บทฟื้นฟูวิชาการ . Review Article

การประยุกต์ใช้การฝึกออกกำลังกายบนพื้นที่สูงในกลุ่มบุคคลที่มีสุขภาพดี นักกีฬาและผู้ป่วย

อภิวันท์ มนิมนากร[1*], วรวุฒิ ธุวะคำ[2]

[1]*ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

[2]*สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์*

Application of Altitude Training in Healthy Subjects, Athletes, and Some Patients

Apiwan Manimmanakorn[1,2*], Worrawut Thuwakum[2]

[1]*Department of Physiology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University*

[2]*Department of Sport Science, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University*

[3]*Exercise and Sport Sciences Program, Graduate School, Khon Kaen University*

Received: 2 August 2020 / Edit: 4 August 2021 / Accepted: 5 November 2021

ประชากรส่วนใหญ่ตั้งบ้านเรือนอาศัยอยู่บนพื้นที่ราบที่มีความสูงใกล้เคียงระดับน้ำทะเลซึ่งมีความดันบรรยากาศและความเข้มข้นของออกซิเจนพอเหมาะกับการทำงานของร่างกายมนุษย์ บนพื้นที่สูงปริมาตรอากาศต่าง ๆ จะขยายตัวเนื่องจากความดันบรรยากาศลดลงจึงส่งผลให้ความเข้มข้นของออกซิเจนลดลงและสมรรถภาพทางกายลดลงด้วย นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 1968 การแข่งขันกีฬาโอลิมปิกได้จัดขึ้นที่ประเทศเมกซิโกซึ่งตั้งอยู่บนพื้นที่สูงเหนือระดับน้ำทะเล 2,300 เมตร การแข่งขันครั้งนี้ทำให้ในแวดวงวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬามีความสนใจมากขึ้นเกี่ยวกับผลของการฝึกซ้อมบนพื้นที่สูงเพื่อเพิ่มสมรรถภาพในนักกีฬาเมื่อกลับมาสู่พื้นที่ราบใกล้ระดับน้ำทะเล เนื่องจากในเวลานั้นพบว่านักกีฬาประเภททนทานจากประเทศที่อยู่บนพื้นที่สูง ได้แก่ ประเทศเคนย่า และเอธิโอเปียได้รับเหรียญรางวัลมากกว่าเมื่อเทียบกับประเทศที่มีที่ตั้งอยู่พื้นที่ราบใกล้ระดับน้ำทะเล โดยตลอดหลายปีที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์การกีฬาได้พยายามหาคำตอบเกี่ยวกับการฝึกบนพื้นที่สูงว่ามีผลต่อการทำงานของร่างกายอย่างไรและผลกระทบดังกล่าวส่งผลต่อสมรรถภาพของนักกีฬาหรือไม่ อย่างไร แต่เนื่องด้วยการฝึกซ้อมอาจมีข้อจำกัดอันเกิดจากการเดินทางขึ้นไปฝึกบนพื้นที่สูงจริงในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์จึงได้คิดค้นเครื่องจำลองบรรยากาศบนที่สูงขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดดังกล่าวในบทความนี้จะกล่าวถึงความรู้ความเข้าใจในปัจจุบันเกี่ยวกับการปรับตัวทางสรีรวิทยาต่อการฝึกบนพื้นที่สูงจริงและในสภาวะจำลอง ซึ่งเป็นกลยุทธใหม่ที่ได้ถูกนำมาใช้และศึกษาวิจัยในการเพิ่มสมรรถภาพและส่งเสริมสุขภาพในประชากรหลายๆกลุ่มที่มีระดับสมรรถภาพทางกายแตกต่างกัน เช่น กลุ่มนักกีฬา คนสุขภาพดีทั่วไป ตลอดจนในผู้ป่วยโรคเรื้อรังต่าง ๆ ในบทความ

Although most of the world's population live at or near sea level which has optimal atmospheric pressure and oxygen concentration for the human body function, some people habitat on a high plateau or mountain located in different parts of the world. At altitude, the air volume expands due to the lowering of atmospheric pressure, which eventually results in the reduction of oxygen concentration. According to 1968 Olympic Games which was held in Mexico City (located at 2,300 m above sea level), only endurance athletes from high altitude countries like Kenya and Ethiopia who showed superior performance with higher number of Olympic medal winners when compared to sea level countries. Since then, the exercise and sports scientist have shown increased interests in the use of altitude training to improve sea level performance in athletes. Many sport scientists have tried to answer the question why and how altitude affects the human body in an attempt to gain more knowledge about the use of altitude training for performance enhancement. As a result, the simulated altitude devices have been developed in order to avoid the inconvenience of real altitude sojourns. This article describes the current understanding of physiological adaptations to both real and simulated altitude training studies. Several approaches have been developed and used to

*Corresponding author : Apiwan Manimmanakorn, Department of Physiology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University. E-mail: mapiwa@kku.ac.th

นี้จะกล่าวถึงการฝึกบนที่สูงรูปแบบใหม่ซึ่งอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการเตรียมนักกีฬาสำหรับการแข่งขัน ในการส่งเสริมสุขภาพสำหรับคนทั่วไป รวมทั้งการป้องกันและรักษาโรคเรื้อรังบางอย่าง

คำสำคัญ: พื้นที่สูง; ขาดออกซิเจน; การฝึก; สมรรถนะ

improve performance or health in different groups of subjects such as athletes, healthy, and patients. In this review, a new altitude training modality has been introduced and may be used as an alternative strategy to prepare athletes for competitions, to improve health in general people and also to prevent or treat in some diseases.

Keyword: altitude; hypoxia; training; performance

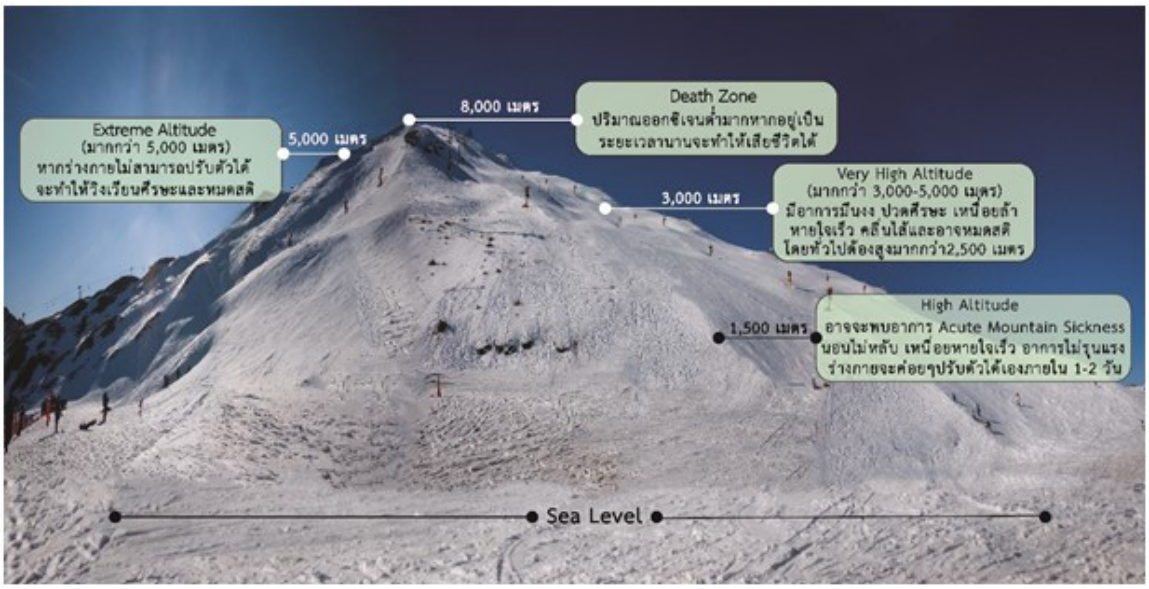
ศรีนครินทร์เวชสาร 2564; 36(6): 761-768. ● Srinagarind Med J 2021; 36(6): 761-768.

บทนำ

ประชากรส่วนใหญ่ของโลกมักจะตั้งบ้านเรือนอาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ราบใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเล เรียกว่า พื้นที่ราบ ซึ่งมีความดันบรรยากาศและความเข้มข้นของออกซิเจนที่พอเหมาะกับการทำงานของร่างกาย อย่างไรก็ดีมีประชากรอีกบางส่วนที่ตั้งบ้านเรือนอยู่ในพื้นที่บนภูเขาหรือที่ราบสูงเหนือระดับน้ำทะเล เรียกว่า พื้นที่สูง ซึ่งเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความดันบรรยากาศลดลงเรื่อยๆ นั่นคือความดันย่อยของก๊าซทุกชนิดในบรรยากาศจะลดลงด้วย รวมทั้งก๊าซออกซิเจนที่มีความสำคัญกับการทำงานของเซลล์ในร่างกาย โดยการศึกษาวิจัยทางด้านสรีรวิทยาเมื่ออยู่ในสภาวะที่สูงหรืออากาศเบาบาง (aviation physiology) จะมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองและการปรับตัวของระบบต่าง ๆ ของร่างกายต่อภาวะพร่องออกซิเจน หรือขาดออกซิเจน (hypoxia) ในปี ค.ศ.1880 แองเจโล มอสโล นักสรีรวิทยา ชาวอิตาลีเป็นคนแรกที่ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบทางสรีรวิทยาของร่างกายมนุษย์ต่อสภาวะอากาศบนที่สูง ต่อมาในปี ค.ศ.1968 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับที่สูงได้รับความสนใจมากขึ้น ทั้งในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์และผู้ฝึกสอนกีฬา เนื่องจากในปีดังกล่าวมีการจัดการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกขึ้นที่เมืองเม็กซิโก ซึ่งมีที่ตั้งอยู่บนที่สูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 2,300 เมตร (7,544 ฟุต) นักวิทยาศาสตร์สังเกตเห็นว่านักกีฬาส่วนใหญ่ที่มาจากประเทศที่มีภูมิประเทศใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเลเมื่อมาทำการแข่งขันที่ประเทศที่ตั้งอยู่บนพื้นที่สูง มักจะประสบปัญหากับภาวะอากาศเบาบาง ส่งผลต่อสมรรถภาพร่างกายและโอกาสของการได้รับเหรียญรางวัลน้อยลง ในทางตรงกันข้ามนักกีฬาที่มาจากประเทศที่มีที่ตั้งอยู่บนพื้นที่สูง เช่น เคนยา และเอธิโอเปีย กลับได้รับชัยชนะมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กีฬาประเภทวิ่งระยะกลางและระยะไกล สำหรับนักกีฬาที่มาจากประเทศพื้นราบทั่ว ๆ ไป มักจะทำเวลาในการวิ่งไม่ดีเท่ากับเวลาที่เคยทำได้เมื่อแข่งขันอยู่พื้นที่ราบ ตั้งแต่นั้นเป็นต้นมานักวิทยาศาสตร์จึงเริ่มมีความสนใจในการทำวิจัยเพื่อตอบคำถามต่างๆ เกี่ยวกับผลกระทบของการอยู่บนที่สูง เช่น การอยู่บนที่สูงมีผลต่อร่างกายและสมรรถภาพทางกายอย่างไรบ้าง รวมทั้งระยะเวลาที่อาศัยอยู่บนที่สูงนานเท่าใด ถึงจะส่งผลดีต่อร่างกายมากที่สุด นอกจากนี้คำถามที่นักวิทยาศาสตร์สนใจก็คือ การนำนักกีฬาขึ้นไปฝึกซ้อมและอาศัยอยู่บนที่สูงชั่วคราว จะสามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกายเมื่อเดินทางกลับลงมายังพื้นราบเพื่อการแข่งขันได้หรือไม่

ในการศึกษาผลของการอยู่บนที่สูงต่อการตอบสนองของร่างกายมนุษย์ ในปี ค.ศ.1878 นักวิทยาศาสตร์ ชื่อ พอล เบิร์ท ได้เขียนหนังสือเกี่ยวกับเรื่องนี้ขึ้นเป็นครั้งแรก โดยรายงานว่าการขึ้นไปอยู่บนที่สูงเป็นสาเหตุให้ร่างกายอยู่ในภาวะขาดออกซิเจน (hypoxia) และการอยู่ในภาวะนี้ เป็นผลเนื่องมาจากการลดลงของความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure)[1] อย่างไรก็ตามการอยู่ในภาวะพร่องออกซิเจนในอากาศ หรือร่างกายอยู่ในภาวะขาดออกซิเจนเป็นเวลานาน อาจจะทำให้เกิดอาการต่าง ๆ เช่น มึนงง เวียนศีรษะ อาจถึงขั้นหมดสติ สมองขาดออกซิเจนทำให้เกิดความพิการ และอาจเสียชีวิตได้ ไม่ว่าจะในเด็กหรือผู้ใหญ่ ยิ่งเดินทางขึ้นไปสูงกว่าระดับน้ำทะเลเท่าใด ระดับของออกซิเจนจะลดลงเรื่อย ๆ (รูปที่ 1 และตารางที่ 1)[2] ดังนั้นนักไต่เขาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเรียนรู้ภาวะขาดออกซิเจนของร่างกายว่าอาการเริ่มต้นเป็นอย่างไร และจะต้องรีบแก้ไขเร่งด่วนเพียงใด เพราะมิฉะนั้นอาจทำให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ นักไต่เขาจึงต้องมีความรู้ว่าความสูงระดับใดจำเป็นจะต้องนำถังออกซิเจนไปด้วย นอกจากนี้การตอบสนองของร่างกายต่อภาวะขาดออกซิเจนของแต่ละบุคคลอาจจะไม่เท่ากัน เช่น บางคนขึ้นไปบนพื้นที่สูงเพียงเล็กน้อยประมาณ 1,500 เมตร ก็จะมีอาการปวดศีรษะ วิงเวียน อ่อนเพลีย และนอนไม่หลับ เรียกอาการนี้ว่า เมาที่สูง (acute mountain sickness: AMS) แต่บางคนอาจจะมีอาการที่ความสูง 3,000 เมตร หรือบางคนอาจจะไม่มีอาการเหล่านี้เลยก็ได้

สำหรับการอยู่ในภาวะขาดออกซิเจนเล็กน้อยเป็นระยะเวลาสั้น ๆ เพียงไม่กี่นาทีหรือชั่วคราว ร่างกายจะเกิดการปรับตัวทำให้สภาพร่างกายมีความทนทานมากขึ้น แต่จะมีการปรับตัวได้มากน้อยเพียงใดนั้นยังไม่มีความชัดเจน การอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีอากาศเบาบาง เช่น การขึ้นไปอยู่บนภูเขา ซึ่งมีความดันย่อยของก๊าซออกซิเจนรวมทั้งอากาศชนิดอื่น ๆ ในบรรยากาศลดลงเรื่อย ๆ ตามความสูงที่เพิ่มขึ้น การลดลงของก๊าซออกซิเจนบนที่สูงจะส่งผลให้ออกซิเจนที่เข้าสู่ปอดได้ลดลง หรือความดันย่อยของออกซิเจนในปอด (partial pressure of oxygen in lungs) ลดลง ส่งผลให้ความดันย่อยของออกซิเจนในกระแสเลือด (partial pressure of oxygen in blood) ลดลงด้วย[3] การอยู่ในสภาวะขาดออกซิเจนระดับน้อย ๆ (แต่ไม่ถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย) เป็นระยะเวลานานมากพอจะ



รูปที่ 1 ผลของความสูงเหนือระดับน้ำทะเลต่อการตอบสนองของร่างกาย

ส่งผลต่อการปรับตัวของร่างกาย ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบการทำงานต่าง ๆของร่างกาย เช่น มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดเลือดแดงทำให้การขนส่งออกซิเจนของร่างกายดีขึ้น จึงส่งผลให้สมรรถภาพทางกายดีขึ้น[4] ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว สามารถอธิบายได้ดังนี้ การลดลงของออกซิเจนในอากาศ (PIO_2) และออกซิเจนในปอด (PAO_2) ทำให้ออกซิเจนในกระแสเลือด (PaO_2) ที่จะไหลเข้าสู่ไตลดลงด้วย ไตจึงมีการสร้างฮอร์โมน erythropoietin (EPO) ซึ่งมีฤทธิ์ในการกระตุ้นไขกระดูก (bone marrow) ให้เพิ่มการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง (red blood cell) มากขึ้น เรียกกระบวนการนี้ว่า erythropoiesis การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาดังกล่าวส่งผลให้เลือดจับกับออกซิเจนได้มากขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อได้รับออกซิเจนได้ดีขึ้นในขณะออกกำลังกาย ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจน (aerobic metabolism) ของเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายรวมทั้งกล้ามเนื้อด้วย[5] ด้วยเหตุนี้การฝึกบนที่สูงหรือ altitude training จึงเป็นที่สนใจของผู้ฝึกสอนกีฬา (coaches) และนักวิทยาศาสตร์การกีฬา (sport scientists) ในการเสริมสร้างสมรรถนะให้นักกีฬาโดยการเพิ่มปริมาณเม็ดเลือดแดงโดยการกระตุ้นด้วยวิธีธรรมชาติหรือเรียกว่า natural blood doping ซึ่งไม่ใช่การให้เลือดเข้าสู่ร่างกายนักกีฬาโดยตรง และถือว่าเป็นการกระทำที่ไม่ผิดกฎขององค์กรต่อต้านการใช้สารต้องห้ามโลก (World Anti-Doping Agency, WADA)

รูปแบบการฝึกบนพื้นที่สูง

โดยทั่วไปการแข่งขันกีฬาส่วนใหญ่มักจะจัดขึ้นที่เมืองใหญ่ ๆ ซึ่งเป็นพื้นที่ราบ ที่ผ่านมานักวิทยาศาสตร์การกีฬาได้พยายามศึกษาค้นคว้าหาวิธีการฝึกบนพื้นที่สูงที่จะให้ประโยชน์ต่อนักกีฬามากที่สุด และส่งผลต่อสมรรถภาพร่างกายให้คงอยู่นานที่สุดแม้เมื่อเดินทางกลับมายังพื้นที่ราบแล้วมาทำการแข่งขัน โดยในปัจจุบัน วิธีการหรือรูปแบบการฝึกบนที่สูงสามารถจำแนกได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) การอาศัยอยู่บนพื้นที่สูงและฝึกซ้อมบนพื้นที่สูง (live high-train high: LHTH) 2) การอาศัยอยู่บนพื้นที่สูงแต่ฝึกซ้อมพื้นที่ราบ (live high-train low: LHTL) 3) การอาศัยอยู่ที่พื้นที่ราบแต่ฝึกซ้อมบนพื้นที่สูง (live low-train high: LLTH) และ 4) แบบปกติทั่วไป คือการอาศัยและฝึกซ้อมที่พื้นราบ (live low-train low: LLTL) ซึ่งจากการศึกษาเปรียบเทียบการฝึกทั้ง 4 รูปแบบ พบว่า LHTL เป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด[6]

จากการศึกษาผลของ LHTL ที่มีต่อค่าตัวแปรสารชีวเคมีในเลือด Levine and Stray-Gundersen (1997) พบว่าเซลล์เม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น 5% และ hemoglobin เพิ่มขึ้น 9% ต่อมาในปี ค.ศ. 2001 พวกเขายังพบอีกว่า erythropoietin (EPO) เพิ่มขึ้นถึง 92% ภายหลังจากการฝึกซ้อมแบบ LHTL อย่างไรก็ตามผลจากการศึกษาโดยนักวิจัยหลายประเทศพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรของสารชีวเคมีในเลือดดังกล่าวข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[7] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยที่พบว่าการฝึกบนที่สูงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ออกซิเจน (power per unit of VO_2) หรือ exercise economy ได้ ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ผู้ฝึกมีสมรรถภาพที่ดีขึ้นมากกว่าเหตุผลของการเพิ่มขึ้นของ hemoglobin[8] ปัจจุบันถึงแม้ว่าจะพบข้อดีของการไปฝึกบนที่สูงต่อสมรรถภาพที่ดีขึ้นของนักกีฬา อย่างไรก็ตามกลไกหรือเหตุผลที่ใช้อธิบายการพัฒนาและการปรับตัวของร่างกายยังไม่ทราบแน่ชัด และคงมีการศึกษาต่อไป เช่น การขึ้นไปอยู่บนพื้นที่ สูงมากเพียงใด และ ระยะเวลา นานเท่าใด (hypoxic dose) จึงจะให้ผลดีที่สุด นั่นคือมีสมรรถภาพทางกายเพิ่มขึ้นมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับ ชนิด (type) ความหนัก (intensity) ของการออกกำลังกาย ที่ใช้ฝึกบนพื้นที่สูงด้วย รวมทั้งความแตกต่างระหว่างบุคคล (inter-individual variability) ซึ่งเชื่อว่าน่าจะมีอิทธิพลต่อประสิทธิผลของการฝึกบนที่สูงด้วย

การนำนักกีฬาขึ้นไปฝึกบนพื้นที่สูงนั้น นอกจากสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและเวลาในการเดินทางแล้ว ยังเกิดความไม่สะดวกต่าง ๆ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการฝึกซ้อมได้รวมทั้งสุขภาพของนักกีฬาด้วย ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์จึงได้คิดค้น

ตารางที่ 1 ร้อยละของออกซิเจน (% Oxygen) และความดันย่อยของออกซิเจน (Partial Pressure of Oxygen) ที่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล

Altitude (Meters)	Effective Oxygen (%)	Partial Pressure Oxygen (PO_2: mmHg)	
Sea Level	20.90	158.8	
580	19.50	148.2	
1200	18.10	137.6	
1560	17.30	131.5	Low altitude
2050	16.30	123.9	
2660	15.10	114.8	
2760	14.90	113.2	Moderate altitude
2870	14.70	111.7	
3890	12.90	98.0	
4500	11.90	90.4	High altitude
5160	10.90	82.8	
5580	10.30	78.3	
6640	8.90	67.6	Extreme altitude
7310	8.10	61.6	
8040	7.30	55.5	

หาวิธีการใหม่ ๆ ในการฝึกซ้อมที่มีประสิทธิภาพกว่า ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา จึงมีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือขึ้นมาใช้ทดแทนการนำนักกีฬาขึ้นไปฝึกบนพื้นที่สูง เช่น เครื่องจำลองบรรยากาศบนพื้นที่สูง ทั้งแบบห้อง (altitude room or chamber), แบบเต้นท์ (tent) และแบบหน้ากาก (hypoxicator) ซึ่งปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในวงการกีฬาและทางด้านการแพทย์ในต่างประเทศ แต่สำหรับประเทศไทยยังมีการนำมาใช้น้อยมาก อาจเนื่องมาจากประเทศไทยยังไม่มีค่ายฝึกนักกีฬาบนพื้นที่สูง (altitude camp) ซึ่งต้องใช้ความสูงมากพอที่จะทำให้ร่างกายเกิดการปรับตัวทางสรีรวิทยา (physiological adaptation) ได้ ซึ่งควรต้องมีความสูงของภูเขาตั้งแต่ 2,000-3,000 เมตร ขึ้นไป แต่ประเทศไทยยังมีไม่มากนัก

ความแตกต่างระหว่างบุคคล (Inter-individual variability)

การฝึกบนที่สูงได้ถูกนำมาใช้พัฒนาศักยภาพในประเภทกีฬาที่ต้องใช้ทักษะทางกายสูง (high performance sport) สิ่งหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์การกีฬาพบว่าเป็นปัญหาต่อการศึกษาบนที่สูงของนักกีฬาคือ การฝึกวิธีเดียวกันนี้ได้ผลดีเฉพาะในนักกีฬาบางกลุ่มหรือบางคน ในขณะที่นักกีฬาจำนวนหนึ่งพบว่ามีผลเสียมากกว่าผลดี จึงเรียกกลุ่มที่ตอบสนองดีต่อการฝึกบนที่สูงว่า *responders* และกลุ่มที่ตอบสนองไม่ดีว่า *non-responders* ซึ่งกลุ่ม *responders* ภายหลังจากการฝึกซ้อมบนพื้นที่สูงพบว่ามีสมรรถภาพทางกายดีขึ้น และยังส่งผลให้ได้รับชัยชนะในการแข่งขันด้วย แต่กลุ่ม *non-responders* พบว่าสมรรถภาพทางกายไม่ดีขึ้นหรืออาจจะลดลง นอกจากนั้นพบว่า มีอาการไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น ปวดศีรษะ วิงเวียน คลื่นไส้ อ่อนเพลีย หรืออาการเมาที่สูง (acute mountain sickness, AMS) อีกด้วย ซึ่งมักจะเกิดขึ้นเมื่อเดินทางขึ้นที่สูงมากกว่า 2,500 เมตร ขึ้นไป อย่างไรก็ตามสาเหตุของความแตกต่างระหว่างบุคคลดังกล่าวยังไม่ทราบคำตอบที่ชัดเจน

งานวิจัยที่ผ่านมาได้เสนอแนะว่า ความแตกต่างระหว่างบุคคลนี้ อาจเกิดจากการปรับตัวของระบบเลือด (hematological) เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณของเม็ดเลือดแดง[9] เป็นต้น ทั้งนี้อาจเกี่ยวกับการใช้ธาตุเหล็กเสริมในนักกีฬาเพื่อกระตุ้นการผลิตเม็ดเลือดแดงของร่างกาย ถ้าเม็ดเลือดแดงเพิ่มจำนวนขึ้นจะส่งผลต่อการนำออกซิเจนไปให้เซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายมากขึ้น

โดยการให้ธาตุเหล็กเสริม (iron supplementation) ร่วมกับการฝึกบนที่สูงได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มสมรรถภาพในนักกีฬา[10] การที่นักกีฬามีธาตุเหล็กไม่เพียงพอเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูงอาจจะทำให้สารเฟอริตินในเลือด (serum ferritin) ลดลง[11] เนื่องจากธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบโมเลกุลของฮีโมลบิน (hemoglobin) ซึ่งเป็นบริเวณที่จับกับออกซิเจนและปล่อยออกซิเจน ธาตุเหล็กเป็นสารตั้งต้น ตัวหนึ่งในกระบวนสร้างเม็ดเลือดแดง (erythropoietic process) สารเฟอริตินเป็นฟอร์มหนึ่งของธาตุเหล็ก จะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อนักกีฬาขึ้นไปบนพื้นที่สูงระดับ 2,225 เมตร เป็นเวลานาน 3 สัปดาห์[12] และยังมีบางการศึกษาวิจัยพบว่า สิ่งแวดล้อมบนพื้นที่สูงจะช่วยเร่งความต้องการของธาตุเหล็กมากขึ้นในนักกีฬา และทำให้นักกีฬาชนิดทนทาน (endurance) มีสมรรถภาพทางกายลดลงเนื่องจากธาตุเหล็กไม่เพียงพอเพื่อนำไปใช้สร้างเม็ดเลือดแดง[13] ซึ่งในนักกีฬาแต่ละคนจะมีอัตราการใช้ธาตุเหล็กไม่เท่ากันจึงน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้นักกีฬาตอบสนองต่อการฝึกบนที่สูงแตกต่างกัน นอกจากนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างบุคคลของการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system: ANS) โดยดูผลของความแปรปรวนอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rat variability: HRV) ที่ตอบสนองเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูง ซึ่งนิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ของการทำงานของระบบ sympathetic (ระบบที่เตรียมร่างกายให้พร้อมสู้หรือหนี) และ parasympathetic (ระบบที่ทำให้ร่างกายผ่อนคลายหรือกลับสู่ภาวะปกติ) โดยพบว่าในนักกีฬาที่มีการปรับตัวบนพื้นที่สูงไม่ดี (*non-responders*) จะมีค่า HRV ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ว่า sympathetic activity เพิ่มมากขึ้น ขณะที่คนที่ตอบสนองดีจะได้ผลในทางตรงข้ามคือค่า sympathetic activity ลดลง แต่ parasympathetic activity เพิ่มขึ้น[14] ซึ่งเป็นการสะท้อนถึงผู้ที่ฝึกออกกำลังกายเป็นประจำมักจะไม่ตื่นเต้นหรือตื่นกลัวต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินมากเกินไป เช่น อัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจ เพิ่มน้อยกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกออกกำลังกาย เป็นต้น อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์การออกกำลังกาย ยังคงค้นหาคำตอบถึงสาเหตุที่แท้จริงของการตอบสนองที่แตกต่างของแต่ละบุคคลต่อภาวะขาดออกซิเจนต่อไป

ระยะเวลาและระดับความสูงสำหรับการฝึกบนพื้นที่สูง

การเลือกระดับความสูงและระยะเวลาในการฝึกบนพื้นที่สูงนั้นมีความสำคัญต่อการตอบสนองหรือการเปลี่ยนแปลงทางด้านโลหิตวิทยาโดยเฉพาะการตอบสนองของอีริโทรโพอิติน (EPO) และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (RBC) ส่วนการเปลี่ยนแปลงในส่วนของสมรรถนะของการออกกำลังกายนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับความหนักและปริมาณของการฝึกซ้อมเป็นหลัก โดยทั่วไปเมื่ออาศัยอยู่บนพื้นสูง 2,458-2,805 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลจะทำให้อีริโทรโพอิติน (EPO) เพิ่มมากขึ้นมากกว่าที่ระดับความสูง 1,780-2085 เมตร ซึ่งต้องอยู่ในภาวะบนที่สูงอย่างน้อย 6 ชั่วโมงต่อวันถึงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของร่างกาย[15] แต่เมื่ออยู่บนพื้นที่สูงเกิน 12-13 ชั่วโมงต่อวัน กลับมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของฮีโมโกลบิน (Hb) และปริมาณของเซลล์เม็ดเลือดแดง (red blood cells) อย่างไรก็ตามระดับความสูงมากย่อมส่งผลต่อโปรแกรมการฝึกซ้อมที่มีความเข้มข้นมากหรือปริมาณการฝึกของนักกีฬาแต่แน่นอนว่าเป็นเรื่องค่อนข้างยากลำบากสำหรับนักกีฬาที่จะออกกำลังกายที่ระดับความหนักมาก ๆ ที่ระดับบนความสูง 2,000-3,000 เมตร

จะเห็นได้ว่าเมื่อนักกีฬาขึ้นไปฝึกบนที่สูงจะมีข้อจำกัดในการออกแบบโปรแกรมการฝึกซ้อม ดังนั้นปัจจุบันในหลาย ๆ ประเทศ เช่น ออสเตรเลีย อังกฤษ ได้ผลิตอุปกรณ์เพื่อจำลองสภาวะอากาศโดยที่ปรับความเข้มข้นของออกซิเจนให้คล้ายกับการฝึกบนที่สูงจริง ๆ ซึ่งก็มีความยืดหยุ่นในการปรับระดับความเข้มข้นของออกซิเจนเพื่อให้สอดคล้องกับโปรแกรมการฝึกได้ยกตัวอย่างเช่น ในช่วงของการพักอาจจะปรับระดับความเข้มข้นของออกซิเจนให้ใกล้เคียงกับระดับความสูง 2,500 เมตร แต่เมื่อออกกำลังกายก็ปรับลดระดับความสูงลงมาที่ 2,000 เมตร ซึ่งก็มีความยืดยุ่นมากกว่าการขึ้นไปฝึกบนภูเขาสูงจริง อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์การกีฬาและนักวิจัยได้พยายามศึกษาหาข้อมูลถึงระยะเวลาและปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมในการฝึกให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและไม่เกิดอันตรายต่อนักกีฬา แต่ยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่แน่นอนได้เนื่องจากมีปัจจัยด้านชนิดของการฝึก ประเภทของนักกีฬา และความแตกต่างระหว่างบุคคล (inter-individual) อีกด้วย

การศึกษาวิจัยการฝึกบนพื้นที่สูงในประเทศไทย

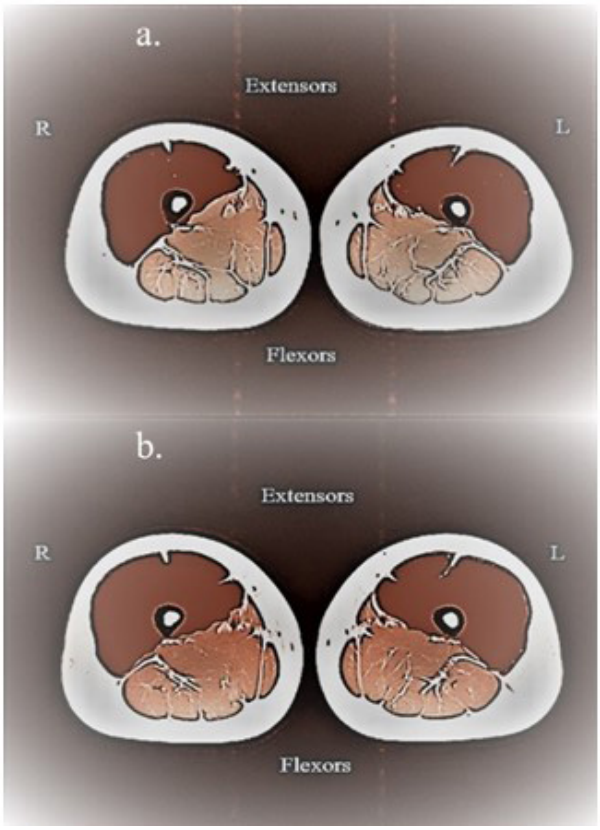
สำหรับ ในประเทศไทยยังมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการฝึกบนที่สูงน้อยมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยอาจไม่เหมาะสม กล่าวคือมีภูเขาสูงหรือพื้นที่ราบสูงที่สามารถนำนักกีฬาขึ้นไปเพื่อฝึกซ้อมควรจะมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 2,000-3,000 เมตร โดยใช้ระยะเวลาในการฝึก 3-4 วันต่อสัปดาห์ถึงจะก่อให้เกิดการปรับตัวทางสรีรวิทยา[16] ผู้เขียนและคณะได้ทำการศึกษาผลของการฝึกออกกำลังกายภายใต้ภาวะที่สูงจริง (real altitude) คือการนำนักกีฬาขึ้นไปฝึกบนที่สูง (บนภูเขาที่มีความสูงกว่าระดับน้ำทะเล 825 เมตร) ซึ่งความสูงระดับนี้ไม่เพียงพอที่จะลดความดันย่อยของออกซิเจนในเลือด (PaO_2) ได้มากพอเพื่อการกระตุ้นให้ระบบต่าง ๆ ของร่างกายปรับตัวให้ดีขึ้นได้ จึงได้นำเครื่อง simulated altitude แบบหน้ากาก หรือ hypoxicator มาใช้ร่วมกับการออกกำลังกายด้วย ผลการทดลองพบว่า นักกีฬาฟุตบอลที่ฝึกซ้อมบนที่สูง มีการสร้างฮอร์โมน erythropoietin ปริมาณเม็ดเลือดแดง (red blood cell) และฮีโมโกลบิน (hemoglobin concentration) และสมรรถภาพทางกายเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ฝึกบนพื้นที่ราบ[17]

ในอดีตที่ผ่านมาการศึกษาการฝึกบนพื้นที่สูงมักมุ่งเน้นการพัฒนาในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ออกซิเจน หรือ กีฬาแบบทนทาน ที่ใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจน (aerobic metabolism) เช่น วิ่งระยะไกล ว่ายน้ำและปั่นจักรยาน เป็นต้น อย่างไรก็ดีในปัจจุบันได้เริ่มมีการพัฒนารูปแบบการฝึกบนที่สูงในประเภทกีฬาอื่นมากขึ้น โดยเฉพาะการศึกษาการฝึกชนิดที่มีความเข้มข้นสูง เช่น วิ่งระยะสั้น วิ่งแบบสปีด (sprint) ว่ายน้ำระยะสั้น นักกีฬามวย ควบคู่กับการฝึกบนที่สูง ซึ่งเป็นการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) พบว่าการฝึกด้วยการวิ่งเร็วบนพื้นที่สูงประมาณ 3,000 เมตร ทำให้ความสามารถในการวิ่งเร็วดีขึ้นเพราะอากาศเบาบางแรงต้านอากาศจึงน้อย นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากการกระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว (fast-twitch muscle fibers)[18, 19] ส่งผลให้เลือดถูกส่งไปยังกล้ามเนื้อได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่น้อยทำให้กล้ามเนื้อเกิดภาวะความเครียดของกระบวนการกลัยโคไลติก (glycolytic flux) ซึ่งอาจจะกระตุ้นการควบคุมกระบวนการสังเคราะห์พลังงาน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาสมดุลกรด-เบส (acid-base balance) ของกล้ามเนื้อ ดังนั้นการฝึกด้วยการวิ่งเร็ว บนพื้นที่สูงอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่ส่งผลต่อสมรรถนะของนักกีฬา ช่วยลดอาการเหนื่อยล้าหรือยืดระยะเวลาในการเมื่อยล้าระหว่างเกมการแข่งขันทั้งในกีฬาประเภทบุคคลและประเภททีมได้[19]

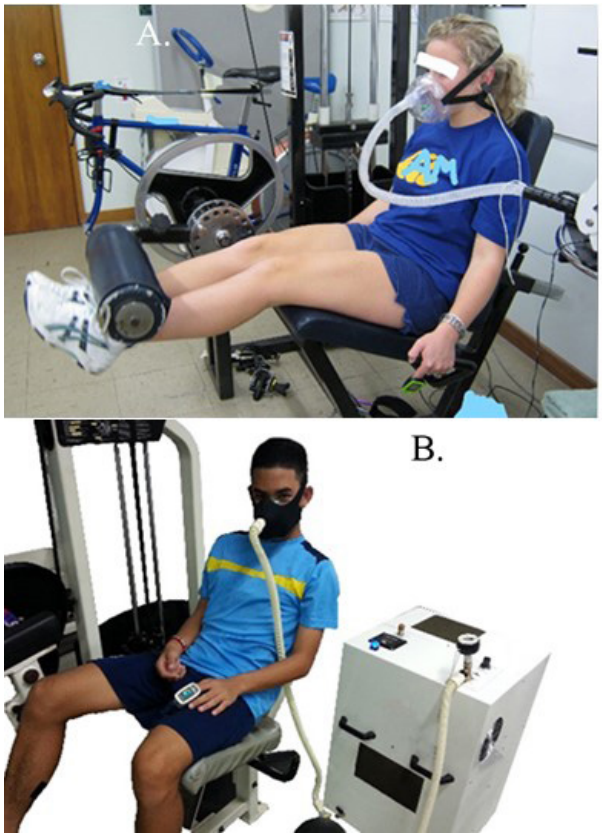
นอกจากนี้ผู้เขียนและคณะ ได้ทำการศึกษาโดยใช้เครื่องจำลองบรรยากาศบนที่สูงโดยใช้ออกซิเจน (O_2) 11% ร่วมกับการออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน (resistance exercise) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและมวลกล้ามเนื้อ ผลการทดลองพบว่า ทั้งในนักกีฬาทีมหญิงและชายมีความแข็งแรง ความทนทาน และขนาดของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2 A และ B) ซึ่งแสดงพื้นที่หน้าตัด (cross-sectional area) ของกล้ามเนื้อต้นขากลุ่มเหยียด (extensor muscles) และงอ (flexor muscles) ด้วยแรงต้านต่ำ 20% ของ 1RM (น้ำหนักสูงสุดที่แต่ละคนยกได้ในหนึ่งครั้ง) ร่วมกับการหายใจด้วยออกซิเจนต่ำ 11% ก่อนฝึก (รูป 2A) และ หลังฝึกนาน 5 สัปดาห์ (รูป 2B) พบว่ากล้ามเนื้อในกลุ่ม hypoxia มีขนาดใหญ่มากว่ากลุ่มควบคุม (กลุ่มที่ฝึกด้วยแรงต้านร่วมกับอากาศปกติ (O_2 21%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[20] เป็นที่ทราบกันดีว่าการออกกำลังกายด้วยแรงต้านสูง (80% ของ1RM) จะทำให้มวลกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมักนำมาใช้ฝึกกับนักกีฬา เช่น นักยกน้ำหนัก และนักกีฬาที่ต้องการความแข็งแรงมาก แต่การฝึกด้วยน้ำหนักสูงมากเช่นนี้เป็นสาเหตุการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ เอ็น และข้อต่อได้มาก และยากลำบากต่อนักกีฬาในการฝึกเพราะน้ำหนักมาก แต่เมื่อใช้แรงต้านน้อยลง ความแข็งแรง (strength) และมวลของกล้ามเนื้อ (muscle mass) มักจะไม่เพิ่มขึ้น แต่จะเพิ่มเพียงความทนทาน (endurance) ดังนั้นผู้เขียนและคณะ จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการฝึกน้ำหนักทั่วไปที่ใช้แรง

ต้านสูง (80%1RM) ในอากาศออกซิเจนปกติ (O_2 21%) กับการฝึกด้วยแรงต้านต่ำ 30%1RM และ 50%1RM ร่วมกับการหายใจด้วยออกซิเจนต่ำ (O_2 14%) จากการศึกษาพบว่า แรงต้านต่ำทั้งสองขนาด สามารถเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้ใกล้เคียงกับการฝึกรูปแบบทั่วไปในอากาศออกซิเจนปกติ แต่การใช้ 50% ของ 1RM จะได้ผลที่ดีกว่า 30% ของ 1RM เมื่อใช้ร่วมกับออกซิเจน 14%[21] และการฝึกด้วยแรงต้านดังกล่าว (50% ของ 1RM) ที่ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ระดับ 13.6 % สามารถเพิ่มความหนาของกล้ามเนื้อต้นขาและสมรรถภาพของนักกีฬาดีกว่า 15.8 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ[22] ดังนั้นการฝึกเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อร่วมกับการหายใจด้วยออกซิเจนต่ำจึงสามารถนำมาทดแทนการฝึกรูปแบบเก่าที่ใช้แรงต้านสูงที่อาจจะส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บได้ง่าย แต่ได้ผลดีใกล้เคียงกันได้ อีกทั้งนักกีฬาอาจจะมีความสุข ลดความกดดันในการฝึกได้ด้วย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของการหายใจด้วยออกซิเจนต่ำในขณะออกกำลังกายด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ใช้แรงต้าน (รูปที่ 3 A) วิ่งบนสายพานกล และปั่นจักรยานวัดงาน หรืออาจจะใช้ในขณะพัก เช่น นั่งพักนิ่งๆ หรือขณะอ่านหนังสือ (รูปที่ 3 B) เป็นต้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันได้มีการนำการออกกำลังกายในภาวะออกซิเจนต่ำมาใช้ในทางการแพทย์ เช่น ในผู้ป่วยโรคปอด โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจบางชนิด โรคอ้วน โรคไต โรคพากินสันและโรคอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น สำหรับประเทศไทย ยังไม่มีการศึกษาผลของการออกกำลังกายร่วมกับการหายใจด้วย



รูปที่ 2 ภาพถ่าย X-ray คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Resonance Imaging: MRI); A) ก่อนฝึก และB) หลังฝึกออกกำลังกายด้วยอากาศออกซิเจนต่ำ (hypoxic training)



รูปที่ 3 การฝึกหายใจด้วยอากาศออกซิเจนต่ำด้วยเครื่อง Hypoxicator; A) ขณะการออกกำลังกาย และB) ขณะพัก

ออกซิเจนต่ำในผู้ป่วย ดังนั้นผู้เขียนและคณะจึงได้ทำการศึกษาผลของการหายใจด้วยอากาศออกซิเจนต่ำสลับช่วง (Intermittent hypoxic training) ในขณะพักและขณะออกกำลังกายในผู้ป่วยความดันโลหิตสูง ระยะที่ 1 (Stage 1 hypertension) ผลการศึกษาพบว่า ความดันโลหิตค่าบน (systolic pressure) และค่าล่าง (diastolic pressure) ลดลงหลังจากการหายใจด้วยออกซิเจนต่ำสลับช่วง ร่วมกับการออกกำลังกายด้วยการเดินบนสายพาน นาน 5 สัปดาห์ ซึ่งสอดคล้องกับระดับ Nitric oxide ในเลือด และ Hypoxic inducible factor-1α (HIF-1α) ที่เพิ่มขึ้นซึ่งเชื่อว่าเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้ความดันเลือดลดลงและเกิดการปรับตัวของร่างกายของระบบไหลเวียนเลือดภายหลังจากการฝึกออกกำลังกายร่วมกับหายใจด้วยอากาศออกซิเจนต่ำแล้ว[23] สำหรับการศึกษาในกลุ่มผู้ที่มีน้ำหนักตัวเกินเกณฑ์ การฝึกการหายใจด้วยอากาศออกซิเจนต่ำสลับช่วง (intermittent hypoxic training) ยังส่งผลต่อการเพิ่มระดับฮอร์โมนเลปติน (leptin) อีริโทรโพอิติน (erythropoietin) และระดับอินซูลิน (insulin) ในเลือดทำให้ระดับคอเลสเตอรอล (cholesterol) และระดับน้ำตาลในเลือดลดลง[24] ซึ่งเมื่อออกกำลังกายทั้งในรูปแบบแอโรบิกหรือการฝึกด้วยแรงต้านในภาวะอากาศออกซิเจนต่ำเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ที่มีน้ำหนักเกินในการลดไขมัน เพิ่มความแข็งแรง และมวลกล้ามเนื้อได้[25, 26]

สรุป

การฝึกออกกำลังกายบนที่สูงจริง และการฝึกโดยใช้เครื่องจำลองบรรยากาศบนที่สูง ได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มสมรรถภาพในนักกีฬาอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ซึ่งมักจะอยู่ในศูนย์ฝึกนักกีฬาของประเทศเหล่านั้น เช่น Altitude camp และ Sport center ต่าง ๆ ในคนทั่วไปก็ได้นำมาใช้เพื่อเพิ่มสมรรถภาพร่างกาย ทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกาย ส่วนการนำมาใช้ร่วมกับการรักษาโรคบางอย่างนั้นเริ่มมีการนำมาใช้ในบางประเทศ สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาวิจัยมากนัก ทั้งในนักกีฬา คนทั่วไป และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วย แม้ว่าปัจจุบันยังไม่มีสูตรสำเร็จในการนำไปใช้ในกลุ่มนักกีฬาแต่ละประเภท ในคนทั่วไปและในคนไข้ได้ แต่จากประสบการณ์ของผู้เขียน ควรใช้ปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนและระยะเวลาฝึก (dose) ที่ต่างกันในกลุ่มนักกีฬา คนทั่วไป และในคนไข้แต่ละกลุ่มโรค โดยควรเริ่มจากระดับออกซิเจนสูงก่อนแล้วค่อย ๆ ลดระดับออกซิเจนลง 16% -12% สำหรับคนทั่วไป ควรจะเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่ากลุ่มนักกีฬา โดยใช้ประมาณ 18% -14% สำหรับผู้ป่วย ควรจะเริ่มต้นที่ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่ากลุ่มนักกีฬา โดยใช้ประมาณ 18% -16% แต่ควรต้องได้รับคำปรึกษาจากแพทย์และตรวจร่างกายก่อนการฝึก และต้องบันทึกระดับออกซิเจนในเลือดตลอดเวลาของการฝึก ทั้งนี้ทุกกลุ่มควรใช้เวลาจากน้อยไปหามาก เช่น 10 นาทีต่อวัน จนถึง 60 นาทีต่อวัน นาน 1 สัปดาห์ จนถึง 3 เดือน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามยังมีความแตกต่างระหว่างบุคคลที่ตอบสนองต่อการฝึกแตกต่างกัน ซึ่งปัจจุบันยังไม่ทราบว่าเกี่ยวข้องกับพันธุกรรมหรือสิ่งแวดล้อม นักวิจัยได้กำลังพยายามศึกษาหาคำตอบต่อไป ผู้เขียนและคณะเป็นนักวิจัยรุ่นบุกเบิกในประเทศไทย ซึ่งคาดว่าประโยชน์ของการศึกษาวิจัยที่เกิดขึ้นจะได้นำไปประยุกต์ใช้กับนักกีฬาหลายประเภทและคนทั่วไป เพื่อเพิ่มสมรรถนะของร่างกายด้านต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความทนทานของระบบไหลเวียนเลือดและปอด อีกทั้งในอนาคตอาจได้นำมาช่วยเสริมการรักษาในบางโรค เช่น ความดันโลหิตสูง โรคไต และโรคอ้วน อาจจะเป็นการลดการใช้ยาและการนำเข้ายาจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง อีกทั้งเป็นการป้องกันโรค NCDs ซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้ชีวิตแบบเนือยนิ่งได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Ward M P MJS, West J B. High Altitude Medicine and Physiology. 3rd Edition. Thorax 2001; 56(7): 586.
2. Panta P. Altitude Sickness – Idea, Symptoms, Prevention & Treatment [Internet]. Nepal: Landmark Discovery Treks Pvt. Ltd. 2018. [cited July 5, 2020]. Available from: https://www.landmarkdiscoverytreks.com/blog/altitude-sickness-idea-symptoms-prevention-treatment/.
3. Wilber RL. Altitude Training and Athletic Performance. Champaign, IL: Human Kinetics; 2004.
4. West JB, Boyer SJ, Graber DJ, Hackett PH, Maret KH, Milledge JS, et al. Maximal exercise at extreme altitudes on Mount Everest. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol 1983; 55(3): 688-698.
5. Hall ED, Bosken JM. Measurement of oxygen radicals and lipid peroxidation in neural tissues. Curr Protoc Neurosci 2009; Chapter 7: Unit 7 17 1-51.
6. Levine BD, Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. J Appl Physiol (1985). 1997; 83(1): 102-112.
7. Ashenden MJ, Gore CJ, Dobson GP, Hahn AG. "Live high, train low" does not change the total haemoglobin mass of male endurance athletes sleeping at a simulated altitude of 3000 m for 23 nights. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1999; 80(5): 479-484.
8. Gore CJ, Hopkins WG. Counterpoint: positive effects of intermittent hypoxia (live high:train low) on exercise performance are not mediated primarily by augmented red cell volume. J Appl Physiol (1985) 2005; 99(5): 2055-2057.
9. Calbet JA, Lundby C. Air to muscle O2 delivery during exercise at altitude. High Alt Med Biol 2009; 10(2): 123-34.
10. Nielsen P, Nachtigall D. Iron supplementation in athletes. Current recommendations. Sports Med 1998; 26(4): 207-16.
11. Robach P, Fulla Y, Westerterp KR, Richalet JP. Comparative response of EPO and soluble transferrin receptor at high altitude. Med Sci Sports Exerc 2004; 36(9): 1493-1498.
12. Roberts D, Smith DJ. Training at moderate altitude: iron status of elite male swimmers. J Lab Clin Med 1992;120(3):387-391.
13. Friedmann B, Kinscherf R, Borisch S, Richter G, Bartsch P, Billeter R. Effects of low-resistance/high-repetition strength training in hypoxia on muscle structure and gene expression. Pflugers Arch 2003; 446(6): 742-751.
14 Hamlin MJ, Marshall HC, Hellemans J, Ainslie PN. Effect of intermittent hypoxia on muscle and cerebral oxygenation during a 20-km time trial in elite athletes: a preliminary report. Appl Physiol Nutr Metab 2010; 35(4): 548-559.
15. Ge RL, Witkowski S, Zhang Y, Alfrey C, Sivieri M, Karlsen T, et al. Determinants of erythropoietin release in response to short-term hypobaric hypoxia. J Appl Physiol (1985) 2002; 92(6): 2361-2367.
16. Sinex JA, Chapman RF. Hypoxic training methods for improving endurance exercise performance. Journal of Sport and Health Science 2015; 4(4): 325-332.

17. Wonnabussapawich P, Hamlin MJ, Lizamore CA, Manimmanakorn N, Leelayuwat N, Tunkamnerdthai O, et al. Living and Training at 825 m for 8 Weeks Supplemented With Intermittent Hypoxic Training at 3,000 m Improves Blood Parameters and Running Performance. J Strength Cond Res 2017; 31(12): 3287-3294.

18. Faiss R, Girard O, Millet GP. Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. Br J Sports Med 2013; 47 (Suppl 1): i45-50.

19. Faiss R, Leger B, Vesin JM, Fournier PE, Eggel Y, Deriaz O, et al. Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. PLoS One 2013; 8(2): e56522.

20. Manimmanakorn A, Hamlin MJ, Ross JJ, Taylor R, Manimmanakorn N. Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes. J Sci Med Sport 2013; 16(4): 337-42.

21. Thuwakum W, Hamlin M, Manimmanakorn N, Leelayuwat N, Wonnabussapawich P, Boobpachat D, et al. Low-load resistance training with hypoxia mimics traditional strength training in team sport athletes. JPES 2017; 17: 240-247.

22. Namboonlue C, Hamlin MJ, Sirasaporn P, Manimmanakorn N, Wonnabussapawich P, Thuwakum W, et al. Optimal degree of hypoxia combined with low-load resistance training for muscle strength and thickness in athletes. JPES 2020; 20(2): 828-838.

23. Muangritdech N, Hamlin MJ, Sawanyawisuth K, Prajumwongs P, Saengjan W, Wonnabussapawich P, et al. Hypoxic training improves blood pressure, nitric oxide and hypoxia-inducible factor-1 alpha in hypertensive patients. Eur J Appl Physiol 2020; 120(8): 1815-1826.

24. Ling Q, Sailan W, Ran J, Zhi S, Cen L, Yang X, et al. The effect of intermittent hypoxia on bodyweight, serum glucose and cholesterol in obesity mice. Pak J Biol Sci 2008; 11: 869-875.

25. Gao H, Xu J, Zhang L, Lu Y, Gao B, Feng L. Effects of Living High-Training Low and High on Body Composition and Metabolic Risk Markers in Overweight and Obese Females. Biomed Res Int 2020; 2020: 3279710.

26. Rungthai R, Theanthong A, Kamarat S, Krittaphol K. The effectsof aerobic exercise underhypoxic conditionsafter resistance trainingon body composition in overweight males. J Health Sci Res 2016; 10(2): 8-18.

SMJ