

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การฝึกแบบอินเทอร์วาล (Interval Training)
2. ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ( $VO_{2max}$ )
3. สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก
4. แอนแอโรบิกเทรชโฮล
5. เม็ดเลือดแดงและการออกกำลังกาย

#### การฝึกแบบอินเทอร์วาล (Interval Training)

ประทุม ม่วงมี (2532) ได้ให้ความหมายของการฝึกแบบอินเทอร์วาล (บางครั้งก็เรียกว่า Interval Work หรือ Interval Exercise) ว่าเป็นระบบของการพัฒนาหรือรักษาสมรรถภาพ (Conditioning) และการฝึก (Training) ที่ประกอบด้วยการฝึกที่เป็นชุด (ยก) สลับกับช่วงเวลาของการพัก ซึ่งช่วงเวลาของการพักมักมีการออกกำลังกายแบบเบา ๆ

โดย Dr. James Counsilman ได้เขียนประวัติของ Interval Training Program (ITP) มีความพอสรุปได้ว่า นักกีฬาคนแรกที่ใช้การฝึกในลักษณะของ ITP ที่รู้จักกันในปัจจุบันนี้จนทำให้เขาประสบความสำเร็จสูงสุดนั้นคือ Rudolf Harbig ซึ่งทำให้เขาสร้างสถิติโลกในการวิ่งระยะทาง 400 เมตร ด้วยเวลา 46 วินาที (ซึ่งในระบะนั้น ค.ศ. 1939- ก่อนสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นเวลาที่เหมาะสมกับความฝัน) ผู้ที่คิดค้นวิธีการฝึกแบบนี้ให้กับ Harbig ได้แก่โค้ชของเขาชื่อ Woldemar Gerschler โดยเรียกการฝึกแบบนี้ว่า “Controlled Interval Method” (ซึ่งพัฒนามาเป็น ITP ในปัจจุบัน) โดยสิ่งที่มีการ “Controlled” หรือ “ถูกกำหนด” ในการฝึกคือระยะทาง (Distance) ช่วงเวลา (Interval) จำนวนเที่ยว (Repetition) จำนวนรอบ (Time) หรือปัจจุบันนิยมเรียกว่า จำนวนยก (Set) ซึ่งเขียนเป็นคำย่อว่า “DIRT” อย่างไรก็ดี วิธีการฝึกแบบนี้ยังไม่แพร่หลายมากนักในระยะแรก จนกระทั่งเวลาผ่านไปอีก 13 ปี และด้วยวิธีการฝึกแบบเดิมศษย์เอกของ Gerschler อีกคนหนึ่งคือ Josey Barthel ก็คว้าเหรียญทองในการวิ่งระยะทางที่เชื่อกันว่า “วิ่งยากที่สุด” คือ 1,500 เมตร ในกีฬาโอลิมปิกเมื่อปี ค.ศ. 1952 ที่เฮลซิงกิ ด้วยความสำเร็จที่เกิดขึ้นทำให้โค้ชกรีฑาทั่วโลกหันมาสนใจวิธีการฝึกแบบนี้กันมาก จากนั้นเป็นต้นมาโลกก็มีนักกรีฑาเด่น ๆ อีกหลายคน ITP ซึ่ง

ได้รับการปรุงแต่งขึ้นมากมายเป็นสิ่งที่อาจเรียกว่า “ต้องมี” ในการฝึกนักกรีฑาทั่วโลก และในปัจจุบัน ITP ถูกใช้ไม่เฉพาะในการฝึกกรีฑาเท่านั้น แต่สามารถใช้ได้ในกีฬาเกือบจะเรียกได้ว่าทุกประเภท

อีกตัวอย่างหนึ่งที่ทำให้คนสนใจการฝึกแบบอินเทอร์วาลก็คือ อีมิล ซาโตเพ็ค (Emil Zatopek) นักกีฬาชาวเช็กคนแรก ที่ได้เหรียญทองจากการวิ่ง 5,000 เมตร 10,000 เมตร และมาราธอน จากการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกครั้งเดียวกัน (Ellick, 2001) โดยเชื่อกันว่าวิธีการฝึกที่ทำให้ได้รับชัยชนะคือ การฝึกแบบอินเทอร์วาล จึงทำให้ผู้ฝึกสอนและนักกีฬาต่าง ๆ เริ่มรู้จักกับการฝึกแบบอินเทอร์วาลตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

การฝึกแบบอินเทอร์วาลมีข้อได้เปรียบจากการฝึกแตกต่างไปจากการฝึกความอดทนโดยทั่วไป คือ ทำให้ร่างกายได้มีโอกาสพัฒนาระบบการสร้างและใช้พลังงานที่เหมาะสมกับประเภทกีฬาอย่างเต็มที่ นอกจากนั้นยังให้ร่างกายได้พักเพิ่มเติมพลังและขจัดของเสีย ตลอดจนความร้อนจากกล้ามเนื้อเข้าสู่ระบบไหลเวียน เป็นการลดความเหนื่อย สะดวกแห่งความล้า ทำให้ร่างกายทำงานได้มากขึ้น มีความอดทนมากขึ้น (ประทุม ม่วงมี, 2532, หน้า 10)

ประโยชน์ของการฝึกแบบอินเทอร์วาล (Fitness Work Athletic Club, 1999 อ้างถึงใน มณีนทร รัชย์บำรุง, 2546)

1. การฝึกแบบอินเทอร์วาลช่วยเพิ่มความแข็งแรง (Strength), กำลัง (Power), ความเร็ว (Speed) และเพิ่มการใช้พลังงานจากไขมัน (Fat Metabolism) ได้ดีกว่าการฝึกแบบแอโรบิก (Aerobic Exercise) ทั่วไป การฝึกแบบอินเทอร์วาลจะเพิ่มปริมาณกล้ามเนื้อปราศจากไขมัน (Lean Muscle Tissue) ได้ดีกว่าการฝึกแบบแอโรบิก และการเพิ่มขึ้นของปริมาณกล้ามเนื้อปราศจากไขมันนี้จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายไขมันเพื่อสร้างพลังงานในระหว่างการออกกำลังกาย การศึกษาของ Malatesta, Werlen, Bulfaro, Cheneviere and Borrani (2008) ที่ศึกษาอัตราการเผาผลาญไขมันในช่วงฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายแบบอินเทอร์วาลที่มีความหนักสูง (ฝึกช่วงหนัก 1 นาทีที่ร้อยละ 80 ของกำลังสูงสุด สลับกับช่วงฟื้นตัวแบบแอคทีฟ 1 นาทีที่ระดับร้อยละ 40 ของกำลังสูงสุด) และกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบต่อเนื่องที่ระดับร้อยละ 45 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ พบว่าในช่วงฟื้นตัวทั้ง 2 กลุ่มมีอัตราการเผาผลาญไขมันเป็นพลังงานสูงกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ King et al. (2002) ที่ศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารระหว่างการออกกำลังกายแบบอินเทอร์วาล (ความหนักร้อยละ 95 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ 2 นาที สลับกับช่วงพักร้อยละ 25 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ 3 นาที) กับการออกกำลังกายแบบคงที่ (ร้อยละ 50 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้) ในผู้หญิงอ้วน ทั้ง 2 กลุ่มจะออกกำลังกายจนใช้พลังงาน 300 กิโลแคลอรี

ผลการศึกษาพบว่า ในขณะที่ออกกำลังกายที่งานเกือบสูงสุด (Submaximal) กลุ่มที่ฝึกแบบอินเทอร์วาลจะมีอัตราการใช้พลังงานจากไขมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ไขมันลดลง นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษาพบว่าผู้ที่ฝึกมาเป็นอย่างดียังจะสามารถเผาผลาญไขมันได้ดีกว่าคนที่ออกกำลังกายเพื่อสันทนาการ โดย Hetleid et al. (2009) ทำการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานและอัตราการเผาผลาญไขมัน ในการฝึกแบบอินเทอร์วาลระหว่างนักกีฬาประเภทความอดทนที่ฝึกมาเป็นอย่างดียกกับนักวิ่งเพื่อนันทนาการ โดยให้กลุ่มตัวอย่างวิ่งบนลู่วิ่งกลที่ปรับความชันคงที่ร้อยละ 5 และให้วิ่งหนักสลับเบา (6 ชุด ประกอบด้วยช่วงหนัก 4 นาที ช่วงเบา 2 นาที) โดยนักกีฬาเลือกความเร็วเท่าที่จะทำได้ด้วยตัวเอง ผลการศึกษาพบว่า  $VO_2$  ในช่วง 3 นาทีสุดท้ายของกลุ่มที่ฝึกเป็นอย่างดียิ่งสูงกว่า ค่าเฉลี่ยของค่าเศษส่วนลมหายใจในกลุ่มวิ่งเพื่อนันทนาการสูงกว่าพลังงานรวมในระหว่างการฝึกแบบอินเทอร์วาลของกลุ่มที่ฝึกเป็นอย่างดียิ่งสูงกว่ากลุ่มวิ่งเพื่อนันทนาการ อัตราการเผาผลาญไขมันของกลุ่มฝึกวิ่งเป็นอย่างดียิ่งสูงกว่า (23.2 กรัม) กลุ่มวิ่งเพื่อนันทนาการ (9.4 กรัม) อัตราการเผาผลาญไขมันโดยประมาณ เมื่อเทียบกับพลังงานรวมที่ใช้ไปในกลุ่มฝึกเป็นอย่างดียิ่งคิดเป็นร้อยละ 35 ส่วนในกลุ่มวิ่งเพื่อนันทนาการ คิดเป็นร้อยละ 17 จะเห็นได้ว่าในนักกีฬาที่ฝึกเป็นอย่างดียิ่งจะมีความสามารถในการเผาผลาญไขมันดีกว่านักวิ่งเพื่อนันทนาการเมื่อต้องออกกำลังกายแบบอินเทอร์วาล

2. การฝึกแบบอินเทอร์วาล เพิ่มค่าแอนแอโรบิกเทรชโฮล (Anaerobic Threshold) และปริมาณการจับออกซิเจนสูงสุด ( $VO_{2max}$ ) เมื่อค่าต่าง ๆ เหล่านี้เพิ่มขึ้น จะทำให้ร่างกายสามารถออกกำลังกายที่ระดับการเต้นของหัวใจสูง ๆ (Higher Heart Rates) โดยปราศจากการสะสมของกรดแลกติกในเลือดและกล้ามเนื้อ (Lactic Acid Accumulation) Zacharogiannis et al. (2003) ศึกษาผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบอินเทอร์วาล และการฝึกความเร็วที่มีต่อความสามารถเชิงแอนแอโรบิก โดยกลุ่มฝึกแบบต่อเนื่องฝึกที่ความหนักร้อยละ 70 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ กลุ่มฝึกแบบอินเทอร์วาลฝึกที่ความหนักร้อยละ 85-100 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ และกลุ่มฝึกความเร็วฝึกวิ่งเร็วเต็มความสามารถระยะ 20-50 เมตร พบว่าภายหลังการฝึกความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ของกลุ่มที่ฝึกแบบอินเทอร์วาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Helgerud et al. (2006) ที่เปรียบเทียบความแตกต่างของความหนักและรูปแบบของการฝึกความอดทนเชิงแอโรบิกในผู้ชายที่มีสุขภาพดีจำนวน 40 คน โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มซึ่งแต่ละกลุ่มการฝึกมีความแตกต่างกันในเรื่องระดับความหนักและระยะเวลา ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ของกลุ่มที่ทำการฝึกด้วยความหนักร้อยละ 90-95 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับระดับความหนักร้อยละ 85 และร้อยละ 70 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด

สอดคล้องกับการศึกษาของ Sokmen, Beam, Witchey and Adams (2005) ที่ศึกษาผลของการฝึกแบบอินเทอร์วาลและการฝึกแบบต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวกับการมีสุขภาพดี โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ฝึกแบบอินเทอร์วาล (ความหนักร้อยละ 120-150 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้สลับกับช่วงพักร้อยละ 30-40 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้) กลุ่มที่ 2 ฝึกแบบต่อเนื่อง (สัปดาห์ที่ 1-4 ความหนักร้อยละ 70 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ระยะเวลา 30 นาที สัปดาห์ที่ 5-7 ความหนักร้อยละ 75 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ระยะเวลา 35 นาที สัปดาห์ที่ 8-10 ความหนักร้อยละ 80 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ระยะเวลา 40 นาที) และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มควบคุมทำการฝึกสัปดาห์ละ 3 ครั้ง เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ภายหลังการฝึกพบว่า ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ทั้งค่าที่พิจารณาตัวประกอบรวม (Relative) และค่าที่ไม่พิจารณาตัวประกอบรวม (Absolute) ของทั้งกลุ่มที่ฝึกแบบอินเทอร์วาลและกลุ่มฝึกแบบต่อเนื่องมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ไขมันและน้ำหนักไขมันอย่างมีนัยสำคัญของกลุ่มฝึกทั้งสองกลุ่มและอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมจากผลการศึกษาจะพบว่า การฝึกแบบอินเทอร์วาลจะช่วยเพิ่มค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ที่พิจารณาตัวประกอบรวม (Relative) ได้ดีกว่าการฝึกแบบต่อเนื่องและพัฒนาสมรรถภาพเชิงแอโรบิกได้ด้วย

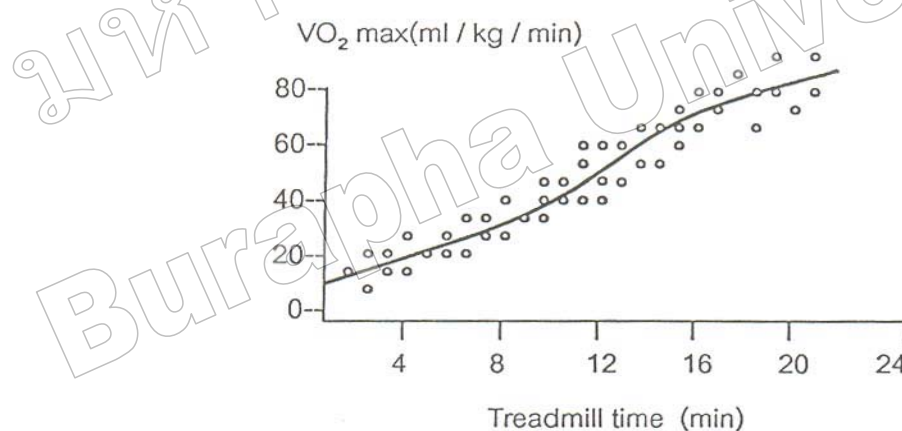
### 3. การฝึกแบบอินเทอร์วาลช่วยประหยัดเวลา จากการศึกษาพบว่าการฝึกแบบ

อินเทอร์วาล ที่ใช้เวลา 30 นาที จะเทียบได้กับการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกทั่วไป 60 นาที และการฝึกอินเทอร์วาล 3 ครั้ง/สัปดาห์ จะเทียบได้กับการฝึกออกกำลังกายแบบแอโรบิกทั่วไป 4-6 ครั้ง/สัปดาห์ และเมื่อเปรียบเทียบการฝึกแบบอินเทอร์วาลกับการฝึกแบบแอโรบิกจะพบว่า การฝึกแบบอินเทอร์วาลจะให้ผลดีไม่แพ้การฝึกแบบแอโรบิกทั่ว ๆ ไป ดังรายงานการศึกษาของ Foster et al. (2009) ซึ่งทำการศึกษาค่าผลของการฝึกแบบแอโรบิกรูปแบบต่าง ๆ ที่มีต่อ ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ สัดส่วนของร่างกาย และ พลังงานแอโรบิก โดยให้กลุ่มตัวอย่างชายหญิงจำนวน 34 คน ทำการฝึกวิ่ง 2 รูปแบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ฝึกวิ่งแบบอินเทอร์วาล และกลุ่มที่ 2 ฝึกวิ่งแบบต่อเนื่อง ภายหลังการฝึกพบว่า ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มที่ 1 เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.05 และกลุ่มที่ 2 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.18 สำหรับเปอร์เซ็นต์ไขมันนั้นก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 กลุ่ม จะเห็นได้ว่าทั้งกลุ่มที่ฝึกแบบอินเทอร์วาลและกลุ่มที่ฝึกวิ่งแบบต่อเนื่องก็ส่งผลต่อความสามารถเชิงแอโรบิก และสัดส่วนของร่างกาย แต่ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าการฝึกแบบอินเทอร์วาลจะให้ผลดีมากว่าการฝึกแบบต่อเนื่อง

## ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้

ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายรับเข้าไปให้เซลล์ใช้ในหนึ่งนาที่เรียกว่า Oxygen Consumption ( $\text{VO}_2$ ) ส่วนปริมาณสูงสุดของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถรับเข้าไปให้เซลล์ใช้ได้ต่อช่วง 1 นาที เรียกว่า Maximum Oxygen Consumption หรือ ค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ( $\text{VO}_2 \text{ max}$  หรือ  $\text{max VO}_2$ ) ค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้นี้จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานของร่างกายเชิงแอโรบิก ซึ่งความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคนจะไม่เท่ากัน ก่อนที่คนเราจะมีอายุย่างเข้าสู่วัยรุ่น ความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุดของผู้หญิงจะอยู่ประมาณร้อยละ 70 ของเมื่ออายุ 25 ปี (Morehouse & Miller, 1976, p. 148)

เมื่อร่างกายเริ่มเปลี่ยนสภาพจากขณะพักมาเป็นการออกกำลังกายค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การออกกำลังกายเป็นระยะเวลานาน ๆ ซึ่งมีความหนักและระยะเวลาที่เพียงพอ จะทำให้ค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ในขณะออกกำลังกายเมื่อความหนักของงานเพิ่มขึ้น (Foster et al., 1984, pp. 1229 – 1234 cited in Roberg & Roberts, 1997, p. 490)

ขณะเดียวกันในนักกีฬาที่ทำการฝึกความอดทน ค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ จะสูงกว่าคนปกติ ในนักวิ่งมาราธอนที่ทำการฝึกความอดทนเป็นประจำ จะพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายรับเข้าไปมีมากขึ้นเป็น 10-20 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับในขณะพัก และเมื่อ

เปรียบเทียบนักกีฬาด้วยกันเองมักพบว่า นักกีฬาที่ทำการฝึกความอดทนมักมีค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ สูงกว่านักกีฬาประเภทอื่น

**ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความอดทนของระบบไหลเวียนและหายใจ** ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความอดทน มีดังนี้

**1. อายุ** เมื่อเปรียบเทียบการออกกำลังกายตลอดชีวิตของคน พบว่าสมรรถภาพของร่างกายจะมีการพัฒนาขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากวัยเด็กจนถึงจุด ๆ หนึ่ง แล้วความอดทนจะค่อย ๆ ลดลง สำหรับผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำ ในผู้หญิงช่วงที่มีความอดทนสูงสุดจะเป็นอายุประมาณ 20-25 ปี ส่วนในเพศชายจะอยู่ในช่วงอายุ 30-35 ปี และจะคงอยู่ประมาณ 3-5 ปี ทั้งหญิงและชายจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง

**2. เพศ** โดยโครงสร้างพื้นฐานแล้ว กระบวนการทางสรีรวิทยาของผู้หญิงและผู้ชายก่อนที่จะเข้าสู่วัยรุ่นมีความเหมือนหรือคล้ายคลึงกันอยู่หลายอย่าง เช่น ความสามารถทางกายอาจจะพอ ๆ กัน หรือ เด็กผู้หญิงอาจจะมากกว่า แต่เมื่อเข้าสู่วัยรุ่นแล้วจะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ในเด็กหญิงและผู้หญิงที่มีสุขภาพดีจะมีค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ต่ำกว่าเด็กชายและผู้ชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ต่ำกว่าร้อยละ 20-25) ช่วงของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ในแบ่งตามอายุเพศ และชนิดกีฬาปรากฏในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ของคนทั่วไปและนักกีฬาแต่ละชนิด  
( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) (Wilmore, Costill & Kenney, 2008)

| กลุ่มหรือกีฬา    | อายุ  | ชาย   | หญิง  |
|------------------|-------|-------|-------|
| คนทั่วไป         | 10-19 | 47-56 | 38-46 |
|                  | 20-29 | 43-52 | 33-42 |
|                  | 30-39 | 39-48 | 30-38 |
|                  | 40-49 | 36-44 | 26-35 |
|                  | 50-59 | 34-41 | 24-33 |
|                  | 60-9  | 31-38 | 22-30 |
|                  | 70-79 | 28-35 | 20-27 |
| เบสบอล/ ซอฟท์บอล | 18-32 | 48-56 | 52-57 |
| บาสเกตบอล        | 18-30 | 40-60 | 43-60 |
| จักรยาน          | 18-26 | 62-74 | 47-57 |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| กลุ่มหรือกีฬา       | อายุ  | ชาย   | หญิง  |
|---------------------|-------|-------|-------|
| แคนนู               | 22-28 | 55-67 | 48-52 |
| อเมริกันฟุตบอล      | 20-36 | 42-60 | -     |
| ยิมนาสติก           | 18-22 | 52-58 | 36-50 |
| สอกกีน้ำแข็ง        | 10-30 | 50-63 | -     |
| ขี่ม้า              | 20-40 | 50-60 | -     |
| ออเรียนเตียร์       | 20-60 | 47-53 | 46-60 |
| กีฬาเร็กเก็ต        | 20-35 | 55-62 | 50-60 |
| เรือพาย (กรรเชียง)  | 20-35 | 60-72 | 58-65 |
| สกีลงเขา            | 18-30 | 57-68 | 50-55 |
| สกีข้ามทุ่ง         | 20-28 | 65-94 | 60-75 |
| สกีกระโดดไกล        | 18-24 | 58-63 | -     |
| ฟุตบอล              | 22-28 | 54-64 | 50-60 |
| สเก็ตตั่ง           | 18-24 | 56-73 | 44-55 |
| ว่ายน้ำ             | 10-25 | 50-70 | 40-60 |
| กรีฑา (ขว้างจักร)   | 22-30 | 42-55 | -     |
| กรีฑา (วิ่ง)        | 18-39 | 60-85 | 50-75 |
|                     | 40-75 | 40-60 | 35-60 |
| กรีฑา (ทุ่มน้ำหนัก) | 22-30 | 40-46 | -     |
| วอลเลย์บอล          | 18-22 | -     | 40-56 |
| ยกน้ำหนัก           | 20-30 | 38-52 | -     |
| มวยปล้ำ             | 20-30 | 52-65 | -     |

Morehouse and Miller (1976) ชี้ให้เห็นว่าในการวิ่ง ความอดทนของผู้หญิงจะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของผู้ชาย เหตุผลที่เป็นข้อจำกัดความอดทนของผู้หญิงนั้น อาจเนื่องมาจาก ความแตกต่างทางกายภาพและสรีรวิทยา เช่น โครงสร้างของร่างกาย ผู้หญิงจะมีขนาดของหัวใจที่เล็กกว่า อัตราการเต้นของหัวใจสูงกว่า ช่องความกว้างของทรวงอกขนาดเล็กกว่าส่งผลให้ความจุปอดน้อยกว่า

ความสามารถในการขนส่งออกซิเจนมีน้อยกว่าเพราะเม็ดเลือดแดงมีน้อยกว่า อาจสรุปความแตกต่างได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ความแตกต่างทางกายภาพและสรีรวิทยาระหว่างผู้หญิงกับผู้ชายทั่วไป ภายหลังเข้าสู่วัยรุ่นแล้ว (ประทุม ม่วงมี, 2527, หน้า 319)

| รายการ                                                     | หญิง     | ชาย       |
|------------------------------------------------------------|----------|-----------|
| ความจุปอด                                                  | น้อยกว่า | มากกว่า   |
| ความกว้างของผิวหน้าของถุงลมปอด<br>(Alveolar Surface Area)  | แคบกว่า  | กว้างกว่า |
| มวล น้ำหนัก และขนาดของกล้ามเนื้อ                           | น้อยกว่า | มากกว่า   |
| ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจ (ลิตร/นาที่)<br>(Cardiac Output) | น้อยกว่า | มากกว่า   |
| ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจ (มิลลิลิตร)<br>(Stroke Volume)   | น้อยกว่า | มากกว่า   |
| อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก                               | สูงกว่า  | ต่ำกว่า   |
| ความสามารถสูงสุดในการเต้นของหัวใจ                          | ต่ำกว่า  | สูงกว่า   |
| ขนาดของหัวใจ                                               | เล็กกว่า | ใหญ่กว่า  |
| ปริมาณของเม็ดเลือดในเลือด                                  | น้อยกว่า | มากกว่า   |
| ปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด                                    | น้อยกว่า | มากกว่า   |
| ความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด                           | ต่ำกว่า  | สูงกว่า   |

**3. การฝึก** ปัจจุบันวงการวิทยาศาสตร์การกีฬามีความพัฒนาขึ้น มีการวิจัยศึกษาค้นคว้าในเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้พลังงานของร่างกาย เทคนิค ทักษะ และวิธีการฝึกซึ่งเป็นแนวทางวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น การฝึกส่วนใหญ่มักมุ่งหวังให้นักกีฬา หรือผู้ที่รับการฝึกสามารถที่จะทำงานได้เป็นระยะเวลายาวนาน และป้องกันการสูญเสียพลังงานการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น ผู้ที่มีการฝึกที่ดีเท่ากับช่วยสงวนพลังงาน ทำให้มีความอดทนสูง ฉะนั้น การฝึกจึงมีผลต่อสมรรถภาพทางกาย และเป็นปัจจัยสำคัญของความสามารถในด้านกีฬา

Jenkin and Quigley (1992) ทำการศึกษาในผู้ที่ทำการฝึกความอดทนเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ด้วยการขี่จักรยานวัดงานสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 30-40 นาที ผลการศึกษาพบว่า ค่าความสามารถ



สูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.5 แต่การศึกษาส่วนหนึ่งได้อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของความสามารถสูงสุดในผู้หญิงที่ทำการฝึกความอดทนจำนวน 23 คน พบว่า ค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้จะลดลงตามอายุ โดยปีหนึ่ง ๆ จะลดลงประมาณ 0.51 มิลลิตร/กก./นาที่ ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของอัตราการเต้นสูงสุดของหัวใจ ปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจหนึ่งครั้ง (Stroke Volume) และปริมาณเลือดที่ออกจากหัวใจในหนึ่งนาที (Cardiac Output) อย่างไรก็ดี ผู้วิจัยได้กล่าวในตอนท้ายว่า สิ่งสำคัญที่สุดคือประโยชน์ที่ได้จากการฝึกออกกำลังกายซึ่งจะทำให้การเสื่อมถอยนั้นช้าลง

Chacon-Mikahil et al. (1998) ทำการศึกษาผลของการฝึกแบบแอโรบิกต่อระบบประสาทส่วนกลางที่ควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการออกกำลังกายของชายวัยกลางคน แบ่งเป็นสองกลุ่มคือกลุ่มที่ทำการฝึกและกลุ่มที่ใช้ชีวิตปกติ ทำการฝึก 10 เดือนพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจของกลุ่มฝึกลดลงเมื่อเทียบกับกลุ่มปกติ และค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ของกลุ่มฝึกสูงกว่าในกลุ่มปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. **สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น** โดยทั่วไปแล้วสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ มักมีอิทธิพลต่อการฝึกออกกำลังกาย อุณหภูมิปกติของร่างกายจะอยู่ที่  $37^{\circ}\text{C}$  ( $99^{\circ}\text{F}$ ) แต่ในขณะที่ออกกำลังกายอุณหภูมิของร่างกายอาจจะเพิ่มขึ้นถึง  $40^{\circ}\text{C}$  ( $107.6^{\circ}\text{F}$ ) เหตุผลเนื่องจากระบบการสร้างพลังงานที่กล้ามเนื้อส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมี และทำให้อุณหภูมิที่กล้ามเนื้อสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ (Wilmore & Costill, 1994, p. 245) การหลั่งเหงื่อเป็นวิธีการระบายความร้อนของร่างกายในสภาพอากาศที่ร้อน ร่างกายจะทำงานหนักมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพอากาศที่ค่อนข้างเย็น

การศึกษาส่วนใหญ่พบว่าอุณหภูมิที่ร้อนมักมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของร่างกาย ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพต่าง ๆ ในการทำงานของร่างกายลดลง Hill, Leiferman, Lynch, Dangelmaier and Burt (1998) ทำการศึกษาถึงอุณหภูมิของวันที่มีต่อการออกกำลังกายในระดับความเข้มข้นสูง โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ให้ทำการฝึกออกกำลังกายในเวลาเช้าและเย็น พบว่า ในเวลาเย็นการทำงานของร่างกายจะทำงานหนักกว่าในเวลาเช้า ผู้วิจัยสรุปว่าเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิในเวลาเย็นสูงกว่าในเวลาเช้า

**ปัจจัยที่กำหนดความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ของร่างกาย** ประทุม ม่วงมี (2527, หน้า 209-210) ได้กล่าวว่า ออกซิเจนถูกส่งไปให้กล้ามเนื้อใช้ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยอยู่ 4 ประการ คือ

1. ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ปอด (Minute Ventilation) เมื่ออากาศเข้าสู่ปอดมาก ไม่ว่า

จะเป็นเพราะในขณะออกกำลังกายหรือ การที่มีความจุปอด (Vital Capacity) เพิ่มขึ้น จะทำให้ความดันของออกซิเจน ( $PO_2$ ) ภายในปอดมีมากขึ้น การฟุ้งกระจาย การไหลของก๊าซสู่ภายในเซลล์มากขึ้น

2. ความสามารถของโลหิตที่จะรับออกซิเจนเข้าไปได้ ตัวการสำคัญในการจับออกซิเจนเข้าสู่กระแสเลือด ได้แก่ ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) หากมีจำนวนมากก็สามารถพาออกซิเจนไปใช้ได้มากขึ้น

3. ความต้องการออกซิเจนของเนื้อเยื่อ หมายถึง ความจำเป็นที่ต้องสร้างพลังงานโดยใช้ออกซิเจน ในกิจกรรมที่ต้องออกแรงติดต่อกันเป็นเวลานานร่างกายใช้ออกซิเจนไปมากถึงต้องมีการนำเอาออกซิเจนจากบรรยากาศมาทดแทนออกซิเจนที่เสียไป

4. ปริมาณเลือดที่ฉีดออกจากหัวใจในเวลา 1 นาที (Cardiac Output) หากหัวใจฉีดเลือดออกมากจากหัวใจมากเท่าใดการใช้ออกซิเจนก็จะมากไปด้วยจะเห็นได้ว่า สิ่งที่กำหนดความสามารถในการจับออกซิเจนนั้น มาจากการทำงานของระบบไหลเวียนและระบบหายใจนั่นเอง การทำงานของหัวใจและหลอดเลือดนั้นมีความสัมพันธ์กับระบบหายใจ ดังนั้นผู้ถูกทดสอบที่มีค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีจะต้องมีการประสานงานที่ดีของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจซึ่งสอดคล้องกับฉันทพล ไตรเพิ่ม (ม.ป.ป. อ้างถึงใน สุรัมภา เจริญสุข, 2553) ที่กล่าวว่า ประสิทธิภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้

### สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก

**การเผาผลาญกลูโคสที่ไม่สมบูรณ์** กลูโคสที่เปลี่ยนไปเป็นไกลโคเจนเก็บสะสมไว้ที่กล้ามเนื้อและตับ โดยที่ไกลโคเจนที่เก็บไว้ที่ตับเท่านั้นจะเป็นพลังงานสาธารณะของร่างกาย แต่ส่วนที่เก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อ จะเป็นพลังงานของกล้ามเนื้อ ไกลโคเจนจำนวนนี้ภายหลังถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นกลูโคสแล้วก็จะใช้ในกิจกรรมของกล้ามเนื้อเท่านั้น จะไม่เคลื่อนที่เข้าสู่กระแสเลือดเพื่อนำไปให้อวัยวะบริเวณอื่นได้ใช้ การเผาผลาญกลูโคสที่ไม่สมบูรณ์ ก็คือกระบวนการสร้างเอทีพี ด้วยการแยกกลูโคสที่ปราศจากออกซิเจนในกระบวนการเผาผลาญเรียกว่า แอนแอโรบิก ไกลโคไลซิสโดยที่กระบวนการนี้สามารถสร้างเอทีพีใช้ได้ชั่วคราวในสถานะต่าง ๆ ที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก ซึ่งมีความต้องการพลังงานสูงแต่ร่างกายไม่สามารถส่งออกซิเจนให้เพียงพอับความต้องการได้ (ประทุม ม่วงมี, 2527, หน้า 19-22)

**แหล่งพลังงานทางแอนแอโรบิกขณะออกกำลังกาย** แหล่งพลังงานทางแอนแอโรบิกขณะออกกำลังกายได้พลังงานมาใน 2 ลักษณะคือ

1. ATP-PC (Alactic Anaerobic) การสร้างพลังงานเช่นนี้ เกิดจากการรวมตัวของเอดีพีกับ พีซี เกิดเป็นเอทีพี ให้พลังงานสูงแต่มีอยู่ในกล้ามเนื้อปริมาณจำกัด พลังงานในระบบนี้จึงเป็นไปได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ (ประมาณ 10-15 วินาที) เท่านั้น

2. Lactic Acid System ในการออกกำลังกายเต็มทีนานกว่า 15 วินาที แต่ไม่เกิน 2 นาที การสร้างพลังงานในรูปแบบแรกจะไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ จึงต้องมีการสร้างพลังงานในระบบหนึ่ง โดยอาศัยการสลายกลูโคส และไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ ซึ่งจะได้พลังงานในการสังเคราะห์ พีซี และ เอทีพี ขึ้นใหม่ แต่ผลจากการสลายนี้จะก่อให้เกิดกรดแลคติก (Lactic Acid) ซึ่งเป็นของเสียจะสะสมอยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อและเลือด เป็นสาเหตุของความเมื่อยล้า (หนึ่งฤทัย สระทองเวียน, 2541, หน้า 7)

จากการศึกษาการใช้พลังงานของกล้ามเนื้อในขณะออกกำลังกาย นักวิทยาศาสตร์การกีฬาพบว่า กล้ามเนื้อจะใช้การสร้างพลังงาน 2 แบบ คือ ส่วนหนึ่งได้มาจากฟอสเฟตในกล้ามเนื้อ และการแตกตัวของไกลโคเจน และอีกส่วนหนึ่งได้มาจากการสันดาปของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน จึงอาจสรุปว่า การออกกำลังกายอย่างหนัก รวดเร็ว และรุนแรงจะใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิก (ประมาณ 1-3 นาที) แต่การออกกำลังกายที่ต่อเนื่องเป็นเวลานานและความหนักของงานปานกลางจะใช้พลังงานแบบแอโรบิก (ประมาณ 10 นาทีขึ้นไป) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Astrand and Rodahl (1988) ที่ศึกษาเกี่ยวกับเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายกับการใช้พลังงานของร่างกาย ซึ่งพบว่า ใน 10 วินาทีแรกของการออกกำลังกายนั้น ร่างกายจะใช้การสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิก ถึงประมาณร้อยละ 85 และเมื่อผ่านไป 1 นาที พบว่า ร่างกายใช้การสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิก ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 65-70 นอกจากนี้ยังพบว่า ร้อยละของการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิกจะค่อย ๆ ลดลงตามเวลาของการออกกำลังกายที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย

การสร้างพลังงานโดยการเผาผลาญกลูโคสที่ไม่สมบูรณ์ จะอาศัยการสร้างพลังงานจาก 2 ระบบ คือ ATP-PC (เกิดจากการรวมตัวของเอดีพีกับพีซี) และ Lactic Acid System โดยอาศัยการสลายกลูโคสและไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ ซึ่งจะได้พลังงานในการสังเคราะห์พีซี และ เอทีพี ขึ้นใหม่ แต่ผลจากการสลายนี้จะก่อให้เกิดกรดแลคติกเป็นสาเหตุของความเมื่อยล้า

**ปัจจัยต่าง ๆ ในการฝึกที่มีผลต่อการพัฒนาพลัง และสมรรถภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน**  
การฝึกเพื่อพัฒนาพลัง และสมรรถภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้น ผู้ฝึกโดยส่วนใหญ่นิยมใช้การฝึกน้ำหนัก โดยถือหลักการฝึกด้วยวิธีค่อย ๆ เพิ่มน้ำหนัก หรือเพิ่มความต้านทาน จนกระทั่งร่างกายสามารถทนต่อแรงต้านทานได้เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าสมรรถภาพทางกายได้พัฒนาขึ้น

วัตถุประสงค์ของการฝึกน้ำหนักก็คือการสร้างความแข็งแรง หรือพลังให้กับกล้ามเนื้อซึ่งหมายถึงความสามารถในการออกกำลังกายเพื่อเอาชนะแรงต้านได้เต็มที่ ส่วนพลังก็คือตัวปริมาณงานที่กล้ามเนื้อสามารถทำได้ในระยะเวลาหนึ่ง ๆ การฝึกน้ำหนักจะช่วยให้กล้ามเนื้อขยายขนาดขึ้นเพิ่มทั้งความแข็งแรงและพลัง ซึ่งมีผู้ศึกษาถึงองค์ประกอบในการฝึกต่าง ๆ ที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการทำงานเชิงแอนแอโรบิกไว้ในหลาย ๆ เรื่องด้วยกัน สนธยา สีละมอด และจุเดือน สีละมอด (2551) กล่าวว่า การฝึกด้วยน้ำหนักมีความสำคัญในการเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อ แต่ก็ต้องมีการใช้ความหนักและจำนวนครั้งที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาได้มีการแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาความแข็งแรงจำนวนครั้งจะอยู่ระหว่าง 4-8 ครั้ง จำนวนเซต 3 เซต หรือมากกว่า แต่ถ้าใช้จำนวนครั้งน้อยกว่าหรือมากกว่า 4-8 ครั้ง การเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงจะน้อยลง นอกจากนี้ นักกีฬาประเภทความเร็ว-แข็งแรงปกติจะใช้จำนวนครั้งน้อยความหนักสูง และปฏิบัติอย่างรวดเร็ว เพื่อพัฒนาพลังระเบิดซึ่งมีความสำคัญในการแสดงความสามารถทางกีฬาโดยได้รวบรวมรายละเอียดในการฝึกด้วยน้ำหนักเพื่อพัฒนาพลังระเบิดไว้ดังปรากฏในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 การกำหนดความหนักในการฝึกด้วยน้ำหนักเพื่อพัฒนาพลัง (สนธยา สีละมอด และ จุเดือน สีละมอด, 2551)

| งาน/ ชนิดของการฝึก         | เริ่มต้น | พลังระเบิด (ความหนักต่ำ) |                            | พลังระเบิด (ความหนักสูง) |
|----------------------------|----------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
|                            |          | ร่างกายส่วนบน และแยกส่วน | ร่างกายส่วนล่าง และรวมส่วน |                          |
| ร้อยละความแข็งแรงสูงสุด    | <30      | 30 – 50                  | 50 – 70                    | 70 – 80                  |
| จำนวนครั้ง                 | 5 – 10   | 5 – 10                   | 5 – 10                     | 3 – 5                    |
| จำนวนเซต                   | 2 – 3    | 3 – 5                    | 3 – 4                      | 3 – 5                    |
| เวลาการพัก (นาที)          | 3 – 5    | 3 – 5                    | 3 – 5                      | 3 – 5                    |
| จังหวะการปฏิบัติ           | ระเบิด   | ระเบิด                   | ระเบิด                     | ระเบิด                   |
| จำนวนท่าฝึก/ วัน           | 5 – 7    | 5 – 7                    | 5 – 7                      | 5 – 7                    |
| เวลาการพักระหว่างวัน (ชม.) | 24 – 48  | 24 – 48                  | 24 – 48                    | 24 – 48                  |

ในการฝึกน้ำหนัก จำนวนครั้งในการฝึกต้องกำหนดให้เหมาะสมกับผู้เข้ารับการฝึกโดยที่จำนวนครั้งของการฝึกจะเปลี่ยนไปตามวัตถุประสงค์ของการฝึก Moss and Grimmer (1993) ได้

ศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรง และการหดตัวของกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหลัง (Triceps) ภายหลังการฝึกแบบไอโซโทนิค พบว่า การฝึกที่มีจำนวนครั้งมาก จะทำให้เกิดการพัฒนาของใยกล้ามเนื้อแดง (Slow Twitch or Type I) และการฝึกที่มีจำนวนครั้งน้อย จะทำให้เกิดการพัฒนาของใยกล้ามเนื้อขาว (Fast Twitch or Type II) แสดงให้เห็นว่า การฝึกที่มีจำนวนครั้งน้อยจะพัฒนาประสิทธิภาพในการสร้างพลังงานในเชิงแอนแอโรบิกได้ดีกว่าการฝึกที่มีจำนวนครั้งมาก

เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Sidner (1998) ได้ศึกษาถึงผลจากการฝึกด้วยแรงต้านที่สูง ที่มีต่อพลังสูงสุด (Peak Power) ในนักกีฬาหญิง พบว่า เมื่อเพิ่มแรงต้านในการฝึกให้สูงขึ้นมีผลทำให้ พลังสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Weltman, Maffatli and Stanford (1978) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง ผลการฝึกด้วยระดับงานสูงสุดต่อพลังสูงสุด แบบแอนแอโรบิก สมรรถนะในการขึ้นระยะแบบแอนแอโรบิกในเพศหญิง กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนหญิง จำนวน 19 คน ทำการทดลอง 12 สัปดาห์ โดยฝึก 6 สัปดาห์แรก และ 6 สัปดาห์หลัง ไม่ต้องฝึก โดยเป็นกลุ่มทดลอง 13 คน ฝึกโดยการขี่จักรยานเต็มความสามารถที่น้ำหนักถ่วง 4 กิโลกรัม ครั้งละ 40 วินาที ฝึก 2 เทียว พักระหว่างเทียว 10 นาที สัปดาห์ละ 3 วัน ทำการประเมิน 3 ครั้ง คือ ก่อนทำการฝึก หลังทำการฝึกสัปดาห์ที่ 6 และสัปดาห์ที่ 12 พบว่า กลุ่มทดลองมีค่าของพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก สมรรถนะในการขึ้นระยะแบบแอนแอโรบิกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 6 สัปดาห์ต่อมาที่ไม่ได้รับการฝึก พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิกจะลดลงอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าก่อนการฝึก แต่สมรรถนะในการขึ้นระยะแบบแอนแอโรบิกจะยังคงสูงกว่าก่อนการฝึกร้อยละ 5 และไม่พบการเปลี่ยนแปลงในกลุ่มควบคุม ผู้วิจัยยังเสนอแนะอีกด้วยว่า ความหนักของงานเป็นตัวกระตุ้นสำคัญที่จะทำให้เกิดการเพิ่มพลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก ยิ่งไปกว่านั้น พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิกและสมรรถนะในการขึ้นระยะแบบแอนแอโรบิกจะยังคงระดับสูงอยู่แม้ภายหลังการหยุดฝึกแล้วก็ตาม

#### สมรรถภาพในการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน

สมรรถภาพในการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน ขึ้นอยู่กับสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะขบวนการเมตาบอลิซึมในกล้ามเนื้อ สามารถประเมินได้โดยใช้การทดสอบของวินเกต แบ่งแยกเป็น 2 ลักษณะคือ

1. สมรรถนะในการขึ้นระยะแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity) เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อที่ทนต่อการทำงานต่อไปได้ในสภาวะที่กล้ามเนื้อไม่ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ใช้พลังงานแบบ แอนแอโรบิกไกลโคไลซิส ก่อให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็ว

2. พลังสูงสุดแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Power) เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อ ในการที่จะปล่อยพลังงานสูงสุด ในเวลาสั้นที่สุด เกิดการแตกตัวของฟอสฟาเจนที่สูงมากใน กล้ามเนื้อใช้พลังงานแบบ ATP-PC

เอทีพี พีซี และกรดแลคติกในกล้ามเนื้อมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง กับการสร้างพลังงานในเชิง แอนแอโรบิก Jorefeldt (1970) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของฟอสฟาเจน (ATP + PC) และการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อในการออกกำลังกายสูงสุด และเกือบสูงสุด โดยให้ผู้รับการทดลองที่ได้รับการฝึกออกกำลังกาย 13 คน และผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก 15 คน พบว่า มีการสลายตัวของครีเอทีนฟอสเฟตในการออกกำลังกายเกือบจะสูงสุดทั้งสองกลุ่ม การสะสมของกรดแลคติกจะ เริ่มขึ้นเมื่อการออกกำลังกายมีระดับร้อยละ 50-65 ของสมรรถภาพในการรับออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคน และพบว่า ผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกจะมีการสะสมของกรดแลคติกสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการฝึก และในกลุ่มที่ได้รับการฝึก จะมีการสร้างเอทีพีและพีซีขึ้นทดแทนได้เร็วกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึก นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก ซึ่ง Zacharogiannis et al. (2003) ศึกษาผลของการฝึกแบบต่อเนื่อง การฝึกแบบอินเทอร์วาล และการฝึก ความเร็วที่มีต่อความสามารถเชิงแอนแอโรบิก โดยกลุ่มฝึกแบบต่อเนื่องฝึกที่ความหนักร้อยละ 70 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ กลุ่มฝึกอินเทอร์วาลฝึกที่ความหนักร้อยละ 85-100 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ และกลุ่มฝึกความเร็วฝึกวิ่งเร็วเต็มความสามารถ 20-50 เมตร พบว่า กลุ่มที่ฝึกความเร็วจะมีความสามารถในการทนต่อภาวะเป็นหนี้ ออกซิเจนเพิ่มขึ้น สำหรับกลุ่มที่ฝึกอินเทอร์วาล พบว่าค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ( $\text{VO}_2 \text{ max}$ ) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการฝึก

**การทดสอบวินเกต แอนแอโรบิก (Wingate Anaerobic Test)** สถาบันวินเกต (Wingate Institute) เป็นสถาบันวิทยาศาสตร์ทางการกีฬาของประเทศอิสราเอล เป็นผู้คิดค้นวิธีการทดสอบนี้ ขึ้นเพื่อวัดพลัง และสมรรถภาพแบบแอนแอโรบิก โดยการใช้จักรยานทดสอบ ซึ่งได้รับความนิยม อย่างแพร่หลาย หลักของการทดสอบการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิก คือการให้ผู้ถูกทดสอบ ออกกำลังกายด้วยความหนักที่สูง วิธีการทดสอบจะให้ผู้ถูกทดสอบปั่นจักรยานวอร์มอัพประมาณ 3-5 นาที ด้วยความเร็วสูงโดยที่ไม่มีแรงต้านหลังจากนั้นจะปรับแรงต้านเพิ่มขึ้น ( $0.067 \times \text{น้ำหนักตัว}$ ) ให้ผู้ถูกทดสอบออกแรงปั่นให้เร็วที่สุด พร้อมกับการนับจำนวนรอบปั่นทุก ๆ 5 วินาที จนครบ 30 วินาที แล้วจึงนำค่าที่ได้มาเข้าสู่สูตรการคำนวณตามวิธีของวินเกต การทดสอบนี้มีความเที่ยงตรง สามารถนำไปทำนายพลังและสมรรถภาพแบบแอนแอโรบิก เพราะมีความสัมพันธ์กันระหว่าง Power กับ Capacity ของ ATP และ Glycolysis System ในกล้ามเนื้อ โดยจะสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้ ดังต่อไปนี้ (Inbar, Bar-Or & Skinner, 1996)

1. ค่าของงานที่ทำได้สูงสุด (Peak Power Output: PP) เป็นค่าของพลังสูงสุดที่วัดจากช่วง 5 วินาทีของการออกกำลังกาย บ่งชี้ถึงความสามารถในการสร้างกำลังงานของระบบพลังงานแบบฉับพลัน โดยคำนวณได้ตามสูตรดังนี้

$$\text{Peak Power Output} = \frac{\text{แรง} \times \text{ระยะทาง (จำนวนรอบ} \times 6 \text{ เมตร)}}{\text{เวลาเป็นนาที่ (5 วินาที} = 0.0833 \text{ นาที่)}}$$

2. ค่าสมรรถนะในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Capacity) เป็นค่าของงานที่ทำสำเร็จในระยะเวลา 30 วินาที คำนวณได้ตามสูตร

$$\text{Anaerobic Capacity} = \text{แรง} \times \text{ระยะทางรวมทั้งหมด 30 วินาที}$$

3. ค่าความสัมพันธ์ของสมรรถนะในการยืนระยะแบบแอนแอโรบิกต่อมวลของร่างกาย (Relative Anaerobic Capacity) คำนวณจากสูตร

$$\text{Relative Anaerobic Capacity} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยของกำลังงานที่ทำได้ใน 30 วินาที}}{\text{มวลของร่างกาย (กิโลกรัม)}}$$

4. ความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ทำได้สูงสุดต่อมวลของร่างกาย (Relative Peak Power Output: RPP) คำนวณจากสูตร

$$\text{Relative Peak Power Output} = \frac{\text{กำลังงานที่ทำได้สูงสุด}}{\text{มวลของร่างกาย (กิโลกรัม)}}$$

5. ร้อยละดัชนีบ่งชี้ความเหนื่อย (% Fatigue Index) คือเปอร์เซ็นต์ของการลดลงของกำลังงานในระหว่างการทดสอบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ คำนวณจากสูตร

$$\% \text{ Fatigue Index} = \frac{(\text{กำลังงานสูงสุด} - \text{กำลังงานต่ำสุด}) \times 100}{\text{กำลังงานสูงสุด}}$$

แรงดันและน้ำหนักตัวของผู้ถูกทดสอบเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะมีผลต่อค่าของพลังและสมรรถภาพแบบแอนแอโรบิก Lencki (1997) ทำการศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ระหว่าง

ประสิทธิภาพแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก ในนักมวยปล้ำชาย 15 คน อายุ 18-27 ปี โดยหาค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ พลังสูงสุดแบบแอโรบิก และสมรรถนะในการขึ้นระยะแบบแอนแอโรบิก โดยใช้การทดสอบของวินเกตพบว่า พลังสูงสุดแบบแอโรบิก และสมรรถนะในการขึ้นระยะแบบแอนแอโรบิกมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัว และน้ำหนักของร่างกายที่ปราศจากไขมันเช่นเดียวกัน

ดังนั้นสมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิกจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่น่าสนใจในการศึกษาด้วยการฝึกแบบอินเทอร์วาล เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นจากการฝึก

### แอนแอโรบิกเทรชโฮล

แอนแอโรบิกเทรชโฮล (AT) คือ จุดที่ระดับความหนักในการออกกำลังกายทำให้ปริมาณความต้องการใช้ออกซิเจนสำหรับการสร้างพลังงานแอโรบิก มีมากกว่าปริมาณที่ร่างกายได้รับ ร่างกายจึงต้องใช้กลไกการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิกมาช่วยเสริม เป็นเหตุให้มีการสะสมกรดแลคติกภายในร่างกาย และส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของระบบแลกเปลี่ยนก๊าซ (Wasserman et al., 1973 อ้างถึงใน มณีนทร รักษ์บำรุง, 2546)

ในระหว่างการออกกำลังกาย เมื่อร่างกายทำงานไปถึงจุดที่การขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อไม่สามารถทำได้เพียงพอต่อความต้องการในการสร้างพลังงาน กลไกการสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Glycolysis) จะเข้ามามีส่วนช่วยในการสร้างพลังงาน โดยการเปลี่ยนไพรูเวต (Pyruvate) เป็นกรดแลคติก (Lactic Acid) ก่อให้เกิดการสะสมกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นในกล้ามเนื้อ กรดแลคติกที่เพิ่มขึ้นนี้ จะถูกทำให้เป็นกลาง (Buffer) โดย  $\text{HCO}_3^-$  ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และสามารถตรวจวัดได้ทันที (Wasserman, Hassen & Sue, 1994 อ้างถึงใน มณีนทร รักษ์บำรุง, 2546)

ในปัจจุบันมีการรายงานค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ AT อยู่หลายค่า ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่จุดเดียวกันก็ตามที่ จุดต่าง ๆ เหล่านี้มีชื่อเรียกแตกต่างกันเช่น Lactate Threshold (LT), Ventilatory Threshold (VT), Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA) โดยระดับของกรดแลคติกที่เกิดขึ้นในเลือดนั้นจะมีหลายระดับซึ่งแต่ละระดับก็จะส่งผลต่อร่างกายแตกต่างกัน โดยสามารถสรุปย่อ ๆ ได้ตามตารางที่ 2-4

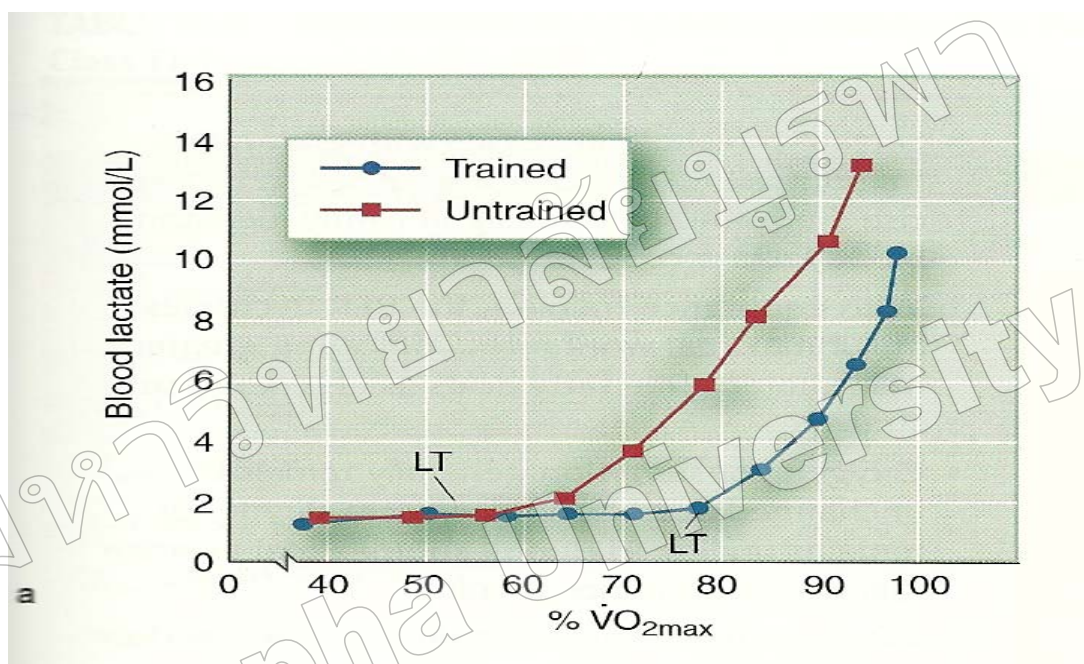


ตารางที่ 2-4 ระดับการเกิดของค่าต่าง ๆ โดยวัดจากปริมาณกรดแลคติกในเลือด (Billat, 1996  
อ้างถึงใน มณีนทร รัชย์บำรุง, 2546)

| ปริมาณกรดแลคติก<br>ในเลือด (mmol/ L) | คำจำกัดความ                                                    | หมายเหตุ                                                                            |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| มาตรฐาน +1                           | Onset of Plasma Lactate<br>Accumulation                        | มีกรดแลคติกในร่างกายแต่สามารถขจัดได้                                                |
| 2.2                                  | Maximal Steady-state                                           |                                                                                     |
| 3.5-5                                | Lactate Threshold                                              | เป็นจุดเริ่มต้นการสะสมกรดแลคติกส่วนเกิน<br>ในร่างกายมักใช้อ้างอิงเป็นจุดเดียวกับ AT |
| 4                                    | Anaerobic Threshold and Onset<br>of Blood Lactate Accumulation |                                                                                     |

ความสำคัญของแอนแอโรบิกเทรชโฮล (AT) การรายงานค่า AT นิยมใช้ร้อยละของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ( $\%VO_{2max}$ ) หน่วยเป็น มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อ 1 นาที ( $ml/kg^{-1}/min^{-1}$ ) ซึ่งค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ อาจไม่บอกความสำเร็จในการทำงานแบบแอโรบิกไปเสียทั้งหมด แต่ความสามารถในการทำงานใกล้เคียง  $VO_{2max}$  ก็เป็นปัจจัยสำคัญ ตัวอย่างเช่นนักกีฬา 2 คน เป็นเพศชายเหมือนกัน มีส่วนสูง น้ำหนัก ไขมันในร่างกายและอายุเท่ากัน นักกีฬาคนที่ 1 มีค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้  $70 ml/kg^{-1}/min^{-1}$  นักกีฬาคนที่ 2 มีค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้  $50 ml/kg^{-1}/min^{-1}$  ถ้าดูจากค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ในการวิ่งแข่งขัน นักกีฬาคนที่ 1 น่าจะเป็นผู้ชนะ แต่ในการวิ่งแข่งทุกครั้ง นักกีฬาคนที่ 2 มักเป็นฝ่ายได้รับชัยชนะเสมอ เมื่อทำการทดสอบโดยหาค่า AT พบว่า นักกีฬาคนที่ 1 มีค่า AT ที่ร้อยละ 50 ของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ในขณะที่นักกีฬาคนที่ 2 มีค่า AT ที่ร้อยละ 90 ของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ และหาประสิทธิภาพที่แท้จริงในการทำงานของนักกีฬาทั้ง 2 คน ได้โดยการหาค่า AT คูณกับค่า  $VO_{2max}$  นักกีฬาคนที่ 1 จะมีประสิทธิภาพในการทำงานของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ เป็น  $70 ml/kg^{-1}/min^{-1} \times .5 = 35 ml/kg^{-1}/min^{-1}$  ในขณะที่นักกีฬาคนที่ 2 จะมีประสิทธิภาพในการทำงานของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ เป็น  $50 ml/kg^{-1}/min^{-1} \times .9 = 45 ml/kg^{-1}/min^{-1}$  นั่นเป็นเหตุผลว่าทำไมนักกีฬาคนที่ 2 จึงชนะการแข่งขันเสมอ

จากตัวอย่างซึ่งแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของค่า AT ที่มีต่อความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ และส่งผลต่อสมรรถภาพของร่างกาย โดยอาจกล่าวง่าย ๆ ว่า ค่า AT เป็นสิ่งที่แสดงถึงระยะเวลาในการคงไว้ซึ่งการทำงานที่ระดับสูงสุดของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ โดยผู้ที่มีค่า AT สูงจะสามารถทำงานที่ระดับความหนักได้เป็นเวลานานกว่าผู้ที่มีค่า AT ต่ำ โดยค่า AT นี้สามารถพัฒนาให้สูงขึ้นได้จากการฝึกความอดทน ดังปรากฏในภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 จุดแลคเตทเทรชโฮล (แอนแอโรบิกเทรชโฮล) ของผู้ที่ฝึกและผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก (Wilmore et al., 2008)

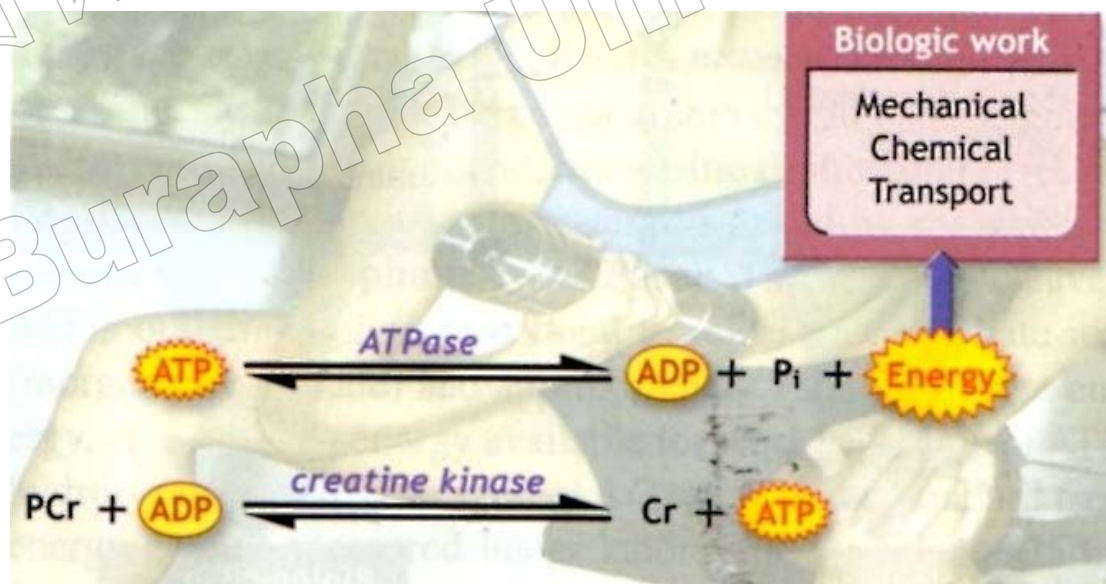
กระบวนการพื้นฐานในการเกิดแอนแอโรบิกเทรชโฮล เมื่อปริมาณความต้องการใช้ออกซิเจนของร่างกายในการสร้างพลังงาน ขณะออกกำลังกายมีมากกว่าปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายสามารถขนส่งไปสู่กล้ามเนื้อ ในขณะที่อัตราการทำงานยังคงเพิ่มขึ้น ความไม่สมดุลระหว่างออกซิเจนที่ต้องการกับออกซิเจนที่ได้รับ ทำให้ร่างกายต้องใช้การสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิกเข้ามาช่วย โดยการเปลี่ยนไพรูเวตเป็นกรดแลคติก ซึ่งกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะถูกทำให้เป็นกลางโดยไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3^-$ ) ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออกเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะไปรบกวนกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซด้วย และสามารถตรวจวัดได้ทันที (Wasserman, 1984 อ้างถึงใน มณีนทร รัชย์บำรุง, 2546)

เมื่อร่างกายทำงานจนถึงจุดที่เป็น AT ร่างกายจะใช้พลังงานร่วมกัน 2 ระบบ คือ Aerobic System ร่วมกับ Anaerobic System เป็นจุดที่งานที่ทำความยากลำบากมากขึ้น มีการใช้ไกลโคเจนเพิ่มขึ้น มีการแตกสลายเพิ่มขึ้นซึ่งสุดท้ายจะนำไปสู่จุดล้าและทำให้การออกกำลังกายต้องสิ้นสุดลง

กลไกการสร้างพลังงานของร่างกาย (Energy Metabolism System) กล้ามเนื้อจะใช้พลังงานจากสารชนิดหนึ่งคือ Adenosine Triphosphate (ATP) ซึ่งเป็นสารให้พลังงานสำหรับกล้ามเนื้อโดยเฉพาะ ในกล้ามเนื้อเองนั้นมีปริมาณ ATP อยู่เล็กน้อยเพียงพอที่จะใช้ได้ประมาณ 1 วินาที ดังนั้นถ้าต้องการให้กล้ามเนื้อทำงานต่อไปเรื่อย ๆ จึงต้องมีการสร้าง ATP ขึ้นมาจากการต้นตอและปฏิกิริยาเคมีอื่น โดยสามารถจำแนกกระบวนการสร้างพลังงานได้ดังนี้

#### 1. ระบบฟอสฟาเจน (Phosphagen System, Alactic Anaerobic Source)

เขียนเป็นสัญลักษณ์คือ ATP-PC พลังงานที่ได้จากการสลายคราห์ในระบบนี้มาจากการแตกตัวของสารประกอบ Phosphocreatine หรือ PC โดยที่ PC นี้มีความคล้ายคลึงกับ ATP คือเป็นสารประกอบหมู่ฟอสเฟต ที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อเหมือนกันเมื่อมีการแตกตัวของ PC จะได้ฟอสเฟตอิสระ ( $P_i$ ), ครีเอทีน (C) และให้พลังงานในทันที พลังงานที่เกิดขึ้นนี้ถูกนำไปใช้สร้าง ATP ดังปรากฏในภาพที่ 2-3



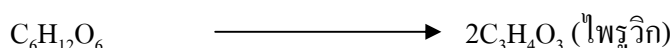
ภาพที่ 2-3 การสร้างพลังงานในระบบฟอสฟาเจน หรือระบบ ATP-PC (McArdle, Katch & Katch, 2010)

การสร้างพลังงานนี้อาจเรียกว่าการสร้างพลังงานแบบพลังระเบิด เนื่องจากว่าสามารถให้พลังงานได้มาก ในช่วงเวลาน้อย คือสามารถให้พลังงานได้ถึง 4-12 กิโลวัตต์ (kW) ในช่วงเวลา

ไม่เกิน 30 วินาที ซึ่งกีฬาที่อยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้คือ วิ่ง 100 เมตร ยกน้ำหนัก กระโดดสูง ว่ายน้ำ 50 เมตร (พิชิต ภูติจันทร์, 2535, หน้า 11)

## 2. ระบบกรดแลคติก (Lactic Acid System, Lactic Anaerobic Source)

ระบบนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แอนแอโรบิกไกลโคไลซิส (Anaerobic Glycolysis) ระบบนี้เป็นการสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นการเผาผลาญแบบไม่สมบูรณ์ (กลูโคสมีคาร์บอน 6 อะตอม แต่ละโมเลกุล จะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูวิก ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม ได้ 2 โมเลกุล)



เมื่อกลูโคสเปลี่ยนเป็น ไพรูวิกแล้ว กรดไพรูวิกจะเปลี่ยนเป็นแลคติกอีกครั้งหนึ่งซึ่งในกระบวนการนี้จะก่อให้เกิดพลังงานและของเสียคือ กรดแลคติก และคาร์บอนไดออกไซด์



สำหรับกีฬาในกลุ่มนี้คือ วิ่ง 200-1000 เมตร ยิมนาสติก ว่ายน้ำ 100-200 เมตร สามารถให้พลังงานสูงสุดที่ 3-8 กิโลวัตต์ ในระยะเวลาไม่เกิน 3 นาที (Sportech, 2001 อ้างถึงใน มณีนทร รักษ์บำรุง, 2546)

## 3. ระบบออกซิเจน (Oxygen System, Aerobic Source)

ระบบนี้เรียกว่าแอโรบิกไกลโคไลซิส (Aerobic Glycolysis) เป็นการสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน ให้พลังงานสูงสุด 1-2 กิโลวัตต์ ในระยะเวลาดังแต่ 3 นาทีขึ้นไปมี 4 ขั้นตอนคือ

3.1 เปลี่ยนกลูโคสเป็นไพรูวิก

3.2 เปลี่ยนไพรูวิกเป็นอซิทิล โคเอ

3.3 อซิทิลโคเอเข้าวัฏจักรเครปส์

3.4 ระบบขนส่งอิเล็กตรอน

เมื่อร่างกายทำงานจนถึงระบบ AT ร่างกายจะใช้พลังงานร่วมกัน 2 ระบบคือ Aerobic System ร่วมกับ Anaerobic System

การแลกเปลี่ยนก๊าซในขณะออกกำลังกายโดยการเพิ่มความหนักของงาน เมื่อร่างกายเริ่มออกกำลังกายค่าปริมาตรออกซิเจนที่ถูกใช้ไป ( $\text{VO}_2$ ) จะเพิ่มปริมาณขึ้นเรื่อย ๆ โดยถ้าการออกกำลังกายนั้นดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและความเข้มข้นในระดับปานกลาง คือ ไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในความหนักของงานอย่างฉับพลัน ประมาณ 3 นาทีหลังจากนั้น  $\text{VO}_2$  จะสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง และจะรักษาระดับนี้ไปจนการออกกำลังกายสิ้นสุดลง ในขณะที่ปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้น ( $\text{VCO}_2$ ) ปริมาตรลมหายใจออก ( $\text{V}_E$ ) และการผลิตกรดแลคติก ก็จะรักษาระดับไว้ด้วย เราเรียกการออกกำลังกายในช่วงนี้ว่า การออกกำลังกายที่ระยะคงที่ (Steady State Exercise) (ประทุม ม่วงมี, 2527, หน้า 203)

ในการออกกำลังกายจนถึงระดับคงที่ ปริมาณ  $\text{VO}_2$ ,  $\text{VCO}_2$  และ  $\text{V}_E$  จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนในแนวเส้นตรง (Increased Linearly) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงบวก (Linear Relationship) แต่เมื่อมีการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายให้มากขึ้นจนถึงจุด AT ที่จุดนี้  $\text{VCO}_2$  และ  $\text{V}_E$  จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยความชันของกราฟเพิ่มขึ้น ในขณะที่  $\text{VO}_2$  ยังคงเพิ่มขึ้นในแนวตรงเช่นเดิม การเพิ่มขึ้นของ  $\text{VCO}_2$  นี้เป็นผลมาจากการที่ไบคาร์บอเนตไปทำปฏิกิริยากับกรดแลคติกในกระบวนการ Anaerobic Glycolysis

ในช่วงแรก ๆ นั้น  $\text{V}_E$  จะเพิ่มขึ้นอย่างได้สัดส่วนกับ  $\text{VCO}_2$  ทำให้อัตราส่วนระหว่าง  $\text{V}_E / \text{VCO}_2$  และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออกช่วงสุดท้าย ( $\text{P}_{\text{ET}} \text{CO}_2$ ) คงที่ ในขณะที่อัตราส่วนระหว่าง  $\text{V}_E / \text{VO}_2$  และ ปริมาตรออกซิเจนในลมหายใจออกช่วงสุดท้าย ( $\text{P}_{\text{ET}} \text{O}_2$ ) เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการเพิ่มความหนักของงานขึ้น  $\text{V}_E$  จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากกว่า  $\text{VCO}_2$  ทำให้อัตราส่วนระหว่าง  $\text{V}_E / \text{VCO}_2$  เพิ่มขึ้น และ  $\text{P}_{\text{ET}} \text{CO}_2$  ลดลง เพื่อชดเชยภาวะที่เลือดมีค่า pH ลดลง (Metabolic Acidosis) โดยร่างกายจะใช้ระบบการหายใจชดเชยภาวะความเป็นกรด เนื่องจากกรดแลคติกที่ถูกสร้างขึ้นในกระบวนการแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส

## วิธีตรวจวัดแอนแอโรบิกเทรชโฮล

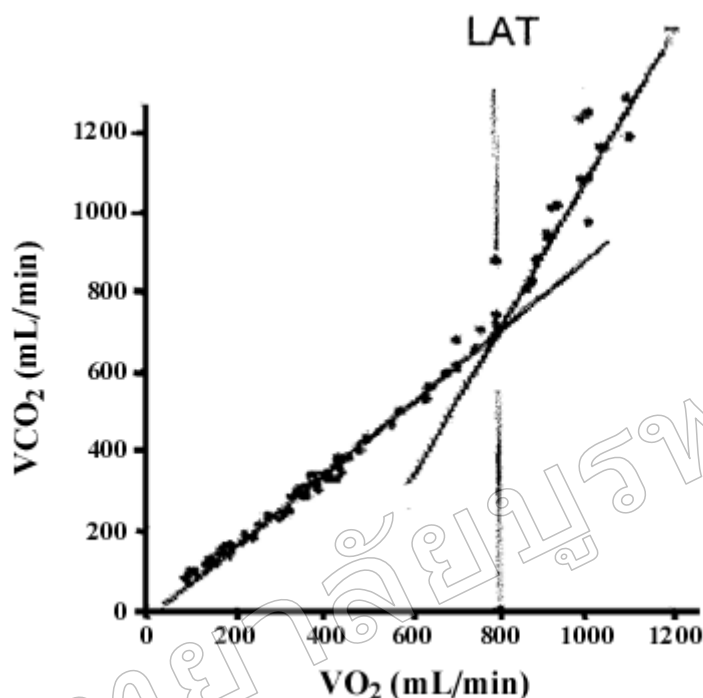
### 1. วิธีตรวจวัดโดยตรง

1.1 โดยการตรวจหาจุดที่เริ่มมีการเพิ่มขึ้นของการสะสมกรดแลคติกในกระแสเลือด โดยปกติในร่างกายจะมีกรดแลคติกอยู่ในกระแสเลือดประมาณ 1 mmol/L แต่ที่ระดับ AT จะมีกรดแลคติกอยู่ในกระแสเลือดประมาณ 4 mmol/L

1.2 โดยการตรวจหาจุดที่เริ่มมีการลดลงของไบคาร์บอเนต  $\text{HCO}_3$  และ pH ของเลือด (Beaver, 1986 อ้างถึงใน มณีนทร รักษ์บำรุง, 2546)

### 2. วิธีตรวจทางอ้อม

2.1 พิจารณาจากความสัมพันธ์ของเส้นกราฟ ระหว่าง  $\text{VCO}_2$  และ  $\text{VO}_2$  (เทคนิค V-slope) โดยหลักที่ว่าในระหว่างการทำงานที่ระดับต่ำกว่า AT จะมีความสัมพันธ์ในเชิงลาด (Linear Relation) ระหว่างปริมาตรออกซิเจนที่ถูกใช้ไป ( $\text{VO}_2$ ) กับปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้น ( $\text{VCO}_2$ ) แต่ที่ระดับ AT กรดแลคติกที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อ  $\text{VCO}_2$  ให้เพิ่มขึ้น โดยไม่มีผลกับ  $\text{VO}_2$  ( $\text{VO}_2$  ยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ความชันของกราฟเปลี่ยนไปมีความชันมากขึ้น) ดังปรากฏในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นและปริมาตรออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (เทคนิค V-slope) (SciELO.br., 2011)

2.2 พิจารณาจากสมมูลลมหายใจ (Ventilation Equivalent Method) วิธีการนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานสำคัญของค่าตัวแปรลมหายใจต่างๆ คือ  $V_E / VO_2$ ,  $V_E / VCO_2$ , End-tidal  $O_2$  Tension ( $P_{ET}O_2$ ), End-tidal  $CO_2$  Tension ( $P_{ET}CO_2$ ), R (อัตราส่วนระหว่าง  $VCO_2$  กับ  $VO_2$ ) โดยที่ระดับ AT ค่าปริมาตรลมหายใจออก (minute ventilation):  $V_E$  เปลี่ยนไปเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ  $V_E / VO_2$ ,  $P_{ET}O_2$  และ  $VCO_2$  โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงของ  $V_E / VCO_2$  และ  $P_{ET}CO_2$  เพราะ  $V_E$  เพิ่มขึ้นอย่างได้สัดส่วนพอเหมาะกับ  $VCO_2$  ในขณะที่กระบวนการชดเชยภาวะ pH ของเลือดลดลง (Metabolic Acidosis) ไม่สามารถทำได้ต่อไปโดยสามารถเขียนเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้คือ

2.2.1 มีการเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นปฏิกิริยา (Nonlinear) ของปริมาตรลมหายใจออก (Minute Ventilation):  $V_E$

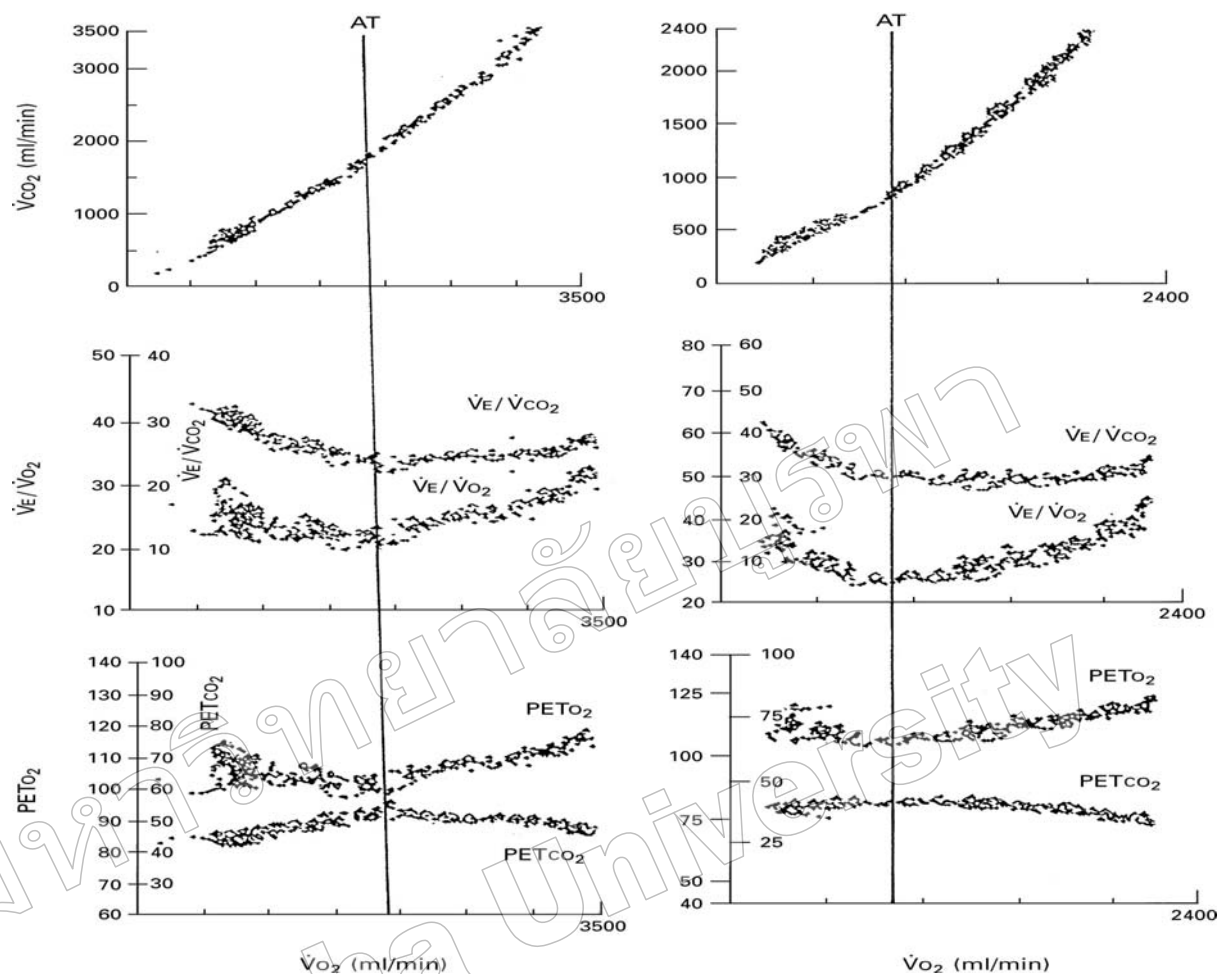
2.2.2 มีการเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นปฏิกิริยา (Nonlinear) ของปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้น (Carbondioxide Product,  $VCO_2$ ) เพราะที่จุด AT นั้นกรดแลคติกที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกทำให้เป็นกลาง (Buffer) เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินขึ้นสามารถตรวจวัดได้ทันที

2.2.3 เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนในลมหายใจออกช่วงสุดท้าย (End-tidal Oxygen Percentage):  $P_{ET}O_2$  โดยไม่มีการลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออกช่วงสุดท้าย เนื่องจากร่างกายมีการหายใจที่ถี่และลึกมากขึ้น (Hyperventilation) ทำให้ปริมาณออกซิเจนในลมหายใจออกมีมากขึ้น

2.2.4 เมื่อมีการเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นกับปริมาตรออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (Respiratory Gas Exchange Ratio): R

2.2.5 เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนปริมาตรลมหายใจออกกับปริมาตรออกซิเจนที่ถูกใช้ไป  $V_E / VO_2$  โดยไม่มีการเพิ่มขึ้นของ  $V_E / VCO_2$  วิธีการนี้พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่า AT ที่หาได้จากการวัดปริมาณกรดแลคติกในเลือด (Caiozzo, Davis & Eillis, 1982 อ้างถึงใน มณีนทร รัชย์บำรุง, 2546) สำหรับการตรวจวัด AT โดยวิธีการแลกเปลี่ยนก๊าซวิธีนี้นั้น น่าจะเป็นวิธีการตรวจวัดที่ให้ผลดีที่สุดเนื่องจาก เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความหนักในการทำงานอย่างทันทีทันใด จะพบว่า  $V_E$  และ  $VCO_2$  จะยังคงเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน ไปอีกระยะของการเพิ่มขึ้นของงานภายหลังจากเข้าสู่ AT แล้ว ซึ่งเป็นสาเหตุให้พบว่าที่ระดับ AT นั้น ค่า  $V_E / VCO_2$  ยังคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และเป็นเหตุผลที่ว่าเหตุใดค่า  $P_{ET}CO_2$  ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงกำจัดกรดแลคติก

โดยวิธีการพิจารณาจากสมดุลลมหายใจ สามารถดูการเปลี่ยนแปลงของก๊าซต่าง ๆ ได้จากภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 ภาวะการเกิดค่า AT และการเปลี่ยนแปลงก๊าซจากการทดสอบออกกำลังกายโดยการเพิ่มความหนักของงาน (Heart.bmj.com, 2011)

ค่า AT ที่วัดจาก ปริมาณ  $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$  คือช่วงที่กราฟเริ่มเพิ่มขึ้น และสัดส่วนของ  $\dot{V}_E / \dot{V}CO_2$  เริ่มคงที่ จุดต่ำสุดของสัดส่วน  $\dot{V}_E / \dot{V}CO_2$  จะเกิดเมื่อร่างกายมีอัตราการทำงานสูงสุด และส่งผลให้ร่างกายเข้าสู่ภาวะการหายใจชดเชยภาวะความเป็นกรด (Respiratory Compensation for Metabolic Acidosis)

ที่จุด AT ปริมาตรออกซิเจนในลมหายใจออกช่วงสุดท้าย ( $P_{ET}O_2$ ) ก็จะเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการหายใจที่ลึกและถี่มากขึ้น (Hyperventilation) ซึ่งสัมพันธ์กับค่า  $\dot{V}O_2$  ด้วย ในขณะที่ประมาณ 2 นาทีต่อมาจะเริ่มมีการลดลงของ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในลมหายใจออกช่วงสุดท้าย ( $P_{ET}CO_2$ ) และค่า R (Respiratory Exchange: อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้น  $\dot{V}CO_2$  กับออกซิเจนที่ถูกใช้ไป  $\dot{V}O_2$ ) จะเพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ  $\dot{V}CO_2$



3. วิธีการตรวจอย่างง่าย วิธีการนี้เป็นวิธีการวัดอย่างง่าย โดยใช้สูตร  $(220 - \text{อายุ}) \times .85 = \text{AT}$  (หน่วยเป็น bpm) หรือใช้ Conconi Test ซึ่งเป็นการทดสอบภาคสนาม ในการหา AT วิธีการนี้เป็นการหา AT โดยการปั่นจักรยานวัดงาน การวิ่งบนลู่วิ่งกล หรือสามารถทำการวิ่งเองในลู่วิ่งทั่วไปก็ได้ (Beaver, 1986 อ้างถึงใน มณินทร รัชย์บำรุง, 2546)

### ปัจจัยที่มีผลต่อแอนแอโรบิกเทรซโฮล

1. ขนาดของร่างกายและมวลกล้ามเนื้อ จากการศึกษาพบว่าค่า AT ในเด็กจะมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับน้ำหนักตัว (Cooper et al., 1984 อ้างถึงใน มณินทร รัชย์บำรุง, 2546) และมีรายงานวิจัยที่พบว่า ค่า AT ของคนที่น้ำหนักตัวเกิน 80 กิโลกรัม จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 77 ของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ในขณะที่ค่า AT ของกลุ่มคนที่น้ำหนักตัวต่ำกว่า 70 กิโลกรัม จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 68 ของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากกลุ่มที่มีน้ำหนักตัวมากกว่า จะมีกลุ่มกล้ามเนื้อทำงานขณะออกกำลังกายมากกว่า มีส่วนช่วยทำให้มีการขจัดของเสียออกจากร่างกายได้ดีกว่า โดยปกติกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่กว่าจะช่วยให้ร่างกายเข้าถึงการทำงานที่ความหนักสูงสุดได้ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแบบ Anaerobic Energy เข้ามาช่วย ความสามารถในการเข้าถึงการทำงานที่จุดสูงสุดก่อนการปรับเปลี่ยนพลังงานนี้ ทำให้ยืดยาวของการสะสมกรดแลคติกให้ช้าลงและทำให้ค่า AT ต่อร้อยละของค่าความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้สูงขึ้นด้วย (Huges et al., 1982 อ้างถึงใน มณินทร รัชย์บำรุง, 2546)

2. เพศ จากการศึกษาพบว่า เมื่อวัดค่า AT ออกมาในรูปร้อยละของค่าการจับออกซิเจนสูงสุด ( $\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ) จะไม่พบความแตกต่างทั้งในเพศชายและหญิง แต่เมื่อแปลงค่า AT เป็น  $\text{VO}_2 \text{ ml/ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$  จะพบความแตกต่างนี้ในนักกีฬาวิ่งมาราธอนชาย ซึ่งจะมีค่า AT สูงกว่านักกีฬาหญิง (Helgurad, 1994 อ้างถึงใน มณินทร รัชย์บำรุง, 2546)

3. ลักษณะของการออกกำลังกาย พบว่าการออกกำลังกายในรูปแบบต่างกันจะส่งผลต่อค่า AT ไม่เหมือนกัน การออกกำลังกายโดยใช้กล้ามเนื้อแขนเป็นหลัก เช่น เหยียด หมุน ดึงแขน จะทำให้ค่า AT เพิ่มขึ้นในปริมาณน้อยกว่าการออกกำลังกายโดยใช้กล้ามเนื้อขาเป็นหลัก เช่น การวิ่ง หรือการปั่นจักรยาน ทั้งนี้เป็นผลมาจากกลุ่มกล้ามเนื้อที่ร่วมกันทำงาน มีขนาดใหญ่กว่า และอาจรวมไปถึงความแตกต่างระหว่างการทำงานของชนิดเส้นใยกล้ามเนื้อ

4. ระดับสมรรถภาพร่างกาย ผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายที่ดีกว่า เช่น นักกีฬา หรือผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำ จะมีค่า AT สูงกว่าบุคคลทั่วไป

5. การสลายตัวของสารอาหาร ในระหว่างการออกกำลังกายนั้น พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ในเลือด ซึ่งจะลดการสะสมของกรดแลคติกในเลือดระหว่างการ ออกกำลังกาย และจากการศึกษาพบว่า ระยะเวลาก่อนการสะสม ของกรดแลคติกจะมากขึ้นในผู้ที่ ได้รับประทานอาหารประเภทไขมัน ซึ่งหมายความว่าในผู้ที่มีร่างกายแข็งแรง จะมีสัดส่วนการใช้ พลังงานจากไขมันได้ดีกว่าบุคคลทั่วไป ทำให้ค่า AT อยู่ในระดับสูง

6. การฝึกความอดทน ภายหลังการฝึกความอดทนของร่างกาย ทำให้การสะสมของกรด แลคติกในร่างกายลดลงและค่า AT สูงขึ้น เช่น การศึกษาของ Taylor, Hawley, Rickard, Myburgh, Noakes and Dennis (1997) ที่ทำการศึกษاثิพผลของการฝึกแบบอินเทอร์วัลความหนักสูงที่มีต่อ สมรรถภาพทางกายของนักกีฬาและการเผาผลาญพลังงาน โดยทำการฝึกแบบอินเทอร์วัลเป็นเวลา 6 สัปดาห์ โดยให้ขี่จักรยาน 5 นาทีที่ความหนักร้อยละ 80 ของงานสูงสุดสลับกับเวลาพัก 1 นาที โดยสัปดาห์ที่ 1 ฝึก 6 เซตและเพิ่มเป็น 9 เซตในสัปดาห์สุดท้าย ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ภายหลังการฝึก ปริมาณความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดนั้นลดลง เมื่อความหนักของงานอยู่ที่ระดับร้อยละ 70 และร้อยละ 80 ของงานสูงสุด โดยลดลงจาก 4.7 และ 9.0 mmol/L เป็น 3.3 และ 7.3 mmol/L ตามลำดับ และการศึกษาของ Esfarjani and Laursen (2006) ที่ทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของการ ฝึกอินเทอร์วัลที่ความหนักสูง 2 รูปแบบที่มีต่อความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ แลคเตทเทรชโฮล และความสามารถในการวิ่ง 3,000 เมตร โดยกลุ่มที่ 1 ทำการฝึกวิ่งที่ระดับร้อยละ 60 ของความสามารถสูงสุด 8 นาที พัก 8 นาที และกลุ่มที่ 2 ฝึกวิ่ง 30 วินาทีที่ระดับความหนัก ร้อยละ 130 ของความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้เวลาพัก 4 ½ นาที ผลการศึกษาพบว่า ภายหลังการฝึก แลคเตทเทรชโฮลของกลุ่มที่ 1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในกลุ่มที่ 2 ไม่แตกต่างจากก่อนการฝึก

นอกจากนี้ สนธยา สีสะมาด (2548) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกาย แบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนที่มีต่อจุดเริ่มล้าของนักกรีฑา ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และ สัปดาห์ที่ 8 โดยกลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Training) และกลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกโปรแกรมการออกกำลังกายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Training) โดยฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยจุดเริ่มล้าเพิ่มขึ้นอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในสัปดาห์ที่ 8

## เม็ดเลือดแดงและการออกกำลังกาย

ปริมาณเลือดในร่างกายคนเราแตกต่างกันตามน้ำหนัก เพศ อายุ เราสามารถคำนวณได้ โดยเทียบจากน้ำหนักตัว คือ เลือดมีค่าประมาณร้อยละ 8 ดังนั้นผู้ใหญ่ น้ำหนักตัว 60-70 กิโลกรัม จะมีเลือดประมาณ 5 ลิตร (ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Cardiac Output) ซึ่งในทารกแรกเกิดจะมีค่าประมาณ 300 มิลลิลิตร เลือดมีหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้

1. ขนส่งออกซิเจนจากปอดสู่เซลล์และเนื้อเยื่อทั่วร่างกาย และนำคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์สู่ปอด
2. การลำเลียงสารอาหาร (Excretion) ขนส่งของเสียจากการบวนการเมตาบอลิซึม เช่น ยูเรีย กรดยูริก และครีเอติน เพื่อขับทิ้งที่ไต
3. การรักษาสมดุลภาพ (Homeostasis) ควบคุมให้เกิดความสมดุลของน้ำ pH และ เกลือแร่
4. การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (Regulation of Body Temperature) ช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกายเพราะเลือดมีประจุความร้อนสูงจึงมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ เช่น เวลาไม่ใช้หลอดเลือดบริเวณผิวหนังจะขยายตัว ให้เลือดมาระบายความร้อนออกไป
5. การป้องกัน (Protection) ป้องกันและทำลายสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกาย ภูมิคุ้มกัน และเม็ดเลือดขาว (สุพรพิมพ์ เจียรสกุล, 2544 อ้างถึงใน มฉินทร รัชย์บำรุง, 2546)

ส่วนประกอบของเลือด ถ้านำเลือดมาใส่สารกันเลือดแข็งตัว (Anticoagulant Agent) หรือนำไปปั่นให้ตกตะกอนจะเห็นเลือดแยกออกเป็น ส่วน ๆ

1. ส่วนที่อยู่ด้านบนจะเป็นของเหลวใสสีเหลืองอ่อนคือ พลาสมา (Plasma)
2. ส่วนล่างคือ เม็ดเลือดต่าง ๆ ที่ตกตะกอน ประกอบไปด้วยเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว เกล็ดเลือด ส่วนใหญ่ของชั้นที่ตกตะกอนคือเม็ดเลือดแดง ชั้นบาง ๆ สีขาวเรียกว่า Buffy ชั้นนี้เป็นชั้นของเม็ดเลือดขาว จะหนามากในผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งในเม็ดเลือดขาว (Leukemia)

ชั้นของเม็ดเลือดแดงที่ตกตะกอนจะมีประมาณร้อยละ 45 ของเลือดทั้งหมด เรียกปริมาณนี้ว่า Haematocrit หรือ Packed Cell Volume (PCV) ในผู้ชายจะมีค่าร้อยละ 40-54 ในผู้หญิงจะมีค่าร้อยละ 36-47 (คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา, 2539 อ้างถึงใน มฉินทร รัชย์บำรุง, 2546)

เม็ดเลือดแดง รูปร่างของเม็ดเลือดแดงเป็นเซลล์กลมเว้าเข้าตรงกลาง มีขนาดโดยประมาณหนา 2 นาโนเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นาโนเมตร โดยมีฮีโมโกลบินเกาะอยู่ซึ่งทำให้เม็ดเลือดแดงมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 เม็ดเลือดแดงสามารถพับงอ เปลี่ยนรูปร่างไปมาได้ขณะผ่านเข้าหลอดเลือดฝอย โดยที่ความดันเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก พลังงานหรืออาหารของเม็ดเลือดแดงคือน้ำตาลกลูโคส รูปร่างของเม็ดเลือดแดงไม่มีนิวเคลียส ภายในเม็ดเลือดแดงมีโมเลกุลโปรตีนเรียกว่า ฮีโมโกลบิน ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนจากปอดไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (กนกวรรณ

ภูธรกุล และจันทวรรณ แสงแข, 2541, หน้า 110 อ้างถึงใน มนินทร รักษ์บำรุง, 2546)

### หน้าที่ของเม็ดเลือดแดง

1. เป็นตัวพาออกซิเจนจากปอดไปสู่เซลล์และเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยมีฮีโมโกลบินเป็นตัวกลางและในขณะเดียวกันก็นำคาร์บอนไดออกไซด์ และของเสียต่าง ๆ ออกจากเซลล์
2. มีเอนไซม์ Carbonic Anhydrase ในเม็ดเลือดแดงช่วยเร่งปฏิกิริยาการสร้างกรดคาร์บอนิก ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ , Carbonic Acid) จากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำไปยังปอด
3. เกี่ยวข้องกับกระบวนการ Chloride Shift ซึ่งเป็นกระบวนการที่ลดการเปลี่ยนแปลง pH ในเลือด

ฮีโมโกลบิน สาเหตุที่เม็ดเลือดแดงมีสีแดงก็เพราะฮีโมโกลบินแต่ละเซลล์ของเม็ดเลือดแดงมีฮีโมโกลบินประมาณ 280,000,000 โมเลกุล ฮีโมโกลบินมีหน้าที่ขนส่งออกซิเจน ในอัตรา 1: 4 คือ ฮีโมโกลบิน 1 โมเลกุลจับกับออกซิเจน 4 โมเลกุล

ฮีโมโกลบินเป็นโปรตีนสำคัญของเม็ดเลือดแดง สร้างขึ้นในระยะอิมโบลาสต์ (Normoblast) ในภาวะปกติอัตราการสร้างเม็ดเลือดแดงจะอยู่ที่ 6 กรัม/วัน แต่ถ้ามีการเสียเลือดหรือเม็ดเลือดแดงถูกทำลายมาก ๆ จะมีการสร้างเพิ่มได้ 6-7 เท่า ฮีโมโกลบินประกอบด้วย 4 ส่วน โดยในแต่ละส่วนมีฮีมกรุป (Heme Group) เกาะกับโปรตีนฮีม (Heme) เป็นอนุพันธ์ของโปรไฟริน (Prophyrin) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเหล็ก ทำหน้าที่ในการจับออกซิเจน

เมื่อฮีโมโกลบินจับกับออกซิเจนจะกลายเป็นออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin) และเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เกาะกับฮีโมโกลบินก็จะกลายเป็นคาร์บามิโนฮีโมโกลบิน (Carbaminohemoglobin) โดยที่ คาร์บอนไดออกไซด์นั้นมีความสามารถในการจับฮีโมโกลบินสูงกว่าออกซิเจน ถ้ามีปริมาณฮีโมโกลบินที่ไม่ได้จับกับออกซิเจนเกิน 5 กรัม (ปกติมีฮีโมโกลบิน 15 กรัม) จะทำให้เลือดไม่แดง ผิวหนัง ริมฝีปาก เล็บมือ เล็บเท้า ดูเขียวคล้ำเรียกว่า Cyanosis (Bary, 1994 อ้างถึงใน มนินทร รักษ์บำรุง, 2546)

การสร้างเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดแดงเริ่มสร้างในถุงไข่แดง (Yolk Sac) ขณะเป็นตัวอ่อนระยะเริ่มแรก หลังจากในตัวอ่อนเริ่มสร้างอวัยวะภายใน การสร้างเม็ดเลือดแดงจะเกิดขึ้นที่ ตับ ม้าม และไขกระดูก ในวัยผู้ใหญ่เม็ดเลือดแดงส่วนใหญ่สร้างที่ไขกระดูก บริเวณแขน ขา กระดูกสันหลัง กระดูกซี่โครง กระดูกหน้าอก และกระดูกซี่โครง กระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดงในไขกระดูกเรียกว่า Hemopoiesis หรือ Hematopoiesis

### สารที่จำเป็นในการสร้างเม็ดเลือดแดง

1. โปรตีน จำเป็นสำหรับกรสร้างส่วนที่เป็น โกลบิน (Globin Part) ของฮีโมโกลบิน

2. เหล็ก เป็นส่วนประกอบของ ฮีโมโกลบินในผู้ป่วยที่ขาดธาตุเหล็กทำให้กระบวนการสร้างเม็ดเลือดเปลี่ยนไป และเม็ดเลือดที่สร้างขึ้นจะผิดปกติคือมีสีจาง (Hypochromic) และมีขนาดเล็ก (Microcytic)

3. วิตามิน B12 และกรดโฟลิก (Folic Acid) หน้าที่ของสารทั้ง 2 ในกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดงยังไม่ชัดเจน แต่เชื่อว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid) ถ้าขาดวิตามิน B12 เม็ดเลือดแดงที่สร้างขึ้นจะมีขนาดใหญ่ (Macrocytic) และมีสีเข้มขึ้น (Hyperchromic)

4. สารอื่น ๆ เช่น ทองแดง (Copper) เกี่ยวข้องกับการดูดซึมเหล็ก โคบอลต์ (Cobalt) เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์วิตามิน B12 (กนกวรรณ กู้ตระกูล และจันทร์วรรณ แสงแข, 2541 อ้างถึงใน มนินทร รักย์บำรุง, 2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง อัตราการสร้างใหม่ของเม็ดเลือดแดงเท่ากับอัตราการตาย ซึ่งมีสัดส่วนประมาณ 3,000,000 เซลล์ต่อวินาที การสร้างเม็ดเลือดแดงถูกควบคุมโดย Erythropoietin จากไต และ Growth Factors จากไขกระดูก

การสร้างเม็ดเลือดแดงมีอัตราที่เปลี่ยนแปลงได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความต้องการออกซิเจนของร่างกาย ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเม็ดเลือดแดงได้แก่

1. Erythropoietin เป็นฮอร์โมนที่หลั่งจากไต เมื่ออัตราการละลายตัวของออกซิเจนในเม็ดเลือดลดลง ไตจะหลั่ง Erythropoietin ให้ไปกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดง

2. อายุและเพศ เด็กมีอัตราการสร้างเม็ดเลือดแดงมากกว่าผู้ใหญ่ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องมาจากการลดแหล่งสร้างเม็ดเลือดแดงในตับและที่อื่น ๆ

3. การออกกำลังกายและอารมณ์ การออกกำลังกาย การตื่นเต้น กลัว กระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดงในระยะสั้น ๆ

4. สิ่งแวดล้อม การอาศัยอยู่ในที่สูง ความดันบรรยากาศต่ำ ทำให้การสร้างเม็ดเลือดแดงเปลี่ยนไป

5. ฮอร์โมน เช่น Thyroxine, Androgens, Cortisol และ Prolactin สร้างกระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดแดงได้ (สุวรรณ ชีระวรพันธ์, วิศุตา สุวิทย์วัฒน์ และเพ็ญโฉม พิ่งวิชา, 2539 อ้างถึงใน มนินทร รักย์บำรุง, 2546)

การทำลายเม็ดเลือดแดง โดยทั่วไปเม็ดเลือดแดงมีอายุเฉลี่ย 120 วัน เมื่อเม็ดเลือดแดงอายุมากขึ้นปริมาณ ATP ในเซลล์จะลดลง เนื่องจากการสร้างใหม่ไม่พอกับที่ใช้ไป ทำให้หน้าที่ของ ATP ซึ่งช่วยทำให้ผนังของหลอดเลือดยืดหยุ่นได้ดี ควบคุมการส่งผ่านไอออนผ่านเมมเบรนของ

เม็ดเลือดแดง และป้องกันการ Oxidation ของโปรตีนภายในเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดแดงที่อายุมาก จะถูกทำลายโดย 2 วิธี คือ

1. Fragmentation พับเม็ดเลือดแดงบางส่วนจะหลุดออกไปทำให้เม็ดเลือดแดงบางขึ้น เล็กกลง และรูปร่างเปลี่ยนไป จนกระทั่งเม็ดเลือดแดงแตกออก

2. Phagocytosis เม็ดเลือดแดงถูกทำลายโดยเม็ดเลือดขาว

เม็ดเลือดแดงกับการออกกำลังกาย การขนส่งออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อในขณะที่ออกกำลังกายนั้นเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถสูงสุดในการทำงานของร่างกาย โดยกลไกดังกล่าว เกิดจากการทำงานของเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดแดงมีช่วงชีวิตที่จำกัด จากการศึกษาทำให้ทราบว่า การฝึกลดความอดทนในนักกีฬาเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เม็ดเลือดแดงแตกตัวเร็วขึ้น และการฝึกลดความอดทน อาจเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดภาวะโลหิตจางในนักกีฬา ในภาวะปกติเม็ดเลือดแดงจะมีอายุถึง 120 วัน แต่อัตราการสลายตัวจะเพิ่มมากขึ้น ในนักกีฬาที่มีการฝึกลดอย่างหนัก โดยเฉพาะในนักวิ่ง นักจักรยาน และนักว่ายน้ำ ซึ่งเป็นกลุ่มกีฬานักกีฬาที่เกิดภาวะโลหิตจางในนักกีฬามากที่สุด (John, 1995 อ้างถึงใน มฉนทร รัชย์บำรุง, 2546)

การทำงานของเม็ดเลือดแดง เป็นสิ่งสำคัญที่บ่งบอกถึงความสามารถของนักกีฬา ถ้าอัตราการถูกทำลายของเม็ดเลือดแดงมากกว่าอัตราการเกิดขึ้นใหม่ นักกีฬาจะมีโอกาสเป็นโรคโลหิตจางในการเล่นกีฬาได้มากและทำให้สมรรถภาพลดลง การวิ่งมาราธอนเป็นกีฬานึ่งที่แสดงให้เห็นการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง ทั้งนี้เป็นผลมาจากแรงกระแทกที่เท้า (Foot Strike) และการวิ่งลงเขานั้นก่อให้เกิดการแตกตัวของเม็ดเลือดแดงมากกว่าการวิ่งขึ้นเขานั่นเนื่องมาจากมีแรงกระแทกที่มากกว่า รวมถึงการทำงานของกล้ามเนื้อแบบ Eccentric ที่มากกว่า Concentric (Miller, Pate & Burgess, 1988)

O'Toole, Hiller, Roalstad and Douglas (1988) พบว่า ระยะเวลาและความหนักของการออกกำลังกาย มีผลโดยตรงกับการแตกตัวของเม็ดเลือดแดงในหลอดเลือด ซึ่งเกิดจากการลดลงของปริมาณเฮปโตโกลบิน (Haptoglobin) ภายหลังการออกกำลังกาย และพบมากในนักไตรกีฬาที่ลงแข่งขันมากกว่า 2 ชั่วโมง ซึ่งก่อนหน้านี้มีรายงานการศึกษาที่พบว่า ภาวะการมีเลือดออกในปัสสาวะมีนัยสำคัญทางสถิติกับการลดลงของเฮปโตโกลบิน ในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักกีฬามาราธอน 23 คน ภายหลังการวิ่งมาราธอน (Casoni, Borsetto, Cavicchi, Martinelli and Conconi, 1985) ในขณะที่มีรายงานค้นพบว่า ภายหลังการฝึกลดความอดทนจะทำให้มวลของเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น และปริมาณพลาสมาเพิ่มขึ้นด้วย (Cook, 1994 อ้างถึงใน มฉนทร รัชย์บำรุง, 2546)

การลดลงของปริมาณเฮปโตโกลบินนั้นมีความสัมพันธ์กัน ปริมาณพลาสมา เฟอร์ดิน (Plasma Ferritin) Selby and Eichner (1996) พบว่าภายหลังการฝึกลดความอดทน 6 สัปดาห์ ปริมาณ

พลาสมา เฟอร์ดิน ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก และเฮปโตโกลบิน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีรายงานการค้นพบว่า ปริมาณพลาสมาเฟอร์ดิน และเฮปโตโกลบิน ในนักกีฬาวิ่งระยะทางไกลนั้นน้อยกว่า นักกีฬาจักรยาน และนักกีฬาเรือพาย (Schobersberger, Tschann, Hasibeder, Steidl, Herold, Nachbauer and Koller, 1990)

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้สามารถกำหนดรูปแบบการฝึกแบบอินเทอร์วาลรวมถึงตัวแปรที่จะศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ความสามารถสูงสุดในการนำออกซิเจนไปใช้ ปริมาณฮีโมโกลบิน สมรรถภาพเชิงแอนแอโรบิก และแอนแอโรบิกทรชโซล

มหาวิทยาลัยบูรพา  
Burapha University