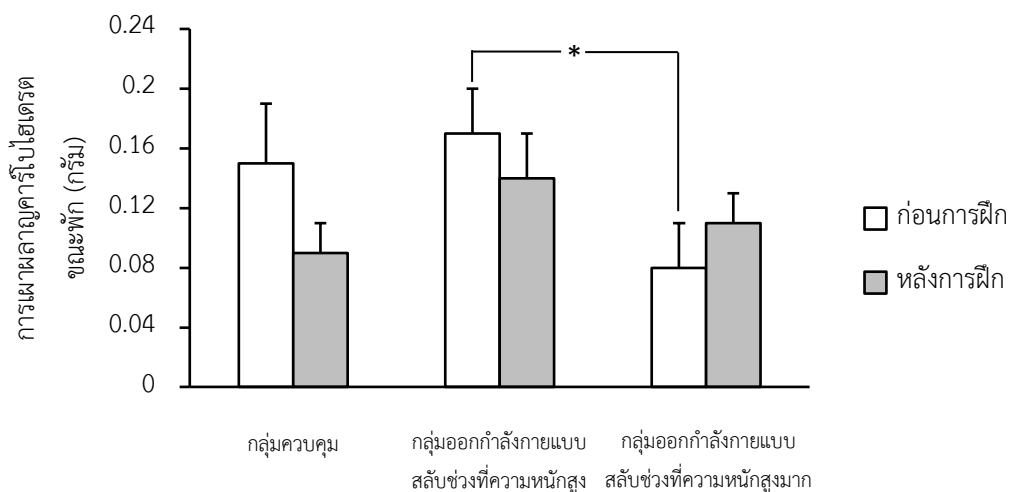
*แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



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% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

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

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้น	8.29	0.77	7.41	1.14
การไหลเวียน (เปอร์เซ็นต์)				
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 มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้น การไหลเวียน ความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 24 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak)

ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n = 11)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	\bar{X}	SEM	\bar{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_2 peak)

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% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

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

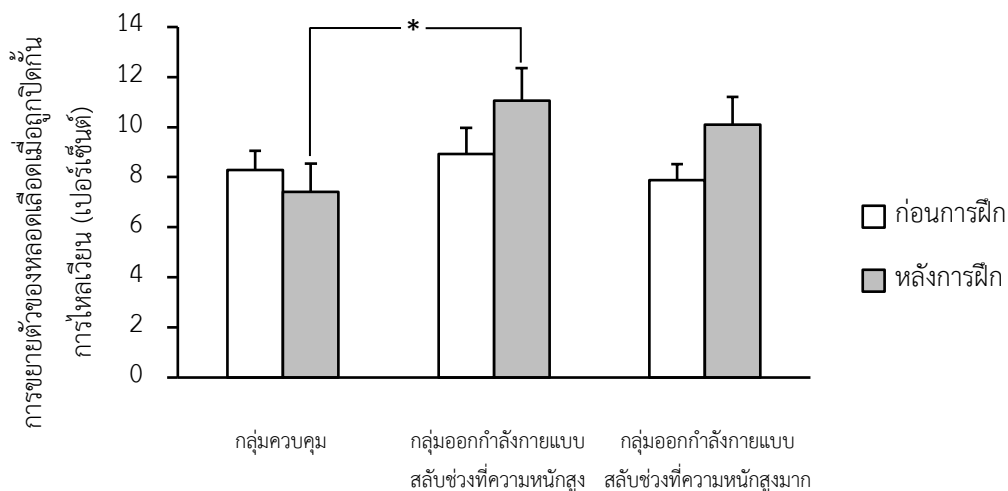
จากตารางที่ 26 และรูปที่ 58-60 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ความหนาของผนังหลอดเลือด และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ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

ตารางที่ 27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

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*

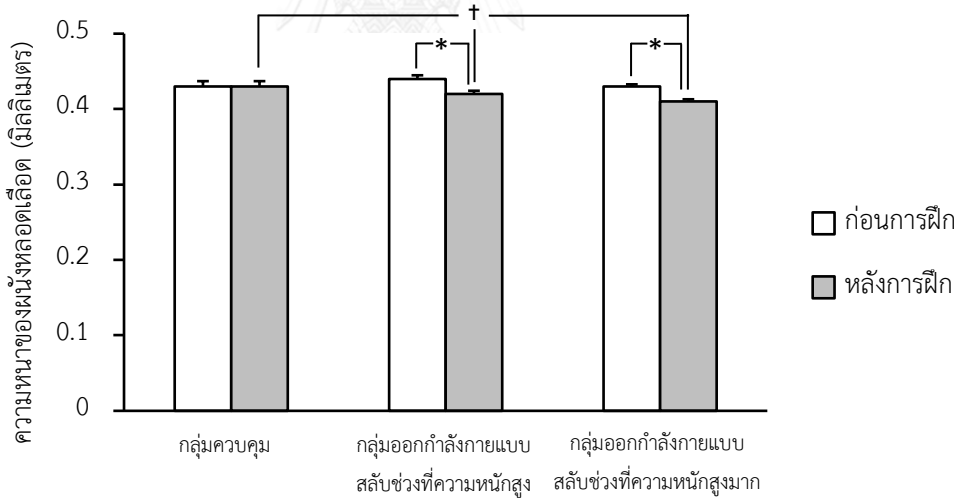
*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

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% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

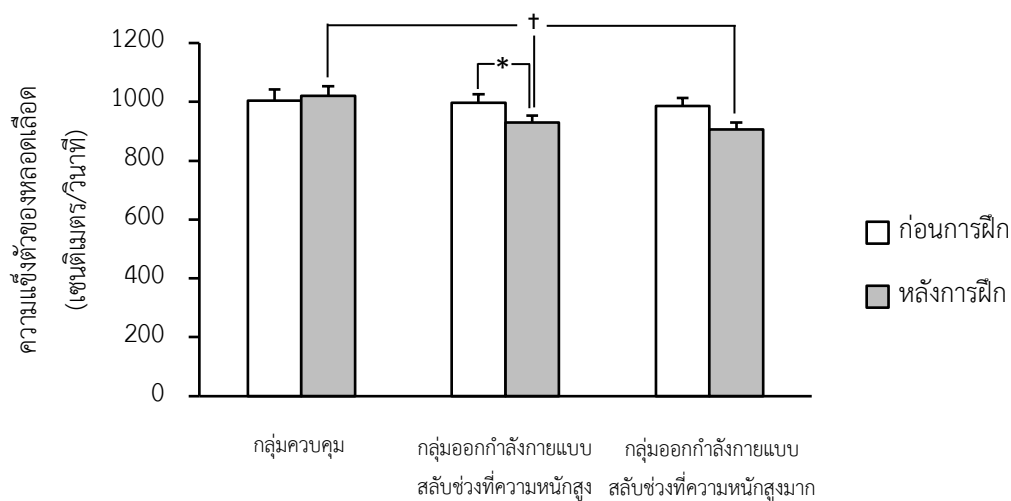
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 59 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาของผนังหลอดเลือด ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 60 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นความดันซีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

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

ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	\bar{X}	SEM	\bar{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
ไฮเดนซิติ์ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	55.45	2.81	52.09	1.90
โลวเดนซิติ์ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	113.20	10.2	106.55	10.55
เลปติน (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)	7.90	1.24	6.58	1.35
อะดีพอนคติน (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
ครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส (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 ไฮเดนซิติ์ไลโปโปรตีน โลวเดนซิติ์ไลโปโปรตีน เลปติน อะดีพอนคติน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส

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*
ไฮเดนซิติ์ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	51.00	3.40	45.30	3.62
โลวเดนซิติ์ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	111.50	7.87	88.10	4.01*
เลปติน (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)	5.25	0.77	4.24	0.62
อะดีโพเนคติน (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
ครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส (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 และโลวเดนซิติ์ไลโปโปรตีนลดลง แต่ไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยไฮเดนซิติ์ไลโปโปรตีน เลปติน อะดีโพเนคติน มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส

ตารางที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือดระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

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*
ไฮเดนซิติ์ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	48.53	2.32	43.29	2.60
โลวเดนซิติ์ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	90.07	5.77	74.00	6.17
เลปติน (นาโนกรัม/มิลลิลิตร)	6.84	1.08	5.66	0.98
อะดีโปเนคติน (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
ครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส (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 แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยไฮเดนซิติ์ไลโปโปรตีน โลวเดนซิติ์ไลโปโปรตีน เลปติน อะดีโปเนคติน มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส

ตารางที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

ตัวแปรด้านสารชีวเคมี ในเลือด	กลุ่มควบคุม (n = 11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูง (n = 11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูง มาก (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
ไฮเดนซีตี้ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	55.45	2.81	51.00	3.40	48.53	2.32
โลวเดนซีตี้ไลโปโปรตีน (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
อะดิโปเนคติน (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
ครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส (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 ไฮเดนซีตี้ไลโปโปรตีน เลปติน

อะดิโพนาคติน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอทีนฟอสโฟโคเนส แต่กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยโลวเดนซิติไลโปโปรตีนต่ำกว่า เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% $VO_2\text{peak}$) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$)

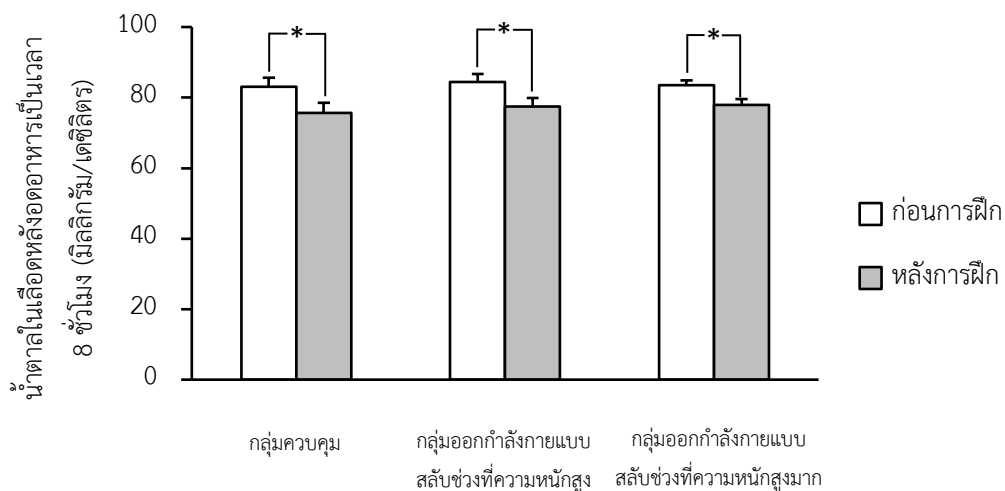
ตัวแปรด้านสารชีวเคมีในเลือด	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
น้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	75.73	2.74	77.44	2.48	77.92	1.62
คอเลสเตอรอล (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	176.40	9.74	145.45	5.90*	131.07	8.25*
ไตรกลีเซอไรด์ (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	115.64	24.96	77.90	9.28	86.36	8.91
ไฮเดนซิติ์ไลโปโปรตีน (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)	52.09	1.90	45.30	3.62	43.29	2.60*
โลวเดนซิติ์ไลโปโปรตีน (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
อะดีโพเนคติน (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
ครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส (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 มีค่าเฉลี่ย

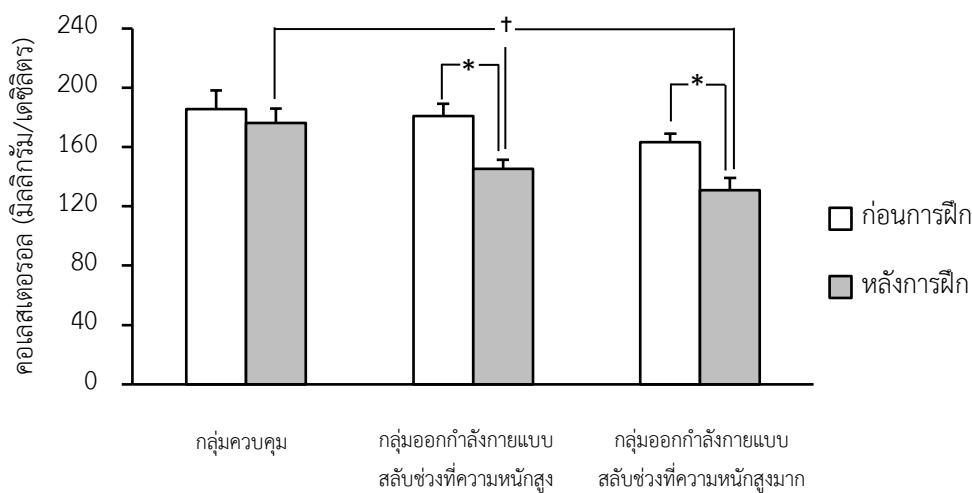
คอเลสเทอรอล ไฮเดนซีดีไลโปโปรตีน และโลวเดนซีดีไลโปโปรตีนต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ
ที่ระดับ .05 แต่ทั้ง 3 กลุ่มไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ไตรกลีเซอไรด์ เลปติน
อะดีโปเนคติน ไนตริกออกไซด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส





รูปที่ 61 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำตาลในเลือด ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

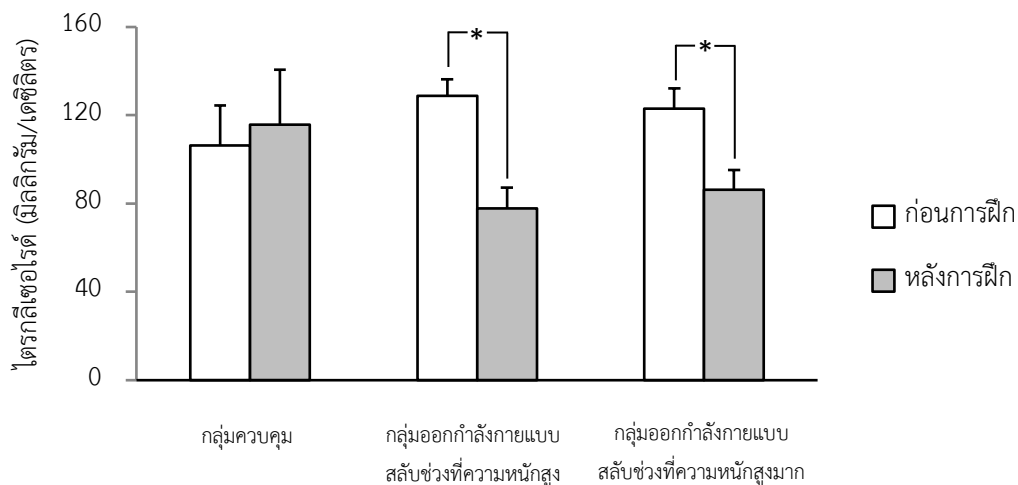
*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 62 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคอเลสเตอรอล ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

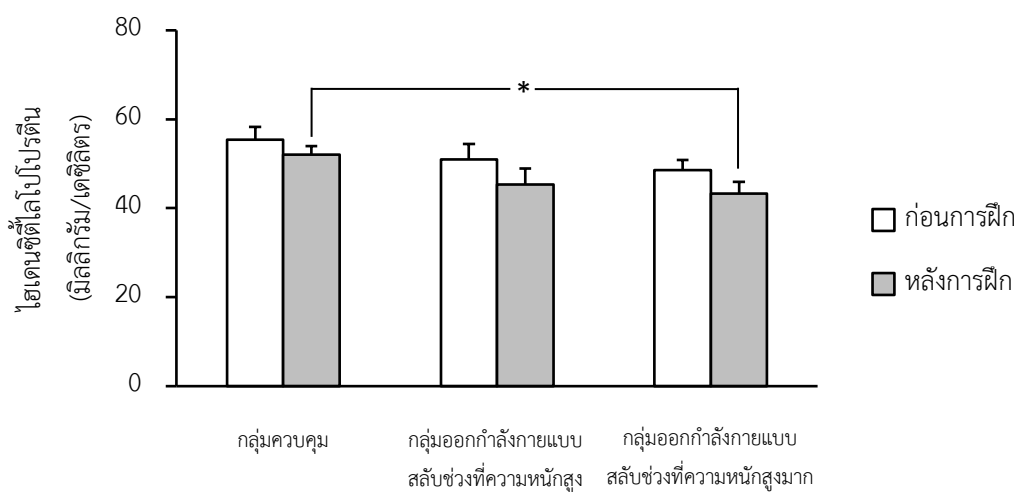
*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



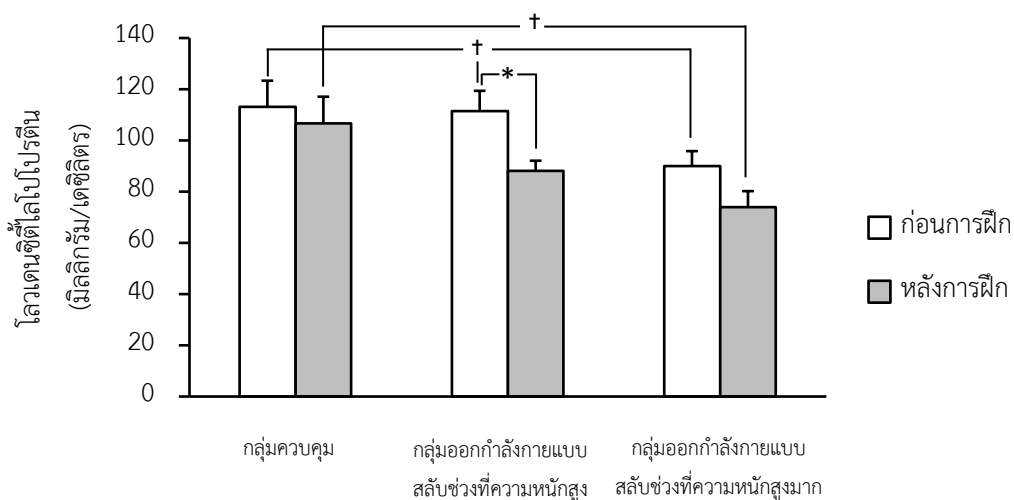
รูปที่ 63 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจ ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 64 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไฮเดนซิติโลโปโรตีน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

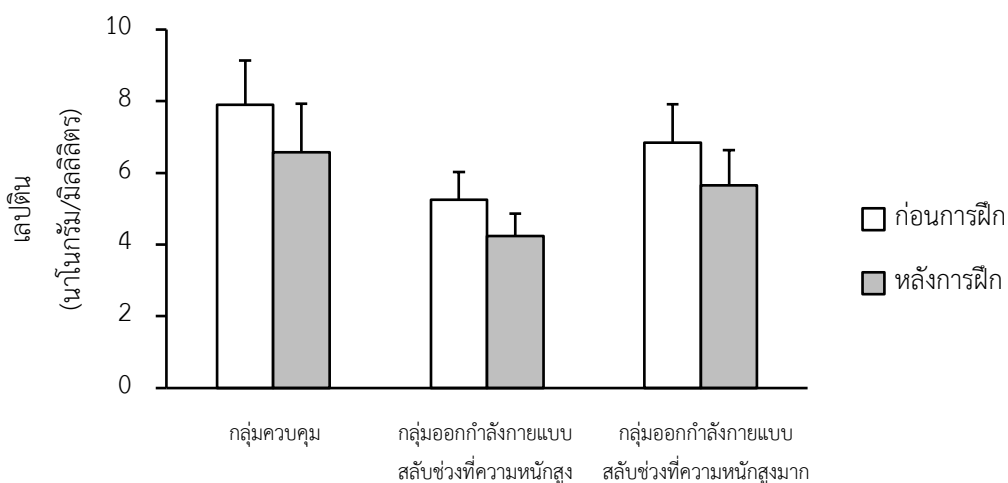
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



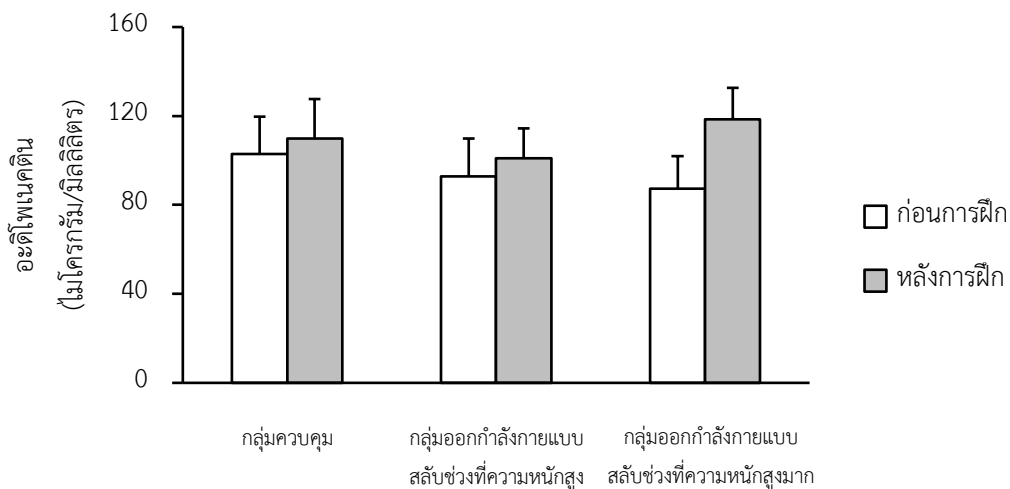
รูปที่ 65 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโวลูเมนซีดีไลโปโปรตีน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

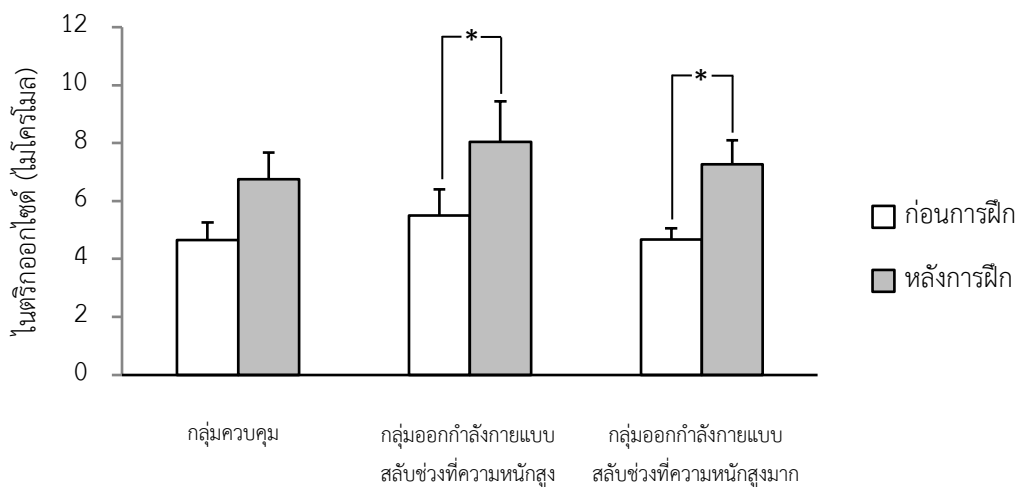
†แตกต่างจากกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 66 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยฮอริโมนเลปติน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

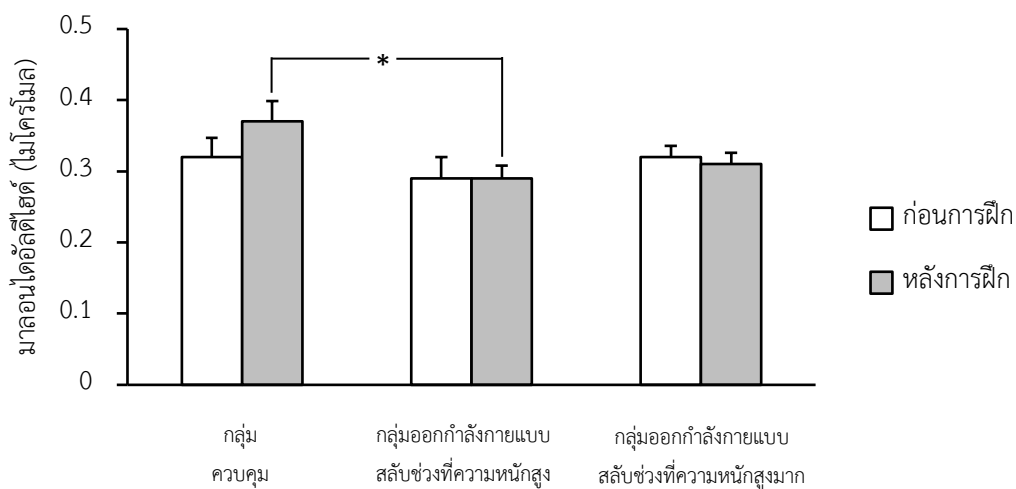


รูปที่ 67 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอะติโพนเคติน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)



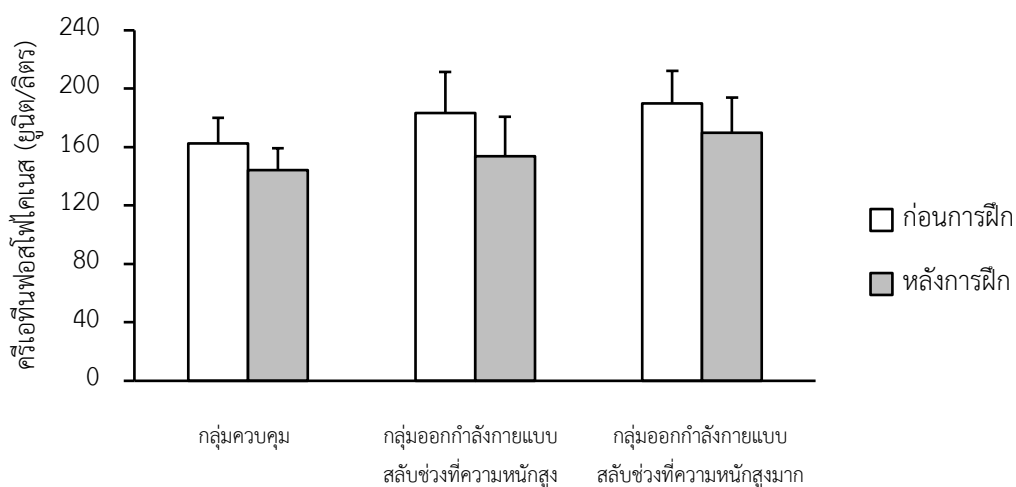
รูปที่ 68 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไนตริกออกไซด์ ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 69 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมาลอนได้อัลดีไฮด์ ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 70 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยครีเอทีนฟอสโฟโคเนส ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})

ตอนที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูง (90% $VO_2\text{peak}$) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$)

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้าน สุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการทดลอง 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม

ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	\bar{X}	SEM	\bar{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 ความแข็งแรงของ กล้ามเนื้อหลัง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว และงานในการปั่นจักรยาน ไม่แตกต่าง เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้าน สุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความ หนักสูง (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
ลูกนั่ง (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 ลูกนั่ง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา และความอ่อนตัว ไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับ ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึก 12 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยแรงบีบมือ ด้านขวา และงานในการปั่นจักรยานเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนการฝึก 12 สัปดาห์อย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับ .05

ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้าน
 สุขสมรรถนะ ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความ
 หนักสูงมาก (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) ของตัวแปรด้าน สุขสมรรถนะ ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความ หนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})

ตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความ หนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความ หนักสูงมาก (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
ลูกนั่ง (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

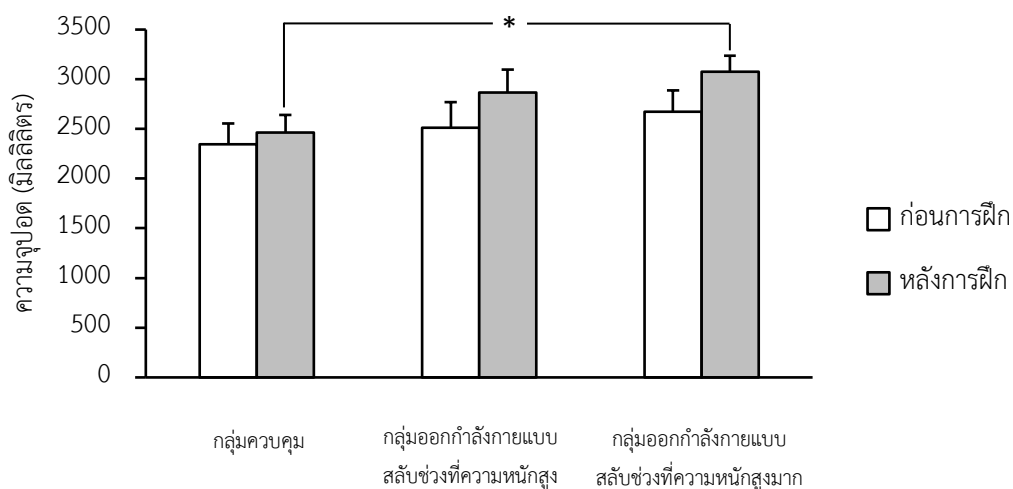
จากตารางที่ 36 และรูปที่ 71 - 78 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ กลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีค่าเฉลี่ยความจุปอด แรงบีบมือด้านขวา แรงบีบมือด้านซ้าย ดันพื้น ลูกนั่ง ความแข็งแรงของ กล้ามเนื้อหลัง ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ความอ่อนตัว และงานในการปั่นจักรยานไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 37 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านสุขสมรรถนะ หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

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*

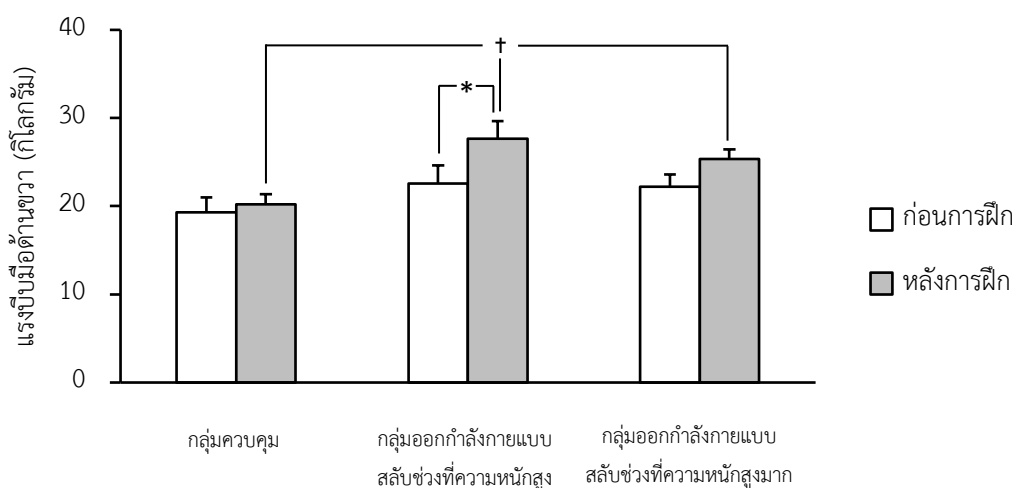
*p<.05 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

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})

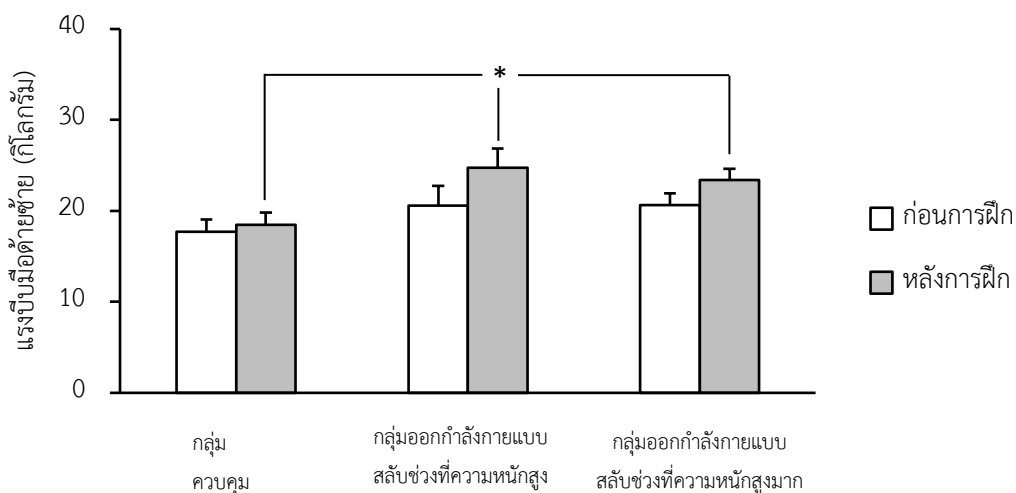
*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 72 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงบีบมือด้านขวา ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})

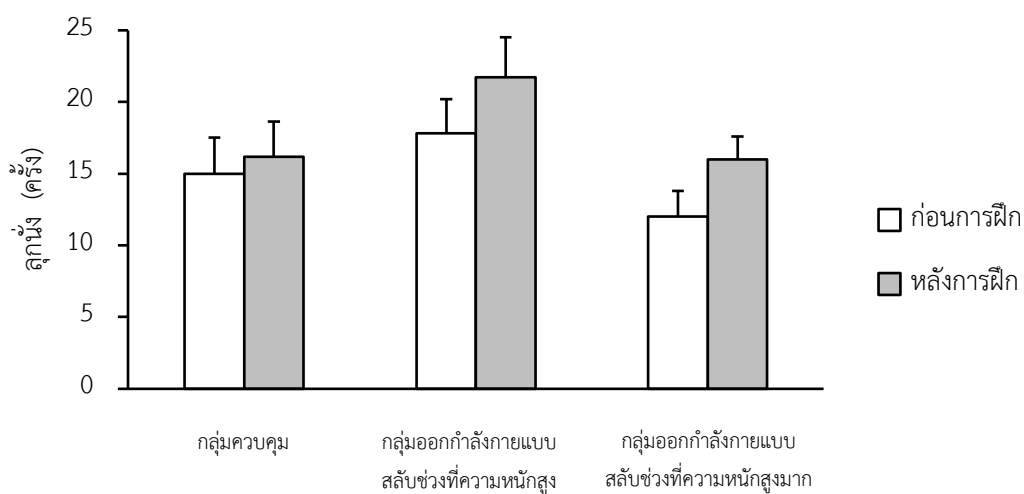
*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

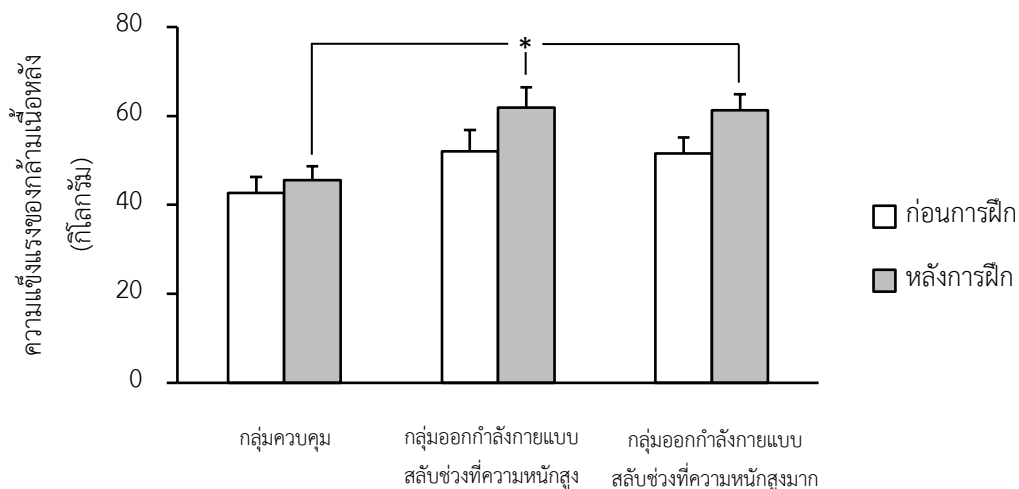


รูปที่ 73 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงบีบมือด้านซ้าย ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

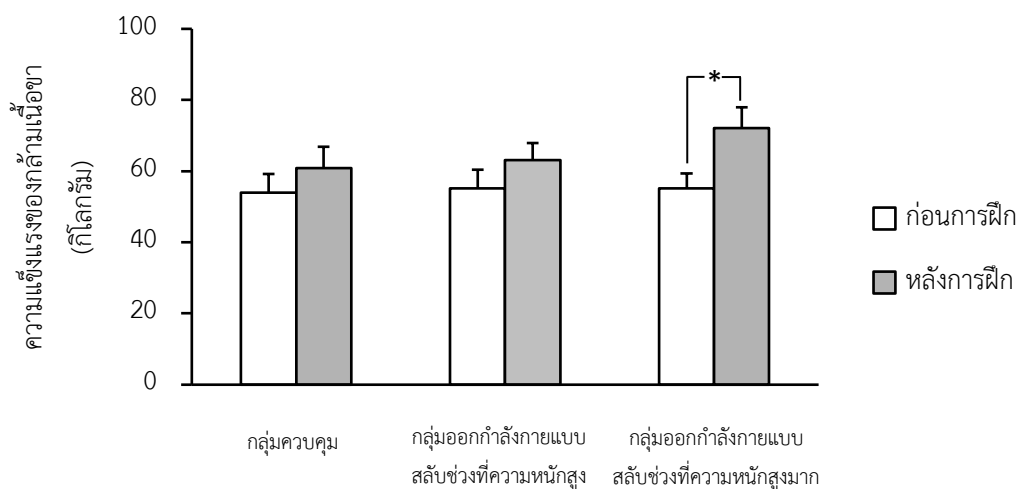


รูปที่ 74 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการนั่งอตัว ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)



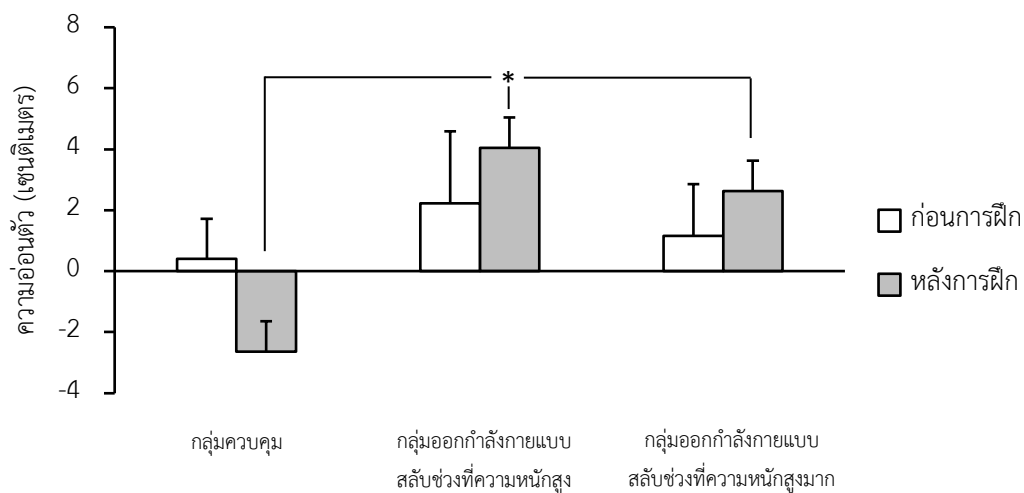
รูปที่ 75 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



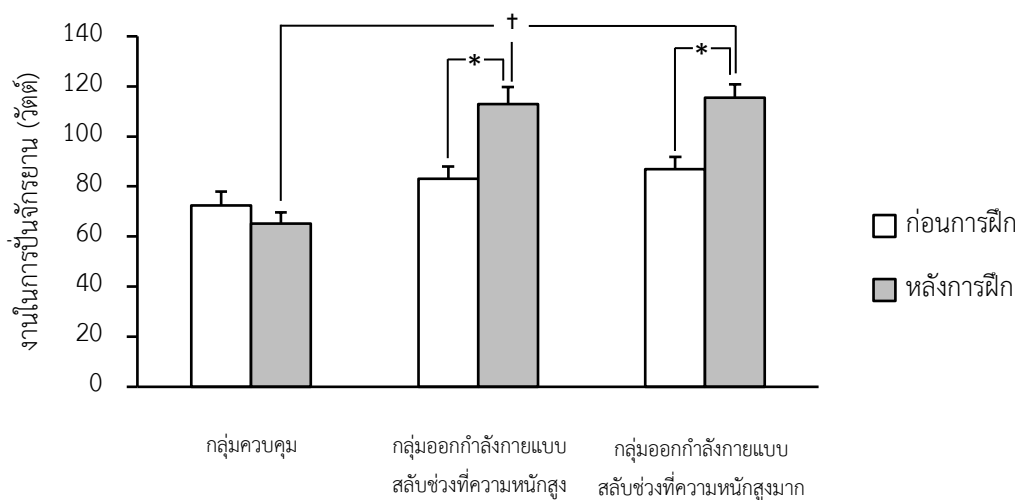
รูปที่ 76 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อในเช้า ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 77 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความอ่อนตัว ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

*แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 78 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยงานในการปั่นจักรยาน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

*แตกต่างจากก่อนการฝึก 12 สัปดาห์ภายในกลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

†แตกต่างจากกลุ่มควบคุมในการทดสอบเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตอนที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

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

ตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและ การรับประทานอาหาร	กลุ่มควบคุม (n =11)			
	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)	8864.36	425.45	8545.8	690.92
คะแนนพฤติกรรมกรบริโภคอาหาร	7.64	0.54	7.64	0.54

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

ตารางที่ 39 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak)

ตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและ การรับประทานอาหาร	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n = 11)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)	8952.18	531.15	8582.45	626.19
คะแนนพฤติกรรมกรบริโภคอาหาร	7.45	0.69	7.45	0.69

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

ตารางที่ 40 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร ระหว่างก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

ตัวแปรด้านกิจกรรมทางกาย และการรับประทานอาหาร	กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)			
	ก่อนการฝึก		หลังการฝึก	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)	8296.73	464.88	8046.27	598.83
คะแนนพฤติกรรมการบริโภค อาหาร	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_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

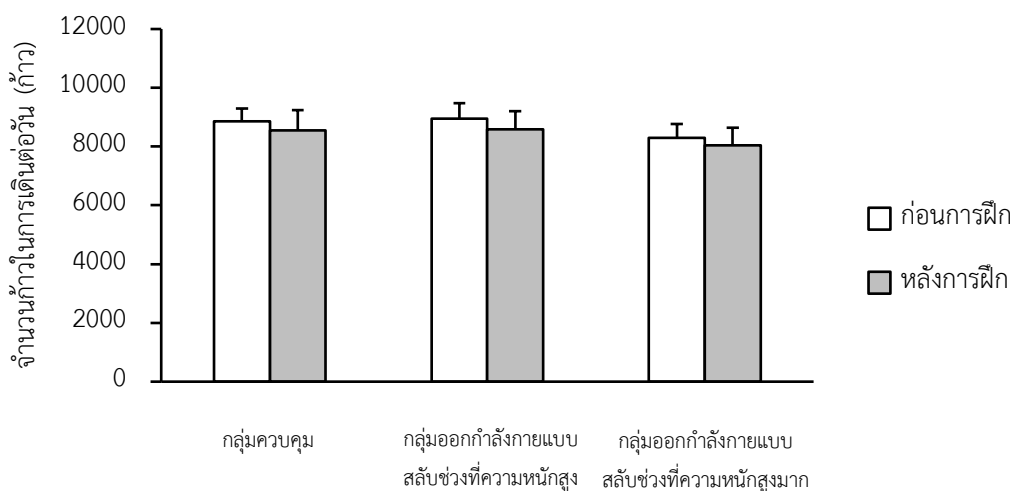
	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (n =15)	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
จำนวนก้าวในการเดินต่อวัน (ก้าว)	8864.36	425.45	8952.18	531.15	8296.73	464.88
คะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร	7.64	0.54	7.45	0.69	7.27	0.12

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

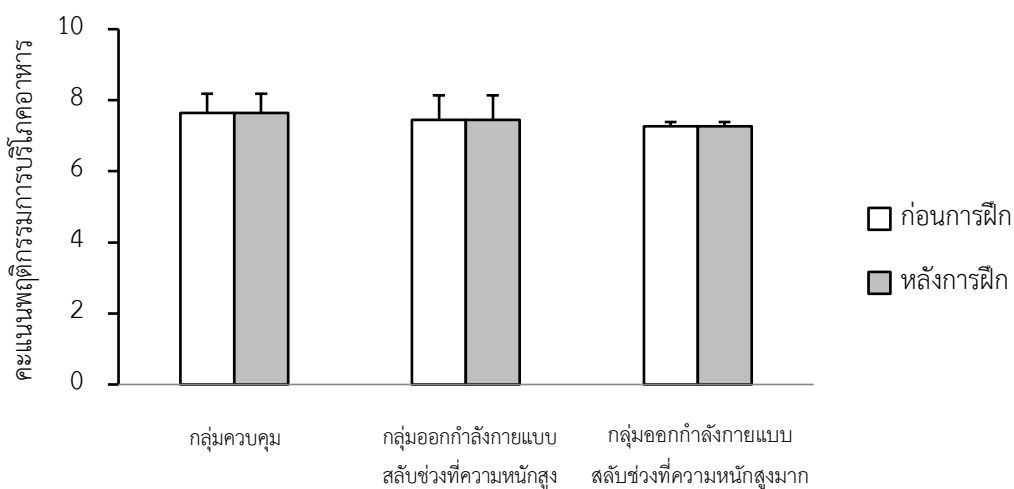
ตารางที่ 42 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านกิจกรรมทางกายและการรับประทานอาหาร หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

	กลุ่มควบคุม (n =11)		กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความ หนักสูง (n =11)		กลุ่มออกกำลังกาย แบบสลับช่วงที่ความ หนักสูงมาก (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
คะแนนพฤติกรรมการบริโภค อาหาร	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 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนกิโลแคลอรีในการเดินต่อวัน ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})



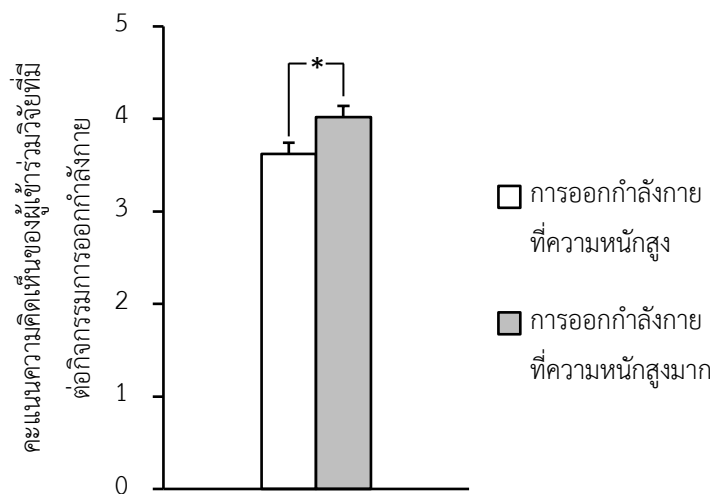
รูปที่ 80 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนพฤติกรรมการบริโภคอาหาร ก่อนและหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ของกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak})

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

ตารางที่ 43 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SEM) ของตัวแปรด้านความสนุกสนานของกิจกรรมออกกำลังกายหลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกิจกรรมการออกกำลังกายที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) และกิจกรรมการออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak)

ตัวแปรด้านความสนุกสนานของ กิจกรรมออกกำลังกาย	การออกกำลังกายที่ความ หนักสูง		การออกกำลังกายที่ความ หนักสูงมาก	
	\bar{X}	SEM	\bar{X}	SEM
คะแนนความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัย ที่มีต่อกิจกรรมการออกกำลังกาย	3.62	0.12	4.02	0.12*

จากตารางที่ 43 และรูปที่ 81 แสดงให้เห็นว่า หลังการฝึก 12 สัปดาห์ การออกกำลังกายที่ความหนักสูงมาก (170% VO₂peak) มีค่าเฉลี่ยคะแนนความคิดเห็นของกิจกรรมการออกกำลังกายสูงกว่าการออกกำลังกายที่ความหนักสูง (90% VO₂peak) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05



รูปที่ 81 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของกิจกรรมการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

*แตกต่างจากการออกกำลังกายที่ความหนักสูง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน และเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน องค์ประกอบของร่างกาย และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 การศึกษา ได้แก่ การศึกษาที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน และการศึกษาที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน 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 และกลุ่มเด็กอ้วนจำนวน 17 คน ทำการทดสอบตัวแปรด้านสรีรวิทยา การใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือด แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ [Two way ANOVA with repeated measures (2X3)] เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับ

ความหนักสูงมาก 100 130 และ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (100, 130 and 170% VO_2 peak) ของแต่ละกลุ่มและระหว่างกลุ่ม เปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี (LSD) ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent t-test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ระหว่างกลุ่มเด็กน้ำหนักปกติและเด็กอ้วน ที่ได้รับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนักเดียวกัน โดยมีการทดสอบความความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัย

1. เด็กอ้วนมีส่วนสูง น้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมัน และสัดส่วนเอวต่อสะโพกสูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
2. เด็กอ้วนมีอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตขณะพักสูงกว่า และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. ทั้งเด็กอ้วนและเด็กน้ำหนักปกติเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2 peak มีการใช้พลังงาน สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด และอัตราการเต้นของหัวใจขณะการออกกำลังกายสูงกว่าเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2 peak และเด็กน้ำหนักปกติเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130% VO_2 peak มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงกว่าเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% VO_2 peak อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
4. เด็กอ้วนมีการใช้พลังงานขณะการออกกำลังกาย และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะการออกกำลังกายสูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2 peak
5. ก่อนการออกกำลังกาย เด็กอ้วนมีความหนาของผนังหลอดเลือด (Intima-media thickness: IMT) สูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และไม่พบการเปลี่ยนแปลงหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2 peak ในทั้ง 2 กลุ่ม
6. ก่อนและหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100 130 และ 170% VO_2 peak เด็กอ้วนมีการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation: FMD) ไม่แตกต่างกับเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และหลังการ

ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% $VO_2\text{peak}$ ทั้ง 2 กลุ่ม มีการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนสูงกว่าเมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% $VO_2\text{peak}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

7. ก่อนการออกกำลังกาย และหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% $VO_2\text{peak}$ เด็กอ้วนมีคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) สูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% $VO_2\text{peak}$ เด็กอ้วนมีคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าไม่แตกต่างกับเด็กน้ำหนักปกติ และทั้ง 2 กลุ่ม เมื่อออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 170% $VO_2\text{peak}$ คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าต่ำกว่าก่อนออกกำลังกายและหลังออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 100% $VO_2\text{peak}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาวิจัย พบว่า ก่อนการออกกำลังกาย เด็กอ้วนมีน้ำหนัก ดัชนีมวลกาย ไขมันในร่างกาย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัวขณะพัก (Systolic and Diastolic blood pressure) สูงกว่า แต่มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่ำกว่าเด็กน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 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 หรือกระตุ้นให้เกิดเลือดจับตัวบริเวณผนังเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดได้ง่าย เป็นต้น (Caterina & Libby, 2007; ศุภชัย ไชยธีระพันธ์ และสมชาย เอี่ยมอ่อง, 2540) ส่งผลให้ผนังหลอดเลือดบริเวณนั้นมีความหนาเพิ่มมากขึ้น โดยงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า การเพิ่มขึ้นของความดันโลหิตสัมพันธ์กับความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นในบริเวณลำคอที่เพิ่มขึ้น (Carotid intima-

media thickness) (Davis et al., 2001; Elkiran et al., 2013) และการลดลงของความยืดหยุ่นของหลอดเลือด (Raitakari, Juonala, & Viikari, 2005) และจากผลการศึกษาวิจัยนี้ ในกลุ่มเด็กอ้วนมีความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน (Intima-media thickness: IMT) ซึ่งประเมินด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (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) ในปัจจุบันจึงมีผู้นำการออกกำลังกายแบบความหนักสูงมาใช้เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ 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) แต่ยังไม่ชัดเจนว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก โดยใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อย (Low-volume, high-intensity) จะมีความปลอดภัยที่เพียงพอต่อการนำมาใช้ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเด็กหรือไม่

การศึกษาวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่น่าำการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนักแตกต่างกัน คือความหนัก 100 130 และ 170% VO_2 peak มาเปรียบเทียบกัน เพื่อทดสอบผลฉับพลันของการออกกำลังกายต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือด ซึ่งตลอดการทำการศึกษาวิจัยนี้ ไม่มีเหตุอันไม่พึงประสงค์ หรือเกิดอันตรายขึ้นระหว่างการออกกำลังกายในเด็ก โดยเฉพาะผู้เข้าร่วมวิจัยที่เป็นเด็กอ้วนทุกคนสามารถทำการทดลองนี้ได้ จากการศึกษาวิจัยนี้ หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ระดับความหนักแตกต่างกัน โดยใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายทั้งสิ้น 14 นาที พบว่า การใช้พลังงานขณะการออกกำลังกาย (Total energy expenditure during exercise) เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มความหนักในการออกกำลังกายมากยิ่งขึ้น ซึ่งหมายความว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 170% VO_2 peak มีการใช้พลังงานในการออกกำลังกาย

สูงที่สุด ซึ่งมีการใช้พลังงานเท่ากับ 122.6 ± 6.0 กิโลแคลอรี ในขณะที่การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ระดับความหนัก 130 และ 100% $VO_2\text{peak}$ ใช้พลังงานในการออกกำลังกายเท่ากับ 114.5 ± 6.0 106.2 ± 6.0 กิโลแคลอรี และในเด็กอ้วนมีการใช้พลังงานในการออกกำลังกายสูงกว่าในเด็กน้ำหนักปกติ ซึ่งการที่มีการใช้พลังงานสูงในการออกกำลังกายนั้น จะส่งผลให้พลังงานขณะพักเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากใช้พลังงานในการออกกำลังกายมาก พลังงานงานจากคาร์โบไฮเดรตอาจไม่เพียงพอต่อการใช้พลังงาน แต่กลไกการเผาผลาญไขมันนั้นก็ใช้ระยะเวลาในการเผาผลาญนาน จึงส่งผลให้ร่างกายจำเป็นต้องเผาผลาญพลังงานในขณะที่พักเพิ่มสูงขึ้น (Wilmore & Costill, 2004)

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังพบว่าหลังจากที่การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% $VO_2\text{peak}$ ด้วยการปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 วินาที สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ เป็นเวลา 4 นาที ร่วมกับการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50% $VO_2\text{peak}$ เป็นเวลา 10 นาที รวมทั้งสิ้น 14 นาที สามารถพัฒนาการทำงานของหลอดเลือด โดยประเมินจากการขยายตัวของหลอดเลือด (Vasodilation) ที่เพิ่มสูงขึ้น ด้วยเครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound) ด้วยวิธีการวัดการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน และสามารถลดคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลง ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ค่าความแข็งตัวของหลอดเลือด ซึ่งวัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 100 และ 130% $VO_2\text{peak}$ คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า และการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนเพิ่มมากขึ้น เมื่อการออกกำลังกายที่ความหนักสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่มีความหนักสูงที่สุด ซึ่งก็คือ ความหนัก 170% $VO_2\text{peak}$ น่าจะเป็นการออกกำลังกายที่มีอัตราการไหลเวียนเลือด (blood flow velocity) สูงที่สุด อาจเกิดมาจากแรงเค้นหรือแรงที่เลือดกระทำกับผนังหลอดเลือดชั้นใน (Shear stress) ที่เพิ่มสูงขึ้นจากการไหลของเลือด (Suksom et al., 2014) และการเพิ่มขึ้นของแรงเค้นในหลอดเลือดจะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดหลังไนตริกออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองของหลอดเลือดได้ดีขึ้น (Jungersten et al., 1997; Kingwell et al., 1997) แต่ผู้วิจัยไม่พบความเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) ระหว่างเด็กอ้วนและเด็กน้ำหนักปกติ ทั้งก่อนและหลังการออกกำลังกาย อาจเป็นเพราะว่าอายุเฉลี่ยของเด็กที่เข้าร่วมงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงก่อนวัยเจริญพันธุ์ คืออายุประมาณ 10 ปี ซึ่งมีอายุน้อยกว่างานวิจัยอื่นๆค่อนข้างมาก จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของกลไกการทำงานของหลอดเลือดในเด็กก่อนวัยเจริญพันธุ์อาจไม่เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นการตอบสนองของหลอดเลือดอย่างชัดเจน

สรุปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ซึ่งใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อย ทั้ง 3 ระดับ ได้แก่ 100 130 และ 170% $VO_2\text{peak}$ พบว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ระดับความหนัก 170% $VO_2\text{peak}$ มีการใช้พลังงานในการออกกำลังกายสูงที่สุด ส่งผลต่อการพัฒนาการตอบสนองของหลอดเลือด และลดความแข็งตัวของหลอดเลือดได้ดีที่สุด โดยการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากมีความเหมาะสม ปลอดภัย และสามารถที่จะนำมาใช้การออกกำลังกายในเด็กอ้วนได้

ในการศึกษาที่ 2 จึงนำการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% $VO_2\text{peak}$ มาใช้ในการฝึกการออกกำลังกาย เพื่อประเมินผลของการฝึกระยะเวลาของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% $VO_2\text{peak}$ ที่มีต่อการใช้พลังงาน การทำงานของหลอดเลือด องค์ประกอบในร่างกาย และสารชีวเคมีในเลือดในเด็กอ้วนต่อไป

การศึกษาที่ 2 เปรียบเทียบผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้อาสาสมัครเป็นเด็กชาย อายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีภาวะอ้วน ซึ่งประเมินโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายเปรียบเทียบกับเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชายอายุ 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 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (90% $VO_2\text{peak}$) จำนวน 11 คน
3. กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก หรือ 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% $VO_2\text{peak}$) 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 และกลุ่มออก

กำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และเปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่ โดยใช้วิธีการทดสอบของแอลเอสดี (LSD) กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัย

1. ผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และความหนักสูงมาก(170% VO_2 peak) หลังการฝึก 12 สัปดาห์

1.1. ในกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) พบว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด และไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น และความหนาของผนังหลอดเลือดน้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และโลวเดนซิติไลโปโปรตีนลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

1.2. ในกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak) พบว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ไนตริกออกไซด์ และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น และความดันโลหิต ความหนาของผนังหลอดเลือด คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า น้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

2. ผลของการเปรียบเทียบตัวแปรด้านสรีรวิทยา การใช้พลังงาน การทำงานของหลอดเลือด สารชีวเคมีในเลือด และสุขสมรรถนะ หลังการฝึก 12 สัปดาห์ ระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak)

2.1 ด้านสรีรวิทยา

กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) มีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดมากกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มออกกำลังกายหนักมาก (170% VO_2 peak) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

2.2 ด้านการใช้พลังงาน

กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_2 peak) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_2 peak) 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 ไฮเดนซิติ์ไลโปโปรตีน และไลเดนซิติ์ไลโปโปรตีนต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และทั้ง 3 กลุ่มไม่พบความแตกต่างของน้ำตาลในเลือด ไตรกลีเซอไรด์ เลปติน อะดีโพเนคติน ไนตริกออกไซด์ และครีเอทีนฟอสโฟไคนเนส

2.5 ด้านสุขสมรรถนะ

กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90% VO_{2peak}) และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% VO_{2peak}) มีแรงบีบมือด้านซ้าย ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหลัง ความอ่อนตัว และงานในการปั่นจักรยานขณะทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 กลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีความจุปอดสูงกว่า และกลุ่มออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง มีแรงบีบมือด้านขวาสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และทั้ง 3 กลุ่ม ไม่พบความแตกต่างของการดันพื้น ลูกนั่ง 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 อันประกอบไปด้วยน้ำหนักตัว ดัชนีมวลกาย และเปอร์เซ็นต์ไขมันใต้ผิวหนัง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในทั้ง 3 กลุ่มทดลอง แต่เปอร์เซ็นต์ไขมันใต้ผิวหนังมีแนวโน้มลดลงในกลุ่มที่ออกกำลังกายทั้ง 2 กลุ่ม อีกทั้งยังพบว่า ไขมัน

ในเลือด คือคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ลดลงหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ ถึงแม้ว่าการออกกำลังกายที่ความหนักสูงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเลือด (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 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($170\% \text{VO}_2\text{peak}$) ส่งผลให้ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) และค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตในหลอดเลือดแดง (Mean arterial pressure) ลดลง และมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผนังหลอดเลือด 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 $170\% \text{VO}_2\text{peak}$ ส่งผลให้ความหนาของผนังหลอดเลือดและการแข็งตัวของหลอดเลือดลดลง ซึ่งเป็นผลทำให้ความดันโลหิตในเด็กอ้วนลดลงได้

จากผลการศึกษาที่ 1 เด็กอ้วนสามารถที่จะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supra-HIIT) ได้เป็นอย่างดี และยังส่งผลดีต่อระบบการเผาผลาญพลังงาน (Energy expenditure) อีกด้วย ซึ่งในการศึกษานี้ พบว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% $VO_2\text{peak}$ ใช้พลังงานในการออกกำลังกายเฉลี่ย 396.95 กิโลแคลอรีต่อสัปดาห์ (kcal/week) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% $VO_2\text{peak}$ ใช้พลังงานในการออกกำลังกายเฉลี่ย 299.31 กิโลแคลอรีต่อสัปดาห์ (kcal/week) ถึงแม้ว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% $VO_2\text{peak}$ จะใช้ระยะเวลาและพลังงานในการออกกำลังกายต่อสัปดาห์น้อยกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% $VO_2\text{peak}$ แต่สารชีวเคมีในเลือดที่เป็นสารตั้งต้นของแหล่งพลังงานในร่างกาย ได้แก่ น้ำตาลในเลือด คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และ โลวเดนซิติไลโปโปรตีน ลดลง ไม่แตกต่างจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% $VO_2\text{peak}$ สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ในกลุ่มชายหญิงอายุเฉลี่ย 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 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (65% $VO_2\text{peak}$) ระยะเวลา 40 – 60 นาที ออกกำลังกาย 5 ครั้ง/สัปดาห์ ทั้ง 2 กลุ่มออกกำลังกายทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มแรกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อยกว่าอีกกลุ่มถึง 3 เท่า และมีการใช้พลังงานระหว่างออกกำลังกายน้อยกว่าถึง 10 เท่า แต่ทั้ง 2 กลุ่ม มีการเพิ่มขึ้นของไมโทคอนเดรียมาร์คเกอร์ในกล้ามเนื้อลาย (Mitochondrial markers for skeletal muscle) การเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ที่ไม่แตกต่างกัน (Burgomaster et al., 2008) ที่เป็นเช่นนี้ อาจจะเกิดมาจากการเร่งปฏิกิริยาของไมโทคอนเดรียล ไบโอเจเนซิส (Mitochondria biogenesis) ในกล้ามเนื้อลาย และการพัฒนาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนในร่างกาย ดังงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ ที่ทำการศึกษาในผู้ชายสุขภาพแข็งแรง ฝึกโดยการปั่นจักรยานด้วยความหนักของค่างานสูงสุดของการออกกำลังกาย (Work load: watt) เมื่อทดสอบค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\text{peak}$) 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 สามารถเพิ่มปฏิกิริยาของไมโทคอนเดรียล ไบโอเจเนซิส (Mitochondria biogenesis) ในกล้ามเนื้อลาย และการพัฒนาสมรรถภาพการเผาผลาญพลังงานได้ (Little et al., 2011) การเพิ่มขึ้นของระบบการเผาผลาญพลังงาน (Energy expenditure) นี้ ส่งผลให้กลุ่มที่การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (170% $VO_2\text{peak}$) มีการใช้พลังงานขณะพักสูงขึ้น แต่ด้วยกลไกการเผาผลาญไขมัน ต้องใช้พลังงานในการเผาผลาญมากกว่าคาร์โบไฮเดรต การเผาผลาญไขมัน

ต้องการออกซิเจนมากกว่าการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต การใช้พลังงานหลังการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงกว่า จึงใช้เวลานานกว่า (Wilmore & Costill, 2004) ทั้งรูปแบบการใช้พลังงาน ความหนัก และระยะเวลาในการออกกำลังกาย จึงส่งผลให้การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% VO_2peak ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายนานกว่า มีอัตราการใช้ไขมันในการออกกำลังกายสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญที่ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษา โดยการปั่นจักรยานที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 สามารถเพิ่มไมโตรคอนเดรียในกล้ามเนื้อลาย ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการเผาผลาญไขมัน ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้หญิง (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 จึงอาจส่งผลให้หลังออกกำลังกายไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของเลปติน นอกจากนี้จากผลวิจัยที่ผ่านมาการออกกำลังกายที่จะส่งผลในการลดปริมาณเลปตินนั้น จะต้องเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลย์ของพลังงาน การพัฒนาความไวต่ออินซูลิน การเปลี่ยนแปลงการเผาผลาญพลังงาน การลดมวลไขมันในร่างกาย และปัจจัยอื่นๆ รวมทั้งรูปแบบการออกกำลังกายที่ต้องเวลาในการออกกำลังกายนานมากกว่า 60 นาที หรือระยะเวลาในการฝึกออกกำลังกายที่มากกว่า 12 สัปดาห์ (Kraemer et al., 2002) จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของเลปตินนั้นจะต้องมีปัจจัยหลายปัจจัยด้วยกันจึงเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนได้ จึงเป็นไปได้ว่างานวิจัยนี้ไม่เห็นผลการเปลี่ยนแปลงของเลปตินจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก นอกจากนี้ยังมีอะดิโปเนคตินที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญพลังงานเช่นเดียวกับเลปติน โดยเฉพาะพลังงานในการออกกำลังกาย การออกกำลังกายที่มีความหนักสูงนั้นส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของการไหลเวียนอะดิโปเนคติน (Circulating adiponectin) ได้ เนื่องจากอะดิโปเนคตินจะช่วยส่งเสริมการเผาผลาญไขมัน และช่วยในการส่งน้ำตาลเข้าสู่กล้ามเนื้อลาย แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาระบุว่า การเปลี่ยนแปลงของอะดิโปเนคตินนั้นขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายด้วย (Racil et al., 2013) ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย จึงอาจเป็นไปได้ว่าจะส่งผลให้อะดิโปเนคตินไม่เปลี่ยนแปลง

การศึกษาวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่น่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% $VO_2\text{peak}$ โดยใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายทั้งสิ้น 14 นาที มาใช้ในการฝึกการออกกำลังกายในเด็ก อ้วน เพื่อทดสอบผลที่มีต่อโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือด (Vascular structure and functions) โดยสามารถประเมินความหนาของผนังหลอดเลือดได้ โดยเครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound) ด้วยวิธีการวัดความหนาของผนังหลอดเลือดชั้นใน (Intima-media thickness: IMT) บริเวณลำคอ (carotid artery wall) ประเมินการทำงานของหลอดเลือดด้วยการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation: FMD) โดยเครื่องอัลตราซาวด์ (Ultrasound) และวัดคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity: baPWV) วัดโดยใช้เครื่องวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non-invasive vascular screening device) หลังการฝึก 12 สัปดาห์ พบว่า ความหนาของผนังหลอดเลือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% $VO_2\text{peak}$ และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน เห็นแต่เพียงแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นหลังการฝึก 12 สัปดาห์ อาจเป็นเพราะว่าอายุเฉลี่ยของเด็กที่เข้าร่วมงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงก่อนวัยเจริญพันธุ์ คืออายุประมาณ 10 ปี ซึ่งมีอายุน้อยกว่างานวิจัยอื่น ๆ ก่อนข้างมาก จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของกลไกการทำงานของหลอดเลือดในเด็กก่อนวัยเจริญพันธุ์อาจไม่เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นการตอบสนองของหลอดเลือดลดลงอย่างชัดเจน แต่ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ซึ่งบ่งชี้ถึงความแข็งตัวของหลอดเลือด (Arterial stiffness) ที่ลดลงนั้น อาจเกิดมาจากการออกกำลังกายที่ความหนักสูงมากไปกระตุ้นให้เกิดการไหลเวียนเลือดเพิ่มสูงขึ้น (Figuroa et al., 2001) โดยเฉพาะในช่วงขา แล้วไปกระทำต่อผนังหลอดเลือดเกิดมาเป็นแรงเค้นหรือแรงที่เลือดกระทำกับผนังหลอดเลือดชั้นใน (Shear stress) (Suksom D. et al., 2014) กระตุ้นให้เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดหลังไนตริกออกไซด์ออกมาในปริมาณที่มาก ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองของหลอดเลือดได้ดีขึ้น (Jungersten et al., 1997; Kingwell et al., 1997) อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นหลอดเลือดฝอยหลอดเลือดฝอยส่วนปลายให้ลดแรงต้านทานเพื่อขับของเสียอันเกิดจากการใช้งานบริเวณนั้นอีกด้วย อีกทั้งการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อยมาก ยังสามารถพัฒนาโครงสร้างและการทำงานของหลอดเลือดแดงฝอยได้เป็นอย่างดี (Peripheral arterial) เมื่อเปรียบเทียบกับ การออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักปานกลาง (Rakobowchuk et al., 2008) และการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานด้วยขา สามารถส่งผลให้การไหลเวียนของเลือดที่ต้นแขนดีขึ้นได้ (Green et al., 2002) จากกลไกการเพิ่มขึ้นอย่างกระทันหันของการไหลเวียนเลือดเมื่อออกกำลังกาย จึงกระตุ้นเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดหลังไนตริกออกไซด์ออกมา สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงการทำงานของหลอดเลือด โดยไนตริกออกไซด์ทำหน้าที่ควบคุมแรงตึงตัวของหลอดเลือด

ในขณะที่พัก ควบคุมการหดตัวและคลายตัวของหลอดเลือด และส่งเสริมการไหลเวียนในหลอดเลือดขนาดเล็ก ซึ่งได้มีการทำการทดลองเกี่ยวกับการออกกำลังกายที่จะไปกระตุ้นให้เกิดการหลั่งไนตริกออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทั้งในคนและสัตว์ (Green et al., 2002)

อีกทั้งการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% $VO_2\text{peak}$ ในเด็กอ้วน ยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ อย่างมีนัยสำคัญ อันเกิดมาจากการเพิ่มงานในการปั่นจักรยาน (Workload) ให้มีความหนักสูงมาก ด้วยการเพิ่มแรงต้านด้วยตุ้มน้ำหนัก โดยไม่เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากครีเอทีนฟอสโฟโคเนสและมาลอนไดอัลดีไฮด์ที่ไม่เพิ่มสูงขึ้นหลังการฝึก 12 สัปดาห์ จึงเห็นได้ว่าการออกกำลังกายแบบนี้ ปลอดภัยสามารถที่จะนำไปใช้ฝึกกับเด็กอ้วนได้ และในส่วนที่สำคัญที่สุดของการออกกำลังกายในเด็กคือ ความสนุกสนาน สามารถดึงดูดให้เด็กทำการออกกำลังกายได้จนจบโดยต่อเนื่อง ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ได้สอบถามความคิดเห็นของเด็กที่มาเข้าร่วมการออกกำลังกาย พบว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170% $VO_2\text{peak}$ ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายน้อย มีคะแนนความสนุกสนานสูงถึง 4.02 คะแนน ซึ่งมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง 90% $VO_2\text{peak}$ ที่ใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายมาก ซึ่งมีคะแนนความสนุกสนานเพียง 3.62 คะแนน

สรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากที่ความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Supra-HIIT at 170% $VO_2\text{peak}$) โดยใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อย มีความเหมาะสมสามารถนำมาใช้เป็นรูปแบบในการฝึกออกกำลังกายอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวในเด็กอ้วนได้ ซึ่งส่งผลดีต่อการใช้พลังงาน โดยเพิ่มการเผาผลาญพลังงานขณะพัก ลดไขมันในเลือด โดยเฉพาะคอเลสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ และพัฒนาการทำงานของหลอดเลือด อันเกิดจากการลดการแข็งตัวและความหนาของผนังหลอดเลือด โดยไม่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บหรือการอักเสบของกล้ามเนื้อ

สรุปผลการศึกษาวิจัยในภาพรวม

การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Supra-HIIT at 170% $VO_2\text{peak}$) ส่งผลดีต่อเด็กทั้งแบบฉับพลันและการฝึกระยะยาว โดยแบบฉับพลันมีการใช้พลังงาน และการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนหลังออกกำลังกายสูงกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 100 และ 130 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (100 and 130% $VO_2\text{peak}$) และแบบระยะยาว กลุ่มการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% $VO_2\text{peak}$) มีคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้าต่ำกว่ากลุ่มการออกกำลังกายแบบสลับช่วง

ที่ความหนักสูง 90 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (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 และสนุกสนานเหมาะสมสำหรับผู้ที่มีเวลาในการออกกำลังกายน้อย หรือเพื่อการออกกำลังกายแบบเดิมๆ
4. ควรค่อยๆเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายจนถึงระดับสูงมากอย่างค่อยเป็นค่อยไป

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษามูลของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากควบคู่กับการกำหนดโปรแกรมการรับประทานที่ควบคุมพลังงาน เพื่อที่จะให้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงด้านองค์ประกอบของร่างกาย สารชีวเคมีในเลือด และการทำงานของหลอดเลือดที่ชัดเจนขึ้น
2. ควรมีการปรับปรุงช่วงการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ให้มีความเหมาะสมกับบุคคลกลุ่มพิเศษอื่นๆต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2542). เกณฑ์อ้างอิงน้ำหนัก ส่วนสูง และเครื่องชี้วัดภาวะโภชนาการของประชาชนไทย อายุ 1 วัน - 19 ปี. กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2557). แผนสุขภาพเขตบริการสุขภาพที่ 5 ปีงบประมาณ 2557 - 2559 : กลุ่มเด็กวัยเรียน. แหล่งที่มา: http://www.hpc4.go.th/director/data/region/Plan57/23_student.pdf [9 มีนาคม 2558]
- กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2547). การสำรวจภาวะอาหารและโภชนาการของประชาชนในกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2547. แหล่งที่มา: <http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=1&id=615> [24 เม.ย. 2556]
- จิรภา น้าคณาคุปต์. (2542). กิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายและการใช้พลังงานระหว่างเด็กไทยที่อ้วนและไม่อ้วนในกรุงเทพมหานคร. วิทยาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เจริญทัศน์ จินตนาเสวี. (2538). วิทยาสตรการกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬาและนักกีฬา. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิทยาสตรการกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย.
- ดร.ฉนวนรณ สุขสม, สุพรรณ สุขอรุณ, และสุวิมล ทรัพย์วโรบล. (2553). รายงานการวิจัย เรื่องผลของการเดินสแตปแอโรบิกร่วมกับการใช้แรงต้านที่มีต่อสุขสมรรถนะ หน้าที่ของเซลล์บุผนังหลอดเลือด และสารชีวเคมีในเลือดของบุคลากรจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เข้าร่วมโครงการที่มีน้ำหนักเกิน. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร และกุลธิดา เชิงฉลาด. (2536). ปทานุกรมศัพท์กีฬาพลศึกษาและวิทยาสตรการกีฬา. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นัยนา บุญทวีวัฒน์. (2546). ชีวเคมีทางโภชนาการ. กรุงเทพมหานคร: ชิกม่า ดีไซน์กราฟฟิก.
- พัชรา วีระกะลัส. (2549). พลังงานและเมแทบอลิซึม (พิมพ์ครั้งที่ 2). 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 แซ่ไฉ่ และถนอมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร. (2552). ผลการฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบ วงจรที่มีต่อสุขสมรรถนะของเด็กที่มีภาวะน้ำหนักเกิน. วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและ สุขภาพ, 10, 31 - 44.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. (2553). ภัยอ้วนในเด็กไทย. แหล่งที่มา: http://www.trf.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=2050:2010-10-14-17-38-18&catid=34&Itemid=358 [10 ตุลาคม, 2556]
- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย. (2555). แบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี. แหล่งที่มา: <http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/index.php> [12 กรกฎาคม, 2557]
- เสาวลักษณ์ สุนทรลักษณ์ และดรณวรรณ สุขสม. (2552). ผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกและการออกกำลังกายแบบแอโรบิกร่วมกับใช้แรงต้านที่มีต่อการเผาผลาญพลังงานและการไหลเวียนเลือดชั้นคิวดาเนียสในหญิงภาวะน้ำหนักปกติและหญิงภาวะน้ำหนักเกิน. วารสารวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ, 10 ฉบับพิเศษ, 16 - 32.

ภาษาอังกฤษ

- 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 Guide 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/jappphysiol.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/jappphysiol.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 Kinetics.
- 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.

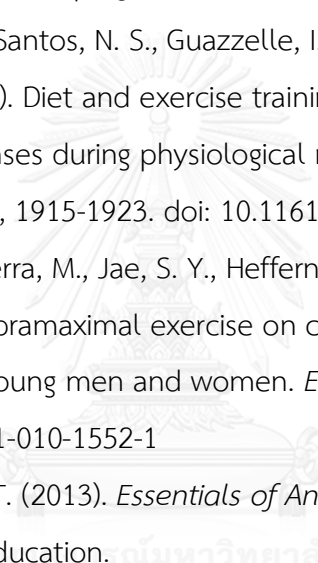
- Illingworth, J. (2006). BIOC1110 Biochemistry for Biologists Fitness Training. Leeds: University of Leeds.
- Jain, S., Khera, R., Corrales-Medina, V. F., Townsend, R. R., & Chirinos, J. A. (2014). "Inflammation and arterial stiffness in humans". *Atherosclerosis*, 237(2), 381-390. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2014.09.011
- 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
- Koepfen, 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 of 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/jappphysiol.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 European Heart Journal.
- 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/jappphysiol.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., Rognum, 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



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก
ใบรับรองโครงการวิจัย

AF 01-12



คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 ชั้น 4 ซอยจุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10530
โทรศัพท์: 0-2219-8147 โทรสาร: 0-2219-8347 E-mail: eccu@chula.ac.th

COA No. 184/2556

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 130.1/56 : ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กชาย

ผู้วิจัยหลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวราณ สุขสม

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ นพ.แพทย์ปริดา ทักนประสิทธิ์)
ประธาน

ลงนาม.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เมทินี ชัยชนะวสา ไชยวัฒน์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 4 พฤศจิกายน 2556

วันหมดอายุ : 3 พฤศจิกายน 2557

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

- 1) ใบสารวิจัย
- 2) ข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรหรือผู้เข้าร่วม ในก ติวิจัยและ ใบยินยอมของกลุ่มประชากรหรือผู้เข้าร่วมในการวิจัย
- 3) ผู้วิจัย
- 4) แบบรายงาน




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

เงื่อนไข

1. ข้าราชการประจำเป็นอาสาสมัคร หากดำเนินการในชื่อโครงการวิจัยอื่น ใช้การอนุมัติของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมอื่นแทนมิได้
2. หากไม่ปฏิบัติตามโครงการวิจัยจนครบทุก ข้อดำเนินการ มีโทษสูงสุด เมื่อใดคณะกรรมการฯ พิจารณาเห็นว่าผู้วิจัยไม่ปฏิบัติตามเงื่อนไข หรือมีสาเหตุอื่นอันเกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย
3. ต้องส่งคืนใบสารวิจัยฉบับที่ระบุไว้ในใบสารวิจัยอย่างเคร่งครัด
4. ให้คณะกรรมการฯ ส่งข้อมูลประชากรหรือผู้เข้าร่วมในการวิจัย ในชั้นของข้อมูลประชากรหรือผู้เข้าร่วม ในการวิจัย แยกเอกสารให้ผู้เข้าร่วมวิจัย (ถ้ามี) เฉพาะที่ปรึกษาคณะกรรมการฯ เท่านั้น
5. หากมีข้อสงสัยใดๆ ไม่พึงติดต่อผู้ใดในสถานที่ที่ระบุไว้ในใบสารวิจัย หรือคณะกรรมการฯ ซึ่งสามารถสอบถามรายละเอียดได้ 7 วันทำการ
6. กรณีการเปลี่ยนแปลงส่วนอื่นของใบสารวิจัย ให้ส่งคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมที่มอบหมายโดยอัตโนมัติ
7. ใบสารวิจัยฉบับนี้ 1 ฉบับเก็บรักษาที่ชุดโครงการวิจัย 130.1/56 และมอบส่งโครงการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น ส่วนใบสารวิจัยที่ส่งมอบให้แพทย์ใช้ส่งมอบต่อโครงการวิจัย 130.1/56 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น

ข้อมูลสำหรับผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย การศึกษาที่ 1

ข้อมูลสำหรับผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย	ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน (การศึกษาที่ 1)	
ชื่อผู้วิจัย	รองศาสตราจารย์ ดร. ครุณวรรณ สุขสม	เลขที่โครงการวิจัย..... 130.....
ชื่อผู้ร่วมวิจัย	Prof. Dr. Hirofumi Tanaka	วันที่รับรอง..... - 4 พ.ย. 2556
ชื่อผู้ช่วยวิจัย	นางสาวนภัสกร ชื่นศิริ	วันหมดอายุ..... - 3 พ.ย. 2557
สถานที่ติดต่อผู้วิจัย	คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330	
โทรศัพท์	081-341-5736	E-mail: daroonwanc@hotmail.com

1. ขอเรียนเชิญ ผู้ที่อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจให้ผู้ที่อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่วัดเงินได้ตลอดเวลา

2. โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านการสร้างเสริมสุขภาพในเด็ก โดยเฉพาะเด็กที่มีภาวะอ้วน โดยมุ่งคิดค้นการออกกำลังกาย ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะใช้การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและสูงมากที่มีผลต่อการใช้พลังงาน การทำงานของหลอดเลือด และสมรรถภาพทางกาย

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากแบบจับพลาสมาที่ความหนักแตกต่างกันต่อการใช้พลังงาน และการทำงานของหลอดเลือดในเด็กที่มีน้ำหนักตัวปกติและเด็กอ้วน

4. รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้คือ เด็กนักเรียนชาย อายุระหว่าง 8 - 12 ปี ที่มีน้ำหนักตัวปกติและมีภาวะอ้วน

เกณฑ์ในการคัดเลือก (Inclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยอายุระหว่าง 8-12 ปี ที่มีน้ำหนักตัวปกติและมีภาวะอ้วน ประเมินโดยใช้ น้ำหนักตัวเทียบกับเส้นน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง แล้วผู้เหนือเส้น +2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสุขภาพดีแข็งแรง ปราศจากโรค หรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมในการออกกำลังกาย โดยการประเมินแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก ซึ่งท่านต้องตอบว่า "ไม่" ทุกข้อจึงจะผ่านเกณฑ์การประเมิน

3. ผู้เข้าร่วมวิจัยมีความสมัครใจเข้าร่วมในงานวิจัย ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย และได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองในการลงนามใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

เกณฑ์ในการคัดออก (Exclusion criteria)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมงานวิจัยต่อไปได้ เช่น เกิดอุบัติเหตุเจ็บจากอุบัติเหตุ มีอาการเจ็บป่วย เป็นต้น

2. ผู้เข้าร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมในการทำวิจัยต่อ

เมื่อได้ผู้เข้าร่วมวิจัยครบจำนวน 40 คน แบ่งผู้เข้าร่วมวิจัยออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 20 คน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่น้ำหนักตัวปกติ

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่อ้วน

เหตุผลที่ได้รับเชิญเข้าร่วมโครงการวิจัย เนื่องจากเด็กเป็นบุคคลที่ควรได้รับการส่งเสริมสุขภาพทางกายให้แข็งแรง เพื่อป้องกันการเกิดโรคทางกายในวัยเด็กและเมื่อโตเป็นผู้ใหญ่ อีกทั้งยังทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้น

5. กระบวนการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

5.1 ผู้วิจัยทำการประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย ด้วยแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก จำนวน 7 ข้อ วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก วัดองค์ประกอบของร่างกาย และการทำงานของหลอดเลือด โดยการทำอัลตราซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งแขน 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 ภายหลังจากการออกกำลังกายในแต่ละครั้ง จะทำการประเมินการทำงานของหลอดเลือด ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้เวลา 4 วัน (4 ครั้ง) วันละประมาณ 45 นาที การออกกำลังกายครั้งที่ 1 : วัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยการปั่นจักรยาน จนเหนื่อยหมดแรงเท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ ทำการวิเคราะห์แก๊ส ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ ขณะที่ทำการทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัย จะทำการวัดคลื่นหัวใจด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์สมรรถภาพหัวใจ ควบคู่ไปด้วย ผลที่ได้จะนำไปให้แพทย์ประเมินผลเพื่อขึ้นชั้นสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย



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

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 : ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ประมาณ 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 : ออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ประมาณ 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



เลขที่แจ้งการวิจัย

130.1/56

วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556

วันหมดอายุ - 3 พ.ย. 2557

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยและผู้ปกครองทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ภายหลังการอธิบายรายละเอียด

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้ใดไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้าได้แก่ เด็กที่มีน้ำหนักตัวปกติหรือมีภาวะอ้วนแต่ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้ความรู้เกี่ยวกับโรคดูแลสุขภาพและรายงานแก่ครูในโรงเรียนนวมวิทย์วิทยาลัย เพื่อให้การดูแลเรื่องสุขภาพและการออกกำลังกายต่อไป

8. อันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ และมีผู้วิจัย ผู้ช่วยวิจัย ครูของโรงเรียนนวมวิทย์คอยดูแลอย่างใกล้ชิดในเรื่องความปลอดภัยทั้งในขณะที่ออกกำลังกายและไม่ได้ออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้ป้องกันการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายโดยจัดลำดับการออกกำลังกายเป็นขั้นตอน เพื่อให้ร่างกายค่อยๆ ปรับสภาพ อีกทั้งยังจัดความหนักของโปรแกรมที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคลในการออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะออกกำลังกายในสภาวะที่ปลอดภัย ในช่วงแรกของการออกกำลังกายอาจทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้ ซึ่งเป็นอาการปกติของผู้ที่เริ่มออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการอบอุ่นร่างกาย ผ่อนคลาย และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เพื่อที่จะลดอาการดังกล่าว หากพบว่ามีอาการบาดเจ็บเกิดขึ้นทั้งในขณะที่ทดสอบและขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะทำการปฐมพยาบาลและส่งต่อไปยังสถานพยาบาล และผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลรักษา และหากผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับความผิดปกติเนื่องจากการเข้าร่วมการวิจัย และแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพิสูจน์ได้ว่าเป็นผลจากการเข้าร่วมการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย และได้รับการรักษาจนกว่าจะหาย ผู้วิจัยจะแจ้งต่อคณะกรรมการวิจัยและเพื่อความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมการวิจัย

9. ประโยชน์ในการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมวิจัย ดังนี้ ได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้การเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อสร้างเสริมสุขภาพกายให้แข็งแรง และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ผลจากงานวิจัยนี้จะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับเด็ก และสามารถนำไปใช้ได้จริง โดยผู้วิจัยจะนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในการฝึกออกกำลังกายสำหรับเด็ก

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของผู้ที่อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเป็นโดยสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัย ได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านจะเก็บเป็นความลับ หากมีเหตุเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่าน

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



ได้จะไม่ปรากฏในรายงาน เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลาย

13. ภายหลังจากเข้าร่วมการออกกำลังกาย ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านจะได้รับค่าชดเชยการเสียเวลาเป็นค่าเสียเวลา 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 ซึ่งได้ลงนามทำหนังสือนี้เกี่ยวข้องเป็น (โปรดระบุเป็น พ่อ/แม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแลของ (ชื่อผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย)) ขอแสดงความยินยอมให้

ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วม โครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย	ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และ การตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน
ชื่อผู้วิจัยหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. คุรุณวรรณ 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 ได้รับทราบรายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและ วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/ อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ ข้าพเจ้าได้อ่านรายละเอียดในเอกสารข้อมูล สำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย โดยตลอด และได้รับคำอธิบายจากผู้วิจัย จนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว

ข้าพเจ้าจึงสมัครใจให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้ในเอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมให้ผู้ที่อยู่ใน ปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า เข้าร่วมในการในการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบสมรรถภาพ ทางกาย การตรวจคลื่นหัวใจหลอดเลือดบริเวณแขน รวมทั้งเข้ารับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ ความหนักสูงมาก เป็นจำนวนทั้งสิ้น 4 ครั้ง

ข้าพเจ้ามีสิทธิให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าหรือเป็นความประสงค์ของผู้ที่อยู่ใน ปกครอง/ในความดูแล ถอนตัวออกจากการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล ซึ่งการถอนตัวออกจากร การวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าและตัวข้าพเจ้า ทั้งสิ้น

ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ตาม ข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงเข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆที่เกี่ยวข้องกับผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความ ดูแลของข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะเก็บรักษาเป็นความลับ โดยจะนำเสนอข้อมูลจากการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าและตัว ข้าพเจ้า

หากผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารนี้แจ้งผู้เข้าร่วมการวิจัย 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



วันที่โครงการวิจัย 130.1/56
ข้าพเจ้ารับรอง - 4 พ.ย. 2556
วิเทศอายุ - 3 พ.ย. 2557

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....
(.....) (.....)

ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

พ่อ/แม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแล

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ครุณวรรณ สุขสม) (.....)

ผู้วิจัยหลัก

พยาน

ข้อมูลสำหรับผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย การศึกษาที่ 2

1

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



BO. 1/56

- 4 พ.ย. 2556

- 3 พ.ย. 2557

- ขอเรียนเชิญ ผู้ที่มีความปกครอง/การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจให้ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย มีความจำเป็นที่ท่านควรทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้ทำเพราะเหตุใด และเกี่ยวข้องกับอะไร กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียดรอบคอบ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมหรือข้อมูลที่ไม่วัดเงินได้ตลอดเวลา
- โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการวิจัยด้านการสร้างเสริมสุขภาพในเด็กโดยเฉพาะเด็กที่มีภาวะอ้วน โดยมุ่งคิดค้นการออกกำลังกาย ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะใช้การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและสูงมากที่มีผลต่อการใช้พลังงาน การทำงานของหลอดเลือด และสมรรถภาพทางกาย
- วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมากต่อการใช้พลังงาน องค์ประกอบของร่างกายและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน
- รายละเอียดของกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยนี้คือ เด็กนักเรียนชาย อายุระหว่าง 8 – 12 ปี ที่มีภาวะอ้วน

เกณฑ์ในการคัดเลือก (Inclusion criteria)

- ผู้เข้าร่วมวิจัยอายุระหว่าง 8-12 ปี มีภาวะอ้วน ประเมินโดยใช้น้ำหนักตัวเทียบกับเส้นน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง แล้วอ้วนเหนือเส้น +2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสุขภาพดีแข็งแรงปราศจากโรค หรืออาการที่ทำให้ไม่พร้อมในการออกกำลังกาย โดยการประเมินแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก ซึ่งท่านต้องตอบว่า "ไม่" ทุกข้อจึงจะผ่านเกณฑ์การประเมิน
- ผู้เข้าร่วมวิจัยมีความสมัครใจเข้าร่วมในงานวิจัย ยินดีลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย และได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองในการลงนามใบยินยอมเข้าร่วมวิจัย



ที่โครงการวิจัย..... 130.1/56
 ผู้รับรอง..... - 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 เนื่องจากเด็กที่มีภาวะอ้วนเป็นบุคคลที่ควรได้รับการส่งเสริมสุขภาพทางกายให้แข็งแรง และลดน้ำหนักตัวอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันโรคทางกายในวัยเด็กและเมื่อโตเป็นผู้ใหญ่ อีกทั้งยังทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้น

5. กระบวนการการวิจัยที่กระทำต่อกลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

5.1 ผู้วิจัยทำการประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย ด้วยแบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก จำนวน 7 ข้อ วัดความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ทดสอบสมรรถภาพทางกาย โดยวัดองค์ประกอบของร่างกาย วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขน และลำตัวส่วนบน วัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อท้อง หลัง และต้นขา วัดความอ่อนตัวของร่างกายส่วนล่าง วัดความจุปอด

วัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยการปั่นจักรยาน จนเหนื่อยหมดแรงเท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะสามารถทำได้ ทำการวิเคราะห์แก๊ส ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ ขณะที่ทำการทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัยจะทำการวัดคลื่นหัวใจด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์สมรรถภาพหัวใจ ควบคู่ไปด้วย ผลที่ได้จะนำไปให้แพทย์ประเมินผลเพื่อยืนยันสุขภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย

การทำงานของหลอดเลือด โดยการใช้อัลตราซาวด์หลอดเลือดแดงตรงตำแหน่งแขน โดยใช้เวลาประมาณ 45 นาที

วัดสมรรถภาพการใช้พลังงาน ด้วยการปั่นจักรยาน ที่ความหนัก 55-60% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 30 นาที ทำการวิเคราะห์แก๊ส ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสวมหน้ากากเพื่อวัดอัตราการหายใจ (โดยเว้นระยะห่างภายหลังการทดสอบวันที่ 1 เป็นเวลา 3 วัน)

เจาะเลือด 10 ซีซี (ประมาณ 2 ซ้อนชา) เพื่อวิเคราะห์ค่าระดับน้ำตาลในเลือด อินซูลิน

ระดับไขมันในเลือด เลปติน อะดิโปเนคติน ไนตริกออกไซด์ มาลอนไดอัลดีไฮด์ และครีเอตินไคนเนส ปริมาณ 2 ซ้อนชา โดยพยาบาลวิชาชีพและส่งตรวจ ณ กรุงเทพมหานคร ไอเอแอลและคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเมื่อการศึกษาสิ้นสุดจะมีการทำลายเลือดทั้งหมด

5.2 เมื่อการตรวจเสร็จสิ้น จะดำเนินการฝึกออกกำลังกายตามกลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม ดำเนินชีวิตตามปกติ ไม่ได้รับ โปรแกรมการออกกำลังกาย 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 (รพผลการศึกษาที่ 1) (Supra-High Intensity Interval Training: Supra-HIIT) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก สลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก ในอัตราส่วนคือ 2:1 โดยปั่นจักรยานที่ระดับความหนักสูงมาก 20 วินาที ที่ความเร็ว 90 รอบต่อนาที และ ลดความเร็วในการปั่นจักรยานลงจนหยุดพัก เป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ รวมระยะเวลา 4 นาที จำนวน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์

การฝึกออกกำลังกายของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 มีขั้นตอนการฝึกออกกำลังกายดังนี้ ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยคิดเครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ 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 ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะต้องทำการประเมินกิจกรรมทางกายด้วยการติดเครื่องวัดอัตราการเต้นที่ ก่อน ระหว่างและหลังการฝึกออกกำลังกาย 12 สัปดาห์ และประเมินการรับประทานอาหาร โดยขอความร่วมมือจากผู้ปกครองประเมินแบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี ในแต่ละสัปดาห์ที่กลับบ้านลงในใบ ในส่วนของอาหารที่รับประทานที่โรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย ผู้วิจัยจะขอข้อมูลจากฝ่ายโภชนาการของโรงเรียน

ภายหลังออกกำลังกายครบตามระยะเวลาที่กำหนด จะทำการประเมิน สมรรถภาพทางกาย องค์ประกอบของร่างกาย การทำงานของหลอดเลือด และวิเคราะห์หาสารชีวเคมีในเลือดอีกครั้ง และเพิ่มการประเมินความสนุกสนานของการออกกำลังกาย





โครงการวิจัย 4 130.1/8

วันที่รับรอง - 4 พ.ย. 2556

- 3 พ.ย. 2557

6. กระบวนการให้ข้อมูลแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ผู้วิจัยจะเป็นผู้อธิบายให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยและผู้ปกครองทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมวิจัย รวมทั้งเหตุผลที่ได้เชิญเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ และเปิดโอกาสให้ซักถามข้อสงสัยได้ ภายหลังการอธิบายรายละเอียด

7. ในการคัดกรองผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยด้วยวิธีใดๆ ก็ตาม หากพบว่าผู้ไม่อยู่ในเกณฑ์คัดเข้า ได้แก่ เด็กที่มีภาวะอ้วนแต่ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพและรายงานแก่ครูในโรงเรียนนวิราวุธวิทยาลัย เพื่อให้การดูแลสุขภาพและการออกกำลังกายต่อไป

8. อันตรายหรือความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นแก่กลุ่มประชากรหรือผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ในการเจาะเลือด อาจมีอาการเขียวช้ำหรือเจ็บเล็กน้อยบริเวณที่เจาะ ผู้วิจัยจะแนะนำให้พักการใช้บริเวณนั้นและทำการประคบด้วยความเย็น มีผู้วิจัยผู้ช่วยวิจัย ครูของโรงเรียนนวิราวุธ คอยดูแลอย่างใกล้ชิดในเรื่องความปลอดภัยทั้งในขณะที่ออกกำลังกาย และไม่ได้ออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้ป้องกันการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายโดยจัดลำดับการออกกำลังกายเป็นขั้นตอน เพื่อให้ร่างกายค่อยๆ ปรับสภาพ อีกทั้งยังจัดความหนักของโปรแกรมที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคลในการออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะออกกำลังกายในสภาวะที่ปลอดภัย ในช่วงแรกของการออกกำลังกายอาจทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้ ซึ่งเป็นอาการปกติของผู้ที่เริ่มออกกำลังกาย ผู้วิจัยได้มีขั้นตอนการอบอุ่นร่างกาย ผ่อนคลาย และยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เพื่อที่จะลดอาการดังกล่าว หากพบว่ามีอาการบาดเจ็บเกิดขึ้นทั้งในขณะที่ทดสอบและขณะออกกำลังกาย ผู้วิจัยจะทำการปฐมพยาบาลและส่งต่อไปยังสถานพยาบาล และผู้วิจัยจะรับผิดชอบในการส่งต่อ ณ สถานพยาบาลและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดูแลสุขภาพ และหากผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับความผิดปกติเนื่องจากการเข้าร่วมการวิจัย และแพทย์ผู้เชี่ยวชาญพิสูจน์ได้ว่าเป็นผลจากการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการคุ้มครองตามกฎหมาย และได้รับการรักษานานกว่าจะหาย ผู้วิจัยจะแจ้งต่อคณะกรรมการวิจัยและเพื่อความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมการวิจัย

9. ประโยชน์ในการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมวิจัย ดังนี้ ได้รับการคัดกรองภาวะสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะตัวบ่งชี้การเกิดโรคเกี่ยวกับหลอดเลือด อีกทั้งยังได้รับการออกกำลังกายที่มีความเหมาะสมกับผู้เข้าร่วมวิจัย เพื่อสร้างเสริมสุขภาพกายให้แข็งแรง และมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ผลจากงานวิจัยนี้จะทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับเด็กอ้วน โดยผู้วิจัยจะนำผลที่ได้จากการศึกษาเสนอต่อผู้การ โรงเรียนนวิราวุธวิทยาลัย ระบุเป็นกิจกรรมออกกำลังกายแก่เด็กนักเรียนที่มีภาวะอ้วน และจะเผยแพร่การออกกำลังกายแก่ครูในโรงเรียนอื่นๆ เพื่อจะนำไปใช้ในการออกกำลังกายสำหรับเด็กอ้วนต่อไป สำหรับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ออกกำลังกายตามโปรแกรมหากโปรแกรมได้ผลดี ผู้วิจัยจะจัดเวลาให้ความรู้คำแนะนำ ตลอดจนฝึกปฏิบัติให้สามารถเข้าใจและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง

10. การเข้าร่วมในการวิจัยของผู้ที่อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเป็นโดยสมัครใจ และสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผลและไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ

11. หากท่านมีข้อสงสัยให้สอบถามเพิ่มเติมได้โดยสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหาก

ผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็ว

12. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านจะเก็บเป็นความลับ หากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านได้จะไม่ปรากฏในรายงาน เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยแล้วข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลาย และเลือกของผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดจะถูกทำลายโดยผู้เชี่ยวชาญเทคนิคการแพทย์

13. ภายหลังการเข้าร่วมการออกกำลังกาย ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านจะได้รับค่าชดเชยการเสียเวลาเป็นค่าเสียเวลา 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.....

วันที่เดือน.....พ.ศ.

เลขที่

ข้าพเจ้า ซึ่งได้ลงนามทำหนังสือนี้เกี่ยวข้องกับ (โปรดระบุเป็น พ่อแม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแลของ (ชื่อผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย)) ขอแสดงความยินยอมให้

ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วม โครงการวิจัย

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และ

การตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กวัยรุ่น

ชื่อผู้วิจัยหลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ครุณวรรณ สุขสม

ชื่อผู้ร่วมวิจัย

Prof. Dr.Hirofumi Tanaka

ชื่อผู้ช่วยวิจัย

นางสาวนภัสกร ชื่นศิริ

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนน พระราม 1 เขตปทุม

วัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์

081-341-5736

E-mail: daroonwanc@hotmail.com

ข้าพเจ้าและผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ได้รับทราบรายละเอียดเกี่ยวกับที่มาและวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย รายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ที่จะต้องปฏิบัติหรือได้รับการปฏิบัติ ความเสี่ยง/อันตราย และประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการวิจัยเรื่องนี้ ข้าพเจ้าได้อ่านรายละเอียดในเอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยโดยตลอด และได้รับคำอธิบายจากผู้วิจัย จนเข้าใจเป็นอย่างดีแล้ว

ข้าพเจ้าจึงสมัครใจให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าเข้าร่วมใน โครงการวิจัยนี้ ภายใต้เงื่อนไขที่ระบุไว้ในเอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย โดยข้าพเจ้ายินยอมให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า เข้าร่วมในการในการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบสมรรถภาพทางกาย การตรวจหลอดเลือดหัวใจหลอดเลือดบริเวณแขน การเจาะเลือดโดยพยาบาลวิชาชีพ เพื่อวิเคราะห์ระดับไขมันและน้ำตาลในเลือด ในตริกออกไซด์ เลปติน อะดิโปเนคติน ครีเอทีนไคนเนส จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 2 ซ่อนชา ซึ่งจะมีการทำหลายเลือด เมื่อสิ้นสุดการวิจัย รวมทั้งเข้ารับการฝึกออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมาก เป็นเวลา 12 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 36 ครั้ง

ข้าพเจ้ามีสิทธิให้ผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าหรือเป็นความประสงค์ของผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแล ถอนตัวออกจากกรวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล ซึ่งการถอนตัวออกจากกรวิจัยนั้น จะไม่มีผลกระทบในทางใดๆ ต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าและตัวข้าพเจ้าทั้งสิ้น



ข้าพเจ้าได้รับคำรับรองว่า ผู้วิจัยจะปฏิบัติต่อผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ตาม ข้อมูลที่ระบุไว้ในเอกสารแจ้งผู้เข้าร่วมการวิจัย และข้อมูลใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ผู้วิจัยจะเก็บรักษาเป็นความลับ โดยจะนำเสนอข้อมูลจากการวิจัยเป็นภาพรวมเท่านั้น ไม่มีข้อมูลใดในการรายงานที่จะนำไปสู่การระบุตัวผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้าและตัวข้าพเจ้า

หากผู้ที่อยู่ในปกครอง/ในความดูแลของข้าพเจ้า ไม่ได้รับการปฏิบัติตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารแจ้งผู้เข้าร่วมการวิจัย 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..... 130-156
 *วันที่รับรอง..... - 4 พ.ย. 2556
 *วันหมดอายุ..... - 3 พ.ย. 2557

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....
 (.....) (.....)
 ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย พ่อแม่/ผู้ปกครอง/ผู้ดูแล

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ครุณวรรณ สุขสม) (.....)
 ผู้วิจัยหลัก พยาน

ข้อมูลโครงการวิจัยสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

ข้อมูลโครงการวิจัยสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย

โครงการวิจัย เรื่อง ผลของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและสูงมากต่อองค์ประกอบของร่างกาย และการตอบสนองของหลอดเลือดในเด็กอ้วน

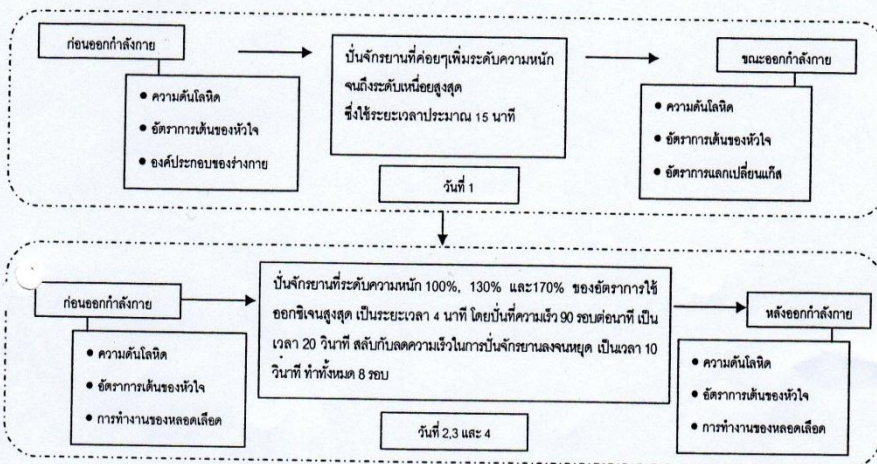
เลขที่โครงการวิจัย: ๒๖๐.๑/๒๖

ปีที่รับรอง: - 4 พ.ย. 2556

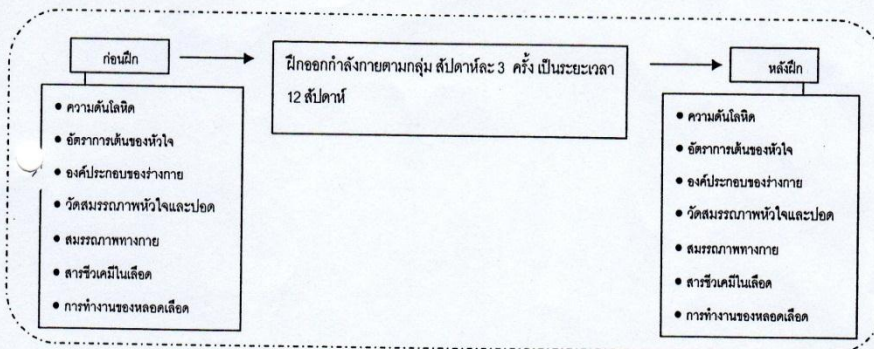
วันหมดอายุ: - 3 พ.ย. 2557

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาที่ 1 ผลของการออกกำลังกาย: การออกกำลังกายแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 30 นาที จำนวน 4 ครั้ง



การศึกษาที่ 2 ผลของการฝึกออกกำลังกาย: นักเรียนกลุ่มที่ 1 ใช้เวลาประมาณ 40 นาทีต่อวัน นักเรียนกลุ่มที่ 2 ใช้เวลาประมาณ 15 นาทีต่อวัน 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 3 เดือน โดยมีการเจาะเลือดก่อนและหลังการฝึกออกกำลังกาย



ความเสี่ยงในการวิจัยครั้งนี้ งานวิจัยนี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ผู้เข้าร่วมวิจัยในช่วงแรกของการออกกำลังกาย อาจทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อได้ ซึ่งเป็นอาการปกติของผู้ที่เริ่มออกกำลังกาย เจาะเลือดปริมาณ 2 ซ้อนชา โดยนักเทคนิคการแพทย์หรือพยาบาลวิชาชีพ ซึ่งอาจมีอาการเขียวช้ำหรือเจ็บเล็กน้อยบริเวณที่เจาะ

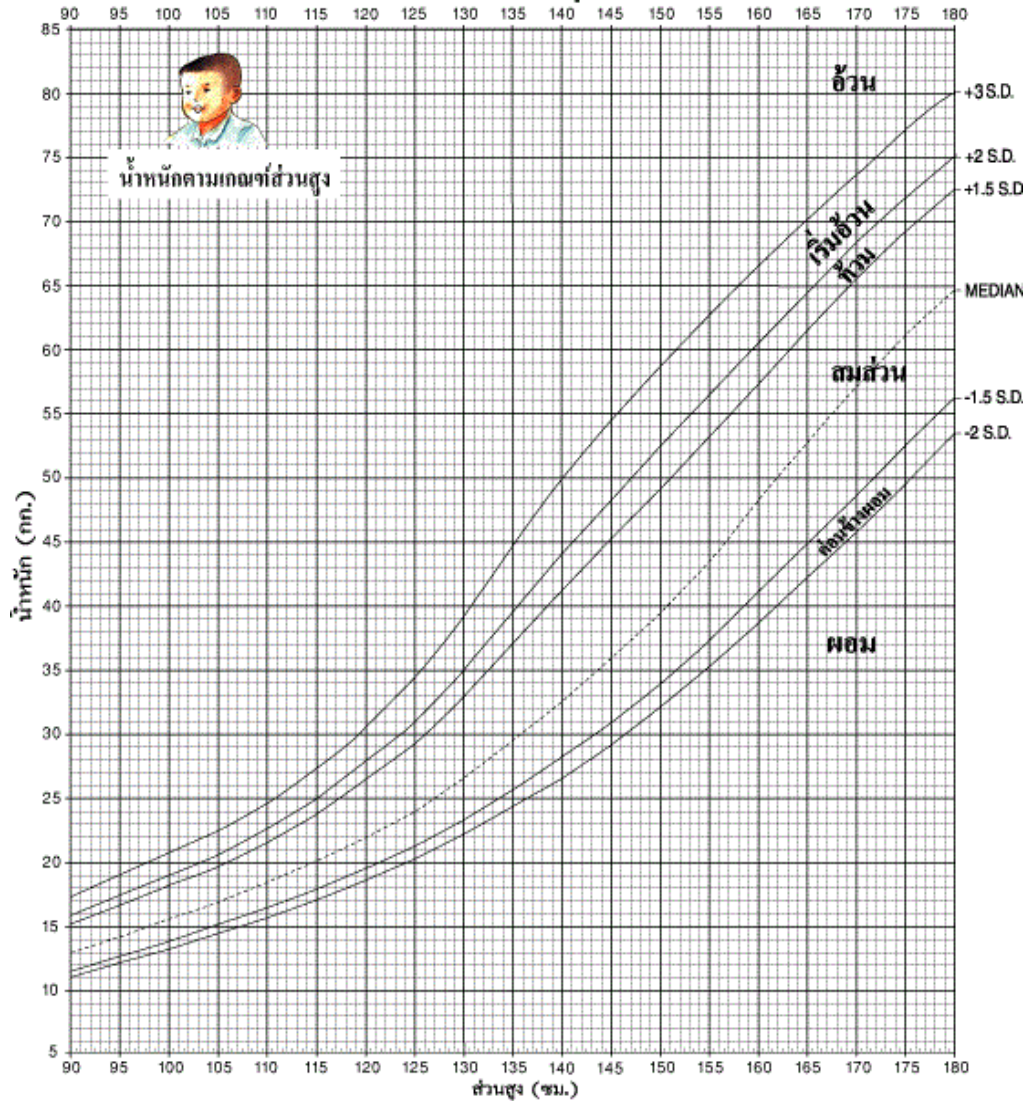
ประโยชน์ในการเข้าร่วมวิจัย ได้รับการตรวจสุขภาพอย่างละเอียด โดยเฉพาะระดับไขมันในเลือดและการทำงานของหลอดเลือด ได้รับการทดสอบสมรรถภาพทางกายและองค์ประกอบร่างกายที่เหมาะสมกับเด็กอ้วน ได้รับความรู้และการปฏิบัติตัวเพื่อควบคุมน้ำหนักที่ถูกต้องและเหมาะสม และเป็นนักเรียนต้นแบบในการนำไปรณรงค์การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและความหนักสูงมาใช้ควบคุมน้ำหนัก เพื่อนำไปเผยแพร่ต่อไป นอกจากนี้นักเรียนจะได้มีประสบการณ์ในการมีส่วนร่วมในโครงการศึกษาวิจัย ส่งผลให้เกิดการเรียนรู้เชิงวิชาการเป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อไป



ภาคผนวก ข

เกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเพศชาย อายุ 5-18 ปี

**กราฟแสดงเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโต
ของเพศชาย อายุ 5-18 ปี**



วิธีการอ่านกราฟ		
<p>น้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง แสดงความอ้วน-ผอม</p> <p>ดูส่วนสูงตามแนวอนว่าอยู่ที่จุดใด แล้วใช้เส้นตามแนวตั้งว่าตรงกับน้ำหนักที่จุดใด อ่านผลตามเกณฑ์นั้น :</p> <p>อ้วน เริ่มอ้วน ทั่วไป ธรรมดา ก่อนข้างอ้วน ผอม</p>	<p>ส่วนสูงตามเกณฑ์อายุ แสดงการเจริญเติบโตด้านความสูง</p> <p>ดูอายุตามแนวอนว่าอยู่ที่จุดใด แล้วใช้เส้นตามแนวตั้งว่าตรงกับส่วนสูงที่จุดใด อ่านผลตามเกณฑ์ส่วนสูงนั้น :</p> <p>สูง ก่อนข้างสูง ส่วนสูงตามเกณฑ์ ก่อนข้างเตี้ย เตี้ย</p>	<p>น้ำหนักตามเกณฑ์อายุ แสดงการเจริญเติบโตด้านน้ำหนัก</p> <p>ดูอายุตามแนวอนว่าอยู่ที่จุดใด แล้วใช้เส้นตามแนวตั้งว่าตรงกับน้ำหนักที่จุดใด อ่านผลตามเกณฑ์น้ำหนักนั้น :</p> <p>น้ำหนักเกินเกณฑ์ น้ำหนักน้อย น้ำหนักตามเกณฑ์ ก่อนข้างน้อย ธรรมดา</p>

ข้อมูล : กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2542 เกณฑ์อ้างอิง น้ำหนัก ส่วนสูง และเครื่องวัดภาวะโภชนาการของประชากรไทย อายุ 1 วัน - 19 ปี



ภาคผนวก ค

แบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก

แบบประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกายสำหรับเด็ก

ผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัยเป็นผู้ตอบคำถาม

ชื่อของผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัย

วันเดือนปีเกิด อายุ

เนื่องด้วยผู้อยู่ในความปกครอง การดูแลของท่านเข้าร่วมในการวิจัย/ท่านกรุณาตอบคำถามเกี่ยวกับความพร้อมในการออกกำลังกายของผู้อยู่ในความปกครองการดูแลของท่าน/

กรุณาทำเครื่องหมาย <input checked="" type="checkbox"/> ลงใน <input type="checkbox"/> ที่กำหนดไว้	ใช่	ไม่
ท่านได้รับการอธิบายขั้นตอนการทดสอบและออกกำลังกายอย่างละเอียด		
1. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่าน มีปัญหาเกี่ยวกับหัวใจ และกิจกรรมทางกายผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านต้องได้รับคำแนะนำจากแพทย์เท่านั้น	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเคยมีอาการเจ็บหน้าอกขณะมีกิจกรรมทางกาย	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเคยมีการสูญเสียการทรงตัวจากการเวียนศีรษะหรือเคยหมดสติ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านมีปัญหาเกี่ยวกับกระดูกหรือข้อต่อที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางที่ไม่ดีหากเข้าร่วมกิจกรรมทางกายในงานวิจัย	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านเป็นโรคหอบหืดแบบควบคุมไม่ได้	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านได้รับการดูแลหรือแนะนำจากแพทย์เกี่ยวกับความดันโลหิตหรือหัวใจ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. ท่านทราบสาเหตุที่ผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านไม่สามารถทำกิจกรรมทางกายได้หรือไม่ อาจจะมีโรครวมถึงโรคเบาหวานการบาดเจ็บในอดีต หรือการเจ็บป่วยที่รุนแรงอื่นๆ	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ถ้าท่านตอบว่า “ไม่” ทุกคำถาม ท่านสามารถมั่นใจได้ว่าผู้อยู่ในความปกครอง/การดูแลของท่านสามารถมีส่วนร่วมในกิจกรรมทางกายของงานวิจัยได้

ถ้าท่านตอบ “ใช่” กรุณาปรึกษาแพทย์เกี่ยวกับคำถามที่ท่านตอบ “ใช่”

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าข้อมูลที่เขียนไว้ทั้งหมดข้างต้นนี้เป็นความจริง

ลงชื่อ.....
(.....)

ผู้ปกครองของผู้มีส่วนร่วมในงานวิจัย
...../...../.....

ลงชื่อ.....
(.....)

พยาน
...../...../.....



ภาคผนวก ง
แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ

แบบบันทึกข้อมูล

ชื่อ-นามสกุล.....ชื่อเล่น.....
อายุ..... วันเดือนปีเกิด..... ผู้บันทึก.....

ข้อมูลทางสรีรวิทยา (ก่อนการทดสอบ – นิ่งพักเป็นเวลา 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. ลูกนั่ง (1 minute sit up) ครั้ง
3. วิดพื้น (1 minute push up) ครั้ง
4. กำล้างหลัง.....กก.
5. กำล้างขา.....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
เริ่ม บันทึก
VDO1							
VDO2							
VDO3							
VDO4							
PW1							
PW2							
ภาพนิ่ง							

ข้อสังเกต.....

.....

.....

*mark VDO ที่มีค่าTAPVที่สูงที่สุดด้วย

□ สมรรถภาพการใช้พลังงานขณะพัก (Resting metabolic rate)

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ 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

Energykcal

□ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂peak) (Grade Exercise Test)

1. ข้อมูลในขณะที่พัก (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)	

อุปกรณ์ที่ใช้ใส่ทดสอบ

หน้ากาก

ท่อหายใจ

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 ให้บันทึกระยะเวลาที่สามารถทำการทดสอบได้ และให้บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (HR peak) และระดับความเหนื่อย (RPE) จากการทดสอบด้วย **

VO₂max (ml/kg/min).....RER.....

เวลาที่ออกกำลังกายทั้งหมด (Total cycling time).....

เหตุผลในการหยุดออกกำลังกาย (Reason for termination).....

หมายเหตุ (Comments).....



ภาคผนวก จ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก จ

แบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี

แบบประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหารของเด็กอายุ 6-13 ปี

วิธีประเมิน

- กำหนดช่วงเวลาการประเมินพฤติกรรมการบริโภคอาหาร เช่น 1 สัปดาห์ หรือ 1 เดือน เป็นต้น
- 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 <ul style="list-style-type: none"> • สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ๆ ละ 1 เม็ด สำหรับเด็กที่มีการเจริญเติบโตดี 		
8. กินอาหารประเภทผัก ทอด และกะทิ <ul style="list-style-type: none"> • ไม่มากกว่า 2 อย่างต่อวัน สำหรับเด็กอ้วนและกลุ่มเสี่ยง 		
9. กินขนมกรุบกรอบ ปลาเส้นปรุงรส เครื่องดื่มที่มีรสหวาน น้ำอัดลม ไอติมหวานเย็น ลูกอม เยลลี่ หมากฝรั่ง ช็อคโกแลต ขนมปังเวเฟอร์ รวมกันไม่เกิน 2 ชนิดๆละ 1 ห่อ เล็ก/แก้ว/อัน /เม็ด/แท่ง ต่อวัน		
10. <u>ไม่</u> กินเนื้อสัตว์ติดมัน เช่น หมูสามชั้น ขาหมู คอหมู หนังไก่ หนังเป็ด ทุกวัน		
11. <u>ไม่</u> เติมเครื่องปรุงรสเค็ม เช่น น้ำปลา ซีอิ๊ว แม็กกี้ ในอาหารที่ปรุงสุกแล้ว ทุกครั้ง		

แบบบันทึกการรับประทานอาหารประจำวัน

แบบบันทึกการรับประทานอาหารประจำวัน

ผู้ปกครองและนักเรียนกรูณาบันทึกชนิดและปริมาณอาหารที่รับประทานในแต่ละวันอย่างละเอียด

ว/ด/ป	มื้อ	ชนิดอาหาร	ปริมาณอาหาร	หน่วย
	เช้า	ข้าว(สวย/กล้อง/เหนียว/ต้ม).....	.....	ทัพพี
		กล้วยเตี๋ยว.....	.....	จาน
		อาหารแป้งชนิดอื่นๆ เช่น ขนมปัง ขนมจีน	.....	ชิ้น/จาน/แผ่น
		
		กับข้าว.....	.....
		กับข้าว.....	.....
		เครื่องดื่ม(ยกเว้นน้ำเปล่า).....	.....	แก้ว
		อื่นๆ/ขนม.....	.....
	กลางวัน	ข้าว(สวย/กล้อง/เหนียว/ต้ม).....	.....	ทัพพี
		กล้วยเตี๋ยว.....	.....	จาน
		อาหารแป้งชนิดอื่นๆ เช่น ขนมปัง ขนมจีน	.....	ชิ้น/จาน/แผ่น
		
		กับข้าว.....	.....
		กับข้าว.....	.....
		เครื่องดื่ม(ยกเว้นน้ำเปล่า).....	.....	แก้ว
		อื่นๆ/ขนม.....	.....
	เย็น	ข้าว(สวย/กล้อง/เหนียว/ต้ม).....	.....	ทัพพี
		กล้วยเตี๋ยว.....	.....	จาน
		อาหารแป้งชนิดอื่นๆ เช่น ขนมปัง ขนมจีน	.....	ชิ้น/จาน/แผ่น
		
		กับข้าว.....	.....
		กับข้าว.....	.....
		เครื่องดื่ม(ยกเว้นน้ำเปล่า).....	.....	แก้ว
		อื่นๆ/ขนม.....	.....



ภาคผนวก ฉ

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อของกิจกรรมการออกกำลังกาย

แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีต่อกิจกรรมการออกกำลังกาย

ข้อ	ความคิดเห็น	ไม่เห็นด้วย มาก	ไม่เห็น ด้วย	ปาน กลาง	เห็น ด้วย	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 ข

การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ผู้ร่วมวิจัยได้รับการทดสอบการออกกำลังกายแบบเป็นขั้น (Grade Exercise Test) ด้วยการปั่นจักรยาน และใส่เครื่องวัดอัตราการหายใจ (Gas Analyzer) เพื่อหาสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 peak) ผู้ร่วมวิจัยแต่ละคนเรียนรู้มาตรฐานวัดความเหนื่อยของเด็ก (The Pictorial Children's Effort Rating Table: PCERT) ก่อนการทดสอบ การทดสอบจะกระทำโดยการปั่นจักรยาน เริ่มด้วยความหนักของงานที่ 20 วัตต์ และจะเพิ่มความหนัก 20 วัตต์ ทุกๆ 3 นาที ในการทดสอบนี้จะคงความเร็วของการปั่นจักรยานที่ 50 รอบต่อนาที และจะเพิ่มแรงต้านด้วยแผ่นน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความหนักของงานที่กระทำ ทำซ้ำไปเรื่อยๆ 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 ข

การคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย

การคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย ใช้สูตร

ค่าความหนักของการออกกำลังกาย (Intensity) = เปอร์เซ็นต์ของความหนักที่ต้องการ x ค่างานที่ได้ในขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุด (Work load at VO_2 peak)

ตัวอย่าง

ถ้าค่างานสูงสุดที่ได้เมื่อทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2 peak) เท่ากับ 120 วัตต์ ต้องการความหนักของการออกกำลังกายที่ระดับ 170% VO_2 peak เพราะฉะนั้นจะได้ค่าความหนักของการออกกำลังกายเท่ากับ $(170/100) \times 120 = 204$ วัตต์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ-นามสกุล นางสาวนภัสกร ชื่นศิริ

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับดุษฎีบัณฑิต วิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557

ระหว่างการศึกษได้รับทุนผู้ช่วยสอน ทุน 90 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนสนับสนุน นิสิตระดับปริญญาเอกไปทำวิจัยในต่างประเทศ และทุนสนับสนุนงานวิจัยกองทุนรัชดาภิเษก สมโภชจากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา บัณฑิตวิทยาลัย และกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำเร็จการศึกษาระดับมหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2552

ระหว่างการศึกษได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา และบัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี พุทธศักราช 2547