

# การตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดและระดับการใช้พลังงาน ต่อการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดรูปแบบใหม่ในอาสาสมัครที่มีสุขภาพดี

## Cardiovascular response and energy expenditure of a novel heart rate maximizer test in healthy volunteers

กฤษณา บุญทา\* อุบล พิรุณसार เพียรชัย ค่ำวงษ์  
Kritsana Boontha\* Ubon Pirunsan Peanchai Khamwong

ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

Department of Physical Therapy, Faculty of Associated Medical Sciences, Chiang Mai University, Chiang Mai Province, Thailand

\* ผู้รับผิดชอบบทความ (Email: kritsana.b@cmu.ac.th)

\* Corresponding author (Email: kritsana.b@cmu.ac.th)

Received January 2016

Accepted as revised April 2016

### Abstract

**Objectives:** The purpose of this study was to investigate overall and sex differences of cardiovascular function, rating of perceived exertion, energy expenditure and the level of exercise testing to the heart rate maximizer test in both sexes of healthy young adults.

**Methods:** One-hundred healthy young adults including 50 males (mean age  $22.7 \pm 3.1$  years) and 50 females (mean age  $22.7 \pm 3.3$  years) participated in the study. Participants completed two minutes of the heart rate maximizer test. Measurements included heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP), rating of perceived exertion (RPE), energy expenditure (EE) at baseline, during testing and 5 minutes of recovery period. A heart rate recovery (HRR) was calculated.

**Results:** During performing the heart rate maximizer test, HR, SBP and RPE increased dramatically and reached the peak at two minutes of the test which is about 90% maximal HR ( $HR_{Max}$ ) and RPE of 16, respectively. For period of recovery, HR, RPE and SBP decreased rapidly then HR became plateau at 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> minute of recovery. All variables, however, still be higher than at baseline. Although trends of all variables looked similar between gender, HRR in first minute, SBP and EE were significantly higher and RPE in second minute of recovery was significantly lower in males compared to females ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** The heart rate maximizer test can be used as a safe vigorous exercise testing for evaluating of cardiovascular system. Despite similar trends were observed in most parameters for both genders, sex differences in cardiovascular function can be found in this study by considering HRR in first minute, SBP, EE and RPE.

*Bull Chiang Mai Assoc Med Sci 2016; 49(2): 263-275. Doi: 10.14456/jams.2016.17*

**Keywords:** Heart rate maximizer, heart rate response, heart rate recovery, rating of perceived exertion, energy expenditure

## บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์:** เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบหัวใจและหลอดเลือด การรับรู้ความเหนื่อยในการออกกำลังกาย ระดับความหนักของการทดสอบ และระดับพลังงานที่ใช้ในการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (heart rate maximizer test) ของอาสาสมัครสุขภาพดี

**วิธีการศึกษา:** ศึกษาในอาสาสมัครสุขภาพดีจำนวน 100 ราย เป็นเพศชาย จำนวน 50 ราย (อายุเฉลี่ย  $22.7 \pm 3.1$  ปี) และเพศหญิง จำนวน 50 ราย (อายุเฉลี่ย  $22.7 \pm 3.3$  ปี) ทดสอบ heart rate maximizer ด้วยการกระโดดตบเป็นเวลา 2 นาที บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate, HR) ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (systolic blood pressure, SBP) ระดับการรับรู้ความเหนื่อยในการออกกำลังกาย (rating of perceived exertion, RPE) และระดับพลังงานที่ใช้ (energy expenditure, EE) ทั้งก่อน ระหว่าง และ 5 นาทีหลังการทดสอบ และคำนวณหาการกลับคืนสู่ภาวะปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate recovery, HRR)

**ผลการศึกษา:** ในขณะทดสอบ heart rate maximizer ค่า HR, SBP และค่า RPE ของอาสาสมัครทั้งหมดปรับสูงขึ้นในทิศทางเดียวกัน โดย HR สูงสุดที่ประมาณ 90% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดและ RPE สูงสุดที่ 16 ส่วนในระยะพักฟื้น HR, RPE และ SBP ปรับลดลงอย่างรวดเร็วและ HR เริ่มคงที่ในนาทีที่ 4 และ 5 และทุกตัวแปรยังคงมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้ในขณะพักเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาตามเพศพบการตอบสนองข้างต้นในรูปแบบเดียวกันทั้งเพศชายและเพศหญิง ในขณะที่ค่า HRR ในนาทีที่ 1 ค่า SBP และ ค่า EE ที่วัดได้ในเพศชายสูงกว่าเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

**สรุปผลการศึกษา:** การทดสอบ heart rate maximizer จัดเป็นการทดสอบความแข็งแรงของระบบหัวใจและหลอดเลือดในระดับหนักที่มีความปลอดภัย และเพศมีผลต่อการตอบสนองของ HRR ในนาทีที่ 1, SBP, EE และ RPE

วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่ 2559; 49(2): 263-275. Doi: 10.14456/jams.2016.17

**คำรหัส:** Heart rate maximizer การตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจ การกลับคืนสู่ภาวะปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ ค่าการรับรู้ความเหนื่อยในการออกกำลังกาย ระดับพลังงานที่ใช้

## บทนำ

ความแข็งแรงของหัวใจและปอด (cardiopulmonary fitness) การกลับคืนสู่ภาวะปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate recovery, HRR) และค่าความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (systolic blood pressure, SBP) เป็นตัวแปรสำคัญที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดในกลุ่มคนทั่วไป และในกลุ่มผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือด<sup>1-3</sup> ผู้ที่มีความแข็งแรงของหัวใจและปอดในระดับสูงจะมีความสามารถในการทำกิจกรรมทางกายในระดับสูงเช่นกัน ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีส่วนสำคัญที่ช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงปัญหาด้านสุขภาพและลดอัตราการเสียชีวิตจากหลายสาเหตุได้<sup>4</sup>

โดยทั่วไป ความแข็งแรงของหัวใจและปอดสามารถประเมินจากปริมาณของออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายใช้ต่อนาที (maximal oxygen uptake,  $VO_{2Max}$ ) อย่างไรก็ตาม การตรวจ

$VO_{2Max}$  โดยตรงมีข้อจำกัด ได้แก่ ความไม่สะดวกในการนำมาใช้ในทดสอบภาคสนาม กลุ่มประชากรขนาดใหญ่ อุปกรณ์มีราคาสูง การทดสอบต้องทำในห้องปฏิบัติการ ใช้เวลาในการทดสอบนาน และผู้ทดสอบต้องมีความชำนาญ<sup>5</sup> เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว นักวิจัยจึงพัฒนาวิธีการวัดทางอ้อมเพื่อใช้หาค่าโดยประมาณของ  $VO_{2Max}$  โดยทดสอบด้วยการออกกำลังกาย (exercise testing) และพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจ<sup>6,7</sup> และค่าการรับรู้ความเหนื่อยในการออกกำลังกาย (rating of perceived exertion, RPE)<sup>6,8,9</sup> สามารถใช้ในการพยากรณ์ค่า  $VO_{2Max}$  ได้ในระดับสูง นอกจากนี้ อัตราการเต้นของหัวใจร่วมกับความหนักของการออกกำลังกายอาจใช้ประมาณค่า  $VO_{2Max}$  ได้ ทั้งนี้ระดับความหนักของกิจกรรมอาจพิจารณาได้จากค่าการใช้พลังงานในการทำกิจกรรม (energy expenditure, EE) จากการวัดจำนวนครั้งของการทำกิจกรรม (activity count) ด้วย accelerometer<sup>10</sup> อย่างไรก็ตาม การวัด

ทางอ้อมอาจให้ค่าประมาณ  $VO_{2Max}$  สูงหรือต่ำเกินจริงได้ หากทดสอบในผู้ที่ได้รับการฝึก หรือมีความชำนาญในการออกกำลังกายเช่นเดียวกับการทดสอบมาก่อน เช่น การปั่นจักรยาน หรือ การเดินวิ่ง<sup>11</sup> หรือ อาจเกิดการล้าของกล้ามเนื้อ ก่อนที่จะทดสอบถึงจุดที่เหนื่อย รวมถึงยังคงมีข้อจำกัดในการทดสอบในกลุ่มประชากรขนาดใหญ่

การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด หรือ heart rate maximizer เป็นการทดสอบที่ประเมินค่าอัตราการเต้นของหัวใจเป็นตัวแปรหลัก การทดสอบดังกล่าวกระทำโดยการกระโดดตบอยู่กับที่เป็นเวลา 2 นาที และติดตามการตอบสนองภายหลังการทดสอบอีก 4 นาที<sup>12</sup> การทดสอบ heart rate maximizer ใช้พื้นที่ในการทดสอบน้อย ต้องการเพียงอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจและนาฬิกาจับเวลา มีค่าใช้จ่ายต่ำ และสามารถทดสอบกับประชากรกลุ่มใหญ่ได้ในคราวเดียว การทดสอบนี้เป็นการเคลื่อนไหวโดยใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ (global muscles) ทั้งร่างกาย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการทดสอบในนักกีฬาประเภทเน้นการเคลื่อนไหวทั้งร่างกายและต้องการเพิ่มความสามารถในการสร้างพลังงานในระยะสั้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับการตอบสนองของระบบหัวใจและหลอดเลือดโลหิตต่อการทดสอบด้วย heart rate maximizer การศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบหัวใจและหลอดเลือดโลหิตต่อการทดสอบ heart rate maximizer จึงอาจเป็นประโยชน์และเพิ่มความปลอดภัยต่อผู้นำไปใช้สำหรับประเมินด้วย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบหัวใจและหลอดเลือดโลหิต ทั้งระหว่างและภายหลังการทดสอบ heart rate maximizer และระดับความหนักของการทดสอบจากค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ค่าการรับรู้ความเหนื่อยในการออกกำลังกาย (rating of perceived exertion, RPE) และ ระดับพลังงานที่ใช้ (energy expenditure, EE) ต่อการทดสอบ heart rate maximizer ในผู้ที่มีสุขภาพดี และเนื่องจากปัจจัยด้านเพศมีผลต่อความแข็งแรงและทนทานของระบบหัวใจและหลอดเลือดโลหิต<sup>13</sup> การศึกษานี้จึงศึกษาปัจจัยด้านเพศร่วมด้วย ข้อมูลที่ได้มีความสำคัญที่จะช่วยอธิบายความสามารถของการทดสอบ heart rate maximizer ที่มีต่อการประเมินความแข็งแรงของระบบหัวใจและหลอดเลือดโลหิตในกลุ่มผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดี

## วัสดุและวิธีการศึกษา

### 1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (experimental study) อาสาสมัครเป็นทั้งเพศหญิงและเพศชายที่มีสุขภาพดี คำนวณกลุ่มตัวอย่างด้วยโปรแกรม G\*power 3.1.9.2 เมื่อกำหนดให้ขนาดอิทธิพล (effect size) เท่ากับ 0.35 ระดับความเชื่อมั่น (alpha level) เท่ากับ 0.05 ใช้อำนาจการทดสอบ (power) เท่ากับ 0.80 และใช้ research design (repeated measures ANOVA between and within group; 2 groups x 5 times) ในการวิเคราะห์พบว่า ต้องการอาสาสมัครทั้งสิ้น 100 ราย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เพศชาย 50 ราย และเพศหญิง 50 ราย อายุระหว่าง 18-35 ปี กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดได้จากการประชาสัมพันธ์ด้วยการปิดประกาศในเขตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เกณฑ์การคัดเข้า คือ เป็นอาสาสมัครผู้ที่มีสุขภาพดีขณะพัก มีอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตอยู่ในช่วงปกติ เกณฑ์การคัดออก คือ เป็นผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคหัวใจ และหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง หรือ มีความผิดปกติของระบบประสาท ด้านการสื่อสาร การได้ยิน การมองเห็น การทรงตัว มีไข้ หรือมีการบาดเจ็บของร่างกายที่มีผลต่อการกระโดดตบ โครงการศึกษาวิจัยได้รับการรับรองเชิงจริยธรรมการศึกษาวิจัยในมนุษย์ คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

### 2. การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด หรือ heart rate maximizer test

การทดสอบ heart rate maximizer กระทำโดยให้อาสาสมัครกระโดดตบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 นาที ในช่วง 30 วินาทีสุดท้ายอาสาสมัครต้องกระโดดตบให้เร็วที่สุดเท่าที่ทำได้<sup>12</sup> การศึกษานี้กำหนดให้อาสาสมัครต้องมีอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดของการทดสอบ (peak heart rate,  $HR_{Peak}$ ) มากกว่าร้อยละ 70 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (maximal heart rate,  $HR_{Max}$ ) การกระโดดตบเริ่มจากท่ายืนตรงแขนขาข้างลำตัวจากนั้นย่อเข่าลงเล็กน้อย พร้อมกับกระโดดทางแขนสุดช่วงการเคลื่อนไหวประมาณ 180 องศาโดยยกแขนขึ้นเหนือศีรษะในลักษณะร่วมกับการเหยียดข้อศอกและกางขา จากนั้นย่อเข่ากระโดดกลับมาอยู่ในท่ายืนตรงเช่นเดียวกับท่าเริ่มต้น ทำเช่นนี้อีกอย่างต่อเนื่องและหยุดเมื่อได้ยินสัญญาณหยุด จากนั้นให้อาสาสมัครนั่งพักเป็นเวลา 5 นาทีเพื่อประเมินสัญญาณชีพและค่าตัวแปรต่างๆ ของการศึกษา ในการทดสอบอาสาสมัครสามารถหยุดการทดสอบได้ตามกรณี เช่น อาสาสมัครมีความประสงค์จะหยุดการทดสอบ ภาวะเมื่อยล้าและไม่สามารถทำการทดสอบต่อไปได้ เจ็บหน้าอก (angina) ขณะกระโดดตบ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ หอบเหนื่อย ใจสั่น ผิวกายซีด หรือ อัตราการเต้นของหัวใจไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่าง

กระโดดตบ<sup>14</sup> การแก้ไขสถานการณ์ดังกล่าวให้อาสาสมัครหยุดนั่งพักเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทดสอบซ้ำอีกครั้ง หากไม่สามารถทำการทดสอบซ้ำได้หรือมีอาการผิดปกติดังกล่าวอีก จึงคัดออกจากการศึกษา

### 3. ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

นักกายภาพบำบัดผู้วิจัยประเมินปัญหาสุขภาพเบื้องต้นของอาสาสมัครที่สนใจเข้าร่วมการศึกษาตามเกณฑ์การคัดเข้าและเกณฑ์การคัดออก และชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัยแก่อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์เข้าร่วมการศึกษา จากนั้นอาสาสมัครลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมงานวิจัยเป็นลายลักษณ์อักษร ผู้วิจัยชี้แจงวิธีการปฏิบัติตนก่อนการทดสอบแก่อาสาสมัครในการหลีกเลี่ยงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การรับประทานอาหารเช้า เครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน การรับประทานยาทุกชนิด การสูบบุหรี่ การออกกำลังกายในระดับปานกลางถึงระดับหนักเป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ และการดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมแอลกอฮอล์เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

การทดสอบกระทำในห้องปฏิบัติการที่เงียบสงบ และควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยบันทึก น้ำหนัก และส่วนสูงของอาสาสมัครทุกรายสอนวิธีการยึดกล้ามเนื้อคอ ไหล่ หลัง และขา เป็นระยะเวลา 10 นาที เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นภายหลังทดสอบ ผู้วิจัยติดตั้งสายรัดตัวรับสัญญาณอัตราการเต้นของหัวใจ (Polar FT4®) ที่บริเวณ 1/3 ของกระดูกหน้าอกส่วนปลาย (1/3 distal of sternal bone) รัดให้กระชับและยึดด้วยเทปขาว และ ติด Actical accelerometer บริเวณเหนือต่อข้อบั้นทางด้านหน้ากระดูกเชิงกรานข้างขวา (right anterior superior iliac spine) แก่อาสาสมัคร และให้อาสาสมัครนั่งพักเป็นเวลา 15 นาที พร้อมกับวัดค่าตัวแปรทั้งหมดไว้เป็นค่าพื้นฐานขณะพัก ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และค่า RPE จากนั้นทดสอบ heart rate maximizer เป็นเวลา 2 นาที ตามด้วยนั่งพักเป็นเวลา 5 นาที และวัดค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาซ้ำ

### 4. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

#### อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate, HR)

ตรวจประเมินอัตราการเต้นของหัวใจด้วยเครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจอัตโนมัติ (Polar FT4®, Finland) มีหน่วยวัดเป็นจำนวนครั้งต่อนาที (beats per minute, bpm) ประเมินค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ขณะกระโดดตบในวินาทีที่ 30, 60, 90 และ 120 และหลังกระโดดตบในนาทีที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ร้อยละของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (percent of maximal heart rate, %HR<sub>Max</sub>) ได้จากการคำนวณค่า HR<sub>Peak</sub> ต่อดังกล่าวอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (maximal heart

rate, HR<sub>Max</sub>) เทียบเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์ โดย HR<sub>Max</sub> ได้จากสูตรการคำนวณคือ 220-อายุ<sup>15</sup> ในขณะที่การกลับคืนสู่ภาวะปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate recovery, HRR) ได้จากการคำนวณผลต่างของ HR<sub>Peak</sub> และ HR ในช่วงหลังกระโดดตบนาทีที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ<sup>16</sup> ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตทั้งในกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดี และกลุ่มผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือด<sup>1-3</sup>

#### การรับรู้ความเหนื่อยในการออกกำลังกาย (Rating of perceived exertion scale, RPE)

ประเมินการรับรู้ความเหนื่อยในการออกกำลังกายโดยใช้ตารางแสดงค่า RPE (Borg's 6-20 scale)<sup>17</sup> ให้อาสาสมัครรายงานคะแนน RPE ที่ให้ความหมายใกล้เคียงกับความรู้สึกขณะนั้นมากที่สุด โดยประเมินในขณะที่พัก ขณะกระโดดตบในวินาทีที่ 30, 60, 90 และ 120 และหลังกระโดดตบในนาทีที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

#### ความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure, SBP)

ประเมินความดันโลหิตโดยใช้เครื่องวัดความดันอัตโนมัติ (automatic blood pressure monitor, ยี่ห้อ OMRON®, model HEM-7203, Japan) มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรปรอท (millimeter of mercury, mmHg) ประเมินค่าความดันโลหิตขณะนั่งพัก และหลังกระโดดตบในนาทีที่ 1 นาทีที่ 3 และนาทีที่ 5 ตามลำดับ ในการศึกษาวิเคราะห์เฉพาะค่าความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (systolic blood pressure, SBP) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตทั้งในกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดี และกลุ่มผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือด<sup>3</sup>

#### ค่าประมาณระดับพลังงานที่ใช้ (Energy expenditure, EE)

ประเมินค่าประมาณระดับพลังงานด้วยเครื่องวัดระดับพลังงานที่ใช้ในการทำกิจกรรม (actical accelerometer และ actireader, SN Z144679-81, Philips Respironics Inc, Bend, Oregon) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดผลรวมอัตราเร่งสามทิศทาง (omni-directional accelerometer) ขนาดเล็ก (28x27x10 มิลลิเมตร) น้ำหนัก 17.5 กรัม ความถี่ 32 Hz และสามารถบันทึกผลต่อช่วงเวลา (epoch) ได้ที่ 1, 2, 5, 15, 30, 60 วินาที เครื่องมือมีค่าความสามารถในการพยากรณ์พลังงานที่ใช้ในการทำกิจกรรมในกลุ่มผู้ใหญ่อยู่ในช่วง R<sup>2</sup>=0.75-0.85; p<0.001<sup>18</sup> กำหนดให้ actical บันทึกทุกๆ 2 วินาทีต่อ epoch และสำหรับข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์จะถูกแปลงไปเป็น epochs ต่อ 1 หน่วยนาฬิกา เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบ ถ่ายโอนข้อมูลจาก actical accelerometers ลงในคอมพิวเตอร์ผ่าน

ทาง actical reader โดยใช้สายเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์แบบ serial port และ โปรแกรม actical บันทึกจำนวนครั้งของการกระโดดตบ และระดับการใช้พลังงาน (energy expenditure, EE) ของช่วงเวลาที่ทำการกระโดดตบ 2 นาที มีหน่วยวัดเป็น กิโลแคลอรี (kilocalories, kcal.) และระดับการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยนาที่ (energy expenditure per minute, EE per minute) มีหน่วยวัดเป็นกิโลแคลอรีต่อนาที (kilocalories per minute, kcal.min<sup>-1</sup>)

## 5. การวิเคราะห์ข้อมูล

รายละเอียดการใช้ค่าสถิติต่างๆ เป็นดังนี้ ใช้สถิติเชิงพรรณนารายงานข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครโดยแสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±SD) ใช้สถิติ Independent student t-test เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเพศของข้อมูลทั่วไป ระดับความหนักของการทดสอบ จากค่า %HR<sub>Max</sub>, EE และ EE per minute ใช้สถิติ Two-way repeated measures analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni correction เปรียบเทียบระหว่างเพศและช่วงเวลา (2 genders×5 time) ค่าตัวแปร HR, HRR และ SBP ต่อการทดสอบ heart rate maximizer ใช้สถิติ Mann-Whitney U เปรียบเทียบ

ความแตกต่างระหว่างเพศของค่า RPE ใช้สถิติ Repeated measures analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni correction วิเคราะห์ตัวแปรของการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบหัวใจและหลอดเลือดโลหิต (HR, HRR and SBP) ต่อการทดสอบ heart rate maximizer และสถิติ Friedman test with Wilcoxon correction วิเคราะห์ความแตกต่างของค่า RPE เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลา (time) ภายในกลุ่มอาสาสมัครรวม วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 17 โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ  $p<0.05$

## ผลการศึกษา

### ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ Independent student t-test จำแนกตามเพศ พบว่า เพศชายมีค่าส่วนสูง น้ำหนักดัชนีมวลกาย (body mass index, BMI) และจำนวนครั้งของการกระโดดตบสูงกว่าในเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) แต่ไม่พบความแตกต่างของอายุ และ HR<sub>Max</sub> ระหว่างอาสาสมัครทั้งสองกลุ่ม (Table 1)

**Table 1** Demographic characteristic of the participants (mean±SD).

|                                           | All participants<br>(n=100) | Males<br>(n=50) | Females<br>(n=50) | p-value |
|-------------------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|---------|
| Age (years)                               | 22.7±3.2                    | 22.7±3.1        | 22.7±3.3          | 0.998   |
| Height (cm.)                              | 165.3±8.2                   | 171.1±5.9       | 159.4±5.5         | <0.001  |
| Weight (kg.)                              | 59.6±11.2                   | 66.0±8.1        | 53.3±10.3         | <0.001  |
| BMI (kg.(m <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup> ) | 21.7±3.2                    | 22.6±2.9        | 20.9±3.2          | 0.007   |
| HR <sub>Max</sub> (bpm)                   | 197.3±3.2                   | 197.3±3.1       | 197.3±3.3         | 0.998   |
| Jumping step counts (times)               | 134.62±11.1                 | 137.92±12       | 131.32±9.2        | 0.003   |
| Abnormal signs or symptoms                | no                          | no              | no                |         |

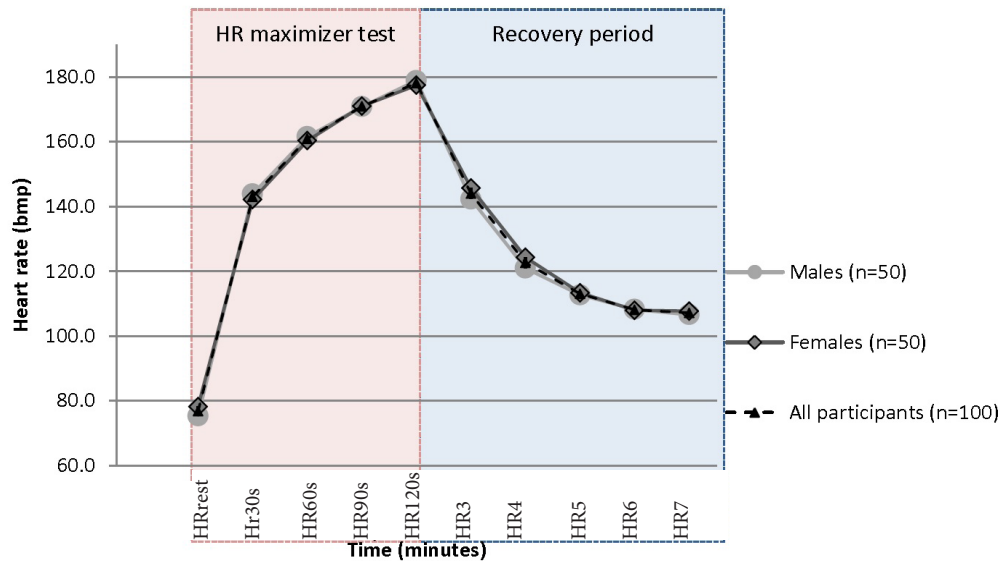
**Note:** BMI: body mass index; HR<sub>Max</sub>: maximal heart rate; cm: centimeter; kg: kilogram; kg.(m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>: kilogram per square meter; bpm: beats per minute.

### อัตราการเต้นของหัวใจ (HR)

จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated measures ANOVA พบว่า โดยรวม HR มีความแตกต่างกันระหว่างช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.001$ ) เมื่อทำ post hoc ด้วย Bonferroni พบว่า มีความแตกต่างกันทุกคู่เมื่อเทียบกับขณะพัก โดย HR ปรับตัวสูงขึ้นในระหว่างทำการทดสอบและมีค่าสูงที่สุดในนาทีที่ 2 ของการทดสอบ ค่า HR<sub>Peak</sub> เท่ากับ 178.9±10.12 ครั้งต่อนาที ซึ่งเท่ากับ 90.3±5%HR<sub>Max</sub> และลดลงเมื่อหยุดทำการทดสอบเป็นลำดับจนกระทั่งคงที่ในนาทีที่ 4 และ 5 เมื่อเปรียบเทียบ

ระหว่างเพศและช่วงเวลา โดยใช้สถิติ Two-way repeated measures ANOVA with Bonferroni correction พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน ( $p=0.752$ ) เกี่ยวกับการตอบสนองของ HR ต่อการทดสอบ heart rate maximizer จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Independent student t-test ของระดับความหนักของการทดสอบจากค่า %HR<sub>Max</sub> พบว่าทั้งสองเพศทดสอบ heart rate maximizer ที่ระดับความหนักที่ไม่แตกต่างกัน ( $p=0.458$ ) โดยเพศชายมีค่า %HR<sub>Max</sub> เท่ากับ 90.7±4.9 และเพศหญิงมีค่าเท่ากับ 89.9±5.2



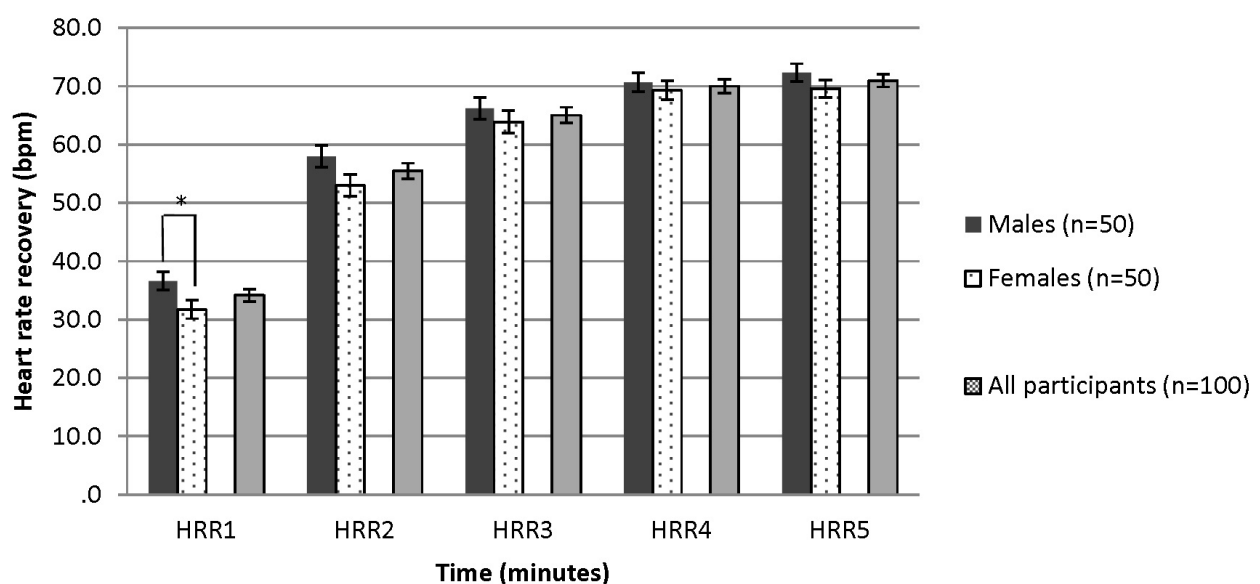


**Figure 1** Gender differences in heart rate response to the heart rate maximizer test. Data are presented as mean at rest, every 30 seconds during performing the test and every minute of recovery period for five minutes. HR: heart rate; HRr: heart rate in recovery period; s: seconds; bpm: beats per minute.

#### การกลับคืนสู่ภาวะปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ (HRR)

Figure 2 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัดค่า HRR ต่อการทดสอบ heart rate maximizer จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated measures ANOVA with Bonferroni correction พบว่าโดยรวมค่า HRR เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ ) และ HRR เริ่มคงที่

ระหว่างนาทีที่ 4 และ 5 ในช่วงพักฟื้น ( $p = 0.267$ ) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเพศและช่วงเวลา โดยใช้สถิติ Two-way repeated measures ANOVA พบว่ามีปฏิสัมพันธ์กัน ( $p = 0.032$ ) และทำ post hoc ด้วย Bonferroni พบว่าค่า HRR ในนาทีที่ 1 เพศชายมีค่าสูงกว่าเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.029$ ) และมีแนวโน้มสูงกว่าในเพศหญิงตลอดช่วงพักฟื้น

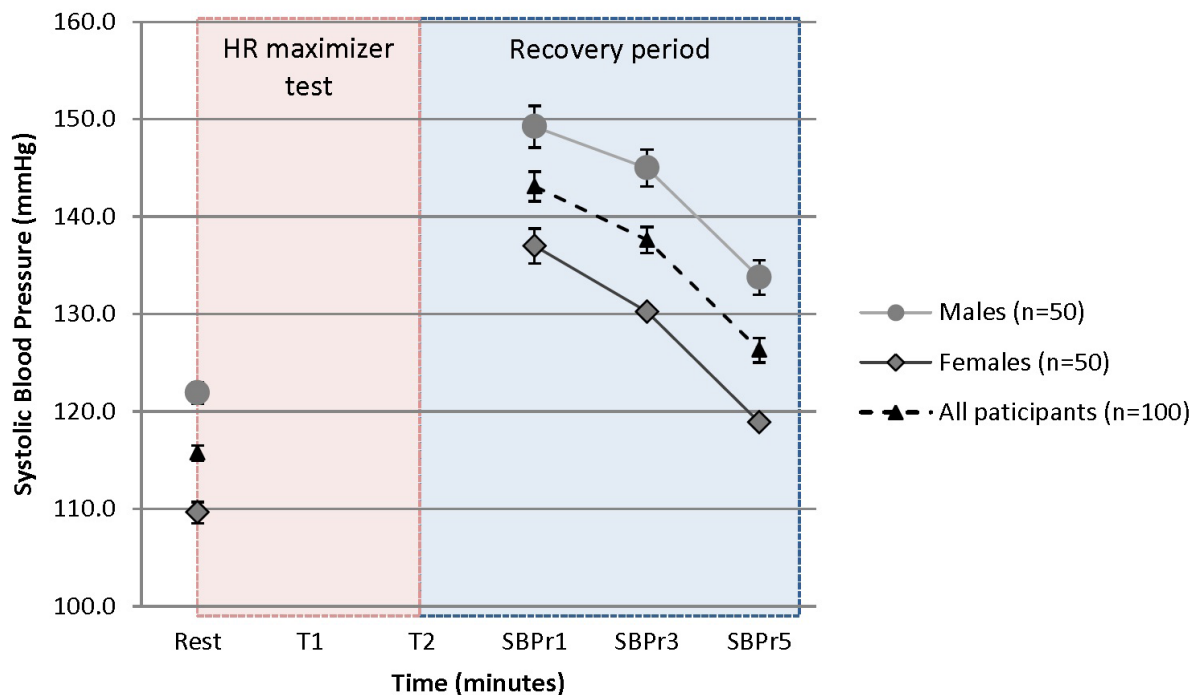


**Figure 2** Gender differences in heart rate recovery to heart rate maximizer. Data are presented as mean  $\pm$  SEM at 1 to 5 minutes of recovery period. SEM: standard error of mean; HRR: heart rate recovery; bpm: beats per minute; \* significant between gender ( $p < 0.05$ )

### ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (SBP)

Figure 3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัดค่า SBP ต่อการทดสอบ heart rate maximizer จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Repeated measures ANOVA with Bonferroni correction พบว่าค่า SBP ในระยะพักฟื้นสูงกว่าช่วงพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.001$ ) เมื่อเปรียบเทียบ

ระหว่างเพศและช่วงเวลา จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Two-way repeated measures ANOVA with Bonferroni correction พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน แต่ค่า SBP ที่วัดได้ในระยะพักฟื้นสูงกว่าช่วงพัก ( $p<0.001$ ) เช่นเดียวกันทั้งสองเพศ โดยเพศชายมีค่า SBP สูงกว่าในเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.001$ )

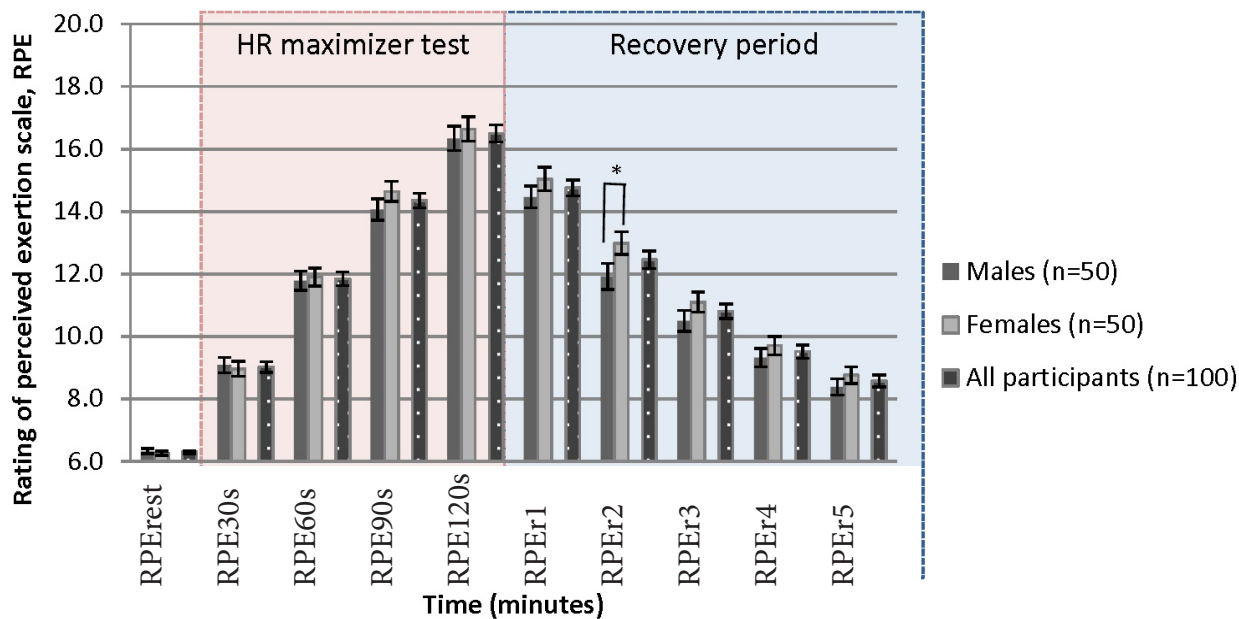


**Figure 3** Gender differences in systolic blood pressure to the heart rate maximizer test. Data are presented as mean $\pm$ SEM at rest and at 1, 3 and 5 minutes of recovery period. SEM: standard error of mean; T: testing period; SBPr: systolic blood pressure in recovery period; \*significant between gender ( $p<0.05$ ).

### การรับรู้ความเหนื่อยในการออกกำลังกาย (RPE)

Figure 4 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัดของค่า RPE ต่อการทดสอบ heart rate maximizer จากการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Friedman test with Wilcoxon correction พบว่าค่าเฉลี่ย RPE ของอาสาสมัครทุกรายมีความแตกต่างกันในทุกช่วงเวลาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.001$ ) เมื่อพิจารณาแยกเพศ ด้วยสถิติ Friedman test with Wilcoxon correction พบว่า ทั้งสองเพศมีค่า RPE แตก

ต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ( $p<0.001$ ) โดย RPE มีค่าสูงที่สุดในนาทีที่ 2 ของการทดสอบ (เพศชายมีค่าเท่ากับ  $16.3\pm0.4$  และเพศหญิงมีค่าเท่ากับ  $16.6\pm0.4$ ) และ RPE มีค่าต่ำสุดในนาทีที่ 5 ในช่วงพักฟื้น (เพศชายเท่ากับ  $8.4\pm0.3$  และเพศหญิงมีค่าเท่ากับ  $8.8\pm0.3$ ) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ Mann-Whitney U พบว่าในช่วงพักฟื้นในนาทีที่ 2 เพศหญิงรายงานค่า RPE สูงกว่าเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.04$ )



**Figure 4** Gender differences in rating of perceived exertion scale (RPE) to the heart rate maximizer test. Data are presented as mean±SEM at rest, every 30 seconds during performing the test and every minute of recovery period for five minutes. SEM: standard error of mean; RPE: rating of perceived exertion scale; RPEr: rating of perceived exertion scale in recovery period; s: second; \*significant between gender ( $p<0.05$ ).

ค่าประมาณระดับพลังงานที่ใช้ (energy expenditure, EE)

Table 2 แสดงค่า EE และ EE per minute (ค่าประมาณระดับพลังงานที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยนาที่) ของอาสาสมัครทุกราย

และจำแนกตามเพศ จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ Independent student t-test พบว่าค่า EE และ EE per minute ในเพศชายสูงกว่าในเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.01$ )

**Table 2** Energy expenditure (EE) during the heart rate maximizer test (mean±SD).

|                                         | All participants<br>(n=100) | Males<br>(n=50) | Females<br>(n=50) | p-value |
|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|---------|
| EE (kcal.)                              | 27.2±5.8                    | 30.4±4.6        | 24.0±5.0          | <0.01   |
| EE per minute (kcal.min <sup>-1</sup> ) | 13.6±2.9                    | 15.2±2.3        | 12.0±2.5          | <0.01   |

**Note:** EE: energy expenditure, kcal: kilocalories.



การศึกษานี้เป็นรายงานแรกที่ติดตามการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต และระดับการใช้พลังงานต่อการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดรูปแบบใหม่ด้วยการกระโดดตบ (heart rate maximizer test) ในอาสาสมัครสุขภาพดีที่มีช่วงอายุระหว่าง 18-35 ปี พบว่าโดยรวมอาสาสมัครมีการตอบสนองของ HR และค่า RPE ปรับสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการทดสอบในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่า HR สูงสุดที่ประมาณ  $90\%HR_{Max}$  และ RPE สูงสุดเฉลี่ยที่คะแนนเท่ากับ 16 ภายในนาทิตี่ 2 ของการทดสอบ heart rate maximizer จึงถือว่าเป็นกิจกรรมที่อยู่ในระดับหนัก (vigorous) เทียบได้กับ  $80\% VO_{2Max}^{14,19}$  ส่วนในระยะพักฟื้น HR ปรับลดลงอย่างรวดเร็วส่งผลให้ค่า HRR โดยเฉพาะใน 2 นาทีแรกเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากจากนั้นเริ่มคงที่ในนาทิตี่ 4 และ 5 ซึ่งพบเช่นเดียวกับการรายงานค่า RPE ส่วนค่า SBP มีค่าสูงสุดเมื่อวัดได้ในนาทิตี่ 1 หลังหยุดการทดสอบและปรับลดลงอย่างรวดเร็วในนาทิตี่ 5 โดยตลอดระยะเวลาของการทดสอบและระยะพักฟื้นไม่พบอาการผิดปกติใดๆ เกิดขึ้นกับอาสาสมัคร ปัจจัยเรื่องเพศไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ HR และ RPE แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า HRR, SBP และ EE ที่มีค่าสูงกว่าในเพศชายเมื่อเทียบกับเพศหญิงในช่วงอายุเดียวกัน อย่างไรก็ตาม อาจมีปัจจัยรบกวนร่วม เช่น ส่วนสูง น้ำหนัก BMI ที่เพศชายมีค่าสูงกว่าเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญ เป็นต้น

ภาพรวมการตอบสนองของ HR, SBP และ RPE ที่ปรับสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการทดสอบในทิศทางเดียวกันในขณะทดสอบ และปรับตัวลดลงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในช่วง 2 นาทีแรกในระยะฟื้นตัวหลังการทดสอบ เป็นไปตามลักษณะสรีรวิทยาการตอบสนองที่เป็นปกติต่อการออกกำลังกายอย่างหนักอธิบายได้จากการทำงานปกติของ baroreflex ที่ผนังหลอดเลือดแดงซึ่งมีผลต่อการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิต กล่าวคือ baroreflex มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติให้สอดคล้องกับลักษณะและความหนักของการออกกำลังกาย<sup>20</sup> โดยกระตุ้นการทำงานของซิมพาเทติกขณะออกกำลังกาย และยับยั้งการทำงานของพาราซิมพาเทติก ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงขึ้นและเพิ่มปริมาตรเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจ<sup>21</sup> เมื่อหยุดออกกำลังกาย ระบบประสาทอัตโนมัติชนิดพาราซิมพาเทติกจะเด่นกว่า ในขณะที่ระบบประสาทอัตโนมัติชนิดซิมพาเทติกลดบทบาทลงส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงตาม<sup>16,22</sup> นอกจากนี้การทดสอบ heart rate maximizer ด้วยการกระโดดตบ มีรูปแบบการตอบสนองของค่าดังกล่าวเป็นไปในทิศทางเดียวกับการทดสอบ exercise stress ด้วยการวิ่งบนสายพานเลื่อน<sup>23,24</sup>

และ การปั่นจักรยานงานในกลุ่มผู้ใหญ่สุขภาพดี<sup>13</sup> อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดูแนวทางการตอบสนองทางสรีรวิทยาเบื้องต้นเท่านั้น ยังไม่ได้เปรียบเทียบกับ การทดสอบ exercise stress โดยตรง จึงเป็นข้อจำกัดหากจะนำผลการศึกษาไปใช้ แต่การตอบสนองที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้ heart rate maximizer ในการทดสอบความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตได้และจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในลำดับต่อไป

เมื่อพิจารณาปัจจัยเรื่องเพศ พบว่าทั้งเพศชายและเพศหญิงมีการตอบสนองในทิศทางเดียวกับการตอบสนองโดยรวมของอาสาสมัครทั้งหมด โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของ HR ที่ตอบสนองต่อการทดสอบ heart rate maximizer ไม่แตกต่างกันทั้งในระหว่างและภายหลังการทดสอบ แต่ค่า HRR และ SBP โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงสองนาทิตี่แรกของระยะพักฟื้น รวมถึงค่าพลังงานที่ใช้ในการกระโดดตบ (EE) ในเพศชายมีค่าสูงกว่าในเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เพศหญิงมีเพียงแนวโน้มการรายงานค่า RPE ที่สูงกว่าเพศชายเท่านั้น ทั้งนี้ อาจมีปัจจัยรบกวนจากความแตกต่างทางด้านกายภาพ เช่น ส่วนสูง น้ำหนัก BMI ฮอร์โมน (เช่น estrogen, progesterone, testosterone เป็นต้น) ระดับของ hemoglobin และความสามารถในการออกกำลังกาย (exercise capacity) ที่ส่งผลให้เพศชายมีความได้เปรียบต่อการออกกำลังกายมากกว่าเพศหญิง<sup>25</sup> อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแม้ควบคุมปัจจัยด้านอายุ ส่วนสูง และ มวลกล้ามเนื้อ (lean muscle mass) ยังคงพบความแตกต่างของการตอบสนองทางสรีรวิทยาของหัวใจและไหลเวียนโลหิตต่อการออกกำลังกายระหว่างเพศหญิงและชายอยู่<sup>25</sup> ดังนั้น นอกจากปัจจัยทางด้านกายภาพแล้วนั้นอาจมีปัจจัยอื่นร่วมด้วย จากการศึกษาของ Wheatley และคณะ<sup>13</sup> พบว่า เมื่อควบคุมให้อาสาสมัครทั้งชายและหญิงออกกำลังกายในระดับที่หนักเท่ากัน (moderate และ vigorous exercise) เพศหญิงมีกลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการออกกำลังกายแตกต่างจากเพศชาย โดยเพศชายจะมีการตอบสนองตามกฎของ Frank-Starling mechanism ในขณะที่เพศหญิงมีความจำกัดในการเพิ่มความสามารถของการทำงานของหัวใจตามกฎดังกล่าว แต่มีการชดเชยโดยเพิ่มการดึงเอาออกซิเจนไปใช้ (oxygen extraction) และมีการขยายตัวของเส้นเลือดส่วนปลายในระดับสูงแทนเพื่อให้ได้งานเท่ากับเพศชาย การตอบสนองที่เกิดขึ้นของ HR, SBP, RPE และ EE ในการศึกษาทำให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Wheatley และคณะ<sup>13</sup> แต่ต่างจากการศึกษาของ Dimkpa และคณะ<sup>26</sup> ที่เปรียบเทียบผลการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจต่อการทดสอบ submaximal exercise test ด้วยการปั่นจักรยานงานที่  $60-85\%HR_{Max}$  ระหว่างเพศชายและหญิง

พบว่า ระหว่างทดสอบค่า  $\%HR_{Max}$  และ  $\%HR_{Reserve}$  ในเพศชาย สูงกว่าในเพศหญิง และในระยะฟื้นตัวหลังการทดสอบมีการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจไม่ต่างกันระหว่างเพศในกลุ่มผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก submaximal exercise เป็นการทดสอบที่ปรับระดับความหนักเป็นแบบลำดับขั้น และพิจารณาค่า  $HR_{Peak}$  ในลำดับขั้นสุดท้ายที่ทำได้ เพศชายมีลักษณะทางกายภาพที่ได้เปรียบกว่าในเพศหญิงมีแนวโน้มทำการทดสอบได้ในลำดับขั้นที่สูงกว่าทำให้  $\%HR_{Max}$  และ  $\%HR_{Reserve}$  ในเพศชายสูงกว่าในเพศหญิง และเมื่อ  $\%HR_{Max}$  ตั้งต้นไม่เท่ากัน จึงเป็นไปได้ว่าการปรับตัวลดลงของอัตราการเต้นหัวใจในระยะฟื้นตัวหลังการทดสอบจะปรับลดลงไม่แตกต่างกัน ในขณะที่การศึกษานี้พบว่า ทั้งสองเพศมี  $\%HR_{Max}$  ไม่แตกต่างกันที่  $90\%HR_{Max}$  ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่ใช้ในการศึกษาของ Dimkpa อาจเป็นผลจากความแตกต่างในรูปแบบการทดสอบ กล่าวคือ heart rate maximizer มีลักษณะการเพิ่มงานตลอดการทดสอบ และมีการระดมการทำงานของกล้ามเนื้อจำนวนมาก การตอบสนองที่ได้จึงอาจแตกต่างกัน ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพของการทำงานของหัวใจด้วยการทดสอบ heart rate maximizer จึงอาจเน้นพิจารณาที่ HRR ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเป็นหลัก โดยค่า HRR เป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต ในการศึกษาพบว่าค่า HRR เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังการทดสอบ และเพศชายมีค่า HRR สูงกว่าเพศหญิงโดยเฉพาะในนาทีแรกในระยะพักฟื้น สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าในระยะฟื้นตัวหลังการทดสอบ exercise stress ที่ระดับความหนักที่  $70\%VO_{2Max}$  และ  $80\%VO_{2Max}$  ผู้ที่มีสุขภาพดีจะมีค่า HRR สูงในช่วง 1-2 นาทีแรก โดยเฉพาะในกลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ออกกำลังกาย<sup>27</sup> แสดงให้เห็นว่าการทดสอบ heart rate maximizer อาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตในภาคสนามได้

จากการทดสอบด้วย heart rate maximizer พบว่าค่า RPE มีลักษณะการตอบสนองไปในทิศทางเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของ HR และค่า SBP สอดคล้องกับการศึกษาของ Scherr และคณะ<sup>28</sup> ที่พบว่าค่า RPE มีค่าสหสัมพันธ์ที่สูงกับอัตราการเต้นของหัวใจ ( $r=0.74$ ,  $p<0.001$ ) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อทำการทดสอบที่ความหนัก  $90\%HR_{Max}$  ทั้งเพศชายและหญิงรายงานค่า RPE ไม่ต่างกัน แม้เพศหญิงมีแนวโน้มการรายงานค่า RPE สูงกว่าเพศชายก็ตาม โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่  $16.3\pm2.7$  ในเพศชาย และ  $16.6\pm2.7$  ในเพศหญิง อธิบายได้ว่าอาสาสมัครมีการรับรู้ความเหนื่อยอยู่ในระดับเหนื่อยถึงเหนื่อยมากต่อการทดสอบ heart rate maximizer สอดคล้องกับ

การศึกษาที่ผ่านมา<sup>23,24</sup> Scherr และคณะ<sup>28</sup> อธิบายว่า ปัจจัยเรื่อง เพศ อายุ โรคหลอดเลือดหัวใจ ระดับความสามารถในการทำกิจกรรม และลักษณะการทดสอบด้วยการออกกำลังกาย ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า RPE การที่เพศหญิงมีแนวโน้มการรายงานค่า RPE สูงกว่าเพศชาย อาจอธิบายได้ว่าเนื่องจากเพศหญิงมีความจำกัดทั้งด้านกายภาพ<sup>25</sup> และลักษณะกลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการออกกำลังกายอย่างหนัก<sup>13</sup> และยังคงมีลักษณะทางกิจกรรมทางกายที่น้อยกว่า หรือ ทำกิจกรรมที่ระดับความหนักที่น้อยกว่า ส่งผลให้เมื่อต้องทำกิจกรรมที่มีความหนักเท่ากับเพศชาย จึงต้องความพยายามมากกว่าในการทำงานที่เท่ากันจึงอาจส่งผลถึงการรายงานค่า RPE ที่สูงกว่าเพศชาย

การวัดค่าระดับพลังงานที่ใช้ในการกระโดดตบด้วย actical accelerometer เป็นวิธีการวัดค่าระดับพลังงานทางอ้อมที่มีความน่าเชื่อถือ<sup>18</sup> พบว่า ค่า EE และ EE ต่อหนึ่งหน่วยนาที่ ในกลุ่มเพศชายสูงกว่าในกลุ่มเพศหญิง อาจเป็นเพราะความได้เปรียบด้านร่างกายของเพศชาย<sup>25</sup> ทำให้ในเวลา 2 นาทีที่เท่ากัน กลุ่มเพศชายสามารถกระโดดตบได้จำนวนครั้งมากกว่ากลุ่มเพศหญิง ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองต่อ omni-directional accelerometer มากกว่า ส่งผลให้เครื่องประมวลผลถึงค่าระดับ EE และ EE ต่อหนึ่งหน่วยนาที่ที่มากกว่าเมื่อเทียบกับเพศหญิง<sup>29</sup>

ผลการศึกษาช่วยสนับสนุนองค์ความรู้ที่ผ่านมาแล้วและผู้วิจัยมีความเห็นว่าการทดสอบ heart rate maximizer เป็นรูปแบบใหม่ที่น่าจะประยุกต์ใช้ในภาคสนามเพื่อทดสอบสมรรถภาพการทำงานของหัวใจในกลุ่มวัยผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดี หรือ ในกลุ่มนักกีฬาได้ดี ร่วมกับการควบคุมปัจจัยรบกวนอย่างเหมาะสม เช่น ส่วนสูง น้ำหนัก BMI ฮอรโมน (เช่น estrogen, progesterone, testosterone เป็นต้น) ระดับของ hemoglobin และ ความสามารถในการออกกำลังกาย (exercise capacity) เนื่องจากมีรูปแบบการตอบสนองของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตเช่นเดียวกับการทดสอบมาตรฐาน ขั้นตอนการทดสอบง่ายและใช้เวลาสั้นกว่า นอกจากนี้ยังสามารถกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อมัดใหญ่ทั้งส่วนของรยางค์แขน รยางค์ขา และลำตัวทำให้ HR ปรับถึงจุดสูงสุดได้รวดเร็ว และมีแนวโน้มที่จะสามารถแยกระดับสมรรถภาพทางกายของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตได้จากการพิจารณาค่า HRR เป็นหลักเมื่อทำการทดสอบที่  $\%HR_{Max}$  ที่เท่ากัน จากการเก็บข้อมูลพบว่า ไม่มีอาสาสมัครที่มีอาการผิดปกติเกิดขึ้นทั้งระหว่างทำการทดสอบและภายหลังการทดสอบ ยกเว้นอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อภายหลังการทดสอบประมาณ 2-3 วันเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การทดสอบ heart rate maximizer จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาวิธีการวัด และการประเมินผลเพื่อ

ให้สามารถนำไปใช้ประเมินได้จริงในภาคสนามต่อไป

ข้อจำกัดของการศึกษานี้ คือ 1) เป็นการศึกษาการตอบสนองขั้นต้นของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตที่มีต่อการทดสอบ heart rate maximizer ในกลุ่มผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดีเท่านั้น ไม่ได้ครอบคลุมถึงกลุ่มประชากรที่หลากหลาย 2) การศึกษานี้กระทำในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมตัวแปรรอบกวนต่างๆ โดยเฉพาะตัวแปรรอบกวนภายนอก ผลที่ได้อาจแตกต่างกับการทดสอบจริงในภาคสนาม หรือ อาจแตกต่างกับการทดสอบที่มีการควบคุมตัวแปรภายใน เช่น ตัวแปรทางด้านกายภาพรวมด้วย 3) ค่า EE ที่วัดได้ได้อาจสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่วัดโดยวิธีการวัดโดยตรง

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาคือ ควรมีการทดสอบความน่าเชื่อถือ และความเที่ยงตรงของการทดสอบ heart rate maximizer รวมถึงศึกษาในกลุ่มประชากรที่มีความหลากหลายมากขึ้น มีการควบคุมทั้งปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน หรือมีการทดสอบจริงในภาคสนาม เพื่อให้ข้อมูลของการทดสอบมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

## สรุป

การทดสอบ heart rate maximizer ด้วยการกระโดดตบของอาสาสมัครสุขภาพดีในช่วงผู้ใหญ่ตอนต้น ถือเป็นการทดสอบในระดับหนัก และเกิดรูปแบบการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตเช่นเดียวกับการทดสอบ exercise stress แบบมาตรฐาน เป็นการทดสอบที่มีความปลอดภัยในการใช้ทดสอบในกลุ่มอาสาสมัครสุขภาพดี เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการใช้ประเมินสมรรถภาพของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต อย่างไรก็ตาม ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในระดับลึกเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของระบบหัวใจและหายใจ (cardiopulmonary physiological responses) ของการทดสอบ รวมถึงการทดสอบความเที่ยงตรง และความเชื่อมั่นของการทดสอบ

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS. Heart rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med* 1999; 341(18): 1351-7.
2. Lahiri MK, Kannankeril PJ, Goldberger JJ. Assessment of autonomic function in cardiovascular disease: Physiological basis and prognostic implications. *J Am Coll Cardiol* 2008; 51(18): 1725-33.
3. Laukkanen JA, Kurl S. Blood pressure responses during exercise testing—is up best for prognosis? *Ann Med* 2012; 44(3): 218-24. doi:
4. Kodama S, Saito K, Tanaka S, Miho Maki, Yoko Yachi, Mihoko Asumi, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women a meta-analysis. *JAMA* 2009; 301(19): 2024-35.
5. Lauer M, Froelicher ES, Williams M, Kligfield P. Exercise testing in asymptomatic adults a statement for professionals from the American Heart Association Council on clinical cardiology, subcommittee on exercise, cardiac rehabilitation, and prevention. *Circulation* 2005; 112(5): 771-6.
6. Lambrick D, Faulkner J, Rowlands A, Eston R. Prediction of maximal oxygen uptake from submaximal ratings of perceived exertion and heart rate during a continuous exercise test: The efficacy of RPE 13. *Eur J Appl Physiol* 2009; 107(1): 1-9.
7. Fairbairn MS, Blackie SP, McElvaney NG, Wiggs BR, Pare PD, Pardy RL. Prediction of heart rate and oxygen uptake during incremental and maximal exercise in healthy adults. *Chest* 1994; 105(5): 1365-9.
8. Eston RG. Perceived exertion: Recent advances and novel applications in children and adults. *J Exerc Sci Fit*. 2009; 7(2, Supplement): S11-S7.
9. Coquart J, Garcin M, Parfitt G, Tourny-Chollet C, Eston R. Prediction of maximal or peak oxygen uptake from ratings of perceived exertion. *Sports Med* 2014; 44(5): 563-78.
10. Crouter S, DellaValle D, Horton M, Haas J, Frongillo E, Bassett D, Jr. Validity of the Actical for estimating free-living physical activity. *Eur J Appl Physiol*. 2011; 111(7): 1381-9.
11. Millet GP, Vleck VE, Bentley DJ. Physiological differences between cycling and running. *Sports Med*. 2009; 39(3): 179-206. doi: 10.2165/00007256-200939030-00002
12. Camp D. How to check your heart rate [cited 2015 June 12 ]. Available from: <http://fitasylum.com/index.php/blog/sports-science/28-how-to-check-your-heart-rate>.
13. Wheatley CM, Snyder EM, Johnson BD, Olson TP. Sex differences in cardiovascular function during submaximal exercise in humans. *SpringerPlus* 2014; 3(1): 445.
14. American College of Sports Medicine. Health appraisal and risk assessment. In: Pescatello LS, Arena R, Riebe D, Thompson PD, editors. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Benefits and risks associated with physical activity and preparticipation health screening*. 9th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013. p. 1-38.
15. Fox SM. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Bull N Y Acad Med* 1968; 44(8): 950-65.
16. Shetler K, Marcus R, Froelicher VF, Vora S, Kalisetti D, Prakash M, et al. Heart rate recovery: Validation and methodologic issues. *J Am Coll Cardiol* 2001; 38(7): 1980-7.
17. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med sci sports exerc*. 1982; 14(5): 377-81.

18. Heil DP. Predicting activity energy expenditure using the Actical® activity monitor. *Res Q Exerc Sport* 2006; 77(1): 64-80.
19. Robergs RA, Landwehr R. The surprising history of the “HRmax= 220-age” equation. *J Exerc Physiol* 2002; 5(2): 1-10.
20. Shi X, Stevens G, Foresman BH, Stern SA, Raven PB. Autonomic nervous system control of the heart: Endurance exercise training. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27(10): 1406-13.
21. Cheng TM, Savkin AV, Celler BG, Su SW, Wang L. Nonlinear modeling and control of human heart rate response during exercise with various work load intensities. *Biomed Eng Online* 2008; 55(11): 2499-508.
22. Daanen HA, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NL. A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 2012; 7(3): 251-60.
23. Wolthuis RA, Froelicher VF, Fischer J, Triebwasser JH. The response of healthy men to treadmill exercise. *Circulation*. 1977; 55(1): 153-7.
24. Loe H, Steinshamn S, Wisløff U. Cardio-Respiratory reference data in 4631 healthy men and women 20-90 years: The HUNT 3 fitness study. *PLoS ONE*. 2014; 9(11): e113884. doi: 10.1371/journal.pone.0113884
25. Charkoudian N, Joyner MJ. Physiologic considerations for exercise performance in women. *Clin Chest Med* 2004; 25(2): 247-55.
26. Dimkpa U, Ezeike C, Maduka S, Ukoha U, Anikeh L, Uchefuna R, et al. Sex differences in heart rate responses to sub-maximal exercise in young adults. *Comp Exerc Physiol* 2015; 11(1): 9-16.
27. Mann TN, Webster C, Lamberts RP, Lambert MI. Effect of exercise intensity on post-exercise oxygen consumption and heart rate recovery. *Eur J Appl Physiol* 2014; 114(9): 1809-20.
28. Scherr J, Wolfarth B, Christle J, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg’s rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol* 2013; 113(1): 147-55.
29. Altini M, Penders J, Vullers R, Amft O. Estimating energy expenditure using body-worn accelerometers: A comparison of methods, sensors number and positioning. *IEEE J Biomed Health Inform* 2015; 19(1): 219-26.