



การศึกษาผลฉับพลันของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการฝึกแบบสลับช่วง
ที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือด
ในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

THE ACUTE EFFECTS OF SUPRAMAXIMAL HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING
AND HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING WITH BLOOD FLOW RESTRICTION

ธิติวัดน์ น้อยคำเมือง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการฝึกแบบสลับช่วง
ที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือด
ในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE ACUTE EFFECTS OF SUPRAMAXIMAL HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING
AND HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING WITH BLOOD FLOW RESTRICTION
ON VASCULAR FUNCTION IN OBESE ADOLESCENTS



THITIWAT NOIKHAMMUEANG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Sport and Exercise Science)

Faculty of Physical Education, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการฝึกแบบสลับช่วง
ที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือด

ในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

ของ

ธิติวัดมน์ น้อยคำเมือง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต มิตรานันท์)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ณ์ เทียนทอง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัฉริยะ เอนก)

ชื่อเรื่อง	การศึกษาผลจับปล้นของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน
ผู้วิจัย	ธิตวิวัฒน์ น้อยคำเมือง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิต มิตรานันท์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลจับปล้นของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR) ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน กลุ่มตัวอย่างเป็นวัยรุ่นชาย อายุ 13-15 ปี มีน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงมากกว่าค่ามัธยฐาน เกิน +1.5 SD เมื่อเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงของเด็กอายุ 6-19 ปี การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาในร่อง กลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 คน ได้รับออกกำลังกาย 4 เจ็ดวัน: (1) ออกกำลังกายแบบ HIIT-SUPRA: 170%VO₂ peak; (2) ออกกำลังกายแบบ HIIT-BFR: 85%VO₂ peak ที่ระดับแรงดัน 40%AOP; (3) 60%AOP และ (4) 80%AOP โดยวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกาย การออกกำลังกายแบบ HIIT-BFR แสดงอัตราการเต้นของหัวใจเหมือนกับการออกกำลังกายแบบ HIIT-SUPRA การทดลองที่ 2 กลุ่มตัวอย่างวัยรุ่นชายที่มีภาวะอ้วนจำนวน 10 คน ใช้การศึกษาระบบไขว้กลุ่มในการออกกำลังกายแบบ HIIT-SUPRA และ HIIT-BFR การออกกำลังกายแต่ละครั้งห่างกันอย่างน้อย 3 วัน เปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดก่อนและหลังออกกำลังกาย (ทันที, 10 นาที, 30 นาที, และ 60 นาที) ผลการทดลองที่ 1 พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยของการออกกำลังกายแบบ HIIT-BFR ที่ระดับแรงดัน 40%AOP ใกล้เคียงกับออกกำลังกายแบบ HIIT-SUPRA ผลการทดลองที่ 2 พบว่า การออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบให้ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกัน การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) เพิ่มขึ้น คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse Wave Velocity : baPWV) ลดลง หลังออกกำลังกายเทียบกับก่อนออกกำลังกาย อย่างไรก็ตาม การออกกำลังกายแบบ HIIT-BFR ที่ระดับแรงดัน 40%AOP มีระดับความเหนื่อยต่ำกว่าการออกกำลังกายแบบ HIIT-SUPRA สรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบ HIIT-BFR ที่ระดับแรงดัน 40%AOP ในวัยรุ่นชายที่มีภาวะอ้วน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมระดับความเหนื่อยและทำให้การทำงานของหลอดเลือดดีขึ้นภายหลังจากการออกกำลังกาย เหมือนกับการออกกำลังกายแบบ HIIT-SUPRA

คำสำคัญ : การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก, การจำกัดการไหลเวียนโลหิต, การทำงานของหลอดเลือด, วัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

Title THE ACUTE EFFECTS OF SUPRAMAXIMAL HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING AND HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON VASCULAR FUNCTION IN OBESE ADOLESCENTS

Author THITIWAT NOIKHAMMUEANG

Degree MASTER OF SCIENCE

Academic Year 2021

Thesis Advisor Assistant Professor Dr. Witid Mittranun

The purpose of this study was to compare the acute effects of supramaximal high-intensity interval training and high-intensity interval training with blood flow restriction on vascular function in obese adolescents. The subjects were male adolescents, aged 13-15 years, whose weight-height criteria were greater than the median over +1.5 SD, based on the growth reference criteria of subjects aged 6-19. The study was divided into two trials. In the first trial, a pilot study of five participants in four conditions of exercise: (1) supramaximal high-intensity interval training (HIIT-SUPRA): 170% VO₂ peak; (2) high-intensity interval training with BFR (HIIT-BFR): 85% VO₂ peak with 40% AOP; (3) 60% AOP; and (4) 80% AOP and heart rate was measured during exercise. The exercise with blood flow restriction showed that their mean heart rate was similar to HIIT-SUPRA. For the second trial, ten obese adolescent males were recruited and a crossover design was applied for both HIIT-SUPRA and HIIT-BFR exercises. Each exercise was performed separately by at least three days. The data was collected to compare the vascular function parameters before and after exercise (immediately, 10 minutes, 30 minutes, and 60 minutes). The results in the first trial showed that the mean heart rate of HIIT-BFR at 40% AOP were similar to HIIT-SUPRA. For the second trial, both types of exercise showed the similar outcomes, the flow-mediated dilatation (FMD) was increased, while brachial pulse wave velocity (baPWV) was decreased after exercise compared to baseline (before exercise). However, HIIT-BFR at 40% AOP demonstrated a lower rate of perceived exertion (RPE). In conclusion, HIIT-BFR at 40% AOP was effective to compromise RPE and increase vascular function after exercise similar to HIIT-SUPRA in obese adolescents.

Keyword : High intensity interval training, Blood flow restriction, Vascular function, Obese adolescent

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ด้วยความเมตตากรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิต มิตระนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่เสียสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ จนปริญญาบัตรฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา มอบทุน “ 70 ปี 70 ทุน มศว คีนส์สู่สังคม ” ให้กระผมได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาตรี และพัฒนาศักยภาพทางวิชาการ เพื่อสร้างประโยชน์ต่อสังคม

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ เทียนทอง ประธานกรรมการสอบปริญญาบัตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัชฌริยะ อเนก กรรมการสอบโครงร่างปริญญาบัตร และกรรมการสอบปริญญาบัตร ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อให้ปริญญาบัตรฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ตลอดจนคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่กระผมมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณผู้ปกครองและอาสาสมัครทุกท่านที่เสียสละเวลาอันมีค่า เข้าร่วมงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณสำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บข้อมูล รวมทั้งผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนาม ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือกระผมด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอรำลึกถึงพระคุณ คุณแม่ธวันต์ น้อยคำเมือง ที่ผลักดัน สนับสนุนให้กระผมได้รับโอกาสทางการศึกษา และอบรมสั่งสอนจนกระผมประสบความสำเร็จ

ธิติวัดณ์ น้อยคำเมือง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
คำถามงานวิจัย.....	5
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	5
ความสำคัญของงานวิจัย.....	6
ขอบเขตงานวิจัย	6
ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย.....	6
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย.....	6
ตัวแปรที่ศึกษา	7
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	7
กรอบแนวคิด	8
สมมติฐานงานวิจัย.....	9
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
1. วิทยุรุ่นและการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่ช่วงวิทยุรุ่น	10
2. สถานการณ์ของภาวะอ้วนในปัจจุบัน	12

2.1 การเกิดภาวะอ้วน.....	12
2.2 สถานการณ์ภาวะอ้วนทั่วโลก	14
3. หลอดเลือด (Blood Vessel)	17
3.1 โครงสร้างของหลอดเลือดแดง	17
3.2 เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial cells).....	18
4. ความผิดปกติในการทำงานของหลอดเลือด	19
4.1 ความผิดปกติในการทำงานของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial cell dysfunction).....	19
4.2 การประเมินการทำงานของหลอดเลือด (Endothelium assessment).....	20
5. การออกกำลังกายในคนที่มีภาวะอ้วน	25
6. การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval Training)	26
6.1 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เป็นแบบแอโรบิก (Aerobic-based interval training)	26
6.2 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เป็นแบบแรงต้าน (Resistant-based interval training)	26
7. การออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood Flow Restriction: BFR) และความปลอดภัย (Safety)	28
7.1 อุปกรณ์ในการฝึกหรือออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต.....	30
7.2 แรงดัน (Pressure) ที่ใช้ในการฝึกหรือออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด	30
7.3 ความปลอดภัยของการจำกัดการไหลเวียนเลือดกับการออกกำลังกาย	31
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
การกำหนดกลุ่มประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	36

ประชากร	36
การเลือกกลุ่มตัวอย่าง	36
การเก็บรวบรวมข้อมูล	37
การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	44
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	45
การทดลองที่ 1 การศึกษาเบื้องต้น (Pilot study)	45
ส่วนที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง	45
ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบผลจับปล้นของอัตราการเต้นของหัวใจ ในการออกกำลังกายด้วยการ ปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในระดับ แรงดันที่ต่างกัน กับการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนัก สูงมาก ของวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน	48
การทดลองที่ 2	53
ส่วนที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง	53
ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบผลจับปล้นการทำงานของหลอดเลือด ของการออกกำลังกายด้วยการ ปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการออกกำลังกายด้วยการปั่น จักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตของวัยรุ่นที่มี ภาวะอ้วน	57
1. การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD)	57
2. คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV)	64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	83
สรุปผลการวิจัย	83
1. การทดลองที่ 1	83
1.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ	83

1.2 ระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion (RPE)	84
2. การทดลองที่ 2	84
2.1 ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ	84
2.2 การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD)	84
2.3 คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV)	84
2.4 ความดันโลหิต (Blood pressure)	85
2.5 ความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure)	85
2.6 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) หลังออกกำลังกาย	85
2.6 ระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion (RPE)	85
2.7 ระดับความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย (Exercise enjoyment scale (EES)	85
อภิปรายผลการวิจัย	86
ข้อเสนอแนะ	90
บรรณานุกรม	91
ภาคผนวก.....	99
ผนวก ก.....	100
ผนวก ข.....	102
ผนวก ค.....	104
ผนวก ง	106
ผนวก จ.....	109

ผนวก ซ.....	115
ผนวก ซ.....	123
ประวัติผู้เขียน.....	125



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ข้อมูลค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	45
ตาราง 2 ค่างาน (Work load) ในการปั่นจักรยานและค่าแรงดัน (Arterial occlusion pressure) 47	
ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ.....	47
ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ระหว่างการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40%,60% และ 80% AOP	48
ตาราง 5 เปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40%,60% และ 80% AOP โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-Way ANOVA with Repeated measures)	50
ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion (RPE) : 6-20 Borg scale) และจำนวนเที่ยวที่สามารถทำได้ระหว่างการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40%,60% และ 80% AOP	51
ตาราง 7 เปรียบเทียบความแตกต่างของระดับความเหนื่อยระหว่างการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับความดัน 40%,60% และ 80% AOP โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-Way ANOVA with Repeated measures).....	52
ตาราง 8 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ตัวแปรด้านสรีรวิทยา.....	53
ตาราง 9 ค่างาน (Work load) ในการปั่นจักรยานและค่าแรงดัน (Arterial occlusion pressure) 54	
ตาราง 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ ระดับเปอร์เซ็นต์อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระดับความเหนื่อย จำนวนเที่ยวของการปั่นจักรยานที่สามารถทำได้ และระดับความผลิตพลังงานในการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออก	

กำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40% AOP (HIIT-BFR (40)) ด้วยสถิติ Paired T-test 55

ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) 57

ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) 58

ตาราง 13 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni 60

ตาราง 14 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni..... 62

ตาราง 15 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) 64

ตาราง 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) 65

ตาราง 17 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)	67
ตาราง 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))	68
ตาราง 19 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni	69
ตาราง 20 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni.....	71
ตาราง 21 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min).....	73
ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))	74
ตาราง 23 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) 75	

ตาราง 24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))..... 76

ตาราง 25 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) 77

ตาราง 26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))..... 78

ตาราง 27 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni..... 79

ตาราง 28 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni 81

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการทดลองที่ 1 Pilot study	8
ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดการทดลองที่ 2	8
ภาพประกอบ 3 ระดับของการเจริญเติบโตของเพศชายและเพศหญิง	11
ภาพประกอบ 4 กระบวนการสร้างเซลล์ไขมัน	12
ภาพประกอบ 5 การเชื่อมโยงระหว่างโรคอ้วนและการอักเสบ	13
ภาพประกอบ 6 ความชุกของโรคอ้วนทั่วโลก ระดับตามดัชนี Sociodemographic (SDI)	14
ภาพประกอบ 7 Global Deaths Associated with a High Body-Mass Index (2015)	15
ภาพประกอบ 8 เกณฑ์การวินิจฉัยโรคอ้วนและภาวะน้ำหนักเกิน	16
ภาพประกอบ 9 โครงสร้างหลอดเลือดแดง	17
ภาพประกอบ 10 เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (Endothelial cells)	18
ภาพประกอบ 11 ความผิดปกติของการทำงานของหลอดเลือด	19
ภาพประกอบ 12 การประเมินการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD)	21
ภาพประกอบ 13 การตอบสนองของ Shear stress และเส้นผ่าศูนย์กลาง หลังคลายการปิดกั้นการไหลเวียน	22
ภาพประกอบ 14 การประเมินคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial ankle-Pulse Wave Velocity : baPWV)	24
ภาพประกอบ 15 เปอร์เซ็นต์อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดจากการปั่นจักรยาน	49
ภาพประกอบ 16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของ : (a) ระดับความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion : RPE) และ (b) จำนวนเที่ยวของการปั่นจักรยานที่สามารถทำได้	52

ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของ : (a) อัตราการเต้นของหัวใจ , (b) เปอร์เซ็นต์ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด , (c) ระดับความเหนื่อย , (d) จำนวนเที่ยวของการปั่นจักรยานที่สามารถทำได้ , (e) ระดับความเปล็ดเปล็นในการออกกำลังกาย..... 56

ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระดับการเปลี่ยนแปลงการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน(Flow-mediated dilatation : FMD) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) 59

ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระดับการเปลี่ยนแปลงการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน(Flow-mediated dilatation : FMD) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) 61

ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระดับการเปลี่ยนแปลงการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน(Flow-mediated dilatation : FMD) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)..... 63

ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) 66

ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) 70

ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออก

กำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) 72

ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)..... 80

ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) 82

ภาพประกอบ 26 รูปแบบการทดลองที่ 1 Pilot study 107

ภาพประกอบ 27 รูปแบบการทดลองที่ 2 การศึกษาแบบไขว้กลุ่ม (Crossover Design)..... 108

ภาพประกอบ 28 จักรยานวัดงาน (Cycling ergometer)..... 110

ภาพประกอบ 29 อุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ (ยี่ห้อ Polar รุ่น H10)..... 110

ภาพประกอบ 30 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analysis)..... 111

ภาพประกอบ 31 เครื่องวัดความดันโลหิต 111

ภาพประกอบ 32 เครื่องวัดองค์ประกอบร่างกาย (Tanita) 112

ภาพประกอบ 33 อุปกรณ์การฝึก Blood flow restriction 112

ภาพประกอบ 34 เครื่องตรวจการไหลเวียนของหลอดเลือดส่วนปลาย (Vascular doppler)..... 113

ภาพประกอบ 35 เครื่องอัลตราซาวด์หลอดเลือด (Cardiovascular Ultrasound System) 113

ภาพประกอบ 36 เครื่องตรวจวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non Invasive Vascular Screening Device) 114

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

สถานการณ์ความชุกของภาวะอ้วนทั่วโลกส่งผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ มาจากการมีค่าดัชนีมวลกายที่สูงเกินมาตรฐาน ในหลายๆ ประเทศมีอัตราการเพิ่มขึ้นของภาวะอ้วนในเด็กมากกว่าในผู้ใหญ่ ปี 2015 พบว่ามีเด็กที่เป็นโรคอ้วนราว 107.7 ล้านคน จาก 195 ประเทศทั่วโลก มีผู้เสียชีวิตมากถึง 4 ล้านคน โดย 60% เป็นคนอ้วน และ 70% เกี่ยวข้องกับการมีค่าดัชนีมวลกายสูงร่วมกับโรคหัวใจและหลอดเลือด (Collaborators, 2017) และในปี 2016 องค์การอนามัยโลก (WHO) รายงานว่ามีเด็กและวัยรุ่น อายุ 5-19 ปี ทั่วโลกมีภาวะอ้วนราว 124 ล้านคน (WHO, 2020) ภาวะเริ่มอ้วนและอ้วนของเด็กไทย อายุ 6-14 ปี ในปี พ.ศ.2560 มีค่าร้อยละ 11.2 (กรมอนามัย, 2562) และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 11.8 เมื่อปี พ.ศ.2561 (กรมอนามัย, 2563) หากเด็กมีภาวะอ้วนจนถึงวัยรุ่น ในอนาคตอาจมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดภาวะอ้วนในวัยผู้ใหญ่ และนำไปสู่การเกิดโรคที่ไม่ได้มาจากการติดเชื้อ (NCDs) (กรมอนามัย, 2561) ภาวะอ้วนนี้เกิดจากปัจจัยภายในตนเอง ทั้งด้านพันธุกรรม พฤติกรรมการรับประทานอาหาร การเคลื่อนไหวร่างกายที่น้อยลง รวมทั้งปัจจัยภายนอกด้านสิ่งแวดล้อม สภาพความเป็นอยู่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดความผิดปกติทางด้านร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นระบบการเผาผลาญพลังงาน ระบบหายใจระบบกล้ามเนื้อ กระดูกและข้อต่อ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อจิตใจ ไม่เพียงพอใจในรูปร่างของตนเอง (No-in, 2017) ในประเทศไทยมีแนวทางการประเมินภาวะอ้วนในเด็กและวัยรุ่น ถ้ามีน้ำหนักตัวเทียบตามเกณฑ์ส่วนสูงมากกว่าค่ามัธยฐาน เกินกว่า +3 S.D. ถือว่าอ้วน โดยเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงของเด็กอายุ 6-19 ปี เพศชาย (กรมอนามัย, 2564)

ภาวะอ้วนเป็นภาวะที่เกิดจากกลไกการเพิ่มจำนวนเซลล์ไขมันในร่างกายที่มากขึ้น พร้อมทั้งมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และร่างกายได้รับพลังงาน (Energy intake) และใช้พลังงาน (Energy expenditure) ที่ไม่สมดุลกัน (Zhai, Yang, Yi, & Sun, 2020) จึงทำให้เกิดการสะสมไขมันในร่างกายที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็น และเกิดเป็นภาวะเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับการสลายพลังงานในร่างกาย ส่งผลให้การไหลเวียนของเลือดลดลง เนื่องจากความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด และเป็นปัจจัยบ่งชี้ที่สำคัญที่นำไปสู่การเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด (Kwaifa, Bahari, Yong, & Noor, 2020) ปัจจุบันมีการประเมินหน้าที่การทำงานของหลอดเลือดด้วยวิธีที่ไม่ส่งผลเสียหายต่อหลอดเลือด ที่เรียกว่า brachial artery flow-mediated dilatation หรือ FMD

เพื่อวัดหน้าที่การทำงานของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (Endothelial cell) จากค่าการเปลี่ยนแปลงการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ซึ่ง FMD มีความสำคัญทางอ้อมต่อการประเมิน ไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามแรงเฉือน (Shear stress) ที่กระทำต่อผนังหลอดเลือด ถ้าค่า FMD สูง แสดงว่าหลอดเลือดดี (Ghiadoni, Salvetti, Muiasan, & Taddei, 2015; Phillips et al., 2017; D. H. J. Thijssen et al., 2019) และยังมี การประเมินค่าความแข็งตัวของหลอดเลือดจากการวัดคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและ ข้อเท้า หรือ brachial ankle- pulse wave velocity : baPWV ถ้ามีค่า PWV ต่ำ จะส่งผลดีต่อ หลอดเลือด (Cho & Baek, 2020) ทั้งนี้ มีรายงานพบว่า เด็กที่น้ำหนักเกิน มีค่า FMD น้อยกว่า เด็กน้ำหนักปกติ และค่าการแข็งตัวของผนังหลอดเลือด (carotid artery intima-media thickness : cIMT) สูงกว่าเด็กน้ำหนักปกติทั่วไป (Alpsoy et al., 2020) โดยค่า FMD ที่ลดลงนั้น สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปัจจัยการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด (Kokkinos & Myers, 2019) ดังนั้นภาวะอ้วนจึงควรได้รับการดูแลตั้งแต่วัยเด็กเพื่อลดอัตราเสี่ยงในการเป็นโรคอ้วนในวัย ผู้ใหญ่

การส่งเสริมให้มีการออกกำลังกาย เป็นแนวทางหนึ่งที่มีประโยชน์ ช่วยเพิ่มระยะเวลาของการเคลื่อนไหวในเด็กและวัยรุ่นได้มากขึ้น วิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (American College of Sport Medicine : ACSM) ให้คำแนะนำว่า ผู้ที่น้ำหนักมากเกินหรืออ้วน ควรออกกำลังกายต่อเนื่องแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic exercise) ที่ความเข้มข้นระดับปานกลาง 30 นาทีต่อวันเป็นอย่างต่ำ และหนึ่งสัปดาห์ไม่น้อยกว่า 150 นาที (Riebe, Ehrman, Liguori, & Maga, 2018) การออกกำลังกายแบบแอโรบิคช่วยพัฒนา ปรับปรุงระบบหัวใจและไหลเวียน เลือด การเผาผลาญพลังงานในร่างกายในเด็กวัยรุ่นที่มีภาวะโรคอ้วนได้ (Fagnani, Gonzáles, Lemos, & Haas, 2017) แต่จะเห็นได้ว่ายังคงต้องใช้เวลาานพอสมควรสำหรับการออกกำลังกายแต่ละครั้ง

การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval training) เป็นกิจกรรมรูปแบบหนึ่งที่ได้ผลลัพธ์ คล้ายคลึงกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิคและใช้เวลาสั้นๆ ร่างกายมีช่วงออกแรงที่หนัก สลับกับ การออกแรงที่เบาหรือหยุดพัก ในระยะสั้นๆ ระหว่างออกกำลังกายแต่ละครั้ง (Gibala, Heisz, & Nelson, 2018; MacInnis & Gibala, 2017) ระดับความหนักในการออกกำลังกายมีความ หลากหลาย ทั้งความหนักต่ำ ความหนักปานกลาง ความหนักสูง และความหนักสูงมาก (Gibala et al., 2018) มีรายงานในต่างประเทศว่า เด็กและวัยรุ่นที่ออกกำลังกายด้วยการวิ่งหรือปั่น จักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High intensity interval exercise : HIIE) 80% VO_2 paek

มีการพัฒนาระบบหัวใจและหลอดเลือดเป็นอย่างดี และรู้สึกสนุกสนานมากกว่าการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องนาน ๆ แต่ก็เคยมีรายงานว่าหลังออกกำลังกาย ค่า FMD ลดลงทันที และจะเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านไปแล้ว 1 – 2 ชั่วโมง หลังออกกำลังกาย เมื่อเทียบกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ระดับความหนักปานกลาง (Bond, Weston, Williams, & Barker, 2017) และไม่นานมานี้ รายงานผลฉบับพรีของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training) 3 ระดับความหนัก ในเด็กเพศชาย อายุ 8-12 ปี ที่มีภาวะอ้วนในประเทศไทย พบว่าหลังจากออกกำลังกายที่ความหนัก 170% VO_2 peak ส่งผลฉบับพรีให้อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยสูงขึ้นถึง 93 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ความดันโลหิตเพิ่มขึ้น มีค่า FMD มากที่สุด และค่า PWV ลดลงมากที่สุด (Chuensiri, Tanaka, & Suksom, 2015) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการออกกำลังกายที่ความหนักสูงมากในเด็กอ้วนทำให้ระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตทำงานสูงขึ้น การทำงานของหลอดเลือดดีขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีรายงานพบการบาดเจ็บของร่างกายบริเวณกล้ามเนื้อและข้อต่อ จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยท่าเบอร์พีส์ (Burpees) ทำดันพื้น (Push-up) ทำลันจ์ (Lunges) หรือการออกกำลังกายด้วยอุปกรณ์ประเภทบาร์เบล (Barbell) เคทเทิลเบล (Kettle bell) และกลอง (Rynecki, Siracuse, Ippolito, & Beebe, 2019) จึงเป็นที่น่าสนใจว่าการออกกำลังกายแบบใดที่จะส่งผลให้การทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต รวมทั้งการทำงานของหลอดเลือด ใกล้เคียงกับการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงมากในระยะเวลาที่เท่ากัน

มีเทคนิคในการออกกำลังกายประเภทหนึ่งที่เรียกว่า Blood Flow Restriction หรือ BFR ใช้ความหนักน้อย แต่ได้ประโยชน์ใกล้เคียงกับการออกกำลังกายที่ใช้ความหนักมาก เทียบได้จากการวัดอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิต ลักษณะเป็นการฝึกที่ใช้ความหนักน้อย ร่วมกับการใช้ความดันบีบรัดจากภายนอกเพื่อปิดกั้นการไหลของเลือดบางส่วน ช่วยลดภาระการทำงานของกล้ามเนื้อ จึงอาจทำให้มีโอกาสเกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อน้อยกว่าการฝึกที่ใช้ น้ำหนักมาก มีรายงานผลข้างเคียงต่อร่างกายค่อนข้างน้อยมากจนไม่สามารถบอกได้เลยว่าเกิดความเสียหายต่อร่างกายมากกว่าการออกกำลังกายแบบดั้งเดิม ทำให้มั่นใจว่าการใช้เทคนิคแบบ BFR มีผลข้างเคียงต่อร่างกายน้อยมาก (Brandner, May, Clarkson, & Warmington, 2018) การกำหนดแรงดันของการฝึก เทียบได้จากระดับแรงดันต่ำสุดจากการบีบรัดเพื่อหยุดการไหลของเลือดจนไม่สามารถตรวจจับชีพจร หรือที่เรียกว่า Arterial Occlusion Pressure หรือ AOP ซึ่งสามารถช่วยหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากการใช้ความดันที่มากเกินไป ในการออกกำลังกาย (Cirilo-Sousa et al., 2019; McEwen, Owens, & Jeyasurya, 2019; Mouser et al.,

2017; Sijlacks, Knudsen, Wernbom, & Vissing, 2018; Zeng, Centner, Gollhofer, & König, 2019) ในการตั้งค่าความดันของการบีบรัดขณะออกกำลังกายให้อยู่ในช่วง 40-80% AOP (Patterson et al., 2019) การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค BFR ร่วมกับการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน สามารถเพิ่มขนาดและความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อได้ (Patterson et al., 2019) มีการศึกษาการออกกำลังกายโดยใช้เทคนิค BFR ที่ส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจในหลากหลายกลุ่ม เช่น ในผู้ใหญ่ที่เป็นโรคอ้วน พบว่า การปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำด้วยเทคนิค BFR ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้น 84% HRmax ในเพศหญิง และ 70% HRmax ในเพศชาย (Karabulut & Garcia, 2017) นักกีฬาอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้นถึง 91% HRmax (Willis, Alvarez, Millet, & Borrani, 2016) รวมทั้งผู้สูงอายุที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง ที่เดินด้วยความหนักต่ำร่วมกับเทคนิค BFR มีอัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นใกล้เคียงกับการเดินที่ความหนักสูง (Barili et al., 2018) และยังมี การเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย (VO_2max) ค่าการใช้พลังงาน ค่าแลคเตทในเลือด การผลิต Growth hormone และความดันโลหิต (J. C. G. Silva et al., 2019) ผลขับปัสสาวะของ FMD หลังจากการออกกำลังกายด้วยแรงต้านแบบ BFR เสร็จสิ้นเป็นระยะเวลา 15 นาที มีค่าลดลง และเพิ่มขึ้นใน 1 ชั่วโมง (Paiva, Vianna, Fernandes, Nóbrega, & Lima, 2016) ค่า FMD ไม่เปลี่ยนแปลงหลังการเดินออกกำลังกายร่วมกับการใช้เทคนิค BFR (Stray-Gundersen, Wooten, & Tanaka, 2020) และไม่ส่งผลให้เกิดความผิดปกติต่อเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดอีกด้วย (da Cunha Nascimento, Schoenfeld, & Prestes, 2020) จะเห็นได้ว่าการใช้เทคนิค BFR ไม่ส่งผลเสียต่อการทำงานของหลอดเลือด

จากการศึกษาดังกล่าวข้างต้น การเพิ่มขึ้นของภาวะอ้วนในวัยรุ่นเป็นปัญหาที่ไม่ควรมองข้าม อาจส่งผลให้เกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดในอนาคต การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training) ส่งผลดีต่อระบบหัวใจไหลเวียนโลหิตและการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ้วน แต่ก็ยังเป็นการใช้ความหนักที่สูงมาก ในขณะที่เทคนิคแบบ BFR เป็นการออกกำลังกายที่ใช้ความหนักน้อยกว่า และยังคงได้รับประโยชน์ที่ส่งผลดีต่อระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต และการทำงานของหลอดเลือดเช่นกัน อย่างไรก็ตามการศึกษากการออกกำลังกายด้วยเทคนิค BFR ในแง่ที่มีผลต่อการทำงานของหลอดเลือดยังมีจำกัด และไม่พบรายงานการศึกษาในกลุ่มวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน ผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาผลขับปัสสาวะของตัวแปรการทำงานของระบบหัวใจไหลเวียนโลหิต และการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน ในการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก เทียบกับการปั่น

จักรยานแบบสลัฟช่วงที่น้ำหนักต่ำกว่าร่วมกับการใช้เทคนิค BFR ผู้วิจัยคาดว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการทำงานของหลอดเลือดจะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการปรับปรุงความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด และเป็นทางเลือกที่ดีของการออกกำลังกายในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน ซึ่งอาจจะลดโอกาสการได้รับบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อลงได้

คำถามงานวิจัย

1. การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดันต่างกัน จะส่งผลต่อการทำงานของหัวใจแตกต่างกับการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงมากในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วนหรือไม่

2. การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ส่งผลจับพจน์ต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน แตกต่างกันหรือไม่

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง โดยมีความมุ่งหมายดังนี้

การทดลองที่ 1

เพื่อเปรียบเทียบผลจับพจน์ของอัตราการเต้นของหัวใจ ในการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในระดับแรงดันต่างกัน กับการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงมาก ของวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

การทดลองที่ 2

1. เพื่อศึกษาผลจับพจน์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

2. เพื่อเปรียบเทียบผลจับพจน์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานแบบสลัฟช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

ความสำคัญของงานวิจัย

1. ทำให้ทราบถึงผลขับพลาสมาของอัตราการเต้นของหัวใจ ในการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในระดับแรงดันต่างกับกับการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ของวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน
2. ทำให้ทราบถึงผลขับพลาสมาของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน
3. ทำให้ทราบถึงความแตกต่างของผลขับพลาสมาของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน
4. ทำให้วัยรุ่นที่มีภาวะอ้วนสามารถเลือกใช้กิจกรรมการออกกำลังกายที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต การทำงานของหลอดเลือด และลดโอกาสของการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อได้ในระยะยาว

ขอบเขตงานวิจัย

ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเด็กชาย อายุตั้งแต่ 13 -15 ปี ที่ศึกษาอยู่ในช่วงชั้นระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ที่เข้าร่วมกิจกรรมภาคฤดูร้อน ประจำปี 2564 ของกรมพลศึกษา จำนวน 551 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเด็กชายที่มีภาวะอ้วน อายุระหว่าง 13 -15 ปี ที่มีน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงมากกว่าค่ามัธยฐาน เกิน +1.5 SD เมื่อเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง ของเด็กอายุ 6-19 ปี เพศชาย (กรมอนามัย, 2564) กำหนดกลุ่มตัวอย่างในการทดลองที่ 1 จำนวน 5 คน และกำหนดกลุ่มตัวอย่างในการทดลองที่ 2 อ้างอิงจากงานวิจัยของ Morishima (Morishima, Toyoda, & Ochi, 2019) (Morishima, Iemitsu, & Ochi, 2019) ที่ศึกษาตัวแปร FMD และคำนวณโดยใช้โปรแกรม G*Power เวอร์ชัน 3.1.9.4 ได้จำนวน 10 คน โดยสุ่มแบบเฉพาะเจาะจงตามน้ำหนักเทียบตามเกณฑ์ส่วนสูง

ตัวแปรที่ศึกษา

การทดลองที่ 1

1. ตัวแปรอิสระ (Independent variable) ได้แก่ การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40, 60 และ 80% AOP

2. ตัวแปรตาม (Dependent variable) ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ

การทดลองที่ 2

1. ตัวแปรอิสระ (Independent variable) ได้แก่ การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในระดับแรงดัน 40% หรือ 60% หรือ 80% AOP

2. ตัวแปรตาม (Dependent variable) ได้แก่ ตัวแปรด้านระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด เช่น การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial ankle- pulse wave velocity : baPWV) และระดับความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย (Exercise enjoyment scale : EES)

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เด็กวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน หมายถึง เด็กเพศชาย อายุระหว่าง 13-15 ปี ที่มีน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงมากกว่าค่ามัธยฐาน เกิน +1.5 SD เมื่อเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโต น้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง ของเด็กอายุ 6-19 ปี เพศชาย (กรมอนามัย, 2564) ตั้งแต่ท่วมถึงอ้วน

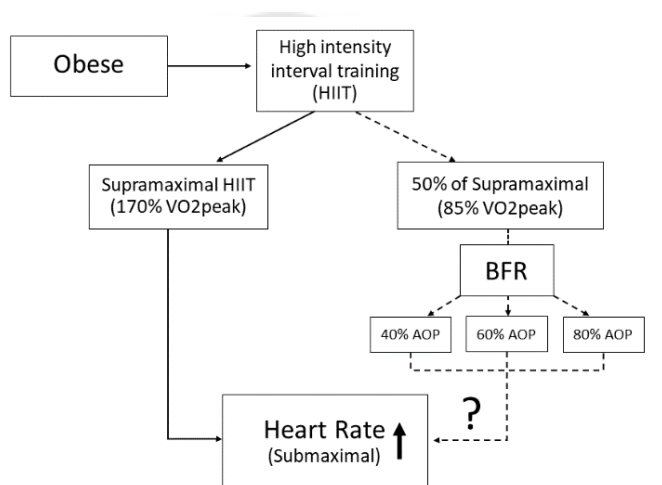
2. การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training : HIIT-SUPRA) ในงานวิจัยนี้ หมายถึง การปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที ที่ความหนัก 170% VO_2 peak

3. การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High intensity interval training with BFR : HIIT-BFR) ในงานวิจัยนี้ หมายถึง การปั่นจักรยานด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที ที่ความหนัก 85% VO_2 peak ด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40%, 60% และ 80% AOP

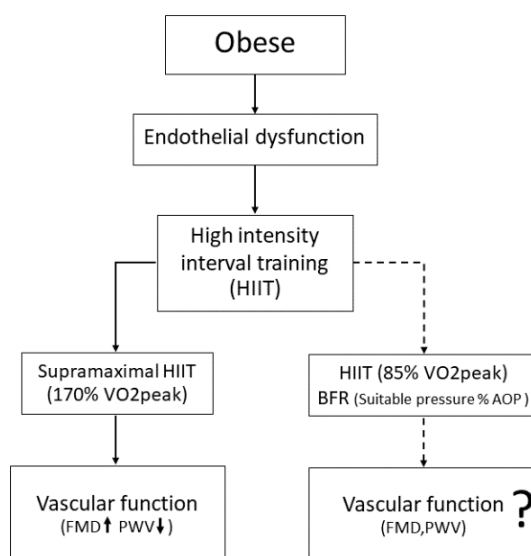
4. ค่าการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) หมายถึง เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของหลอดเลือดบริเวณหลอดเลือดต้นแขน (Bracial Artery)

5. ค่าคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (bracial ankle- pulse wave velocity : baPWV) หมายถึง ความต่างของเวลาการสับขีดเลือดของหลอดเลือดต้นแขนและข้อเท้าต่อความยาวของทั้ง 2 จุด

กรอบแนวคิด



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการทดลองที่ 1 Pilot study



ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดการทดลองที่ 2

สมมติฐานงานวิจัย

การทดลองที่ 1

ผลจับพจน์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40% หรือ 60% หรือ 80% AOP ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

การทดลองที่ 2

ผลจับพจน์ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตส่งผลต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน แตกต่างกัน



บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสรุปเนื้อหาที่สำคัญ นำมาเรียบเรียงเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย ตามหัวข้อดังนี้

1. วัยรุ่นและการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่วัยรุ่น
2. สถานการณ์ของภาวะอ้วนในปัจจุบัน
 - 2.1 การเกิดภาวะอ้วน
 - 2.2 สถานการณ์ภาวะอ้วนทั่วโลก
3. หลอดเลือด (Blood Vessel)
4. ความผิดปกติของการทำงานของหลอดเลือด
 - 4.1 ความผิดปกติในการทำงานของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial cell dysfunction)
 - 4.2 การประเมินการทำงานของหลอดเลือด (Endothelial assessment)
5. การออกกำลังกายในคนที่มีภาวะอ้วน
6. การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval Training)
 - 6.1 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เป็นแบบแอโรบิค (Aerobic-based interval training)
 - 6.2 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เป็นแบบแรงต้าน (Resistant-based interval training)
7. การออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction: BFR) และความปลอดภัย (Safety)
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. วัยรุ่นและการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่ช่วงวัยรุ่น

วัยรุ่น (Adolescent) คือ ช่วงวัยที่อยู่ระหว่างการเจริญเติบโตจากวัยเด็กไปสู่ผู้ใหญ่ โดยมีการเปลี่ยนแปลงหลายด้าน เช่น การเปลี่ยนแปลงทางด้านร่างกาย จิตใจ สติปัญญา และสังคม สามารถแบ่งวัยรุ่นได้เป็น 3 ระยะ คือ วัยรุ่นตอนต้น (11-14 ปี) วัยรุ่นตอนกลาง (14-17 ปี) และวัยรุ่นตอนปลาย (17-20 ปี)

การเข้าสู่ภาวะวัยแรกรุ่น (Puberty) หรือการเปลี่ยนแปลงจากวัยเด็กเข้าสู่วัยหนุ่มสาวมีการเจริญเติบโตของร่างกาย เช่น แขนขายาวขึ้น ทำให้มีส่วนสูงที่เพิ่มขึ้น ขนาดของกล้ามเนื้อขยายใหญ่ขึ้น อวัยวะในร่างกายเจริญเติบโตมากขึ้น การทำกิจกรรมของร่างกายก็ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในเพศชาย จะเริ่มมีการขยายขนาดของอัณฑะ (Testes) และองคชาติ (Penis) มีขนขึ้นบริเวณหัวหน่าว (Pubic hair) มีการหลั่งอสุจิครั้งแรก มีหนวด มีเคราขึ้นมีเสียงห้าว และในเพศหญิง เริ่มมีการขยายขึ้น ของหัวนมและเต้านม มีขนขึ้นบริเวณหัวหน่าว (Pubic hair) สะโพกขยาย มีประจำเดือนครั้งแรก (สุรางค์ เชื้อวณิชชากร, 2556)

การประเมินระดับของการเจริญเติบโตของเพศชายและเพศหญิง แบ่งตามการประเมินของระบบ Tanner ได้ 5 ระดับ (พญ.ณัฐพร ทศนกิจพาณิชย์, 2560) คือ

Tanner staging ของเต้านมและขนหัวหน่าวในเด็กหญิง

Tanner staging	เต้านม	ขนหัวหน่าว
I	ไม่มีเนื้องนม 	ไม่มีขนหัวหน่าว 
II	เริ่มคล้ำได้เนื้องนมได้ลานหัวนม 	มีขนสีดำ เส้นตรง ปริมาณเล็กน้อย 
III	เนื้องนมขนาดใหญ่ขึ้น 	ขนยาวขึ้นและเริ่มหยิก ปริมาณมากขึ้น 
IV	ลานหัวนมขนาดใหญ่ขึ้น มองเห็นเป็นสองลอน แยกจากเต้านม (secondary mound) 	ขนยาวและหยิกมากขึ้น ปริมาณมากขึ้น แต่ยังคงอยู่เฉพาะที่หัวหน่าว 
V	ขนาดเท่าผู้ใหญ่ secondary mound หายไป 	ปริมาณมากเท่าผู้ใหญ่ มีขนที่ต้นขาด้านใน 

Tanner staging ของอัณฑะ องคชาติ และขนหัวหน่าวในเด็กชาย

Tanner staging	ขนาดอัณฑะ (มล.)	ขนาดองคชาติ	ขนหัวหน่าว
I	< 4	เท่าของเด็ก	ไม่มีขนหัวหน่าว 
II	4-8	ยาวขึ้น	มีขนสีดำ เส้นตรง ปริมาณเล็กน้อย 
III	9-15	ยาวและกว้างขึ้น	ขนยาวขึ้นและเริ่มหยิก ปริมาณมากขึ้น 
IV	16-20	มี glans penis	ขนยาวและหยิกมากขึ้น ปริมาณมากขึ้น แต่ยังคงอยู่เฉพาะที่หัวหน่าว 
V	>20	เท่าผู้ใหญ่	ปริมาณมากเท่าผู้ใหญ่ มีขนที่ต้นขาด้านใน 

ภาพประกอบ 3 ระดับของการเจริญเติบโตของเพศชายและเพศหญิง

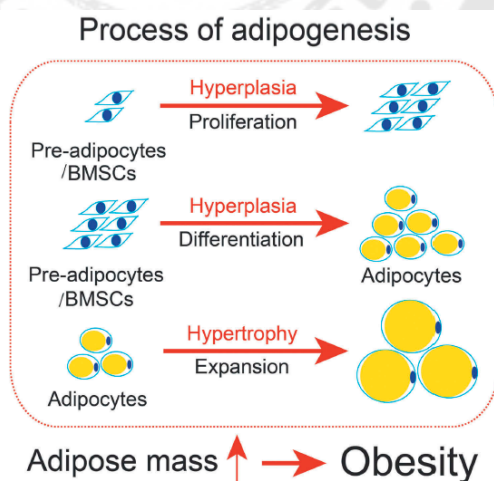
ที่มา : (พญ.ณัฐพร ทศนกิจพาณิชย์, 2560)

2. สถานการณ์ของภาวะอ้วนในปัจจุบัน

2.1 การเกิดภาวะอ้วน

ภาวะอ้วน (Obesity) เป็นภาวะของความผิดปกติของไขมัน (Dyslipidemia) โดยมีการสะสมไขมันในร่างกายมากเกินไป มีผลมาจากการได้รับพลังงานมากขึ้น โดยสวนทางกับการมีกิจกรรมทางกายที่ลดลง จึงเกิดกระบวนการอักเสบเรื้อรังระดับต่ำของระบบเผาผลาญพลังงาน (Metabolism) ในร่างกาย การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักตัวที่สูงขึ้น จึงเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular diseases : CVD) โรคความดันโลหิตสูง (Hypertension) เบาหวาน (Diabetes) ไขมันพอกตับ (Nonalcoholic fatty liver diseases) โรคหอบหืด (Asthma) โรคมะเร็งบางชนิด (Cancer) และนำไปสู่อายุขัยที่น้อยลง (Kwaifa et al., 2020)

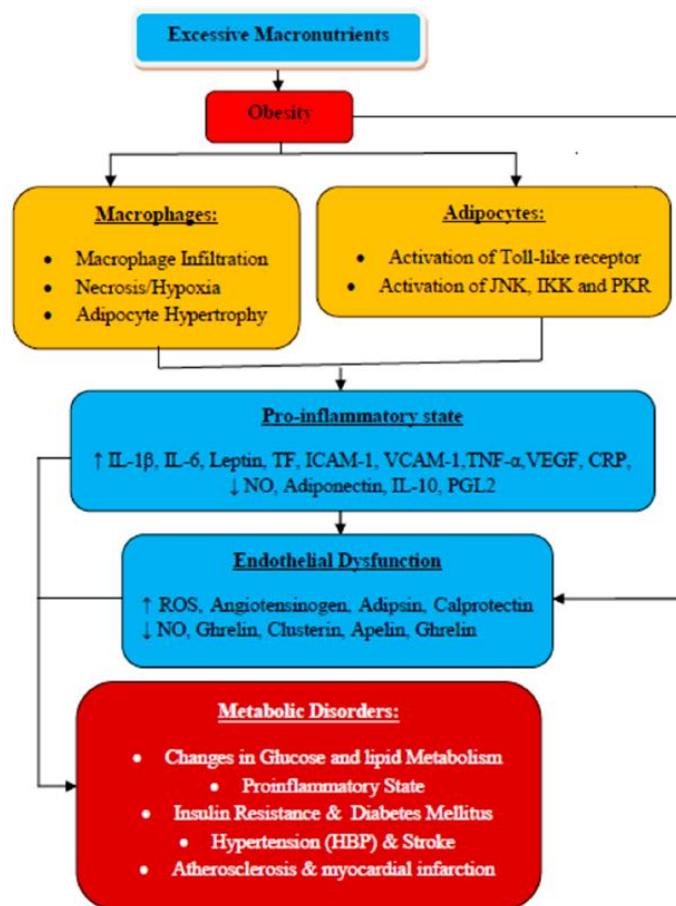
เมื่อร่างกายเกิดความผิดปกติระหว่างการรับพลังงาน (Energy intake) และใช้พลังงาน (Energy expenditure) ไขมันจะถูกสะสมมากขึ้น โดยมากจากกระบวนการสร้างเซลล์ไขมัน (Adipogenesis) เริ่มจากเซลล์ต้นกำเนิด (Mesenchymal stem cell : MSCs) เพิ่มจำนวนเซลล์ด้วยกระบวนการ Proliferation และมีการเปลี่ยนแปลงพัฒนาไปเป็นเซลล์ไขมันตั้งต้น (Pre-adipocyte) และเพิ่มจำนวนของเซลล์ ด้วยกระบวนการ Differentiation จนกลายเป็นเซลล์ไขมันที่สมบูรณ์ (Adipocyte) เมื่อเกิดกระบวนการ Expansion ทำให้เกิดเซลล์ไขมันมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นคนที่มีภาวะอ้วนจะมีทั้งจำนวนเซลล์ไขมันที่มากขึ้น (Hyperplasia) และขนาดของเซลล์ไขมันที่ใหญ่ขึ้น (Hypertrophy) (Zhai et al., 2020)



ภาพประกอบ 4 กระบวนการสร้างเซลล์ไขมัน

ที่มา: (Zhai et al., 2020)

กลไกการเกิดภาวะอ้วนสัมพันธ์กับภาวะการอักเสบในร่างกาย เป็นผลมาจากการสะสมของ Macronutrients มากเกินไปในเนื้อเยื่อไขมัน จนเกิดการขยายตัวของเซลล์ไขมัน ทำให้เกิดการหลั่งไซโตไคน์ (Cytokines) ออกมาสู่กระแสเลือดที่กระตุ้นให้เกิดการอักเสบ เช่น Tumor necrosis factor-alpha(TNF- α) Interleukin-1 β (IL-1 β) Interleukin-6 (IL-6) Leptin ซึ่งไปยับยั้งการผลิต Adiponectin ที่เป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญพลังงาน ด้านการอักเสบและด้านการแข็งตัวของเลือด ทำให้เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดลดการหลั่งไนตริกออกไซด์ (NO) นำไปสู่การทำงานที่ผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด ความสัมพันธ์เหล่านี้ก็นำไปสู่การเป็นโรคเรื้อรังของการเผาผลาญ เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลูโคสและไขมันในกระบวนการเผาผลาญ การดื้อต่ออินซูลินและโรคเบาหวาน รวมทั้งความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดสมอง ภาวะหลอดเลือดแข็งตัวและความผิดปกติของกล้ามเนื้อหัวใจ (Kwaifa et al., 2020)

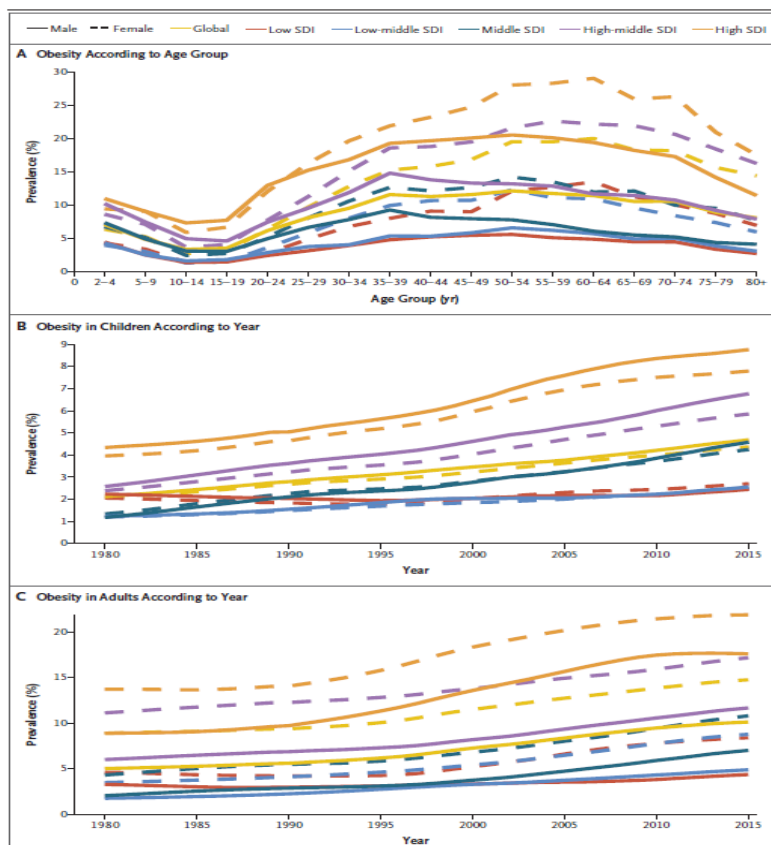


ภาพประกอบ 5 การเชื่อมโยงระหว่างโรคอ้วนและการอักเสบ

ที่มา : (Kwaifa et al., 2020)

2.2 สถานการณ์ภาวะอ้วนทั่วโลก

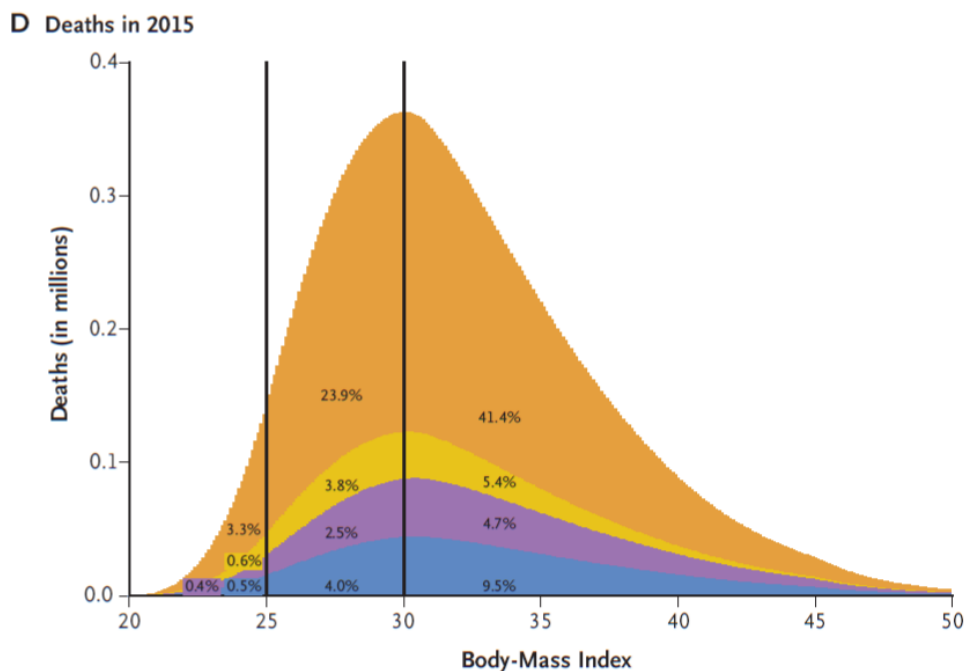
รายงานการศึกษาจาก The New England Journal of Medicine รวบรวมผลกระทบของภาวะอ้วน 195 ประเทศทั่วโลก เป็นเวลามากกว่า 25 ปี ความชุกของภาวะอ้วนมาจากการมีค่าดัชนีมวลกายที่สูงเกินมาตรฐาน และในปี 2015 มีเด็กที่มีภาวะอ้วน 107.7 ล้านคน และผู้ใหญ่ที่มีภาวะอ้วน 603.7 ล้านคนทั่วโลก



ภาพประกอบ 6 ความชุกของโรคอ้วนทั่วโลก ระดับตามดัชนี Sociodemographic (SDI)

ที่มา : (Collaborators, 2017)

ในหลายๆ ประเทศมีอัตราการเพิ่มขึ้นของโรคอ้วนในเด็กมากกว่าโรคอ้วนในผู้ใหญ่ มีเด็กอายุระหว่าง 10-14 ปี มีภาวะอ้วนเพิ่มสูงขึ้นในประเทศที่มีดัชนีชี้วัดทางสังคมที่สูง ในปี 2015 ประเทศจีนและอินเดีย เป็นประเทศที่มีภาวะอ้วนในเด็กมากที่สุดในโลก ทั้งนี้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 4 ล้านคนทั่วโลก สาเหตุหลักมาจากโรคหัวใจและหลอดเลือดที่มาจากค่าดัชนีมวลกายที่สูงเกินมาตรฐาน



ภาพประกอบ 7 Global Deaths Associated with a High Body-Mass Index (2015)

ที่มา : (Collaborators, 2017)

ทั้งนี้ มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 4 ล้านคนทั่วโลก ประมาณ 70% สาเหตุการเสียชีวิตมาจากโรคหัวใจและหลอดเลือดจากการมีค่าดัชนีมวลกายที่สูงเกินมาตรฐาน และมากกว่า 60% เป็นคนที่มีภาวะอ้วน (Collaborators, 2017) และในปี 2016 องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้รายงานว่ามีเด็กและวัยรุ่น อายุ 5-19 ปี ทั่วโลก มีภาวะอ้วนราว 124 ล้านคน (WHO, 2020)

การประเมินค่าดัชนีมวลกาย (BMI) เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ใช้วัดระดับความอ้วน ซึ่งมาจากน้ำหนักตัว (kg.) หารด้วยส่วนสูง (m²) ในวัยผู้ใหญ่ถ้ามีค่าดัชนีมวลกาย เท่ากับหรือมากกว่า 30 kg/m² ถือว่าอ้วน การนิยามภาวะอ้วนในเด็กเป็นสิ่งที่กำหนดค่อนข้างยาก องค์การอนามัยโลก (WHO) จึงกำหนดให้เด็กที่อายุระหว่าง 5-19 ปี ที่มีค่าดัชนีมวลกายเทียบกับค่าเฉลี่ยอ้างอิงการเจริญเติบโต มีค่ามากกว่า 2 SD ถือว่าอ้วน (Ojha & Symonds, 2020)

ในประเทศไทย เด็กวัยรุ่นมีแนวโน้มน้ำหนักเกินและอ้วนเพิ่มสูงขึ้น ชมรมโภชนาการเด็กแห่งประเทศไทยและราชวิทยาลัยกุมารแพทย์แห่งประเทศไทยได้แนะนำแนวทางการวินิจฉัยโรคอ้วนในเด็กไทย หากพบว่า มีน้ำหนักสูงกว่าค่ามัธยฐานของน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง (median of weight-for-height) เกิน 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มากกว่า + 3 SD) ถือว่าอ้วน (ชมรมโภชนาการเด็กแห่งประเทศไทย & ราชวิทยาลัยกุมารแพทย์แห่งประเทศไทย, 2557)

ซึ่งอ้างอิงจากตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง ของเด็กอายุ 6-19 ปี ของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (กรมอนามัย, 2564)

เกณฑ์วินิจฉัย	ปกติ	น้ำหนักเกิน หรือ เริ่มอ้วน	โรคอ้วน
น้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง	\geq median -2 SD และ \leq median + 2 SD	$>$ median + 2 SD และ \leq median + 3 SD	$>$ median + 3 SD

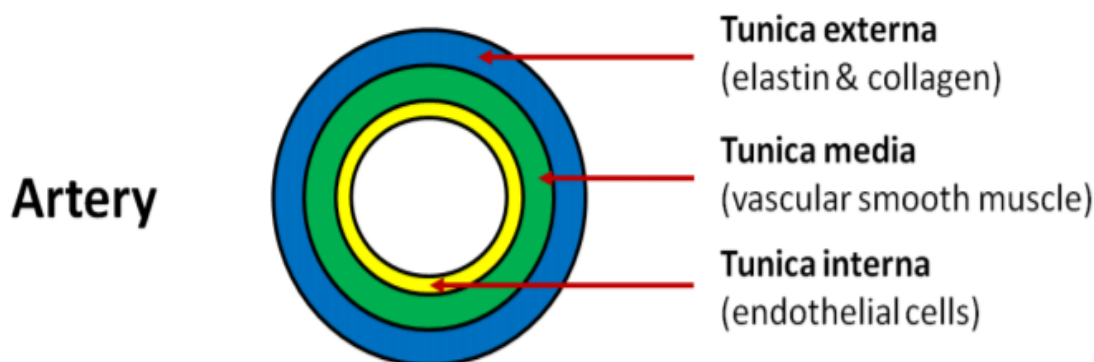
ภาพประกอบ 8 เกณฑ์การวินิจฉัยโรคอ้วนและภาวะน้ำหนักเกิน

ที่มา: (ชมรมโภชนาการเด็กแห่งประเทศไทย & ราชวิทยาลัยกุมารแพทย์แห่งประเทศไทย, 2557)

ซึ่งจากรายงานประจำปีของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่า เมื่อปี พ.ศ. 2561 เด็กไทยอายุ 6-14 ปี เริ่มอ้วนและอ้วน มากถึงร้อยละ 11.2 (กรมอนามัย, 2562) และเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 11.8 ในปี พ.ศ.2561 (กรมอนามัย, 2563) หากเด็กอ้วนจนถึงวัยรุ่น ในอนาคตอาจมีความเสี่ยงสูงที่จะอ้วนในวัยผู้ใหญ่ และนำไปสู่โรคที่ไม่ได้มากจากการติดเชื้อ (NCDs) (กรมอนามัย, 2561) ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น ปัจจัยภายใน อาจผิดปกติทางพันธุกรรม พฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ไม่ดี เกิดพฤติกรรมเนือยนิ่ง ไม่มีกิจกรรมกรรมทางกาย (Sedentary behavior) การพักผ่อนที่ไม่สมดุล ความเครียด รวมทั้งปัจจัยอื่นทางด้านสิ่งแวดล้อม สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้สะท้อนไปถึงร่างกายและจิตใจ ทั้งโรคที่เกิดจากภาวะอ้วน เช่น กลุ่มโรค Metabolic syndrome ปัจจัยในการเป็นเบาหวานชนิดที่ 2 ปัญหาระบบทางเดินหายใจ ปัญหาไขมันในช่องท้องสะสมมาก ปัญหากระดูกกล้ามเนื้อและข้อต่อที่ต้องรับน้ำหนักมาก และปัญหาทางด้านจิตใจ การไม่มั่นใจ และไม่พึงพอใจในรูปร่างของตนเอง (No-in, 2017)

3. หลอดเลือด (Blood Vessel)

3.1 โครงสร้างของหลอดเลือดแดง



ภาพประกอบ 9 โครงสร้างหลอดเลือดแดง

ที่มา : (สัญญา ร้อยสมมุติ, 2556)

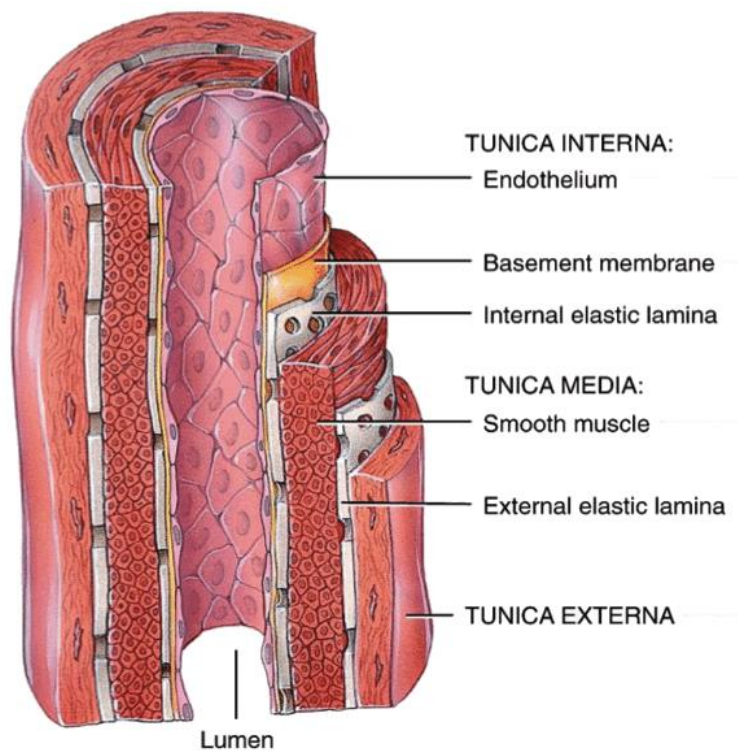
หลอดเลือดแดงทำหน้าที่ส่งเลือดออกจากหัวใจไปเลี้ยงทุกส่วนของร่างกาย โดยมีลักษณะเป็นท่อ มีโครงสร้างเป็นกล้ามเนื้อเรียบสามชั้น ได้แก่

3.1.1 เนื้อเยื่อชั้นนอกสุด เรียกว่า Tunica Adventitia (Externa) เป็นชั้นที่เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเช่นเดียวกับเส้นใยคอลลาเจน มีความแข็งแรงและยืดหยุ่น ป้องกันการยืดขยายของหลอดเลือดจากแรงดันภายในที่มากระทำต่อหลอดเลือดจากการไหลเวียนโลหิต

3.1.2 เนื้อเยื่อชั้นกลาง เรียกว่า Tunica Media เป็นกล้ามเนื้อเรียบที่มีความยืดหยุ่นและแข็งแรง

3.1.3 เนื้อเยื่อชั้นในสุด เรียกว่า Tunica Intima ชั้นในสุดนี้มีความยืดหยุ่นสูง ประกอบไปด้วยเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial cells) ที่ควบคุมสมดุลของการไหลเวียนโลหิตและมีบทบาทในการสร้างไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide : NO) ทำให้หลอดเลือดขยายตัวลดการแข็งตัวของหลอดเลือด (รุ่งรัตน์ นิธิเสน, 2016)

3.2 เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (Endothelial cells)



ภาพประกอบ 10 เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (Endothelial cells)

ที่มา : (de Almeida, 2013)

เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดหรือเอนโดทีเลียลเซลล์ (Endothelial cells) เป็นเซลล์ชั้นในสุดของหลอดเลือด วางเรียงตัวกันในแนวยาว มีความยาวเฉลี่ย 20-40 μM กว้าง 10-15 μM และหนา 0.1-0.5 μM เป็นเซลล์ที่สัมผัสโดยตรงกับเลือดที่ไหลเวียนอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดมีบทบาทหน้าที่การทำงาน ดังนี้

1. ควบคุมสมดุลการไหลเวียนของเลือด ควบคุมการหดตัว (Vasoconstriction) และขยายตัว (Vasodilation) ของหลอดเลือด ควบคุมการแข็งตัวของเลือด

2. ทำหน้าที่ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) กับเซลล์ที่ประกอบเป็นผนังหลอดเลือด

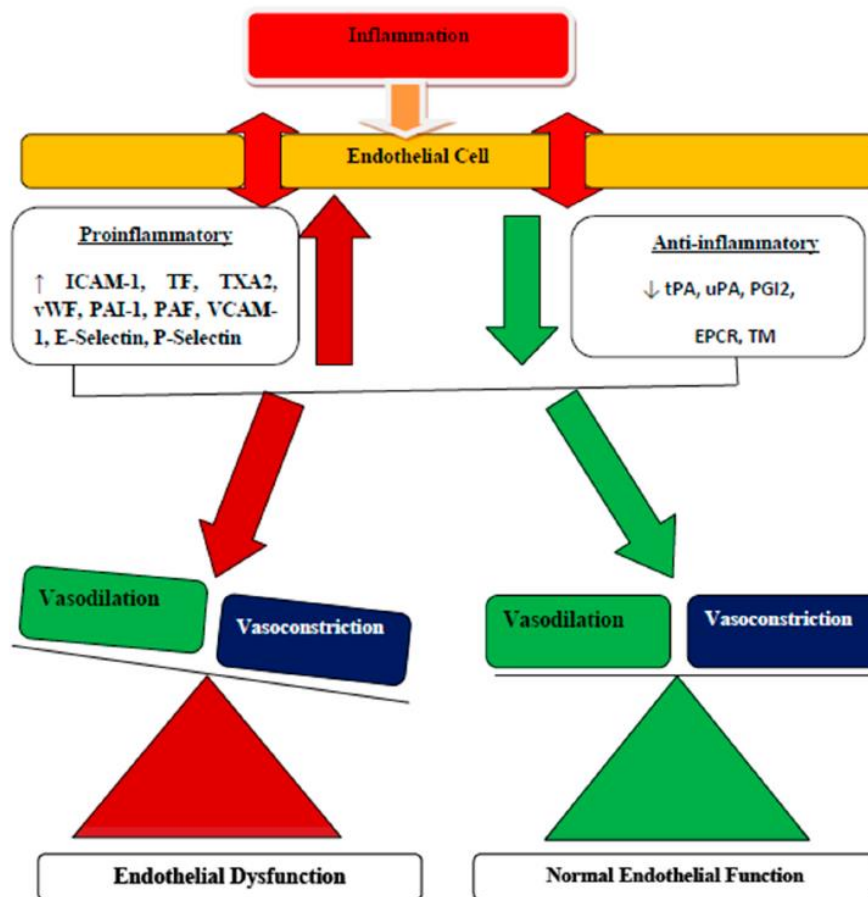
3. เป็นตัวกั้นระหว่างกล้ามเนื้อเรียบกับช่องว่างในหลอดเลือด ควบคุมการเคลื่อนย้ายเซลล์หรือสารต่าง ๆ ผ่านเข้าออกผนังหลอดเลือด

4. ยับยั้งการเกาะตัวของเกล็ดเลือดและการจับตัวของเม็ดเลือดขาวกับเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด

5. ควบคุมความตึงของเซลล์ผนังหลอดเลือด
6. ต้านการอักเสบ (Anti-Inflammation)
7. สร้างหลอดเลือดใหม่ (Angiogenesis)
8. เพิ่มการเกิดกระบวนการสร้างเอนไซม์เอนโดทีเลียล ไนตริกออกไซด์ ซินเทส (Endothelial nitric oxide synthase : eNOS) ที่กระตุ้นการสร้างไนตริกออกไซด์ โดยมาจากการไหลเวียนของเลือดในหลอดเลือดที่ทำให้เกิดแรงเฉือน (Shear stress) กระทบกับผนังหลอดเลือด ส่งผลให้หลอดเลือดมีการขยายตัวมากขึ้น (Cahill & Redmond, 2016; สัญญา ร้อยสมมุติ, 2556)

4. ความผิดปกติในการทำงานของหลอดเลือด

4.1 ความผิดปกติในการทำงานของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelial cell dysfunction)



ภาพประกอบ 11 ความผิดปกติของการทำงานของหลอดเลือด

ที่มา : (Kwaifa et al., 2020)

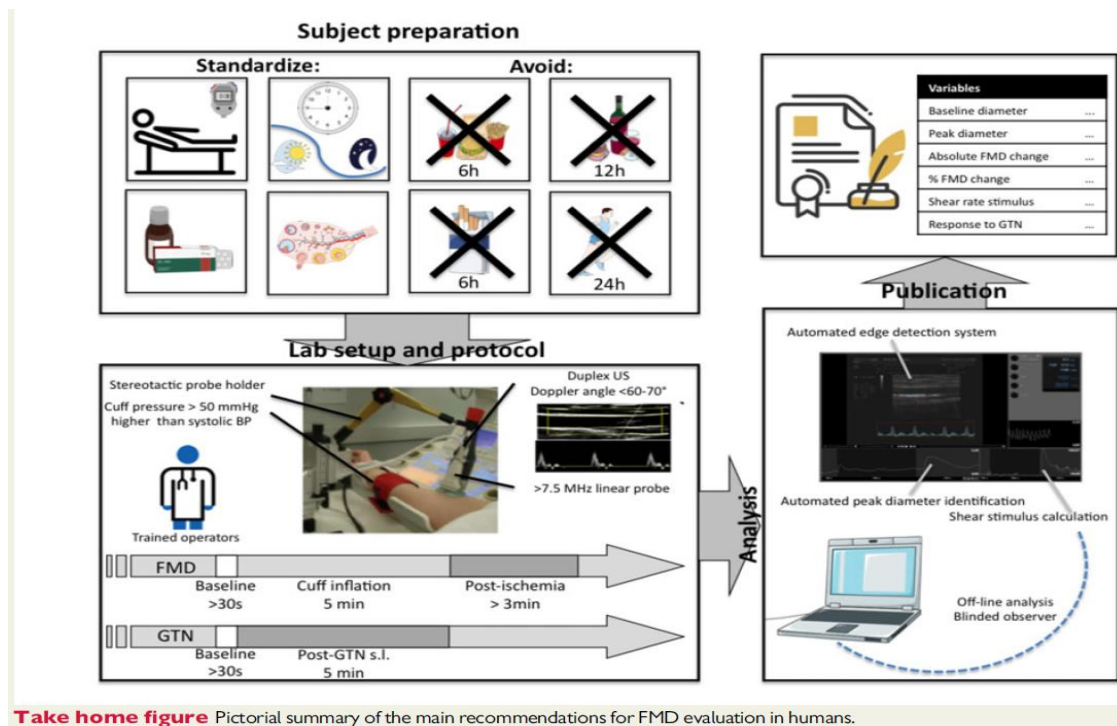
กลไกของความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด เกี่ยวข้องกับการอักเสบ โดยการอักเสบที่เพิ่มขึ้นนำไปสู่การขยายของหลอดเลือด (Vasodilation) และการหดของหลอดเลือด (Vasoconstriction) ที่ไม่สมดุล ทำให้การไหลเวียนของเลือดไม่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ร่างกายจะกระตุ้นการหลั่งไนตริกออกไซด์เข้าสู่กระแสเลือด ส่งผลให้เกิดการอักเสบขึ้นในหลอดเลือด เซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด (Endothelium) ก็จะผลิตไนตริกออกไซด์ (Nitric Oxide: NO) ได้น้อยลง ทำให้หลอดเลือดไม่ยืดหยุ่นและเกิดการแข็งตัว การไหลเวียนของเลือดก็ต่ำลง นำไปสู่ความผิดปกติในการทำงานของหลอดเลือดและส่งผลเสียหายต่อหลอดเลือด กลไกพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดในคนที่มีความอ้วนนั้น มีมากมาย เช่น การมีระดับของไขมันเลว (Low-density lipoprotein cholesterol: LDL) และไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ที่สูงขึ้น การเกิดอนุมูลอิสระที่ไม่สมดุลเพิ่มขึ้น (Oxidative stress radical) ระดับของปัจจัย การอักเสบที่สูงขึ้น และการไหลเวียนโลหิตที่ไม่สมดุล (Kwaifa et al., 2020)

มีรายงานว่าค่าการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) ที่ลดลงนั้นสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปัจจัยการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด (Kokkinos & Myers, 2019) ที่ผ่านมามีการศึกษาถึงปัจจัยเสี่ยงของโรคหลอดเลือดแข็งตัวในเด็กที่มีน้ำหนักเกินหรืออ้วน โดยหาความสัมพันธ์ของค่าการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) และความหนาของผนังหลอดเลือด (Carotid intima-media thickness : cIMT) ทำการประเมิน ระหว่างเด็กอ้วนและเด็กที่มีน้ำหนักปกติ ก็พบว่า ในเด็กอ้วน มีค่า FMD ต่ำกว่าเด็กที่มีน้ำหนักปกติอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งความหนาของผนังหลอดเลือดก็มากกว่าเด็กที่มีน้ำหนักปกติ (Alpsoy et al., 2020) แสดงให้เห็นว่าการไหลเวียนของเลือดในเด็กอ้วนนั้นมีประสิทธิภาพต่ำลงจากความไม่สมดุลของการหดและขยายของหลอดเลือด จึงทำให้หลอดเลือดทำงานผิดปกติ

4.2 การประเมินการทำงานของหลอดเลือด (Endothelium assessment)

การประเมินการทำงานของหลอดเลือดในมนุษย์ จะใช้วิธีการประเมินที่ไม่มีความรุนแรงและไม่บาดเจ็บ (Non-invasive techniques) ซึ่งวิธีที่ใช้กันทางคลินิกอย่างแพร่หลาย มีดังนี้

4.2.1 การประเมินการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) เป็นการประเมินการทำงานของเยื่อบุผนังหลอดเลือด และที่สำคัญเป็นการประเมินทางอ้อมของการสร้างไนตริกออกไซด์หลังจากการเกิด Shear stress ที่เกิดจากการปิดกั้นเลือด (da Cunha Nascimento et al., 2020) ซึ่งใช้การทำอัลตราซาวด์เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดเบเรเคียล ถ้ามีค่า FMD สูง ถือว่าดี โดยมีวิธีการดังนี้



Take home figure Pictorial summary of the main recommendations for FMD evaluation in humans.

ภาพประกอบ 12 การประเมินการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน
(Flow-mediated dilatation : FMD)

ที่มา : (D. H. Thijssen et al., 2019)

4.2.1.1 การเตรียมตัวของผู้เข้ารับการประเมินหลอดเลือด

- (1) งดอาหารมาแล้วไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง หรือถ้างดอาหารไม่ได้ ให้ทานอาหารที่มีไขมันต่ำ
- (2) หลีกเลี่ยงการออกกำลังกายก่อนการประเมิน ประมาณ 12-24 ชั่วโมง
- (3) หลีกเลี่ยงการทานกาแฟ วิตามินซี เครื่องดื่มที่แอลกอฮอล์ หรืออาหารเสริมที่มีผลต่อการทำงานของหลอดเลือด ก่อนการประเมิน 12 ชั่วโมง
- (4) งดสูบบุหรี่อย่างน้อย 6 ชั่วโมงก่อนการประเมิน
- (5) งดการกินยาบางประเภทที่มีผลต่อหลอดเลือดก่อนการประเมิน

4.2.1.2 การประเมินการทำงานของหลอดเลือดด้วยเครื่องอัลตราซาวด์นั้น

จะให้ผู้เข้ารับการประเมิน พักในท่านอนราบ ประมาณ 10-15 นาที เพื่อปรับความดันโลหิต และจะแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ช่วง คือ

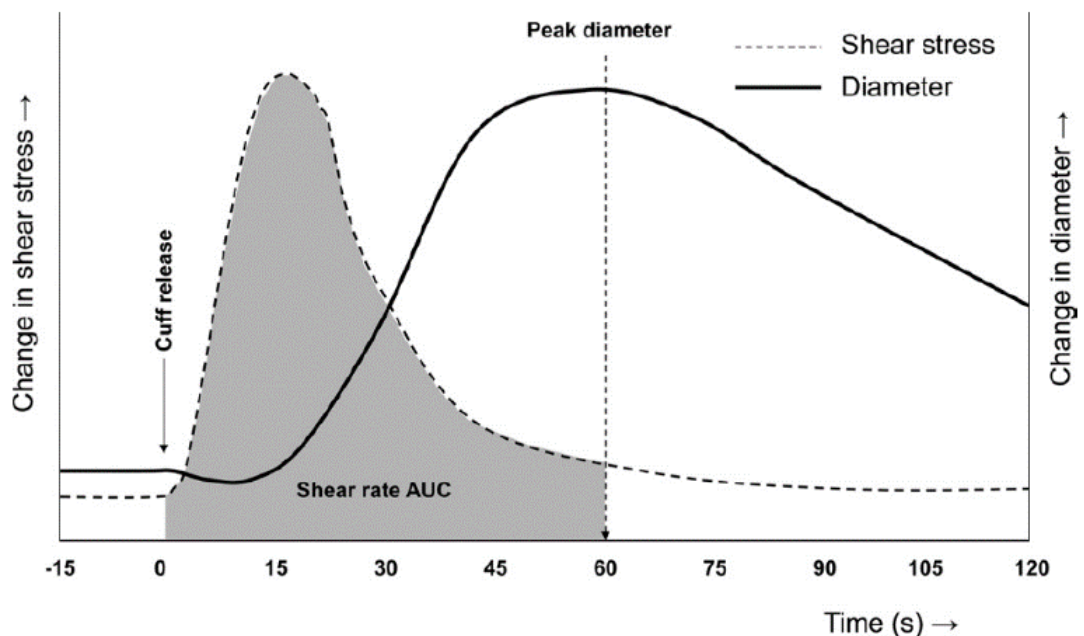
(1) ช่วงของวัดค่าเริ่มต้น (Base line) เป็นการบันทึกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการปิดกั้นการไหลเวียน โดยบันทึกภาพของหลอดเลือดประมาณ 30 -60 วินาที

(2) ช่วงของการบีบรัดหรือปิดกั้นการไหลเวียน (Cuff occlusion) โดยเพิ่มความดันของคัพฟ์ให้ความดันโลหิตตัวบน (Systolic blood pressure) สูงกว่าก่อนการทดสอบประมาณ 50 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) แล้วค้างไว้ประมาณ 5 นาที ทำการบันทึกภาพของหลอดเลือดด้วยการอัลตราซาวด์ตลอดช่วง

(3) ช่วงของการคลายการปิดกั้นการไหลเวียน (Post deflation) โดยปล่อยลมออกและบันทึกภาพหลอดเลือดต่ออีกประมาณ 3 นาที ช่วงนี้จะเกิดการไหลของเลือดที่เร็วขึ้น แรงที่กระทำต่อผนังหลอดเลือดเพิ่มมากขึ้น เป็นช่วงที่หลอดเลือดเกิดการขยายตัวมากที่สุด (Harris, Nishiyama, Wray, & Richardson, 2010; D. H. J. Thijssen et al., 2019)

4.2.1.3 แรงที่กระทำต่อผนังหลอดเลือด (Shear stress)

เป็นแรงที่เกิดจากความเร็วของการไหลของเลือดที่มากกระทำต่อผนังหลอดเลือด ทำให้เซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดสร้างไนตริกออกไซด์ ทำให้หลอดเลือดขยายตัวได้ดีขึ้น ซึ่ง Shear stress ส่งผลโดยตรงต่อค่า FMD



ภาพประกอบ 13 การตอบสนองของ Shear stress และเส้นผ่าศูนย์กลาง หลังคลายการปิดกั้นการไหลเวียน

ที่มา : (Thijssen et al., 2011)

หลังจากการปิดกั้นการไหลเวียนของเลือดเป็นเวลา 5 นาที เมื่อเริ่มคลายการปิดกั้น อัตราการไหลของเลือดเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดแรงเฉือนที่กระทำต่อเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดเพิ่มสูงขึ้น ประมาณ 15 วินาที ในขณะที่เดียวกันการขยายตัวของหลอดเลือดก็ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนขยายสูงสุด ที่เวลาประมาณ 60 วินาที (Thijssen et al., 2011)

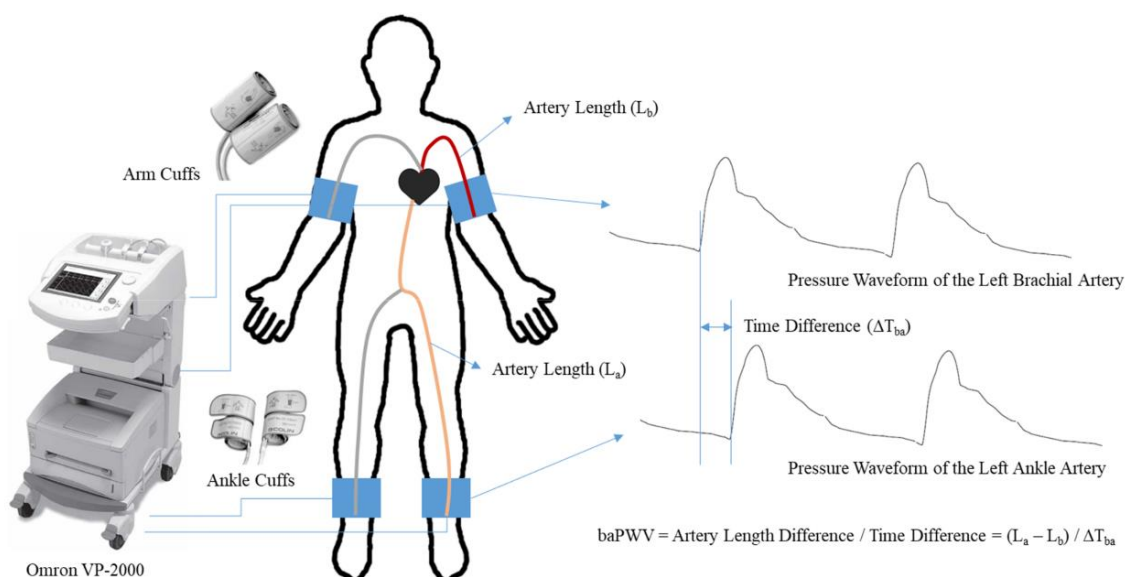
4.2.1.3 การหาค่า FMD คำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการทดสอบ (Baseline Diameter) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง สูงสุดของหลอดเลือดหลังจากการคลายการปิดกั้นเลือด (Maximum Diameter) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงการขยายตัวของหลอดเลือด (Relative change (%)) (Morales-Acuna, Ochoa, Valencia, & Gurovich, 2019) โดยคำนวณจากสมการดังนี้

$$FMD(\%) = 100 \times \frac{\text{Peak diameter} - \text{Basal diameter}}{\text{Basal diameter}}$$

Peak diameter = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดของหลอดเลือด
หลังจากการปล่อยการปิดกั้นเลือด

Basal diameter = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือดก่อนการทดสอบ

4.2.2 การประเมินคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial ankle-pulse wave velocity : baPWV)



ภาพประกอบ 14 การประเมินคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial ankle- Pulse Wave Velocity : baPWV)

ที่มา : (Cho & Baek, 2020)

การประเมินคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (baPWV) เป็นวิธีการวัดความแข็งของหลอดเลือดที่เป็นมาตรฐานและความยืดหยุ่นของหลอดเลือด เป็นพารามิเตอร์ที่ประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวกับหลอดเลือดและหัวใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดสมอง และใช้ประเมินผู้ป่วยที่มีภาวะอ้วนได้เป็นอย่างดี โดยเป็นที่นิยมกันในทวีปเอเชีย เป็นการวัดความยาวของหลอดเลือดระหว่างต้นแขนกับข้อเท้า และความแตกต่างของเวลาในการสูบฉีดเลือดของต้นแขนและข้อเท้า โดยให้ผู้เข้ารับการทดสอบอยู่ในท่านอนราบ เป็นการใช้คัลฟ์พันที่ต้นแขนและข้อเท้าทั้งสองข้างและประมวลค่าคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ถ้ามีค่า PWV ต่ำ ถือว่าดี (Cho & Baek, 2020; Sougawa et al., 2020) โดยคำนวณจากสมการดังนี้

$$\text{baPWV} = \frac{\text{Artery Length Difference}}{\text{Time Difference}} = \frac{(L_a - L_b) / \Delta T_{ba}}{\text{Time Difference}}$$

L_a = ความยาวของหลอดเลือดต้นแขน

L_b = ความยาวของหลอดเลือดข้อเท้า

ΔT_{ba} = ค่าความต่างของเวลาในการสูบฉีดเลือดของต้นและข้อเท้า

5. การออกกำลังกายในคนที่มีภาวะอ้วน

วิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (American College of Sport Medicine : ACSM) ได้ให้คำแนะนำเรื่องหลักการออกกำลังกาย โดยแบ่งเป็น 3 องค์ประกอบ คือ

1. การอบอุ่นร่างกาย (Warm up) เป็นการทำให้ร่างกายพร้อมที่จะเข้าสู่การออกกำลังกาย ช่วยปรับปรุงมุมการเคลื่อนไหวของร่างกายให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และช่วยลดปัจจัยเสี่ยงของการบาดเจ็บ ช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที เป็นการเคลื่อนไหวของร่างกายแบบเคลื่อนที่ด้วยความหนักระดับปานกลาง

2. การฝึกหรือออกกำลังกาย (Conditioning exercise) เป็นการทำงานของร่างกายด้วยกิจกรรมแบบแอโรบิค การใช้แรงต้าน การฝึกความอ่อนตัว การออกกำลังกายพัฒนาระบบประสาท หรือกิจกรรมกีฬา ช่วงนี้ใช้ระยะเวลาประมาณ 20-60 นาที

3. การคลายอุ่นร่างกาย หรือ คูลดาวน์ (Cool-Down) เป็นช่วงของการลดระดับความหนักของกิจกรรมลงให้มาอยู่ที่ระดับความหนักเบา เพื่อปรับให้อัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตลดลง ใช้ประมาณ 5-10 นาที

4. การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching) เป็นช่วงของการเพิ่มความยืดหยุ่นและมุมของการเคลื่อนไหวให้กับกล้ามเนื้อและข้อต่อ โดยทำหลังจากอบอุ่นร่างกายหรือการคลายอุ่นร่างกายประมาณ 10 นาที

และยังได้แนะนำโปรแกรมการออกกำลังกายในผู้ที่น้ำหนักเกินและอ้วน โดยควรออกกำลังกายต่อเนื่องแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic exercise) ที่ความเข้มข้นระดับปานกลาง (Moderate 40-59%HRR) 30 นาทีต่อวัน และไม่ต่ำกว่า 150 นาทีต่อสัปดาห์ ถึงระดับที่มีความหนักมาก (Vigorous >60%HRR) 60 นาทีต่อวัน รวมแล้ว 250-300 นาทีต่อสัปดาห์ (Riebe et al., 2018) ทั้งนี้ที่ผ่านมามีการศึกษาแบบ Systematic review จากงานวิจัยจำนวน 32 เรื่อง เพื่อวิเคราะห์

ทบทวนถึงผลกระทบของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อการพัฒนาระบบหัวใจและหลอดเลือด และระบบการเผาผลาญพลังงานในวัยรุ่นอ้วน และสรุปได้ว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิก ช่วยปรับปรุงระบบหัวใจและหลอดเลือดและระบบการเผาผลาญพลังงานในวัยรุ่นที่อ้วน การออกกำลังกายในแต่ละครั้งอาจต้องใช้เวลา นาน อย่างน้อย 30-60 นาที แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยก็ยังแนะนำให้มีการศึกษาเพิ่มเติมให้มากขึ้น (Fraghani et al., 2017)

6. การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval Training)

การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval Training) เป็นกิจกรรมที่มีช่วงการออกแรงที่หนักสลับกับการออกแรงที่เบากว่าหรือหยุดพัก โดยทำซ้ำ ๆ เป็นรอบ ใช้เวลาไม่นาน ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

6.1 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เป็นแบบแอโรบิก (Aerobic-based interval training)

เป็นการใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ ช่วยเสริมสร้างระบบหัวใจและหายใจ เช่น การวิ่ง การปั่นจักรยาน การว่ายน้ำ เป็นต้น และสามารถแบ่งระดับความหลากหลายออกเป็น 3 แบบ

6.1.1 ระดับความหนักต่ำถึงปานกลาง (Light and Moderate Intensity Interval Training) เป็นลักษณะของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ใช้ความหนักน้อยถึงปานกลาง เช่น การเดินสลับช่วง เป็นต้น

6.1.2 ระดับความหนักสูง (High Intensity Interval Training : HIIT) เป็นการออกกำลังกายที่มีความหนักใกล้เคียงกับความหนักสูงสุดคือ ประมาณ $\geq 80\%$ HRmax (ที่พบบ่อยก็ประมาณ 85-90% HRmax)

6.1.3 ระดับความหนักสูงมาก (Supra-high Intensity Interval Training : HIIT-Supra) เป็นลักษณะการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ใช้ความหนักที่เท่ากับหรือมากกว่าความหนักสูงสุด ($\geq 90\%$ HRmax)

6.2 การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่เป็นแบบแรงต้าน (Resistant-based interval training)

เป็นการออกกำลังกายที่พัฒนาความแข็งแรงและการเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ จะมีจำนวนครั้ง (Repetition) เป็นตัวกำหนด และเวลาในการพักระยะสั้นๆ เช่น การฝึกโดยใช้น้ำหนักตัว (Bodyweight training exercise) การทำแบบพลัยโอเมตริก หรือทำด้วยความหนัก ซ้ำ ๆ จนกระทั่งไม่สามารถทำต่อไปได้ (Gibala et al., 2018; MacInnis & Gibala, 2017)

ในการออกกำลังกายแบบสลับช่วงมีการนำไปศึกษาวิจัยมากมาย เช่น การศึกษาเกี่ยวกับการส่งผลกระทบต่อสุขภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือดในเด็กและวัยรุ่นที่อ่อนแอจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (High-intensity interval-exercise : HIIE) ซึ่งรวบรวมจาก 39 งานวิจัย ซึ่งก็สามารถพัฒนาระบบหัวใจและหลอดเลือดในเด็กกลุ่มที่เป็นเด็กอ่อน ที่มีอายุระหว่าง 10-11 ปี และวัยรุ่น ที่มีอายุระหว่าง 12-16 ปี ได้ โดยใช้ความหนักในการออกกำลังกาย ประมาณ 80-100%HRmax หรือ 80%VO₂peak ระยะเวลาในการออกกำลังกาย ตั้งแต่ 15 วินาที ถึง 4 นาที ระยะเวลาในการพัก ประมาณ 15 วินาที ถึง 3 นาที ลักษณะของการออกกำลังกาย ก็จะเป็นการวิ่งบนเครื่องวิ่งและการปั่นจักรยาน แต่มีบางรายงานพบว่าหลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงครั้งเดียว ค่าการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilation : FMD) ลดลงทันที แต่เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านไปแล้ว 1-2 ชั่วโมง (Bond et al., 2017) นอกจากนี้ ผลการศึกษาแบบ Systematic review และ Meta analysis ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (85-95% HRmax) ในกลุ่มผู้ใหญ่ที่เป็นโรคต่างๆ เช่น ความดันโลหิตสูง โรคอ้วน โรคเบาหวาน หรือผู้สูงอายุหลังหมดประจำเดือน ของ Ramos และคนอื่นๆ ในปี 2015 พบว่า การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนออกกำลังกายถึง 4.31 % แสดงให้เห็นว่าสามารถช่วยพัฒนาการทำงานของหลอดเลือดได้ (Ramos, Dalleck, Tjonna, Beetham, & Coombes, 2015) และในปี 2020 ก็ยังมีการค้นพบอีกว่า หลังการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงสามารถพัฒนาการทำงานของหลอดเลือดในกลุ่มผู้สูงอายุได้ (O'BRIEN et al., 2020)

นอกจากนี้ พบรายงานการศึกษาในประเทศไทยว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (High-intensity interval training : HIIT) และความหนักสูงมาก (Supra-high Intensity Interval Training : HIIT-Supra) ที่ส่งผลกับการทำงานของหลอดเลือดในเด็กอ่อน โดยทำการศึกษา 2 รูปแบบ คือ การศึกษาแบบฉับพลัน ด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก (Supra-high intensity interval training : HIIT Supra) 3 ระดับ (100, 130 และ 170% VO₂peak) ทั้งหมด 8 ช่วง (ช่วงปั่น 20 วินาที ช่วงพัก 10 วินาที) ทำการทดสอบห่างกันเป็นเวลา 3 วัน พบว่า หลังการฝึกทันที ที่ความหนัก 170% VO₂peak เด็กอ่อนมีอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นถึง 93% HRmax มีการใช้พลังงานในการออกกำลังกาย สูงที่สุด และมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายมากที่สุด การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) เพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนออกกำลังกาย คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial ankle- pulse wave velocity : baPWV)

หลังการออกกำลังกายที่ความหนัก 130 และ 170% VO_{2peak} มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย ส่วนความหนาผนังของหลอดเลือด (Intima-media thickness : IMT) หลังการออกกำลังกายไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Chuensiri et al., 2015)

แต่อย่างไรก็ตามยังมีรายงานการศึกษาถึงอุบัติการณ์ของการบาดเจ็บที่สัมพันธ์กับโปรแกรมการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High-intensity interval training : HIIT) เช่น การออกกำลังกายท่าเบอร์พีส์ (Burpees) ท่าดันพื้น (Push-up) ท่าลันจ์ (Lunges) หรือการออกกำลังกายด้วยอุปกรณ์ประเภทบาร์เบล (Barbell) เคทเทิลเบล (Kettle bell) และกล่อง ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่จะเกิดการบาดเจ็บในเพศชายเป็นส่วนใหญ่ และเป็นการบาดเจ็บในส่วนล่างของร่างกาย เช่น กล้ามเนื้อฉีก ข้อเท้าแพลง บาดเจ็บเอ็นข้อเข่า เป็นต้น (Rynecki et al., 2019)

7. การออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood Flow Restriction: BFR) และความปลอดภัย (Safety)

การจำกัดการไหลเวียนโลหิต เป็นการฝึกรูปแบบใหม่ที่น่าเอาผ้าพันแขนหรือสายรัดมาพันรัดไว้บริเวณส่วนต้นของแขนหรือขา และค่อยๆ เพิ่มแรงดันภายนอกให้บีบรัดกล้ามเนื้อเพื่อลดการไหลของเลือดแดงและปิดกั้นการไหลของหลอดเลือดดำบริเวณกล้ามเนื้อที่ทำงานระหว่างการออกกำลังกาย เป็นเทคนิคที่ Dr.Yoshiaki Sato คิดค้นเพื่อใช้ฝึกออกกำลังกายเพื่อสร้างขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ไม่ต้องใช้ความหนักที่สูงมาก หรือที่เรียกกันว่า Kattsu training ซึ่งหมายถึง การฝึกที่มีแรงกดดันเพิ่มขึ้น (Patterson et al., 2019; Scott, Loenneke, Slattery, & Dascombe, 2015) ซึ่งจะส่งผลให้การขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อลดน้อยลงของเสียจากระบบการเผาผลาญถูกกำจัดออกน้อยลง จนเกิดความไม่สมดุลของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดภาวะความเครียดกับกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น และภายใต้การบีบรัดของสายรัดหรือผ้าพัน ส่งผลให้กล้ามเนื้อทำงานหนักขึ้นภายใต้ความหนักที่ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการปรับตัวทางสรีรวิทยาและการพัฒนาของร่างกายมากขึ้นตามไปด้วย เช่น เพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิต เพิ่มการสร้างกล้ามเนื้อ เพิ่มการผลิตฮอร์โมน (Bennett & Slattery, 2019; Cheunsiri, 2021) เพิ่มปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) การใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น (Energy Expenditure) (J. C. G. Silva et al., 2019) การฝึกนี้มักจะทำร่วมกับการฝึกด้วยแรงต้านและกิจกรรมแบบแอโรบิค ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายด้วยแรงต้านร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต สามารถเพิ่มขนาดและความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อได้ (Patterson et al., 2019) การจำกัดการไหลเวียนโลหิตช่วยลดระดับความ

หนักของการฝึกหรือออกกำลังกายลง และยังคงเกิดการพัฒนาระบบต่างๆ ของร่างกายเช่นเดิม จึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ที่มีไม่สามารถออกกำลังกายที่ใช้ความหนักสูง

ในปี 2016 มีรายงานพบว่า การจำกัดการไหลเวียนโลหิต ถูกนำไปใช้ในหลากหลายวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. 87% ใช้ในการฝึกเพื่อเสริมสร้างสุขภาพ (Training for health promotion)
2. 85% ใช้ในการลดน้ำหนัก (Diet)
3. 70% ใช้ในการฝึกเพื่อชะลอวัย (Beauty and anti-aging)
4. 71% ใช้ในการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Increase in muscle strength)
5. 72% ใช้ในการฝึกเพื่อเพิ่มขนาดของกล้ามเนื้อ (Muscle hypertrophy)
6. 72% ใช้ในการฝึกเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพทางการกีฬา (Improvement of sports performance)
7. 38% ใช้ในการฟื้นฟูสมรรถภาพร่างกายจากการบาดเจ็บ (Rehabilitation)
8. 38% ใช้กับคนที่เป็นโรคข้อและกระดูก (Orthopedic disease)
9. 17% ใช้กับคนที่เป็นโรคอ้วน (Obesity)
10. 12% ใช้กับคนที่เป็นโรคเบาหวาน (Improving diabetes)
13. 11% ใช้กับคนที่เป็นโรคหลอดเลือดสมอง (Cerebrovascular disease)
14. 8% ใช้ในคนที่เป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด cardiovascular disease
15. 7% ใช้กับคนที่เป็นโรคซึมเศร้า (Depression)
16. 6% ใช้ในการรักษาภาวะการมีบุตรยาก (Treating infertility)
17. 5% ใช้กับคนที่เป็นโรคระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular diseases)
18. 3% ใช้ในการรักษาเกี่ยวกับโรคภูมิคุ้มกัน (Treating immune diseases)
19. 53% ใช้ในวัตถุประสงค์อื่น ๆ (Other purposes) (McKivigan, 2019)

7.1 อุปกรณ์ในการฝึกหรือออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรัดเพื่อจำกัดการไหลเวียนโลหิตบางส่วน มีทั้งยางยืดและผ้าพันที่เป็นไนลอน ซึ่งการรัดเพื่อกดทับหลอดเลือดด้วยยางยืดอาจจะต้องใช้ระดับความเจ็บปวดเป็นตัวกำหนดการปิดกั้นเลือด แต่หากวิธีที่ได้มาตรฐานคือ ใช้ผ้าพันที่ระบุและควบคุมแรงดันได้ แต่อย่างไรก็ตามวัสดุที่ใช้ทำสายรัดหรือผ้าพันไม่ส่งผลต่อการฝึกหรือออกกำลังกาย แต่ระดับของแรงดันที่ใช้รัดจะส่งผลมากกว่า

ความกว้างของสายรัดมีความสัมพันธ์กับการจำกัดการไหลของเลือด หากมีการกำหนดแรงดันภายนอกที่เท่ากันแต่ใช้สายรัดที่มีขนาดแตกต่างกัน จะส่งผลให้การไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อขณะฝึกหรือออกกำลังกายมีความต่างกัน สายรัดหรือผ้าพันที่มีขนาดกว้างจะสามารถจำกัดการไหลเวียนของเลือดได้บริเวณที่กว้างกว่า และใช้แรงดันภายนอกน้อยกว่าสายรัดที่มีขนาดเล็กกว่า แต่อย่างไรก็ตามควรเลือกสายรัดหรือผ้าพันให้มีขนาดที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดการจำกัดการเคลื่อนไหวของร่างกายในระหว่างการฝึกหรือออกกำลังกาย ซึ่งขนาดของสายรัดหรือผ้าพัน จะมีความกว้างอยู่ในช่วง 3-18 เซนติเมตร (Cheunsiri, 2021; Mattocks et al., 2018)

7.2 แรงดัน (Pressure) ที่ใช้ในการฝึกหรือออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด

ที่ผ่านมาจากการศึกษาการออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด มีการใช้แรงดันที่หลากหลาย เช่น กำหนดความดันโดยใช้ Pulse Elimination Pressure (PET) (Willis et al., 2016) กำหนดเป็นหน่วยมิลลิเมตรปรอท (mmHg) (Karabulut & Garcia, 2017) กำหนดเป็นหน่วย Systolic blood pressure (SBP) และเทียบสัดส่วนกับ Arterial occlusion pressure (AOP) (J. C. Silva et al., 2019)

ในปัจจุบัน วิธีการที่เป็นมาตรฐานในการกำหนดแรงดันที่ใช้ในการออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือด คือ การกำหนดเปอร์เซ็นต์การปิดกั้นการไหลเวียนของเลือดแดง (Arterial Occlusion Pressure : AOP) โดยใช้การอัลตราซาวด์หลอดเลือดด้วย Doppler probe โดยใช้ผ้าพันบีบรัดเฉพาะจุดที่ต้องการในสภาวะขณะพัก ณ เวลานั้น เพื่อปิดกั้นการไหลเวียนของเลือดที่จะไหลเวียนไปสู่แขนและขา ในท่านอนหงาย และเพิ่มแรงดันดันให้สูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จนปิดกั้นการไหลของเลือดแดงและไม่สามารถตรวจจับชีพจรได้ ถือได้ว่าจุดนั้นคือแรงดันที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของการปิดกั้นการไหลเวียนของเลือดแดง (100% AOP) ซึ่งเป็นระดับแรงดันขั้นต่ำจากการบีบรัดเฉพาะบุคคล นำมาใช้คำนวณเพื่อกำหนดระดับของแรงดันการจำกัดการไหลเวียนเลือด (Cheunsiri, 2021)

มีบางรายงานการศึกษา ใช้แรงดันที่เกินกว่าเปอร์เซ็นต์ขั้นต่ำของการปิดกั้นการไหลเวียนเลือดแดงของแต่ละบุคคล กล่าวคือ เจาะจงใช้ความดันที่ 220 mmHg หรือใช้ระดับความดันของความดันโลหิตหดตัวบน เช่น 130 mmHg (Systolic blood pressure) เป็นต้น ซึ่งอาจทำให้เกิดแรงดันจากการบีบรัดมากเกินไปในแต่ละบุคคล ซึ่งการตั้งค่าและควบคุมแรงดันที่เป็นเปอร์เซ็นต์การปิดกั้นการไหลของเลือดแดง (% AOP) สามารถช่วยหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ที่อาจจะเกิดขึ้นโดยไม่ตั้งใจได้ (Cirilo-Sousa et al., 2019; McEwen et al., 2019; Mouser et al., 2017; Sieljacks et al., 2018; Zeng et al., 2019) ดังนั้นการตั้งค่าแรงดันของการบีบรัดในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ให้อยู่ระหว่าง 40 ถึง 80% ของ AOP (Patterson et al., 2019) สอดคล้องกับระดับความดันที่มีการแนะนำให้ใช้ที่อยู่ในช่วง 40-80% AOP ซึ่งสามารถบรรลุเป้าหมายในการออกกำลังกาย และลดความเสี่ยงที่ไม่พึงประสงค์ได้ (Lorenz et al., 2021)

da Cunha Nascimento และคนอื่น ได้ทบทวนผลของการฝึกด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่มีผลต่อการทำงานของหลอดเลือด ซึ่งผลที่ออกมาครั้งนี้มี 2 แกมมุม ในมุมหนึ่งพบว่าการลดลงของค่า FMD และอัตราการไหลของเลือด (Shear rate) ในหลอดเลือดหลังจากการออกกำลังกายแบบแรงต้านและแบบแอโรบิกร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด เมื่อเทียบกับการออกกำลังกายปกติ แต่ในอีกมุมหนึ่ง พบว่า ไม่เป็นอันตรายต่อการทำงานของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด และยังเพิ่มการทำงานของหลอดเลือดจากการประเมินค่า FMD และที่สำคัญการจำกัดการไหลเวียนเลือดที่ระดับแรงดัน 80% AOP ร่วมกับการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่ความหนักต่ำ (Low load) ส่งผลต่อการพัฒนาของหลอดเลือดไม่แตกต่างกับการออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่ความหนักสูง (70% 1 RM) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการฝึกออกกำลังกายดังกล่าวไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (da Cunha Nascimento et al., 2020)

7.3 ความปลอดภัยของการจำกัดการไหลเวียนเลือดกับการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายที่จำกัดการไหลเวียนเลือด เป็นทางเลือกที่มีศักยภาพและมีประสิทธิภาพมาก เมื่อเทียบกับวิธีการฝึกแบบดั้งเดิม และมีหลักฐานงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าถูกนำมาใช้กับประชากรที่สุขภาพดีและผู้ที่มีพยาธิสภาพต่าง ๆ ทั่วโลก แต่ถูกตั้งคำถามถึงความปลอดภัยในการใช้งานและอาจเป็นเรื่องที่น่ากังวล แต่ก็ยังไม่มีหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบจำกัดการไหลเวียนเลือด เพิ่มความเสี่ยงต่อร่างกายมากกว่าการออกกำลังกายแบบดั้งเดิม

มีรายงานผลข้างเคียงจากการฝึกหรือออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดต่อร่างกายจากงานวิจัยค่อนข้างน้อยมาก อย่างไรก็ตามก็มีรายงานว่าไม่ถึง 1 % ที่มีอาการวิงเวียนศีรษะ บางรายงานการวิจัยก็ไม่มีผลกระทบต่อร่างกาย ไม่เกิดความเสียหายต่อกล้ามเนื้อจนไม่สามารถบอกได้โดยการจำกัดการไหลเวียนของเลือดนั้น เกิดความเสี่ยงต่อร่างกาย ทำให้มั่นใจว่า มีผลข้างเคียงต่อร่างกายน้อยมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัดกรองตามมาตรฐานเพื่อประเมินความเสี่ยงจากปัจจัยต่าง ๆ ก่อนออกกำลังกายเช่น อายุ โรคประจำตัว การบาดเจ็บ ประวัติทางการแพทย์ รวมทั้งประวัติครอบครัว เป็นต้น

ผลของการไหลเวียนของเลือดขณะออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดนั้น มีรายงานการวิจัยว่า การกำหนดน้ำหนักของการออกกำลังกายที่เบา ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนเลือดนั้น สามารถทำให้ภาระการทำงานของหัวใจน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับออกกำลังกายที่ใช้น้ำหนักมาก ซึ่งได้มาจากการวัดอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิต จึงทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อน้อยกว่าการฝึกที่ใช้น้ำหนักมาก และส่วนใหญ่การวิจัยในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับการจำกัดการไหลเวียนเลือด จะมุ่งเน้นไปที่การทดสอบการตอบสนองของการไหลเวียนของโลหิตแบบฉับพลัน และก็ยังมีการศึกษาที่สนใจปัจจัยที่เกี่ยวกับหลอดเลือดเพิ่มมากขึ้น ด้วยหลักฐานปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าการฝึกหรือออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนเลือดช่วยปรับปรุงการทำงานของรวมของหลอดเลือด เช่น ส่งเสริมการไหลเวียนของเลือด การขนส่งออกซิเจน และการสร้างเส้นเลือดใหม่ (capillarization) การเพิ่มไนตริกออกไซด์หลังการออกกำลังกาย เป็นต้น ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อการทำงานของหลอดเลือดอาจมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการเสื่อมของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (Brandner et al., 2018)

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดร.ณรรณ สุขสม และคนอื่น (2559) ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลฉับพลันของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ในเด็กอ้วนและเด็กน้ำหนักปกติ ดูผลการใช้พลังงานและการทำงานของหลอดเลือด โดยอาสาสมัครเป็นเด็กชาย น้ำหนักปกติ อายุ 8-12 ปี 20 คน และน้ำหนักเกิน 20 คน ที่มีค่าดัชนีมวลกายเทียบกับค่ามาตรฐาน มากกว่าหรือเท่ากับ +2 S.D. เปรียบเทียบจากเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของ เพศชาย อายุ 5-18 ปี ทำการทดสอบด้วยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 100 , 130 และ 170% VO_{2peak} ปั่นด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 วินาที และลดความเร็วในการปั่นจนหยุดพักเป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบเป็นเวลา 4 นาที ระยะเวลา ในการทำการทดสอบห่างกัน 3 วัน

ผลการทดสอบ หลังการฝึกทันที การปั่นจักรยานที่ความเร็ว 90 รอบต่อนาที ที่ความหนัก 170% VO_2 peak เด็กอ้วน มีอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นถึง 93% HRmax มีการใช้พลังงานมากที่สุด สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายสูงสุด การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) เพิ่มขึ้นสูงเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial ankle-pulse wave velocity : baPWV) หลังการออกกำลังกาย ที่ความหนัก 130 และ 170% VO_2 peak มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย ส่วนความหนาผนังของหลอดเลือด (Intima-media thickness : IMT) หลังการออกกำลังกาย ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

วิลลิส และคนอื่น (2016) ศึกษาผลของประสิทธิภาพของการปั่นจักรยานแบบซ้ำ ๆ (Repeated sprint ability) ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (BFR) ที่ระดับความดันต่างกัน ในนักกีฬาระดับผู้ใหญ่ที่มีการฝึกซ้อมที่ดี อายุเฉลี่ย 26 ปี เป็นผู้ชาย 6 คน ผู้หญิง 5 คน ทำการปั่นจักรยานร่วมกับการใช้เทคนิค BFR ที่ความหนัก 40% , 60% Pulse Elimination Pressure (PET) และไม่ใช่ BFR (0%) ในแต่ละรอบให้ปั่นด้วยความเร็วสูงสุด 10 วินาที พัก 20 วินาที ปั่นไปเรื่อย ๆ จนไม่สามารถปั่นต่อไปได้ โดยแต่ละการทดสอบห่างกันอย่างน้อย 3 วัน

ผลการทดสอบ พบว่า ในสภาวะที่ไม่ได้ใช้เทคนิค BFR สามารถปั่นได้จำนวนรอบมากที่สุด ค่าเฉลี่ยของ Mean power ของการทดสอบที่ 0% กับ 60% มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าดัชนีความเมื่อยล้า (Fatigue index) ของการทดสอบที่ 60% มีค่าน้อยที่สุด ในการทดสอบ 0%, 45% และ 60% มีอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยอยู่ที่ 185 bpm (95%HRmax) , 177 bpm (91%HRmax) และ 171 bpm (88%HRmax) จะเห็นได้ว่า แม้การใช้เทคนิค BFR จะปั่นได้จำนวนรอบที่น้อย แต่สามารถทำให้อัตราการเต้นของหัวใจใกล้เคียงกับการที่ไม่ใช้เทคนิค BFR

คาราบูลัท และการ์เซีย (2017) ทำการศึกษาผลฉับพลันในการปั่นจักรยานที่มีความหนักต่ำร่วมกับการใช้เทคนิค BFR ที่ส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต ระดับความเหนื่อย อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างการหายใจ และอัตราการใช้พลังงานขณะปั่นจักรยาน ในคนอ้วน 34 คน (ชาย 18 คน หญิง 16 คน) อายุเฉลี่ย 23-24 ปี ที่มีกิจกรรมการเคลื่อนไหวน้อยกว่า 3 วันต่อสัปดาห์ ทำการปั่นจักรยาน 3 รูปแบบ คือ ปั่นจักรยานร่วมกับการใช้เทคนิค BFR ที่ 40 และ 60 มิลลิเมตรปรอทและปั่นแบบไม่ใช่เทคนิค BFR ปั่นด้วยความหนัก 1 kp (50 W) ที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที จำนวน 2 รอบ รอบละ 10 นาที พักระหว่างรอบ 1 นาที ระยะเวลาในการทำการทดสอบห่างกัน 48 ชั่วโมง

ผลการทดสอบ พบว่า เมื่อเทียบกับการทดสอบที่ไม่ใช้เทคนิค BFR การปั่นจักรยาน ร่วมกับการใช้เทคนิค BFR ที่ระดับ 40 และ 60 มิลลิเมตรปรอท ในขณะที่ปั่นทำให้ค่าเฉลี่ยความดันโลหิตเพิ่มสูงขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้น ในเพศหญิงสูงขึ้นเฉลี่ยประมาณ 65-84% HRmax และเพศชายสูงขึ้นเฉลี่ยประมาณ 62-70% HRmax แต่ระดับความเหนื่อยอยู่ในช่วง รู้สึกสบายถึงเริ่มรู้สึกเหนื่อย (ระดับ 7-11) และมีการใช้พลังงานได้ดีมากกว่าการออกกำลังกาย ที่ความหนักต่ำร่วมกับการใช้เทคนิค BFR ใช้ระยะเวลาไม่นาน สามารถเพิ่มการตอบสนองของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด ได้คล้ายกับการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ความหนักสูง

บาริลลี และคนอื่น (2018) ศึกษาผลขับพลาสมาการตอบสนองของตัวแปรการไหลเวียนเลือดและความเครียดออกซิเดชัน ของการออกกำลังกายแบบแอโรบิคร่วมกับการเทคนิค BFR ในผู้หญิงสูงวัย 16 คน ที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง อายุเฉลี่ย 67 ปี แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 คน ทำการศึกษาเป็นแบบสุ่มไขว้ ทำการทดสอบด้วยการเดินบนเครื่องวิ่งแบบ Progressive treadmill test 3 รูปแบบ ที่ความหนัก 30% , 50% VO_2max และ 30% VO_2max ร่วมกับ BFR 130% SBP ทำการทดสอบห่างกัน 7 วัน

ผลการทดสอบ พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตเพิ่มสูงขึ้นทันที ทุกการทดสอบ แต่การเดินที่ความหนัก 50% VO_2max และ 30% VO_2max ร่วมกับ BFR 130% SBP มีค่าใกล้เคียงกัน และมีการเปลี่ยนแปลงของความเครียดออกซิเดชันใกล้เคียงกันอีกด้วย

ซิลวา และคนอื่น (2019) ศึกษาผลขับพลาสมาการตอบสนองทางสรีรวิทยาและการรับรู้ ของการออกกำลังกายแบบแอโรบิคร่วมกับการใช้เทคนิค BFRและไม่ใช้เทคนิค BFR ในผู้ชาย ที่สุขภาพดี จำนวน 22 คน อายุเฉลี่ย 24 ปี ทำการวิ่ง 3 รูปแบบ คือ วิ่งแบบต่อเนื่อง ด้วยความหนัก 40% VO_2peak , 40% VO_2peak ร่วมกับ BFR 50% AOP และวิ่งแบบสลับช่วงที่ความหนัก 80% VO_2peak 6 เซต เซตละ 90 วินาที พักระหว่างเซต 90 วินาที และการทดสอบควบคุม ด้วยการยืนนิ่งร่วมกับการใช้เทคนิค BFR 50% AOP ระยะเวลาของทุกการทดสอบเท่ากับ 18 นาที ประเมินอัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกายและระดับความเหนื่อยทุก 3 นาที ทำการทดสอบห่างกัน 7 วัน

ผลการทดสอบ พบว่า การวิ่งแบบต่อเนื่องร่วมกับการใช้เทคนิค BFR มีอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย สูงกว่าการวิ่งที่ไม่ใช้เทคนิค BFR แต่ต่ำกว่าการวิ่งแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกายแบบต่อเนื่องร่วมกับการใช้เทคนิค BFR ใกล้เคียงกับการวิ่งแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง

ไพบัว และคนอื่น (2016) ศึกษาผลการทำงานของหลอดเลือดภายหลังจากการออกกำลังกายด้วยการบีบ Handgrip strength ร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (BRR) ในผู้ใหญ่เพศชาย จำนวน 9 คน อายุเฉลี่ย 28 ปี โดยบีบ Handgrip strength (60% of the maximum voluntary contraction) ด้วยความเร็ว 15 ครั้ง ต่อนาที พัก 1 นาที ทำทั้งหมด 20 นาที และพันคัพฟ์บีบรัดแขนด้วยความดัน 80 mmHg

ผลการทดสอบพบว่า หลังจากการฝึกบีบ Handgrip strength ด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเสร็จสิ้นไป 15 นาที ค่า FMD ลดลง เมื่อเทียบกับการไม่จำกัดการไหลเวียนโลหิต และเมื่อผ่านไป 60 นาที จะเพิ่มขึ้นกลับมาใกล้เคียงกับก่อนออกกำลังกาย

สเตอร์ย์-กันเดนสัน และคนอื่น (2020) ศึกษาเปรียบเทียบผลขับพลาสมาการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือด โดยการใช้เทคนิค BFR ในผู้ที่มีสุขภาพดี 15 คน (ชาย 9 คน หญิง 6 คน) ทำการทดสอบด้วยการเดิน ร่วมกับการใช้เทคนิค BFR ที่มีขนาดของคัพฟ์จำนวน 2 แบบ คือ แบบแคบ (กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร) ใช้ความดัน 300 mmHg และแบบกว้าง (กว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 108 เซนติเมตร) ใช้ความดัน 160 mmHg ความเร็วในการเดิน 0.9 เมตร/วินาที ทั้งหมด 5 รอบ รอบละ 2 นาที พัก 1 นาที และการเดินที่ไม่ใช้ BFR กลุ่มตัวอย่างเพศชาย เว้นระยะห่างของการทดสอบ ครั้งละ 3 วัน เพศหญิงเว้นระยะห่างของการทดสอบ ครั้งละ 1 เดือน

ผลการทดสอบ พบว่า ระหว่างการเดิน ทั้งรูปแบบที่ใช้ BFR ที่มีขนาดของผ้าพันและความดันที่ต่างกัน กับรูปแบบที่ไม่ใช้ BFR ผลขับพลาสมาของค่า FMD ก่อนการเดิน หลังการเดินเสร็จสิ้นทันที และหลังการเดินเสร็จสิ้นไปแล้ว 1 ชั่วโมง ไม่แตกต่างกัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดกลุ่มประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. การเก็บรวบรวมข้อมูล
3. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดกลุ่มประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเด็กชาย อายุตั้งแต่ 13 -15 ปี ที่ศึกษาอยู่ในช่วงชั้นระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ที่เข้าร่วมกิจกรรมภาคฤดูร้อน ประจำปี 2564 ของกรมพลศึกษา จำนวน 551 คน

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเด็กชายที่มีภาวะอ้วน อายุตั้งแต่ 13 -15 ปี ที่มีน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงมากกว่าค่ามัธยฐาน เกินกว่า +1.5 SD เมื่อเทียบตามเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง ของเด็กอายุ 6-19 ปี เพศชาย (กรมอนามัย, 2564) ในการทดลองที่ 1 เป็นการศึกษานำร่อง กำหนดกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 คน และการทดลองที่ 2 กำหนดกลุ่มตัวอย่าง อ้างอิงจากงานวิจัยของ Morishima (Morishima, Iemitsu, et al., 2019) (Morishima, Toyoda, et al., 2019) ที่ศึกษาตัวแปร FMD และคำนวณโดยใช้โปรแกรม G*Power เวอร์ชัน 3.1.9.4 มีค่า effect size เท่ากับ 0.88 ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) เท่ากับ 0.05 และค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) 0.80 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน โดยสุ่มแบบเฉพาะเจาะจงตามน้ำหนักเทียบตามเกณฑ์ส่วนสูง โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือก (Inclusion criteria)

- ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นเด็กชาย อายุตั้งแต่ 13-15 ปี ที่มีน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงมากกว่าค่ามัธยฐาน เกินกว่า +1.5 SD ซึ่งประเมินโดยใช้เกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงของเด็กอายุ 6-19 ปี เพศชาย (กรมอนามัย, 2564)

- ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องพักผ่อนให้เพียงพอ อย่างน้อย 8 ชั่วโมง ไม่มีการออกกำลังกายก่อนการประเมิน ประมาณ 12 ชั่วโมง และมีสุขภาพร่างกายแข็งแรง ปราศจากโรคหรืออาการ

ที่เป็นอุปสรรคและไม่พร้อมในการทดสอบ และผ่านเกณฑ์การประเมินความพร้อมก่อนออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire)

- ผู้เข้าร่วมวิจัยมีความสมัครใจเข้าร่วมในงานวิจัย ยินดีลงนามและได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองในการลงนามในหนังสือแบบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

- ผู้เข้าร่วมวิจัยรับประทานกาแฟ วิตามินซี เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ยาบางชนิด หรืออาหารเสริมที่มีผลต่อการทำงานของหลอดเลือด ก่อนการประเมิน 12 ชั่วโมง หรือมีสุขภาพร่างกายไม่แข็งแรง เป็นโรคหรือมีอาการที่จะเป็นอุปสรรคต่อ การทดสอบ และอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บเพิ่มขึ้น เช่น การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น ข้อต่อ สมอง หลอดเลือด และระบบหายใจ

- ผู้ร่วมวิจัยไม่สมัครใจเข้าร่วมในงานวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

1.1 จักรยานวัดงาน (Cycle Ergometer) ยี่ห้อ โมนาร์ค (Monark) รุ่น เออร์โกมิติก 984 อี พีค ไบค์ (Ergomedic 894E Peak Bike)

1.2 เครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อ โพลาร์ (Polar) รุ่น H10

1.3 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analysis)

1.4 เครื่องวัดความดันโลหิตแบบอัตโนมัติ (Automatic blood pressure monitor) ยี่ห้อ Jawon รุ่น EX Easy X800

1.5 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบร่างกาย ยี่ห้อ Tanita

1.6 อุปกรณ์การฝึก Blood flow restriction

1.7 อุปกรณ์ประเมินเสียงของการไหลเวียนโลหิตในการตรวจจับชีพจร

1.8 เครื่องอัลตราซาวด์หลอดเลือด (Cardiovascular Ultrasound System)

ยี่ห้อ จีอี (GE) รุ่นวีวีดี ไอ (VIVID-I) ประเทศสหรัฐอเมริกา (VIVID-I, GE, United State of America)

1.9 เครื่องตรวจวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non Invasive Vascular Screening Device) ยี่ห้อออเมรอน (OMRON) รุ่นคอลลิน วีพี 1000 พลัส (Colin VP-1000 plus) ประเทศญี่ปุ่น (VP 1000, OMRON, Kyoto, Japan)

1.10 แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire)

1.11 แบบประเมินระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion : RPE)

1.12 แบบสอบถามระดับความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย (Martinez, Kilpatrick, Salomon, Jung, & Little, 2015; Stanley & Cumming, 2010)

1.13 แบบบันทึกผลการทดสอบ

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสารเกี่ยวกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (High intensity interval training) การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training) การออกกำลังกายที่มีการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction) ในกลุ่มตัวอย่างต่าง ๆ เช่น เด็ก วัยรุ่น ผู้ใหญ่ ผู้สูงอายุ เป็นต้น รวมทั้งวิเคราะห์การออกกำลังกายที่เหมาะสมกับวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

2.2 ดำเนินการหากกลุ่มตัวอย่าง โดยประสานงานกับผู้ปกครองเพื่อขออนุญาตคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์การคัดเลือก โดยการสมัครใจเข้าร่วม

2.3 ผู้ที่มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์คัดเลือกและยินดีเข้าร่วมงานวิจัย ได้รับทราบรายละเอียดการปฏิบัติของการทดสอบ และผู้ปกครองยินยอมลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมวิจัย โดยผู้วิจัยมีการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการออกกำลังกายให้กับผู้เข้าร่วมและผู้ปกครอง

2.4 ผู้เข้าร่วมวิจัยและผู้ปกครองทำแบบสอบถามเกี่ยวกับสุขภาพทั่วไปและแบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย

2.5 ก่อนการทดสอบทุกครั้ง ผู้ร่วมวิจัยต้องพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมง และจะทำการทดสอบหลังจากรับประทานอาหารไปแล้วไม่น้อยกว่า 2-3 ชั่วโมง

2.6 การดำเนินการวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

2.6.1 การทดลองที่ 1 (Pilot study) ศึกษาผลฉับพลันของอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (High intensity interval training) ด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40%, 60% และ 80% AOP ในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

กลุ่มตัวอย่างเป็นวัยรุ่นเพศชายที่มีภาวะอ้วน อายุตั้งแต่ 13-15 ปี ที่มีน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงมากกว่าค่ามัธยฐาน เกิน +1.5 SD เมื่อเทียบเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโต น้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงของเด็กอายุ 6-19 ปี เพศชาย (กรมอนามัย, 2564) สุ่มแบบเฉพาะเจาะจงตามค่าดัชนีมวลกายดังที่กล่าวมาในข้างต้น จำนวน 5 คน ทำการทดสอบ จำนวน 4 เจ็อนไซระยะเวลาห่างกัน 3 วัน ดังนี้

เจ็อนไซที่ 1 ออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training) ระดับความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($170\% \text{VO}_2\text{peak}$)

เจ็อนไซที่ 2 ออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (High intensity interval training) ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($85\% \text{VO}_2\text{peak}$) ด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40% AOP

เจ็อนไซที่ 3 ออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (High intensity interval training) ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($85\% \text{VO}_2\text{peak}$) ด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 60% AOP

เจ็อนไซที่ 4 ออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง (High intensity interval training) ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($85\% \text{VO}_2\text{peak}$) ด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 80% AOP (ภาคผนวก ง)

2.6.1.1 การทดสอบครั้งที่ 1 (Pre-test) เป็นการทดสอบความสามารถของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2peak) เพื่อหาค่างานสูงสุดขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak work load) เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเดินทางมาถึงสถานที่ทดสอบ จะทำการพักเป็นเวลา 15 นาที และดำเนินการวัดตัวแปรด้านสรีรวิทยา เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย (Body mass Index : BMI) เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (Body fat %) ด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบร่างกาย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Heart rate resting) ความดันโลหิตขณะพัก (Resting blood pressure) และวัดค่า AOP เพื่อคำนวณระดับความดันที่ใช้ในการออกกำลังกาย จากนั้นทดสอบปั่นจักรยานวัดงานจนเหนื่อยหมดแรง หรือเท่าที่ผู้ทดสอบจะสามารถทำได้ (Chuensiri et al., 2015)

2.6.1.2 การทดสอบครั้งที่ 2 ทำการทดสอบการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training : HIIT-SUPRA) ระดับความหนัก

170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($170\% \text{VO}_2\text{peak}$) (Chuensiri et al., 2015)

ผู้ร่วมวิจัยพัก 15 นาที หลังจากนั้นจะได้รับการประเมินตัวแปรทางสรีรวิทยา คือ วัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักและความดันโลหิตขณะพัก จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบต่อไป ดังนี้

- ผู้ร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ
- ผู้ร่วมวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นเวลา

10 นาที

- ผู้ร่วมวิจัยทำการปั่นจักรยานเพื่ออบอุ่นร่างกายก่อนการปั่นแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก โดยปรับแรงต้านค่างานให้เท่ากับระดับความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($50\% \text{VO}_2\text{peak}$) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นปรับแรงต้านค่างานให้เท่ากับระดับความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($170\% \text{VO}_2\text{peak}$) และปั่นจักรยานด้วยความเร็วสลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานจนหยุดพัก ด้วยอัตราส่วน 2:1(W:R) คือ ปั่นด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 วินาที และลดความเร็วในการปั่นจนหยุดพักเป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบ เป็นเวลา 4 นาที เมื่อทำครบตามรอบที่กำหนดแล้ว ให้ปั่นจักรยานเพื่อคลายอุณหภูมิร่างกายหลังการทดสอบ โดยปรับแรงต้านค่างานให้เท่ากับระดับความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($50\% \text{VO}_2\text{peak}$) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (Chuensiri et al., 2015) รวมระยะเวลาในการปั่นจักรยาน 14 นาที

- ระหว่างทำการทดสอบ ผู้ร่วมวิจัยได้รับการประเมินอัตราการเต้นของหัวใจในและประเมินความหนักของการออกกำลังกาย (RPE) ทุกรอบของการปั่นจักรยาน

2.6.1.3 การทดสอบครั้งที่ 3 - 5 ทำการทดสอบการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High intensity interval training with blood flow restriction : HIIT- BFR) ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($85\% \text{VO}_2\text{peak}$) มีการทดสอบและการประเมินตัวแปร ดังรายละเอียดตามการทดสอบครั้งที่ 2 และใช้คัพพีร์ดที่ต้นขาทั้ง 2 ข้าง ด้วยระดับแรงดัน 40%, 60% และ 80% AOP ตามลำดับ (ภาคผนวก ง)

2.6.2 การทดลองที่ 2 นำผลที่ได้จากการศึกษาที่ 1 มาศึกษาเปรียบเทียบผลขับพลาสมาของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและ

การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่มีต่อตัวแปรการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด และการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

กลุ่มตัวอย่างเป็นวัยรุ่นเพศชาย อายุตั้งแต่ 13-15 ปี ที่มีน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงมากกว่าค่ามัธยฐาน เกิน +1.5 SD เมื่อเทียบเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงของเด็กอายุ 6-19 ปี เพศชาย (กรมอนามัย, 2564) สุ่มแบบเฉพาะเจาะจงตามค่าดัชนีมวลกายดังที่กล่าวมาในข้างต้น จำนวน 10 คน ทำการทดสอบ จำนวน 2 เงื่อนไข ระยะเวลาห่างกัน 3 วัน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบไขว้กลุ่ม (Crossover Design) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเลือก ทำความคุ้นชินกับอุปกรณ์และรูปแบบการทดสอบ (Familiarization period) ก่อนที่จะเข้ารับการทดสอบจริง โดยทดลองปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training : HIIT-SUPRA) และปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High intensity interval training with blood flow restriction : HIIT-BFR) จำนวน 1 ครั้ง และพัก 3 วัน จากนั้นจะทำการทดสอบจริง จำนวน 3 ครั้ง ระยะเวลาห่างกันครั้งละ 3 วัน โดยจะแบ่งผู้ร่วมวิจัยออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 คน ด้วยวิธีสุ่มอย่างง่าย และปฏิบัติตามการทดสอบ ดังนี้

2.6.2.1 การทดสอบครั้งที่ 1 (Pre-test) เป็นการทดสอบตัวแปรต่าง ๆ ก่อนทำการศึกษาและทดสอบความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2peak}) เพื่อหาค่างานสูงสุดขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak work load) เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเดินทางมาถึงสถานที่ทดสอบ จะทำการพักเป็นเวลา 15 นาที และดำเนินการดังนี้

2.6.2.1.1 วัดตัวแปรด้านสรีรวิทยา เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย (Body mass Index : BMI) เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (Body fat %) ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบร่างกาย วัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Heart rate resting) ความดันโลหิตขณะพัก (Resting blood pressure) และวัดค่า AOP เพื่อคำนวณระดับแรงดันที่ใช้ในการออกกำลังกาย

2.6.2.1.2 วัดตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือดก่อนออกกำลังกาย (Base line) เช่น การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated dilation : FMD) และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Brachial-ankle pulse wave velocity : baPWV)

2.6.2.1.3 ทดสอบความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\text{peak}$) เพื่อหาค่างานสูงสุดขณะที่ใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak work load) โดยการปั่นจักรยานวัดงานจนเหนื่อยหมดแรง หรือเท่าที่ผู้ทดสอบจะสามารถทำได้ (Chuensiri et al., 2015)

2.6.2.2 การทดสอบครั้งที่ 2 ผู้เข้าร่วมถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย คือกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2

กลุ่มที่ 1 ทำการทดสอบการปั่นจักรยานแบบสลับช่วง ที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training : HIIT-SUPRA) ระดับความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($170\% VO_2\text{peak}$) (Chuensiri et al., 2015) โดยดำเนินการทดสอบดังนี้

- ผู้ร่วมวิจัยพัก 15 นาที หลังจากนั้นจะได้รับการประเมินตัวแปรทางสรีรวิทยา คือ วัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักและความดันโลหิตขณะพัก จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบการปั่นจักรยาน ต่อไปดังนี้

- ผู้ร่วมวิจัยใส่เครื่องแสดงอัตราการเต้นของหัวใจ
- ผู้ร่วมวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที

- ผู้ร่วมวิจัยทำการปั่นจักรยานเพื่ออบอุ่นร่างกายก่อนการปั่นแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก โดยปรับแรงต้านค่างานให้เท่ากับระดับความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($50\% VO_2\text{peak}$) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นปรับแรงต้านค่างานให้เท่ากับระดับความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($170\% VO_2\text{peak}$) และปั่นจักรยานด้วยความเร็วสลับกับลดความเร็วในการปั่นจักรยานจนหยุดพัก ด้วยอัตราส่วน 2:1(W:R) คือ ปั่นด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 วินาที และลดความเร็วในการปั่นจนหยุดพักเป็นเวลา 10 วินาที ทำทั้งหมด 8 รอบเป็นเวลา 4 นาที เมื่อทำครบตามรอบที่กำหนดแล้ว ให้ปั่นจักรยานเพื่อคลายอบอุ่นร่างกายหลังการทดสอบ โดยปรับแรงต้านค่างานให้เท่ากับระดับความหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($50\% VO_2\text{peak}$) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที (Chuensiri et al., 2015) รวมระยะเวลาในการปั่นจักรยาน 14 นาที

- ระหว่างทำการทดสอบ ผู้ร่วมวิจัยได้รับการประเมินอัตราการเต้นของหัวใจและประเมินความหนักของการออกกำลังกาย (RPE) ในทุกรอบของการปั่นจักรยาน

- หลังจากการทดสอบปั่นจักรยานทันที ไม่เกิน 5 นาที ผู้ร่วมวิจัยได้รับการประเมินการทำงานของหลอดเลือด คือ การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow mediated delation : FMD) และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (Bracial-ankle pulse wave velocity : baPWV)

- ผู้ร่วมวิจัยทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ เป็นเวลา 10 นาที (ภายหลังจากการได้รับการวัดตัวแปรทางด้านการทำงานของเลือดแล้ว)

- ทำการประเมินอัตราการเต้นของหัวใจ การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า หลังจากการทดสอบแล้ว อีก 3 ครั้ง คือ 10 นาที 30 นาที และ 60 นาที

กลุ่มที่ 2 ทำการทดสอบการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High intensity interval training with blood flow restriction : HIIT-BFR) ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (85% VO_2 peak) มีการทดสอบและการประเมินตัวแปร ดังรายละเอียดการทดสอบครั้งที่ 2 และใช้คัพพีรัดที่ต้นขาทั้ง 2 ข้าง ด้วยระดับความดันที่ได้จากการศึกษาที่ 1

2.6.2.3 การทดสอบครั้งที่ 3 ผู้เข้าร่วมวิจัยกลุ่มที่ 1 ทำการทดสอบการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูง ด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (High intensity interval training with blood flow restriction : HIIT- BFR) ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (85% VO_2 peak) และจำกัดการไหลเวียนโลหิตด้วยการใช้คัพพีรัดที่ต้นขาทั้ง 2 ข้างด้วยระดับความดันที่ได้จากการศึกษาที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ทำการทดสอบการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high intensity interval training : HIIT-SUPRA) ระดับความหนัก 170 เปอร์เซ็นต์ของค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (170% VO_2 peak) และทำการประเมินตัวแปรต่าง ๆ เช่นเดียวกับการทดสอบในครั้งที่ 2 (ภาคผนวก ง)

2.6.2.4 ผู้ร่วมวิจัยทำแบบสอบถามความพึงพอใจในการออกกำลังกาย หลังจากการทดสอบในแต่ละรูปแบบเสร็จสิ้น

2.6.2.5 นำข้อมูลของตัวแปรที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้งมาเปรียบเทียบด้วยวิธีการคำนวณทางสถิติ

การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ตามกระบวนการทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติ (IBM SPSS Statistics Version 21) ดังนี้

1. หาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา และตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด
2. วิเคราะห์การแจกแจงความเป็นโค้งปกติของข้อมูล
3. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจของการปั่นจักรยานแบบสลับ ช่วงที่ความหนักสูงมาก และการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40%, 60% และ 80% AOP โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-way ANOVA with Repeated measure) และเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธีการของ Bonferoni
4. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตัวแปรทางด้านสรีรวิทยาและตัวแปรด้านการทำงานของหลอดเลือด ในการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two-way ANOVA with Repeated) และเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธีการของ Bonferoni
5. กำหนดค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาผลลัพท์ของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 การศึกษาเบื้องต้น เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจของการออกกำลังกาย 2 รูปแบบที่มีระดับแรงดันแตกต่างกัน และการทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายทั้ง 2 รูปแบบที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือด ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามกระบวนการและขั้นตอนต่างๆ และรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยมีผลการวิจัยดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาเบื้องต้น (Pilot study)

เปรียบเทียบผลลัพท์ของอัตราการเต้นของหัวใจในการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในระดับความดันที่ต่างกัน

ส่วนที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ตาราง 1 ข้อมูลค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ตัวแปรด้านสรีรวิทยา

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
อายุ (ปี)	13.40	0.54
น้ำหนัก (kg.)	73.06	17.29
ส่วนสูง (cm.)	160.00	7.51
ดัชนีมวลกาย (kg./m ²)	28.28	4.63
ไขมัน (%)	43.74	9.76
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (bpm)	198	0.54
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (bpm)	88	9.66
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ขณะพัก (mmHg)	125	10.63

ตาราง 1 (ต่อ)

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ขณะพัก (mmHg)	75	7.82
ความสามารถของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ml/kg/min)	22.70	6.06

จากตาราง 1 กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย 13.40 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 73.06 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 160 เซนติเมตร ค่าดัชนีมวลกาย เฉลี่ย 28.28 kg/m² มีไขมันเฉลี่ย 43.74 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเฉลี่ย 198 ครั้งต่อนาที อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก เฉลี่ย 88 ครั้งต่อนาที ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ขณะพัก เฉลี่ย 125 mmHg ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ขณะพัก เฉลี่ย 75 mmHg และความสามารถของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO₂peak) มีค่าเฉลี่ย 22.70 ml/kg/min

ตาราง 2 ค่างาน (Work load) ในการปั่นจักรยานและค่าแรงดัน (Arterial occlusion pressure)

กลุ่มตัวอย่าง	ค่างาน (watt) VO ₂ peak			ค่าแรงดัน (Arterial occlusion pressure) AOP			
	100%	85%	170%	100%	80%	60%	40%
1	90	76.5	153	190	152	114	76
2	90	76.5	153	270	216	162	108
3	90	76.5	153	160	128	96	64
4	110	93.5	187	150	120	90	60
5	70	59.5	119	220	176	132	88

จากตาราง 2 แสดงค่างาน (Work load) ในการปั่นจักรยานและค่าแรงดัน (Arterial occlusion pressure : AOP) ที่ใช้ในการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR)

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ

กลุ่มตัวอย่าง	อัตราการเต้นของหัวใจ (bpm)			
	HIIT-SUPRA	HIIT-BFR (80)	HIIT-BFR (60)	HIIT-BFR (40)
1	164	146	153	147
2	152	131	138	145
3	163	162	166	174
4	174	182	164	170
5	168	150	158	170

จากตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ ในการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR)

ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบผลจับพลันของอัตราการเต้นของหัวใจ ในการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตในระดับแรงดันที่ต่างกัน กับการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ของวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ระหว่างการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40%,60% และ 80% AOP

รูปแบบการปั่นจักรยาน	อัตราการเต้นของหัวใจ		เปอร์เซ็นต์อัตราการเต้นของหัวใจ	
	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
HIIT-SUPRA	164.20	8.07	82.67	3.91
HIIT-BFR (40)	161.20	13.98	81.15	6.83
HIIT-BFR (60)	155.80	11.18	78.44	5.46
HIIT-BFR (80)	154.20	19.08	77.63	9.45

HIIT-SUPRA: Supramaximal high-intensity interval training,

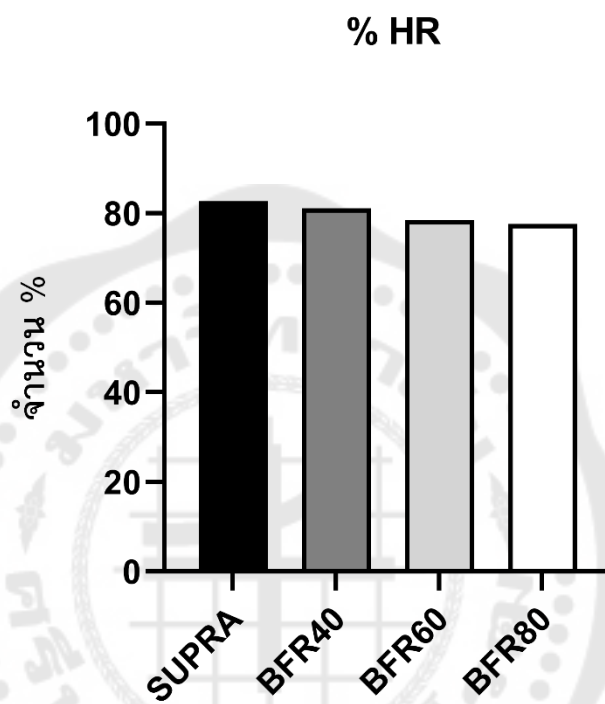
HIIT-BFR (40): High-intensity interval training with blood flow restriction 40% arterial occlusion pressure

HIIT-BFR (60): High-intensity interval training with blood flow restriction 60% arterial occlusion pressure

HIIT-BFR (80): High-intensity interval training with blood flow restriction 80% arterial occlusion pressure

จากตาราง 4 อัตราการเต้นของหัวใจจากการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) มีค่าเฉลี่ย 164.20 ครั้งต่อนาที คิดเป็น 82.67 เปอร์เซ็นต์อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ส่วนการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40% AOP (HIIT-BFR (40)) มีค่าเฉลี่ย 161.20 ครั้งต่อนาที คิดเป็น 81.15 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด การปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 60% AOP (HIIT-BFR (60)) มีค่าเฉลี่ย 155.80 ครั้ง

ต่อหน้าที่ คิดเป็น 78.44 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และการปั่นจักรยานแบบ สลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่ระดับแรงดัน 80% AOP (HIIT-BFR (80)) มีค่าเฉลี่ย 154.20 ครั้งต่อหน้าที่ คิดเป็น 77.63 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด



ภาพประกอบ 15 เปอร์เซ็นต์อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดจากการปั่นจักรยาน

ตาราง 5 เปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40%, 60% และ 80% AOP โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-Way ANOVA with Repeated measures)

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate)	325.350	3	108.450	2.023	.164
ความคลาดเคลื่อน (Error)	643.400	12	53.617		

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (One-way ANOVA with Repeated measures) พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจจากการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงทั้ง 4 เดือนไม่แตกต่างกัน ($F=2.023, 3 \quad p=.164$)

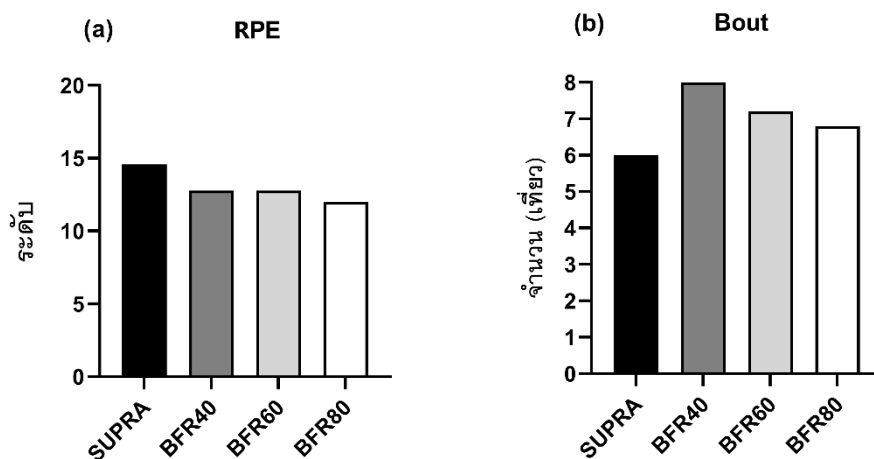
เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจจากการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ทั้ง 3 ระดับแรงดัน พบว่า แรงดันที่ระดับ 40% AOP ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจใกล้เคียงกับการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก จึงกำหนดให้การทดลองที่ 2 ใช้ระดับความดันที่ 40% AOP เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของหลอดเลือดของการออกกำลังกายทั้ง 2 เดือน

ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion (RPE) : 6-20 Borg scale) และจำนวนเที่ยวที่สามารถทำได้ระหว่างการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40%,60% และ 80% AOP

รูปแบบการปั่นจักรยาน	ระดับความเหนื่อย		จำนวนเที่ยวที่สามารถทำได้	
	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบน	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบน
	มาตรฐาน (S.D.)		มาตรฐาน (S.D.)	
HIIT-SUPRA	14.60	0.89	6.00	2.12
HIIT-BFR (40)	12.00	3.16	8.00	0.00
HIIT-BFR (60)	12.80	2.77	7.20	0.84
HIIT-BFR (80)	12.80	1.92	6.80	1.30

จากตารางที่ 6 ระดับความเหนื่อยจากการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) มีค่าเฉลี่ย 14.60 อยู่ในระดับค่อนข้างเหนื่อย การปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่ระดับความดัน 40% AOP (HIIT-BFR (40)) มีระดับความเหนื่อยเฉลี่ยเท่ากับ 12.00 อยู่ในระดับเริ่มรู้สึกเหนื่อย การปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่ระดับความดัน 60% AOP (HIIT-BFR (60)) มีระดับความเหนื่อยเฉลี่ยเท่ากับ 12.80 อยู่ในระดับเริ่มรู้สึกเหนื่อย และการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่ระดับความดัน 80% AOP (HIIT-BFR (80)) มีระดับความเหนื่อยเฉลี่ยเท่ากับ 12.80 อยู่ในระดับเริ่มรู้สึกเหนื่อย

จำนวนเที่ยวที่สามารถทำได้จากการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่ระดับแรงดัน 40%, 60% และ 80% มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6, 6.80, 7.20 และ 8 เที่ยว ตามลำดับ



ภาพประกอบ 16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของ : (a) ระดับความเหนื่อย (Rating of Perceived Exertion : RPE) และ (b) จำนวนเที่ยวของการปั่นจักรยานที่สามารถทำได้

ตาราง 7 เปรียบเทียบความแตกต่างของระดับความเหนื่อยระหว่างการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับความดัน 40%, 60% และ 80% AOP โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-Way ANOVA with Repeated measures)

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระดับความเหนื่อย (RPE)	18.150	3	6.050	2.495	.110
ความคลาดเคลื่อน (Error)	29.100	12	2.425		

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (One-way ANOVA with Repeated measures) ในตารางที่ 7 พบว่า ระดับความเหนื่อยระหว่างการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงทั้ง 4 เงื่อนไข ไม่แตกต่างกัน ($F=2.495, 3 \quad p=.110$)

การทดลองที่ 2

เปรียบเทียบการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ส่งผลต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

ส่วนที่ 1 แสดงข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ตาราง 8 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ตัวแปรด้านสรีรวิทยา

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
อายุ (ปี)	13.40	0.52
น้ำหนัก (kg.)	82.55	17.60
ส่วนสูง (cm.)	165.20	10.18
ดัชนีมวลกาย (kg./m^2)	29.93	3.84
ไขมัน (%)	46.17	8.89
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (bpm)	198.60	0.52
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (bpm)	90	9.73
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ขณะพัก (mmHg)	129	11.32
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ขณะพัก (mmHg)	76.50	6.41
ความสามารถของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ml/kg/min)	22.01	8.41
การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (%)	7.68	3.21
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (cm/s)	943.05	112.84

จากตาราง 8 กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย 13.40 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 82.55 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 165.20 เซนติเมตร ค่าดัชนีมวลกาย เฉลี่ย 29.93 kg/m^2 มีไขมันเฉลี่ย 46.17 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเฉลี่ย 198.60 ครั้งต่อนาที อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักเฉลี่ย 90 ครั้งต่อนาที ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ขณะพัก เฉลี่ย 129 mmHg ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว ขณะพัก เฉลี่ย 76.50 mmHg ความสามารถในการใช้ออกซิเจน

สูงสุด ($VO_2\text{peak}$) มีค่าเฉลี่ย 22.01 ml/kg/min การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) เฉลี่ย 7.68 % และคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า เฉลี่ย 943.05 cm/s

ตาราง 9 ค่างาน (Work load) ในการปั่นจักรยานและค่าแรงดัน (Arterial occlusion pressure)

กลุ่มตัวอย่าง	ค่างาน (watt) $VO_2\text{peak}$			ค่าแรงดัน (Arterial occlusion pressure) AOP	
	100%	85%	170%	100%	40%
1	90	76.5	153	190	76
2	90	76.5	153	270	108
3	110	93.5	187	150	60
4	90	76.5	153	160	64
5	70	59.5	119	220	88
6	90	76.5	153	240	96
7	90	76.5	153	200	80
8	150	127.5	255	230	92
9	130	110.5	221	280	112
10	110	93.5	187	240	96

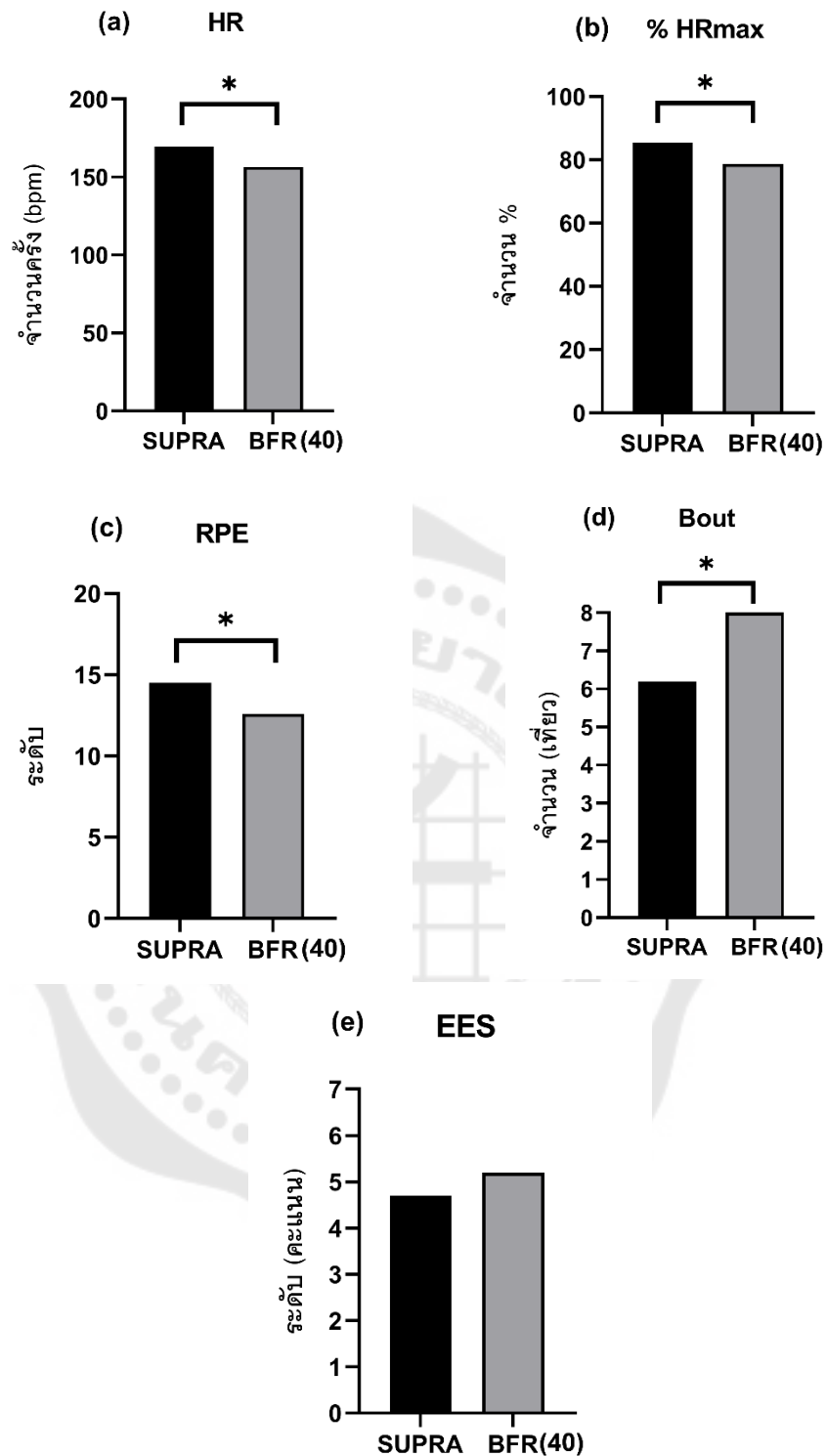
จากตาราง 9 แสดงค่างาน (Work load) ในการปั่นจักรยานและค่าแรงดัน (Arterial occlusion pressure : AOP) ที่ใช้ในการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR)

ตาราง 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ ระดับเปอร์เซ็นต์อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ระดับความเหนื่อย จำนวนเที่ยวของการปั่นจักรยานที่สามารถทำได้ และระดับความเปล็ดเปล็นในการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40% AOP (HIIT-BFR (40)) ด้วยสถิติ Paired T-test

ตัวแปร	การออกกำลังกายแบบสลับช่วง	
	HIIT-SUPRA	HIIT-BFR (40)
	$\bar{X} \pm SD.$	$\bar{X} \pm SD.$
อัตราการเต้นของหัวใจ	169.50 \pm 9.97*	156.50 \pm 13.12
% อัตราการเต้นของหัวใจ	85.34 \pm 4.89*	78.79 \pm 6.47
ระดับความเหนื่อย (RPE)	14.50 \pm 1.72*	12.60 \pm 2.01
จำนวนเที่ยวของการปั่นจักรยานที่สามารถทำได้	6.20 \pm 1.48	8.00 \pm 0.00*
ความเปล็ดเปล็นในการออกกำลังกาย (EES)	4.70 \pm 0.82	5.20 \pm 1.03

* p<.05

จากตาราง 10 พบว่า การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ เปอร์เซนต์อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด และระดับความเหนื่อย (RPE) สูงกว่าการออกกำลังกายกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) แต่ในทางตรงกันข้าม การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากนั้น กลุ่มตัวอย่างสามารถปั่นได้จำนวนเที่ยวที่น้อยกว่าการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<.05) และเมื่อเปรียบเทียบระดับความเปล็ดเปล็นในการออกกำลังกายทั้งสองแบบแล้วไม่แตกต่างกัน



* ($p < .05$)

ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบของ : (a) อัตราการเต้นของหัวใจ , (b) เปอร์เซ็นต์อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด , (c) ระดับความเหนื่อย , (d) จำนวนเที่ยวของการปั่นจักรยานที่สามารถทำได้ , (e) ระดับความเปล็ดเปล็นในการออกกำลังกาย

ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบผลจับพลาสมาการทำงานของหลอดเลือด ของการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตของวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

1. การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD)

ตาราง 11 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

ตัวแปร/ช่วงเวลา	การออกกำลังกายแบบสลับช่วง	
	HIIT-SUPRA $\bar{x} \pm SD.$	HIIT-BFR (40) $\bar{x} \pm SD.$
การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) (%)		
Baseline	7.68 ± 3.21	7.68 ± 3.21
0 min	13.22 ± 2.11	10.73 ± 3.15
10 min	12.64 ± 2.14	11.77 ± 3.83
30 min	10.30 ± 2.47	10.20 ± 2.81
60 min	8.60 ± 2.77	7.96 ± 3.46

จากตาราง 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD)

1. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน เท่ากับ $7.68 \pm 3.21\%$ หลังการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $13.22 \pm 2.11\%$ หลังการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $12.64 \pm 2.14\%$ หลังการออกกำลังกาย 30 นาที

มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $10.30 \pm 2.47\%$ และหลังจากการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $8.60 \pm 2.77\%$

2. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน เท่ากับ $7.68 \pm 3.21\%$ หลังจากการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $10.73 \pm 3.15\%$ หลังจากการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $11.77 \pm 3.83\%$ หลังจากการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $10.20 \pm 2.81\%$ และหลังจากการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $7.96 \pm 3.46\%$

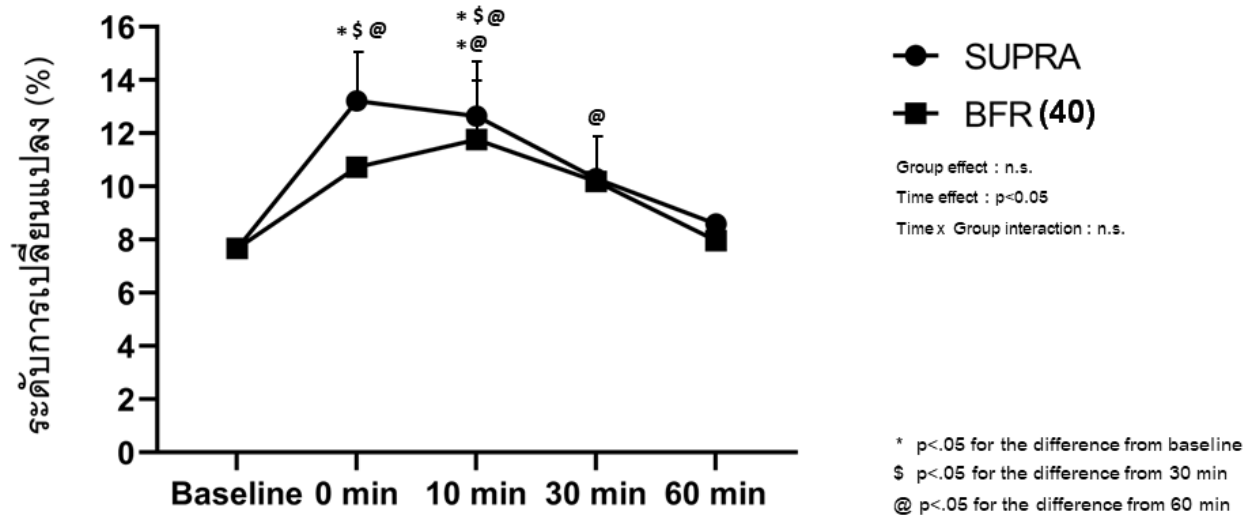
ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม					
เงื่อนไข	16.859	1	16.859	.696	.415
ความคลาดเคลื่อน	435.711	18	24.206		
ภายในกลุ่ม					
ช่วงเวลา	342.156	2.697	126.872	16.33	.001*
เงื่อนไข x ช่วงเวลา	20.102	2.697	7.454	.945	.415
ความคลาดเคลื่อน	379.389	48.544	7.815		

(* $p < .05$)

จากตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ระหว่างการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วง ทั้ง 2 เงื่อนไข ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p > .05$) แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวตามช่วงเวลา พบว่า ในแต่ละเงื่อนไขพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p < .05$)

Flow-mediated dilatation



* ($p < .05$)

ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระดับการเปลี่ยนแปลงการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))

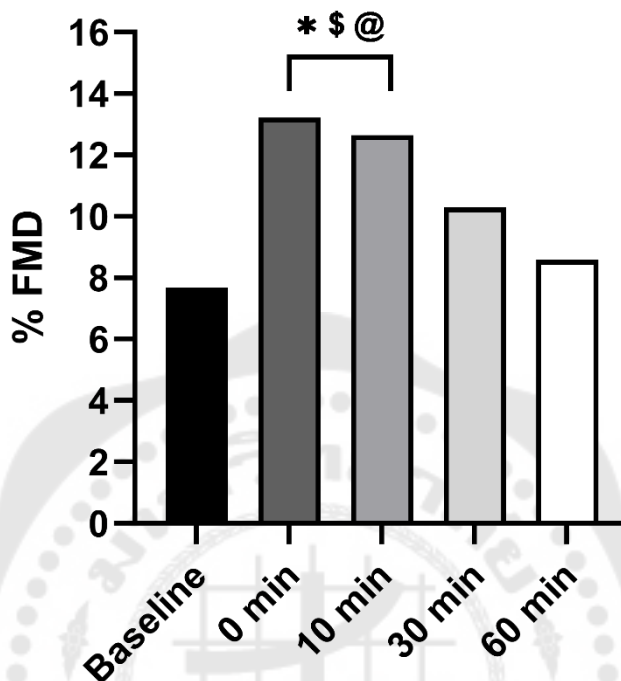
ตาราง 13 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni

ช่วงเวลา	FMD (%)	Baseline	0 min	10 min	30 min	60 min
Baseline	7.68 ± 3.21	-	.001*	.009*	.478	1.000
0 min	13.22 ± 2.11	-	-	1.000	.010*	.004*
10 min	12.64 ± 2.14	-	-	-	.025*	.004*
30 min	10.30 ± 2.47	-	-	-	-	.259
60 min	8.60 ± 2.77	-	-	-	-	-

(*p<.05)

จากตาราง 13 พบว่า การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากเสร็จสิ้นทันที (0 min) และหลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) แตกต่างจากช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p<.05) แต่ช่วงเวลาหลังการฝึกเสร็จสิ้นทันที (0 min) การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน ไม่แตกต่างกับหลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min)

HIIT-SUPRA



ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระดับการเปลี่ยนแปลงการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

* แตกต่างจากก่อนออกกำลังกาย (Baseline) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

\$ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

@ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

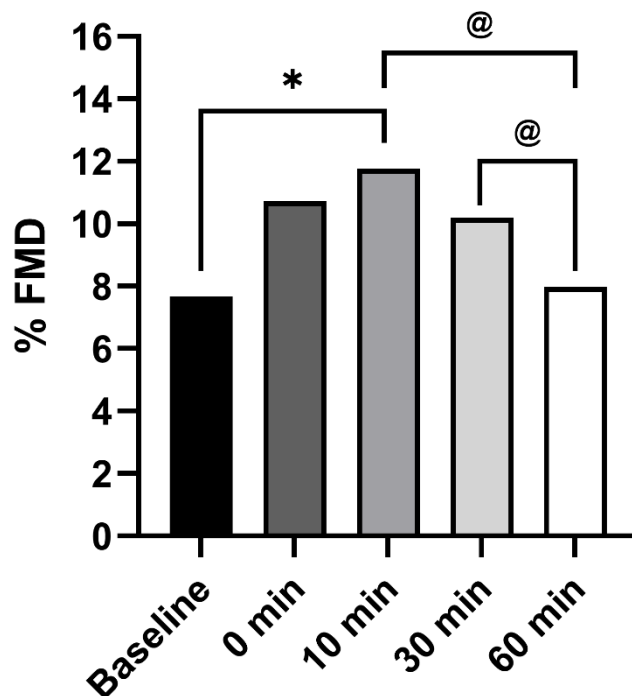
ตาราง 14 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni

ช่วงเวลา	FMD (%)	Baseline	0 min	10 min	30 min	60 min
Baseline	7.68 ± 3.21	-	.166	.044*	.563	1.000
0 min	10.73 ± 3.15	-	-	1.000	1.000	.168
10 min	11.77 ± 3.83	-	-	-	.291	.006*
30 min	10.20 ± 2.81	-	-	-	-	.049*
60 min	7.96 ± 3.46	-	-	-	-	-

(*p<.05)

จากตาราง 14 พบว่า การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเสร็จสิ้น 10 นาที (10 min) แตกต่างจากช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p<.05) และพบอีกว่า หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) มีค่าการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน แตกต่างกับหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p<.05)

HIIT-BFR (40)



ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระดับการเปลี่ยนแปลงการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

* แตกต่างจากก่อนออกกำลังกาย (Baseline) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

@ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV)

ตาราง 15 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

ตัวแปร/ช่วงเวลา	การออกกำลังกายแบบสลับช่วง	
	HIIT-SUPRA $\bar{x} \pm SD.$	HIIT-BFR (40) $\bar{x} \pm SD.$
คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (baPWV) (cm/s)		
Baseline	943.05 \pm 112.84	943.05 \pm 112.84
0 min	712.30 \pm 417.10	898.85 \pm 138.28
10 min	753.80 \pm 278.94	847.80 \pm 129.41
30 min	813.85 \pm 102.45	819.30 \pm 136.51
60 min	889.90 \pm 161.54	859.40 \pm 156.60

จากตาราง 15 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า

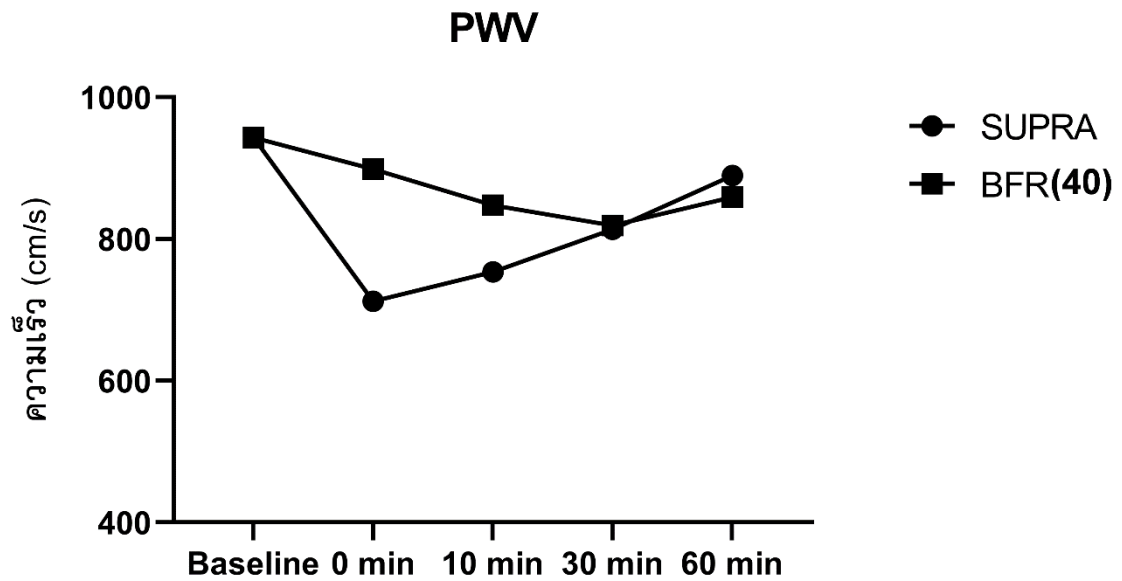
1. ภายใต้งานหนักของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า เท่ากับ 943.05 ± 112.84 cm/s หลังจากการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 712.30 ± 417.10 cm/s หลังจากการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 753.80 ± 278.94 cm/s หลังจากการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 813.85 ± 102.45 cm/s และหลังจากการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 889.90 ± 161.54 cm/s

2. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า เท่ากับ 943.05 ± 112.84 cm/s หลังจากการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 898.85 ± 138.28 cm/s หลังจากการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 847.80 ± 129.41 cm/s หลังจากการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 819.30 ± 136.51 cm/s และหลังจากการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 859.40 ± 156.60 cm/s

ตาราง 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม					
เงื่อนไข	65280.250	1	65280.250	.861	.366
ความคลาดเคลื่อน	1365025.760	18	75834.764		
ภายในกลุ่ม					
ช่วงเวลา	295197.835	1.493	197666.051	2.448	.118
เงื่อนไข x ช่วงเวลา	157704.025	1.493	105599.460	1.308	.279
ความคลาดเคลื่อน	2170750.940	26.882	80752.581		

จากตาราง 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV) ระหว่างการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วง ทั้ง 2 เงื่อนไข ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p > .05$)



ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))

ตาราง 17 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ในช่วงก่อนการ ออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

ตัวแปร/ช่วงเวลา	การออกกำลังกายแบบสลับช่วง	
	HIIT-SUPRA $\bar{x} \pm SD.$	HIIT-BFR (40) $\bar{x} \pm SD.$
ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) (mmHg)		
Baseline	119.10 \pm 12.84	119.10 \pm 12.84
0 min	131.60 \pm 16.88	130.00 \pm 10.49
10 min	118.50 \pm 9.78	114.50 \pm 7.86
30 min	116.90 \pm 11.79	112.50 \pm 8.66
60 min	114.70 \pm 10.23	113.70 \pm 12.24

จากตาราง 17 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจ บีบตัว

1. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว เท่ากับ 119.10 \pm 12.84 mmHg หลังจากการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 131.60 \pm 16.88 mmHg หลังจากการ ออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 118.50 \pm 9.78 mmHg หลังจากการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 116.90 \pm 11.79 mmHg และหลังจากการออกกำลังกาย 60 นาที มี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 114.70 \pm 10.23 mmHg

2. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการ ไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบ ตัว เท่ากับ 119.10 \pm 12.84 mmHg หลังจากการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 130.00 \pm 10.49 mmHg หลังจากการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 114.50 \pm 7.86 mmHg หลังจากการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 112.50 \pm 8.66 mmHg และหลังจากการ ออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 113.70 \pm 12.24 mmHg

ตาราง 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม					
เงื่อนไข	121.000	1	121.000	.245	.626
ความคลาดเคลื่อน	8883.840	18	493.547		
ภายในกลุ่ม					
ช่วงเวลา	3740.240	2.696	1387.314	20.570	.001*
เงื่อนไข x ช่วงเวลา	73.600	2.696	27.299	0.405	.729
ความคลาดเคลื่อน	3272.960	48.529	67.444		

(* $p < .05$)

จากตาราง 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) ระหว่างการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วง ทั้ง 2 เงื่อนไข ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p > .05$) แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวตามช่วงเวลา พบว่า ในแต่ละเงื่อนไขพบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ($p < .05$)

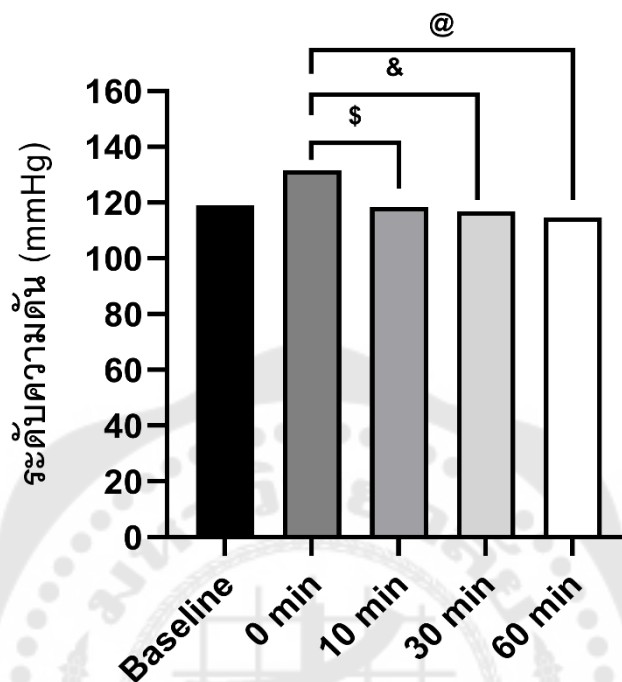
ตาราง 19 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni

ช่วงเวลา	SYS (bpm)	Baseline	0 min	10 min	30 min	60 min
Baseline	119.10 ± 12.84	-	.064	1.000	1.000	1.000
0 min	131.60 ± 16.88	-	-	.026*	.002*	.002*
10 min	118.50 ± 9.78	-	-	-	1.000	1.000
30 min	116.90 ± 11.79	-	-	-	-	1.000
60 min	114.70 ± 10.23	-	-	-	-	-

(*p<.05)

จากตาราง 19 พบว่า ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากเสร็จสิ้นทันที (0 min) แตกต่างจากช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p<.05)

Systolic blood pressure (HIIT-SUPRA)



ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

\$ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

& แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

@ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

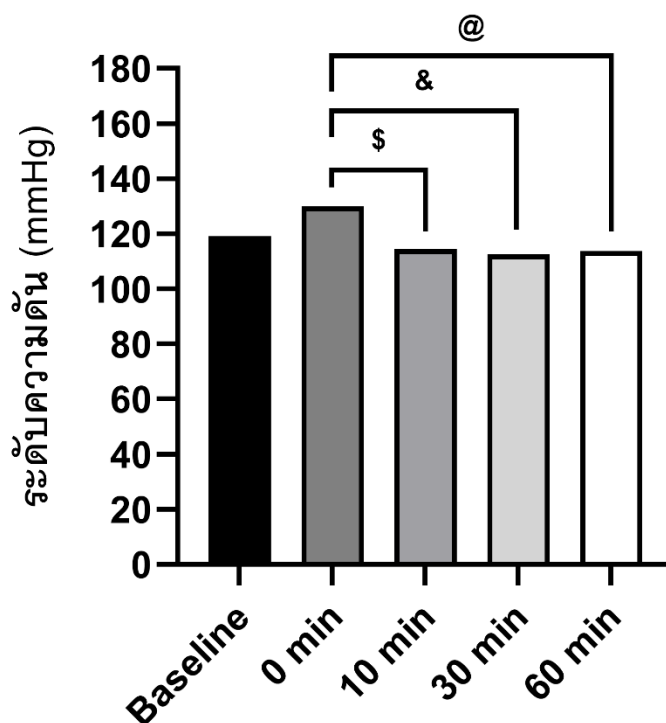
ตาราง 20 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni

ช่วงเวลา	SYS (bpm)	Baseline	0 min	10 min	30 min	60 min
Baseline	119.10 ± 12.84	-	.150	1.000	.113	.589
0 min	130.00 ± 10.49	-	-	.006*	.001*	.002*
10 min	114.50 ± 7.86	-	-	-	1.000	1.000
30 min	112.50 ± 8.66	-	-	-	-	1.000
60 min	113.70 ± 12.24	-	-	-	-	-

(*p<.05)

จากตาราง 20 พบว่า ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตเสร็จสิ้นทันที (0 min) แตกต่างจากช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p<.05)

Systolic blood pressure (HIIT-BFR)(40)



ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

\$ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

& แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

@ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 21 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

ตัวแปร/ช่วงเวลา	การออกกำลังกายแบบสลับช่วง	
	HIIT-SUPRA	HIIT-BFR (40)
	$\bar{x} \pm SD.$	$\bar{x} \pm SD.$
ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) (mmHg)		
Baseline	61.80 \pm 11.26	61.80 \pm 11.26
0 min	61.40 \pm 11.35	59.60 \pm 9.54
10 min	62.30 \pm 6.93	61.80 \pm 8.74
30 min	63.20 \pm 6.83	61.20 \pm 6.23
60 min	64.00 \pm 10.43	58.70 \pm 8.51

จากตาราง 21 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Systolic blood pressure)

1. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว เท่ากับ 61.80 \pm 11.26 mmHg หลังการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.40 \pm 11.35 mmHg หลังการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 62.30 \pm 6.93 mmHg หลังการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63.20 \pm 6.83 mmHg และหลังการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.00 \pm 10.43 mmHg

2. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว เท่ากับ 61.80 \pm 11.26 mmHg หลังการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 59.60 \pm 9.54 mmHg หลังการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.80 \pm 8.74 mmHg หลังการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 61.20 \pm 6.23 mmHg และหลังการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.70 \pm 8.51 mmHg

ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม					
เงื่อนไข	92.160	1	92.160	.360	.556
ความคลาดเคลื่อน	4614.200	18	256.344		
ภายในกลุ่ม					
ช่วงเวลา	37.460	2.914	12.857	.213	.882
เงื่อนไข*ช่วงเวลา	85.740	2.914	29.427	.487	.687
ความคลาดเคลื่อน	3168.800	52.445	62.421		

จากตาราง 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคลื่นความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ระหว่างการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วง ทั้ง 2 เงื่อนไข ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p > .05$)

ตาราง 23 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

ตัวแปร/ช่วงเวลา	การออกกำลังกายแบบสลับช่วง	
	HIIT-SUPRA $\bar{x} \pm SD.$	HIIT-BFR (40) $\bar{x} \pm SD.$
ความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure) (mmHg)		
Baseline	82.00 \pm 15.83	82.00 \pm 15.83
0 min	87.10 \pm 10.54	88.10 \pm 10.67
10 min	84.90 \pm 6.64	84.10 \pm 9.52
30 min	85.60 \pm 6.95	84.80 \pm 8.43
60 min	85.20 \pm 10.92	82.80 \pm 9.47

จากตาราง 23 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure)

1. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตเฉลี่ย เท่ากับ 82.00 \pm 15.83 mmHg หลังจากรายการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 87.10 \pm 10.54 mmHg หลังจากรายการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.90 \pm 6.64 mmHg หลังจากรายการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85.60 \pm 6.95 mmHg และหลังจากรายการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 85.20 \pm 10.92 mmHg

2. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยความดันโลหิตเฉลี่ย เท่ากับ 82.00 \pm 15.83 mmHg หลังจากรายการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.10 \pm 10.67 mmHg หลังจากรายการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.10 \pm 9.52 mmHg หลังจากรายการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.80 \pm 8.43 mmHg และหลังจากรายการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.80 \pm 9.47 mmHg

ตาราง 24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม					
เงื่อนไข	9.000	1	9.000	.024	.878
ความคลาดเคลื่อน	6650.640	18	369.480		
ภายในกลุ่ม					
ช่วงเวลา	329.440	2.438	135.128	1.461	.242
เงื่อนไข x ช่วงเวลา	31.200	2.438	12.797	.138	.906
ความคลาดเคลื่อน	4060.160	43.884	92.521		

จากตาราง 24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนคลื่นความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure) ระหว่างการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วง ทั้ง 2 เงื่อนไข ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p > .05$)

ตาราง 25 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

ตัวแปร/ช่วงเวลา	การออกกำลังกายแบบสลับช่วง	
	HIIT-SUPRA $\bar{x} \pm SD.$	HIIT-BFR (40) $\bar{x} \pm SD.$
อัตราการเต้นของหัวใจ (bpm)		
Baseline	84.30 \pm 11.01	84.30 \pm 11.01
0 min	110.70 \pm 9.19	105.30 \pm 6.62
10 min	102.10 \pm 5.69	94.90 \pm 8.91
30 min	94.60 \pm 9.09	86.50 \pm 7.93
60 min	87.40 \pm 10.82	83.50 \pm 12.42

จากตาราง 25 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate)

1. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ เท่ากับ 84.30 ± 11.01 bpm หลังจากการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 110.70 ± 9.19 bpm หลังจากการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 102.10 ± 5.69 bpm หลังจากการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.60 ± 9.09 bpm และหลังจากการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 87.40 ± 10.82 bpm

2. ภายใต้เงื่อนไขการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) พบว่า ก่อนออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ เท่ากับ 84.30 ± 11.01 bpm หลังจากการออกกำลังกายทันที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 105.30 ± 6.62 bpm หลังจากการออกกำลังกาย 10 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.90 ± 8.91 bpm หลังจากการออกกำลังกาย 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 86.50 ± 7.93 bpm และหลังจากการออกกำลังกาย 60 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 83.50 ± 12.42 bpm

ตาราง 26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40))

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F	Sig
ระหว่างกลุ่ม					
เงื่อนไข	605.160	1	605.160	1.835	.192
ความคลาดเคลื่อน	5937.480	18	329.860		
ภายในกลุ่ม					
ช่วงเวลา	7865.940	2.392	3288.589	66.534	.001*
เงื่อนไข x ช่วงเวลา	203.940	2.392	85.263	1.699	.190
ความคลาดเคลื่อน	2160.520	43.054	50.182		

(* $p < .05$)

จากตาราง 26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ระหว่างการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วง ทั้ง 2 เงื่อนไข ในช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ($p > .05$) แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวตามช่วงเวลา พบว่า ในแต่ละเงื่อนไขพบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ($p < .05$)

ตาราง 27 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni

ช่วงเวลา	HR (bpm)	Baseline	0 min	10 min	30 min	60 min
Baseline	84.30 ± 11.01	-	.001*	.001*	.011*	1.000
0 min	110.70 ± 9.19	-	-	.001*	.001*	.001*
10 min	102.10 ± 5.69	-	-	-	.001*	.001*
30 min	94.60 ± 9.09	-	-	-	-	.049*
60 min	87.40 ± 10.82	-	-	-	-	-

(*p<.05)

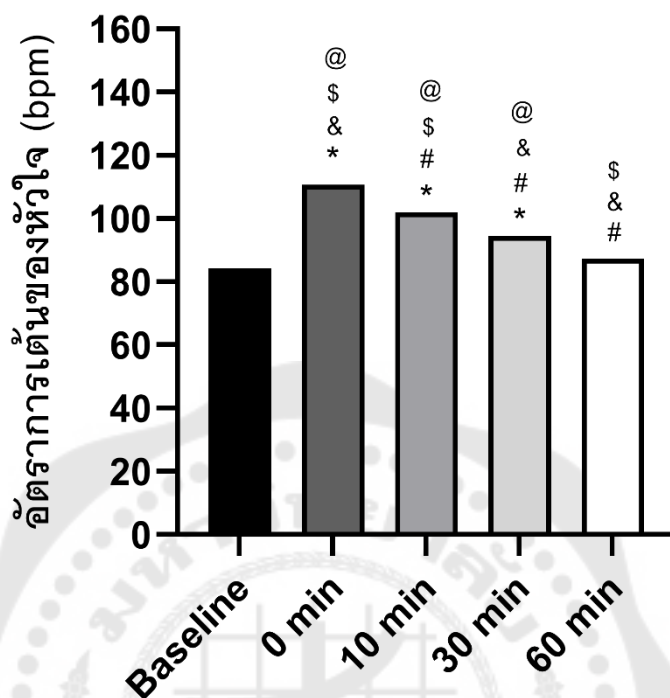
จากตาราง 27 พบว่า

1. ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากเสร็จสิ้นทันที (0 min) แตกต่างจากช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p < .05$)

2. ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) แตกต่างจากช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p < .05$)

3. ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) แตกต่างจากช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p < .05$)

HIIT-SUPRA



ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

* แตกต่างจากก่อนออกกำลังกาย (Baseline) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

แตกต่างหลังออกกำลังกายทันที (0 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

\$ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

& แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

@ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 28 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) ด้วยวิธีของ Bonferroni

ช่วงเวลา	HR (bpm)	Baseline	0 min	10 min	30 min	60 min
Baseline	84.30 ± 11.01	-	.001*	.035*	1.000	1.000
0 min	105.30 ± 6.62	-	-	.001*	.001*	.001*
10 min	94.90 ± 8.91	-	-	-	.001*	.008*
30 min	86.50 ± 7.93	-	-	-	-	1.000
60 min	83.50 ± 12.42	-	-	-	-	-

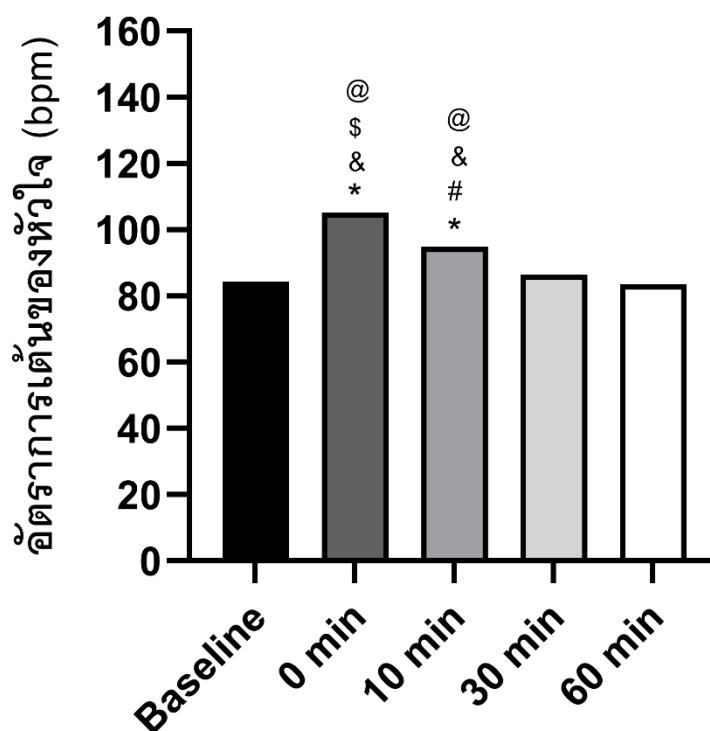
(*p<.05)

จากตาราง 28 พบว่า

1. ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากเสร็จสิ้นทันที (0 min) แตกต่างจากช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p<.05)

2. ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) แตกต่างจากช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p<.05)

HIIT-BFR(40)



ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) จากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) ในช่วงก่อนออกกำลังกาย (Baseline) หลังออกกำลังกายทันที (0 min) หลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) หลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) และหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min)

* แตกต่างจากก่อนออกกำลังกาย (Baseline) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

แตกต่างหลังออกกำลังกายทันที (0 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

\$ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 10 นาที (10 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

& แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 30 นาที (30 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

@ แตกต่างจากหลังออกกำลังกาย 60 นาที (60 min) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการศึกษาผลฉับพลันของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการออกกำลังกายที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับแรงดันที่เหมาะสมของการจำกัดการไหลเวียนโลหิตบางส่วน (Blood flow restriction) ร่วมกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (High-intensity interval training) ที่ส่งผลต่อการทำงานของร่างกายให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high-intensity interval training) และเปรียบเทียบความแตกต่างของหน้าที่การทำงานของหลอดเลือด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

1. การทดลองที่ 1 การศึกษาเบื้องต้น (Pilot study) เป็นการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจ ระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high-intensity interval training) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ใช้ระดับแรงดันที่แตกต่างกัน

2. การทดลองที่ 2 นำผลที่ได้จากการศึกษาที่ 1 มาศึกษาเปรียบเทียบผลฉับพลันของการทำงานของหลอดเลือดระหว่างการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงและการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

จากข้อมูลผลการศึกษาและทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ สามารถสรุปผลการวิจัย โดยแบ่งหัวข้อการสรุปผลได้ดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. การทดลองที่ 1

1.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ

ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high-intensity interval training : HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตที่ระดับแรงดัน 40, 60 และ 80% AOP

(High-intensity interval training with blood flow restriction : HIIT-BFR) มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกระดับแรงดันที่ 40% AOP มาใช้ในการทดลองที่ 2 เนื่องจากอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการเต้นหัวใจเฉลี่ยของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ทั้งนี้ระดับแรงดันดังกล่าวยังเป็นระดับแรงดันที่น้อยที่สุด และมีความเสี่ยงกับกลุ่มตัวอย่างน้อยที่สุดอีกด้วย

1.2 ระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion (RPE))

การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกายอยู่ในระดับค่อนข้างเหนื่อย ส่วนการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต มีระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย อยู่ในระดับเริ่มรู้สึกเหนื่อย

2. การทดลองที่ 2

2.1 ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ

การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ มากกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2.2 การขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD)

หลังออกกำลังกายเสร็จสิ้นทันที มีค่าเฉลี่ยการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน เพิ่มขึ้นต่างจากก่อนออกกำลังกาย (Baseline) และลดลงมาใกล้เคียงกับก่อนออกกำลังกาย เมื่อออกกำลังกายเสร็จสิ้นแล้ว 60 นาที และไม่พบความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 เงื่อนไข

2.3 คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV)

หลังออกกำลังกายเสร็จสิ้นทันที มีค่าเฉลี่ยคลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า ลดลงต่างจากก่อนออกกำลังกาย (Baseline) และเพิ่มขึ้นมาใกล้เคียงกับก่อนออกกำลังกาย เมื่อออกกำลังกายเสร็จสิ้นแล้ว 60 นาที และไม่พบความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 เงื่อนไข

2.4 ความดันโลหิต (Blood pressure)

ค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) หลังออกกำลังกายเสร็จสิ้นทันที มีค่าสูงกว่าก่อนออกกำลังกาย (Baseline) และลดลงหลังออกกำลังกาย 10 นาที ไปจนถึง 60 นาที แต่ไม่พบความแตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 เงื่อนไข และ

ไม่พบความแตกต่างค่าเฉลี่ยความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure) ของการออกกำลังกาย ทั้ง 2 เงื่อนไข

2.5 ความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure)

ไม่พบความแตกต่างของความดันโลหิตเฉลี่ย จากการออกกำลังกาย ทั้ง 2 เงื่อนไข

2.6 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) หลังออกกำลังกาย

อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย หลังออกกำลังกายเสร็จสิ้นทันที สูงขึ้นมากกว่าก่อนออกกำลังกาย (Baseline) และลดลงกลับมาใกล้เคียงกับก่อนออกกำลังกาย หลังจากออกกำลังกาย ผ่านไป 60 นาที แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่าง 2 เงื่อนไข

2.6 ระดับความเหนื่อยของการออกกำลังกาย (Rating of Perceived Exertion (RPE))

ไม่พบความแตกต่างของระดับความเหนื่อย ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 2 เงื่อนไข แต่การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก มีแนวโน้มเหนื่อยมากกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต

2.7 ระดับความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย (Exercise enjoyment scale (EES))

ไม่พบความแตกต่างของระดับความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย ระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 2 เงื่อนไข แต่การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR (40)) มีแนวโน้มสนุกมากกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA)

อภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยนี้ได้พบว่า การศึกษาเบื้องต้นของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR) ที่ระดับแรงดัน 40% AOP ในกลุ่มวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นใกล้เคียงกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และเมื่อศึกษาถึงการทำงานของหลอดเลือด พบว่าหลังออกกำลังกาย มีค่าเฉลี่ยการขยายของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (FMD) เพิ่มขึ้น คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (baPWV) ลดลง และความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว หลังออกกำลังกายเสร็จสิ้นทันที เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังไม่พบความแตกต่างของการทำงานของหลอดเลือดระหว่างการออกกำลังกายทั้ง 2 เงื่อนไขนี้ แสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ส่งผลดีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วนได้ เทียบเท่ากับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก

การออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval training) เป็นรูปแบบการออกกำลังกายที่ใช้เวลาไม่นาน มีช่วงการออกกำลังกายที่หนักสลับกับการออกกำลังกายที่เบาหรือหยุดพัก ในระยะสั้น ๆ (Gibala et al., 2018; MacInnis & Gibala, 2017) มีทั้งระดับความหนักต่ำ ความหนักปานกลาง ความหนักสูง และความหนักสูงมาก (Gibala et al., 2018) จากการศึกษาที่ผ่านมาบ่งชี้ว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง สามารถพัฒนาการทำงานของหลอดเลือดได้ดีขึ้นหลังจากออกกำลังกาย ส่งผลให้ค่าการขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียนเพิ่มมากขึ้น (Ghardashi Afousi et al., 2018; O'BRIEN et al., 2020; Ramos et al., 2015) แต่ถึงอย่างไรก็ตาม ยังมีรายงานถึงการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เกิดขึ้นจากโปรแกรมการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ใช้ความหนักสูง (Rynecki et al., 2019)

การออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction : BFR) ถือเป็นกรออกกำลังกายทางเลือกหนึ่งที่ใช้ความหนักของการออกกำลังกายที่น้อย โดยใช้สายรัด พันรัดไว้บริเวณส่วนต้นของแขนหรือขา และค่อยๆ เพิ่มแรงดันภายนอกให้บีบรัดกล้ามเนื้อเพื่อจำกัดการไหลของเลือดแดงบางส่วนบริเวณหลอดเลือดแดง และปิดกั้นการไหลของหลอดเลือดดำบริเวณกล้ามเนื้อที่ทำงานระหว่างการออกกำลังกายนั้น เป็นการออกกำลังกายที่ไม่ต้องใช้ระดับความหนักในการออกกำลังกายที่สูงมาก (Patterson et al., 2019; Scott et al., 2015) จากการทดลองที่ 1 เห็นได้ว่า การออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่ระดับแรงดัน 40% AOP สามารถกระตุ้นให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงได้ถึง 81.15 % ของอัตราการเต้นของ

หัวใจสูงสุด และใกล้เคียงกับอัตราการเต้นของหัวใจหลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่มีความหนักสูงมาก ที่มีค่าเฉลี่ย 82.67 % ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด มีรายงานก่อนหน้านี้ว่าอัตราการเต้นของหัวใจของผู้ใหญ่เพศชายและหญิงที่มีภาวะอ้วน ขณะปั่นจักรยานโดยใช้การจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่ระดับแรงดัน 40 และ 60 มิลลิเมตรปรอท ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้น 70% และ 85% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ตามลำดับ (Karabulut & Garcia, 2017) และสอดคล้องกับรายงานการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าอัตราการเต้นของหัวใจของนักกีฬาที่ปั่นจักรยานแบบสลับช่วงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต สูงขึ้นประมาณ 88-91% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Willis et al., 2016) และเป็นที่น่าสนใจว่าการทำงานของหลอดเลือดจะเป็นอย่างไร

การขยายตัวของหลอดเลือดเมื่อถูกปิดกั้นการไหลเวียน (Flow-mediated dilatation : FMD) เป็นวิธีที่นิยมใช้ประเมินหน้าที่การทำงานของหลอดเลือด ที่ไม่รุกร้าให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย (Non-invasive techniques) ด้วยการใช้อัลตราซาวด์ดูการเปลี่ยนแปลงเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดเลือด ถือเป็นตัวบ่งชี้สำคัญที่บ่งชี้ถึงการทำงานของเยื่อผนังหลอดเลือด เป็นการประเมินทางอ้อมของการสร้างสารขยายหลอดเลือดที่สำคัญหลังจากการเกิดแรงเฉือน (Shear stress) ภายในหลอดเลือด นั่นคือ ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) ซึ่งเป็นสารหลักที่หลั่งออกมาจากเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด ช่วยควบคุมความสมดุลของหลอดเลือด ป้องกันเกิดหลอดเลือดเกาะตัวในหลอดเลือด และยับยั้งไม่ให้เกิดหลอดเลือดแข็งตัว (Krüger-Genge, Blocki, Franke, & Jung, 2019) ในปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับผลของ FMD จากการออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (BFR) ในกลุ่มวัยรุ่นยังมีไม่มากนัก แต่มีการศึกษาในกลุ่มวัยอื่นๆ เช่น การออกกำลังกายด้วยแรงต้านในกลุ่มผู้ใหญ่วัยหนุ่มสาวและผู้สูงอายุ (Amorim, Gaspar, Degens, & De Matos, 2019; Atkinson et al., 2015; Early et al., 2020; Paiva et al., 2016; Pereira-Neto et al., 2021) การออกกำลังกายแบบแอโรบิกในผู้ใหญ่วัยหนุ่มสาว (Alali, Lucas, Junejo, & Fisher, 2022) การออกกำลังกายแบบสลับช่วงในผู้ใหญ่วัยหนุ่มสาว (Stray-Gundersen et al., 2020) หรือแม้กระทั่งในกลุ่มผู้ป่วย (Qiu et al., 2018) และได้ผลที่แตกต่างกันออกไป และงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยแรกที่ศึกษาเปรียบเทียบผลการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วนในประเทศไทย โดยใช้การออกกำลังกายด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (Blood flow restriction) หรือ BFR มาเปรียบเทียบกับ การออกกำลังกายที่มีความหนักสูงมาก (Supramaximal) ในลักษณะของการออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Interval training) ด้วยการปั่นจักรยานวัดงาน จำนวน 8 เทียวก แต่ละเทียวกมีช่วงการปั่น 20 วินาที ช่วงพัก 10 วินาที และ

ทำการออกกำลังกายเพียงครั้งเดียว (Single session) เพื่อประเมินผลจับพลาสมาการทำงานของหลอดเลือด ซึ่งการวิจัยนี้ไม่มีกลุ่มตัวอย่างหยุดหรือออกจากการศึกษา จึงทำให้ได้ข้อมูลที่พบว่า

ผลจับพลาสมา FMD เพิ่มขึ้นหลังจากออกกำลังกายเสร็จสิ้นทันทีและยาวนานไปจนถึง 60 นาที จึงลดลงมาใกล้เคียงกับก่อนออกกำลังกาย ปรัชญาการนี้เกิดขึ้นเหมือนกันหลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR) ที่ระดับแรงดัน 40% AOP ทั้งนี้ระดับการเปลี่ยนแปลงของ FMD สูงสุด ของการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) พบในช่วงหลังออกกำลังกายเสร็จสิ้นทันที (13.22 ± 2.11 %) และการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR) ที่ระดับแรงดัน 40% AOP จะพบหลังออกกำลังกาย 10 นาที (11.77 ± 3.83 %) การออกกำลังกายทั้ง 2 เดือนไขสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา ที่พบว่า ผลจับพลาสมา FMD เด็กอ่อนเพิ่มขึ้นหลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (Supramaximal high-intensity interval training $170\% \text{VO}_2\text{peak}$) เมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย (Chuensiri et al., 2015) แต่ก็มีบางรายงานระบุว่า เมื่อเดินออกกำลังกายแบบสลับช่วงร่วมกับการจำกัดการไหลเวียนโลหิต จำนวน 5 ช่วง (เดิน 2 นาที พัก 1 นาที) พบว่าค่า FMD หลังออกกำลังกายทันทีและ 60 นาที ไม่แตกต่างกับก่อนออกกำลังกาย (Stray-Gundersen et al., 2020) และที่ผ่านมาเร็ว ๆ นี้ ยังมีผลการศึกษากการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยาน 2 เดือนไข (มีและไม่มีการจำกัดการไหลเวียนโลหิต) เป็นเวลา 30 นาที และการนั่งเฉยๆ (เดือนไขควบคุม) พบว่า หลังออกกำลังกายทั้ง 3 เดือนไข ค่า FMD เพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนออกกำลังกาย แต่ไม่แตกต่างกัน (Alali et al., 2022) จึงเห็นได้ว่าการออกกำลังกายทั้ง 2 เดือนไข ส่งผลดีไม่แตกต่างกันต่อการเพิ่มขึ้นของค่า FMD ในระยะจับพลาสมาหลังออกกำลังกาย

คลื่นความดันชีพจรระหว่างต้นแขนและข้อเท้า (brachial Pulse wave velocity : baPWV) เป็นอีกตัวบ่งชี้หนึ่งในการทำงานของหลอดเลือด บอกถึงความเสี่ยงต่อการแข็งตัวของหลอดเลือดส่วนปลาย ผลจากการวิจัยนี้ ค่า baPWV หลังการออกกำลังกายทั้ง 2 เดือนไขเสร็จสิ้นทันทีจนถึง 60 นาที ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่าง 2 เดือนไข แสดงให้เห็นได้ว่าการออกกำลังกายทั้ง 2 เดือนไข เป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาของ นภัสกรและคณะ (2015) ที่พบว่า ผลจับพลาสมาของค่า baPWV ของเด็กอ่อน มีค่าลดลงทันทีหลังออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนัก 130 และ $170\% \text{VO}_2\text{peak}$ (Chuensiri et al., 2015) และการศึกษาของ แสง และคณะ (2022) ที่พบว่า หลังจากออกกำลังกายแบบแอโรบิคด้วยการ

ปั่นจักรยานจนหมดแรง เสร็จสิ้นทันที ระดับ baPWV ของผู้ชายที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง มีค่าลดลงต่ำกว่าก่อนออกกำลังกาย (Zang et al., 2022) และยังรวมไปถึง รายงาน Meta analysis ที่ระบุว่า ค่า baPWV ลดลงอย่างชัดเจนในช่วง 30 นาที หลังจากออกกำลังกายแบบสลับช่วง (Saz-Lara et al., 2021) นอกจากนี้ยังพบอีกว่า หลังออกกำลังกายทั้ง 2 เงื่อนไข ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure) เพิ่มขึ้นทันทีหลังออกกำลังกาย แต่หลังจากออกกำลังกาย 10 นาที ไปจนถึง 60 นาที จะลดลงต่ำกว่าก่อนออกกำลังกาย เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงภายหลังออกกำลังกาย (Post exercise hypotension) ซึ่งที่ผ่านมาการศึกษาพบว่า หลังออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (90%HRpeak) ด้วยการปั่นจักรยาน 4 เทียวยาวละ 5 นาที ส่งผลให้ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของผู้ใหญ่ที่มีภาวะ Metabolic syndrome มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย (Morales-Palomo, Ramirez-Jimenez, Ortega, Pallares, & Mora-Rodriguez, 2017) สอดคล้องกับรายงานการศึกษาอีกชิ้นหนึ่ง ที่ศึกษาในผู้ใหญ่ที่เป็นโรคเบาหวานและพบว่า หลังวิ่งแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง (100%VO₂max) 20 รอบ รอบละ 30 วินาที พัก 30 วินาที ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวลดลงต่ำกว่าก่อนออกกำลังกาย (Teles et al., 2022) ความดันโลหิตเฉลี่ย (Mean arterial pressure) และอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) เพิ่มขึ้นทันทีหลังออกกำลังกายเสร็จสิ้น และค่อยๆ ลดลงหลังจากออกกำลังกายเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที นอกจากนี้ในงานวิจัยยังมีข้อค้นพบอีก เช่น การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต มีระดับความเหนื่อยที่น้อยกว่า มีความสนุกมากกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก และกลุ่มตัวอย่างสามารถออกกำลังกายได้ครบ 8 เทียวยที่กำหนด ตรงข้ามกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ที่สามารถทำได้เฉลี่ยเพียง 6 รอบเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายที่ใช้ความหนักสูงอาจยังไม่เหมาะสมกับวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ขณะออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตนั้น กล้ามเนื้อจะถูกบีบรัดจากแรงดันภายนอก การไหลเวียนของเลือดแดงบางส่วนถูกจำกัด และลดการไหลของหลอดเลือดดำ ส่งผลให้การขนส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อลดน้อยลงจนเกิดความไม่สมดุลของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และทำให้เกิดภาวะความเครียดต่อกล้ามเนื้อมากขึ้น (Freitas, Karabulut, & Bembem, 2021; Patterson et al., 2019; Scott et al., 2015) ร่างกายก็จะกระตุ้นให้เกิดการปรับตัวทางสรีรวิทยาโดยเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ (Bennett & Slattery, 2019) เพื่อเพิ่มการไหลเวียนเลือดแดงไปยังกล้ามเนื้อที่ทำงานมากขึ้น เกิดการไหลของเลือดแดงภายในหลอดเลือดมากขึ้น แรงเฉือน (Shear stress) ที่

ไปกระทบกับเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือดก็มากขึ้นตามไปด้วย และเกิดการหลั่งสารขยายหลอดเลือด (ไนตริกออกไซด์) จนทำให้หลอดเลือดเกิดการขยายตัว และเมื่อปล่อยแรงดันจากการบีบรัดหลังการออกกำลังกายแล้วนั้น การไหลของเลือดก็จะมาเพิ่มมากขึ้น เกิดแรงเฉือน (Shear stress) ที่สูงขึ้นอีก และเพิ่มการหลั่งสารขยายหลอดเลือดมากตามไปด้วย (Pignanelli, Christiansen, & Burr, 2021) และจากกลไกเหล่านี้ จึงส่งผลกระทบต่อค่า FMD เพิ่มขึ้นและค่า baPWV ลดลง หลังจากการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิตและการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก ดังนั้น สรุปผลจากการวิจัยนี้ จึงแสดงให้เห็นว่า การออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR) ที่ระดับแรงดัน 40% AOP มีระดับความเหนื่อยน้อยกว่าและส่งผลดีในระยะจับพลังต่อการทำงานของหลอดเลือดของวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วนได้เหมือนกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก

การวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในหลายประการ ได้แก่ ประการแรก การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาผลจับพลังเท่านั้น เพื่อดูทิศทางการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของหลอดเลือด ประการต่อมา เป็นการศึกษาผลของการทำงานของหลอดเลือดในกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก และไม่ได้ระบุเกี่ยวกับระดับการเจริญเติบโตทางเพศ (Tanner stage) ประการที่สาม ในระหว่างการทดลองที่ใช้ความหนักสูงมากนั้น ปรากฏว่ามีกลุ่มตัวอย่างบางรายที่ไม่สามารถทำได้ครบ เกิดอาการปวดหรือล้ากล้ามเนื้อต้นขาจากการปั่นที่ระดับความหนักสูงมาก ประการสุดท้าย อุปกรณ์การฝึก Blood flow restriction เป็นแบบทั่วไป ขณะออกกำลังกาย แรงดันที่บีบรัดอาจจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ตรวจเช็คระดับแรงดันอย่างสม่ำเสมอตลอดการฝึกเพื่อลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น

ข้อเสนอแนะ

การออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต (HIIT-BFR) ที่ระดับแรงดัน 40% AOP เป็นรูปแบบการออกกำลังกายที่ใช้น้ำหนักที่น้อยกว่าการออกกำลังกายแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมาก (HIIT-SUPRA) และเหมาะสมกับผู้มีภาวะอ้วน ส่งผลดีในระยะจับพลังหลังจากออกกำลังกายเพียงครั้งเดียว มีความน่าสนใจในการนำไปศึกษาเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงการทำงานของหลอดเลือดในระยะยาวในกลุ่มผู้มีภาวะอ้วนต่อไป หรือเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของการออกกำลังกายและการหยุดพัก อย่างไรก็ตามควรออกแบบโปรแกรมให้มีความเหมาะสมเพื่อลดโอกาสการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ต่างๆ ได้

บรรณานุกรม

- Alali, M. H., Lucas, R. A. I., Junejo, R. T., & Fisher, J. P. (2022). Impact of acute dynamic exercise and arterial shear rate modification on radial artery low-flow mediated constriction in young men. *European journal of applied physiology*.
- Alpsoy, S., Akyuz, A., Akkoyun, D. C., Nalbantoglu, B., Topcu, B., Tulubas, F., . . . Donma, M. M. (2020). Is overweight a risk of early atherosclerosis in childhood? *Angiology*, 71(5).
- Amorim, S., Gaspar, A. P., Degens, H., & De Matos, L. (2019). The effects of blood flow restriction exercise on vascular function in the elderly: a systematic review. *Intergr Clin Med*, 3(1), 1-6.
- Atkinson, C. L., Carter, H. H., Dawson, E. A., Naylor, L. H., Thijssen, D. H., & Green, D. J. (2015). Impact of handgrip exercise intensity on brachial artery flow-mediated dilation. *European journal of applied physiology*, 115(8), 1705-1713.
- Barili, A., Corralo, V. d. S., Cardoso, A. M., Mânica, A., Bonadiman, B. d. S. R., Bagatini, M. D., . . . De Sá, C. A. (2018). Acute responses of hemodynamic and oxidative stress parameters to aerobic exercise with blood flow restriction in hypertensive elderly women. *Molecular Biology Reports*, 45(5), 1099-1109.
- Bennett, H., & Slattery, F. (2019). Effects of Blood Flow Restriction Training on Aerobic Capacity and Performance: A Systematic Review. *J Strength Cond Res*, 33(2), 572-583.
- Bond, B., Weston, K. L., Williams, C. A., & Barker, A. R. (2017). Perspectives on high-intensity interval exercise for health promotion in children and adolescents. *Open access journal of sports medicine*, 8, 243-265.
- Brandner, C. R., May, A. K., Clarkson, M. J., & Warmington, S. A. (2018). Reported side-effects and safety considerations for the use of blood flow restriction during exercise in practice and research. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 114-121.
- Cahill, P. A., & Redmond, E. M. (2016). Vascular endothelium—gatekeeper of vessel health. *Atherosclerosis*, 248, 97-109.

- Cheunsiri, N. (2021). การประยุกต์ใช้ การฝึก การจำกัด การไหล เวียน เลือด ร่วม กับ การ ออก กำลัง กาย แบบ ใช้ แรง ต่ำ และ แอโรบิก. *Journal of Sports Science and Health*, 22(1), 1-17.
- Cho, J., & Baek, H. J. (2020). A Comparative Study of Brachial–Ankle Pulse Wave Velocity and Heart–Finger Pulse Wave Velocity in Korean Adults. *Sensors*, 20(7), 2073.
- Chuensiri, N., Tanaka, H., & Suksom, D. (2015). The acute effects of supramaximal high-intensity intermittent exercise on vascular function in lean vs. obese prepubescent boys. *Pediatric exercise science*, 27(4), 503-509.
- Cirilo-Sousa, M. d. S., Lemos, J. B., Poderoso, R., Araújo, R. C. T. d., Aniceto, R. R., Pereira, P. M. G., . . . Araújo Júnior, A. T. d. (2019). Predictive equation for blood flow restriction training. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 25(6), 494-497.
- Collaborators, G. O. (2017). Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *New England Journal of Medicine*, 377(1), 13-27.
- da Cunha Nascimento, D., Schoenfeld, B. J., & Prestes, J. (2020). Potential Implications of Blood Flow Restriction Exercise on Vascular Health: A Brief Review. *Sports Medicine*, 50(1), 73-81.
- de Almeida, V. M. G. (2013). *New methods for hemodynamic evaluation: a multi-parametric approach*. Universidade de Coimbra (Portugal).
- Early, K. S., Rockhill, M., Bryan, A., Tyo, B., Buuck, D., & McGinty, J. (2020). Effect of blood flow restriction training on muscular performance, pain and vascular function. *International journal of sports physical therapy*, 15(6), 892.
- Fragani, S. G., Gonzáles, A. I., Lemos, R. R., & Haas, P. (2017). Impact of isolated aerobic exercise in obese adolescents: systematic review. *Sport Sciences for Health*, 13(3), 453-459.
- Freitas, E. D. S., Karabulut, M., & Bemben, M. G. (2021). The Evolution of Blood Flow Restricted Exercise. *Frontiers in Physiology*, 12.
- Ghardashi Afousi, A., Izadi, M. R., Rakhshan, K., Mafi, F., Biglari, S., & Gandomkar Bagheri, H. (2018). Improved brachial artery shear patterns and increased flow-mediated dilatation after low-volume high-intensity interval training in type 2

- diabetes. *Experimental physiology*, 103(9), 1264-1276.
- Ghiadoni, L., Salvetti, M., Muiesan, M. L., & Taddei, S. (2015). Evaluation of endothelial function by flow mediated dilation: methodological issues and clinical importance. *High blood pressure & cardiovascular prevention*, 22(1), 17-22.
- Gibala, M. J., Heisz, J. J., & Nelson, A. J. (2018). *INTERVAL TRAINING FOR CARDIOMETABOLIC AND BRAIN HEALTH* ACSM's Health & Fitness Journal (Vol. 22).
- Harris, R. A., Nishiyama, S. K., Wray, D. W., & Richardson, R. S. (2010). Ultrasound Assessment of Flow-Mediated Dilation. *Hypertension*, 55(5), 1075-1085.
- Karabulut, M., & Garcia, S. D. (2017). Hemodynamic responses and energy expenditure during blood flow restriction exercise in obese population. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(1), 1-7.
- Kokkinos, P., & Myers, J. (2019). Exercise and the Endothelium Joshua C. Tremblay & Kyra E. Pyke *Cardiorespiratory Fitness in Cardiometabolic Diseases: Prevention and Management in Clinical Practice* (pp. 97-121). Cham: Springer International Publishing.
- Krüger-Genge, A., Blocki, A., Franke, R.-P., & Jung, F. (2019). Vascular Endothelial Cell Biology: An Update. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(18), 4411.
- Kwaifa, I. K., Bahari, H., Yong, Y. K., & Noor, S. M. (2020). Endothelial Dysfunction in Obesity-Induced Inflammation: Molecular Mechanisms and Clinical Implications. *Biomolecules*, 10(2), 291.
- Lorenz, D. S., Bailey, L., Wilk, K. E., Mangine, R. E., Head, P., Grindstaff, T. L., & Morrison, S. (2021). Blood Flow Restriction Training. *J Athl Train*, 56(9), 937-944.
- MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2915-2930.
- Martinez, N., Kilpatrick, M. W., Salomon, K., Jung, M. E., & Little, J. P. (2015). Affective and enjoyment responses to high-intensity interval training in overweight-to-obese and insufficiently active adults. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 37(2), 138-149.

- Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Mouser, J. G., Dankel, S. J., Buckner, S. L., Bell, Z. W., . . . Loenneke, J. P. (2018). The Application of Blood Flow Restriction: Lessons From the Laboratory. *Curr Sports Med Rep*, 17(4), 129-134.
- McEwen, J. A., Owens, J. G., & Jeyasurya, J. (2019). Why is it crucial to use personalized occlusion pressures in blood flow restriction (BFR) rehabilitation? *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39(2), 173-177.
- McKivigan, J. M. (2019). Blood Flow Restriction Exercise: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Physical Fitness, Medicine & Treatment in Sports*, 7(2), 1-7.
- Morales-Acuna, F., Ochoa, L., Valencia, C., & Gurovich, A. N. (2019). Characterization of blood flow patterns and endothelial shear stress during flow-mediated dilation. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 39(4), 240-245.
- Morales-Palomo, F., Ramirez-Jimenez, M., Ortega, J. F., Pallares, J. G., & Mora-Rodriguez, R. (2017). Acute hypotension after high-intensity interval exercise in metabolic syndrome patients. *International Journal of Sports Medicine*, 38(07), 560-567.
- Morishima, T., Iemitsu, M., & Ochi, E. (2019). Short-term cycling restores endothelial dysfunction after resistance exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(8), 1115-1120.
- Morishima, T., Toyoda, M., & Ochi, E. (2019). Prior cycling exercise does not prevent endothelial dysfunction after resistance exercise. *European journal of applied physiology*, 119(7), 1663-1669.
- Mouser, J. G., Dankel, S. J., Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Buckner, S. L., Counts, B. R., & Loenneke, J. P. (2017). A tale of three cuffs: the hemodynamics of blood flow restriction. *European journal of applied physiology*, 117(7), 1493-1499.
- No-in, K. (2017). Overweight and obesity among Thai school-aged children and adolescents. *Journal of The Royal Thai Army Nurses*, 18, 1-8.
- O'BRIEN, M. W., JOHNS, J. A., ROBINSON, S. A., BUNGAY, A., MEKARY, S., & KIMMERLY, D. S. (2020). Impact of High-Intensity Interval Training, Moderate-Intensity Continuous Training, and Resistance Training on Endothelial Function in Older Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(5), 1057-1067.

- Ojha, S., & Symonds, M. E. (2020). Obesity/Perinatal Origins of Obesity *Maternal-Fetal and Neonatal Endocrinology* (pp. 891-911): Elsevier.
- Paiva, F., Vianna, L. C., Fernandes, I., Nóbrega, A., & Lima, R. M. (2016). Effects of disturbed blood flow during exercise on endothelial function: a time course analysis. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 49(4).
- Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., . . . Loenneke, J. (2019). Corrigendum: Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in Physiology*, 10, 1332-1332.
- Pereira-Neto, E. A., Lewthwaite, H., Boyle, T., Johnston, K., Bennett, H., & Williams, M. T. (2021). Effects of exercise training with blood flow restriction on vascular function in adults: a systematic review and meta-analysis. *PeerJ*, 9, e11554.
- Phillips, S. A., Andaku, D. K., Mendes, R. G., Caruso, F. R., Cabiddu, R., Jaenisch, R. B., . . . Borghi-Silva, A. (2017). Exploring Vascular Function Biomarkers: Implications for Rehabilitation. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*, 32, 125-135.
- Pignanelli, C., Christiansen, D., & Burr, J. F. (2021). Blood flow restriction training and the high-performance athlete: science to application. *Journal of Applied Physiology*, 130(4), 1163-1170.
- Qiu, S., Cai, X., Yin, H., Sun, Z., Zügel, M., Steinacker, J. M., & Schumann, U. (2018). Exercise training and endothelial function in patients with type 2 diabetes: a meta-analysis. *Cardiovascular Diabetology*, 17(1), 64.
- Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Tjonna, A. E., Beetham, K. S., & Coombes, J. S. (2015). The Impact of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training on Vascular Function: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 45(5), 679-692.
- Riebe, D., Ehrman, J. K., Liguori, G., & Maga, M. (2018). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription Tenth edition*. Philadelphia, PA Wolters Kluwer.
- Rynecki, N. D., Siracuse, B. L., Ippolito, J. A., & Beebe, K. S. (2019). Injuries sustained during high intensity interval training: are modern fitness trends contributing to

- increased injury rates? *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 59(7), 1206-1212.
- Saz-Lara, A., Cavero-Redondo, I., Álvarez-Bueno, C., Notario-Pacheco, B., Ruiz-Grao, M. C., & Martínez-Vizcaíno, V. (2021). The Acute Effect of Exercise on Arterial Stiffness in Healthy Subjects: A Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 10(2), 291.
- Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development. *Sports Med*, 45(3), 313-325.
- Sieljacks, P., Knudsen, L., Wernbom, M., & Vissing, K. (2018). Body position influences arterial occlusion pressure: implications for the standardization of pressure during blood flow restricted exercise. *European journal of applied physiology*, 118(2), 303-312.
- Silva, J. C., Domingos-Gomes, J. R., Freitas, E. D., Neto, G. R., Aniceto, R. R., Bembem, M. G., . . . Cirilo-Sousa, M. S. (2019). Physiological and perceptual responses to aerobic exercise with and without blood flow restriction. *J. Strength Cond. Res.* doi, 10.
- Silva, J. C. G., Pereira Neto, E. A., Pfeiffer, P. A. S., Neto, G. R., Rodrigues, A. S., Bembem, M. G., . . . Cirilo-Sousa, M. S. (2019). Acute and Chronic Responses of Aerobic Exercise With Blood Flow Restriction: A Systematic Review. *Frontiers in Physiology*, 10(1239).
- Sougawa, Y., Miyai, N., Utsumi, M., Miyashita, K., Takeda, S., & Arita, M. (2020). Brachial-ankle pulse wave velocity in healthy Japanese adolescents: reference values for the assessment of arterial stiffness and cardiovascular risk profiles. *Hypertension Research*, 43(4), 331-341.
- Stanley, D. M., & Cumming, J. (2010). Are we having fun yet? Testing the effects of imagery use on the affective and enjoyment responses to acute moderate exercise. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(6), 582-590.
- Stray-Gundersen, S., Wooten, S., & Tanaka, H. (2020). Walking With Leg Blood Flow

- Restriction: Wide-Rigid Cuffs vs. Narrow-Elastic Bands. *Frontiers in Physiology*, 11(568).
- Teles, G. d. O., Gentil, P., Silva, L. R. B. e., Sousa, W. d. M., Seguro, C. S., & Rebelo, A. C. S. (2022). HIIE Protocols Promote Better Acute Effects on Blood Glucose and Pressure Control in People with Type 2 Diabetes than Continuous Exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2601.
- Thijssen, D. H., Black, M. A., Pyke, K. E., Padilla, J., Atkinson, G., Harris, R. A., . . . Green, D. J. (2011). Assessment of flow-mediated dilation in humans: a methodological and physiological guideline. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 300(1), H2-H12.
- Thijssen, D. H., Bruno, R. M., van Mil, A. C., Holder, S. M., Fata, F., Greyling, A., . . . Luscher, T. (2019). Expert consensus and evidence-based recommendations for the assessment of flow-mediated dilation in humans. *European heart journal*, 40(30), 2534-2547.
- Thijssen, D. H. J., Bruno, R. M., van Mil, A. C. C. M., Holder, S. M., Fata, F., Greyling, A., . . . Ghiadoni, L. (2019). Expert consensus and evidence-based recommendations for the assessment of flow-mediated dilation in humans. *European Heart Journal*, 40(30), 2534-2547.
- WHO. (2020). Obesity and overweight สืบค้นจาก <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Willis, S. J., Alvarez, L., Millet, G. P., & Borrani, F. (2016). *Repeated Cycling Sprints with Different Restricted Blood Flow Levels*. Paper presented at the Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016, Geneva, Switzerland.
- Zang, Y., Ding, X., Zhao, M. X., Zhang, X., Zhang, L., Wu, S., & Sun, L. (2022). Arterial stiffness acute changes following aerobic exercise in males with and without hypertension. *The Journal of Clinical Hypertension*, 24(4), 430-437.
- Zeng, Z., Centner, C., Gollhofer, A., & König, D. (2019). Blood-Flow-Restriction Training: Validity of Pulse Oximetry to Assess Arterial Occlusion Pressure. *International journal of sports physiology and performance*, 14(10), 1408-1414.

Zhai, M., Yang, D., Yi, W., & Sun, W. (2020). Involvement of calcium channels in the regulation of adipogenesis. *Adipocyte*, 9(1), 132-141.

กรมอนามัย. (2561). รายงานประจำปีกรมอนามัย 2560. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนดดีไซน์.

กรมอนามัย. (2562). รายงานประจำปีกรมอนามัย 2561. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนดดีไซน์.

กรมอนามัย. (2563). รายงานประจำปีกรมอนามัย 2562 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนดดีไซน์.

กรมอนามัย. (2564). คู่มือการใช้เกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเด็กอายุ 6-19 ปี.

กรุงเทพมหานคร: บริษัท ทำด้วยใจ จำกัด.

ชมรมโภชนาการเด็กแห่งประเทศไทย, & ราชวิทยาลัยกุมารแพทย์แห่งประเทศไทย. (2557). แนวทางเวชปฏิบัติการป้องกันและรักษาโรคอ้วนในเด็ก พ.ศ. 2557. สืบค้นจาก

<http://www.pednutrition.org>

พญ.ณัฐพร ทศนกิจพาณิชย์. (2560). การเจริญเติบโตปกติในเด็กและการประเมิน. สืบค้นจาก

https://meded.psu.ac.th/binlaApp/class05/388_551/Normalgrowthinchildren/index8.html


รุ่งรัตน์ นิลธเสน. (2016). ในตริกออกไซด์กับโรคหลอดเลือดตีบแข็ง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ 2(1), 71-79.

สัญญา ร้อยสมมุติ. (2556). หัวใจและการไหลเวียนเลือด เล่มที่ 3 การไหลเวียนเลือดส่วนกาย (พิมพ์ครั้งที่ 1): คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุรางค์ เชื้อวณิชชากร. (2556). พัฒนาการวัยรุ่น (Adolescent Development). สืบค้นจาก

http://www.elnurse.ssru.ac.th/surang_ch/pluginfile.php/201/block_html/content/%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%A2%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99%20%28Aldolescence%29.pdf

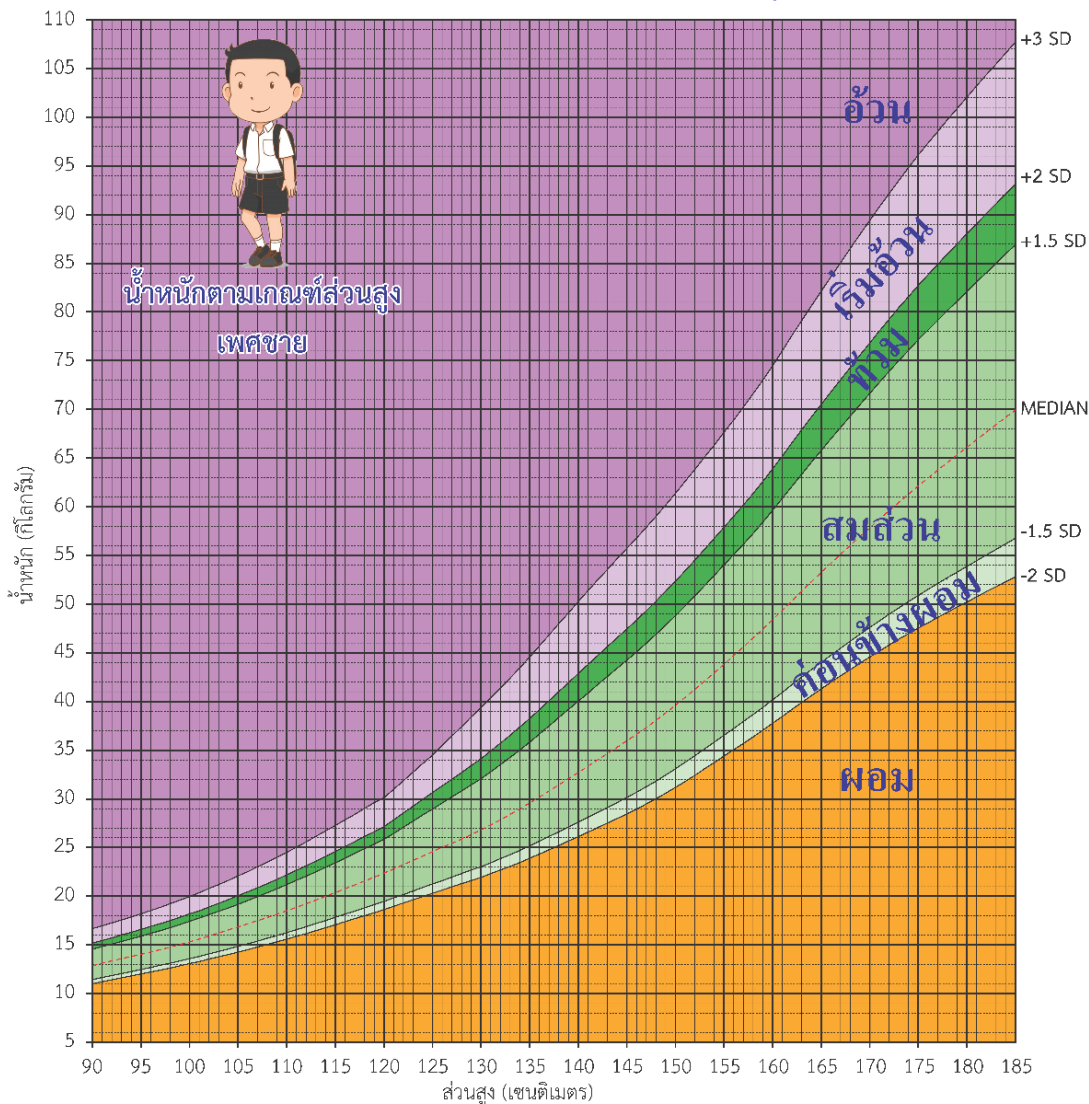




ผนวก ก

เกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตน้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงของเด็ก อายุ 6-19 ปี เพศชาย

กราฟแสดงเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเด็กอายุ 6 - 19 ปี เพศชาย



วิธีการอ่านกราฟ

น้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง แสดงความอ้วน-ผอม

ดูส่วนสูงตามแนวนอนว่าอยู่ที่จุดใด แล้วไล่ขึ้นตามแนวตั้งว่าตรงกับน้ำหนักที่จุดใด อ่านผลตามเกณฑ์นั้น :

อ้วน เริ่มอ้วน ท้วม สมส่วน

ค้ำค้ำต่ำท้วม ผอม

การแปลผลจากกราฟ

น้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูง เป็นดัชนีบ่งชี้ว่าน้ำหนักเหมาะสมกับส่วนสูงหรือไม่ สามารถแปลผลภาวะโภชนาการได้โดยไม่ต้องทราบอายุ ถ้าร่างกายขาดอาหารระยะสั้นในปัจจุบันหรือเกิดเจ็บป่วย ร่างกายจะผอม น้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงจะมีค่าน้อยกว่าปกติ แต่ถ้าได้รับอาหารเกินความต้องการของร่างกาย น้ำหนักตามเกณฑ์ส่วนสูงจะเป็นดัชนีบ่งชี้ภาวะเริ่มอ้วน หรืออ้วนได้ดี


การแปลผลภาวะการเจริญเติบโต

แบ่งภาวะการเจริญเติบโตเป็น 6 ระดับ คือ

- 1) ผอม หมายถึง ขาดอาหารระยะสั้น
- 2) ค้ำค้ำต่ำท้วม หมายถึง เสี่ยงต่อการขาดอาหาร เป็นการเตือนให้ระวัง
- 3) สมส่วน หมายถึง การเจริญเติบโตดี แสดงว่าเด็กมีน้ำหนักเหมาะสมกับส่วนสูง
- 4) ท้วม หมายถึง เสี่ยงต่อการมีภาวะอ้วน หากไม่ดูแลน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นอยู่ในภาวะเริ่มอ้วน
- 5) เริ่มอ้วน หมายถึง น้ำหนักมากก่อนเกิดภาวะอ้วนชัดเจน เด็กมีโอกาสที่จะเป็นผู้ใหญ่อ้วนในอนาคต
- 6) อ้วน หมายถึง ภาวะอ้วนชัดเจน มีน้ำหนักมากเกินในเด็กมีโอกาสเป็นผู้ใหญ่อ้วน เสี่ยงโรคในอนาคต หากไม่ควบคุมน้ำหนัก

ข้อมูล: การจัดทำเกณฑ์อ้างอิงการเจริญเติบโตของเด็กอายุ 5 - 19 ปี
สำนักโภชนาการ กรมอนามัย พ.ศ. 2563

จัดทำและเผยแพร่โดย สำนักโภชนาการ กรมอนามัย พ.ศ. 2564



ผนวก ข

การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย (VO_2 peak)
และการคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย (Peak work load)

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย

ในการทดสอบ ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการทดสอบปั่นจักรยานวัดงานแบบเป็นขั้น (Grade exercise test) โดยการเพิ่มความหนักในการปั่นขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเหนื่อยหมดแรง (จุดล้า) หรืออาการอื่น ๆ ที่แสดงถึงขีดสุดของความสามารถที่ทำได้ เช่น อาการเหนื่อยหอบ อาการเวียนศีรษะ ผู้เข้าร่วมงานวิจัยขอหยุดการทดสอบ เป็นต้น โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. ผู้ร่วมวิจัยใส่สายคาดหน้าอกวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และใส่เครื่องวัดอัตราการหายใจ (Gas analyzer)

2. ปั่นจักรยานอบอุ่นร่างกาย โดยไม่ใส่น้ำหนัก ที่ความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที

3. เริ่มขั้นที่ 1 ปั่นจักรยานที่ความหนัก 20 วัตต์ (W) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นประเมินความเหนื่อยที่ 30 วินาที จากนั้นเปลี่ยนขั้นโดยการเพิ่มแรงต้านอีก 20 วัตต์ (W)

4. เริ่มขั้นที่ 2 ปั่นจักรยานที่ความหนัก 40 วัตต์ (W) ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นประเมินความเหนื่อยที่ 30 วินาที จากนั้นเปลี่ยนขั้นโดยการเพิ่มแรงต้านอีก 20 วัตต์ (W)

ทำการทดสอบซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหมดแรง (จุดล้า) หรืออาการอื่น ๆ ที่แสดงถึงขีดสุดของความสามารถที่ทำได้ เช่น อาการเหนื่อยหอบ อาการเวียนศีรษะ ผู้เข้าร่วมงานวิจัยขอหยุดการทดสอบ เป็นต้น

การคำนวณความหนักของการออกกำลังกาย (Peak work load)


คำนวณโดยใช้สูตร ดังนี้

ความหนักของการออกกำลังกายที่ต้องการ (W) = เปอร์เซ็นต์ความหนักที่ต้องการ X ค่างานสูงสุดที่ได้ในขณะที่ออกกำลังกาย (Work load at VO_2 peak)

** ค่างานสูงสุด (100% VO_2 peak) คือ น้ำหนักสูงสุดที่ใช้ถ่วงขณะปั่นจักรยาน

ตัวอย่าง

ถ้าค่างานสูงสุดที่ได้ในขณะที่ออกกำลังกาย (VO_2 peak) มีค่าเท่ากับ 200 วัตต์ (W) และต้องการออกกำลังกายที่ความหนัก 170% VO_2 peak จะได้ค่าความหนักของการออกกำลังกายเท่ากับ $(170 \times 200) / 100 = 340$ วัตต์ (W) (Chuensiri et al., 2015)



ผนวก ค

การหาค่า Arterial occlusion pressure (AOP) และการคำนวณหาความดัน
ที่ใช้ในการออกกำลังกายด้วยเทคนิค BFR

ขั้นตอนการหาค่า Arterial occlusion pressure (AOP)

ในการศึกษาวิจัยนี้ ทำการวัด Arterial occlusion pressure (AOP) ในส่วนล่างของร่างกาย (Lower limb) เป็นการวัดค่าความดันที่ต่ำที่สุดในการปิดกั้นการไหลเวียนโลหิต โดยใช้วิธีอัลตราซาวด์หลอดเลือดต้นขา มีขั้นตอนการวัด

1. ให้ผู้เข้ารับการทดสอบนอนพักในท่านอนหงาย เป็นเวลา 10 นาที
2. ใช้คัมป์พันรอบโคนขาและเพิ่มความดันเริ่มต้นที่ 70 mmHg และใช้อุปกรณ์ประเมินเสียงของการไหลเวียนโลหิต (Doppler probe) ตรวจจับชีพจรในตำแหน่ง Posterior tibial artery
3. เพิ่มระดับความดันขึ้นไปทีละ 5 mmHg จนกระทั่งไม่สามารถตรวจจับชีพจรได้ และกำหนดให้ระดับความดันนั้นเป็นค่า 100% AOP (Sieljacks et al., 2018)

วิธีการคำนวณหาความดันที่ใช้ในการออกกำลังกายด้วยเทคนิค BFR

ในการศึกษาวิจัยนี้ กำหนดระดับความดันในการออกกำลังกายไว้ 3 ระดับ คือ 40% 60% และ 80% ของ AOP มีวิธีการคำนวณ ดังนี้

ความดันที่ใช้ในการออกกำลังกาย (mmHg) = % ความดันที่กำหนด x ความดันที่ 100% AOP

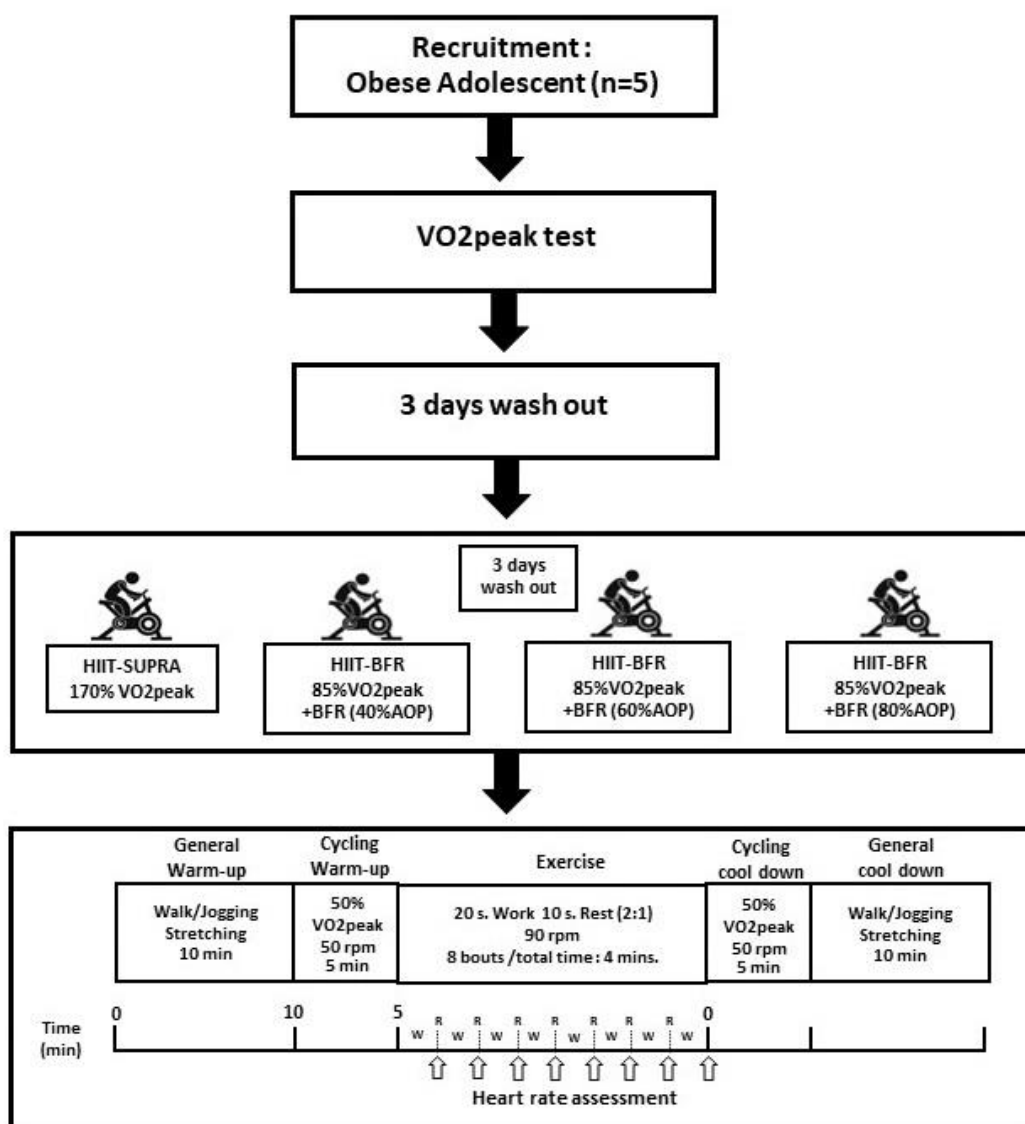
ตัวอย่าง

ถ้าความดันที่ 100% AOP มีค่าเท่ากับ 200 mmHg และต้องการออกกำลังกายด้วยเทคนิค BFR ที่ระดับ 40% AOP จะได้ค่าความดันที่ใช้ในการออกกำลังกาย เท่ากับ $(40 \times 200)/100 = 80 \text{ mmHg}$



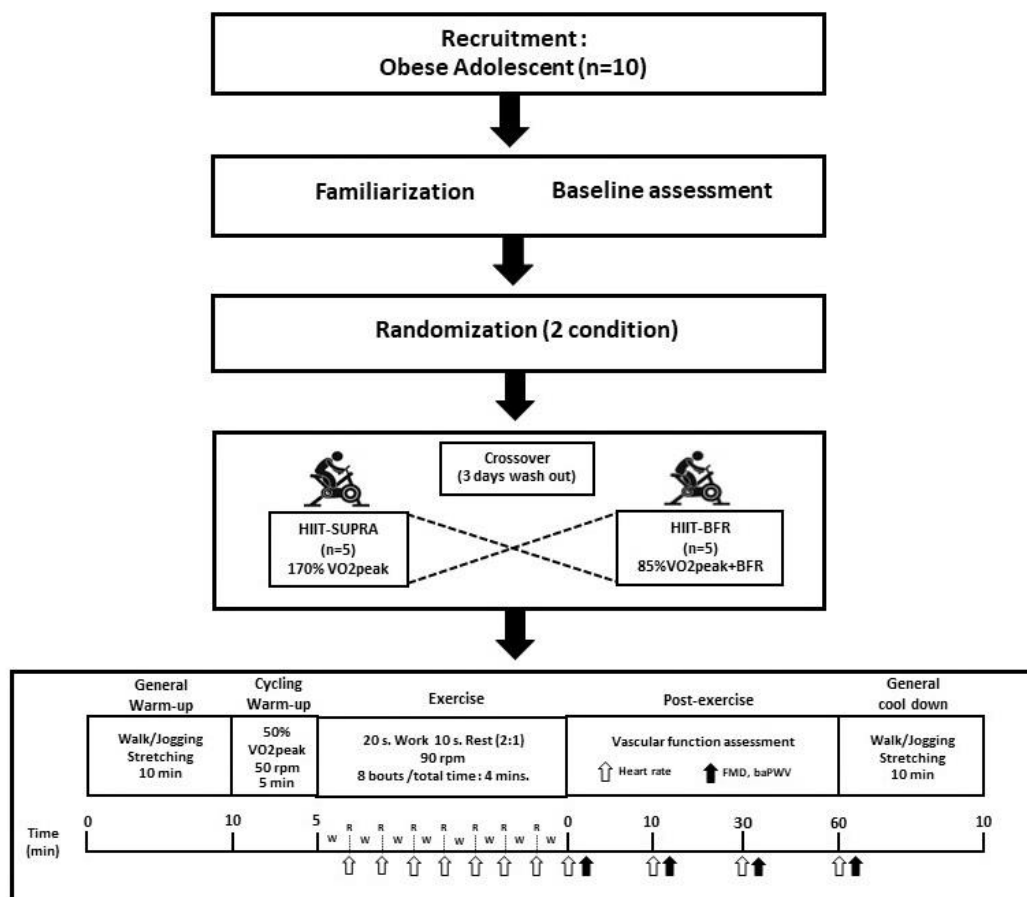
ผนวก ง
รูปแบบการทดลอง

การทดลองที่ 1 Pilot study



ภาพประกอบ 26 รูปแบบการทดลองที่ 1 Pilot study

การทดลองที่ 2 Experimental



ภาพประกอบ 27 รูปแบบการทดลองที่ 2 การศึกษาแบบไขว้กลุ่ม (Crossover Design)



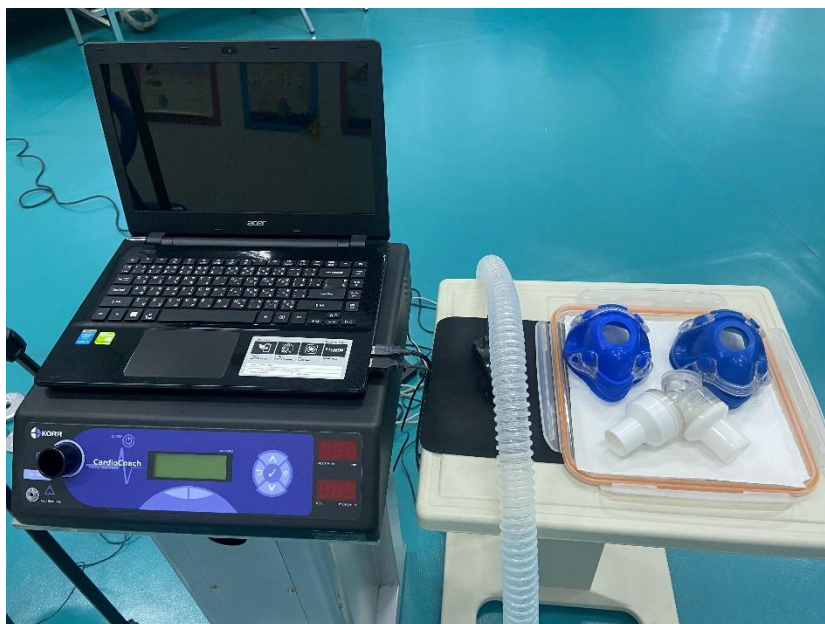
ผนวก จ
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพประกอบ 28 จักรยานวัดงาน (Cycling ergometer)



ภาพประกอบ 29 อุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ (ยี่ห้อ Polar รุ่น H10)



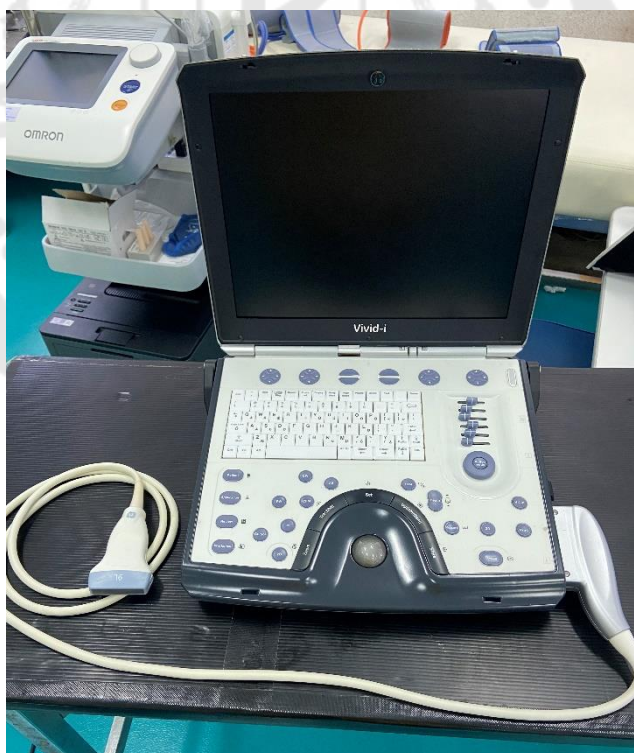
ภาพประกอบ 30 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analysis)



ภาพประกอบ 31 เครื่องวัดความดันโลหิต



ภาพประกอบ 34 เครื่องตรวจการไหลเวียนของหลอดเลือดส่วนปลาย (Vascular doppler)



ภาพประกอบ 35 เครื่องอัลตราซาวด์หลอดเลือด (Cardiovascular Ultrasound System)



ภาพประกอบ 36 เครื่องตรวจวัดความแข็งตัวของหลอดเลือด (Non Invasive Vascular Screening Device)



ผนวก ช
แบบบันทึกผลและแบบประเมิน

แบบบันทึกผลการทดลองที่ 1

Code

แบบบันทึกข้อมูล

ชื่อ - นามสกุล ชื่อเล่น.....

วันเดือนปีเกิด..... อายุ.....ปี

ข้อมูลทั่วไปทางด้านสรีรวิทยาก่อนการทดสอบ (นั่งพัก 15 นาที)

น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร

ดัชนีมวลกาย (Body mass index : BMI).....Kg/m² / เปอร์เซ็นต์ไขมัน (%Fat)

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (HR).....ครั้ง/นาที / ความดันโลหิตขณะพัก (BP).....mmHg

อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (100%).....ครั้ง/นาที (208 - (0.7xอายุ))

อัตราการเต้นของหัวใจเกือบสูงสุด (85%).....ครั้ง/นาที

การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย (VO₂peak)

Stage	Resistance	Work load (Watt)	Time (minute)	Speed (rpm)	HR (beat/min)	RPE
0	0	0	3	50		
1	Basket (1.0 kp)	50	6	50		
2	0.4	70	9	50		
3	0.8	90	12	50		
4	1.2	110	3	50		
5	1.6	130	3	50		
6	2.0	150	3	50		
7	2.4	170	3	50		
8	2.8	190	3	50		
9	3.2	210	3	50		
10	3.6	230	3	50		

เวลาที่ออกกำลังกายทั้งหมด.....นาที

เหตุผลในการหยุดออกกำลังกาย.....

หมายเหตุ.....

VO₂peak.....ml/Kg/min Peak work load.....Watt

170% Peak work load =Watt 85% Peak work load =Watt

แบบบันทึกผลการทดลองที่ 2

Code

แบบบันทึกข้อมูล
การทดลองที่ 2

ชื่อ - นามสกุล

ชื่อเล่น.....

วันเดือนปีเกิด..... อายุ.....ปี

ข้อมูลทั่วไปทางด้านสรีรวิทยาก่อนการทดสอบ (นั่งพัก 15 นาที)

น้ำหนัก.....กิโลกรัม ส่วนสูง.....เซนติเมตร

ดัชนีมวลกาย (Body mass index : BMI).....Kg/m² / เปอร์เซ็นต์ไขมัน (%Fat)

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (HR).....ครั้ง/นาที / ความดันโลหิตขณะพัก (BP).....mmHg

อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (100%).....ครั้ง/นาที (208 - (0.7xอายุ))

อัตราการเต้นของหัวใจเกือบสูงสุด (85%).....ครั้ง/นาที

การทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดขณะออกกำลังกาย (VO₂peak)

Stage	Resistance	Work load (Watt)	Time (minute)	Speed (rpm)	HR (beat/min)	RPE
0	0	0	3	50		
1	Basket (1.0 kp)	50	6	50		
2	0.4	70	9	50		
3	0.8	90	12	50		
4	1.2	110	15	50		
5	1.6	130	18	50		
6	2.0	150	21	50		
7	2.4	170	24	50		
8	2.8	190	27	50		
9	3.2	210	30	50		
10	3.6	230	33	50		

เวลาที่ออกกำลังกายทั้งหมด.....นาที

เหตุผลในการหยุดออกกำลังกาย.....

หมายเหตุ.....

VO₂peak.....ml/Kg/min Peak work load.....Watt

170% Peak work load =Watt 85% Peak work load =Watt

ความดันที่ใช้ในการออกกำลังกาย (Arterial occlusion pressure)

100% AOP =mmHg

40% AOP =mmHg

60% AOP =mmHg

80% AOP =mmHg

ข้อมูลขณะทำการทดสอบ HIIT-SUPRA (170% VO₂peak)

อัตราการเต้น ของหัวใจ (ครั้ง/นาที)	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	
ระดับความเหนื่อย (RPE)									

ข้อมูลหลังการทดสอบด้านการทำงานของหลอดเลือด

รายการ	Vascular Function		HR (beat/min)	RPE
	FMD (%)	baPWV		
ก่อนการทดสอบ (Base line)				
หลังการทดสอบทันที				
หลังการทดสอบไปแล้ว 10 นาที				
หลังการทดสอบไปแล้ว 30 นาที				
หลังการทดสอบไปแล้ว 60 นาที				

ข้อมูลขณะทำการทดสอบ HIIT-BFR (85% VO₂peak+%BFR Depend on Pilot study)

อัตราการเต้น ของหัวใจ (ครั้ง/นาที)	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	รอบที่	เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	
ระดับความเหนื่อย (RPE)									

ข้อมูลหลังการทดสอบด้านการทำงานของหลอดเลือด

รายการ	Vascular Function		HR (beat/min)	RPE
	FMD (%)	baPWV		
ก่อนการทดสอบ (Base line)				
หลังการทดสอบทันที				
หลังการทดสอบไปแล้ว 10 นาที				
หลังการทดสอบไปแล้ว 30 นาที				
หลังการทดสอบไปแล้ว 60 นาที				

แบบประเมินความพร้อมก่อนการออกกำลังกาย

แบบสอบถามความพร้อมที่จะมีกิจกรรมทางกาย แปลจาก 2019-PAR-Q +

ส่วนของคำถามทั่วไป

การออกกำลังกาย หรือ กิจกรรมทางกาย มีหลักฐานที่ชัดเจนแล้วว่า มีประโยชน์ต่อสุขภาพ คนส่วนใหญ่ควรมีกิจกรรมทางกายในทุกวันของสัปดาห์ การมีกิจกรรมทางกายมีความปลอดภัยสำหรับประชาชนส่วนใหญ่ แบบสอบถามนี้จะบอกได้ว่า มีความจำเป็นที่จะขอคำแนะนำเพิ่มเติมจากแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกกำลังกายก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายที่หนักขึ้นจากเดิมที่เคยมีกิจกรรมทางกาย หรือไม่

- โปรดอ่านคำถาม 7 ข้อด้านล่างอย่างถี่ถ้วนและตอบด้วยความสัตย์จริงว่า ใช่ หรือไม่ใช่
- | | ใช่ | ไม่ใช่ |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1. คุณเคยได้รับทราบจากแพทย์ว่า เป็นโรคเกี่ยวกับ <input type="checkbox"/> โรคหัวใจ หรือ <input type="checkbox"/> ความดันโลหิตสูง | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. คุณรู้สึกเจ็บที่หน้าอกในขณะที่พัก หรือระหว่างมีกิจกรรมในชีวิตประจำวัน หรือระหว่างออกกำลังกาย | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. ในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา คุณเคยเวียนศีรษะจนเสียการทรงตัว หรือเป็นลมไม่รู้สึกร่างตัว หรือไม่ (ในกรณีที่คุณออกกำลังกายอย่างหนักจนทำให้หายใจเร็ว แล้วตามด้วยการเวียนศีรษะ ให้ตอบว่าไม่ใช่) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. คุณได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเรื้อรังนอกเหนือจากโรคหัวใจหรือโรคความดันโลหิตสูง หรือไม่
ถ้าตอบว่าใช่ ให้ระบุว่าเป็นโรคเรื้อรังอะไร | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. ปัจจุบันคุณได้รับประทานยาเพื่อรักษาโรคเรื้อรัง หรือไม่
โปรดระบุเงื่อนไขและยาที่ได้รับ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. ปัจจุบัน หรือ ในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา คุณมีปัญหาเรื่องกระดูกและข้อหรือกล้ามเนื้อเส้นเอ็น ซึ่งอาการจะแย่ลงเมื่อมีกิจกรรมทางกายเพิ่มขึ้น
(ในกรณีที่คุณมีปัญหากระดูก ข้อ กล้ามเนื้อหรือเส้นเอ็นในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา แต่ปัจจุบันภาวะดังกล่าวได้หายไปแล้ว และไม่มีผลต่อความสามารถต่อการออกกำลังกายหรือกิจกรรมทางกายในปัจจุบัน ให้ตอบไม่ใช่) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. แพทย์เคยบอกคุณว่า คุณควรได้รับคำแนะนำก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายหรือออกกำลังกาย | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

ถ้าตอบว่าไม่ใช่ทุกข้อ คุณสามารถที่จะออกกำลังกายได้ และให้ลงนามในคำประกาศของผู้สมัครเข้าร่วมกิจกรรมทางกาย โดยไม่ต้องตอบคำถามในหน้า 2-3

- ให้เริ่มการมีกิจกรรมทางกายที่เพิ่มขึ้น โดยค่อยๆเพิ่มความแรงของกิจกรรมทางกาย
- ให้คุณออกกำลังกายให้สอดคล้องกับอายุตามแนวทางของ International Physical activity guideline (www.who.int/dietphysicalactivity/en/).
- คุณควรที่จะได้รับการประเมินสมรรถภาพทางกาย (fitness) และประเมินสุขภาพ/ตรวจสุขภาพประจำปี (health)
- ถ้าคุณอายุมากกว่า 45 ปี และไม่ได้ฝึกซ้อมออกกำลังกายความหนักมาก่อน ให้ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกายก่อนไปร่วมกิจกรรมทางกายที่มีความหนัก
- ถ้าคุณมีปัญหาเกี่ยวกับกิจกรรมทางกาย ให้สอบถามแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย

Participant Declaration (คำประกาศของผู้สมัครเข้าร่วมกิจกรรมทางกาย)

ข้าพเจ้า ผู้ซึ่งลงนามในคำประกาศนี้ได้ ยืนยัน เข้าใจ โดยตอบคำถามทั้งหมดอย่างเต็มที่ และตระหนักเป็นอย่างดีว่า คำประกาศนี้จะใช้ได้ภายใน 12 เดือนนับจากวันที่ได้ตอบแบบสอบถาม และจะไม่มีผลในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไข ข้าพเจ้ายินยอมที่จะให้ผู้จัด/ศูนย์ฝึก กิจกรรมทางกายได้สำเนาเอกสารนี้เก็บไว้ใช้ฉบับ โดยผู้จัด/ศูนย์ฝึกกิจกรรมทางกายต้องไม่นำข้อมูลไปเปิดเผยและปฏิบัติตามการรักษาความลับตามที่กฎหมายกำหนด

ชื่อ ลายเซ็น วันที่

พยาน ลายเซ็นของพ่อแม่/ผู้ปกครอง (กรณีที่ยังไม่บรรลุนิติภาวะ)

ในกรณีที่ตอบไม่ใช่ 1 ข้อ หรือมากกว่า 1 ข้อ ให้ตอบคำถามในหน้า 2-3

ให้ชะลอการมีกิจกรรมทางกายที่เพิ่มขึ้น ในกรณีที่

- ✓ คุณกำลังป่วยเป็นโรคปัจจุบันที่ไม่ใช่โรคเรื้อรัง เช่น เป็นหวัด หรือมีไข้ ให้หายจากหวัดหรือไข้ก่อนจนกว่าอาการดีขึ้นถึงจะเข้าร่วมกิจกรรมทางกาย
- ✓ คุณกำลังตั้งครรภ์ ให้ปรึกษาแพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย หรือให้ตอบคำถามใน ePAR-X+ www.eparmedx.com ก่อนเพื่อที่จะให้คำแนะนำการมีกิจกรรมทางกายที่เหมาะสมก่อนจะเพิ่มระดับของกิจกรรมทางกายจากเดิม
- ✓ คุณมีการเปลี่ยนแปลงของสุขภาพ ให้ตอบคำถามในหน้า 2-3 หรือปรึกษาแพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย ก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายตามโปรแกรมที่เคยได้รับ

แบบสอบถามระดับความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย

Code

แบบสอบถามระดับความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย

(Exercise enjoyment scale : EES)

ชื่อ - นามสกุล ชื่อเล่น.....
 วันเดือนปีเกิด..... อายุ.....ปี

คำชี้แจง : ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยใส่เครื่องหมาย X ในช่องตัวเลขที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด

ท่านมีความรู้สึกเพลิดเพลินกับการออกกำลังกายนี้มากแค่ไหน

1. การออกกำลังกายแบบ HIIT-SUPRA (170% VO₂peak)

1	2	3	4	5	6	7
ไม่สนุกเลย	น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	ค่อนข้างมาก	สนุกมาก	สนุกมากที่สุด

2. การออกกำลังกายแบบ HIIT-BFR (85% VO₂peak+BFR)

1	2	3	4	5	6	7
ไม่สนุกเลย	น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	ค่อนข้างมาก	สนุกมาก	สนุกมากที่สุด



แผนก ๕

ใบรับรองจรรยาบรรณการวิจัยในมนุษย์

MF-04-version-2.0
วันที่ 18 ต.ค. 61

หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย
เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัยและยินยอม

หมายเลขข้อเสนอการวิจัย SWUEC-G- 311/2563E

ข้อเสนอการวิจัยนี้และเอกสารประกอบของข้อเสนอการวิจัยตามรายการแสดงด้านล่าง ได้รับการพิจารณาจาก คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒแล้ว คณะกรรมการฯ มีความเห็นว่าข้อเสนอการวิจัยที่จะดำเนินการมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและ ข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามข้อเสนอการวิจัยนี้ได้

ชื่อโครงการวิจัยเรื่อง: การศึกษาผลสัมฤทธิ์ของการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูงมากและการฝึกแบบสลับช่วงที่ความหนักสูง ด้วยการจำกัดการไหลเวียนโลหิต ที่มีต่อการทำงานของหลอดเลือดในวัยรุ่นที่มีภาวะอ้วน

ชื่อผู้วิจัยหลัก: นาย อธิวัฒน์ น้อยคำเมือง

สังกัด: คณะพลศึกษา

เอกสารที่รับรอง:

1. แบบเสนอโครงการวิจัย
2. โครงการวิจัย
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย
4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

เอกสารที่พิจารณาทบทวน

1. แบบเสนอโครงการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 4 ธันวาคม 2563
2. โครงร่างการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 4 ธันวาคม 2563
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 4 ธันวาคม 2563
4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย	ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 4 ธันวาคม 2563

(ลงชื่อ).....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิงณปภา เอี่ยมจิตรกุล)

กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

(ลงชื่อ).....

(แพทย์หญิงสุวิพร ภัทรสุวรรณ)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/E/G-311/2563

วันที่ให้การรับรอง : 04/12/2563

วันหมดอายุใบรับรอง : 04/12/2564

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธิดิวัฒน์ น้อยคำเมือง
วัน เดือน ปี เกิด	19 กุมภาพันธ์ 2529
สถานที่เกิด	ฉะเชิงเทรา
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2542 ประถมศึกษาชั้นปีที่ 6 โรงเรียนไทยรัฐวิทยา 41 จังหวัดฉะเชิงเทรา พ.ศ. 2545 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา พ.ศ. 2548 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา พ.ศ. 2552 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2565 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	591 หมู่ที่ 4 ตำบลคูยายหมี่ อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา 24160