# ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือแบบสปริ้นท์ 200 และ 500 เมตร ในนักกีฬาเรือมังกรชั้นเลิศ

# MUSCLE OXYGENATION AND ENERGY SUBSTRATE UTILIZATION IN 200 AND 500 METER SPRINT PADDLING IN ELITE DRAGON-BOAT ATHLETES

พัชรียา จาดสกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2566

# ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือแบบสปริ้นท์ 200 และ 500 เมตร ในนักกีฬาเรือมังกรชั้นเลิศ

พัชรียา จาดสกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

# MUSCLE OXYGENATION AND ENERGY SUBSTRATE UTILIZATION IN 200 AND 500 METER SPRINT PADDLING IN ELITE DRAGON-BOAT ATHLETES

PATCHAREEYA JARDSAKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Sport and Exercise Science)

Faculty of Physical Education, Srinakharinwirot University

2023

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือแบบสปริ้นท์ 200 และ 500 เมตร ในนักกีฬาเรือมังกรชั้นเลิศ

ของ

พัชรียา จาดสกุล

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ราชนาวี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทิต มิตรานันท์)

| | |
|---|---|
| ชื่อเรื่อง | ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือแบบสปริ้นท์ 200 และ 500 เมตร<br>ในนักกีฬาเรือมังกรชั้นเลิศ |
| ผู้วิจัย | พัชรียา จาดสกุล |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| ปีการศึกษา | 2566 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ถนอมศักดิ์ เสนาคำ |

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลการพายเรือมังกร 200 และ 500เมตร ที่มีต่อออกซิเจนในกล้ามเนื้อและปริมาณการใช้สารพลังงานช่วงระหว่างการพายและการฟื้นคืนสภาพ ในนักกีฬาเรือมังกรชายทีมชาติไทย 10 คน(อายุ 26.60 ± 3.20 ปี น้ำหนัก 79.54 ± 3.36 กิโลกรัม ส่วนสูง 174.80 ± 5.67 เซนติเมตร) แบ่งเป็น 2 กลุ่มใช้การสุ่มและไขว้สลับ ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติและเครื่องวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อตลอดการทดสอบ ใช้สถิติ Two-way ANOVA วิเคราะห์ช่วงเวลาการพายและสถิติ Paired t-test เปรียบเทียบระยะการพาย ผลการวิจัยพบว่าในระหว่างทดสอบการพายในระยะ 200 เมตรส่งผลปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$) โดยที่ระยะ 200 เมตรมีดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ (TSI) ปริมาณเลือดที่จับอยู่กับคาร์บอนไดออกไซด์(HHb) ปริมาณเลือดที่จับอยู่กับออกซิเจน($O_2Hb$) และปริมาณเลือดทั้งหมด(tHb) ในช่วงระหว่างทดสอบกับการฟื้นสภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$) สรุปได้ว่าในระยะ 200 เมตรมีความถี่ในการพายสูงถึง 79.70 ± 2.45 ครั้ง/นาที กล้ามเนื้อเกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้การไหลเวียนเลือดและปริมาณออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อลดลง อาจใช้ในการอธิบายข้อจำกัดในการพายเรือมังกรระยะ 200 เมตรจึงควรพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการพายเรือมังกร อย่างไรก็ตามเนื่องจากขนาดตัวอย่างที่เล็กและใช้ทีมชาติเพียงทีมเดียว การวิจัยเพิ่มเติมจึงมีความจำเป็นเพื่อยืนยันผลการวิจัยนี้และสำรวจปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการแข่งขันระยะสั้น ดังนั้นข้อมูลนี้ควรตีความอย่างระมัดระวังในการวางแผนการฝึกซ้อมและการแข่งขันในอนาคต

คำสำคัญ : ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อที่ใช้ในการพายเรือมังกร, สารพลังงานที่ใช้ในการพายเรือมังกร, การฟื้นคืนสภาพหลังการออกกำลังกาย

| | |
|---|---|
| Title | MUSCLE OXYGENATION AND ENERGY SUBSTRATE UTILIZATION IN 200 AND 500 METER SPRINT PADDLING IN ELITE DRAGON-BOAT ATHLETES |
| Author | PATCHAREEYA JARDSAKUL |
| Degree | MASTER OF SCIENCE |
| Academic Year | 2023 |
| Thesis Advisor | Assistant Professor Tanormsak Senakham , Ph.D. |

This study aimed to investigate and compare the effects of dragon boat paddling at distances of 200 and 500 meters on muscle oxygenation and energy expenditure. This was a crossover study involving 10 male national Thai dragon boat athletes (age 26.60 ± 3.20 years, weight 79.54 ± 3.36 kilograms, height 174.80 ± 5.67 centimeters). The muscle oxygenation parameters and energy expenditure were assessed before, during, and after paddling sessions, and two-way repeated measures ANOVA and paired t-tests were used to analyze within-session variability and to compare between distances paddled. The results showed that paddling at 200 meters resulted in significantly lower muscle oxygenation variables, including Total hemoglobin (tHb), Oxygenated hemoglobin ($O_2$Hb), Deoxygenated hemoglobin (HHb), and Tissue saturation index (TSI), compared to paddling at 500 meters ($p < 0.05$). The significant differences were also observed in the post-exercise recovery following the 200-meter distance paddling session ($p < 0.05$). Thus, it can be concluded that paddling at 200 meters have stroke rate at 79.70 ± 2.45 times/minute induces rapid muscle contraction, leading to decreased blood flow and oxygen delivery to the muscles compared to paddling at 500 meters. Coaches should consider these factors as they may affect performance. However, it's important to note limitations such as the small sample size and the inclusion of only one national team. Further research is needed to confirm these findings and explore other factors that may influence performance in shorter distance races. Therefore, the data should be cautiously interpreted for future training and competition planning.

Keyword : Muscle oxygenation of dragon boat paddling, Energy expenditure of dragon boat paddling, Energy expenditure of post exercise dragon boat paddling

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่คอยช่วยเหลือดูแลและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี เป็นสิ่งที่ช่วยให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จตลอดระยะเวลาในการศึกษาครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ราชนาวี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นประธานสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ของข้าพเจ้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทิต มิตรานันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉริยะ เอนก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ปีประทุม และอาจารย์ ดร.นุชรี เสนาคำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้ให้เกียรติมาเป็นคณะกรรมการในการสอบ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วทัญญู คำรส และคุณ คณิตา คุ้มสิงสัน นักวิทยาศาสตร์การกีฬา ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณ ธนสร ใจตรง นักวิทยาศาสตร์การกีฬา สมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย คุณนันทพงศ์ ยอดลี ที่ให้การช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เรือโทวิญญา สีชมชื่น ผู้ฝึกสอนเรือมังกรทีมชาติไทย นักกีฬาเรือมังกรทีมชาติไทยและสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย ที่เสียสละเวลาและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูลวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พัชรียา จาดสกุล

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

ภูมิหลัง ..... 1

คำถามการวิจัย ..... 3

ความมุ่งหมายของงานวิจัย ..... 3

ความสำคัญของการวิจัย ..... 3

ขอบเขตของการวิจัย ..... 4

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ..... 4

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ..... 4

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ..... 4

นิยามศัพท์เฉพาะ ..... 5

กรอบแนวคิดในงานวิจัย ..... 6

สมมุติฐานในการวิจัย ..... 6

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม ..... 7

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกีฬาเรือมังกร ..... 7

ประเภทของการแข่งขันเรือมังกร(Racing Classes) ..... 7

ทักษะการพายเรือมังกร ..... 9
สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับเรือมังกร(Physical fitness) ..... 11
ระบบพลังงาน ..... 12
การใช้พลังงานในระหว่างการแข่งขันเรือมังกร ..... 15
ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย(EPOC) ..... 17
กระบวนการเมตาบอลิซึมของสารพลังงานภายหลังการออกกำลังกาย ..... 20
วิธีการวัดการใช้พลังงานในการออกกำลังกาย ..... 21
ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ(Muscle Oxygenation) ..... 22
ความสำคัญของออกซิเจนในกล้ามเนื้อในนักกีฬา ..... 22
เครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจน(Near-infrared spectroscopy: NIRS) ..... 24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 30
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง ..... 30
ประชากรในการวิจัย ..... 30
กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ..... 30
เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัย(Inclusion criteria) ..... 32
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ..... 32
การเก็บรวบรวมข้อมูล ..... 33
การออกแบบงานวิจัย ..... 33
ขั้นตอนก่อนการทดสอบ ..... 34
ขั้นตอนการทดสอบหลัก ..... 36
การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ..... 38
บทที่ 4 ผลการศึกษา ..... 39
ข้อมูลองค์ประกอบทางด้านร่างกาย ..... 39

ข้อมูลด้านชีวกลศาตร์ ..... 40
ข้อมูลทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย ..... 40
ข้อมูลทางด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ..... 41
ข้อมูลทางด้านการใช้สารพลังงาน ..... 45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ..... 47
สรุปผลการวิจัย ..... 47
อภิปรายผลการวิจัย ..... 51
ข้อเสนอแนะ ..... 52
บรรณานุกรม ..... 54
ภาคผนวก ..... 61
ประวัติผู้เขียน ..... 84

# สารบัญตาราง

**หน้า**

ตาราง 1 ข้อมูลองค์ประกอบทางด้านร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง..... 39

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ด้านชีวกลศาตร์ที่ได้จากการพายบนเครื่องพายเรือวัดงาน ..... 40

ตาราง 3 ข้อมูลทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย ..... 41

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อแขน(Biceps brachii) ที่ได้จากเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ..... 43

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อหลัง(Latissimus dorsi) ที่ได้จากเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ..... 44

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์ด้านการใช้สารพลังงานที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ..... 46

# สารบัญรูปภาพ

**หน้า**

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย ..... 6

ภาพประกอบ 2 วงจรการพายเรือมังกรใน 1 จังหวะการพาย(Stroke cycle) ..... 9

ภาพประกอบ 3 ระบบพลังงานแบบต่างๆ ..... 13

ภาพประกอบ 4 วัฏจักรคอริ (Cori cycle, lactic acid cycle) ..... 14

ภาพประกอบ 5 แหล่งพลังงานในช่วงเวลาต่างๆของกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกาย ..... 15

ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้ในการแข่งขันเรือคยัคในความเร็วที่ต่ำกว่าสูงสุด และความเร็วสูงสุด ..... 16

ภาพประกอบ 7 อัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างการออกกำลังกายและในระยะฟื้นตัว ..... 17

ภาพประกอบ 8 ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายแบบเร็วและแบบช้า 18

ภาพประกอบ 9 ส่วนประกอบของการนำส่งออกซิเจนและการแพร่ของออกซิเจนจากหลอดเลือดฝอยไปยังไมโตรคอนเดรียของเส้นใยกล้ามเนื้อ ..... 24

ภาพประกอบ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมระดับโมเลกุลของออกซีฮีโมโกลบินและดีออกซีฮีโมโกลบิน ..... 26

ภาพประกอบ 11 การออกแบบงานวิจัย ..... 34

ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการทดสอบหลัก ..... 38

ภาพประกอบ 13 อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในช่วงเวลาก่อนทดสอบ ระหว่างทดสอบ และการฟื้นคืนสภาพ ..... 41

ภาพประกอบ 14 ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบการพายระยะ 200 เมตร กับ 500 เมตร ..... 49

ภาพประกอบ 15 ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อหลัง เปรียบเทียบการพายระยะ 200 เมตร กับ 500 เมตร ..... 50

ภาพประกอบ 16 ปริมาณการใช้สารพลังงานเปรียบเทียบการพายระยะ 200 เมตรกับ 500 เมตร ..... 50
ภาพประกอบ 17 เครื่องวัดสมรรถนะการพายเรือมังกร ..... 63
ภาพประกอบ 18 เครื่องวัดปริมาณการใช้สารพลังงานในการออกกำลังกาย ..... 64
ภาพประกอบ 19 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ..... 65
ภาพประกอบ 20 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย ..... 65
ภาพประกอบ 21 เครื่องชั่งน้ำหนักและไขมันในร่างกาย ..... 66
ภาพประกอบ 22 เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตัล ..... 67
ภาพประกอบ 23 ชั่งน้ำหนักและวัดปริมาณไขมันในร่างกาย ..... 69
ภาพประกอบ 24 วัดความดันโลหิตขณะพัก ..... 69
ภาพประกอบ 25 ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติและเครื่องวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ..... 70
ภาพประกอบ 26 ขณะทำการทดสอบพายเรือมังกร ..... 70

# บทที่ 1
# บทนำ

## ภูมิหลัง

การแข่งขันเรือมังกรมีต้นกำเนิดมาจากเทศกาลเรือมังกรของประเทศจีน ที่จัดขึ้นเพื่อระลึกถึงความกล้าหาญของขุนนางจีนเมื่อราว 2000 กว่าปีก่อน ในปัจจุบันเรือมังกรมีความนิยมของนักกีฬาและผู้ชมอย่างสูงมากทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีการจัดการแข่งขันทั้งงานประเพณีและการแข่งขันระดับนานาชาติ ได้แก่ กีฬาซีเกมส์(Sea games) เอเชี่ยนเกมส์(Asian games) เรือมังกรชิงแชมป์เอเชีย(Asian championship) เรือมังกรชิงแชมป์โลก(World championship) มีระยะทางการแข่งขันตั้งแต่ 200 500 1000 จนถึง 2000 เมตร โดยในระยะที่มีการส่งเข้าร่วมการแข่งขันมากที่สุดคือ ระยะ 200 และ 500 เมตร ในประเภท ชาย 12 คน หญิง 12 คน และประเภทผสม(Federation-IDBF, 2004) ซึ่งเป็นการแข่งขันที่ต้องอาศัยการเตรียมตัวเป็นอย่างดีของนักกีฬาและทีมผู้ฝึกสอน ได้แก่ การวางแผนการฝึกซ้อม วางแผนการดูแลทางโภชนาการทั้งในระหว่างฝึกซ้อมและแข่งขัน ทดสอบสมรรถภาพร่างกายของนักกีฬาตามช่วงเวลาเพื่อประเมินผลของโปรแกรมการฝึกซ้อม

ในการแข่งขันเรือมังกรระยะ 200 และ 500 เมตร เป็นการออกกำลังกายที่ระดับความหนักใกล้สูงสุด(Supmaximal) ใช้เวลาตั้งแต่ 30 วินาทีถึง 3 นาที อาศัยพลังงานจากกระบวนการแอโรบิกและแอนแอโรบิก(Ho et al., 2013; Medbø & Tabata, 1989) โดยจะมีการใช้สัดส่วนพลังงานแบบแอโรบิกมากขึ้นแปรผันตามระยะทางการแข่งขันและสัดส่วนการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกทั้งเกิดกรดแลคติกและไม่เกิดกรดแลคติกจะมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางที่ไกลขึ้น (Zamparo et al., 1999) และยังพบว่ามีการใช้พลังงานแอโรบิกในการพายเรือมังกรเพิ่มขึ้นจาก ~10% สำหรับ 15 วินาทีแรก เป็น ~80% สำหรับ 15 วินาทีสุดท้ายในระหว่างการทดลองพายเรือมังกรระยะ 500 เมตร(Senakham et al., 2020) ขณะที่ออกกำลังกายร่างกายจะมีการใช้สารพลังงานและออกซิเจนที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายตามปริมาณความหนัก-เบาของกิจกรรม โดยมีแนวโน้มของปริมาณการขาดออกซิเจนสะสมเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาจาก 40% ที่เวลา 30 วินาที เป็น 50% ที่เวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 65% สำหรับการออกกำลังกายที่ยาวนานกว่า 2 นาทีและมีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เรียกสภาวะนี้ว่า การติดหนี้ออกซิเจน(Oxygen deficit)(Medbø & Tabata, 1989) จนเมื่อการออกกำลังกายสิ้นสุดลงร่างกายจะต้องมีการฟื้นฟูสภาพเพื่อกลับสู่สภาวะปกติ(Rojapon, 2017) ดังนั้นอัตราการใช้พลังงานในขณะออกกำลังกายจะมีความสัมพันธ์ที่แปรผันกับขนาดและสัดส่วนของความต้องการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นภายหลังจากการออก

กำลังกาย(Excess post-exercise oxygen consumption: EPOC) เนื่องจากการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูงจะกระตุ้นการเผาผลาญเพิ่มขึ้น เกิดความเครียดภายในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้การทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติคเพิ่มขึ้น ร่างกายจึงต้องใช้พลังงานในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อกลับสู่ระดับปกติ(Foureaux et al., 2006) ในช่วงนี้ร่างกายจะสังเคราะห์อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต ฟอสโฟครีเอทีน ปรับค่าความสมดุลในเลือดและฮอร์โมนให้อยู่ในระดับปกติ กระบวนการนี้ใช้เวลา 30 วินาทีและเสร็จสมบูรณ์ภายในเวลา 3 นาที(Joseph Laforgia et al., 2006) หลังจากนั้นร่างกายจะปรับลดความถี่ในการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจให้เข้าสู่สภาวะก่อนออกกำลังกาย ไกลโคเจนจะถูกสร้างและส่งไปเก็บไว้ยังกล้ามเนื้อ(ในกิจกรรมที่มีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ไกลโคเจนจำนวนมากสามารถกลับคืนมาได้ในเวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมง) ในขณะเดียวกันร่างกายก็จะมีกระบวนการกำจัดกรดแลคติกที่สะสมในระหว่างการออกกำลังกาย ซึ่งอาจใช้เวลา 1 ชั่วโมงหรือมากกว่าขึ้นอยู่กับระดับความหนักและระยะเวลาของกิจกรรม(Jung et al., 2021)

การศึกษาทางด้านสรีรวิทยาและการใช้สารพลังงานในการพายเรือมังกรสามารถนำไปเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จให้กับนักกีฬาเรือมังกรทีมชาติไทยได้ อย่างเช่น การวิเคราะห์ทักษะการพายเรือมังกรร่วมกับการตรวจไฟฟ้ากล้ามเนื้อ(EMG) จากงานวิจัยของ Paulauskas et al. (2022) พบว่ากล้ามเนื้อที่มีผลต่อประสิทธิภาพการพายเรือมังกรจะเน้นไปที่ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวไหล่ กล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า และกล้ามเนื้อหลัง ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อของร่างกายส่วนบนเป็นหลักที่ใช้พลังของกล้ามเนื้อในการเอาชนะแรงต้านของน้ำด้วยอัตราความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดซ้ำๆกัน โดยอาศัยการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อหลายมัด(Ho et al., 2013; Natthawat, 2016; Sirisinghe, 1995) การไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อต่างๆของร่างกายก็จะแตกต่างกันไป โดยที่กลุ่มกล้ามเนื้อที่ไม่ได้ใช้งานความต้องการออกซิเจนจะยังคงอยู่ใกล้ระดับพัก ส่วนกล้ามเนื้อที่ใช้งานความต้องการออกซิเจนจะอยู่ในระดับที่สูงกว่า ดังนั้น ความต้องการออกซิเจนในกล้ามเนื้อจึงมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ(Verratti et al., 2020) ในการที่กล้ามเนื้อจะสามารถทำงานต่อเนื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นจะต้องมีระบบหัวใจไหลเวียนเลือดที่ดีเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างการนำส่งออกซิเจนและความต้องการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ แต่เมื่อร่างกายมีระดับความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้นจนไม่สามารถส่งออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อได้ทัน สภาวะการขาดออกซิเจนจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อเสียความสมดุลจนนำไปสู่ความล้าและส่งผลให้ประสิทธิภาพในการออกกำลังกายลดลง(Yoshiko et al., 2020)

จากการศึกษาที่ผ่านมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าในการพายเรือมังกรมีความต้องการใช้พลังงานของกล้ามเนื้อแต่ละมัดไม่เท่ากัน มีสัดส่วนการใช้พลังงานที่แปรผันไปตามระยะทาง ในการแข่งขันร่างกายจะต้องทำงานที่ระดับความหนักสูงโดยใช้ระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจจะส่งผลให้กล้ามเนื้ออยู่ในสภาะวะการขาดออกซิเจนและเกิดความล้าขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการแข่งขัน รวมไปถึงการฟื้นคืนสภาพหลังจากการแข่งขัน อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบว่าในการพายเรือมังกรระยะ 200 และ 500 เมตร มีการใช้ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ การใช้สารพลังงานในการแข่งขัน รวมถึงการฟื้นคืนสภาพร่างกายภายหลังจากการแข่งขันอย่างไร ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปเป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการฝึกซ้อม วางแผนการให้โภชนาการ และประเมินผลของโปรแกรมการฝึกซ้อมกับผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับกีฬาเรือมังกร

**คำถามการวิจัย**

1.การพายเรือแบบสปริ้นท์ 200 และ 500 เมตร มีผลต่อออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในระหว่างและหลังการพายในนักกีฬาเรือมังกรชายอย่างไร

2.ผลของการพายเรือแบบสปริ้นท์ 200 และ 500 เมตร ที่มีต่อออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในระหว่างและหลังการพายในนักกีฬาเรือมังกรชายมีความแตกต่างกันหรือไม่

**ความมุ่งหมายของงานวิจัย**

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาผลของการพายเรือแบบสปริ้นท์ 200 และ 500 เมตรที่มีต่อออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในระหว่างและหลังการพายในนักกีฬาเรือมังกรชาย

2. เพื่อเปรียบเทียบผลของการพายเรือแบบสปริ้นท์ 200 และ 500 เมตรที่มีต่อออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในระหว่างและหลังการพายในนักกีฬาเรือมังกรชาย

**ความสำคัญของการวิจัย**

1.ทำให้ทราบถึงผลของปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือมังกรแบบสปริ้นท์ระยะ 200 และ 500 เมตร โดยสามารถนำไปประยุกต์ให้เหมาะสมกับระยะการแข่งขัน

2.สามารถนำผลของปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือมังกรแบบสปริ้นท์ระยะ 200 และ 500 เมตร ไปใช้วางแผนการฝึกซ้อมให้สอดคล้องกับระบบพลังงานที่ใช้ในการแข่งขัน

3.สามารถนำผลของปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือมังกรแบบสปริ้นท์ระยะ 200 และ 500 เมตร ไปใช้วางแผนการดูแลทางด้านโภชนาการให้แก่นักกีฬาทั้งในระหว่างการฝึกซ้อมและแข่งขัน

4.สามารถนำผลการวิจัยไปเป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยเพื่อการพัฒนาองค์ความรู้ต่อไปในอนาคต

**ขอบเขตของการวิจัย**

**ประชากรที่ใช้ในการวิจัย**

นักกีฬาเรือมังกรชายที่ได้รับการคัดเลือกจากสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทยให้เข้าร่วมการแข่งขันเอเชี่ยนเกมส์ 2022(Hangzhou 2022) จำนวน 30 คน

**กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย**

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจงจากกลุ่มประชากรทั้งหมดได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน

**ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา**

1. ตัวแปรอิสระ แบ่งได้ดังนี้

1.1 การพายเรือแบบสปริ้นท์ระยะ 200 เมตร

1.2 การพายเรือแบบสปริ้นท์ระยะ 500 เมตร

2. ตัวแปรตาม แบ่งได้ดังนี้

2.1 ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ได้แก่ ดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ (Tissue saturation index, TSI) ความเข้มข้นของดีออกซิฮีโมลโกลบิน(Deoxyhemoglobin concentration, HHb) ความเข้มข้นของออกซิฮีโมลโกลบิน(Oxyhemoglobin concentration, $O_2Hb$) และปริมาตรของฮีโมโกลบินทั้งหมด(Total hemoglobin, tHb)

2.2 การใช้สารพลังงาน ได้แก่ พลังงานที่ใช้โดยรวม ,พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต และพลังงานจากไขมัน

2.3 ตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ ได้แก่ กำลังสูงสุด ,กำลังเฉลี่ย ,ความถี่ในการพาย และเวลาที่ใช้ในการพาย

2.4 อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย

**นิยามศัพท์เฉพาะ**

**การพายเรือแบบสปริ้นท์**(Sprint paddling)

หมายถึง การพายเรือบนเครื่องวัดงานแบบเต็มความสามารถที่ความเร็วและหนักสูงสุด

**ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ**(Muscle oxygenation)

หมายถึง ปริมาณการนำส่งออกซิเจนและปริมาณที่ต้องการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ

**การใช้สารพลังงาน**(Energy substrate utilization)

หมายถึง ปริมาณการใช้สารตั้งต้นพลังงานในระหว่างและหลังการพาย

**การใช้ออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นหลังการออกกำลังกาย**(Excess post-exercise oxygen consumption, EPOC)

หมายถึง ความต้องการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นภายหลังจากการออกกำลังกายเพื่อใช้ในการฟื้นฟูร่างกายให้กลับสู่สภาวะก่อนการออกกำลังกาย

**เทคนิคเนียร์อินฟาเรดสเปกโตรสโคปี**(Near-infrared spectroscopy, NIRS)

หมายถึง เครื่องมือที่ใช้แสงที่มีความยาวคลื่นย่านใกล้อินฟราเรดส่องกล้ามเนื้อที่ต้องการวิเคราะห์ อาศัยความแตกต่างของลักษณะการดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นที่ 750 และ 850 นาโนเมตร ความโปร่งใสสัมพัทธ์ของเนื้อเยื่อต่อแสงและลักษณะการดูดกลืนแสงที่ขึ้นกับปริมาณออกซิเจนที่จับอยู่กับฮีโมโกลบินในกล้ามเนื้อ

**ความเข้มข้นของออกซิฮีโมลโกลบิน**(Oxyhemoglobin concentration, $O_2Hb$)

หมายถึง ความเข้มข้นของการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อที่บ่งบอกถึงความสมดุลของการนำส่งออกซิเจน

**ความเข้มข้นของดีออกซิฮีโมลโกลบิน**(Deoxyhemoglobin concentration, HHb)

หมายถึง ปริมาณของฮีโมโกลบินในเนื้อเยื่อที่จับกับคาร์บอนไดออกไซด์

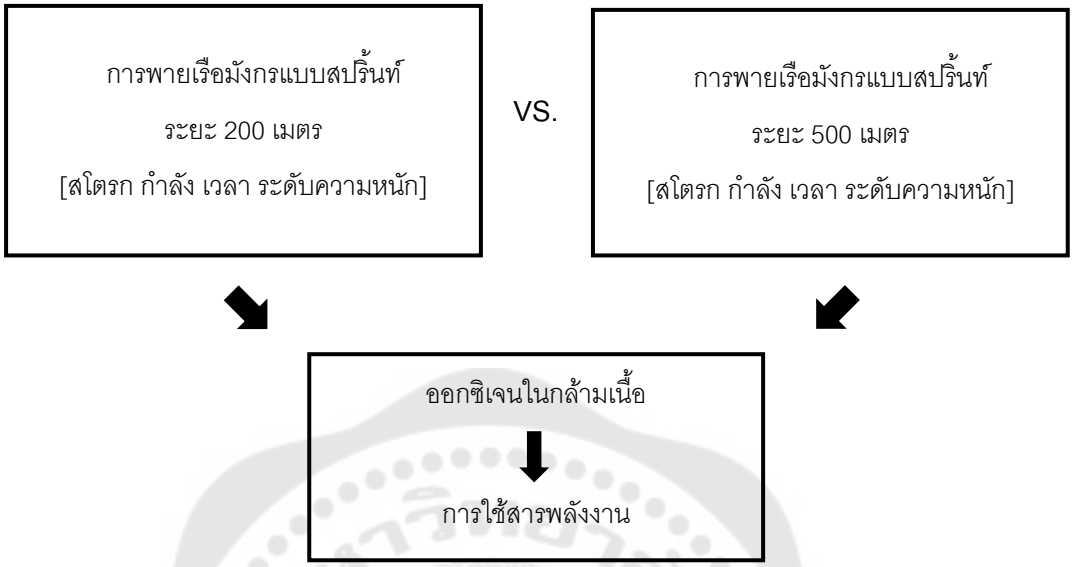
**ปริมาตรของฮีโมโกลบินทั้งหมด**(Total hemoglobin, tHb)

หมายถึง ผลรวมของปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด

**ดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ** (Tissue saturation index, TSI)

หมายถึง ดัชนีการใช้ออกซิเจนในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อ

**กรอบแนวคิดในงานวิจัย**




ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

**สมมุติฐานในการวิจัย**

การพายเรือแบบสปริ้นท์ 200 และ 500 เมตร มีผลต่อออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในระหว่างและหลังการพายในนักกีฬาเรือมังกรชายแตกต่างกัน

# บทที่ 2
# ทบทวนวรรณกรรม

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและนำมาเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกีฬาเรือมังกร**
   - ประเภทของการแข่งขันเรือมังกร
   - ทักษะการพายเรือมังกร
   - สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับเรือมังกร
2. **ระบบพลังงาน**
   - การใช้พลังงานในระหว่างการแข่งขันพายเรือมังกร
   - ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย(EPOC)
   - กระบวนการเมตาบอลิซึมของสารพลังงานภายหลังการออกกำลังกาย
   - วิธีการวัดการใช้พลังงานในการออกกำลังกาย
3. **ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ**
   - ความสำคัญของออกซิเจนในกล้ามเนื้อในนักกีฬา
   - เครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจน (Near-infrared spectroscopy: NIRS)

## ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกีฬาเรือมังกร

### ประเภทของการแข่งขันเรือมังกร(Racing Classes)

**ประเภทโอเพ่น(Open class)**

ในประเภทนี้เป็นประเภทพื้นฐานของการแข่งขัน ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของอายุ เว้นแต่ผู้เข้าแข่งขันมีอายุต่ำกว่า 12 ปี จะต้องมีบิดามารดาหรือผู้ใหญ่รับผิดชอบอยู่ในเรือด้วยและต้องสวมอุปกรณ์ช่วยในการลอยตัวเฉพาะบุคคล

**ประเภทหญิง(Women's Class)**

คณะลูกเรือต้องเป็นผู้หญิงทั้งหมด จะมีอายุเท่าไหร่ก็ได้ เว้นแต่ผู้เข้าแข่งขันมีอายุต่ำกว่า 12 ปี จะต้องมีผู้ใหญ่รับผิดชอบอยู่ในเรือด้วยและต้องสวมอุปกรณ์ช่วยในการลอยตัว

**ประเภทชาย(Men's Class)**

คณะลูกเรือต้องเป็นผู้ชายทั้งหมด จะมีอายุเท่าไหร่ก็ได้ เว้นแต่ผู้เข้าแข่งขันมีอายุต่ำกว่า 12 ปี จะต้องมีผู้ใหญ่รับผิดชอบอยู่ในเรือด้วยและต้องสวมอุปกรณ์ช่วยในการลอยตัว

**ประเภทผสม**(Mixed Class)

สำหรับประเภทเรือแข่งมาตรฐาน คณะลูกเรือต้องมีฝีพายผู้หญิงอย่างน้อย 8 คน และไม่เกิน 12 คน ฝีพายที่เหลือเป็นผู้ชาย สำหรับประเภทเรือแข่งขนาดเล็ก ต้องมีฝีพายผู้หญิง 4 – 6 คน ฝีพายที่เหลือเป็นผู้ชาย

**ประเภทรุ่นเยาว์**(Junior Class)

การแข่งขันอาจจัดสำหรับคณะลูกเรือประเภทหญิงล้วน/ชายล้วนหรือเพศผสมก็ได้ ยกเว้นคนถือท้ายเรือ โดยกำหนดอายุที่ใช้ในการแข่งขัน เช่น อายุต่ำกว่า 18 ปี อายุต่ำกว่า 16 ปี เป็นต้น

**ประเภทรุ่นอาวุโส**(Senior Class)

การแข่งขันอาจจัดสำหรับคณะลูกเรือประเภทหญิงล้วน/ชายล้วนหรือเพศผสมก็ได้ ยกเว้นคนตีกลอง ผู้เข้าแข่งขันทั้งหมดต้องมีอายุ 40 ปี หรือมากกว่านั้น

**ระยะทางในการแข่งขันและสนามแข่งขัน**(Racing distance)

ปัจจุบันเรือมังกรมีการพัฒนาและแข่งขันกันอย่างแพร่หลายรวมทั้งได้ถูกนำมาบรรจุในรายการแข่งขันระดับนานาชาติ ได้แก่ กีฬาซีเกมส์(Sea games) เอเชี่ยนเกมส์(Asian games) เรือมังกรชิงแชมป์เอเชีย(Asian championship) เรือมังกรชิงแชมป์โลก(World championship) โดยมีระยะทางการแข่งขันตั้งแต่ระยะ 200 เมตร 500 เมตร 1000 เมตร และ 2000 เมตร สนามแข่งขันจะจัดในสนามมาตรฐานหรืออ่างเก็บน้ำที่เป็นน้ำเรียบ โดยต้องมีความลึกของระดับน้ำไม่ต่ำกว่า 3.5 เมตรราบเรียบเสมอกัน มีการกำหนดลู่แข่งขัน 6 ลู่ มีความกว้างอย่างน้อย 13-15 เมตรต่อ 1 ลู่การแข่งขัน สำหรับลู่การแข่งขันจะมีหมายเลขกำกับไว้ชัดเจนทั้งลู่ที่สนามและที่หัวเรือบริเวณจุดปล่อยตัวและจุดเส้นชัยจะมีกรรมการคอยตัดสิน ห้ามมิให้พายเรือตัดลู่ของลำอื่นโดยเด็ดขาดจะถูกปรับแพ้ทันที ลำที่เข้าเส้นชัยเป็นลำแรกจะเป็นผู้ชนะ

**รูปแบบการแข่งขัน**

ประกอบด้วยรอบคัดเลือก(Heats) รอบรองชนะเลิศ(Semifinals) รอบชิงชนะเลิศ(Finals) โดยรอบคัดเลือก(Heats) ระบบจะจัดให้มีการจับฉลากแบ่งสาย การแข่งขันแต่ละสายจะมีจำนวนทีมแข่งขันต่างกันไม่เกิน 1 ทีม ทีมที่ไม่ผ่านในรอบคัดเลือกจะมีโอกาสพายรอบแก้ตัว(Repechage) เพื่อมีโอกาสครั้งที่สองในการเข้าแข่งขันรอบต่อไป รอบรองชนะเลิศ(Semifinals) ทีมที่ชนะการแข่งขัน 3 ทีมในแต่ละสายจึงจะมีโอกาสเข้าสู่รอบชิงชนะเลิศ(Finals) หากมีการเข้าเส้นชัยในเวลาเดียวกัน 2 ทีมหรือมากกว่าจะอนุญาตให้ทุกทีมสามารถเข้าแข่งขันในรอบต่อไปหรือให้มีลำดับที่เดียวกันในกรณีที่เป็นรอบชิงชนะเลิศ

**ช่วงระยะเวลาคั่นระหว่างรอบการแข่งขัน**

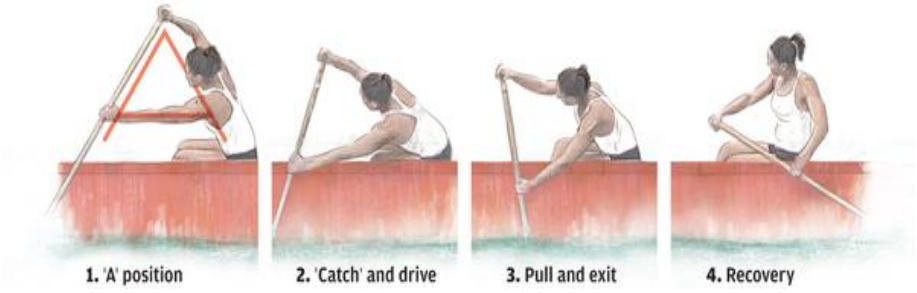
กำหนดให้มีระยะเวลาห่างกัน 30 นาที ในการแข่งขันระยะทาง 200 เมตร

กำหนดให้มีระยะเวลาห่างกัน 40 นาที ในการแข่งขันระยะทาง 500 เมตร

กำหนดให้มีระยะเวลาห่างกัน 60 นาที ในการแข่งขันระยะทาง 1000 เมตรหรือมากกว่า(Federation-IDBF, 2004)

**ทักษะการพายเรือมังกร**

กีฬาเรือมังกรเป็นการแข่งขันประเภททีมโดยอาศัยกำลังจากกล้ามเนื้อของฝีพายที่ส่งแรงไปยังใบพายของแต่ละคนเป็นตัวขับเคลื่อนไปบนผืนน้ำจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เรือจะถูกควบคุมทิศทางโดยนายท้าย(หางเสือเรือ) จะใช้ใบพายที่มีขนาดยาวและใหญ่กว่าที่ยึดติดอยู่กับส่วนท้ายของเรือและมีคนตีกลองนั่งอยู่ที่หัวเรือเป็นผู้ให้จังหวะการพาย จากเส้นจุดเริ่มออกเรือนักกีฬาในเรือจะต้องออกแรงเคลื่อนเรือของทีมไปให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยแล่นไปในลู่ของตัวเอง และจำเป็นจะต้องอาศัยระบบพลังงานและสมรรถภาพทางกายที่ดีของนักกีฬาทุกคนเพื่อที่จะทำให้ทีมเรือได้รับชัยชนะ การที่เรือจะมีอัตราการไหลได้เร็วจะประกอบไปด้วยแรงในการขับเคลื่อนเรือและแรงต้านทานของเรือกับน้ำ สำหรับนักกีฬาเรือพายเปรียบให้เป็นมวลที่สามารถเคลื่อนที่ได้สองทิศทาง( $m_R$ ) โดยจะเคลื่อนที่กลับไปมาในระหว่างการพายเรือ ตัวเรือกำหนดให้เป็นมวลที่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียว( $m_B$ ) ขณะที่เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะมีแรงฉุดกระทำกับเรือและน้ำเพื่อต้านทานการเคลื่อนที่( $F_R$ ) ท้ายสุดพายเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งผ่านแรงจากนักกีฬาไปสู่น้ำทำให้เกิดการขับเคลื่อนเรือ( $F_P$ ) คือแรงที่เกิดจากการออกแรงของนักกีฬาเรือพายที่ส่งมายังด้ามพายและส่งต่อมาบริเวณใบพาย ตัวแปรเหล่านี้จะทำให้เกิดความเร็วและความเร่งในการเคลื่อนที่ของเรือต่อไป(Sirisinghe, 1995) (ภาพประกอบ)




ภาพประกอบ 2 วงจรการพายเรือมังกรใน 1 จังหวะการพาย(Stroke cycle)

ที่มา : http://www.redeyesdragonboat.com/technique-tips

**ทักษะพื้นฐานในการพายเรือมังกร ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้**

**จังหวะการเตรียมลงใบพาย**(A position)

เริ่มที่การเอนตัวไปด้านหน้าเปิดหน้าใบพายให้ระยะของปลายใบพายไปไกลที่สุด บิดร่างกายออกทางกาบเรือเพียงเล็กน้อยพร้อมกับยกมือเพื่อให้ใบพายพ้นน้ำและเตรียมที่จะลงใบพาย จังหวะการจับน้ำ(Catch and drive) เมื่อได้ยินสัญญานตีกลองกดมือให้ใบพายจมลงในน้ำเต็มใบด้วยความเร็วจะเกิดแรงต้านทานที่หน้าใบพาย

**จังหวะการออกแรง** (Pull and exit)

นักกีฬาทั้งหมดในทีมออกแรงดึงใบพายขนานกับลำเรือ(มือบนกดลงล่าง,มือล่างดึงเข้าหาตัว) ออกแรงขับเคลื่อนใบพายที่ทรงพลังด้วยความเร็วสูงสุดที่สามารถทำได้โดยพร้อมเพรียงกันและใช้เวลาให้ใบพายอยู่ในน้ำให้น้อยที่สุดเป็นการรวมแรงของนักกีฬาทั้งทีมให้เป็นแรงเดียวเพื่อส่งให้เรือเคลื่อนตัวไปข้างหน้า

**จังหวะการผ่อนแรง** (Recovery)

เมื่อออกแรงดึงใบพายจนถึงช่วงสะโพกแล้ว ให้ยกมือเพื่อดึงใบพายให้พ้นจากน้ำ จังหวะนี้กล้ามเนื้อจะเกิดการคลายตัว(Relaxation) จากนั้นส่งมือ หัวไหล่ และสะโพกไปด้านหน้าเพื่อกลับสู่ตำแหน่ง A position เป็นการสิ้นสุดจังหวะการพาย 1ใบ(Gomory, 2018)

**กลุ่มกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องในการพายเรือมังกร ได้แก่**

- กล้ามเนื้อหลัง(Muscle of back) มีหลายมัดอยู่เบื้องหลังของลำตัวตั้งแต่หลังคอหลังอกไปจนถึงบั้นเอว ประกอบด้วย ชั้นตื้นมีกล้ามเนื้อมัดใหญ่อยู่ 2 มัด คือ Trapezius ทำหน้าที่ในการรั้งสะบักมาข้างหลัง,ยกไหล่ขึ้นข้างบนกับ Latissimus dorsi ทำหน้าที่ในการดึงแขนลงมาด้านล่างไปข้างหลังและเข้าด้านในและชั้นลึกที่สำคัญ 1 มัด คือ Sacrospinalis ทำหน้าที่ดึงกระดูกสันหลังให้ตั้งตรง

- กล้ามเนื้อทรวงอกด้านหน้า(Muscle of chest) ประกอบด้วย Pectoralis major ทำหน้าที่ในการหุบ งอ และหมุนต้นแขนเข้าด้านใน Pectoralis minor ทำหน้าที่ในการดึงไหล่ลงและหมุนสะบักลงข้างล่าง และ Serratus anterior ทำหน้าที่ในการยึดสะบักให้อยู่กับที่,ดึงสะบักไปข้างหน้าและข้างๆ

- กล้ามเนื้อไหล่(Muscle of shoulder) ประกอบด้วย Deltoid ทำหน้าที่ในการกางแขนขึ้นมาเป็นมุมฉาก Supraspinatus, Infraspinatus, Teres minor ทำหน้าที่ในการพยุงไหล่,หุบแขนและหมุนต้นแขนไปด้านข้าง Teres major ทำหน้าที่ในการหุบแขนและหมุนต้นแขนเข้าข้างใน Subscapularis ทำหน้าที่ในการหมุนต้นแขนเข้าข้างในและพยุงหัวไหล่

- กล้ามเนื้อต้นแขน(Muscle of the arm) ประกอบด้วย Biceps brachii ทำหน้าที่ในการงอข้อศอกและหงายมือขึ้น Triceps brachii ทำหน้าที่ในการเหยียดปลายแขน Brachii ทำหน้าที่ในการงอปลายแขน Coracobrechialis ทำหน้าที่ในการงอและหุบช่วยให้หัวของกระดูก Humerus อยู่ใน Glenoid cavity

- กล้ามเนื้อท้อง(The muscle of abdomen) ประกอบด้วย Rectus abdominis ทำหน้าที่เมื่อหดตัวจะกดอวัยวะต่างๆในช่องท้อง เพิ่มแรงกดดันในช่องท้อง External obligue, Transversus ทำหน้าที่ช่วยกดอวัยวะในช่องท้อง, ป้องกันอวัยวะภายในไม่ให้เป็นอันตราย, ช่วยงอและหมุนกระดูกสันหลังและช่วยในการหายใจออก(Natthawat, 2016)

**สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับเรือมังกร(Physical fitness)**

สมรรถภาพทางกาย(Physical fitness) หมายถึง สภาวะของร่างกายที่อยู่ในสภาพที่ดีเพื่อช่วยให้บุคคลสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดอัตราเสี่ยงของปัญหาสุขภาพที่เป็นสาเหตุจากการออกกำลังกายสร้างความสมบูรณ์และความแข็งแรงของร่างกายในการเข้าร่วมกิจกรรมการออกกกำลังกายได้อย่างหลากหลาย บุคคลที่มีสมรรถภาพทางกายดีจะสามารถปฏิบัติกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน การออกกำลังกายและการเล่นกีฬาได้อย่างดี จากการพยากรณ์สมรรถนะของการพายเรือมังกรประเภทสปริ้นท์ การที่จะทำเวลาได้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการพายเรือมังกรในระยะ 200 และ 500 เมตรนั้นจะเน้นไปที่สมรรถภาพร่างกายที่สัมพันธ์กับทักษะ (Skill-related physical fitness) ได้แก่ ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด พลังกล้ามเนื้อ ความเร็ว การประสานงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อ และปฏิกริยาตอบสนอง(Ho et al., 2013; Natthawat, 2016; Sirisinghe, 1995) ดังนั้นในการวางแผนการฝึกซ้อมเพื่อให้นักกีฬามีสมรรถภาพทางกายที่ดีจะต้องให้ความสำคัญกับการพัฒนาระบบแอโรบิกเป็นลำดับแรก เพื่อสร้างความอดทนร่วมกับการพัฒนาระบบหัวใจและหลอดเลือด เนื่องจากความสามารถในการใช้ออกซิเจนที่สูงย่อมส่งผลให้มีการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนสูงตามไปด้วย ส่วนทักษะการพายพลังของกล้ามเนื้อ และการประสานงานของระบบประสาทกล้ามเนื้อมีความสำคัญรองลงมา (Bromley, 2014) หากนักกีฬามีสมรรถภาพทางกายที่ดีประกอบกับเทคนิคขั้นสูงจะสามารถช่วยให้นักกีฬามีสมรรถนะที่สูงขึ้น(Ho et al., 2008)

กีฬาประเภทเรือมังกรมีความต้องการความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนลำตัวเป็นอย่างมาก(Ho et al., 2013) โดยในระหว่างการพาย ทักษะในการพายจะต้องมีการบิดหมุนลำตัว (Body rotation) เพื่อช่วยให้การออกแรงมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาของ Senakham et al. (2015) ในการศึกษาคุณลักษณะทางด้านร่างกายและสรีรวิทยาของนักกีฬาเรือมังกรเพศหญิงทีม

ชาติไทย ผลการศึกษาพบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นตัวแปรที่สามารถพยากรณ์ถึงสมรรถนะในการแข่งขันเรือมังกรระยะทาง 500 เมตร สอดคล้องกับการศึกษาของ He et al. (2017) ทำการศึกษาวิเคราะห์กล้ามเนื้อที่ใช้ในการพายเรือมังกรด้วยเครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อแบบไร้สาย ผลการศึกษาพบว่าการออกแรงพายมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการพาย อีกทั้งความแข็งแรงของกล้ามเนื้อแกนกลางเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการพายอย่างมาก นอกจากนี้ความยืดหยุ่นของกล้ามเนื้อ(Muscle elasticity) เป็นความสามารถในการคลายตัวของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ออกแรง(Agonist) และกล้ามเนื้อมัดตรงข้าม (Antagonist) ที่ทำให้นักกีฬาเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันความอ่อนตัวของข้อต่อจะเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มความยาวของการพาย(Stroke length) และจังหวะการพาย(Stroke rate) ที่เป็นปัจจัยสำคัญในการลดระยะเวลาของการพายเรือมังกร(Gomes et al., 2022; McDonnell et al., 2013)

**ระบบพลังงาน**

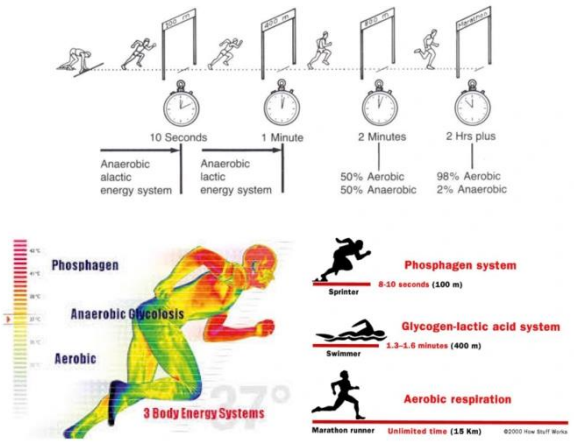
ในขณะออกกำลังกายกล้ามเนื้อต้องการพลังงานสำหรับการหดตัว-คลายตัวโดยภายในเซลล์กล้ามเนื้อจะมีสารเคมีที่เรียกว่า Adenosine tri phosphate(ATP) ซึ่งช่วยให้กล้ามเนื้อหดตัวคลายตัวและถ่ายโอนไปเป็น Adenosine di phosphate(ADP) และพลังงานสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อโดยตรง

ATP ➡ ADP + Energy

ปริมาณของ ATP ที่เก็บสะสมอยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อจะมีปริมาณจำกัดเพียงพอต่อการออกแรงสูงสุดเพียงครั้งเดียว(ประมาณ 1-2 วินาที) เช่น ทุ่มน้ำหนัก ขว้างจักร พุ่งแหลน ตีกอล์ฟ เป็นต้น Creatine phosphate(CP) ที่อยู่ในกล้ามเนื้อจะถ่ายทอดสารฟอตเฟตให้กับ ADP เพื่อสังเคราะห์ ATP ขึ้นมาใหม่อย่างรวดเร็ว

CP ➡ Creatine + ATP

จากนั้นระบบพลังงานสำรองคือ Creatine phosphate(CP) จะเข้ามามีบทบาทสำคัญและหมดลงในเวลา 6-8 วินาที จากนั้นพลังงานจะได้มาจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร (Metabolism) ที่ร่างกายรับประทานเข้าไปและเก็บสะสมไว้ อาหารที่ให้พลังงานโดยตรง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ร่างกายจะเก็บสะสมไว้ที่ตับและกล้ามเนื้อในรูปของไกลโคเจน ซึ่งเพียงพอสำหรับการออกกำลังกายประมาณ 1-2 ชั่วโมง แต่พลังงานจากไขมันจะถูกนำมาใช้ได้อย่างไม่จำกัด(Dunford & Doyle, 2019) (ภาพประกอบ)




ภาพประกอบ 3 ระบบพลังงานแบบต่างๆ

ที่มา : https://joylyrunning.com

**ระบบพลังงานสำรอง(Energy supply systems)**

ร่างกายจะมีการใช้พลังงาน Adenosine tri phosphate(ATP) ในการดำรงชีวิต รวมถึงการนอนหลับ การหายใจ การเต้นของหัวใจ และการรักษาสภาพการทำงานของเซลล์ต่างๆ ในร่างกายให้อยู่ในภาวะปกติ เมื่อเราเล่นกีฬากล้ามเนื้อจะมีการทำงานมากขึ้นความต้องการ ATP ย่อมมีมากขึ้นตามไปด้วย ระบบพลังงานในร่างกายจึงจำเป็นต้องสร้างพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ สามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 3 ระบบ ดังนี้

**Phosphagen system หรือ ระบบ Anaerobic alactate system**

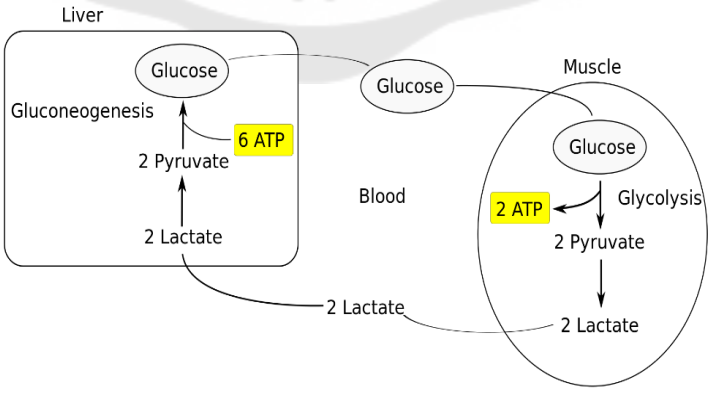
เป็นระบบที่ให้พลังงานได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการผลิตพลังงานและไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติก ประกอบด้วย Creatine phosphate(CP) มีเก็บเฉพาะในกล้ามเนื้อแต่ในปริมาณน้อย 24 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมกล้ามเนื้อ และถูกนำไปใช้จนเกือบหมดภายในเวลา 5 วินาทีแรกของการออกกำลังกายอย่างหนัก สาร Adenosine triphosphates (ATP) ที่เก็บไว้ในกล้ามเนื้อมีเพียง 5 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมกล้ามเนื้อ โดยรวมร่างกายจะสะสม Phosphagen ไว้ประมาณ 24 + 5 ~ 30 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมกล้ามเนื้อ เมื่อมีการทำงานที่ความหนักสูงสุด(Maximum) เช่น การออกตัวจาก Block start, การทุ่ม, พุ่ง, ขว้าง ระบบนี้จะสำรองพลังงาน ATP ได้ประมาณ 6-8 วินาที ครีเอทีนฟอสเฟส(Creatine phosphate: CP) จะหมดลงในระยะเวลาอันสั้นเนื่องจาก ATP และ CP ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อมีจำนวนจำกัดจึงไม่สามารถใช้เป็นระบบพลังงานหลักได้ การสำรองพลังงานโดยการเปลี่ยนรูปของสารครีเอทีนฟอสเฟสจะ

เกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นออกกำลังกายและสร้างกลับคืนหลังจากหยุดการออกกำลังกาย ใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที

**ระบบแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส หรือ ระบบ** Anaerobic lactate system

เป็นระบบพลังงานที่ถูกใช้งานในเวลาต่อมาถัดจากการใช้สาร ATP / CP ระบบนี้จะสร้างพลังงานจากไกลโคเจน(กลุ่มแป้งและน้ำตาล) ในกล้ามเนื้อโดยไม่ใช้ออกซิเจนในการสำรองพลังงาน กระบวนการนี้จะทำให้เกิดกรดแลคติก(Lactic acid) เป็นสารที่เหลือจากการสลายตัวของไกลโคเจนเป็นตัวบั่นทอนการทำงานของกล้ามเนื้อทำให้เกิดความเจ็บปวดและอ่อนแรงลง ร่างกายจะพยายามกำจัดแลคเตทออกจากกล้ามเนื้อโดยการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้เกิดสภาวะเลือดเป็นกรดและส่งผลให้มีอาการ เหนื่อย หอบ เมื่อยล้า ร่างกายจะกำจัดแลคเตทโดยการนำมาเป็นพลังงานใหม่(วัฏจักรคอริ) โดยจะถูกแปลงกลับไปเป็นกลูโคสจากเอนไซม์สำคัญในตับแต่กระบวนการนี้ก็มีข้อจำกัด ได้แก่

- หากอัตราการสร้างน้อยกว่าการเปลี่ยนกลับ จะสามารถออกกำลังกายที่เพิ่มความหนักต่อไปได้
- หากอัตราการสร้างและการเปลี่ยนกลับเป็นไปอย่างสมดุล จะสามารถออกกำลังกายต่อไปได้ที่ความหนักคงที่
- หากอัตราการสร้างแลคเตทที่กล้ามเนื้อมีมากกว่าอัตราการเปลี่ยนกลับที่ตับ ก็จะเกิดกรดสะสมและต้องหยุดออกกำลังกายในที่สุด แลคติกจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากกระแสเลือดหลังจากหยุดออกกำลังกายและกลับสู่ระดับปกติภายในเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง (ภาพประกอบ)

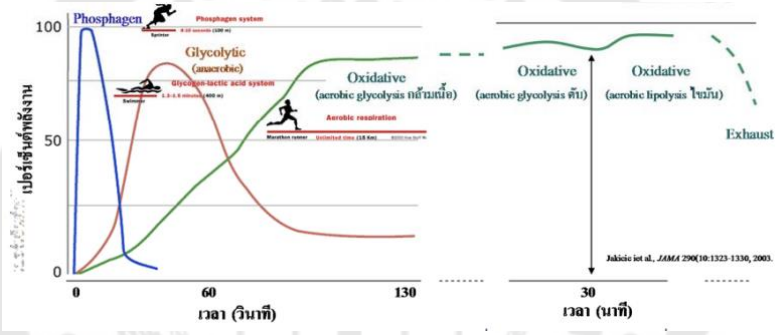



ภาพประกอบ 4 วัฏจักรคอริ (Cori cycle, lactic acid cycle)

ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Cori_cycle

**ระบบแอโรบิก (Aerobic system) หรือ Oxidative system**

ระบบแอโรบิกจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในการสร้างพลังงาน โดยพลังงานจะได้มาจากกระบวนการเผาผลาญอาหารใช้คาร์โบไฮเดรตและไขมันที่เก็บสะสมอยู่ในร่างกายในการผลิตพลังงาน การเก็บสะสมของคาร์โบไฮเดรตจะมีจำนวนจำกัดแต่ปริมาณไขมันจะเก็บได้อย่างไม่จำกัด ในการผลิตพลังงานจะมีการใช้ทั้งคาร์โบไฮเดรตและไขมันพร้อมๆกันแต่จะมีการแบ่งสัดส่วนตามระดับความหนัก ระยะเวลาของการออกกำลังกาย และสมรรถภาพทางร่างกายของแต่ละบุคคล การใช้พลังงานแบบแอโรบิกในการออกกำลังกายที่ระดับต่ำกว่าสูงสุด(Submaximal) คาร์โบไฮเดรตจะเป็นเชื้อเพลิงหลักของพลังงานทั้งหมด แต่เมื่อมีระยะเวลาการออกกำลังกายที่นานขึ้น การเผาผลาญไขมันจะเข้ามามีบทบาทที่ละน้อยแล้วค่อยๆเพิ่มขึ้นจนเป็นเชื้อเพลิงหลักของพลังงานทั้งหมด(Kenney et al., 2021) (ภาพประกอบ)




ภาพประกอบ 5 แหล่งพลังงานในช่วงเวลาต่างๆของกิจกรรมการเคลื่อนไหวของร่างกาย

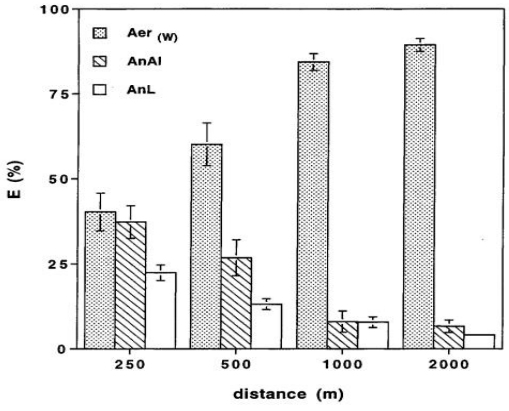
ที่มา : https://www.dpe.go.th/manual-files-401291791808

**การใช้พลังงานในระหว่างการแข่งขันเรือมังกร**

ในการแข่งขันกีฬาประเภทที่ใช้ความเร็วในระยะสั้นๆ(Sprint) เช่น การแข่งขันวิ่งระยะสั้น(ระยะ 100 เมตร 200 เมตร 400 เมตร 800 เมตร) การแข่งขันว่ายน้ำ(ระยะ 200 เมตร) การแข่งขันเรือพายประเภทเรือคยัค,เรือแคนู และเรือมังกร(ระยะ 200 เมตร 500 เมตร) เป็นต้น จำเป็นต้องอาศัยพลังงานจากกระบวนการแอโรบิกและแอนแอโรบิกที่มีส่วนสำคัญในระหว่างการออกกำลังกายอย่างเข้มข้นซึ่งใช้เวลาตั้งแต่ 30 วินาทีถึง 3 นาที และปริมาณแลคเตทจะยังคงอยู่ภายในกล้ามเนื้อเป็นเวลาหลายนาทีหลังจากการพายที่ความหนักสูงแม้จะใช้ระยะเวลาสั้นๆ (Khamros et al., 2023) จากการศึกษางานวิจัยของ Ho et al. (2013) เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของนักกีฬาเรือมังกรชั้นนำเพื่อทำนายประสิทธิภาพการแข่งขันเรือมังกรในระยะ 200 เมตรและ 500 เมตร โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเรือมังกรเพศชายทีมชาติญี่ปุ่น ทดลองการพายเรือมังกรบนเครื่องวัดงานแบบเต็มที่ มีการศึกษาตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพ

ร่างกายของนักกีฬาโดยเฉพาะตัวแปรด้านปริมาณการใช้ออกซิเจน จากผลการวิจัยพบว่าการแข่งขัน 200 เมตรมีการใช้พลังงานแอโรบิก 52.1% ส่วนการแข่งขัน 500 เมตรพบว่ามีการใช้พลังงานแบบแอโรบิก 67.5% จึงสรุปได้ว่า ถึงแม้การแข่งขันจะมีระยะทางสั้นๆแต่การใช้พลังงานในการแข่งขันล้วนแล้วแต่ต้องอาศัยพลังงานระบบแอนแอโรบิกและระบบแอโรบิกเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนให้แก่ร่างกายทั้งสิ้น

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Medbø and Tabata (1989) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนในระหว่างการออกกำลังกายระยะสั้น โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ชายที่มีสุขภาพดีทำการทดลองปั่นจักรยานวัดงานจนหมดแรง เพื่อวัดตัวแปรตามได้แก่ ปริมาณการใช้ออกซิเจน ปริมาณการขาดออกซิเจนสะสมในช่วงเวลา 30 วินาที 1 นาที 2 นาที และ 3 นาที ผลการวิจัยคือ ปริมาณการขาดออกซิเจนสะสมเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลา ความสัมพันธ์ของกระบวนการใช้ออกซิเจนจึงเพิ่มขึ้นจาก 40% ที่เวลา 30 วินาที เป็น 50% ที่เวลา 1 นาที และเพิ่มขึ้นเป็น 65% สำหรับการออกกำลังกายที่ยาวนานกว่า 2 นาทีและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สรุปได้ว่าทั้งกระบวนการแอโรบิกและแอนแอโรบิกมีส่วนสำคัญในระหว่างการออกกำลังกายอย่างเข้มข้นซึ่งกินเวลาตั้งแต่ 30 วินาทีถึง 3 นาที เช่นเดียวกับการศึกษางานวิจัยการใช้พลังงานขณะแข่งขันของกีฬาเรือคยัคของ Zamparo et al. (1999) พบว่า ในการแข่งขันเรือคยัคที่ใช้ความเร็วต่ำกว่าสูงสุดและความเร็วสูงสุด ร่างกายจะมีการใช้สัดส่วนพลังงานแบบแอโรบิกมากขึ้นแปรผันตามระยะทางการแข่งขันที่ยาวขึ้นและสัดส่วนการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกทั้งเกิดกรดแลคติกและไม่เกิดกรดแลคติกจะมีแนวโน้มลดลงตามระยะทางที่ไกลขึ้น(ภาพประกอบ)

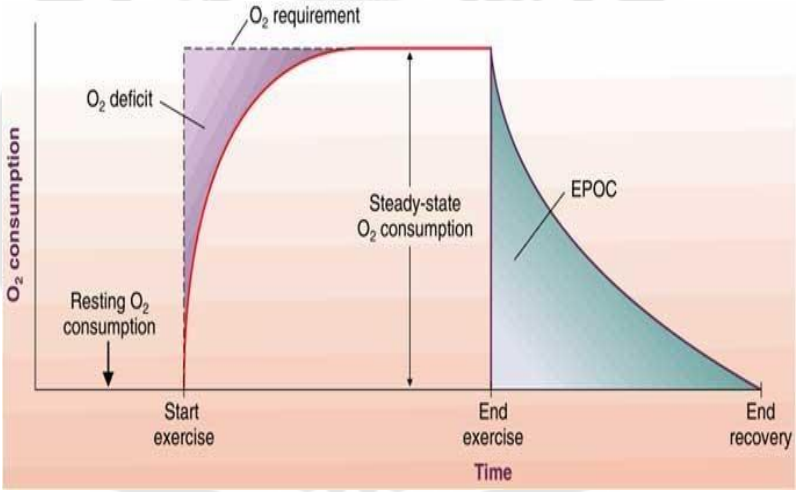



ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้ในการแข่งขันเรือคยัคในความเร็วที่ต่ำกว่าสูงสุดและความเร็วสูงสุด

ที่มา : (Zamparo et al., 1999)

**การติดหนี้ออกซิเจน**(Oxygen deficit)

สารพลังงานและปริมาณออกซิเจนที่ถูกเก็บสะสมไว้ในกล้ามเนื้อของร่างกายจะถูกใช้ในขณะที่ออกกำลังกายตามความหนักเบาของกิจกรรมนั้นๆ โดยอัตราการใช้ออกซิเจนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นใน 2-3 นาทีแรก จากนั้นจะมีระดับคงที่(Steady state) จนเมื่อหยุดออกกำลังกายอัตราการใช้ออกซิเจนจะค่อยๆลดลงสู่ระดับปกติ ร่างกายจะต้องมีการฟื้นฟูสภาพและนำปริมาณออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายจนอยู่ในสภาวะปกติ ซึ่งภายในร่างกายมีความสามารถในการเก็บสะสมออกซิเจนอยู่ประมาณ 2 ลิตร(ไม่เกี่ยวข้องกับนำเข้าออกซิเจนโดยการหายใจ) ส่วนที่ 1 มีปริมาณ 0.5 ลิตร เก็บไว้ในปอด ส่วนที่ 2 ประมาณ 0.25 ลิตร ละลายปนอยู่กับของเหลวในร่างกาย ส่วนที่ 3 ประมาณ 1 ลิตร จะจับอยู่กับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง และส่วนที่ 4 ประมาณ 0.25 ลิตร สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อจับอยู่กับไมโอโกลบิน ในสภาวะการออกกำลังกายอย่างเข้มข้นออกซิเจนที่เก็บไว้จะถูกยืมไปใช้ก่อนและจะหมดลงใน 1 นาที(Rojapon, 2017) (ภาพประกอบ)

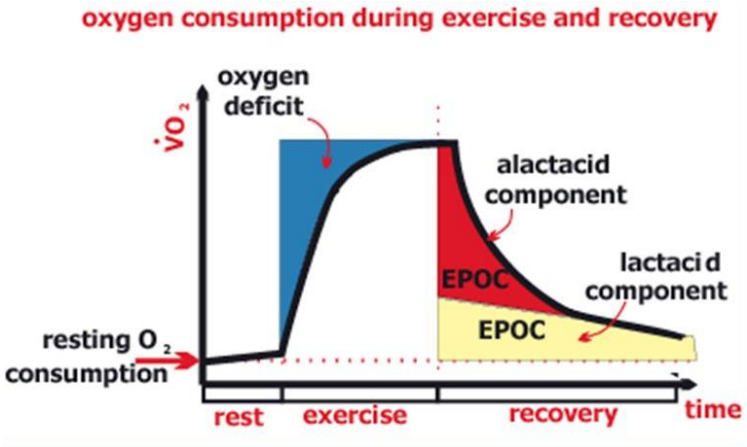



ภาพประกอบ 7 อัตราการใช้ออกซิเจนระหว่างการออกกำลังกายและในระยะฟื้นตัว

ที่มา : https://www.nbasport.co.th/blog/what-is-afterburn-effect

**ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย**(EPOC)

ความต้องการใช้ออกซิเจนที่เพิ่มมากขึ้นภายหลังจากการออกกำลังกายเพื่อใช้ในการฟื้นฟูร่างกายให้กลับสู่สภาวะก่อนการออกกำลังกายจึงมีความต้องการใช้ออกซิเจนและพลังงานในปริมาณที่มากขึ้นร่างกายจะมีสภาวะการปรับตัว ดังนี้ (ภาพประกอบ)




ภาพประกอบ 8 ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายแบบเร็วและแบบช้า

ที่มา : https://slideplayer.com/slide/2547778

- Alactacid component เป็นช่วงของการฟื้นคืนสภาพอย่างรวดเร็วหลังเสร็จสิ้นการออกกำลังกายทันที ร่างกายจะสังเคราะห์อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต ฟอสโฟครีเอทีน ปรับค่าความสมดุลของเลือด เพิ่มปริมาณออกซิเจนในเลือด และปรับสมดุลฮอร์โมนให้อยู่ในระดับปกติ ใช้เวลา 30 วินาทีในการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอทีนและเสร็จสมบูรณ์ภายในเวลา 3 นาที กระบวนการนี้ใช้ออกซิเจน 2-3 ลิตร(Joseph Laforgia et al., 2006)

- Lactacid component เป็นช่วงของการฟื้นคืนสภาพอย่างช้า มีหน้าที่หลายอย่าง ได้แก่ กำจัดกรดแลคติกที่สะสมระหว่างออกกำลังกายอาจใช้เวลา 1 ชั่วโมงหรือมากกว่าขึ้นอยู่กับความหนักและระยะเวลาของกิจกรรม กระบวนการนี้ใช้ออกซิเจน 5-6 ลิตร ในครึ่งชั่วโมงแรกของการพักฟื้นสามารถกำจัดกรดแลคติกได้ถึง 50% ปรับลดความถี่ในการหายใจและอัตราการเต้นของหัวใจให้เข้าสู่สภาวะก่อนออกกำลังกาย ไกลโคเจนจะถูกสร้างและส่งไปเก็บไว้ยังกล้ามเนื้อในการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ไกลโคเจนจำนวนมากสามารถกลับคืนมาได้ในเวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมงหลังจากการออกกำลังกาย เนื่องจากกรดแลคติกจะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นกลูโคสในเลือดและไกลโคเจนในตับผ่านวัฏจักรคอริ แต่ในกิจกรรมที่มีความหนักและใช้ระยะเวลานานอาจต้องใช้เวลาหลายวันในการฟื้นฟูไกลโคเจน เมื่อมีการออกกำลังกายจะมีการปลดปล่อยพลังงานจากกล้ามเนื้อความร้อนจะถูกผลิตขึ้นตลอดเวลา เมื่อสิ้นสุดการออกกำลังกายร่างกายจะมีความต้องการใช้พลังงานเพื่อปรับลดอุณหภูมิให้อยู่ในระดับปกติ(Jung et al., 2021)

อัตราการใช้พลังงานที่สูงขึ้นในการออกกำลังกายจะมีความสัมพันธ์ที่แปรผันกันกับขนาดและสัดส่วนของระยะเวลาพักฟื้นภายหลังการออกกำลังกาย จากการศึกษางานวิจัยพบว่า

แม้จะใช้เวลาในการออกกำลังกายช่วงสั้นๆ แต่มีความหนักสูงก็จะส่งผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายในปริมาณสูงตามไปด้วย เนื่องจากการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูงจะกระตุ้นการเผาผลาญมากขึ้นเกิดความเครียดภายในกล้ามเนื้อ การทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติคเพิ่มขึ้น ร่างกายจึงต้องใช้พลังงานงานในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อกลับสู่ระดับปกติ(Foureaux et al., 2006) ดังนั้นวิธีการที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายส่วนใหญ่จึงใช้การทดลองที่มีความหนักใกล้สูงสุด(Submaximal) หรือความหนักสูงสุด(Supramaximal) เช่น การทดลองแบบความเข้มข้นสูงสลับช่วงพัก การทดลองแบบความเร็วสูงสุดสลับช่วงพัก(Moniz et al., 2020)

จากการศึกษาผลของการทดลองแบบความเข้มข้นสูงสลับช่วงพักเปรียบเทียบกับการทดลองแบบความหนักต่อเนื่องที่มีผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย พบว่าการทดลองแบบความเข้มข้นสูงสลับช่วงพักมีปริมาณการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญภายหลังการออกกำลังกาย 0.5 - 3 ชั่วโมง(Moniz et al., 2020) สอดคล้องกับการค้นพบของ Townsend et al. (2013) ที่ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบความเร็วสูงสุดสลับช่วงพักเป็นเวลา 30 วินาที เทียบกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกระดับปานกลางต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกาย 30 นาที พบว่าการออกกำลังกายที่ความหนักสูงสุดซ้ำๆทำให้เกิดการใช้ปริมาณออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายมีระยะเวลาและขนาดสูงกว่าเมื่อเทียบกับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละช่วงเวลา ได้แก่ 3 ชั่วโมง 9 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง สรุปการทดลองพบว่ามีความต้องการใช้ออกซิเจนระดับสูงใน 1 ชั่วโมงแรกหลังการออกกำลังกายและจะค่อยๆปรับลดลงตามระยะเวลาขึ้นอยู่กับระดับความหนักของกิจกรรม

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ho et al. (2013) ที่ต้องการศึกษาปริมาณการขาดออกซิเจนสะสม 2 นาทีและปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย 30 นาที ผลการวิจัยพบว่าในการแข่งขันพายเรือระยะ 200 เมตรมีความสัมพันธ์กับระยะทางการพายต่อ 1 จังหวะการพายและปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย 30 นาที ส่วนการแข่งขันพายเรือระยะ 500 เมตรมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้ไขมันในร่างกาย ระยะทางการพายต่อ 1 จังหวะการพาย ปริมาณการขาดออกซิเจนสะสม ปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย  และกำลังสูงสุด จากสมการความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าระยะทางการพายต่อ 1 จังหวะการพายมีผลต่อการพายระยะ 200 เมตร และ 500 เมตรมากที่สุด ตาม

ด้วยปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย โดยระยะเวลาที่ใช้ในการแข่งขันระยะ 200 เมตรอยู่ที่ประมาณ 50 วินาที และ 500 เมตรอยู่ที่ประมาณ 1.50 นาที

**กระบวนการเมตาบอลิซึมของสารพลังงานภายหลังการออกกำลังกาย**

ภายหลังจากการออกกำลังกายร่างกายจะมีการระดมไกลโคเจนในกล้ามเนื้อและตับเพื่อสร้างสภาวะสมดุลของกลูโคสและเป็นช่วงที่มีการสังเคราะห์ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อสะสมอีกครั้ง ไขมันจึงกลายเป็นแหล่งพลังงานหลักในระหว่างการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกาย (Henderson et al., 2007) โดยอัตราการเผาผลาญไขมันภายหลังการออกกำลังกายจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดมากกว่าระดับความหนักจากการออกกำลังกาย (Malatesta et al., 2009)

จากการศึกษาเกี่ยวกับการเผาผลาญไขมันจากการออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นปานกลางเปรียบเทียบกับการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงในปริมาณการใช้พลังงานเท่ากัน พบว่าการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นปานกลางแต่ยาวนานกว่าจะมีการเผาผลาญไขมันในระหว่างออกกำลังกายมากกว่า แต่การออกกำลังกายทั้งสองรูปแบบมีการเผาผลาญไขมันที่เท่ากันในช่วงฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย ดังนั้นการเผาผลาญไขมันจึงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในระหว่างการฟื้นตัวเมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย(Henderson et al., 2007) สอดคล้องกันกับงานวิจัยของ Kuo et al. (2005) กล่าวว่าการขาดพลังงานจากการออกกำลังกายส่งผลให้เกิดการสูญเสียไกลโคเจนและยอมให้การเผาผลาญไขมันมีบทบาทมากกว่าในช่วงของการฟื้นตัวหลังการออกกำลังกาย การค้นพบที่สำคัญได้แก่ 1.ในระหว่างการฟื้นตัวหลังออกกำลังกายร่างกายจะเปลี่ยนไปใช้ไขมันเป็นพลังงานหลัก 2. ความเข้มข้นของการออกกำลังกายไม่มีนัยสำคัญต่อการเผาผลาญในช่วงฟื้นตัวหลังการออกกำลังกายในปริมาณการใช้พลังงานที่เท่ากัน 3. สัดส่วนการเผาผลาญไขมันต่อสารตั้งต้นจะค่อยๆเพิ่มขึ้นตลอดทั้งวัน

สรุปได้ว่าไกลโคเจนในกล้ามเนื้อและตับถูกใช้ในระหว่างการออกกำลังกายและเมื่อสิ้นสุดลงร่างกายจะจัดลำดับความสำคัญของการสังเคราะห์ไกลโคเจนใหม่ ในช่วงการฟื้นตัวหลังออกกำลังกายร่างกายจะเพิ่มการเผาผลาญไขมัน ขณะเดียวกันก็ลดปริมาณการใช้คาร์โบไฮเดรตลงเพื่อรักษาระดับน้ำตาลในเลือด ฟื้นฟูภาวะสมดุลของกลูโคสและผลิตไกลโคเจนทดแทน ถึงแม้ว่าปริมาณการใช้ออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังออกกำลังกาย แต่อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนก๊าซ(RER) ไม่ได้ลดลงอย่างรวดเร็วจนกว่าจะฟื้นตัวเป็นเวลา 15-30 นาที ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Kiens and Richter (1998)ที่ว่าร่างกายจะเปลี่ยนไปเผาผลาญไขมันเมื่อการเก็บรักษาไกลโคเจนหรือการสังเคราะห์ใหม่กลายเป็นเรื่องสำคัญ และแนะนำว่าไตรเอซิลกลีเซอรอล

ของกล้ามเนื้อและไลโปโปรตีนไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีความหนาแน่นต่ำมากมีความสำคัญในการให้เชื้อเพลิงสำหรับการเผาผลาญของกล้ามเนื้อในช่วงพักฟื้นหลังออกกำลังกาย

**วิธีการวัดการใช้พลังงานในการออกกำลังกาย**

ร่างกายมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานในการประกอบกิจกรรมต่างๆซึ่งพลังงานที่ต้องการใช้นั้นได้มาจากกระบวนการเมตาบอลิซึม หากต้องการทราบค่าการใช้จ่ายพลังงาน (Energy expenditure: EE) วิธีการที่มีความสะดวก ละเอียดอ่อน แม่นยำ และไม่รุกล้ำร่างกายนิยมใช้วิธีการวัดความร้อนทางอ้อม(Indirect calorimetry,IC) คำนวณโดยการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจน($VO_2$) คาร์บอนไดออกไซด์ที่ร่างกายปล่อยออกมา($VCO_2$) และอัตราส่วนของ $CO_2$ ที่ผลิตต่อ $O_2$ ที่บริโภค(Respiratory exchange ratio, RER) โดยการแลกเปลี่ยนก๊าซ RER จะเป็นตัวบ่งชี้ประเภทของสารพลังงาน(อัตราส่วนของไขมันกับคาร์โบไฮเดรต) ที่กำลังถูกเผาผลาญซึ่งในระหว่างการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เท่ากันกับปริมาณออกซิเจนที่บริโภคเข้าไป(RER = 1.0) และในระหว่างการเผาผลาญไขมันจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตออกมาน้อยกว่าปริมาณออกซิเจนที่บริโภคเข้าไป ดังนั้น ค่าของ RER มีแนวโน้มที่จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสารพลังงานที่ใช้และในการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความต้องการคาร์โบไฮเดรตเป็นสารพลังงานหลัก ค่า RER ที่สูงขึ้นจะบ่งชี้ถึงความเข้มข้นของกิจกรรมและส่งผลให้ปริมาณการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายสูงขึ้น(Gupta et al., 2017) สามารถคำนวณปริมาณการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายได้โดยใช้สมการ ดังนี้

EPOC = $VO_2$ recovery x time to recover) — (resting $VO_2$ x time to recover)

จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่มีการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกาย พบงานวิจัยของ Ho et al. (2013) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการพายเรือมังกรระยะ 200 เมตรและ 500 เมตร เพื่อวัดปริมาณการขาดออกซิเจนสะสมและปริมาณการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกายโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส(Cosmed K4B2, Roma, Italy) เป็นเวลา 30 นาที เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Sindorf et al. (2021) ที่ทำการทดลองการออกกำลังกายแบบความเข้มข้นสูงสลับช่วงพักหลายรูปแบบ เพื่อต้องการวัดการฟื้นตัวหลังการออกกำลังกายโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส(MedGraphics VO2000, St. Paul, Minnesota, USA) เป็นเวลา 120 นาที และ Zagatto et al. (2019) ที่ทำการศึกษาเรื่องการประเมินการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนในการออกกำลังกายแบบเต็มที่ 3 นาที โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส(COSMED, Rome, Italy) เป็นเวลา 10 นาที พบว่าในงานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนภายหลังการออกกำลังกาย

ข้อกำหนดเบื้องต้นสำหรับการวัดการใช้พลังงานในการออกกำลังกายการวัดค่าใช้จ่ายพลังงานจะต้องดำเนินการโดยปฏิบัติตามเงื่อนไข ดังนี้

- ได้รับการพักผ่อนอย่างเพียงพอ
- ทำการวัดในสภาพแวดล้อมที่เงียบสงบ
- อดอาหารเป็นเวลาอย่างน้อย 5 ชั่วโมง
- หลีกเลี่ยงการออกกำลังกายเป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง
- หลีกเลี่ยงนิโคติน คาเฟอีน และอาหารเสริมที่มีฤทธิ์ในการกระตุ้นร่างกายเป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนการประเมิน

ในการทดสอบทุกครั้งจะต้องมีการวัดและปรับตั้งเครื่องมือเพื่อให้มีค่ามาตรฐานตรงตามคู่มือการใช้งาน ในระหว่างการทดสอบจะมีการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สายเพื่อใช้ติดตามอัตราการเต้นของหัวใจร่วมด้วยและต้องมั่นใจว่าจะไม่เกิดการรั่วไหลของอากาศในวงจรทางเดินหายใจ

**ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ**(Muscle Oxygenation)

ความสามารถในการนำส่งออกซิเจนและการนำไปใช้ประโยชน์ของกล้ามเนื้อจะขึ้นอยู่กับอัตราการเต้นของหัวใจ ความอิ่มตัวของหลอดเลือดแดง ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน โครงสร้างหลอดเลือดขนาดใหญ่ - ขนาดเล็ก และการไหลเวียนของเลือด โดยการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อโดยตรงและความแตกต่างของออกซิเจนในหลอดเลือดจะสะท้อนถึงอัตราการใช้ออกซิเจนในร่างกายทั้งหมดและความต้องการออกซิเจนของกล้ามเนื้อเฉพาะที่ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปตามระดับความหนักของการออกกำลังกาย ดังนั้นการไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อต่างๆ ของร่างกายก็จะแตกต่างกันไป โดยที่กลุ่มกล้ามเนื้อที่ไม่ได้ใช้งานความต้องการออกซิเจนจะยังคงอยู่ใกล้ระดับพัก ส่วนกล้ามเนื้อที่ใช้งานความต้องการออกซิเจนจะอยู่ในระดับที่สูงกว่า ดังนั้น ความต้องการออกซิเจนในกล้ามเนื้อจึงมีลักษณะไม่สม่ำเสมอโดยมีเส้นใยที่เป็นของกลุ่มกล้ามเนื้อที่ใช้งานอยู่สลับกับกลุ่มที่หยุดนิ่ง(Verratti et al., 2020)

**ความสำคัญของออกซิเจนในกล้ามเนื้อในนักกีฬา**

กล้ามเนื้อโครงร่างเป็นพื้นฐานของการเคลื่อนไหวทั้งหมดในร่างกายมนุษย์และนักกีฬาใช้เวลาหลายปีในการฝึกกล้ามเนื้อให้แข็งแรงและมีประสิทธิภาพ แม้ว่ากล้ามเนื้อเพียงมัดเดียวจะทำให้สามารถยกรถขึ้นได้ แต่ก็จะไม่มีประโยชน์ถ้ากล้ามเนื้อไม่สามารถสร้างแรงหดตัวได้อีกเป็นเวลาหลายชั่วโมง กล้ามเนื้อต้องมีประสิทธิภาพในการใช้ออกซิเจน ไอออน และสารพลังงาน เพื่อที่จะช่วยให้กล้ามเนื้อมีการหดตัว - ฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วและเตรียมพร้อมสำหรับ

การหดตัวซ้ำ ดังนั้นการให้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความทนทานและพลังของกล้ามเนื้อ เนื่องจากจำเป็นต่อกระบวนการผลิตอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต(Adenosine Triphosphate ; ATP) เพื่อให้เซลล์กล้ามเนื้อหดตัวซึ่งในระหว่างกระบวนการสร้างแรงและการผลิต ATP จะเกิดขึ้นผ่านกระบวนการเผาผลาญแบบแอโรบิก(Ferrari et al., 2011) เมื่อปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อมีอัตราลดลงแปรผันตามความหนักและระยะเวลาของการออกกำลังกาย ร่างกายจึงมีความจำเป็นต้องชดเชยกระบวนการเหล่านี้โดยระบบหัวใจและการไหลเวียนของเลือด แต่เมื่อระดับความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้นจนไม่สามารถส่งออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อได้ทันสภาวะการขาดออกซิเจนจะส่งผลกระทบต่อความสมดุลระหว่างปริมาณการขนส่งออกซิเจนและปริมาณที่ต้องการใช้งานของกล้ามเนื้อจนนำไปสู่ความล้าในกล้ามเนื้อส่งผลให้ประสิทธิภาพในการออกกำลังกายลดลง(Yoshiko et al., 2020) ปัจจุบันการประเมินความอิ่มตัวของออกซิเจนโดยใช้เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อเป็นแนวทางในการตรวจสอบการทำงานและการขาดสมดุลของการนำส่งออกซิเจนในกล้ามเนื้อแม้จะไม่มีการวัดการไหลเวียนของเลือดโดยตรง แต่ข้อมูลที่ได้จะบ่งบอกถึงความเชื่อมโยงที่เป็นไปได้ระหว่างการหดตัวของหลอดเลือดที่เพิ่มขึ้นในกล้ามเนื้อ การกระจายการไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานและค่าพลังวิกฤติลดลงตามปริมาณความเข้มของดัชนีความอิ่มตัวในเนื้อเยื่อบ่งชี้ถึงความไม่สมดุลของการนำส่งออกซิเจนที่จะมีผลให้กล้ามเนื้อมีประสิทธิภาพการทำงานลดลงจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการอธิบายและทำนายข้อจำกัดในการออกกำลังกาย(Ferrari et al., 2011; Kirby et al., 2021; Paulauskas et al., 2022)

จากการศึกษางานวิจัยที่มีการตรวจสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อกับประสิทธิภาพการพายเรือในนักกีฬาเรือแคนู-คยัค 30 คน ด้านปริมาณความอิ่มตัวของออกซิเจนพบว่าในการพายเรือระยะ 200 เมตร ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้ามีปริมาณต่ำกว่า 500 เมตร 1000 เมตร และยังต่ำกว่ากล้ามเนื้อหลัง ในระยะ 500 และ 1000 เมตร ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้ากับกล้ามเนื้อหลังไม่แตกต่างกันแต่ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกล้ามเนื้อหลังพบว่ามีปริมาณน้อยกว่ากล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้าในทุกระยะ การศึกษาของ Paquette et al. (2018) พบว่าในการแข่งขันเรือแคนู-คยัคที่มีความหนักสูงสุดกล้ามเนื้อจะมีการหดตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดความตึงเครียดในกล้ามเนื้อ เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อถูกจำกัด ดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ(TSI) จะมีปริมาณลดลง ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณดีออกซีฮีโมโกลบิน(HHb) และการลดลงของ

ปริมาณออกซีฮีโมโกลบิน($O_2Hb$) ส่งผลให้ปริมาตรเลือดทั้งหมดในเนื้อเยื่อ(tHb) ลดลงตามมา (Hettinga et al., 2016)

การที่จะศึกษากระบวนการเผาผลาญในกล้ามเนื้อเฉพาะที่ด้วยการวัดสถานะออกซิเจนของสารประกอบฮีม(Heme) ในกล้ามเนื้อโครงร่าง(เฮโมโกลบินและไมโอโกลบิน) เพื่อให้มีความเข้าใจกลไกการควบคุมพื้นฐานในระหว่างการเผาผลาญแบบแอโรบิก การนำส่งออกซิเจน ($\dot{Q}O_2$) จะต้องมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการในการกระบวนการเผาผลาญอาหาร ($\dot{V}O_2$) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อ การส่งออกซิเจนไปยังปลายไซโตโครมออกซิเดส (cytoox) สามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \cdot (C_a - C_v) O_2$$

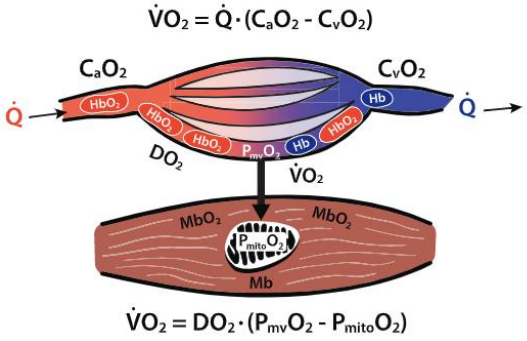
$$\text{และ } \dot{V}O_2 = DO_2 \cdot (P_{mv}O_2 - P_{mito}O_2)$$

โดยที่ Q คือ กระแสเลือด

$C_a$ และ $C_v$ คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนในเลือดแดงและเลือดดำ

$DO_2$ คือ การแพร่กระจายของออกซิเจน $P_{mv}O_2$

$P_{mito}O_2$ คือ แรงดันบางส่วนของออกซิเจนในเลือดและไมโตรคอนเดรีย (ภาพประกอบ)




ภาพประกอบ 9 ส่วนประกอบของการนำส่งออกซิเจนและการแพร่ของออกซิเจนจากหลอดเลือดฝอยไปยังไมโตรคอนเดรียของเส้นใยกล้ามเนื้อ

ที่มา Barstow (2019)

**เครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจน**(Near-infrared spectroscopy: NIRS)

ในปัจจุบันมีการนำมาใช้เพื่อรับข้อมูลแบบเรียลไทม์เพื่อให้ทราบถึงสถานะของประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อในระหว่างการฝึกซ้อมและหลังจากการพักผ่อน โดยจะเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ การเผาผลาญ และการตอบสนอง

ของกล้ามเนื้อ สามารถบอกค่าเฉลี่ยในการประเมินความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ($SmO_2$) จากหลอดเลือดขนาดเล็ก เช่น หลอดเลือดฝอย หลอดเลือดแดง การหดตัวของหลอดเลือด บ่งบอกถึงความสมดุลระหว่างการนำส่งออกซิเจน การใช้ประโยชน์ที่ระดับของหลอดเลือดขนาดเล็กภายในกล้ามเนื้อ และความสามารถในการปรับตัวทางสรีรวิทยาของกล้ามเนื้อในระหว่างการออกกำลังกาย สามารถนำไปใช้เฉพาะที่กับกล้ามเนื้อที่สนใจศึกษาและให้ข้อมูลตามเวลาจริงในระหว่างการออกกำลังกาย NIRS มีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อซึ่งแตกต่างจากการวัดตัวอย่างเลือดแดงหรือเลือดดำ(Felici et al., 2009; S. Perrey, 2022) โดยการหาปริมาณออกซิเจนในเนื้อเยื่อผ่าน NIRS เป็นไปตามกฎของเบียร์ - แลมเบิร์ต ซึ่งระบุปริมาณการลดทอนของแสงที่เดินทางผ่านตัวกลางที่ไม่กระเจิง สามารถแสดงได้ดังสมการ (Subudhi et al., 2007)

$$OD\lambda = \log(Io/I) = \varepsilon\lambda \cdot c \cdot Lo$$

แต่เมื่อนำไปใช้กับเนื้อเยื่อชีวภาพ สมการจะได้รับการแก้ไขเพื่ออธิบายการกระเจิงของแสง

ดังนี้ $$OD\lambda = \log(Io/I) = \varepsilon\lambda \cdot c \cdot Lo \cdot DPF + OD\lambda x$$

โดยที่ $OD\lambda$ คือ ความหนาแน่นเชิงแสงของตัวกลาง

Io คือ ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ

I คือ ความเข้มของแสงที่ส่องผ่าน

$E\lambda$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดับของโครโมฟอร์ ($mM^{-1} \cdot cm^{-1}$)

C คือ ความเข้มข้นของโครโมฟอร์ ($mM^{-1}$)

Lo คือ ระยะทาง (ซม.) ระหว่างแสงเข้าและออก

$\lambda$ คือ ความยาวคลื่นของแสงที่ใช้

DPF คือ ปัจจัยความยาวเส้นทางที่แตกต่างกัน

โดยเครื่องมือจะแสดงค่าตัวแปร ดังนี้

- Oxyhemoglobin($O_2Hb$) คือ ฮีโมโกลบินที่จับอยู่กับออกซิเจนภายในเซลล์เม็ดเลือดแดง บ่งบอกถึงความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย

- Deoxyhemoglobin(HHb) คือ ฮีโมโกลบินที่ปลดปล่อยออกซิเจนออกไปแล้วและจับเอาคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาจากเซลล์กล้ามเนื้อ

- Total hemoglobin(tHb) คือ ผลรวมของฮีโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดง

คำนวณจากสมการ $tHb = O_2Hb + HHb$

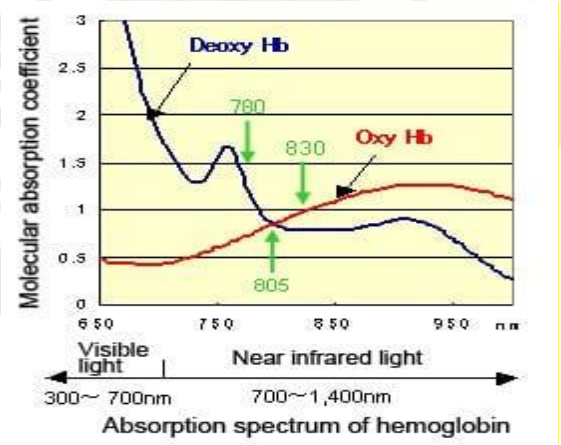
- Tissue saturation index(TSI) คือ ดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ

คำนวณจากสมการ TSI = [O2Hb]/([O2Hb] + [HHb]) x 100)

- Muscle $O_2$ saturation ($SmO_2$) คือ ความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

คำนวณจากสมการ $\%SmO = \left(\frac{\mathbf{O2Hb + myoglobin}}{tHb + myoglobin}\right)$ X 100

ระบบการทำงานของอุปกรณ์นี้ทำงานโดยการวัดเปอร์เซ็นต์ของออกซีฮีโมโกลบินต่อฮีโมโกลบินทั้งหมด ซึ่งฮีโมโกลบินจะเป็นตัวนำพาออกซิเจนในเลือดไปสู่เนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อ ในขณะที่กล้ามเนื้อทำงานปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อจะลดลง ในขั้นตอนการวัดอุปกรณ์จะใช้รังสีอินฟาเรด(LED) ฉายคลื่นผ่านผิวหนัง ไขมัน และเข้าสู่กล้ามเนื้อ เซ็นเซอร์ภายในระบบ NIRS จะจับแสงกระจัดกระจายที่สะท้อนอยู่ภายในเนื้อเยื่อและประเมินสิ่งที่เกิดขึ้นตามสถานะของฮีโมโกลบินที่ได้รับออกซิเจนและฮีโมโกลบินที่ขาดออกซิเจนในกระแสเลือด แสงจะมีลักษณะความยาวคลื่นคู่แบบต่อเนื่องใช้ความแตกต่างของลักษณะการดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นระหว่าง 750-850 นาโนเมตร อาศัยความโปร่งใสสัมพัทธ์ของเนื้อเยื่อต่อแสงและลักษณะการดูดกลืนแสงที่ขึ้นกับออกซิเจนของฮีโมโกลบิน(Ferrari et al., 2011) (ภาพประกอบ)




ภาพประกอบ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมระดับโมเลกุลของออกซีฮีโมโกลบินและดีออกซีฮีโมโกลบิน

ที่มา Ferrari et al. (2011)

ระหว่างการทดสอบข้อมูลจะถูกจัดเก็บในหน่วยความจำภายในของอุปกรณ์ และจะดาวน์โหลดเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในภายหลัง ค่าพื้นฐานความอิ่มตัวของฮีโมโกลบินในเนื้อเยื่อจะถูกคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย 30 วินาทีก่อนการออกกำลังกายและค่าเฉลี่ย 3 วินาทีขณะออกกำลังกาย

โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรงจุดกึ่งกลางของมัดกล้ามเนื้อที่ต้องการทดสอบทำการยึดติดด้วยกาวและพันผ้าทึบแสงเพื่อป้องกันแสงภายนอกรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อถูกคำนวณโดยอัลกอริทึมเป็นวิธีการวัดทางอ้อมและไม่รุกล้ำร่างกาย อุปกรณ์ NIRS จะต้องได้รับการตรวจสอบตามมาตรฐานและเปรียบเทียบกับระบบที่ได้รับการตรวจสอบแล้วเพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของข้อมูลขณะทำการวัด มีความเป็นเป็นไปได้ที่ระบบจะไม่แม่นยำเท่ากับมาตรฐานการวิจัยแต่ก็ยังมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับสูง แต่ตัวเลขที่แน่นอนไม่ได้บ่งชี้ถึงสิ่งที่เกิดขึ้นภายในร่างกายอย่างแท้จริง เนื่องจากการคำนวณอัลกอริทึมด้วยอุปกรณ์ NIRS เป็นแบบคงที่อีกทั้งไม่ได้คำนึงถึงอัตราของเหงื่อและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ รวมถึงการเคลื่อนไหวที่ผิดปกติ จึงจำเป็นต้องมีการตีความอย่างรอบคอบเพื่อคาดเดาสิ่งที่เกิดขึ้นภายในกลุ่มกล้ามเนื้อที่ทำการทดสอบ มักจะมีการเพิ่มเซ็นเซอร์มากขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มกล้ามเนื้อมัดอื่นๆรวมถึงกล้ามเนื้อที่ไม่ได้ทำงานสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล(Jones & Cooper, 2016)

ในงานวิจัยเกี่ยวกับกีฬาความนิยมของ Near-infrared spectroscopy(NIRS) เพิ่มขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมามีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการตอบสนองของออกซิเจนในกล้ามเนื้อเฉพาะที่ ซึ่งสะท้อนถึงความสมดุลระหว่างการนำส่งออกซิเจนและการนำไปใช้ประโยชน์ที่ระดับของหลอดเลือดขนาดเล็กภายในกล้ามเนื้อโครงร่าง การวัดค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนของกล้ามเนื้อโดยใช้สเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIRS) จะอาศัยการดูดกลืนแสงของฮีโมโกลบิน(Hb) และไมโอโกลบิน(Mb) ที่ประกอบไปด้วยออกซีฮีโมโกลบินและดีออกซีฮีโมโกลบินในเนื้อเยื่อ โดยใช้การทำงานร่วมกันของแสงที่ความยาวคลื่นต่างกัน ช่วยให้สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของออกซีฮีโมโกลบิน($O_2Hb$) ดีออกซีฮีโมโกลบิน(HHb) ปริมาตรของฮีโมโกลบินทั้งหมด(tHb) และดัชนีความอิ่มตัวของเนื้อเยื่อ($Smo_2$) โดยการวัดด้วยวิธีนี้สามารถให้ข้อมูลโดยไม่รุกรานกลุ่มทดลอง รายงานผลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของระดับฮีโมโกลบินของเส้นเลือดฝอยและระดับออกซิเจนของไมโอโกลบินในเซลล์และสามารถให้ข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ เมื่อพิจารณามากกว่า 90% ของปริมาณเลือดทั้งหมดในกล้ามเนื้อมาจากเส้นเลือดฝอยและเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อทั้งหมดที่มีออกซิเจนอย่างเต็มที่ สามารถใช้เพื่อประเมินผลของความเข้มข้นของการออกกำลังและระยะเวลาการฝึกต่อการให้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อและอัตราการฟื้นสภาพจากการฝึกซ้อม(Barstow, 2019; Klusiewicz et al., 2021)

การศึกษาหลายชิ้นมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้ NIRS ในการประเมินประสิทธิผลของโปรแกรมการฝึกกีฬา เช่น ผลกระทบจากการฝึก ช่วงเวลาการฝึก การแบ่งโซนการฝึกซ้อมที่สามารถกำหนดได้อย่างแม่นยำโดยการวัดระดับของฮีโมโกลบิน ดีออกซีฮีโมโกลบิน และดัชนี

ความอิ่มตัวของเนื้อเยื่อ(Stephane Perrey, 2022) การมีส่วนร่วมของกล้ามเนื้อต่อการเคลื่อนไหวในชนิดกีฬานั้นๆ เพื่อให้สามารถวาดภาพสะท้อนสถานะของกล้ามเนื้อได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ การกระตุ้นกล้ามเนื้อ(บันทึกโดยการถ่ายภาพด้วยไฟฟ้าพื้นผิว) และการให้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ(ประเมินโดย NIRS) ความสามารถในการรักษาสมรรถนะที่จะส่งผลโดยตรงต่อความเหนื่อยล้าระหว่างการออกกำลังกายถือเป็นแนวทางหลักในการตรวจสอบการทำงานของกล้ามเนื้อ (Ferrari et al., 2011; Paulauskas et al., 2022) และการขาดสมดุลของการนำส่งออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ตรงประเด็นนี้สามารถใช้ในการคาดการณ์เวลาที่จะอ่อนล้าในระหว่างการออกกำลังกายได้แม้จะไม่มีการวัดการไหลเวียนของเลือดโดยตรง แต่ข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อจะบ่งบอกถึงความเชื่อมโยงที่เป็นไปได้ระหว่างการหดตัวของหลอดเลือดที่เพิ่มขึ้นในกล้ามเนื้อ การกระจายการไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อที่กำลังทำงาน และค่าพลังวิกฤติลดลงตามปริมาณความเข้มของดัชนีความอิ่มตัวของเนื้อเยื่อ บ่งชี้ถึงความไม่สมดุลระหว่างการนำส่งออกซิเจนและความต้องการใช้ออกซิเจนที่จะมีผลให้กล้ามเนื้อมีประสิทธิภาพการทำงานลดลงจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการอธิบายและทำนายข้อจำกัดในการออกกำลังกาย(Kirby et al., 2021)

จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อพบงานวิจัยของ Paulauskas et al. (2022) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการวัดปริมาณออกซิเจนของกล้ามเนื้อขณะพายเรือคยัค จากการวิเคราะห์ข้อมูลแรงและการตรวจคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) พบว่ากล้ามเนื้อที่มีการเคลื่อนไหวมากที่สุดระหว่างจังหวะการพายของเรือคายัคคือกล้ามเนื้อหัวไหล่(Deltoid, AD), กล้ามเนื้อด้านหลังต้นแขน(Triceps brachii, TB) กล้ามเนื้อหลัง (Latissimus dorsi, LD) และ กล้ามเนื้อต้นขาด้านนอก(Vastus lateralis, VL) พบว่าถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขทางเทคนิคที่ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการติดเซ็นเซอร์เนื่องจากการเคลื่อนไหวในขั้นตอนการศึกษางานวิจัยส่วนใหญ่จึงมักจะติดตั้งเครื่องมือที่บริเวณกล้ามเนื้อหลัง(Latissimus dorsi, LD) กล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า(Biceps brachii, BB) และกล้ามเนื้อขาด้านนอก(Vastus lateralis, VL) อย่างเช่นการศึกษาของ Paquette and Billaut (2013) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนจากเครื่องสเปกโทรสโกปี(NIRS) ในกล้ามเนื้อต่างๆในการทดลองพายเรือแคนู-คยัค ระยะ 200 500 และ 1000 เมตร เพื่อตรวจสอบปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อกับประสิทธิภาพการพายเรือในนักกีฬาเรือแคนู-คยัค 30 คน ด้านปริมาณความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ผลการศึกษาพบว่าในการพายเรือระยะ 200 เมตร ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้ามีปริมาณต่ำกว่าระยะ 500 เมตร 1000 เมตร และยังต่ำ

กว่ากล้ามเนื้อหลังในระยะ 500 และ 1000 เมตร ค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้ากับกล้ามเนื้อหลังไม่แตกต่างกันแต่ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของกล้ามเนื้อหลังพบว่ามีปริมาณน้อยกว่ากล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้าในทุกระยะ ในด้านความสัมพันธ์ในระยะ 200 เมตรพบว่ากล้ามเนื้อหลังมีความสัมพันธ์อย่างมากในระยะ 200 เมตร สำหรับกล้ามเนื้อขาด้านนอกมีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ในด้านประสิทธิภาพการพายเรือระยะ 500 และ 1000 เมตร พบว่ากล้ามเนื้อขาด้านนอกมีปริมาณความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อและปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดในระดับที่สูงกว่ากล้ามเนื้อมัดอื่น

การศึกษาของ Paquette et al. (2018) พบว่าในการแข่งขันเรือแคนู-คยัคที่มีความหนักเข้มข้นสูงสุด กล้ามเนื้อจะมีการหดตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดความตึงเครียดในกล้ามเนื้อ ปริมาณออกซิเจนที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อจะถูกจำกัดและในการพายเรือแคนู-คยัคจะใช้กล้ามเนื้อบริเวณส่วนบนเป็นหลัก ดังนั้นการตรวจสอบความสัมพันธ์ของปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการพายจะติดอุปกรณ์(NIRs) ในการทดสอบพายเรือที่บริเวณกล้ามเนื้อ 3 มัด ได้แก่ กล้ามเนื้อหลัง(LD) กล้ามเนื้อต้นขาด้านนอก(VL) และกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า(BB) โดยตัวเซ็นต์เซอร์จะวางขนานกับแนวเส้นใยกล้ามเนื้อ ปิดทับด้วยแผ่นกาวและผ้าสีเข้มเพื่อป้องกันการรบกวนของแสงจากภายนอกโดยเครื่องจะรายงานผล ดังนี้ ความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ($SmO_2$) แสดงถึงความสมดุลระหว่างการนำส่งออกซิเจนและการใช้ประโยชน์ที่ระดับของหลอดเลือดขนาดเล็กภายในกล้ามเนื้อ ปริมาตรของฮีโมโกลบินทั้งหมด(tHb) แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของเลือด ความเข้มข้นของดีออกซีฮีโมโกลบิน(HHb) จะคำนวณได้จากความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อและความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$[HHb] = [THb] - SmO_2 * [THb]$$

ในการทดสอบจะมีการคำนวณค่ามาตรฐานของความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อและความเข้มข้นของฮีโมโกลบินก่อน โดยให้ผู้เข้าร่วมนั่งนิ่งๆ 2 นาที การคำนวณความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อจะใช้ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ 5 วินาทีระหว่างการทดสอบและจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์จากค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ มาตรฐานในการคำนวณดีออกซีฮีโมโกลบินและความเข้มข้นของฮีโมโกลบินเช่นกัน ค่าเฉลี่ยความอิ่มตัวของออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน ความเข้มข้นของดีออกซีฮีโมโกลบินที่ได้จะแสดงเป็นผลรวมของกล้ามเนื้อทั้ง 3 มัด สรุปได้ว่าในความสัมพันธ์ด้านพละกำลังกับการพายเรือกล้ามเนื้อหลัง(LD) และกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า(BB) มีการใช้งานในช่วงจังหวะของการดึงน้ำซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนเรือเป็นอย่างมาก

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

## การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

### ประชากรในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักกีฬาเรือมังกรที่ได้รับการคัดเลือกจากสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทยให้เข้าร่วมการแข่งขันเอเชี่ยนเกมส์ 2022(Hangzhou 2022) จำนวน 30 คน

### กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีจำนวน 10 คน โดยจำนวนดังกล่าวได้มาจากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป G*Power(Version 3.1) โดยมีการกำหนดค่าขนาดอิทธิพล(Effect size, EF) ซึ่งได้มาจากการคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ย(Mean) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน(Standard error of sample mean, SE) ของการขาดออกซิเจนสะสม(Accumulated oxygen deficit, AOD) ในการพายเรือคยัคระยะทาง 500 เมตรและ 1,000 เมตร จากงานวิจัยที่ผ่านมาตามขั้นตอนดังนี้

1.เปลี่ยนค่า SE ของ AOD จากงานวิจัยที่ผ่านมา(Zouhal et al., 2012) ให้เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard deviation,S.D.) โดยใช้สูตร

$$SD = SE\sqrt{n}$$

โดยที่ $SD$ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$SE$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

$n$ คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

นำค่า SE ของ AOD ในการพายเรือคยัคระยะ 500 เมตร = 4.88 $ml.k^{-1}$ และระยะ 1,000 เมตร = 1.38 $ml.k^{-1}$ และขนาดของกลุ่มตัวอย่าง = 30 คน จากงานวิจัยที่ผ่านมาไปแทนค่าในสูตร ได้ค่า S.D. = $4.88\sqrt{30}$ = 26.73 และ $1.38\sqrt{30}$ = 7.6 ตามลำดับ

2. คำนวณค่า EF จากค่า S.D. ที่คำนวณได้ในข้อ 1 โดยใช้สูตร

$$d = (\bar{x}1 - \bar{x}2)/S2$$

โดยที่ $d$ คือ ค่าขนาดอิทธิพลของผลการวิจัย

$\bar{x}1$ คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองที่ 1

$\bar{x}2$ คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองที่ 2

$S2$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มทดลองที่ 2

นำข้อมูลจากผลการวิจัยก่อนหน้านี้ ได้แก่

ค่าเฉลี่ยของ AOD ในการพายเรือระยะ 500 เมตร = 18.16 $ml.k^{-1}$

ค่าเฉลี่ยของ AOD ในการพายเรือระยะ 1,000 เมตร = 9.34 $ml.k^{-1}$

ค่า S.D. ในระยะ 1,000 เมตร = 7.6 คน

ไปแทนค่า $\bar{x}1$, $\bar{x}2$ และ $S2$ ในสูตร ตามลำดับ ได้ค่า EF = 1.16

3. คำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่างจากค่า EF ที่คำนวณได้ในข้อ 2 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป G*Power(Version 3.1) โดย

- เลือก Test family เป็น t test
- เลือก Statistical test เป็น Means: Difference from constant(one sample case)
- เลือก Type of power analysis เป็น A priori: Compute required sample size –given α, power, and effect size
- เลือก Tail(s) เป็น Two
- เลือกกำหนดค่า EF = 1.16
- ระดับนัยสำคัญทางสถิติ(Alpha error) = 0.05
- อำนาจการทดสอบ(Power of test) = 0.8

จากขั้นตอนดังกล่าวจะได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ในทางสถิติอย่างน้อย 8 คน แต่เพื่อป้องกันการได้ข้อมูลไม่ครบถ้วนจึงเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างอีก 20% ของค่าที่คำนวณได้และได้กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ทั้งสิ้นจำนวน 10 คน

ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างทุกคนต้องมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้และต้องลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมการวิจัย(Informed consent form) ที่ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ(SWU Ethics Committee) หลังจากที่กลุ่มตัวอย่างทราบรายละเอียดของการวิจัยทั้งชื่อการวิจัย วัตถุประสงค์ ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมการวิจัย

**เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัย(Inclusion criteria)**

1. อายุระหว่าง 20 – 30 ปี

2. มีประสบการณ์ในการเข้าร่วมการแข่งขันระดับนานาชาติ

3. มีประสบการณ์การฝึกซ้อมในนามทีมชาติไทยอย่างน้อย 2 ปี

4. มีการฝึกซ้อมอย่างน้อยคิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของโปรแกรมการฝึกซ้อมของสมาคมเรือพายแห่งประเทศไทย

5. ไม่เป็นผู้ที่สูบบุหรี่

6. มีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัวหรือมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากการทดสอบที่จะทำให้ผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน เช่น ความผิดปกติทางเมตาบอลิซึม โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น

7.ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยความสมัครใจ

**เกณฑ์การคัดออก(Exclusion criteria)**

1. มีผลการทดสอบที่ไม่ปกติ

2. มีการบาดเจ็บหรือป่วยจนไม่สามารถทำการทดสอบได้

3. ขอถอนตัวจากการวิจัย

4. ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงของการวิจัย

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

- เครื่องชั่งน้ำหนักและไขมันในร่างกาย(BAS PRO, Guangzhou, China)

- เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตัล(Omron HEM-7130, Japan)

- เครื่องพายเรือวัดงาน(Kayak ergometer, WEBA Sport, Vienna, Austria)

-เครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ(PNOE, Endo Medical, Palo, Alto, CA, USA) (r=0.98) (Tsekouras et al., 2019)

- เครื่องวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อด้วยวิธี Near infrared spectroscopy(NIRS) (PORTAMON, Netherlands)

- เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย(Polar H10, Polar Electro, Kempele, Finland)

**วิธีการหาคุณภาพเครื่องมือ**

การหาค่าความน่าเชื่อถือภายในของผู้ประเมิน(Intra-rater reliability) โดยการนำเครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบไปทดลองใช้กับกลุ่มทดลองที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผู้เข้าร่วมวิจัย 5 คน โดยใช้วิธีการทดสอบเหมือนการเก็บข้อมูลจริงทุกประการ โดยมีนักวิทยาศาสตร์การกีฬาเป็นผู้ประเมินเพียงคนเดียว ทำการทดสอบการวัดค่า 2 ครั้งหากค่าที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 ครั้งมีความใกล้เคียงกันจะตีค่าความน่าเชื่อถือเท่ากับ 1(Chenani & Madadizadeh, 2021)

โดยใช้สูตรดังนี้

$$(MSR – MSW)/(MSR+(k-1)MSW+k/n\ (MSC-MSE)$$

เมื่อ

MSR คือ ค่าเฉลี่ยก่าลังสองระหว่างแถว

MSW คือ ค่าเฉลี่ยก่าลังสองของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

MSE คือ ค่าเฉลี่ยก่าลังสองของความคลาดเคลื่อน

MSC คือ ค่าเฉลี่ยก่าลังสองระหว่างสดมภ์

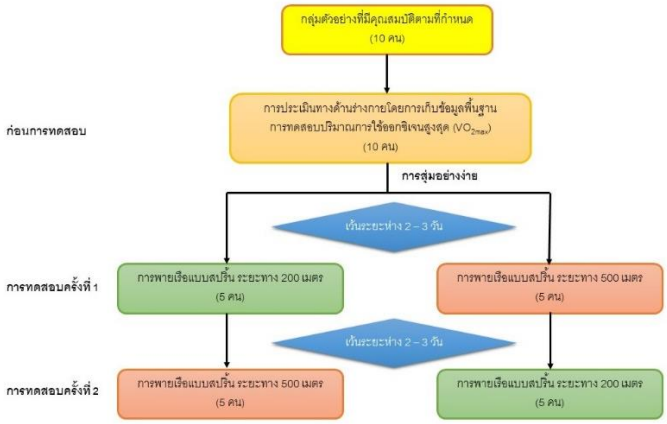
n คือ จำนวนหน่วยตัวอย่าง

k คือ จำนวนผู้ประเมิน

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

**การออกแบบงานวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง(Experimental research) แบบสุ่มและไขว้สลับ(Randomized, cross over design) โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบพายเรือแบบสปริ้นท์บนเครื่องพายเรือวัดงานจำนวน 2 ระยะ คือ ระยะ 200 เมตรและ 500 เมตร การทดสอบดังกล่าวมีระยะห่างกัน 2 – 3 วัน(Wash out) เพื่อให้ร่างกายของกลุ่มตัวอย่างมีการฟื้นสภาพอย่างเต็มที่ และใช้วิธีการสุ่มในการกำหนดลำดับของระยะทางในการพายให้แก่กลุ่มตัวอย่างแต่ละคน (ภาพประกอบ)




ภาพประกอบ 11 การออกแบบงานวิจัย

**การควบคุมกลุ่มตัวอย่างก่อนการทดลอง**

เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันการทดสอบทุกครั้งจะมีการดำเนินการในช่วงเวลา 07.00 – 09.00 น. ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เป็นห้องแบบปิด มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ 18 – 25 องศาเซลเซียสรวมทั้งมีการขอให้กลุ่มตัวอย่างปฏิบัติ ดังนี้

1. งดออกกำลังกาย ฝึกซ้อมกีฬา และทำกิจกรรมที่ต้องใช้ความหนักสูงเป็นเวลา 48 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

2. งดบริโภคแอลกอฮอล์ อาหาร และเครื่องดื่มที่มีผลกระตุ้นการทำงานของร่างกาย เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

3. นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อย 7 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

4. งดการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มทุกชนิดที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย หลังเวลา 20.00 น. โดยสามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามที่ต้องการ

5. บันทึกรายการอาหารและเครื่องดื่มที่บริโภค รวมทั้งบันทึกกิจกรรมที่ทำในรอบ 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบทุกครั้ง

**ขั้นตอนก่อนการทดสอบ**

**การประเมินองค์ประกอบทางด้านร่างกาย**

เก็บข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง เปอร์เซ็นไขมันในร่างกาย ความดันโลหิตขณะพัก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก

**การทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด**

ใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติซึ่งใช้เป็นเทคนิคการแลกเปลี่ยนแก๊สลมหายใจต่อลมหายใจ(Breath-by-breath) ในการทดสอบกลุ่มตัวอย่างเริ่มต้นด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหว(Dynamic stretching) 5 นาทีจากนั้นทำการพายเรือบนเครื่องพายเรือวัดงานที่อยู่ใน Canoe mode 5 นาทีโดยใช้ความหนักและความถี่ในการพายตามที่กลุ่มตัวอย่างต้องการ เมื่อขั้นตอนการอบอุ่นร่างกายเสร็จสิ้นแล้วกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติโดยก่อนการทดสอบทุกครั้งจะต้องมีการสอบเทียบค่าก๊าซตามคู่มือการใช้งานเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากอุณหภูมิและการควบแน่นที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนก๊าซ(Gasmin, 2020) โดยเครื่องจะคำนวณอัตราการใช้ออกซิเจน ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณการระบายอากาศเข้า-ออกโดยโปรแกรม Pnoe ผู้วิจัยจะต้องตรวจสอบขนาดของหน้ากากรวมถึงรัดให้กระชับกับใบหน้าของกลุ่มตัวอย่างเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลของอากาศในวงจรทางเดินหายใจ รวมถึงติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สายเพื่อใช้ติดตามอัตราการเต้นของหัวใจของกลุ่มตัวอย่างตลอดการทดสอบ

การทดสอบนี้เป็นการนำวิธีการทดสอบของ(Mekhdieva & Zakharova, 2019) มาปรับใช้ให้เหมาะสมกับการทดสอบเรือมังกร เป็นการทดสอบแบบ Step Test 3-minute โดยจะพายที่ความหนัก 80 วัตต์เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นผู้วิจัยจะให้สัญญานเริ่มการทดสอบโดยการพายที่ความหนัก 100 วัตต์เป็นเวลา 3 นาที และจะเพิ่มระดับความหนัก 30 วัตต์ทุกๆ 3 นาที จนกว่ากลุ่มตัวอย่างจะทดสอบจนเสร็จสิ้น โดยการทดสอบจะถือว่าสิ้นสุดเมื่อพิจารณาเข้าเกณฑ์ 3 จาก 5 ข้อ ดังต่อไปนี้

1. อัตราการเต้นของหัวใจอยู่ใกล้ระดับสูงสุดซึ่งคำนวณโดยใช้สูตร 220 – อายุ
2. เมื่อเพิ่มความหนัก อัตราการใช้ออกซิเจนมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 มิลลิลิตร/นาที
3. อัตราการรับรู้ความเหนื่อยมากกว่าหรือเท่ากับ 18 (RPE Borg Scale 6 – 20)
4. อัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน (Respiratory exchange ratio, RER) มากกว่าหรือเท่ากับ 1.1
5. กลุ่มตัวอย่างไม่สามารถทดสอบหรือรักษาความหนักในการพายไว้ได้

ตัวแปรที่ได้จากการทดสอบนี้ ได้แก่ $VO_{2max}$ ซึ่งหมายถึง ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในช่วง 15 วินาทีสุดท้ายก่อนการทดสอบจะหยุด และอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximal

heart rate, $HR_{max}$) หมายถึง อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในช่วง 15 วินาทีสุดท้ายก่อนการทดสอบจะหยุด

**ขั้นตอนการทดสอบหลัก**

**การทดสอบพายเรือแบบสปริ้นท์ระยะทาง 200 เมตร และ 500 เมตร**

กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบการพายบนเครื่องพายเรือวัดงานภายหลังจากการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดอย่างน้อย 3 – 5 วัน โดยที่กลุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การกีฬา ศูนย์ฝึกเรือพายราชนาวี ในเวลา 7.00 น. ของวันที่นัดหมาย ผู้วิจัยจะทำการติดตั้งเซ็นต์เซอร์เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อให้แก่กลุ่มตัวอย่าง 2 จุด จุดที่ 1 กล้ามเนื้อหลัง(Latissimus Dorsi) ติดที่บริเวณกึ่งกลางของกล้ามเนื้อโดยวัดจากจุดเกาะต้นบริเวณ Spinous processes ของกระดูกสันหลังส่วนอก(T7) ถึงจุดเกาะปลายบริเวณ Intertubercular groove ของกระดูกต้นแขน จุดที่ 2 กล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า(Biceps brachii) ติดที่บริเวณกึ่งกลางของกล้ามเนื้อโดยวัดจากจุดเกาะต้นบริเวณ Coracoid process ของกระดูกสะบักถึงจุดเกาะปลายบริเวณ Radial tuberosity ของกระดูกแขนท่อนล่างพร้อมทั้งทำเครื่องหมายไว้เพื่อให้การทดสอบทั้ง 2 ครั้งตรงกับกล้ามเนื้อจุดเดียวกัน โดยก่อนทำการติดตั้งเครื่องมือจะต้องมีการโกนขนในบริเวณที่จะติดตั้งเครื่องมือออกแล้วเช็ดด้วยแอลกอฮอล์เพื่อกำกัดคราบเหงื่อไคลและต้องมั่นใจว่าแถบสถานะไฟแอลอีดีของเครื่องมือสัมผัสแนบสนิทกับผิวหนัง จากนั้นพันเครื่องมือในบริเวณที่กำหนดให้แน่นด้วยผ้ายืดเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่หรือหลุดขณะทดสอบ ปิดทับด้วยผ้าสีดำอีก 1 ชั้นเพื่อป้องกันไม่ให้แสงรบกวนการทำงานของเครื่องมือ เชื่อมต่อเครื่องมือกับแอปพลิเคชั่นและตั้งค่าตามคู่มือการใช้งาน นอกจากนี้จะมีการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติซึ่งได้ทำการสอบเทียบค่าก๊าซตามคู่มือการใช้งานเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนก๊าซ

เมื่อติดตั้งเครื่องมือต่างๆเรียบร้อยแล้วจะเริ่มขั้นตอนการทดลองโดยให้กลุ่มตัวอย่างนั่งพักนิ่งๆเป็นเวลา 10 นาทีเพื่อวัดการใช้พลังงานก่อนการทดสอบ จากนั้นทำการอบอุ่นร่างกายบนเครื่องพายเรือวัดงานโดยใช้ความหนักและความถี่ในการพายตามที่กลุ่มตัวอย่างต้องการเป็นเวลา 5 นาทีเสร็จแล้วนั่งพักนิ่งๆบนเครื่องพายเรือวัดงานจนกว่าอัตราการเต้นของหัวใจจะอยู่ระดับเดียวกับขณะพัก แล้วผู้วิจัยจะให้สัญญานเริ่มการทดสอบ “Ready” “Set” “Go” กลุ่มตัวอย่างจะเริ่มพายแบบเต็มความสามารถจนสิ้นสุดระยะการทดลอง จากนั้นยังคงนั่งนิ่งๆเพื่อวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย(Excess post exercise oxygen consumption, EPOC) เป็นเวลา 30 นาทีเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างจะ

ได้รับการพัก 2-3 วันแล้วกลับมาทดสอบระยะที่เหลือโดยปฏิบัติตามขั้นตอนเดิมทุกประการ (ภาพประกอบ)

**ตัวแปรในการทดลอง**

1.ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ซึ่งได้จากเครื่องเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อและถูกบันทึกด้วยโปรแกรม Oxysoft ได้แก่

- ดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ(Tissue saturation index, TSI)
- ความเข้มข้นของดีออกซิฮีโมลโกลบิน(Deoxyhemoglobin concentration, HHb)
- ความเข้มข้นของออกซิฮีโมลโกลบิน(Oxyhemoglobin concentration, $O_2Hb$)
- ปริมาตรของฮีโมโกลบินทั้งหมด(Total hemoglobin, tHb)

ทำการบันทึกในช่วง 10 นาทีก่อนการอบอุ่นร่างกาย ขณะพายเรือ และ 30 นาทีหลังจากการพายเรือ

2.การใช้สารพลังงานซึ่งได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติและถูกบันทึกข้อมูลด้วยโปรแกรม Pnoe ได้แก่

- พลังงานที่ใช้โดยรวม(kcal)
- พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต(kcal)
- พลังงานจากไขมัน(kcal)

ทำการบันทึกในช่วง 10 นาทีก่อนการอบอุ่นร่างกาย ขณะพายเรือ และ 30 นาทีหลังจากการพายเรือ

3.ตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ ซึ่งได้จากเครื่องเครื่องพายเรือวัดงานและถูกบันทึกข้อมูลด้วยโปรแกรม WebaScience ได้แก่

- กำลังสูงสุด(Maximum power, วัตต์)
- กำลังเฉลี่ย(Average power, วัตต์)
- ความถี่ในการพาย(Stroke rate, ครั้ง/นาที)
- เวลาที่ใช้ในการพาย(Time, วินาที)

ทำการบันทึกตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดระยะทางในการพายเรือ

4.อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย(Average heart rate, ครั้ง/นาที) ถูกบันทึกข้อมูลร่วมกับโปรแกรม Pnoe ทำการบันทึกในช่วง 10 นาทีก่อนการอบอุ่นร่างกาย ขณะพายเรือ และ 30 นาทีหลังจากการพายเรือ

ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการทดสอบหลัก

**การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล**

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป (SPSS version 26, IBM, Chicago, Illinois, United States of America) และใช้สถิติต่างๆ ดังนี้

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D) ของข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ความดันโลหิตขณะพัก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก เปอร์เซ็นไขมันในร่างกาย และปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด

2. ทดสอบความเป็นโค้งปกติในการแจกแจงข้อมูลโดยใช้สถิติ Shapiro Wilk test

3. เปรียบเทียบค่าตัวแปรของปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ การใช้สารพลังงาน และอัตราการเต้นของหัวใจ ในช่วงเวลาก่อน ระหว่าง และหลังการพายเรือรวมทั้งเปรียบเทียบค่าตัวแปรดังกล่าวระหว่างการพายเรือ ระยะทาง 200 เมตร และ 500 เมตร โดยใช้สถิติ Two-way analysis of variance (ANOVA) with repeated measures และวิเคราะห์ความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธี Bonferroni

4. เปรียบเทียบค่าตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างการพายเรือ ระยะทาง 200 เมตร และ 500 เมตรโดยใช้สถิติ Paired samples t-test

5. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $P < 0.05$

# บทที่ 4
# ผลการศึกษา

การนำเสนอข้อมูลครั้งนี้ผู้วิจัยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 หัวข้อใหญ่ ได้แก่ ข้อมูลองค์ประกอบทางด้านร่างกาย ข้อมูลด้านชีวกลศาตร์ ข้อมูลทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย ข้อมูลทางด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และข้อมูลทางด้านการใช้สารพลังงาน ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียด ได้ดังนี้

**ข้อมูลองค์ประกอบทางด้านร่างกาย**

ข้อมูลองค์ประกอบทางด้านร่างกายของกลุ่มตัวอย่างแสดงในรูปแบบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ความดันโลหิตขณะพัก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก เปอร์เซ็นไขมันในร่างกาย และปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ข้อมูลองค์ประกอบทางด้านร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง

| ข้อมูลพื้นฐานทางด้านร่างกาย | |
|---|---|
| อายุ(ปี) | 26.60 ± 3.20 |
| น้ำหนัก(กิโลกรัม) | 79.54 ± 3.36 |
| ส่วนสูง(เซนติเมตร) | 174.80 ± 5.67 |
| ความดันโลหิตขณะพัก(มิลลิเมตรปรอท) | 134 ± 9.18 / 75 ± 6.00 |
| อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก(ครั้ง) | 56.50 ± 9.40 |
| ปริมาณไขมันในร่างกาย(เปอร์เซ็นต์) | 16.82 ± 4.38 |
| ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด(มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที) | 45.27 ± 10.28 |

**ข้อมูลด้านชีวกลศาตร์**

การศึกษาตัวแปรทางด้านชีวกลศาสตร์ที่ได้จากการพายบนเครื่องพายเรือวัดงาน ได้แก่ กำลังสูงสุด กำลังเฉลี่ย ความถี่ในการพายและเวลาที่ใช้ในการพาย จากการวิเคราะห์การทดลองแบบจับคู่(Paired samples t-test) พบว่าสมรรถนะในการพายเรือระยะ 200 และ 500 เมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < .05$ ได้แก่ ด้านกำลังสูงสุดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.019$) กำลังเฉลี่ย ความถี่ในการพาย และเวลาที่ใช้ในการพายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$) ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ด้านชีวกลศาตร์ที่ได้จากการพายบนเครื่องพายเรือวัดงาน

| ระยะทาง | กำลังสูงสุด (วัตต์) | กำลังเฉลี่ย (วัตต์) | ความถี่ในการพาย (ครั้ง/นาที) | เวลาที่ใช้ในการพาย (วินาที) |
|---|---|---|---|---|
| **200 เมตร** | 324.20 ± 8.36 | 250.20 ± 10.75 | 79.70 ± 2.45 | 46.99 ± 1.16 |
| **500 เมตร** | 274.40 ± 18.49 | 188.00 ± 5.64 | 57.40 ± 2.17 | 126.60 ± 2.33 |
| p-value | **0.019*** | **0.001*** | **0.001*** | **0.001*** |

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$

**ข้อมูลทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย**

การศึกษาตัวแปรทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพายเรือระยะ 200 และ 500 เมตรพบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง $p = 0.001$; ช่วงเวลา $p = 0.001$; ระยะทาง $p = 0.011$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยทั้ง 2 ระยะในระหว่างทดสอบมีความแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$) และเมื่อเปรียบเทียบการพายระยะ 200 เมตรกับ 500 เมตรพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยเฉพาะช่วงระหว่างทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < .05$ ดังแสดงในตาราง 3 (ภาพประกอบ)

ตาราง 3 ข้อมูลทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย

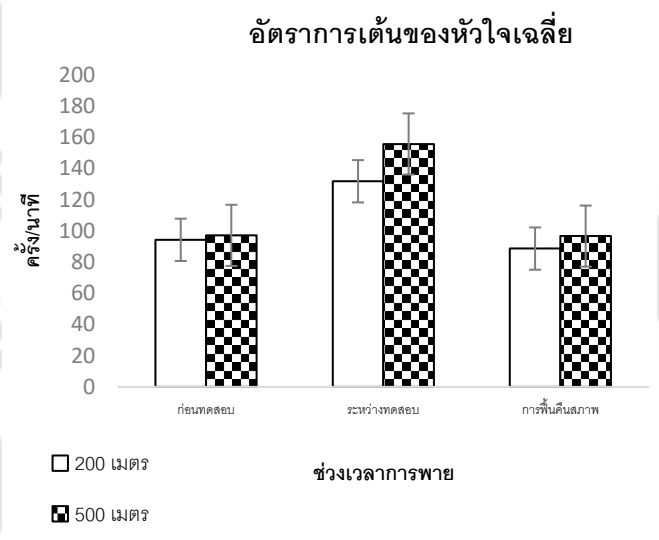
| ระยะทาง | ช่วงเวลา | 200 เมตร | 500 เมตร | p-value |
|---|---|---|---|---|
| **อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย (ครั้ง/นาที)** | ก่อนทดสอบ | 94.30 ± 3.19$^{+}$ | 97.20 ± 4.35$^{+}$ | 0.521 |
| | ระหว่างทดสอบ | 145.89 ± 5.75$^{+\#}$ | 157.80 ± 5.73$^{+\#}$ | 0.002* |
| | การฟื้นคืนสภาพ | 88.70 ± 4.78$^{\#}$ | 96.70 ± 5.58$^{\#}$ | 0.055 |

$^{+}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบก่อนทดสอบกับระหว่างทดสอบ

$^{\#}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบระหว่างทดสอบกับการฟื้นคืนสภาพ

$^{x}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบก่อนทดสอบกับการฟื้นคืนสภาพ

* มีนัยสำคัญทางสถิตที่ระดับ $p < 0.05$




ภาพประกอบ 13 อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในช่วงเวลาก่อนทดสอบ ระหว่างทดสอบ และการฟื้นคืนสภาพ

**ข้อมูลทางด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ**

การศึกษาตัวแปรทางด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ได้แก่ ดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ(Tissue saturation index, TSI) ความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบิน(Oxyhemoglobin concentration, $O_2Hb$) ความเข้มข้นของดีออกซีฮีโมลโกลบิน(Deoxyhemoglobin concentration, HHb) ปริมาตรของฮีโมโกลบินทั้งหมด(Total hemoglobin, tHb) ของกล้ามเนื้อแขน(Biceps brachii) (ตาราง 4) และกล้ามเนื้อหลัง(Latissimus dorsi) (ตาราง 5) ในการพายเรือมังกรระยะ 200 และ500 เมตรจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่า

**ด้านดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อแขน** พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง p = 0.001; ช่วงเวลา p = 0.001; ระยะทาง p = 0.02) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าทั้ง 2 ระยะมีช่วงระหว่างทดสอบแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p = 0.001) และเมื่อเปรียบเทียบการพายทั้ง 2 ระยะพบว่าดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อแขนเฉพาะช่วงระหว่างทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p =0.001)

**ด้านความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบินของกล้ามเนื้อแขน** พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง p = 0.001; ช่วงเวลา p = 0.001; ระยะทาง p = 0.001) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าทั้ง 2 ระยะมีช่วงระหว่างทดสอบแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p = 0.001) และเมื่อเปรียบเทียบการพายทั้ง 2 ระยะพบว่าทุกช่วงเวลามีดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อแขนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p =0.001)

**ด้านความเข้มข้นของดีออกซิฮีโมลโกลบินของกล้ามเนื้อแขน** พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง p = 0.177; ช่วงเวลา p = 0.001; ระยะทาง p = 0.001) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าในระยะ 200 เมตรมีช่วงระหว่างทดสอบแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p = 0.001) ส่วนระยะ500 เมตรพบทุกช่วงเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p = 0.05) และเมื่อเปรียบเทียบการพายระยะ 200 เมตร กับ500 เมตร พบว่าทุกช่วงเวลามีความเข้มข้นของดีออกซิฮีโมลโกลบินในกล้ามเนื้อแขนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p =0.001)

**ด้านปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อแขน** พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง p = 0.001; ช่วงเวลา p = 0.026; ระยะทาง p = 0.001) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าทั้ง 2 ระยะมีช่วงระหว่างทดสอบแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p = 0.001) และเมื่อเปรียบเทียบการพายทั้ง 2 ระยะพบว่าทุกช่วงเวลามีปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดของกล้ามเนื้อแขนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่(p =0.001)

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อแขน(Biceps brachii) ที่ได้จากเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

| ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อแขน (Biceps brachii) | ช่วงเวลา | 200 เมตร | 500 เมตร | p-value |
|---|---|---|---|---|
| TSI | ก่อนทดสอบ | 31.15±3.97$^{+}$ | 30.18±3.92$^{+}$ | 0.589 |
| | ระหว่างทดสอบ | 6.44±1.37$^{+\#}$ | 22.89±1.72$^{+\#}$ | 0.001$^{*}$ |
| | การฟื้นคืนสภาพ | 28.01±4.46$^{\#}$ | 30.03±2.12$^{\#}$ | 0.001 |
| $O_2Hb$ | ก่อนทดสอบ | 22.26±9.53$^{+}$ | 81.65±22.84$^{+}$ | 0.001$^{*}$ |
| | ระหว่างทดสอบ | 14.25±6.04$^{+\#}$ | 52.19±6.12$^{+\#}$ | 0.001$^{*}$ |
| | การฟื้นคืนสภาพ | 21.78±7.65$^{\#}$ | 80.81±14.40$^{\#}$ | 0.001$^{*}$ |
| HHb | ก่อนทดสอบ | 10.50±4.67$^{+}$ | 42.51±7.28$^{+}$ | 0.001$^{*}$ |
| | ระหว่างทดสอบ | 22.19±7.03$^{+\#}$ | 55.65±5.43$^{+\#}$ | 0.001$^{*}$ |
| | การฟื้นคืนสภาพ | 11.62±4.63$^{\#}$ | 44.43±4.41$^{\#}$ | 0.001$^{*}$ |
| tHb | ก่อนทดสอบ | 32.76±13.41$^{+}$ | 124.16±29.83$^{+}$ | 0.001$^{*}$ |
| | ระหว่างทดสอบ | 26.44±12.51$^{+\#}$ | 107.83±11.52$^{+\#}$ | 0.001$^{*}$ |
| | การฟื้นคืนสภาพ | 32.99±11.28$^{\#}$ | 128.24±17.65$^{\#}$ | 0.001$^{*}$ |

$^{+}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบก่อนทดสอบกับระหว่างทดสอบ

$^{\#}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบระหว่างทดสอบกับการฟื้นคืนสภาพ

$^{x}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบก่อนทดสอบกับการฟื้นคืนสภาพ

$^{*}$ มีนัยสำคัญทางสถิตที่ระดับ $p < 0.05$

**ด้านดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อหลัง** พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง $p = 0.001$; ช่วงเวลา $p = 0.001$; ระยะทาง $p = 0.733$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าในระยะ 200 เมตรมีช่วงระหว่างทดสอบแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$) ส่วนระยะ 500 เมตรไม่พบความแตกต่างกันทุกช่วงเวลา และเมื่อเปรียบเทียบการพายทั้ง 2 ระยะพบว่าช่วงระหว่างทดสอบและฟื้นคืนสภาพมีดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อหลังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$)

**ด้านความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบินของกล้ามเนื้อหลัง** พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง $p = 0.02$; ช่วงเวลา $p = 0.145$; ระยะทาง $p = 0.001$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าในระยะ 200 เมตรมีช่วงระหว่าง

ทดสอบแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$) ส่วนระยะ 500 เมตรไม่พบความแตกต่างกันทุกช่วงเวลา และเมื่อเปรียบเทียบการพายทั้ง 2 ระยะพบว่าทุกช่วงเวลามีความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบินในกล้ามเนื้อหลังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$)

**ด้านความเข้มข้นของดีออกซิฮีโมลโกลบินของกล้ามเนื้อหลัง** พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง $p = 0.001$; ช่วงเวลา $p = 0.001$; ระยะทาง $p = 0.05$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าในระยะ 200 เมตรมีช่วงระหว่างทดสอบแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$) ส่วนระยะ 500 เมตรไม่พบความแตกต่างกันทุกช่วงเวลา และเมื่อเปรียบเทียบการพายทั้ง 2 ระยะพบว่าช่วงก่อนและหลังทดสอบมีความเข้มข้นของดีออกซีฮีโมโกลบินในกล้ามเนื้อหลังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < 0.05$)

**ด้านปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหลัง** พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง $p = 0.233$; ช่วงเวลา $p = 0.015$; ระยะทาง $p = 0.001$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าในระยะ 200 เมตรมีช่วงระหว่างทดสอบแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.05$) ส่วนระยะ 500 เมตรไม่พบความแตกต่างกันทุกช่วงเวลา และเมื่อเปรียบเทียบการพายทั้ง 2 ระยะพบว่าทุกช่วงเวลามีปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อหลังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$)

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อหลัง(Latissimus dorsi) ที่ได้จากเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

| **ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อหลัง**(Latissimus dorsi) | **ช่วงเวลา** | **200 เมตร** | **500 เมตร** | p-value |
|---|---|---|---|---|
| TSI | ก่อนทดสอบ | 137.03±7.89$^{+}$ | 145.86±7.22 | 0.272 |
| | ระหว่างทดสอบ | 124.78±11.59$^{+\#}$ | 140.47±8.78 | 0.052$^{*}$ |
| | การฟื้นคืนสภาพ | 133.99±5.54$^{\#}$ | 142.02±7.86 | 0.017$^{*}$ |
| $O_2Hb$ | ก่อนทดสอบ | 47.67±4.35$^{+}$ | 84.49±17.74 | 0.001$^{*}$ |
| | ระหว่างทดสอบ | 33.92±3.95$^{+\#}$ | 83.98±21.24 | 0.001$^{*}$ |
| | การฟื้นคืนสภาพ | 44.10±4.05$^{\#}$ | 86.77±19.27 | 0.001$^{*}$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| HHb | ก่อนทดสอบ | 28.08±4.10$^{+}$ | 36.22±5.02 | 0.001$^{*}$ |
| | ระหว่างทดสอบ | 42.60±4.68$^{+\#}$ | 39.91±8.45 | 0.391 |
| | การฟื้นคืนสภาพ | 28.84±2.05$^{\#}$ | 37.61±8.08 | 0.004$^{*}$ |
| tHb | ก่อนทดสอบ | 75.74±6.20$^{+}$ | 126.71±21.61 | 0.001$^{*}$ |
| | ระหว่างทดสอบ | 60.52±6.66$^{+\#}$ | 122.89±27.53 | 0.001$^{*}$ |
| | การฟื้นคืนสภาพ | 72.93±4.45$^{\#}$ | 124.38±25.13 | 0.001$^{*}$ |

$^{+}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบก่อนทดสอบกับระหว่างทดสอบ

$^{\#}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบระหว่างทดสอบกับการฟื้นคืนสภาพ

$^{x}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบก่อนทดสอบกับการฟื้นคืนสภาพ

* มีนัยสำคัญทางสถิตที่ระดับ $p < 0.05$

**ข้อมูลทางด้านการใช้สารพลังงาน**

การศึกษาตัวแปรทางด้านการใช้สารพลังงาน ได้แก่ พลังงานรวม(kcal) พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต(kcal) พลังงานจากไขมัน(kcal) ในการพายเรือระยะ 200 และ500 เมตรจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่า

**ด้านการใช้พลังงานรวม** พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง (ช่วงเวลาxระยะทาง $p = 0.311$; ช่วงเวลา $p = 0.001$; ระยะทาง $p = 0.001$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าทุกช่วงเวลาของทั้ง 2 ระยะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$) และเมื่อเปรียบเทียบการพายทั้ง 2 ระยะพบว่าทุกช่วงเวลามีการใช้พลังงานรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < .05$

**ด้านการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต** พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง(ช่วงเวลาxระยะทาง $p = 0.023$; ช่วงเวลา $p = 0.001$; ระยะทาง $p = 0.001$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าทุกช่วงเวลาของทั้ง 2 ระยะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p < .05$) และเมื่อเปรียบเทียบการพายทั้ง 2 ระยะพบว่าทุกช่วงเวลามีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < .05$

**ด้านการใช้พลังงานจากไขมัน** พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลากับระยะทาง (ช่วงเวลาxระยะทาง $p = 0.001$; ช่วงเวลา $p = 0.001$; ระยะทาง $p = 0.001$) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำพบว่าในระยะ 200 เมตรมีช่วงระหว่างทดสอบแตกต่างกันกับช่วงก่อนและหลังทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.05$) ส่วนระยะ 500 เมตรพบว่าทุกช่วงเวลามีความแตกต่างกันกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$) และเมื่อเปรียบเทียบการ

พายทั้ง 2 ระยะพบว่าในช่วงก่อนทดสอบมีการใช้พลังงานจากไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p = 0.001$) ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 ผลการวิเคราะห์ด้านการใช้สารพลังงานที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ

| การใช้สารพลังงาน | ช่วงเวลา | 200 เมตร | 500 เมตร | p-value |
|---|---|---|---|---|
| **พลังงานรวม (kcal)** | ก่อนทดสอบ | $57.69\pm2.23^{+x}$ | $75.01\pm1.89^{+x}$ | $0.001^{*}$ |
| | ระหว่างทดสอบ | $7.23\pm1.47^{+\#}$ | $27.60\pm4.88^{+\#}$ | $0.001^{*}$ |
| | การฟื้นคืนสภาพ | $88.73\pm5.57^{x\#}$ | $103.10\pm12.89^{x\#}$ | $0.005^{*}$ |
| **พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต(kcal)** | ก่อนทดสอบ | $21.00\pm1.89^{+x}$ | $28.22\pm1.31^{+x}$ | $0.001^{*}$ |
| | ระหว่างทดสอบ | $3.11\pm1.40^{+\#}$ | $22.14\pm5.95^{+\#}$ | $0.001^{*}$ |
| | การฟื้นคืนสภาพ | $49.32\pm5.96^{\#x}$ | $60.72\pm11.45^{\#x}$ | $0.012^{*}$ |
| **พลังงานจากไขมัน (kcal)** | ก่อนทดสอบ | $36.69\pm1.66^{+}$ | $40.79\pm1.49^{+}$ | $0.001^{*}$ |
| | ระหว่างทดสอบ | $4.12\pm1.55^{+\#}$ | $5.46\pm2.52^{+\#}$ | 0.169 |
| | การฟื้นคืนสภาพ | $39.41\pm3.05^{\#}$ | $41.38\pm3.96^{\#}$ | 0.229 |

$^{+}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบก่อนทดสอบกับระหว่างทดสอบ

$^{\#}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบระหว่างทดสอบกับการฟื้นคืนสภาพ

$^{x}$ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบก่อนทดสอบกับการฟื้นคืนสภาพ

$^{*}$ มีนัยสำคัญทางสถิตที่ระดับ $p < 0.05$

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสมรรถภาพทางกายด้านปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานของการพายเรือมังกรในระยะทาง 200 และ 500 เมตร รวมถึงการนำข้อมูลการพายของทั้ง 2 ระยะมาศึกษาเปรียบเทียบว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งผู้วิจัยได้รวบรวมและสรุปผล ดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

## สรุปผลการวิจัย

### การพายเรือมังกรระยะ 200 เมตร

#### ด้านชีวกลศาตร์

ผลการศึกษาตัวแปรทางด้านชีวกลศาสตร์ที่ได้จากการพายบนเครื่องพายเรือวัดงาน พบว่ามีกำลังสูงสุด 324.20 ± 8.36 วัตต์ กำลังเฉลี่ย 250.20 ± 10.75 วัตต์ ความถี่ในการพาย 79.70 ± 2.45 ครั้ง/นาที และเวลาที่ใช้ในการพาย 46.99 ± 1.16 วินาที

#### ด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อแขน(Biceps brachii)และหลัง (Latissimus dorsi) ในช่วงของการทดสอบ มีดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบิน และปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่ำลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของดีออกซีฮีโมลโกลบินมีปริมาณสูงขึ้น เมื่อเข้าสู่ช่วงของการฟื้นคืนสภาพดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบิน และปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อจะกลับมามีปริมาณสูงขึ้นจนใกล้เคียงระดับก่อนทดสอบ รวมถึงความเข้มข้นของดีออกซีฮีโมลโกลบินก็จะลดลงจนใกล้เคียงระดับก่อนทดสอบ

#### ด้านการใช้สารพลังงาน

ผลการศึกษาพบว่าในช่วงของการฟื้นคืนสภาพมีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูงกว่าช่วงระหว่างทดสอบและก่อนทดสอบ โดยในขณะทดสอบมีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน

**การพายเรือมังกรระยะ 500 เมตร**

**ด้านชีวกลศาตร์**

ผลการศึกษาตัวแปรทางด้านชีวกลศาสตร์ที่ได้จากการพายบนเครื่องพายเรือวัดงาน พบว่ามีกำลังสูงสุด 274.40 ± 18.49 วัตต์ กำลังเฉลี่ย 188.00 ± 5.64 วัตต์ ความถี่ในการพาย 57.40 ± 2.17 ครั้ง/นาที และเวลาที่ใช้ในการพาย 126.60 ± 2.33 วินาที

**ด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ**

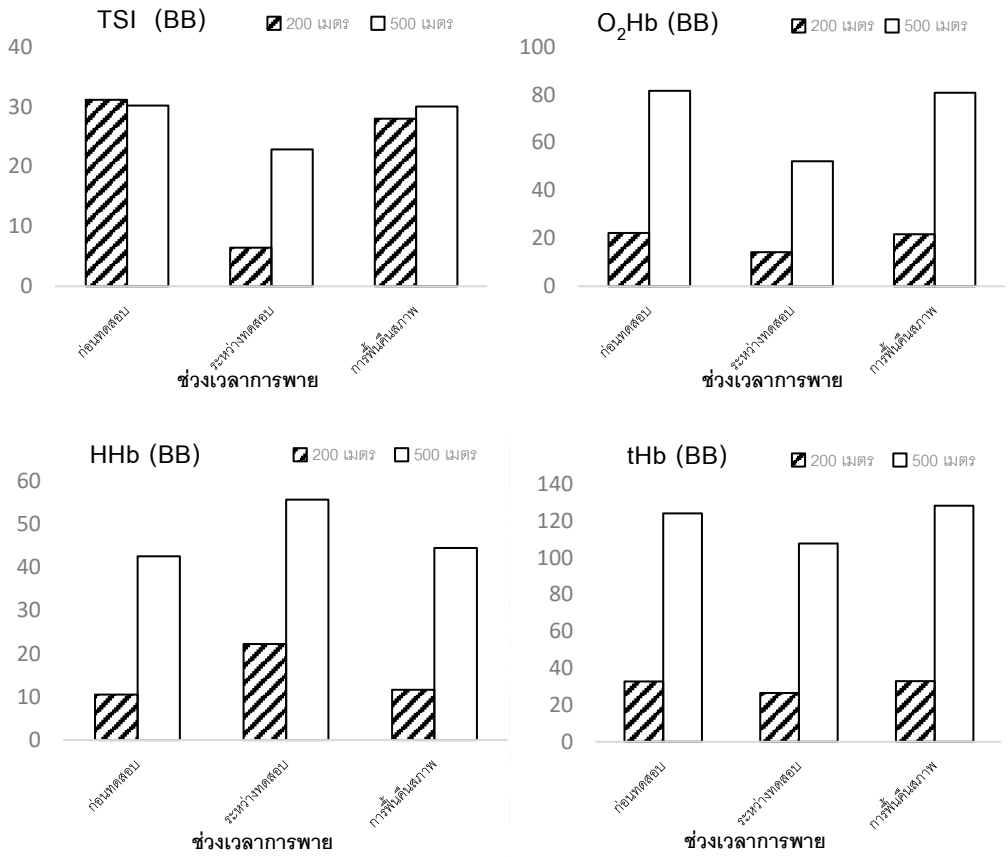
ผลการศึกษาพบว่าปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อแขน(Biceps brachii) ในช่วงของการทดสอบ มีดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบิน และปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อต่ำลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของดีออกซีฮีโมลโกลบินมีปริมาณสูงขึ้น เมื่อเข้าสู่ช่วงของการฟื้นคืนสภาพดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบิน และปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อจะกลับมามีปริมาณสูงขึ้นจนใกล้เคียงระดับก่อนทดสอบ รวมถึงความเข้มข้นของดีออกซีฮีโมลโกลบินก็จะลดลงจนใกล้เคียงระดับก่อนทดสอบ ส่วนปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อหลัง(Latissimus dorsi) พบว่าดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ ความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบิน ความเข้มข้นของดีออกซีฮีโมลโกลบิน และปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อมีปริมาณไม่แตกต่างกันทุกช่วงเวลา

**ด้านการใช้สารพลังงาน**

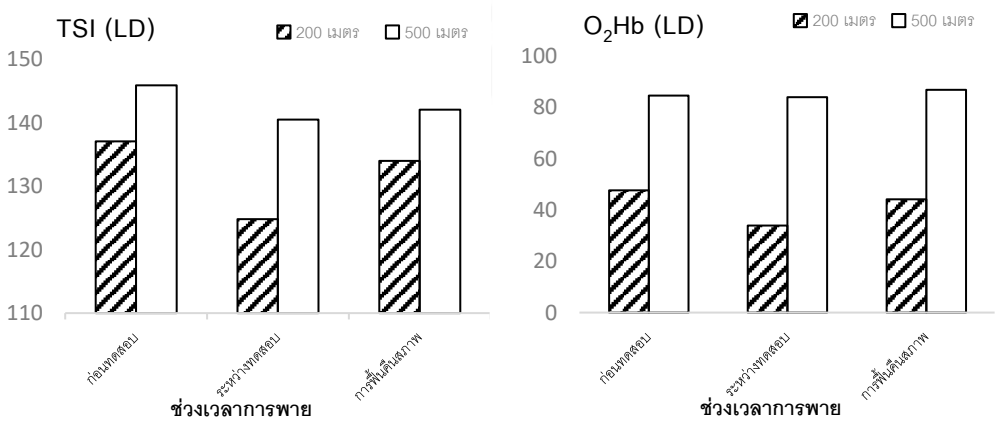
ผลการศึกษาพบว่าในช่วงของการฟื้นคืนสภาพมีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูงกว่าช่วงระหว่างทดสอบและก่อนทดสอบ โดยในขณะทดสอบจะมีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมากกว่าไขมัน

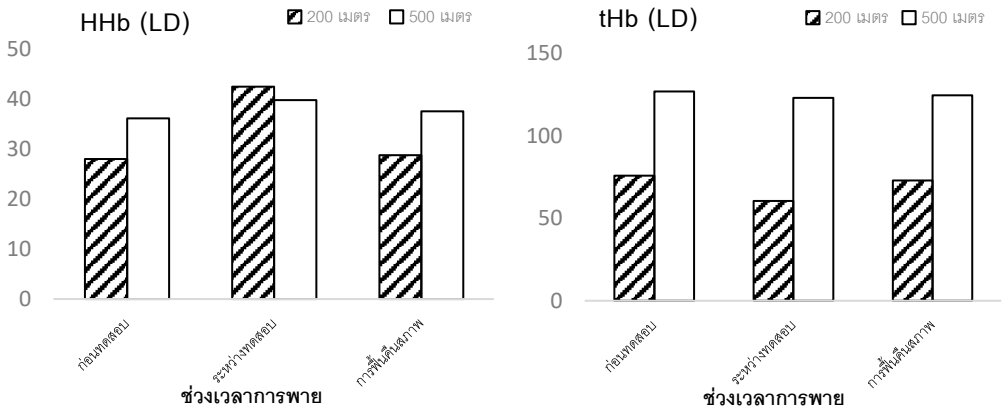
**เปรียบเทียบการพายเรือมังกรระยะ 200 เมตรกับ 500 เมตร**

เมื่อนำตัวแปรต่างๆในการพายเรือมังกร 200 เมตรและ 500 เมตรมาเปรียบเทียบกัน พบว่าในระยะ 200 เมตรมีกำลังสูงสุด กำลังเฉลี่ย และความถี่ในการพายสูงกว่าระยะ 500 เมตร รวมถึงใช้เวลาในการพายน้อยกว่าสอดคล้องกับระยะทางที่สั้นกว่า ในด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อพบว่าในระยะ 500 เมตรจะมีปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อสูงกว่า 200 เมตรในทุกตัวแปร ส่วนปริมาณการใช้สารพลังงานในระหว่างการพายระยะ 500 เมตรมีปริมาณการใช้พลังงานคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าส่วนการใช้พลังงานจากไขมันไม่แตกต่างกัน(ภาพประกอบ)

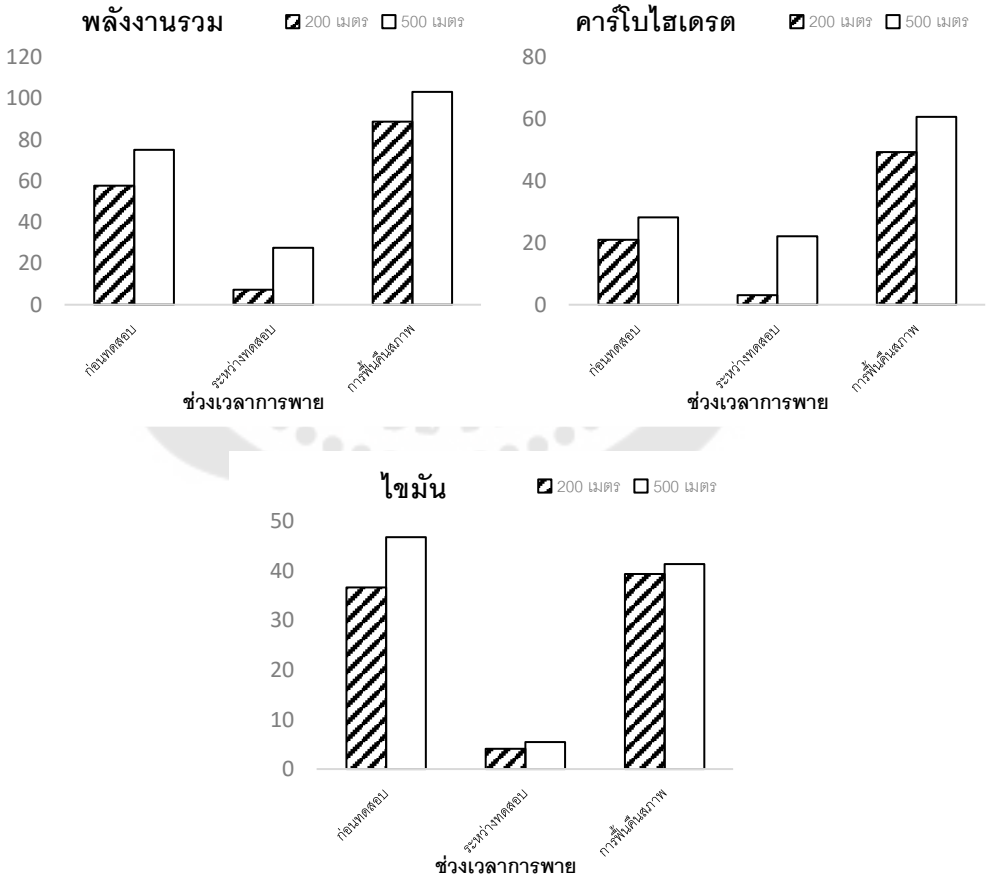



ภาพประกอบ 14 ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อแขนเปรียบเทียบการพายระยะ 200 เมตร กับ 500 เมตร






ภาพประกอบ 15 ปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อหลัง เปรียบเทียบการพายระยะ 200 เมตร กับ 500 เมตร




ภาพประกอบ 16 ปริมาณการใช้สารพลังงานเปรียบเทียบการพายระยะ 200 เมตรกับ 500 เมตร

**อภิปรายผลการวิจัย**

**ด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ**

ผลการศึกษาในการพายเรือมังกรระยะ 200 เมตรพบว่าในขณะทดสอบกล้ามเนื้อแขนมีดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ(TSI) ต่ำกว่าระยะ 500 เมตรและกล้ามเนื้อหลัง (Paquette et al., 2018) ดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ(TSI) ที่ต่ำลงเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของดีออกซีฮีโมลโกลบิน(HHb) ที่บ่งบอกถึงมีปริมาณคาร์บอนไดร์ออกไซด์ในเลือดเพิ่มขึ้นและการลดลงของออกซีฮีโมลโกลบิน($O_2$Hb) ที่บ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนในเลือดน้อยลง รวมถึงปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อ(tHb) ที่ต่ำลงเกิดมาจากปริมาณของเสียในกระบวนการเผาผลาญเพิ่มมากขึ้นเกิดแรงดันภายในกล้ามเนื้อจึงดูดซึมของเหลวเข้าสู่กล้ามเนื้อมากขึ้น(Hesford et al., 2012; Hettinga et al., 2016; Kirby et al., 2021) สอดคล้องกับการศึกษาของ Paquette et al. (2018) พบว่าในการแข่งขันเรือแคนู-คยัคที่มีความหนักสูงสุดกล้ามเนื้อจะมีการหดตัวอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดความตึงเครียดในกล้ามเนื้อ เมื่อปริมาณออกซิเจนที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อถูกจำกัดดัชนีการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ(TSI) จึงมีปริมาณลดลง อาจเนื่องมาจากความถี่ในการพายมีความเร็วที่ 79.70 ± 2.45ครั้ง/นาที กล้ามเนื้อมีการหดตัวอย่างรวดเร็วเกิดการบีบตัวของหลอดเลือดลดปริมาณการไหลเวียนของเลือดเป็นสาเหตุให้การนำส่งออกซิเจนลดลงซึ่งจะมีผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อต่ำลง จึงอาจเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการอธิบายและทำนายข้อจำกัดในการพายเรือระยะ 200 เมตร(Paquette et al., 2018; Perrey et al., 2024; Yoshiko et al., 2020) ส่วนในระยะ 500 เมตรไม่พบความแตกต่างของปริมาณดัชนีการใช้ออกซิเจน(TSI) อาจเนื่องมาจากความถี่ในการพายน้อยกว่าระยะ 200 เมตร (57.40 ± 2.17ครั้ง/นาที) ทำให้กล้ามเนื้อมีเวลาในการคลายตัว(Relaxation) ได้มากกว่า การบีบตัวของหลอดเลือดน้อยลงส่งผลให้ปริมาณการไหลเวียนของเลือดสามารถส่งไปเลี้ยงกล้ามเนื้อได้มากขึ้น

ในช่วงของการฟื้นคืนสภาพหลังจากเสร็จสิ้นการพายเรือพบว่าปริมาณดีออกซีฮีโมลโกลบิน(HHb) จะค่อยๆปรับลดลง ปริมาณออกซีฮีโมลโกลบิน($O_2$Hb) และปริมาตรฮีโมโกลบินทั้งหมดในเนื้อเยื่อ(tHb) จะค่อยๆเพิ่มขึ้นแสดงถึงกล้ามเนื้อมีการปรับสมดุลความดันการไหลเวียนของเลือด แลคเตต ไฮโดรเจนไอออน และฟอสเฟตจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากกระแสเลือดเพื่อนำมาเป็นพลังงานใหม่ ร่างกายจะฟื้นฟูจนเข้าสู่สภาวะก่อนออกกำลังกาย(Costes et al., 1996; Ihsan et al., 2013; Manchado-Gobatto et al., 2020; Paulauskas et al., 2022; Yoshiko et al., 2020)

**ด้านการใช้สารพลังงาน**

ผลการศึกษาการพายเรือมังกรในระยะ 200 เมตรใช้เวลาในการพาย 46.99 ± 1.16 วินาทีและในระยะ 500 เมตรใช้เวลา 126.60 ± 2.33 วินาที จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในระยะ 500 เมตรมีความต้องการใช้พลังงานรวมและพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตมากกว่าระยะ 200 เมตร ซึ่งแปรผันไปตามระดับความหนักและระยะเวลาของการออกกำลังกาย ร่างกายจะใช้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ที่ตับและกล้ามเนื้อในรูปของไกลโคเจนโดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและพลังงานจากไขมันตามลำดับ(Medbo & Tabata, 1989; Paquette et al., 2019) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ho et al. (2013) และ Zamparo et al. (1999) ที่พบว่าในการแข่งขันเรือมังกรระยะ 200 เมตรมีการใช้พลังงานแอโรบิก 52.1% ส่วนการแข่งขันระยะ 500 เมตรพบว่ามีการใช้พลังงานแบบแอโรบิก 67.5% ซึ่งมีสัดส่วนการใช้ออกซิเจนที่มากกว่าแปรผันตามระยะทางการแข่งขันที่ยาวขึ้น

ช่วงของการฟื้นคืนสภาพจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าการพายทั้ง 2 ระยะจะมีความต้องการใช้สารพลังงานมากกว่าในช่วงระหว่างการทดสอบเนื่องมาจากว่าร่างกายต้องการฟื้นสภาพเพื่อกลับสู่ระดับก่อนออกกำลังกายจึงยังมีความต้องการใช้พลังงานในระดับสูงต่อเนื่องไปอีกระยะเพื่อสังเคราะห์อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต ฟอสโฟครีเอทีน ปรับค่าความสมดุลในเลือดและฮอร์โมนให้กลับสู่ระดับปกติกระบวนการนี้เสร็จสมบูรณ์ภายในเวลา 3 นาที(J. LaForgia et al., 2006) จากนั้นจะเข้าสู่ช่วงการฟื้นสภาพอย่างช้าร่างกายจะสังเคราะห์ไกลโคเจนสะสมคืนให้กล้ามเนื้ออีกครั้ง ไขมันจึงกลายเป็นแหล่งพลังงานหลักที่สำคัญในระหว่างการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกาย(Henderson et al., 2007; Kiens & Richter, 1998; Kuo et al., 2005) โดยอัตราการเผาผลาญไขมันจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้สารพลังงานทั้งหมดขณะออกกำลังกาย (Malatesta et al., 2009)

**ข้อเสนอแนะ**

ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อแต่ละส่วนและการใช้สารพลังงานที่มีผลต่อการพายเรือมังกรในระยะ 200 และ 500 เมตร อย่างไรก็ตามผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

ศึกษากล้ามเนื้อมัดอื่นๆที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการพายเรือมังกรเพิ่มเติม เช่น กล้ามเนื้อขา กล้ามเนื้อหัวไหล่ กล้ามเนื้อแขนทั้ง 2 ข้าง เป็นต้น

ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณแลคเตทที่เกิดขึ้นกับปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อหลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบและช่วงการฟื้นคืนสภาพ 30 นาที

ในช่วงก่อนทดสอบ(การอบอุ่นร่างกาย) ควรมีการจำกัดระดับความหนักให้เท่ากันทุกคนเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของการใช้พลังงาน

เนื่องจากขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เล็กและการใช้ทีมชาติเพียงทีมเดียว การวิจัยเพิ่มเติมจึงมีความจำเป็นเพื่อยืนยันผลการวิจัยนี้และสำรวจปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการพายเรือมังกรระยะสั้น

# บรรณานุกรม


Barstow, T. J. (2019). Understanding near infrared spectroscopy and its application to skeletal muscle research. *Journal of applied physiology*, *126*(5), 1360-1376.

Bromley, S. (2014). Review of physiological and physical parameters related to success in paddling sports and the application to dragon boat paddling. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *18*, e80. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.11.327

Chenani, K. T., & Madadizadeh, F. (2021). Guideline for selecting types of reliability and suitable intra-class correlation coefficients in clinical research. *Journal of Biostatistics and Epidemiology*, *7*(3), 305-309.

Costes, F., Barthelemy, J.-C., Feasson, L., Busso, T., Geyssant, A., & Denis, C. (1996). Comparison of muscle near-infrared spectroscopy and femoral blood gases during steady-state exercise in humans. *Journal of applied physiology*, *80*(4), 1345-1350.

Dunford, M., & Doyle, J. A. (2019). *Nutrition for sport and exercise*. Cengage Learning.

Federation-IDBF, I. D. B. (2004). ***MEMBERS HANDBOOK*** (4 ed.) https://cdn.revolutionise.com.au/cups/usdbftrial/files/ercbsg1c0ysdydpr.pdf

Felici, F., Quaresima, V., Fattorini, L., Sbriccoli, P., Filligoi, G. C., & Ferrari, M. (2009). Biceps brachii myoelectric and oxygenation changes during static and sinusoidal isometric exercises. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *19*(2), e1-e11. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.07.010

Ferrari, M., Muthalib, M., & Quaresima, V. (2011). The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *369*(1955), 4577-4590.

Foureaux, G., Pinto, K. M. d. C., & Dâmaso, A. (2006). Effects of excess post-exercise oxygen consumption and resting metabolic rate in energetic cost. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, *12*, 393-398.

Gasmin, E. M. (2020). *THE VALIDITY AND RELIABILITY OF THE PNO$\bar{E}$, A PORTABLE METABOLIC ANALYZER: PILOT STUDY* San Francisco State University].

Gomes, B. B., Ramos, N. V., Conceição, F., Sanders, R., Vaz, M., & Vilas-Boas, J. P. (2022). Paddling time parameters and paddling efficiency with the increase in stroke rate in kayaking. *Sports biomechanics*, *21*(10), 1303-1311.

Gomory, J. (2018). *The Biomechanics of Dragon Boat Paddling* Victoria University].

Gupta, R. D., Ramachandran, R., Venkatesan, P., Anoop, S., Joseph, M., & Thomas, N. (2017). Indirect Calorimetry: From Bench to Bedside. *Indian J Endocrinol Metab*, *21*(4), 594-599. https://doi.org/10.4103/ijem.IJEM_484_16

He, Y., Jiang, G., & Wu, Y. (2017, 2017/04). Muscle Electromyography Analysis of Upper Arm during Dragon Boat Paddling.

Henderson, G. C., Fattor, J. A., Horning, M. A., Faghihnia, N., Johnson, M. L., Mau, T. L., Luke‐Zeitoun, M., & Brooks, G. A. (2007). Lipolysis and fatty acid metabolism in men and women during the postexercise recovery period. *The Journal of physiology*, *584*(3), 963-981.

Hesford, C. M., Laing, S. J., Cardinale, M., & Cooper, C. E. (2012). Asymmetry of quadriceps muscle oxygenation during elite short-track speed skating. *Med Sci Sports Exerc*, *44*(3), 501-508.

Hettinga, F. J., Konings, M. J., & Cooper, C. E. (2016). Differences in muscle oxygenation, perceived fatigue and recovery between long-track and short-track speed skating. *Frontiers in Physiology*, *7*, 619.

Ho, S., Smith, R., & O'Meara, D. (2008). Biomechanical analysis of dragon boat paddling: A comparison of elite and sub-elite paddlers. *Journal of sports sciences*, *27*, 37-47. https://doi.org/10.1080/02640410802491350

Ho, S. R., Smith, R. M., Chapman, P. G., Sinclair, P. J., & Funato, K. (2013). Physiological and physical characteristics of elite dragon boat paddlers. *J Strength Cond Res*, *27*(1), 137-145. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318252f612

Ihsan, M., Watson, G., Lipski, M., & Abbiss, C. R. (2013). Influence of postexercise cooling on muscle oxygenation and blood volume changes. *Med Sci Sports Exerc*, *45*(5), 876-882.

Jones, B., & Cooper, C. (2016). Underwater near-infrared spectroscopy: muscle oxygen

changes in the upper and lower extremities in club level swimmers and triathletes. Oxygen Transport to Tissue XXXVII,

Jung, W.-S., Park, H.-Y., Kim, S.-W., Kim, J., Hwang, H., & Lim, K. (2021). Estimating excess post-exercise oxygen consumption using multiple linear regression in healthy Korean adults: a pilot study. *Physical Activity and Nutrition*, *25*(1), 35.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2021). *Physiology of sport and exercise*. Human kinetics.

Khamros, W., Peepathum, P., Senakham, T., Sriramatr, S., & Phongsri, K. (2023). Post-activation performance enhancement: Acute effected after activation in kayak sprint. *Journal of Physical Education and Sport*, *23*, 457-462. https://doi.org/10.7752/jpes.2023.02056

Kiens, B., & Richter, E. A. (1998). Utilization of skeletal muscle triacylglycerol during postexercise recovery in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, *275*(2), E332-E337.

Kirby, B. S., Clark, D. A., Bradley, E. M., & Wilkins, B. W. (2021). The balance of muscle oxygen supply and demand reveals critical metabolic rate and predicts time to exhaustion. *Journal of applied physiology*, *130*(6), 1915-1927.

Klusiewicz, A., Rębiś, K., Ozimek, M., & Czaplicki, A. (2021). The use of muscle near-infrared spectroscopy (NIRS) to assess the aerobic training loads of world-class rowers [journal article]. *Biology of Sport*, *38*(4), 713-719. https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.103571

Kuo, C. C., Fattor, J. A., Henderson, G. C., & Brooks, G. A. (2005). Lipid oxidation in fit young adults during postexercise recovery. *Journal of applied physiology*, *99*(1), 349-356.

LaForgia, J., Withers, R. T., & Gore, C. J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *J Sports Sci*, *24*(12), 1247-1264. https://doi.org/10.1080/02640410600552064

Laforgia, J., Withers, R. T., & Gore, C. J. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of sports sciences*,

*24*(12), 1247-1264.

Malatesta, D., Werlen, C., Bulfaro, S., Cheneviere, X., & Borrani, F. (2009). Effect of high-intensity interval exercise on lipid oxidation during postexercise recovery. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *41*(2), 364-374.

Manchado-Gobatto, F., Marostegan, A., Rasteiro, F., Cirino, C., Cruz, J., Moreno, M., & Gobatto, C. (2020). New insights into mechanical, metabolic and muscle oxygenation signals during and after high-intensity tethered running. *Scientific reports*, *10*(1), 6336.

McDonnell, K. L., Hume, A. P., & Nolte, V. (2013). Place time consistency and stroke rates required for success in K1 200-m sprint kayaking elite competition. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, *13*(1), 38-50.

Medbo, J. I., & Tabata, I. (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *Journal of applied physiology*, *67*(5), 1881-1886.

Medbø, J. I., & Tabata, I. (1989). Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol (1985)*, *67*(5), 1881-1886. https://doi.org/10.1152/jappl.1989.67.5.1881

Mekhdieva, K., & Zakharova, A. (2019). Exercise testing of professional athletes: specific or universal?

Moniz, S. C., Islam, H., & Hazell, T. J. (2020). Mechanistic and methodological perspectives on the impact of intense interval training on post‐exercise metabolism. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *30*(4), 638-651.

Natthawat, S. (2016). Effect of dynamic core stability exercise on physical performance in male dragon boat paddlers. *Bull Chiang Mai Assoc Med Sci*.

Paquette, M., Bieuzen, F., & Billaut, F. (2018). Muscle oxygenation rather than VO2max as a strong predictor of performance in sprint canoe–Kayak. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(10), 1299-1307.

Paquette, M., Bieuzen, F., & Billaut, F. (2019). Sustained Muscle Deoxygenation vs.

Sustained High VO2 During High-Intensity Interval Training in Sprint Canoe-Kayak [Original Research]. *Frontiers in Sports and Active Living*, *1*. https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00006

Paquette, M., & Billaut, F. (2013). Muscle oxygenation as a key performance indicator in sprint canoe-kayak.

Paulauskas, R., Nekriošius, R., Dadelienė, R., Sousa, A., & Figueira, B. (2022). Muscle Oxygenation Measured with Near-Infrared Spectroscopy Following Different Intermittent Training Protocols in a World-Class Kayaker—A Case Study. *Sensors*, *22*(21), 8238. https://www.mdpi.com/1424-8220/22/21/8238

Perrey, S. (2022). Muscle oxygenation unlocks the secrets of physiological responses to exercise: Time to exploit it in the training monitoring. *Frontiers in Sports and Active Living*, *4*.

Perrey, S. (2022). Muscle Oxygenation Unlocks the Secrets of Physiological Responses to Exercise: Time to Exploit it in the Training Monitoring. *Front Sports Act Living*, *4*, 864825. https://doi.org/10.3389/fspor.2022.864825

Perrey, S., Quaresima, V., & Ferrari, M. (2024). Muscle Oximetry in Sports Science: An Updated Systematic Review. *Sports Medicine*, 1-22.

Rojapon, B. (2017). Energy systems in exercises and sports. *Journal of Education Khon Kaen University 40*(3), 15-35.

Senakham, N., Punthipayanon, S., Senakham, T., Sriyabhaya, P., Sriramatr, S., & Kuo, C.-H. (2020). Physiological stress against simulated 200-m and 500-m sprints in world-class boat paddlers. *Chinese Journal of Physiology*, *63*(1), 15.

Senakham, T., Phongsri, K., Punthipayanon, S., & Suwannathat, N. (2015). Prediction of 500-m sprint dragon boat performance. *Journal of Faculty of Physical Education*, *18*, 69-78.

Sindorf, M. A. G., Germano, M. D., Dias, W. G., Batista, D. R., Braz, T. V., Moreno, M. A., & Lopes, C. R. (2021). Excess Post-Exercise Oxygen Consumption and Substrate Oxidation Following High-Intensity Interval Training: Effects of Recovery Manipulation. *Int J Exerc Sci*, *14*(2), 1151-1165.

Sirisinghe, R. G. (1995). Physical and physiological profiles of Malaysian dragon boat rowers. *Age (years)*, *25*, 1.2.

Subudhi, A. W., Dimmen, A. C., & Roach, R. C. (2007). Effects of acute hypoxia on cerebral and muscle oxygenation during incremental exercise. *Journal of applied physiology*, *103*(1), 177-183.

Townsend, J. R., Stout, J. R., Morton, A. B., Jajtner, A. R., Gonzalez, A. M., Wells, A. J., Mangine, G. T., McCormack, W. P., Emerson, N. S., & Robinson IV, E. H. (2013). Excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) following multiple effort sprint and moderate aerobic exercise. *Kinesiology*, *45*(1), 16.

Tsekouras, Y. E., Tambalis, K. D., Sarras, S. E., Antoniou, A. K., Kokkinos, P., & Sidossis, L. S. (2019). Validity and Reliability of the New Portable Metabolic Analyzer PNOE [Original Research]. *Frontiers in Sports and Active Living*, *1*. https://doi.org/10.3389/fspor.2019.00024

Verratti, V., Bondi, D., Mulliri, G., Ghiani, G., Crisafulli, A., Pietrangelo, T., Marinozzi, M. E., & Cerretelli, P. (2020). Muscle oxygen delivery in the forearm and in the vastus lateralis muscles in response to resistance exercise: a comparison between Nepalese porters and Italian trekkers. *Frontiers in Physiology*, *11*, 607616.

Yoshiko, A., Katayama, K., Ishida, K., Ando, R., Koike, T., Oshida, Y., & Akima, H. (2020). Muscle deoxygenation and neuromuscular activation in synergistic muscles during intermittent exercise under hypoxic conditions. *Sci Rep*, *10*(1), 295. https://doi.org/10.1038/s41598-019-57099-y

Zagatto, A. M., Redkva, P. E., de Poli, R. A. B., González, J. A. M., Brandani, J. Z., Penedo, T., & Bertuzzi, R. C. D. M. (2019). 3-min all-out effort on cycle ergometer is valid to estimate the anaerobic capacity by measurement of blood lactate and excess post-exercise oxygen consumption. *European journal of sport science*, *19*(5), 645-652.

Zamparo, P., Capelli, C., & Guerrini, G. (1999). Energetics of kayaking at submaximal and maximal speeds. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, *80*, 542-548.

Zouhal, H., Le Douairon Lahaye, S., Abderrahaman, A. B., Minter, G., Herbez, R., & Castagna, C. (2012). Energy System Contribution to Olympic Distances in Flat Water Kayaking (500 and 1,000 m) in Highly Trained Subjects. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *26*(3), 825-831. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31822766f7

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก
# เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

**เครื่องพายเรือวัดงาน(Ergometer)**

ยี่ห้อ WEBA Sport, Vienna, Austria

ภาพประกอบ 17 เครื่องวัดสมรรถนะการพายเรือมังกร

ใช้ในการทดสอบพายเรือมังกรแบบสปริ้นท์ ระยะ 200 เมตร และ500 เมตร เพื่อวัดตัวแปรทางด้านชีวกลศาสตร์ ได้แก่ กำลังสูงสุด กำลังเฉลี่ย ความถี่ในการพาย เวลาที่ใช้ในการพาย

**เครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ**

ยี่ห้อ PNOE, Endo Medical, Palo, Alto, CA, USA

ภาพประกอบ 18 เครื่องวัดปริมาณการใช้สารพลังงานในการออกกำลังกาย

ใช้ในการวัดตัวแปรทางด้านการใช้สารพลังงาน ได้แก่ พลังงานรวม(kcal) พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต(kcal) พลังงานจากไขมัน(kcal)

**เครื่องวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อด้วยวิธี Near Infrared Spectroscopy (NIRS)**

ยี่ห้อ PORTAMON, Netherlands

ภาพประกอบ 19 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

ใช้ในการวัดตัวแปรทางด้านปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อที่ ได้แก่ ดัชนีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ (Tissue saturation index, TSI) ความเข้มข้นของออกซีฮีโมโกลบิน (oxyhemoglobin concentration, O2Hb) ความเข้มข้นของดีออกซิฮีโมลโกลบิน (Deoxyhemoglobin concentration, HHb) ปริมาตรเลือดทั้งหมดในเนื้อเยื่อ (Hemoglobin concentration, tHb)

**เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย**

ยี่ห้อ Polar H10, Polar Electro, Kempele, Finland

ภาพประกอบ 20 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย

ใช้ในการวัดตัวแปรทางด้านอัตราการเต้นของหัวใจขณะทดสอบพายเรือ

**เครื่องชั่งน้ำหนักและไขมันในร่างกาย**

ยี่ห้อ BAS PRO, Guangzhou, China

ภาพประกอบ 21 เครื่องชั่งน้ำหนักและไขมันในร่างกาย

ใช้ในการวัดน้ำหนักและปริมาณไขมันในร่างกายเพื่อเก็บเป็นข้อมูลพื้นฐาน

**เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตัล**

ยี่ห้อ Omron HEM-7130, Japan

ภาพประกอบ 22 เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตัล

ใช้ในการวัดเพื่อเก็บข้อมูลความดันโลหิตขณะพัก

# ภาคผนวก ข

## ภาพขณะดำเนินการทดลอง

ภาพประกอบ 23 ชั่งน้ำหนักและวัดปริมาณไขมันในร่างกาย

ภาพประกอบ 24 วัดความดันโลหิตขณะพัก

ภาพประกอบ 25 ติดตั้งอุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติและเครื่องวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อ

ภาพประกอบ 26 ขณะทำการทดสอบพายเรือมังกร

# ภาคผนวก ค
# ใบรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

AF19-05-03.1
August, 2023

**หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์**

หนังสือฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

**ชื่อโครงการวิจัย :** ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือแบบสปรินท์ 200 และ 500 เมตร ในนักกีฬาเรือมังกรชิ้นเล็ก

**ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย :** นางสาวพัชรียา จาตสกุล

**หน่วยงานต้นสังกัด :** คณะพลศึกษา

**หมายเลขรับรองโครงการวิจัย :** SWUEC-661010

**รายการเอกสารที่รับรอง :**

| | |
|---|---|
| 1. แบบเสนอเพื่อขอรับการพิจารณา | ฉบับที่ 2 ลงวันที่ 17 กันยายน 2566 |
| 2. โครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ | ฉบับที่ 2 ลงวันที่ 17 กันยายน 2566 |
| 3. เอกสารข้อมูลและขอความยินยอมสำหรับอาสาสมัคร | ฉบับที่ 3 ลงวันที่ 21 ตุลาคม 2566 |
| 4. ประวัติผู้วิจัย | |

ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยยึดหลักเกณฑ์ตาม Declaration of Helsinki, Belmont Report, International Conference on Harmonization in Good Clinical Practice (ICH-GCP), International Guidelines for Human Research ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับ และข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามโครงการวิจัยนี้ได้

**วันที่รับรอง :** 6 พฤศจิกายน 2566

**วันที่หมดอายุ :** 5 พฤศจิกายน 2567

**(ลงชื่อ).....**

**(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)**

**ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ (ชุดที่ 1)**

**มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**

หน่วยจริยธรรมและมาตรฐานการวิจัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อาคารนวัตกรรม ศ.ดร.สาโรช บัวศรี ชั้น 17
โทร. (02) 6495000 ต่อ 17503, 17506 โทรสาร (02) 2042590

# ภาคผนวก จ
# เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย

# เอกสารข้อมูลและขอความยินยอมสำหรับการวิจัยทางคลินิก

**ชื่อโครงการวิจัย :** ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือแบบสปรินท์ 200 และ 500 เมตร ในนักกีฬาเรือมังกรชั้นเลิศ

**ผู้วิจัยหลัก :** นางสาวพัชรียา จาดสกุล

**สังกัด :** สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะพลศึกษา

**ผู้ร่วมวิจัย :** ไม่มี

**แหล่งทุนวิจัย/ผู้สนับสนุนการวิจัย :** ไม่มี

**สรุปสาระหลักของโครงการวิจัย**

**ความสำคัญของการวิจัย**

การพายเรือมังกรในระยะ 200 และ 500 เมตร เป็นการออกกำลังกายแบบความหนักสูง สัดส่วนการใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับระยะทางการแข่งขัน กล้ามเนื้อแต่ละมัดจะทำงานด้วยความเร็วในการหดตัวสูงสุดซ้ำๆกันเพื่อเอาชนะแรงต้านของน้ำ ส่งผลให้เกิดความเครียดภายในกล้ามเนื้อจนเกิดความล้า มีผลต่อประสิทธิภาพในการแข่งขันรวมไปถึงการฟื้นคืนสภาพหลังจากการแข่งขัน จากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฟื้นคืนสภาพร่างกายภายหลังการพายเรือกับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในกล้ามเนื้อ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องดังกล่าว เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายและการใช้พลังงานในการพายเรือมังกรสามารถนำไปเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จให้กับนักกีฬาได้

**วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพื่อศึกษาผลของออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้พลังงานในระหว่างและหลังการพายของนักกีฬาและนำมาเปรียบเทียบผลของออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้พลังงานในระหว่างและหลังการพายของนักกีฬาว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

**ประโยชน์ทางวิชาการ**

1.สามารถนำผลของการทดสอบมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกนักกีฬาเรือมังกร

2.สามารถนำผลของการทดสอบไปใช้วางแผนการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาระบบพลังงานที่ใช้ในการแข่งขันและวางแผนโภชนาการทั้งในระหว่างฝึกซ้อมและแข่งขัน

3.สามารถนำผลการวิจัยไปเป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยเพื่อการพัฒนาองค์ความรู้ต่อไปในอนาคต

**ขั้นตอนการวิจัย**

ขั้นตอนการวิจัยจะทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง ประกอบด้วย

- การทดสอบ ครั้งที่ 1 การประเมินองค์ประกอบทางด้านร่างกาย ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง เปอร์เซ็นไขมันในร่างกาย ความดันโลหิตขณะพัก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก การใช้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ประวัติการรักษา จากนั้นทำการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด แล้วพัก 3-5 วัน



SWU-EC APPROVED

- การทดสอบ ครั้งที่ 2 และ 3 การทดสอบพายเรือแบบสปรินท์ ทำการทดสอบพายเรือระยะใดระยะหนึ่งก่อนตามที่ได้แบ่งกลุ่มไว้ โดยจะมีการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์วัดประสิทธิภาพตลอดการทดสอบ จากนั้นพัก 2-3 วัน เพื่อทำการทดสอบในระยะถัดไป

**ความเสี่ยงหรือความไม่สะดวกสบายจากการเข้าร่วมการวิจัย**

**ด้านร่างกาย ได้แก่**

- การติดตั้งเครื่องมือจะทำโดยวิธีการรัดกล้ามเนื้อที่ต้องมีความแน่นเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ อาจทำให้เกิดอาการชาตรงบริเวณที่โดนรัด

- ผู้เข้าร่วมการวิจัยต้องสวมใส่หน้ากากวิเคราะห์แก๊สตลอดเวลาการทดลองส่งผลให้การหายใจไม่สะดวก

**ด้านจิตใจ** ผลที่ได้จากการทดสอบอาจทำให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเกิดความกังวล

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการเข้าร่วมการวิจัย**

1. ผลการวิจัยจะบอกถึงสมรรถภาพของร่างกาย อาจนำไปใช้วางแผนการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาจุดอ่อนและวางแผนโภชนาการให้เหมาะสมทั้งระหว่างการฝึกซ้อมและการแข่งขัน

2. วิธีการวิจัยอาจนำไปใช้ทดสอบสมรรถภาพร่างกายเพื่อประเมินความพร้อมของร่างกายนักกีฬา

เนื่องจากการวิจัยเป็นการศึกษาผลของปริมาณการใช้ออกซิเจนและพลังงานในแข่งขันพายเรือมังกรของนักกีฬาระดับสูง จึงได้มีการเชิญผู้เข้าร่วมที่เป็นนักกีฬาเรือมังกรทีมชาติไทยมาเข้าร่วมการวิจัย โดยการเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้จะต้องยินยอมเข้าร่วมด้วยความสมัครใจ โดยมิได้มีการบังคับขู่เข็ญหลอกลวงแต่ประการใด การยินยอมหรือไม่ยินยอมเข้าร่วมการวิจัย จะไม่มีผลต่อการคัดเลือกเพื่อเป็นตัวแทนนักกีฬาเรือมังกรทีมชาติไทยในการเข้าร่วมการแข่งขันรายการต่างๆ ผู้เข้าร่วมการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากการวิจัยได้ตลอดเวลา ข้อมูลการวิจัยและรายชื่อผู้เข้าร่วมจะถูกเก็บไว้เป็นความลับ



SWU-EC APPROVED

**ข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัย**

**ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมการวิจัย โปรดใช้เวลาในการอ่านเอกสารฉบับนี้ ซึ่งจะช่วยให้ท่านรับทราบสิ่งต่าง ๆ ที่ท่านจะมีส่วนร่วมในการวิจัยนี้ การตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยนี้ขึ้นอยู่กับความสมัครใจของท่าน หากท่านไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย จะไม่มีผลใด ๆ ต่อการดูแลรักษา หรือสิทธิที่ท่านพึงมี**

**การเข้าร่วมการวิจัยนี้ขึ้นอยู่กับความสมัครใจ**

- **ท่านสามารถตัดสินใจได้อย่างอิสระว่าจะเข้าร่วมหรือไม่เข้าร่วมการวิจัยนี้**
- **ท่านสามารถปรึกษาครอบครัวหรือแพทย์ผู้รักษาก่อนตัดสินใจ และสามารถซักถามข้อสงสัยเกี่ยวกับโครงการวิจัยได้ ซึ่งผู้วิจัยจะอธิบายเพิ่มเติมและตอบข้อซักถามจนท่านเข้าใจ**
- **หากท่านสมัครใจเข้าร่วมการวิจัยนี้แล้ว ท่านยังคงสามารถถอนตัวออกจากการวิจัยได้ทุกเมื่อ**

การศึกษาทางด้านสรีรวิทยาเกี่ยวกับการใช้ปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อ การใช้พลังงานในการแข่งขัน รวมถึงประสิทธิภาพในการฟื้นคืนสภาพร่างกายภายหลังจากการแข่งขัน ของการพายเรือมังกรระยะ 200 และ 500 เมตร สามารถนำไปเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จให้กับนักกีฬาได้

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

- เครื่องชั่งน้ำหนักและไขมันในร่างกาย (BAS PRO, Guangzhou, China)
- ที่วัดส่วนสูง (Meterex II D97,Denmark)
- เครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตัล (Omron HEM-7130, Japan)
- เครื่องพายเรือวัดงาน (Kayak ergometer, WEBA Sport, Vienna, Austria)
- เครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ (PNOE, Endo Medical, Palo, Alto, CA, USA)
- เครื่องวัดออกซิเจนในกล้ามเนื้อด้วยวิธี Near Infrared Spectroscopy (PORTAMON, Netherlands)
- เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย (Polar H10, Polar Electro, Kempele, Finland)

**กลุ่มประชากรที่เป็นเป้าหมายที่จะทำการศึกษา**

การวิจัยนี้จะคัดเลือกนักกีฬาเรือมังกรชายทีมชาติไทย ที่มีอายุระหว่าง 20 – 30 ปี มีประสบการณ์ในการเข้าร่วมการแข่งขันระดับนานาชาติ มีการฝึกซ้อมสม่ำเสมอ ไม่สูบบุหรี่ มีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัวหรือมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากการทดสอบและยินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยความสมัครใจเข้าร่วมการวิจัยจำนวน 10 ราย

**วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในระหว่างและหลังการพายเรือมังกรแบบสปรินท์ ระยะ 200 และ 500 เมตร และนำผล



SWU-EC APPROVED

การศึกษามาเปรียบเทียบว่ามีปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในระหว่างและหลังการพายแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

**รูปแบบการวิจัย**

**ขั้นตอนการวิจัย**

หากท่านยินยอมเข้าร่วมการวิจัยนี้โดยลงลายมือชื่อเป็นหลักฐานลงในเอกสารขอความยินยอมสำหรับการวิจัยทางคลินิกแล้ว ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะทำการทดสอบพายเรือมังกรแบบสปรินท์บนเครื่องพายเรือวัดงาน จำนวน 2 ระยะ คือ ระยะ 200 เมตร และ 500 เมตร การทดสอบดังกล่าวมีระยะห่างกัน 2 – 3 วัน และในการทดสอบทุกครั้งจะมีการดำเนินการในช่วงเวลา 07.00 – 09.00 น. ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เป็นห้องแบบปิด มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 18 – 25 องศาเซลเซียส

โดยมีการข้อให้ปฏิบัติดังนี้

1. งดออกกำลังกาย ฝึกซ้อมกีฬา และทำกิจกรรมที่ต้องใช้ความหนักสูง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ
2. งดบริโภคแอลกอฮอล์ อาหาร และเครื่องดื่ม เช่น ชา กาแฟ เครื่องดื่มชูกำลัง เครื่องดื่มที่มีเวย์โปรตีน แอลคาเนทีน คลีเอทีน เบต้าอะลานีน เป็นส่วนผสมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ
3. นอนหลับพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อย 7 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ
4. งดการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มทุกชนิดที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย หลังเวลา 20.00 น. โดยสามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามที่ต้องการ
5. บันทึกรายการอาหารและเครื่องดื่มที่บริโภค รวมทั้งบันทึกกิจกรรมที่ทำในรอบ 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบทุกครั้ง รวมระยะเวลาที่ท่านต้องร่วมอยู่ในโครงการวิจัยทั้งหมด 3 ครั้ง แต่ละครั้งจะใช้เวลา 2 ชั่วโมง



SWU-EC APPROVED

**การออกแบบการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองแบบสุ่มและไขว้สลับ โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกสุ่มโดยการจับฉลากว่าจะทำการทดสอบพายเรือระยะไดก่อน ซึ่งมีจำนวน 2 ระยะ คือ ระยะ 200 และ 500 เมตร การทดสอบดังกล่าวมีระยะห่างกัน 2 – 3 วัน เพื่อให้ร่างกายมีการฟื้นสภาพอย่างเต็มที่

**ขั้นตอนการทดสอบประกอบด้วย**

**การทดสอบ ครั้งที่ 1**

การประเมินองค์ประกอบของร่างกายและเก็บข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว ส่วนสูง เปอร์เซ็นไขมันในร่างกาย ความดันโลหิตขณะพัก อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก การใช้ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ประวัติการรักษา จากนั้นทำการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแล้วพัก 3-5 วัน

**การทดสอบ ครั้งที่ 2**

ผู้เข้าร่วมวิจัยมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การกีฬา ศูนย์ฝึกเรือพายราชนาวี ในเวลา 7.00 น.ของวันที่นัดหมาย นักวิทยาศาสตร์การกีฬาจะทำการติดตั้งเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนในกล้ามเนื้อให้แก่ผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยติดที่บริเวณกึ่งกลางของกล้ามเนื้อหลังและกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า โดยก่อนทำการติดตั้งเครื่องมือจะต้องมีการโกนขนในบริเวณที่จะติดตั้งเครื่องมือออกแล้วเช็ดด้วยแอลกอฮอล์เพื่อกำจัดคราบเหงื่อไคลและต้องมั่นใจว่าแถบสถานะไฟแอลอีดีของเครื่องมือสัมผัสแนบสนิทกับผิวหนังแล้วพันเครื่องมือให้แน่นด้วยผ้ายืดเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่หรือหลุดขณะทดสอบ ปิดทับด้วยผ้าสีดำอีก 1 ชั้นเพื่อป้องกันไม่ให้แสงรบกวนการทำงานของเครื่องมือ ทำการเชื่อมต่อเครื่องมือกับแอปพลิเคชั่นและตั้งค่าตามมาตรฐานคู่มือการใช้งาน นอกจากนี้จะมีการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจและเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติที่ได้ทำการวัดและตรวจสอบเครื่องมือเพื่อให้มีค่ามาตรฐานตามคู่มือการใช้งาน เมื่อติดตั้งเครื่องมือต่างๆเรียบร้อยแล้วผู้เข้าร่วมวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายโดยใช้ความหนักและความถี่ในการพายตามต้องการเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนั่งพักนิ่งๆ จนกว่าอัตราการเต้นของหัวใจจะอยู่ระดับเดียวกับขณะพัก แล้วผู้วิจัยจะให้สัญญาณในการเริ่มทดสอบผู้เข้าร่วมการวิจัยจะเริ่มพายเรือแบบเต็มความสามารถจนสิ้นสุดระยะการทดลองและยังคงนั่งนิ่งๆเพื่อวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายเป็นเวลา 30 นาที เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนการทดสอบ ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้พัก 2-3 วัน ก่อนทำการทดสอบในระยะถัดไป

**ผู้วิจัยได้สรุปความเสี่ยงและประโยชน์จากการเข้าร่วมการวิจัยไว้ ดังนี้**

**ความเสี่ยงหรือความไม่สะดวกสบายจากการเข้าร่วมการวิจัย**

**ด้านร่างกาย ได้แก่**

- ความเสี่ยงการประเมินการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ คือ การติดตั้งเครื่องมือ – อุปกรณ์จะทำการติดตั้งบนร่างกายของผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยวิธีการรัดกล้ามเนื้อที่ต้องมีความแน่นเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ ซึ่งอาจทำให้เกิดอาการชาตรงบริเวณที่โดนรัด



SWU-EC APPROVED

- ความเสี่ยงการใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ คือ ผู้เข้าร่วมการวิจัยต้องสวมใส่หน้ากากวิเคราะห์แก๊สตลอดเวลาการทดลอง ส่งผลให้การหายใจไม่สะดวก

**ด้านจิตใจ** ผลที่ได้จากการทำวิจัยอาจทำให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยเกิดความกังวล เนื่องจากผลที่ได้นั้นจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการแข่งขันเรือมังกรทั้ง 2 ระยะ มีการสังเกตอาการผู้เข้าร่วมการวิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา

**ความเสี่ยงในการประเมินเบื้องต้น** งานวิจัยจัดอยู่ในประเภทความเสี่ยงน้อย คือ ความเสี่ยงที่ไม่มากกว่าที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันของอาสาสมัครที่มีสุขภาพปกติ (Exemption)

**แนวทางการป้องกันในกรณีเกิดความเสี่ยง** คือ มีการชี้แจงขั้นตอนการทำการวิจัยและอาการที่อาจเกิดขึ้นให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยเข้าใจ โดยขั้นตอนการทำการวิจัยเป็นขั้นตอนที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยคุ้นเคยอยู่แล้ว มีนักวิทยาศาสตร์การกีฬาเป็นผู้ติดตั้งเครื่องมือ-อุปกรณ์ มีการสังเกตอาการผู้เข้าร่วมการวิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา และมีแนวทางการรักษาเมื่อเกิดผลข้างเคียงอย่างทันท่วงที หากมีอันตรายใด ๆ เกิดขึ้นจากการวิจัยดังกล่าว ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการรักษาพยาบาลจากคณะผู้วิจัย โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายและจะได้รับค่าชดเชยรายได้ที่สูญเสียไปในระหว่างการรักษาพยาบาลดังกล่าว ตลอดจนมีสิทธิ์ได้รับค่าทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัยตามสมควร

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการเข้าร่วมการวิจัย**

- ประโยชน์ที่อาสาสมัครเข้าร่วมการวิจัยได้รับโดยตรง คือ ผลการวิจัยอาจนำไปใช้วางแผนการฝึกซ้อมเพื่อพัฒนาระบบพลังงานที่ใช้ในการแข่งขัน วางแผนโภชนาการให้เหมาะสมทั้งระหว่างการฝึกซ้อมและการแข่งขัน
- ประโยชน์ที่อาสาสมัครคนอื่นจะได้รับจากผลการศึกษา คือ วิธีการวิจัยอาจนำไปใช้ทดสอบสมรรถภาพร่างกาย เพื่อประเมินความพร้อมของร่างกาย
- ประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์ หรือสังคม คือ ผลการวิจัยอาจนำไปเป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยและการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย เพื่อการพัฒนาองค์ความรู้ต่อไปในอนาคต
- ประโยชน์ต่อชุมชนที่อาสาสมัครอยู่ คือ ทางสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทยอาจนำวิธีการวิจัยไปใช้ประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกนักกีฬา

**ทางเลือกอื่นหากไม่เข้าร่วมการวิจัย**

ท่านไม่จำเป็นต้องเข้าร่วมการวิจัย



SWU-EC APPROVED

**ผู้วิจัยได้สรุปแนวทางการปฏิบัติหรือการดูแลสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวิจัยไว้ให้ท่านรับทราบดังต่อไปนี้**

**สถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวิจัย**

| สถานการณ์ | แนวทางการปฏิบัติ |
|---|---|
| • หากท่านถอนตัวระหว่างการวิจัย | ผู้เข้าร่วมการวิจัยสามารถขอถอนตัวจากการวิจัยได้ตลอดเวลา โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผลให้ทราบ |
| • หากมีข้อมูลใหม่ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยหรือความปลอดภัยของท่าน | ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบโดยเร็ว และท่านสามารถตัดสินใจได้ว่า ท่านจะร่วมอยู่ในการวิจัยนี้ต่อหรือไม่ |
| • ผู้วิจัยอาจจำเป็นต้องถอนท่านออกจากการร่วมโครงการวิจัยในกรณี มีการบาดเจ็บหรือป่วยจนไม่สามารถทำการทดสอบต่อไปได้หรือไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงของการวิจัย | หากมีอันตรายใดๆ อันเกิดขึ้นจากการวิจัยดังกล่าว ผู้เข้าร่วมจะได้รับการรักษาพยาบาลจากผู้วิจัย โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายและจะได้รับค่าชดเชยรายได้ที่สูญเสียไปในระหว่างการรักษาพยาบาลดังกล่าว ตลอดจนมีสิทธิ์ได้รับค่าทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัยตามสมควร |

**ระยะเวลาที่ใช้ในแต่การละประเมิน และระยะเวลารวม**

ระยะเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล ประมาณตั้งแต่ 1 พฤศจิกายน ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 รวมเวลา 1 เดือน ตลอดโครงการ ตั้งแต่ 1 มกราคม ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2566 รวมเวลา 1 ปี

**เหตุผลที่ท่านได้รับเชิญ**

1. เป็นนักกีฬาเรือมังกรทีมชาติไทย เพศชาย
2. อายุระหว่าง 20 – 30 ปี
3. มีประสบการณ์ในการเข้าร่วมการแข่งขันระดับนานาชาติ
4. ไม่เป็นผู้ที่สูบบุหรี่
5. มีการฝึกซ้อมอย่างน้อยคิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของโปรแกรมการฝึกซ้อมของสมาคมเรือพายแห่งประเทศไทย
6. มีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัวหรือมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากการทดสอบที่จะทำให้ผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน เช่น ความผิดปกติทางเมตาบอลิซึม โรคหัวใจ โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น
7. ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยความสมัครใจ



SWU-EC APPROVED

**หลังจากเสร็จสิ้นการวิจัย**

หลังจากเสร็จสิ้นการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งผลการทำวิจัยให้ผู้ฝึกสอนและทีมงานควบคุมเรือมังกรทีมชาติไทยทราบ เพื่อนำข้อมูลไปใช้พัฒนาการฝึกซ้อมต่อไป

**การรักษาความลับ**

ข้อมูลของท่านที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้จะถูกเก็บเป็นความลับตามมาตรฐานจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ระดับสากลและพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 ข้อมูลส่วนตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกเก็บรักษาไว้โดยไม่เปิดเผยต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล แต่จะรายงานผลการวิจัยเป็นข้อมูลส่วนรวมโดยไม่สามารถระบุข้อมูลรายบุคคลได้ ข้อมูลของผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นรายบุคคล อาจมีคณะบุคคลบางกลุ่มเข้ามาตรวจสอบได้ เช่น ผู้ให้ทุนวิจัย สถาบัน หรือองค์กรของรัฐที่มีหน้าที่ตรวจสอบ รวมถึงคณะกรรมการ จริยธรรมการวิจัยในคนมีหน้าที่ตรวจสอบได้ และผู้วิจัยจะทำลายข้อมูลด้วยวิธีการลบไฟล์ออกจากเครื่องคอมพิวเตอร์ในลักษณะที่ไม่สามารถกู้ข้อมูลกลับมาได้หลังสิ้นสุดการวิจัย

**ค่าตอบแทน ค่าเดินทาง หรือค่าเสียเวลาในการเข้าร่วมการวิจัย**

ท่านจะไม่ได้รับเงินค่าชดเชยค่าเดินทาง ค่าเสียเวลา หรือค่าตอบแทนในการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้

**ค่าใช้จ่ายที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยต้องรับผิดชอบ**

ท่านไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการร่วมการวิจัยนี้

**กรณีที่ท่านเกิดผลข้างเคียงหรือเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์จากการเข้าร่วมการวิจัยนี้**

ในกรณีที่ท่านเกิดผลข้างเคียง บาดเจ็บหรือเกิดเหตุการไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากการเข้าร่วมโครงการวิจัย หากมีอันตรายใด ๆ อันเกิดขึ้นจากการวิจัยดังกล่าว ผู้เข้าร่วมจะได้รับการรักษาพยาบาลจากผู้วิจัย โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายและจะได้รับค่าชดเชยรายได้ที่สูญเสียไปในระหว่างการรักษา พยาบาลดังกล่าวตลอดจนมีสิทธิ์ได้รับค่าทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัยตามสมควร โดยที่ท่านไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาส่วนนี้

**หากท่านมีข้อสงสัยเกี่ยวกับการวิจัยหรือความปลอดภัยระหว่างเข้าร่วมการวิจัย ท่านสามารถสอบถามผู้วิจัยได้โดยตรง หรือติดต่อได้ที่** ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา ศูนย์ฝึกเรือพายราชนาวี
เบอร์โทรศัพท์ 0 2170 9235 – 6

**บุคคลที่ท่านสามารถติดต่อเพื่อสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม แจ้งผลข้างเคียงหรือเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์**

นางสาวพัชรียา จาดสกุล คณะพลศึกษา เบอร์โทรศัพท์ 065-9582879



SWU-EC APPROVED

**หากท่านได้รับการปฏิบัติไม่ตรงตามที่ระบุไว้หรือมีข้อสงสัยเกี่ยวกับสิทธิของท่าน ท่านสามารถติดต่อสอบถามได้ที่** "หน่วยจริยธรรมและมาตรฐานการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ชั้น 17 อาคารนวัตกรรม ศาสตราจารย์ ดร.สาโรช บัวศรี เลขที่ 114 ถนนสุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110 โทรศัพท์ 02-6495000 ต่อ 17501, 17505 โทรสาร 02-2042590 อีเมล swuec@g.swu.ac.th" **เพื่อให้มั่นใจว่า สิทธิ ความปลอดภัย และความเป็นอยู่ที่ดีของท่าน ได้รับความคุ้มครองตามมาตรฐานจริยธรรมการวิจัยในคนระดับสากล**

**หมายเหตุ:** เมื่อการวิจัยทางคลินิก (เพื่อการรักษาหรือไม่ก็ตาม) เกี่ยวข้องกับอาสาสมัครซึ่งต้องขอความยินยอมจากผู้แทนโดยชอบธรรม (เช่น ผู้เยาว์ หรือผู้ป่วยโรคสมองเสื่อมรุนแรง) อาสาสมัครควรได้รับการอธิบายเกี่ยวกับการวิจัยด้วยวิธีที่เหมาะสมที่อาสาสมัครนั้นจะเข้าใจได้ และถ้าทำได้อาสาสมัครควรลงนามและลงวันที่ในแบบยินยอมด้วยตนเอง



SWU-EC APPROVED

## หนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

ข้าพเจ้า_____ตัดสินใจ เข้าร่วมการวิจัยเรื่อง ออกซิเจนในกล้ามเนื้อและการใช้สารพลังงานในการพายเรือแบบสปรินท์ 200 และ 500 เมตร ในนักกีฬาเรือมังกรชั้นเลิศ ซึ่งข้าพเจ้าได้รับข้อมูลและคำอธิบายเกี่ยวกับการวิจัยนี้แล้ว และได้มีโอกาสซักถามและได้รับคำตอบเป็นที่พอใจแล้ว ข้าพเจ้ามีเวลาเพียงพอในการอ่านและทำความเข้าใจข้อมูลในเอกสารให้ข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัยอย่างถี่ถ้วน และได้รับเวลาเพียงพอในการตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมการวิจัยนี้

ข้าพเจ้ารับทราบว่าข้าพเจ้าสามารถปฏิเสธการเข้าร่วมการวิจัยนี้ได้โดยอิสระและระหว่างการเข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้ายังสามารถถอนตัวออกจากการวิจัยได้ทุกเมื่อ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการคัดเลือกเพื่อเป็นตัวแทนนักกีฬาเรือมังกรทีมชาติไทยในการเข้าร่วมการแข่งขันรายการต่างๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อการดูแลรักษา หรือสิทธิที่ข้าพเจ้าพึงมี

โดยการลงนามนี้ ข้าพเจ้าไม่ได้สละสิทธิใด ๆ ที่ข้าพเจ้าพึงมีตามกฎหมาย และหลังจากลงนามแล้ว ข้าพเจ้าจะได้รับเอกสารข้อมูลและขอความยินยอมไว้จำนวน 1 ชุด

ลายมือชื่ออาสาสมัครผู้เข้าร่วมการวิจัย _____ วัน-เดือน-ปี _____
(_____)

ลายมือชื่อผู้ขอความยินยอม _____ วัน-เดือน-ปี _____
(นางสาวพัชรียา จาดสกุล)

ลายมือชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย _____ วัน-เดือน-ปี _____
(นางสาวพัชรียา จาดสกุล)



SWU-EC APPROVED

# ประวัติผู้เขียน