บทที่ 2

วรรณคดีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกกำลังในที่ระดับสูงกว่าน้ำทะเลมาก ๆ ได้มีการวิจัยจริงจังเริ่มขึ้นในปี ค.ศ.1968 ก่อนและหลังการแข่งขันโอลิมปิคที่เม็กซิโกซิตี้ ซึ่งเป็นที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมาก (ระดับความสูง 7,000 ฟุต)

ที่ระดับน้ำทะเล ความกดดันอากาศคือ 760 มิลลิเมตรปรอท แต่ที่เม็กซิโกความกดดันเหลือเพียง 596 มิลลิเมตรปรอท เมื่อความกดดันต่ำลง จะทำให้ปริมาตรอากาศขยายออก ความกดดันของออกซิเจนที่ลดลงนี้เป็นผลเสียอย่างยิ่งต่อระบบหายใจ เพราะการเดินทางของออกซิเจนเข้าสู่ปอด ต้องอาศัยความแตกต่างระหว่างความกดดันสองแห่ง (pressure gradient) คือ เดินทางจากที่มีความกดดันสูงไปหาต่ำ

ในที่ระดับสูงกว่าน้ำทะเลมาก ๆ อากาศจะมีออกซิเจนน้อย ทำให้ร่างกายได้ออกซิเจนลำบากฉะนั้นการทำงานที่หนักเป็นเวลานาน ๆ จึงจำเป็นต้องลดลง ความสูงจึงทำให้เกิดความลำบากในการปฏิบัติกิจกรรม ความลำบากจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างบุคคล บางคนอาจจะชินกับสภาพความสูงในไม่กี่วันและสามารถเล่นกีฬาได้ แต่บางคนไม่สามารถปรับตัวได้เป็นเวลาหลาย ๆ วัน (จรวยพร ธรณินทร์ 2524 : 284)

เมื่อออกซิเจนในบรรยากาศมีน้อยลง ระดับออกซิเจนในเลือด (O_2-tension) ก็ลดลง ดังนั้นการแลกเปลี่ยนก๊าซในปอดและเนื้อเยื่อก็มีประสิทธิภาพลดน้อยลงไปด้วย คนที่แข็งแรงและสมบูรณ์จะสามารถทำงานและปรับตัวได้ดีและเร็วกว่าคนที่ไม่สมบูรณ์ในที่สูง แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การทำงานหรือออกกำลังกายนาน ๆ ก็สู้คนที่อยู่ที่นั่นไม่ได้ (อนันต์ อัศวู 2527 : 48)

ในที่สูงประสิทธิภาพการออกกำลังกายลดลงเป็นที่ปรากฏชัด ในระดับความสูงประมาณ 1,200 เมตรขึ้นไป ในการวิ่งชิงแชมป์โนอเมริกาใต้จะจัดให้มีในพื้นที่ระดับสูงปานกลาง ผู้ที่ประสบความสำเร็จมักจะเป็นนักวิ่งที่มีภูมิลำเนาในบริเวณดังกล่าวหรือไม่ก็เป็นนักกรีฑาที่ปรับตัวให้เข้ากับระดับความสูงดังกล่าวโดยใช้เวลา 3 - 4 สัปดาห์ก่อนการแข่งขัน

ตามหลักการทางสรีรวิทยา การอยู่ในที่สูงระดับปานกลาง อาจทำให้เกิดความกดดันหรือความรู้สึกผิดปกติ เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบการถ่ายเทอากาศภายในปอด ระดับการเต้นของหัวใจสูงและการออนเพลียจากความล้า ซึ่งจะไม่เกิดขึ้นถ้าสภาพแวดล้อมเป็นปกติ ดังจะกล่าวต่อไปนี้

1. การถ่ายเทอากาศภายในปอดจะเพิ่มขึ้น คือในระดับน้ำทะเลเราจะหายใจเอาอากาศเข้าไป 105 ลิตร/นาที ในพื้นที่สูง 2,000 เมตร เราจะหายใจเอาอากาศเข้าไป 140 ลิตร/นาที และในพื้นที่สูง 3,000 เมตร เราจะหายใจเข้าไป 160 ลิตร/นาที สาเหตุที่มีการถ่ายเทอากาศเพิ่มขึ้นนั้นเพราะร่างกายต้องการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ออกซิเจนในเลือดให้พอเพียง และลดเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์ลงไป ในการออกกำลังกายในที่สูง ปริมาณออกซิเจนในถุงลมจะสูงกว่าปกติ ทำให้การถ่ายเทออกซิเจนในเส้นเลือดฝอยในปอดดีขึ้น

2. การถ่ายเทอากาศภายในปอดจะไม่เปลี่ยนแปลงในระดับน้ำทะเล ในบุคคลที่มาจากบริเวณที่สูงใหม่ ๆ เปอร์เซนต์ออกซิเจนในถุงลม ในเส้นเลือดจะมีมากขึ้น

3. ระหว่างที่มีการออกกำลังกายอย่างหนักในที่ที่มีออกซิเจนน้อย ร่างกายจะชดเชยออกซิเจนด้วยการเพิ่มปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจแต่ละนาทีมากขึ้นก็โดยการที่หัวใจเต้นเร็วขึ้น

การปรับตัวให้เข้ากับพื้นที่สูง

1. เมื่อไปอยู่ในที่สูง 1 สัปดาห์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทอากาศในปอดจากเดิมไป 40 - 100 % เช่นในที่สูง 4,300 เมตร เราจะหายใจเข้าไป 120 ลิตรต่อนาที และมีเปอร์เซนต์ออกซิเจนในถุงลมปอด 24 มิลลิเมตรปรอท ขณะที่ในระดับน้ำทะเล เราจะหายใจเพียง 60 ลิตรต่อนาที และออกซิเจนในถุงลมปอด 40 มิลลิเมตรปรอท

2. ในช่วงแรกของการไปอยู่ในที่สูง ถ้ามีการออกกำลังกายร่างกายจะขาดแคลนออกซิเจนเป็นเวลานาน ถ้าผู้นั้นยังปรับตัวไม่ได้

3. ในช่วงแรกในการออกกำลังกายในที่สูง เปอร์เซนต์ออกซิเจนในเลือดจะต่ำกว่าปกติ ทำให้เกิดการเมาต่างขึ้น มีอาการวิงเวียนศีรษะ เพราะมีเปอร์เซนต์

คาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าออกซิเจนนั่นเอง (Shephard, R.J. 1978 : 124 - 134)

ฮอสแมน (Horsman) และคณะได้ศึกษาถึงผลการออกกำลังกายที่ระดับน้ำทะเลและในที่ระดับความสูง 4,300 เมตรจากระดับน้ำทะเล หลังจาก 2 สัปดาห์ผ่านไป พบว่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดและการถ่ายเทออกซิเจนเพิ่มขึ้น 10 % เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่อยู่ในระดับน้ำทะเลการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากออกซิเจนในเลือดเพิ่มขึ้น 19 % ทั้ง ๆ ที่หัวใจผลิตเลือดน้อยลง 9 % คณะของเขาจึงสรุปว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนเม็ดเลือดเป็นสาเหตุใหญ่ เวนเนตติ (Vannatti) และคณะ กล่าวว่า การที่ปริมาณหลอดเลือดฝอยเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลจากการปรับตัวเข้ากับที่สูงในช่วงเวลาหนึ่ง และการเพิ่มขึ้นของหลอดเลือดฝอยนี้จะทำให้ระยะทางระหว่างหลอดเลือดฝอยกับเซลล์ที่อยู่ในเนื้อเยื่อลดลง ปริมาณของออกซิเจนในหลอดเลือดฝอยจะทำให้ออกซิเจนในเซลล์มีเพิ่มขึ้น Rahn (1966) ได้ย้ำถึงการเพิ่มขึ้นของหลอดเลือดฝอยว่าจะมีผลต่อชีวิตคนที่อยู่ระดับน้ำทะเล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการปรับตัวเข้ากับที่สูง ซึ่งจะมีผลทำให้ตัวนำออกซิเจนเปลี่ยนแปลงไป

เรนาตาเย (Reynatarje) ได้รายงานให้ทราบว่า ส่วนประกอบของเม็ดเลือดในกล้ามเนื้อโครงร่างจะเพิ่มขึ้นในช่วงที่มีการปรับตัวเข้ากับที่สูงซึ่งจะเป็นผลดีต่อการถ่ายเทออกซิเจน เปอร์เซนต์ออกซิเจนในถุงลม 30 มิลลิเมตรปรอทสำหรับคนที่ปรับตัวไม่ได้อาจทำให้หมดสติภายใน 2 - 3 นาที เมื่อเลือดขาดออกซิเจน ผลอันนี้จะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความสูงมากกว่า 7,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล

ในกรณีที่บุคคลนั้นเป็นคนที่อาศัยอยู่ในที่ระดับน้ำทะเล เมื่อได้ไปอยู่ในที่สูงเป็นเดือนหรือหลายเดือน ผลของการปรับตัวเข้ากับที่สูงจะทำให้สามารถอยู่พัฒนาความสามารถด้านร่างกายที่จะทนทานต่อการออกกำลังกายเป็นเวลานานขึ้น จำนวนออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นในกล้ามเนื้อ มีความสำคัญต่อการพัฒนาการดังกล่าวนี้ ยิ่งอยู่ในที่สูงเร็วเท่าไหร่ อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมช่วยทำให้เรามีความสามารถในการปรับตัวเท่านั้น และการปรับตัวจะทำได้ดีในช่วงที่กำลังเจริญเติบโตและมีการพัฒนาร่างกาย (Astrand, P.O. and Rodahl, K. 1977 : 630 - 716)

ผลการปรับตัวให้เข้ากับที่สูง เกี่ยวข้องกับสิ่งต่อไปนี้

1. การเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทอากาศภายในปอด
2. การปรับตัวของระดับความเป็น ph ของเลือดและของเหลวอื่น ๆ
3. การปรับตัวของเลือดแดงที่จะนำออกซิเจนไปสู่เนื้อเยื่อ
4. การเปลี่ยนแปลงจำนวนเลือดที่ออกจากหัวใจแต่ละครั้ง (cardiac output) โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างการทำงานสูงสุด

การออกกำลังกายในที่ทุกระดับความสูง จะส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของฮีโมโกลบิน และเม็ดเลือดแดง และการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการเผาผลาญภายในเซล ผลก็คือ สมรรถภาพการรับออกซิเจนสูงสุดก็จะพัฒนาขึ้นด้วยเหมือนกันเพราะว่าการเคยชินกับความสูง โดยสมบูรณ์นั้นใช้เวลาเป็นปีจึงจะบรรลุผลและรักษาสภาพไว้ได้ มันจึงยากที่จะตัดสินว่าจะใช้เวลาเท่าใดจึงจะปรับตัวเข้ากับอากาศระดับนั้น ๆ ได้ แต่อย่างไรก็ตาม การจัดการแข่งขันกีฬาในที่สูงกว่า ๕,๐๐๐ ฟุต ควรจะได้ตระเตรียมนักกีฬาโดยการฝึกในที่ระดับสูงโดยเฉพาะ (Richard A. Berger 1982 : 227 - 236)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ 2516 พูนศักดิ์ ประถมบุตร (2516 : ก) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลจากการฝึกร่างกายตอนเช้ากับตอนบ่าย ในด้านสมรรถภาพการรับออกซิเจนสูงสุด และสมรรถภาพการทำงานของร่างกาย โดยทดลองกับนักศึกษาชายที่ไม่เคยได้รับการฝึกมาก่อน 40 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 20 คน ให้ทั้งสองกลุ่มถีบจักรยานวัดงานจนรู้สึกเหนื่อยค่อนข้างมาก (อัตราชีพจรประมาณ 180 ครั้งต่อนาที) โดยให้ผู้รับการฝึกกลุ่มหนึ่งฝึกตอนเช้าระหว่าง (5.30 ถึง 07.30 น) อีกกลุ่มหนึ่งฝึกตอนบ่ายระหว่างเวลา 14.30 ถึง 16.30 น.) ทำการฝึกเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ๆ ละ 5 วัน ผลการวิจัยพบว่า สมรรถภาพการรับออกซิเจนของร่างกาย และสมรรถภาพการทำงานของร่างกายภายหลังสิ้นสุดการฝึกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งสองกลุ่ม กลุ่มที่ฝึกตอนเช้ามีสมรรถภาพการรับออกซิเจนของร่างกายและสมรรถภาพการทำงานดีกว่ากลุ่มที่ฝึกตอนบ่ายอย่างมีนัยสำคัญ

และให้ข้อสังเกตในตอนท้ายว่า การฝึกที่มีความหนักหน่วงในระยะเวลาอันสั้นเพียง 5 สัปดาห์ ผลการฝึกตอนเช้าทำให้ร่างกายมีพัฒนาการในด้านการจับออกซิเจนของร่างกาย และสมรรถภาพการทำงานของร่างกายเพิ่มขึ้นดีกว่าตอนบ่าย

ปี พ.ศ. 2517 นันทิยา พณิชยพงศ์ (2517 : ก) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการจัดอัตราถีบที่เหมาะสมกับความหนักของระดับงานต่าง ๆ ในการทดสอบความสมบูรณ์ของร่างกายด้วยการถีบจักรยานวัดงาน ผู้รับการทดลอง 40 คน แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ทดสอบคนละ 4 ครั้ง ใช้อัตราถีบ 30 , 40 , 50 และ 60 รอบต่อนาที กลุ่มที่ 1 ทำงาน 450 กิโลปอนด์เมตรต่อนาที กลุ่มที่ 2, 3 และ 4 ทำงาน 600, 750 และ 900 กิโลปอนด์เมตรต่อนาที ผลปรากฏว่าการทำงานด้วยปริมาณงานเท่ากันแต่อัตรารอบถีบต่างกัน อัตราการเต้นของหัวใจในภาวะคงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 การใช้อัตรารอบถึง 30 รอบต่อนาที ไม่ควรนำมาใช้ในการทดสอบจักรยานวัดงานไม่ว่าจะใช้ปริมาณของงานเท่าใด เพราะทำให้ได้ผลต่ำกว่าความเป็นจริง การใช้อัตรารอบถีบ 40 รอบต่อนาที เป็นอัตราถีบที่พอเหมาะเพื่อใช้กับงานไม่มาก (450-470 กิโลปอนด์เมตรต่อนาที) แต่ไม่เหมาะกับงาน 900 กิโลปอนด์เมตรต่อนาที การใช้อัตรารอบถีบ 50 รอบต่อนาทีเป็นอัตราที่เหมาะกับงานทุกระดับตั้งแต่ 450 - 900 กิโลปอนด์เมตรต่อนาที

ในปี พ.ศ.2526 ชนิษฐา พูลสวัสดิ์ (2526 : ก) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "การเปรียบเทียบผลการออกกำลังกายโดยการวิ่งเหยาะ กับการขี่จักรยานอยู่กับที่ ที่มีต่อสมรรถภาพทางกาย ผู้เข้ารับการทดลองเป็นเพศชาย จำนวน 20 คน แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มที่ 1 ฝึกวิ่งเหยาะ กลุ่มที่ 2 ขี่จักรยาน ทั้งสองกลุ่มฝึกโดยให้ความหนักของงานเท่ากับ 70 เปอร์เซนต์ของอัตราการเต้นสูงสุดของหัวใจ ทำการฝึกครั้งละ 20 นาที 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทดสอบสมรรถภาพทางกายก่อนและหลังการฝึก สัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และสิ้นสุดโปรแกรมในสัปดาห์ที่ 8 ผลปรากฏว่าการฝึกขี่จักรยานอยู่กับที่และฝึกวิ่งเหยาะมีผลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก เปอร์เซนต์ไขมันของร่างกายและความดันขณะหัวใจบีบตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ส่วนความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลง และยังทำให้สมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้น และพบว่ากลุ่มขี่จักรยาน และกลุ่มวิ่งเหยาะมีสมรรถภาพทางกายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับระดับความสูง

ใน ค.ศ. 1964 เอินสท์ โจคล์ (ErnstJokl) ได้ศึกษาเรื่องอิทธิพลของพื้นที่ระดับสูงต่อสมรรถนะทางการกีฬา (The Effect of Altitude on Athletic Performance) โดยศึกษาจากสถิติการแข่งขัน แพนอเมริกัน เกมส์ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1951 จนถึงปี 1963 เขาพบว่าในการแข่งขันในที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมาก ๆ (5,300 ฟุต และ 7,500 ฟุต) สมรรถนะในด้านความอดทนของนักกีฬาลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ และให้เหตุผลว่าอาจเป็นเพราะความกันเฉพาะส่วนของออกซิเจนน้อย ซึ่งเป็นเหตุให้สมรรถภาพการจับออกซิเจนของร่างกายลดน้อยลง

ในปี ค.ศ. 1967 ที. อิชิโกะ (T.Ishiko) ได้ศึกษาสมรรถภาพการจับออกซิเจนของนักวิ่งระยะไกลเปรียบเทียบกับนักกรีฑาประเภทลาน โดยให้ทุกคนถีบจักรยานวัดงานตามวิธีทดสอบของ ออสตรานด์ (Astrand) แล้วเก็บอากาศหายใจออกมาวิเคราะห์ตามวิธีการของ ฮอลเดน (Haldane's technique) อิชิโกะ พบว่า นักวิ่งระยะไกลมีสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดมากกว่านักกรีฑาประเภทลาน (45.3 ml./kg./min.) และ 34.4 ml./kg./min.) ผู้วิจัยให้ข้อสังเกตว่าค่าสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดที่ได้นี้ต่ำกว่ามาตรฐานของนักกีฬาชาวยุโรป และอเมริกันเหนือมาก ซึ่งเขาให้ข้อคิดเห็นว่าอาจเนื่องจากผู้ถูกทดลองไม่ได้รับแรงจูงใจที่ดีพอในขณะทำการทดลองถีบจักรยาน

ใน ค.ศ. 1973 แม็ค ฟาร์แลน (McFarland) ได้ศึกษาผลของออกซิเจนที่ลดลงและการออกกำลังอย่างหนักบนที่สูง (Effects of a Reduced Oxygen mixture and vigorous exercise on altitude Acclimatization) โดยใช้ผู้ทดลองเป็นชายที่ได้รับการฝึกมาแล้วอย่างดี 4 คน โดยให้วิ่งบนลู่กล วันละ 1 ชั่วโมง 17 วันติดต่อกันในอากาศที่มีออกซิเจน 16 % และไนโตรเจน 84 % เขาพบว่าภายหลังการฝึกแล้วสู่บรรยากาศปกติ ผู้รับการทดลองสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพของการหายใจได้ดีกว่าเดิม 14 % - 91 % และใช้เวลาในการวิ่งบนลู่กลระยะทาง 2 ไมล์ ลดลง 23 - 36 วินาที ผู้วิจัยให้ข้อคิดเห็นว่าเนื่องจากผู้ถูกทดลองมีฮีโมโกลบินและเม็ดเลือดแดงที่มากขึ้นกว่าเดิมเมื่ออยู่ในที่สูง

ในปี ค.ศ. 1975 อดัม วิลเลียม ซี และคณะ (Adams, William C. and others) ได้ศึกษาผลของการฝึกในระดับน้ำทะเลและบนที่สูงที่มีต่อสมรรถภาพการจับ

ออกซิเจนสูงสุด และความสามารถในการวิ่ง (Effects of equivalent sea-level and attitude training on Vo_2 max and running performance) โดยศึกษาถึงเวลาที่ใช้ในการวิ่งระยะทาง 2 ไมล์กับสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มที่ฝึกในที่มีระดับความกดดันอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท กับกลุ่มในที่สูงมีความกดดันอากาศ 586 มิลลิเมตรปรอท ในการฝึกเป็นเวลา 3 อาทิตย์ พบว่า เวลาในการวิ่งระยะทาง 2 ไมล์ของกลุ่มบนที่สูงมากกว่ากลุ่มควบคุมในระดับน้ำทะเล 7.2 % และสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มที่สูงต่ำกว่ากลุ่มควบคุมในระดับน้ำทะเล 2.8 เปอร์เซนต์ จากผลที่ได้รับทำให้เขากล่าวว่า ในการออกกำลังที่ต้องใช้ความทนทานมากในที่ระดับสูง 2,300 เมตร จะไม่มีผลต่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดที่ต่างไปจากระดับน้ำทะเลหรือต่อความสามารถในการวิ่งระยะทาง 2 ไมล์

ใน ค.ศ. 1976 เชนนัม พอล ลอร์เรนซ์ (Shennum, Paul Lawrence) ได้ศึกษาเรื่องการปรับตัวของระบบไหลเวียนโลหิตที่มีต่อสภาพแวดล้อมในที่ระดับสูงของกลุ่มคายนันทนาการ จากการไปพักแรม 3 วัน ในที่มีระดับความสูง 8,400 ฟุตจากระดับน้ำทะเล มีสมาชิกเป็นชาย 48 คน หญิง 25 คน อายุ 8 - 76 ปี ผลการศึกษาพบว่าในกลุ่มสมาชิกที่มีอายุน้อยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในปริมาตรเลือดไหลเวียน แต่ผู้ชายที่มีอายุมาก ปริมาตรเลือดที่ไหลเวียนเพิ่มขึ้นจากวันที่ 1 ถึงวันที่ 2 ผู้หญิงอายุมากก็เพิ่มเช่นเดียวกันแต่ลดลง ในวันที่ 3 อัตราการเต้นของหัวใจลดลงทุกกลุ่ม ยกเว้นกลุ่มผู้หญิงที่มีอายุน้อย ความดันโลหิตขณะพักลดลงทุกกลุ่ม การถ่ายเทอากาศเพิ่มขึ้นเท่ากันในทุกกลุ่ม มีการหายใจเพิ่มขึ้นทุกกลุ่ม ในกลุ่มที่อายุน้อยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในการใช้ออกซิเจน ขณะที่กลุ่มของชายสูงอายุจะใช้เพิ่มขึ้น แต่ในผู้หญิงสูงอายุจะมีการใช้ออกซิเจนลดลงและมีภาวะหัวใจเต้นผิดปกติเพิ่มขึ้น 3 - 28 % การเปลี่ยนแปลงทุกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ใน ค.ศ. 1983 โจเซฟ แม็กเซลล์ และเบอลี่ (Joseph Michael and Berry) ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของเลือดในที่สูงระดับปานกลาง (Hematological changes in response to exposure to moderate altitudes) โดยศึกษาถึงความแตกต่างในการปรับตัวของระบบไหลเวียนเลือดในที่สูง 2,300 ม, 2,560 ม. และ 2,900 ม. เขาพบว่าฮีโมโกลบินและเม็ดเลือดแดงของผู้ถูกทดลองในที่ระดับสูง 2,900 ม. เพิ่มขึ้นมากกว่าระดับ 2,300 ม. และ 2,560 ม. และพบว่าความดันเลือด systolic and diastolic และอัตราการเต้นของหัวใจขณะของผู้ถูกทดลองในระดับ 2,900 ม. จะต่ำกว่าผู้ถูกทดลองที่ระดับ 2,300 ม. และ 2,560 ม.