

## ORIGINAL ARTICLE

## การศึกษาการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจขณะวิ่งสายพานในเด็กและวัยรุ่นปกติอายุ 10–15 ปี

## The Study of Heart Rate Response During Treadmill Exercise Stress Test

## in Child and Adolescent 10–15 Years Old

อุเทน บุญมี, วท.บ. เทคโนโลยีหัวใจและทรวงอก

Uthen Bunmee, B.Sc. Cardio-Thoracic Technology

คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol University

Received: January 31, 2024 Revised: May 20, 2024 Accepted: June 30, 2024

## บทคัดย่อ

**ที่มาของปัญหา:** อัตราการเต้นของหัวใจสะท้อนประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดซึ่งสามารถวัดและติดตามค่านี้ด้วยเครื่องมือต่างๆ แต่เมื่อออกกำลังกาย ลักษณะการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจอาจเปลี่ยนไปจากสภาวะพักโดยเฉพาะในเด็กและวัยรุ่นที่ยังไม่มีการศึกษาแพร่หลาย การติดตามการทำงานของหัวใจขณะออกกำลังกายหรือทดสอบสมรรถภาพหัวใจในสถานพยาบาลอาจยังมีข้อมูลจำกัด จึงสร้างงานวิจัยแบบย้อนหลังขึ้น

**วัตถุประสงค์:** 1) ศึกษาการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายด้วยสายพานในเด็กและวัยรุ่นปกติอายุ 10-15 ปี 2) ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจเด็กขณะออกกำลังกายระหว่างชายกับหญิง 3) ศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจเด็กขณะออกกำลังกายระหว่างกลุ่มอายุน้อยกว่า 13 ปี กับกลุ่มอายุ 13 ปีขึ้นไป 4) ศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นของหัวใจกับความเร็วสายพาน

**วิธีการศึกษา:** ทบทวนผลตรวจสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพานแบบ modified Bruce protocol ในเด็กไทยอายุ 10-15 ปี จำนวน 37 ราย (ชาย 20 ราย, หญิง 17 ราย) ที่มีผลตรวจ Echocardiogram ปกติ นำเสนอการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจแต่ละ Stage ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (ร้อยละ) ทั้งระยะก่อน ขณะ และหลังออกกำลังกาย เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ Independent T-test และศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นหัวใจกับความเร็วสายพานด้วยสถิติ Spearman correlation

**ผลการศึกษา:** เด็กวัยนี้วิ่งสายพานได้นานเฉลี่ย 18 นาที (stage 6) ในระยะออกกำลังกายถึงขีดสุดอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 191 หรือ 1.9 เท่าจากขณะพัก (baseline) การตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจสัมพันธ์กับความเร็วสายพานที่เพิ่มขึ้นในระดับมากที่สุด ( $r_s=0.85, p<0.05$ ) โดยเพศหญิงมีการตอบสนองของอัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกายที่มากกว่าเพศชาย ( $127\pm 32.1$  VS  $123\pm 29.8$  beats/min.,  $p<0.05$ ) และกลุ่มอายุ 13 ปีขึ้นไปมีการตอบสนองของอัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกายที่มากกว่ากลุ่มอายุน้อยกว่า 13 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $127\pm 28.2$  VS  $117\pm 25.4$  beats/min.,  $p<0.05$ )

**สรุป:** เด็กอายุ 10-15 ปี วิ่งสายพานได้นาน 18 นาทีหรือ Stage 6 ในระยะออกกำลังกายถึงขีดสุดอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้น 1.9 เท่า ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วสายพานที่เพิ่มขึ้น โดยเพศหญิงมีการเพิ่มของอัตราการเต้นหัวใจมากกว่าเพศชาย และกลุ่มอายุ 13 ปีขึ้นไป มีการเพิ่มของอัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกายที่มากกว่ากลุ่มอายุน้อยกว่า 13 ปี

**คำสำคัญ:** การตอบสนองอัตราการเต้นของหัวใจ, ทดสอบสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพาน, เด็กและวัยรุ่น

**ABSTRACT**

**BACKGROUND:** The heart rate response during exercise reflects cardiovascular efficiency, which can be tested and assessed using a treadmill exercise test. This test also shows heart rate and other parameters during both rest and peak exercise periods; however, there is limited research number on the heart rate response of 10-15 years old Thai adolescents using the modified Bruce protocol.

**OBJECTIVE:** This study aims to analyze in the four study points, consist of (1) The heart rate response of children during exercise (2-3) The comparison in the heart rate responses between females and males, between those aged under 13 years old and those aged over 13 years old. (4) The study in correlation of heart rate versus speed of treadmill.

**METHODS:** In the retrospective study, we reviewed exercise stress test report of the modified Bruce protocol. We compared heart rate between male versus female, between under 13 years old versus greater by Sample t-test. We analyzed correlation of heart rate and speed by Spearman correlation.

**RESULTS:** All 37 participants have normal echocardiogram (M=20, F=17) and able to run on the treadmill for an average of 18 minutes (modified Bruce protocol stage 6). During the peak exercise, the heart rate increased to 191% from baseline. The heart rate response showed a strong correlation with the speed of the treadmill ( $r_s=0.85$ ,  $p<0.05$ ). Female gender group has significant increase in heart rate response when compared with male gender group ( $127\pm32.1$  VS  $123\pm29.8$  beat/min.,  $p<0.05$ ). Also, the age 13-15 years group has significant increase in heart rate response when compared with the age 10-12 years group ( $127\pm28.2$  VS  $117\pm25.4$  beat/min.,  $p<0.05$ ).

**CONCLUSIONS:** Thai adolescents' age 10-15 years old achieved an average of 18 minutes or modified Bruce protocol stage 6 during exercise treadmill test. The heart rate increased 191% and showed a strong correlation with speed. At peak exercise, female and age greater than 13-year-old group have significantly higher heart rate compared with male and age lower than 13-year-old.

**KEYWORDS:** heart rate response, treadmill exercise stress test, child and adolescent

## บทนำ

อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate, HR) ที่เร็วหรือช้าส่งผลต่อปริมาณเลือดที่ไหลออกจากหัวใจตามสมการ  $\text{Cardiac output} = \text{stroke volume} \times \text{heart rate}$  ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจสามารถสังเกตหรือวัดได้จากจังหวะการเคลื่อนไหวหน้าอกที่กระทบมือเมื่อสัมผัสสรีขีพจร หรือจำนวน R wave ที่ปรากฏในกระดาษคลื่นไฟฟ้าหัวใจในหนึ่งนาทีซึ่งทำได้ไม่ยากแต่ทว่าในสภาวะปกติที่ร่างกายไม่ได้ออกกำลังกายกับสภาวะออกกำลังกายที่ถูกระงับนั้นการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจย่อมแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นกับแต่ละกิจกรรมที่ทำด้วย<sup>1</sup> ปัจจุบันการออกกำลังกายและฟิตเนสเป็นกิจกรรมที่ได้รับความนิยมมากในวัยรุ่นและผู้ใหญ่ทั้งเพื่อดูแลสุขภาพและเพื่อเน้นหนักการ โดยเฉพาะกีฬาวิ่งที่มีอุปกรณ์และแฟชั่นเสริมมากมาย แต่หากผู้วิ่งหรือผู้ควบคุมการฝึกไม่ทราบถึงลักษณะการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจที่ปกติแล้ว ก็ย่อมไม่สามารถแยกความผิดปกติสำหรับเฝ้าระวังความปลอดภัยขณะวิ่งได้และในบุคลากรสุขภาพของสถานพยาบาลที่ทำหน้าที่ควบคุมการทดสอบสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพานนั้นหากไม่ทราบการตอบสนองและการเปลี่ยนแปลงที่ปกติก่อนแล้วย่อมไม่สามารถนำไปต่อยอดความรู้ได้ แม้การตรวจสมรรถภาพหัวใจจะมีความเสี่ยงไม่สูงมากแต่ในเด็กก็มีรายละเอียดและข้อพึงระวังหลายอย่าง<sup>2</sup> เช่น ในแง่ความปลอดภัย อุบัติเหตุ การพลัดตกหกล้ม ต้องมีผู้ปกครองรับทราบให้ความยินยอมและร่วมดูแลใกล้ชิดทุกขั้นตอนอีกด้วย นอกจากนี้การตรวจมีค่าใช้จ่ายและต้องกระทำภายใต้ข้อบ่งชี้ที่เหมาะสมซึ่งในเด็กปกติอาจยังไม่มีเหตุผลที่จะต้องตรวจ หรืองานวิจัยที่กระทำในอาสาสมัครเองก็ยังไม่พบข้อมูลวิจัยในกลุ่มเด็กแพร่หลายนัก แม้จะเคยมีการศึกษาในต่างประเทศบ้างแต่ก็เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ต่างออกไปทั้งในแง่ความเจ็บป่วย ขนาดร่างกาย เชื้อชาติ กิจวัตรและพฤติกรรมกรบริโภคอาหาร สังคม วัฒนธรรม ปัจจุบันในการทดสอบสมรรถภาพหัวใจ การให้คำแนะนำและการส่งเสริมการออกกำลังกายแก่เด็กและวัยรุ่นไทยที่มารับบริการโดยเฉพาะกลุ่มวัย 10-15 ปี ที่ปกตินี้จึงยังมีข้อจำกัดในด้านจำนวนข้อมูลที่เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์และในเชิงข้อมูลเปรียบเทียบ ผู้วิจัยในฐานะนักเทคโนโลยี

หัวใจและทรวงอกซึ่งเป็นบุคลากรสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับโรคหัวใจเด็กซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการทดสอบสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพาน (treadmill Exercise Stress Test, tEST) จึงมีความสนใจสร้างงานวิจัยในเด็กปกตินี้ขึ้นเพื่อนำเสนอความรู้พื้นฐานโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเด็นลักษณะการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจในเด็กและวัยรุ่นปกติอายุ 10-15 ปี ข้อมูลที่ได้จะเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ว่าแต่ละ Stage ส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงร้อยละเท่าไร มีความแตกต่างของการตอบสนองในเด็กไทยแต่ละกลุ่มเพศ กลุ่มวัยหรือไม่อย่างไรบ้าง นอกจากนี้ยังจะทำให้ทราบระดับความสัมพันธ์ความเร็วของสายพานกับอัตราการเต้นของหัวใจซึ่งผลพลอยได้จากความรู้ในงานวิจัยนี้จะประโยชน์ต่อบุคลากรสุขภาพในการปฏิบัติงาน การให้คำแนะนำแก่ผู้รับบริการและญาติ รวมทั้งประชาชนผู้รักสุขภาพทั่วไปเองก็สามารถศึกษาทำความเข้าใจหลักการทดสอบได้และนี่เป็นจุดเริ่มต้นของการเผยแพร่ความรู้พื้นฐานด้านเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอกเพื่อนำไปสู่หัวข้อวิจัยอื่นๆ ที่อาจจะตามมาทั้งในแง่ความรู้พื้นฐานหรือการบูรณาการเข้ากับศาสตร์อื่นเพื่อส่งเสริมการดูแลตนเองของประชาชนต่อไปด้วย

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจขณะวิ่งสายพานในเด็กเปรียบเทียบการตอบสนองอัตราการเต้นของหัวใจขณะวิ่งสายพานระหว่างกลุ่มเพศชายและเพศหญิง เปรียบเทียบการตอบสนองอัตราการเต้นของหัวใจขณะวิ่งสายพานระหว่างกลุ่มอายุ 10-12 ปี และ 13-15 ปี และศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นของหัวใจกับความเร็วของสายพาน

## วิธีการศึกษา

เป็นการวิจัยแบบย้อนหลัง (retrospectively study) โดยการทบทวนผลตรวจสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพานในเด็กและวัยรุ่นที่เคยตรวจไว้แล้ว 5 ปี เลือกศึกษาเฉพาะรายที่ผลตรวจปกติ

ทบทวนผลตรวจสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพาน (treadmill Exercise Stress Test, tEST) ย้อนหลัง ในฐานข้อมูลภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะ

แพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ระหว่างปี พ.ศ. 2560-2565 รายงานผลการทดสอบได้จากเครื่องยี่ห้อ GE รุ่น T2100 ด้วย modified Bruce protocol<sup>3</sup> เครื่องจะบันทึก Heart rate และรายงานลงบนกระดาษทุกๆ 3 นาที ขณะเดียวกันสายพานจะปรับขึ้นขึ้นทุกๆ 3 นาทีด้วย ซึ่ง 9 นาทีแรก (3 stages) ใช้ความเร็ว 2.7 แล้วเพิ่มเป็น 4, 5.4, 6.7 และ 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับซึ่งเหมาะสมกับการทดสอบในวัยเด็ก โดยการทดสอบจะหยุดเมื่อวิ่งถึง Target ค่าพิกัดจากสูตร  $(80/100) \times (220 - \text{อายุ})$  หรือเมื่อกลุ่มตัวอย่างรู้สึกเหนื่อยล้าจนวิ่งต่อไม่ไหว ค่าต่างๆ จะถูกบันทึกทั้งในระยะ Resting pre exercise, Peak-exercise และ Recovery period เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผล<sup>4-5</sup>

#### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

จากการค้นหาและทบทวนผลตรวจย้อนหลังในกลุ่มประชากรที่มีผลตรวจ EST เด็กและวัยรุ่นปกติ อายุ 10-15 ปี มีทั้งสิ้น 41 ราย เมื่อคำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่างจากสูตร Taro Yamane =  $41/1 + 41 \times (0.05)^2$  จะได้กลุ่มตัวอย่างขั้นต่ำคือ 37 ราย

เกณฑ์การคัดเข้า คือ ปรกติจากโรคหัวใจยืนยันโดยมีผลตรวจ Echocardiogram ปกติ ที่ห่างกันไม่เกิน 6 เดือน ต้องมีผลตรวจสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพานที่โรงพยาบาลรามาธิบดี เฉพาะในช่วงปี พ.ศ. 2560-2565 และผลตรวจสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพานบันทึกพารามิเตอร์ที่ต้องการครบถ้วน คือ Heart rate, Gender, Age, Time, Speed, Mode, METs และ Stage

เกณฑ์การคัดออก คือ พบว่ามีโรคหัวใจในผลตรวจ Echocardiogram ภายหลัง (ยกเว้นภาวะ Small patent foramen ovale <5 millimeter และ Trace to mild

tricuspid valve regurgitation with pressure gradient <35 mmHg. ซึ่งพบได้ในคนปกติ) และมีการใช้ยากกลุ่มที่อาจส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นหัวใจ

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

นำเสนอข้อมูลประชากรในรูปแบบสถิติเชิงพรรณนา จำนวน (ร้อยละ) และ mean±SD เปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยระหว่างกลุ่มเพศชายกับเพศหญิง และกลุ่มอายุน้อยกว่า 13 ปี (10-12 ปี) กับกลุ่มอายุ 13 ปีขึ้นไป (13-15 ปี) ซึ่งมีการกระจายตัวปกติด้วย Independent t-test ยอมรับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p < 0.05$  ทดสอบความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นของหัวใจกับความเร็วสายพานที่ข้อมูลกระจายตัวไม่ปกติด้วย Spearman correlation

#### ผลการศึกษา

กลุ่มตัวอย่างเด็กและวัยรุ่น 37 ราย (ชาย=20 ราย, หญิง=17 ราย) อายุ 10-15 ปี ที่ปราศจากโรคทางโครงสร้างของหัวใจและมีการทำงานของหัวใจปกติที่ยืนยันด้วยผลตรวจคลื่นเสียงสะท้อนหัวใจ แต่ส่วนใหญ่ได้รับการตรวจสายพานเนื่องจากเคยเป็นอาสาสมัครเข้ารับการตรวจเพื่อเป็นกลุ่มควบคุมของงานวิจัยอื่นมาก่อน บางรายผู้ป่วยและญาติประสงค์ตรวจเนื่องจากมีประเด็นสงสัยเกี่ยวกับความพร้อมของสมรรถภาพหัวใจก่อนเข้ารับการศึกษาวิชาชีพ ก่อนเข้าเรียนโรงเรียนเตรียมทหาร และก่อนเข้าเรียนวิทยาศาสตร์การกีฬา เป็นต้น เมื่อออกกำลังกายด้วยการวิ่งสายพานแบบ modified Bruce protocol จะมีการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจ (ตารางที่ 2 และรูปที่ 1)

ตารางที่ 1 ลักษณะประชากร

Type	Groups	Number (%)
Body mass index	<25 kg/m <sup>2</sup>	37 (100)
	≥25 kg/m <sup>2</sup>	N/A
Gender	Male	20 (54)
	Female	17 (46)
Age	10-12 years	12 (32)
	13-15 years	25 (68)
Echocardiogram	LVEF <55%	N/A
	LVEF ≥55%	37 (100)
Target	Stage <6	11 (30)
	Stage ≥6	26 (70)

หมายเหตุ: Left ventricular ejection fraction (LVEF), Not applicable (N/A), Kilogram (kg), Meter (m)

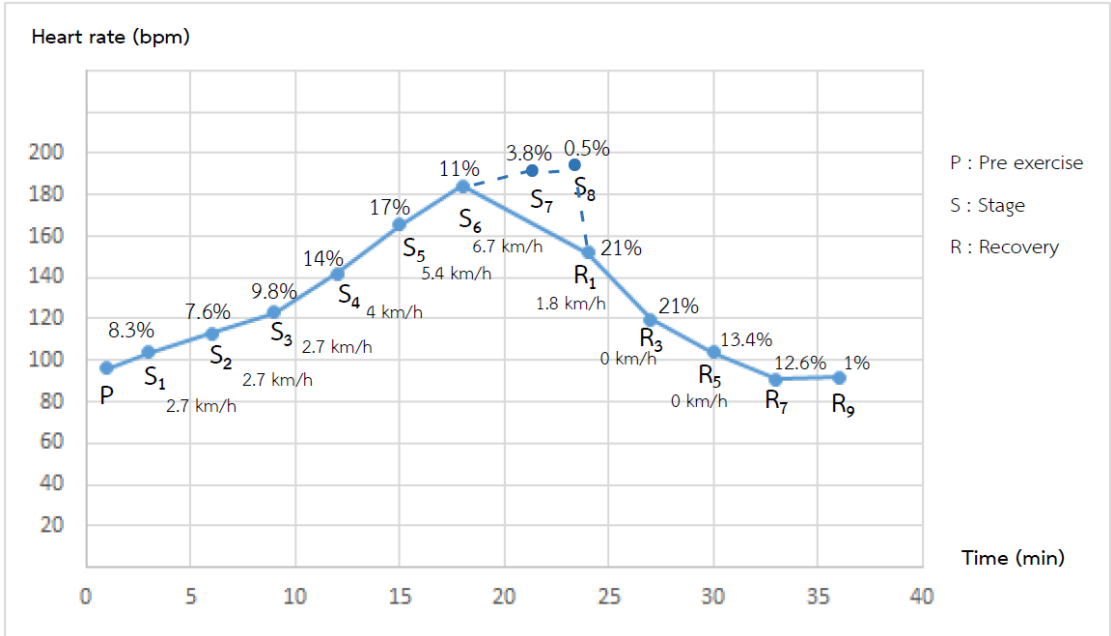
ตารางที่ 2 การตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยขณะวิ่งสายพานในแต่ละ Stage ของเด็กและวัยรุ่นอายุ 10-15 ปี

Time	Speed MODBRUCE		Heart rate		Note
	(km/h)	(bpm)	Change (%)		
Baseline (B)	0	96	0		Pre exercise
Stage 1 (S <sub>1</sub> )	2.7	104	8.3		
Stage 2 (S <sub>2</sub> )	2.7	112	7.6		
Stage 3 (S <sub>3</sub> )	2.7	123	9.8		
Stage 4 (S <sub>4</sub> )	4	141	14		
Stage 5 (S <sub>5</sub> )	5.4	165	17		
Stage 6 (S <sub>6</sub> )	6.7	184	11		Peak exercise
Recovery 1 (R <sub>1</sub> )	1.8	151	21		HRR <sub>(peak-R1)</sub> =33
Recovery 3 (R <sub>3</sub> )	0	119	21		
Recovery 5 (R <sub>5</sub> )	0	103	13.4		
Recovery 7 (R <sub>7</sub> )	0	90	12.6		Return to baseline
Recovery 9 (R <sub>9</sub> )	0	91	1		

หมายเหตุ: Change (%) จะเทียบกับระยะก่อนหน้า, HRR=Heart rate recovery, Bpm=beat/minute, R 1-9=Recovery period minutes 1, 3, 5, 7 and 9

จากตารางที่ 2 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจตั้งแต่ก่อนเริ่มทดสอบ ขณะทดสอบ จนกระทั่งเข้าสู่ระยะหลังทดสอบซึ่งจะบันทึกและรายงานค่าต่างๆ ทุก 3 นาที ตามลักษณะของการทดสอบแบบ modified Bruce protocol (MODBRUCE) โดยจาก 37 ราย ส่วนใหญ่พบว่าหยุดทดสอบเนื่องจากเหนื่อยล้าจนถึงขีดสุดที่ระยะ Stage 6 หรือที่เวลา 18 นาที คำนวณค่า HRR ได้ 33 beat/min มีระยะ Heart rate recovery period หรือระยะเวลาที่อัตราการเต้นของหัวใจ

กลับมาเท่ากับช่วงก่อนวิ่ง (return to baseline) ประมาณ 6-7 นาที การเปลี่ยนแปลงในลักษณะเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจจะเกิดขึ้นมากที่สุดในระยะ Stage 4-5 คิดเป็นร้อยละ 17 หลังจากเหนื่อยสุดจนอัตราการเต้นของหัวใจเกือบเป็นสองเท่าและเข้าสู่ระยะพักคือเดินช้าๆ หรือลดความเร็วสายพานลงแล้ว การเปลี่ยนแปลงในลักษณะลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจจะเกิดขึ้นมากที่สุดในระยะ Recovery 1-2 คิดเป็นร้อยละ 21 (รูปที่ 1)

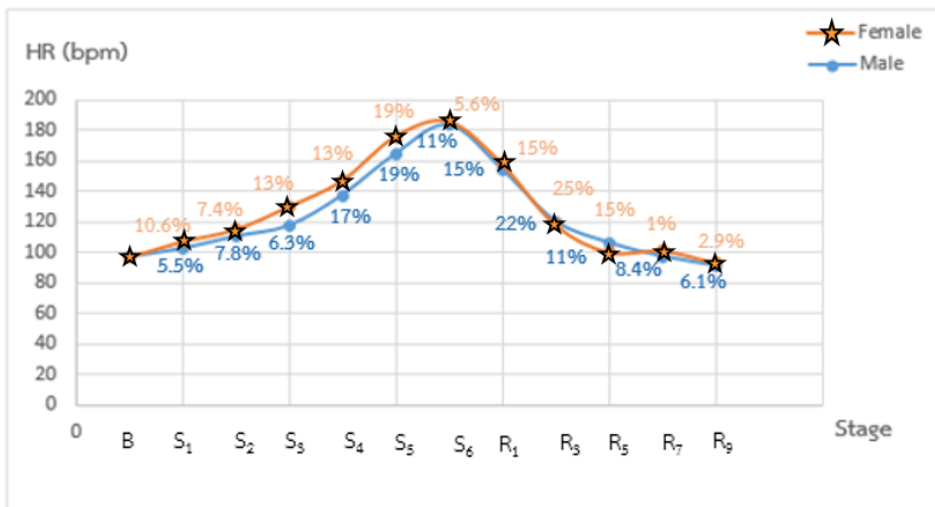


รูปที่ 1 กราฟแสดงร้อยละการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจในระยะเวลาต่างๆ ของการออกกำลังกายด้วยการวิ่งสายพาน โดย beat/minute (bpm), R 1-9 คือ Recovery period ในช่วงเวลาที่ 1, 3, 5, 7 และ 9

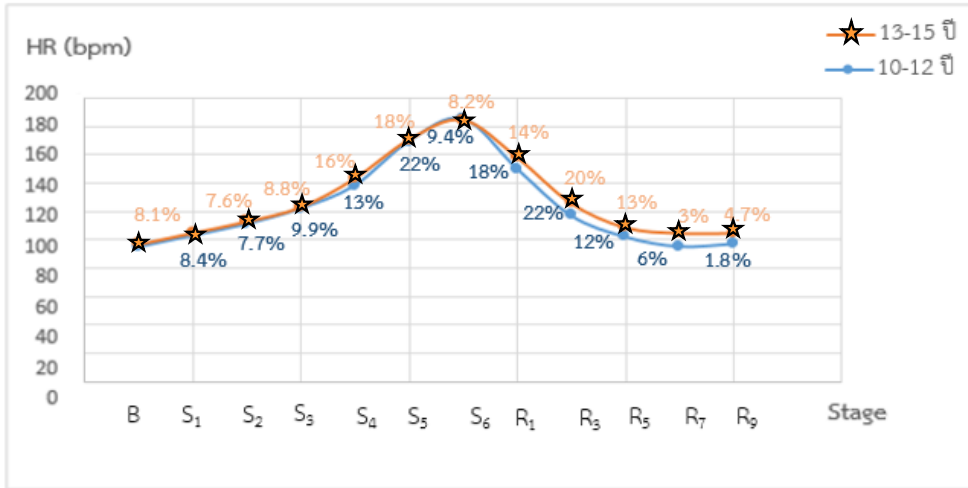
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยขณะออกกำลังกายจำแนกตามเพศและอายุ

Type	Group A	Group B	Heart rate (bpm)	p-value
Gender	Male	Female	123±29.8 VS 127±32.1	<0.001
Age (years)	10-12	13-15	117±25.4 VS 127±28.2	<0.001

หมายเหตุ: beat/minute (bpm)



รูปที่ 2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการตอบสนองอัตราการเต้นของหัวใจจากการวิ่งสายพานระหว่างกลุ่มเพศชายและเพศหญิง



รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการตอบสนองอัตราการเต้นของหัวใจจากการวิ่งสายพานระหว่างอายุ 10-12 ปีกับ 13-15 ปี

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างกลุ่มเพศชายกับเพศหญิง (รูปที่ 2 และตารางที่ 3) และระหว่างกลุ่มอายุน้อยกว่า 10-12 ปี กับกลุ่มอายุ 13-15 ปี (รูปที่ 3 และตารางที่ 3) พบว่าเพศหญิงมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจมากกว่าเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยเฉพาะในระยะเริ่มทดสอบจนถึงระยะเหนื่อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าอัตรา

การเต้นของหัวใจของเด็กและวัยรุ่นอายุ 13-15 ปีจะมีการเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มอายุ 10-12 ปี โดยเฉพาะในระยะพัก การเพิ่มขึ้นของความเร็วของสายพานและการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจในเด็กและวัยรุ่นที่เข้ารับการทดสอบสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพานมีความสัมพันธ์กันเชิงบวกในระดับสูงมาก (very strong)

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นของหัวใจกับความเร็วยของสายพาน (N=37)

Variable	Correlation coefficient	p-value
Heart rate (bpm) vs speed (km/h)	$r_s = 0.85$	<0.05

หมายเหตุ: bpm=beat/minute, km/h=Kilometer/hour, Spearman's correlation coefficient strength <0.2=Very weak, 0.2-0.39=Weak, 0.4-0.59=Moderate, 0.6-0.79=Strong, >0.8=Very strong

### อภิปรายผล

การตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจเด็กและวัยรุ่นอายุ 10-15 ปี เมื่อออกกำลังกายด้วยการวิ่งสายพานแบบ modified Bruce protocol ร้อยละ 70 วิ่งได้ถึง Stage 6 (18 นาที) ซึ่งจะมีการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจ คือ ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากก่อนวิ่งร้อยละ 8-9 ใน Stage ที่ 1-3 ซึ่งความเร็วคงที่ตามลำดับ ต่อมาอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 14-17 ในระยะ Stage 4-5 ซึ่งเป็นระยะที่กราฟชันที่สุดจากนั้นจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 11 ใน Stage ถัดไป แล้วเข้าสู่จุด Peak exercise คือออกแรงจนเหนื่อยถึงขีดสุดต่อจากนั้นจะใช้เวลาประมาณ 6 นาที (ระหว่าง R5-R7) อัตราการเต้นของหัวใจจึงจะลงมาใกล้ Baseline อีกครั้ง

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่เคยศึกษาระยะ Heart recovery period ในเด็กอายุน้อยกว่า 15 ปี พบว่า Z-score 0=5.8 นาที<sup>6</sup> โดยมีการศึกษาก่อนหน้ากล่าวว่า หากค่า Heart rate recovery period ใช้เวลานานประมาณ 10-15 นาที จะสัมพันธ์กับโอกาสเสียชีวิตที่สูงและพบว่ากลุ่มที่มี Heart rate peak กับ Heart rate at 1 minute recovery แตกต่างกันน้อย (ปกติต้องต่างกัน 12 ครั้ง/นาทีขึ้นไป) จะสัมพันธ์กับโอกาสการเสียชีวิตที่สูงเรียกว่าค่า Heart rate recovery; HRR=HRpeak-HR1 minute แต่ได้นำเสนอว่าไม่ควรนำค่าที่ได้นี้ไปอธิบายโอกาสเสียชีวิตในผู้ป่วยที่ใช้ยากกลุ่ม Beta-blocker อยู่<sup>7</sup> ซึ่งจากตารางที่ 2 ค่า HRR เฉลี่ยในการศึกษาคั้งนี้มีค่าถึง 33 ครั้ง/นาที กล่าวคือเมื่อวิ่งถึงจุดเหนื่อยสุดหรือกด

ปุ่มหยุดทดสอบแล้วเครื่องจะเข้าสู่ระยะ Recovery ซึ่งจะลดความเร็วโดยไม่หยุดสายพานทันที ผู้วิ่งยังคงต้องเดินช้าๆ เพื่อปรับสมดุลให้อัตราการเต้นของหัวใจค่อยๆ ลดลงและยังคงบันทึกสัญญาณชีพต่อไปโดยในนาฬิกาที่ 1 ของการ Recovery นี้อัตราการเต้นของหัวใจต้องไม่ลดลงเกิน 12 ครั้ง/นาที หรือไม่ควรลงใกล้ Baseline ทันทีตามกลไกสรีรวิทยาของหัวใจ หลอดเลือด และระบบประสาทที่ทำงานอย่างเป็นระบบ<sup>7-8</sup>

อัตราการเต้นของหัวใจมีความสัมพันธ์กับความเร็วยานพาหนะในเชิงบวกในระดับสูงมากหรือ Very strong ( $r_s=0.85, p<0.05$ ) ทำให้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจนั้นแปรผันตรงกับการเพิ่มความเร็ว ซึ่งความเร็วของสายพานในงานวิจัยนี้เป็นค่าตาม modified Bruce protocol ของเครื่องวิ่งโดยที่ผู้ควบคุมการทดสอบหรือผู้วิ่งไม่ได้ปรับแต่งเพิ่ม ดังนั้นในการวิ่งเหยาะๆ การวิ่งมาราธอน การวิ่งสายพานด้วยด้วยโหมดอื่นๆ การตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจอาจแตกต่างออกไปซึ่งรวมถึงอิทธิพลของความชันสายพานด้วย อย่างไรก็ตามสำหรับเด็กโตและวัยรุ่นนั้นแพทย์นิยมสั่งตรวจด้วย modified Bruce protocol เนื่องจากไม่หนักหรือรุนแรงเท่า Bruce protocol ในผู้ใหญ่ แต่ก็ไม่เบาหรือช้าเท่า Naughton protocol ซึ่งเหมาะกับผู้สูงอายุมากกว่า<sup>4,9</sup>

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างกลุ่มเพศชายและเพศหญิงพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )<sup>10</sup> โดยจากกราฟ (รูปที่ 2) จะเห็นว่าช่วงเริ่มออกกำลังกายเพศหญิงมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจค่อนข้างสูงกว่าเพศชายอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสรีระร่างกาย ฮอร์โมน ประสิทธิภาพการออกแรงหนัก หรือการอบอุ่นร่างกายแตกต่างกัน<sup>11</sup> แต่เมื่อถึงจุดเหนื่อยสุดนั้นทั้งชายและหญิงมีอัตราการเต้นของหัวใจที่เท่าๆ กัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มอายุน้อยกว่า 13 ปี (ส่วนใหญ่เป็นวัยประถมศึกษา อายุ 10-12 ปี) กับกลุ่มอายุ 13 ปีขึ้นไป (ส่วนใหญ่เป็นวัยมัธยมศึกษาตอนต้น อายุ 13-15 ปี) นั้นพบว่าการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยจากกราฟ (รูปที่ 3) ใน

ช่วงหลังออกกำลังกายถึงขีดสุดกลุ่มอายุ 13-15 ปี ให้ค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่สูงกว่ากลุ่ม 10-12 ปี แต่ก็ก็เป็นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ เฉพาะระยะ Recovery (รูปที่ 3) ซึ่งอาจเป็นผลจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาเช่นเดียวกับงานวิจัยที่เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มวัยรุ่นกับวัยสูงอายุก็พบความแตกต่างเช่นกัน<sup>12</sup>

ผลการวิจัยนี้นอกจากชี้ให้เห็นลักษณะการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจตั้งแต่เริ่มออกกำลังกายจนถึงขีดสุดแล้วยังติดตามไปจนถึงขณะพักทำให้มองเห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจเด็กและวัยรุ่นปกติ โดยเฉพาะเพศและวัยที่ต่างกัน ซึ่งมีส่วนทำให้การตอบสนองนั้นแตกต่างกันด้วยแต่งงานวิจัยนี้มีความสำคัญคือชี้ให้เห็นจุดที่แตกต่างและยังแสดงให้เห็นระดับความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นของหัวใจกับความเร็วของสายพานด้วย ซึ่งข้อมูลนี้ไม่เพียงเป็นประโยชน์ต่อบุคลากรการแพทย์ขณะควบคุมการทดสอบในเด็กและวัยรุ่น แต่ยังเป็นประโยชน์ต่อบุคลากรผู้ฝึกที่ จะจดจำรูปแบบการตอบสนองเพื่อสังเกตผู้รับการฝึก แม้แต่บุคคลทั่วไปก็สามารถนำลักษณะการตอบสนองนี้ไปใช้สังเกตหรือเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจตนเองและคนใกล้ชิดเพื่อประเมินระดับการเพิ่มหรือลดลงของอัตราการเต้นของหัวใจขณะวิ่งสายพานหรือในผู้ที่มีความผิดปกติหรือเครื่องมือสื่อสารที่สามารถติดตามอัตราการเต้นของหัวใจได้อย่างต่อเนื่องก็สามารถสังเกตอัตราการเต้นของหัวใจช่วงเหนื่อยสุด เพื่อนำไปเทียบกับระยะก่อนออกกำลังกายและระยะพักได้<sup>13</sup> โดยสามารถปรับใช้กับการวิ่งทั่วไปจนกระทั่งเหนื่อยสุด หรือปรับความเร็วและความชันของสายพานทุกสามนาทีเลียนแบบ modified Bruce protocol ก็ได้ (รูปที่ 1) แต่ในรายที่มีโรคประจำตัวหรือหลังรับการผ่าตัดรักษาโรคหัวใจนั้นการออกกำลังกายหรือการบริหารควรทำอย่างระมัดระวังตามคำแนะนำของแพทย์ นักกายภาพบำบัดและผู้เชี่ยวชาญ<sup>14</sup>

นอกจากวัตถุประสงค์หลักในการวิจัยแล้วจากข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบว่าผู้ควบคุมการทดสอบควรเฝ้าระวังความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ทดสอบโดยเฉพาะระยะ Stage 4-5 (นาฬิกาที่ 12-15) ซึ่งเป็นระยะที่มีร้อยละความเปลี่ยนแปลงหรือร้อยละการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจมากกว่าช่วงอื่น และควรเฝ้าระวังในระยะ

Stage 6 ที่คนส่วนใหญ่จะเหนื่อยจนถึงขีดสุดหรืออัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเกือบสองเท่าและมักจะขอหยุดทดสอบหรือวิ่งต่อไม่ไหวในระยะนี้ แม้ว่าขณะทดสอบผู้ควบคุมจะต้องเฝ้าระวังอยู่ตลอดเวลาแล้ว แต่ในระยะ Stage ดังกล่าวนี้ควรต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาย้อนหลังจากผลตรวจสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพานที่คัดมาศึกษาเฉพาะรายที่ตรงตามเกณฑ์คัดเข้าซึ่งมีลักษณะหัวใจปกติเท่านั้น อย่างไรก็ตามด้วยชนิดและความชุกของโรคหัวใจในวัยเด็กทำให้กลุ่มตัวอย่างเด็กที่มีข้อบ่งชี้ที่จะต้องตรวจสมรรถภาพหัวใจด้วยการวิ่งสายพานมีค่อนข้างน้อย การศึกษาผลย้อนหลังครั้งนี้จึงต้องค้นหาฐานข้อมูลครอบคลุมถึง 6 ปี แต่ก็ก็เป็นจำนวนที่ใกล้เคียงกับการศึกษาในต่างประเทศเช่นกัน<sup>3</sup> ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต เมื่อความรู้พื้นฐานด้านเทคโนโลยีหัวใจและทรวงอกมีมากขึ้นอาจนำมาซึ่งหัวข้อการศึกษาวิจัยใหม่ๆ เกี่ยวกับการวิ่งสายพานหรือศึกษาร่วมกับสาขาอื่นๆ อาทิ วิทยาศาสตร์กายภาพบำบัด สุขศึกษา วิทยาศาสตร์การกีฬาและพลศึกษา เป็นต้น ทั้งในกลุ่มตัวอย่างปกติหรือกลุ่มตัวอย่างเฉพาะโรคต่อไป

**ผลประโยชน์ทับซ้อน:** ไม่มี

**แหล่งเงินทุนสนับสนุน:** ไม่มี

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณแพทย์หญิงปริมพัชร ไรทรวงศ์สกุล สาขาวิชาโรคหัวใจ ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ผู้ริเริ่มคลินิกทดสอบสมรรถภาพหัวใจด้วยวิ่งสายพานจากกลุ่มตัวอย่างที่หลากหลายช่วงอายุและหลากหลายปีทำให้การค้นหาข้อมูลย้อนหลังทำได้สะดวกมากขึ้น ขอขอบคุณห้องสมุดรามาธิบดีที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสื่อสารสนเทศสำหรับทำวิจัย

**เอกสารอ้างอิง**

1. Howden EJ, Bigaran A, Beaudry R, Fraser S, Selig S, Foulkes S, et al. Exercise as a diagnostic and therapeutic tool for the prevention of cardiovascular dysfunction in breast cancer patients. *Eur J Prev Cardiol* 2019;26:305-15.
2. Connuck DM. The role of exercise stress testing in pediatric patients with heart disease. *Prog Pediatr Cardiol* 2005;20:45-52.
3. Kozlov S, Caprnda M, Chernova O, Matveeva M, Alekseeva I, Gazdikova K, et al. Peak responses during exercise treadmill testing using individualized ramp

protocol and modified bruce protocol in elderly patients. *Folia Med (Plovdiv)* 2020;62:76-81.

4. Gentile BA, Tighe DA. Exercise stress ECG test protocols. In: Tighe DA, Gentile BA, editors. *Pocket guide to stress testing*. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2020. p. 53-66.
5. Stephens P, Paridon SM. Exercise testing in pediatrics. *Pediatr Clin N Am* 2004;51:1569-87.
6. Bunmee U. The study of heart rate recovery period from treadmill exercise stress test in child population 10–15 years old with normal echocardiogram. *J AHS SSRU* 2022;7(2):1-12.
7. Nishime EO, Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Lauer MS. Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. *JAMA* 2000;284:1392-8.
8. Fisher JP, Young CN, Fadel PJ. Autonomic adjustments to exercise in humans. *Compr Physiol* 2015;5:475-512.
9. Lander BS, Layton AM, Garofano RP, Schwartz A, Engel DJ, Bello NA. Average exercise capacity in men and women >75 years of age undergoing a bruce protocol exercise stress test. *Am J Cardiol* 2022;164:21-6.
10. Boontha K, Pirunsan U, Khamwong P. Cardiovascular response and energy expenditure of a novel heart rate maximizer test in healthy volunteers. *Bull Chiang Mai Assoc Med Sci* 2016;49:263-75.
11. Smith JR, Koepp KE, Berg JD, Akinsanya JG, Olson TP. Influence of sex, menstrual cycle, and menopause status on the exercise pressor reflex. *Med Sci Sports Exerc* 2019;51:874-81.
12. Catai AM, Pastre CM, Godoy MF, Silva ED, Takahashi ACM, Vanderlei LCM. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Braz J Phys Ther* 2020;24:91-102.
13. Karmen CL, Reisfeld MA, McIntyre MK, Timmermans R, Frishman W. The clinical value of heart rate monitoring using an apple watch. *Cardiol Rev* 2019;27:60-2.
14. Assawakosinchai S, Mongkolsuk W, Tipwes W. Effect of exercise on physical fitness and quality of life in post-acute myocardial infarction patients. *J Prapokklao Hosp Clin Med Educat Center* 2004;21:118-26.