

ผลของการฝึกด้วยแรงต้านท่าภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลางที่มีต่อความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อในนักกีฬาหญิงประเภททีมระดับมหาวิทยาลัย

ณัฏฐา ม่วงฤทธิ์เดช¹ และไชยวัฒน์ นามบุญลือ²

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Received : 15 January 2564 / Revised : 12 March 2564 / Accepted : 30 March 2564

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการฝึกด้วยแรงต้านท่าภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางที่มีต่อความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อในนักกีฬาหญิงประเภททีมระดับมหาวิทยาลัย

วิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาหญิงประเภททีม อายุระหว่าง 19-23 ปี จำนวน 19 คนของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง (Hypoxic group, $n=10$) ทำการฝึกภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลาง ($F_1O_2 = 15.8\%$) และกลุ่มควบคุม (Normoxic group, $n=9$) ทำการฝึกในภาวะออกซิเจนปกติ ($F_1O_2 = 20.9\%$) ทั้งสองกลุ่มทำการฝึกออกกำลังกายด้วยแรงต้านท่า 50% 1RM ในท่า Knee extension และ Knee flexion จำนวนท่าละ 3 เซต ๆ ละ 15 ครั้ง ระยะเวลาในการพักระหว่างเซต 1 นาที จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ทำการทดสอบองค์ประกอบของร่างกาย ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ พลังของกล้ามเนื้อ และสมรรถภาพ

การใช้ออกซิเจนสูงสุดก่อนและหลังการทดลอง 5 สัปดาห์

ผลการวิจัย ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อในท่า Knee flexion และความสูงการกระโดดในแนวดิ่ง เพิ่มขึ้นในกลุ่มทดลอง (20.88% และ 3.85%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (8.56% และ 1.67%, $p < 0.05$) นอกจากนี้ค่าร้อยละมวลไขมันและมวลที่ปราศจากไขมันของกลุ่มทดลองดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก (-3.48% และ 2.34%) โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ($p > 0.05$)

สรุปผลการวิจัย การออกกำลังกายด้วยแรงต้านท่า (50% 1RM) ภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลาง ($F_1O_2 = 15.8\%$) มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อได้ จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการฝึกที่ช่วยลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดการบาดเจ็บและเพื่อพัฒนาสมรรถภาพกล้ามเนื้อในนักกีฬาหญิงประเภททีมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การฝึกด้วยแรงต้านท่า/ ภาวะออกซิเจนเบาบาง/ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ/ พลังของกล้ามเนื้อ/นักกีฬาประเภททีม

EFFECTS OF LOW-LOAD RESISTANCE TRAINING UNDER MODERATE HYPOXIA ON MUSCLE STRENGTH AND POWER IN FEMALE COLLEGIATE TEAM SPORT ATHLETES

Nattha Muangritdech¹ and Chaiyawat Namboonlue²

¹Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

²Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University

Received : 15 January 2021 / Revised : 12 March 2021 / Accepted : 30 March 2021

Abstract

Purpose The purpose of this study was to examine and compare the effects of low-load resistance training under moderate hypoxia on muscle strength and power in female collegiate team sport athletes.

Methods Nineteen female sport athletes, aged 19-23 years old, from Ubon Ratchathani Rajabhat University were recruited to participate in this study. The participants were randomly divided into 2 resistance training groups; an experimental group (Hypoxic group; $F_1O_2=15.8\%$, $n=10$) and a control group (Normoxic group; $F_1O_2=20.9\%$, $n=9$). Both groups completed resistance training, consisted of 3 sets of 15 repetitions of knee extensions and knee flexions, separated by 1-minute rest between sets, 3 days a week for 5 consecutive weeks.

Body composition, maximum muscle strength, muscle endurance, muscle power and maximum oxygen uptake were measured before and after 5-week of resistance training.

Results After training, maximum muscle strength in knee flexion and vertical jump were significantly increased $p < 0.05$ in the hypoxic group (20.88% and 3.85%) compared with normoxic group (8.56% and 1.67%). Moreover, hypoxic group showed substantially improvement in fat mass and fat-free mass (-3.48% and 2.34%, $p < 0.05$) after training compared to their baselines, with no difference detected between groups ($p > 0.05$).

Conclusion This study showed a low-load resistance training (50% 1RM) with moderate-dose hypoxic condition ($F_1O_2=15.8\%$) induced a significant increase in muscle strength and power. Therefore, this training program could be used as an alternative strategy for improving muscular performance without causing any injury in team sport athletes.

Keywords: Low-load resistance training / Hypoxia / Muscle strength / Muscle power / Team sport athletes

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำการฝึกบนพื้นที่สูง/ออกซิเจนต่ำ (Altitude/Hypoxic training) มาใช้ในการพัฒนาสมรรถภาพของนักกีฬา โดยมีการพัฒนารูปแบบของการฝึกและได้มีการประดิษฐ์เครื่องจำลองบรรยากาศบนที่สูง (Simulated altitude) เช่น Hypoxic chamber, Hypoxicor และ Hypoxic mask ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเวลาและสะดวกมากขึ้น เนื่องจากนักกีฬาหรือผู้สนใจไม่ต้องเดินทางไปฝึกซ้อมบนที่สูงหรือภูเขาจริง การหายใจด้วยอากาศออกซิเจนเบาบาง (Hypoxia) สามารถปรับได้สองลักษณะ คือ ปรับลดระดับความเข้มข้นของออกซิเจนและความดันบรรยากาศได้ นอกจากนี้ยังสามารถหายใจด้วยอากาศออกซิเจนเบาบางทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย เมื่อปริมาณออกซิเจนในอากาศลดลงจากปกติมากกว่า $F_{I}O_2 = 15\%$ (ค่าปกติคือ $F_{I}O_2 = 20.9\%$) ส่งผลให้ร่างกายมีระดับออกซิเจนในเลือดลดลง (Hypoxemia) จะทำให้ร่างกายเกิดกระบวนการปรับตัวทางสรีรวิทยาในด้านต่าง ๆ ขึ้นเพื่อตอบสนองต่อภาวะออกซิเจนเบาบางหรือต่ำในร่างกาย ซึ่งการลดลงของปริมาณออกซิเจนในอากาศจนถึงระดับหนึ่งจะทำให้การหายใจขณะออกกำลังกายทำได้ลำบากขึ้น ส่งผลให้ความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับการฝึกด้วยอากาศที่มีออกซิเจนระดับปกติ (Mazzeo, 2008; West, 1996)

สมรรถภาพของกล้ามเนื้อ (Muscular performance) โดยเฉพาะความแข็งแรงและพลังกล้ามเนื้อเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญในการออกกำลังกายและเล่นกีฬาเกือบทุกประเภท (American College of Sports Medicine position stand, 2009) เป็นที่ทราบกันว่าการฝึกด้วยแรงต้านที่สูงหรือน้ำหนักมาก (High-load resistance exercise) $\geq 80\%$ 1RM เหมาะสำหรับการเพิ่มสมรรถภาพในกลุ่มนักกีฬา แต่เนื่องจากการฝึกด้วยแรงต้านสูงมักเสี่ยงให้เกิดการ

บาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อ เอ็น และข้อต่อ (Powell et al., 1998) อีกทั้งสามารถฝึกปฏิบัติได้ยากทั้งในกลุ่มนักกีฬาและคนทั่วไป ดังนั้นปัจจุบันจึงได้มีการนำเอาการฝึกด้วยแรงต้านต่ำหรือน้ำหนักเบา (Low-load resistance exercise) ร่วมกับการอุดกั้นการไหลเวียนเลือดเฉพาะที่ (Blood flow restriction หรือ blood occlusion) มาใช้ในการฝึกแทนการฝึกด้วยแรงต้านสูงหรือน้ำหนักมาก รวมไปถึงการฝึกด้วยแรงต้านต่ำร่วมกับการหายใจภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบาง เพื่อพัฒนาสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ โดยไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บแต่ยังคงมีประสิทธิภาพเท่ากับหรือใกล้เคียงกับการฝึกที่ใช้แรงต้านสูง มีรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า การฝึกด้วยแรงต้านต่ำหรือน้ำหนักเบาที่ระดับความหนัก 20-50% 1RM ฝึกร่วมกับการใช้ Pressure cuff รัดแขนหรือขาเพื่ออุดกั้นเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อขณะทำงานหรือขณะกล้ามเนื้อหดตัว สามารถช่วยพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ช่วยลดความเสี่ยงที่อาจจะเกิดการบาดเจ็บในนักกีฬาและคนทั่วไปที่ได้รับการฝึกด้วยแรงต้านสูง (Wernbom et al., 2008) และส่งผลทำให้เกิดการปรับตัวของกล้ามเนื้อขึ้นภายหลังจากการฝึก เช่น ความหนาแน่นของหลอดเลือดฝอยเพิ่มขึ้น (Hoppeler et al., 2003) นอกจากนี้เส้นใยของกล้ามเนื้อ ยังมีการปรับตัวเพิ่มขนาดและปริมาณอีกด้วย (Nishimura et al., 2010)

จากการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางที่ผ่านมา มีการศึกษาพบว่า การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยแรงต้านต่ำ 20% 1RM ในภาวะออกซิเจนเบาบาง ($F_{I}O_2 = 10-11\%$) ในกลุ่มนักกีฬานetบอลหญิง โดยทำการฝึกในท่า Knee extension และ Knee flexion 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะต่อเนื่องเวลา 5 สัปดาห์ สามารถพัฒนาความแข็งแรง 14.9% และพลังของกล้ามเนื้อ 7.5% นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มสมรรถภาพการ

ใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ 8.6% (Manimmanakorn et al., 2013) สอดคล้องกับงานวิจัยของฐะคำและคณะ (Thuwakum et al., 2017) ได้ทำการฝึกด้วยแรงต้านต่ำ 30% และ 50% 1RM ร่วมกับภาวะบนที่สูงจำลอง ($F_{I}O_2 = 14\%$) สามารถเพิ่มสมรรถภาพของกล้ามเนื้อได้ โดยเฉพาะการฝึกด้วยแรงต้านต่ำ 50% 1RM ร่วมกับภาวะพร่องออกซิเจนบนที่สูงจำลองจะสามารถเพิ่มความแข็งแรง พลังของกล้ามเนื้อ และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ 16.7%, 4.4% และ 3.5% ตามลำดับ ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับการฝึกด้วยแรงต้านสูง 80% 1RM ในภาวะออกซิเจนปกติ นอกจากนี้คุชและคณะ (Cook et al., 2018) ทำการศึกษาการฝึกด้วยแรงต้านต่ำ 20% 1RM ร่วมกับการอุดกั้นการไหลเวียนเลือดเฉพาะที่ (180 มม.ปรอท) ทำการฝึกในท่า Leg extension และ Leg press 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะต่อเนื่องเวลา 6 สัปดาห์ สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ 14% นามบุญลือและคณะ (Namboonlue et al., 2020) ได้ศึกษาการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยแรงต้านต่ำ 50% 1RM ในภาวะออกซิเจนเบาบาง ($F_{I}O_2 = 13.6\%$ และ 15.8%) ในนักกีฬาชายประเภททีม พบว่า สามารถพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ 33.5% และ 16.0% ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการออกกำลังกายด้วยแรงต้านต่ำในภาวะออกซิเจนเบาบางเป็นรูปแบบการออกกำลังกายอีกทางเลือกหนึ่งในการฝึกเพื่อเพิ่มสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ และลดความเสี่ยงที่จะเกิดการบาดเจ็บจากการฝึกได้

จากที่กล่าวมาผลการศึกษเกี่ยวกับการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางในกลุ่มนักกีฬาหญิงยังมีข้อมูลไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามการศึกษเกี่ยวกับรูปแบบโปรแกรมการฝึกที่เหมาะสมที่จะช่วยพัฒนาสมรรถภาพกล้ามเนื้อของกลุ่มนักกีฬาหญิงยังคงมีอยู่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะค้นหาวิธีการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

ชาในนักกีฬาหญิงประเภททีมระดับมหาวิทยาลัย ด้วยระดับความหนักต่ำ (50% 1RM) และระดับความเข้มข้นของออกซิเจนปานกลาง ($F_{I}O_2 = 15.8\%$) ที่มีต่อความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ อันอาจเป็นการนำมาสู่ความรู้เพิ่มเติมเพื่อนำมาอธิบายการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อ ในนักกีฬาหญิงประเภททีม และผู้ฝึกสอนสามารถนำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนฝึกซ้อม อีกทั้งวิธีการฝึกนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่าย ประหยัดเวลา และสามารถลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บที่เกิดจากการฝึกด้วยแรงต้าน ตลอดจนสามารถพัฒนาสมรรถภาพทางด้านทักษะกีฬาได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางที่มีต่อความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อในนักกีฬาหญิงประเภททีมระดับมหาวิทยาลัย
2. เพื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางและภาวะออกซิเจนปกติที่มีต่อความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อในนักกีฬาหญิงประเภททีมระดับมหาวิทยาลัย

สมมติฐานการวิจัย

เพื่อศึกษาและยืนยันว่าการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางสามารถช่วยพัฒนาความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อในนักกีฬาหญิงประเภททีมระดับมหาวิทยาลัยได้ดีกว่าการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนปกติ

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research design) ได้ผ่านการรับรอง

จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ โดยได้รับการอนุมัติจริยธรรม โครงการวิจัยที่ 053/2020

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬาหญิงประเภททีมระดับมหาวิทยาลัยได้แก่ ฟุตบอล ฟุตซอล และวอลเลย์บอล มีอายุระหว่าง 19-23 ปี และเป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธาธานี เป็นผู้ที่ไม่มีสุขภาพดี ไม่มีปัญหาสุขภาพ และประวัติในการอยู่บนที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล > 1,000 เมตร ภายในระยะเวลา 3 เดือน ก่อนเข้าร่วมโครงการ โดยได้การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวนทั้งหมด 20 คน ใช้ตารางกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของโคเฮน (Cohen, 1988) กำหนดค่าแอลฟา (α) ที่ระดับความมีนัยสำคัญ 0.05 ค่าขนาดของผลกระทบ (Effect size) ที่ 0.80 และค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) ที่ 0.80 จากนั้นแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 10 คน เท่าๆ กัน ด้วยวิธีการจับคู่ (Matched pair) โดยใช้ค่า 1RM เป็นเกณฑ์ ดังนี้

กลุ่มทดลอง (Hypoxic group) ทำการฝึกออกกำลังกายด้วยแรงต้านต่ำ 50% 1RM ภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลาง ($F_{I}O_2 = 15.8\%$ หรือเทียบเท่ากับความสูง 2,200 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล) และกลุ่มควบคุม (Normoxic group) ทำการฝึกออกกำลังกายด้วยแรงต้านต่ำ 50% 1RM ในภาวะออกซิเจนปกติ ($F_{I}O_2 = 20.9\%$ หรือเทียบเท่ากับความสูงที่ระดับน้ำทะเล 68 เมตร) ทั้ง 2 กลุ่มทำการฝึกเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสารเกี่ยวกับการออกกำลังกายด้วยแรงต้านต่ำในภาวะออกซิเจนเบาบาง

2. ทำการศึกษาก่อนการวิจัย (Pilot study) มีการทดลองใช้กับกลุ่มที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 คน และนำผลที่ได้ปรึกษากับทีมวิจัย

3. ผู้วิจัยติดต่อประสานงานผู้ฝึกสอน ประเภททีมหญิง ของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธาธานีเพื่อขอความอนุเคราะห์ให้นักกีฬามาเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยจำนวน 20 คน ซึ่งแจ้งวัตถุประสงค์ ขั้นตอนวิธีการฝึก และขอความร่วมมือนักกีฬาในการฝึกตามโปรแกรมที่ผู้วิจัยกำหนดแก่กลุ่มตัวอย่างผู้เข้าร่วมงานวิจัย เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองมีผู้ออกจากโครงการวิจัยจำนวน 1 คน เนื่องจากประสบอุบัติเหตุจนไม่สามารถเข้าร่วมโครงการวิจัยต่อได้จำนวน 1 คน ดังนั้นมีกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 19 คน

4. บันทึกข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย ความดันเลือด และอัตราการเต้นหัวใจขณะพัก

5. ทำการทดสอบก่อนการทดลอง (Pre-tests) โดยตัวแปรที่ทำการทดสอบมี ดังนี้

5.1 วัดองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition) ได้แก่ น้ำหนักตัว มวลไขมัน มวลที่ปราศจากไขมัน มวลกล้ามเนื้อ และไขมันในช่องท้อง โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยถอดรองเท้ายืนบนเครื่องนานประมาณ 5 นาที (Seca mBCA, Germany)

5.2 วัดความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (1 Repetitive Maximum, 1RM) ด้วยเครื่อง Stationary machine ในท่า Knee extension (Nautilus One™ S6LE, USA) และ Knee flexion (Nautilus EVOTM S9LCP, USA) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงใน 2 ท่าดังกล่าว ด้วยวิธีการทางอ้อมและทำนายค่า 1RM จากสมการ $1RM = \text{weight lift} / 1.0278 - (0.0278 \times \text{reps})$ (Brzycki, 1988) ใช้เวลาประมาณ 20 นาที

5.3 วัดความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance) ด้วยเครื่อง Stationary machine ในท่า Knee extension และ Knee flexion โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยออกแรงใน 2 ท่าดังกล่าว ที่น้ำหนัก 40% 1RM ทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จนกว่าแรงจะลดลง 60% ของค่าเริ่มต้น แล้วบันทึกจำนวนครั้งที่สามารถทำได้ ใช้เวลาประมาณ 20 นาที

5.4 วัดพลังของกล้ามเนื้อ (Muscle power) ด้วยเครื่องวัดระยะการกระโดดสูง (Yardstick) ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนในท่าเริ่มต้นแล้วย่อเข้ากระโดดขึ้นให้สูงที่สุดโดยใช้มือปิดกั้นบอกระยะความสูง ทำการทดสอบ 2 ครั้ง บันทึกค่าที่กระโดดได้สูงสุด และนำค่าที่กระโดดได้สูงสุดนำมาลบกับค่าที่ยืนยกแขนปิดกั้นบอกระยะความสูง (Swift Yardstick Vertical Jump, Australia)

5.5 วัดสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\dot{V}O_{2max}$) แบบวิธีทางอ้อมด้วยการปั่นจักรยานวัดงานตามวิธีการของ Astrand-rhyming ภายใต้การดูแลของผู้วิจัย ซึ่งจะควบคุมตลอดการประเมิน ใช้เวลาประมาณ 15 นาที (Monark 828E, Sweden)

6. กลุ่มทดลอง (Hypoxic group) ทำการฝึกออกกำลังกายด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบาง โดยใช้โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยแรงต้านจำนวน 2 ท่า ได้แก่ Knee extension และ Knee flexion ที่ 50% 1RM ฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ การฝึกในแต่ละครั้งประกอบด้วย 3 เซต ๆ ละ 15 ครั้ง พักระหว่างเซต 1 นาที และมีเวลาพักก่อนการฝึกทำถัดไป 1 นาที ร่วมกับเครื่องจำลองภาวะอากาศบนที่สูง (Hypoxicator: Altitude Training Systems-Hypoxic Unit, Australia) และปรับระดับความเข้มข้นของออกซิเจนอยู่ที่ 15.8% ($F_{I}O_2=15.8\%$) เทียบเท่ากับความสูง 2,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ตลอดช่วงการฝึกจะวัดค่าความ

อิ่มตัวออกซิเจนในฮีโมโกลบินจากปลายนิ้ว (SpO_2) และค่าอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) ด้วยเครื่อง Pulse oximeter (Beurer medical PO30, Germany) และจะถูกบันทึกตลอดช่วงของการทดสอบและการฝึก

7. กลุ่มควบคุม (Normoxic group) ทำการฝึกออกกำลังกายด้วยแรงต้านต่ำในภาวะออกซิเจนปกติ โดยใช้โปรแกรมการออกกำลังกายด้วยแรงต้านจำนวน 2 ท่า ได้แก่ Knee extension และ Knee flexion ที่ 50% 1RM ฝึก 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ การฝึกในแต่ละครั้งประกอบด้วย 3 เซต ๆ ละ 15 ครั้ง พักระหว่างเซต 1 นาที และมีเวลาพักก่อนการฝึกทำถัดไป 1 นาที โดยหายใจด้วยอากาศปกติ ณ อุณหภูมิห้อง (Normal ambient room air; $F_{I}O_2=20.9\%$) เทียบเท่ากับความสูงระดับน้ำทะเล ตลอดช่วงการฝึกจะวัดค่าความอิ่มตัวออกซิเจนในฮีโมโกลบินจากปลายนิ้ว และค่าอัตราการเต้นของหัวใจ ด้วยเครื่อง Pulse oximeter และจะถูกบันทึกตลอดช่วงของการทดสอบและการฝึก

8. ทำการทดสอบหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 (Post-tests) เช่นเดียวกับการทดสอบก่อนการทดลอง (Pre-tests) และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติดังแสดงในรูปที่ 1

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลด้วยสถิติ Shapiro-Wilk Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล (IBM SPSS Statistics 23)

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรระหว่างก่อนการทดลองและหลังการทดลองภายในกลุ่มโดยทดสอบค่าที่แบบรายคู่ (Paired t-test)

3. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปร ระหว่างกลุ่มทั้งก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ด้วยการทดสอบค่าที่แบบอิสระ (Independent t-test) ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

ผลการวิจัย

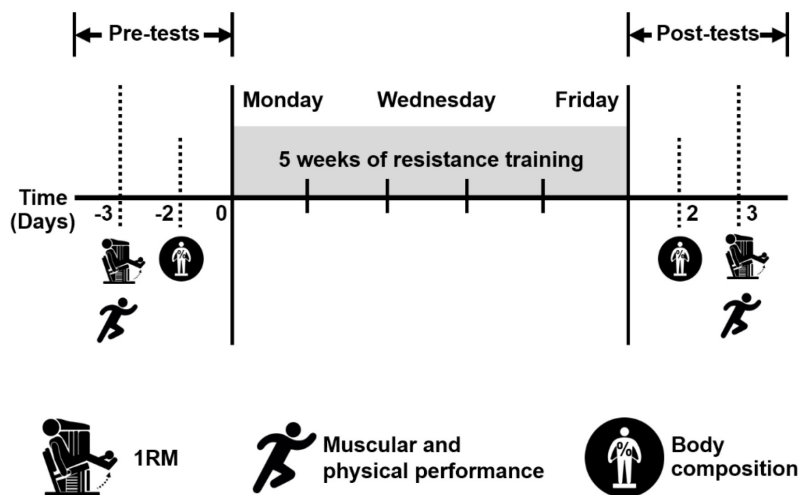
จากตารางที่ 1 พบว่า ก่อนการฝึกด้วยแรงต้าน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ค่าความอึดตัวออกซิเจนในฮีโมโกลบินจากปลายนิ้ว ความดันเลือดขณะหัวใจบีบตัวขณะพัก และความดันเลือดขณะหัวใจคลายตัวขณะพักของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากรูปที่ 2 พบว่า กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนการฝึก เท่ากับ 68.67 ± 5.05 ครั้งต่อนาที และ 66.90 ± 6.21 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ เมื่อทำเปรียบเทียบ

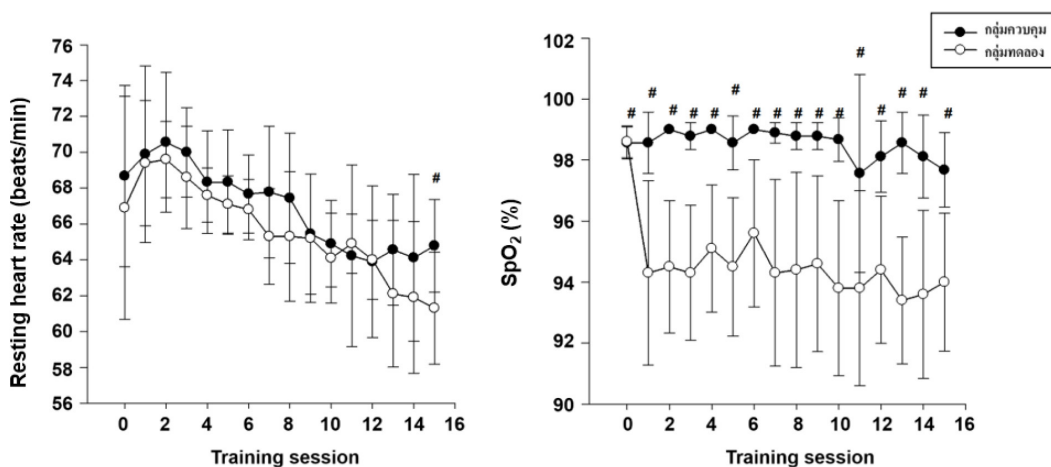
ความแตกต่าง โดยการทดสอบค่าที่ พบว่า ก่อนการฝึกกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก่อนการฝึกในแต่ละวันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างไรก็ตามในการฝึกครั้งที่ 15 กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักหลังการฝึกลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขณะที่ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการฝึกทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองในวันที่ 1-15 ส่วนค่าเฉลี่ยค่าความอึดตัวออกซิเจนในฮีโมโกลบินจากปลายนิ้ว ก่อนการฝึกในแต่ละวันของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองเท่ากับ $98.56 \pm 0.53\%$ และ $98.60 \pm 0.52\%$ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยการทดสอบค่าที่ พบว่า ก่อนการฝึกและหลังการฝึกในเซตที่ 6 ของแต่ละวันของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

ข้อมูลพื้นฐาน	กลุ่มควบคุม (n = 9)	กลุ่มทดลอง (n = 10)
อายุ (ปี)	20.00 ± 1.12	20.00 ± 1.05
น้ำหนักตัว (กก.)	61.87 ± 6.29	58.29 ± 9.18
ส่วนสูง (ซม.)	165.33 ± 3.84	163.40 ± 5.91
ดัชนีมวลกาย (กก./ตร.ม.)	22.66 ± 2.54	21.82 ± 3.04
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	68.67 ± 5.05	66.90 ± 6.21
ค่าความอึดตัวออกซิเจนในฮีโมโกลบินจากปลายนิ้ว (%)	98.56 ± 0.53	98.60 ± 0.52
ความดันเลือดขณะหัวใจบีบตัวขณะพัก (มม.ปรอท)	121.78 ± 9.95	124.80 ± 8.73
ความดันเลือดขณะหัวใจคลายตัวขณะพัก (มม.ปรอท)	74.67 ± 10.84	71.80 ± 6.73



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการฝึกและการทดสอบ



รูปที่ 2 แสดงค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Resting heart rate) และค่าความอิ่มตัวออกซิเจนในฮีโมโกลบินจากปลายนิ้ว (SpO₂) ก่อนการฝึกและหลังการฝึกในเซตที่ 6 ของแต่ละวัน, #p < .05 แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรองค์ประกอบของร่างกาย ก่อนและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

ตัวแปร	กลุ่มควบคุม (n = 9)			กลุ่มทดลอง (n = 10)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	% การเปลี่ยนแปลง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	% การเปลี่ยนแปลง
องค์ประกอบของร่างกาย						
น้ำหนักตัว (กก.)	61.87 ± 6.29	61.41 ± 6.73	-0.73 ± 1.10	58.29 ± 9.18	57.84 ± 8.66	-0.78 ± 1.64
มวลไขมัน (%)	30.10 ± 4.68	29.77 ± 4.75	-1.11 ± 3.23	27.86 ± 4.95	26.89 ± 4.43	-3.48 ± 2.91*
มวลที่ปราศจากไขมัน (กก.)	42.99 ± 2.00	43.45 ± 2.51	1.06 ± 2.71	41.73 ± 4.28	42.70 ± 4.36	2.34 ± 3.16*
มวลกล้ามเนื้อ (กก.)	19.63 ± 1.12	20.10 ± 1.26	2.38 ± 2.63*	18.38 ± 2.70	18.90 ± 2.65	2.83 ± 3.07*
ไขมันในช่องท้อง (ล.)	1.22 ± 0.29	1.26 ± 0.27	2.73 ± 9.18	1.12 ± 0.21	1.15 ± 0.18	2.68 ± 7.49

*p < .05 แตกต่างจากก่อนการทดลอง

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ ความสูงการกระโดดในแนวตั้ง และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนและหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

ตัวแปร	กลุ่มควบคุม (n = 9)			กลุ่มทดลอง (n = 10)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	% การเปลี่ยนแปลง	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	% การเปลี่ยนแปลง
ความเร็วแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ (1RM)						
ท่า Knee extension (กก.)	91.69 ± 5.91	96.27 ± 5.48	5.00 ± 2.05 [*]	86.69 ± 17.46	95.02 ± 14.48	9.62 ± 7.55 [*]
ท่า Knee flexion (กก.)	58.35 ± 4.36	63.35 ± 3.09	8.56 ± 6.77 [*]	54.17 ± 7.50	65.48 ± 10.27	20.88 ± 5.22 ^{*#}
ความอดทนของกล้ามเนื้อ						
(Number of repetitions)						
ท่า Knee extension (ครั้ง)	46.25 ± 3.62	59.13 ± 6.64	27.84 ± 9.95 [*]	41.88 ± 5.22	54.13 ± 6.36	29.25 ± 10.30 [*]
ท่า Knee flexion (ครั้ง)	43.00 ± 8.79	58.63 ± 12.63	36.34 ± 8.79 [*]	40.13 ± 9.08	56.25 ± 9.29	40.19 ± 20.57 [*]
ความเร็วสูงการกระโดดในแนวตั้ง (ซม.)	33.22 ± 3.15	33.78 ± 2.86	1.67 ± 1.70 [*]	33.80 ± 3.33	35.10 ± 3.14	3.85 ± 2.58 ^{*#}
สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มล./กก./นาที)	31.82 ± 0.92	32.84 ± 0.88	3.21 ± 0.75 [*]	31.35 ± 1.17	32.58 ± 0.98	3.92 ± 1.35 [*]

*p < .05 แตกต่างจากก่อนการทดลอง

#p < .05 แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบร่างกายก่อนและหลังการฝึก 5 สัปดาห์ พบว่า กลุ่มทดลองมีค่าร้อยละมวลไขมัน และมวลที่ปราศจากไขมันดีขึ้น แตกต่างจากก่อนฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่า ทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีค่ามวลกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น แตกต่างจากก่อนฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างไรก็ตามหลังจากการฝึก 5 สัปดาห์ พบว่า ทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าน้ำหนักตัวร้อยละมวลไขมัน มวลที่ปราศจากไขมัน มวลกล้ามเนื้อ และไขมันในช่องท้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ ความสูงการกระโดดในแนวตั้ง และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ก่อนและหลังการฝึก 5 สัปดาห์ พบว่า ทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อ ความอดทนของกล้ามเนื้อ ความสูงการกระโดดในแนวตั้ง และสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด แตกต่างจากก่อนฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยการทดสอบค่าที พบว่า ก่อนการฝึก 5 สัปดาห์ กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อในท่า Knee flexion และความสูงการกระโดดในแนวตั้ง ไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อย่างไรก็ตามหลังจากการฝึก 5 สัปดาห์ กลุ่มทดลองมีค่าความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อในท่า Knee flexion แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังพบว่า ความสูงการกระโดดในแนวตั้งของกลุ่มทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ พบว่าการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลาง ($F_{I}O_2 = 15.8\%$) สามารถช่วยลดปริมาณไขมันในร่างกายและเพิ่มมวลที่ปราศจากไขมันได้ อาจจะเนื่องมาจากการฝึกด้วยแรงต้านส่งผลให้กล้ามเนื้อออกแรงทำงานมากกว่าภาวะปกติ เพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานในกล้ามเนื้อมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของโดโฟว์และคณะ (Dufour et al., 2006) ได้ทำการศึกษารูปแบบของการฝึกบนที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลของนักกีฬาประเภทอดทน พบว่าการเผาผลาญพลังงานเพิ่มขึ้นและเมื่อฝึกต่อเนื่องหลายสัปดาห์จะทำให้ปริมาณของไมโตรคอนเดรียเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการนำไขมันไปใช้ในการสันดาปเป็นพลังงาน นอกจากนี้คอร์นและคณะ (Kon et al., 2014) ได้รายงานการลดลงของมวลไขมันและการเพิ่มขึ้นของมวลที่ปราศจากไขมันในร่างกายหลังจากการฝึกด้วยแรงต้าน 8 สัปดาห์ ทั้งในกลุ่มฝึกภายใต้ภาวะออกซิเจน เบาบาง ($F_{I}O_2 = 14.4\%$) และกลุ่มฝึกภายใต้ภาวะออกซิเจนปกติ ($F_{I}O_2 = 20.9\%$) เช่นเดียวกันกับการศึกษาของยาร์นและคณะ (Yan et al., 2016) พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของมวลที่ปราศจากไขมันในกลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางที่ระดับ $F_{I}O_2 = 12.6\%$ และ ระดับ $F_{I}O_2 = 16.0\%$ หลังจากการฝึกอย่างต่อเนื่อง 5 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเกิดจากการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดในเนื้อเยื่อไขมันได้ผิวหนังเพื่อตอบสนองต่อการออกกำลังกายที่มีความหนักต่ำและจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีความหนักของการออกกำลังกายที่เพิ่มขึ้น (Heinonen et al., 2012) ซึ่งการไหลเวียนของเลือดในเนื้อเยื่อไขมันระหว่างการออกกำลังกายถือเป็นกลไกสำคัญในการเคลื่อนตัวของกรดไขมันอิสระ (Romijn et al., 1993) และนอกจากนี้การศึกษาของ

ทาร์คและคณะ (Tschöp et al., 1998) พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับ Leptin ขณะออกกำลังกายหรืออยู่บนที่สูงจะส่งผลต่อสัญญาณความอึดตัวในการตอบสนองของอาการเบื่ออาหาร และลดความอยากในการรับประทานอาหาร จึงเป็นสาเหตุทำให้ได้รับไขมันจากอาหารน้อยลง ดังนั้นการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลางสามารถกระตุ้นการใช้ไขมันได้เป็นอย่างดี ซึ่งภาวะการขาดออกซิเจนจะกระตุ้นการเผาผลาญพลังงานและสลายเนื้อเยื่อไขมันมาเป็นพลังงานมากขึ้น (Scott et al., 2016; Wiesner et al., 2010) จึงเป็นอีกหนทางเลือกสำหรับนักกีฬาหญิงที่ต้องการลดไขมันร่างกายและเพิ่มมวลที่ปราศจากไขมันได้

การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อภายหลังการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลาง อาจจะเป็นผลมาจากชั้นความหนาของกล้ามเนื้อ (Namboonlue et al., 2020; Kurobe et al., 2015) และขนาดของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้น (Manimmanakorn et al., 2013; Nishimura et al., 2010) นอกจากนี้งานวิจัยก่อนหน้านี้กล่าวว่าผลของการฝึกดังกล่าวอาจเกี่ยวข้องกับการระดมหน่วยยนต์ (Motor unit recruitment) การเพิ่มแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อคือการเพิ่มจำนวนและขนาดของหน่วยยนต์ที่ถูกเรียกระดมพลให้ทำงาน หน่วยยนต์จะตอบสนองสัญญาณที่ถูกส่งมาจากสมอง เมื่อความแรงของสัญญาณประสาทเพิ่มขึ้น จึงกระตุ้นเซลล์ประสาทสั่งการให้ทำงานมากขึ้น ส่งผลให้มีการระดมพลเส้นใยกล้ามเนื้อให้ทำงานเร็วขึ้น และเพิ่มแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อให้มากขึ้นได้ (Gonzalez et al., 2016) ยิ่งไปกว่านั้นภาวะออกซิเจนเบาบางยังมีผลต่อปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยเปลี่ยนจากเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้า (Type I) เป็นเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (Type II) (Scott et al.,

2016) จากผลการวิจัยนี้ภายหลังการฝึก 5 สัปดาห์ ความแข็งแรงสูงสุดของกล้ามเนื้อในท่า Knee flexion เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับรูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบาง เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ สามารถพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ (Namboonlue et al., 2020; Thuwakum et al., 2017; Manimmanakorn et al., 2013) จะเห็นได้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านต่ำ (50% 1RM) ภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลาง ($F_{I}O_2 = 15.8\%$) อาจส่งผลให้มีการปรับตัวเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและพลังของกล้ามเนื้อตามลำดับ

จากการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ พบว่าความสูงการกระโดดในแนวตั้งซึ่งเป็นสมรรถภาพพื้นฐานที่สำคัญในนักกีฬาเกือบทุกชนิด เพิ่มขึ้นในกลุ่มทดลองเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นขนาดของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า (Quadriceps) และต้นขาด้านหลัง (Hamstrings) โดยมีขนาดของเส้นรอบวงของบริเวณต้นขาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความสูงการกระโดดในแนวตั้งเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Manimmanakorn et al., 2013) สอดคล้องกับการศึกษาของฐะคำและคณะ (Thuwakum et al., 2017) ทำการฝึกด้วยแรงต้านต่ำ 30% และ 50% 1RM ร่วมกับภาวะบนที่สูงจำลอง ($F_{I}O_2 = 14.0\%$) สามารถเพิ่มความสูงการกระโดดในแนวตั้งได้ 5.3% และ 4.4% ตามลำดับ ซึ่งการพัฒนาพลังของกล้ามเนื้อมีพื้นฐานมาจากการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทที่ทำให้กล้ามเนื้อมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น จากการใช้เวลาน้อยลงในการระดมหน่วยยนต์ โดยเฉพาะเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว ส่งผลให้มีการพัฒนาการทำงานประสานกันระหว่างกล้ามเนื้อที่ทำงานร่วมกันที่ทำหน้าที่หดตัวออกแรงกับกล้ามเนื้อที่อยู่ตรงข้าม

ซึ่งทำหน้าที่คล้ายตัวเป็นผลทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้แรงและเร็วขึ้น (Hakkinen & Komi, 1983)

โดยภาพรวมการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลางสามารถช่วยลดไขมันในร่างกายและเพิ่มมวลที่ปราศจากไขมันได้ ส่งผลให้มีการพัฒนาทั้งความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ

สรุปผลการวิจัย

การออกกำลังกายด้วยแรงต้านต่ำ (50% 1RM) ภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางระดับปานกลาง ($F_{I}O_2 = 15.8\%$) เป็นเวลาต่อเนื่อง 5 สัปดาห์ มีประสิทธิภาพในการพัฒนาองค์ประกอบของร่างกายเพิ่มความแข็งแรง และพลังของกล้ามเนื้อได้ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการฝึกด้วยแรงต้านที่ช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดการบาดเจ็บได้ อีกทั้งยังช่วยพัฒนาสมรรถภาพกล้ามเนื้อในนักกีฬาหญิงประเภททีมได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อทั้งผู้ฝึกสอนและนักกีฬาในการวางแผนฝึกซ้อมร่วมกันเพื่อให้ประสบความสำเร็จ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ควรเพิ่มระดับความเข้มข้นของออกซิเจนและระยะเวลาในการฝึกให้มากขึ้นเพื่อที่จะได้เห็นผลการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

2. ควรเพิ่มการตรวจวัดสารชีวเคมีในเลือด เช่น ระดับ Growth hormone, Insulin like growth factor (IGF1), ปริมาณเม็ดเลือดแดงและฮีโมโกลบิน (Red blood cell and hemoglobin) และ Blood lactate เป็นต้น เพื่อให้ทราบถึงกลไกต่างๆ ในการปรับตัวภายหลังจากการฝึก

3. อาจนำรูปแบบการฝึกด้วยแรงต้านต่ำภายใต้ภาวะออกซิเจนเบาบางไปใช้กับกลุ่มที่มีภาวะน้ำหนักเกินเพื่อส่งเสริมสุขภาพและลดไขมันในร่างกาย

เอกสารอ้างอิง

- American College of Sports Medicine position stand. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687-708.
- Brzycki, M. (1988). *A practical approach to strength training*. Illinois: Master Press.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Cook, S. B., Scott, B. R., Hayes, K. L., & Murphy, B. G. (2018). Neuromuscular Adaptations to Low-Load Blood Flow Restricted Resistance Training. *Journal of Sports Science & Medicine*, 17, 66-73.
- Dufour, S. P., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Lonsdorfer-Wolf, E., Geny, B., Lampert, E., Flück, M., Hoppeler, H., Billat, V., Mettauer, B., Richard, R., & Lonsdorfer, J. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1238-1248.
- Gonzalez, A. M., Hoffman, J. R., Stout, J. R., Fukuda, D. H., & Willoughby, D. S. (2016). Intramuscular Anabolic Signaling and Endocrine Response Following Resistance Exercise: Implications for Muscle Hypertrophy. *Sports Medicine*, 46(5), 671-685.
- Hakkinen, K., & Komi, P. (1983). Electromyographic changes during strength training

- and detraining. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 15(6), 455-460.
- Heinonen, I., Bucci, M., Kemppainen, J., Knuuti, J., Nuutila, P., Boushel, R., & Kalliokoski, K. K. (2012). Regulation of subcutaneous adipose tissue blood flow during exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 112(6), 1059-1063.
- Hoppeler, H., Vogt, M., Weibel, E. R., & Flück, M. (2003). Response of Skeletal Muscle Mitochondria to Hypoxia. *Experimental Physiology*, 88(1), 109-119.
- Kon, M., Ohiwa, N., Honda, A., Matsubayashi, T., Ikeda, T., Akimoto, T., Suzuki, Y., Hirano, Y., & Russell, A. P. (2014). Effects of systemic hypoxia on human muscular adaptations to resistance exercise training. *Physiological Reports*, 2(6), e12033.
- Kurobe, K., Huang, Z., Nishiwaki, M., Yamamoto, M., Kanehisa, H., & Ogita, F. (2015). Effects of resistance training under hypoxic conditions on muscle hypertrophy and strength. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 35(3), 197-202.
- Manimmanakorn, A., Hamlin, M. J., Ross, J. J., Taylor, R., & Manimmanakorn, N. (2013). Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(4), 337-342.
- Mazzeo, R. S. (2008). Physiological Responses to Exercise at Altitude: An Update. *Sports Medicine*, 38(1), 1-8.
- Namboonlue, C., Hamlin, M. J., Sirasaporn, P., Manimmanakorn, N., Wonnabussapawich, P., Thuwakum, W., Sumethanurakkhakun, W., & Manimmanakorn, A. (2020). Optimal degree of hypoxia combined with low-load resistance training for muscle strength and thickness in athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(2), 828-838.
- Nishimura, A., Sugita, M., Kato, K., Fukuda, A., Sudo, A., & Uchida, A. (2010). Hypoxia Increases Muscle Hypertrophy Induced by Resistance Training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 497-508.
- Powell, K. E., Heath, G. W., Kresnow, M.-J., Sacks, J. J., & Branche, C. M. (1998). Injury rates from walking, gardening, weightlifting, outdoor bicycling, and aerobics: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(8), 1246-1249.
- Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., & Wolfe, R. R. (1993). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 265(3), E380-E391.

- Scott, B. R., Goods, P. S. R., & Slattery, K. M. (2016). High-Intensity Exercise in Hypoxia: Is Increased Reliance on Anaerobic Metabolism Important? *Frontiers in Physiology*, 7, 1-4.
- Thuwakum, W., Hamlin, M. J., Manimmanakorn, N., Leelayuwat, N., Wonnabussapawich, P., Boobpachatt, D., & Manimmanakorn, A. (2017). Low-load resistance training with hypoxia mimics traditional strength training in team sport athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 17(1), 240-247.
- Tschöp, M., Strasburger, C. J., Hartmann, G., Biollaz, J., & Bärtsch, P. (1998). Raised leptin concentrations at high altitude associated with loss of appetite. *Lancet*, 312, 1119-1120.
- Wernbom, M., Augustsson, J., & Raastad, T. (2008). Ischemic strength training: A low-load alternative to heavy resistance exercise?: Ischemic strength training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(4), 401-416.
- West, J. B. (1996). Prediction of barometric pressures at high altitudes with the use of model atmospheres. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1850-1854.
- Wiesner, S., Haufe, S., Engeli, S., Mutschler, H., Haas, U., Luft, F. C., & Jordan, J. (2010). Influences of Normobaric Hypoxia Training on Physical Fitness and Metabolic Risk Markers in Overweight to Obese Subjects. *Obesity*, 18(1), 116-120.
- Yan, B., Lai, X., Yi, L., Wang, Y., & Hu, Y. (2016). Effects of Five-Week Resistance Training in Hypoxia on Hormones and Muscle Strength: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(1), 184-193.