

การใช้พลังงานของนักกีฬาเนตบอล

ปริญญานิพนธ์

ของ

ปรียาภรณ์ กุลศิริรัตน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

พฤษภาคม 2551

การใช้พลังงานของนักกีฬาเนตบอล

ปริญญานิพนธ์

ของ

ปรียาภรณ์ กุลศิริรัตน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

พฤษภาคม 2551

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การใช้พลังงานของนักกีฬาเนตบอล

บทคัดย่อ

ของ

ปรียาภรณ์ กุลศิริรัตน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

พฤษภาคม 2551

ปรียาภรณ์ กุลศิริรัตน์. (2551). การใช้พลังงานของนักกีฬาเนตบอล. ปริญญาโท วิทยาศาสตร์การกีฬา. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

คณะกรรมการควบคุม: รองศาสตราจารย์ ดร.พนัสนิศา ชวัญบุญนาจันทร์,

อาจารย์ณอมศักดิ์ เสนาคำ.

การศึกษานี้ ทำการศึกษาการใช้พลังงานในขณะแข่งขันกีฬานาตบอล ในแต่ละตำแหน่งการเล่น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเป็นนักกีฬานาตบอลชุดชิงชนะเลิศนาตบอลเยาวชนแห่งชาติประเทศไทย ปี 2551 จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ทำการทดสอบหาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย ($VO_2 \max$) และหลังจากนั้นทำการทดสอบโดยให้สวมเครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจแบบไร้สาย เพื่อทำการบันทึกอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขัน ข้อมูลอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเต้นหัวใจกับการใช้ออกซิเจนที่ได้จากการวัดในห้องทดลอง ได้สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแต่ละคน และนำค่าไปคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานในขณะแข่งขัน

ผลการวิจัยพบว่า ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) มีอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันเฉลี่ย 139 ครั้ง/นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 13.54 มล./กก./นาที เทียบได้ 40% ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2 \max$) 33.85 มล./กก./นาที อัตราการใช้พลังงานตลอดเกมการแข่งขันเฉลี่ย 296 กิโลแคลอรี และระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันคือ พลังงานระบบแอนแอโรบิก 13% พลังงานระบบแอนแอโรบิก – แอโรบิก 59% และพลังงานระบบแอโรบิก 28% ตำแหน่งผู้รักษาประตู (GA) มีอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันเฉลี่ย 150 ครั้ง/นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 21.15 มล./กก./นาที เทียบได้ 61% ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2 \max$) 34.83 มล./กก./นาที อัตราการใช้พลังงานตลอดเกมการแข่งขันเฉลี่ย 357 กิโลแคลอรี และระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันคือ พลังงานระบบแอนแอโรบิก 17% พลังงานระบบแอนแอโรบิก – แอโรบิก 68% และพลังงานระบบแอโรบิก 15% ตำแหน่งผู้รักษาทางปีก (WA) มีอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันเฉลี่ย 155 ครั้ง/นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 23.56 มล./กก./นาที เทียบได้ 66% ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2 \max$) 35.77 มล./กก./นาที อัตราการใช้พลังงานตลอดเกมการแข่งขันเฉลี่ย 427 กิโลแคลอรี และระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันคือ พลังงานระบบแอนแอโรบิก 22% พลังงานระบบแอนแอโรบิก – แอโรบิก 68% และพลังงานระบบแอโรบิก 10% ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) มีอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันเฉลี่ย 160 ครั้ง/นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 28.14 มล./กก./นาที เทียบได้ 75% ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2 \max$) 37.42 มล./กก./นาที อัตราการใช้พลังงานตลอดเกมการแข่งขันเฉลี่ย 486

กิโลแคลอรี และระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันคือ พลังงานระบบแอนแอโรบิก 18% พลังงานระบบแอนแอโรบิก – แอโรบิก 60% และพลังงานระบบแอโรบิก 22% ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) มีอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันเฉลี่ย 157 ครั้ง/นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 23.62 มล./กก./นาที เทียบได้ 66% ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) 36.04 มล./กก./นาที อัตราการใช้พลังงานตลอดเกมการแข่งขันเฉลี่ย 435 กิโลแคลอรี และระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันคือ พลังงานระบบแอนแอโรบิก 26% พลังงานระบบแอนแอโรบิก – แอโรบิก 50% และพลังงานระบบแอโรบิก 24% ตำแหน่งตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) มีอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันเฉลี่ย 153 ครั้ง/นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 25.60 มล./กก./นาที เทียบได้ 67% ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) 38 มล./กก./นาที อัตราการใช้พลังงานตลอดเกมการแข่งขันเฉลี่ย 475 กิโลแคลอรี และระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันคือ พลังงานระบบแอนแอโรบิก 17% พลังงานระบบแอนแอโรบิก – แอโรบิก 67% และพลังงานระบบแอโรบิก 16% ตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) มีอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันเฉลี่ย 145 ครั้ง/นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 19.52 มล./กก./นาที เทียบได้ 53% ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) 36.93 มล./กก./นาที อัตราการใช้พลังงานตลอดเกมการแข่งขันเฉลี่ย 376 กิโลแคลอรี และระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันคือ พลังงานระบบแอนแอโรบิก 15% พลังงานระบบแอนแอโรบิก – แอโรบิก 49% และพลังงานระบบแอโรบิก 36% และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยสถิติที่มีการแจกแจงแบบอิสระ โดยวิธี Kruskal – Wallis พบว่าปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Expenditure) ในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอล ในแต่ละตำแหน่งการเล่น ไม่แตกต่างกัน

จากการศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่านักกีฬาเนตบอลมีอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันเฉลี่ย 151 ครั้ง/นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 22.16 มล./กก./นาที เทียบได้ 65% ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) 34.32 มล./กก./นาที อัตราการใช้พลังงานตลอดเกมการแข่งขันเฉลี่ย 407 กิโลแคลอรี และระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันคือ พลังงานระบบแอนแอโรบิก 18% พลังงานระบบแอนแอโรบิก – แอโรบิก 60% และพลังงานระบบแอโรบิก 22%

ENERGY EXPENDITURE OF NETBALL PLAYERS

AN ABSTRACT

BY

PREEYAPORN GULSIRIRAT

Presented in Partial Fulfilment of the Requirements for the
Master of Science Degree in Sport Science
at Srinakharinwirot University

May 2008

Preeyaporn Gulsirirat. (2008). *Energy Expenditure of Netball Players*. Master thesis, M.Sc. (Sport Coaching). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assoc. Prof. Dr. Panwira Kwanburanachan, Tanormsak Senakham.

The purpose of this research was to study the energy expenditure during competition by netball player in each position. The sample was 12 youth national netball players by purposive sampling. They were tested to completed a laboratory based incremental electrical treadmill tested to establish maximal oxygen uptake ($\text{VO}_2 \text{ max}$) and wore a Polar Accurex Plus telemetric heart rate monitor during competition Netball. The heart rate data from competition were compared with heart rate and oxygen uptake data measured in laboratory. Individual regression equations were established from these data to estimate the energy expenditure during competition.

It was found that, Goal Shooter (GS) had mean heart rate during competition 139 beats/min. The mean estimated oxygen uptake during competition 13.54 ml/kg/min which corresponded to 40% of the group's mean maximal oxygen uptake of 33.85 ml/kg/min. The mean energy expenditure throughout an entire match was 296 kcal. The mean energy contribution of anaerobic system, anaerobic – aerobic system and aerobic system were 13%, 59% and 28% respectively. Goal Attack (GA) had mean heart rate during competition 150 beats/min. The mean estimated oxygen uptake during competition 21.15 ml/kg/min which corresponded to 61% of the group's mean maximal oxygen uptake of 34.83 ml/kg/min. The mean energy expenditure throughout an entire match was 357 kcal. The mean energy contribution of anaerobic system, anaerobic – aerobic system and aerobic system were 17%, 68% and 15% respectively. Wing Attack (WA) had mean heart rate during competition 155 beats/min. The mean estimated oxygen uptake during competition 23.56 ml/kg/min which corresponded to 66% of the group's mean maximal oxygen uptake of 35.77 ml/kg/min. The mean energy expenditure throughout an entire match was 427 kcal. The mean energy contribution of anaerobic system, anaerobic – aerobic system and aerobic system were 22%, 68% and 10% respectively. Center (C) had mean heart rate during competition 160 beats/min. The mean estimated oxygen uptake during competition

28.14 ml/kg/min which corresponded to 75% of the group's mean maximal oxygen uptake of 37.42 ml/kg/min. The mean energy expenditure throughout an entire match was 486 kcal. The mean energy contribution of anaerobic system, anaerobic – aerobic system and aerobic system were 18%, 60% and 22% respectively. Wing Defence (WD) had mean heart rate during competition 157 beats/min. The mean estimated oxygen uptake during competition 23.62 ml/kg/min which corresponded to 66% of the group's mean maximal oxygen uptake of 36.04 ml/kg/min. The mean energy expenditure throughout an entire match was 435 kcal. The mean energy contribution of anaerobic system, anaerobic – aerobic system and aerobic system were 26%, 50% and 24% respectively. Goal Defence (GD) had mean heart rate during competition 153 beats/min. The mean estimated oxygen uptake during competition 25.60 ml/kg/min which corresponded to 67% of the group's mean maximal oxygen uptake of 38.00 ml/kg/min. The mean energy expenditure throughout an entire match was 475 kcal. The mean energy contribution of anaerobic system, anaerobic – aerobic system and aerobic system were 17%, 67% and 16% respectively. Goal Keeper (GK) had mean heart rate during competition 145 beats/min. The mean estimated oxygen uptake during competition 19.52 ml/kg/min which corresponded to 53% of the group's mean maximal oxygen uptake of 36.93 ml/kg/min. The mean energy expenditure throughout an entire match was 376 kcal. The mean energy contribution of anaerobic system, anaerobic – aerobic system and aerobic system were 15%, 49% and 36% respectively. The data were statistically analyzed by the Kruskal – Wallis One – Way analysis of variance test. It was found that, the energy expenditure during competition by netball player in each position were no significant differences.

The result found that Netball Players had mean heart rate during competition 151 beats/min. The mean estimated oxygen uptake during competition 22.16 ml/kg/min which corresponded to 65% of the group's mean maximal oxygen uptake of 34.32 ml/kg/min. The mean energy expenditure throughout an entire match was 407 kcal. The mean energy contribution of anaerobic system, anaerobic – aerobic system and aerobic system were 18%, 60% and 22% respectively.

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พนัสนิศา ขวัญบุรณจันทร ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์ถนอมศักดิ์ เสนาคำ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มยุรี ศุภวิบูลย์ ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ อาจารย์ ดร. อัจฉริยา กลียะพัท กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกคนที่ให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่างๆ และข้อแก้ไขต่างๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเสร็จสมบูรณ์ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วัฒนา สุทธิพันธุ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงพล ต่อนี้ อาจารย์กัญญกมล บัวแก้ว และอาจารย์จิรนนท์ โพธิ์เจริญ ที่ให้คำปรึกษา กำลังใจ และคำแนะนำเป็นอย่างดีเกี่ยวกับการทำงานวิจัยและวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกายทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยในการเก็บข้อมูล คณะผู้ฝึกสอนชุดชิงชนะเลิศเนตบอลเยาวชนแห่งประเทศไทย และนักกีฬาซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างทั้ง 12 คน ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

คุณความดีของปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมถวายเป็นพุทธานุชาและบุญคุณบุพการี คุณพ่อประดิษฐ์ กุลศิริรัตน์ และคุณแม่ประคอง กุลศิริรัตน์ ตลอดจนพี่น้องและเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา จนทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ปรียาภรณ์ กุลศิริรัตน์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	3
ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวความคิดในการวิจัย.....	5
สมมติฐานในการวิจัย.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
แหล่งข้อมูลและกลุ่มตัวอย่าง.....	34
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	34
วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	35
การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	37
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	38
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	47
ความมุ่งหมาย สมมติฐาน และวิธีการศึกษาค้นคว้า.....	47
สรุปผลการศึกษาค้นคว้า.....	49
อภิปรายผล.....	51
ข้อเสนอแนะ.....	52
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป.....	53

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	54
ภาคผนวก.....	59
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	69

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) และจุดเริ่มล้ม (AT) ของนักกีฬาเนตบอล.....	39
2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจ (HR) ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2) ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) และเปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (% $VO_2\max$) ขณะแข่งขันของนักกีฬาเนตบอล.....	40
3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณการใช้พลังงานรวมขณะแข่งขัน (กิโลแคลอรี) ของนักกีฬาเนตบอล ในควอเตอร์ 1 ควอเตอร์ 2 ควอเตอร์ 3 ควอเตอร์ 4 และรวมทั้งเกมการแข่งขัน.....	42
4 เปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่งการเล่น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบอิสระ โดยวิธีของ Kruskal – Wallis.....	44
5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันของนักกีฬาเนตบอลรวมทั้งเกมการแข่งขัน.....	45

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
2 สนามเนตบอล.....	7
3 พื้นที่การเล่นกีฬาเนตบอล.....	9
4 แสดงจำนวนพลังงานของระบบฟอสฟาเจน (เอ.ที.พี. – พี.ซี.) ที่มีในร่างกาย.....	11
5 แสดงจำนวนพลังงานของระบบกรดแลคติกที่มีในร่างกาย ซึ่งเป็นระบบที่ได้จากการ สลายกลัยโคเจนชนิดแอนแอโรบิก.....	12
6 แสดงจำนวนพลังงานของระบบแอโรบิกที่ได้จากกลัยโคเจนในกล้ามเนื้อ.....	13
7 แสดงความสามารถและกำลังของพลังงานทั้งสามระบบ.....	13
8 แสดงปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ต้องใช้ในการเล่นสกีน้ำแข็ง ด้วยความเร็วต่างๆ ของชายน้ำหนักตัว 83 กิโลกรัม ความจุปอด 6.95 ลิตร.....	16

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

กีฬาเนตบอลพัฒนามาจากกีฬาบาสเกตบอล โดยเริ่มต้นในปี ค.ศ. 1891 ณ เมืองสปริงฟิลด์ (Springfield) มลรัฐแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยชาวแคนาเดียน ชื่อ James Naismith ซึ่งสร้างเกมนี้เพื่อให้เล่นในร่ม แต่เกมกีฬาดังกล่าวไม่ประสบความสำเร็จ

ในปี ค.ศ. 1895 กีฬาเนตบอลเริ่มเล่นในประเทศอังกฤษ ณ มาตามอสเทนบิวรีวิทยาลัย (Madame Ostenbury's College) และมีจำนวนผู้เล่นกีฬาเนตบอลมากขึ้นตามลำดับ ประมาณครึ่งศตวรรษที่ 20 กีฬาเนตบอลได้มีการเริ่มเล่นในประเทศต่าง ๆ ที่อยู่ภายใต้เครือจักรภพอังกฤษ แต่ไม่มีมาตรฐานของกฎ กติกาการเล่นที่แน่นอน ต่อมาในปี ค.ศ. 1957 ระหว่างที่ชาวออสเตรเลียได้เดินทางมาท่องเที่ยวที่ประเทศอังกฤษ ได้มีการอธิบายถึงมาตรฐานของกฎ กติกาการเล่น และทำยที่สุดในปี ค.ศ. 1960 ได้มีการจัดประชุมขึ้น ณ ประเทศศรีลังกา โดยมีตัวแทนจากประเทศอังกฤษ ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ แอฟริกาใต้ และอินเดียตะวันตก ได้ร่วมกันก่อตั้งเป็น สหพันธ์บาสเกตบอลและเนตบอล ผู้หญิงนานาชาติ (The International Federation of Women's Basketball and netball) กีฬาเนตบอลมีกฎ กติกาอย่างเป็นทางการตั้งแต่บัดนั้น และได้มีมติให้จัดการแข่งขันชิงแชมป์โลกทุก ๆ 4 ปี ต่อมาในปี ค.ศ. 1970 สมาคมกีฬาเนตบอลประเทศออสเตรเลียได้มีการปรับปรุงเกมการเล่น และกำหนดชื่อกีฬานี้อย่างเป็นทางการว่า “กีฬาเนตบอล” การเล่นมีการเปลี่ยนแปลงให้ทันสมัยมากขึ้น โดยเน้นที่ความเร็วและความตื่นตัวตลอดเกมการแข่งขัน

กีฬาเนตบอลเป็นกีฬาที่นิยมเล่นสำหรับผู้หญิงและมีการแข่งขันกันเป็นจำนวนมากในต่างประเทศ โดยเฉพาะในเครือจักรภพอังกฤษ ไม่ว่าจะเป็นเยาวชนและประชาชน ซึ่งมีการแข่งขันระดับประเทศ ระดับนานาชาติ และระดับโลก กีฬาเนตบอลได้กลับเข้าสู่เมืองไทยอีกครั้งประมาณ 4 – 5 ปี หลังจากหายไปนาน และเริ่มเป็นที่รู้จักกันมากขึ้น โดยมีการแข่งขันกีฬานักเรียนนักศึกษาแห่งประเทศไทย กีฬาวิทยาลัยพลศึกษาแห่งประเทศไทย และกีฬาเนตบอลชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทย ส่วนในระดับนานาชาติจะเป็นการแข่งขันซีเกมส์ เยาวชนชิงแชมป์เอเชีย และชิงแชมป์เอเชีย นอกเหนือจากการแข่งขันแล้ว ยังมีหลักสูตรการเรียนการสอนกีฬาเนตบอลในโรงเรียนระดับต่าง ๆ ซึ่งกีฬาเนตบอลนับว่าเป็นกีฬาที่สนุกสนาน มีบทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบแต่ละตำแหน่งการเล่นที่ชัดเจน การเล่นส่วนใหญ่ต้องใช้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและแขนในการกระโดดจับบอลหรือกระโดดตบบอล และการยิงประตู ในขณะที่เดียวกันต้องใช้ความคล่องตัวในการเคลื่อนที่หลบหลีกไปรับบอล และการป้องกันอยู่ตลอดเวลา ซึ่งต้องใช้ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและการทำงานของ

ร่างกายในการแข่งขันตลอดสัปดาห์ของการแข่งขันในหนึ่งช่วงเวลา และหกลีบนาที่ของการแข่งขัน ฉะนั้นนักกีฬาเนตบอลต้องมีสมรรถภาพร่างกายอยู่ในระดับที่ดี จึงจะมีประสิทธิภาพการเล่นในการแข่งขันอยู่ในระดับสูงด้วยเช่นกัน การเล่นกีฬาเนตบอลเป็นกิจกรรมที่ต้องอาศัยสมรรถภาพทางกายสูง โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้ในการแข่งขัน ต้องมีการเตรียมนักกีฬาไว้อย่างดีทั้งทางร่างกายและจิตใจในการเล่นเนตบอลผู้เล่นจำเป็นต้องมีสมรรถภาพทางกายที่ดี ตลอดจนทักษะเบื้องต้นในการเล่นเป็นสิ่งสำคัญ นับตั้งแต่ท่าทาง การยืน การทรงตัว การครอบครองบอล การรับ และการส่งบอล จนกระทั่งการยิงประตู

พลังงานก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถของนักกีฬาในขณะที่ทำการฝึกซ้อมหรือแข่งขัน โดยพลังงานดังกล่าวมีลักษณะการทำงานที่ต่างกันขึ้นอยู่กับความหนัก และระยะเวลาของการทำงานกิจกรรมนั้น ๆ โดยมีระบบพลังงานที่สำคัญ ได้แก่ ระบบแอนแอโรบิก อแล็กเตท (Anaerobic Alactate System) เป็นระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการผลิตพลังงาน และไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก เมื่อทำงานที่ความหนักสูงสุด ระบบแอโรบิก แล็กเตท (Aerobic Lactate System) เป็นระบบพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการผลิตพลังงานเช่นเดียวกับระบบแอนแอโรบิก อแล็กเตท แต่จะก่อให้เกิดกรดแลคติกขึ้น และระบบแอโรบิก (Aerobic System) ต้องการใช้ออกซิเจนในกระบวนการเผาผลาญอาหาร แต่ถึงจะมีออกซิเจนเพียงพอกระบวนการเผาผลาญก็อาจถูกจำกัดโดยปัจจัยด้านเอนไซม์และไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญสำหรับการผลิตพลังงาน และถ้ามีจำนวนจำกัดจะทำให้ปริมาณการผลิตพลังงานลดลง ระบบแอโรบิกใช้เชื้อเพลิงมากกว่าหนึ่งชนิด คือ คาร์โบไฮเดรตและไขมันที่สะสมในร่างกายเป็นต้นตอที่สำคัญของการผลิตพลังงานระบบแอโรบิก (สนธยา สีละมาด. 2547) ระบบพลังงานทั้งสามระบบนี้สามารถวัดได้โดยตรงจากอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) และปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2 \text{ max}$) ซึ่งทั้งสองวิธีการนี้สามารถนำไปหาปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Expenditure) ได้

การศึกษาการใช้พลังงานเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถกำหนดระดับความหนัก และชนิดของการใช้ระบบพลังงานที่ควรจะใช้ในโปรแกรมการฝึกซ้อม เพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้อย่างเพียงพอกับความต้องการใช้ในขณะที่แข่งขัน และเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดของเสียออกจากร่างกาย จึงช่วยชะลอเวลาการเกิดความเมื่อยล้าของนักกีฬา และช่วยให้นักกีฬาที่มีความสามารถในการแข่งขันได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ และในปัจจุบันมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับกีฬาเนตบอลน้อยมาก เพื่อที่จะเป็นการพัฒนากีฬาชนิดนี้ให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกีฬาชนิดนี้ให้มากขึ้น

ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดและมีความสนใจที่จะมุ่งศึกษา การใช้พลังงาน (Energy Expenditure) ในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอลขึ้นมา เพื่อที่จะนำผลของการทดสอบมาเป็นแนวทางให้กับผู้ฝึกสอน หรือผู้ที่สนใจในกีฬาเนตบอล ในการที่จะพัฒนา ปรับปรุงรูปแบบการฝึกให้เหมาะสม และนำแบบฝึกที่ได้ไปพัฒนาความสามารถของนักกีฬาให้ถึงจุดสูงสุดต่อไป

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอล ในแต่ละตำแหน่งการเล่น

ความสำคัญของการวิจัย

ผลจากการศึกษาทำให้ทราบการใช้พลังงานในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอล ในแต่ละตำแหน่งการเล่น และเป็นแนวทางในการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมให้กับผู้ฝึกสอนเนตบอล โดยสามารถจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมให้ถูกต้อง และเหมาะสมยิ่งขึ้น อีกทั้งข้อมูลนี้อาจเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ไปใช้เป็นข้อมูลประกอบเพื่อศึกษาค้นคว้า และพัฒนากีฬาเนตบอลต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาเนตบอลชุดชิงชนะเลิศเนตบอลเยาวชนแห่งประเทศไทย ณ ประเทศอินเดีย จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

1. ตัวแปรอิสระ คือ นักกีฬาเนตบอลแต่ละตำแหน่ง ทั้งหมด 7 ตำแหน่ง ได้แก่ ผู้ยิงประตู (Goal Shooter : GS), ผู้รุกประตู (Goal Attack : GA), ผู้รุกทางปีก (Wing Attack : WA), ผู้เล่นเซนเตอร์ (Center : C), ผู้ป้องกันทางปีก (Wing Defence : WD), ผู้ป้องกันประตู (Goal Defence : GD), และ ผู้รักษาประตู (Goal Keeper : GK)
2. ตัวแปรตาม คือ ปริมาณการใช้พลังงานในขณะแข่งขัน (Energy Expenditure)

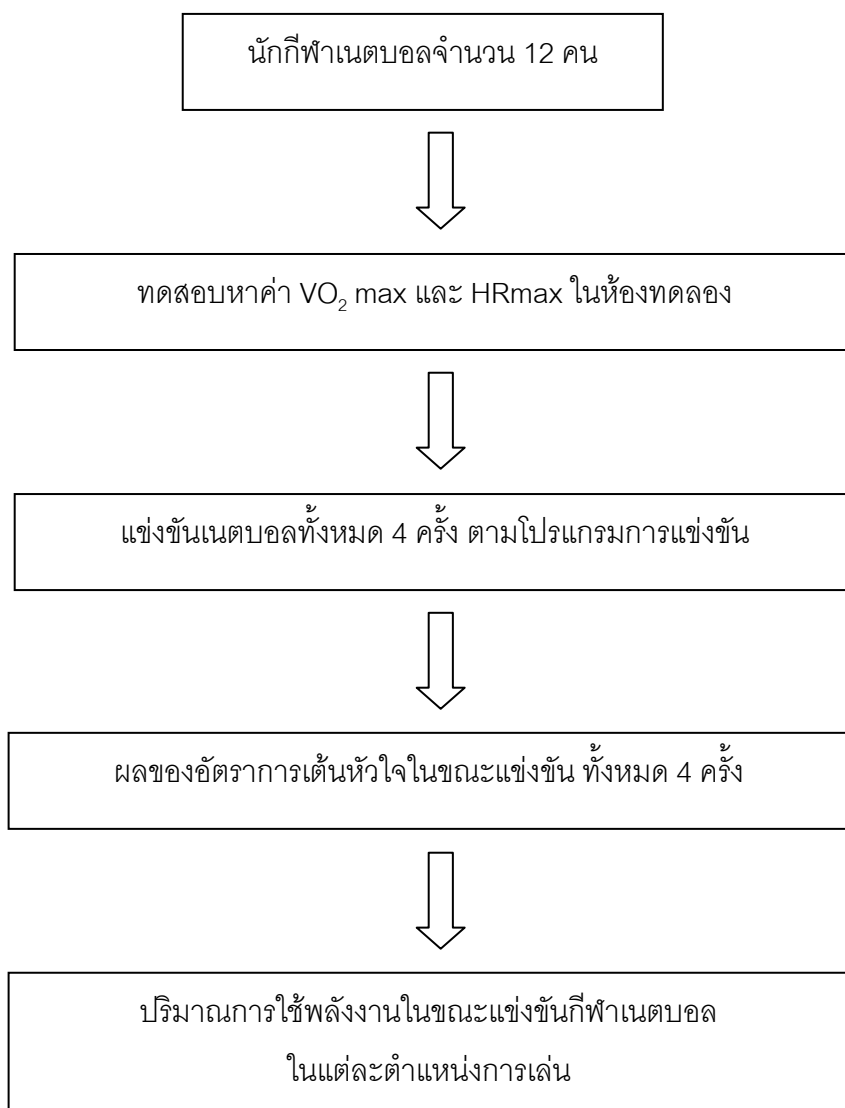
ข้อตกลงเบื้องต้น

1. จัดสถานการณ์การแข่งขันเหมือนการแข่งขันจริงจำนวน 4 ครั้ง
2. ไม่มีการควบคุมในเรื่องอาหาร การมีประจำเดือน และการปฏิบัติตนในชีวิตประจำวัน
อื่น ๆ
3. ก่อนการแข่งขัน 1 วัน นักกีฬาต้องมีการพักผ่อนอย่างน้อย 7 ชั่วโมง
4. ในการแข่งขันนั้น นักกีฬาต้องแข่งขัน 2 คิวเตอร์ ต่อเนื่องกันจำนวน 3 ครั้ง และ
4 คิวเตอร์ ต่อเนื่องกันจำนวน 1 ครั้ง โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งการเล่น

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **นักกีฬาเนตบอล** หมายถึง นักกีฬาเนตบอลชุดชิงชนะเลิศเนตบอลเยาวชนแห่งชาติ
เอเชีย ณ ประเทศอินเดีย จำนวน 12 คน
2. **การใช้พลังงาน (Energy Expenditure)** หมายถึง ปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละครั้ง
ของการเคลื่อนไหวร่างกาย หรือออกกำลังกาย มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี (Kcal) ทั้งนี้ปริมาณพลังงานที่
ใช้ในแต่ละครั้งจะขึ้นกับน้ำหนักตัว ระดับความหนักเบาและเวลาที่ใช้
3. **อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate)** หมายถึง จำนวนครั้งในการสูบฉีดของ
โลหิตออกจากหัวใจห้องล่างซ้ายใน 1 นาที มีหน่วยเป็นครั้งต่อนาที

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

การใช้พลังงาน (Energy Expenditure) ในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอล ในแต่ละตำแหน่งการเล่น มีความแตกต่างกัน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. สิ่งที่ต้องทราบสำหรับกีฬาเนตบอล
2. แหล่งที่มาของพลังงาน
3. สิ่งที่มีอิทธิพลต่อจำนวนของพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกาย
4. นิยามค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน
5. จุดเริ่มต้นหรือแอนแอโรบิก เธรชโฮลด์
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สิ่งที่ต้องทราบสำหรับกีฬาเนตบอล

เนตบอลเป็นกีฬานานาชาติชนิดหนึ่ง เป็นการเล่นระหว่างทีม 2 ทีม มีผู้เล่นทีมละ 7 คน การเล่นใช้การส่งและการรับ เพื่อไปยังประตูในเขตยิงประตูที่กำหนดให้ ให้เข้าห่วงซึ่งติดอยู่กับเสาสูง 3.05 เมตร (10 ฟุต)

1. สนาม (Court)

1.1 สนามเป็นผิวพื้นแข็งยาว 30.5 เมตร (100 ฟุต) กว้าง 15.25 เมตร (50 ฟุต) เส้นด้านยาวเรียกว่า เส้นข้าง (Side Lines) เส้นด้านกว้าง เรียกว่า เส้นประตู (Goal Lines)

1.2 สนามถูกแบ่งเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน เป็นแดนกลาง (Center Third) 1 ส่วน และแดนประตู (Goal Third) 2 ส่วน โดยมีเส้นที่ลากผ่านขวางสนาม 2 เส้น (Transverse Lines) เป็นเส้นขนานกับเส้นประตู

1.3 ครึ่งวงกลมรัศมี 4.9 เมตร (16 ฟุต) โดยมีจุดกึ่งกลางอยู่ที่จุดกึ่งกลางของเสาประตู ครึ่งวงกลมนี้อยู่ในแดนประตูทั้งสองด้านบริเวณนี้ เรียกว่า วงกลมประตู (Goal Circle)

1.4 วงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 เมตร (3 ฟุต) สร้างขึ้น ณ จุดกึ่งกลางสนาม เรียกว่า วงกลมกลาง (Centre Circle)

1.5 ขนาดความกว้างของเส้นทุกเส้นในสนาม จะต้องกว้างไม่เกิน 50 มม. (2 นิ้ว)

1.6 สำหรับการแข่งขันนานาชาติทุกรายการต้องจัดในร่ม สนามจะต้องเป็นพื้นไม้ที่มีความได้

2. เสาประตู (Goalposts)

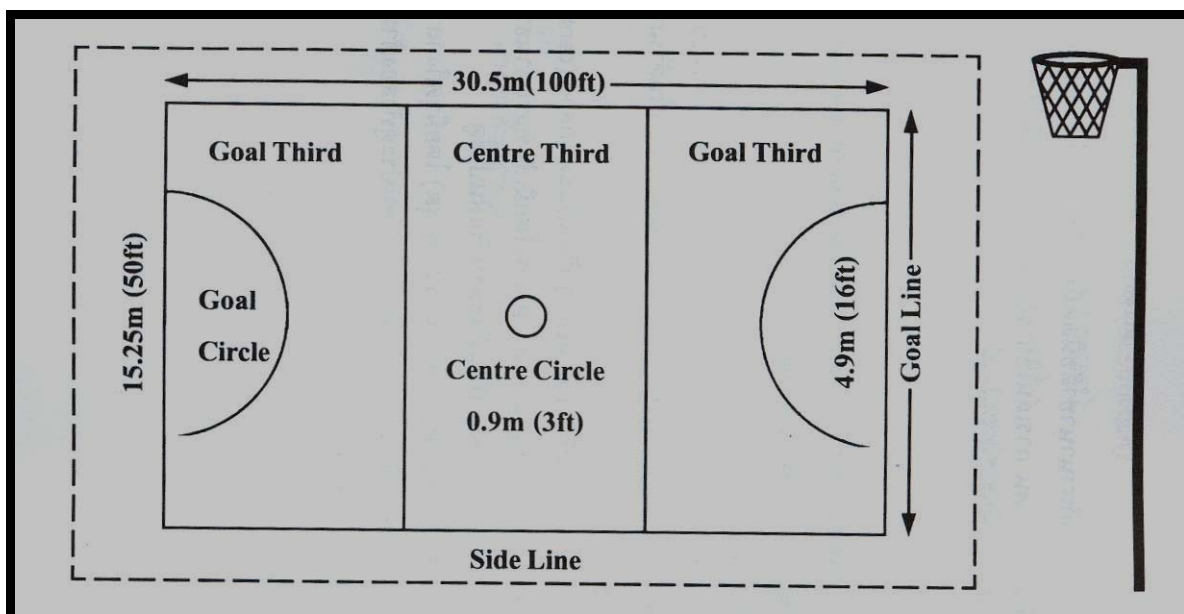
2.1 เสาประตูสูง 3.05 เมตร (10 ฟุต) ตั้งอยู่ที่จุดกึ่งกลางของเส้นประตู ห่วงทำด้วยโลหะ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 380 มม. (15 นิ้ว) ยื่นจากยอดเสาเข้าไปในสนาม 150 มม. โดยขนานกับพื้น ตัวยึดระหว่างเสาและขอบห่วงด้านใกล้เสา ยาว 150 มม. (6 นิ้ว) ห่วงต้องเป็นเหล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม. (5/8 นิ้ว) ใส่ตาข่ายที่เปิดทั้งด้านบนและด้านล่างและมองเห็นได้ง่าย ทั้งห่วงและตาข่ายถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของเสาประตู ผ้าหุ้มที่เสาประตูต้องหนาไม่เกิน 50 มม. (2 นิ้ว) และถ้ามีต้องหุ้มตั้งแต่โคนเสาประตู จนถึงสุดความยาวของเสาประตู

2.2 เสาประตูกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 65 มม. (2.5 นิ้ว) – 100 มม. (4 นิ้ว) หรือเสาเหลี่ยมขนาด 65 มม. (2.5 นิ้ว) – 100 มม. (4 นิ้ว) เสาสวมอยู่ในบ่าบนพื้น หรืออาจใช้ฐานเป็นโลหะซึ่งไม่ยื่นเข้าไปในสนาม เสาประตูจะตั้งอยู่โดยให้ด้านหลังของเสาประตูอยู่ที่ด้านนอกของเส้นประตู สำหรับการแข่งขันนานาชาติ เสาประตูจะฝังจมอยู่บนพื้น หรือถูกสวมอยู่ใต้พื้น

3. ลูกบอล (Ball)

ลูกบอลเป็นลูกเนตบอล หรือลูกฟุตบอลเบอร์ 5 วัดเส้นรอบวงระหว่าง 690 - 710 มม. (27-28 นิ้ว) น้ำหนักระหว่าง 400-450 กรัม (14-16 ออนซ์) ลูกบอลอาจเป็นหนัง ยาง หรือวัสดุอื่นที่คล้ายคลึง

สนามเนตบอล



ภาพประกอบ 2 สนามเนตบอล

4. ตำแหน่งที่เล่นและลักษณะแต่ละตำแหน่ง

1. **ผู้ยิงประตู (Goal Shooter : GS)** เป็นผู้เล่นที่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในครึ่งวงกลมประตู และพื้นที่เขตแดนประตู บทบาทสำคัญ คือ ยิงประตู ต้องประสานงานสื่อสารกับ Goal Attack : GA ป้องกัน 1 ต่อ 1 กับ Goal Keeper : GK ทักษะ คือ ส่งบอลระยะสั้น เคลื่อนที่อย่างฉลาด ยิงประตู และแย่งบอลจากการยิงประตู

2. **ผู้รุกประตู (Goal Attack : GA)** เป็นผู้เล่นที่สามารถเคลื่อนที่ได้ภายในพื้นที่แดนกลางสนาม (Centre Third) พื้นที่เขตแดนประตู (Goal Third) และพื้นที่ครึ่งวงกลมยิงประตู เป็นผู้เล่นที่สามารถยิงประตูได้ ต้องเล่นประสานงานกับ Goal Shooter : GS นอกจากนั้นต้องประสานงานกับ Wing Attack : WA เพื่อที่จะรับบอลในพื้นที่แดนกลางสนาม และส่งบอลต่อให้ Goal Shooter : GS มีหน้าที่ป้องกัน Goal Defence : GD ทักษะที่สำคัญ คือ ต้องฉลาดหาพื้นที่ว่างและสื่อสารกับ Wing Attack : WA สามารถยิงประตูและแย่งบอลจากการยิงประตูได้

3. **ผู้รุกทางปีก (Wing Attack : WA)** เป็นผู้เล่นที่สามารถเคลื่อนที่เข้าเล่นได้ในพื้นที่แดนกลางสนามและเขตแดนประตู แต่เข้าไปในพื้นที่ครึ่งวงกลมยิงประตูไม่ได้ เป็นบุคคลสำคัญที่ส่งบอลให้ Goal Shooter : GS และมักจะเป็นผู้ส่งบอลต่อจากพื้นที่แดนกลางสนาม ป้องกัน 1 ต่อ 1 กับ Wing Defence : WD ทักษะที่ดีต้องเคลื่อนที่เร็ว การส่งบอล การใช้เท้า สายตา และการเคลื่อนที่ในพื้นที่อย่างฉลาด

4. **ผู้เล่นเซนเตอร์ (Center : C)** เป็นผู้เล่นที่สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งสนาม แต่ไม่สามารถเข้าสู่พื้นที่ครึ่งวงกลมยิงประตูได้ เป็นผู้เล่นที่เชื่อมต่อการเล่นระหว่างผู้เล่นแดนรับ (Defence Third) และผู้เล่นแดนรุก (Attacking Third) ใช้ลักษณะการป้องกัน 1 ต่อ 1 ต่อผู้เล่นตำแหน่ง Center : C ทีมตรงข้าม ทักษะที่สำคัญ คือ การส่งบอล การใช้เท้า และสายตาดี

5. **ผู้ป้องกันทางปีก (Wing Defence : WD)** เป็นผู้เล่นที่เล่นในแดนกลางสนาม และเขตแดนป้องกัน ป้องกัน 1 ต่อ 1 กับ Wing Attack : WA นอกจากนั้นสามารถเป็นผู้เล่นที่จุ่มใจในการส่งบอลผ่านแดนกลาง และการส่งบอลที่ผ่านเส้นขวาง ทักษะที่สำคัญ คือการป้องกัน 1 ต่อ 1

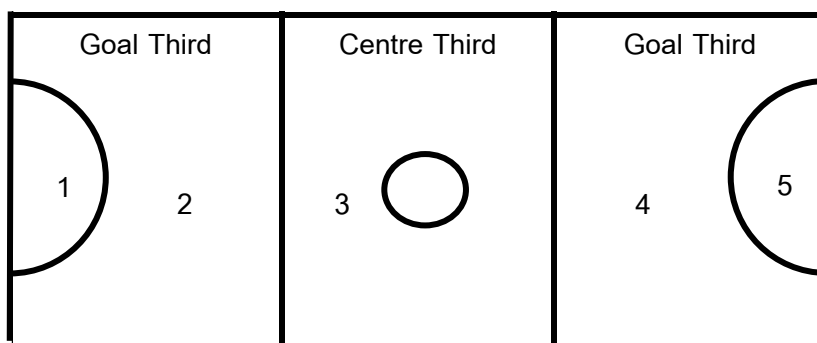
6. **ผู้ป้องกันประตู (Goal Defence : GD)** เป็นผู้เล่นที่ป้องกัน Goal Attack : GA แบบ 1 ต่อ 1 สามารถป้องกันในเขตแดนประตูและในพื้นที่ครึ่งวงกลมยิงประตู ทักษะที่สำคัญ คือ การคาดการณ์ล่วงหน้า การขโมยบอล การกระโดดแย่งบอลหลังจากการยิงประตู และป้องกัน 1 ต่อ 1

7. **ผู้รักษาประตู (Goal Keeper : GK)** เป็นผู้เล่นที่เล่นในพื้นที่เขตแดนประตูและเข้าพื้นที่ครึ่งวงกลมยิงประตูได้ สามารถจุ่มใจต่อผู้เล่นทีมตรงข้ามภายในพื้นที่นั้นได้ สามารถส่งบอลเข้าเล่นในสนามที่เส้นประตูและครึ่งทางของเส้นข้างสนามในพื้นที่เขตแดนประตู ทักษะคือ การคาดการณ์ล่วงหน้า การขโมยบอล การกระโดดแย่งบอลหลังจากการยิงประตู และป้องกัน 1 ต่อ 1

5. ผู้ตัดสิน

ผู้ตัดสิน 2 คน ดูแลรับผิดชอบด้านขวาของตนเองตลอดการแข่งขัน การวิ่งจะต้องวิ่งอยู่นอกสนาม โดยวิ่งตามเส้นข้างและเส้นหลังประตู จะอนุญาตให้เข้ามาในสนามได้ในกรณีการโยนบอล (Toss Up) เท่านั้น

6. พื้นที่การเล่น (Playing Areas)



ภาพประกอบ 3 พื้นที่การเล่นกีฬาเนตบอล

6.1 พื้นที่การเล่นของผู้เล่นแต่ละคน เรียงลำดับดังนี้

Goal Shooter	-	1,	2			
Goal Attack	-	1,	2,	3		
Wing Attack	-		2,	3		
Center	-		2,	3,	4	
Wing Defence	-			3,	4	
Goal Defence	-			3,	4,	5
Goal Keeper	-				4,	5

6.2 เส้นแบ่งบริเวณของแต่ละบริเวณ ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของบริเวณนั้น

(สุปราณี ขวัญบุญจันทร์; และมยุรี ศุภวิบูลย์. 2545)

แหล่งที่มาของพลังงาน

1. ต้นตอของพลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

ต้นตอที่สำคัญของพลังงานที่ใช้ในการทำงานคือ คาร์โบไฮเดรตหรือไขมัน ต้องการสารเคมีหลายอย่างสำหรับเป็นพาหะของพลังงานภายในเซลล์ เพื่อให้คาร์โบไฮเดรตหรือไขมัน เปลี่ยนสู่จุดที่สามารถมีปฏิกิริยาในทางชีววิทยาได้ อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine Triphosphate, ATP) เป็นสารที่สำคัญในการแลกเปลี่ยนพลังงาน นอกจากนี้ครีเอทีนฟอสเฟต (Creatine Phosphate, CP) หรือที่เรียกว่า ฟอสโฟครีเอทีน (Phosphocreatine, PC) ก็เป็นสารที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง

ลำดับขั้นการใช้พลังงานของกล้ามเนื้อมีดังนี้ คือ

1. เอ.ที.พี. เป็นต้นตอของพลังงานที่กล้ามเนื้อต้องใช้โดยตรงคือ



แต่ เอ.ที.พี. ที่สำรองอยู่ในกล้ามเนื้อมีไม่มากนัก

2. ครีเอทีนฟอสเฟต เป็นต้นตอของพลังงานที่อยู่ในกล้ามเนื้อสามารถเก็บไว้ได้มากคือ



ครีเอทีนฟอสเฟตจะถ่ายพลังงานให้กับ เอ.ดี.พี. เพื่อสร้าง เอ.ที.พี. ขึ้นใหม่ การถ่ายทอดนี้กระทำได้รวดเร็วพอสมควร

3. กลัยโคเจน เป็นต้นตอของพลังงานที่กล้ามเนื้อสะสมไว้ เปรียบเทียบได้กับแบตเตอรี่ที่ใช้เพื่อให้พลังงาน แต่กลัยโคเจนจะต้องสลายโดยผ่านขบวนการปฏิกิริยาเคมีหลายอย่าง จึงจะได้พลังงานออกมาใช้

อาจกล่าวโดยย่อได้ดังนี้คือ การสลายกลัยโคเจนแบ่งได้เป็น 2 ขั้น ขั้นแรกกลัยโคเจนจะสลายเป็นกรดพิยวิก (Pyruvic Acid) ขบวนการนี้ไม่ใช้ออกซิเจน จึงเรียกว่าเป็นแอนแอโรบิกเมตาบอลิซึม การเปลี่ยนแปลงต่อไปจากขั้นนี้อาจเป็นไปได้ 2 ทางคือ

1. เมื่อกล้ามเนื้อมีออกซิเจนใช้ กรดพิยวิกที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนต่อไปตามขบวนการเคมี ทำให้พลังงานออกมาใช้ได้มากมาย จึงเรียกว่า เป็นแอโรบิกเมตาบอลิซึม

2. ถ้ากล้ามเนื้อไม่มีออกซิเจนใช้ เมตาบอลิซึมชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะดำเนินต่อไปและกรดพิยวิกเปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติก และค้างอยู่ในกล้ามเนื้อ กรดแลคติกนี้เองที่เป็นตัวขัดขวางไม่ให้กล้ามเนื้อทำงานต่อไปได้

พลังงานที่ได้จากแอโรบิกเมตาบอลิซึม และแอนแอโรบิกเมตาบอลิซึมไม่เท่ากัน คือ พลังงานจากกรรมวิธีแอนแอโรบิกจะได้พลังงานน้อยกว่า ในการสลายกลัยโคเจนเป็นแลคเตท เมื่อคิดพลังงานจากกลูโคส จะพบว่ากลูโคส 1 โมเลกุล ให้พลังงาน 55 กิโลแคลอรี (กลัยโคเจน 1 โมเลกุล ประกอบด้วย กลูโคสโมเลกุลมากมาย)

ส่วนกรรมวิธีของแอโรบิกเมตาบอลิซึมจะได้พลังงานมากกว่านี้คือ กลูโคส 1 โมเลกุล จะสลายได้พลังงานถึง 686 กิโลแคลอรี ซึ่งจะเก็บไว้ในรูปของ เอ.ที.พี. 38 โมเลกุล 1 โมเลกุลของ เอ.ที.พี. ให้พลังงาน 8 แคลอรี จะเห็นได้ว่าพลังงานกว่าครึ่งเสียไปในรูปของความร้อน พลังความร้อนนี้ไม่สามารถนำไปใช้ทำงานได้ แต่นำมาใช้ในการรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่ที่อุณหภูมิพอเหมาะซึ่งเอนไซม์ต่าง ๆ จะทำงานได้ดี

2. จำนวนพลังงานที่มีอยู่ในร่างกาย

2.1 ระบบฟอสฟาเจน หรือ เอ.ที.พี. – พี.ซี.

หมายถึงระบบที่ใช้พลังงานจาก เอ.ที.พี. และฟอสโฟครีเอทีน (พี.ซี.) จำนวนพลังงานของระบบฟอสฟาเจนที่มีอยู่ในร่างกาย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 9.1 สังเกตว่าฟอสฟาเจนที่เก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อทั่วร่างกายมีเพียง 570 – 690 มิลลิโมล เมื่อคิดเป็นพลังงานจะได้ 5.7 – 6.9 กิโลแคลอรี ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อย เพราะสามารถใช้ในการออกกำลังกายอย่างหนักได้เพียง 10 วินาทีเท่านั้น เช่น สำหรับการวิ่ง 100 เมตร แต่มีข้อได้เปรียบคือ ร่างกายสามารถนำพลังงานชนิดนี้มาใช้ได้โดยรวดเร็ว

	ATP	PC	TOTAL PHOSPHAGEN (ATP + PC)
1. Muscular concentration			
a. mM/kg muscle*	4 – 6	15 – 17	19 – 23
b. mM total muscle mass**	120 – 180	450 – 510	570 – 690
2. Useful energy***			
a. kcal/kg muscle	0.04 – 0.06	0.15 – 0.17	0.19 – 0.23
b. kcal total muscle mass	1.2 – 1.6	4.5 – 5.1	5.7 – 6.9

* Based on data from Hultman / and Karlsson

** Assuming 30 kg. of muscle in a 70 – kg man.

*** Assuming 10 kcal per mole ATP.

ภาพประกอบ 4 แสดงจำนวนพลังงานของระบบฟอสฟาเจน (เอ.ที.พี. – พี.ซี.) ที่มีในร่างกาย

2.2 ระบบแอนแอโรบิก (กรดแลคติก)

หมายถึง พลังงานที่ได้ในร่างกายจากการสลายกลัยโคเจนในระบบแอนแอโรบิก ซึ่งไม่ใช้ออกซิเจนได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 5

	PER kg MUSCLE	TOTAL MUSCLE MASS
1. Maximal lactic acid tolerance (grams)**	2.0 – 2.3	60 – 70
2. ATP formation (millimoles)	33 – 38	1000 – 2000
3. Useful energy (kilocalories)	0.33 – 0.38	10.0 – 12.0

* Assumptions same as in Table 2 – 1

** Based on data from Karisson., 1971

ภาพประกอบ 5 แสดงจำนวนพลังงานของระบบกรดแลคติกที่มีในร่างกาย ซึ่งเป็นระบบที่ได้จากการสลายกลัยโคเจนชนิดแอนแอโรบิก

เนื่องจากการสลายกลัยโคเจนแบบแอนแอโรบิกนี้ กลัยโคเจน 1 โมล หรือ 180 กรัม สามารถสลายให้ เอ.ที.พี. 3 โมล และจะทำให้เกิดกรดแลคติก 180 กรัม แต่ร่างกายจะทนกรดแลคติกได้เพียง 60 – 70 กรัม เท่านั้น ดังนั้น ในการสลายกลัยโคเจนแบบแอนแอโรบิก ร่างกายจึงสังเคราะห์ เอ.ที.พี. เพื่อใช้งานได้เพียง 1 – 1.2 โมล อย่างไรก็ตาม การใช้งานพลังงานในระบบกรดแลคติกนี้มีความสำคัญในการออกกำลังกายระยะสั้น 1 – 3 นาที ซึ่งเทียบได้กับการวิ่ง 400 – 800 เมตร

2.3 ระบบแอโรบิก

เมื่อมีออกซิเจน กลัยโคเจน 1 โมล สามารถสลายพลังงานเป็น เอ.ที.พี. ถึง 39 โมล เป็นการยากที่จะประมาณค่าพลังงานในกล้ามเนื้อทั้งหมดที่ได้รับจากระบบแอโรบิก เพราะร่างกายใช้พลังงานจากอาหาร 3 อย่าง คือ คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน และโปรตีน แต่เพื่อการเปรียบเทียบระบบแอนแอโรบิกจึงคิดพลังงานที่ได้จากกลัยโคเจนของกล้ามเนื้อแต่เพียงอย่างเดียว ได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 6 จะเห็นได้ว่าจำนวน เอ.ที.พี. ที่ได้มานั้นมีค่า 87 – 98 โมล ซึ่งค่ามากกว่าพลังงานที่ได้รับจากระบบอื่นอีก 2 ระบบ ถึง 50 เท่า นอกจากนั้นยังมีกลัยโคเจนอีก 50 – 100 กรัม เก็บสำรองอยู่ในตับ ถ้านำมาใช้ในระบบแอโรบิก จะได้ เอ.ที.พี. เพิ่มขึ้นอีก 17 – 22 โมล การเปรียบเทียบความสามารถและกำลังของระบบพลังงานทั้งสามได้แสดงไว้ในตารางที่ 9.4

	MUSCLE GLYCOGEN	
	Per kg Muscle	Total Muscle Mass
1. Muscular Concentration (grams)	13 – 15*	400 – 450
2. ATP formation (moles)	2.8 – 3.2	87 – 98
3. Useful energy (kcal)	28 – 32	870 – 980

* Assumptions the same as in Table 2-1

** Based on data from Hultman, 1973

ภาพประกอบ 6 แสดงจำนวนพลังงานของระบบแอโรบิกที่ได้จากกลัยโคเจนในกล้ามเนื้อ

SYSTEM	MAXIMAL POWER (MOLES OF ATP PER MINUTE)	MAXIMAL CAPACITY (TOTAL MOLES ATP AVAILABLE)
Phosphagen (ATP – PC)	3.6	0.7
Anaerobic glycolysis (lactic acid)	1.6	1.2
Aerobic or oxygen (from glycogen only)	1.0	90.0

ภาพประกอบ 7 แสดงความสามารถและกำลังของพลังงานทั้งสามระบบ

3. การทำงานของระบบแอโรบิกและแอนแอโรบิกในขณะพัก และขณะออกกำลังกาย

มีเรื่องสำคัญ 3 ประการ ที่จะต้องพิจารณาการทำงานของระบบแอนแอโรบิก และระบบแอโรบิก ทั้งในขณะพักและขณะออกกำลังกายคือ

- (1) ชนิดของอาหารที่ใช้ในเมตะบอลิซึม
- (2) บทบาทของระบบพลังงานแต่ละระบบ
- (3) การเกิดการคั่งของกรดแลคติกในเลือด

1. ในขณะพัก

เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นพลังงานนั้น 2/3 ได้มาจากไขมัน ที่เหลืออีก 1/3 ได้จากคาร์โบไฮเดรต ส่วนโปรตีนนั้นใช้น้อยมาก และในขณะพักนี้ร่างกายใช้ระบบแอโรบิกเป็นต้นตอของพลังงานแต่เพียงอย่างเดียว เพราะปอดและหัวใจสามารถขนส่งและป้อนพลังงานให้ได้เพียงพอ

ถึงแม้ว่า ระบบแอโรบิกจะทำงานแต่เพียงระบบเดียว แต่ก็พบว่ามีการดแลคติกเกิดขึ้นในเลือดเล็กน้อยและมีจำนวนคงที่คือ ประมาณ 10 มก./เลือด 100 ลบ.ซม. เนื่องจากระบบของกรดแลคติกนั้นคงที่และไม่เพิ่มขึ้น จึงเป็นไปได้ว่าร่างกายในขณะพักนั้นใช้ เอ.ที.พี. ที่เกิดจากระบบแอโรบิกแต่เพียงอย่างเดียว

2. ในขณะออกกำลังกาย

ร่างกายต้องให้ระบบแอนแอโรบิกและแอโรบิก อย่างไรก็ดี บทบาทของแต่ละระบบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของการออกกำลังกาย ในการพิจารณาเรื่องนี้ จะต้องแบ่งการออกกำลังกายเป็น 2 ประเภท

- (1) การออกกำลังกายที่ต้องทำเต็มที่และสามารถทำได้เพียงระยะสั้น
- (2) การออกกำลังกายที่ทำระยะยาวและทำในระดับต่ำกว่าระดับสูงสุด

(1) การออกกำลังกายในระยะสั้น

การออกกำลังกายในประเภทนี้ได้แก่ การวิ่ง 100 ม. 200 ม. และ 400 ม. เป็นต้น รวมทั้งการออกกำลังกายอย่างอื่นที่มีความหนักและสามารถกระทำได้ไม่เกิน 2 – 3 นาที เท่านั้น

จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงในการออกกำลังกายประเภทนี้ที่สำคัญที่สุดคือ คาร์โบไฮเดรตรองลงไปที่ไขมัน ส่วนโปรตีนนั้นเกี่ยวข้องน้อยมาก และจะเห็นได้ว่าระบบพลังงานที่สำคัญคือ ระบบแอนแอโรบิก ทั้งนี้เนื่องจากว่าระบบแอโรบิกแต่เพียงอย่างเดียวไม่สามารถป้อนพลังงานให้ได้เพียงพอ

มีเหตุผล 2 ประการที่เกี่ยวข้องกับข้อจำกัดของระบบแอโรบิกในขณะออกกำลังกายคือ

- (1) บุคคลแต่ละคนจะมีเพดานสำหรับความสามารถทางด้านแอโรบิก หรือเรียกว่าเป็นความสามารถสูงสุดของการใช้ออกซิเจน
- (2) จะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 2 – 3 นาที สำหรับการใช้ออกซิเจนที่จะปรับตัวให้เพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงได้

ตัวอย่างเช่น ผู้ที่ได้รับการฝึกดีแล้ว จะมีกำลังแอโรบิกสูงสุด (Maximum Aerobic Power) 3 และ 5 ลิตร ของออกซิเจน/นาที สำหรับหญิงและชายตามลำดับ แต่สำหรับผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก จะมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดประมาณ 2.2 ลิตร/นาที สำหรับหญิง และ 3.2 ลิตร/นาที สำหรับชาย ค่าของการใช้ออกซิเจนที่ระดับนี้นั้นไม่เพียงพอที่จะป้อน เอ.ที.พี. ให้สำหรับการวิ่ง 100 ม. ซึ่งอาจต้องการถึง 45 ลิตร/นาที สำหรับการวิ่ง 100 ม. ที่ใช้เวลา 10 วินาที ดังนั้นจะต้องใช้ออกซิเจนประมาณ 8 ลิตร ระยะเวลาที่ซึ่งระดับของการใช้ออกซิเจนต่ำกว่าระดับที่จำเป็นที่จะต้องป้อนให้แก่ เอ.ที.พี. ที่ต้องการนั้นเรียกว่า การขาดออกซิเจน (Oxygen Deficit) ดังนั้นในระยะนี้จึงต้องการพลังงานจากระบบฟอสฟาเจนและการสลายกลัยโคเจนด้วยวิธีแอนแอโรบิก ซึ่งก็หมายความว่าในการออกกำลังกายอย่างหนักและระยะสั้นนั้น จะต้องมีการขาดออกซิเจนตลอดช่วงเวลาของการออกกำลังกาย

การสลายกลัยโคเจนชนิดแอนแอโรบิกนั้น จะทำให้กรดแลคติกคั่งมาก การหดตัวของกล้ามเนื้อก็จะถูกยับยั้งด้วยจึงทำให้เกิดการเมื่อยล้า กรดแลคติกที่คั่งอาจมีระดับสูงถึง 200 มก. เปอร์เซ็นต์ได้ ซึ่งจะมากกว่าระดับปกติถึง 20 เท่า

(2) การออกกำลังกายระยะยาว

หมายถึง การออกกำลังกายที่นานกว่า 5 นาที ในกรณีนี้ อาหารที่เป็นต้นตอที่สำคัญคือคาร์โบไฮเดรตและไขมัน อย่างไรก็ตาม ในระยะแรกของการออกกำลังกายเช่น ในการทำงาน 1 หรือ 2 ชั่วโมง พลังงานที่สำคัญได้จากกลัยโคเจน แต่ในตอนท้ายของการออกกำลังกายนั้น ร่างกายจะใช้ไขมันเป็นต้นตอสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากกลัยโคเจนสำรองที่อยู่ในกล้ามเนื้อและในตับถูกใช้หมดไปแล้ว

ในการออกกำลังกายประเภทนี้ เอ.ที.พี. ส่วนใหญ่นั้นได้มาจากระบบแอโรบิก ส่วนระบบกรดแลคติกและระบบ เอ.ที.พี. – พี.ซี. ก็เกี่ยวข้องด้วยแต่เพียงในระยะต้นเท่านั้น คือในระยะก่อนที่ระดับของการใช้ออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับคงที่ เมื่อระดับของการใช้ออกซิเจนสูงถึงระดับคงที่แล้วก็จะสามารถจ่าย เอ.ที.พี. ให้ได้เพียงพอ ดังนั้นกรดแลคติกจึงไม่คั่งและเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูง ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนในเรื่องนี้ได้แก่การวิ่งมาราธอน เมื่อสิ้นสุดการวิ่งระดับของกรดแลคติกจะเพิ่มมากขึ้นเป็นเพียง 2-3 เท่าของที่พบในขณะพัก ส่วนมากการเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นจากการวิ่งหรือการออกกำลังกายระยะยาวนั้น มักขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้คือ

- (1) ระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลง เนื่องจากกลัยโคเจนสำรองในตับถูกใช้หมดไป
- (2) มีการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อเฉพาะแห่ง เนื่องจากกลัยโคเจนสำรองในกล้ามเนื้อถูกใช้หมดไป
- (3) มีการเสียน้ำและอิเล็กโทรไลต์ไป ซึ่งทำให้อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้น

ส่วนในการออกกำลังกายระยะยาว แต่เป็นการออกกำลังกายอย่างเบา เช่น การเดินหรือการเล่นกอล์ฟนั้น ระดับของกรดแลคติกในเลือดจะไม่สูงกว่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากระบบฟอสฟาเจนเพียงพอเพียงอย่างเดียวก็เพียงพอที่จะจ่าย เอ.ที.พี. ให้ได้ตามต้องการ ในกรณีเหล่านี้ อาการเมื่อยล้าอาจเกิดขึ้นช้ามาก เช่น เกิดขึ้นหลังจากออกกำลังกายถึง 6 ชั่วโมงไปแล้ว เป็นต้น

(ชูศักดิ์ เวชแพทย์; และ กันยา ปาละวิวัฒน์. 2536)

สิ่งที่มีอิทธิพลต่อจำนวนของพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกาย

ปริมาณของออกซิเจนและจำนวนพลังงานที่ต้องใช้ในการออกกำลังกายได้รับอิทธิพลมาจากหลายสิ่งด้วยกัน พอแยกกล่าวออกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. ความเข้มข้นของการออกกำลังกาย (Intensity of Exercise)

ถ้าหากปริมาณของ Motor Unit และ Muscle Fibers ที่ทำงานมีไม่มาก แสดงว่าความเข้มข้นของการทำงานหรือการออกกำลังกายมีน้อย ความจำเป็นที่ต้องใช้ออกซิเจนก็มีน้อยตามไปด้วย แต่หากการหดตัวต้องเป็นไปอย่างรุนแรงแสดงว่าในกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ออกซิเจนต้องทำงาน จำเป็นที่ต้องใช้พลังงาน ATP มาก ความจำเป็นที่ต้องใช้ออกซิเจนก็สูงตามไปด้วย

2. ระยะเวลาของการออกกำลังกาย (Duration of Exercise)

ในการออกกำลังกายที่ไม่รุนแรงมากนัก อัตราการเพิ่มของออกซิเจนจะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราการเพิ่มระยะเวลาการออกกำลังกายซึ่งเป็นอัตราการเพิ่มแบบสมำเสมอ แต่ถ้าหากการออกกำลังกายมีความเข้มข้นมาก และยาวนานจนทำให้เกิดความเมื่อย (Fatigue) ความต้องการออกซิเจนมีสูงทำให้อัตราการเพิ่มไม่ได้เป็นไปแบบช้า ๆ สมำเสมอเหมือนในตอนแรก แต่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อใดก็ตามที่ใยกล้ามเนื้อส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดความเมื่อยล้ามันจะขอความช่วยเหลือจากใยอื่น ๆ (ใยกล้ามเนื้อแดงมีแบบการทำงานอย่างนี้มากที่สุด) มาช่วยทำงานเพื่อให้การออกกำลังกายดำเนินต่อไปได้ตลอดระยะเวลาและเมื่อใยกล้ามเนื้อมาร่วมทำงานต่อกันมากขึ้น ความต้องการพลังงานก็มีมากขึ้น ความจำเป็นที่ต้องใช้ออกซิเจนก็สูงตามไปด้วยเช่นกัน

3. อัตราความเร็วของการออกกำลังกาย (Speed of Exercise)

นี่เป็นส่วนหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อจำนวนของพลังงานและปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ต้องใช้ Christensen และ Hogberg มีข้อมูลที่น่าสนใจสรุปค่ากล่าวนี้ดังปรากฏในตารางข้างล่าง

อัตราความเร็ว (ก.ม./ช.ม.)	ออกซิเจนที่ใช้ (VO ₂) ลิตร/นาที
4.16	1.69
8.40	3.02
10.67	3.14
13.05	4.14
14.73	5.24

ภาพประกอบ 8 แสดงปริมาณของก๊าซออกซิเจนที่ต้องใช้ในการเล่นสกีน้ำแข็ง ด้วยความเร็วต่าง ๆ ของชายน้ำหนักตัว 83 กิโลกรัม ความจุปอด 6.95 ลิตร

นอกจากนั้น Morehouse และ Miller มีตัวเลขที่แสดงให้เห็นว่า การวิ่งด้วยอัตราความเร็ว 5.56 หลา/วินาที ในระยะทาง 120 หลา ใช้ออกซิเจน 5.18 ลิตร/นาที แต่ถ้าวิ่งด้วยอัตราความเร็ว 9.23 หลา/วินาที ในระยะทาง 120 หลา ใช้ออกซิเจน 33.96 ลิตร/นาที

4. ทักษะและประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ (Economy of Muscular Activity)

กล้ามเนื้อที่สามารถเคลื่อนไหวในกิจกรรมต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพมักใช้พลังงานน้อย ดังนั้น นักกีฬาหรือผู้ที่ได้รับการฝึกฝนจนมีทักษะการเคลื่อนไหวอย่างมีประสิทธิภาพจะปฏิบัติกิจกรรมนั้น โดยใช้พลังงานน้อยกว่าผู้ที่มีความสามารถทางกลไกการเคลื่อนไหวต่ำกว่าหรือขาดทักษะทั้งนี้เพราะการฝึกจนมีทักษะทำให้การเคลื่อนไหวที่เกินเลยความจำเป็นไม่มีหรือมีน้อยดังนั้นจึงประหยัดพลังงานไว้ใช้ (ภนารี พานเพียรศิลป์. 2541)

นิยามค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจน

สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด หมายถึง ปริมาณออกซิเจนสูงสุดต่อหน่วยเวลาที่ร่างกายสามารถดึงจากบรรยากาศ และขนส่งตามกระแสเลือดสู่เนื้อเยื่อ ในระหว่างที่มีการเคลื่อนไหวร่างกาย ด้วยกล้ามเนื้อมัดใหญ่ต่อต้านความต้านทานที่เพิ่มขึ้น ค่าความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุดนี้ ได้มีการใช้ชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปอย่างมากมาย อาทิเช่น Maximum Oxygen Consumption, Maximum Aerobic Power, Peak Aerobic Power, Maximum Oxygen Uptake (Consumption), Maximum Aerobic Work Capacity, Endurance Capacity, และ Cardiorespiratory Fitness และใช้คำย่อ คือ $\text{VO}_2 \text{ max}$ (Thoden. 1991: 73-80)

ขบวนการขนส่งออกซิเจนสู่เนื้อเยื่อ

การขนส่งออกซิเจนสู่เนื้อเยื่อนั้น ประกอบด้วยขบวนการที่ต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ ตั้งแต่

1. การไหลเวียนของอากาศที่ปอด
2. การแพร่ของออกซิเจนจากถุงลมปอดสู่หลอดเลือดแดงฝอยที่ไปเลี้ยงปอด
3. การจับของออกซิเจนกับตัวพาออกซิเจนในเลือด (ฮีโมโกลบิน)
4. การแพร่ของออกซิเจนจากหลอดเลือดแดงฝอยสู่เนื้อเยื่อ
5. การใช้ออกซิเจนของเนื้อเยื่อ

หน่วยที่ใช้แสดงค่าความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจนนั้น อาจแสดงเป็นค่าสมบูรณของ ปริมาณออกซิเจนต่อหน่วยเวลา (ลิตร/นาที) หรือ ค่าปริมาณออกซิเจนต่อหน่วยเวลาที่สัมพันธ์กับ น้ำหนักตัว (มล./กก./นาที) หรือเป็น MET, 1 MET เป็นค่าการใช้ออกซิเจนขณะพักของชายน้ำหนักตัว 70 กก. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.5 มล./กก./นาที (ACSM. 1991: 16-20)

ปัจจัยที่ใช้ในการวัดและคำนวณค่า $VO_2\max$

ค่า $VO_2\max$ สามารถคำนวณได้จากปัจจัยของระบบหัวใจหรือระบบหายใจตามสมการของ Fick ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับปัจจัยทั้งสอง ดังนี้

$$\begin{aligned} VO_2\max &= Q_{\max} \times (a - VO_2 \text{ difference})_{\max} \quad (\text{Holly. 1988}) \\ \text{ค่า } Q_{\max} &= \text{ปริมาตรการไหลของเลือดออกจากหัวใจต่อนาที} \\ A - VO_2 \text{ difference} &= \text{ความแตกต่างของความเข้มข้นของออกซิเจนระหว่างเลือดแดงและเลือดดำ} \end{aligned}$$

แม้ว่าสมการดังกล่าวได้แสดงความเกี่ยวข้องระหว่างระบบหัวใจ – หลอดเลือด และระบบหายใจ (ปอด) การใช้ค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่า $VO_2\max$ นั้นยังไม่สะดวกในทางปฏิบัติ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวไม่สามารถวัดได้โดยง่าย และมีความเสี่ยงอันตรายต่อชีวิต ดังนั้นความสัมพันธ์บนพื้นฐานของปัจจัยทางระบบหายใจจึงได้นำมาคำนวณค่าแทนดังนี้

$$VO_2 = V_E [0.265 (1.0 - F_{E}O_2 - F_{E}CO_2) - F_{E}O_2] \quad (\text{Holly. 1988 : 171-177})$$

จากสมการดังกล่าว ค่าการใช้ออกซิเจนสามารถคำนวณ โดยใช้เครื่องวัดปริมาตรอากาศที่หายใจออก (V_E) และปริมาตรอากาศที่หายใจเข้า (V_I) ผ่านเครื่องวิเคราะห์แก๊สออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อวัดสัดส่วนของออกซิเจน ($F_{E}O_2$) และคาร์บอนไดออกไซด์ ($F_{E}CO_2$) ในอากาศที่หายใจเข้าและออก การวัดดังกล่าวเป็นการวัดโดยตรง (Direct Method) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องทำในห้องปฏิบัติการ และขึ้นอยู่กับแรงจูงใจของผู้ทดสอบ ข้อมูลของเทเลอร์ (Taylor; et al. 1995) แสดงให้เห็นว่า ค่า $VO_2\max$ จะวัดได้ค่าที่แท้จริงต่อเมื่อทำการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจงเท่านั้น และวิธีการทดสอบนั้นต้องใช้กล้ามเนื้อทำงานในแบบที่ต้องมีการเคลื่อนไหวแบบไดนามิก (Dynamic) ว่าการวัด $VO_2\max$ โดยวิธีตรงนั้น แคชและคณะ (Katch; et al. 1982: 21-25) พบว่า ความผันแปรทางชีววิทยาของร่างกายนั้น มีส่วนเกี่ยวข้องถึง 90% ของค่าความผันแปรทั้งหมด ($\pm 5.6\%$) ส่วนความผิดพลาดด้านเทคนิคนั้นมีน้อยกว่า 10%

การที่จะทำการทดสอบเพื่อให้ได้ผลเหมือนกัน (Good Reproducibility) ทุกครั้งเมื่อทดสอบในคนเดียวกันนั้น ผู้ทำการทดสอบจะต้องทำงานได้เท่ากันภายใต้ภาวะเงื่อนไขที่กำหนดเดียวกัน ซึ่งในทางปฏิบัติจริงค่อนข้างจะทำได้ยาก ตัวอย่างเช่น ให้ผู้ที่ไม่เคยทดสอบและไม่คุ้นเคยกับเครื่องมือมาก่อน มาเข้ารับการทดสอบนั้นเป็นการยากที่จะบังคับหรือเชียร์ให้เขาออกแรงต่อไปจนหมดแรง และก็ไม่ทราบว่าเขาออกแรงเต็มความสามารถแล้วหรือไม่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดปัจจัยทางสรีรวิทยาเพื่อช่วยบ่งบอกว่าผู้ถูกทดสอบทำงานได้ถึงจุดความสามารถสูงสุดของเขาจริง ๆ ปัจจัยดังกล่าววัดได้จาก

1. อัตราการเต้นของชีพจรครั้งต่อนาที หรือมีค่ามากกว่า 85% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เมื่อคำนวณจากอายุ เช่น $220 - \text{อายุ}$ หรือ $205 - \frac{1}{2} (\text{อายุ})$ (ACAM. 1991)

2. สัดส่วนของค่าการแลกเปลี่ยนแก๊ส CO_2 และ O_2 ($\text{VCO}_2 / \text{VO}_2$) หรือค่า $R \geq 1-1.15$ (Kline; et al. 1987); (Jackson; et al. 1990)

3. กรดแลคติกในเลือดมากกว่า 8 มิลลิโมล/ลิตร

4. ค่าการใช้ออกซิเจน เพิ่มขึ้นน้อยกว่า 2 มิลลิลิตร เมื่อระดับการออกแรงทำงานเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ดีเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าค่า VO_2max นั้น มีความแตกต่างกันในแบบทดสอบที่ใช้จำนวนมัดกล้ามเนื้อร่วมในการทดสอบแตกต่างกัน การทดสอบที่ต้องใช้ทั้งส่วนของแขนและขาในการทดสอบ จะวัดได้ค่า VO_2max สูงกว่าการทดสอบที่ใช้แต่อย่างใดอย่างหนึ่ง เมื่อนำผู้ถูกทดสอบคนเดียวกัน มาทำการทดสอบด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน พบว่าค่า VO_2max จะสูงสุดในการวิ่งบนลู่วิ่ง หรือทำกิจกรรมที่ต้องใช้ทั้งแขนและขา เช่น เดินหรือวิ่ง ในการเล่นสกี คอกซ์และคณะ พบว่าค่า VO_2max จากการวิ่งบนลู่วิ่งสูงกว่าค่า VO_2max ที่วัดได้จากการก้าวขึ้นลงม้านั่ง (Step Test) ในผู้ใหญ่ที่มีอายุช่วง 40 – 50 ปี (Cox; et al. 1992: 49-55)

ตัวบ่งชี้สมรรถภาพความทนทานของร่างกาย (VO_2max as Predictor of Endurance Performance)

ถ้า VO_2 เป็นตัวบ่งบอกสมรรถภาพความทนทานของร่างกาย ดังนั้น การแข่งขันเพื่อหาผู้ที่มีความทนทานของร่างกายที่ดีที่สุด สามารถกระทำได้ในห้องปฏิบัติการ นักวิทยาศาสตร์ที่ทำการวิจัยใช้ลู่วิ่งเป็นเครื่องมือในการทดสอบหา VO_2max ใครที่มีค่า VO_2max สูงสุดคือผู้ชนะ จึงเป็นการง่ายกว่าที่จะลงไปทำการแข่งขันในลู่วิ่งของสนามกีฬาหรือสระว่ายน้ำ อย่างไรก็ตาม VO_2max จึงเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งเท่านั้นในการประสบความสำเร็จของการเสริมสร้างความทนทานของร่างกาย

ในกลุ่มคนที่มีความแตกต่างของค่า VO_2max พบว่า ผู้หญิงที่มีค่า VO_2max สูงมีแนวโน้มที่จะวิ่งมาราธอนได้เร็ว แต่ถ้าคนในกลุ่มมีค่า VO_2max ที่ใกล้เคียงอยู่ในระดับเดียวกัน ค่า VO_2max ไม่ได้เป็นตัวบ่งบอกความสามารถของแต่ละคนเพราะว่า ทุกคนมีความสามารถเท่าเทียมกัน ตัวอย่างเช่น นักกีฬา 2 คน ชื่อ Waitz และ Clayton มีค่า VO_2max 73 และ 69 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ตามลำดับ ค่า VO_2max วัดในระยะสั้น ๆ ภายหลังจากที่ทำสถิติโลกในการแข่งขันมาราธอนหญิงและชาย อย่างไรก็ตาม Clayton สามารถทำเวลาในการวิ่งได้เร็วกว่า Waitz 15 นาที ปัจจัยสำคัญอื่น ๆ ที่ทำให้ประสบความสำเร็จรวมทั้งความเร็ว ความสามารถในการออกกำลังกายอย่างหนักเป็นเวลาต่อเนื่องกัน ความสามารถในการกำจัดกรดแลคติก ปริมาณสูงสุดของเลือดที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกาย และความประหยัดในการใช้พลังงาน

ค่า $VO_2\max$ ที่สูงเป็นสิ่งที่นักกีฬาต้องการ ความทนทานจะต้องมีค่า $VO_2\max$ ที่ต่ำสุด สำหรับนักกีฬาประเภทความทนทานในเพศหญิงควรจะต้องมีค่าประมาณ 65 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที (ml/kg/min) สำหรับนักวิ่งและนักสกีข้ามประเทศ (Cross-Country Skiers) ค่า $VO_2\max$ ที่เหมาะสม สำหรับนักกีฬาวัยน้ำคือ 55-60 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที นักปั่นจักรยานควรจะมีค่า $VO_2\max$ ประมาณ 60 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ความต้องการต่ำสุดสำหรับการฝึกแบบแอโรบิกมีดังต่อไปนี้

- นักกีฬาพวกที่ร่างกายได้รับการเสริมสร้างความทนทาน ทุกคนจะมีความสามารถในการออกกำลังกายแบบแอโรบิก แม้ว่า $VO_2\max$ จะเป็นตัวบ่งบอกสมรรถภาพทางกายที่เลวในกลุ่มนักกีฬาที่อยู่ในระดับที่เข้าร่วมการแข่งขันด้วยกัน ความสามารถสูงสุดของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยระหว่างกลุ่มนักกีฬาด้วยกัน

- ปริมาณการใช้ออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของการออกกำลังกายแบบทนทาน เพิ่มขึ้น แม้ว่าประสิทธิภาพของนักกีฬามีการเปลี่ยนแปลงได้บ้างแต่เพียงเล็กน้อย แม้ว่า $VO_2\max$ ที่มีค่าสูงมีความสำคัญสำหรับการเสริมสร้างความทนทานของร่างกายให้อยู่ในระดับดีเลิศ ไม่ใช่เพียงแต่ต้องการ $VO_2\max$ ที่สูงเพื่อที่จะได้ประสบความสำเร็จในการฝึก

Noakes ใช้การตอบคำถามเพื่อที่จะใช้ $VO_2\max$ เป็นตัวบ่งชี้ถึงสมรรถภาพความทนทานของร่างกายโดยอยู่บนพื้นฐานของสิ่งต่อไปนี้

1. พบว่าค่า $VO_2\max$ ของนักกีฬาส่วนใหญ่ จะเพิ่มขึ้นตามระดับความหนักของงาน จนกระทั่งถึงความหนักของงานที่สูงสุด
2. จากการศึกษพบว่า อัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2) ขณะออกกำลังกายจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งที่ไม่สามารถที่จะเพิ่มต่อไปได้ และไม่มีหลักฐานที่แสดงว่ามีขีดจำกัดของการขนส่งออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อที่กำลังหดตัวก่อนที่จะเริ่มทำการศึกษาแล้ว
3. ในการศึกษาผลของการให้เลือดเพิ่ม (Blood Doping) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า $VO_2\max$ ไม่มีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพทางกาย การเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพทางกายจะคงอยู่ภายในเวลาเพียง 2-3 วัน ขณะที่การเปลี่ยนแปลงของค่า $VO_2\max$ จะคงอยู่เป็นเวลานานกว่า
4. การออกกำลังกายในที่สูงจากระดับน้ำทะเลมาก ๆ ไม่ได้ถูกจำกัดโดยความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด หรือข้อจำกัดที่เกิดจากหน้าที่ของระบบไหลเวียน และระบบทางเดินหายใจ
5. อาการเหนื่อยขณะออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุดเกิดขึ้นขณะที่มีการใช้ออกซิเจนปริมาณต่ำ ในขณะที่ปั่นจักรยานมากกว่าขณะวิ่งในคนคนเดียวกัน
6. ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดที่วัดได้ขณะที่มีอาการเหนื่อยขณะออกกำลังกายบนลู่วิ่งที่เพิ่มความชัน และความเร็วขึ้นเรื่อย ๆ มีค่าต่ำที่สุดในนักกีฬา

7. การเปลี่ยนแปลงของสมรรถภาพขณะวิ่ง เพื่อเสริมสร้างความทนทานของร่างกาย พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า $VO_2\max$

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของ Noskes แนะนำว่าสมรรถภาพความทนทานของร่างกายมีค่าสูงสุด เมื่อความเร็วของลู่วิ่งมีค่าสูงสุดด้วย ความเร็วสูงสุดอาจทำให้เส้นใยแอคตินและมายโอซินมีการจับตัวกัน และทำให้เกิดแรงจากการหดตัวมากขึ้น (High Cross Bridge Cycling) และเกิดการปรับตัวของระบบทางเดินหายใจด้วย การปรับตัวของระบบทางเดินหายใจช่วยป้องกันการเกิดอาการหอบเหนื่อย (Dyspnea) จากการออกกำลังกาย

เครื่องมือวิธีการทดสอบและค่า $VO_2\max$

แมคอาร์ดิลและคณะ (Mc Ardle; et al. 1991: 221-228) พบว่าค่า $VO_2\max$ ขณะที่ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องมือและวิธีการทดสอบต่างชนิดกัน สะท้อนให้เห็นถึงจำนวนกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อทดสอบโดยใช้แขนและขา ค่าจะสูงกว่าการทดสอบโดยใช้ขาอย่างเดียว ในการทดสอบโดยคนเดียวกันแต่ใช้เครื่องมือที่ต่างกัน พบว่า ค่าสูงสุดพบขณะวิ่งบนลู่วิ่งหรือการใช้กล้ามเนื้อทั้งแขนและขา ค่า $VO_2\max$ ที่ได้จากการวิ่งบนลู่วิ่งจะสูงกว่าการทดสอบโดยปั่นจักรยานวัดงานประมาณ 5% (Astrand. 1961: 997-981) เมื่อใช้แขนปั่นจักรยาน พบว่า $VO_2\max$ นั้น เทียบได้เท่ากับ 70% ของการทดสอบโดยการวิ่งบนลู่วิ่งหรือปั่นจักรยาน (Astrand. 1961); (Toner; et al. 1983: 1403-1407)

การทดสอบค่า $VO_2\max$ โดยทางอ้อมหรือภาคสนาม (Field Test)

เนื่องจากการวัดโดยตรงผ่านเครื่องวิเคราะห์แก๊ส โดยให้ผู้ถูกทดสอบออกแรงที่ระดับสูงสุดนั้น ไม่สามารถทำได้ง่ายในทางปฏิบัติในทุกคน เพราะมีปัจจัยในเรื่องของห้องปฏิบัติการราคาแพง แรงจูงใจของผู้ทดสอบ และยังต้องคำนึงถึงสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ถูกทดสอบอีกด้วย โดยเฉพาะเมื่อต้องการวัดในประชากรจำนวนมาก (Mc Ardle; et al. 1991: 221-228)

ดังนั้นแนวคิดในการศึกษาทางอ้อม เพื่อที่จะหาตัวแปรที่วัดได้โดยง่ายในทางปฏิบัติและสามารถวัดได้ครั้งละจำนวนมาก ๆ โดยการประมาณค่า จึงได้มีการพัฒนาขึ้นมาโดยพิจารณาถึงคุณภาพของการทดสอบ Validity และ Repeatability ข้อมูลอ้างอิง (ถ้ามีข้อมูลอ้างอิง ข้อมูลนั้นก็ควรจะอยู่บนพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนประชากรที่ดี) นอกจากนี้การชักชวนหรือสร้างแรงจูงใจให้ประชาชนเปลี่ยนพฤติกรรมออกกำลังกายบนพื้นฐานของความเป็นไปได้ (Feasibility) ที่ยอมรับของสังคม มีความปลอดภัย ง่าย ได้รับข้อมูลย้อนกลับ จำนวนที่งานและงบประมาณเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา รวมกันอย่างเหมาะสม (Oja. 1991: 103-101)

ความเป็นไปได้ในการทดสอบค่า $VO_2 \max$ ควรจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

(Modified form Rose; et al. 1982)

1. แบบทดสอบควรจะง่าย ใช้เวลาสั้น 10-20 นาที ผู้ถูกทดสอบไม่จำเป็นต้องมีทักษะพิเศษ
2. ไม่ควรจะต้องใช้เครื่องมือพิเศษ เจ้าหน้าที่เทคนิค และห้องปฏิบัติการ
3. วิธีการทดสอบต้องปลอดภัย ดังนั้นควรทดสอบที่ระดับความสามารถเกือบสูงสุด (Submaximum) ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพได้ถึงสามเท่า เมื่อเทียบกับการทดสอบที่ระดับความสามารถสูงสุดน่าจะนำมาใช้
4. แบบทดสอบควรจะกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางสรีรวิทยา และร่างกายได้ใช้กล้ามเนื้อทั่วร่างกาย ทำงานแบบไม่ต้องการเคลื่อนไหวที่มากที่สุด
5. แบบทดสอบ ควรจะต้องมีการวัดปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้ถึงค่า $VO_2 \max$ ได้อย่างง่าย แม่นยำ และได้ค่าคงเดิมเมื่อทำการวัดซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน
6. แบบทดสอบเป็นที่ยอมรับของประชากร ยิ่งมีความคล้ายกับลักษณะงานในชีวิตประจำวันมาก ก็จะเป็นที่ยอมรับได้ง่าย
7. ผลจากการทดสอบสามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่างานที่ผู้ถูกทดสอบทำได้ เช่น แสดงเป็นวัตต์ เป็นต้น
8. ถ้าการทดสอบนั้นทำในประชากรจำนวนมาก จำเป็นต้องควบคุมหรือทราบค่าสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม รวมถึงข้อมูลการออกกำลังกาย อาหาร และการสูบบุหรี่ของผู้ถูกทดสอบด้วย

การทดสอบในภาคสนาม

อัตราการเต้นของหัวใจหรือชีพจร เป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงการทำงานของร่างกายตามความหนักของงานที่เพิ่มขึ้น ควบคู่กับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไปอย่างดี แม้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอัตราการเต้นของหัวใจ กับการใช้ออกซิเจนในลักษณะเส้นตรงนั้น ยังมีข้อสงสัยอยู่บ้าง (Mc Ardle; et al. 1991: 221-228) การหาค่าความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน จากการทดสอบที่ระดับก่อนถึงจุดสูงสุด (Submaximum Test) จะทำนายค่าการใช้ออกซิเจนจากค่าชีพจรที่วัดได้จากแต่ละระดับงานที่ทำกับค่าอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด ความสัมพันธ์ระหว่าง $HR-VO_2$ นั้น อนุมานว่าเส้นตรงเมื่อระดับความหนักของงานเพิ่มขึ้นและค่าความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะสัมพันธ์กับอัตราการเต้นชีพจรสูงสุดเมื่อทำงานอย่างเต็มความสามารถแล้ว ซึ่งหลักการนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับแบบทดสอบชนิดต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น (Astrand-Rhyming Nomogram. 1954: 221)

การทดสอบโดยใช้จักรยาน Cycle Test Modification (Siconolfi; et al. 1985: 382-390) การปั่นจักรยานด้วยการเพิ่มน้ำหนักเป็นเวลา 12 นาที โดย WHO (Lange Andersen; et al. 1971) และใน Canadian Home Fitness Test บนพื้นฐานของการก้าวขึ้นลงม้านั่ง (Bench Stepping) (Beiley. 1976: 67-78)

จุดเริ่มล้าหรือแอนแอโรบิก เธรชโฮลด์ (Anaerobic Threshold)

ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับจุดเริ่มล้า

ในการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับจุดเริ่มล้าหรือแอนแอโรบิก เธรชโฮลด์ (Anaerobic Threshold) ได้มีทฤษฎีและแนวคิดที่สอดคล้องกับประเด็นดังกล่าว ดังนี้ จุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold) คือจุดเริ่มมีการสะสมระดับการเกิดกรดแลคติกในปริมาณ 4 มิลลิโมลต่อลิตร หลังจากนั้น จะเริ่มมีการสะสมกรดแลคติกอย่างรวดเร็วในกล้ามเนื้อ จุดเริ่มต้นที่มีการสะสมอย่างรวดเร็ว เรียกว่า จุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold) จุดนี้มีอิทธิพลต่อการทำงานของร่างกาย ทำให้มีขีดจำกัดในการใช้พลังงานแบบออกซิเจน (Aerobic Energy) อาจเรียกอีกอย่างว่า “Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA)” โดยจุดเริ่มล้าที่พบอยู่ในระดับการทำงานประมาณ 85-90% ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดในแต่ละคน ดังนั้นเมื่อร่างกายเกิดจุดเริ่มล้าขึ้นทำให้มีผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานของร่างกาย รวมทั้งกระทบต่อการทำงานของระบบการใช้ออกซิเจนด้วย แต่ถ้ามีโปรแกรมการฝึกระบบการใช้ออกซิเจนที่มีประสิทธิภาพทำให้ร่างกายชะลอระยะเวลาการเกิดจุดเริ่มล้า โดยกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะรวมกับออกซิเจนเพื่อเป็นพลังงานแก่ร่างกายพร้อมกับมีคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำระบายออกมา (<http://www.brainmac.demon.co.uk/lactic.html>, 2000)

จากทฤษฎี แนวคิด และผลการวิจัยเกี่ยวกับจุดเริ่มล้า สรุปได้ดังนี้

1. ระดับจุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold) เกิดจากภาวะร่างกายเริ่มมีการสะสมกรดแลคติกในปริมาณ 4 มิลลิโมลต่อลิตร หลังจากภาวะนี้ร่างกายจะมีระดับกรดแลคติกสะสมอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของร่างกาย
2. โปรแกรมการพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิตที่มีประสิทธิภาพมีผลต่อการพัฒนาจุดเริ่มล้า
3. ความหนักของงานที่มีความสัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจ เมื่อความหนักของงานเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น พร้อมกับระบบการใช้ระบบพลังงานจากออกซิเจนจะเริ่มลดลง
4. เมื่อร่างกายเกิดภาวะจุดเริ่มล้า ทำให้สมรรถภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตลดลง
5. ในภาวะจุดเริ่มล้าอัตราการใช้ระบบพลังงานจากออกซิเจนถูกเปลี่ยนไป นั่นคือเกิดการเปลี่ยนพลังงานจากการใช้ออกซิเจน (Aerobic Energy) ไปสู่ระบบการไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Energy)

6. พลังงานจากการไม่ใช้ออกซิเจนได้มาจาก เอ ที พี ซี พี และไกลโคเจน
7. พลังงานจากการไม่ใช้ออกซิเจน มีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อและยังขึ้นอยู่กับอายุ เพศ และเปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกาย
8. จุด OBLA (จุดเริ่มมีการสะสมกรดแลคติก 4 มิลลิโมลต่อลิตร) มีความสัมพันธ์กับจุดเริ่มเปลี่ยนพลังงานจากการใช้ออกซิเจนไปสู่ระบบการไม่ใช้ออกซิเจนในระดับ 0.84

การทดสอบระดับจุดเริ่มล้าหรือแอนแอโรบิก เธรชโฮลด์ (Anaerobic Threshold)

จุดเริ่มล้า หรือแอนแอโรบิก เธรชโฮลด์ (Anaerobic Threshold) หมายถึงระดับความหนักของการออกกำลังกาย หรือการใช้ออกซิเจน ซึ่งมีการเพิ่มขบวนการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Metabolism) และเป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อร่างกายมีขบวนการดังกล่าวเพิ่มขึ้น ก็จะมีกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจุดเริ่มล้าจึงเป็นระดับที่พบว่ามีการเพิ่มมากขึ้นในเลือด วิธีวัดค่าของจุดเริ่มล้าคือการเจาะเลือด เพื่อตรวจวัดระดับของกรดแลคติกเป็นระยะในขณะที่มีการออกกำลังกาย และเพิ่มความหนักขึ้น อย่างไรก็ตามเทคนิคในการเจาะเลือดทำให้เกิดความเจ็บปวดและไม่สะดวก รวมทั้งต้องใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์กรดแลคติก วิธีที่รวดเร็วกว่าคือวิธีการสังเกตปริมาณการหายใจในแต่ละนาที (Minute Ventilation) รวมทั้งปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยที่ข้อมูลนี้จะเพิ่มเป็นเส้นตรงกับความหนักของการออกกำลังกาย จนกระทั่งถึงจุดเริ่มล้าซึ่งมีปริมาณการหายใจในแต่ละนาทีและปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นทันที ซึ่งสามารถสังเกตได้ในการตรวจวัดสัดส่วนในการหายใจ (Ventilation Equivalent) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของปริมาณการหายใจในแต่ละนาทีกับปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption) (V_E / VO_2) พบว่า ในคนสภาวะปกติมีประมาณ 25 : 1 เมื่อมีการออกกำลังกายด้วยความหนัก 53% ของการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Uptake) แต่ว่าในเด็กที่ความหนักเดียวกันจะมีประมาณ 32 : 1 อย่างไรก็ตามในการว่ายน้ำอาจจะมีสัดส่วนในการหายใจต่ำกว่านี้ เนื่องมาจากการหายใจถูกจำกัดด้วยการว่ายน้ำ ซึ่งอาจเป็นปัญหาได้ว่าผู้ที่ว่ายน้ำ และผู้ที่ออกกำลังกายเต็มที่อาจได้ก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอ ในการออกกำลังกายที่หนักมากขึ้นค่าของสัดส่วนในการหายใจอาจสูงถึง 35- 40 : 1 ส่วน Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA) เมื่อออกกำลังกายให้อยู่ในภาวะคงที่ (Steady-Rate) จะทำให้มีก๊าซออกซิเจนเพียงพอสำหรับกล้ามเนื้อทำงาน จึงไม่มีการคั่งของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ เมื่อมีการออกกำลังกายหนักมากขึ้นจะทำให้ปริมาณกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นที่ระดับนี้เรียกว่า ส่วน Onset of Blood Lactate Accumulation หรือ (OBLA) ซึ่งเป็นระดับที่ออกกำลังกายระหว่าง 55-60% ของการใช้ออกซิเจนสูงสุดในคนที่ไม่ได้รับการฝึก แต่ในคนที่ได้รับการฝึกดีมากจะทำให้ค่า OBLA สูงขึ้นมากเกิน 80% (ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2536)

ในการศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบจุดเริ่มล้า หรือแอนแอโรบิก เธรชโฮลด์ (Anaerobic Threshold) ได้มีแนวคิดสอดคล้องกับประเด็นดังกล่าว ดังนี้ เจอร์รี่ เดวิส (Jerry Devis) (<http://www.doilsports.com.2000>) มีแนวคิดที่ว่า จุดเริ่มล้าเป็นจุดเปลี่ยนพลังงานจากแอโรบิกเป็นแอนแอโรบิก โดยที่ภายหลังจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดกรดแลคติกสะสมในร่างกายอย่างรวดเร็ว อันมีผลกระทบต่อการทำงานของร่างกาย ดังตัวอย่างเช่น ในระยะสุดท้ายของนักวิ่ง ถ้าสามารถพัฒนาระดับการเกิดจุดเริ่มล้าของนักกีฬา ทำให้เป็นผู้ได้เปรียบในการแข่งขัน ในการทดสอบจุดเริ่มล้าส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการทดสอบของคอนโคนี (Conconi Test) เนื่องจากสะดวกและง่ายในการทดสอบ นอกจากนี้ยังมีแนวคิดเกี่ยวกับการศึกษาระดับการเกิดจุดเริ่มล้าประมาณ 180-185 ครั้งต่อนาทีของอัตราการเต้นของหัวใจ ดังนั้นจึงได้มีการพิสูจน์ความชัดเจนของแนวคิดดังกล่าว โดยดำเนินการศึกษาระดับจุดเริ่มล้าแบบในภาคสนาม (Field Test) จากจักรยานคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมความหนักของงานได้ โดยให้กลุ่มตัวอย่างอบอุ่นร่างกายประมาณ 15 นาที ด้วยการขี่จักรยาน ในการเริ่มทดสอบเริ่มต้นใช้ความเร็ว 13 ไมล์ต่อชั่วโมงและเพิ่มความเร็ว 14 ไมล์ต่อชั่วโมง ในทุก ๆ 3 นาที ของการทดสอบ ดำเนินการทดสอบอย่างต่อเนื่อง บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจทุก 90 วินาที หลังจากเริ่มการทดสอบ นอกจากนั้นยังมีการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงทางกายและอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของผู้เข้ารับการทดสอบ ผลการทดสอบพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มเมื่อความเร็วของการทดสอบเพิ่มประมาณ 8-10 ครั้งต่อนาที จนกระทั่งความเร็วประมาณ 25-26 ไมล์ต่อชั่วโมง อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นเพียง 4-5 ครั้งต่อนาที เมื่อนำมาศึกษาในรูปของกราฟ พบว่า เส้นกราฟเริ่มเปลี่ยนแปลงไปจุดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า จุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold) (<http://www.doilsports.com.2000>)

การทดสอบจุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold Test) เมื่อทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีการทดสอบทางตรง (Invasive) มีการหาจุดเริ่มล้าจากตัวอย่างเลือดของผู้ทดสอบ ทำให้ระดับจุดเริ่มล้ามีความเชื่อถือได้ นอกจากนั้นได้มีการศึกษาในภาคสนาม (Field Test) โดยใช้วิธีการทดสอบทางอ้อม (Non - Invasive) มีการหาจุดเริ่มล้าจากความสัมพันธ์ของอัตราการเต้นของหัวใจที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความหนักของงานเพิ่มขึ้นอย่างคงที่และต่อเนื่องทำให้ทราบระดับจุดเริ่มล้า วิธีการนี้มีผู้วิจัยบางคนยังไม่ยอมรับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและจุดเริ่มล้า ตัวอย่างของวิธีการทดสอบจุดเริ่มล้า เช่น วิธีการทดสอบโดยการวิ่ง 10 กิโลเมตร แบบคอนโคนี การหาเปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นต้น (<http://ww.rice.edu/jenkey/sports/anaerobicthreshold.html>, 2002)

การทดสอบแบบคอนโคนี (Conconi Test)

เป็นการทดสอบนักกีฬาประเภทความทนทานในระยะกลางหรือระยะไกล การทดสอบวิธีการนี้เพิ่มหาระดับจุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold) ในนักกีฬาแต่ละคนเพื่อผู้ฝึกสอนจะได้ทราบและนำไปประกอบเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของนักกีฬาต่อไป การทดสอบนี้สามารถนำไปใช้กับนักกีฬาได้ทุกประเภท เช่น พายเรือ ว่ายน้ำ จักรยาน กรีฑา สเก็ต ไตรกีฬา บาสเกตบอล ฟุตบอล และกีฬาสชนิดอื่น ๆ ที่สนใจระดับการเกิดจุดเริ่มล้าของนักกีฬา การทดสอบจุดเริ่มล้าเพื่อศึกษาระดับอัตราการเต้นของหัวใจเมื่อกล้ามเนื้อเริ่มมีการสะสมกรดแลคติกในปริมาณมากเกินความสามารถที่ออกซิเจนจะทำงานได้ หลังจากการเกิดจุดเริ่มล้าและร่างกายทำงานต่อไปจะมีกรดแลคติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีผลต่อสมรรถภาพการทำงานของร่างกาย การทดสอบหาจุดเริ่มล้าโดยวิธีของคอนโคนี (Conconi Test) สามารถทำการทดสอบได้ทั้งในภาคสนามและห้องปฏิบัติการ เช่น การวิ่งในสนาม 200 หรือ 400 เมตร การใช้จักรยาน การใช้ลู่วิ่ง การว่ายน้ำ ฯลฯ โดยยึดทฤษฎีเมื่อปริมาณงานเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนักของงาน เริ่มต้นด้วยการอบอุ่นร่างกายเพื่อให้อัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 110 ครั้งต่อนาที หลังจากนั้นดำเนินการทดสอบโดยเพิ่มความหนักหรือความเร็วพร้อมกับวัดอัตราการเต้นของหัวใจทุกช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งถึงภาวะที่อัตราการเต้นของหัวใจเริ่มไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มความหนักหรือความเร็ว ให้หยุดการทดสอบ ดังนั้นระดับจุดเริ่มล้าของการทดสอบ คืออัตราการเต้นของหัวใจเริ่มไม่เป็นสัดส่วนในระดับนั้นนั่นเอง

(<http://www.geocitiess.com/Hotsprings/3257/conconi.html>,2003)

จากทฤษฎี แนวคิด ผลการศึกษา และการวิจัยเกี่ยวกับจุดเริ่มล้าจำนวนมาก ทำให้ผู้ฝึกสอนมีแนวคิด หลักการทดสอบหาระดับจุดเริ่มล้าแบบทางอ้อมเป็นวิธีการที่เหมาะสมวิธีหนึ่งซึ่งอาจดำเนินการทดสอบในลู่วิ่งที่ระดับความชัน 4-5 % หลังจากการอบอุ่นร่างกาย เริ่มการทดสอบที่ความเร็ว 4-5 ไมล์ต่อชั่วโมง และเพิ่มความเร็ว 2-3 ไมล์ต่อชั่วโมงในทุก ๆ 90 วินาทีของการทดสอบอย่างต่อเนื่อง บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจทุก 90 วินาทีหลังจากเริ่มการทดสอบ สามารถวิเคราะห์หาระดับการเกิดจุดเริ่มล้าได้จากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจ (<http://www.multisports.com>,2000)

ในปี 1982 วิธีทดสอบแบบคอนโคนี เป็นวิธีการทดสอบแรกที่ยธิบายกระบวนการวัดระดับจุดเริ่มล้าในสนาม โดยสำรวจระดับกรดแลคติกและอัตราการเต้นของหัวใจที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเร็วเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้พบระดับอัตราการเต้นของหัวใจที่ทำให้เกิดจุดเริ่มล้า ดังนั้น จึงสามารถใช้อัตราการเต้นของหัวใจอธิบายถึงภาวะจุดเริ่มล้าของร่างกายได้ ประโยชน์ของการทราบจุดเริ่มล้าในนักกีฬาแต่ละคน ทำให้ผู้ฝึกสอนทราบภาวะของนักกีฬาในขณะนั้น เพื่อนำไปพัฒนาประสิทธิภาพของนักกีฬาต่อไป (Conconi; et al. 1986) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของครูกและคณะ (Cruig; et al. 1995)

ซึ่งมีแนวคิดว่าการทดสอบแบบคอนโคนีเชื่อถือได้จากการศึกษาเกี่ยวกับจุดหักเหของชีพจร (Deflection Point)

ในด้านกระบวนการวัดกรดแลคติกในการออกกำลังกายมี 2 กระบวนการ คือกระบวนการวัดทางตรง (Invasive) และกระบวนการวัดทางอ้อม (Non - Invasive) โดยที่กระบวนการวัดทางตรงเป็นวิธีการเจาะเลือดมาวิเคราะห์หาระดับของกรดแลคติกในตัวอย่างเลือด เป็นกระบวนการที่ต้องใช้สารเคมีผสมในการทดสอบ ต้องควบคุมคุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ให้คงสภาพเสมอ มิฉะนั้นจะทำให้สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ผลการทดสอบระดับของกรดแลคติกในตัวอย่างเลือดผิดพลาดได้ กระบวนการทางตรงต้องดำเนินการโดยผู้ที่มีความรู้ในการวัดเป็นพิเศษ เพราะมีการใช้เข็มเพื่อเจาะตัวอย่างเลือดและการใช้สารเคมีในการผสมกับตัวอย่างเลือดนอกจากนี้ยังทำให้เกิดความยุ่งยากและซับซ้อนในการใช้เครื่องมือในการทดสอบด้วย แต่ข้อดีของกระบวนการนี้คือได้ค่าของระดับกรดแลคติกทำให้ผลการวัดที่ได้มีความแม่นยำตรงสูงและน่าเชื่อถือ ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้วัดแบบทางตรง เช่น เครื่องวิเคราะห์กรดแลคติกในเลือดแบบ YSI MODEL 23L LACTATE ANALYZER (อนรุติ มีเพชร, 2539) หรือแบบ Dr. Lange Cuvette Test LKM 140 (Boningj, 1994) เป็นต้น

กระบวนการวัดทางอ้อม เป็นกระบวนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) และปริมาณความหนักของงาน (Intensity) จนกระทั่งความสัมพันธ์เริ่มเปลี่ยนแปลงไป ภาวะนี้เรียกว่า จุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold) กระบวนการวัดระดับจุดเริ่มล้าแบบทางอ้อมยึดทฤษฎีว่า “ในภาวะปกติร่างกายมีการกรดแลคติกประมาณ 1-2 มิลลิโมล/ลิตร เมื่อเวลาเปลี่ยนไปร่างกายทำงานที่ความหนักของงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนแบบแปรผันตรงกับความหนักของงาน เนื่องจากภาวะนี้ร่างกายใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจน จนกระทั่งอัตราการเต้นของหัวใจเริ่มไม่เป็นสัดส่วนกับความหนักของงาน เนื่องจากภาวะนี้ร่างกายเริ่มใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน จุดที่เริ่มเปลี่ยนแปลงพลังงานจากการใช้ออกซิเจนของร่างกายเป็นการไม่ใช้ออกซิเจน คือ จุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold) ”

วิธีการหาระดับการเกิดจุดเริ่มล้าหรือแอนแอโรบิก เธรชโฮลด์ (Anaerobic Threshold) ในร่างกายสามารถดำเนินการทดสอบได้โดยวิธีการทางตรงและทางอ้อม ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันออกไป โดยที่วิธีวัดทางอ้อมเป็นกระบวนการที่มีข้อดี คือ ไม่มีความซับซ้อนและความเสี่ยงในการทดสอบ และการวัดระดับการเกิดจุดเริ่มล้าทางอ้อมก็มีความสัมพันธ์กับวิธีการวัดทางอ้อมในระดับ 0.99 ดังตารางการเปรียบเทียบกระบวนการวัดระดับจุดเริ่มล้าแบบทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

กระบวนการ	ความซับซ้อน ในการวัด	รวดเร็ว	แม่นยำ	ความเสี่ยง	ประหยัด
ทางตรง	*		*	*	
ทางอ้อม		*	*		*

จากตารางการเปรียบเทียบวิธีการวัดระดับกรดแลคติกแบบทางตรงและทางอ้อม พบว่าวิธีการทางอ้อมมีความแม่นยำสัมพันธ์กับวิธีการแบบทางตรง และยังมีข้อดีที่ไม่มีความซับซ้อนรวดเร็วในการทดสอบ ไม่มีความเสี่ยงและประหยัดเวลาในการทดสอบ

สำหรับการทดสอบหาระดับจุดเริ่มล้าโดยวิธีของคอนโคนี (Conconi Test) เป็นวิธีการทดสอบทางอ้อมวิธีหนึ่ง ผลที่ได้มีความแม่นยำสูงเช่นเดียวกับการทดสอบทางตรงจากตัวอย่างเลือด ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกต่อการหาระดับการเกิดจุดเริ่มล้าในภาวะที่ร่างกายมีกรดแลคติกสะสมประมาณ 4 มิลลิโมล/ลิตร วิธีทดสอบโดยวิธีของคอนโคนีสามารถดำเนินการได้ 3 วิธีคือ การทดสอบบนลู่วิ่ง การใช้จักรยานสนาม และการวิ่งในสนาม ซึ่งแต่ละวิธีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันเนื่องจากใช้หลักการทดสอบเดียวกันคือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) และปริมาณความหนักของงาน (Intensity) จนกระทั่งความสัมพันธ์เริ่มเปลี่ยนแปลงไป (Peter, 1982)

นอกจากทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับการทดสอบจุดเริ่มล้าดังกล่าวแล้ว ยังมีผู้วิจัยในต่างประเทศได้เสนอผลงานวิจัยซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับประเด็นดังกล่าว ดังนี้

คอนโคนี และคณะ ได้ศึกษาเรื่อง การวัดจุดเริ่มล้าแบบวิธีทางอ้อมในนักกรีฑา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับจุดเริ่มล้าโดยวิธีทางอ้อม โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกรีฑาดำเนินการทดสอบโดยการวิ่งซึ่งใช้หลักการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจที่เปลี่ยนแปลงไปและความหนักของงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ผลการวิจัยพบว่า ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ ณ จุดหักเหของอัตราการเต้นของหัวใจ (Deflection Point) และปริมาณกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ ปริมาณ 4 มิลลิโมล/ลิตร

ต่อมาได้มีการศึกษากับกลุ่มตัวอย่าง 10 คน อีกครั้งโดยวิธีการแบบเดียวกัน พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ ณ จุดหักเหของอัตราการเต้นของหัวใจ (Deflection Point) และปริมาณกรดแลคติกในกล้ามเนื้อปริมาณ 4 มิลลิโมล/ลิตร อยู่ในระดับ 0.87

นอกจากนี้ได้มีการทดสอบการวัดจุดเริ่มล้าโดยใช้หลักการทดสอบแบบคอนโคนีในสนาม 400 เมตร กับกลุ่มตัวอย่าง 210 คน วิ่งด้วยความเร็วอย่างต่อเนื่องประมาณ 12-14 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยอาศัยแนวคิดที่ว่า “อัตราการเต้นของชีพจรจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนักของงานเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วน

โดยตรง” ผลการวิจัยพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ ณ จุดหักเหของชีพจร (Deflection Point) และปริมาณกรดแลคติกในกล้ามเนื้อปริมาณ 4 มิลลิโมล/ลิตร อยู่ในระดับ 0.99

คอนโคนี และคณะ ได้ศึกษาเรื่อง การวิเคราะห์หาระดับจุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold) ด้วยวิธีการทดสอบแบบทางอ้อม (Non - Invasive) ในนักกีฬาว่ายน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและอัตราการเต้นของหัวใจในนักกีฬาว่ายน้ำ โดยกลุ่มตัวอย่างมีจำนวน ทั้งหมด 110 คน เป็นนักกีฬาว่ายน้ำน้ำสุขภาพแข็งแรง จำนวน 60 คน เป็นเพศชาย 46 คน เพศหญิง 14 คน และเป็นนักกีฬาว่ายน้ำระดับชาติ จำนวน 50 คน เป็นเพศชาย 36 คน เพศหญิง 14 คน ผู้วิจัยเก็บข้อมูล อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นจากเครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Telemetric Cardifrequency Meter) เมื่อความเร็วในการว่ายน้ำเพิ่มขึ้น โดยกลุ่มตัวอย่างเริ่มต้นด้วยความเร็วจากต่ำไปสูง ผลการวิจัย พบว่า เส้นกราฟพลงที่เมื่อระดับความเร็วคงที่ อัตราการเต้นของหัวใจคงที่ และเส้นกราฟ เปลี่ยนแปลงเมื่อระดับความเร็วเพิ่ม อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่ม ทำให้พบวาระหว่างระดับการเกิดจุดเริ่มล้า และปริมาณการเกิดกรดแลคติก 4 มิลลิโมล/ลิตร มีความสัมพันธ์กันในระดับ 0.84 ความเร็วที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นแต่ละช่วงมีความสัมพันธ์กันในระดับ 0.91 ดังนั้นระดับการเกิด จุดเริ่มล้าสามารถใช้วิธีการทดสอบแบบทางอ้อมได้

จากแนวคิดและผลการวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบจุดเริ่มล้า สรุปได้ดังนี้

1. จุดเริ่มล้า (Anaerobic Threshold) คือ จุดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงระบบพลังงานจากการใช้ออกซิเจนไปสู่ระบบการไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจุดนี้มีกรดแลคติกสะสมประมาณ 4 มิลลิโมล/ลิตร โดยที่ ภาวะหลังการเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดการสะสมกรดแลคติกอย่างรวดเร็วในปริมาณมาก อันมีผลกระทบ ต่อการทำงานของร่างกาย

2. การทดสอบจุดเริ่มล้ามี 2 วิธี คือ

- 2.1 วิธีการทดสอบทางตรง (Invasive) คือ การนำตัวอย่างของเลือดจากร่างกายผู้เข้ารับ การทดสอบมาวิเคราะห์ มีข้อดีคือให้ผลการวัดกรดแลคติกในร่างกายแม่นยำสูง

- 2.2 วิธีการทดสอบทางอ้อม (Non - Invasive) คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา การเต้นของหัวใจและความหนักแน่นของงานที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างคงที่และต่อเนื่อง จนกระทั่งอัตรา การเต้นของชีพจรเริ่มไม่สัมพันธ์กับความหนักของงาน จุดที่เริ่มไม่มีความสัมพันธ์นี้เรียกว่า จุดเริ่มล้า วิธีการทดสอบทางอ้อมมีข้อดีคือ ผลการทดสอบมีความสัมพันธ์กับจุดเริ่มล้าในระดับ 0.99 มีความเร็ว ปลอดภัยและประหยัดกว่า

3. ผู้ฝึกสอนมีแนวคิดว่า วิธีการหาจุดเริ่มล้าโดยวิธีการทดสอบแบบทางอ้อมเป็นวิธีที่มีความเหมาะสม เพื่อสามารถนำผลการทดสอบมาทำให้เกิดประโยชน์ในการจัดโปรแกรมการฝึก เพื่อพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาต่อไป

4. วิธีการทดสอบแบบคอนโคนี (Conconi Test) เป็นการทดสอบแบบทางอ้อมวิธีแรก ซึ่งสามารถอธิบายจุดเริ่มล้าจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและความหนักของงานที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างคงที่และต่อเนื่อง จนกระทั่งอัตราการเต้นของชีพจรเริ่มไม่สัมพันธ์กับความหนักของงาน จุดที่เริ่มไม่มีความสัมพันธ์นี้หรือเกิดการหักเหของอัตราการเต้นของหัวใจ (Deflection Point) เรียกว่าจุดเริ่มล้า โดยที่ทดสอบแบบคอนโคนี สามารถทดสอบได้ทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ
5. อัตราการเต้นของหัวใจสามารถอธิบายจุดเริ่มล้าได้
6. เมื่อปริมาณงานเพิ่มขึ้นกรดแลคติกจะสัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการหายใจ
7. วิธีการทดสอบแบบ วี – สโลป (V - Slope) สามารถหาจุดเริ่มล้าได้
8. การทดสอบหาจุดเริ่มล้า สามารถดำเนินการได้ทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในต่างประเทศ

วาสเซอร์แมน และคณะ (Wasserman; et al. 1994) ได้ศึกษาเรื่อง “จุดเริ่มล้าและการแลกเปลี่ยนก๊าซหายใจในขณะออกกำลังกาย” โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาอาชีวศึกษา ผลการวิจัยพบว่า อัตราการใช้ออกซิเจนสัมพันธ์กับระดับจุดเริ่มล้า และถ้าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีค่าไม่สัมพันธ์กับจุดเริ่มล้า แสดงว่าอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบไหลเวียนโลหิต

เกอร์เซต และคณะ (Gjerest; et al. 1997) ได้ศึกษาเรื่อง “การศึกษาความต้องการพลังงานแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในนักกีฬาระยะสั้น” มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในนักกีฬาระยะสั้น และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบแบบในสนาม (Field Test) และในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Test) โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาทีมชาติ ประเทศนอร์เวย์ จำนวน 14 คน เป็นเพศชาย 9 คน และหญิง 5 คน ผลการวิจัยพบว่า การใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในการวิ่งระยะสั้นและจุดเริ่มล้า มีการเริ่มสะสมกรดแลคติกอย่างรวดเร็วและจุดเริ่มล้าในนักกีฬาระยะสั้นในการทดสอบแบบในสนาม และในห้องปฏิบัติการมีความสัมพันธ์กัน

แทร็ป และคณะ (Trappe; et al. 1997) ได้ศึกษาเรื่อง “การใช้พลังงานของนักว่ายน้ำในขณะที่มีการฝึกด้วยความหนักสูง” มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานทั้งหมดของนักว่ายน้ำในขณะที่มีการฝึกด้วยความหนักสูง โดยวิธีการแบบ Doubly Labeled Water Method กลุ่มตัวอย่างเป็นนักว่ายน้ำหญิง 5 คน การฝึกแต่ละครั้งประกอบด้วย การฝึก 2 ช่วงต่อวัน ๆ ละ 5-6 ชั่วโมง มีการจดบันทึกการควบคุมอาหาร เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณของพลังงานที่ได้รับ และการใช้พลังงานในขณะพักที่ทำการวัดจากวันที่ไม่ได้รับการฝึก

ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดของนักว่ายน้ำในขณะที่ทำการฝึกมีค่า 5,593 กิโลแคลอรี และปริมาณพลังงานที่ได้รับ 3,136 กิโลแคลอรี ในขณะที่การใช้พลังงานในขณะพักมีค่า 1,840 กิโลแคลอรี ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของพลังงานนั้นไม่มีความสมดุลกัน ผลการศึกษาทำให้พบว่า ความต้องการพลังงานทั้งหมดในขณะที่มีการฝึกด้วยความหนักสูง อาจจะต้องใช้การควบคุมอาหารเข้ามาเกี่ยวข้องกับนักว่ายน้ำในขณะแข่งขันด้วย

เบงคีย์ และคณะ (Blanksby; et al. 1998) ได้ศึกษาเรื่อง “อัตราการเต้นหัวใจและประเมินการใช้พลังงานในขณะเดินรำ” ทำการศึกษาจากการแข่งขันเดินรำ โดยมีการเดินรำ 2 แบบ คือ แบบร่วมสมัย และแบบละตินอเมริกัน ทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะเดินรำ และวัดความสัมพันธ์ของออกซิเจนที่ได้รับกับอัตราการเต้นของหัวใจในขณะเดินบนลู่วิ่ง ทำในนักเดินรำจำนวน 10 คน จากการศึกษา สามารถประเมินค่าทั้งหมดของปริมาณการใช้ออกซิเจนได้ดังนี้ ในผู้ชาย การเดินแบบร่วมสมัย และแบบละตินอเมริกัน มีค่า 42.8 มล./กก./นาที่ และ 42.8 มล./กก./นาที่ ตามลำดับ ในผู้หญิง การเดินแบบร่วมสมัย และแบบละตินอเมริกัน มีค่า 34.7 มล./กก./นาที่ และ 36.1 มล./กก./นาที่ ตามลำดับ และปริมาณการใช้พลังงานในขณะเดินรำ ในผู้ชาย การเดินแบบร่วมสมัย และแบบละตินอเมริกัน มีค่า 54 กิโลจูล/นาที่ และ 54 กิโลจูล/นาที่ ตามลำดับ ในผู้หญิง การเดินแบบร่วมสมัย และแบบละตินอเมริกัน มีค่า 34.7 กิโลจูล/นาที่ และ 36.1 กิโลจูล/นาที่ ตามลำดับ

โรดาส และคณะ (Rodas; et al. 2000) ทำการศึกษาโปรแกรมการฝึกซ้อมแบบหนักสลับเบาที่มีความหนักสูง สามารถเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเผาผลาญอาหารแบบใช้ออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ โดยทำการประเมินการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเผาผลาญอาหารแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย หลังจากเข้าร่วมโปรแกรมการฝึกซ้อม 2 สัปดาห์ ด้วยการฝึกซ้อมหนักสลับเบาที่มีความหนักสูงทุกวัน ที่ประกอบด้วยช่วงการทำงานหนัก 2 เทียร์ ๆ ละ 15 วินาที สลับด้วยช่วงเวลาของการพัก 45 วินาที และตามด้วยช่วงการทำงานหนัก 2 เทียร์ ๆ ละ 30 วินาที สลับด้วยช่วงเวลาของการพัก 12 นาที และจะเพิ่มงานขึ้นทุก ๆ 2 ครั้งของการฝึกซ้อม การฝึกซ้อม 3 ครั้งสุดท้ายจะประกอบด้วย ช่วงการทำงานหนัก 7 เทียร์ ๆ ละ 15 วินาที และช่วงการทำงานหนัก 7 เทียร์ ๆ ละ 30 วินาที การศึกษาพบว่า ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2 \text{ max}$) เพิ่มขึ้นจาก 57 เป็น 64 มล./กก./นาที่ และมีการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการทำงานของ Citrate Synthase 38% และ 3-hydroxyacyl-CoA Dehydrogenase 60% ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการเผาผลาญอาหารดังกล่าว อาจจะทำให้เพิ่มอัตราการเผาผลาญไขมัน และลดการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะลดการสะสมของความเป็นกรดภายในกล้ามเนื้อ ฉะนั้น จึงสามารถปรับปรุงความสามารถทางด้านความอดทนของนักกีฬาให้เพิ่มขึ้นได้

งานวิจัยในประเทศ

พะเยาว์ ธัญญากร (2531: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “ความสัมพันธ์ระหว่างการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีจักรยานของออสตรานด์ และคลื่นไฟฟ้าหัวใจ” มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีจักรยานของออสตรานด์ และคลื่นไฟฟ้าหัวใจ กลุ่มตัวอย่างประชากรเป็นนักเรียนชายระดับมัธยมศึกษาตอนปลายของโรงเรียนอุดมศึกษาพัฒนาการ สังกัดกรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งอยู่ในอำเภอบางปะอิน กรุงเทพมหานคร จำนวน 97 คน มีอายุเฉลี่ย 16-19 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 56.97 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 169.60 เซนติเมตร อัตราชีพจรขณะพัก 82.27 ครั้ง/วินาที สมบูรณ์แข็งแรง และไม่ได้เป็นนักกีฬา ทำการทดสอบโดยการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีจักรยานของออสตรานด์ และคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อดูคลื่นอาร์ในลีด วี 5 ผลที่ได้จากการทดสอบได้นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติโดยใช้สูตรการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient) ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูป เอส พี เอส เอส เอ็กซ์ (SPSSX – Statistical Package for the Social Sciences Version X) ผลการวิจัยพบว่า ความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด และคลื่นอาร์ในลีด วี 5 ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.76 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

สุขใส จีระยา (2531: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “การเปรียบเทียบสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด ในการออกกำลังกายในระดับที่สูงจากน้ำทะเลต่างกัน” การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการออกกำลังกายในระดับที่สูงต่างกันที่มีต่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด เพื่อเปรียบเทียบผลการออกกำลังกายในระดับสูงปานกลางกับการออกกำลังกายในที่สูงน้อย กลุ่มตัวอย่างประชากรที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยวิธีจับคู่ (Matched Group) กลุ่มละ 10 คน ทั้งสองกลุ่มเป็นนักเรียนชายชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นโรงเรียนแม่จันวิทยาคม ทั้งสองกลุ่มทำการฝึกวิ่งเหยาะรอบสนามโดยให้ความหนักของงานเท่ากับ 70% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ทำการฝึก 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 4 วัน โดยเริ่มจากสัปดาห์แรกวิ่งวันละ 10 นาที แล้วเพิ่มขึ้นสัปดาห์ละ 5 นาที ไปจนครบ 8 สัปดาห์ กลุ่มที่หนึ่งไปทำการฝึกออกกำลังกายที่สนามโรงเรียนสันติคีรีวิทยา กลุ่มที่สองฝึกออกกำลังกายที่โรงเรียนแม่จันวิทยาคม ขณะทำการวัดสมรรถภาพทางกายในด้านความดันโลหิต และสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดเป็นระยะ ๆ คือ หลังจากฝึกสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และ 8 แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ตามวิธีสถิติ โดยการหาค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง และทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยวิธีของทูกี (เอ) ผลการวิจัยพบว่า การออกกำลังกายโดยการวิ่งเหยาะเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำให้สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดของทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การเปรียบเทียบผลการออกกำลังกายที่ระดับที่สูงต่างกัน พบว่าสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ณัฐจริย์ วิชเวช (2537: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “การศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่าง จลนศาสตร์ของการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายและแอนแอโรบิก เทรชโฮลด์” ผลการวิจัยพบว่า สหสัมพันธ์ระหว่างจลนศาสตร์ของการใช้ออกซิเจน มีความสัมพันธ์กับกลไกการควบคุมแอนแอโรบิก เทรชโฮลด์ มากกว่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด ดังนั้นจึงมีผลทำให้อัตราการใช้ออกซิเจนช้าลงขณะร่างกาย อยู่ในภาวะแอนแอโรบิก เทรชโฮลด์

ถนอมศักดิ์ เสนาคำ (2541: บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่อง “การใช้พลังงานในขณะแข่งขันของ นักกีฬาเซปักตะกร้อทีมชาติไทย” โดยศึกษาถึงความต้องการพลังงานในขณะแข่งขันเกมเซปักตะกร้อ ของนักกีฬาหญิงทีมชาติไทย จำนวน 15 คน โดยให้สวมเครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจแบบไร้สาย เพื่อ ทำการบันทึกอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขัน และหลังจากนั้นทำการทดสอบหาค่าการใช้ออกซิเจน สูงสุดของร่างกาย ($VO_2\max$) ข้อมูลอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างการเต้นหัวใจกับการใช้ออกซิเจนที่ได้จากการวัดในห้องทดลอง ได้สมการถดถอย เชิงเส้นตรงแต่ละคน และนำค่าไปคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานในขณะแข่งขัน

ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันมีค่าเฉลี่ย 140 ครั้ง/นาที อัตรา การใช้ออกซิเจนเฉลี่ย 22 มล/กก/นาที เทียบได้กับ 54% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย 42 มล/กก/นาที อัตราการใช้พลังงานตลอดเกมการแข่งขันเฉลี่ย 1,133 กิโลจูล (271 กิโลแคลอรี) และ ระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันคือ พลังงานระบบแอนแอโรบิก 25% พลังงานระบบแอนแอโรบิก – แอโรบิก 43% และพลังงานระบบแอโรบิก 32% (แอนแอโรบิก 75% และแอโรบิก 25%)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. แหล่งข้อมูลและกลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

แหล่งข้อมูลและกลุ่มตัวอย่าง

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาเนตบอลชุดชิงชนะเลิศเนตบอลเยาวชนแห่งประเทศไทย ณ ประเทศอินเดีย จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง
2. เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบโพลาไรทิม
3. โปรแกรมสำเร็จรูปของโพลาไรทิม
4. เครื่องคอมพิวเตอร์
5. นาฬิกาวัดอัตราการเต้นของหัวใจ
6. เครื่องวิเคราะห์แฮกส์
7. ลู่วิ่งกล
8. โปรแกรมสำเร็จในการคำนวณค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. จัดหาผู้ช่วยในการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งอธิบาย และสาธิตวิธีการต่าง ๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลให้เข้าใจในรายละเอียดของการทดสอบ ตลอดจนวิธีการปฏิบัติ และการบันทึกผลการทดสอบให้เข้าใจถูกต้องตรงกัน
2. จัดโปรแกรมการแข่งขัน โดยการแข่งขันนี้ให้เป็นไปตามกฎ กติกาการแข่งขันของสมาคมเนตบอลสมัครเล่นแห่งประเทศไทย
3. เตรียมอุปกรณ์ สถานที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล
4. ชี้แจงเพื่อให้กลุ่มตัวอย่างทั้ง 12 คน ทราบถึงวิธีดำเนินการทดลอง โดยอธิบายวัตถุประสงค์ และข้อปฏิบัติที่จำเป็นในการทดลอง และให้ผู้ทดลองปฏิบัติตามวิธีการที่กำหนด
5. ทำการทดสอบ
นำกลุ่มตัวอย่างทั้ง 12 คน มาทดสอบหาความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจนและอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Measurement of $VO_2\max$ and HRmax) ก่อนโปรแกรมการแข่งขัน 1 สัปดาห์

ผู้เข้ารับการทดลองทำการทดลองหาค่า $VO_2\max$ และ HRmax โดยขึ้นวิ่งบนลู่วิ่งไฟฟ้า (Electrical Treadmill) โดยความเร็ว (Speed) ของลู่วิ่งไฟฟ้าจะถูกปรับตั้งก่อนการทดสอบ

วิธีการทดสอบ $VO_2\max$ และ HRmax (The Bruce Treadmill Protocol)

ผู้เข้ารับการทดลองอบอุ่นร่างกายบนลู่วิ่งไฟฟ้า ที่ระดับความชันเป็นศูนย์ ระดับความเร็ว 1.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเพิ่มความชันขึ้น 0.5 ที่ความเร็วเท่าเดิม เป็นเวลา 3 นาที ที่เป็นระดับเริ่มต้นของกระบวนการต่อไป หลังจากนั้นให้ปรับความชันขึ้น 1 ระดับ และปรับความเร็วขึ้น 1.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมงทุก ๆ 3 นาที จนกระทั่งผู้เข้ารับการทดลองมีค่าตามเกณฑ์ 3 ใน 5 ข้อ ดังนี้

1. อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 มล./นาที เมื่อมีการเพิ่มความเร็วขึ้นอีกระดับหนึ่ง
2. อัตราส่วนระหว่าง CO_2 ต่อ O_2 (RER) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.1
3. ค่าความรู้สึกความเหนื่อยล้าสัมพัทธ์ (RPE) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 18
4. อัตราการเต้นหัวใจของผู้เข้ารับการทดลองมีความแตกต่าง $\pm 5\%$ ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ($220 - \text{อายุ}$)
5. ผู้เข้ารับการทดลองหมดแรง

การวัดอัตราการเผาผลาญพลังงานเพื่อหาค่า $VO_2\max$ ใช้วิธีการวัดอัตราการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect Calorimetry) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer, Cosmed PFT Ergo) ก่อนการทดสอบในแต่ละครั้งจะทำการปรับตั้งออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยการใช้แก๊สที่มีความเข้มข้นตามคู่มือเครื่องวิเคราะห์แก๊สแนะนำ ($12\%O_2$, $6\%CO_2$ และ Nitrogen Balance) และปรับตั้งอัตราการไหลของแก๊ส (Flow Meter) โดยการใช้กระบอกบรรจุอากาศ 3 ลิตร (3-L Syringe)

อุณหภูมิห้อง ความชื้นสัมพัทธ์ แรงดันบรรยากาศ ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องวิเคราะห์แก๊ส และจดบันทึกค่าลงในโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

6. ทำการวัดอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันทั้งหมด 4 ครั้ง

6.1 จากกลุ่มตัวอย่าง 12 คน 7 ตำแหน่งการเล่น มีการแข่งขันในตำแหน่งการเล่นนั้น ตำแหน่ง ๆ ละ 4 คน

6.2 ใช้เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบโพลาร์ทีม (Polar Team System) โดยใส่ให้กับนักกีฬาแต่ละตำแหน่ง

6.3 โดยทำการแข่งขันทั้งหมด 4 ควอเตอร์ ควอเตอร์ละ 15 นาที พัก 3 นาที ระหว่างควอเตอร์ที่ 1 และ 2 และควอเตอร์ที่ 3 และ 4 และพัก 5 นาที ระหว่างควอเตอร์ที่ 2 และ 3

7. นำผลการทดสอบความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) ที่ทำการวัดในห้องทดลองมาคำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง HR- VO_2 หลังจากนั้น นำอัตราการเต้นหัวใจ (HR) จากการแข่งขันทั้ง 4 ครั้ง มาคำนวณหาปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO_2) ในขณะแข่งขันโดยคำนวณจากสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง HR- VO_2 ที่ได้คำนวณไว้ก่อนหน้านี้

8. นำผลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานในขณะแข่งขัน โดยสามารถคำนวณดังนี้

$$\text{Exp.} = VO_2 \text{ uptake} \times \text{RER} \quad (\text{kcal/min})$$

$$\text{Exp.} = VO_2 \text{ uptake} \times \text{RER} \times \text{Time} \quad (\text{kcal})$$

$$\text{RER} = \text{Respiratory exchange ratio, (This study RER was assumed that} = 1.00)$$

การปรับเปลี่ยนค่าของอัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2) ให้เป็นปริมาณการใช้พลังงาน คือ $1L \text{ of } O_2 = 5 \text{ kcal (20.9 kJ)}$ (Scott, C. B. 1997)

9. ในการหาระบบพลังงานแอโรบิก (Aerobic System) หรือระบบแอนแอโรบิก (Anaerobic System) ที่ใช้ในช่วงแข่งขันนั้น ใช้การหาระบบพลังงานด้วยการวัดการระบายอากาศ (Ventilatory Threshold) ซึ่งคำนวณโดยวิธีการ V-Slope Method

การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้รวบรวมได้มาทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS : Statistical Package for the Social Science) ดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของค่าที่ได้จากการวัดปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่งการเล่น
2. เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่งการเล่น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบอิสระ โดยวิธีของ Kruskal – Wallis
3. ภายหลังการวิเคราะห์ หากพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการทดสอบค่าความแตกต่าง ระหว่างค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยวิธีของ Mann – Whitney U ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่อง การใช้พลังงานของนักกีฬาเนตบอล ผู้วิจัยได้นำผลปริมาณการใช้พลังงานของนักกีฬาเนตบอล มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอ ดังต่อไปนี้

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) และจุดเริ่มล้า (AT) ของนักกีฬาเนตบอล

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจ (HR) ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2) ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) และเปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (% $VO_2\max$) ขณะแข่งขันของนักกีฬาเนตบอล

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณการใช้พลังงานรวมขณะแข่งขัน (กิโลแคลอรี) ของนักกีฬาเนตบอล ในควอเตอร์ 1 ควอเตอร์ 2 ควอเตอร์ 3 ควอเตอร์ 4 และรวมทั้งเกมการแข่งขัน

ตาราง 4 เปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่งการเล่น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบอิสระ โดยวิธีของ Kruskal – Wallis

ตาราง 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันของนักกีฬาเนตบอลรวมทั้งเกมการแข่งขัน

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

N	แทน	จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง
M	แทน	ค่าเฉลี่ย
S.D.	แทน	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
P	แทน	ความน่าจะเป็นในการบอกนัยสำคัญ
*	แทน	นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) และจุดเริ่มล้ม (AT) ของนักกีฬาเนตบอล

จำนวนนักกีฬา		อายุ (ปี)	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	$VO_2\max$ (มล./กก./นาที)	HRmax (ครั้ง/นาที)	AT (ครั้ง/นาที)
12	M	18	61	173	34.32	202	173
	S.D.	3	6	7	5.94	3	4

จากตาราง 1 พบว่า นักกีฬาเนตบอลมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุเท่ากับ 18 ± 3 น้ำหนักเท่ากับ 61 ± 6 ส่วนสูงเท่ากับ 173 ± 7 ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) เท่ากับ 34.32 ± 5.94 อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (HRmax) เท่ากับ 202 ± 3 และจุดเริ่มล้ม (AT) เท่ากับ 173 ± 4

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจ (HR) ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2) ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_{2max}) และเปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (% VO_{2max}) ขณะแข่งขันของนักกีฬาเนตบอล

ตำแหน่งการเล่น	N		HR (bpm)	VO_2 (ml/kg/min)	VO_{2max} (ml/kg/min)	% VO_{2max}
รวม 7 ตำแหน่ง	12	M	151	22.16	34.32	64.57
		S.D.	7	4.73	5.94	11.50
ผู้ยิงประตู (GS)	4	M	139	13.54	33.85	40.00
		S.D.	5	2.15	10.13	6.53
ผู้รุกประตู (GA)	4	M	150	21.15	34.83	60.72
		S.D.	1	1.00	9.13	3.04
ผู้รุกทางปีก (WA)	4	M	155	23.56	35.77	65.87
		S.D.	6	1.70	3.86	4.85
ผู้เล่นเซนเตอร์ (C)	4	M	160	28.14	37.42	75.20
		S.D.	4	1.86	2.46	4.97
ผู้ป้องกันทางปีก (WD)	4	M	157	23.62	36.04	65.54
		S.D.	7	1.72	4.68	4.77
ผู้ป้องกันประตู (GD)	4	M	153	25.60	37.99	67.38
		S.D.	3	1.36	6.96	3.70
ผู้รักษาประตู (GK)	4	M	145	19.52	36.93	53.00
		S.D.	1	0.48	3.96	1.30

จากตาราง 2 พบว่า นักกีฬาเนตบอลมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นหัวใจ (HR) ความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2) ความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($\text{VO}_{2\text{max}}$) และเปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($\% \text{VO}_{2\text{max}}$) ขณะแข่งขันดังนี้

รวม 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 151 ± 7 22.16 ± 4.73 34.32 ± 5.94 และ 64.57 ± 11.50 ตามลำดับ

ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 139 ± 5 13.54 ± 2.15 33.85 ± 10.13 และ 40.00 ± 6.53

ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รุกประตู (GA) เท่ากับ 150 ± 1 21.15 ± 1.00 34.83 ± 9.13 และ 60.72 ± 3.04

ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รุกทางปีก (WA) เท่ากับ 155 ± 6 23.56 ± 1.70 35.77 ± 3.86 และ 65.87 ± 4.85 ตามลำดับ

ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 160 ± 4 28.14 ± 1.86 37.42 ± 2.46 และ 75.20 ± 4.97 ตามลำดับ

ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 157 ± 7 23.62 ± 1.72 36.04 ± 4.68 และ 65.54 ± 4.77 ตามลำดับ

ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 153 ± 3 25.60 ± 1.36 37.99 ± 6.96 และ 67.38 ± 3.70 ตามลำดับ

และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 145 ± 1 19.52 ± 0.48 36.93 ± 3.96 และ 53.00 ± 1.30 ตามลำดับ

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณการใช้พลังงานรวมขณะแข่งขัน (กิโลแคลอรี)
ของนักกีฬาเนตบอล ในควอเตอร์ 1 ควอเตอร์ 2 ควอเตอร์ 3 ควอเตอร์ 4 และรวมทั้งเกม
การแข่งขัน

ตำแหน่ง การเล่น	N		ควอเตอร์ 1 (kcal total)	ควอเตอร์ 2 (kcal total)	ควอเตอร์ 3 (kcal total)	ควอเตอร์ 4 (kcal total)	รวมทั้งเกม (kcal total)
รวม 7 ตำแหน่ง	12	M	103.37	106.58	97.73	98.61	407.70
		S.D.	19.79	16.57	20.69	14.40	68.19
ผู้ยิงประตู (GS)	4	M	73.80	85.73	57.00	74.05	295.80
		S.D.	23.10	24.75	0.00	30.30	104.40
ผู้รุกประตู (GA)	4	M	88.28	87.45	93.23	96.50	357.30
		S.D.	40.95	35.10	48.30	42.60	162.60
ผู้รุกทางปีก (WA)	4	M	97.50	118.05	102.30	97.46	426.75
		S.D.	1.95	15.90	19.65	16.95	66.00
ผู้เล่นเซนเตอร์ (C)	4	M	126.60	125.25	117.00	117.45	486.40
		S.D.	22.50	26.10	20.25	31.65	97.80
ผู้ป้องกันทาง ปีก (WD)	4	M	119.72	114.70	106.00	95.50	435.80
		S.D.	27.60	23.55	21.30	23.25	92.40
ผู้ป้องกันประตู (GD)	4	M	122.00	119.65	117.38	114.60	475.05
		S.D.	36.60	32.55	22.80	25.95	99.60
ผู้รักษาประตู (GK)	4	M	95.70	95.20	91.20	94.70	376.80
		S.D.	19.05	22.05	17.55	13.80	72.00

จากตาราง 3 พบว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณการใช้พลังงานรวมขณะแข่งขัน (กิโลแคลอรี) ของนักกีฬาเณตบอล ในควอเตอร์ 1 ควอเตอร์ 2 ควอเตอร์ 3 ควอเตอร์ 4 และรวมทั้งเกมการแข่งขันครั้งนี้ รวม 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 103.37 ± 19.79 106.58 ± 16.57 97.73 ± 20.69 98.61 ± 14.40 และ 407.70 ± 68.19 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 73.80 ± 23.10 85.73 ± 24.75 57.00 ± 0.00 74.05 ± 30.30 และ 295.80 ± 104.40 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รักษาประตู (GA) เท่ากับ 88.28 ± 40.95 87.45 ± 35.10 93.23 ± 48.30 96.50 ± 42.60 และ 357.30 ± 162.60 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รักษาทางปีก (WA) เท่ากับ 97.50 ± 1.95 118.05 ± 15.90 102.30 ± 19.65 97.46 ± 16.95 และ 426.75 ± 66.00 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 126.60 ± 22.50 125.25 ± 26.10 117.00 ± 20.25 117.45 ± 31.65 และ 486.40 ± 97.80 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 119.72 ± 27.60 114.70 ± 23.55 106.00 ± 21.30 95.50 ± 23.25 และ 435.80 ± 92.40 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 122.00 ± 36.60 119.65 ± 32.55 117.38 ± 22.80 114.60 ± 25.95 และ 475.05 ± 99.60 ตามลำดับ และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 95.70 ± 19.05 95.20 ± 22.05 91.20 ± 17.55 94.70 ± 13.80 และ 376.80 ± 72.00 ตามลำดับ

ตาราง 4 เปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่งการเล่น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบอิสระ โดยวิธีของ Kruskal – Wallis

การแจกแจง แบบอิสระ	ควอเตอร์ 1	ควอเตอร์ 2	ควอเตอร์ 3	ควอเตอร์ 4	รวมทั้งเกม
P	.271	.422	.162	.444	.279

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 4 พบว่า นักกีฬาเนตบอลในแต่ละตำแหน่งการเล่นมีปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขัน ทั้งในควอเตอร์ 1 ควอเตอร์ 2 ควอเตอร์ 3 ควอเตอร์ 4 และรวมทั้งเกมการแข่งขัน ไม่แตกต่างกัน

ตาราง 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันของนักกีฬา
เนตบอลรวมทั้งเกมการแข่งขัน

		ระบบแอนแอโรบิก-			
ตำแหน่ง		ระบบแอนแอโรบิก		แอโรบิก	ระบบแอโรบิก
การเล่น	N	(Anaerobic System)		(Anaerobic-	(Aerobic System)
		(%)		Aerobic System)	(%)
		(%)			
รวม 7 ตำแหน่ง	12	M	18	60	22
		S.D.	4	8	9
ผู้ยิงประตู	4	M	13	59	28
(GS)		S.D.	4	14	9
ผู้รุกประตู	4	M	17	68	15
(GA)		S.D.	7	19	6
ผู้รุกทางปีก	4	M	22	68	10
(WA)		S.D.	9	18	4
ผู้เล่นเซนเตอร์	4	M	18	60	22
(C)		S.D.	7	21	5
ผู้ป้องกันทางปีก	4	M	26	50	24
(WD)		S.D.	11	16	9
ผู้ป้องกันประตู	4	M	17	67	16
(GD)		S.D.	7	18	6
ผู้รักษาประตู	4	M	15	49	36
(GK)		S.D.	5	13	10

จากตาราง 5 พบว่า นักกีฬาเนตบอลรวมทั้งเกมการแข่งขันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขัน คือ ระบบแอนแอโรบิก ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก และระบบแอโรบิก ดังนี้ รวม 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 18 ± 4 60 ± 8 และ 22 ± 9 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 13 ± 4 59 ± 14 และ 28 ± 9 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รักษาประตู (GA) เท่ากับ 17 ± 7 68 ± 19 และ 15 ± 6 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รุกทางปีก (WA) เท่ากับ 22 ± 9 68 ± 18 และ 10 ± 4 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 18 ± 7 60 ± 21 และ 22 ± 5 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 26 ± 11 50 ± 16 และ 24 ± 9 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 17 ± 7 67 ± 18 และ 16 ± 6 ตามลำดับ และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 15 ± 5 49 ± 13 และ 36 ± 10 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายและข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมาย สมมุติฐาน และวิธีการศึกษาค้นคว้า

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอล ในแต่ละตำแหน่งการเล่น

ความสำคัญของการวิจัย

ผลจากการศึกษาทำให้ทราบการใช้พลังงานในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอล ในแต่ละตำแหน่งการเล่น และเป็นแนวทางในการจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมให้กับผู้ฝึกสอนเนตบอล โดยสามารถจัดโปรแกรมการฝึกซ้อมให้ถูกต้อง และเหมาะสมยิ่งขึ้น อีกทั้งข้อมูลนี้อาจเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ไปใช้เป็นข้อมูลประกอบเพื่อศึกษาค้นคว้า และพัฒนากีฬาเนตบอลต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาเนตบอลชุดชิงชนะเลิศเนตบอลเยาวชนแห่งประเทศไทย ณ ประเทศอินเดีย จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

1. ตัวแปรอิสระ คือ นักกีฬาเนตบอลแต่ละตำแหน่ง ทั้งหมด 7 ตำแหน่ง ได้แก่ ผู้ยิงประตู (Goal Shooter : GS), ผู้รุกประตู (Goal Attack : GA), ผู้รุกทางปีก (Wing Attack : WA), ผู้เล่นเซนเตอร์ (Center : C), ผู้ป้องกันทางปีก (Wing Defence : WD), ผู้ป้องกันประตู (Goal Defence : GD), และ ผู้รักษาประตู (Goal Keeper : GK)
2. ตัวแปรตาม คือ ปริมาณการใช้พลังงานในขณะแข่งขัน (Energy Expenditure)

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. จัดสถานการณ์การแข่งขันเหมือนการแข่งขันจริงจำนวน 4 ครั้ง
2. ไม่มีการควบคุมในเรื่องอาหาร การมีประจำเดือน และการปฏิบัติตนในชีวิตประจำวัน
อื่น ๆ
3. ก่อนการแข่งขัน 1 วัน นักกีฬาต้องมีการพักผ่อนอย่างน้อย 7 ชั่วโมง
4. ในการแข่งขันนั้น นักกีฬาต้องแข่งขัน 2 คิวเตอร์ ต่อเนื่องกันจำนวน 3 ครั้ง และ
4 คิวเตอร์ ต่อเนื่องกันจำนวน 1 ครั้ง โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งการเล่น

สมมติฐานในการวิจัย

การใช้พลังงาน (Energy Expenditure) ในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอล ในแต่ละตำแหน่งการเล่น มีความแตกต่างกัน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูง
2. เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบโพลาไรทิม
3. โปรแกรมสำเร็จรูปของโพลาไรทิม
4. เครื่องคอมพิวเตอร์
5. นาฬิกาวัดอัตราการเต้นของหัวใจ
6. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส
7. ลู่วิ่งกล
8. โปรแกรมสำเร็จในการคำนวณค่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด

การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS : Statistical Package for the Social Science) ดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของค่าที่ได้จากการวัดปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่งการเล่น
2. เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่งการเล่น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบอิสระ โดยวิธีของ Kruskal – Wallis
3. ภายหลังการวิเคราะห์ หากพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะทำการทดสอบค่าความแตกต่าง ระหว่างค่าเฉลี่ยเป็นรายคู่ โดยวิธีของ Mann – Whitney U ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการศึกษาค้นคว้า

1. นักกีฬาเนตบอลมีค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นหัวใจ (HR) ขณะแข่งขันดังนี้ รวม 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 151 ± 7 ครั้ง/นาที ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 139 ± 5 ครั้ง/นาที ตำแหน่งผู้รุกประตู (GA) เท่ากับ 150 ± 1 ครั้ง/นาที ตำแหน่งผู้รุกทางปีก (WA) เท่ากับ 155 ± 6 ครั้ง/นาที ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 160 ± 4 ครั้ง/นาที ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 157 ± 7 ครั้ง/นาที ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 153 ± 3 ครั้ง/นาที และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 145 ± 1 ครั้ง/นาที
2. นักกีฬาเนตบอลมีค่าเฉลี่ยของความสามารถในการใช้ออกซิเจน (VO_2) ขณะแข่งขันดังนี้ รวม 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 22.16 ± 4.73 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 13.54 ± 2.15 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้รุกประตู (GA) เท่ากับ 21.15 ± 1.00 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้รุกทางปีก (WA) เท่ากับ 23.56 ± 1.70 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 28.14 ± 1.86 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 23.62 ± 1.72 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 25.60 ± 1.36 มล./กก./นาที และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 19.52 ± 0.48 มล./กก./นาที
3. นักกีฬาเนตบอลมีค่าเฉลี่ยของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (VO_{2max}) ขณะแข่งขันดังนี้ รวม 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 34.32 ± 5.94 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 33.85 ± 10.13 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้รุกประตู (GA) เท่ากับ 34.83 ± 9.13 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้รุกทางปีก (WA) เท่ากับ 35.77 ± 3.86 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 37.42 ± 2.46 มล./กก./นาที ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 36.04 ± 4.68 มล./กก./นาที ตำแหน่ง

ผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 37.99 ± 6.96 มล./กก./นาที และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 36.93 ± 3.96 มล./กก./นาที

4. นักกีฬาเนตบอลมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน (% VO_2max) ขณะแข่งขันดังนี้ รวม 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 64.57 ± 11.50 % ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 40.00 ± 6.53 % ตำแหน่งผู้รุกประตู (GA) เท่ากับ 60.72 ± 3.04 % ตำแหน่งผู้รุก ทางปีก (WA) เท่ากับ 65.87 ± 4.85 % ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 75.20 ± 4.97 % ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 65.54 ± 4.77 % ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 67.38 ± 3.70 % และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 53.00 ± 1.30 %

5. ค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้พลังงานรวมขณะแข่งขัน (กิโลแคลอรี) ของนักกีฬาเนตบอล ในควอเตอร์ 1 ควอเตอร์ 2 ควอเตอร์ 3 ควอเตอร์ 4 และรวมทั้งเกมการแข่งขันดังนี้ รวม 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 103.37 ± 19.79 106.58 ± 16.57 97.73 ± 20.69 98.61 ± 14.40 และ 407.70 ± 68.19 ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 73.80 ± 23.10 85.73 ± 24.75 57.00 ± 0.00 74.05 ± 30.30 และ 295.80 ± 104.40 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รุกประตู (GA) เท่ากับ 88.28 ± 40.95 87.45 ± 35.10 93.23 ± 48.30 96.50 ± 42.60 และ 357.30 ± 162.60 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รุกทางปีก (WA) เท่ากับ 97.50 ± 1.95 118.05 ± 15.90 102.30 ± 19.65 97.46 ± 16.95 และ 426.75 ± 66.00 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 126.60 ± 22.50 125.25 ± 26.10 117.00 ± 20.25 117.45 ± 31.65 และ 486.40 ± 97.80 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 119.72 ± 27.60 114.70 ± 23.55 106.00 ± 21.30 95.50 ± 23.25 และ 435.80 ± 92.40 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 122.00 ± 36.60 119.65 ± 32.55 117.38 ± 22.80 114.60 ± 25.95 และ 475.05 ± 99.60 ตามลำดับ และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 95.70 ± 19.05 95.20 ± 22.05 91.20 ± 17.55 94.70 ± 13.80 และ 376.80 ± 72.00 ตามลำดับ

6. ปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Expenditure) ในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอล ในแต่ละตำแหน่งการเล่น ไม่แตกต่างกัน

7. ค่าเฉลี่ยของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันของนักกีฬาเนตบอลรวมทั้งเกมการแข่งขัน คือ ระบบแอนแอโรบิก ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก และระบบแอโรบิก ดังนี้ รวม 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 18 ± 4 60 ± 8 และ 22 ± 9 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 13 ± 4 59 ± 14 และ 28 ± 9 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รุกประตู (GA) เท่ากับ 17 ± 7 68 ± 19 และ 15 ± 6 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้รุกทางปีก (WA) เท่ากับ 22 ± 9 68 ± 18 และ 10 ± 4 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 18 ± 7 60 ± 21 และ 22 ± 5 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 26 ± 11 50 ± 16

และ 24 ± 9 ตามลำดับ ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 17 ± 7 67 ± 18 และ 16 ± 6 ตามลำดับ และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 15 ± 5 49 ± 13 และ 36 ± 10 ตามลำดับ

อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยเรื่องการใช้พลังงานของนักกีฬาเนตบอล โดยการทดสอบหาค่าความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) และทำการทดสอบโดยให้สวมเครื่องวัดอัตราการเต้นหัวใจแบบไร้สาย เพื่อทำการบันทึกอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขัน ข้อมูลอัตราการเต้นหัวใจในขณะแข่งขันนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเต้นหัวใจกับการใช้ออกซิเจนที่ได้จากการวัดในห้องทดลอง ได้สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแต่ละคน และนำค่าไปคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานในขณะแข่งขัน แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้พลังงานรวมขณะแข่งขัน (กิโลแคลอรี) ของนักกีฬาเนตบอลรวมทั้งเกมการแข่งขันครั้งนี้รวมทั้ง 7 ตำแหน่ง เท่ากับ 408 กิโลแคลอรี ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) เท่ากับ 296 กิโลแคลอรี ตำแหน่งผู้รุกประตู (GA) เท่ากับ 357 กิโลแคลอรี ตำแหน่งผู้รุกทางปีก (WA) เท่ากับ 427 กิโลแคลอรี ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) เท่ากับ 486 กิโลแคลอรี ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) เท่ากับ 436 กิโลแคลอรี ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) เท่ากับ 475 กิโลแคลอรี และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) เท่ากับ 377 กิโลแคลอรี ซึ่งเห็นได้จากนักกีฬาเนตบอลในแต่ละตำแหน่งการเล่นมีพื้นที่การเล่นที่ใกล้เคียงกัน และหากพิจารณาถึงลักษณะการเล่นของแต่ละตำแหน่งแล้วผู้เล่นต้องมีการเคลื่อนไหวร่างกายอยู่ตลอดเวลา โดยการใช้ความเร็วและความคล่องตัวในการเล่นที่ สิ่งสำคัญคือ การกระโดดตบบอล การเคลื่อนที่หลบหลีกไปรับบอลอย่างรวดเร็ว และการป้องกันอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่มีช่วงเวลาของการเล่นและการพัก ซึ่งเป็นธรรมชาติของกีฬาชนิดนี้ กีฬาเนตบอลเป็นเกมที่มีลักษณะการเล่นแบบหนักสลับเบา (Interval) เป็นการผสมผสานกันของการวิ่งเร็วในช่วงสั้นๆ การกระโดด และการเคลื่อนที่หลบหลีกสลับกับช่วงเวลาของการพัก โดยการวิ่งเหยาะในเขตของการยิงประตูและในขณะที่ไม่ได้ป้องกัน ทำให้นักกีฬาในแต่ละตำแหน่งมีการทำงานของกล้ามเนื้อและการใช้ออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา ซึ่งสามารถอธิบายได้จาก คำกล่าวของ ภนารี พานเพียรศิลป์ ที่กล่าวถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาซึ่งประกอบด้วย ความเข้มข้นของการออกกำลังกาย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย อัตราความเร็วของการออกกำลังกาย และทักษะและประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ

การวัดอัตราการเต้นหัวใจอย่างต่อเนื่องระหว่างเกมการแข่งขัน เพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานจากอัตราการเต้นหัวใจแล้ว ยังเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานในระหว่างเกมการแข่งขันอีกด้วย จากการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขัน

ของนักกีฬาเนตบอลรวมทั้งเกมการแข่งขันมีดังนี้ รวมทั้ง 7 ตำแหน่ง ใช้ระบบแอนแอโรบิก 18% ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก 60% และระบบแอโรบิก 22% ตำแหน่งผู้ยิงประตู (GS) ใช้ระบบแอนแอโรบิก 13% ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก 59% และระบบแอโรบิก 28% ตำแหน่งผู้รุกประตู (GA) ใช้ระบบแอนแอโรบิก 17% ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก 68% และระบบแอโรบิก 15% ตำแหน่งผู้รุกทางปีก (WA) ใช้ระบบแอนแอโรบิก 22% ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก 68% และระบบแอโรบิก 10% ตำแหน่งผู้เล่นเซนเตอร์ (C) ใช้ระบบแอนแอโรบิก 18% ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก 60% และระบบแอโรบิก 22% ตำแหน่งผู้ป้องกันทางปีก (WD) ใช้ระบบแอนแอโรบิก 26% ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก 50% และระบบแอโรบิก 24% ตำแหน่งผู้ป้องกันประตู (GD) ใช้ระบบแอนแอโรบิก 17% ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก 67% และระบบแอโรบิก 16% และตำแหน่งผู้รักษาประตู (GK) ใช้ระบบแอนแอโรบิก 15% ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก 49% และระบบแอโรบิก 36% สิ่งที่ต้องตระหนักอีกอย่างหนึ่งคือ ความแตกต่างของแต่ละบุคคลซึ่งมีค่อนข้างมาก ในแง่ของการผลิตพลังงานรวม และพลังงานในเชิงแอโรบิกและแอนแอโรบิกที่จะนำมาใช้ในเกมการแข่งขัน เนื่องจากความหลากหลายในปัจจุบันที่กระทบต่อความหนักของการออกกำลังกาย เช่น แรงจูงใจ ความวิตกกังวล ความสามารถทางร่างกาย ข้อจำกัดทางกลยุทธในการเล่น และตำแหน่งการเล่นในทีม ซึ่งสอดคล้อง Bjorn กล่าวว่า อัตราการเต้นหัวใจไม่ได้สะท้อนให้เห็นถึงค่าการใช้ออกซิเจนอย่างแท้จริงเสมอไป เช่น อัตราการเต้นหัวใจจะแสดงค่าที่สูงเกินไป ในระหว่างที่กล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบคงที่ การออกกำลังกายโดยใช้กลุ่มกล้ามเนื้อเล็กๆ หรือภายใต้ความกดดันทางจิตใจ ตลอดจนสภาพอากาศร้อน เป็นต้น เห็นได้จากการศึกษานี้พลังงานส่วนใหญ่ที่ได้มาจากระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก ซึ่งธรรมชาติของกีฬาเนตบอลผู้เล่นโดยทั่วไปจะมีช่วงระยะเวลาของการทำงานอย่างน้อย 15 วินาที ก่อนที่จะมีช่วงของการพัก โดยทั่วไปจะมีการวิ่งเร็วในช่วงสั้นๆ สลับกับช่วงเวลาของการพักระยะสั้นๆ ซึ่งในการเล่นแบบหนักสลับเบา (Interval) นี้แหล่งที่มาของระบบพลังงานคือแอโรบิกและแอนแอโรบิก จากข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำมาพัฒนาปรับปรุงรูปแบบการฝึกให้เหมาะสม และนำแบบฝึกที่ได้ไปพัฒนาความสามารถของนักกีฬาให้ถึงจุดสูงสุดต่อไป

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวน 12 คนเท่านั้น ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยเกินไปสำหรับศึกษาการใช้พลังงานในขณะแข่งขันกีฬาเนตบอล ทั้งนี้ควรมีการเพิ่มจำนวนให้มากขึ้นและควรมีการศึกษาในนักกีฬาเนตบอลกลุ่มอื่นๆ ด้วย เช่น รุ่นอายุไม่เกิน 14 ปี รุ่นอายุไม่เกิน 16 ปี รุ่นอายุไม่เกิน 18 ปี และชุดทีมชาติไทย

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในการศึกษาครั้งต่อไป กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานั้น ควรมีการกำหนดตำแหน่งในการเล่นให้เฉพาะเจาะจง (1 คน ต่อ 1 ตำแหน่ง) โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนตำแหน่งเลยตลอดเกมการแข่งขัน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กติกานุตบอล. (2546). งานวิชาการ กองการฝึกอบรม สำนักพัฒนาบุคลากรกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย.
- ชูศักดิ์ เวชแพทย์; และกันยา ปาละวิวัฒน์. (2528). *สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.
- . (2536). *สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ธรรมการพิมพ์.
- ชูศักดิ์ เวชแพทย์. (2536). *กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยาของการออกกำลังกาย*. กรุงเทพฯ: ธรรมการพิมพ์.
- ณัฐจริย วิชเวช. (2534). *การศึกษาสัมพันธ์ระหว่างจลนศาสตร์ของการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายและแอนแอโรบิค เทรนโฮลด์*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- ประทุม ม่วงมี. (2527). *รากฐานทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกายและพลศึกษา*. กรุงเทพฯ: บุรพาสาน.
- พะเยาว์ ธนัญญากร. (2531). *ความสัมพันธ์ระหว่างการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยจักรยานของฮอสตรานด์และคลื่นไฟฟ้าหัวใจ*. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (พลศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- ภานารี พานเพียรศิลป์. (2541). *สรีรวิทยาของการออกกำลังกายต่อระบบกล้ามเนื้อ*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สนธยา สีละมาด. (2547). *หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุขไสว จีระยา. (2531). *การเปรียบเทียบสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดในการออกกำลังกายในที่สูงจากระดับน้ำทะเลต่างกัน*. วิทยานิพนธ์ ค.ม. (พลศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- สุปราณี ขวัญบุญจันทร์. (2547). *เอกสารการฝึกอบรมผู้ฝึกกีฬาเนตบอล*. กรุงเทพฯ: สมาคมกีฬาเนตบอลสมัครเล่นแห่งประเทศไทยร่วมกับสำนักพัฒนาการกีฬาและนันทนาการ.
- สุปราณี ขวัญบุญจันทร์; และ มยุรี ศุภวิบูลย์, ผู้แปล. (2545). *กติกากีฬาเนตบอล*. กรุงเทพฯ: สมาคมกีฬาเนตบอลสมัครเล่นแห่งประเทศไทย.

อนรรติ มีเพชร. (2539). ผลของการวัดแบบลิคที่มีต่อการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกและการฟื้นตัว.

วิทยานิพนธ์ ค.ด. (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
ถ่ายเอกสาร.

American College of Sports Medicine (ACSM): Guidelines for Exercise Testing and Prescription. (1991). 4th ed. Philadelphia: Lea & Febiger.

Anaerobic Threshold Testing. (2002, May). Retrieved May 22, 2002, from

<http://www.rice.edu/jenkey/sports/anaerobicthreshold.html>

Astrand, P. O.; & Ryhming, I. (1954). A Monogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness) from Pulse Rate During Submaximal Work. *Journal of Applied Physiology.* (7): 218-221.

Astrand, P. O.; & Saltin, B. (1961). Maximal Oxygen Uptake and Heart Rate in Various Types of Muscular Activity. *Journal of Applied Physiology.* (16): 997-981.

Bailey, D. A.; Shephard, R. J.; & Mirwald, R. L. (1976). Validation of a self-Administered Home Test of Cardiorespiratory Fitness. *Canadian Journal of Applied Sports Science.* (1): 67-78.

Blahnsby, B. A.; & Reidy, P. W. (1998). Heart Rate and Estimated Energy Expenditure During Ballroom Dancing. *British Association of Sport and Medicine.* 22(2): 57-60.

Boning, D.; Clasing, D.; & Weleker, H. (1994). *Stellenwertder Laktatbestimmung in der.* Stuttgart: Guster Fischer.

Conconi Test. (2003, February). Retrieved February 25, 2003, from

<http://www.geocitiess.com/Hotsprings/3257/conconi.html>

Conconi, F.; et al. (1982, March). Determination of the Anaerobic Threshold by a Noninvasive Field Test for Runner. *Journal of Applied Physiology.* (56): 896-873.

Cox, M. H. (1992). Reliability and Validity of a Fitness Assessment for Epidemiological Studies. *Canadian Journal of Sports Science.* (17): 49-55.

Craig, N. P.; et al. (1995, February). Influence of Test Duration and Event Specificity on Maximal Accumulated Oxygen Deficit of High Performance Track Cyclist. *Journal of Sports Medicine.* (8): 534-544.

Gjerest, A.; Johansen, E.; & Moser, T. (1997, August). Aerobic and Anaerobic Demands in Short Distance Orienteering. *Scientific Journal of Orienteering.* (13): 4-25.

- Hooly, R. G. (1988). Measurement of the Maximal Rate of Oxygen Uptake. *Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. pp. 171-177. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Huddle, P. (2001, March). *Determining Anaerobic Threshold*. Retrieved March 10, 2001, from <http://www.multisports.com>
- Jackson, A.; et al. (1990). An Analysis of the Validity of the Three-mile Run as a Field Test of Aerobic Capacity in College Males. *Research Quarterly for Exercise and Sports*. (6): 233-237.
- Jerry, D. (2000, June). *Anaerobic Threshold Training*. Retrieved June 27, 2000, from <http://www.Doitsports.com>
- Lactate Testing*. (2000, June). Retrieved June 27, 2000, from <http://www.brainmac.demon.co.uk>
- Katch, V. L.; Sady, S. S.; & Freedson, P. (1982). Biological Variability in Maximum Aerobic Power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. (14): 21-25.
- Lange, Andersen K.; et al. (1971). *Fundamentals of Exercise Testing*. Geneva: WHO.
- McArdle, W.; Katch, F. I.; & Kate, V. I. (1991). *Exercise Physiology, Energy, Nutrition, and Human Performance*. 3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Oja, P. (1991). Elements and Assessment of Fitness in Sport for All. *Sport for All*. P. 103-110.
- Peter, G.; & Janssen, J. M. (1992). *Training Lactate Pulse Rate*. Finland: Oy Litto.
- Rodas, G.; et al. (2000). A Short Training Programme for the Rapid Improvement of Both Aerobic and Anaerobic Metabolism. *European Journal of Applied Physiology*. (82): 480-486.
- Rose, G. A.; et al. (1982). *Cardiovascular Survey Methods*. 2nd ed. Geneva: WHO.
- Tanomsak Senakham. (1998). *Energy Demands During Competition of Thai National Sepak Takraw Athletes*. Master thesis, M.SC. (Sports Medicine). Bangkok: Graduate School Chulalongkorn University. Photocopied.
- Taylor, H. L.; Buskirk, E.; & Henschel, A. (1955). Maximal Oxygen Intake as an Objective Measure of Cardio-respiratory Performance. *Journal of Applied Physiology*. (8): 73-80.

- Thoden, J. (1991). Testing Aerobic Power. *Human Kinetics Books*. P. 107-174. Illinois: Champaign.
- Trappe, Todd A.; et al. (1997, June). Energy Expenditure of Swimmers During High Volume Training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 29(7): 950-954.
- Vivian, H. Heyward. (1998). *Advance Fitness Assessment & Exercise Prescription*. 3rd ed. Dallas TX.
- Wasserman, K.; et al. (1983, May). Anaerobic Threshold and Respiratory Gas Exchange During Exercise. *Journal of Applied Physiology*. (35): 236-243.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลส่วนบุคคลของนักกีฬาเนตบอลชุดเยาวชนชิงแชมป์เอเชีย ครั้งที่ 5 ณ ประเทศอินเดีย

คนที่	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	อายุ (ปี)	HRmax (ครั้ง/นาที)	VO ₂ max (มล./กก./นาที)
1	70	189	15	205	26.31
2	59	164	15	205	34.97
3	58	171	20	200	41.26
4	67	173	21	199	36.06
5	57	163	19	201	39.88
6	51	172	17	203	29.25
7	64	176	20	200	33.48
8	61	172	15	205	37.42
9	67	174	19	201	29.88
10	68	180	13	207	27.19
11	57	165	21	199	30.82
12	56	173	17	203	45.37

ภาคผนวก ข

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขัน
(กิโลแคลอรีต่อนาที) โดยแบ่งเป็นตำแหน่งการเล่น ในควอเตอร์ 1 ควอเตอร์ 2
ควอเตอร์ 3 ควอเตอร์ 4 และรวมทั้งเกมการแข่งขัน

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณการใช้พลังงานขณะแข่งขัน (กิโลแคลอรีต่อ นาที) โดยแบ่งเป็นตำแหน่งการเล่น ในควอเตอร์ 1 ควอเตอร์ 2 ควอเตอร์ 3 ควอเตอร์ 4 และรวมทั้งเกมการแข่งขัน

ตำแหน่งการเล่น		ควอเตอร์ 1 (kcal/min)	ควอเตอร์ 2 (kcal/min)	ควอเตอร์ 3 (kcal/min)	ควอเตอร์ 4 (kcal/min)	รวมทั้งเกม (kcal/min)
ผู้ยิงประตู (GS)	M	4.92	5.72	3.80	4.94	4.93
	S.D.	1.54	1.65	0.00	2.02	1.74
ผู้รุกประตู (GA)	M	5.89	5.83	6.22	6.43	5.96
	S.D.	2.73	2.34	3.22	2.84	2.71
ผู้รุกทางปีก (WA)	M	6.50	7.87	6.82	6.50	7.11
	S.D.	0.13	1.06	1.31	1.13	1.10
ผู้เล่นเซนเตอร์ (C)	M	8.44	8.35	7.80	7.83	8.11
	S.D.	1.50	1.74	1.35	2.11	1.63
ผู้ป้องกันทางปีก (WD)	M	7.98	7.65	7.07	6.37	7.26
	S.D.	1.84	1.57	1.42	1.55	1.54
ผู้ป้องกันประตู (GD)	M	8.13	7.98	7.83	7.64	7.92
	S.D.	2.44	2.17	1.52	1.73	1.66
ผู้รักษาประตู (GK)	M	6.38	6.35	6.08	6.31	6.28
	S.D.	1.27	1.47	1.17	0.92	1.20

ภาคผนวก ค

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขัน
ในแต่ละตำแหน่งการเล่น

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่ง
การเล่นในควอเตอร์ที่ 1

ตำแหน่งการเล่น		ระบบแอนแอโรบิก-		
		ระบบแอนแอโรบิก	แอโรบิก	ระบบแอโรบิก
		(Anaerobic System)	(Anaerobic-	(Aerobic System)
		(%)	Aerobic System)	(%)
ผู้ยิงประตู (GS)	M	16	51	33
	S.D.	3	12	9
ผู้รุกประตู (GA)	M	22	64	14
	S.D.	9	20	5
ผู้รุกทางปีก (WA)	M	29	59	12
	S.D.	12	15	4
ผู้เล่นเซนเตอร์ (C)	M	24	53	23
	S.D.	9	20	4
ผู้ป้องกันทางปีก (WD)	M	41	35	24
	S.D.	22	12	9
ผู้ป้องกันประตู (GD)	M	16	71	13
	S.D.	9	22	4
ผู้รักษาประตู (GK)	M	15	49	36
	S.D.	4	12	9

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่ง
การเล่นในควอเตอร์ที่ 2

ตำแหน่งการเล่น		ระบบแอนแอโรบิก-		
		ระบบแอนแอโรบิก	แอโรบิก	ระบบแอโรบิก
		(Anaerobic System)	(Anaerobic-	(Aerobic System)
		(%)	Aerobic System)	(%)
ผู้ยิงประตู (GS)	M	8	60	32
	S.D.	3	15	8
ผู้รุกประตู (GA)	M	20	74	6
	S.D.	8	17	2
ผู้รุกทางปีก (WA)	M	18	67	15
	S.D.	9	14	6
ผู้เล่นเซนเตอร์ (C)	M	13	67	20
	S.D.	4	22	6
ผู้ป้องกันทางปีก (WD)	M	30	53	17
	S.D.	11	21	11
ผู้ป้องกันประตู (GD)	M	21	66	13
	S.D.	9	16	8
ผู้รักษาประตู (GK)	M	6	54	40
	S.D.	2	17	8

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่ง
การเล่นในควอเตอร์ที่ 3

ตำแหน่งการเล่น		ระบบแอนแอโรบิก-		
		ระบบแอนแอโรบิก	แอโรบิก	ระบบแอโรบิก
		(Anaerobic System)	(Anaerobic-	(Aerobic System)
		(%)	Aerobic System)	(%)
		(%)		
ผู้ยิงประตู (GS)	M	15	67	18
	S.D.	6	14	7
ผู้รุกประตู (GA)	M	17	68	15
	S.D.	8	26	6
ผู้รุกทางปีก (WA)	M	15	77	8
	S.D.	8	23	3
ผู้เล่นเซนเตอร์ (C)	M	17	54	29
	S.D.	3	18	6
ผู้ป้องกันทางปีก (WD)	M	10	58	32
	S.D.	3	15	9
ผู้ป้องกันประตู (GD)	M	18	64	18
	S.D.	7	16	8
ผู้รักษาประตู (GK)	M	17	45	38
	S.D.	6	9	11

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบพลังงานที่ใช้ในขณะแข่งขันในแต่ละตำแหน่ง
การเล่นในควอเตอร์ที่ 4

ตำแหน่งการเล่น		ระบบแอนแอโรบิก-		
		ระบบแอนแอโรบิก	แอโรบิก	ระบบแอโรบิก
		(Anaerobic System)	(Anaerobic-	(Aerobic System)
		(%)	Aerobic System)	(%)
ผู้ยิงประตู (GS)	M	13	57	30
	S.D.	5	16	12
ผู้รุกประตู (GA)	M	11	64	25
	S.D.	3	15	12
ผู้รุกทางปีก (WA)	M	24	70	6
	S.D.	7	22	2
ผู้เล่นเซนเตอร์ (C)	M	20	64	16
	S.D.	12	26	5
ผู้ป้องกันทางปีก (WD)	M	27	52	21
	S.D.	8	15	6
ผู้ป้องกันประตู (GD)	M	14	65	21
	S.D.	5	19	6
ผู้รักษาประตู (GK)	M	24	48	28
	S.D.	8	14	10

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาวปรียาภรณ์ กุลศิริรัตน์
วันเดือนปีเกิด	1 กันยายน 2525
สถานที่เกิด	อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 89 หมู่ 2 ตำบลท่าทองหลวง อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2537	ประถมศึกษา จากโรงเรียนสุตะบำรุงพิทยาคาร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา
พ.ศ. 2541	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนดัดรุณี จังหวัดฉะเชิงเทรา
พ.ศ. 2545	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) พลศึกษา จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2550	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) วิทยาศาสตร์การกีฬา: (การเป็นผู้ฝึกกีฬา) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ