



รายงานการวิจัย

เรื่อง : ความสัมพันธ์ของสมรรถภาพทางกายกับความต้องการทางสรีรวิทยาและรูปแบบการเคลื่อนไหวในกีฬามวยไทย

The correlation of physical fitness, physiological demands and activity profiles in Muay Thai

ผู้วิจัย

นายไวพจน์ จันทร์เสม
นายประเวท เกษกัน

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ
สถาบันการพลศึกษา

2553

The correlation of physical fitness, physiological demands and activity profiles in Muay Thai

Wipoj Chansem, Pravet Ketkan

Muay Thai is a martial art and self- defense famous for its powerful techniques. It requires complex skills and physical fitness for success. However, Physiological responses during Muay Thai competition has never been studied. The objective of the present study was to examine the physiological responses during Amateur Muay Thai competition. 10 male Muay Thai, aged between 18-25 years old, were purposive selected from Muay Thai training camp in Mahasarakham province to take part in this study. All subjects practiced for competition all year round. The study consisted of incremental treadmill test to establish maximal oxygen uptake (VO_2 max) , wore heart rate monitor during competition, Collected blood sample for lactic acid and glucose before 1st round and after competition (3rd round). The heart rate data from competition were compared to heart rate and oxygen uptake data measured in laboratory. Individual regression equations were established from these data to estimate the energy expenditure during competition. Moreover, Video recorder captured movement of all subjects during competition to analyze movement pattern.

The results revealed that mean heart rate during competition was 171 beats/min. Oxygen uptake and heart rate during the match were above the level of the anaerobic threshold. Blood lactate increased from 3.8 mmol/l in the first round to 9.7 mmol/l after third round. Blood glucose increased from 93 mg/dl in the first round to 119 mg/dl after third round. The movement patterns were as follows, Delivery of strikes 45.81 %, Knee execution 23.64%, Fist execution 17.24%, Foot-thrust 9.35%, Elbow execution 2.46%. These data suggest that amateur Muay Thai is a physically demanding activity with great involvement of both an aerobic metabolism and anaerobic metabolism. Such information is helpful in the selection of appropriate protocols and metabolic indices to monitor an athlete's performance improvement. Furthermore, it may aid the coach in the development of more specific training programs for their athletes.

Key words : Muay Thai, lactic acid, blood glucose, heart rate, energy expenditure, movement pattern.

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
กีฬามวยไทย.....	5
สมรรถภาพทางกาย.....	7
การใช้พลังงาน (Energy expenditure).....	9
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
กรอบแนวคิดในการวิจัย	36
วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
ประชากร.....	37
การเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	37
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	37
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	38
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	40
ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและสมรรถภาพทางกายของกลุ่มตัวอย่าง.....	40
ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ.....	42
ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณการออกอาวุธมวยไทยในระหว่างการชกมวยไทยสมัครเล่น..	46
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล.....	47
ผลการวิจัย.....	47
วิจารณ์ผล.....	47
สรุปผล.....	48
สารบัญ	50

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

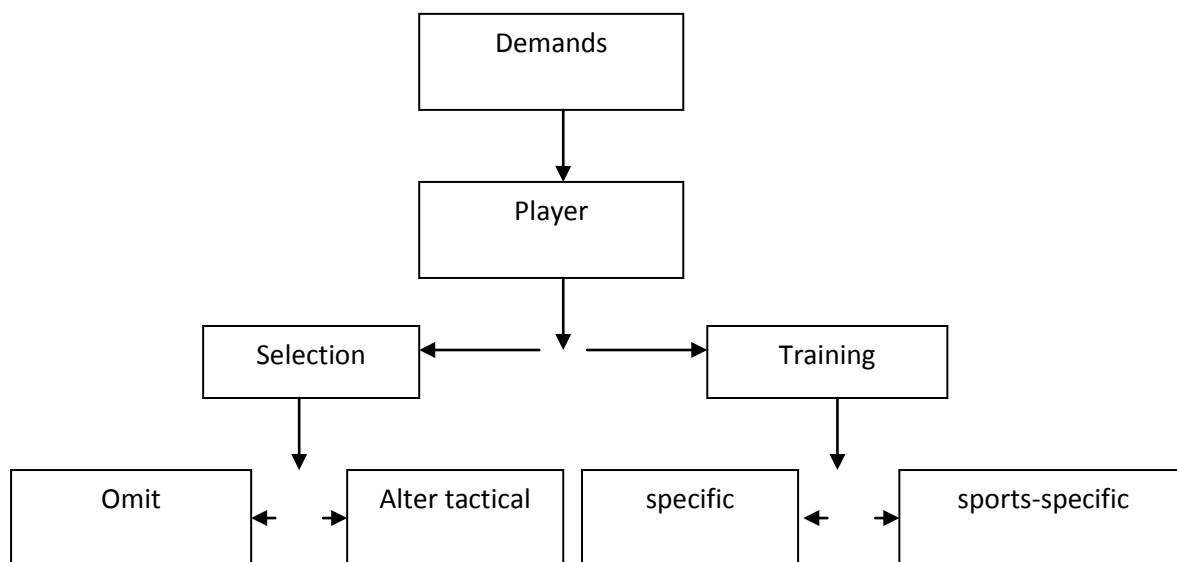
การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของนักกีฬาในการลงแข่งขันแต่ละครั้ง (match performance) ทำให้ผู้ฝึกสอนรู้ถึงปริมาณงานที่ร่างกายของนักกีฬาแต่ละคนต้องออกแรงในการแข่งขันแต่ละเกม ทำให้รู้ถึงระดับความหนักของงานที่กระทำต่อร่างกายซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นงานระดับเบา ปานกลาง หนัก ความเครียดของงานที่กระทำต่อร่างกายนักกีฬาแต่ละคน มีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดกีฬา ระดับความสามารถของนักกีฬา ระดับสมรรถภาพของนักกีฬา ตำแหน่งการเล่น การฝึกซ้อม การวางแผนในการเล่นแต่ละเกมเป็นต้น การรู้ถึงปริมาณความหนักของงานในการเล่นกีฬานั้นๆ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ฝึกสอนอย่างมากในการวางแผนการฝึกซ้อมให้สอดคล้องกับปริมาณของงานที่เกิดขึ้นจริงในกีฬานั้นๆ ปริมาณของงานในการเล่นกีฬาแต่ละชนิดผู้ฝึกสอนสามารถวัดปริมาณงานนั้นออกมาได้โดยวัดจากการตอบสนองทางสรีรวิทยา (physiology response) ในขณะแข่งขัน เช่น วัดจากอัตราการเต้นของหัวใจ ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ความดันโลหิต คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ อัตราการใช้ออกซิเจน (oxygen uptake) อัตราการใช้พลังงาน (energy expenditure) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังสามารถวัดปริมาณงานของนักกีฬาได้จากการวัดจากข้อมูลรวมกิจกรรมการเคลื่อนไหวตามชนิดกีฬา (activity profiles) เช่น ความเร็วในการเคลื่อนไหวร่างกายซึ่งสามารถจำแนกเป็นการเดิน สไลด์ วิ่งเหยาะ การวิ่งเร็ว การวิ่งเร่งความเร็ว (sprint) โดยจำแนกระดับความหนักของกิจกรรมการเคลื่อนไหวตามความถี่ของการเคลื่อนไหวต่อหนึ่งหน่วยเวลาหรือจำแนกเป็นระยะทางการเคลื่อนไหวออกเป็นแต่ละกิจกรรมต่อหนึ่งเกมการแข่งขัน การวัดปริมาณงานโดยศึกษาจากการเคลื่อนไหวจะกระทำโดยต้องจำแนกชนิดกีฬาที่จะศึกษาว่ามีองค์ประกอบการเคลื่อนทั้งหมดของกีฬานั้นๆ ประกอบไปด้วยกิจกรรมอะไรบ้างและนำองค์ประกอบนั้นไปศึกษาตลอดทั้งเกมการแข่งขันว่า กิจกรรมการเคลื่อนไหวนั้นเกิดกี่ครั้ง ความถี่ต่อหนึ่งหน่วยเวลาเป็นเท่าไร ระยะทางของการปฏิบัติกิจกรรมนั้นต่อหนึ่งหน่วยเวลาเป็นระยะทางเท่าไร และระยะทางรวมต่อหนึ่งเกมการแข่งขันเป็นเท่าไร

ข้อมูลจากทั้งการตอบสนองทางสรีรวิทยาและกิจกรรมการเคลื่อนไหวก่อนทั้งสองแหล่งข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ให้ผู้ฝึกสอนทราบถึงระดับความหนักของงานและความต้องการทางสรีรวิทยาที่แตกต่างกันไปตามแต่ละบุคคลซึ่งขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ทางกาย

ของนักกีฬา ระดับการฝึกซ้อม เทคนิคการเล่น และแตกต่างกันไปตามชนิดของกีฬา ซึ่งจะทำให้ผู้ฝึกสอนรู้ว่าจะฝึกอะไร ฝึกเมื่อไร (When to do ,what to do) ซึ่งเป็นปัจจัยการวางแผนการฝึกซ้อมที่สำคัญอย่างยิ่ง (Reilly, & Korkusuz. 2009)

ปัจจัยที่จะส่งเสริมสนับสนุนความสำเร็จของนักกีฬาจะต้องมาจากความมุ่งมั่น ความสามารถในกีฬานั้นๆ และจะต้องอาศัยสมรรถภาพทางกายระดับสูงด้านความอดทน (endurance) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (muscle strength) ความอ่อนตัว (flexibility) ความคล่องแคล่วว่องไว (agility) ความเร็ว (speed) การประสานสัมพันธ์กันระหว่างระบบประสาท กล้ามเนื้อ (coordination) รวมไปถึงการใช้เทคนิคและแทคติกในการแข่งขัน ผู้ฝึกสอนมีหน้าที่สำคัญที่จะต้องวางแผนสร้าง และควบคุมองค์ประกอบดังกล่าวนี้ให้เกิดขึ้นในนักกีฬา Reilly, 2005 ได้เสนอรูปแบบ Ergonomics model ดังนี้



Ergonomics model of training (Reilly. 2005)

Ergonomics model of training เป็นรูปแบบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเตรียมความพร้อมของนักกีฬาให้มีความสอดคล้องกับความต้องการของเกม (demands of game) ความต้องการของเกมจะแตกต่างกันไปตามชนิดกีฬา บางชนิดมีความต้องการทางกายสูง (physical demands) เช่นการเคลื่อนไหวร่างกายที่รวดเร็วและมีทิศทางที่หลากหลาย บางชนิดต้องการความอดทนสูง บางชนิดเป็นแบบผสมผสานซึ่งนักกีฬาต้องฝึกซ้อมเพื่อมีเป้าหมายให้ร่างกายปรับตัวไปสู่ความต้องการทางกายตามรูปแบบการเคลื่อนไหวของกีฬานั้นๆ ดังนั้นรูปแบบ Ergonomics model of training ที่พัฒนาขึ้นมาก็เพื่อเป็นแนวทางให้นักกีฬาพัฒนาตนเองไปสู่ศักยภาพที่แท้จริงของร่างกายที่นักกีฬาจะต้องแสดงออกมาในเกมการแข่งขันจริง

นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางการวางแผนการฝึกซ้อมและคัดเลือกตัวผู้เล่นของผู้ฝึกสอน ผู้ฝึกสอนสามารถนำข้อมูลมาเป็นข้อมูลย้อนกลับ (feedback) ให้กับนักกีฬาและสามารถนำข้อมูลไปพัฒนาเทคนิคการฝึกซ้อมเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการทางสรีรวิทยาในแต่ละชนิดกีฬาซึ่งส่งผลให้โปรแกรมการฝึกซ้อมมีความเฉพาะเจาะจงกับเกมการแข่งขันจริง (game-specific training schedules) รูปแบบการเคลื่อนไหว ปริมาณของงาน (volume) ความหนักของการเคลื่อนไหว (intensity of movement) ซึ่งจะส่งผลให้การฝึกซ้อมมีประสิทธิภาพมากขึ้นปัจจุบันมีกีฬาหลายชนิดที่นำโมเดล Ergonomics model of training มาประยุกต์ใช้ในกีฬาหลายชนิดโดยมีเป้าหมายเพื่อศึกษาความต้องการทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นในขณะแข่งขัน

อย่างไรก็ตามข้อมูลเชิงการตอบสนองทางสรีรวิทยาในกีฬามวยไทย ยังไม่ได้รับการเปิดเผย และยังมีคำถามที่ต้องการคำตอบเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นในขณะแข่งขันว่านักกีฬามวยไทยสมัครเล่นมีความต้องการทางสรีรวิทยา (Physiological demands) เช่นการใช้พลังงาน (Energy expenditure) การสะสมกรดแลคติก (Lactate accumulation) อัตราการเต้นของหัวใจ ระยะทางการเคลื่อนที่ของนักมวย และปริมาณการออกอาวุธในแต่ละชนิด ที่จะเกิดขึ้นในแต่ละยกเพื่อประเมินความหนัก (Level of Intensity) ของการชก ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาความต้องการทางสรีรวิทยาในกีฬามวยไทยสมัครเล่น เพื่อเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ (Scientific data) สำหรับกีฬามวยไทยต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาความต้องการการใช้พลังงานในระหว่างการชกมวยไทยสมัครเล่น
2. เพื่อศึกษาปริมาณความหนักของงานจาก กรดแลคติก และอัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างการชกมวยไทยสมัครเล่น
3. เพื่อศึกษาปริมาณการออกอาวุธ ชนิดของการออกอาวุธมวยไทยสมัครเล่น และระยะทางการเคลื่อนที่ของนักมวยในแต่ละยก

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้ข้อมูลระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดขณะแข่งขันกีฬามวยไทยสมัครเล่น
2. ได้ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขันมวยไทยสมัครเล่น

3. ได้ข้อมูลสัดส่วนการใช้ทักษะในกีฬามวยไทยสมัครเล่น

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือนักกีฬามวยไทยสมัครเล่นที่ฝึกซ้อม และชกเป็นประจำ และมีประสบการณ์ในการชกมวยไทยสมัครเล่นมาอย่างน้อย 2 ปี

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ
 - 1.1 การชกของนักมวยไทยสมัครเล่น
2. ตัวแปรตาม ได้แก่
 - 2.1 Lactic acids
 - 2.2 Heart rate
 - 2.3 Oxygen consumption
 - 2.4 Activity profiles of boxing

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัยดังต่อไปนี้

1. กีฬามวยไทย
2. สมรรถภาพทางกาย
3. การใช้พลังงานขณะออกกำลังกาย

กีฬามวยไทย

มวยไทยหมายถึงศิลปะการต่อสู้ด้วยมือเปล่าของชนชาติไทยที่สามารถใช้ศอก เข่า เท้า และหมัด เป็นอาวุธ มวยไทยเกิดขึ้นในสมัยใดไม่แน่ชัด อาจเกิดขึ้นพร้อมกับชาติไทย เพราะถือว่ามวยไทยเป็นศิลปะประจำชาติของไทยเราจริงๆ ยากที่ชาติอื่นจะเลียนแบบได้

มวยไทยเป็นศิลปะการต่อสู้ป้องกันตัวคู่กับชนชาติไทยมาตั้งแต่ยุคโบราณกาล ใช้คู่กับอาวุธยาวของเพลงดาบอื่นๆ ในการต่อสู้ระยะประชิดตัว วัตถุประสงค์ของการฝึกมวยในสมัยก่อนมีการฝึกกันในความหมายสองอย่างคือ เพื่อใช้สำหรับสู้รบเข้าศึกและเพื่อไว้ต่อสู้ป้องกันตัว

ปัจจุบันกีฬามวยไทยเป็นกิจกรรมการออกกำลังกายอย่างหนึ่ง ที่ช่วยส่งเสริมพัฒนาการทางด้านร่างกายและจิตใจ ตลอดจนพัฒนาการด้านสังคม บางกลุ่มสามารถยึดมวยไทยเป็นอาชีพได้ ซึ่งค่าตอบแทนในการชกต่อครั้งเป็นแรงเสริมให้มันักมวยไทยเกิดขึ้นมาก กลายเป็นธุรกิจและอาชีพสำคัญอย่างหนึ่ง ปัจจุบันกีฬามวยไทยเป็นอาชีพอย่างจริงจังมีค่ายมวยต่างๆเกิดขึ้นมาก นอกจากนั้นยังมีการจัดการแข่งขันมวยไทยสมัครเล่นขึ้น โดยจัดครั้งแรกที่สนามกีฬาแห่งชาติ ในเดือน ธันวาคม 2530 (สมาคมมวยไทยสมัครเล่นแห่งประเทศไทย ,2531) และได้พัฒนาการขึ้น โดยมีการแข่งขันมวยไทยสมัครเล่นชิงแชมป์โลกในประเทศไทย ครั้งที่ 1 ขึ้น ณ สนามกีฬาแห่งชาติ พ.ศ. 2538 จากพัฒนาการดังกล่าว ทำให้การฝึกฝนมวยไทยแพร่หลายมากขึ้นจนเป็นกีฬาไปสู่สากลจนเกิดมวยไทยสมัครเล่นดังกล่าว ขณะนี้มวยไทยนิยมไปทั่วโลก มีบางประเทศนำการต่อสู้แบบมวยไทยไปจัดการแข่งขันเรียกว่ามวย เค วัน (K1) มีลักษณะการต่อสู้คล้ายมวยไทยเพียงแต่ห้ามการใช้ศอกเท่านั้น ปัจจุบันมีการก่อตั้งสหพันธ์มวยไทยโลกทำให้ศิลปะการต่อสู้มวยไทยกระจายไปทั่วโลกมากขึ้น

ลักษณะของท่าทางของมวยไทยมีการออกอาวุธได้ทั้งระยะประชิดและระยะห่าง โดยทั่วไปแล้วเมื่อนักมวยอยู่ในระยะห่างที่พอเหมาะ การเตะจะเป็นอาวุธที่รุนแรงและสกัดการรุกของคู่ต่อสู้ได้ (ครองจักร, 2530) ซึ่งจากรายงานพบว่า ในการแข่งขันจริงเมื่อนำอัตราการออกอาวุธสามารถแสดงเป็นค่าร้อยละดังนี้ ทักษะการเตะ% 45.51 % ทักษะเข่า 24.41%

ทักษะการชกหมัด 22.13 % ทักษะการถีบ 7.49% และทักษะการศอก 0.46 % จากข้อมูลดังกล่าวพบว่ามีการใช้ทักษะการเตะมากที่สุดถึง 45.51 % จึงกล่าวได้ว่าการเตะเป็นอาวุธที่สำคัญและมีโอกาสที่จะทำคะแนนได้มาก ดังนั้นปัจจุบันมีความสนใจที่จะนำหลักวิทยาศาสตร์มาฝึกเพื่อพัฒนาการเตะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังที่ยุทธนา (ยุทธนา ,2540) ได้ศึกษาวิจัยเรื่องผลการใช้โปรแกรมการฝึก 2 วิธีที่มีต่อความสามารถในการเตะเฉียงในกีฬามวยไทยในระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยฝึกการเตะควบคู่กับฝึกกล้ามเนื้อขาด้วยน้ำหนักและการฝึกเตะควบคู่กับการฝึกพลัยโอเมตริก ผลการวิจัยพบว่าการฝึกทั้งสองวิธีสามารถเพิ่มความก้าวหน้าได้ทั้ง 2 วิธี และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การที่จะประสบความสำเร็จในการแข่งขันของนักกีฬาไม่ว่าจะเป็นกีฬามวยไทยหรือกีฬาชนิดอื่น ๆ สมรรถภาพทางกายเป็นสิ่งที่นักกีฬาจะต้องเสริมสร้างอย่างสม่ำเสมอ เป็นสิ่งที่ผู้ฝึกสอนต้องจัดให้กับนักกีฬาเพื่อศักยภาพสูงสุดของนักกีฬาขณะแข่งขัน จึงมีผู้ฝึกสอนพยายามที่จะนำความรู้ในศาสตร์สาขาต่าง ๆ มาประยุกต์เพื่อใช้ให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว แอนเชล (Anshel, 1990) กล่าวว่า การที่นักกีฬาจะประสบความสำเร็จในการแข่งขันนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ สมรรถภาพทางกายและทักษะกีฬา (Physical Fitness and Sport Skill) สมรรถภาพทางจิต (Mental Fitness) และสิ่งแวดล้อม (Environment) หากขาดองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง จะทำให้นักกีฬาแสดงความสามารถออกมาได้ไม่ดีเท่าที่ควร จากข้อความดังกล่าวจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทั้งสามส่วนนี้นอกจากจะมีความสำคัญแล้วยังมีความสัมพันธ์กันอีกด้วย สมรรถภาพทางกายและทักษะกีฬามีความจำเป็นต่อนักกีฬาที่เพิ่งเริ่มเล่น แต่เมื่อความสามารถได้รับการพัฒนาให้สูงขึ้น มีประสบการณ์จากการเข้าร่วมการแข่งขันความสามารถในการควบคุมจิตใจ หรือที่เราเรียกว่าสมรรถภาพทางจิต ต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับการฝึกสมรรถภาพทางกายและทักษะ สิ่งแวดล้อมจะเป็นองค์ประกอบสุดท้ายที่มีอิทธิพลต่อความสามารถสูงสุดของนักกีฬา โดยทั่วไปผู้ฝึกสอนจะมุ่งเน้นความสำคัญไปที่สมรรถภาพทางกายและทักษะของนักกีฬามากที่สุด โดยจากโปรแกรมการฝึกซ้อมส่วนใหญ่จะเป็นการพัฒนาองค์ประกอบด้านนี้ โฮเจอร์ (Hoeger , 1989) ได้แบ่งสมรรถภาพทางกายออกเป็นสองประเภท คือ สมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพ (Health – Related Physical Fitness) และสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะ (Skill – Related Physical Fitness) ในส่วนของสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะ ประกอบด้วย ความอดทนของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular Endurance) ความแข็งแรงและความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular Strength and Endurance) ความอ่อนตัว (Flexibility) องค์ประกอบของร่างกาย (Body Composition) ความคล่องตัว (Agility) การทรงตัว (Balance) การทำงานประสานกันของระบบประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular Coordination) พลังกล้ามเนื้อ (Muscular Power) เวลาปฏิกิริยา (Reaction time) และความเร็ว (Speed) ในขณะที่แมนนิง ดูลี – แมนนิง และเพอร์ ริน (Manning, Dooly - Manning and Perrin, 1998) กล่าวว่า องค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในการแข่งขันกีฬาก็คือ ความสามารถของกล้ามเนื้อที่จะออกแรง

ได้มากในลักษณะแรงระเบิด (Explosive) ซึ่งแสดงออกมาในลักษณะที่กล้ามเนื้อเกิดแรงตึง (Tension) ในปริมาณที่มากอย่างรวดเร็วและในท้ายที่สุดก็จะเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งหมายถึงพลังกล้ามเนื้อนั่นเอง

ในกีฬาประเภทต่อสู้กันนั้น ฝ่ายที่มีโอกาสรุกเข้ามาทำมากกว่าและแรงกว่าย่อมมีโอกาสชนะมากกว่า กีฬามวยไทยที่ฝึกหัดมาแต่โบราณนั้นจะสอนเน้นการหาจังหวะเข้าทำที่รวดเร็ว รุนแรง และความแม่นยำ เพราะทักษะมวยไทยแต่ละทักษะจะกำหนดเป้าหมายไว้แล้ว โดยการกระทำให้เกิดแรงปะทะให้เพียงพอต่อจุดอ่อน คือ เป้าหมายบนร่างกายของคู่ต่อสู้ โดยการสังเกตสมรรถภาพและทักษะของคู่ต่อสู้เป็นเกณฑ์ แล้วจึงเลือกทำที่จะรุกเข้าทำ ส่วนฝ่ายรับนั้น ถ้าสามารถอ่านท่าเริ่มต้นได้ออกก็จะรู้ว่าฝ่ายรุกจะเข้าทำด้วยท่าใด จะตั้งรับด้วยท่าใด พร้อมทั้งหาโอกาสแก้คืน หรือการทำท่าซ้อน ซึ่งเป็นฝ่ายกระทำได้ ดังนั้นการศึกษาทักษะเชิงรุก เชิงรับ จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการฝึกมวยไทย นอกจากนั้นแล้ว นักมวยไทยจำเป็นต้องมีสมรรถภาพร่างกายที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา เพื่อให้การเตะมีความรุนแรงและรวดเร็ว

สมรรถภาพทางกาย

สิ่งที่แสดงให้เห็นว่าคุณคนนั้นมีสมรรถภาพทางกายที่ดี คือ ผลการปฏิบัติงานที่แสดงให้เห็นถึง

1. **ความเร็ว (Speed)** หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำงานบางส่วนหรือทั้งหมดของร่างกายเคลื่อนที่ไปสู่เป้าหมายโดยใช้เวลาน้อยที่สุด เช่น วิ่ง 50 เมตร, วิ่ง 100 เมตร, ว่ายน้ำ 50 เมตร, ว่ายน้ำ 100 เมตร

2. **ความแข็งแรง (Strength)** หมายถึง ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อดำเนินแรงที่จะมากระทำ เช่น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนในการหดตัวงอข้อศอก

3. **ความคล่องแคล่วว่องไว (Agility)** หมายถึง ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงท่าทางของร่างกายตามต้องการได้อย่างทันทีทันใด เช่น การเบี่ยงตัวหลบลูกบาสเกตบอล

4. **ความอ่อนตัว (Flexibility)** หมายถึง ความสามารถในการเหยียดและหดตัวของกล้ามเนื้อเอ็น ข้อต่อต่าง ๆ ในปริมาณมุมที่มากกว่าปกติ เช่น การก้มและใช้ปลายนิ้วแตะพื้นเป็นความสามารถของข้อต่อที่สะโพก กล้ามเนื้อขาและหลัง

5. **กำลังหรือพลังของกล้ามเนื้อ (Power)** หมายถึง ความสามารถในการทำงานอย่างทันทีทันใดของกล้ามเนื้อด้วยความพยายามสูงสุด เช่น การยกน้ำหนัก, การขว้างจักร

6. **ความสมดุล (Balance)** หมายถึง ความสามารถในการควบคุมท่าทางของร่างกายให้อยู่ในลักษณะที่ต้องการได้ไม่ว่าจะอยู่ในลักษณะเคลื่อนที่หรืออยู่กับที่ เช่น การทรงตัวบนราวไม้ของนักยิมนาสติก

7. **ความสัมพันธ์ของประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular co - ordination)**

หมายถึงการควบคุมให้ร่างกายทำงานตอบสนองการสั่งของระบบประสาทอย่างมีประสิทธิภาพ เช่นความสัมพันธ์ของการได้ยินคำสั่งและกล้ามเนื้อหดตัวเพื่อเคลื่อนที่

8. ความอดทนหรือความทนทาน (Endurance) หมายถึง ความสามารถในการกระทำกิจกรรมซ้ำ ๆ กันนาน ๆ ของกล้ามเนื้อโดยไม่เกิดความเมื่อยล้าหรือเหนื่อยซ้ำ

9. ปฏิกริยาตอบสนอง (Response time) หมายถึง ความสามารถในการประสานงานระหว่างประสาทรับรู้ประสาทสั่งงานและกล้ามเนื้อที่ปฏิบัติงาน แบบทดสอบ

สมรรถภาพด้านความอดทน (Aerobic capacity)

ค่า $VO_2\max$ เป็นค่ามาตรฐานในการประเมินสมรรถภาพด้านความอดทน (endurance ability) ของนักกีฬามีความสำคัญในการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อม ในความเป็นจริงศักยภาพด้านความอดทนของนักกีฬา (endurance performance) ยังมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้องด้วย นอกจาก $VO_2\max$ ดังเช่นในการแข่งขันวิ่งระยะไกล มีปัจจัยที่มาเกี่ยวข้องคือความเร็วสูงสุดในการวิ่ง (peak running speed) ความเร็ววิกฤต (critical power) และแลคเตท เทรสต์ไฮลด์ (lactate threshold) นั้นหมายความว่าค่า $VO_2\max$ ที่ใช้ประเมินความสามารถของระบบหายใจและไหลเวียนโลหิต (cardiorespiratory system) เป็นปัจจัยหนึ่งในศักยภาพด้านความอดทนของนักกีฬา (endurance performance)

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (maximum oxygen consumption, $VO_2\max$) เป็นความสามารถของร่างกายในการขนส่งและใช้ออกซิเจนขณะที่ร่างกายออกแรงสูงสุด เป็นสมรรถภาพทางกาย (physical fitness) ที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ผู้ฝึกสอนและนักวิทยาศาสตร์การกีฬาได้พยายามหาแบบการฝึกซ้อมที่มีประสิทธิภาพและวิธีการทดสอบเพื่อประเมินระดับสมรรถภาพด้านระบบการหายใจและระบบไหลเวียนโลหิต (cardiovascular performance) ของนักกีฬาให้ได้อย่างแม่นยำและสอดคล้องกับรูปแบบการเคลื่อนไหวในกีฬาแต่ละประเภท มีการบัญญัติคำใหม่มาแทนคำว่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (maximum oxygen consumption) ซึ่งคำดังกล่าวคือ แอนแอโรบิค เทรสต์ไฮลด์ (anaerobic threshold) ต่อมา ฟลิค (Fick) ได้เสนอสมการของเขาในการอธิบายว่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (maximum oxygen consumption, $VO_2\max$) มีตัวแปรใดมาเกี่ยวข้องบ้าง

Fick equation

$$VO_2 = HR * SV * (CaO_2 - CvO_2)$$

VO_2 = การใช้ออกซิเจนของร่างกาย ม.ล/นาที

HR = อัตราการเต้นของหัวใจ ครั้ง/นาที

SV = ปริมาตรเลือดที่ออกจากหัวใจต่อการบีบตัว 1 ครั้ง ม.ล/ครั้ง

$CaO_2 - CvO_2$ = ความแตกต่างของออกซิเจนในเลือดแดงและเลือดดำ

ม.ล (ออกซิเจน)/เลือด 1 ด.ล

การวัดโดยใช้เครื่องมือ ergospirometry เป็นวิธีการวัดความสามารถในการทำงานของหัวใจและระบบการหายใจ ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้ส่วนของเครื่องมือใดๆเข้าไปวัดในร่างกาย (noninvasive) Knipping 1929 เป็นบุคคลแรกที่คิดค้นวิธีการดังกล่าวและได้บัญญัติคำว่า Spiroergometric ซึ่งปัจจุบันมีความหมายว่า การทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตและระบบการหายใจ (cardiopulmonary exercise testing) โดยเครื่องมือที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ Spirometry และ Ergometry

Spirometry เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดก๊าซที่ได้มาจากการหายใจในขณะที่ร่างกายออกกำลังกายหรือมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกาย ส่วน Ergometry เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดงานที่เกิดขึ้นในการออกกำลังกาย แต่อย่างไรก็ตามเครื่องมือที่นำมาใช้ในยุคแรกๆ ไม่สามารถให้ข้อมูลได้แม่นยำมากนักอีกทั้งตัวเครื่องมือยังไม่สะดวกต่อการนำมาใช้จนกระทั่งในปี 1960 จึงเริ่มมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องมือทำให้การวัดมีความละเอียดมากยิ่งขึ้นสามารถวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนก๊าซได้แบบละเอียดขึ้น (breath-by-breath gas analysis)

จุดเปลี่ยนไปสู่ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน(Aerobic Threshold)

แอนแอโรบิก เทอร์สโวลด์ (anaerobic threshold,AT) เกิดจากกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจากการทำงานของกล้ามเนื้อแปรสู่กระแสโลหิตและสะสมมากขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะถือว่าร่างกายเริ่มเข้าสู่การทำงานในระบบแอนแอโรบิก (anaerobic metabolism) นอกจากนี้ยังสามารถวัดจุดเปลี่ยนของระบบพลังงานแอโรบิกเป็นแอนแอโรบิกโดยวิธีวิเคราะห์ก๊าซจากการหายใจออก (expired gases) ขณะทดสอบได้ ตามทฤษฎีแล้วเมื่อร่างกายเข้าสู่จุดออกแรงสูงสุดแล้วเริ่มหมดแรงหมายความว่าความต้องการออกซิเจนของกล้ามเนื้อมีมากกว่าที่ระบบไหลเวียนโลหิตจะสนับสนุนให้เพียงพอเพียง มีข้อที่น่าสังเกตว่าเมื่อกรดแลคติกสะสมในร่างกาย ร่างกายจะมีความเป็นกรดมากขึ้นซึ่งร่างกายก็มีระบบบัฟเฟอร์ (buffering) โดย sodium bicarbonate ในกระแสโลหิตจะเข้ามาเพื่อขจัด carbon dioxide (CO₂) ที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อออกไปทางระบบการหายใจ ทำให้มีการหายใจยิ่งขึ้น ดังนั้นค่าการระบายอากาศ (minute ventilation,VE) และค่า VCO₂ จะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่สอดคล้องกับค่า VO₂max

นอกจากนี้ระบบการทดสอบหาค่า VO₂max ก็ก้าวเข้าสู่ยุคคอมพิวเตอร์โดยมีจักรยานวัดงานที่มีการติดตั้งระบบคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นครั้งแรกใน ค.ศ 1972 (ภาพที่ 9) ในปี ค.ศ 1976 เมเดอร์ (Mader) ได้ศึกษาค่า Lactate Threshold เขาพบว่าค่าเฉลี่ย Lactate Threshold อยู่ที่ 4 mmol/L

การใช้พลังงาน (Energy expenditure)

ประเภทของพลังงาน (Fox and Mathews, 1981) แบ่งตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบอื่น ๆ ได้เป็น 6 รูปแบบ ดังนี้คือ

พลังงานเคมี (Chemical Energy) เป็นพลังงานพื้นฐานของกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต

พลังงานกล (Mechanical Energy) เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ต่าง ๆ สำหรับพลังงานเสียงก็จัดรวมอยู่ในพลังงานกลด้วย

พลังงานความร้อน (Heat Energy) เป็นพลังงานที่ได้จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงต่าง ๆ พลังงานแสง (Light Energy) เป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ในลักษณะคลื่นจากแหล่งพลังงาน

พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) เป็นพลังงานที่เกิดจากการไหลของอิเล็กตรอนในสื่อไฟฟ้า

พลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear Energy) ไม่พบในร่างกายมนุษย์

อย่างไรก็ดี พลังงานแต่ละชนิด สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปยังอีกรูปหนึ่งได้ เรียกว่า การแปลงพลังงาน (Transformation of energy) ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าตื่นเต้นมาก เช่น พลังงานในสิ่งมีชีวิตสามารถเปลี่ยนจากพลังงานเคมีมาเป็นพลังงานกลสำหรับการเคลื่อนไหวร่างกาย เป็นต้น

วัฏจักรของพลังงานในสิ่งมีชีวิต (Fox and Mathews, 1981) พลังงานทั้งหมดที่ได้ในระบบสุริยจักรวาลถือกำเนิดมาจากดวงอาทิตย์ พลังงานจากดวงอาทิตย์นั้นเกิดจากพลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานนิวเคลียร์บางชนิดก็แผ่มายังพื้นผิวโลกในรูปของแสงอาทิตย์หรือพลังงานแสง พืชสีเขียวจะนำพลังงานแสงไปใช้สังเคราะห์โมเลกุลของอาหาร เช่น กลูโคส เซลลูโลส โปรตีนและไขมัน จากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) กระบวนการสร้างอาหารของพืชโดยใช้แสงนี้เรียกว่าการสังเคราะห์ด้วยแสง

กระบวนการสร้างอาหารของพืชจะคายก๊าซออกซิเจนออกมา ซึ่งมนุษย์และสัตว์จำเป็นต้องนำออกซิเจนไปสังเคราะห์พลังงาน ก็คือ การหายใจนั่นเอง พลังงานที่เกิดขึ้นจากการหายใจจะถูกเก็บสะสมในรูปสารเคมีที่มีพันธะพลังงานสูง นั่นคือ เอทีพี เพื่อนำมาใช้ในการเจริญเติบโต การหดตัวของกล้ามเนื้อ กระบวนการดังกล่าวนี้เรียกว่า “วัฏจักรของพลังงานในสิ่งมีชีวิต” (The Biological Energy Cycle)

ในแง่เชิงสรีรวิทยาของการออกกำลังกายนั้น ร่างกายจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยเริ่มตั้งแต่การเกิดปฏิกิริยาของสารอาหารที่บริโภคเข้าไปตั้งแต่การย่อย จนกระทั่งเป็นส่วนละเอียด แล้วจึงนำไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ (พีระพงษ์ บัญศิริ และ ภมร เสนาฤทธิ์, 2541) คือ

การเปลี่ยนแปลงโดยการสลายตัวของเซลล์ (Catabolism) คือ กระบวนการทำให้สารอาหารแตกสลายออกเป็นสารเล็ก ๆ เกิดเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานที่ใช้เพื่อการทำงานของร่างกาย เนื่องจากเซลล์มีการสร้างและสลายตัวเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา สารอาหารที่บริโภคเข้าไปจึงถูกนำไปเป็นส่วนหนึ่งในการซ่อมแซมส่วนที่สลายไป

การเปลี่ยนแปลงโดยการสังเคราะห์เซลล์ (Anabolism) คือ กระบวนการในการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่บริโภคเข้าไปให้กลายเป็นสารใหม่เพื่อนำไปใช้เสริมสร้างความเจริญเติบโตของอวัยวะ ซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดสึกหรอกใหม่สภาพดีขึ้น

กระบวนการสร้างพลังงานในร่างกาย (พิชิต ภูติจันทร์, 2535) พลังงานที่ได้มาจากการสลายอาหาร โดยการสะสมไว้ในรูปสารเคมีที่มีพันธะพลังงานสูง (High energy bond) คือ อดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate) ซึ่งเรียกย่อ ๆ ว่า เอทีพี (ATP) ซึ่งสารดังกล่าวนี้ถูกเก็บสะสมไว้ในเซลล์กล้ามเนื้อทั้งหมด กิจกรรมของเซลล์ทุกอย่างที่ต้องใช้พลังงานก็จะได้รับพลังงาน โดยตรงจากเอทีพี ดังนั้น กล้ามเนื้อจะไม่สามารถหดตัวได้ ถ้าหากไม่มีเอทีพี

โครงสร้างของเอทีพี เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยเบสอินทรีย์ชื่ออะดีนีน (Adenine) น้ำตาลไรโบส (Ribose) และหมู่ฟอสเฟต (Pi) อีก 3 หมู่ พันธะที่เชื่อมระหว่างหมู่ฟอสเฟตด้วยกัน เรียกว่า พันธะฟอสเฟต (Phosphate bond) เมื่อใดที่พันธะแตกตัวจะได้สารใหม่เกิดขึ้นมาคือ อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate) และฟอสเฟตอนินทรีย์ (Inorganic phosphate = Pi) ใน 1 โมเลกุลของเอทีพี จะปลดปล่อยพลังงานออกมาระหว่าง 7-12 กิโลแคลอรี (Kilocalories = kcal) หรือ 29.4 – 50.4 กิโลจูล (Kilojoules = kJ)

การสังเคราะห์เอทีพีของสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต (พิชิต ภูติจันทร์, 2535) การแตกตัวของเอทีพีจะเกิดพลังงานขึ้นทันที เพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ และใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่ การสังเคราะห์เอทีพี แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

ระบบฟอสฟาเจน (Phosphagen System) หรือเขียนย่อว่า “ATP-PC” ในระบบนี้ พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีมาจากการแตกตัวของสารประกอบฟอสโฟครีเอทีน (Phosphocreatine = PC) ฟอสโฟครีเอทีนมีความคล้ายคลึงกับเอทีพีมาก เพราะต่างก็ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตและอยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อเหมือนกัน เมื่อฟอสโฟครีเอทีนแตกตัว ผลผลิตที่ได้ก็คือฟอสเฟตอนินทรีย์ครีเอทีน และให้พลังงานในทันที พลังงานที่เกิดขึ้นนี้ ถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่

ระบบกรดแลคติก (Lactic acid System) หรือเรียกว่า “แอนาโรบิกไกลโคไลซิส” (Anaerobic glycolysis) เป็นระบบสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นการเผาผลาญกลูโคสที่ไม่สมบูรณ์ กลูโคส (มีคาร์บอน 6 อะตอม) แต่ละโมเลกุลจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก (มีคาร์บอน 3 อะตอม) ได้ 2 โมเลกุล ในระบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ เอทีพี จะถูกสังเคราะห์ขึ้นในเซลล์กล้ามเนื้อรวมถึงการแตกตัวที่ไม่สมบูรณ์ของอาหารที่บริโภคเข้าไปประเภทหนึ่ง นั่นคือ คาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล) ไปเป็นกรดแลคติก ดังนั้นในระบบนี้จึงได้ชื่อว่า “ระบบกรดแลคติก” ในร่างกายของเรา อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งจะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ในทันที และจะถูกเก็บไว้ในตับและกล้ามเนื้อในรูปไกลโคเจน (Glycogen) เพื่อไว้ในภายหลัง

กระบวนการการสลายกลูโคสขั้นที่ 1 หรือไกลโคลisis ซึ่งเกิดในเซลล์กล้ามเนื้อ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

ปฏิกิริยา A ไกลโคเจนแตกตัวเป็น กลูโคส-1-ฟอสเฟต

ปฏิกิริยา B เป็นการเพิ่มหมู่ฟอสเฟตให้แก่กลูโคส โดยใช้พลังงานเอทีพี 1 โมเลกุล เปลี่ยนเป็น กลูโคส-6 ฟอสเฟต ซึ่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยามากขึ้น และจัดเรียงตัวใหม่เป็น ฟรักโทส-6-ฟอสเฟต

ปฏิกิริยา C เป็นการเพิ่มหมู่ฟอสเฟตให้แก่ ฟรักโทส-6-ฟอสเฟต โดยใช้พลังงานเอทีพี 1 โมเลกุล เกิดเป็น ฟรักโทส-1,6-ไดฟอสเฟต

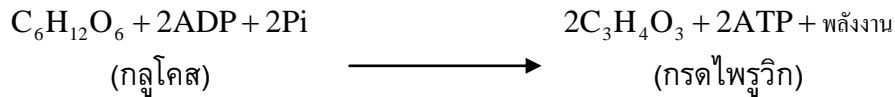
ปฏิกิริยา D ฟรักโทส-1,6-ไดฟอสเฟต แตกตัวเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม 2 โมเลกุล คือ 3-ฟอสเฟตกลีเซอรอลดีไฮด์ และไดไฮดรอกซีอะซีโตนฟอสเฟต (สารประกอบคู่นี้สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้)

ปฏิกิริยา E-3-ฟอสโฟกลีเซอรอลดีไฮด์แต่ละโมเลกุลจะถูกออกซิไดส์เป็นกรด 1,3-ไดฟอส โฟกลีเซอริก และพลังงานที่ได้จะใช้เพื่อเพิ่มฟอสเฟตอีนทรีย์เข้าไปในโมเลกุล และมีโคเอนไซม์ NAD (Nicotinamide adenine dinucleotide) มารับไฮโดรเจนอะตอมเป็น NADH₂ และไฮโดรเจน อะตอมนี้จะถ่ายทอดให้แก่ออกซิเจนในระบบขนส่งออกซิเจน (สำหรับการหายใจแบบใช้ออกซิเจน)

ปฏิกิริยา F กรด 1,3-ไดฟอสโฟกลีเซอเรต จะปล่อยหมู่ฟอสเฟตออกมา 1 หมู่ พร้อมกับพลังงานเพื่อใช้รวมตัวกับเอดีพี (Adenosine diphosphate = ADP) เกิดเป็นเอทีพี นับเป็นเอทีพีโมเลกุล เรียกการสร้างเอทีพี แบบนี้ว่า “Substrate level phosphorelation” ได้เป็นกรด 3-ฟอสโฟกลีเซอริก และจัดเรียงตัวใหม่เป็น กรด 2-ฟอสโฟกลีเซอเรต และจัดเรียงตัวใหม่อีกครั้งเป็น กรดอินอลฟอสโฟไพรูวิก

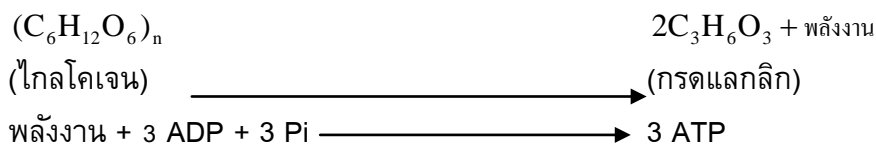
ปฏิกิริยา G กรดอินอลฟอสโฟไพรูวิก จะปล่อยหมู่ฟอสเฟตออกมาพร้อมกับพลังงานสร้างเป็น เอทีพีได้อีก 1 โมเลกุล เช่นเดียวกับปฏิกิริยา F และตัวเองกลายเป็นกรดไพรูวิก ซึ่งกรดไพรูวิก สามารถเปลี่ยนเป็นกรดแลคติกได้ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน แต่ถ้าเป็นการหายใจ (สร้างพลังงาน) แบบใช้ออกซิเจน กรดไพรูวิกจะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปเพื่อเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมด กลูโคส 1 โมเลกุล จะได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล การเริ่มต้นเพื่อสลายกลูโคสจะต้องใช้พลังงานเอทีพี 2 โมเลกุล เมื่อสิ้นสุดกระบวนการสลายกลูโคสขั้นที่ 1 จะได้พลังงานเอทีพี 4 โมเลกุล ดังนั้นเซลล์จะได้พลังงานเอทีพีสุทธิ 2 โมเลกุล สิ่งที่สำคัญที่เกิดขึ้นในกระบวนการ คือ เมื่อกระบวนการสิ้นสุด ไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น ไม่มีการใช้ออกซิเจนและมีไฮโดรเจนเกิดขึ้น 4 อะตอม โดยไม่อยู่ในรูปอิสระ แต่มีโคเอนไซม์ NAD จะจับกับไฮโดรเจน อะตอมได้เป็น NADH₂ กระบวนการสลายกลูโคสขั้นที่ 1 หรือไกลโคไลซิส จะมีขั้นตอนเกิดขึ้นอยู่ในไซโทพลาสซึมของเซลล์กล้ามเนื้อ เขียนเป็นปฏิกิริยารวมไว้ดังนี้



สรุปแล้ว ถึงแม้ว่าจะเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นมามากมาย แต่พลังงานที่เกิดขึ้นและถูกเก็บอยู่ในรูปเอทีพีนั้นน้อยมาก ที่น่าสนใจมากที่สุดคือ ปฏิกิริยาการสลายกลูโคสเกิดขึ้นได้โดยไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นในขณะที่เซลล์มีออกซิเจนไม่พอ เซลล์ก็ยังผลิตพลังงานเอทีพีจำนวนเล็กน้อยจากกระบวนการสลายกลูโคสขั้นที่ 1 มาใช้ได้ โดยเกิดผลผลิต ก็คือ กรดแลกติกแทนกรดไพรูวิก ตัวอย่างเช่น ในเซลล์กล้ามเนื้อของเราเมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก กระแสเลือดไม่สามารถนำออกซิเจนมาให้เพียงพอกับความต้องการของเซลล์ ในภาวะเช่นนี้ เซลล์กล้ามเนื้อจึงต้องสร้างพลังงานโดยไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดกรดแลกติกสะสมอยู่ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเมื่อยล้า (Muscular fatigue) เมื่อกล้ามเนื้อได้พักและมีออกซิเจนเพียงพอ กรดแลกติกจึงถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไพรูวิก เพื่อเข้าสู่กระบวนการสร้างพลังงานแบบอื่น ๆ ต่อไป

เป็นที่น่าสังเกตว่า สำหรับไกลโคเจนเมื่อเข้าสู่กระบวนการสลายกลูโคสจนได้กรดไพรูวิกแล้ว จะได้พลังงานเอทีพีถึง 3 โมเลกุล แตกต่างจากกลูโคสซึ่งได้เอทีพีเพียง 2 โมเลกุล ดังสมการ



ระบบออกซิเจน (Oxygen System) หรือเรียกอีกอย่างว่า “แอโรบิก ไกลโคไลซิส” (Aerobic glycolysis) ในระบบออกซิเจนนี้ แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน โดยจะแยกกล่าวทีละขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน (Aerobic Glycolysis)

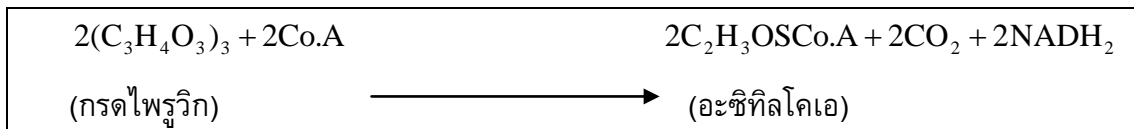
ขั้นตอนที่ 2 การสังเคราะห์อะซิติลโคเอนไซม์เอ (Acetyl Co. A Synthesis)

กรดไพรูวิกแต่ละโมเลกุล จะถูกเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอนไซม์เอ เรียกย่อ ๆ ว่า อะซิติลโคเอ โดยกลุ่มเอนไซม์หลายชนิด ได้ผลผลิต คือ

เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล แต่จากกลูโคส 1 โมเลกุล ทำให้เกิดกรดไพรูวิก 2 โมเลกุล ดังนั้นจึงได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ รวม 2 โมเลกุล ต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส

เกิดไฮโดรเจน 4 อะตอม ซึ่งจะรวมกับ NAD กลายเป็น NADH_2 1 โมเลกุล ดังนั้นจะได้ NADH_2 จำนวน 2 โมเลกุล

สมการรวมของปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้ คือ



อะซีทิลโคเอ หากไม่เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ อาจเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน ไกลโคเจน หรือ โปรตีนก็ได้

อะซีทิลโคเอ 2 โมเลกุล (จากกลูโคส 1 โมเลกุล) เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ปลดปล่อยออกมา 4 โมเลกุล ดังนั้น เมื่อรวมกับ 1 โมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์จากการสร้างอะซีทิลโคเอ ก็จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล อาจกล่าวได้ว่า คาร์บอนทั้ง 6 ตัว ในกลูโคสถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์หมด และจะถูกขนส่งออกนอกเซลล์ต่อไป

ในวัฏจักรเครบส์ จะมีปฏิกิริยาที่ปลดปล่อยไฮโดรเจนออกมา 4 ปฏิกิริยา ในจำนวนนี้จะมี 3 ปฏิกิริยาที่มี NAD มาเป็นตัวรับไฮโดรเจนอะตอม และอีก 1 ปฏิกิริยาที่มี FAD มารับไฮโดรเจน

ขั้นตอนที่ 3 วัฏจักรเครบส์ (Krebs Cycle)

กรดไพรูวิกที่ได้จากการสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน จะเปลี่ยนเป็นอะซีทิลโคเอ และแตกตัวต่อไปในอนุกรมของปฏิกิริยาที่เรียกว่า วัฏจักรเครบส์ ซึ่งค้นพบโดย เซอร์ ฮันส์ ออดอล์ฟ เครบส์ และได้รับรางวัลโนเบลสาขาสรีรวิทยาหรือการแพทย์ ในปี ค.ศ.1953 วัฏจักรเครบส์นี้อาจเรียกชื่อเป็นอย่างอื่นได้ เช่น วัฏจักรซิตริก (Citric acid Cycle) หรือ วัฏจักรกรดไตรคาร์บอนซิลิก (TCA Cycle) ในวัฏจักรเครบส์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้น 2 ประการ คือ การผลิตคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเดชัน เช่น การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน กรดไพรูวิกที่ได้จากการสลายกลูโคสได้เข้าไปในวัฏจักรเครบส์ แต่จะเปลี่ยนเป็นอะซีทิลโคเอก่อนจึงจะเข้าไปในวัฏจักร เครบส์จะมีอนุกรมของปฏิกิริยา ดังนี้

ปฏิกิริยา A กรดไพรูวิกจะถูกออกซิไดส์โดยคาร์บอนไดออกไซด์และอะซีทิลโคเอ โดยมี NAD มารับ H⁺ ได้เป็น NADH₂ ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป อะซีทิลโคเอทำปฏิกิริยากับกรดออกซาลอแอสिटริกได้กรดซิตริก ส่วนโคเอนไซม์เอจะแยกตัวออกไปเพื่อรวมกับกรดไพรูวิก โมเลกุลใหม่ กรดซิตริกปรับโครงสร้างใหม่เป็นกรดซิสอะโคนิก แล้วปรับโครงสร้างใหม่อีกครั้งได้เป็นกรดไอโซซิตริก

ปฏิกิริยา B กรดไอโซซิตริกเปลี่ยนเป็นกรดออกซาลอซัคซินิก โดยมี NAD มารับ H⁺ ได้เป็น NADH₂ ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป

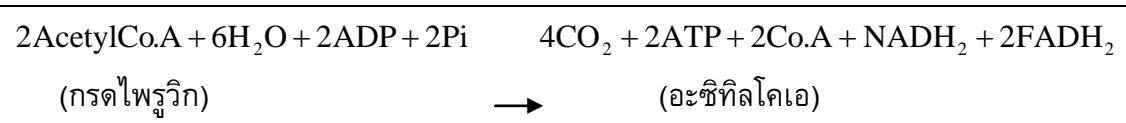
ปฏิกิริยา C กรดออกซาลอซัคซินิกถูกออกซิไดส์ได้คาร์บอนไดออกไซด์ออกมา 1 โมเลกุล และเปลี่ยนเป็นกรดแอลฟาคีโทกลูทาริก

ปฏิกิริยา D กรดแอลฟาคีโทกลูทาริก ถูกออกซิไดส์ได้เป็นกรดซัลซินิกและมีคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีก 1 โมเลกุล และมี NAD มารับ H⁺ เป็น NADH₂ เพื่อเข้าสู่ระบบ

ขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป ในการนี้จะได้พลังงานออกมาพอที่จะรวมเอาหมู่ฟอสเฟตอินทรีย์เข้ากับเอดีพีเป็นเอทีพี

ปฏิกิริยา E กรดซัลซินิกถูกออกซิไดส์เปลี่ยนเป็นกรดฟูมาริก โดยมี FAD (Flavoprotein) มารับไฮโดรเจนเป็น FADH₂ เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป แล้วกรดฟูมาริกจะเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก

ปฏิกิริยา F กรดมาลิกจะถูกออกซิไดส์ได้เป็นกรดออกซาลิแอซีตริก โดยมี NAD มารับ H เป็น NADH₂ เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป แล้วกรดออกซาลิแอซีตริกจะรวมกับอะซีทิลโคเอโมเลกุลใหม่เป็นกรดซีตริกได้อีก เพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์รอบใหม่ อะตอมจะเห็นได้ว่า ในวัฏจักรเครบส์ยังไม่มีการใช้ออกซิเจน สรุปสมการรวมในวัฏจักรเครบส์เป็นดังนี้คือ



ขั้นตอนที่ 4 ระบบขนส่งอิเล็กตรอน (Electron Transport System = ETS)

ระบบขนส่งอิเล็กตรอนในช่วงนี้เรียกว่า โซ่การหายใจ (Respiratory chain) หรือระบบไซโทโครม (Cytochrome System) ในระบบขนส่งอิเล็กตรอน ทั้งอิเล็กตรอนและไฮโดรเจนไอออน (หรือโปรตอน) จะถูกถ่ายทอดจากสารประกอบหนึ่งไปยังสารประกอบถัดไป พลังงานที่ใช้ในการขนส่งอิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา 3 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยา A, D และ G ในวัฏจักรเครบส์ พลังงานที่ได้จะใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีจากเอดีพี และใช้ในการสังเคราะห์ฟอสเฟต

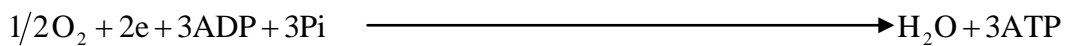
ในกรณีการสูญหายอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) เป็นไปเพื่อการรวมฟอสเฟตกับเอดีพีเกิดเป็น เอทีพี (ปฏิกิริยาฟอสโฟริเลชัน) ดังนั้นการสังเคราะห์เอทีพีในไมโทคอนเดรียเป็นการคู่ควบระหว่างปฏิกิริยาออกซิเดชันและฟอสโฟริเลชัน ซึ่งเรียกว่า ออกซิเดทีฟ ฟอสโฟริเลชัน (Oxidative phosphorylation)

ในกระบวนการนี้ จะเป็นแหล่งผลิตเอทีพีได้มากที่สุด เพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ จากรูปที่ 7 ปฏิกิริยา A โมเลกุลแรกที่ถูกออกซิไดส์ คือ นิโคตรินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ (Nicotinamide adenine dinucleotide = NADH)

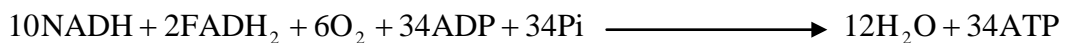
ในปฏิกิริยา B FADH₂ ที่ถูกรีดิวซ์ในปฏิกิริยา A กลับเปลี่ยนเป็นถูกออกซิเดชัน จากจุดนี้ไปจนถึงปฏิกิริยา H อิเล็กตรอนเท่านั้นที่ถูกถ่ายทอดจากสารประกอบ เป็นที่ซึ่ง 2 H^{*} จะไปสู่ FADH₂ ซึ่งผ่านมาในสารละลาย และสามารถนำมาใช้ได้อีกในปฏิกิริยา H ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ที่ซึ่งออกซิเจนจากเลือดได้รับ 2 e⁻ จากสารประกอบไซโทโครม ออกซิเดส (A₃) และจะรวมกับ 2 H₂ กลายเป็นน้ำ

ในแบบแผนของการขนส่งอิเล็กตรอนจะเห็นว่า ทุก ๆ 2 อิเล็กตรอน (หรือไฮโดรเจนอะตอม) ที่ส่งผ่านมาจาก $\text{NADH} + \text{H}^+$ มาจนกระทั่งเป็นโมเลกุลของน้ำจะมีเอทีพีเกิดขึ้น 3 โมเลกุล (ปฏิกิริยา A, D และ G)

ดังนั้น ในการสลายกลูโคสหรือไกลโคเจนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ทุก ๆ 1 โมเลกุลของ NADH ที่เข้าสู่กระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนจะได้ผลผลิต คือ เอทีพี 3 โมเลกุล ในกรณีที่เป็น FADH_2 (ได้จากวัฏจักรเครบส์) เมื่อเข้าสู่กระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน จะให้เอทีพี 2 โมเลกุลเท่านั้น ดังสมการ



สรุปสมการรวมในระบบขนส่งอิเล็กตรอน



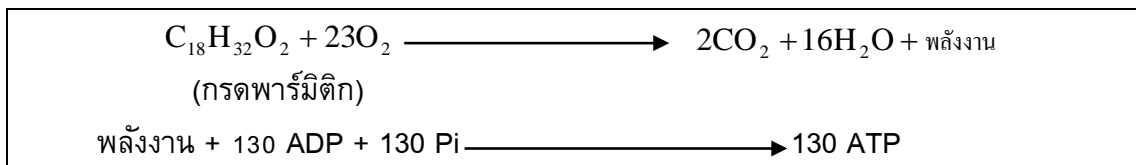
สรุปการสังเคราะห์เอทีพีในระบบการใช้ออกซิเจน จากกลูโคส-6-ฟอสเฟต 1 โมเลกุล ดังนี้

จากการสลายกลูโคส (รูปที่ 4 ปฏิกิริยา B, C, F, G)	ได้ 2 ATP	= เกิดในไซโทพลาสซึม
จากวัฏจักรเครบส์ (รูปที่ 6 ปฏิกิริยา D)	ได้ 2 ATP	
จากการขนส่งอิเล็กตรอน (ออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชัน)		เกิดในไมโทคอนเดรีย
ก. ออกซิเดชันของ FADH_2 (รูปที่ 6 ปฏิกิริยา E)	ได้ 4 ATP	
ข. ออกซิเดชันของ NADH (รูปที่ 4 ปฏิกิริยา E รูปที่ 6)		
ปฏิกิริยา A, B, D, F) : 3ATP/ NADH		
หรือ (10 x 3 = 30)	ได้ 30 ATP	
รวมพลังงานต่อกลูโคส-6-ฟอสเฟต	=	ได้ 38 ATP

สรุปว่า ในระบบออกซิเจนทั้ง 4 ขั้นตอน คือ การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน การสร้างอะซีทิลโอเอ วัฏจักรเครบส์ และการขนส่งอิเล็กตรอน เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องสัมพันธ์กัน จะเห็นว่าออกซิเจนจะเข้าไปร่วมในปฏิกิริยาในกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน ส่วนในกระบวนการอื่น ๆ ออกซิเจนไม่ได้เข้าไปร่วมในปฏิกิริยาเลย

การสังเคราะห์เอทีพีของสารอาหารประเภทไขมัน (พิชิต ภูติจันทร์, 2535)

เริ่มต้นโดยไขมันสลายตัวเป็นกรดไขมัน (Fatty acid) และกลีเซอรอล (Glycerol) จากนั้นทั้งสองจะมีการสลายด้วยปฏิกิริยาคนละทาง กล่าวคือ กลีเซอรอลจะเข้าสู่ปฏิกิริยาไกลโคไลซิส เปลี่ยนเป็น 3-ฟอสโฟกลีเซอรอลดีไฮด์ ส่วนกรดไขมันจะเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอแล้วเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ กระบวนการสลายไขมันเรียกว่า เบตาออกซิเดชัน (Beta oxidation) ไขมัน 1 โมเลกุล ผลิตอะซิติลโคเอได้มากกว่ากลูโคส ดังนั้น พลังงานจากการสลายไขมันจึงมีมากกว่ากลูโคสเมื่อเทียบกับน้ำหนักกรัมต่อกรัม ไขมันจะทำให้มีการสังเคราะห์เอทีพีได้มากกว่ากลูโคสประมาณ 3 เท่า ดังสมการตัวอย่างการสลายไขมันบางตัว



การสังเคราะห์เอทีพีของสารอาหารประเภทโปรตีน (พิชิต ภูติจันทร์, 2535)

เริ่มต้นด้วยกรดอะมิโน (Amino acid) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่สุดของสารอาหารประเภทโปรตีน จะเข้าสู่กระบวนการสลายกลูโคสได้หลายทาง ได้แก่ ทางอะซิติลโคเอแล้วเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ หรือเข้าสู่วัฏจักรเครบส์เลยทางกรดออกซาโลแอสिटริก หรือทางกรดแอฟาติโทกลูทริก แต่ก่อนที่กรดอะมิโนจะเข้าสู่กระบวนการสลายกลูโคส กรดอะมิโน จะมีการดึงกลุ่มไนโตรเจนออกก่อนในรูปแอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนอย่างรวดเร็วเป็นยูเรีย (Urea)

โดยสรุปจึงกล่าวได้ว่า กระบวนการสร้างพลังงานในร่างกาย จะเริ่มจากการสร้างประกอบทางเคมีที่ชื่อ เอทีพี (Adenosine triphosphate หรือ ATP) ซึ่งเมื่อแตกตัวจะให้พลังงานสำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อ และกระบวนการอื่น ๆ ของสิ่งมีชีวิต เอทีพีสังเคราะห์ได้จากกระบวนการทางชีวเคมีทั้งระบบใช้ออกซิเจนและระบบไม่ใช้ออกซิเจน สำหรับในระบบไม่ใช้ออกซิเจน มีสองระบบย่อย คือ ระบบฟอสฟาเจน และระบบกรดแลคติก ซึ่งในระบบแรกคือระบบฟอสฟาเจน จะเป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่ใช้ในกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ และสามารถนำเอทีพีมาใช้ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อใช้ระหว่างออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นและมีช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เช่น วิ่ง 100 เมตร, ยกน้ำหนัก, ยิมนาสติก เป็นต้น สำหรับระบบที่สอง คือ ระบบกรดแลคติก จะมีการสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจนและปลดปล่อยพลังงานออกมา พลังงานที่ได้จากระบบนี้ จะทำให้การแตกตัวของคาร์โบไฮเดรต (กลูโคสและไกลโคเจน) กลายเป็นกรดแลคติก ซึ่งกรดแลคติกที่ได้นี้ ถ้าสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและในเลือดมากเกินไป จะทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเมื่อยล้าได้ เรียกกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจนทั้งสองระบบย่อยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อร่างกายในลักษณะนี้ว่า “การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic exercise)”

ส่วนระบบที่งานวิจัยในครั้งนี้สนใจทำการศึกษาคือ ระบบใบ้ใช้ออกซิเจน เป็นระบบพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากการแตกตัวของสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และบางครั้งอาจนำมาจากโปรตีน หลังการแตกตัวของสารอาหารประเภทต่าง ๆ แล้วจะทำให้เกิดผลลัพท์ที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนี้ ในระบบใบ้ใช้ออกซิเจน ยังถือว่าเป็นระบบที่เกิดปฏิกิริยาซับซ้อนมาก เริ่มจากปฏิกิริยาการสลายสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต หรือปฏิกิริยาการสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยานี้จะทำให้ไกลโคเจนแตกตัวเป็นกรดไพรูวิก จากนั้นจึงเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ต่อไป ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยานี้คือ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนอะตอม จะถูกส่งต่อไปรวมกับออกซิเจนที่ได้จากระบบหายใจ เพื่อรวมตัวเป็นน้ำพร้อมกับเกิดการสังเคราะห์เอทีพีขึ้น สำหรับสารอาหารประเภทไขมันก็เกิดเช่นเดียวกับปฏิกิริยาการสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน เว้นแต่ในช่วงเริ่มจะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า เบต้าออกซิเดชัน โดยสรุปแล้ว ระบบออกซิเจนจะถูกใช้มากในกิจกรรมที่มีความเข้มต่ำถึงปานกลาง และเกิดในช่วงระยะเวลาที่นานในระดับหนึ่ง เรียกระบบออกซิเจนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อร่างกายในลักษณะนี้ว่า “การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise)”

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise)

หากแบ่งประเภทการออกกำลังกายตามลักษณะของการเผาผลาญพลังงานที่ได้รับจากสารอาหาร จะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise) คือ การออกกำลังกายที่ใช้ออกซิเจนเผาผลาญสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน ส่วนการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic exercise) นั้นจะไม่ใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญพลังงาน (Plowman, 2003) และจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเมื่อศึกษาเทียบเคียงแล้วสามารถให้คำจำกัดความของการออกกำลังกายทั้งแบบแอโรบิกและแบบแอนแอโรบิกที่มีประโยชน์เหมือนและแตกต่างกัน อันจะส่งผลต่อการแก้ไขภาวะน้ำหนักเกิน ได้ดังนี้คือ

ตำรง กิจกุล (ม.ป.ป.) ได้กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยการวิ่งมาราธอนพบว่า ร่างกายมีความต้องการใช้พลังงานมาก จึงเกิดการเผาผลาญสารอาหารที่มากกว่าปกติ (5.5 ถึง 6.0 กิโลแคลอรี) ดังนั้นพลังงานที่ได้มาจึงถูกนำไปใช้มาก จึงไม่เหลือเป็นไขมันสะสมอยู่

ผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายภายหลังจากการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์, 2539) คือ ระบบหัวใจและหลอดเลือด กล้ามเนื้อ ตลอดจนการทำงานของระบบอวัยวะต่าง ๆ ให้เข้ากับภาวะที่ต้องใช้กำลังกายมากขึ้น ซึ่งหมายถึงภาวะที่ร่างกายต้องการออกซิเจนมากขึ้น เพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางร่างกาย เนื่องจากการออกกำลังกายมีอยู่ 2 ประการ คือ ผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในระยะสั้น และผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในระยะยาว

ผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในระยะสั้น (Acute effects) มีดังนี้

1. มีการหมุนเวียนของเลือดในเส้นเลือดฝอยในกล้ามเนื้อมากขึ้น
2. เลือดฉีดออกจากหัวใจเพิ่มขึ้น เพราะชีพจรหรืออัตราการเต้นของหัวใจเร็ว ปริมาณเลือดที่สูบฉีดแต่ละครั้งเพิ่มขึ้นอาจเป็น 4-5 เท่าของภาวะปกติ
3. ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวและความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว มีค่าลดต่ำลง เนื่องจากการขยายตัว และปรับตัวของเส้นเลือดในร่างกาย
4. มีการสร้างความพร้อมในร่างกายมากขึ้น จึงมีการระบายความร้อนโดยเส้นเลือดที่ผิวหนังจะขยายตัว

ผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในระยะยาว (Chronic effects) มีดังนี้

1. ชีพจรเต้นช้าลงทั้งขณะฝึกและขณะออกกำลังกาย
2. หัวใจจะโตขึ้นทั้งขนาดและปริมาตร ทำให้การสูบฉีดของเลือดได้มากขึ้น
3. ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัวจะมีค่าลดลง
4. เลือดจะไหลไปเลี้ยงส่วนกล้ามเนื้อหัวใจได้ดีขึ้น
5. การสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจจะได้ครั้งละมากขึ้นกว่าปกติ และขณะออกกำลังกาย จะมีเลือดสูบฉีดไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมากขึ้น
6. เลือดจะฉีดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายขณะออกกำลังกายมากขึ้น
7. การแข็งตัวของเส้นเลือดที่จะทำให้เส้นเลือดเปราะได้จะเกิดขึ้นช้าลง
8. เพิ่มระดับไขมันชนิดเอช ดี แอล (HDL – High density lipoprotein) ซึ่งเป็นผลดีต่อการป้องกันโรคหัวใจ
9. การเปลี่ยนแปลงของระบบต่อมไร้ท่อ ทำให้ประจำเดือนของเพศหญิงมีน้อยลง ขนาดของต่อมหมวกไตมีขนาดใหญ่ขึ้น
10. ระบบหายใจที่เกิดจากการฝึกหรือออกกำลังกาย จะทำให้การหายใจไม่ต้องใช้พลังงานมากแต่ได้ปริมาณงานเท่า ๆ กัน การใช้ออกซิเจนจะคงระดับอยู่ได้

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก การวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยในเรื่องของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพชนิดต่าง ๆ ต่อการใช้พลังงานที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบการไหลเวียนโลหิตและระบบการหายใจในร่างกาย ซึ่งจะกล่าวถึงค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังนี้

อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate-HR) ในคนปกติทั่วไป อาจมีอัตราการเต้นของหัวใจที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับอิริยาบถ การออกกำลังกาย อารมณ์ อายุ เพศ ความสมบูรณ์ของร่างกาย เป็นต้น ผู้ใหญ่ชายจะมีอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 72 ครั้งต่อนาที ผู้ใหญ่หญิงจะมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 80 ครั้งต่อนาที เด็กแรกเกิดอาจเต้นถึง 135 ครั้งต่อนาที

ในนักกีฬาที่ได้รับการฝึกมานาน หัวใจอาจเต้นเพียง 50 ครั้งต่อนาที อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักจะลดลงในผู้ที่ฝึกเป็นประจำในหญิงจะมีอัตราการเต้นของหัวใจสูงกว่าชายประมาณ 5-10 ครั้ง การวัดการเต้นของหัวใจโดยนับเป็นจำนวนครั้งต่อนาทีที่หัวใจห้องล่างซ้ายมีบีบตัว โดยตรวจนับที่บริเวณหัวใจ แต่อาจตรวจนับอัตราการเต้นของหัวใจบริเวณข้อพับ เช่น ข้อมือ ส่วนบนด้านหน้าคอ เป็นต้น การวัดอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นหนึ่งในวิธีการวัดค่าการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect calorimeter) โดยอาศัยค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและการใช้ออกซิเจนโดยดูความต้องการ การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อและการใช้เชื้อเพลิงจากอาหารซึ่งต้องการตามความหนักและเวลาของการทำกิจกรรมเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเพิ่มการใช้ ออกซิเจนกับการสูดฉีดโลหิตจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก โดยวิธีการนี้จะดูจากการเพิ่มขึ้น เป็นเส้นตรงของอัตราการเต้นของหัวใจกับการใช้ออกซิเจน (Payne et al, 1971) เมื่อมีการออก กำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเกือบจะทันที และจะคงสูงอยู่ตลอดระยะเวลาในการ ออกกำลังกาย การเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจเกิดจาก การควบคุมโดยตรงจากกลไกทางระบบ ประสาท และกระตุ้นโดยผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการออกกำลังกาย เนื่องจากอัตราการเต้นของ หัวใจเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับงาน ดังนั้นเมื่อออกกำลังกายจนถึงระยะเวลาคงที่ (Steady state) อัตราการเต้นของหัวใจก็มักจะคงที่ด้วย การเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจจะขึ้นอยู่กับ ระดับของการออกกำลังกาย สำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดความหนักไว้ที่ระดับปานกลาง (Moderate exercise) ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจในระดับนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีอัตราการ เต้นของหัวใจประมาณ 120-140 ครั้งต่อนาที โดยขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการออกกำลังกาย ด้วย หลังจากนั้นอัตราการเต้นของหัวใจจะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่ออกกำลังกาย เมื่อ หยุดออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจจะค่อย ๆ กลับสู่สภาวะปกติ (จุไรพร สมบุญวงศ์ และคณะ, 2546)

ความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย (Blood pressure – BP) เมื่อหัวใจบีบตัวเพื่อสูบฉีดเลือดให้ไหลไปตามหลอดเลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย การบีบตัวของหัวใจจะทำให้เกิดความดันในหลอดเลือด ซึ่งการไหลของเลือดนั้น จะไหลจากบริเวณที่มีความดันสูงไปยัง บริเวณที่มีความดันต่ำ ความดันโลหิตโดยทั่วไป จะหมายถึง ความดันในหลอดเลือดแดง นิยม วัดที่หลอดเลือดแดงขนาดปานกลางบริเวณต้นแขน (Brachial artery) ซึ่งค่าความดันโลหิต สูงสุดในระยะบีบตัวจะเรียกว่า “ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (Systolic blood pressure หรือ SBP)” ส่วนค่าความดันโลหิตสูงสุดในระยะคลายตัวจะเรียกว่า “ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic blood pressure หรือ DBP)” ซึ่งโดยปกติค่าระหว่าง SBP กับ DBP จะมีค่า เท่ากับ 120/80 มิลลิเมตรปรอท ถ้าเกิดความดันโลหิตสูง จะมีค่าระหว่าง SBP กับ DBP ที่สูง กว่าปกติ เช่น 150/90 มิลลิเมตรปรอท (พิชิต ภูติจันทร์, 2535) เมื่อมีการออกกำลังกาย อัตรา การไหลเวียนทั่วร่างกายเพิ่มสูงขึ้น ความดันโลหิตจะเพิ่มขึ้นในช่วง 2-3 นาทีแรก หลังจากนั้นจะ เข้าสู่ภาวะคงที่ ระดับความดันโลหิตจะขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการออกกำลังกาย เมื่อหยุด

ออกกำลังกาย ความดันโลหิตจะลดลงทันทีและต่ำกว่าระยะพักเล็กน้อยเพียง 5-10 นาที หลังจากนั้นความดันเลือดจะค่อย ๆ กลับเพิ่มสูงขึ้น ความดันโลหิตขณะหัวใจคลายตัว (DBP) มักไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่อออกกำลังกายระดับเบาหรือระดับปานกลาง แต่อาจจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก ส่วนค่าความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (SBP) จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความหนักของการออกกำลังกาย เช่น การออกกำลังกายถึงระดับสูงสุด ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว (SBP) อาจถึงระดับ 200 มิลลิเมตรปรอท หรือสูงกว่าในขณะที่พักถึง 50 เปอร์เซ็นต์ (จุไรพร สมบุญวงศ์ และคณะ, 2546)

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจน (VO_2 หรือ Oxygen uptake) หมายถึง ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายรับไปให้เซลล์ใช้ต่อนาที ซึ่งถูกกำหนดโดยปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อและปริมาณของออกซิเจนจากเลือดที่แพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อนั้น (คนทั่วไปขณะพักจะมีค่าประมาณ 3.5 มิลลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ซึ่งอาจเรียกค่านี้ในขณะพักว่า 1 Metabolic equivalent หรือ 1 MET) ขณะออกกำลังกายสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนจะแปรตามความหนักเบาของการออกกำลังกาย โดยการใช้ออกซิเจนจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นระหว่าง 2-3 นาทีแรกของการออกกำลังกายแล้วจะถึงระดับคงที่ (Steady State) ซึ่งสมรรถภาพการรับออกซิเจนจากเลือดจะใกล้เคียงกับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อ ซึ่งเมื่อหยุดออกกำลังกาย สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนจะค่อย ๆ ลดลงจนสู่ภาวะปกติ (ระดับพัก) คนที่ไม่ได้รับการฝึกจะสามารถเพิ่มสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนได้ 3 เท่า (0.75 ลิตรต่อนาที) ระหว่างการออกกำลังกายเบา ๆ และเป็น 8-12 เท่า (2-3 ลิตรต่อนาที) ระหว่างการออกกำลังกายหนักสำหรับนักกีฬาที่รับการฝึกมาเป็นอย่างดี สามารถเพิ่มสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนได้มากถึง 16-20 เท่า (4-5 ลิตรต่อนาที) (ชูศักดิ์ เวชแพทย์ และกัญญา ปาละวิวิธน์, 2536) ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะนำสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายมาเปลี่ยนเป็นการใช้พลังงานของการออกกำลังกายทั้ง 4 ช่วง (ช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย ช่วงของการออกกำลังกายคงที่ ช่วงหลังหยุดออกกำลังกาย และช่วงการใช้พลังงานโดยรวมของการออกกำลังกาย) ซึ่งมีหน่วยพลังงานความร้อน คือแคลอรี (Calorie หรือ call) ซึ่งหมายถึง ปริมาณความร้อนที่สามารถทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากหน่วยแคลอรีเป็นหน่วยที่เล็กมาก ดังนั้นอัตราการเผาผลาญพลังงาน จึงนิยมใช้หน่วยเป็น กิโลแคลอรี (Kilocalorie หรือ Kcal) โดย 1 กิโลแคลอรี มีค่าเท่ากับ 1,000 แคลอรี (จุไรพร สมบุญวงศ์และคณะ, 2546)

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Consumption) จะมีความหมายถึงความสามารถของร่างกายในการรับออกซิเจนไปเลี้ยงสู่เซลล์ต่าง ๆ ซึ่งถูกกำหนดโดยปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อ และปริมาณของออกซิเจนที่แพร่จากเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อ เป็นตัวบ่งชี้การทำงานของระบบไหลเวียนและระบบหายใจที่มีความสำคัญต่อการผลิตพลังงาน เพื่อใช้ในการออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่องและระยะเวลานาน โดยออกซิเจนจะลำเลียงเข้าสู่เซลล์

บริเวณไมโทคอนเดรียและในกระบวนการนี้จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกกำจัดออกจากร่างกายด้วย ขณะที่ร่างกายทำงานหนักมากขึ้นเรื่อย ๆ กระบวนการใช้ออกซิเจนและกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์จะทำงานเร็วขึ้น จนในที่สุดเซลล์และเนื้อเยื่อไม่สามารถรับออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นได้อีก สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีความแตกต่างกันตามเพศ อายุ และสัดส่วนของร่างกาย ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ ซึ่งจะสูงเมื่ออายุ 20-25 ปีในเพศชาย และเมื่ออายุ 25-30 ปีในเพศหญิง หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง โดยทั่วไปเพศชายจะมีสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดประมาณ 50 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ส่วนเพศหญิงจะมีค่าประมาณ 40 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาที ซึ่งน้อยกว่าเพศชาย และหลังจากช่วงอายุดังกล่าว สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนจะคงระดับและค่อย ๆ ลดต่ำลง ซึ่งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกจะช่วยมีผลต่อการพัฒนาระบบการไหลเวียนโลหิตและระบบการหายใจ หรือรักษาระดับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดไว้ได้ (ชูศักดิ์ เวชแพทย์ และกันยา ปาละวีรพันธ์, 2536)

การใช้พลังงานในช่วงหลังหยุดออกกำลังกายหรือสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนหลังการออกกำลังกาย (Excess post-exercise oxygen consumption หรือ EPOC) ในขณะที่เราออกกำลังกายแบบเข้มข้นขึ้น ความสามารถในการสังเคราะห์พลังงานเอทีพีจะไม่สูงตามไปด้วย เนื่องจากระหว่างการสังเคราะห์พลังงานแบบนี้สูงสุดแล้ว แต่เราก็กยังสามารถออกกำลังกายในระดับที่เข้มข้นได้ต่อไปเรื่อย ๆ ก็เพราะได้พลังงานจากระบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนจะออกกำลังกายได้นานแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของร่างกายในอันที่จะทนต่อสารต่าง ๆ ที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์พลังงานโดยวิธีไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะกรดแลคติก หลังจากการสังเคราะห์พลังงานโดยไม่ใช้ออกซิเจนสิ้นสุดลง พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการยังคงรักษาระดับสูงไว้เท่าเดิม แล้วจึงค่อย ๆ ลดลง และจะลดลงสู่ระดับปกติก็ต่อเมื่อสารเหล่านั้นถูกขจัดให้อยู่ในระดับปกติเช่นกัน ระยะเวลาที่เรียกว่า “ระยะการฟื้นตัว” (Recovery time) ซึ่งเป็นระยะที่กล้ามเนื้อได้รับการเติมพลังงานให้กลับคืนสู่สภาพเดิม ระยะการฟื้นตัวเป็นระยะที่ผู้ออกกำลังกายใช้เวลาสำหรับการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกายซึ่งเรียกว่า “การเป็นหนี้ออกซิเจน” ออกซิเจนจำนวนนี้จะถูกจ่ายคืนให้กับออกซิเจนที่ร่างกายควรจะได้รับในระหว่างการออกกำลังกาย แต่เนื่องจากร่างกายมีขีดจำกัด ไม่สามารถรับเข้าไปได้ทันในขณะที่ออกกำลังกาย จึงจำเป็นต้องเป็นหนี้ไว้ก่อน กล้ามเนื้อเป็นอวัยวะที่ทนต่อการเป็นหนี้ออกซิเจนได้ดีกว่าอวัยวะอื่น ๆ การคำนวณหาปริมาณของการเป็นหนี้ออกซิเจนจะคำนวณได้โดยวัดปริมาณของออกซิเจนที่หายใจเข้าไปในระหว่างการฟื้นตัว ลบด้วยปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้จริงในขณะที่พัก เป็นที่ยอมรับกันว่า ปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้ในระหว่างการออกกำลังกาย จะเท่ากับปริมาณที่ได้ใช้ไปจริงระหว่างการออกกำลังกายรวมกับการเป็นหนี้ออกซิเจน นักสรีรวิทยาการออกกำลังกาย เรียกผลรวมของออกซิเจนในสองช่วงนี้ว่า เป็นปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้สำหรับการออกกำลังกายนั้น ๆ (oxygen requirement) (ประทุม ม่วงมี, 2527)

การจ่ายน้ำในระยะแรกเป็นการจ่ายน้ำอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาประมาณ 2-3 นาทีในระยะฟื้นตัว เชื่อกันว่า ออกซิเจนที่จ่ายคืนในระยะนี้นำไปใช้ในการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอทีนกลับคืน จากนั้นออกซิเจนจะค่อย ๆ ลดปริมาณลงอยู่ในระดับคงที่ และเข้าสู่ระยะหลัง ซึ่งอาจใช้เวลาเป็นชั่วโมงในคนที่ร่างกายไม่ฟิต เชื่อกันว่า ออกซิเจนในระยะหลังนี้ ถูกนำไปเผาผลาญกรดแลกติกฮอว์โมนอะดรีนาลิน หรือกระบวนการเมแทบอลิซึมยังสูงอยู่ แม้จะหยุดออกกำลังกายแล้วก็ตาม (Margaria et al., 1963)

สรุปแล้ว การเป็นหนี้ออกซิเจน ช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกาย ปริมาณของออกซิเจนที่นำเข้าสู่ร่างกายจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งร่างกายสามารถผลิตพลังงานให้พอเพียง (การใช้ปริมาณของกรดแลกติกยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ) ร่างกายก็จะสามารถทำงานต่อไปอย่างสม่ำเสมอ แต่เมื่อระยะเวลาของการออกกำลังกายผ่านไปในช่วงเวลาหนึ่ง พลังงานของร่างกายจะได้มาจากการสลายตัวของเอทีพีภายในกล้ามเนื้อโดยไม่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ปริมาณของออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อทำหน้าที่ผลิตพลังงานต่อเนื่อง โดยกระบวนการไกลโคไลซิส จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน น้ำ และกรดไพรูวิก ในช่วงนี้หากปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อไม่เพียงพอ ร่างกายจะทำการยืมออกซิเจนจากเนื้อเยื่ออื่น ๆ มาใช้ใน ช่วงภาวะการณ์นี้ อย่างเร่งด่วน หลังจากการออกกำลังกายผ่านไป ร่างกายก็จะสามารถนำออกซิเจนเข้าโดยการหายใจเร็ว ๆ เพื่อชดเชยคืนให้กับเนื้อเยื่อต่าง ๆ (พีระพงศ์ บุญศิริ และ ภมร เสนาฤทธิ์, 2541)

การระบายอากาศ (Minute ventilation หรือ V_E) การที่ร่างกายทำงานมากขึ้นระหว่างการออกกำลังกาย การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นโดยแปรผันตามระดับการออกกำลังกาย ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ก่อนการออกกำลังกายจนถึงสิ้นสุดการออกกำลังกาย โดยเกิดขึ้นได้จากการเพิ่มทั้งความลึกของการหายใจและอัตราการหายใจ หรือโดยการเปลี่ยนแปลงอย่างใดอย่างหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างบุคคลและระดับของการออกกำลังกาย ถ้ามีการออกกำลังกายระดับเบาหรือปานกลาง มักมีการเพิ่มความลึกของการหายใจเป็นส่วนใหญ่และมีการเพิ่มอัตราการหายใจเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อมีการออกกำลังกายที่หนักเพิ่มขึ้น ความลึกของการหายใจจะเพิ่มขึ้นถึงระดับคงที่ (2.5-3 ลิตร) แต่อัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นมาก (ประมาณ 30-40 ครั้งต่อนาที) เพราะเวลาในการหายใจเข้าและหายใจออกจะสั้นลง ปริมาณการระบายอากาศต่อนาที เรียกว่า “Minute ventilation หรือ V_E ” ในคนปกติขณะพักจะมีค่าประมาณ 5-6 ลิตรต่อนาที ซึ่งคำนวณได้จาก ผลคูณระหว่างปริมาณอากาศที่หายใจเข้าหรือออกหนึ่งครั้ง (Tidal volume หรือ TV) กับอัตราการหายใจ (Respiratory rate) ซึ่งในขณะที่พักนั้น ปริมาณอากาศที่หายใจเข้าหรือออกหนึ่งครั้งประมาณ 500 มิลลิลิตร และอัตราส่วนการหายใจเฉลี่ยประมาณ 12-16 ครั้ง แต่เมื่อมีการออกกำลังกายค่าการระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากอาจถึง 120 ลิตรต่อนาที (3 ลิตร คูณกับ 40 ครั้งต่อนาที) ในการออกกำลังกายเบาถึงหนัก ปานกลาง พบว่า มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างปริมาณการระบายอากาศต่อนาทีกับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน แต่เมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะหมดไป คือ ปริมาณการระบายอากาศต่อนาที

จะเพิ่มขึ้นมากเกินไปจนสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นหรือเกินสัดส่วนความหนักของการออกกำลังกาย อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวนี้ไม่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการระบายอากาศในการออกกำลังกายที่หนักเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การระบายอากาศจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนและอัตราการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ จนกระทั่งถึงจุดที่ร่างกายเปลี่ยนมาใช้พลังงานเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นพลังงานหลัก กล่าวคือ เมื่อออกกำลังกายหนักเกือบเต็มที่จะมีการเพิ่มอัตราการระบายอากาศมากกว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนต่อนาที เพราะร่างกายเปลี่ยนมาใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้ว จุดนี้จะเรียกว่า จุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold หรือ AT) (จุไรพร สมบุญวงศ์ และ คณะ, 2546)

อัตราส่วนการหายใจ (Respiratory Exchange Ratio หรือ RER) หมายถึง ค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นกับจำนวนออกซิเจนที่ใช้ไปในการออกกำลังกาย ซึ่งเกิดจากการวัดค่าของการหายใจเข้าออกต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซในปอด

RER	Energy (พลังงาน)	%Kcal (เปอร์เซ็นต์)	
	Kcal/LO ₂ (กิโลแคลอรี/ลิตรออกซิเจน)	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน
0.71	4.69	0.0	100.0
0.75	4.74	15.6	84.4
0.80	4.80	33.4	66.6
0.85	4.86	50.7	49.3
0.90	4.92	67.5	32.5
0.95	4.99	84.0	16.0
1.00	5.05	100.0	0.0

ที่มา : (ดัดแปลงมาจาก Willmore et al, 1999)

โดยสามารถใช้เพื่อให้บอกได้ถึงชนิดของสารอาหารชนิดใดที่ให้พลังงานจากสารอาหาร ค่าอัตราส่วนการหายใจไม่เท่ากันแล้วแต่ชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์ เช่น คาร์โบไฮเดรตจะมีค่าอยู่ที่ 1.0 ไขมันจะมีค่า 0.7 โปรตีนจะมีค่า 0.8 แต่ถ้าต่ำกว่า 0.7 จะบ่งชี้ถึงการแลกเปลี่ยนระหว่างก๊าซทั้งสองชนิด แต่จะไม่บอกถึงชนิดของอาหารที่ถูกออกซิไดส์ ปกติโปรตีนจะสร้างพลังงานน้อยมากระหว่างการออกกำลังกาย นักสรีรวิทยาจึงไม่นับพลังงานที่ได้จากโปรตีนใน จากค่า RER โปรตีนอาจจะสร้างพลังงานหลังจากการออกกำลังกายหลายชั่วโมงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณการใช้พลังงานเทียบกับอัตราส่วนการหายใจและประเภทของแหล่งพลังงานจากสารอาหาร แสดงได้จากค่าในตารางข้างต้นเปรียบเทียบพบว่า ค่าอัตราส่วนการหายใจ จะเริ่มจาก 0.71 นั่นคือ ใช้พลังงาน 4.69 กิโลแคลอรีต่อการใช้ออกซิเจน 1 ลิตร แหล่งพลังงานจะ

ได้จากสารอาหารประเภทไขมัน 100 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งความหนักมากขึ้นค่าอัตราส่วนการหายใจก็จะเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การใช้ไขมันจะลดลง แต่เปอร์เซ็นต์การใช้คาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น ถ้าค่าอัตราส่วนการหายใจเพิ่มขึ้นถึง 1.00 แหล่งพลังงานที่ได้มาจากการใช้สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้พลังงาน 4.05 กิโลแคลอรีต่อการใช้ออกซิเจน 1 ลิตร (Willmore et al, 1999)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A. LA Torre, และคณะ (2009) ได้ศึกษาอัตราการเต้นของหัวใจและความเข้มข้นของแลคติกในนักกีฬาปีนหน้าผา (Heart rate and blood lactate elevation in bouldering elite athletes) กีฬาปีนหน้าผา (Bouldering) นักกีฬาจะต้องปีนหน้าผาโดยผ่านเส้นทางที่เต็มไปด้วยอุปสรรคที่ตขวางที่นักกีฬาจะต้องใช้ความสามารถปีนผ่านไปให้ได้โดยการแข่งขันจะมีหลายรอบ (Rotation time) แต่ละรอบจะมีเวลา คะแนน และเวลาพักระหว่างรอบแตกต่างกันออกไป ผู้ชนะจะต้องได้คะแนนรวมจากการปีนผ่านอุปสรรคได้มากที่สุด ปัจจุบันกีฬาปีนหน้าผาจัดการแข่งขันและรับรองโดย International Federation of Sport Climbing (IFSC) ปัจจุบันกีฬาปีนหน้าผาได้รับการพัฒนาให้เล่นได้ในร่ม (Indoor) การพัฒนาสมรรถภาพ และประสิทธิภาพในการเล่นของนักกีฬานั้นจำเป็นจะต้องมีข้อมูลทางด้านรูปแบบการเคลื่อนไหว สรีรวิทยาการตอบสนองของร่างกาย เช่นอัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการเต้นของหัวใจ ระดับความเข้มข้นของแลคติก หรือระบบพลังงาน ที่เกิดขึ้นในกีฬานั้นๆ เพื่อเป็นข้อมูลที่จะนำไปประยุกต์ในการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมที่มีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการตอบสนองของทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นในการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผา
วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ 1 เป็นนักกีฬานักกีฬาทีมชาติอิตาลี 11 คน ชาย 6 คน หญิง 5 คน เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผารายการ BNC ที่จัดขึ้นในอิตาลี เก็บข้อมูลระดับความเข้มข้นของแลคติกในภายหลังการแข่งขันวันที่ 2,4,6, และ 8

กลุ่มตัวอย่างที่ 2 ประกอบด้วยนักกีฬาเพศชาย 6 คน หญิง 3 คน เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาปีนหน้าผาที่จำลองการแข่งขันขึ้นภายใต้กติกาเดียวกันกับการแข่งขันรายการ BNC เก็บข้อมูลระดับความเข้มข้นของแลคติกทุกช่วง (period) ของการแข่งขัน อัตราการเต้นของหัวใจ และบันทึกวิถีที่เคลื่อนไหวนักกีฬาระหว่างการแข่งขัน

ผลการวิจัย

การแข่งขันรายการ BNC Competition

- ค่าเฉลี่ยเวลาในการปีนแต่ละช่วง 65 วินาที
- เวลาในการปีนรวม 391 วินาที

- จำนวนครั้งในการเคลื่อนไหวเฉลี่ย 73 ครั้ง
- เวลาเฉลี่ยการเคลื่อนไหวต่อ 1 ครั้ง 5.3 วินาที
- ระดับความเข้มข้นของแลคติกสูงที่สุดพบในนาทีที่ 2 และนาทีที่ 4 ในการแข่งรายการสุดท้าย (6.2 mmol/L และ 6.9 mmol/L)

การแข่งขันปีนหน้าผาที่จำลองขึ้น

- ค่าเฉลี่ยในการปีนแต่ละช่วง 92 วินาที แตกต่างจากการแข่งขัน BNC แตกต่างจากการแข่งขัน BNC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- ค่าเฉลี่ยเวลารวมในการปีน 551 วินาที แตกต่างจากการแข่งขันรายการ BNC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- จำนวนครั้งในการเคลื่อนไหว 106 ครั้ง แตกต่างจากการแข่งขันรายการ BNC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
- เวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนไหวใน 1 ครั้ง 5.2 วินาที

ผลการวิจัย

- ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการปีนเขา 6 ช่วง 132 ครั้ง/นาที
- อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเฉลี่ยตลอด 6 ช่วง 73 % ของอัตราชีพจรสูงสุด
- ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจในช่วงพักไม่แตกต่างกันระหว่างการแข่งขัน BNC กับแมตซ์จำลอง
- ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักครั้ง 64 ครั้ง/นาที
- อัตราการเต้นของหัวใจขณะแข่งขันมีความชันเพิ่มขึ้นตามการแข่งขันในแต่ละรอบ โดยไม่มีช่วงที่อัตราการเต้นของหัวใจอยู่ในแนวระดับ (plateau)
- ร่างกายทำงานที่ระดับความหนัก 70-85% ของชีพจรสูงสุด คิดเป็น 25.9% ของเวลาในการแข่งขัน
- ร่างกายทำงานที่ระดับความหนัก 86-100% ของชีพจรสูงสุด คิดเป็น 12% ของเวลาในการแข่งขัน
- ในแมตซ์จำลองร่างกายทำงานที่ระดับความหนัก 0-59% ของชีพจรสูงสุด คิดเป็น 40% ของเวลาในการแข่งขัน
- ในแมตซ์จำลองร่างกายทำงานที่ระดับความหนัก 60-69% ของชีพจรสูงสุด คิดเป็น 21.3% ของเวลาในการแข่งขัน
- ในแมตซ์จำลองร่างกายทำงานที่ระดับความหนัก 70-85% ของชีพจรสูงสุด คิดเป็น 26.0% ของเวลาในการแข่งขัน
- ในแมตซ์จำลองร่างกายทำงานที่ระดับความหนัก 86-100% ของชีพจรสูงสุด คิดเป็น 10.9% ของเวลาในการแข่งขัน
- ค่าเฉลี่ยแลคติกตลอดเกมการแข่งขันแบบจำลองแมตซ์ 5.6 mmol/L

- การแข่งขันที่ใช้เวลาเกิน 20 วินาที มีความสัมพันธ์กับแลคติกที่เก็บสูงขึ้น ($r^2=0.45, P<0.001$)
- การแข่งขันที่ใช้เวลาน้อยกว่า 20 วินาที มีความสัมพันธ์ในทางกลับกันกับกรดแลคติก ($r^2=0.46, P<0.001$)

อัตราการเต้นของหัวใจในการแข่งขันเป็นหน้าผาสูงถึง 93% ของชีพจรสูงสุด เนื่องจากขณะแข่งขันกล้ามเนื้อทำงานแบบความยาวไม่เปลี่ยนแปลง (Repetitive Isometric Contraction) และกล้ามเนื้อลำตัวส่วนบน แขน ทำงานยาวนานขึ้น ในขณะที่พักอัตราการเต้นของหัวใจนักกีฬาชายลดลงสู่แนวระดับคงที่ (Stable) แสดงถึงร่างกายมีการพักที่สมบูรณ์ไม่มีความล้าจากระบบการเผาผลาญ (Metabolic fatigue) ส่วนในเพศหญิงอัตราการเต้นของหัวใจมีค่าสูงกว่าเพศชายและไม่ลดลงสู่ระดับก่อนการแข่งขัน (Base line) ซึ่งแสดงถึงการพักไม่สมบูรณ์และร่างกายมีการสะสมความล้า

กรดแลคติกไม่เพิ่มขึ้นตามเวลาการแข่งขันที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อแบ่งช่วงแข่งขันออกเป็นช่วงแข่ง 20 วินาที ก็บ่งชี้ระยะเวลาต่อเนื่อง 20-50 วินาที จึงพบความแตกต่างของกรดแลคติกเนื่องจากการทำงานของกล้ามเนื้อแขน หัวไหล่ ที่ใช้ในการปีนมีการกระตุ้นการทำงานอย่างต่อเนื่องมากขึ้น ซึ่งสามารถกล่าวเป็นสมมุติฐานได้ว่าการทำงานของกล้ามเนื้อในระยะเวลาที่สั้นกว่าจะเกิดการสะสมกรดแลคติกที่น้อยกว่าเนื่องจากการทำงานของระบบ Anaerobic glycolysis จะเริ่มทำงานภายหลัง 5 วินาทีของการออกแรงและเพิ่มขึ้นสูงสุดในอีก 10-15 วินาทีต่อมา ดังนั้นการปีนหน้าผาที่ใช้ระยะเวลาเกิน 20 วินาทีจะส่งผลให้มีการสะสมกรดแลคติกมากขึ้น อย่างไรก็ตามแม้ในการแข่งขันที่ใช้ระยะเวลาสั้นๆก็สามารถเกิดการสะสมของแลคติกได้เนื่องจากการพักในช่วงก่อนอาจมีการสลายกรดแลคติกออกไปได้น้อยจึงเกิดการสะสมมากขึ้นในช่วงพักครั้งต่อไปก็ได้

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่ากีฬาปีนหน้าผามีการแข่งขันต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง แต่ระยะเวลาที่ออกแรงจริงๆคือ 6-9 นาที ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจทำงานอยู่ในระดับความหนักปานกลางถึงความหนักสูงซึ่งต้องพึ่งพาการทำงานของระบบการหายใจและไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular system) การทำงานของระบบ Anaerobic glycolysis ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะนำไปสู่การฝึกซ้อมที่เฉพาะเจาะจง (Specific Training) มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของนักกีฬา

โอมาร์ และคณะ (Omar, A; et al. 2002) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ความสามารถด้านความอดทน (Endurance performance) และการตอบสนองทางสรีรวิทยาในนักกีฬาวัยรุ่น

มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการวิ่ง (Running performance) กับตัวแปรทางสรีรวิทยา เช่น ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak oxygen uptake, Peak VO_2) การประหยัดพลังงานในการวิ่ง (Running economy, RE.) อัตราการใช้ออกซิเจนในขณะที่ออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด (Submaximal VO_2) ความสามารถในระบบ

พลังงานแอโรบิก (Aerobic capacity) และความเร็วในการสร้างพลังงานจากระบบแอโรบิก (Aerobic power) ความสอดคล้องของความเร็วในการวิ่งกับความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\dot{V}O_{2peak}$) องค์ประกอบร่างกาย (Anthropometric measures) ระดับความสามารถของปอดในการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Ventilatory threshold) และ ความเข้มข้นของกรดแลคติก (Lactic threshold) อย่างไรก็ตามการศึกษาตัวแปรทางสรีรวิทยาเหล่านี้ในนักกีฬาระดับเยาวชนยังมีน้อย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ได้จากการวิ่งแข่งขัน (Performance time) กับ ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak oxygen uptake, Peak $\dot{V}O_2$) ความเร็วในการวิ่งที่แปรเปลี่ยนไปตามความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\dot{V}O_{2peak}$) ความสามารถในระบบพลังงานแบบแอโรบิก (Aerobic capacity) ความเร็วในการสร้างพลังงานจากระบบแอโรบิก (Aerobic power) และการประหยัดพลังงานในการวิ่ง (Running economy, RE.)

การดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักวิ่ง 800 เมตร และ 1,500 เมตร ระดับเยาวชน จำนวน 40 คน เพศชาย 23 คน และ เพศหญิง 17 คน อายุระหว่าง 14.8 – 17.0 ปี บันทึกสถิติเวลาในการแข่งขันจริงที่นักกีฬาทำได้เป็นข้อมูลด้านประสิทธิภาพในการวิ่ง (Field-based performance) และเก็บข้อมูลตัวแปรทางสรีรวิทยาในห้องปฏิบัติการดังต่อไปนี้

องค์ประกอบของร่างกาย (Anthropometric measures)

น้ำหนักตัว ความสูง และเปอร์เซ็นต์ไขมันใต้ผิวหนัง

สูตรคำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมันใต้ผิวหนัง

ชาย : $\%BF = 1.21 * (\text{triceps} + \text{subscapular}) - 0.008 * (\text{triceps} + \text{subscapular})^2 - 5.5$

หญิง : $\%BF = 1.33 * (\text{triceps} + \text{subscapular}) - 0.013 * (\text{triceps} + \text{subscapular})^2 - 2.5$

ทดสอบสมรรถภาพทางกาย (Treadmill protocol)

ให้นักกีฬาวิ่งโดยใช้อุปกรณ์ลู่วิ่งกล (Treadmill) โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ระยะ (Phase)

การทดสอบระยะที่ 1 การวิ่งแบบเพิ่มความเร็ว (Incremental running)

การทดสอบประกอบด้วยการวิ่ง 6 – 8 ระดับ ระดับความชันคงที่ที่ระดับ 1 % ตลอดการทดสอบ เริ่มต้นโดยให้นักกีฬาอบอุ่นร่างกายโดยการวิ่งด้วยความเร็ว 7 กิโลเมตร/ชั่วโมงเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นปรับความเร็วเข้าสู่การทดสอบด้วยความเร็วระดับที่ 1 (9 – 10 ก.ม/ชม ขึ้นอยู่กับเวลาที่ได้จากการวิ่งแข่งขันจริง) แต่ละระดับใช้เวลาในการวิ่ง 3 นาที หยุดพักระหว่างระดับ 30 วินาที เพื่อเจาะเลือดที่ปลายนิ้ววัดความเข้มข้นกรดแลคติก จากนั้นเข้าสู่ระดับที่ 2 – 8 ต่อไปโดยเพิ่มความเร็วขึ้นระดับละ 1 กิโลเมตร/ชั่วโมง

การทดสอบระยะที่ 2 การวิ่งแบบเพิ่มความชันแต่ความเร็วคงที่จนหมดแรง (Exhaustion)

ภายหลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบระยะที่ 1 ให้นักกีฬาพัก 10 นาที จากนั้นเริ่มทดสอบในระยะที่ 2 การวิ่งด้วยความเร็วคงที่และให้เพิ่มความชันขึ้น 1% ทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องไปจนกระทั่งนักกีฬาหมดแรง (Volitional exhaustion)

การวัดความเข้มข้นกรดแลคติก (Blood lactate concentration)

วัดความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดก่อนการทดสอบ ระหว่างการทดสอบในแต่ละระดับและวัดทันทีภายหลังการทดสอบเสร็จสิ้นลง นำค่าแลคติกที่ความเข้มข้น 2.0, 2.5 และ 4 มิลลิโมล/ลิตร ไปหาความสัมพันธ์กับความเร็วในการวิ่ง (vBLa) โดยวิธี Linear interpolation และนำค่าแลคติกที่ความเข้มข้น 2.0, 2.5 และ 4 มิลลิโมล/ลิตร ไปหาความสัมพันธ์กับค่าอัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที) และนำไปหาค่าความสัมพันธ์กับค่าร้อยละการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Percent peak VO_2) โดยใช้วิธี Linear interpolation เช่นเดียวกัน

การทดสอบค่าการใช้ออกซิเจนต่ำกว่าระดับสูงสุด (Submaximal VO_2) และค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak VO_2)

การทดสอบในระยะที่ 1 (Phase 1) ให้นักกีฬาสวมอุปกรณ์ติดตามการเต้นของหัวใจและสวมอุปกรณ์เพื่อการวิเคราะห์ก๊าซ (Gas analysis) นำค่าอัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2) ที่ระดับความเร็ว 12 ก.ม/ชม มาเป็นตัวกำหนดค่าการประหยัดพลังงาน (RE) ในนักกีฬาแต่ละคน นำค่าการวิเคราะห์ก๊าซในระยะที่ 2 (Phase 2) มาคำนวณค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak VO_2) โดยกระตุ้นให้นักกีฬาวิ่งในการทดสอบระยะที่ 2 ให้ได้นานที่สุดจนกระทั่งนักกีฬาหมดแรง (Volitional exhaustion) การเสร็จสิ้นการทดสอบจะตัดสินจากตัวชี้วัด 2 ใน 3 ประการดังนี้ 1. ระดับการใช้ออกซิเจนอยู่ในระยะคงที่ (Plateau in VO_2) น้อยกว่า 2.1 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที 2. อัตราการเต้นของหัวใจเต้นในระดับคงที่ (Plateau in HR) หรืออัตราการเต้นของหัวใจ (Peak HR) มากกว่าหรือเท่ากับ 195 ครั้ง/นาที 3. ค่าเศษส่วนลมหายใจ (RER) มากกว่าหรือเท่ากับ

การทดสอบ Wingate anaerobic test (WAnT)

ทดสอบค่าความสามารถด้านแอนแอโรบิคโดยวิธี วินเกต โดยใช้อุปกรณ์การทดสอบซึ่งประกอบด้วยจักรยานวัตงาน ชุดวัดความเร็วรอบในการปั่นด้วยแสงอินฟราเรด และโปรแกรมประมวลผลวินเกต การทดสอบเริ่มด้วย

1. ให้นักกีฬาอบอุ่นร่างกายโดยการปั่นจักรยานวัตงาน 3- 5 นาที
2. ให้นักกีฬาปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดต้านกับความฝืด 0.74 นิวตัน*น้ำหนักตัว กิโลกรัม (Resistance) ซึ่งแตกต่างกันไปตามน้ำหนักตัวของผู้ทดสอบเป็นระยะเวลา 30 วินาที
3. เมื่อปั่นครบแล้วให้นักกีฬาคลายอุณหภูมิร่างกายต่อโดยการปั่นจักรยานต่อไปช้าๆโดยไม่มี ความฝืดประมาณ 3 – 5 นาที
4. บันทึกค่าพลังแอนแอโรบิคสูงสุด (Peak power, PP)
5. บันทึกค่าพลังแอนแอโรบิคแบบเฉลี่ย (Mean power, MP)
6. ทำการทดสอบ 2 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 30 นาที

ผลการวิจัย

สถิติการแข่งขันเพศชายทำได้ดีกว่าเพศหญิง ค่าพลังแอนแอโรบิค และค่า พลัง แอนแอโรบิคเฉลี่ย เพศชายมีค่ามากกว่าเพศหญิง ค่า vVO_{2peak} ในเพศชายแตกต่างจากเพศหญิง ค่า RE at 12 กม. ไม่แตกต่างกันในเพศชายและเพศหญิง ค่าความสัมพันธ์ VO_2 , % Peak VO_2 และ Running speed กับค่า Fixed BLA- แตกต่างกันระหว่างเพศชายและเพศหญิง ค่า VO_2 ต่อค่า Running speed สูงในเพศชาย ส่วนค่า % Peak VO_2 ต่อค่า Running speed เพศหญิงมีค่าสูงกว่าเพศชาย

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับการวิ่ง 800 เมตร ค่า RE, % Peak VO_2 , at each BLA และค่า vVO_{2peak} มีความสัมพันธ์กับเวลาในการวิ่งในเพศชาย ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Inter-Independent variable) ระหว่างค่า RE , ค่า % Peak VO_2 กับค่า vVO_{2peak}

มีความสัมพันธ์กันสูง ($r = 0.4 - 0.76$) ส่วนในเพศหญิง ค่า RE , Running time at each BLA มีความสัมพันธ์เวลาการวิ่ง 800 เมตร

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับการวิ่ง 1,500 เมตร ในเพศชาย ค่า Running at fixed BLA, Peak VO_2 , vVO_{2peak} มีความสัมพันธ์กันในทางลบ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Inter-Independent variable) $V_{2.0}$, $V_{2.5}$, $V_{4.0}$, Peak VO_2 กับค่า vVO_{2peak} มีค่าความสัมพันธ์ (r) อยู่ระหว่าง 0.52 – 0.77 ส่วนในเพศหญิง ค่า Peak VO_2 , vVO_{2peak} , และ WAnT mean power มีความสัมพันธ์ในทางลบกับเวลาในการวิ่ง ค่า Running speed at fixed

BLa มีความสัมพันธ์ในทางลบกับเวลาในการวิ่ง ค่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ระหว่าง v2.0, v2.5, v4.0, VO₂ 2.0, VO₂ 2.5, VO₂ 4.0, Peak VO₂ และ vVO_{2peak} มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน

สรุปผล

ค่า Peak VO₂ มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำกับเวลาในการวิ่ง 1,500 เมตร ทั้งในเพศชาย และเพศหญิงดังนั้นตัวแปร Peak VO₂ จึงไม่ใช่สมรรถภาพทางกายที่สำคัญที่นักกีฬาจะต้องเน้นเป็นหลักในการฝึกซ้อมวิ่ง 1,500 เมตร เฟอร์เซ็นต์ไขมันมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำกับเวลาในการวิ่งแต่น้ำหนักตัว (Body mass) มีความสัมพันธ์กับเวลาในการวิ่งมากกว่า ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดสามารถสะท้อนถึงสมรรถภาพความอดทนของระบบหายใจและการไหลเวียนโลหิต (Cardiorespiratory fitness) ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากความเข้มข้นที่ระดับ 2.0, 2.5, 3.0 และ 4.0 มิลลิโมล/ลิตร มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพความอดทน (Endurance performance) โดยเฉพาะที่ระดับ 2.5 มิลลิโมล/ลิตร มีค่าสหสัมพันธ์ (r) ที่สูงกว่า ระดับ 2.0 หรือ 4.0 ในการวิ่งระยะกลาง ซึ่งเป็นค่าที่สมดุลระหว่างการสร้างและการสะสมกรดแลคติก นอกจากนี้การนำค่า Fixed BLa ในแต่ละระดับ มาประเมินการสร้างและความสามารถในการสลายกรดแลคติกจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ค่ากรดแลคติกเพียงค่าเดียว (Single value)

เจมมี และคณะ (Jamie et al, 2009) ได้ศึกษาความต้องการทางสรีรวิทยา (Physiological demands) ในนักแข่งรถชนิด ออฟ โรด (Off-Road Motorcycle) วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความต้องการทางสรีรวิทยาในนักกีฬาแข่งรถออฟโรด
2. เพื่อเปรียบเทียบความต้องการทางสรีรวิทยาระหว่างรถออฟโรดชนิดต่าง ๆ

สมมุติฐานการวิจัย

ความต้องการทางสรีรวิทยาในนักแข่งรถชนิด ออฟโรด จะสูงกว่าในแข่งประเภท เอ ทีวี (All-Terain-Vehicle, ATV) และการตอบสนองทางสรีรวิทยาจะมีความหนักเพียงพอที่จะทำให้ร่างกายสามารถปรับตัวต่อการออกกำลังกายได้

อุปกรณ์และวิธีการ

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักแข่งรถออฟโรด 128 คน แบ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ขี่ ATV เพศชาย 43 คน เพศหญิง 13 คน ประเภทขี่รถชนิดออฟโรด แบ่งเป็นเพศชาย 57 คน เพศหญิง 15 คน เพศชายมีอายุเฉลี่ย 44 ปี ส่วนสูงเฉลี่ย 179.1 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 91 กิโลกรัม เพศหญิงมีอายุเฉลี่ย 38 ปี ส่วนสูงเฉลี่ย 165.9

เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 72.2 กิโลกรัม จำแนกกลุ่มตัวอย่างเป็นส่วนเป็นตามอายุ อายุ 16-19 ปี 18.8 % อายุ 30-49 ปี 49.2 % อายุ 50 ปี ขึ้นไป 32 %

วิธีการ

ให้กลุ่มตัวอย่างสวมอุปกรณ์ จีพีเอส (GPS) เพื่อติดตามความเร็ว (Speed) และบันทึก ระยะทาง (Distance) ที่ได้จากการขี่ ติดตั้งเครื่องวัดแรงกด (Pressure-sensitive seat switch) ที่เบาะคนขี่เพื่อบันทึกเวลาในการนั่งขี่และการยืนขี่

การวัดระบบพลังงานแอโรบิก (Aerobic energy)

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ ให้นักกีฬาทดสอบร่างกายใช้ลู่วิ่งกลตามวิธีของแลมพ์ (Ramp treadmill test) เพื่อหาค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) และค่าความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate) กับค่าการใช้ออกซิเจน (VO_2)

การทดสอบขณะแข่งขัน ทดสอบความต้องการของร่างกายในระบบการหายใจและการไหลเวียนโลหิต (Cardiorespiratory demands) ในระหว่างการแข่งขันประเมินจากการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption) ให้กลุ่มตัวอย่างสวมอุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซ (Gas analysis, COSMED) ไว้ที่หลังขณะขี่ และใส่อุปกรณ์ติดตามการเต้นของหัวใจ ค่าที่ได้จากการทดสอบจะนำไปประเมินการใช้ออกซิเจนเป็น % $VO_2\max$ และประเมินในลักษณะเป็นเปอร์เซ็นต์สะสม (Cumulative percentage) ตามเวลาที่ใช้ไปในแต่ละระดับความหนักได้แก่ ระดับความหนัก 40%, 50%, 60%, 70%, 80% และ 90% ของการใช้ออกซิเจนสำรอง ($VO_2\text{ reserve}$, VO_2R) การจะตัดสินใจว่าอัตราการเต้นของหัวใจที่ตอบสนองในขณะที่แข่งขันมีค่าสูงหรือต่ำกว่าระดับความต้องการของร่างกาย (Metabolic demand) หรือไม่ ผู้วิจัยจะตัดสินใจจากค่าสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ของค่าอัตราการเต้นของหัวใจ กับค่าการใช้ ออกซิเจน (VO_2) ในขณะขี่ โดยเปรียบเทียบกับค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะขี่กับค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและจะสามารถบอกค่าอัตราการใช้ออกซิเจนได้ (Oxygen consumption) และค่าความแตกต่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจที่ได้จากการแข่งขันกับอัตราการเต้นของหัวใจที่ได้จากการทดสอบในห้องทดลองจะเป็นตัวแสดง ความหนักเบาของงานว่าสูงหรือต่ำกว่าความต้องการพลังงานที่แท้จริงของร่างกาย

การวัดระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic energy)

วัดความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด (Blood lactic concentration) ที่ปลายนิ้วมือ ภายหลังการขี่เสร็จสิ้นไปแล้ว 1 นาที และวัดความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดในห้องปฏิบัติการด้วยโดยเจาะเลือดภายหลังจากการโดยวิธีของแลมพ์เสร็จสิ้นไปแล้ว 1 นาที เพื่อใช้เปรียบเทียบกัน

การวัดระดับความเหนื่อย (Rate perceived exertion, RPE)

ใช้ตารางของ บอร์ก (Borg's scale) ที่มีค่าความเหนื่อยตั้งแต่ 6-20 วัดความเหนื่อย กลุ่มตัวอย่างภายหลังการขี่ที่เสร็จสิ้นลงค่าที่วัดได้จะพิจารณาว่าเป็นความเหนื่อยเฉลี่ย (RPEavg) และใช้วัดระหว่างการขี่เพื่อหาค่าความเหนื่อยความเหนื่อยสูงสุด (RPEmax)

การวัดความแข็งแรงและพลังของกล้ามเนื้อ (Muscular strength and power involvement)

การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนก่อนและหลังการขี่เพื่อทดสอบสมมุติฐานที่ว่า ก่อนและหลังการขี่จะทำให้ร่างกายเกิดความเมื่อยล้า (Fatigue) จนทำให้ความแข็งแรงลดลง แตกต่างจากก่อนการขี่หรือไม่ การทดสอบประกอบด้วย

1. การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแขนโดยเครื่องมือวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ แขน

(Handgrip strength dynamometer)

2. การวัดความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวไหล่และลำตัวโดยการดึงและดันยางยืด

(Spring-resisted device) โดยมุ่มข้อศอกอยู่ระดับ 110 องศา ปฏิบัติ 3 ครั้ง บันทึกค่าสูงสุดที่ทำได้ การวิเคราะห์ความล้าทำได้โดยการลบค่าความแข็งแรงที่วัดหลังการขี่ ลบด้วยค่าความแข็งแรงที่วัดก่อนการขี่จะได้เป็นค่าดัชนีความล้า (Fatigue index) เพื่อให้ได้ผลดัชนีความล้ากล้ามเนื้อร่างกายส่วนบนทั้งหมด (Upper body fatigue index) ให้เปลี่ยนค่าที่วัดได้ทั้งหมดเป็นค่า ซี สกอร์ (Z-Score) แล้วนำมารวมกันจะได้ค่าดัชนีความล้ากล้ามเนื้อร่างกายส่วนบน

3. การวัดพลัง (Power) ของกล้ามเนื้อขาโดยวิธีการกระโดดต่อเนื่อง 4 ครั้ง (Four-jump repeated jumping protocol) โดยอุปกรณ์ Digital timing mat ซึ่งที่ได้จากการทดสอบจะมี 3 ค่า คือ ความสูงในการกระโดด ความสูงจากการกระโดดแบบเฉลี่ย ระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น (Ground time) ระหว่างการกระโดดทั้ง 4 ครั้ง และค่าพลังกล้ามเนื้อขาที่ได้จากการคำนวณ (Power factor) โดยนำเวลาการลอยตัวในอากาศ (Air time) หาค่าด้วยเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น (Ground time)

ผลการวิจัย

1. สภาพพื้นผิวการขี่ในสนามแข่งขัน (Typical ride)

ORM : พื้นทางวิ่งเป็นป่าไม่เป็นเนินสูงต่ำ 34% สภาพเนินสูงต่ำ 33% โคลน 16%

เขาหินสูงชัน 8% เขาสภาพเป็นโคลน 9%

ATV : พื้นทางวิ่งเป็นป่าไม่เป็นเนินสูงต่ำ 34% สภาพเนินสูงต่ำ 25% โคลน 25%

เขาหินสูงชัน 8% เขาสภาพเป็นโคลน 8%

2. ความต้องการทางร่างกาย (Physical demands)

2.1 การขี่ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการขี่ 11.8 นาที ในระยะทาง 9.4 กม ไม่แตกต่างกัน

ระหว่าง ATV กับ ORM

2.2 ความเร็วในการขับขี่ (Riding speed) เฉลี่ย 25 ก.ม/ช.ม มีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

2.3 อายุ โดยกลุ่มอายุ 16-29 ปี ขับขี่ด้วยความเร็วแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสูงกว่า

กลุ่มอายุ 30-49 ปี และกลุ่มอายุมากกว่า 50 ปี ขึ้นไป และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างประสบการณ์ในการขับขี่กับความเร็วในการขับขี่ ไม่พบความแตกต่างระหว่างความเร็วในการขับขี่ เพศ และชนิดของรถที่ใช้ในการขับขี่

2.4 เวลาในการยี่นขณะขับขี่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเวลาในการขับขี่ทั้งหมดเปรียบเทียบกับ

การนั่งขี่พบว่า ORM เวลาในการยี่นขับขี่ 62% มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเวลาในการยี่นขี่รถ ATV ซึ่งเท่ากับ 23.1% ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอายุและเพศ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการยี่นขับขี่ ความเร็วในการขับขี่ และความต้องการในการใช้ออกซิเจนในการสันดาปพลังงาน (Metabolic demand, VO_2)

3. การใช้พลังงานในระบบแอโรบิก (Aerobic involvement)

3.1 ค่าเฉลี่ยความต้องการการใช้ออกซิเจน (Mean VO_2 requirement, ml/kg/min) ในขณะ

ขับขี่มีค่าแตกต่างระหว่างชนิดของรถที่ใช้ขับขี่ โดยการขับขี่ ATV มีค่าเท่ากับ 12.1 มล./กก./นาที ส่วน ORM มีค่า 21.3 มล./กก./นาที โดย ORM มีค่าสัมบูรณ์ (Absolute cost, L/min) เท่ากับ 1.6 ลิตร/นาที มากกว่าค่าสัมบูรณ์ของ ATV ซึ่งมีค่า 1.0 ลิตร/นาที

3.2 อัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2) มีความแตกต่างระหว่างเพศชายและเพศหญิง 1.5 ลิตร/นาที และ 0.9 ลิตร/นาที ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มอายุ

3.3 การใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ($\%VO_2max$) เพื่อสื่อถึงสัดส่วนความหนัก (Intensity range) ตลอดช่วงของการขับขี่พบว่าในรถประเภท ORM มีค่า 51.3% และรถประเภท ATV มีค่า 39.3% เพศชายมีค่า $\%VO_2max$ มีค่า 49.9% สูงกว่าเพศหญิงซึ่งเท่ากับ 39.3% ในรถทั้งสองประเภท

3.4 อัตราการเต้นของหัวใจ พบว่ารถประเภท ORM มีค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะขับขี่

143.3 ครั้ง/นาที สูงกว่ารถประเภท ATV ซึ่งมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะขับขี่เท่ากับ 123.1 ครั้ง/นาที และพบความแตกต่างระหว่างกลุ่มอายุที่น้อยมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะขับขี่สูงกว่าอัตราการเต้นของหัวใจของกลุ่มที่มีอายุมากประมาณ 9 ครั้ง/นาที ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างประสบการณ์ในการขับขี่กับความต้องการในการใช้ออกซิเจนในการสันดาปพลังงาน (Metabolic demand, VO_2)

3.5 เปรียบเทียบตัวแปรจากการขี่กับตัวแปรที่ได้จากห้องปฏิบัติการ การขี่ ATV

จะ

ทำให้ร่างกายออกแรงน้อยกว่าการเดินที่ความเร็ว 1.6 เมตร/วินาทีโดยเมื่อเทียบเคียงเป็นค่าการใช้ออกซิเจนพบว่า การขี่ ATV ใช้พลังงานน้อยกว่าการเดินถึง 4.6 มล./กก. นาที ส่วนการขี่ ORM เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานกับการเดินจะพบว่า การขี่ ORM ใช้พลังงานมากกว่าการเดิน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็ว 2.2 เมตร/นาที พบว่าอัตราการใช้ออกซิเจนในการขี่ ORM น้อยกว่าการวิ่งอยู่ 4.5 มล./กก./นาที

3.6 ค่าสมการถดถอย (Linear regression) ระหว่างค่าอัตราการเต้นของหัวใจในการขี่

กับค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยเปรียบเทียบที่อัตราการใช้ออกซิเจนที่ระดับเดียวกัน (Equivalent VO_2) พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจในขณะขี่ที่มีค่าสูงกว่าอัตราการเต้นของหัวใจในห้องปฏิบัติการทั้งในรถ ATV (8.6 ครั้ง/นาที) และในรถ ORM (14.4 ครั้ง/นาที) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มอายุ เพศ และระหว่างรถทั้งสองประเภท

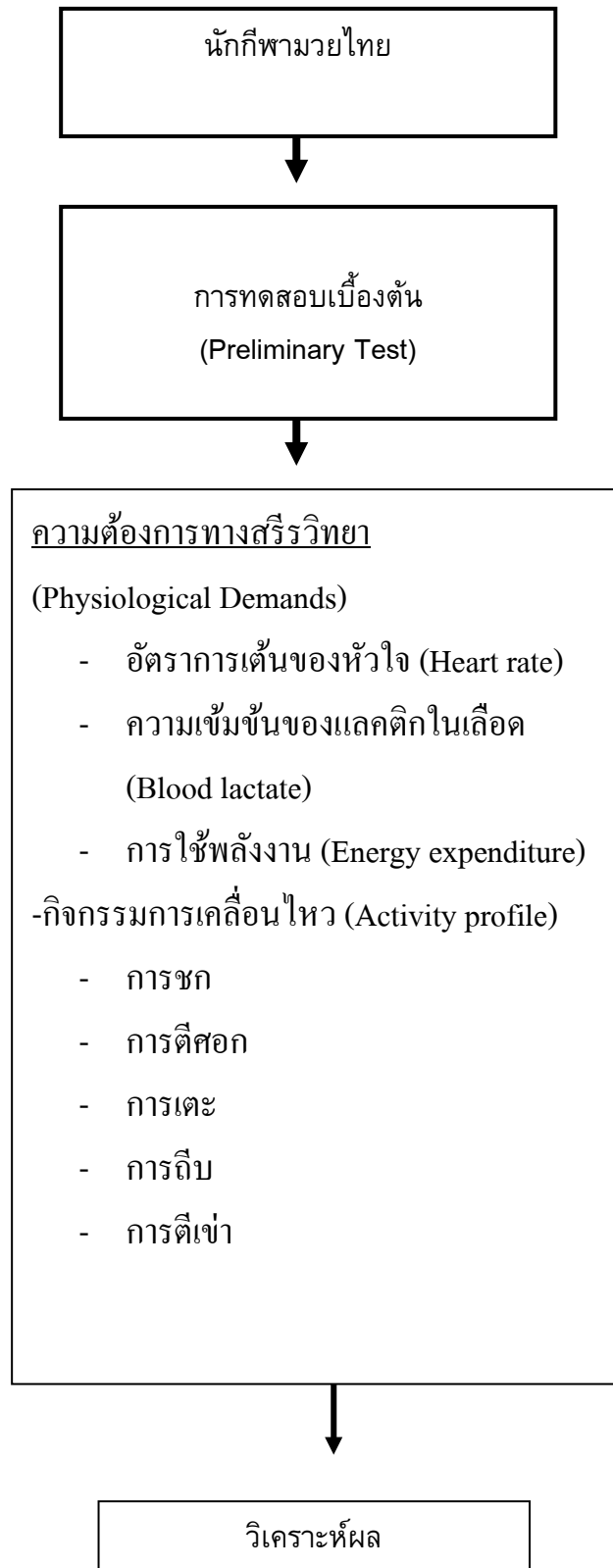
3.7 ความต้องการพลังงาน (Metabolic demand) ที่ใช้ในการขี่โดยแสดงออกมาเป็น

เวลา

รวมแยกตามสัดส่วนความหนักเป็นเปอร์เซ็นต์ตามอัตราการใช้ออกซิเจนสำรอง (VO_2 reserve)

Intensity (% VO_2 R)	Cumulative time (min/Ride)	
	ATV	ORM
> 40	16.2-29.2	22.1-26.5
> 50	9.8-17.7	15.4-18.5
> 60	5.4-9.7	9.3-11.2
> 70	2.6-4.8	4.7-5.6
> 80	1.0-1.7	1.9-2.2
> 90	0.4-0.6	0.7-0.8

กรอบแนวคิดในการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือนักกีฬามวยไทยสังกัดสถาบันการพลศึกษา และโรงเรียนกีฬา อายุระหว่าง 18 – 25 ปี ที่มีประสบการณ์ในการชกมวยไทยมาอย่างน้อย 2 ปี ฝึกซ้อมและเข้าร่วมการชกมวยอย่างสม่ำเสมอ

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยครั้งนี้ใช้กลุ่มตัวอย่างจากสถาบันการพลศึกษาและโรงเรียนกีฬาจำนวน 10 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธี Purposive random sampling โดยกลุ่มตัวอย่างจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีสุขภาพร่างกายสมบูรณ์ แข็งแรง
2. มีอายุอยู่ในช่วง 18-25 ปี
3. ชกมวยไทยมาอย่างน้อย 2 ปี
4. ฝึกซ้อมมวยไทยอย่างสม่ำเสมอและมีโปรแกรมการชกตลอดทั้งปี

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก
2. อุปกรณ์วัดส่วนสูง
3. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ

4. ชุดทดสอบกรดแลคติก
5. เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Analysis)
6. เครื่องติดตามสัญญาณชีพจร (Heart Rate Monitor) (Polar Team, Sweden)
7. เครื่องวิเคราะห์เกม (Sport Code)
8. กล้องบันทึกวีดิทัศน์
9. เวทีมวยมาตรฐานพร้อมอุปกรณ์การชกแข่งขัน
10. ไปบันทึกผล

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. อธิบายขั้นตอนต่างๆในการปฏิบัติในการเข้าร่วมการวิจัยให้กลุ่มตัวอย่างรับทราบ พร้อมทั้งให้กลุ่มตัวอย่างเขียนเอกสารยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Informed consent)
2. ทดสอบสมรรถภาพทางกายเบื้องต้น (Preliminary Test)
 - 2.1 ชั่งน้ำหนัก
 - 2.2 วัดส่วนสูง
 - 2.3 วัดแรงบีบมือ (Grip strength)
 - 2.4 ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา (Leg dynamo meter)
 - 2.5 ทดสอบความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหน้าท้อง
 - 2.6 วัดความอ่อนตัว (Sit and reach test)
 - 2.7 ทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนของร่างกาย

การเก็บข้อมูลช่วงวันแข่งขัน

- วัดระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดก่อนการขึ้นชก 15 นาที
- ให้นักกีฬาสวมอุปกรณ์ Heart rate monitor ไว้ที่ลำตัวภายใต้บอร์ดการ์ด เพื่อ

บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการชกทั้ง 3 ยก

- บันทึกวีดิโอการชกของนักมวยทั้ง 3 ยก

- นำข้อมูลจาก Heart rate monitor ไปวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Polar team

เพื่อศึกษาการเต้นของหัวใจตลอดการชกทั้ง 3 ยก

- นำภาพการชกจากการบันทึกไว้ด้วยกล้องวิดีโอไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Sport code เพื่อศึกษากิจกรรมทางกาย (Activity profiles) โดยแบ่งการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวออกเป็นดังนี้

- จำนวนครั้งในการชกในแต่ละยก และจำนวนครั้งในการชกรวมทั้ง 3 ยก
- จำนวนครั้งในการตีศอกในแต่ละยก และจำนวนครั้งในการตีศอกรวมทั้ง 3 ยก
- จำนวนครั้งในการตีเข่าในแต่ละยก และจำนวนครั้งในการตีศอกรวมทั้ง 3 ยก
- จำนวนครั้งในการเตะในแต่ละยก และจำนวนครั้งในการเตะรวมทั้ง 3 ยก
- จำนวนครั้งในการถีบในแต่ละยก และจำนวนครั้งในการถีบรวมทั้ง 3 ยก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้สถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าร้อยละ
2. Paired t-test
3. ANOVA with Repeated Measure
4. ทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยวิธี Bonferoni
5. กำหนดระดับความมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับรูปแบบการเคลื่อนไหวและการตอบสนองทางสรีรวิทยาในนักกีฬามวยไทยโดยดำเนินการทดลองเป็นการเก็บข้อมูลระหว่างการชกแข่งขันของนักมวยไทยสมัครเล่น ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและสมรรถภาพทางกายของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรดแลคติก ระดับกลูโคสในเลือด ในเลือดก่อนชกและภายหลังการชกทันที วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจและระดับการใช้ออกซิเจน (VO_2) ระหว่างการชกทั้ง 3 ยก

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณการออกอาวุธมวยไทยในระหว่างการชกทั้ง 3 ยก

ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพซึ่งประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุน้ำหนัก ส่วนสูงของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 10 คน

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอายุ น้ำหนัก ส่วนสูงของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 10 คน

กลุ่ม	อายุ (ปี)		น้ำหนัก (ก.ก)		ส่วนสูง (ซ.ม)	
	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.	\bar{X}	S.D.
กลุ่มตัวอย่าง	20.4.	2.97	58.10	5.82	168.70	6.46

จากตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ย 20.4 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.97 น้ำหนักเฉลี่ย 58.10 กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.82 ส่วนสูงเฉลี่ย 168.70 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6.46

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แรงบีบมือ แรงเหยียดขา นอนยกตัว ความอ่อนตัว ความอ่อนตัว VO2 MAX ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 10 คน

การทดสอบร่างกายเบื้องต้น	ผลการทดสอบ	
	\bar{X}	S.D.
แรงบีบมือ (ก.ก)	51.20	6.5
แรงเหยียดขา (ก.ก)	276.5	51.7
นอนยกตัว (ครั้ง)	56	6
ความอ่อนตัว (ซ.ม)	12.3	3.8
VO2 MAX (ml/kg/min)	53.6	6.50

จากตารางที่ 2 กลุ่มตัวอย่างมีแรงบีบมือเฉลี่ย 51.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6.5 แรงเหยียดขาเฉลี่ย 276.5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 51.7 นอนยกตัวเฉลี่ย 56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6 ความอ่อนตัวเฉลี่ย 12.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.8 VO2 MAX เฉลี่ย 53.6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6.50

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกรดแลคติก ระดับกลูโคสในเลือด ในเลือดก่อนชกและภายหลังการชกทันที วิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจและระดับการใช้ออกซิเจน (VO_2) ระหว่างการชกทั้ง 3 ยก

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน กรดแลคติก กลูโคส อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2) ก่อนการชก ระหว่างการชกยกที่ 1 ระหว่างการชกยกที่ 1 ระหว่างการชกยกที่ 3 และภายหลังการชกเสร็จสิ้นลง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 10 คน

ตัวแปร	ก่อนการชก	ยกที่ 1	ยกที่ 2	ยกที่ 3	ภายหลังการชก
<u>กรดแลคติก</u>					
\bar{X}	3.8	-	-	-	9.7
S.D.	1.08	-	-	-	1.1
<u>กลูโคส</u>					
\bar{X}	93.50	-	-	-	116.70
S.D.	18.36	-	-	-	4.58
<u>อัตราการเต้นของหัวใจ</u>					
\bar{X}	-	149.80	175.60	174.20	-
S.D.	-	9.91	10.92	7.58	-
<u>อัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2)</u>					
\bar{X}	-	46.67	54.52	53.63	-
S.D.	-	5.56	3.47	4.26	-

จากตารางที่ 3 กลุ่มตัวอย่างมีระดับกรดแลคติกก่อนการชกเฉลี่ย 3.8 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.08 ระดับกรดแลคติกภายหลังการชกเฉลี่ย 9.7 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.1 ระดับกรดกลูโคสก่อนการชกเฉลี่ย 93.50 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 18.36 ระดับกลูโคส ภายหลังการชกเฉลี่ย 116.70 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.58 อัตราการเต้นของหัวใจ ระหว่างการชกยกที่ 1 เฉลี่ย 149.80 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 9.91 อัตราการเต้นของหัวใจ ระหว่างการชกยกที่ 2 เฉลี่ย 175.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 10.92 อัตราการเต้นของหัวใจ ระหว่างการชกยกที่ 3 เฉลี่ย 174.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 7.58 อัตราการใช้ออกซิเจน

ระหว่างการชกยกที่ 1 เฉลี่ย 46.67 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.56 อัตราการใช้ออกซิเจน
 ระหว่างการชกยกที่ 2 เฉลี่ย 54.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.47 อัตราการใช้ออกซิเจน
 ระหว่างการชกยกที่ 3 เฉลี่ย 53.63 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.56

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกรดแลคติกในเลือดก่อนการชกและภายหลังการชกเสร็จสิ้นลง

ช่วงของการวัด	ระดับกรดแลคติก					
	n	\bar{x}	S.D.	t	df	sig
ก่อนการชก - ภายหลังการชก	10	5.92	1.16	16.135	9	0.00*
รวม	10					

จากตาราง 4 พบว่า จากการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ t-test พบว่า ระดับกรดแลคติกก่อนการชกและภายหลังการชกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกลูโคสในเลือดก่อนการชกและภายหลังการชกเสร็จสิ้นลง

ช่วงของการวัด	ระดับกลูโคสในเลือด					
	n	\bar{x}	S.D.	t	df	sig
ก่อนการชก - ภายหลังการชก	10	23.2	26.36	2.78	9	.02*
รวม	10					

จากตาราง 5 พบว่า จากการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ t-test พบว่า ระดับกลูโคสในเลือดก่อนการชกและภายหลังการชกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .02

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย อัตราการเต้นของหัวใจ ระหว่างการชกยกที่ 1 ยกที่ 2 และยกที่ 3 ของนักมวยไทยสมัครเล่นทั้ง 10 คน

ช่วงเวลา	SS	df	MS	F	P
ภายในกลุ่ม	4209.86	2	2104.93	37.26	.000*
	1016.80	18	26.48		
รวม	5226.66	20			

จากตาราง 6 พบว่า การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ F-test พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการชกทั้ง 3 ยก ของนักมวยไทยสมัครเล่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000

ตารางที่ 7 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ อัตราการเต้นของหัวใจของการชกทั้ง 3 ยก

กลุ่มตัวอย่าง		ยกที่ 1	ยกที่ 2	ยกที่ 3
	\bar{X}	149.80	175.60	174.20
ยกที่ 1	149.80	-	25.80*	24.40*
ยกที่ 2	175.60		-	1.40
ยกที่ 3	174.20			-

จากตารางที่ 7 เมื่อทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) พบว่าค่าเฉลี่ย อัตราการเต้นของหัวใจในยกที่ 2 และยกที่ 3 แตกต่างจากยกที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .00 ส่วนอัตราการเต้นของหัวใจในยกที่ 2 และยกที่ 3 ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย อัตราการใช้ออกซิเจน ระหว่างการชกยกที่ 1 ยกที่ 2 และยกที่ 3 ของนักมวยไทยสมัครเล่นทั้ง 10 คน

ช่วงเวลา	SS	df	MS	F	P
ภายในกลุ่ม	369.52	2	184.76	10.47	.001
	317.53	18	17.64		
รวม		20			

จากตาราง 8 พบว่า การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยด้วยสถิติ F-test พบว่า อัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างการชกทั้ง 3 ยก ของนักมวยไทยสมัครเล่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .00

ตารางที่ 9 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ อัตราการใช้ออกซิเจนของการชกทั้ง 3 ยก

กลุ่มตัวอย่าง		ยกที่ 1	ยกที่ 2	ยกที่ 3
	\bar{X}	46.67	54.52	53.63
ยกที่ 1	46.67	-	9.63*	9.48*
ยกที่ 2	54.52		-	0.150
ยกที่ 3	53.63			-

จากตารางที่ 9 เมื่อทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีของบอนเฟอโรนี (Bonferroni) พบว่าค่าเฉลี่ย ของ อัตราการใช้ออกซิเจนในยกที่ 2 และยกที่ 3 แตกต่างจากยกที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .00 ส่วน ส่วนอัตราการใช้ออกซิเจนในยกที่ 2 และยกที่ 3 ไม่แตกต่างกัน

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณการออกอาวุธมวยไทยในระหว่างการชกมวยไทยสมัครเล่น

ตารางที่ 10 ร้อยละการใช้ทักษะตลอดการชกทั้ง 3 ยก

ทักษะ	จำนวนครั้ง	คิดเป็นร้อยละ
เตะ	93	45.81
เข่า	48	23.64
หมัด	35	17.24
ถีบ	19	9.35
ศอก	5	2.46

จากตารางที่ 10 พบว่าทักษะที่ใช้ในการชกมวยไทยสมัครเล่นทั้ง 3 ยกเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ทักษะที่ใช้มากที่สุดคือการเตะคิดเป็น 45.81 เปอร์เซ็นต์ การตีเข่าคิดเป็น 23.64 เปอร์เซ็นต์ การใช้หมัดคิดเป็น 17.24 เปอร์เซ็นต์ การถีบคิดเป็น 9.35 เปอร์เซ็นต์ และการตีศอกคิดเป็น 2.46 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล

ผลการวิจัย

ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 โดยมีค่าก่อนการชก และภายหลังการชกดังนี้ ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติก (Lactic acid) ก่อนการชกมีค่าเฉลี่ย 3.8 มิลลิโมล/ลิตร ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกภายหลังการชก 3 ยก มีค่าเฉลี่ย 9.7 มิลลิโมล/ลิตร ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดก่อนการชกมีค่าเฉลี่ย 93 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดภายหลังการชกมีค่าเฉลี่ย 116 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ระดับอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยตลอดการชกทั้ง 3 ยก 171 ครั้ง/นาที อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าสูงกว่า แอนแอโรบิกเทรชโฮลด์ (anaerobic threshold) ตลอดการชก 3 ยก อัตราการใช้ ออกซิเจนตลอดทั้ง 3 ยก มีค่าเท่ากับ 51.6 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ซึ่งเท่ากับการใช้พลังงาน 14.74 MET (metabolic equivalents) ส่วนทักษะที่ใช้ในการชกมวยไทยทั้ง 3 ยกเรียงลำดับจาก มากไปน้อยดังนี้ ทักษะที่ใช้มากที่สุดคือการเตะคิดเป็น 45.81 เปอร์เซ็นต์ การตีเขาคิดเป็น 23.64 เปอร์เซ็นต์ การใช้หมัดคิดเป็น 17.24 เปอร์เซ็นต์ การถีบคิดเป็น 9.35 เปอร์เซ็นต์ และ การตีศอกคิดเป็น 2.46 เปอร์เซ็นต์

วิจารณ์ผล

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงระดับความต้องการทางสรีรวิทยาในการชกมวยไทย โดยระดับความเข้มข้นเลือดภายหลังการชกมีค่าเฉลี่ย 9.7 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งแสดงการทำงานของ กล้ามเนื้ออย่างหนักใช้พลังงานจากระบบพลังงานแอนแอโรบิก (anaerobic energy systems) การพบระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดในระดับสูงเนื่องจากการสลายกลูโคสไปเป็น พลังงาน เอทีพี (ATP) เพื่อใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อจะให้กรด ไพรูเวต (pyruvate) และ เปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติกในที่สุด อย่างไรก็ตามไพรูเวตจะถูกส่งไปที่ตับเพื่อสร้างเป็นกลูโคสได้อีกครั้งหนึ่งถ้ามีออกซิเจนเพียงพอขบวนการนี้เรียกว่า คอริไซเคิล (Cori's cycle) มีออกซิเจนไม่เพียงพอในการเปลี่ยนไพรูเวตไปเป็นกลูโคส จึงเกิดการสะสมกรดแลคติกและแพร่ออกมาใน กระแสเลือดทำให้ร่างกายมีความล้าและขัดขวางประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อได้ (McArdle 2007.; Astrand 2001.; เจริญ 2547) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาระดับ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (maximum oxygen consumption, Vo_2max) กลุ่ม ตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักกีฬามวยไทยสมัครเล่นมีค่าเฉลี่ย Vo_2max 58.32 มิลลิลิตร/ กิโลกรัม/นาที ซึ่งเป็นระดับที่ไม่สูงมากนัก ความสมบูรณ์ทางกาย (fitness) ของร่างกายใน ระดับดังกล่าวของนักกีฬามวยไทยสมัครเล่นอาจมีผลทำให้กล้ามเนื้อไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะขจัดกรดแลคติกได้อย่างรวดเร็วซึ่งแตกต่างจากนักมวยไทยสมัครเล่นอาชีพหรือนักกีฬาอาชีพที่จะต้องมีการเตรียมพร้อมร่างกายโดยมีการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มีความสมบูรณ์ทางกายอย่างเพียงพอในการแข่งขันในระดับสูง (Crisafulli 2009.; Arriaza 2009.;

Matsushigue 2009.; Moreira 2010) ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดก่อนและหลังการชกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการชกในยกสุดท้ายจะมีการสะสมความล้า (fatigue) ของร่างกายและร่างกายต้องการพลังงานเอทีพี มาก จึงทำให้มีการสลายกลัยโคเจนจากแหล่งอื่นผ่านขบวนการ gluconeogenesis เพื่อให้ร่างกายมีพลังงานเพียงพอที่ใช้ในช่วงท้ายยกที่ 3 ด้วยเหตุนี้จึงพบระดับน้ำตาลในเลือดมีความเข้มข้นสูงขึ้น นอกจากนี้ขณะออกกำลังกายจะมีการหลั่งของฮอร์โมนกลูคากอน และอีพิเนฟรินมากขึ้น ฮอร์โมนนี้จะมีผลทำให้ตับมีการสร้างกลูโคสเพิ่มมากขึ้น (ACSM 2008.; Katch 1992.; cox 1992)

อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยตลอดทั้ง 3 ยกในการชกมวยไทยสูงกว่า แอนแอโรบิคเทรสโชลด์ (anaerobic threshold) ตลอดการชก 3 ยก อัตราการใช้ออกซิเจนตลอดทั้ง 3 ยก มีค่าเท่ากับ 51.6 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ซึ่งเท่ากับการใช้พลังงาน 14.74 MET (metabolic equivalents) จากผลดังกล่าวบ่งชี้ถึงระดับความหนัก (intensity) ของการชกมวยไทยสมัครเล่นซึ่งมีความหนักอยู่ในระดับสูงเนื่องจากอัตราการเต้นของหัวใจสูงกว่าแอนแอโรบิคเทรสโชลด์ ดังนั้นขณะแข่งขันนักกีฬามวยไทยสมัครเล่นจึงต้องออกแรงอย่างหนักในการชกนอกจากนี้อัตราการใช้พลังงานค่อนข้างสูงเนื่องจากร่างกายต้องออกแรงขณะแข่งขัน

สอดคล้องกับ คริสเตนเซน และ ฮอกเบิร์ก (Christensen and Hogberg 2002) กล่าวว่าอิทธิพลต่อจำนวนของพลังงานและปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ต้องใช้ในการออกกำลังกายขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ความเข้มข้นของการออกกำลังกาย (Intensity of Exercise)
2. ระยะเวลาของการออกกำลังกาย (Duration of exercise)
3. อัตราความเร็วของการออกกำลังกาย (Speed of Exercise)
4. ทักษะและประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ (Economy of Muscular Activity)

และมีข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของ Noskes 2003 แนะนำว่าสมรรถภาพความทนทานของร่างกายมีค่าสูงสุดอาจทำให้เส้นใยแอคตินและมายโอซินมีการจับตัวกันและทำให้เกิดแรงจากการหดตัวมากขึ้น (High Cross Bridge Cycling) และเกิดการปรับตัวของระบบทางเดินหายใจด้วย การปรับตัวของระบบทางเดินหายใจช่วยป้องกันการเกิดอาการหอบเหนื่อย (Dyspnea) จากการออกกำลังกาย

สรุปผล

จากข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้พบว่า การชกมวยไทยสมัครเล่นมีระดับความหนักอยู่ในระดับสูงเมื่อพิจารณาจากอัตราการเต้นของหัวใจ ระดับกรดแลคติก การใช้พลังงาน และอัตรา

การใช้ออกซิเจนสูงสุด จึงทำให้มวยไทยเป็นกีฬาที่ต้องฝึกซ้อมอย่างเหมาะสมและต่อเนื่องให้
สอดคล้องกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นจริงในระหว่างการชก

เอกสารอ้างอิง

- ครองจักร งามมีศรี. (2530). แบบทดสอบทักษะกีฬามวยไทยสำหรับนักศึกษาชาย
วิทยาลัยพลศึกษา. ปรินญาณิพนธ์ กศ.ม. (พลศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- จรัสเดช อุลิต. (2548). เอกสารประกอบการสอนวิชามวยไทย 1. มหาสารคาม:
วิทยาลัยพลศึกษาจังหวัดมหาสารคาม.
- ชูศักดิ์ เวชแพศย์.; และ กัญญา ปาละวิวัฒน์. (2536). สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย.
พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ทวีศักดิ์ ศูนย์กลาง. (2547). การทดสอบสมรรถภาพทางกาย. เอกสารประกอบการสอน
วิชาการทดสอบสมรรถภาพทางกาย. มหาสารคาม: วิทยาลัยพลศึกษามหาสารคาม.
- วิฑูล แสงศิริสุวรรณ. (2538). การทำงานของตับไตและกล้ามเนื้อ เนื่องจากการบาดเจ็บ
หลังการชกมวยไทย. ปรินญาณิพนธ์ วท.ม. (สรีรวิทยาการออกกำลังกาย).
กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วิภา ศรัทธาบุญ. (2536). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายกับแรงเตะ
และแรงชกสูงสุดในนักมวยไทย. ปรินญาณิพนธ์ วท.ม.
(สรีรวิทยาการออกกำลังกาย). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศิริดา บุญทอง. (2538). การศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ของข้อเข่าในนักมวยไทย.
ปรินญาณิพนธ์ วท.ม. (สรีรวิทยาการออกกำลังกาย). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยมหิดล.
- Bangsbo , J., 1994. The physiology of soccer with special reference to intense
intermittent exercise. Acta Physiologica Scandinavica' 151
- Ekblom, B ., 1986. Applied physiology of soccer. Sports Medicine, 3, 50-60

- Jamie, F. Burr., Veronica, K. Jamnik., jim, A. Shaw., & Norman Gledhill. (2009). *Physiological Demands of Off-Road Vehicle Riding*. Medicine and Science in Sports and Exercise.
- Krustrup, P., Hellstein, Y. and Bangsbo, J., 2004. Intense intermittent training elevates transient O₂ uptake in human skeletal muscle at high but not at low exercise intensities. *Journal of Physiology*, 559-335-45.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensburg, A., Bencke, J., Kjaer, M. and Bangsbo, J., 2006. Muscle and blood metabolites during a soccer game : implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 1165-74.
- Melchiorri G., Manzi V., Padua E., Sardella F., bonifazi M., 2009. Shuttle swim test for water polo players : Validity and Reliability, *The journal of sports medicine and physical fitness*. 49, 327-330.
- Mohr, M., Nordsborg, N., Nielsen, J.J., Pederson, L.D., fischer, C., Krustrup, P., and Bangsbo, J. 2004. Potassium kinetics in human interstitium during repeated intense exercise in retention of fatigue. *Pfugers Archiv*, 448, 452-6.
- Reilly, T. (2005) An Ergonomics model of the soccer training process. *Journal of sports science*, 23: 561-572.
- Maud, P. J., & Foster, C. (2006). *Physiological Assessment of Human Fitness*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Omar Ali Almarwaey, Andrew mark jones and Keith Tolfrey. (2002). Physiological correlates with endurance running performance in trained adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. ...Volume... : 480-487.
- Reilly, T. (2005) An Ergonomics model of the soccer training process. *Journal of sports science*, 23: 561-572. Performance assess หน้า 2

Reilly, T. (2007) Science of training: Soccer. London: Routledge.

Stevenson, M. and Drust, B. (2005). Testing soccer player. Journal of Sports Science, 23: 601-618. Performance assess chapter 1

Winter, E.M., Jones, A.M., Davison, R.C.R., Bromley, P.D. and Mercer, T.H. 2007.

Sports and exercise physiology guidelines : Vol 1 Sport Testing. The British association of sport and exercise sciences guide. London: Routledge.

ข้อเสนอแนะ

องค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้นขณะแข่งขันมวยไทยสมัครเล่นจากการค้นพบในการวิจัยครั้งนี้มีข้อค้นพบที่น่าสนใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการฝึกซ้อมและแข่งขันได้ตามข้อเสนอแนะดังนี้

1. อัตราการเต้นของหัวใจขณะแข่งขันมีค่าสูงกว่า Anaerobic threshold ดังนั้นการวางแผนการซ้อมทั้งในระยะสั้น (Micro-cycle) การวางแผนการฝึกซ้อมระยะกลาง (Meso-cycle) และการวางแผนการฝึกซ้อมระยะยาว (Macro-cycle) นั้น จะต้องมีแบบฝึกที่สามารถพัฒนาระดับ Anaerobic threshold ให้สูงขึ้นได้ วิธีการฝึกที่สามารถพัฒนา Anaerobic threshold ได้ประกอบด้วย

- การฝึกแบบ interval training
- การฝึกแบบ intermittent
- การฝึกแบบ Circuit training

โดยผู้ฝึกสอนจะต้องสร้างแบบฝึกให้ระดับการเต้นของหัวใจสูงกว่า Anaerobic threshold โดยวิธีการฝึกซ้อมดังที่กล่าวจะต้องให้ชีพจรเต้นเกินระดับ Anaerobic threshold และสลับกับการพัก จึงจะสามารถพัฒนา Anaerobic threshold ให้สูงได้

2. เนื่องจากระดับกรดแลคติกที่สะสมตลอดทั้ง 3 ยกของการชกมีค่าประมาณ 9.7 มิลลิโมล/ลิตร ซึ่งบ่งชี้ว่า กีฬามวยไทยสมัครเล่นใช้ระบบพลังงานจากระบบ anaerobic ผ่านขบวนการ Glycolysis โดยมีกรดแลคติกเกิดขึ้น ระดับกรดแลคติก 9.7 มิลลิโมล/ลิตร จะส่งผลเลือดเป็นกรดมากขึ้น ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง ดังนั้น การทราบค่าดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อผู้ฝึกสอนและนักมวยที่ต้องปรับโปรแกรมการฝึกซ้อมเพื่อกระตุ้นให้ร่างกายทนทานต่อการเกิดกรดแลคติกในระดับสูงตลอดการแข่งขัน มีวิธีการฝึกซ้อมหลากหลายวิธีที่จะสร้างให้นักมวยมีความทนทานต่อการเกิดของกรดแลคติก เช่น วิธีฝึกแบบ interval training โดยเน้นระยะที่สั้นๆ ให้ร่างกายต้องทำงานขณะที่มีการเกิดการสะสมกรดแลคติกในระดับสูง อย่างไรก็ตาม การจะทราบระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดจะต้องใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์การกีฬาเพื่อติดตาม (monitor) การเปลี่ยนแปลงกรดแลคติกในเลือด ผู้ฝึกสอนจะต้องทำงานร่วมกับนักวิทยาศาสตร์การกีฬาที่ชำนาญในการใช้เครื่องมือดังกล่าว

3. ระดับความหนัก (intensity) ของการชกมวยไทยมีอัตราการใช้ออกซิเจนประมาณ 51.6 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ซึ่งเท่ากับการใช้พลังงาน 14.74 MET ข้อค้นพบนี้บ่งชี้ว่านักมวยไทยจะต้องมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption) ไม่ต่ำกว่า 51.6 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ดังนั้นการพิจารณาคัดเลือกนักมวยที่จะต้องขึ้นชกแข่งขัน นักมวยควรมีการทดสอบ

สมรรถภาพทางกายหรือทดสอบความฟิตโดยใช้ค่าดังกล่าวเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่านักมวยแต่ละคนมีความสมบูรณ์ทางกายหรือร่างกายพร้อมที่จะลงแข่งขันหรือไม่ หากผลการทดสอบพบว่าระดับการใช้ออกซิเจนต่ำกว่า 51.6 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที นักมวยจะต้องปรับโปรแกรมการฝึกใหม่เพื่อที่จะพัฒนาความสมบูรณ์ทางกายให้ผ่านเกณฑ์ วิธีการฝึกเพื่อที่จะพัฒนาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีวิธีการที่หลากหลายแต่หลักการสำคัญคือจะต้องให้หัวใจ ปอดและกล้ามเนื้อทำงานประสานกันเพื่อสูบน้ำตาลในเลือด แลกเปลี่ยนแก๊สและกล้ามเนื้อสกัดออกซิเจนไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. สัดส่วนการใช้ทักษะ ในการวิจัยครั้งนี้พบว่าทักษะที่ใช้มากที่สุดคือการเตะคิดเป็น 47.82 เปอร์เซ็นต์ การตีเข้าคิดเป็น 23.78 เปอร์เซ็นต์ การใช้หมัดคิดเป็น 17.02 เปอร์เซ็นต์ การถีบคิดเป็น 9.73 เปอร์เซ็นต์ และการตีตอกคิดเป็น 1.65 เปอร์เซ็นต์ การจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมทักษะแต่ละด้านควรแบ่งตามสัดส่วนดังกล่าว เช่น การฝึกซ้อมแต่ละครั้งใช้เวลา 2 ชั่วโมง เวลาสำหรับการฝึกการเตะหรือฝึกกล้ามเนื้อขาควรใช้เวลาประมาณ 57.38 นาที หรือคิดเป็น 47.82 % ของเวลาการฝึกซ้อมทั้งหมด ส่วนทักษะอื่นๆ ลดเวลาลงตามสัดส่วนที่ค้นพบ อย่างไรก็ตามการแบ่งสัดส่วนการฝึกซ้อมตามสัดส่วนการออกอาวุธดังที่ได้กล่าวมาอาจแปรผันไปตามปัจจัยหลายด้าน เช่นการวางแผนการชกของนักมวยแต่ละครั้ง ระดับความสามารถของคู่ต่อสู้ เป้าหมายของการชกในครั้งนั้นๆ ซึ่งผู้ฝึกสอนจะต้องนำข้อค้นพบนี้ไปประกอบการพิจารณาในการวางแผนการฝึกซ้อม