



การประเมินความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจและการทำงานของ
ของเซลล์เอนโดทีเลียมในวัยรุ่นหญิงที่มี
ภาวะน้ำหนักตัวเกินและอ้วน

Assessing of Heart Rate Variability and Endothelial Function
in Overweight and Obesity Female Adolescents

โดย

รัชนีกร

มอญกุดเลาะ

วัลภา

เทพพิทักษ์

สาคร

แก้วมา

ภาคินิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

ปีการศึกษา 2562

ภาคนิพนธ์ เรื่อง
การประเมินความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจและการทำงานของ
เซลล์เอนโดทีเลียมในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกินและอ้วน
Assessing of Heart Rate Variability and Endothelial Function
in Overweight and Obesity Female Adolescents

นำเสนอต่อ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

เพื่อประกอบการศึกษา

ระดับปริญญาโท สาขาพยาบาลศาสตรบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 27 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562

รชนิกร มอญกุลเลาะ

(นางสาวรชนิกร มอญกุลเลาะ)

นิสิต

อรุณรัตน์

(อาจารย์อรุณรัตน์ ศรีทะวงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

วัลภา เทพพิทักษ์

(นางสาววัลภา เทพพิทักษ์)

นิสิต

ธิดาเนตร พรหมศรีสุข

(อาจารย์ ดร.ธิดาเนตร พรหมศรีสุข)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ศิวา แก้วมา

(นายศาสตรา แก้วมา)

นิสิต

คณะกรรมการสอบภาคนิพนธ์ได้อนุมัติให้

รัชนีกร มอญกุดเลาะ
วัลภา เทพพิทักษ์
สาคร แก้วมา

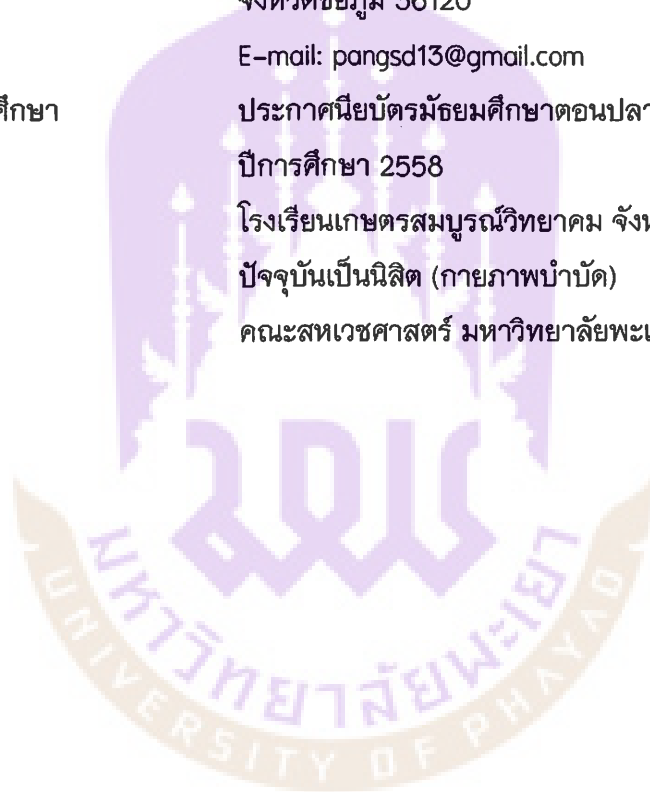
สอบผ่านในรายวิชาภาคนิพนธ์ เรื่อง
การประเมินความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจและการทำงานของ
เซลล์เอนโดทีเลียลในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกินและอ้วน
Assessing of Heart Rate Variability and Endothelial Function
in Overweight and Obesity Female Adolescents

เมื่อ วันที่ 27 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562

 (อาจารย์อรุณรัตน์ ศรีทวงษ์) อาจารย์ที่ปรึกษา	 (อาจารย์ ดร.ชัชานนท์ พรหมศรีสุข) อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
 (อาจารย์ ดร.สินสุพร มหารัตน์) กรรมการ	 (อาจารย์ ดร.สุพรรณนิการ์ สดากวีย์) กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิรินทิพย์ คำฟู) หัวหน้าสาขาวิชากายภาพบำบัด	 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา หมั่นดี) คณบดีคณะสหเวชศาสตร์

ชีวประวัติ

ชื่อ - สกุล ภาษาไทย	นางสาวรัชนีกร มอญกุลเลาะ
ชื่อ - สกุล ภาษาอังกฤษ	Miss Ratchaneekorn Mornkudlor
วัน เดือน ปี เกิด	13 กันยายน 2540
สถานที่เกิด	จังหวัดชัยภูมิ
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	71 หมู่7 ตำบลโนนทอง อำเภอเกษตรสมบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ 36120 E-mail: pangsd13@gmail.com
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2558 โรงเรียนเกษตรสมบูรณ์วิทยาคม จังหวัดชัยภูมิ ปัจจุบันเป็นนิสิต (กายภาพบำบัด) คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



ชีวประวัติ

ชื่อ - สกุล ภาษาไทย

นางสาววัลภา เทพพิทักษ์

ชื่อ - สกุล ภาษาอังกฤษ

Miss Wallapa Theppituk

วัน เดือน ปี เกิด

4 กรกฎาคม 2540

สถานที่เกิด

จังหวัดนนทบุรี

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้

27 หมู่ 4 ตำบลนาเพียง อำเภอกุสุมาลย์

จังหวัดสกลนคร 47230

E-mail: wallapa840@gmail.com

ประวัติการศึกษา

ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย

ปีการศึกษา 2558

โรงเรียนธาตุนารายณ์วิทยา จังหวัดสกลนคร

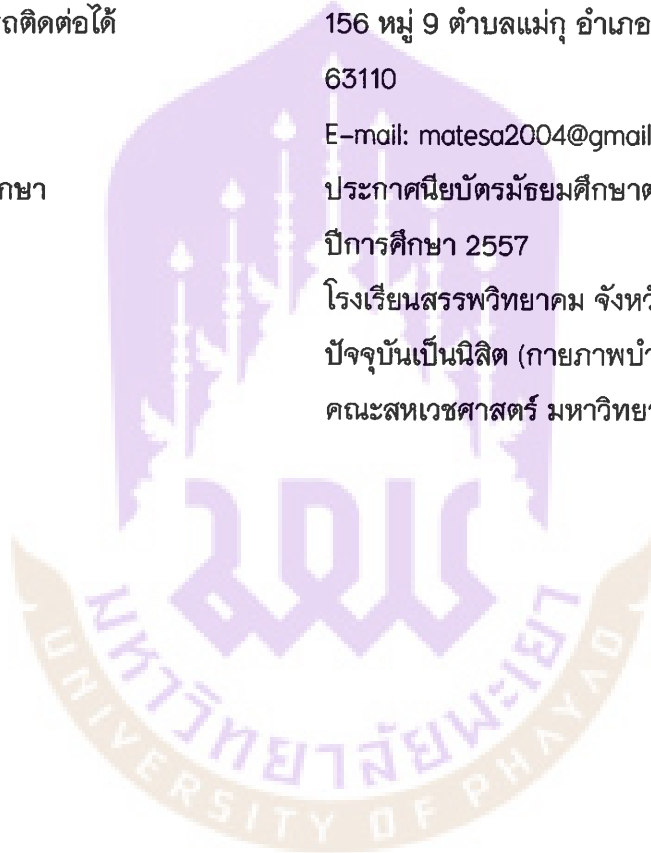
ปัจจุบันเป็นนิสิต (กายภาพบำบัด)

คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



ชีวประวัติ

ชื่อ - สกุล ภาษาไทย	นายสาคร แก้วมา
ชื่อ - สกุล ภาษาอังกฤษ	Mr. Sakorn Kaewma
วัน เดือน ปี เกิด	20 เมษายน 2539
สถานที่เกิด	จังหวัดตาก
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	156 หมู่ 9 ตำบลแม่กุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก 63110 E-mail: matesa2004@gmail.com
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนสรรพวิทยาคม จังหวัดตาก ปัจจุบันเป็นนิสิต (กายภาพบำบัด) คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา



กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ อาจารย์อรุณรัตน์ ศรีทวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาภาคินิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.ธิชานนท์ พรหมศรีสุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมภาคินิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา แนวทางในการทำภาคินิพนธ์ แก้ไข ตรวจทาน แนะนำเรื่องการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ตลอดจนดูแลเป็นอย่างดีจนทำให้ภาคินิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สินธุ์พร มหาธัญ และ อาจารย์ ดร.สุพรรณนิการ์ ลดาวัลย์ ที่เป็นคณะกรรมการสอบภาคินิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำ แก้ไข และตรวจทาน ให้ภาคินิพนธ์ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาบดีคณะสหเวชศาสตร์ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชา กายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก ทางด้านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำภาคินิพนธ์

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย พนักงานทำความสะอาด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านสถานที่ในการเก็บวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัย ราชภัฏเพชรบูรณ์ที่อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับด้านเครื่องมือในการทำภาคินิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณอาสาสมัครที่ให้ความร่วมมือและความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล ครั้งนี้จนการศึกษาสำเร็จไปด้วยดี จึงใคร่ขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

รัชนิกร มอญกุดเลาะ
วัลภา เทพพิทักษ์
สาคร แก้วมา
27 ตุลาคม 2562

คำรับรอง

ข้าพเจ้านางสาวรัชนิกร มอญกุลเลาะ นางสาววัลภา เทพพิทักษ์ และนายศาสกร แก้วมา นิสิตสาขาวิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ขอรับรองว่า ภาคนิพนธ์เรื่อง การประเมินความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจและการทำงานของเซลล์ เอนโดทีเลียมในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกินและอ้วน (Assessing of Heart Rate Variability and Endothelial Function in Overweight and Obesity Female Adolescents) เป็นผล การศึกษาซึ่งเกิดจากการศึกษาจริงโดยมิได้คัดลอกหรือดัดแปลงมาจากผลการศึกษาของผู้อื่น ที่เคยศึกษาก่อนหน้านี้แต่อย่างใด

รัชนิกร มอญกุลเลาะ
วัลภา เทพพิทักษ์
ศาสกร แก้วมา
27 ตุลาคม 2562



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
คำรับรอง	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
สารบัญย่อ	VIII
บทคัดย่อภาษาไทย	X
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	3
สมมติฐาน	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 บททวนวรรณกรรม	4
กายวิภาคศาสตร์หลอดเลือดและหัวใจ	4
เซลล์เอนโดทีเลียมเซลล์หรือเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด	4
โครงสร้างเซลล์เอนโดทีเลียม	4
หน้าที่ของเซลล์เอนโดทีเลียม ประกอบด้วย	5
Endothelial dysfunction	5
การประเมินการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม	6
ระบบประสาทอัตโนมัติ	6
ความหมายของระบบประสาทอัตโนมัติ	
ประเภทของระบบประสาทอัตโนมัติ	7
ระบบประสาทซิมพาเทติก	7
ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก	7
บทบาทของระบบประสาทอัตโนมัติ	7
ควบคุมความดันเลือด	7
ควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในของร่างกาย	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ควบคุมการทำงานของหัวใจ	8
การประเมินการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ	8
โรคความดันโลหิตสูง	9
การเกิดภาวะความดันโลหิตสูง	9
ภาวะน้ำหนักรั่วเกิน	10
คำจำกัดความ	10
พยาธิสรีรวิทยาของภาวะน้ำหนักรั่วเกิน	10
การคัดกรองภาวะน้ำหนักรั่วเกิน	11
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วัสดุและอุปกรณ์	15
รูปแบบการวิจัย	15
วัสดุและอุปกรณ์	15
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	15
ขั้นตอนการศึกษา	16
การวิเคราะห์ข้อมูล	20
บทที่ 4 ผลการศึกษา	22
ลักษณะพื้นฐานของอาสาสมัคร	22
ผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดและความแปรปรวนของ อัตราการเต้นของหัวใจในอาสาสมัครที่มีน้ำหนักรั่วเกิน	23
ผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดและความแปรปรวนของ อัตราการเต้นของหัวใจก่อนและหลังการทดสอบในอาสาสมัครที่มีน้ำหนักรั่ว เกิน/อ้วน	25
ผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดและความแปรปรวนของ อัตราการเต้นของหัวใจก่อนการทดสอบระหว่างสองกลุ่ม	26
ผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดและความแปรปรวนของ อัตราการเต้นของหัวใจหลังการทดสอบระหว่างสองกลุ่ม	28
การทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักรั่วเกิน/อ้วน และวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักรั่วเกิน	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิจัยรณัผลการศึกษา	30
วิจัยรณัผลการศึกษา	30
ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ	33
สรุปผลการศึกษา	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก แบบสอบถามข้อมูลพื้นฐาน	39
ภาคผนวก ข แบบบันทึกข้อมูลผลการออกกำลังกาย	40
ภาคผนวก ค ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย	42
	45



สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบ Dundee step	19
รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงการดำเนินการวิจัย	20



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1-1 ค่า BMI ตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก และค่าจุดตัดของประชากรเอเชีย	12
ตารางที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานระหว่างอาสาสมัครที่มีน้ำหนักปกติและอาสาสมัครที่มีน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน	22
ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจระหว่างก่อนและหลังการทดสอบในวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักปกติ	24
ตารางที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจระหว่างก่อนและหลังการทดสอบในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน	25
ตารางที่ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจ ก่อนการทดสอบระหว่างสองกลุ่ม	27
ตารางที่ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจหลังการทดสอบระหว่างสองกลุ่ม	28
ตารางที่ 4-6 แสดงการตอบสนองหลังการทดสอบ Dundee step	29

สารบัญคำย่อ

ANS	Autonomic nervous system
BHR	Basal heart rate
BMI	Body mass index
CRP	C-reactive protein
ECG	Electrocardiogram
ECs	Endothelial cells
EDRF	Endothelium-derived relaxing factor
eNOS	Endothelial nitric oxide synthase
ExSBP	Exercise systolic blood pressure
HF	High frequency power
HFnu	High frequency component expressed as normalized unit
HRV	Heart rate variability
IL-6	Interleukin-6
LDL	Low density lipoprotein
LF	Low frequency power
LF-HF ratio	High- low frequency ratio
LFnu	Low frequency component expressed as normalized unit
MAP	Mean arterial pressure
NF- κ B	Nuclear factor kappa beta
NO	Nitric oxide
NPY	Neuropeptide Y
RAAS	Renin-angiotensin aldosterone system
RMSSD	The square root of the mean of the squares of the differences between successive normal R-R intervals
ROS	Reactive oxygen species

สารบัญย่อ (ต่อ)

RPP	Rate pressure product
SVI	Sympathovagal imbalance
SDNN	Standard deviation of normal R-R intervals
SBP	Systolic blood pressure
pNN50	Percentage of successive normal R-R intervals with a difference greater than 50 ms
TP	Total power
TPR	Total peripheral resistance



บทคัดย่อ

ที่มาและความสำคัญ: ความชุกของภาวะน้ำหนักตัวเกินและโรคอ้วนในวัยรุ่นไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โรคอ้วนเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของระบบประสาทอัตโนมัติ และการทำงานของเซลล์เอ็นโดทีเลียมที่ผิดปกติ **วัตถุประสงค์:** เพื่อประเมินการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติและการทำงานของเซลล์เอ็นโดทีเลียมในวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักเกิน/อ้วน **วิธีการศึกษา:** ทำการศึกษาในวัยรุ่นหญิง อายุระหว่าง 18-24 ปี จำนวน 42 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มน้ำหนักตัวปกติ (21 คน) และกลุ่มที่มีน้ำหนักเกิน/อ้วน (21 คน) อาสาสมัครได้รับประเมินความแปรปรวนของหัวใจ (Heart rate variability; HRV) ซึ่งสะท้อนการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ เป็นเวลา 5 นาที และประเมินการทำงานของเซลล์เอ็นโดทีเลียม โดย Dundee step test เป็นเวลา 3 นาที ซึ่งทำการประเมินระดับความดันโลหิต และ HRV ก่อนและหลังการทดสอบทันที **ผลการศึกษา:** อาสาสมัครทั้งสองกลุ่มมีค่าความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure; SBP) และความดันสูงสุดขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure; DBP) และอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มพบว่า ก่อนการทดสอบกลุ่มที่มีน้ำหนักเกิน/อ้วนมีค่า SBP และ DBP มากกว่ากลุ่มน้ำหนักตัวปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่หลังการทดสอบทั้งสองกลุ่มมีความดันโลหิต และ HRV ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และไม่พบภาวะ การทำงานของเซลล์เอ็นโดทีเลียมผิดปกติในอาสาสมัครทั้งสองกลุ่ม **สรุปผล** วัยรุ่นที่มีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน มีความดันโลหิตขณะพักมากกว่าคนที่น้ำหนักปกติ ซึ่งอาจไม่ได้เกิดจากความผิดปกติของระบบประสาทอัตโนมัติ และความผิดปกติของการทำงานของเซลล์เอ็นโดทีเลียม

คำสำคัญ น้ำหนักตัวเกิน อ้วน เซลล์เอ็นโดทีเลียม ความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจ
ความดันโลหิตสูง

Abstract

Background: Prevalence of Thai adolescents with overweight and obesity have been increasing. Obesity is a major risk for essential hypertension. It associated with autonomic dysfunctions and endothelial cell dysfunctions. **Objective:** To investigate autonomic activity and endothelial function in overweight and obesity female adolescents. **Methods:** A participant of between the age group (18–24) of 42 obese adolescent women were randomly selected and divided into 2 groups, normal body weight (21 persons) and overweight/ obese (21 persons). Subjects were measured heart rate variability (HRV) reflects autonomic nervous system for 5 minutes and were investigated endothelial function by Dundee step test for 3 minutes. Blood pressure and HRV assessed before and immediately after exercise testing. **Results:** Both groups were significantly increased systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP) and heart rate after testing ($p < 0.05$). When comparing between groups, the overweight/obesity group was significantly higher in resting SBP and DBP than normal weight group ($p < 0.05$) but after testing, blood pressure and HRV unchanged in both groups ($p > 0.05$). **Conclusion:** The overweight and obesity adolescents was significantly higher in resting blood pressure than normal weight which may not associated with dysfunction of autonomic nervous system and endothelial dysfunction.

Keyword: Overweight, Obese, Endothelial Function, Heart Rate Variability, Hypertension

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ความชุกของภาวะน้ำหนักตัวเกินและโรคอ้วนในวัยเรียนและวัยรุ่นไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญเช่นเดียวกับหลายประเทศ ประเทศไทยมีผู้ที่เป็นโรคอ้วน ประมาณ 16 ล้านคน เป็นอันดับ 2 ของอาเซียนรองจากมาเลเซีย มักพบในเพศหญิงมากกว่าในเพศชาย [1] ปัจจุบันวัยรุ่นไทยมีวิถีชีวิตที่แตกต่างไปจากอดีต เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทั้งด้านเศรษฐกิจสังคม วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีใหม่ และการเปลี่ยนแปลงของประเทศไทยรวมทั้งความไม่สมดุลระหว่างปริมาณแคลอรีที่ได้รับและปริมาณแคลอรีที่ใช้ไปสำหรับการเจริญเติบโต จึงส่งผลให้มีปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นในร่างกายนำไปสู่การเกิดภาวะน้ำหนักตัวเกินและโรคอ้วนตามมา [2]

ภาวะน้ำหนักตัวเกินและโรคอ้วนซึ่งมีเซลล์ไขมันมากในร่างกาย ทำให้มีการสร้างระดับ Leptin เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ยับยั้งความอยากอาหารทำให้กินน้อยลง แต่ในคนที่อ้วนมาก จะมีระดับ Leptin สูงอยู่เป็นเวลานาน ทำให้ตัวรับของ Leptin ทำงานน้อยลงจึงเกิดภาวะดื้อต่อ Leptin (Leptin resistance) ทำให้ฤทธิ์ยับยั้งความอยากอาหารลดลง และรับประทานอาหารเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ในผู้ที่เป็นโรคอ้วนยังมีฮอร์โมน Neuropeptide Y (NPY) สูง ซึ่งมีฤทธิ์สำคัญคือเพิ่มความอยากอาหารได้อย่างรุนแรง เพิ่มการทำงานของประสาท Sympathetic activity และลดการทำงานของประสาท Parasympathetic activity จากสาเหตุดังกล่าวจึงส่งผลในผู้ที่มีน้ำหนักตัวเกินและโรคอ้วนมีปริมาณแคลอรีที่ได้รับปริมาณมาก [3] และผู้ที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกินและโรคอ้วนมีความสัมพันธ์กับภาวะความดันโลหิตสูง [4] เนื่องจากการทำงานลดลงของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก และ/หรือการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก [5] อาจนำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนหรือโรคอื่นๆ ตามมา เช่น โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง และมะเร็ง เป็นต้น [6] ในปัจจุบันมีวิธีการประเมินการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานของหัวใจด้วยการวัดค่าความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจ (Heart rate variability; HRV) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย ไม่เป็นอันตรายและมีประสิทธิภาพในการประเมินปัจจัยทางสรีรวิทยาที่มีอิทธิพลต่อจังหวะการเต้นของหัวใจ [7]

เซลล์บุผนังหลอดเลือด (Endothelial cells; ECs) อยู่ชั้นในสุดของหลอดเลือด มีบทบาทสำคัญในการสร้างและคัดหลั่งสารที่มีฤทธิ์ขยายหลอดเลือด (Vasodilation) และควบคุมการทำงานของหลอดเลือดโดยรวมทั้งหมด สารดังกล่าวถูกเรียกว่า Endothelium-derived relaxing

factor (EDRF) ได้แก่ ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO) ซึ่งมีฤทธิ์ขยายหลอดเลือด ยับยั้งการเกิดโรคหลอดเลือดแดงแข็ง ยับยั้งการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด และการจับกันระหว่างเซลล์เม็ดเลือดขาวกับเซลล์ เอนโดทีเลียม และยับยั้งการเพิ่มจำนวนและการเคลื่อนย้ายของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือด [8] ซึ่ง NO สร้างจากเอนไซม์ Endothelial nitric oxide synthase (eNOS) โดยการออกซิไดซ์กรดอะมิโนแอล-อาร์จินีน (L-arginine) ให้เป็นกรดอะมิโนแอล-ซิทรูลีน (L-citrulline) ในภาวะปกติ NO จะหลั่งอย่างต่อเนื่องจากแรงกระตุ้นภาวะเครียดทางกล (Vascular shear stress) ที่เซลล์ Endothelial ทำให้หลอดเลือดขยายตัว นอกจากนี้เซลล์ Endothelial ยังสามารถหลั่ง Endothelin-I และ Angiotensin II ซึ่งมีหน้าที่ตรงข้ามกับ NO และเป็นสารชักนำเริ่มต้นการเกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (Atherosclerosis) ซึ่งในภาวะปกติเซลล์ Endothelial จะหลั่ง NO เพื่อเป็นตัวปรับสมดุลกับสารที่ทำให้หลอดเลือดหดตัว (Vasoconstrictor) [8, 9]

การทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมที่ผิดปกติ (Endothelial dysfunction) หรือโรคอ้วนเนื้อม้วนทำให้ NO สร้างน้อยลง หรือไม่สามารถออกฤทธิ์ได้ตามปกติ ดังเช่นเกิดภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress) จะส่งผลให้ NO bioavailability มีปริมาณลดลง นำไปสู่กล้ามเนื้อเรียบหลอดเลือดขนาดใหญ่ขึ้น (Vascular smooth muscle cell hypertrophy) และแรงต้านของหลอดเลือดส่วนปลายสูงขึ้น นำไปสู่ความดันเลือดสูงขึ้นตามมา นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคไตวายเรื้อรัง และโรคของหลอดเลือดอื่น เป็นต้น [10] ปัจจุบันมีวิธีประเมินการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม ได้แก่ Angiography, Catheterization, Vascular tonometry และ Ultrasound ซึ่งวิธีการเหล่านี้ต้องรุกรานเนื้อเยื่อร่างกาย ปัจจุบันมีการพัฒนา Dundee step test เป็นการทดสอบการออกกำลังกายระดับ Submaximal มีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือ และใช้เวลาทดสอบเพียง 3 นาที [11-13] เมื่อสิ้นสุดการทดสอบจะวัดค่าความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Exercise systolic blood pressure: ExSBP) ซึ่งสะท้อนการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม จากสมมุติฐานที่ว่า ในผู้ที่มี NO bioavailability ลดลง หรือมี Endothelial dysfunction ทำให้หลอดเลือดส่วนปลายขยายตัวได้ลดลงในขณะทำการทดสอบ นำไปสู่ ExSBP เพิ่มสูงขึ้น [13] การศึกษาก่อนหน้ารายงานว่า ในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน มีค่า ExSBP มากกว่าหรือเท่ากับ 180 มิลลิเมตรปรอท หลังการทดสอบ Dundee step ประมาณ 26% ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะเกิดภาวะความดันโลหิตสูงในอนาคตเมื่อเทียบกับวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักตัวปกติ [14]

จากการศึกษาก่อนหน้าพบว่า ในวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักตัวเกินมีความเสี่ยงต่อการเกิด Endothelial dysfunction ซึ่ง Endothelial dysfunction เป็นดัชนีสำคัญในระยะแรก ของการเกิด

โรค และหากสามารถตรวจพบภาวะผิดปกตินี้ได้ตั้งแต่เนิ่น ๆ และให้การรักษาเพื่อแก้ไขภาวะ Endothelial dysfunction ก็จะช่วยไม่ให้โรคดำเนินรุนแรงมากขึ้น [15] และยังพบว่าผู้ที่ มีน้ำหนักตัวเกินมักมีการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติไม่สมดุลกัน ซึ่งอาจนำไปสู่โรคความดันโลหิตสูงหรือโรคอื่นๆ ในวัยผู้ใหญ่ในอนาคต คณะผู้วิจัยจึงสนใจประเมินการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม ด้วยการทดสอบ Dundee step และความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจด้วยการวัดค่า HRV ในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน แม้ว่าการศึกษานี้เป็นการประเมินเพื่อคัดกรองเบื้องต้น อาจไม่ได้ช่วยรักษาและลดภาวะแทรกซ้อนโดยตรง แต่คาดว่าผลการศึกษาที่ได้ น่าจะเป็นแนวทางในการคัดกรองประเมินการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม และเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผนการรักษา การให้คำแนะนำสำหรับผู้ที่ มีภาวะน้ำหนักเกินหรืออ้วนในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการดูแลตัวเอง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินค่าความดันโลหิตหลังการทดสอบ Dundee step (บ่งชี้การทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม) ในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าความดันโลหิตหลังการทดสอบ Dundee step และความแปรปรวนของหัวใจระหว่างวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน และน้ำหนักตัวปกติ

สมมติฐาน

1. การตอบสนองของความดันโลหิตหลังการทดสอบ Dundee step และความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน มีค่าเปลี่ยนแปลงไป
2. การตอบสนองของความดันโลหิตหลังการทดสอบ Dundee step และความแปรปรวนของหัวใจระหว่างวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน และน้ำหนักตัวปกติแตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับผลการตอบสนองของเซลล์เอนโดทีเลียมจากการทดสอบ Dundee step และความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน
2. เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการประเมินทำงานเซลล์เอนโดทีเลียม ด้วยการทดสอบ Dundee step

3. เพื่อเป็นแนวทางให้วัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกินตระหนักถึงการปฏิบัติตัวเพื่อควบคุมน้ำหนักตัวเพื่อป้องกันภาวะแทรกซ้อนจากภาวะน้ำหนักตัวเกินและโรคอ้วน



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

บทนี้จะกล่าวถึงกายวิภาคศาสตร์หลอดเลือดและหัวใจ สรีรวิทยาของระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic nervous system) โรคความดันโลหิตสูง ภาวะน้ำหนักร่างกายเกิน/อ้วน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดดังนี้

1. กายวิภาคศาสตร์หลอดเลือดและหัวใจ

ระบบหัวใจและหลอดเลือด [16] (Cardiovascular system) ประกอบด้วย หัวใจ และเส้นเลือด (Blood vessels) การไหลของเลือดออกไปจากหัวใจทางหลอดเลือดแดง (Arteries) และกลับสู่หัวใจทางหลอดเลือดดำ (Veins) ระหว่างหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ โดยปกติไหลต่อกันผ่านทางร่างแหหลอดเลือดฝอย (Capillary bed) ยกเว้นระบบพอร์ทัล (Portal systems) และการเชื่อมต่อเส้นเลือด (Anastomoses) หลอดเลือดแดงถูกแบ่งออกเป็น หลอดเลือดแดงนำพา (Conducting) หลอดเลือดแดงแพร่กระจาย (Distributing) และหลอดเลือดแดงต้าน (Resistance) หลอดเลือดแดงต้านที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ หลอดเลือดแดงจิ๋ว (Arterioles) โดยเชื่อมต่อกับหลอดเลือดฝอยด้วย Metarterioles หลอดเลือดฝอย (Capillaries) ทำหน้าที่หลักในการแลกเปลี่ยนน้ำในเนื้อเยื่อ ผนังของหลอดเลือดฝอยประกอบด้วยเนื้อเยื่อบุหลอดเลือด (Endothelium) และเยื่อฐาน

2. เซลล์เอนโดทีเลียมหรือเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด

2.1 โครงสร้างเซลล์เอนโดทีเลียม

เซลล์เอนโดทีเลียมหรือเซลล์บุผนังหลอดเลือด [17, 18] มีบทบาทสำคัญในร่างกายหลายกระบวนการ โดยการตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่าง ๆ ทั้งโดยตรงและโดยอ้อมด้วยการส่งสัญญาณไปยังเซลล์อื่น เซลล์เอนโดทีเลียมเปรียบเสมือนเป็นส่วนหนึ่งของอวัยวะ โดยเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่มีบทบาทสำคัญต่อการไหลเวียนโลหิต และการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ [19] โครงสร้างนี้ประกอบด้วยเซลล์เอนโดทีเลียมที่มีชั้น Glycocalyx บนผิวเซลล์ด้านในหลอดเลือด (Intravascular space) และด้านตรงข้ามจะมีโครงสร้างของ Basement membrane โครงสร้าง 3 ชั้นนี้ (Glycocalyx, Endothelial cell และ Basement membrane) เรียกรวมว่า เอนโดทีเลียม (Endothelium) ใต้ชั้นเอนโดทีเลียมมีเซลล์กล้ามเนื้อเรียบอยู่ เซลล์

กล้ามเนื้อนี้มีบทบาทสำคัญในการหดและคลายตัวของหลอดเลือดตามสัญญาณที่ส่งโดยสารสื่อประสาท หรือสารที่หลั่งออกมาจากเซลล์เอนโดทีเลียม เซลล์เอนโดทีเลียมมีหน้าที่หลากหลายมีคุณสมบัติด้านการแข็งตัวของเลือด ด้านการอักเสบ และเสริมการขยายหลอดเลือด โดยมีการตอบสนองต่อการกระตุ้นหรือโจมตีที่แตกต่างกันตามชนิดของตัวกระตุ้น

2.2 หน้าที่ของเซลล์เอนโดทีเลียม ประกอบด้วย

2.2.1 การหดและขยายของหลอดเลือด ปกติหลอดเลือดอยู่ในภาวะคลายตัวซึ่งอาศัยการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมในการตอบสนองต่อสารต่าง ๆ ที่ออกฤทธิ์ให้มีการขยายหรือหดตัวตามภาวะที่เกิดขึ้น [20] เซลล์เอนโดทีเลียมจะสร้าง NO คือ กระตุ้นการลดความตึงของหลอดเลือด (Vascular tone) หรือการคลายตัวของหลอดเลือด (Vasodilation) และเป็นสารต้านออกซิเดชันโดยการรวมตัวกับสารออกซิแดนซ์ หรือ Reactive oxygen species (ROS) เช่น Superoxide ที่เกิดขึ้น เซลล์เอนโดทีเลียมจะสร้าง NO ตอบสนองต่อการกระตุ้นของสารหลายชนิดในภาวะต่างๆ เช่น ฮอร์โมนอินซูลิน แอซิติลโคลีน ซีโรโตนิน และภาวะเครียดทางกล (Shear stress) ขณะเดียวกันก็สามารถสร้างเอนโดทีลิน-1 (ET-1) ซึ่งเป็นเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ตรงข้ามกับ NO คือ กระตุ้นการหดตัวของหลอดเลือด ดังนั้น NO และ ET-1 จึงทำงานร่วมกันในการควบคุมความตึงของหลอดเลือดและความดันโลหิต

2.2.2 กระบวนการห้ามเลือด เซลล์เอนโดทีเลียมมีบทบาทในกระบวนการห้ามเลือดซึ่งช่วยรักษาสถานะของหลอดเลือดไว้ โดยควบคุมการแข็งตัวของเลือด (Coagulation) การสลายลิ่มเลือด (Fibrinolysis) และการทำงานของเกล็ดเลือด ทั้งนี้เซลล์เอนโดทีเลียมทำหน้าที่ได้ทั้งเสริมและต้านการแข็งตัวของเลือด (Pro-coagulant และ Anti-coagulant) ตามปัจจัยแวดล้อมที่เกิดขึ้น [17, 21]

2.2.3 กระบวนการอักเสบ เซลล์เอนโดทีเลียมมีส่วนร่วมในกลไกการอักเสบ [22-24] โดยการสร้างสารต่างๆ เมื่อเกิดการกระตุ้นหรือโจมตี (Insult) และส่งเสริมการอักเสบ (Pro-inflammatory) โดยการสร้างสารต่างๆ เช่น Adhesion molecules เพื่อเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดการเกาะยึดของเซลล์เม็ดเลือดขาวและเกล็ดเลือด ทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณที่มีการบาดเจ็บของเซลล์ นำไปสู่การอักเสบ และการทำลายเซลล์ต่อไป นอกจากนี้ เซลล์เอนโดทีเลียมยังสร้างสารเพื่อเสริมการอักเสบ [24] ได้แก่ Chemokine (CXCL10 และ CCL2) และสารส่งเสริมการอักเสบอื่นๆ เช่น Nuclear factor kappa beta (NF- κ B), C-reactive protein (CRP) และ Interleukin-6 (IL-6)

2.3 Endothelial dysfunction

ภาวะน้ำหนักตัวเกินและภาวะอ้วน จากความไม่สมดุลระหว่างปริมาณแคลอรีที่ได้รับและปริมาณแคลอรีที่ใช้ไป ส่งผลให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นในร่างกาย โดยชนิดของไขมันที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดโรค คือ ไขมัน LDL โดยทำหน้าที่ลำเลียงคอเลสเตอรอลจากตับเข้าสู่กระแสเลือดไปยังเนื้อเยื่อและกล้ามเนื้อต่างๆ มีผลทำให้ (Low density lipoprotein; LDL) ในกระแสเลือดสูงขึ้น หากระดับ LDL สูงอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอันยาวนานก็จะก่อให้เกิดภาวะไขมันในเลือดสูง ทำให้ไขมันไปเกาะบนผนังหลอดเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการอักเสบของเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด ซึ่งในภาวะที่มีไขมันในเลือดสูง ร่างกายจะเกิดความเครียดออกซิเดชัน ทำให้มีการสร้างสารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของออกซิเจน (ROS) จะทำให้ไขมันที่อยู่ในระบบไหลเวียนโลหิตเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กลายเป็นสารที่ทำให้เซลล์บุผนังหลอดเลือดเกิดการบาดเจ็บ ซึ่งหากมี NO อยู่ในปริมาณสูงจะสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ หากมีการสร้าง NO ลดลงก็ส่งผลให้เกิดเซลล์บุผนังหลอดเลือดมีความผิดปกติ จะกระตุ้นเซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่อยู่ในสภาวะปกติ (Quiescent state) กลายเป็นสภาวะที่ถูกกระตุ้น (Synthetic state) ทำให้เซลล์กล้ามเนื้อเรียบมีการเพิ่มจำนวนและการเคลื่อนที่ไปยังผนังหลอดเลือดชั้นในสุด ทำให้เกิดการหนาตัวของผนังหลอดเลือดและปิดกั้นทางเดินเลือด ส่งผลให้เซลล์ในผนังหลอดเลือดเกิดการตายแบบอะพอพโทซิส (Apoptosis) [11-13]

2.4 การประเมินการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม

ปัจจุบันวิธีประเมินการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม ได้แก่ Angiography, Catheterization, Vascular tonometry และ Ultrasound ซึ่งวิธีการเหล่านี้ต้องรูกล้ำเนื้อเยื่อในร่างกาย เครื่องมือราคาสูง และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญตรวจประเมิน ในปัจจุบันได้มีการพัฒนา Dundee step test เป็นการทดสอบการออกกำลังกายระดับ Submaximal ที่เหมาะสำหรับทุกวัย ทำได้ง่าย ใช้เวลาทดสอบเพียง 3 นาที มีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือ [11-13] ซึ่งเป็นการประเมินผลการตอบสนองของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวหลังการทดสอบ Dundee step (Exercise systolic blood pressure: ExSBP) ซึ่งสะท้อนการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม จากสมมุติฐานที่ว่า ในผู้ที่มี NO Bioavailability ลดลง หรือมีการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมผิดปกติส่งผลให้หลอดเลือดส่วนปลายขยายตัวได้ลดลงในขณะที่ทำการทดสอบ นำไปสู่ ExSBP เพิ่มขึ้น [13]

3. ระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic nervous system: ANS)

3.1 ความหมายของระบบประสาทอัตโนมัติ

ระบบประสาทอัตโนมัติ เป็นระบบประสาทที่ประกอบไปด้วย เซลล์ประสาทจำนวนมาก ซึ่งทำงานเป็นอิสระไม่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ (Involuntary) หรือการควบคุมของระบบประสาทส่วนกลาง ดังนั้นการทำงานของเซลล์ประสาทอัตโนมัติจึงทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยคำสั่งจากสมองและเส้นประสาทจาก ซึ่งระบบประสาทอัตโนมัติจะกระจายอยู่ตามบริเวณกล้ามเนื้อเรียบของอวัยวะภายในทุกชนิด รวมทั้งต่อมต่าง ๆ ในร่างกายอีกด้วย [25]

3.2 ประเภทของระบบประสาทอัตโนมัติ แบ่งได้เป็น 2 ระบบย่อย คือ

3.2.1 ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nervous system)

มีศูนย์กลางอยู่บริเวณไขสันหลัง (Spinal cord) ประกอบด้วยเส้นประสาทที่ออกจากบริเวณไขสันหลังตั้งแต่อกจนถึงเอว ระบบนี้จะทำงานในกรณีที่บุคคลตกอยู่ในสภาวะฉุกเฉิน ร่างกายจะเกิดปฏิกิริยาตื่นตัวเพื่อเตรียมพร้อมที่จะสู้หรือหนีจากสถานการณ์เหล่านั้น ปฏิกิริยาของร่างกายที่เกิดขึ้นเมื่อระบบประสาทซิมพาเทติกทำงาน ได้แก่ ขนลุกตั้งชัน ซีพจรเต้นเร็วกว่าปกติ เหงื่อออกมาก ความดันโลหิตเพิ่มขึ้น หัวใจเต้นเร็วและรัว ต่อมอะดรีนัล (Adrenal gland) หรือต่อมหมวกไตจะหลั่งฮอว์โมนอะดรีนาลีน (Adrenalin) เพื่อเพิ่มพลังงานพิเศษให้กับร่างกาย เป็นต้น [25]

3.2.2 ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic nervous system)

มีศูนย์กลางอยู่ที่ก้านสมอง และไฮโปทาลามัส (Hypothalamus) โดยระบบนี้จะทำงานควบคู่กับระบบซิมพาเทติก กล่าวคือ เมื่อระบบซิมพาเทติกทำงานสิ้นสุดลง ร่างกายพ้นจากสภาวะฉุกเฉินไปแล้ว ระบบพาราซิมพาเทติกจะช่วยทำให้ร่างกายกลับคืนสู่สภาวะปกติ เช่น เส้นขนจะราบลง ซีพจรหัวใจและความดันโลหิตจะกลับคืนสภาพเดิม เป็นต้น นอกจากนี้ยังกระตุ้นให้ต่อมอะดรีนัลหลั่งฮอว์โมนนอร์อะดีนาลีน (Noradrenalin) เพื่อช่วยให้ร่างกายกลับสู่สภาวะปกติอีกครั้ง [25]

3.3 บทบาทของระบบประสาทอัตโนมัติ

3.3.1 ควบคุมความดันเลือด

อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายส่วนใหญ่ถูกควบคุมการทำงานด้วยทั้งการทำงานของระบบประสาท Parasympathetic และ Sympathetic ยกเว้นที่หลอดเลือด ส่วนใหญ่ถูกควบคุมด้วยระบบประสาท Sympathetic อย่างเดียว และลักษณะการทำงานของระบบประสาททั้งสอง

เป็นแบบตรงข้ามกัน ดังนั้นแต่ละอวัยวะที่ถูกควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนมัติจะทำงานอยู่ได้ตามปกติ โดยจะมีการทำงานอยู่ในระดับหนึ่งอยู่ตลอดเวลา เช่น ที่หัวใจ ระบบประสาท Parasympathetic ทำให้หัวใจเต้นช้า ส่วนระบบประสาท Sympathetic ทำให้หัวใจเต้นเร็ว

3.3.2 ควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในของร่างกาย

ระบบประสาทอัตโนมัติจะทำให้เกิดโรคต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก โดยมีศูนย์กลางอยู่ในไขสันหลัง แกนสมอง และสมองส่วนฮัยโปทาลามัส โดยจะทำงานเป็นอิสระอยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจระบบประสาทซิมพาเทติก จะทำให้ม่านตาขยายตัว หลอดลมขยายตัว หลอดเลือดหดเล็กลง ความดันโลหิตเพิ่มสูงขึ้น ทางเดินอาหารเคลื่อนไหวช้าและทำงานลดลง เหงื่อออกมาก อุณหภูมิร่างกายเพิ่มขึ้น กระเพาะปัสสาวะขยาย และมดลูกบีบตัวลดลง ในระบบประสาทพาราซิมพาเทติกจะทำงานตรงข้ามกัน

3.3.3 ควบคุมการทำงานของหัวใจ

หัวใจจะถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ จากบริเวณก้านสมองด้วยเส้นประสาท 2 เส้น คือ เส้นประสาทซิมพาเทติกและเส้นประสาทพาราซิมพาเทติก ซึ่งจะส่งสัญญาณมาที่ (Sinoatrial node; SA) โดยที่เส้นประสาทซิมพาเทติกจะทำให้ SA ทำงานเร็วขึ้น ขณะที่เส้นประสาทพาราซิมพาเทติก SA node ทำงานช้าลงและทำให้หัวใจทำงานช้าลง

3.4 การประเมินการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของหัวใจและหลอดเลือด ผู้ที่เป็นโรคอ้วนคาดว่าจะเกี่ยวข้องกับการทำงานลดลงของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก และ/หรือการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก ในปัจจุบันมีวิธีการประเมินการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานของหัวใจ ด้วยการวัดค่าความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจ (HRV) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย ไม่เป็นอันตรายและมีประสิทธิภาพในการประเมินปัจจัยทางสรีรวิทยาที่มีอิทธิพลต่อจังหวะการเต้นของหัวใจ HRV ที่สูงขึ้นจะเป็นสัญญาณที่ดีของการปรับตัวและเป็นเครื่องหมายของผู้ที่มีสุขภาพดีซึ่งหมายถึงมีการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติที่ดีและมีประสิทธิภาพ ในขณะที่การมี HRV ต่ำลงมักจะแสดงถึงการทำงานของระบบดังกล่าวที่ผิดปกติและการปรับตัวที่ไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้การทำงานทางสรีรวิทยาของผู้ป่วยเลวลง [26]

HRV เป็นค่าความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจที่ถูกนำมาใช้ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจและการพยากรณ์โรค การตรวจ HRV ยังสามารถนำมาประเมินภาวะการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติในผู้ป่วยโรคทางระบบประสาท รวมทั้งโรคทางด้านจิตเวช

การหาค่า HRV ทำโดยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจ 24 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง Holter ซึ่งมีราคาสูง ผู้ใช้ต้องมีความรู้ความชำนาญเฉพาะ ปัจจุบันสามารถวัด HRV โดยการใช้นาฬิกาข้อมือที่รับสัญญาณจากสายรัดหน้าอก (Chest strap) แล้วส่งข้อมูลไปยัง คอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมวิเคราะห์ HRV ทั้งนี้นาฬิกาที่ใช้วัด HRV ได้ เช่น นาฬิกา Polar และใช้โปรแกรม Polar pro trainer 5 ในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งราคาไม่สูงมากนัก นาฬิกา Polar ได้รับการวิจัยหาความสัมพันธ์โดยตรงแล้ว [27] สามารถนำมาใช้หาค่า HRV ได้ ข้อมูล HRV ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้สามารถนำไปใช้กับ เวชศาสตร์การกีฬาเพื่อติดตามและประเมินการฝึกซ้อมของนักกีฬาได้ และยังสามารถนำมาใช้ในเวชศาสตร์ฟื้นฟูเพื่อประเมินภาวะการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ และการออกกำลังกายฟื้นฟูสมรรถภาพของผู้ป่วยได้ ความผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจวัดได้จากความผันแปรของเวลาระหว่างหัวใจเต้นแต่ละครั้ง (Variation in the beat to beat interval) หรือวัดจากความผันแปรของ QRS Complex ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยคำนวณความผันแปรจากระยะเวลา ระหว่าง R Wave ของการเต้นหัวใจแต่ละครั้ง (RR Interval) การผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นปรากฏการณ์ ทางสรีรวิทยา โดย SA Node ซึ่งสร้างจังหวะการเต้นของหัวใจ ได้รับการกระตุ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผล คือ

1. ระบบประสาทอัตโนมัติ ได้แก่ ระบบประสาทซิมพาเทติก และระบบประสาทพาราซิมพาเทติก
2. ระบบหายใจ ซึ่งส่งผลต่อระบบประสาท Parasympathetic โดย HRV จะเพิ่มขึ้นเมื่อหายใจช้าลง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ Baroreflex Thermoregulation ฮอร์โมน ช่วงเวลาการนอนหลับ การออกกำลังกาย และความเครียด [28] นอกจากนี้ปัจจัยดังกล่าวที่ส่งผลต่ออัตราการผันแปรของการเต้นของหัวใจ ระหว่างการออกกำลังกาย HRV จะลดลง แต่อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกาย อายุ พันธุกรรม ระยะเวลาในแต่ละวัน สถานะของสุขภาพ และความเครียดต่างๆ ยังเป็นปัจจัยต่ออัตราการผันแปรของอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลง [29]

4. โรคความดันโลหิตสูง

4.1 การเกิดภาวะความดันโลหิตสูง

ความดันโลหิตของบุคคลจะเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบีบตัวของหัวใจและแรงต้านการไหลเวียนของหลอดเลือดส่วนปลาย โดยมีปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง เช่น กรรมพันธุ์ ความอ้วน โรคเบาหวาน การบริโภคอาหารที่มีรสเค็ม ความเครียด การสูบบุหรี่ การดื่มสุรา และอายุ เป็นต้น

ความดันโลหิต คือ ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac output) และความต้านทานของหลอดเลือดส่วนปลาย (Total Peripheral resistance; TPR) การมีระดับความดันโลหิตสูงเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งหรือทั้งสองปัจจัยหรือจากความล้มเหลวของกลไกการปรับชดเชยปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความดันโลหิต ได้แก่ ระบบประสาทซิมพาติก ระบบเรนิน - แองจิโอเทนซิน และระบบการทำงานของไต โดยมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

4.1.1 การกระตุ้นประสาทซิมพาติกส่วนแอลฟาทำให้หลอดเลือดแดงหดตัวจึงมีความต้านทานของหลอดเลือดเพิ่มขึ้น การกระตุ้นประสาทซิมพาติกจะมีผลต่อการทำงานของระบบเรนิน - แองจิโอเทนซินทำให้ผลิตแองจิโอเทนซินทู (Angiotensin II) ส่งผลให้หลอดเลือดแดงหดตัวซึ่งทำให้ความต้านทานของหลอดเลือดส่วนปลายเพิ่มขึ้น และการกระตุ้นประสาทซิมพาติก-ดิกส่วนเบต้าทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มมากขึ้น แรงบีบตัวของหัวใจแรงขึ้น จึงเพิ่มปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจ และทำให้ความดันโลหิตเพิ่มขึ้น [30]

4.1.2 การลดลงของสารเหลวในระบบไหลเวียนทำให้ปริมาตรเลือดที่ไหลผ่านไตน้อยลง ซึ่งกระตุ้นระบบเรนิน - แองจิโอเทนซินทำให้หลอดเลือดหดตัว จึงเกิดแรงต้านของหลอดเลือด โดยแองจิโอเทนซินทู ในระบบไหลเวียนจะกระตุ้นให้มีการหลั่งของ Aldosterone จากต่อมหมวกไตส่วนนอก ซึ่งมีผลในการดูดซึมกลับของน้ำและโซเดียมที่ไตปริมาณของเลือดจึงเพิ่มขึ้นและความดันโลหิตสูงขึ้น

4.1.3 ต่อมใต้สมองส่วนหลังมีการหลั่งฮอร์โมน Antidiuretic hormone เพื่อตอบสนองต่อการลดลงของสารเหลวในระบบไหลเวียน และฮอร์โมนดังกล่าวมีผลต่อกล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือดทำให้เลือดที่ไหลผ่านต้องถูกบีบให้ผ่านอย่างแรง จึงทำอันตรายต่อเยื่อปอดในหลอดเลือด ซึ่งจะทำให้มีการหลั่งสารที่มีผลต่อหลอดเลือดทำให้หลอดเลือดมีการหดตัวมากยิ่งขึ้น สำหรับความรุนแรงของภาวะความดันโลหิตสูงพบรวมกับการเสื่อมสภาพของ

อวัยวะต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ สมอง หัวใจ ไต และตา มีรายงานว่าในกลุ่มที่มีระดับความดันโลหิตซิสโตลิกมากกว่า 140 มิลลิเมตรปรอท เมื่ออายุตั้งแต่ 50 ปีขึ้นไป มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดมากขึ้น [31]

5. ภาวะน้ำหนักตัวเกิน

5.1 คำจำกัดความ

ภาวะน้ำหนักตัวเกิน (Overweight) หมายถึง ภาวะที่เกิดจากการได้รับพลังงานจากอาหารเกินความต้องการของร่างกายและเก็บสะสมไว้จนเกิดอาการปรากฏ เช่น ได้รับสารอาหารที่ให้พลังงานมากเกินไปจนมีการสะสมพลังงานไว้ในร่างกายในรูปของไขมันเพิ่มขึ้นทำให้เกิดโรคอ้วน (Obesity) ตามมาซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบในภายหลังได้ [32] สำหรับผู้ใหญ่นิยมใช้เกณฑ์น้ำหนักต่อส่วนสูงคิดเป็นค่าดัชนีมวลกาย ซึ่งค่าดัชนีมวลกายของประชากรเอเชียไม่ควรเกิน 23 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ถ้าดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 23.1-24.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หมายถึงน้ำหนักเกิน ถ้า 25 กิโลกรัมต่อตารางเมตรขึ้นไปหมายถึงอ้วน [33]

5.2 พยาธิสรีรวิทยาของภาวะน้ำหนักเกิน

ปัญหาภาวะน้ำหนักเกินจะส่งผลให้ปัญหาโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเพิ่มขึ้น ซึ่งภาวะน้ำหนักเกินนั้นส่งผลกระทบต่อทั้งด้านร่างกาย จิตใจ และสังคม [34] ผลกระทบที่สำคัญที่สุดในผู้ที่มีน้ำหนักเกิน คือ การเติบโตเป็นผู้ใหญ่ที่อ้วน นอกจากนี้ยังอาจพบโรคเบาหวานซึ่งปัจจุบันเริ่มพบในกลุ่มเด็กอายุน้อยลงเรื่อย ๆ บางรายอาจมีผิวหนังบริเวณคอรักแร้ขาหนีบข้อพับดำคล้ำ (Acanthosis nigricans) ซึ่งเกิดจากภาวะฮอร์โมนอินซูลินในเลือดสูง ส่วนภาวะแทรกซ้อนอื่น ๆ ที่อาจพบได้คือภาวะไขมันในเลือดสูงและโรคความดันโลหิตสูง สำหรับผลกระทบด้านจิตใจและสังคมพบว่า ผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินจะมีปัญหาเกี่ยวกับบุคลิกภาพ มีสังคมกับคนรอบข้างน้อยลง ซึ่งเด็กที่อ้วนหรือมีน้ำหนักเกินมักโดนเพื่อนแกล้ง และล้อเลียน และเกิดความอายในรูปร่างของตนเอง ขาดความมั่นใจในตนเอง ทำให้ไม่ต้องการไปเรียนหรือมีสังคมกับผู้อื่น และจะมีความกังวลเกี่ยวกับรูปลักษณ์ของตนเองมากขึ้น ขาดความมั่นใจ และเสียความรู้สึกที่ดีต่อตนเอง ไม่เป็นที่ยอมรับของกลุ่มเพื่อน อาจไม่เป็นที่สนใจของเพื่อนต่างเพศ และในบางคนอาจวิตกกังวลมากทำให้เกิดอาการซึมเศร้าได้ จากผลกระทบดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ภาวะน้ำหนักตัวเกินส่งผลต่อคุณภาพชีวิตจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะน้ำหนักตัวเกิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหาร ซึ่งเป็น

ปัจจัยที่สำคัญที่ส่งเสริมให้เด็กมีพฤติกรรมการบริโภคที่ไม่เหมาะสมอันเป็นสาเหตุของภาวะน้ำหนักตัวเกิน [35]

5.3 การคัดกรองภาวะน้ำหนักตัวเกิน

5.3.1 ดัชนีมวลกาย เป็นค่าดัชนีความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูง และน้ำหนักตัว โดยคำนวณจากน้ำหนักตัว (กิโลกรัม) หารด้วยความสูง (เมตรยกกำลังสอง) องค์การอนามัยโลกได้มีการแบ่งเกณฑ์ค่าระดับดัชนีมวลกาย เพื่อใช้เป็นแบบคัดกรองภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วน โดยค่าดัชนีมวลกาย มากกว่าหรือเท่ากับ 25 กิโลกรัมต่อตารางเมตร แสดงว่าเริ่มมีภาวะน้ำหนักเกิน และค่าดัชนีมวลกายที่ 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หมายถึง อ้วน สำหรับประชากรในเอเชีย มีข้อเสนอจุดตัดในการแบ่งกลุ่มโดยที่ค่าดัชนีมวลกาย ที่ 23 กิโลกรัมต่อตารางเมตร หมายถึงภาวะน้ำหนักเกิน และค่าดัชนีมวลกายที่ 25 กิโลกรัมต่อตารางเมตร แสดงว่าอ้วน (ข้อมูลตารางที่ 1) [33]

5.3.2 เส้นรอบเอว (Waist circumference) เป็นค่าที่ได้จากการวัดรอบเอว ด้วยสายวัดมาตรฐาน โดยวัดรอบเอวระดับตำแหน่งกึ่งกลางของข้างเอวระหว่างขอบล่างของซี่โครงล่างกับขอบบนของ iliac crest ให้สายรอบเอวแนบรอบเอว และอยู่ในแนวขนานกับพื้น ซึ่งภาวะอ้วนลงพุง หมายถึง ความยาวเส้นรอบเอว ≥ 90 ซม. ในชาย และ ≥ 80 ซม. ในหญิง [36]

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2010 Prastowo Nawanto A. และคณะ ได้ทำการทดสอบการประเมินการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียลด้วยการทดสอบ Dundee step เป็นเวลา 3 นาที เพื่อวัดค่า (Exercise systolic blood pressure; ExSBP) หากได้ค่า ExSBP มากกว่าหรือเท่ากับ 180 มิลลิเมตรปรอท ถือว่ามีภาวะ hyper-responder บ่งชี้ถึง มีความเสี่ยงต่อการเป็นภาวะความดันโลหิตสูงในอนาคต ผลการศึกษาพบว่า หลังการทดสอบ Dundee step อาสาสมัครในกลุ่มมีภาวะน้ำหนักเกิน มีค่า ExSBP มากกว่ากลุ่มควบคุม และ 26% มีภาวะ hyper-responder แสดงให้เห็นว่า ในผู้ที่มีน้ำหนักเกินมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคความดันโลหิตสูงมากกว่าผู้ที่มีน้ำหนักตัวปกติ [37]

ตารางที่ 1 ค่า BMI ตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก และค่าจุดตัดของประชากรเอเชีย

เกณฑ์ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)		
กลุ่ม	องค์การอนามัยโลก	เกณฑ์สำหรับประชากรเอเชีย
น้ำหนักน้อย	18.5	18.5
น้ำหนักปกติ	18.5 – 24.99	18.5 – 22.99
น้ำหนักเกิน	≥ 25	≥ 23
Pre-obese	25 – 29.99	เสี่ยง (At risk) 23 – 24.99
อ้วนระดับ1	30 – < 34.99	25 – 29.99
อ้วนระดับ2	35 – < 39.99	≥ 30
อ้วนระดับ3	≥ 40.00	-

ในปี ค.ศ. 2014 Indumathy J และคณะ ได้ทำการประเมิน HRV ในผู้ที่มีน้ำหนักตัวเกิน และอ้วนในประเทศอินเดีย โดยวัดค่าดัชนีมวลกาย เส้นรอบเอว สัดส่วนเส้นรอบเอวต่อเส้นรอบสะโพก รวมถึงค่า Basal cardiovascular (CV) parameters ประกอบด้วย Basal heart rate (BHR), Rate pressure product (RPP) และ Mean arterial pressure (MAP) ในอาสาสมัครจำนวน 150 คน ประกอบด้วย กลุ่มน้ำหนักปกติ 50 คน กลุ่มที่มีน้ำหนักตัวเกิน 50 คน และคนอ้วน 50 คน โดยวัด HRV ด้วยวิธี Spectral analysis โดย Biopac system ผลการศึกษาพบว่า ค่า Basal CV parameters ในกลุ่มที่มีน้ำหนักตัวเกินและอ้วนมีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม และยังพบว่า high– low frequency ratio (LF–HF ratio), marker of sympathovagal imbalance (SVI) มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนค่า Total power (TP) และ high frequency component expressed as normalized unit (HFnu) ซึ่งบ่งบอก parasympathetic activity ที่ส่งสัญญาณไปยังหัวใจมีค่าลดลง และ low frequency component expressed as normalized unit (LFnu) ซึ่งบ่งบอก sympathetic activity ที่ส่งสัญญาณไปยังหัวใจมีค่าเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่มีน้ำหนักตัวเกิน และอ้วน และพบว่ากลุ่มคนอ้วนจะมีค่าตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงเด่นชัดมากกว่ากลุ่มน้ำหนักตัวเกิน สรุปได้ว่า BHR และ RPP ที่เพิ่มขึ้น และ HRV ลดลง เนื่องจาก ระบบประสาท sympathetic ทำงานเพิ่มขึ้น และระบบประสาท parasympathetic ทำงานลดลงในผู้ที่มีน้ำหนักเกินและอ้วนซึ่งอาจนำไปสู่การเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ [38]

ในปี ค.ศ. 2015 Chintala KK และคณะ ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะไขมันในช่องท้อง (Visceral Fat) และ HRV ในวัยรุ่นที่มีภาวะน้ำหนักเกิน ในอาสาสมัครจำนวน 80 คน ประกอบด้วย กลุ่มน้ำหนักปกติ 40 คน และกลุ่มที่มีน้ำหนักตัวเกิน 40 คน มีรูปแบบการศึกษาแบบ Cross-sectional อาสาสมัครทุกคนได้รับการประเมิน HRV แบบ frequency domain ประเมินภาวะไขมันในช่องท้อง วัดสัญญาณชีพ และลักษณะทางกายภาพ เช่น อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวล-กาย และสัดส่วนระหว่างเส้นรอบเอวต่อรอบสะโพก เมื่อเทียบกับกลุ่มน้ำหนักตัวปกติพบว่า กลุ่มน้ำหนักตัวเกินมีอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตมากกว่า มีค่า LFnu และ LF: HF ratio มากกว่า รวมทั้งมีค่า HFnu น้อยกว่า นอกจากนี้ ในกลุ่มน้ำหนักตัวเกินมีภาวะไขมันในช่องท้องมีความสัมพันธ์เชิงลบกับ HFnu ($r = -0.32$) และความสัมพันธ์เชิงบวก LFnu ($r = 0.40$) และ LF: HF ($r = 0.35$) แสดงให้เห็นว่า การทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติไม่สมดุลกัน (Sympathovagal imbalance) เนื่องจากระบบประสาทซิมพาเทติกทำงานเพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับภาวะไขมันในช่องท้องในผู้ที่มีน้ำหนักเกิน [39]

ในปี ค.ศ. 2014 Pramodh V และคณะ ได้ศึกษาความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจในผู้ที่มีน้ำหนักเกิน โดยการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในบุคคลที่มีอายุ 45–50 ปี แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มที่น้ำหนักปกติ 40 คน และกลุ่มที่มีน้ำหนักตัวเกิน 40 คน เพื่อประเมินค่าของ BMI ต่อการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ ด้วยการวัด HRV ด้วย time domain และ frequency domain ผลการศึกษาพบว่า LF HF และ LF/HF มีค่าลดลงในผู้ที่มีน้ำหนักตัวเกินเมื่อเทียบกับผู้ที่มีน้ำหนักตัวปกติ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติที่ผิดปกติจะไม่แสดงอาการเห็นชัดในผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกิน แต่สามารถถูกตรวจพบได้โดยการวัด HRV ในระยะเวลาสั้นๆ และความสมดุลของระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติกที่ปรากฏในผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินจะถูกรบกวนเนื่องจากระดับของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ถูกลดระดับลง [40]

ในปี ค.ศ. 2015 Sheema UK และ Malipatil BS ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของ BMI ต่อค่า HRV ในผู้หญิงวัยหนุ่มสาว จำนวน 60 คน ที่มีอายุระหว่าง 18–30 ปี โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 30 คน ได้แก่ กลุ่มน้ำหนักตัวปกติ และกลุ่มน้ำหนักตัวเกิน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มน้ำหนักตัวเกินมีค่า LF และ LF/HF ratio ลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มน้ำหนักตัวปกติ สรุปได้ว่าค่าดัชนีมวลกายที่เพิ่มขึ้นนั้นเกี่ยวข้องกันกับ HRV ที่ลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับการกระตุ้นระบบประสาทซิม

พาเทติกและความไม่สมดุลของระบบประสาทอัตโนมัติ ทำให้การทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติที่ควบคุมหัวใจผิดปกติ นำไปสู่ความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดในเพศหญิง [41]



บทที่ 3

วัสดุและอุปกรณ์

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจ แบบภาคตัดขวาง (Survey research, Cross sectional study) เพื่อประเมินค่าความดันโลหิตหลังการทดสอบ Dundee step (บ่งชี้การทำงานเซลล์เอนโดทีเลียม) ในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน และเปรียบเทียบค่าความดันโลหิตหลังการทดสอบ Dundee step และความแปรปรวนของหัวใจระหว่างวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน และน้ำหนักตัวปกติ

วัสดุและอุปกรณ์

- | | |
|---|-----------|
| 1. เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอล | 3 เครื่อง |
| 2. Step สำหรับการทดสอบ (สูง 17.5* กว้าง 30* ยาว 60 เซนติเมตร) | 2 ตัว |
| 3. เครื่องชั่งน้ำหนักตัวและวัดไขมัน รุ่น BIA omron | 1 เครื่อง |
| 4. สายวัด | 1 เส้น |
| 5. เครื่องเคาะจังหวะ (Metronome) | 1 เครื่อง |
| 6. เครื่องสำหรับวัด HRV รุ่น Edan SE-1515 | 1 เครื่อง |
| 7. เครื่องวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจน (Pulse oximetry) | 3 เครื่อง |
| 8. ชุดปฐมพยาบาลเบื้องต้น | 1 ชุด |
| 9. แบบบันทึกใบยินยอมเข้าร่วมการทดสอบของอาสาสมัคร | 42 ชุด |
| 10. แบบสัมภาษณ์และบันทึกข้อมูลพื้นฐาน | 42 ชุด |
| 11. แบบบันทึกการประเมินการทดสอบ | 42 ชุด |

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. อาสาสมัคร

วัยรุ่นหญิง อายุระหว่าง 18–24 ปี ที่มีน้ำหนักตัวปกติ มีค่าดัชนีมวลกาย ระหว่าง 18.5 – 22.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และมีภาวะน้ำหนักตัวเกินมาตรฐาน มีค่าดัชนีมวลกายมากกว่าหรือเท่ากับ 23 กิโลกรัมต่อตารางเมตรขึ้นไป คำนวณกลุ่มตัวอย่างโดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Prastowo NA และคณะโดยใช้โปรแกรม G*Power 3.1 กำหนดค่า Power อยู่ที่ 0.95 ค่า Effect size เท่ากับ 1.16 และค่า Alpha level เท่ากับ 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่างกลุ่มละ 21 ราย ดังนั้นอาสาสมัครทั้งหมดที่ทำการศึกษามีจำนวน 42 ราย

2. เกณฑ์การคัดเลือก (Inclusion criteria)

2.1 เพศหญิงอายุระหว่าง 18–24 ปี

2.2 สุขภาพดี เช่น ไม่มีโรคประจำตัว

2.3 สามารถเข้าใจภาษาไทยและให้ความร่วมมือในการทดสอบ

3. เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

3.1 มีปัญหาทางระบบกระดูกและโครงร่าง เช่น มีการหักของรยางค์ส่วนล่าง

3.2 มีโรคประจำตัว เช่น ความดันโลหิตสูง เบาหวาน หอบหืด โรคทางระบบหัวใจและหลอดเลือด เช่น โรคกล้ามเนื้อหัวใจ โรคหัวใจแต่กำเนิด และโรคลิ้นหัวใจ เป็นต้น

3.3 ออกกำลังกายเป็นประจำ มากกว่าหรือเท่ากับ 3 ครั้ง/สัปดาห์ มาไม่ต่ำกว่า 3 เดือน

4. เกณฑ์การให้อาสาสมัครออกจากการทดสอบ

4.1 อาสาสมัครต้องการถอนตัวออกจากการทดสอบ

4.2 มีอาการเหนื่อย คะแนน RPE Scale มากกว่าหรือเท่ากับ 5 (RPE Scale 1–10)

4.3 มีอาการชัดเจนของการเจ็บป่วย เช่น หน้ามืด เวียนศีรษะ มีไข้ และใจสั่นหรือเจ็บหน้าอกระหว่างการทดสอบ เป็นต้น

ขั้นตอนการศึกษา

1. ประชาสัมพันธ์โครงการเพื่อให้ผู้ที่สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย จากนั้นคัดกรองอาสาสมัคร

2. คณะผู้วิจัยแจ้งรายละเอียดของการทำวิจัยเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการศึกษา และวิธีการปฏิบัติตัวขณะเข้าร่วมการศึกษาตลอดจนประโยชน์ที่ได้รับ หากอาสาสมัครมีความประสงค์เข้าร่วมการศึกษาให้อาสาสมัครลงนามในใบยินยอมก่อนการเข้าร่วมการศึกษา

3. อาสาสมัครทุกคนได้รับการบันทึกข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง เส้นรอบเอว เส้นรอบสะโพก และเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย รวมถึงรับการสัมภาษณ์ประวัติสุขภาพเบื้องต้นตามเกณฑ์คัดเข้าและคัดออก

4. วัดสัญญาณชีพ อาสาสมัครนั่งพักบนเก้าอี้ ในท่าสบายประมาณ 10 นาที เพื่อคัดกรองอาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัย ประกอบด้วย ความดันโลหิต อัตราการหายใจ อัตราการเต้นของหัวใจ และความอึดตัวของออกซิเจนในหลอดเลือดแดง ทำการวัดจำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

6. แบ่งกลุ่มตามค่าดัชนีมวลกาย จำนวน 2 กลุ่ม คำนวณโดยการใช้น้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัมและหารด้วยส่วนสูงที่วัดเป็นเมตรยกกำลังสอง ได้แก่

กลุ่มที่ 1 น้ำหนักตัวปกติ มีค่าดัชนีมวลกายระหว่าง 18.5 – 22.99 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

กลุ่มที่ 2 น้ำหนักตัวเกินมาตรฐาน ค่าดัชนีมวลกายมากกว่าหรือเท่ากับ 23 กิโลกรัมต่อตารางเมตรขึ้นไป

7. การประเมินความแปรปรวนของหัวใจและทดสอบการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม

7.1 การเตรียมอาสาสมัครก่อนทำการทดสอบ

7.1.1 อาสาสมัครนั่งพักในห้องที่เงียบ อุณหภูมิห้องประมาณ 20–25 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 10 นาที

7.1.2 อาสาสมัครงดเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

7.1.3 อาสาสมัครงดเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีนและยาที่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจอย่างน้อย 6 ชั่วโมง

7.1.4 อาสาสมัครงดออกกำลังกายอย่างหนักอย่างน้อย 30 นาทีก่อนทำการทดสอบ

7.2 วัดความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจ (HRV) [42] [43]

การทดสอบ HRV เป็นการทดสอบแบบไม่รุกรานร่างกาย ซึ่งบ่งบอกถึงการทำงานของซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก ของระบบประสาทอัตโนมัติบน Sinus node ของหัวใจ ซึ่งทำการประเมิน HRV ก่อนและหลังการทดสอบ Dundee step

7.2.1 การตรวจประเมิน HRV

7.2.1.1 อาสาสมัครนั่งพักในห้องที่เงียบสงบ อุณหภูมิห้องประมาณ 20–25 องศาเซลเซียส

7.2.1.2 ผู้วิจัยติดอิเล็กโทรด Lead II เพื่อบันทึกความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแขนขวา (-) กับขาซ้าย (+) ขาขวา (กราว)

7.2.1.3 ทำการวัด HRV ด้วยเครื่องวัด HRV รุ่น Edan SE-1515 โดยให้อาสาสมัครนั่งบนเก้าอี้ในที่ผ่อนคลาย เพื่อทำการวัด HRV เป็นเวลา 5 นาที

7.2.1.4 ผลการวัด HRV ประกอบด้วย Time domain analysis และ Frequency domain analysis

1) Time domain analysis

โดยการคำนวณดัชนีตามการคำนวณทางสถิติในช่วง RR หรือ NN Interval (Time domain analysis) ซึ่งต้องอาศัยการเลือกช่วงของระยะเวลาที่แม่นยำของ R Wave โดยการใช้ช่วงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram; ECG) ระยะสั้น (0.5-5 นาที) [44, 45] ประกอบด้วย

1.1) standard deviation of all normal to normal R-R (NN) intervals (SDNN) คือ ค่า standard deviation ของ NN intervals มักคำนวณจากการวัดอัตราการเต้นของหัวใจตลอด 24 ชั่วโมง

1.2) Square root of the mean of the squares of successive NN interval differences (RMSSD) คือ ค่า root ของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของ NN intervals ที่อยู่ติดกันยกกำลังสอง

1.3) The proportion of NN intervals difference >50 ms (PNN50) คือ สัดส่วนของ NN50หารด้วยจำนวนคู่ของ NN intervals ทั้งหมด

2) Frequency domain analysis [46, 47]

โดยการวิเคราะห์ Frequency domain วิเคราะห์ด้วยวิธี Power spectral density จะคำนวณหาค่า Total power เป็นค่าผลรวมที่เกิดจาก Power spectrum ของการเต้นหัวใจที่มีค่าความถี่ตั้งแต่ 0 ถึง 0.4 Hz ซึ่งจะบ่งบอกการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ

2.1) Low frequency power (LF) แสดงถึง Sympathetic activity และ Vagal activity แต่เด่นในเรื่องของ Sympathetic activity

2.2) High frequency power (HF) แสดงถึง Vagal activity

2.3) Ratio of low-high frequency power (LF/HF) แสดงถึง Sympathovagal balance

7.3 ทดสอบการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมด้วย Dundee step test [37]

7.3.1 การเตรียมสถานที่

7.3.1.1 สถานที่ควรเป็นห้องที่เงียบ อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส

7.3.1.2 เตรียม Step สูง 17.5 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร และยาว 60 เซนติเมตร

7.3.1.3 ทำเครื่องหมายเพื่อกำหนดตำแหน่งของการก้าวลงจาก Step

7.3.2 วิธีการทดสอบ

7.3.2.1 อาสาสมัครวัดสัญญาณชีพขณะพัก ได้แก่ ความดันโลหิต อัตรา- การหายใจ อัตราการเต้นของหัวใจ และความอึดตัวของออกซิเจนในหลอดเลือดแดง ทำการวัดจำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

7.3.2.2 อาสาสมัครนั่งพักในห้องที่เงียบ อุณหภูมิห้องประมาณ 20-25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

7.3.2.3 ตั้งเครื่องให้จังหวะที่ 368 ครั้ง เพื่อให้อัตราการก้าวขึ้นลง 92 ครั้งต่อนาที

7.3.2.4 ในจังหวะการก้าวขึ้นลงนั้นให้นับ 4 ครั้ง นับครั้งที่ 1 ให้วางเท้าขวา บน Step (ดังรูปที่ 1ก) นับครั้งที่ 2 ให้ก้าวขาซ้ายขึ้นตามและยืนตรง (ดังรูปที่ 1ข) นับครั้งที่ 3 ให้ก้าวเท้าขวาลงมาที่พื้น (ดังรูปที่ 1ค) และนับครั้งที่ 4 ก้าวเท้าซ้ายตามลงมา (ดังรูปที่ 1ง)



รูปที่ 1ก วางเท้าขวา บน Step



รูปที่ 1ข ก้าวขาซ้ายขึ้นตามและยืนตรง



รูปที่ 1ค ก้าวเท้าขวาลงมาที่พื้น

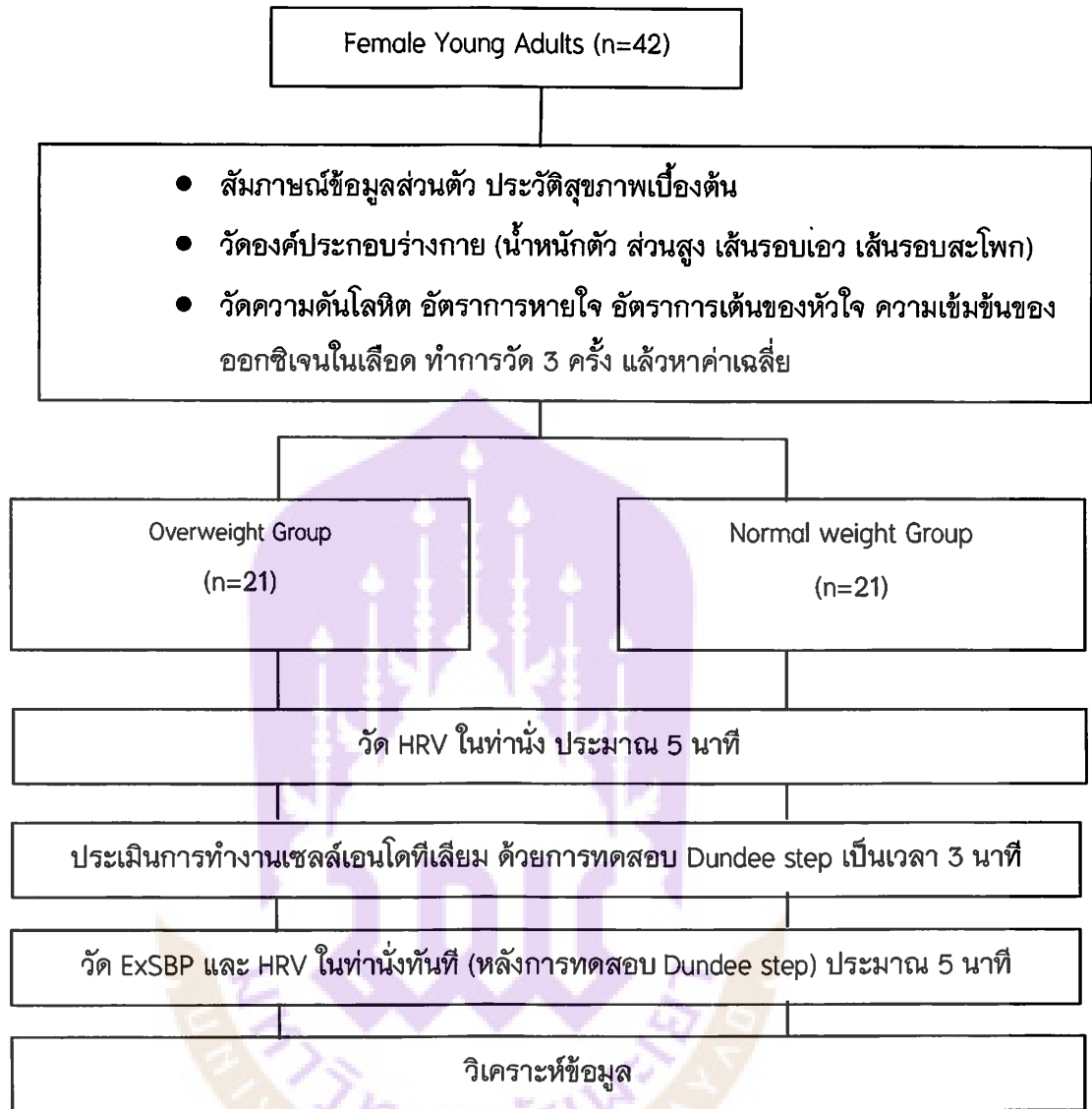


รูปที่ 1ง ก้าวเท้าซ้ายตามลงมา

รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบ Dundee step

7.3.2.5 เมื่อการทดสอบสิ้นสุดให้ผู้ถูกทดสอบนั่งบนเก้าอี้แขนทั้งสองข้าง ควรผ่อนคลายและอยู่ข้างๆ ล้างตัว แล้ววัดค่า ExSBP หลังการทดสอบทันที ทำการวัดจำนวน 1 ครั้ง โดยหากอาสาสมัคร

- 1) มีค่า Exercise blood pressure (ExSBP) < 180 แสดงถึงไม่มีความเสี่ยงต่อการเป็นความดันโลหิตสูง
- 2) ค่า Exercise blood pressure (ExSBP) \geq 180 แสดงถึงมีความเสี่ยงต่อการเป็นความดันโลหิตสูง [37]



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงการดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ใช้สถิติพรรณนา (Descriptive) โดยคำนวณหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± standard deviation; SD) เพื่ออธิบายลักษณะพื้นฐาน ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร
2. ใช้สถิติ Independent T-test เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลผลการทดสอบ Dundee step test และการวัด HRV ระหว่างอาสาสมัครทั้งสองกลุ่ม เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และใช้สถิติ Man-Whitney U test ในกรณีที่ข้อมูลแจกแจงแบบไม่ปกติ

3. ใช้สถิติ Dependent T-test เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการทดสอบ Dundee step test และการวัด HRV เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และใช้สถิติ Willcoxon sign rank test ในกรณีที่ข้อมูลแจกแจงแบบไม่ปกติ

4. ใช้สถิติ Analysis of Covariance (ANCOVA) เพื่อเปรียบเทียบค่าความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวหลังทดสอบระหว่างสองกลุ่ม โดยควบคุมตัวแปรค่าความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวก่อนทดสอบ

5. โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$



บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในบทนี้เป็นการรายงานผลการศึกษาโดยมีประเด็นดังนี้ คือ ลักษณะพื้นฐานของอาสาสมัคร การตอบสนองของหัวใจและหลอดเลือด ค่าความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจ และการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกิน/อ้วน

4.1 ลักษณะพื้นฐานของอาสาสมัคร

ข้อมูลพื้นฐานอาสาสมัครทั้งหมด 42 คน ประกอบด้วยกลุ่มที่น้ำหนักตัวปกติ จำนวน 21 คน และกลุ่มที่น้ำหนักตัวเกิน/อ้วน จำนวน 21 คน พบว่ากลุ่มน้ำหนักตัวปกติน้ำหนักตัวน้อยกว่ากลุ่มน้ำหนักตัวเกิน/อ้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (52.99 ± 4.28 และ 69.45 ± 9.99 กิโลกรัม ตามลำดับ; $p < 0.001$) ค่าดัชนีมวลกายของกลุ่มน้ำหนักตัวปกติน้อยกว่ากลุ่มน้ำหนักตัวเกิน/อ้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (20.80 ± 1.38 และ 27.56 ± 2.34 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ; $p < 0.001$) เส้นรอบเอวของกลุ่มน้ำหนักตัวปกติน้อยกว่ากลุ่มน้ำหนักตัวเกิน/อ้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (69.81 ± 5.47 และ 89.59 ± 11.50 เซนติเมตร ตามลำดับ; $p < 0.001$) เส้นรอบสะโพกของกลุ่มน้ำหนักตัวปกติน้อยกว่ากลุ่มน้ำหนักตัวเกิน/อ้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (89.93 ± 6.07 และ 104.00 ± 11.14 เซนติเมตร ตามลำดับ; $p < 0.001$) ไขมันร่างกายของกลุ่มน้ำหนักตัวปกติน้อยกว่ากลุ่มน้ำหนักตัวเกิน/อ้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (26.11 ± 3.41 และ 33.97 ± 3.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ; $p < 0.001$) ไขมันในช่องท้องของกลุ่มน้ำหนักตัวปกติน้อยกว่ากลุ่มน้ำหนักตัวเกิน/อ้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (2.76 ± 2.43 และ 7.58 ± 3.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ; $p < 0.001$) ขณะที่อายุ ส่วนสูง และอัตราการหายใจ ของอาสาสมัครทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานระหว่างอาสาสมัครที่มีน้ำหนักปกติและอาสาสมัครที่มีน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน

ตัวแปร	น้ำหนักตัวปกติ (n = 21)	น้ำหนักเกิน/อ้วน (n = 21)	p-value
อายุ (ปี)	20.33 ± 1.24	21.12 ± 1.15	0.065
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	160.10 ± 4.48	159.65 ± 3.79	0.980
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	52.99 ± 4.28	69.45 ± 9.99	<0.001*
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)	20.80 ± 1.38	27.56 ± 2.34	<0.001*
เส้นรอบเอว (เซนติเมตร)	69.81 ± 5.47	89.59 ± 11.50	<0.001*
เส้นรอบสะโพก (เซนติเมตร)	89.93 ± 6.07	104.00 ± 11.14	<0.001*
ไขมันร่างกาย (เปอร์เซ็นต์)	26.11 ± 3.41	33.97 ± 3.09	<0.001*
ไขมันในช่องท้อง (เปอร์เซ็นต์)	2.76 ± 2.43	7.58 ± 3.18	<0.001*
อัตราการหายใจ (ครั้งต่อนาที)	18.14 ± 1.68	17.41 ± 3.06	0.238

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน * $p < 0.05$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2 ผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือด และความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจในอาสาสมัครที่มีน้ำหนักปกติ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดก่อนและหลังการทดสอบพบว่า ก่อนการทดสอบค่าความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวน้อยกว่าหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (102.98 ± 7.51 และ 132.05 ± 13.51 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ; $p < 0.001$) ความดันสูงสุดขณะหัวใจคลายตัวก่อนการทดสอบน้อยกว่าหลังการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (65.40 ± 7.12 และ 78.90 ± 8.04 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ; $p < 0.001$) อัตราการเต้นของหัวใจก่อนการทดสอบน้อยกว่าหลังการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (84.00 ± 10.97 และ 89.29 ± 13.37 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ; $p < 0.001$) ดังตารางที่ 4-2

ผลของค่าความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจก่อนและหลังการออกกำลังกายโดยการขึ้นลง Step เป็นเวลา 3 นาที พบว่า ค่า mean RR interval (Mean RR) ก่อนการทดสอบมีค่ามากกว่าหลังการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (722.86 ± 104.19 และ 682.19 ± 114.22 มิลลิวินาที ตามลำดับ; $p < 0.001$) ส่วนค่า SDNN, RMSSD, PNN50, LF, HF, LF(norm), HF(norm),

LF/HF และ TP ก่อนและหลังการออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจระหว่างก่อนและหลังการทดสอบในวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

ตัวแปร	น้ำหนักปกติ (n = 21)		
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	p-value
ความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	102.98 ± 7.51	132.05 ± 13.51	<0.001*
ความดันสูงสุดขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	65.40 ± 7.12	78.90 ± 8.04	<0.001*
อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)	84.00 ± 10.97	89.29 ± 13.37	<0.001*
Mean RR (ms)	722.86 ± 104.19	682.19 ± 114.22	<0.001*
SDNN (ms)	39.67 ± 14.39	41.60 ± 16.25	0.341
RMSSD (ms)	28.51 ± 14.50	30.41 ± 19.11	0.590
PNN50 (%)	10.33 ± 14.78	11.63 ± 15.58	0.494
LF (ms ²)	465.48 ± 363.26	491.66 ± 364.84	0.931
HF (ms ²)	347.70 ± 311.14	332.95 ± 314.27	0.566
LF (norm) (u.n)	54.58 ± 18.20	51.25 ± 18.56	0.334
HF (norm) (u.n)	39.17 ± 19.76	38.90 ± 18.67	0.916
LF/HF (u.n)	2.23 ± 2.02	2.43 ± 3.49	0.889
TP (ms ²)	1,442.82 ± 1,118.42	1,339.36 ± 1080.77	0.455

ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน * $p < 0.05$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Mean RR: mean RR interval; SDNN: standard deviation of normal R-R intervals; RMSSD: the square root of the mean of the squares of the differences between successive normal R-R intervals; pNN50: percentage of successive normal R-R intervals with a difference greater than 50ms; LF: low frequency spectral band; HF: high frequency spectral band; LF/HF: ratio of low to high frequency spectral bands; TP: total power

4.3 ผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดและความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจก่อนและหลังการทดสอบในอาสาสมัครที่มีน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดก่อนและหลังการทดสอบพบว่า ก่อนการทดสอบค่าความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวน้อยกว่าหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (111.76±8.24 และ 144.90±14.49 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ; $p<0.001$) ความดันสูงสุดขณะหัวใจคลายตัวก่อนการทดสอบน้อยกว่าหลังการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (72.11±9.62 และ 85.76±9.14 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ; $p<0.001$) ค่าอัตราการเต้นของหัวใจก่อนการทดสอบน้อยกว่าหลังการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (87.76±10.03 และ 95.38±13.68 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ; $p<0.001$)

ผลของค่าความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจก่อนและหลังการทดสอบในอาสาสมัครที่มีน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน พบว่า ค่า Mean RR หลังการทดสอบมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (688.52±75.88 และ 638.95±95.12 มิลลิวินาที ตามลำดับ; $p=0.003$) ขณะที่ค่า SDNN, RMSSD, PNN50, LF, HF, LF(norm), HF(norm), LF/HF และ TP ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจระหว่างก่อนและหลังการทดสอบในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน

ตัวแปร	น้ำหนักตัวเกิน/อ้วน (n = 21)		
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	p-value
ความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	111.76 ± 8.24	144.90 ± 14.49	<0.001*
ความดันสูงสุดขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท)	72.11 ± 9.62	85.76 ± 9.14	<0.001*
อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)	87.76 ± 10.03	95.38 ± 13.68	<0.001*
Mean RR (ms)	688.52 ± 75.88	638.95 ± 95.12	0.003*
SDNN (ms)	39.09 ± 15.46	42.67 ± 22.37	0.422
RMSSD (ms)	38.46 ± 20.46	31.20 ± 18.90	0.159
PNN50 (%)	8.04 ± 15.20	11.67 ± 16.19	0.970
LF (ms ²)	393.38 ± 291.22	305.68 ± 513.77	0.073

ตารางที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจระหว่างก่อนและหลังการทดสอบในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน (ต่อ)

ตัวแปร	น้ำหนักตัวเกิน/อ้วน (n = 21)		
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	p-value
HF (ms ²)	405.13 ± 357.12	295.25 ± 312.05	0.092
LF (norm) (u.n)	47.37 ± 23.30	41.63 ± 16.92	0.267
HF (norm) (u.n)	42.83 ± 23.76	42.36 ± 17.66	0.910
LF/HF (u.n)	1.89 ± 1.87	1.45 ± 1.39	0.244
TP (ms ²)	1,351.11 ± 802.16	1,176.35 ± 1,049.91	0.131

ข้อมูลแสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน * $p < 0.05$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Mean RR: mean RR interval; SDNN: standard deviation of normal R-R intervals; RMSSD: the square root of the mean of the squares of the differences between successive normal R-R intervals; pNN50: percentage of successive normal R-R intervals with a difference greater than 50ms; LF: low frequency spectral band; HF: high frequency spectral band; LF/HF: ratio of low to high frequency spectral bands; TP: total power

4.4 ผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดและความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจก่อนการทดสอบระหว่างสองกลุ่ม

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดก่อนการทดสอบในกลุ่มวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักตัวปกติ และกลุ่มวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน พบว่าในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวปกติ มีค่าความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวน้อยกว่าวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักเกิน/อ้วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (102.98 ± 7.51 และ 111.76 ± 8.24 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ; $p < 0.001$) ความดันสูงสุดขณะหัวใจคลายตัวก่อนการทดสอบในวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักตัวปกติน้อยกว่าวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (65.40 ± 7.12 และ 72.11 ± 9.62 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ; $p = 0.014$) ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ค่าความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจระหว่างวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วนและวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักปกติก่อนการทดสอบพบว่า ค่าอัตราการเต้นของหัวใจ ค่า Mean RR, SDNN, RMSSD, PNN50, LF, HF, LF(norm), HF(norm), LF/HF และ TP ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจก่อนการทดสอบระหว่างสองกลุ่ม

ตัวแปร	ก่อนการทดสอบ		p-value
	น้ำหนักตัวปกติ (n = 21)	น้ำหนักตัวเกิน/ อ้วน (n = 21)	
ความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท)	102.98 ± 7.51	111.76 ± 8.24	<0.001*
ความดันสูงสุดขณะหัวใจคลาย ตัว (มิลลิเมตรปรอท)	65.40 ± 7.12	72.11 ± 9.62	0.014*
อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)	84.00 ± 10.97	87.76 ± 10.03	0.253
Mean RR (ms)	722.86 ± 104.19	688.52 ± 75.88	0.229
SDNN (ms)	39.67 ± 14.39	39.09 ± 15.46	0.859
RMSSD (ms)	28.51 ± 14.50	38.46 ± 20.46	0.359
PNN50 (%)	10.33 ± 14.78	8.04 ± 15.20	0.950
LF (ms ²)	465.48 ± 363.26	393.38 ± 291.22	0.554
HF (ms ²)	347.70 ± 311.14	405.13 ± 357.12	0.582
LF (norm) (u.n)	54.58 ± 18.20	47.37 ± 23.30	0.270
HF (norm) (u.n)	39.17 ± 19.76	42.83 ± 23.76	0.590
LF/HF (u.n)	2.23 ± 2.02	1.89 ± 1.87	0.529
TP (ms ²)	1,442.82 ± 1118.42	1,351.11 ± 802.16	0.811

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน * $p < 0.05$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Mean RR: mean RR interval; SDNN: standard deviation of normal R-R intervals; RMSSD: the square root of the mean of the squares of the differences between successive normal R-R intervals; pNN50: percentage of successive normal R-R intervals with a difference greater than 50ms; LF: low frequency spectral band; HF: high frequency spectral band; LF/HF: ratio of low to high frequency spectral bands; TP: total power

4.5 ผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดและความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจหลังการทดสอบระหว่างสองกลุ่ม

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดหลังการทดสอบด้วยใช้สถิติ Analysis of Covariance (ANCOVA) โดยควบคุมตัวแปรค่าความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวก่อนทดสอบ พบว่าหลังการทดสอบในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน มีค่าความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวและความดันสูงสุดขณะหัวใจคลายตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 4-5

ผลของค่าความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจหลังการทดสอบในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน และวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักปกติ พบว่า ค่าอัตราการเต้นของหัวใจ ค่า Mean RR, SDNN, RMSSD, PNN50, LF, HF, LF(norm), HF(norm), LF/HF และ TP ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้น ของหัวใจหลังการทดสอบระหว่างสองกลุ่ม

ตัวแปร	หลังการทดสอบ		p-value
	น้ำหนักตัวปกติ (n = 21)	น้ำหนักตัวเกิน/อ้วน (n = 21)	
ความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (มิลลิเมตรปรอท) [#]	132.05 ± 13.51	144.90 ± 14.49	0.146
ความดันสูงสุดขณะหัวใจคลายตัว (มิลลิเมตรปรอท) [#]	78.90 ± 8.04	85.76 ± 9.14	0.267
อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)	89.29 ± 13.37	95.38 ± 13.68	0.152
Mean RR (ms)	682.19 ± 114.22	638.95 ± 95.12	0.190
SDNN (ms)	41.60 ± 16.25	42.67 ± 22.37	0.947
RMSSD (ms)	30.41 ± 19.11	31.20 ± 18.90	0.715
PNN50 (%)	11.63 ± 15.58	11.67 ± 16.19	0.724
LF (ms ²)	348.67 ± 422.25	305.68 ± 513.77	0.094
HF (ms ²)	332.95 ± 314.27	295.25 ± 312.05	0.950
LF (norm) (u.n)	51.25 ± 18.56	41.63 ± 16.92	0.087

ตารางที่ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรของความดันโลหิตและความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจหลังการทดสอบระหว่างสองกลุ่ม (ต่อ)

ตัวแปร	หลังการทดสอบ		p-value
	น้ำหนักตัวปกติ (n = 21)	น้ำหนักตัวเกิน/อ้วน (n = 21)	
HF (norm) (u.n)	38.90 ± 18.67	42.36 ± 17.66	0.541
LF/HF (u.n)	2.43 ± 3.49	1.45 ± 1.39	0.134
TP (ms ²)	1,339.36 ± 1,080.77	1,176.35 ± 1049.91	0.458

ข้อมูลแสดง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน $p < 0.05$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Mean RR: mean RR interval; SDNN: standard deviation of normal R-R intervals; RMSSD: the square root of the mean of the squares of the differences between successive normal R-R intervals; pNN50: percentage of successive normal R-R intervals with a difference greater than 50ms; LF: low frequency spectral band; HF: high frequency spectral band; LF/HF: ratio of low to high frequency spectral bands; TP: total power *ใช้สถิติ ANCOVA

4.6 การทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน และวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักปกติ

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดหลังการทดสอบ Dundee step ในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน และวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักปกติ พบว่าค่าความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวในวัยรุ่นหญิงทั้งสองกลุ่ม ไม่พบความดันโลหิตมากกว่า 180 มิลลิเมตรปรอท (หรือ Hyper-responder) แสดงถึงว่า อาสาสมัครทั้งสองกลุ่มไม่มีภาวะ Endothelial dysfunction ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 แสดงการตอบสนองหลังการทดสอบ Dundee step

	น้ำหนักตัวเกิน/อ้วน (ราย)	น้ำหนักปกติ (ราย)
Hypo-responder	21	21
Hyper-responder	0	0

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการศึกษา

1. วิจารณ์ผลการศึกษา

โรคอ้วนเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการทำงานของหัวใจและหลอดเลือด ผู้ที่เป็นโรคอ้วนมีความทุกข์ทรมานจากความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากโรคดังกล่าว ซึ่งคาดว่าจะเกี่ยวข้องเนื่องกับการทำงานลดลงของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก และ/หรือการกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก และการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมที่ผิดปกติ โรคอ้วนในวัยรุ่นมีอุบัติการณ์เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการมีการตรวจประเมินคัดกรองสุขภาพในผู้ที่มีน้ำหนักตัวมากกว่าปกติ น่าจะช่วยลดอุบัติการณ์การเกิดภาวะแทรกซ้อนจากโรคอ้วนได้ การศึกษานี้ได้ทำการประเมินค่าความดันโลหิตหลังการทดสอบ Dundee step ซึ่งบ่งชี้การทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม และค่า HRV ในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน พบว่า ในขณะที่พักวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน มีค่า HRV ไม่แตกต่างกัน แต่ค่า (Systolic blood pressure; SBP และ (Diastolic blood pressure; DBP) มากกว่าวัยรุ่นที่มีน้ำหนักตัวปกติ แต่หลังการทดสอบ Dundee step พบว่าทั้งค่า HRV และตัวแปรทางระบบหัวใจและหลอดเลือดมีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่า หลังการทดสอบ Dundee step อาสาสมัครทั้งสองกลุ่มมีค่า SBP ค่า DBP และ HR เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขณะพัก แต่ HRV ไม่เปลี่ยนแปลง และยังพบว่าค่าความดันโลหิตหลังการทดสอบ Dundee step มีค่าน้อยกว่า 180 มิลลิเมตรปรอทที่ บ่งชี้อาสาสมัครในการศึกษานี้ไม่มีการทำงานเซลล์เอนโดทีเลียมที่ผิดปกติ

1) ลักษณะพื้นฐานของอาสาสมัคร

อาสาสมัครในกลุ่มน้ำหนักเกิน/อ้วน มีดัชนีมวลกายเฉลี่ยเท่ากับ 27.56 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งถือว่าเป็นโรคอ้วนตามเกณฑ์ของเอเชีย [36] มีปริมาณไขมันในร่างกายมากกว่าปกติ และมีเส้นรอบเอวเฉลี่ยเท่ากับ 89.59 เซนติเมตร ถือว่ามีภาวะอ้วนลงพุง [48] ซึ่งปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่า โรคอ้วนเป็นภาวะที่มีไขมันสะสมในร่างกายมากกว่าปกติ มีผลเสียต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิต ภาวะอ้วนมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางร่างกายหลายระบบ และเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคต่างๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น กลุ่มอาการทางเมแทบอลิก (metabolic syndrome) โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง และโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด เป็นต้น ซึ่งในประเทศไทย อัตราผู้ที่มีน้ำหนักตัวมากเพิ่มจำนวนมากขึ้น เนื่องจากความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นและพฤติกรรมกรรมการบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะการรับประทานอาหารประเภท fast

food ที่ได้รับความนิยมมากขึ้น แต่รับประทานผักและผลไม้ลดลง อีกทั้งมีเวลาออกกำลังกายน้อย มีสิ่งอำนวยความสะดวกมากมายที่ทำให้การเผาผลาญพลังงานลดลง [49] แต่ในการศึกษานี้พบว่า อายุและอัตราการหายใจของอาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า อายุและอัตราการหายใจ ไม่น่าจะเป็นปัจจัยที่ทำให้ผลของค่าความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจเปลี่ยนแปลงไป

2) ผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดและความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจ

การศึกษานี้พบว่าหลังการทดสอบการออกกำลังกายด้วย Dundee step เป็นเวลา 3 นาที อาสาสมัครทั้งสองกลุ่มมีค่า SBP ค่า DBP และ HR เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับขณะพัก ขณะที่ความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับขณะพัก สามารถอธิบายผลการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดที่เกิดขึ้นหลังออกกำลังกาย ซึ่งระบบไหลเวียนเลือดทำหน้าที่สำคัญในการนำออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อใช้รวมทั้งนำของเสียกลับออกมาจากกล้ามเนื้อ เมื่อออกกำลังกายหรือทำกิจกรรมกล้ามเนื้อจะมีการหดตัว ร่างกายต้องการออกซิเจนไปใช้มากขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณเลือดส่งออกจากหัวใจต่อนาที (Cardiac output: CO) ซึ่งอาจเกิดได้ทั้งจากกลไกเชิงกลและทางเคมี ซึ่งระหว่างออกกำลังกายกล้ามเนื้อเกิดการหดตัวและคลายตัว (Muscle pump) ทำให้ปริมาณเลือดไหลกลับห้องบนขวา (Venous return) มากขึ้น ทำให้แรงดันในห้องหัวใจขวาบนเพิ่มขึ้น และปริมาตรเลือดในห้องล่างซ้ายก่อนหัวใจมีการบีบตัว (End diastolic volume; EDV) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรเลือดที่ถูกบีบออกจากหัวใจต่อการบีบตัวหนึ่งครั้งเพิ่มขึ้น (Stroke volume; SV) และจากการที่กล้ามเนื้อต้องการพลังงานในการหดตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ภายในหลอดเลือดบริเวณกล้ามเนื้อที่ออกกำลังกายมีปริมาณออกซิเจนลดลงและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเป็นกรดในเลือดเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดในกล้ามเนื้อส่งผลให้แรงดันในหลอดเลือดลดลง เมื่อแรงดันในหลอดเลือดลดลงทำให้ไปกระตุ้น Arterial baroreceptor ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น และเกิดการหดตัวของหลอดเลือดที่กล้ามเนื้อที่ไม่ได้ออกกำลังกาย (Inactive muscle) ม้าม และไต เป็นต้น จากผลการตอบสนองที่เกิดขึ้นส่งผลให้ CO และ HR เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันโลหิตเพิ่มขึ้นเพื่อส่งออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย [50]

ในระยะการฟื้นตัวหลังออกกำลังกายในระยะสั้นของการออกกำลังกายที่ระดับความหนักที่ต่ำ โดยทั่วไปจะมีการฟื้นตัวอย่างรวดเร็ว โดยพบว่าอัตราการเต้นหัวใจ ปริมาณสูบฉีดโลหิต และปริมาณโลหิตที่หัวใจฉีดออกใน 1 นาที จะลดลงกลับไปยังอัตราในขณะพักอย่าง

รวดเร็ว ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความหนักของการออกกำลังกาย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย และระดับความสามารถทางกายของบุคคล ซึ่งความแตกต่างระหว่างบุคคลโดยคนที่ออกกำลังกายเป็นประจำหรือได้รับการฝึกอย่างดี (Trained) จะมีอัตราการเต้นของหัวใจลดลงได้เร็วกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก (Untrained) [51] ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำ Dundee step test มาใช้ในการทดสอบ ซึ่งเป็นการทดสอบการออกกำลังกายความหนักระดับ Submaximal ที่เหมาะสมสำหรับทุกวัย ทำได้ง่าย มีความเที่ยงตรงและน่าเชื่อถือ และใช้เวลาทดสอบ 3 นาที [11-13] ซึ่งถือว่าเป็นการการออกกำลังกายในระยะสั้น ความหนักในการออกกำลังกายอยู่ในระดับปานกลาง อีกทั้งอาสาสมัครเป็นกลุ่มที่มีพฤติกรรมเนือยนิ่ง (Sedentary lifestyle) จึงอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ภายหลังการทดสอบให้การตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวหลังออกกำลังกายจึงอาจทำให้ความดันโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจยังสูงเมื่อเทียบกับขณะพัก [52] และอาจมีอิทธิพลจากความต้องการอาหารและก๊าซออกซิเจนของเนื้อเยื่อ อุณหภูมิร่างกาย ความเป็นกรด-ด่างของร่างกาย ฮอร์โมน และระบบประสาท เป็นต้น [53] แต่การศึกษานี้พบว่าความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับขณะพัก แสดงให้เห็นว่าระบบประสาทอัตโนมัติอาจไม่ได้เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดก่อนการทดสอบของอาสาสมัครทั้งสองกลุ่ม พบว่าค่าความดันโลหิตในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน มากกว่าวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักปกติ แต่ความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจไม่แตกต่างอาจเนื่องจากโรคอ้วนเกิดจากการสะสมของไขมันบริเวณช่องท้องปริมาณมากเกินไป ซึ่งไขมันเหล่านี้จะแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระเข้าสู่ตับ มีผลให้อินซูลินออกฤทธิ์ได้ไม่ดีเกิดภาวะดื้อต่ออินซูลิน ในภาวะปกติอินซูลินจะมีฤทธิ์ขยายหลอดเลือด แต่เมื่อเกิดภาวะดื้อต่ออินซูลิน ทำให้การขยายตัวของหลอดเลือดลดลง การหดตัวของหลอดเลือดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ความดันโลหิตเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และเป็นตัวทำนายการเกิดโรคเบาหวานรวมทั้งโรคหัวใจและหลอดเลือด ทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน โรคไขมันในเลือดผิดปกติ และความดันโลหิตสูง ในที่สุดจะเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือด [54]

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดหลังการทดสอบในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน และวัยรุ่นหญิงที่มีน้ำหนักปกติ พบว่าค่าความดันโลหิตในวัยรุ่นหญิงไม่มีความแตกต่างกัน แต่ค่า LF มีแนวโน้มลดลงในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วนที่โดยทั่วไปจะแสดง ถึงการเปลี่ยนแปลงของ sympathetic activity มี

การศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงของ low frequency activity เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของทั้ง sympathetic และ parasympathetic activity [55] ซึ่งสอดคล้องกับ sympathovagal imbalance ที่มีการทำงานของ sympathetic dominance บกพร่อง [56]

3. การทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักตัวเกิน/อ้วน

ในการศึกษานี้พบว่า หลังการทดสอบไม่มีอาสาสมัครที่มีความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวเกิน 180 มิลลิเมตรปรอท แสดงถึงไม่มีอาสาสมัครที่มีภาวะ Endothelial dysfunction [14] อาจจะเนื่องมาจากอาสาสมัครมีอายุน้อย การทำงานของไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO) ซึ่งมีฤทธิ์ขยายหลอดเลือด ในภาวะปกติ NO จะหลั่งอย่างต่อเนื่องจากแรงกระตุ้นภาวะเครียดทางกล (Vascular shear stress) ที่เซลล์ Endothelial ทำให้หลอดเลือดขยายตัว ถ้าเซลล์ Endothelial ยังสามารถทำงานได้ปกติ จะหลั่ง NO เพื่อเป็นตัวปรับสมดุลกับสารที่ทำให้หลอดเลือดหดตัว [8,9]

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการวัดตัวแปรทางชีวภาพ เช่น นอร์อิพิเนพรีน (Norepinephrine; NE) อีพิเนพรีน (Epinephrine; E) อินซูลิน และระดับไขมันในเลือด ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของไขมันในร่างกาย ซึ่งอาจมีผลต่อค่าตัวแปรที่ทำการวัด

2. ฮอร์โมนเพศหญิงในแต่ละช่วงของการมีประจำเดือนมีผลต่อค่าตัวแปรความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งในการศึกษานี้ไม่ได้ทำการกำหนดช่วงเวลาให้กับอาสาสมัคร ในการศึกษารั้งต่อไปควรมีการกำหนดช่วงเวลาของรอบการมีประจำเดือนให้กับอาสาสมัครเพื่อให้ผลการศึกษาที่มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

3. เกณฑ์การกำหนด ควรมีการแบ่งกลุ่มแยกของอาสาสมัครน้ำหนักเกินและอ้วน เพื่อให้เห็นผลการศึกษาที่ชัดเจนขึ้น

4. ควรมีการศึกษาทั้งเพศชายและเพศหญิง

สรุปผลการศึกษา

ในวัยรุ่นที่มีน้ำหนักเกินและอ้วน ขณะพักมีค่าความดันโลหิตทั้งความดันสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว และความดันสูงสุดขณะหัวใจคลายตัวมากกว่าคนที่น้ำหนักปกติ ซึ่งอาจไม่ได้เกิดจากความผิดปกติของระบบประสาทอัตโนมัติ และความผิดปกติของการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียม

เอกสารอ้างอิง

1. Teerawattananon Y, Luz A. Obesity in Thailand and its economic cost estimation. ADBI Working Paper Series 2017.
2. กัลยาณี โนนินทร์. ภาวะน้ำหนักเกิน และโรคอ้วนในวัยเรียนและวัยรุ่นไทย. วารสารพยาบาลทหารบก 2017; 18: 1-8.
3. ฉันทชา สิทธิเจริญ. ความอ้วนและการควบคุมความอยากอาหาร คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล2556 Available from:http://www.rcot.org/datafile/_file/_doctor/06d6ffc7a1c90f38e3592f5043b9eb64.pdf.
4. Wattanasit P. Hypertension in Children and Adolescents: A Literature Review. Songklanagarind Journal of Nursing 2016; 36 (3): 234-46.
5. Yadav RL, Yadav PK, Yadav LK, Agrawal K, Sah SK, Islam MN. Association between obesity and heart rate variability indices: an intuition toward cardiac autonomic alteration – a risk of CVD. Diabetes Metab Syndr Obes 2017; 10: 57-64.
6. Kinlen D, Cody D, O'Shea D. Complications of obesity. QJM: An International Journal of Medicine 2017; 111 (7): 437-43.
7. วิไลวรรณ กฤษณะพันธ์, ยูพา คู่คงวิริยพันธ์, อรพิน ผาสุริย์วงษ์. การปรับระบบประสาทอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานของหัวใจในเด็กและวัยรุ่นที่เป็นโรคอ้วน. ศรีนครินทร์เวชสาร 2554; 26 (2): 136-43.
8. รุ่งรัตน์ นิลธเสน. ไนตริกออกไซด์กับโรคหลอดเลือดตีบแข็ง. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.1 (2): 71-9.
9. สุดาวดี คงขำ. การสูญเสียหน้าที่ของเซลล์เอนโดทีเลียลในโรคไตเรื้อรัง. วารสารเทคนิคการแพทย์ 2560; 45 (3): 6115-24.
10. Endemann DH, Schiffrin EL. Endothelial dysfunction. Journal of the American Society of Nephrology : JASN 2004; 15 (8): 1983-92.
11. Lim PO, Donnan PT, MacDonald TM. Does the Dundee Step Test predict outcome in treated hypertension A sub- study protocol for the ASCOT trial. Anglo-Scandinavian Cardiac Outcome Trial. Journal of human hypertension 2000; 14 (1): 75-8.

12. Lim PO, MacDonald TM. Step test in hypertension. *QJM: An International Journal of Medicine* 2000; 93 (11): 703–5.
13. Tzemos N, Patterson D, MacDonald T. Dundee Step Test: A Novel Non– Invasive Method of Assessing Endothelial Function in Man. *Scottish Medical Journal* 2002; 47 (1): 3–6.
14. Prastowo NA, Haryono R, Lucida P, Indra SK. Assessing Endothelial Function in Normotensive Overweight Adolescent Using Dundee Step Test. *Medical Journal of Indonesia* 2010; 19 (1): 52–6.
15. Yoopa C. Vascular Dysfunction in Metabolic Syndrome: The Role of Oxidant Stress. *Srinagarind Medical Journal* 2007;22:5.
16. Elaine N, et all. *Human anatomy 6th ed and media update. 6th ed.* Pearson; 2011.
17. Cines DB, Pollak ES, Buck CA, Loscalzo J, Zimmerman GA, McEver RP, et al. Endothelial cells in physiology and in the pathophysiology of vascular disorders. *Blood*. 1998; 91 (10): 3527–61.
18. Rajendran P, Thangavel J, et al. The vascular endothelium and human diseases. *Int J Biol Sci*. 2013.
19. Cheng H. Renal endothelial dysfunction in diabetic nephropathy. *Cardiovasc Hematol Disord Drug Targets* 2014.
20. Mombouli JV. Endothelial dysfunction: from physiology to therapy. *J Mol Cell Cardiol*. 1999.
21. Becker BF, Kupatt C, Zahler S. Endothelial function and hemostasis. *Z Kardiol*. 2000.
22. P L. Inflammation in atherosclerosis. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2012.
23. Paulus P, Zacharowski K. Biomarkers of endothelial dysfunction: can they help us deciphering systemic inflammation and sepsis. *Biomarkers*. 2011.
24. Charo IF, Taubman MB. Chemokines in the pathogenesis of vascular disease. *Circulation research*. 2004; 95 (9): 858–66.
25. Wikipedia. Autonomic Nervous System. Scholarpedia [Internet] . 2019[cited 2019 August7] ;Available from:http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Autonomic_nervous_system&oldid=909727667

26. วิไลวรรณ กฤษณะพันธ์, ภูวัง แสงเมือง, ฤพา คู่คงวิริยพันธ์, อรพิน ผาสุริย์วงษ์. การปรับระบบประสาทอัตโนมัติที่ควบคุมการทำงานของหัวใจในเด็กและวัยรุ่นที่เป็นโรคอ้วน. ศรีนครินทร์เวชสาร. 26: 2.
27. Nunan D, Jakovljevic D, Hodges L, Sandercock G, D B. Validity and reliability of short-term heart-rate variability from the Polar S810. Med Sci Sports Exerc. 2009.
28. Kleiger RE, Bigger JT. Heart rate variability: measurement and clinical utility. Ann Noninvasive Electrocardiol. 2005.
29. Castello V, Simões RP, Bassi D, Catai AM, Arena R, Borghi-Silva AJOs. Impact of aerobic exercise training on heart rate variability and functional capacity in obese women after gastric bypass surgery. 2011; 21 (11): 1739-49.
30. วรฤทธิ เจริญศิริ. ระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic Nervous System). 2004.
31. Thanika. สรีรวิทยาระบบไหลเวียน physiology of circulatory system. 2555.
32. Kantachuvessiri A. Obesity in Thailand. Journal of Medical Association of Thailand 2005.
33. Zhou J, Zeng L, Wang D, Li C, Liu Y, Yan H, et al. Effects of birth weight on body composition and overweight/obesity at early school age. 2019.
34. Janssen I, Leblanc AG. Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. The international journal of behavioral nutrition and physical activity. 2010; 7: 40.
35. Pere C, Mullet RG, DiCarlo CJTIUJFS-L, Leadership,, Change S. Childhood Obesity Prevention. 2015; 5 (1): 1-13.
36. จำภา ม. ความรู้ทางโภชนาการ ทศนคติดต่ออาหารพฤติกรรมกรรรับประทานอาหาร และภาวะโภชนาการของนักเรียนพยาบาลทหารอากาศ. วารสารพยาบาลตำรวจ. 2557;6:2.
37. Prastowo NA, et all. Assessing Endothelial Function in Normotensive Overweight dolescent Using Dundee Step Test. Medical Journal of Indonesia 2010; 19: 1.
38. Indumathy J, Pal P, Pal GK, Dutta TK. Assessment of heart rate variability indices in overweight and obese Indian population. International Journal of Clinical and Experimental Physiology. 2014; 1 (3): 192-5.

39. Chintala KK, Krishna BH, N MR. Heart rate variability in overweight health care students: correlation with visceral fat. *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR*. 2015; 9 (1): Cc06–8.
40. Ramalingam L, Ramesh R, Kuppan RJNJoP, Pharmacy, Pharmacology. Assessment of cardiac sympathovagal activity in overweight young adult males. 2016;6(2):101.
41. Sheema K, Malipatil B. A cross-sectional study on effect of body mass index on the spectral analysis of heart rate variability. *Natl J Physiol Pharm Pharmacol*. 2015; 5 (3): 250–2.
42. Stein PK, Kleiger RE, Conger BM. Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone. *Am Heart J*. 1994.
43. Van Ravenswaaij– Arts CA, Hopman JW, Stoeltinga GA, van Geijn HP. Heart rate variability. *Ann Intern Med* 1993.
44. Akselrod S, Madwed JB, Snidman NC, Shannon DC, Cohen RJ. Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 1985.
45. Parer WJ, Holbrook RH, Block BSB. Validity of mathematical methods of quantitating fetal heart rate variability. *Am J Obstet Gynecol*. 1985.
46. ศิริอร สีนุ, ปิยะนันท์ ลิ้มเรืองรอง, ลลิตพิงษ์ ตันคาปวน. พยาบาลนำการจัดการภาวะน้ำหนักเกิน. *วัฒนาการพิมพ์*; 2559.
47. สุจินดา ริมศรีทอง, สุดาพรรณ ธัญจิรา, อรุณศรี เตชะหงส์. พยาธิสรีรวิทยาทางการพยาบาล เล่ม 2. กรุงเทพฯ: บริษัทสามเจริญพาณิชย์ จำกัด; 2551.
48. Zhou J, Zeng L, Wang D, Li C, Liu Y, Yan H, et al. Effects of birth weight on body composition and overweight/obesity at early school age. 2019.
49. Komonwipast, Udomkankaset N. Effectiveness of Self– Efficacy Enhancing Program on Health Behaviors, Body Weight, and Waist Circumference of Nursing Students with Overweight. *Wilawan % J Songklanagarind Journal of Nursing*. 2017; 37 (2): 118–31.
50. พัทธ์เกียรติ ม. บทความฟื้นฟูวิชาการ การออกกำลังกายในเด็ก. *เวชศาสตร์ฟื้นฟูสุขภาพ*. 2540; 7 (1).

51. Mai AS, dos Santos AB, Beber LCC, Basso RDB, Sulzbacher LM, Goettems– Fiorin PB, et al. Exercise training under exposure to low levels of fine particulate matter: effects on heart oxidative stress and extra–to–intracellular HSP70 ratio. 2017;2017.
52. Prastowo NA ea. Assessing Endothelial Function in Normotensive Overweight Adolescent Using Dundee Step Test. 2010.
53. Robert L. Cardiovascular Responses to Exercise Colloquium Series on Integrated Systems Physiology: From Molecule to Function. Nature Reviews Cardiology. September 2011; 14 (9): 550–54.
54. ละอองดาว คำชาดา, เพ็ญศิริ ดำรงภคภากร, อัมพรพรรณ ชีรานุตร. โรคอ้วนลงพุง: สัญญาณอันตรายที่ต้องจัดการ. ศรีนครินทร์เวชสาร. 2561;4(33):386–95.
55. ณัฐเศรษฐ มนินนากร, อภิวัฒน์ มนินนากร, รัตนา วิเชียรศิริ, จิตติมา แสงสุวรรณ, นฤมล ลีลาญวัฒน์. การประเมินความผันแปรอัตราหัวใจเต้นและการประยุกต์ใช้ในเวชปฏิบัติ. เวชศาสตร์พื้นฟูสาร. 2561; 1 (28).
56. El Agaty SM, Kirmani A, Labban E. Heart rate variability analysis during immediate recovery from exercise in overweight/obese healthy young adult females. Annals of noninvasive electrocardiology : the official journal of the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology, Inc. 2017; 22 (3).





ภาคผนวก ก
แบบสอบถามข้อมูลพื้นฐาน

Code.....Group.....

วันที่.....

แบบสอบถามข้อมูลพื้นฐาน

คำชี้แจง โปรดใส่เครื่องหมาย \checkmark ในช่องว่างหรือกรอกข้อมูลที่ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ นางสาว นามสกุล

ว/ด/ป เกิด อายุปี เบอร์โทรศัพท์.....

ข้อมูลสุขภาพ

น้ำหนัก กิโลกรัม ส่วนสูง เซนติเมตร BMI..... Kg/m²

เส้นรอบเอว.....เซนติเมตร เส้นรอบสะโพก.....เซนติเมตร

ความดันโลหิต.....มิลลิเมตรปรอท อัตราการเต้นของหัวใจ.....ครั้ง/นาที

ค่าความอึดตัวของออกซิเจน.....% อัตราการหายใจ.....ครั้ง/นาที

1. โรคประจำตัว ไม่มี มี ระบุ.....2. ยาที่ใช้ประจำ ไม่มี มี ระบุ.....

3. การบาดเจ็บหรืออุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับแขนและมือ

 ไม่เคย เคย ระบุ.....

4. ปัญหาเกี่ยวกับระบบหัวใจและหลอดเลือด

 ไม่มี มี ระบุ.....5. ภายใน 12 ชั่วโมง ท่านดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ไม่ใช่ ใช่6. ภายใน 12 ชั่วโมง ท่านดื่มเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน ไม่ใช่ ใช่7. ท่านพักผ่อนวันละ < 8 ชั่วโมง > 8 ชั่วโมง8. ท่านออกกำลังกายสม่ำเสมอ (ก่อนหน้ามากกว่าหรือเท่ากับ 3 เดือน) ไม่ออกกำลังกาย

กาย

 < 3 วัน/สัปดาห์ > 3 วัน/สัปดาห์

9.ท่านมีปัญหาทางระบบกระดูกและโครงร่าง เช่น มีการหักของรยางค์ส่วนล่าง

 ไม่มี มี ระบุ.....ระดับความเจ็บปวด VAS.....



ภาคผนวก ข

แบบบันทึกข้อมูลผลการออกกำลังกาย

แบบบันทึกข้อมูลผลการทดสอบ

1. ตารางบันทึกเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย

ตัวแปร	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
Weight				
FAT				
Visceral Fat				
RM (kcal)				
BMI				
Body age				
<u>Subcutaneous</u>				
Whole body (%)				
Trunk (%)				
Arms (%)				
Legs (%)				
<u>Skeletal</u>				
Whole body (%)				
Trunk (%)				
Arms (%)				
Legs (%)				

2. ตารางบันทึกตัวแปรทางระบบหัวใจและหลอดเลือด

ตัวแปร	ก่อนการทดสอบ				หลังการ ทดสอบ (ทันที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Systolic blood pressure (mmHg)					
Diastolic blood pressure (mmHg)					
Heart rate (beats/min)					
O2 saturation (%)					
Respiratory rate (RR)					

ตัวแปร	ก่อนการทดสอบ				หลังการทดสอบ (ทันที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
Mean arterial blood pressure (mmHg)					
Rate pressure product					

ซึ่งค่า MAP และ RPP คำนวณได้จากสูตร $MAP = \text{diastolic blood pressure} + 1/3 \text{ pulse pressure}$ และ $RPP = SBP \times HR$ ตามลำดับ

3. ตารางบันทึกการวัดความแปรปรวนของการเต้นของหัวใจ

ตัวแปร	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ
Simpling Time		
Total Beat Number		
Heart Rate (bpm)		
Average RR Interval		
SDNN		
RMSSD		
NN50		
PNN50		
SDSD		
Low frequency power (LF)		
High frequency power (HF)		
Low frequency power (norm)		
High frequency power (norm)		
Ratio of low-high frequency power (LF/HF)		
Total Power		

ลงชื่อผู้ประเมิน.....



ภาคผนวก ค
ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เรื่อง การประเมินการทำงานของเซลล์เอนโดทีเลียมและความแปรปรวนของ
การเต้นของหัวใจในวัยรุ่นหญิงที่มีภาวะน้ำหนักเกิน

วันที่ เดือน ปี

พ.ศ.....

ก่อนที่จะลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัยนี้ ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยถึง
จุดประสงค์ของการวิจัย วิธีวิจัย ประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นจากการวิจัยอย่างละเอียดและมีความ
เข้าใจดีแล้ว

ข้าพเจ้ายินดีเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และข้าพเจ้ามีสิทธิจะบอกเลิก
การเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ และการบอกเลิกการเข้าร่วมการวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบ
ใดๆต่อข้าพเจ้า

ผู้วิจัยรับรองว่าจะตอบคำถามต่างๆที่ข้าพเจ้าสงสัยด้วยความเต็มใจไม่ปิดบัง ซ่อนเร้น
จนข้าพเจ้าพอใจ ข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับตัวข้าพเจ้าจะถูกเก็บเป็นความลับและจะเปิดเผยใน
ภาพรวมที่เป็นการสรุปผลการวิจัย

ข้าพเจ้าได้อ่านข้อความข้างต้นแล้ว และมีความเข้าใจดีทุกประการ และได้นามในใบ
ยินยอมนี้ด้วยความเต็มใจ

ลงนาม.....ผู้ยินยอม

(.....)

ลงนาม.....พยาน

(.....)

ลงนาม.....ผู้วิจัย

(.....)

