บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงการฝึกบนที่สูงที่มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงผลทางโลหิตวิทยาในเลือด โดยทำการศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- การฝึกเพื่อแข่งขันบนที่สูง
- การปรับตัวระยะยาวต่อการอยู่ที่สูง
- การฝึกในที่สูงกับสมรรถภาพที่ระดับน้ำทะเล
- ความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศและระดับความสูง
- การนำออกซิเจนไปใช้ในการทำงานของร่างกายบนพื้นราบและบนที่สูง
- การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด
- การลำเลียงออกซิเจนให้แก่เซลล์บนที่สูง
- การใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ
- การสร้างพลังงานของร่างกายโดยกระบวนการใช้และไม่ใช้ออกซิเจน
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การฝึกเพื่อแข่งขันบนที่สูง (Training for Competition at Altitude)

บนที่สูงมีปริมาณของออกซิเจนที่ต่ำ ร่างกายของเราจึงมีการปรับตัวบนที่สูงโดยมีการตอบสนองที่เกิดขึ้นทันทีและระยะยาวเมื่อร่างกายเกิดความเคยชินต่อการอยู่ในที่สูงมีการศึกษาวิจัยผลของการฝึกในที่สูงเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูง ร่างกายมีการปรับตัวทันที และจะปรับตัวอย่างช้าๆ จนชิน ต่อที่สูง

การปรับตัวทันที หายใจถี่ขึ้น (hyperventilation) ของเหลวในร่างกายกลายเป็นด่าง เนื่องจากมีการลด CO_2 จากภาวะ hyperventilation, เพิ่ม submaximal heart rate เพิ่ม submaximal cardiac output (CO), stroke volume (SV) ยังคงเหมือนเดิมหรืออาจลดลงเล็กน้อย, Maximal HR ยังคงเหมือนเดิมหรือลดลงเล็กน้อย, Maximal CO ยังคงเหมือนเดิมหรือลดลงเล็กน้อย

การปรับตัวระยะยาว หายใจถี่ (hyperventilation), มีการขับด่างผ่านไตทำให้ลดด่างสำรอง (alkaline reserve), submaximal HR ยังคงสูงอยู่, submaximal CO ต่ำกว่าที่ระดับน้ำทะเล, SV ลดลง, Maximal HR ลดลง, Maximal CO ลดลง, Plasma volume ลดลง, Hematocrit เพิ่มขึ้น, ฮีโมโกบินเพิ่มขึ้น, เพิ่มจำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง (number of red blood cell), อาจเป็นไปได้ว่ามีการเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของเส้นเลือดฝอย (capillarization) ของกล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle), เพิ่ม mitochondria, เพิ่ม aerobic enzymes

มีการตอบสนองที่เกิดขึ้นทันทีและการปรับตัวระยะยาวต่อการอยู่ที่สูง ความเคยชินกับลักษณะอากาศนั้นๆ ร่างกายจะมีการปรับทางสรีรวิทยาจนค่อยๆ คุ้นเคยดังนี้

การตอบสนองที่เกิดขึ้นทันที (Immediate Response to Altitude) เมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูงทันที่ที่มีการตอบสนองคือ

1.หายใจเร็วขึ้น

2.การไหลเวียนของเลือดเพิ่มขึ้นทั้งขณะพักและออกกำลังกายต่ำกว่าระดับสูงสุด

การระบายอากาศเพิ่มขึ้น (Hyperventilation)

การระบายอากาศเพิ่มขึ้นทันที และเพิ่มใน 2-3 สัปดาห์แรก และยังอาจเพิ่มอยู่นานเป็นปีเมื่อยังอยู่บนที่สูง

การไหลเวียนเลือดตอบสนองเพิ่มขึ้น

การปรับตัวในระยะแรกอาจพบว่า Heart rate และ cardiac output เพิ่มขึ้น ส่วน Stroke volume ยังไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการไหลเลือดจะเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยภาวะที่เลือดมีออกซิเจนลดลง

การเจ็บป่วยอย่างเฉียบพลันในที่สูง

แม้ว่าร่างกายจะมีการปรับตัวต่อการขึ้นไปอยู่บนที่สูงแต่ก็ยังมีการเจ็บป่วยได้เมื่อขึ้นไปอยู่ที่สูงประมาณ 3,048 เมตรหรือสูงกว่า อาการมักจะเริ่มต้นด้วย ปวดศีรษะเนื่องจากหลอดเลือดในสมองขยายตัวและตามด้วยมึนศีรษะ, คลื่นไส้, อาเจียน, ตามัว, นอนไม่หลับ, และอ่อนเพลีย มักมีการเบื่ออาหารจนทำให้ได้รับพลังงานจากอาหารลดลงมีผลให้น้ำหนักตัวลด อาการคล้ายปอดบวม การการเจ็บป่วยเหล่านี้สามารถป้องกันได้โดยให้มีการปรับตัวจนชินต่ออากาศที่มีความสูงต่ำกว่า 3,048 เมตรเสียก่อน แล้วจึงค่อยไปอยู่ยังที่สูงกว่า

การสูญเสียน้ำ

เนื่องจากอากาศบนภูเขาเย็นและแห้ง จึงทำให้ร่างกายเสียน้ำออกโดยการระเหยจากทางเดินหายใจจึงทำให้ร่างกายขาดน้ำ ปากและคอแห้ง หากมีการออกกำลังกายด้วยจะทำให้เสียน้ำมากจึงควรดื่มน้ำชดเชย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การปรับตัวระยะยาวต่อการอยู่ที่สูง (Long-term Adjustments to Altitude)

เมื่อขึ้นไปอยู่ที่สูงเป็นระยะเวลานานจะมีการปรับตัวระยะยาวดังนี้

1.การปรับสมดุลกรด-ด่าง เมื่ออยู่ในที่สูงร่างกายจะมีการขับ CO_2 ออกมามากทำให้ร่างกายอยู่ในภาวะเป็นด่าง ร่างกายจะมีการปรับตัวโดยการปรับ HCO_3 โดยทางไต

2.ลดความสามารถการเป็นบัฟเฟอร์ เมื่อร่างกายต้องมีการปรับตัวทำให้ร่างกายต้องเสียด่างสำรองไป ดังนั้นเมื่อออกกำลังกายแล้วมีการหลั่งกรดแลคติคออกมา ร่างกายจึงไม่สามารถขจัดกรดแลคติคออกไปได้อย่างดี ทำให้มีการจำกัดการออกกำลังกาย

3.การเปลี่ยนแปลงทางเลือด มีการเพิ่มความสามารถในการนำออกซิเจน โดยการสร้างเม็ดเลือดแดงและฮีโมโกบิน

3.1พลาสมาสลดลงทำให้มีความเข้มข้นของเซลล์เม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น

3.2เพิ่มปริมาตรของเซลล์เม็ดเลือดแดง มีการกระตุ้นให้เพิ่มจำนวนของเซลล์เม็ดเลือดแดงจากกระบวนการที่ทำให้มีภาวะเม็ดเลือดแดงมาก ซึ่งเป็นการตอบสนองโดยหลั่งมาจาดไตและเนื้อเยื่ออื่นๆ 15 ชั่วโมง หลังจากที่ขึ้นอยู่บนที่สูง

4.การปรับตัวของเซลล์ พบว่าในคนที่อาศัยอยู่ในที่สูงมีมัยโอโกบินสูง ร่วมกับมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนไมโตรครอนเดรียและความเข้มข้นของเอ็นซัยม์ที่ต้องการใช้พลังงานแอโรบิค

เวลาที่ต้องการสำหรับการปรับตัวจนชินกับที่สูง (Time Required for Acclimatization)

มีการนำนักกีฬาไปอยู่เพื่อเกิดความเคยชินกับสภาพที่สูงอย่างน้อย 3-4 สัปดาห์ เพื่อให้ร่างกายมีการปรับตัวให้คุ้นเคย โดยทั่วไปเวลาที่ใช้ในการปรับตัวขึ้นอยู่กับความสูงด้วย การปรับตัวที่ความสูง 2,300 เมตรใช้เวลา 2 สัปดาห์ และใช้เวลาเพิ่มอีกทุก 1 สัปดาห์ เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น 610 เมตร จึงถึงระดับความสูง 4,572 เมตร สำหรับนักกีฬาที่ต้องแข่งขันในที่สูง ก็ต้องฝึกเอาไว้ล่วงหน้านานเพื่อให้เกิดการปรับตัวจนชินในที่สูง อย่างไรก็ดี (Hopkins.1998) เมื่อกลับมาอยู่ที่พื้นราบใกล้ระดับน้ำทะเล ผลการปรับตัวจะหมดไปภายใน 2-3 สัปดาห์

การฝึกในที่สูงกับสมรรถภาพที่ระดับน้ำทะเล (Altitude Training and Sea-level Performance)

เป็นที่แน่ชัดว่าการชินต่อสภาพที่สูงนั้นทำให้ความสามารถในการทำงานในที่สูงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดี ยังไม่เป็นที่ชัดเจนว่าผลการฝึกในที่สูงจะมีผลต่อสมรรถภาพการออกกำลังกายที่ระดับน้ำทะเลหรือไม่ แต่ก็อาจเป็นไปได้ว่าการปรับตัวเฉพาะแห่งของระบบไหลเวียนเลือด รวมทั้งหน้าที่ของเซลล์ควรจะทำให้สมรรถภาพเพิ่มขึ้นเมื่อออกกำลังกายที่ระดับน้ำทะเลด้วย และถ้าการขาดออกซิเจน ของเนื้อเยื่อเป็นตัวกระตุ้นสำคัญของการฝึก ดังนั้นทั้งการอยู่บนที่สูงและการฝึกก็ควรจะมีผลเสริมกัน ทำให้ผลที่ได้มากกว่าการฝึกที่ระดับน้ำทะเล อย่างไรก็ดียังไม่มีการศึกษาที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สนับสนุนในเรื่องนี้ เพราะการกระทำและการควบคุมค่อนข้างยากกว่าเป็นผลของการฝึกหรือเป็นผลของการอยู่บนที่สูงหรือเป็นผลเสริมกัน

การฝึก (Training), ความหนัก (Intensity) และระยะเวลา (Duration) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาความสามารถของการออกกำลังกาย (exercise performance) เนื่องจากนักกีฬาไม่สามารถฝึกได้อย่างหนักเต็มที่บนที่สูง มีความเชื่อในเรื่องการฝึกบนที่สูงเพื่อต่อการแข่งขันในระดับน้ำทะเล และมีคนในประเทศบางประเทศที่อยู่ในที่สูงเช่น เคนยา (Kenya) มักประสบความสำเร็จในการแข่งขันที่ระดับน้ำทะเล จึงได้มีหลายการศึกษาทั้ง “live high and train high” และ “live high and train low”

Live high and train high (LHTH) มีผู้สอนหลายท่านเชื่อว่าการอยู่และฝึกบนที่สูงจะพัฒนาความสามารถทางกีฬาที่ระดับน้ำทะเล ขณะที่ยังรู้กลไกทางสรีรวิทยา (physiological mechanism) มาสนับสนุนผลการฝึกแบบนี้ อาจเป็นผลของการมุ่งมั่นในการฝึกเท่านั้น

Live high and train low (LHTL) เป็นการอยู่ที่สูงแต่มีการฝึกที่ระดับน้ำทะเล จากทางทฤษฎีนักกีฬาที่อยู่ที่สูงจะเพิ่มการขนส่งออกซิเจน (oxygen delivery) และการจับออกซิเจนของระบบหายใจ (respiratory extraction) ขณะที่ซึ่งคงไว้ซึ่งความหนักของการฝึกที่ระดับน้ำทะเล

Hopkins. (1998) ศึกษาในที่สูงเพื่อการแข่งขันที่ระดับน้ำทะเลโดยทำการฝึกที่ระดับน้ำทะเลขณะที่อาศัยอยู่ในที่สูง 2,500 เมตร เป็นเวลา 1 เดือนทำให้ส่งเสริม endurance performance โดยการเพิ่มความสามารถในการนำออกซิเจน (oxygen carrying capacity) ของเลือดตลอดจนการเพิ่มการผลิตเม็ดเลือดแดง (red blood cell) และผลการฝึกนี้จะหายไปหลังจากการกลับจากการอยู่บนที่สูง 2-3 เดือน

Max VO2 เมื่อกลับมาสู่ระดับน้ำทะเล

พบว่าเมื่อใช้ Max VO_2 เป็นหลักเกณฑ์แล้ว สมรรถภาพที่ระดับน้ำทะเลไม่พบว่าดีขึ้นภายหลังการอยู่บนที่สูง ตัวอย่างเช่นเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูง 3,100 เมตร เป็นเวลา 18 วัน ทำให้ maximal aerobic power ลดลง 25 % แต่เมื่อกลับสู่ที่ระดับน้ำทะเล ค่า max VO_2 ก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่า max VO_2 ก่อนที่จะขึ้นไปอยู่บนที่สูง ได้มีการศึกษาทำนองเดียวกันพบว่า max VO_2 เมื่อกลับลงสู่ที่ระดับน้ำทะเลนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างไรก็ดี การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกี่ยวกับการเพิ่มกิจกรรมทางกาย นั่นคือการฝึกหรือการทดสอบซ้ำๆกันขณะที่อยู่บนที่สูง การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางอย่างที่เกิดขึ้นเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูงอาจมีผลกระทบที่ทำให้สมรรถภาพไม่เพิ่มขึ้นเมื่อกลับมายังที่ระดับน้ำทะเล ได้แก่การสูญเสียกล้ามเนื้อ หรือค่า Maximal HR และ Stroke volume ที่ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การคงสภาพการฝึกบนที่สูง

การอยู่บนที่สูง 2,300 เมตร หรือสูงกว่า ทำให้เป็นไปไม่ได้ที่นักกีฬาจะฝึกหนักเหมือนกับการอยู่ที่ระดับน้ำทะเล ตัวอย่างเช่นความสูง 4,000 เมตร นักวิ่งสามารถฝึกได้เพียง 39% max VO_2 ที่ระดับน้ำทะเลดังนั้นจึงไม่อาจทำให้นักกีฬาไม่สามารถคงสมรรถภาพที่ระดับน้ำทะเลได้ ดังนั้นบางครั้งนักกีฬาต้องลงมาฝึกที่ระดับน้ำทะเลเป็นครั้งคราว เพื่อจะคงสภาพของสมรรถภาพไว้ แต่ก็จะต้องไม่ทำให้รบกวนต่อการชินสภาพในที่สูง

การฝึกในที่สูงกับการฝึกที่ระดับน้ำทะเล

ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบในนักวิ่งระยะกลางกลุ่มละ 6 คน โดยกลุ่มหนึ่งได้ฝึกที่ระดับน้ำทะเลด้วยความหนัก 75% ของ maxVO_2 เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งได้ฝึกด้วยความหนักเท่ากันที่ความสูง 2,300 เมตร แล้วมีการสลับการฝึกกันโดยฝึกไปอีก 3 สัปดาห์ พบว่าภายหลังการฝึกเมื่อทดสอบด้วยระยะการวิ่ง 2 ไมล์ ทั้ง 2 กลุ่มทำเวลาได้สั้นลง 2% คือว่าค่า max VO_2 ของทั้งสองกลุ่มเมื่ออยู่บนที่สูง จะลดลงในตอนแรกและจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยภายหลังการฝึกในที่สูงประมาณ 20 วัน เมื่อทดสอบนักวิ่งที่ระดับน้ำทะเล พบว่า aerobic power ลดลง จึงแสดงว่าการฝึกในที่สูงไม่มีการเสริมสมรรถภาพที่ระดับน้ำทะเลแต่อย่างใด

มีคำแนะนำว่าการฝึกบนที่สูงจะมีผลให้เกิดความอดทนจากผลการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา หรืออาจใช้วิธีการฝึกหนักกว่าปกติเพื่อชดเชยสภาพการออกกำลังในที่สูง โดยการฝึกหนักในช่วง 8 สัปดาห์ จะสามารถทนต่อความสูง 3,000 ฟุตได้ หรือถ้าให้พร้อมก็ควรจะมีการฝึกและอยู่ในที่สูงพร้อมกันไปเลย

ความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศและระดับความสูง

บรรยากาศ หมายถึง อากาศที่ห่อหุ้มโลก ประกอบด้วยก๊าซชนิดต่างๆ หลายชนิด เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเฉื่อยอื่นๆ รวมถึงไอน้ำ เป็นตัวทำให้เกิดความดันบรรยากาศ ส่วนชั้นบรรยากาศจะมีระยะสูงจากพื้นดินเท่าใดนั้น ทางฟิสิกส์ถือว่ายังมีปรากฏการณ์กระทบกันของโมเลกุลของอากาศ ก็ยังนับว่าเป็นขอบเขตของบรรยากาศ (สวบ.,2533)

ประโยชน์ของบรรยากาศต่อการดำรงชีวิต

บรรยากาศที่ปกคลุมผิวโลกให้ประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ที่ดำรงชีวิตอยู่บนพื้นราบที่ระดับน้ำทะเล หรือ ที่ระดับความสูงที่ไม่สูงจากระดับน้ำทะเลมากนัก ดังนี้

1.ช่วยคุ้มครองชีวิต (Life – protecting Filter Functions) บรรยากาศทำหน้าที่เป็นเครื่องกรองหรือเครื่องดักสิ่งที่เป็นอันตรายต่อชีวิตนอกโลกไว้ เช่น รังสีอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet Ray) รังสีคอสมิค (Cosmic Ray)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.ช่วยให้มีชีวิต (Life – sustaining Pressure Function) หมายถึง ออกซิเจนในบรรยากาศจำเป็นต่อสัตว์ คาร์บอนไดออกไซด์จำเป็นต่อพืช ไอน้ำในอากาศทำให้เกิดฝนซึ่งจำเป็นต่อชีวิต และความดันบรรยากาศ ทำให้มนุษย์ดำรงชีวิตอยู่ได้ตามธรรมชาติ (สวบ.2533)

คำจำกัดความของระดับความสูง (Altitude)

ระดับความสูง (Altitude) คือ ระยะทางที่นับจากพื้นผิวโลกที่ระดับน้ำทะเล (Sea Level) ขึ้นไปในบรรยากาศในทางตั้ง (Vertical) โดยอ้างอิงกับค่าความดันของบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอด (mmHg) หรือ 1013.25 มิลลิบาร์ (Millibar) หรือ 101.325 กิโลปาสคาล (Kilopascal) หรือ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 1 บรรยากาศ (Ward, 1975) โดยค่าความดันของบรรยากาศจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น

การแบ่งชั้นของระดับความสูง

นักสรีรวิทยาและนักฟิสิกส์หลายท่าน ได้แบ่งระดับความสูงไว้เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน เช่น การแบ่งความสูงด้านสรีรวิทยาการบิน ได้แบ่งระดับความสูงตามผลกระทบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อการทำงานของร่างกายมนุษย์ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้ (สวบ. 2533)

1.Physiological Zone คือ ระดับความสูงที่ระดับน้ำทะเลขึ้นไป จนถึงระดับความสูง 3,048 เมตร ที่ความสูงระดับนี้ มนุษย์สามารถอาศัยอยู่ได้ โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือเครื่องช่วยในการดำรงชีวิตแต่ประการใด สรีรวิทยาของร่างกายสามารถดำรงอยู่ และปรับตัวตามความคุ้นเคย (Aeclimatized) ได้ตามระดับความสูงนั้น ความกดบรรยากาศในชั้นนี้อยู่ระหว่า 760-523 มิลลิเมตรปรอท

2. Physiological Deficient Zone นับตั้งแต่ระดับความสูง 3,048 เมตร จนถึงระดับความสูงที่ 15,240 เมตร ความสูงระดับนี้มนุษย์ไม่สามารถปรับตัวได้อีกต่อไป จะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของร่างกายเกิดอาการขึ้นได้หลายอย่าง ซึ่งเป็นผลมาจากความกดดันบรรยากาศลดลงมาก และความกดดันออกซิเจนในบรรยากาศได้ต่ำลง การที่มนุษย์สามารถดำรงอยู่ในชั้นบรรยากาศนี้ได้ จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือเครื่องใช้หลายอย่าง เช่น เครื่องให้ออกซิเจนช่วยการหายใจ เครื่องให้ความอบอุ่นและเครื่องแต่งกายชุดปรับความกดดัน (Pressurize Suit) ความกดบรรยากาศในชั้นนี้อยู่ระหว่าง 520-87 มิลลิเมตรปรอท

3.Space Equivalent Zone นับตั้งแต่ระดับความสูง 15,240 เมตร ถึง 120ไมล์ มนุษย์มีสภาพเหมือนอยู่ในอวกาศ ต้องดำรงชีวิตอยู่ในห้องปรับอากาศ (Seal cabin หรือ ต้องสวมชุมปรับความดัน) และที่ระดับความสูง 19,202 เมตร เรียกว่า Armstrong's line ความกดบรรยากาศเท่ากับความกดดันไอน้ำในร่างกาย (47 มิลลิเมตรปรอท) น้ำในร่างกายจะเดือดกลายเป็นไอจนหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Noble, 1989) ได้แบ่งระดับความสูงตามความสามารถในการทำงานของร่างกายและการเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นบนที่สูง (Mountain Sickness) ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1.Low Altitude คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเลที่อยู่ต่ำกว่า 1,524 เมตร ที่ความสูงระดับนี้ ความสามารถในการทำงานของร่างกายลดลงเล็กน้อย ไม่ปรากฏอาการเจ็บป่วยบนที่สูง

2.Moderate Altitude คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,524-3,048 เมตร ที่ความสูงระดับนี้ ความสามารถในการทำงานของร่างกายลดลง การเจ็บป่วยบนที่สูงเริ่มปรากฏให้เห็น

3.High Altitude คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเลที่มากกว่า 3,048 เมตร ที่ความสูงระดับนี้ ความสามารถในการทำงานของร่างกายลดลงมาก การเจ็บป่วยเนื่องจากความสูงเกิดขึ้นบ่อยมาก

Scientific American ได้แบ่งระดับความสูงที่เรียกว่า High Altitude ซึ่งเป็นระดับความสูง ที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของร่างกาย ออกเป็น 3 ระดับ คือ High Altitude, Very High Altitude และ Extreme Altitude ดังนี้ (Consult, 1990)

1. High Altitude คือ ความสูงที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเล 2,438-4,267 เมตร จะปรากฏอาการเจ็บป่วยบนที่สูง ที่ระดับต่ำสุดของชั้นนี้ ความกดดันของออกซิเจนในเลือดแดง (Pao2) เท่ากับ 60 มิลลิเมตรปรอท ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดง (Arterial Oxygen Saturation) ประมาณร้อยละ 92 และที่ระดับสูงสุดของชั้นนี้ ความกดดันของออกซิเจนเท่ากับ 46 มิลลิเมตรปรอท ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดแดงประมาณร้อยละ 82

2. Very High Altitude คือ ระดับความสูง 4,267-5,486 เมตร เป็นระดับความสูงที่ผู้ที่คุ้นเคยกับที่สูง (Acclimatized Men) หรือนักไต่เขาที่มีประสบการณ์ สามารถดำรงอยู่ได้ ผลกระทบต่อร่างกายมีมาก จากสภาพความหนาวเย็นและกดอากาศที่ลดลง

3. Extreme Altitude คือ ระดับความสูง 5,486-8,847 เมตร จากระดับน้ำทะเลผู้ขึ้นมาถึงระดับนี้ ส่วนใหญ่จะดำรงชีวิตอยู่ในช่วงเวลาสั้นๆ การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของร่างกายรุนแรงมาก ไม่สามารถสร้างความคุ้นเคยให้เกิดขึ้นได้ ต้องมีอุปกรณ์ช่วยดำรงชีวิตร่วมด้วย

การนำออกซิเจนไปใช้ในการทำงานของร่างกายบนพื้นราบและบนที่สูง

ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในบรรยากาศที่ปกคลุมผิวโลก เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการดำรงชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานในการทำงานของร่างกาย ในบรรยากาศทั่วไปจะมีออกซิเจนประมาณร้อยละ 20.95 โดยปริมาตร โดยมีค่าเท่ากันในทุกแห่งและทุกระดับความสูง สำหรับพื้นผิวโลกที่ระดับน้ำทะเลคนปกติที่ไม่เจ็บป่วยมัก ไม่เห็นความสำคัญของออกซิเจนมากนัก ทั้งนี้เพราะถือว่าเป็นเรื่องปกติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สำหรับการดำรงชีวิตทั่วๆไป (Wood, 1983) กล่าวว่า สถานการณ์ที่นำมาซึ่งความสำคัญของออกซิเจนมีดังนี้

1.การขนส่งออกซิเจนไปใช้ในร่างกายบกพร่อง (Inordinate Transfer) เช่น ในผู้ที่ป่วยเป็นโรคปอด โรคหัวใจ

2.อัตราการใช้ออกซิเจนมาก (Inordinate Consumption of Oxygen) เช่น การออกกำลังกายหรือการทำงานอย่างหนัก

3.ออกซิเจนมีไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้ (Inadequate Supply) เช่น การขึ้นไปอยู่บนที่สูงจากระดับน้ำทะเล

เนื่องจากร่างกายต้องนำออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolism) และในสภาวะปกติบนพื้นราบที่ระดับน้ำทะเล หรือที่ระดับความสูงที่ไม่สูงจากระดับน้ำทะเลมากนักความกดดันเฉพาะส่วนของออกซิเจน ที่หายใจเข้าสู่ร่างกาย สามารถทำให้กระบวนการลำเลียงออกซิเจนจากถุงลมปอด เข้าสู่เนื้อเยื่อและเซลล์ต่างๆ ในร่างกายเป็นไปตามปกติ ซึ่งกระบวนการนี้ (Wood, 1983) กล่าวว่า เป็นไปตามตามลำดับขั้น ดังนี้

1.การถ่ายเทของอากาศ (Ventilation)

2.การซึมผ่าน (Diffuse) ของก๊าซจากถุงลมปอดผ่านเนื้อเยื่อบางๆ (Membrane) เข้าสู่หลอดเลือดฝอยในปอด (Capillary)

3.การไหลเวียนโลหิตในร่างกาย (Circulation)

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาการทำงานของระบบการหายใจและไหลเวียนเลือด

Vick, (1984) กล่าวว่าที่ระดับน้ำทะเลการถ่ายเท หรือการหมุนเวียนอากาศภายในปอด จะทำให้มีออกซิเจนเข้าสู่ถุงลมประมาณ 105 มิลลิเมตรปรอท และจากเยื่อบางๆ ที่ถุงลม จะมีการซึมผ่านของออกซิเจนเข้าสู่หลอดเลือดดำฝอยโดยการซึมผ่านนี้เป็นไปตามกฎการกระจายของก๊าซ (Law of Gaseous Diffusion) ที่ว่า ก๊าซอย่างเดียวกันเมื่อถูกกันด้วยเยื่อบางๆ (Permeable Membrane) จะกระจายออกจากบริเวณที่มีความกดดันสูง ไปยังบริเวณที่มีความกดดันต่ำ จนกระทั่งความกดดันเท่ากัน (Brook และ Fahey, 1984) กล่าวว่าที่ระดับน้ำทะเล เลือดที่ร่างกายใช้แล้วเมื่อไหลเข้าสู่ปอดเพื่อรับออกซิเจน จะมีความกดดันของออกซิเจนเหลืออยู่ประมาณ 40 มิลลิเมตรปรอท เมื่อรับเอาออกซิเจนที่ปอดแล้วจะมีความกดดันของออกซิเจนประมาณ 98-100 มิลลิเมตรปรอท โดยเลือดจะไหลเวียนอยู่ในหลอดเลือดฝอยในปอด ประมาณ 0.75 วินาที แต่ใช้เวลาในการแลกเปลี่ยนก๊าซ 0.25 วินาที เท่านั้น แม้ว่าในขณะที่มีการออกกำลังกายอย่างหนักความเร็วของเลือดที่ไหลเวียนอยู่ในหลอดเลือดฝอยจะเร็วมาก แต่ก็สามารถทำให้ความกดดันของออกซิเจนสมดุลกับออกซิเจนที่เข้าสู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถุงลมได้ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถการแพร่สำรองของปอดมีมาก ในขณะเดียวกันที่ระดับเซลล์จะมีการแพร่ของออกซิเจนจากหลอดเลือดแดงฝอยเข้าสู่แหล่งพลังงานภายในเซลล์ซึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจาก ความแตกต่างของความกดดันออกซิเจนในเซลล์ (30 มม. ปรอท) และความกดดันของออกซิเจนในหลอดเลือดแดงฝอย (40 มม. ปรอท) ในทางตรงกันข้ามการขึ้นไปอยู่บนที่สูงความกดดันของบรรยากาศลดลง เช่นที่ระดับความสูง 5,486 เมตร ความกดดันบรรยากาศจะเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของความกดดันบรรยากาศที่พื้นผิวโลกเท่านั้น ซึ่งในระดับความสูงนี้สามารถทำให้มนุษย์หมดสติได้ภายใน 20-30 นาที เนื่องจากเกิดภาวะพร่องออกซิเจน (Hypoxia) อย่างรุนแรง

การลำเลียงออกซิเจนให้แก่เซลล์บนที่สูง (Oxygen Transport and Deliver at High Altitude)

การขนส่งหรือการลำเลียงออกซิเจน (Oxygen Transport) ไปให้เซลล์ใช้บนที่สูงนั้น (Wood, 1983) กลว่าว่า ความสูงเป็นปัจจัยอันหนึ่งที่กำจัดการใช้ออกซิเจนของร่างกาย ทำให้เนื้อเยื่อของร่างกายเกิดภาวะพร่องออกซิเจน (Hypoxia) ได้ แม้ว่าสัดส่วนของออกซิเจน ที่มีอยู่ในอากาศทั่วไปจะมีสัดส่วนที่เท่ากัน คือประมาณร้อยละ 21 แต่เมื่อความกดดันของบรรยากาศลดลง ทำให้ความกดดันของออกซิเจนที่หายใจเข้า (Inspire PO_2) ลดต่ำลงด้วย

โดยปกติที่ระดับน้ำทะเล ความกดดันของออซิเจนในอากาศหายใจเข้า ประมาณ 106 มิลลิเมตรปรอท ความกดดันของออกซิเจนในถุงลมประมาณ 60 มิลลิเมตรปรอท ในขณะที่เลือดดำที่ไหลเข้าสู่ปอดมีความกดดันออกซิเจนประมาณ 40 มิลลิเมตรปรอท ดังนั้นความแตกต่างของความกดดัน จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซกันได้ หากความกดดันออกซิเจนที่ถุงลมน้อยกว่า 6 มิลลิเมตรปรอท จะทำให้เกิดการปรับตัวของร่างกายโดยการหายใจเร็วขึ้น เป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าสู่ถุงลม ขณะเดียวกันเป็นการลดความกดดันของคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงลม ทำให้เลือดสามารถถ่ายเทคาร์บอนไดออกไซด์สู่ถุงลมได้มากขึ้น เป็นการลดภาวะความเป็นกรดในเลือดก่อนที่จะเกิดภาวะพร่องออกซิเจน

ปริมาณออกซิเจนที่ส่งไปถึงเนื้อเยื่อต่างๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณของเลือดและฮีโมโกบิน (Hemoglobin) ที่ส่งไปยังเนื้อเยื่อนั้นๆ หากปริมาณฮีโมโกบินเท่าเดิม แต่ปริมาณออกซิเจนที่ซึมผ่านถุงลมเข้าสู่หลอดเลือดฝอยในปอดมีน้อย เช่นบนที่สูงจากระดับน้ำทะเล ปริมาณออกซิเจนที่เซลล์ได้รับต่อวินาทีจะลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายบนที่สูง (Maximun Oxygen Uptake at High Altitude)

Wood, (1983) กล่าวว่าแม้ความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนจะเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้ออกซิเจนสูงสุด แต่ปริมาณออกซิเจนที่เซลล์สามารรถนำไปใช้ หรือจับเอาไว้ได้จริง เป็นสิ่งที่มีความสำคัญกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนจากหลอดเลือดฝอยสู่เซลล์ และความสามารถของไมโอโกบิน (Myoglobin) ที่จับออกซิเจนไว้ได้

ดั้งนั้นบนที่สูง เมื่อความกดดันหรือปริมาณออกซิเจนในหนึ่งหน่วยปริมาตร ที่ลำเลียงไปยังเนื้อเยื่อลดต่ำลง การถ่ายเทออกซิเจนให้แก่เซลล์ก็ลดลงน้อยลงไปด้วย

Waed, (1975) กล่าวว่า แม้การใช้ออกซิเจนของร่างกายขึ้นอยู่กับระดับความหนักของงาน ไม่ได้ขึ้นอยู่กับระดับความสูง แต่บนที่สูงมีขีดกำจัดในการจับหาออกซิเจนมาใช้สำหรับร่างกาย

การใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ

ออกซิเจนจะถูกส่งไปยังกล้ามเนื้อใช้งานได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 อย่าง (ประทุม ม่วงมี, 2527) คือ

1.ปริมาณอากาศที่เข้าสู่ปอด (Minute Ventilation) โดยทั่วๆ ไปแล้วการเพิ่มปริมาณงานที่ร่างกายต้องทำ จะทำให้ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ปอดมีมากขึ้น ทำให้เกิดการหายใจลึก ซึ่งเป็นการการเพิ่มความดันเฉพาะในส่วนของออกซิเจนในถุงลมปอด ทำให้การซึมผ่านและการขนส่งออกซิเจนไปยังเซลล์มีมากขึ้น

2.ความสามารถของเลือดที่จะรับออกซิเจนเข้าไปได้ ในโลหิตจะมีสารประกอบทางเคมีชื่อฮีโมโกบิน ซึ่งทำหน้าที่จับออกซิเจนในถุงลมปอด นำไปให้เซลล์ในส่วนต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งปกติในเลือด 100 มิลลิลิตร จะมีฮีโมโกบินอยู่ประมาณ 13-15 กรัม ดังนั้นหากเลือดมีฮีโมโกบินมาก จะรับออกซิเจนเข้าไปได้มาก

3.ความต้องการออกซิเจนของเนื้อเยื่อ ปริมาณของออกซิเจนถูกส่งไปกับฮีโมโกบินในเลือดแดง 100 มิลลิลิตรมีประมาณ 19.45 กรัม ในขณะพักผ่อน เลือด 100 มิลลิลิตร จะปล่อยออกซิเจนให้กับเนื้อเยื่อประมาณ 4.5 มิลลิลิตร แต่ในระหว่างการออกกำลังกายอย่างหนักอัตราการปล่อยอาจเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า ดังนั้นจึงต้องนำออกซิเจนจากบรรยากาศ มาทดแทนในส่วนที่เลือดได้ปล่อยออกซิเจนให้กับเนื้อเยื่อมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสร้างพลังงานของร่างกายโดยกระบวนการใช้และไม่ใช้ออกซิเจน

Astrand และ Rodahl (1970) กล่าวว่า ในการออกกำลังกายซึ่งเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อนั้น คือการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีที่ได้จากอาหารให้เป็นพลังงานกล ซึ่งเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ พลังงานอาจได้มาจากปฏิกิริยาเคมีที่มีต้นต่อมาจากอาหาร ซึ่งเป็นสารเคมี นอกจากนั้นกล้ามเนื้อในร่างกายยังสามารถทำงานได้ทั้งชนิดใช้ออกซิเจน (Aerobic) และชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic)

ชูศักดิ์ เวชแพทย์ (2521) ได้อธิบายว่าพลังงานที่ใช้ในการทำงานได้จากอาหารพวกคาร์โบไฮเดรท หรือไขมันและได้เปลี่ยนไปสู่จุดที่สามารถมีปฏิกิริยาเคมีได้คือAdenosine Triphosphate หรือ ATP เป็นสาระสำคัญในการแลกเปลี่ยนพลังงาน นอกจากนี้ ก็มี Creatine Phosphate หรือ CP ทั้ง ATP และ CP จะเป็นฟอสเฟตที่ให้พลังงานสูง ซึ่งพบได้มากในเซลล์กล้ามเนื้อ

ATP ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของกล้ามเนื้อที่นำมาใช้ได้อย่างเฉียบพลันนั้น มีที่มาได้ 2 ทาง คือ ทางแรกได้จากระบบ ATP-CP ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแตกตัวของเครเอทีนฟอสเฟต ทางที่สองคือระบบแลคติแอซิค เป็นการหมักซึ่งไม่ใช่ออกซิเจน ในกระบวนการหมัก กูลโคสจะถูกทำลายให้กลายเป็นผลิตผลของการหมักหลายประเภท สุดแท้แต่ชนิดของสิ่งมีชีวิต แต่ในเซลล์กล้ามเนื้อ เมื่อขาดออกซิเจน จะเปลี่ยนกูลโคสให้กลายเป็นกรดแลคติค โดยกระบวนการหมันที่เรียกว่า โฮโมแลคติคเฟอร์เมนเดชั่น หรือไกลโคไลซิส และวิธีสุดท้ายที่ทำให้ได้เอทีพี คือ ขบวนการใช้ออกซิเจน เมื่อมีออกซิเจน ผลิตผลของการหมักจะถูกเผาผลาญต่อไป โดยกระบวนการหายใจ กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซค์กับน้ำ กระบบวนการหายใจ ประกอบด้วยวัฏจักรเครบส์ (Kreb's Cycle) และอ๊อกซิเดตีบฟอสฟอริเลชั่น (Oxidative Phosphorylation)

อนันต์ อัตชู (2527) กล่าวว่า ถึงแม้ในกล้ามเนื้อจะมี CP เป็นแหล่งพลังงานสำรองก็ตาม เมื่อต้องทำงานหนักติดต่อกันสารนี้ก็หมดไป ดั้งนั้นจึงต้องมีการผลิต ATP เพิ่มขึ้น เนื่องจากกระบวนการหายใจสร้าง ATP ขึ้นไม่ทันความต้องการ นอกจากนั้นแม้กระบวนการ Metabotism ที่มีอยู่ในร่างกาย สามารถสังเคราะห์ ATP จากอาหารได้ แต่ก็ต้องอาศัยเวลามาก ดังนั้น ATP ส่วนใหญ่ จะได้มาจากไกลโคไลซิส (Glycolysis) ไกลโคไลซิส เป็นกระบวนการในการย่อยสลายน้ำตาล โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนอิสระ แต่ก็ได้พลังงานในรูปแบบของ ATP มาใช้ ฉะนั้นในระหว่างที่เซลล์ขาดออกซิเจน ร่างกายก็สามารถสร้างพลังงานได้ กระบวนการนี้เรียกว่า แอนแอโรบิค เมตาโบลิซึม (Anaerobic Metabolism)

สิรินทร์ วิโมกข์สันถว์ (2521) ได้กล่าวว่า เมื่อกล้ามเนื้อทำงานภายในเซลล์ของกล้ามเนื้อจะมีเมตาโบลิซึมก่อให้เกิด เอทีพี เช่นเดียวกับเซลล์อื่นๆ เอทีพีได้มาจากทั้งไกลโคไลซิส (Glycolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ใช่ออกซิเจน และกระบวนการลูกโซ่ของการหายใจ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Respiratory Chain) ซึ่งเป็นกระบวนการใช้ออกซิเจน และเกิดขึ้นในไมโตคอนเดรีย (Mitocondria) เมื่อกล้ามเนื้ออยู่ในระยะพัก กระบวนการเหล่านี้เป็นตัวผลิตเอทีพีเป็นส่วนใหญ่

ในการทำงานบนที่สูง เป็นการทำงานของร่างกายที่มีขีดกำจัดในการใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจน เนื่องจากความเบาบางของบรรยากาศ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในหนึ่งหน่วยปริมาตรลดต่ำลงไปด้วย ในขณะที่มนุษย์ต้องใช้พลังงานในการทำงานชนิดหนึ่งๆ เท่ากัน ในทุกระดับความสูง (Karpovich & Sinning, 1970) ความต้องการในการใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงานที่มากกว่าความสามารถของร่างกายที่จัดหาให้ได้ ก่อให้เกิดการชดเชยการสร้างพลังงานกลับไปใช้ในกระบวนการสร้างพลังงาน ที่ไม่ใช่ออกซิเจนโดยกระบวนการไกโคไลซิส (Glycolysis) เกิดการสะสมของกรดแลกติคขึ้นในเซลล์และในกระแสเลือด

Edwards, (1936) พบว่าในการทำงานที่ระดับความสูงต่างๆ กัน ระดับแลคเตทในเลือดภายหลังการทำงานในระยะแรกเริ่มสัมผัสกับความสูงของผู้ไม่คุ้นเคยกับที่สูง จะสูงกว่าการทำงานอย่างเดียวกันที่ระดับน้ำทะเล แต่ในผู้ที่มีความคุ้นเคยกับความสูงแล้วระดับแลคเตทในเลือดจะใกล้เคียงกับการทำงานที่พื้นราบระดับน้ำทะเล

Hermansen และ Saltin, (1967) พบว่า ในการทำงานที่น้อยกว่าความสามารถในการทำงานของร่างกายบนที่สูงระดับ 2,300 เมตร ที่มีความหนักของงาน และเวลาในการทำงานเท่ากับที่พื้นราบ ระดับแลคเตทในเลือดสูงกว่าการทำงานที่ระดับน้ำทะเล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Klausen, Robinson, Michael, และ Myhre, (1966) ได้ทำการศึกษาผลของระดับความสูง ที่มีต่อความสามรถสูงสุดในการทำงานของร่างกาย โดยการศึกษาจากกลุ่มทดลองจำนวน 5 คน ไปฝึกที่ระดับความสูง 3,800 เมตร เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ทำการทดลองโดยการปั่นจักรยานจนกระทั่งหมดแรงตามวิธีการทดสอบของบัลกีและมีการปรับแต่ง การทดลองได้จัดกระทำในวันแรกในช่วงกลาง และในช่วงสุดท้ายของการฝึกบนที่สูง ผลการทดลองพบว่าในวันแรกของการสัมผัสกับความสูง ความสามารถสูงสุดในการทำงานของร่างกาย และความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนลดต่ำลงจากที่ระดับน้ำทะเล ในช่วงกลางความสามารถสูงสุดในการทำงานของร่างกายเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 4 และระดับแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 14 เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในวันแรก ในช่วงสุดท้ายของการทดลอง ความสามารถสูงสุดในการทำงานของร่างกาย ความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจน และระดับแลคเตทในเลือดสูงกว่าค่าที่วัดได้ที่ระดับน้ำทะเล ก่อนขึ้นที่สูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Stenberg, khlam, และ Messin, (1966) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองของระบบไหลเวียนโลหิต จากการทำงานบนที่ระดับความสูง 4,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล ผลปรากฏว่าความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนของร่างกายลดลงร้อยละ 28

Buskirk, Kollisa, Akers, Prokop, และ Reategui (1967) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการทำงานของร่างกายจากการฝึกบนที่สูง และความสามารถในการทำงานของร่างกาย เมื่อกลับสู่พื้นราบที่ระดับน้ำทะเลแล้ว โดยทำการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างชายที่เป็นนักวิ่งระดับประเทศ ซึ่งมีสมรรถภาพทางกายสูง ทำการปั่นจักรยานตามโปรแกรมที่กำหนด ที่ระดับความสูง 300 และ 4,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล ทำการวัดความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจน และความสามารถสูงสุดในการทำงานของร่างกาย ผลปรากฏว่า ความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนของร่างกายที่ระดับความสูง 4,000 เมตร ลดลงร้อยละ 26 ความสามารถในการทำงานจากการฝึกบนที่สูง ไม่ดีกว่าความสามารถในการทำงานที่เกิดจากการฝึกบนพื้นราบที่ระดับน้ำทะเล

Saltinal, Grover, Blomgvist,Hartley, และ Johnson, (1968) ได้ทำการศึกษา ความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจน และการสูบฉีดโลหิตของร่างกาย (Cardiac Output) ภายหลังการได้คุ้นเคยกับที่ระดับความสูง 4,300 เมตร เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยการทดลองได้กระทำกับกลุ่มนักศึกษาในมหาวิทยาลัย จำนวน 4 คน ซึ่งมีความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนของร่างกายที่ระดับน้ำทะเลพอๆ กัน วิธีการทดลองได้กระทำโดยการปั่นจักรยานแบบโมนาร์คด้วยความหนักของงานที่น้อยกว่าระดับการทำงานที่สูงสุด (Submaximal Work Load) และการวัดความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนของร่างกาย ได้กระทำโดยวิธีของดักลาส (Douglsa Bag Method) ผลการทดลองพบว่า ความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนของร่างกายในระยะแรกที่สัมผัสระดับความสูง 4,300 เมตร ลดลงร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนที่ระดับน้ำทะเล และหลังจากที่ได้คุ้นเคยกับที่สูง เป็นเวลา 2 สัปดาห์แล้ว ความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนยังคงอยู่ในระดับเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

Grover, weil และ Reeves, (1986) ได้ทำการศึกษา การปรับตัวของระบบไหลเวียนเลือดในการออกกำลังกายที่ระดับความสูง 2,743 เมตร โดยทำการศึกษาจากกลุมทดลองจำนวน 15 คน พบว่าการออกกำลังกายที่สูงทำให้อัตราการเต้นของชีพจรช้าลง ปริมาตรการสูบฉีดโลหิตต่อนาทีลดลง ความดันโลหิต และความเข้มข้นของเลือดเพิ่มขึ้น ความสามารถสูงสุดในการทำงานของร่างกายต่ำกว่าที่ระดับน้ำทะเล

Terrados, Melichna, Sylven, Johnson และ Kalfser, (1988) ได้ทำการศึกษาความแตกต่างของความสามารถในการทำงานของร่างกายจากผลของการฝึกบนพื้นราบที่ระดับน้ำทะเลกับการฝึกบนที่สูงโดยศึกษาเรื่องโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของกล้ามเนื้อ จากประชากรที่เป็นนักแข่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จักรยาน จำนวน 8 คน โดยทำการฝึก เป็นเวลา 3-4 สัปดาห์ๆ 4-5 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งประกอบด้วยกันปั่นจักรยานติดต่อกัน 60-90 นาที และปั่นๆหยุดๆเป็นเวลา 45-60 นาที การทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งทำการฝึกในห้องปรับความกดดันต่ำ (Altitude Chamber) ที่เท่ากับระดับความสูง 2,316 เมตร อีกกลุ่มหนึ่งทำการฝึกที่ระดับน้ำทะเล โดยก่อนและหลังการฝึกได้ทำการทดสอบความสามารถในการในการทำงาน เก็บตัวอย่าเลือดและเจาะชั้นเนื้อขามาเป็นตัวอย่างในการตรวจ ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการทำงานเนื่องจากการฝึกบนที่สูงเพิ่มมากกว่าการฝึกที่พื้นราบที่ระดับน้ำทะเล ความสามารถในการทำงานที่เพิ่มจากการฝึกบนที่สูง มีความสัมพันธ์กับการลดลงของระดับแลคเตทในเลือด

Mairbaurl Schobersberger Hasiberder Hopferwieser Knapp Humpeler, (1989) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการออกกำลังกายในผู้ป่วยที่เปลี่ยนเลือดเนื่องจากความผิดปกติของเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งทำให้ความสามารถในการใช้ออกซิเจนในการหายที่ระดับพื้นราบในภาวะปกติลดน้อยลงอยู่แล้ว และคาดว่าเมื่อขึ้นที่สูงจะทำให้เกิดภาวะพร่องออกซิเจน (Hypoxia) การศึกษาได้กระทำโดยการปั่นจักรยานด้วยความหนักของงานร้อยละ 60 ของชีพจรเป้าหมาย ที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 2,042 เมตร และ 3,048 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการทำงานที่ระดับความสูง 3,048 เมตร ลดลงร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานบนที่สูงระดับน้ำทะเล แต่ความสามารถในการทำงานที่ระดับความสูง 2,042 เมตร และที่ระดับพื้นราบไม่แตกต่างกัน

Wehrlin JP, Zuest P, Hallén J, Marti B, (2006) ได้ทำการศึกษาผลของการอยู่บนที่สูง ฝึกที่ใกล้ระดับน้ำทะเล เป็นเวลา 24 วัน ดูผลการเปลี่ยนแปลงของ ฮีโมโกบิน (Hb) และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง (RBC) ในนักกีฬาที่มีความทนทานชั้นยอด ผลของการอยู่บนที่สูง ฝึกที่ระดับน้ำทะเลของฮีโมโกบินและปริมาณเซลล์เม็ดเลือดแดง คาดว่า Hb และ RBC จะเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดภาวะพร่องออกซิเจน 10 คน ของทีมชาติสวิส ชาย 5 คน หญิง 5 คน ที่อยู่บนที่สูงจากระดับน้ำทะเล 2,500 เมตร 18 ชั่วโมงต่อวัน และทำการฝึกที่ 1,800 เมตร และ 1,000 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล เป็นเวลา 24 วัน จากการอาศัยอยู่ที่ 2,500 เมตร และทำการฝึกที่ระดับความสูงต่ำเป็นเวลา 24 วัน มีการเพิ่มขึ้นของ Hb และ RBC การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพความทนทานของนักกีฬาชั้นยอด

Pottgiesser T, Ahlgrim C, Ruthardt S, Dickhuth HH, Schumacher YO, (2009) ได้ทำการศึกษาผลการเปลี่นยแปลงของฮีโมโกบิล ภายหลังการฝึก 21 วัน ที่ระดับความสูง 1,816 เมตรจากระดับน้ำทะเล โดยการนำนักกีฬาจักรยานชายระดับยอด ทีมชาติเยอรมัน การขี่จักรยานประเภท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

U2 ขึ้นไปฝึกที่ระดับความสูงปานกลาง 1,816 เมตร หลังเสร็จสิ้นการฝึก 21 วัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ปริมาณ RBC, Plasma Volume, Hb, และ Hct ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

Christoulas K. 1, Karamouzis M. 2, Mandroukas K. 1, (2011) ได้ทำการศึกษาผลการอยู่บนที่สูง ฝึกบนที่สูง กับการอยู่บนที่สูงทำการฝึกที่ระดับน้ำทะเล ดูผลการตอบสนองของ Erythropoietin (EPO), (Hb), (Hct), (RBC) ของนักสกีประเภทวัยรุ่น อาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดลองเป็นนักสกีชายและหญิง ในการทดลองครั้งแรก นักสกีทำการฝึก 21 วัน ที่ระดับความสูง 1,550 - 2,050 เมตร ในขณะทำการทดลองครั้งที่สอง ทำการฝึกที่ใกล้ระดับน้ำทะเล 450 – 500 เมตร แต่อาศัยอยู่ที่ระดับความสูง 1,550 เมตร ทำการเจาะเก็บตัวอย่างเลือดทันทีหลังการออกกำลังกายรอบสูงสุดที่ระดับน้ำทะเลก่อนขึ้นไปในวันที่ 1 และ 21 ที่ระดับความสูง 1,740 เมตร ผลการศึกษาพบว่านักสกีทั้งเพศชายและเพศหญิง ค่า VO2 Max ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจาก 21 วัน ที่อาศัยอยู่บนที่สูงที่ระดับความสูงปานกลาง และการฝึกที่ใกล้ระดับน้ำทะเล การศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าอยู่ที่ระดับความสูงปานกลาง 1,550-2,050 เมตร มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ของค่า VO2 Max และ มวลของ RBC ทั้งในเพศชายและเพศหญิง ผลการวิจัยพบว่า การอยู่บนที่สูง แต่ทำการฝึกที่ใกล้ระดับน้ำทะเล ในนักกีฬาสกีวัยรุ่นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านความอดทน

ในปี พ.ศ. 2531 สุขไสว จีระยา ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนของร่างกาย ภายหลังการออกกำลังกายตามโปรแกรมการฝึก ที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล 2 ระดับ คือระดับความสูง 127 และ 975 เมตร โดยศึกษาจากกลุ่มนักเรียน 2 กลุ่ม ซึ่งได้ทำการแยกฝึกตามระดับความสูง ด้วยการวิ่งเหยาะรอบสนามวันละ 10 นาที แล้วเพิ่มขึ้นวันละ 5 นาที เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำการวัดความดันโลหิต และความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจน เป็นระยะๆ และหลังเสร็จสิ้นระยะการฝึก พบว่าความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจน ทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบผลของการฝึกบนที่สูง บนที่สูงทั้ง 2 ระดับ พบว่าความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนของร่างกายไม่แตกต่างกัน

ปี พ.ศ. 2536 สุนันท์ พฤกษาชีวะ และคณะ ได้ทำการศึกษาผลการฝึกซ้อมในที่สูงต่อการเปลี่ยนแปลงทางร่างกายในนักกีฬา โดยทำการทดสอบทำการเก็บตัวที่บ้านพักของกรมป่าไม้บนดอยอินทนนท์จังหวัดเชียงใหม่ สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,300 เมตร ในกลุ่มนักกรีฑาทีมชาติ 14 คน เพื่อเตรียมเข้าร่วมการแข่งขัน SEA GAMES ครั้งที่ 17 เก็บตัว 15 วัน และนักกีฬาจักรยานเขต1 จากจังหวัดชัยนาท 22 คน เพื่อเตรียมทีมเข้าแข่งขันกีฬาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 เก็บตัว 21 วัน เก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางร่างกาย ก่อนขึ้น ระหว่างพักอยู่ และหลังลงจากที่สูง ติดตามผลจากสถิติการแข่งกีฬาใน 4 สัปดาห์ ผลการทดสอบพบว่า ในกลุ่มนักกรีฑาไม่พบการเปลี่ยนแปลงชัดเจน และการพัฒนาสถิติยังไม่แน่นอน ส่วนนักกีฬาจักรยานเขต 1 พบว่า มีสมรรถภาพทางกายที่ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้แก่ กำลังกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น และจากการติดตามผลพบว่า นักกีฬากลุ่มนี้สามารถทำสถิติได้ดีขึ้นมาก โดยเฉพาะประเภททีมหญิงสามารถทำลายสถิติประเทศไทยในประเภทไทม์ไทรอัล 50 กม.

ปี พ.ศ. 2539 ชัยสิทธิ์ ภาวิลาส ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกซ้อมบนดอยอินทนนท์ต่อความสมบูรณ์ของนักวิ่งระยะไกลทีมชาติ โดยทำการศึกษาในนักกีฬาทีมชาติจำนวน 16 คน นักกรีฑาชายมีอายุระหว่าง 21-32 ปี แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง ตามระยะวิ่งแข็งขัน (กลุ่มที่ 1ระยะวิ่ง 5-10 กิโลเมตรและกลุ่มที่ 2 ระยะวิ่งมากกว่า 10 กิโลเมตร) ก่อนขึ้นและหลังจากการฝึกซ้อมบนดอยอินทนนท์ประมาณ 3-5 วัน นักกีฬาทุกคนเข้าร่วมทดสอบการทำงานของปอด สมรรถภาพการทำงานแบบอนากาศนิยม (ไม่ใช้ออกซิเจน) และการใช้ออกซิเจนสูงสุดวิเคราะห์การทำงานของกล้ามเนื้อขาด้วยเครื่องมือ ระบบไอโซคิเนติค (Cybex 6000) และเจาะเลือดเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงทางโลหิตวิทยารวมถึงการตรวจระดับแลคติคใน เลือดของนักกีฬาขณะทดสอบด้วยการออกกำลังบนจักรยานวัดงานที่ 250 วัตต์ การฝึกซ้อม ณ บ้านพักบนดอยอินทนนท์เฉลี่ย 2-4 ชั่วโมงต่อวัน 6 วันต่อสัปดาห์เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ผลของการวิจัยพบว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงด้านความอดทนของระบบไหลเวียนเลือดและหัวใจของนักกีฬา ก่อนขึ้นฝึกซ้อมนั้น กลุ่มที่ 2 (x(SE; 61.66 (2.17 มล./นาที/กก.) มีค่ามากกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจากกลุ่มที่ 1 (56.61 (1.30 มล./นาที/กก.) หลังการซ้อมบนที่สูงพบว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดของทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ อย่างไรก็ตามผลของการตรวจจำนวนเม็ดเลือดแดง ร้อยละของเรติคูโลซัยต์ และความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเลือด ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 2 กลุ่ม ยังพบอีกว่าหลังจากฝึกซ้อมบนดอยอินทนนท์ จะทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง และพลังกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้า เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ เฉพาะในกลุ่มที่ 1 ส่วนในกลุ่มที่ 2 พบว่าค่าสมรรถภาพการทำงานแบบอนากาศนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ เช่นเดียวกัน

ปี พ.ศ. 2544 สุกิจ พิทักษเจริญ ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกซ้อมบนที่สูง ที่มีต่อสมรรถภาพด้านความอดทนและแอนแอโรบิกเทรชโฮลด์ในนักวิ่งมาราธอนโดยทำการศึกษานักวิ่งมาราธอนทีมทหารอากาศ เพศชาย อายุระหว่าง 20-30 ปี จำนวน 10 คน โดยการทดสอบหาสมรรถภาพทางการใช้ออกซิเจนสูงสุดและแอนแอโรบิกเทรธโฮลด์ โดยวิธีคอมคอนิ (conconia's test) ที่ระดับน้ำทะเลก่อนขึ้นดอยอินทนนท์ 2 ครั้ง โดยห่างกัน 21 วัน หลังจากทดสอบ ครั้งที่ 2 ที่ระดับน้ำทะเล ภายใน 3-5 วัน นำนักกีฬาไปฝึกซ้อมบนดอยอินทนนท์ นาน 21 วันเมื่อลงจากดอยอินทนนท์ ภายใน 3-5 วันนักกีฬาเข้ารับการทดสอบ แบบเดียวกันที่ระดับน้ำทะเล นำข้อมูลที่ได้มหาค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตาฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวกับชนิดวัดซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ โดยวิธีการของตู่กี (Turkey) ผลการวิจัยพบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดและแอนแอโรบิกเทรชโฮลด์ของนักวิ่งมาราธอนครั้งที่ 1,2 และ3 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ .05

ดรุณวรรณ จักรพันธุ์ ได้ทำการศึกษาสมรรถภาพทางกายและผลโลหิตวิทยาในเด็กชาวไทยภูเขาที่อาศัยอยู่ที่ระดับความสูง 500 เมตร และ 1,000 เมตร โดยทำการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 71 คน เป็นชาย 29 คน และหญิง 32 คน อายุประมาณ 10-14 ปี แบ่งเป็นสามกลุ่มคือ กลุ่มควบคุมเด็กไทยที่อาศัยอยู่ที่สูงระดับพื้นราบ, กลุ่มที่ทดลองที่หนึ่งเป็นเด็กชาวไทยภูเขาที่อาศัยอยู่ที่ระดับความสูง 500 เมตร (กลุ่ม 500ม.) และกลุ่มทดลองที่สอง เด็กชาวไทยภูเขาที่อาศัยอยู่ที่ระดับความสูง 1,000 เมตร (กลุ่ม 1,000ม.) ทุกคนได้รับการวัดสัดส่วนของร่างกาย วัดสัญญาณชีพ ทดสอบสมรรถภาพทางกายตามแบบทดสอบของฟิสิคอล เบสท์ ได้แก่ การทดสอบหาความหนาแน่นของไขมันใต้ผิวหนัง แรงบีบมือ นั่งงอตัวไปข้องหน้า ลุกนั่งใน 30 วินาที ดึงข้อราวเดี่ยว(ชาย) งอแขนหอยตัว(หญิง) วิ่งหนึ่งไมล์ และทำการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางโลหิตวิทยา ได้แก่ ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน ค่าฮีมาโตคริท จำนวนเม็ดเลือดแดง จำนวนเม็ดเลือดขาว และจำนวนเกร็ดเลือด เปรียบเทียบความแตกต่างของผลที่วัดได้ระหว่างกลุ่มตัวอย่างโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เมื่อพบความแตกต่างจึงเปรียบเทียบเป็นรายคู่ตามวิธีของเชฟเฟ่

ผลการวิจัยพบว่า น้ำหนักตัวและเปอร์เซ็นต์ไขมันของเด็กทั้งสามกลุ่มไม่แตกต่างกัน แต่กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยความสูงของร่างกายที่สูงกว่ากลุ่ม 500 ม. และ 1,000 ม.ทั้งในเพศชายและเพศหญิง ในเพศชาย เด็กชาวไทยภูเขาทั้งสองระดับมีความดันโลหิตซิสโตลอคและอัตราการหายใจสูงกว่าเด็กกลุ่มควบคุม แต่มีสมรรถภาพทางกายที่ใกล้เคียงกัน ในเพศหญิง กลุ่มควบคุมมีอัตราการเต้นของชีพจรเร็วกว่าเด็กชาวเขากลุ่ม 1,000 ม. และมีสมรรถภาพทางกายได้แก่ จำนวนครั้งของการลุกนั่งใน 30 วินาที และความนานในการงอแขนห้อยตัวดีกว่าเด็กชาวไทยภูเขาทั้งสองกลุ่มทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่าในเพศชายมีจำนวนเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกร็ดเลือด ไม่แตกต่างระหว่างเด็กทั้ง 3 กลุ่ม ส่วนในเพศหญิงนั้น เด็กชาวไทยภูเขากลุ่ม 500 ม. และ 1,000 ม. มีจำนวนเม็ดเลือดแดงมากกว่ากลุ่มควบคุม และในกลุ่ม 500 ม.มีจำนวนเม็ดเลือดขาวมากกว่ากลุ่มอื่น แต่ไม่มีความแตกต่างกันในจำนวนเกร็ดเลือดของเด็กทั้ง 3 กลุ่ม อย่างไรก็ตาม เด็กชาวไทยภูเขากลุ่ม 500 ม. และกลุ่ม 1,000 ม. เป็นระยะเวลานาน มีสมรรถภาพทางระบบไหลเวียนโลหิตดีกว่าเด็กไทยที่อาศัยอยู่ที่ระดับพื้นราบ ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับตัวทางโลหิตวิทยาต่อการเผชิญกับความสูงในระดับนี้เป็นระยะเวลานาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved