การประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนของพนักงานดับเพลิง
Aerobic Capacity Assessment in Firefighters

นรมน เอี่ยมอารีรัตน์
Naramon Iamareerat
นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การวิจัยและการจัดการด้านสุขภาพ) คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
Student in Master of Science Program (Health Research and Management), Faculty of Medicine,
Chulalongkorn University, Bangkok
Corresponding Author: iam.naramon@gmail.com

บทคัดย่อ

การเสียชีวิตจากภาวะหัวใจหยุดเต้นเฉียบพลันเป็นสาเหตุที่สำคัญของการเสียชีวิตขณะปฏิบัติงานของพนักงานดับเพลิง การตรวจสุขภาพก่อนเข้าทำงานและตรวจประจำปีของพนักงานดับเพลิงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของความสามารถในการใช้ออกซิเจนมีความสำคัญในการลดความเสี่ยงดังกล่าว แต่ในประเทศไทยยังมีการปฏิบัติไม่แพร่หลายนัก บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนของพนักงานดับเพลิง จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนของพนักงานดับเพลิงหลายวิธี โดยมีทั้งการวัดแบบทางตรงและทางอ้อม ทั้งขณะออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุดและระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด เมื่อพิจารณาถึงข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธี ผู้เขียนมีความเห็นว่าหน่วยงานควรจัดให้มีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดโดยใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการ เช่น การวิ่งบนสายพาน เนื่องจากเป็นวิธีที่แนะนำตามมาตรฐานสากล ส่วนในหน่วยงานที่มีข้อจำกัดอาจประเมินความเสี่ยงโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดรายบุคคลก่อน แล้วจึงส่งเพิ่มเติมตามลำดับความสำคัญ โดยอย่างน้อยที่สุดพนักงานดับเพลิงทุกคนควรได้รับการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนโดยการวิ่งทดสอบภาคสนามหรือการก้าวขึ้น-ลงจากกล่อง เนื่องจากสะดวกในการดำเนินการและมีค่าใช้จ่ายไม่สูง

คำสำคัญ: ความสามารถในการใช้ออกซิเจน ความแข็งแรงของระบบหายใจและระบบไหลเวียนเลือด พนักงานดับเพลิง การทดสอบก้าวขึ้น-ลงกล่อง การทดสอบภาคสนาม

Abstract

Sudden cardiac death is a major cause of death among on-duty firefighters. Pre-employment and annual medical examinations, especially regarding aerobic capacity, are important in reducing this risk. However, in Thailand, these practices are not widely implemented due to various limitations. The purpose of this article is to review research related to aerobic capacity assessment in firefighters. Based on studies, the aerobic capacity assessments in

Received: March 22, 2022; Revised: April 17, 2023; Accepted: April 18, 2023

firefighters include direct and indirect methods using maximal and submaximal exercise tests. The author suggests that a laboratory submaximal exercise test, such as a treadmill stress test, is the most effective method, as recommended by international standard. However, organizations with limited resources may conduct a cardiovascular risk assessment for each firefighter and prioritize the laboratory test based on the risk. For organizations with minimal resources, the author suggests a run test or a step test as an alternative, as these tests are convenient and can be conducted with minimal resources.

Keywords: aerobic capacity, cardiorespiratory fitness, firefighter, step test, field test

บทนำ

งานดับเพลิงเป็นงานที่อันตราย มีการสัมผัสสิ่งคุกคามสุขภาพมากมายและมีความเครียดสูงทั้งทางร่างกายและจิตใจ จึงอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพได้ทั้งในระยะเฉียบพลันและระยะเรื้อรัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตจากระบบหัวใจและหลอดเลือด จากสถิติของ National Fire Protection Association (NFPA) พบว่า การเสียชีวิตจากภาวะหัวใจหยุดเต้นเฉียบพลันเป็นสาเหตุที่สำคัญของการเสียชีวิตขณะปฏิบัติงานของพนักงานดับเพลิง โดยเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตอันดับหนึ่งมาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มมีการเก็บข้อมูลในปี ค.ศ. 1977 คิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 43 ของการเสียชีวิตขณะปฏิบัติงานของพนักงานดับเพลิงทั้งหมดในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา[1]

ในด้านการแพทย์นั้น ทาง NFPA ได้กำหนดมาตรฐาน NFPA 1582, Standard on Comprehensive Occupational Medical Program for Fire Departments เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินภาวะสุขภาพของพนักงานดับเพลิง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดผลกระทบทางสุขภาพจากการปฏิบัติหน้าที่ของพนักงานดับเพลิง และเพื่อส่งเสริมสุขภาวะที่ดีซึ่งจะนำไปสู่ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของพนักงานดับเพลิงและความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน มาตรฐาน NFPA 1582 นี้มีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Aerobic capacity) ในพนักงานดับเพลิง โดยกำหนดว่า ในการตรวจสุขภาพก่อนเข้าทำงาน ผู้สมัครเป็นพนักงานดับเพลิงจะต้องมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนอย่างน้อย 12 metabolic equivalents (METs) ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกาย (VO_2 max) 42 mL O_2/kg/min ส่วนในการตรวจสุขภาพประจำปีพนักงานดับเพลิงควรมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนอย่างน้อย 12 METs หากต่ำกว่าที่กำหนดพนักงานดับเพลิงควรฝึกฝนเพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้ออกซิเจนของตนเองหรือฝึกฝนตามโปรแกรมที่กำหนดโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ ในกรณีที่ความสามารถในการใช้ออกซิเจนต่ำกว่า 8 METs พนักงานดับเพลิงควรถูกจำกัดไม่ให้ปฏิบัติหน้าที่บางประการ เช่น การควบคุมสายฉีดน้ำดับเพลิง การค้นหา และการช่วยเหลือผู้ประสบภัยในขณะที่ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศติดตัว (Self-Contained Breathing Apparatus: SCBA) เนื่องจากอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของตนเองหรือมีความเสี่ยงที่จะไม่สามารถปฏิบัติหน้าที่ให้สำเร็จลุล่วงได้[2]

สำหรับในประเทศไทย การประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนของพนักงานดับเพลิงยังมีการปฏิบัติมีแนวทางปฏิบัติที่ไม่ชัดเจน นอกจากนี้สถานพยาบาลที่มีความพร้อมด้านบุคลากรและเครื่องมือในการประเมินความสามารถ

ในการใช้ออกซิเจนยังมีจำกัดและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนในพนักงานดับเพลิง โดยการสืบค้นงานวิจัยจากฐานข้อมูลของ PubMed ใช้คำสำคัญในการสืบค้นว่า ("Aerobic capacity" OR "Cardiorespiratory fitness" OR "VO_2 max") AND "Firefighter" เกณฑ์การคัดเข้าของบทความ คือ ต้องเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนของพนักงานดับเพลิงที่ได้รับการตีพิมพ์ในช่วงปี ค.ศ. 2010 - 2022 ประเมินความเกี่ยวข้องจากการอ่านชื่อเรื่อง เกณฑ์การคัดออกของบทความ คือ บทความที่ไม่ใช่ภาษาอังกฤษ บทความที่ไม่เกี่ยวข้องกับการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนจากการอ่านบทคัดย่อ และบทความที่ไม่สามารถเข้าถึงบทความฉบับสมบูรณ์ได้ ข้อมูลที่สนใจ ได้แก่ วิธีประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจน และการนำไปใช้ประโยชน์ จากนั้นนำมาสรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนแต่ละวิธี โดยการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนของพนักงานดับเพลิง เพื่อนำไปสู่ข้อเสนอแนะในการประเมินภาวะสุขภาพของพนักงานดับเพลิงในประเทศไทยต่อไป

กลไกการเกิดโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดในพนักงานดับเพลิง

พนักงานดับเพลิงเป็นอาชีพที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดสูง โดยมีปัจจัยเสี่ยงทั้งจากพฤติกรรมสุขภาพและลักษณะงาน รวมไปถึงฝุ่นและควันพิษต่างๆ ปัจจัยเสี่ยงเหล่านี้สามารถแบ่งหลักๆ ได้เป็นปัจจัยเสี่ยงชนิดเรื้อรังและปัจจัยเสี่ยงชนิดเฉียบพลัน

ปัจจัยเสี่ยงเรื้อรัง เช่น การขาดกิจกรรมทางกายอันเนื่องมาจากชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน ชั่วโมงการทำงานกว่าร้อยละ 90 ของพนักงานดับเพลิงเป็นงานลักษณะพฤติกรรมเนือยนิ่ง (Sedentary lifestyle) ซึ่งในบางหน่วยงานอาจไม่ได้มีการกำหนดให้พนักงานดับเพลิงต้องฝึกซ้อมร่างกายอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ในบางคนยังมีการทำงานล่วงเวลาหรือมีอาชีพเสริมซึ่งทำให้มีเวลาส่วนตัวในการออกกำลังกายลดลง ในส่วนของการรับประทานอาหาร พนักงานดับเพลิงมักรับประทานอาหารประเภทจานด่วนและรับประทานอาหารไม่เป็นเวลา เนื่องจากลักษณะงานที่ต้องตอบสนองต่อภาวะฉุกเฉินซึ่งไม่สามารถคาดเดาได้ สำหรับการพักผ่อนนั้น พนักงานดับเพลิงมีการทำงานเป็นกะซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการนอนหลับและทำให้พักผ่อนไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังมีการสัมผัสกับฝุ่นและควันพิษต่างๆ และมีความเครียดจากงานที่มีความกดดันสูงแต่ไม่สามารถควบคุมหรือตัดสินใจได้

สำหรับปัจจัยเสี่ยงเฉียบพลัน ขณะปฏิบัติงานดับเพลิงนั้นพนักงานดับเพลิงต้องใช้แรงกายมากโดยไม่มีโอกาสได้เตรียมพร้อมร่างกายก่อน ภายใต้ความเครียดที่เกิดขึ้นทั้งจากการได้ยินเสียงสัญญาณเตือนภัย เสียงผู้คน และเสียงอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงความเครียดจากงานที่มีความกดดันสูง ส่งผลให้ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nervous system) ถูกกระตุ้น นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของความดันโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจ ประกอบกับสภาพแวดล้อมที่ร้อนจัด และการสวมใส่อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคลซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการระบายความร้อน อีกทั้งยังหนักมาก ส่งผลให้ต้องใช้แรงมากขึ้น นำไปสู่การสูญเสียเหงื่อและภาวะขาดน้ำ[3] เมื่อมีปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ร่วมกันส่งผลให้ระบบหัวใจและหลอดเลือดต้องทำงานหนักขึ้นในขณะปฏิบัติงานดับเพลิงและอาจเกิดการเจ็บป่วยเฉียบพลันหรือเสียชีวิตจากโรคระบบหัวใจและ

หลอดเลือดได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ที่มีโรคประจำตัวหรือมีปัจจัยเสี่ยงโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดอยู่เดิม ตามมาตรฐาน NFPA 1582 จึงแนะนำให้ตรวจประเมินความเสี่ยงของการเกิดโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพื่อค้นหาและจัดการความเสี่ยงอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังแนะนำให้ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนซึ่งเป็นปัจจัยป้องกันโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด โดยแนะนำให้ประเมินทั้งก่อนเข้าทำงานและในการตรวจสุขภาพประจำปี

ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (Aerobic capacity)

ความสามารถในการใช้ออกซิเจน หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการออกกำลังกายแบบเคลื่อนไหว (Dynamic exercise) ในระดับปานกลางถึงหนักในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน โดยใช้กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่[4] ความสามารถในการใช้ออกซิเจนนี้อาศัยการทำงานของร่างกายหลายขั้นตอน ตั้งแต่การหายใจและแลกเปลี่ยนก๊าซในปอด การสูบฉีดเลือดโดยหัวใจและการลำเลียงเลือดโดยหลอดเลือดต่างๆ การขนส่งออกซิเจนและสารอาหารต่างๆ โดยเม็ดเลือดแดง การดึงเอาออกซิเจนและสารอาหารเหล่านั้นไปใช้โดยเซลล์กล้ามเนื้อ และการสื่อสารความต้องการในการใช้ออกซิเจนกลับไปยังศูนย์สั่งการระบบหัวใจและหลอดเลือด กล่าวได้ว่าต้องอาศัยการทำงานสัมพันธ์กันระหว่างระบบต่างๆ ของร่างกายหลายระบบ จึงอาจใช้คำว่าความแข็งแรงของระบบหายใจและระบบไหลเวียนเลือด (Cardiorespiratory fitness) แทนคำว่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนก็ได้

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเป็นปัจจัยป้องกันโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุ นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นของโรคมะเร็งหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะเร็งเต้านมและมะเร็งลำไส้ใหญ่[5] การประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสามารถทำได้โดยการตรวจวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายในขณะที่ออกกำลังกาย (VO_2 max) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจสูงสุดกับความแตกต่างระหว่างระดับออกซิเจนในหลอดเลือดแดงกับหลอดเลือดดำ (Arterial-venous oxygen difference ในหน่วยมิลลิลิตรของออกซิเจนต่อลิตรของเลือด) ความแตกต่างของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายระหว่างบุคคลจึงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของปริมาณเลือดที่สูบฉีดออกจากหัวใจสูงสุดของแต่ละบุคคลเป็นสำคัญ นั่นคือความสามารถในการทำงานของหัวใจของแต่ละบุคคลนั่นเอง

การประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสามารถประเมินได้หลายวิธี โดยมีวิธีมาตรฐาน คือ การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางตรง (Direct method) ซึ่งต้องตรวจในห้องปฏิบัติการและมีการตรวจวิเคราะห์แก๊สที่ผู้รับการประเมินหายใจเข้าออกในขณะที่ออกกำลังกาย การใช้วิธีวัดแบบทางตรงนี้มีแม่นยำสูงกว่า แต่ต้องอาศัยเครื่องมือและบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญในการประเมิน และมีค่าใช้จ่ายสูง การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางอ้อม (Indirect method) ซึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่าและใช้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าจึงเป็นที่นิยมมากกว่า โดยในมาตรฐาน NFPA 1582[2] ได้ยกตัวอย่างวิธีประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนหลากหลายวิธี แต่ที่แนะนำ คือ การประเมินโดยใช้การออกกำลังกายบนสายพาน (Treadmill) หรือเครื่องออกกำลังกายแบบขั้นบันได (Stepmill) ในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด (Submaximal) ตามแนวทางของ Wellness Fitness Initiative (WFI) หรือการออกกำลังกายบนสายพานในระดับความสามารถสูงสุด (Maximal) อย่างไรก็ตามเนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดแนวทางปฏิบัติที่

ชัดเจน สถานพยาบาลที่มีความพร้อมในการประเมินยังมีจำกัด และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การตรวจประเมินด้วยวิธีอื่นๆ จึงอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าในการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนของพนักงานดับเพลิงในบางหน่วยงาน

การเปรียบเทียบวิธีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจน

ในส่วนของการสืบค้นงานวิจัยโดยใช้คำสำคัญที่ระบุไว้ข้างต้น พบงานวิจัยและบทความทางวิชาการทั้งสิ้น 37 บทความ เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนของพนักงานดับเพลิงทั้งสิ้น 26 บทความ โดยมีวิธีประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนดังตารางที่ 1

1. การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางตรง

จากการสืบค้นพบงานวิจัยที่ใช้การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางตรง จำนวน 5 งานวิจัย[6-10] โดยเป็นการตรวจวิเคราะห์แก๊สขณะวิ่งบนสายพานหรือปั่นจักรยานไฟฟ้าในระดับความสามารถสูงสุด ในจำนวนนี้มีงานวิจัยของ Phillips และคณะ[8] และงานวิจัยของ Von Heimburg และคณะ[9] เปรียบเทียบความสามารถในการใช้ออกซิเจนที่ได้จากการประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางตรงกับผลการประเมินจากการทดสอบภาคสนาม จากทั้งสองงานวิจัย พบว่าพนักงานดับเพลิงที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงกว่าสามารถทำการทดสอบภาคสนามได้เร็วกว่ากลุ่มที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนต่ำ จึงอาจใช้การทดสอบภาคสนามเหล่านั้นในการคัดกรองสมรรถภาพของพนักงานดับเพลิงในเบื้องต้นได้

2. การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางอ้อม

2.1 การประเมินโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุดโดยใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากการสืบค้นพบงานวิจัยที่ใช้การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางอ้อมโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุดตาม Bruce protocol จำนวน 3 งานวิจัย[11-13] และเป็นการทดสอบการออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุดโดยใช้ Protocol อื่นๆ จำนวน 2 งานวิจัย[10,14] ในจำนวนนี้มีงานวิจัยของ McKinney และคณะ[10] ที่ได้เปรียบเทียบค่า VO_2 max ที่ได้จากการวัดแบบทางตรงโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส กับค่า VO_2 max ที่ได้จากการกรรเชียงบก (Rowing machine) ในระดับความสามารถสูงสุดเป็นระยะ 2 กิโลเมตร จากการศึกษานี้พบว่าค่า VO_2 max ที่ได้จากการประเมินด้วย Rowing machine นี้มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยตรงอยู่ในช่วง 8.0 - 9.6 mL/kg/min (17.1% - 20.5%) ในเพศชาย และอยู่ในช่วง 6.5 - 7.3mL/kg/min (15.7% - 17.7%) ในเพศหญิง หากนำค่า VO_2 max ที่ได้จากการประเมินด้วย Rowing machine ซึ่งประเมินได้ต่ำกว่าความเป็นจริงนี้มาใช้ในการประเมินภาวะสุขภาพของพนักงานดับเพลิงอาจมีพนักงานดับเพลิงบางส่วนไม่ผ่านเกณฑ์ทั้งๆ ที่แท้จริงแล้วมีความพร้อมในการปฏิบัติงาน ทำให้เกิดการจำกัดการทำงานอย่างไม่เหมาะสมและอาจทำให้หน่วยงานขาดแคลนบุคลากรที่จะปฏิบัติงานได้ จึงควรนำไปใช้อย่างระมัดระวัง

2.2 การประเมินโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุดโดยใช้การทดสอบภาคสนาม

จากการสืบค้นพบงานวิจัยที่ใช้การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางอ้อมโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุดโดยใช้การทดสอบภาคสนาม จำนวน 6 งานวิจัย[8,15-19] ในจำนวนนี้มีทั้งหมด 3 งานวิจัยซึ่งล้วนเป็นการศึกษาในประเทศบราซิล[16-18] ใช้การทดสอบ Cooper ซึ่งเป็นการวิ่งให้ได้ระยะทางมากที่สุดในระยะเวลา 12 นาที ซึ่งมีการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่า VO_2 max

ที่คำนวณได้จากการทดสอบนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยการวิ่งบนสายพานในระดับความสามารถสูงสุดแล้วมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9[20] และมีงานวิจัยของ Lindberg และคณะ[15] ซึ่งใช้การทดสอบภาคสนาม 6 ชนิด ได้แก่ การปั่นจักรยานไฟฟ้านาน 6 นาที การคลาน 30 เมตร การวิ่งบนลู่วิ่งระยะ 3 กิโลเมตร การทดสอบก้าวขึ้น-ลงบนกล่อง (Step test) นาน 6 นาที การวิ่งบนสายพานนาน 6 นาที และการกรรเชียงบกไฟฟ้าระยะ 500 เมตร เปรียบเทียบกับค่า VO_2 max ที่ได้จากการคำนวณจากการทดสอบการวิ่งสายพานในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด เพื่อศึกษาการทดสอบภาคสนามใดบ้างที่ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ใกล้เคียงกับการทดสอบทางห้องปฏิบัติการ จากการศึกษานี้ พบว่า การทดสอบกรรเชียงบกไฟฟ้าระยะ 500 เมตรและการวิ่งบนลู่วิ่งระยะ 3 กิโลเมตรเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักตัวมีความสอดคล้องกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนมากที่สุด

2.3 การประเมินโดยใช้การออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดโดยใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากการสืบค้นพบงานวิจัยที่ใช้การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางอ้อมโดยใช้การออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดตาม Wellness Fitness Initiative (WFI) treadmill protocol ตามที่แนะนำในมาตรฐาน NFPA 1582[2] จำนวน 4 งานวิจัย[21-24] ในจำนวนนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของเครื่องมือ จำนวน 2 งานวิจัย โดยงานวิจัยของ Klaren และคณะ[21] เปรียบเทียบการใช้ WFI treadmill protocol ในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดกับในระดับความสามารถสูงสุด จากการศึกษานี้ พบว่า ค่า VO_2 max ที่ได้จากการทดสอบทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกัน โดยมีปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อน คือ อายุและผลการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนพื้นฐาน (Baseline aerobic capacity) ซึ่งแม้ว่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะมีค่าไม่สูงมากนัก แต่ในกลุ่มที่มีปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงอาจมีการจัดกลุ่มผ่านหรือไม่ผ่านเกณฑ์ของพนักงานดับเพลิงผิดไปจากสมรรถภาพที่แท้จริงได้ ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของพนักงานดับเพลิงหรือความสามารถในการปฏิบัติงานให้ลุล่วง ส่วนงานวิจัยของ Dolezal และคณะ[22] เป็นการเปรียบเทียบการใช้ WFI treadmill protocol ในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดกับการวัดแบบทางตรง จากการศึกษานี้ พบว่า การประเมินโดยใช้ WFI treadmill protocol มีแนวโน้มที่จะประเมินค่า VO_2 max ได้สูงกว่าความเป็นจริงในกลุ่มที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนต่ำ และประเมินค่าดังกล่าวได้ต่ำกว่าความเป็นจริงในกลุ่มที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูง

2.4 การประเมินโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดโดยใช้การทดสอบภาคสนาม

สำหรับการประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางอ้อมโดยใช้การออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดอื่นๆ ที่พบ เป็นการทดสอบก้าวขึ้น-ลงบนกล่อง (Step test) ซึ่งมีอยู่หลายแนวทางด้วยกัน โดยจากการสืบค้นพบงานวิจัยที่ใช้ Forestry step test จำนวน 4 งานวิจัย[25-28] ใช้ Chester step test จำนวน 1 งานวิจัย[29] และใช้ YMCA step test จำนวน 1 งานวิจัย[27] ในจำนวนนี้มีงานวิจัยของ Hale และคณะ[28] เป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่า VO_2 max ที่ได้จากการประเมินด้วย Forestry step test กับการประเมินโดยใช้การทดสอบการออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุดตาม WFI step mill protocol ซึ่งจากการศึกษานี้ พบว่า ค่าที่ได้จากการประเมินด้วย Forestry step test มีแนวโน้มสูงกว่า

ข้อแตกต่างระหว่างการทดสอบก้าวขึ้น-ลงบนกล่องแต่ละวิธีนั้น มีทั้งเรื่องความสูงของ

กล่องที่ใช้ความเร็วของการก้าวขึ้น-ลง และระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยในการทดสอบ Forestry step test ซึ่งนิยมใช้ในประเทศบราซิลนั้นมีการปรับความสูงของกล่องตามเพศของผู้รับการทดสอบ มีการกำหนดความเร็วของการก้าวขึ้น-ลงกล่องที่คงที่และดำเนินการทดสอบนาน 5 นาที ในขณะที่การทดสอบ YMCA step test ไม่มีการปรับระดับความสูงของกล่อง ใช้ความเร็วของการก้าวขึ้น-ลงกล่องที่คงที่แต่เร็วกว่า Forestry step test เล็กน้อย และดำเนินการทดสอบสั้นกว่า คือ ใช้เวลา 3 นาทีเท่านั้น ในขณะที่การทดสอบ Chester step test ซึ่งใช้ในประเทศสหราชอาณาจักรมีการปรับความสูงของกล่องที่หลากหลายตามอายุและระดับกิจกรรมทางกายของผู้รับการทดสอบ นอกจากนี้ยังเป็นการทดสอบแบบหลายขั้นตอนโดยเริ่มต้นด้วยความเร็วของการก้าวขึ้น-ลงที่ต่ำ ก่อนจะค่อยๆ เพิ่มความเร็วขึ้นทุก 2 นาทีจนกว่าอัตราการเต้นของหัวใจหรือระดับการรับรู้การออกแรงของร่างกาย (Rating of Perceived Exertion: RPE) จะสูงถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ โดยขั้นสูงสุด คือ ขั้นที่ 5 นั่นคือใช้เวลาทดสอบสูงสุด 10 นาที

เมื่อพิจารณาจากข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนแต่ละวิธีแล้ว ผู้เขียนมีความเห็นว่าในหน่วยงานที่สามารถเข้าถึงการทดสอบทางห้องปฏิบัติการได้และไม่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ควรพิจารณาให้พนักงานดับเพลิงในสังกัดเข้ารับการประเมินโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดโดยใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการ เช่น การวิ่งบนสายพาน (Submaximal WFI treadmill protocol) เนื่องจากเป็นวิธีที่แนะนำในสากล เนื่องจากสามารถทำได้ง่ายกว่า ปลอดภัยกว่า และประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าการใช้วิธีวัดแบบทางตรง และการใช้วิธีวัดโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุด[2,30] อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่พบว่าการประเมินด้วยวิธีดังกล่าวอาจได้ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนที่คลาดเคลื่อนอยู่บ้างในพนักงานดับเพลิงที่มีปัจจัยบางประการจึงควรนำไปใช้อย่างระมัดระวัง[21,22] สำหรับความถี่ในการตรวจประเมินนั้น พนักงานดับเพลิงควรได้รับการประเมินก่อนเข้าทำงาน และตรวจเป็นประจำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หากมีปัจจัยเสี่ยงของโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดอย่างน้อย 1 ข้อ เช่น มีอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป เป็นโรคเบาหวานชนิดที่สองมานานกว่า 10 ปี มีภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานแล้ว หรือมีปัจจัยเสี่ยงของโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดอื่นๆ ส่วนในหน่วยงานที่ข้อจำกัดด้านการเข้าถึงการทดสอบทางห้องปฏิบัติการได้หรือมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ อาจพิจารณาประเมินความเสี่ยงโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดรายบุคคลก่อน แล้วจึงส่งเพิ่มเติมโดยลำดับความสำคัญจากผู้ที่มีความเสี่ยงสูงไปต่ำ ในส่วนของผู้ที่ไม่ได้รับการตรวจโดยการวิ่งบนสายพานนั้น แนะนำให้หน่วยงานพิจารณาจัดกิจกรรมทดสอบสมรรถภาพทางกายโดยใช้การวิ่งทดสอบภาคสนามหรือการก้าวขึ้น-ลงจากกล่องแทน เนื่องจากสะดวกในการดำเนินการทดสอบ มีค่าใช้จ่ายน้อย และสามารถประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ถึงแม้ว่าจะไม่แม่นยำเท่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการก็ตาม

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบวิธีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจน

วิธีการประเมิน	คำอธิบาย	ข้อดี	ข้อจำกัด	การนำไปใช้
การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางตรง				
Cardiopulmonary Exercise Testing (CPET)[6-10]	ใช้การตรวจวิเคราะห์แก๊สขณะวิ่งบนสายพานหรือปั่นจักรยานไฟฟ้าในระดับความสามารถสูงสุด	ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้แม่นยำที่สุด	ต้องใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์แก๊ส อุปกรณ์และบุคลากรที่เชี่ยวชาญ; ค่าใช้จ่ายสูงมาก; อาจกระตุ้นให้เกิดอาการผิดปกติระหว่างการทดสอบได้	เป็น Gold standard ในการวัดค่า VO_2 max
การประเมินโดยใช้วิธีวัดแบบทางอ้อม				
Maximal treadmill/step mill/rowing machine[10-14]	ใช้การวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุด และอาจติดตามการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าหัวใจร่วมด้วย	ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้แม่นยำน้อยกว่าการวัดแบบทางตรง แต่แม่นยำกว่าการออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด	ต้องใช้อุปกรณ์และบุคลากรที่เชี่ยวชาญ; ค่าใช้จ่ายสูง; ต้องออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุดซึ่งอาจกระตุ้นให้เกิดอาการผิดปกติระหว่างการทดสอบได้	สามารถใช้ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ แต่ค่า VO_2 max ที่ได้อาจต่ำกว่าความเป็นจริง[10] จึงต้องนำไปใช้อย่างระมัดระวัง
Maximal run test[8,15-19] เช่น Pack hike test[8], 1.5-mile run test[19], 12-minute run test[16-18]	ใช้การวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุด โดยให้ผู้ทดสอบวิ่งเป็นระยะทางที่กำหนดโดยใช้เวลาน้อยที่สุด หรือวิ่งให้ได้ระยะทางมากที่สุดในระยะเวลาที่กำหนด	ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้แม่นยำน้อยกว่าการวัดแบบทางตรงแต่แม่นยำกว่าการออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด; ประหยัดค่าใช้จ่าย	ต้องใช้อุปกรณ์ เช่น เครื่องออกกำลังกายไฟฟ้า หรือใช้พื้นที่ เช่น ลานออกกำลังกาย สนามกีฬา; ต้องออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุดซึ่งอาจกระตุ้นให้เกิดอาการผิดปกติระหว่างการทดสอบได้ ความร่วมมือในการทดสอบของผู้เข้าร่วมมีผลอย่างมาก; ต้องใช้อุปกรณ์	สามารถนำไปใช้ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ แต่ค่า VO_2 max ที่ได้อาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง จึงต้องนำไปใช้อย่างระมัดระวัง
Submaximal treadmill/step mill/rowing machine	ใช้การวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด และอาจติดตามการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าหัวใจร่วมด้วย	ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้แม่นยำน้อย; ปลอดภัยกว่าเนื่องจากเป็นการออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด	ต้องใช้อุปกรณ์ เช่น เครื่องออกกำลังกายไฟฟ้า; ค่า VO_2 max ที่ได้อาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง[21,22]	สามารถใช้ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ และเป็นวิธีที่แนะนำในมาตรฐาน NFPA 1582[2,30] แต่ต้องนำไปใช้อย่างระมัดระวัง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบวิธีการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจน (ต่อ)

วิธีการประเมิน	คำอธิบาย	ข้อดี	ข้อจำกัด	การนำไปใช้
Step tests เช่น Forester step test, Chester step test, YMCA step test	ใช้การวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุดโดยการก้าวขึ้น-ลงจากกล่อง โดยในแต่ละวิธีมีการใช้ความสูงของกล่อง และความเร็วของการก้าวขึ้น-ลงกล่องที่แตกต่างกัน	ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้แม่นยำน้อย; ปลอดภัยกว่า เนื่องจากเป็นการออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด; อุปกรณ์มีขนาดไม่ใหญ่มาก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก	ค่า VO_2 max ที่ได้อาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง[28]	สามารถใช้ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ แต่ต้องนำไปใช้อย่างระมัดระวัง
Walk test เช่น 6-minute walk test[31]	ใช้การเดินตามระยะทางหรือระยะเวลาที่กำหนด เช่น ใน 6MWT ให้ผู้เข้ารับการทดสอบเดินให้ได้ระยะทางมากที่สุดภายในเวลา 6 นาที	สามารถทดสอบในห้องตรวจ สำนักงาน หรือทดสอบภาคสนามได้	ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ไม่แม่นยำนักในกลุ่มประชากรวัยทำงานที่แข็งแรงดี	ใช้ในกลุ่มคนที่มีโรคประจำตัว หรือในการประเมินก่อนกลับเข้าทำงานหลังการเจ็บป่วยที่ทำให้มีอาการเหนื่อย
Questionnaires เช่น Self-reported Physical Activity questionnaires[18], Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ)	ใช้แบบสอบถามประเมินกิจกรรมทางกาย โดยประเมินจากกิจวัตรประจำวัน การออกแรงในการทำงาน และการออกกำลังกาย	สามารถทดสอบในห้องตรวจหรือสำนักงานได้	ประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนแม่นยำนัก; แบบสอบถามบางชุด เช่น GPAQ ต้องใช้ผู้สัมภาษณ์	สามารถจำแนกคนที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนต่ำมากหรือสูงมากได้ แต่ในกลุ่มที่อยู่ปานกลาง (11 - 13 METs) อาจต้องได้รับการทดสอบอื่นๆ เพิ่มเติม[18]

ข้อเสนอแนะ

เมื่อพิจารณาจากข้อดีและข้อจำกัดของการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนแต่ละวิธีแล้ว ผู้เขียนมีความเห็นว่าในหน่วยงานที่สามารถเข้าถึงการทดสอบทางห้องปฏิบัติการได้และไม่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ควรพิจารณาให้พนักงานดับเพลิงในสังกัดเข้ารับการประเมินโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าความสามารถสูงสุด โดยใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการ เช่น การวิ่งบนสายพาน (Submaximal treadmill stress test) เนื่องจากเป็นวิธีที่แนะนำตามมาตรฐานสากล ซึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่า ปลอดภัยกว่า และประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าการใช้วิธีวัดแบบทางตรงและการใช้

วิธีวัดโดยการทดสอบการออกกำลังกายในระดับความสามารถสูงสุด[2,30] อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่พบว่าการประเมินด้วยวิธีดังกล่าวอาจได้ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนที่คลาดเคลื่อนอยู่บ้างในพนักงานดับเพลิงที่มีปัจจัยบางประการ จึงควรนำไปใช้อย่างระมัดระวัง[21,22] สำหรับความถี่ในการตรวจประเมินนั้น พนักงานดับเพลิงควรได้รับการประเมินก่อนเข้าทำงาน และตรวจเป็นประจำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หากมีปัจจัยเสี่ยงของโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดอย่างน้อย 1 ข้อ เช่น มีอายุตั้งแต่ 35 ปีขึ้นไป เป็นโรคเบาหวานชนิดที่สองมานานกว่า 10 ปี มีภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานแล้ว หรือมีปัจจัยเสี่ยงของโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดอื่นๆ

สำหรับหน่วยงานที่ข้อจำกัดด้านการเข้าถึงการทดสอบทางห้องปฏิบัติการได้หรือมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ อาจประเมินความเสี่ยงโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดรายบุคคลก่อน แล้วจึงส่งเพิ่มเติมตามลำดับความสำคัญจากผู้ที่มีความเสี่ยงสูงไปต่ำ โดยอย่างน้อยที่สุดหน่วยงานควรจัดให้มีการทดสอบสมรรถภาพทางกายโดยใช้การวิ่งภาคสนามหรือการก้าวขึ้น-ลงจากกล่องแทน เนื่องจากสะดวกในการดำเนินการทดสอบ มีค่าใช้จ่ายน้อย และสามารถประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนได้ ถึงแม้ว่าจะไม่แม่นยำเท่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการก็ตาม

นอกจากนี้หน่วยงานยังต้องมีการจัดมาตรการรองรับกรณีที่พนักงานดับเพลิงมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนต่ำกว่าเกณฑ์ โดยจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมที่เหมาะสมเพื่อฟื้นฟูความสามารถในการใช้ออกซิเจนของพนักงาน และส่งเสริมให้พนักงานสามารถกลับเข้าทำงานได้โดยเร็วเพื่อให้ปลอดภัยต่อสุขภาพของพนักงานและไม่ทำให้ขาดแคลนกำลังคนในการปฏิบัติงาน

ในส่วนของพนักงานดับเพลิงเองนั้นต้องตระหนักถึงสิ่งคุกคามสุขภาพในการทำงานของตน ความสำคัญของการตรวจคัดกรองโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด และความสำคัญของการประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจน ซึ่งจะนำไปสู่การปฏิบัติตนที่เหมาะสม ทั้งในเรื่องของพฤติกรรมการบริโภคอาหาร และการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ร่างกายของตนเองแข็งแรงและลดปัจจัยเสี่ยงโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดให้มากที่สุด เพื่อลดความเสี่ยงในการเจ็บป่วยของตนเองและเพื่อให้สภาวะร่างกายสมบูรณ์พร้อมที่จะปฏิบัติงานอย่างเต็มความสามารถ

เอกสารอ้างอิง

1. National Fire Protection Association. Fire Service in the United States. [Internet]. [cited 2023 February 1]. Available from: https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Emergency-responders/osFFF.pdf.
2. National Fire Protection Association. Standard on comprehensive occupational medical program for fire departments. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association; 2017.
3. Soteriades ES, Smith DL, Tsismenakis AJ, Baur DM, Kales SN. Cardiovascular disease in US firefighters: a systematic review. Cardiology in Review 2011;19(4):202-15.
4. Zavorsky GS, Lechner AJ. Importance and derivation of aerobic capacity. In: Lechner AJ, Matuschak GM, Brink DS, editors. Respiratory: an integrated approach to disease. New York, McGraw-Hill Education; 2012.

5. Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Després JP, Franklin BA, et al. Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: a case for fitness as a clinical vital sign: a scientific statement from the American Heart Association. Circulation 2016;134(24):e653-99.
6. Siddall AG, Stevenson RDM, Turner PJF, Bilzon JLJ. Physical and physiological performance determinants of a firefighting simulation test. J Occup Environ Med 2018;60(7):637-43.
7. Smith DL, Graham EL, Douglas JA, Jack K, Conner MJ, Arena R, et al. Subclinical cardiac dysfunction is associated with reduced cardiorespiratory fitness and cardiometabolic risk factors in firefighters. Am J Med 2022;135(6):752-60.e3.
8. Phillips M, Petersen A, Abbiss CR, Netto K, Payne W, Nichols D, et al. Pack hike test finishing time for Australian firefighters: pass rates and correlates of performance. Appl Ergon 2011;42(3):411-8.
9. Heimburg EV, Medbø JI. Energy cost of the Trondheim firefighter test for experienced firefighters. Int J Occup Saf Ergon 2013;19(2):211-25.
10. McKinney ZJ, Bovard RS, Starchook-Moore MN, Ronneberg K, Xi M, Bredeson DM, et al. Cardiorespiratory fitness of firefighters: initial results of a multi-phased study. J Occup Environ Med 2021;63(1):57-63.
11. Li K, Lipsey T, Leach HJ, Nelson TL. Cardiac health and fitness of Colorado male/female firefighters. Occup Med (Lond) 2017;67(4):268-73.
12. McAllister MJ, Gonzalez DE, Leonard M, Martaindale MH, Bloomer RJ, Pence J, et al. Risk factors for cardiometabolic disease in professional firefighters. J Occup Environ Med 2023;65(2):119-24.
13. Lockie RG, Dulla JM, Higuera D, Ross KA, Orr RM, Dawes JJ, et al. Body composition and fitness characteristics of firefighters participating in a health and wellness program: relationships and descriptive data. Int J Environ Res Public Health 2022;19(23):15758.
14. Cameron NA, Shen J, Rusk K, Parker R, Godino JG, Nichols JF. Longitudinal decline in cardiorespiratory fitness with age among male firefighters in San Diego, California, 2005-2015. Am J Public Health 2018;108(10):1388-93.
15. Lindberg AS, Oksa J, Gavhed D, Malm C. Field tests for evaluating the aerobic work capacity of firefighters. PLoS One 2013;8(7):e68047.
16. Nogueira EC, Porto LG, Nogueira RM, Martins WR, Fonseca RM, Lunardi CC, et al. Body composition is strongly associated with cardiorespiratory fitness in a large Brazilian military firefighter cohort: the Brazilian firefighters study. J Strength Cond Res 2016;30(1):33-8.
17. Damacena FC, Batista TJ, Ayres LR, Zandonade E, Sampaio KN. Obesity prevalence in Brazilian firefighters and the association of central obesity with personal, occupational and cardiovascular risk factors: a cross-sectional study. BMJ Open 2020;10(3):e032933.

18. Segedi LC, Saint-Martin DRF, da Cruz CJG, Von Koenig Soares EMK, do Nascimento NL, da Silva LL, et al. Cardiorespiratory fitness assessment among firefighters: is the non-exercise estimate accurate? Work 2020;67(1):173-83.
19. Lan FY, Fernandez-Montero A, Yiannakou I, Marinos-Iatrides O, Ankeny JT, Kiser J, et al. A Mediterranean lifestyle is associated with lower hypertension prevalence and better aerobic capacity among new England firefighter recruits. J Occup Environ Med 2020;62(7):466-71.
20. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. JAMA 1968;203(3):201-4.
21. Klaren RE, Horn GP, Fernhall B, Motl RW. Accuracy of the VO_2peak prediction equation in firefighters. J Occup Med Toxicol 2014;9:17.
22. Dolezal BA, Barr D, Boland DM, Smith DL, Cooper CB. Validation of the firefighter WFI treadmill protocol for predicting VO_2 max. Occup Med (Lond) 2015;65(2):143-6.
23. Poplin GS, Roe DJ, Burgess JL, Peate WF, Harris RB. Fire fit: assessing comprehensive fitness and injury risk in the fire service. Int Arch Occup Environ Health 2016;89(2):251-9.
24. Korre M, Porto LG, Farioli A, Yang J, Christiani DC, Christophi CA, et al. Effect of body mass index on left ventricular mass in career male firefighters. Am J Cardiol 2016;118(11):1769-73.
25. Cornell DJ, Gnacinski SL, Zamzow A, Mims J, Ebersole KT. Measures of health, fitness, and functional movement among firefighter recruits. Int J Occup Saf Ergon 2017;23(2):198-204.
26. Cornell DJ, Gnacinski SL, Meyer BB, Ebersole KT. Changes in health and fitness in firefighter recruits: an observational cohort study. Med Sci Sports Exerc 2017;49(11):2223-33.
27. Martin ZT, Schlaff RA, Hemenway JK, Coulter JR, Knous JL, Lowry JE, et al. Cardiovascular disease risk factors and physical fitness in volunteer firefighters. Int J Exerc Sci 2019;12(2):764-76.
28. Hale D, Kollock R, Thomas J, Sanders G, Peveler W, Mangan A, et al. A submaximal field test of aerobic capacity does not accurately reflect VO_{2max} in career firefighters. Int J Exerc Sci 2022;15(4):221-30.
29. Wynn P, Hawdon P. Cardiorespiratory fitness selection standard and occupational outcomes in trainee firefighters. Occup Med (Lond) 2012;62(2):123-8.
30. International Association of Fire Fighters. The fire service joint labor management wellness-fitness initiative. 4th ed. Washington, DC: International Association of Fire Fighters; 2018.
31. Suriyo K, Tantithaworn C, Rattanawiwatpong P. Effect of aquatic exercise program on physical fitness in volunteers aged between 50-80 years. Royal Thai Navy Medical Journal 2014;41(3):23-39.