ความน่าเชื่อถือของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ด้วยการกระโดดตบในการประเมินความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต

Reliability of heart rate maximizer test using jumping jack in assessing cardiovascular fitness

กฤษณา บุญทา* อุบล พิรุณสาร เพียรชัย คำวงษ์ สายนที ปรารถนาผล

Kritsana Boontha* Ubon Pirunsan Peanchai Khamwong Sainatee Pratanaphon

ภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

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

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

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

Received July 2016

Accepted as revised September 2016

Abstract

Objectives: The purpose of this study was to determine the reliability of a heart rate maximizer test using jumping jack to evaluate cardiovascular fitness in young adults.

Materials and methods: Twenty healthy young adults (mean age 21.20±0.95 years) underwent two minutes of the heart rate maximizer test, followed by 10 minutes of seated rest on two occasions separated by seven days. Variables included resting heart rate (HR_{rest}), peak heart rate (HR_{peak}), heart rate after testing at 1st and 2nd minute, heart rate recovery at 1st and 2nd minute (HRR1 and HRR2), systolic blood pressure (SBP) and rating of perceived exertion (RPE) were evaluated. Reliability of the test was analyzed by intraclass correlation coefficient (ICC), standard error of measurements (SEMs) and coefficient of variation (CV).

Results: All HR variables were excellent reliable (ICC = 0.90-0.98; SEMs = 1.14%-7.89%) as well as SBP variables (ICC = 0.90-0.91; SEMs = 2.87%-3.70%) with less than 15% of CV except HRR1 (CV = 29.8%). RPE measurements were slightly less reliable (ICC = 0.62-0.75; SEMs = 3.13%-7.42%; CV = 5.1%-14.8%) than HR and SBP measurements. Therefore, both HR and SBP variables can be reliably applied in the heart rate maximizer test.

Conclusion: Heart rate maximizer test using jumping jack showed high reliability and it could be useful for accessing cardiovascular fitness in healthy young adults.

Bull Chiang Mai Assoc Med Sci 2016; 49(3): 344-354. Doi: 10.14456/jams.2016.34

Keywords: Heart rate maximizer test, heart rate recovery, rating of perceived exertion, systolic blood pressure

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาความน่าเชื่อถือของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบในการประเมินความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตของผู้ใหญ่ตอนต้น

วัสดุและวิธีการศึกษา: อาสาสมัครผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดีจำนวน 20 ราย อายุเฉลี่ย 21.20±0.95 ปี ทำการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบเป็นเวลา 2 นาที และนั่งพักเป็นเวลา 10 นาที จำนวน 2 ครั้ง โดยมีระยะเวลาห่างกัน 7 วัน ตัวแปรที่ประเมินคือ อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (HR_{rest}) อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (HR_{peak}) อัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการทดสอบในนาทีที่ 1 และ 2 การกลับคืนสู่ภาวะปกติของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีที่ 1 และ 2 (HRR1 และ HRR2) ความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (SBP) และการรับรู้ความเหนื่อย (RPE) วิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของการทดสอบด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในกลุ่ม (ICC) ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัด (SEMs) และค่าความแปรปรวน (CV)

ผลการศึกษา: ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเต้นของหัวใจมีความน่าเชื่อถือในระดับดีมาก (ICC = 0.90-0.98; SEMs = 1.14%-7.89%) เช่นเดียวกับความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (ICC = 0.90-0.91; SEMs = 2.87%-3.70%) และมีค่าความแปรปรวนมาตรฐานต่ำกว่า 15% ยกเว้นการกลับคืนสู่ภาวะปกติของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีที่ 1 (CV = 29.8%). ส่วนตัวแปรการรับรู้ความเหนื่อยมีความน่าเชื่อถือน้อยกว่าตัวแปรอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (ICC = 0.62-0.75; SEMs = 3.13%-7.42%; CV = 5.1%-14.8%) ดังนั้น อัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวจึงเป็นตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ

สรุปผลการศึกษา: การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบมีความน่าเชื่อถือสูงและอาจเป็นประโยชน์ในการประเมินความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตของผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดี

วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่ 2559; 49(3): 344-354. Doi: 10.14456/jams.2016.34

คำหัส: การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ การกลับคืนสู่ภาวะปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ การรับรู้ความเหนื่อย ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว

บทนำ

กิจกรรมทางกาย (physical activity) และความสามารถทางแอโรบิค (aerobic capacity) ที่ดีมีความสัมพันธ์กับการมีสุขภาพดีอย่างมาก เนื่องจากช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดที่จะตามมา[1,2] และยังช่วยลดอัตราการเสียชีวิตในผู้ป่วยโรคหัวใจได้[3] ความสามารถทางแอโรบิค (aerobic capacity หรือ cardiorespiratory fitness) เป็นสมรรถนะของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตในการทำกิจกรรมต่างๆ ของแต่ละบุคคล ประเมินได้จากปริมาณของออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายใช้ต่อนาที (maximal oxygen uptake, VO_2max) ซึ่งวัดได้โดยตรงจากการทดสอบมาตรฐาน (standard test)[4] เช่น เดินบนสายพานเลื่อน หรือ การปั่นจักรยานวัดงาน อย่างไรก็ตาม การทดสอบนี้ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาแพง ทดสอบในห้องปฏิบัติการ และ อาศัยความชำนาญในการทดสอบ[5,6] เพื่อลดข้อจำกัดในการประเมิน VO_2max จึงมีผู้พัฒนาวิธีการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดทางอ้อมในรูปแบบต่างๆ เช่น การปั่นจักรยาน 12-minute run/walk test หรือ การเดินขึ้นลงกล่อง (step box) โดยพยากรณ์ค่า VO_2max จากอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate, HR)[7-9] และการรับรู้ความเหนื่อย (rating of perceived exertion, RPE)[7,10,11] เป็นต้น แม้ว่าการทดสอบเหล่านี้จะมีความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือ (intra-class correlation coefficients, ICC) อยู่ในระดับดี ทั้งในกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดี[12,13] และกลุ่มนักกีฬา[14] แต่มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ใช้พื้นที่บริเวณกว้างในการทดสอบ ขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบไม่เหมาะสมกับผู้ที่มีสัดส่วนของร่างกายแตกต่างกัน และการทดสอบส่วนใหญ่เน้นการเคลื่อนไหวของขาเป็นหลัก

ความสามารถทางแอโรบิคยังสามารถประเมินได้จากการกลับคืนสู่ภาวะปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate recovery, HRR)[15-17] HRR มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่า VO_2max ในระดับสูง[18,19] โดยเฉพาะค่า HRR ในช่วง 1-2 นาทีแรกภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับความหนัก 86-94% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (maximal heart rate, HRmax) และ

สามารถสะท้อนถึงการทำงานของ vagal reactivation และ sympathetic withdrawal ได้ดี[20-22] HRR เป็นการประเมินที่ง่าย ใช้เพียงอุปกรณ์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ[9] มีค่าใช้จ่ายต่ำ สามารถประเมินคนกลุ่มใหญ่ได้ และพบว่าค่า HRR ที่ได้จากการทดสอบแบบภาคสนาม (field test) มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับดี (r=0.75) กับ HRR จากการทดสอบแบบ standard graded exercise test9 อย่างไรก็ตาม มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อ HRR เช่น อายุ เพศ เชื้อชาติ ชนิดและระดับความหนักของการออกกำลังกาย[19,21,23,24]

การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ (heart rate maximizer test) เป็นการทดสอบเพื่อคัดกรองความสามารถทางแอโรบิคก่อนการฝึกโปรแกรม Power 90 Extreme (P90X, the Beachbody Company) ซึ่งเป็นโปรแกรมออกกำลังกายหลากหลายรูปแบบร่วมกับการควบคุมทางโภชนาการในระยะเวลา 90 วัน ได้รับความนิยมอย่างมากผ่านทางสื่อออนไลน์ และได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 2002 โดย Horton[25,26] การทดสอบกระทำโดยกระโดดตบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 นาที และเร่งกระโดดตบให้เร็วที่สุดในช่วง 30 วินาทีสุดท้าย จากนั้นวัดอัตราการเต้นของหัวใจทันทีภายหลังกระโดดตบ และวัดทุกๆ 1 นาทีจนครบ 4 นาที หากสามารถทดสอบจนครบ 2 นาทีถือว่าผ่านการทดสอบและสามารถฝึกโปรแกรม P90x ได้[26] ความน่าสนใจของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบคือเป็นการออกกำลังกายทั้งแขนและขาที่ทำได้ง่าย ใช้เวลาสั้นๆ ในการทดสอบ โดยไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญและสามารถทดสอบพร้อมกันได้หลายคน อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับระดับความหนักของการทดสอบ เกณฑ์การประเมินผลที่ชัดเจน และรวมถึงความน่าเชื่อถือของวิธีการทดสอบมาก่อน นอกจากนี้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error of measurements, SEMs) และความแปรปรวน (coefficient of variation, CV) ของการวัดในแต่ละตัวแปรเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรใช้พิจารณาร่วมกับการศึกษาความน่าเชื่อถือของการทดสอบ สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีเพียงการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตระดับความหนักของการทดสอบ และระดับการใช้พลังงาน (energy expenditure) ต่อการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบในอาสาสมัครผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดี จำนวน 100 ราย[27] โดยมีการปรับเกณฑ์ในการทดสอบเพิ่มเติมจากการทดสอบเดิมของ Horton คือ กำหนดให้มีความหนักของการออกกำลังกายในระดับ submaximal exercise หรือที่อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะกระโดดตบที่มากกว่า 70%HR_{max} ผลการศึกษาพบว่าการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ มีระดับความหนักประมาณ 90%HR_{max} และมีความปลอดภัยในการทดสอบ ให้ผลการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว และการรับรู้ความเหนื่อยแบบเดียวกับผลการทดสอบ maximal exercise test บนสายพานเลื่อน[28] และปั่นจักรยานวัดงาน[29]

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความน่าเชื่อถือ ความคลาดเคลื่อน และความแปรปรวนของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบในกลุ่มอาสาสมัครผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดี ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นแนวทางพัฒนาการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบให้เป็นวิธีการใหม่ในการประเมินความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตสำหรับผู้ใหญ่ตอนต้นต่อไป

วัสดุและวิธีการศึกษา

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

อาสาสมัครเป็นผู้ใหญ่ตอนต้นทั้งเพศหญิงและเพศชาย อายุ 18-25 ปี ซึ่งเป็นกลุ่มช่วงอายุที่มีค่า VO_2max สูงที่สุด[30] มีความสมบูรณ์และความแข็งแรงทางด้านร่างกายสูง และมีความเสี่ยงต่อปัญหาทางด้านสุขภาพต่ำ การคำนวณกลุ่มตัวอย่างอ้างอิงจากการศึกษาของ Dai และคณะ[31] กำหนดให้มีช่วงความเชื่อมั่น 95% ของการทดสอบ (w) เท่ากับ 0.2 ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณ (type I error) ไม่เกิน 5% ใช้อำนาจการทดสอบ (power) เท่ากับ 0.80 ค่าประมาณของความน่าเชื่อถือของการทดสอบ (ρ) เท่ากับ 0.90 พบว่าต้องการอาสาสมัครทั้งหมดจำนวน 18 ราย และสำรองจำนวนอาสาสมัครที่อาจออกจากกลุ่มระหว่างการศึกษา (drop out) อีก 10% (n=2) ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีผู้เข้าร่วมการศึกษาทั้งสิ้นจำนวน 20 ราย

กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดได้จากการประชาสัมพันธ์ด้วยการปิดประกาศในเขตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เกณฑ์การคัดเข้า คือ เป็นผู้ที่มีสุขภาพดี สามารถสื่อสารเข้าใจ มีอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตขณะพักอยู่ในช่วงปกติ และผ่านตามเกณฑ์การคัดกรองอาสาสมัครเพื่อเข้าทดสอบการออกกำลังกายในระดับปานกลางถึงหนักอ้างอิงจาก The American College of Sports Medicine (ACSM)[32] เกณฑ์การคัดออก คือ เป็นผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง หรือ มีความผิดปกติทางระบบประสาทหรือ การทรงตัว มีการบาดเจ็บของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อที่ส่งผลต่อการกระโดดตบ หรือ เมื่ออาสาสมัครทำเครื่องหมายใดๆ ในการตอบแบบสอบถามคัดกรองความเสี่ยงก่อนออกกำลังกายโดยใช้เกณฑ์ของ AHA/ACSM Health/Fitness Facility Preparticipation Screening Questionnaire[33] ในหัวข้อ

“ท่านมีประวัติ” หรือ “อาการ” หรือ “ปัญหาสุขภาพด้านอื่นๆ” หรือทำเครื่องหมายใดๆ เท่ากับหรือมากกว่า 2 ข้อในหัวข้อ “ปัจจัยเสี่ยง” การศึกษานี้ผ่านการรับรองเชิงจริยธรรมการศึกษาวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (รหัสโครงการ AMSEC-59FB-001)

2. การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ (heart rate maximizer test)[27]

การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ อ้างอิงวิธีการทดสอบตามการศึกษาของ Boontha และคณะ[27] เริ่มต้นคือยืนตรงแขนวางข้างลำตัว จากนั้นให้อาสาสมัครกระโดดตบแขนเหยียดขึ้นสุดช่วงเหนือศีรษะพร้อมกับกางขาออก และกระโดดกลับมาในท่ายืนเริ่มต้น หุบแขนวางข้างลำตัว ทำสลับกันต่อเนื่องเป็นเวลา 2 นาที โดยอาสาสมัครต้องกระโดดตบให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ในช่วง 30 วินาทีสุดท้าย ทั้งนี้ กำหนดให้อาสาสมัครต้องมีอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะทดสอบ (peak heart rate, HR_{peak}) มากกว่า 70%HR_{max} และให้นั่งพักเป็นเวลา 10 นาทีภายหลังจากหยุดกระโดด อาสาสมัครสามารถหยุดการทดสอบได้เมื่อมีความประสงค์ หรือ เมื่อยล้ามากจนไม่สามารถทำการทดสอบต่อได้ มีอาการเจ็บหน้าอก (angina) ปวดศีรษะ คลื่นไส้ หอบเหนื่อย ใจสั่น สีผิวซีด หรือ อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าคงที่ในระหว่างกระโดดตบ[4]

3. ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

อาสาสมัครที่สนใจเข้าร่วมการศึกษาพบนักกายภาพบำบัดเพื่อประเมินปัญหาสุขภาพเบื้องต้นตามเกณฑ์การคัดเข้าและเกณฑ์การคัดออก และตอบแบบสอบถามคัดกรองความเสี่ยงก่อนออกกำลังกาย[33] อาสาสมัครที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์การศึกษาได้รับการชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย และลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมงานวิจัยเป็นลายลักษณ์อักษร จากนั้นอาสาสมัครได้รับการชี้แจงวิธีการปฏิบัติตัวก่อนเข้าทำการทดสอบ เช่น หลีกเลี่ยงการรับประทานอาหารหนัก การสูบบุหรี่ และการออกกำลังกายในระดับปานกลางถึงระดับหนักเป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ หลีกเลี่ยงการรับประทานยาทุกชนิด งดดื่มเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีนและเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมแอลกอฮอล์เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ พักผ่อนให้เพียงพอในวันก่อนการทดสอบ สวมเสื้อผ้าที่เหมาะสมกับการกระโดดตบและไม่ขัดขวางต่อการเคลื่อนไหว และสวมรองเท้าผ้าใบที่ใส่สบาย ในการทดสอบทั้ง 2 ครั้งอาสาสมัครจะต้องสวมใส่ชุดเดียวกันกับชุดที่ใส่ทดสอบในวันแรก ผู้วิจัยอธิบายถึงขั้นตอนการทดสอบและให้อาสาสมัครทำความคุ้นเคยกับวิธีการทดสอบ จากนั้นนัดวันทำการสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีระยะเวลาห่างกัน 7 วันและทำการทดสอบซ้ำในช่วงเวลาใกล้เคียงกันโดยมีผู้ประเมินเป็นบุคคลเดียวกันตลอดการศึกษา

ในการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง อาสาสมัครทุกรายได้รับการชั่งน้ำหนัก และวัดส่วนสูง จากนั้นยึดกล้ามเนื้อคอ ไหล่ หลัง และขา เป็นเวลา 10 นาที เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นภายหลังการกระโดดตบ ผู้วิจัยติดตั้งสายรัดตัวรับสัญญาณอัตราการเต้นของหัวใจ (Polar FT4®) ให้อาสาสมัครที่บริเวณ 1/3 ของกระดูกหน้าอกส่วนปลาย (1/3 distal of sternal bone) ปรับให้พอดีและยึดด้วยเทปกาวแต่งแผล (3M Nexcare™ transpore™ tape) เพื่อไม่ให้อุปกรณ์เคลื่อนขณะทดสอบ ให้อาสาสมัครนั่งพักเป็นเวลา 15 นาทีในห้องปฏิบัติการที่เงียบสงบและควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสพร้อมกับบันทึกค่าตัวแปรทั้งหมดในขณะพัก ได้แก่ HR, BP และค่า RPE จากนั้นให้อาสาสมัครทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบเป็นเวลา 2 นาที แล้วนั่งพักเป็นเวลา 10 นาที ผู้วิจัยบันทึกค่าตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาซ้ำ

4. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

<u>อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate, HR)</u>

การตรวจประเมิน HR ใช้นาฬิกาวัดชีพจร (Polar FT4®, Finland) มีหน่วยวัดเป็นครั้งต่อนาที (beats per minute, bpm) ประเมินขณะพัก ขณะกระโดดตบในวินาทีที่ 30, 60,90 และ 120 และหลังกระโดดตบทุกๆ หนึ่งนาทีเป็นเวลา 10 นาที ตัวแปรหลักสำหรับหาค่าความน่าเชื่อถือของการทดสอบได้แก่ ค่าเฉลี่ย HR ขณะพัก (Average HR_{rest}), อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะทดสอบ (peak heart rate, HR_{peak}), HR ภายหลังหยุดกระโดดตบในนาทีที่ 1 และ 2 (HRr_{1min} และ HRr_{2min} ตามลำดับ) และ HRR ในนาทีที่ 1 และ 2 (HRR1 และ HRR2) โดยคำนวณ HRR จากสมการ HRR1 = HR_{peak}-HRr_{1min} และ HRR2 = HR_{peak} - HRr_{2min}[15, 20, 34] สำหรับค่า HR_{max} คำนวณจากสมการ HR_{max} = (220-อายุ)[35] และ %HR_{max} คำนวณจากสมการ %HR_{max} = 100 x (HR_{peak} x HR_{max}^{-1})

<u>การรับรู้ความเหนื่อย (rating of perceived exertion scale, RPE)</u>

ตรวจประเมิน RPE โดยใช้ตารางแสดงค่า RPE (Borg’s 6-20 scale)[36] ให้อาสาสมัครรายงานคะแนน RPE ที่ให้ความหมายใกล้เคียงกับความรู้สึกในขณะนั้นมากที่สุด โดยประเมินในขณะพัก ขณะกระโดดตบในวินาทีที่ 30, 60,90 และ 120 และหลังกระโดดตบในนาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 10 ตามลำดับจากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย RPE ขณะพัก (Average RPE_{rest}) และค่า RPE สูงสุด (RPE_{peak})

ความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว (systolic blood pressure, SBP)

ตรวจความดันโลหิตโดยใช้เครื่องวัดความดันอัตโนมัติ (Automatic Blood Pressure Monitor model HEM-7203, OMRON®, Japan) มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรปรอท (millimeter of mercury, mmHg) ตัวแปรสำหรับหาค่าความน่าเชื่อถือของการทดสอบได้แก่ ความดันโลหิตขณะนั่งพัก (Average SBPrest) และหลังกระโดดตบในนาทีที่ 1 ($SBPr_{1min}$)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้สถิติเชิงพรรณนารายงานข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร โดยแสดงค่าเป็นค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) ทดสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติ Kolmogorov Smirnov และใช้สถิติ Paired samples t- test เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก และร้อยละของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดของการทดสอบระหว่างการทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 จากนั้นใช้สถิติ Intraclass correlation coefficient model 3,1 ($ICC_{3,1}$) ประเมินค่าความน่าเชื่อถือของการวัดซ้ำ (test-retest reliability) โดยค่าตัวแปรหลักได้แก่ Average HR_{rest}, HR_{peak}, HRr_{1min}, HRr_{2min}, HRR1 และ HRR2 และค่าตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ RPE และ SBP ที่เป็นผลจากการกระโดดตบ โดยกำหนดให้ค่า ICC ที่น้อยกว่า 0.4 มีความน่าเชื่อถือในระดับต่ำค่า ICC ระหว่าง 0.4-0.75 มีความน่าเชื่อถือในระดับปานกลาง ค่า ICC ที่มากกว่า 0.75 ถือว่ามีความน่าเชื่อถือในระดับดี และค่า ICC ที่มากกว่า 0.90 ถือว่ามีความน่าเชื่อถือในระดับดีมากที่เป็นที่ยอมรับสำหรับการทดสอบทางคลินิก[37] ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัด (standard error of measurements, SEMs) คำนวณจากสมการ $SEMs = S \times \sqrt{1 - ICC}$ โดย S คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั้งหมด และ ICC คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในกลุ่ม กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และ คำนวณค่าความแปรปรวน (coefficient of variation, CV) จากสมการ $CV\ (\%) = 100 \times (SD \times mean^{-1})$ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรม SPSS version 17.0 สำหรับ Windows

ผลการศึกษา

การศึกษาความน่าเชื่อถือของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบในอาสาสมัครสุขภาพดี ผลการศึกษาเป็นดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัคร

อาสาสมัครจำนวน 20 ราย เป็นเพศชาย 11 ราย และเพศหญิง 9 ราย อายุเฉลี่ย 21.20±0.95 ปี ระหว่างการทดสอบครั้งที่ 1 และ ครั้งที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และร้อยละของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดของการทดสอบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และตลอดการทดสอบไม่พบอาการหรืออาการแสดงที่ผิดปกติของอาสาสมัคร นอกจากอาการเหนื่อยและล้าที่กล้ามเนื้อน่อง (Table 1)

Table 1 Characteristics of subjects. Values are presented as means±SD.

	All participants (n=20)
Age (years)	21.20±0.95
Height (cm.)	164.85±10.16
Weight (kg.)	60.33±13.53
BMI ($kg.m^{-2}$)	21.98±3.25
Average HR_{rest} Trials 1 (bpm)	76.25±9.12
Average HR_{rest} Trials 2 (bpm)	76.65±9.49
$\%HR_{max}$ Trials 1	89.21±4.43
$\%HR_{max}$ Trials 2	89.21±3.78
Abnormal signs or symptoms	no

Note: *bpm: beats per minute; cm: centimeter; kg: kilogram; $kg.m^{-2}$: kilogram per square meter; BMI: body mass index; HR_{max}: maximal heart rate; HR_{rest}: resting heart rate*

2. ความน่าเชื่อถือของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ

ตัวแปร HR และ SBP ที่ได้จากการวัดซ้ำของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบมีค่า ICC อยู่ระหว่าง 0.90-0.98 ในขณะที่ตัวแปร RPE มีค่า ICC อยู่ระหว่าง 0.62–0.75 ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัด (SEMs) พบว่า ตัวแปร HR มีค่า SEMs อยู่ระหว่าง 1.89–3.35 ครั้งต่อนาที ตัวแปร RPE มีค่าอยู่ระหว่าง 0.19–1.20 และตัวแปร SBP มีค่าอยู่ระหว่าง 3.23–5.53 มิลลิเมตรปรอท สำหรับค่าความแปรปรวนของการวัด (CV) พบว่า ตัวแปร HR, RPE และ SBP มีค่า CV อยู่ระหว่าง 4.6–29.8%, 5.1–14.8% และ 9.1–12.3% ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Intra-class correlation coefficients (ICC), 95% confidence interval (95% CI), standard error of measurements (SEMs) and coefficient of variation (CV) of all measurements (n=20).

Measurements	Mean±SD		ICC	95% CI	SEMs	CV (%)
	Trial 1	Trial 2				
Primary outcomes						
HR (bpm)						
Average HR_{rest}	76.25±9.12	76.65±9.49	0.98	(0.94-0.99)	1.89 (2.67%)	10.9
HR_{peak}	177.35±8.85	177.35±7.60	0.94	(0.84-0.97)	2.01 (1.14%)	4.6
HRr_{1min}	135.50±11.57	134.35±11.76	0.96	(0.89-0.98)	2.33 (1.73%)	8.6
HRr_{2min}	115.75±11.73	116.35±11.43	0.93	(0.84-0.97)	3.06 (2.64%)	10.0
HRR1	41.85±12.70	43.00±12.60	0.93	(0.82-0.97)	3.35 (7.89%)	29.8
HRR2	61.60±13.20	61.00±13.08	0.90	(0.77-0.96)	2.40 (4.03%)	12.8
Secondary outcomes						
RPE						
Average RPE_{rest}	6.10±0.31	6.10±0.31	0.62	(0.28-0.85)	0.19 (3.13%)	5.1
RPE_{peak}	16.75±2.00	15.65±2.81	0.75	(0.48-0.90)	1.20 (7.42%)	14.8
SBP (mmHg)						
Average SBP_{rest}	112.70±9.40	112.43±11.01	0.90	(0.75-0.96)	3.23 (2.87%)	9.1
$SBPr_{1min}$	150.15±19.72	149.25±17.17	0.91	(0.78-0.96)	5.53 (3.70%)	12.3

Note: *bpm: beats per minute; min: minute; mmHg: millimeter mercury; HR: heart rate; HR_{rest}: resting heart rate; HR_{peak}: peak heart rate; HRr_{1min}: heart rate during recovery period at 1st minute; HRr_{2min}: heart rate during recovery period at 2nd minute; HRR1: heart rate recovery at 1st minute; HRR2: heart rate recovery at 2nd minute; RPE: rating of perceived exertion; RPE_{rest}: resting rating of perceived exertion; RPE_{peak}: peak rating of perceived exertion; SBP: systolic blood pressure; SBP_{rest}: resting systolic blood pressure; $SBPr_{1min}$: systolic blood pressure during recovery period at 1st minute; SD: standard deviation.*

วิจารณ์ผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นรายงานแรกที่ศึกษาความน่าเชื่อถือในการวัดซ้ำของวิธีการทดสอบที่พัฒนามาจากการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ[27] ในกลุ่มอาสาสมัครผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดี โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ($ICC_{3,1}$) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัด (SEMs) และค่าความแปรปรวน (CV) ในการประเมินการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ พบว่า ค่าตัวแปรต่างๆ ของ HR เช่น Average HR_{rest}, HR_{peak}, $HRr_{1\ min}$, $HRr_{2\ min}$, HRR1 และ HRR2 รวมทั้ง SBP มีความน่าเชื่อถือในระดับดีมาก (ค่า ICC $\geq$0.90) โดยมีค่า SEMs และค่า CV ที่ต่ำ ผลการศึกษาที่ได้แสดงให้เห็นว่าการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบเป็นการทดสอบด้วยการออกกำลังกายที่ระดับความหนัก 90%HR_{max} มีความน่าเชื่อถือในการวัดซ้ำอยู่ในระดับดีมากและยอมรับได้ในทางคลินิก[37] สอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้[20,38,39] ที่พบว่าเมื่อทดสอบด้วย standard graded exercise test ค่า HR_{rest}, HR_{peak} และ $HRr_{1\ min}$ มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีถึงดีมาก (ICC =0.85-0.96) ทั้งนี้เนื่องจากมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่อาจส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ เช่น อุณหภูมิห้อง เสียงรบกวน และแสง รวมถึงควบคุมวิธีการทดสอบให้มีผู้ประเมินและดำเนินการทดสอบเป็นคนเดียวกัน นอกจากนี้ ยังพบว่าการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบเป็นการทดสอบที่มีความเหมาะสมและปลอดภัยสำหรับผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดี เนื่องจากตลอดระยะเวลาของการทดสอบและระยะพักฟื้นไม่พบว่ามีอาสาสมัครคนใดที่มีอาการผิดปกติเกิดขึ้น

ค่า HRR เป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตผู้ที่มีค่า HRR ต่ำกว่า cut off point มีความเสี่ยงสูงต่อการเสียชีวิต (relative risk of death) ประมาณ 2 เท่าของผู้ที่มีค่า HRR สูงกว่า cutoff point ซึ่งค่า HRR ในนาทีที่ 1 และนาทีที่ 2 มี cutoff point อยู่ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ครั้งต่อนาที[40] และ 42 ครั้งต่อนาที[16] ตามลำดับ จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเมื่อทดสอบ standard graded exercise test ที่ระดับมากกว่าหรือเท่ากับ 85%HR_{max} ในกลุ่มอาสาสมัครผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดี HRR1 มีค่าอยู่ระหว่าง 32-45 ครั้งต่อนาที[18, 38, 41] และมีค่าเฉลี่ย HRR2 ประมาณ 68 ครั้งต่อนาที38 โดยมี ICC (SEMs) คิดเป็น 0.43 (7.92) และ 0.6 (8.01) ตามลำดับ[38] ค่า HRR ที่ได้จากการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาข้างต้น และยังมีค่า ICC (SEMs) ของ HRR1 (0.93 (3.35)) และ HRR2 (0.90 (2.40)) ที่ดีกว่าการศึกษาที่ผ่านมา จึงอาจสรุปได้ว่าตัวแปร HRR ที่ได้จากการวัดซ้ำของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบมีความน่าเชื่อถือในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตอยู่ในระดับดีมาก อย่างไรก็ตาม ตัวแปร HRR ซึ่งได้จากการคำนวณมีค่า ICC ต่ำกว่าตัวแปร HR ที่วัดได้โดยตรงในช่วง 1-2 นาทีแรกของระยะพักฟื้น (Table 2) สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้[38] ทั้งนี้ อาจเนื่องจากเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนักของการออกกำลังกายอย่างกะทันหัน ส่งผลให้ระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system) ต้องปรับลดการทำงานของหัวใจอย่างมากในช่วงต้นของระยะพักฟื้น โดยเพิ่มการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติชนิดพาราซิมพาเทติกและลดการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติชนิดซิมพาเทติกลง[20, 42] เพื่อให้หัวใจทำงานเหมาะสมกับระดับความหนักของงานในขณะนั้น นอกจากนี้ อาจมีปัจจัยอื่นๆ เกี่ยวข้องที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นหัวใจขณะทำการวัด ได้แก่ จังหวะการกระโดดตบเตรียมตัวในช่วงต้นและจังหวะเร่งในช่วง 30 วินาทีสุดท้ายของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่ทำได้ในแต่ละครั้ง สิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกับความรู้สึกและอารมณ์ในช่วงประเมินขณะพักฟื้น ระบบย่อยอาหารภายในร่างกาย หากสามารถควบคุมปัจจัยดังกล่าวอาจช่วยลดความแปรปรวนของอัตราการเต้นของหัวใจที่วัดได้[38]

ค่า SBP เป็นตัวแปรสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตทั้งในกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดีและกลุ่มผู้ป่วยโรคหัวใจและหลอดเลือด[43] การศึกษานี้พบว่า การวัดซ้ำของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบส่งผลให้ SBP มีค่า ICC อยู่ในระดับสูงมากทั้งค่า SBP_{rest} และ SBP ในนาทีที่ 1 ภายหลังการทดสอบ ($SBPr_{1\ min}$) และมีค่า SEMs ที่ต่ำกว่า 5% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับยอมรับได้ในทางคลินิก การศึกษานี้มีค่า ICC สูงกว่าการศึกษาของ Lim และคณะ[44] ที่พบว่า SBP สูงสุดขณะออกกำลังกายระดับ submaximal มีค่า ICC (SEMs) ที่ 0.70 (9.39) ค่า ICC และ SEMs ที่แตกต่างกันอาจเป็นผลมาจากวิธีการทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประเมินความดันโลหิตและระดับความหนักในการออกกำลังกายที่แตกต่างกันได้

เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวน (CV) ของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบในแต่ละตัวแปร พบว่า HR ในการศึกษานี้ (CV: 4.6-29.8%) สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา[41] ซึ่งพบว่าเมื่อทดสอบอาสาสมัครผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดีด้วย standard graded exercise test ค่า HR_{peak} มีค่า CV ระหว่าง 1.5–4.7%18, 38 และ HRR1 มีค่า CV ระหว่าง 9-26 %17, 18, 41 ส่วน RPE พบว่า เมื่อทำการวัดซ้ำการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบมีค่า ICC อยู่ในระดับปานกลาง และค่า CV ระหว่าง 5.1–14.8%

เป็นช่วงที่กว้างกว่าการศึกษาก่อนหน้านี้ (6.1–9.3%)[18] อาจเป็นเพราะ RPE เป็นการประเมินระดับความเหนื่อยจากความรู้สึกของแต่ละบุคคล จึงมีความแปรปรวนได้มาก ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับสูงในการประเมินความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิต โดยมีตัวแปรที่เหมาะสมในการประเมินคือ HR และ SBP

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดคือ ขาดการควบคุมระดับกิจกรรมทางกายในระหว่างการทดสอบซึ่งมีระยะเวลาห่างกัน 7 วัน กิจกรรมทางกายที่แตกต่างกันในแต่ละวันอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตได้ นอกจากนี้ ยังมีความจำกัดในการอนุมานผลการศึกษาเพื่อไปใช้จริงสำหรับการทดสอบภาคสนามและในกลุ่มประชากรอื่นๆ เนื่องจากขาดการศึกษาความเที่ยงตรงในการประเมินความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตกับวิธีการทดสอบมาตรฐาน ดังนั้น ในการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรกำหนดระดับกิจกรรมทางกายของผู้เข้าร่วมการทดสอบให้อยู่ในระดับเดียวกันตลอดช่วงของการเก็บข้อมูล และควรทดสอบซ้ำในภาคสนามและในกลุ่มประชากรที่แตกต่างกันเพื่อยืนยันผลการศึกษา รวมถึงศึกษาความเที่ยงตรงของการทดสอบนี้โดยเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน ข้อมูลเหล่านี้จะช่วยทำให้เกิดความเข้าใจถึงประโยชน์ ข้อจำกัดและความเหมาะสมของการทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบในการประเมินความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตได้มากขึ้น

สรุปผลการศึกษา

การทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดด้วยการกระโดดตบ เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนโลหิตที่มีความน่าเชื่อถือสูงในการวัดซ้ำ โดยทำให้เกิดการตอบสนองของอัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวของผู้ใหญ่ตอนต้นที่มีสุขภาพดีในการทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ซึ่งมีระยะเวลาห่างกัน 7 วัน มีค่าไม่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชากายภาพบำบัด คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่สำหรับทำการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณอาสาสมัครทุกท่านที่สละเวลาเข้าร่วมการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Myers J, McAuley P, Lavie CJ, Despres J-P, Arena R, Kokkinos P. Physical activity and cardiorespiratory fitness as major markers of cardiovascular risk: their independent and interwoven importance to health status. Prog Cardiovasc Dis 2015; 57(4): 306-14. doi: 10.1016/j.pcad.2014.09.011
2. Barry VW, Baruth M, Beets MW, Durstine JL, Liu J, Blair SN. Fitness vs. fatness on all-cause mortality: a meta-analysis. Prog Cardiovasc Dis 2014; 56(4): 382-90. doi: 10.1016/j.pcad.2013.09.002
3. Martin B-J, Arena R, Haykowsky M, Hauer T, Austford LD, Knudtson M, et al. Cardiovascular fitness and mortality after contemporary cardiac rehabilitation. Mayo Clin Proc 2013; 88(5): 455-63. doi: 10.1016/j.mayocp.2013.02.013
4. 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.
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. doi: 10.1161/circulationaha.105.166543
6. Bronner S, Rakov S. An accelerated step test to assess dancer pre-season aerobic fitness. J Dance Med Sci 2014; 18(1): 12-21. doi: 10.12678/1089-313X.18.1.12
7. 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. doi: 10.1007/s00421-009-1093-7
8. Fairbarn 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. doi: 10.1378/chest.105.5.1365
9. Coolbaugh CL, Anderson IB, Wilson MD, Hawkins DA, Amsterdam EA. Evaluation of an exercise field test using heart rate monitors to assess cardiorespiratory fitness and heart rate recovery in an asymptomatic population. PLoS ONE 2014; 9(5): e97704. doi: 10.1371/journal.pone.0097704
10. Eston RG. Perceived exertion: Recent advances and novel applications in children and adults. J Exerc Sci Fit. 2009; 7(2, Supplement): S11-S7. doi: 10.1016/S1728-869X(09)60018-6
11. 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. doi: 10.1007/s40279-013-0139-5
12. Arcuri JF, Borghi-Silva A, Labadessa IG, Sentanin AC, Candolo C, Di Lorenzo VAP. Validity and reliability of the 6-minute step test in healthy individuals: a cross-sectional study. Clin J Sport Med 2016; 26(1): 69-75. doi: 10.1097/JSM.0000000000000190
13. Laskin JJ, Bundy S, Marron H, Moore H, Swanson M, Blair M, et al. Using a treadmill for the 6-minute walk test: reliability and validity. J Cardiopulm Rehabil Prev 2007; 27(6): 407-10. doi: 10.1097/01.HCR.0000300270.45881.d0
14. Lemmink KAPM, Visscher C, Lambert MI, Lamberts RP. The interval shuttle run test for intermittent sport players: evaluation of reliability. J Strength Cond Res 2004; 18(4): 821-7. doi: 10.1519/13993.1
15. 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. doi: 10.1056/NEJM199910283411804

16. Cole CR, Foody JM, Blackstone EH, Lauer MS. Heart rate recovery after submaximal exercise testing as a predictor of mortality in a cardiovascularly healthy cohort. Ann Intern Med 2000; 132(7): 552-5. doi: 10.7326/0003-4819-132-7-200004040-00007

17. 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. doi: 10.1016/j.jacc.2008.01.038.

18. 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. doi: 10.1007/s00421-014-2907-9

19. Cataldo A, Cerasola D, Zangla D, Russo G, Sahin FN, Traina M. Assessment of autonomic function as marker of training status: the role of heart rate recovery after exercise. Eur J Sport Sci 2014; 2(1): 89-97. doi: 10.12863/ejssbx2x1-2014x3

20. 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. doi: 10.1016/S0735-1097(01)01652-7

21. Peçanha T, Silva-Júnior ND, Forjaz CLdM. Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases. Clin Physiol Funct Imaging 2014; 34(5): 327-39. doi: 10.1111/cpf.12102

22. Lamberts RP, Maskell S, Borresen J, Lambert MI. Adapting workload improves the measurement of heart rate recovery. Int J Sports Med 2011; 32(09): 698-702. doi: 10.1055/s-0031-1275357

23. Itoh H, Ajisaka R, Koike A, Makita S, Omiya K, Kato Y, et al. Heart rate and blood pressure response to ramp exercise and exercise capacity in relation to age, gender, and mode of exercise in a healthy population. J Cardiol 2013; 61(1): 71-8. doi: 10.1016/j.jjcc.2012.09.010

24. Maeder M, Ammann P, Rickli H, Brunner-La Rocca H. Impact of the exercise mode on heart rate recovery after maximal exercise. Eur J Appl Physiol 2009; 105(2): 247-55. doi: 10.1007/s00421-008-0896-2

25. Wikipedia tfe. P90x: Wikipedia, The Free Encyclopedia; 2016 [updated 2016 May 28; cited 2016 June 14]. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/P90X.

26. Team Beachbody. The fit test (Excerpted from the P90X fitness guide) [cited 2016 June 14]. Available from: https://www.beachbody.com/text/products/programs/p90x/p90xFitTest.pdf.

27. 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(2): 263-75. doi:

28. 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

29. Wheatley CM, Snyder EM, Johnson BD, Olson TP. Sex differences in cardiovascular function during submaximal exercise in humans. SpringerPlus 2014; 3(1): 445. doi: 10.1186/2193-1801-3-445

30. Loe H, Rognmo Ø, Saltin B, Wisløff U. Aerobic capacity reference data in 3816 healthy men and women 20–90 years. PLoS ONE 2013; 8(5): e64319. doi: 10.1371/journal.pone.0064319

31. Dai H, Charnigo R, Vyhlidal CA, Jones BL, Bhandary M. Mixed modeling and sample size calculations for identifying housekeeping genes. Stat Med 2013; 32(18): 3115-25. doi: 10.1002/sim.5768

32. Riebe D, Franklin BA, Thompson PD, Garber CE, Whitfield GP, Magal M, et al. Updating ACSM's recommendations for exercise preparticipation health screening. Med Sci Sports Exerc 2015; 47(11): 2473-9. doi: 10.1249/

MSS.0000000000000664

33. Thompson PD, Arena R, Riebe D, Pescatello LS. ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Curr Sports Med Rep 2013; 12(4): 215-7. doi: 00149619-201307000-00004
34. Huang PH, Leu HB, Chen JW, Lin SJ. Heart rate recovery after exercise and endothelial function—two important factors to predict cardiovascular events. Prev cardiol 2005; 8(3): 167-72. doi: 10.1111/j.1520-037X.2005.3847.x
35. Robergs RA, Landwehr R. The surprising history of the "HRmax= 220-age" equation. J Exerc Physiol 2002; 5(2): 1-10. doi:
36. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc 1982; 14(5): 377-81. doi:
37. Portney LG, Watkins MP. Foundations of clinical research: applications to practice. New Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River; 2000.
38. Bosquet L, Gamelin F, Berthoin S. Reliability of postexercise heart rate recovery. Int J Sports Med 2008; 29(3): 238-43. doi: 10.1055/s-2007-965162
39. Dupuy O, Mekary S, Berryman N, Bherer L, Audiffren M, Bosquet L. Reliability of heart rate measures used to assess post-exercise parasympathetic reactivation. Clin Physiol Funct Imaging 2012; 32(4): 296-304. doi: 10.1111/j.1475-097X.2012.01125.x
40. Jouven X, Empana J-P, Schwartz PJ, Desnos M, Courbon D, Ducimetière P. Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. N Engl J Med 2005; 352(19): 1951-8. doi: 10.1056/NEJMoa043012
41. Al Haddad H, Laursen P, Chollet D, Ahmaidi S, Buchheit M. Reliability of resting and postexercise heart rate measures. Int J Sports Med 2011; 32(8): 598-605. doi: 10.1055/s-0031-1275356
42. 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. doi:
43. Laukkanen JA, Kurl S. Blood pressure responses during exercise testing—is up best for prognosis? Ann Med 2012; 44(3): 218-24. doi: 10.3109/07853890.2011.560180
44. Lim W, Faulkner J, Lambrick D, Stoner L. Reliability of oscillometric central blood pressure responses to submaximal exercise. J Hypertens 2016; 34(6): 1084-90. doi: 10.1097/HJH.0000000000000899