

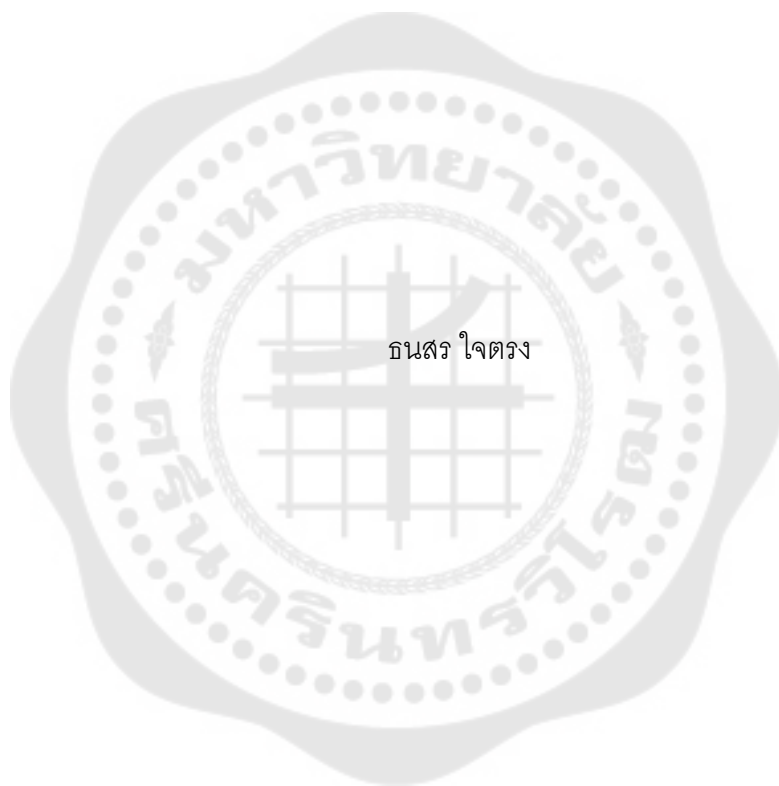


ผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลูรอนซึไฮคคลิกเด็กซ์ทรินที่มีต่อสมรรถภาพการ  
แข่งขันจำลองในนักกีฬาเรือคายัค



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลูรอนซึไฮคลิดเด็กซ์ทรินที่มีต่อสมรรถภาพการ  
แข่งขันจำลองในนักกีฬาเรือคายัค



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย  
คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ปีการศึกษา 2568  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECTS OF GLUCOSE AND HIGHLY BRANCHED CYCLIC DEXTRIN SOLUTION  
CONSUMPTION ON SIMULATED RACE PERFORMANCE IN KAYAK ATHLETES



TANASORN JAITRONG

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

2025

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการบริโภคสารละลายยาลูกกลอนและไฮยาลูรอนซึไฮคลิดเด็กซ์ทรินที่มีต่อสมรรถภาพการ  
แข่งขันจำลองในนักกีฬาเรือคายัค

ของ

ธนสร ใจตรง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย  
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ..... ประธาน  
(อาจารย์ ดร.นุชรี เสนาคำ) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัติพร นกแก้ว)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ปิปทุม)

ชื่อเรื่อง	ผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลิبرانซ์ไซคลิกเด็กซ์ทรีน ที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลองในนักกีฬาเรือคายัค
ผู้วิจัย	ธนสร ใจตรง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2568
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. นุชรี เสนาคำ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลิبرانซ์ไซคลิกเด็กซ์ทรีน ที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลองและตัวแปรทางสรีรวิทยา กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเรือคายัคระดับชาติชาย 6 คน และหญิง 6 คน (อายุ 18-30 ปี ไขมันในร่างกาย 10.6-24.7% ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 2.53-4.24 ลิตร/นาที) ที่ผ่านการคัดเลือกด้วยวิธีการแบบเฉพาะเจาะจง กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบคนละ 3 ครั้ง ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายที่มีกลูโคส 6% (G) หรือสารละลายที่มีไฮยาลิبرانซ์ไซคลิกเด็กซ์ทรีน 6% (H) โดยใช้รูปแบบการสู่ม ไซ่วัสลับ และปกปิดฝ่ายเดียว การทดสอบแต่ละครั้งประกอบด้วยการพายเรือคายัค 500 เมตร บนเครื่องวัดงาน จำนวน 3 รอบ พักระหว่างรอบ 30 นาที และมีช่วงของการฟื้นฟูสภาพ 30 นาที หลังจากการทดสอบ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ระยะเวลาและกำลังในการพายเรือคายัค ในสภาวะที่บริโภค W, G และ H ไม่มีความแตกต่างกัน แต่การบริโภค G และ H ทำให้ระยะเวลาในการพายเรือลดลงและกำลังเพิ่มขึ้นในการพายรอบที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับการพายรอบที่ 1 ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณการใช้ออกซิเจนในสภาวะที่บริโภค H สูงกว่าสภาวะที่บริโภค G ( $p < 0.05$ ) สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตในสภาวะที่บริโภค H และ G สูงกว่าสภาวะที่บริโภค W ( $p < 0.001$  และ  $p < 0.05$  ตามลำดับ) ระดับกลูโคสในเลือดในสภาวะที่บริโภค H และ G สูงกว่าสภาวะที่บริโภค W ( $p < 0.001$ ) ระดับแลคเตทในเลือดในสภาวะที่บริโภค G ต่ำกว่าสภาวะที่บริโภค W ( $p < 0.05$ ) และความถี่หัวใจเฉพาะของบัสสภาวะหลังการทดสอบในสภาวะที่บริโภค H ต่ำกว่าสภาวะที่บริโภค W ( $p < 0.05$ ) ผลการวิจัยสรุปได้ว่าการบริโภค G และ H ทำให้ระยะเวลาในการพายเรือคายัคในรอบถัดไปดีขึ้น และมีผลต่อตัวแปรทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพการแข่งขัน

คำสำคัญ : กีฬาทางน้ำ, เรือคายัค, เด็กซ์ทรีน, คาร์โบไฮเดรต, เมตาบอลิซึมของสาร

Title	EFFECTS OF GLUCOSE AND HIGHLY BRANCHED CYCLIC DEXTRIN SOLUTION CONSUMPTION ON SIMULATED RACE PERFORMANCE IN KAYAK ATHLETES
Author	TANASORN JAITRONG
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2025
Thesis Advisor	Professor Dr. Nutcharee Senakham

This research aimed to investigate and compare the effects of glucose and highly branched cyclic dextrin solution consumption on simulated race performance and physiological variables. Participants were 6 male- and 6 female national-level kayak athletes (age 18-30 years, body fat 10.60-24.70%, maximum oxygen consumption 2.53-4.24 L/min), who were selected by a purposive sampling method. Each participant performed 3 tests under the condition of consuming water (W), 6% glucose solution (G), or 6% highly branched cyclic dextrin solution (H), using a randomized, cross-over, and single-blinded design. Each test consisted of 3 rounds of 500-meter kayaking at maximal effort on an ergometer, with a 30-minute rest between rounds and a 30-minute recovery period after the test. Statistical analysis revealed that kayaking time and power among the W, G, and H conditions were not significantly different, but consuming G and H resulted in reduced kayaking time and increased power in the 3<sup>rd</sup> round compared with the 1<sup>st</sup> round ( $p < 0.05$ ). In addition, it was found that the oxygen consumption in the H-consuming condition was higher than those in the G-consuming condition ( $p < 0.05$ ), the carbohydrate oxidation fraction in the H- and G-consuming conditions was higher than those in the W-consuming condition ( $p < 0.001$  and  $p < 0.05$ , respectively), the blood glucose level in the H- and G-consuming conditions was higher than those in the W-consuming condition ( $p < 0.001$ ), the blood lactate level in the G-consuming condition was lower than those in the W-consuming condition ( $p < 0.05$ ), and the post-test urine specific gravity in the H-consuming condition was lower than those in the W-consuming condition ( $p < 0.05$ ). In conclusion, G and H consumption affected energy substrate metabolism and bodily hydration status, which are beneficial for multiple 500-meter kayak races on the same day.

Keyword : Water sports, Kayak, Dextrin, Carbohydrate, Substrate metabolism

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยเมตตา กรุณา และความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.นุชรี เสนาคำ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้คำปรึกษา แนะนำ ตลอดจนชี้แนะแนวทางการดำเนินงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง ด้วยความเอาใจใส่และทุ่มเทอย่างยิ่ง อันนำไปสู่ความสำเร็จของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทยที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือ รวมถึงการอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล และขอบคุณนักกีฬาเรือคายัคทีมชาติไทยที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถนอมศักดิ์ เสนาคำ ที่กรุณาจัดหาอุปกรณ์ในการวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงพล ต่อณี ที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ รวมถึงบุคลากรสายสนับสนุน คณะพลศึกษา ที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านเอกสาร

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัย และนักวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยมาโดยตลอด ซึ่งทำให้การศึกษาและการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้เป็นไปด้วยความราบรื่นและสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วยความซาบซึ้งใจอย่างยิ่ง

ธนสร ใจตรง

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
คำถามงานวิจัย.....	7
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	7
ความสำคัญของงานวิจัย.....	8
ขอบเขตของงานวิจัย.....	8
ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย.....	8
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย.....	9
ตัวแปรที่ศึกษา.....	9
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	9
กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	11
สมมติฐานของงานวิจัย.....	11
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	13
1. กีฬาเรือคายัค.....	13
1.1 ธรรมชาติของการแข่งขันกีฬาเรือคายัค.....	13

1.2 ความต้องการทางสรีรวิทยาของกีฬาเรือคายัค .....	22
1.2.1 มานุษยวิทยาของนักกีฬาเรือคายัค .....	22
1.2.2 ระบบพลังงานระหว่างการแข่งเรือคายัค .....	23
2. สารละลายคาร์โบไฮเดรตและความสามารถทางการกีฬาและการออกกำลังกาย .....	26
2.1 ซีวเคมีของกลูโคส .....	26
2.1.1 การขนส่งกลูโคส .....	29
2.1.2 กระบวนการสร้างพลังงานด้วยกลูโคส .....	29
2.2 ผลของการบริโภคสารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีผลต่อความสามารถทางการกีฬาและ การออกกำลังกาย .....	34
3. ไฮยัลิبرانไซโคลิคเด็กซ์ทริน .....	41
3.1 ซีวเคมีของ Highly branched cyclic dextrin (HBCD) .....	41
3.2 ผลของการบริโภคไฮยัลิبرانไซโคลิคเด็กซ์ทรินที่มีต่อความสามารถทางการกีฬาและ การออกกำลังกาย .....	43
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	47
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง .....	47
ประชากร .....	47
กลุ่มตัวอย่าง .....	47
เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าสู่การวิจัย (Inclusion criteria) .....	47
เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างออกจากกรวิจัย (Exclusion criteria) .....	48
เกณฑ์การยุติการวิจัย (Termination criteria) .....	48
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	48
การเก็บรวบรวมข้อมูล .....	49
ขั้นตอนก่อนการทดสอบ (Preliminary tests) .....	49

การทดสอบหลัก (Main tests).....	50
การออกแบบการวิจัย (Research design).....	50
ขั้นตอนและวิธีการในการทดสอบหลัก (Procedures of the main test) .....	52
การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ .....	56
บทที่ 4 ผลการศึกษา .....	58
ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง.....	58
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ออกซิเจนและกำลังในการหายใจ ( $VO_2$ -Power linear regression) .....	59
ผลของการบริโภคน้ำเปล่า สารละลายไฮยาลูรอนที่ไซคลิกเด็กซ์ทริน และสารละลายกลูโคสที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง .....	61
ระยะเวลาในการหายใจ.....	61
กำลังเฉลี่ยในการหายใจ .....	62
ผลของการบริโภคน้ำเปล่า สารละลายไฮยาลูรอนที่ไซคลิกเด็กซ์ทริน และสารละลายกลูโคสที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา .....	64
อัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างการหายใจ.....	64
ปริมาณการใช้ออกซิเจนในระหว่างการหายใจ.....	66
การใช้พลังงานในระหว่างการหายใจ .....	68
สัดส่วนของระบบพลังงานในระหว่างการหายใจ .....	70
สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมันในระหว่างการหายใจ.....	73
สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมันขณะพัก .....	77
ระดับกลูโคสในเลือด.....	84
ระดับแลคเตทในเลือด.....	88
ความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ.....	93

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	95
สรุปผลการวิจัย .....	95
อภิปรายผลการวิจัย .....	97
1. ผลของการบริโภคสารละลายที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง.....	97
2. ผลของการบริโภคสารละลายที่มีต่อตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา .....	100
ข้อเสนอแนะ .....	103
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	104
ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต .....	104
บรรณานุกรม.....	105
ประวัติผู้เขียน.....	118



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 รายการแข่งขันที่จัดขึ้นและรับรองโดยสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติ.....	15
ตาราง 2 รายการแข่งขันเรือคายัคตามมาตรฐานของสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติ.....	16
ตาราง 3 ตัวอย่างการลงแข่งขันใน 1 วัน ของนักกีฬาเรือคายัค .....	18
ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง .....	59
ตาราง 5 สูตรความสัมพันธ์ $VO_2$ -Power linear regression ของกลุ่มตัวอย่าง.....	60
ตาราง 6 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของระยะเวลาในการพายเรือคายัค (วินาที) ของกลุ่มตัวอย่าง .....	61
ตาราง 7 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของกำลังเฉลี่ย (วัตต์) ในระหว่างการพายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง .....	63
ตาราง 8 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย (ครั้ง/นาที) ในระหว่างการพายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง.....	65
ตาราง 9 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย (ลิตร/นาที) ในระหว่างการพายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง .....	67
ตาราง 10 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของการใช้พลังงาน (กิโลแคลอรี) ในการพายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง.....	69
ตาราง 11 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิก และระบบแอนแอโรบิก (%) ในระหว่างการพายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง .....	71
ตาราง 12 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต และไขมัน (%) ในระหว่างการพายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง .....	74
ตาราง 13 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (%) ขณะพักของกลุ่มตัวอย่าง .....	78
ตาราง 14 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของสัดส่วนการออกซิเดชันของไขมัน (%) ขณะพักของกลุ่มตัวอย่าง.....	79

ตาราง 15 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของระดับกลูโคสในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)  
 ของกลุ่มตัวอย่าง ..... 84

ตาราง 16 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของระดับแลคเตทในเลือด (มิลลิโมล/ลิตร)  
 ของกลุ่มตัวอย่าง ..... 89

ตาราง 17 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของความถี่จำเพาะของปัสสาวะของกลุ่ม  
 ตัวอย่าง..... 93



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	11
ภาพประกอบ 2 เรือคยัคเดี่ยวหญิง คยัคคู่ชาย และคยัค 4 คน หญิง.....	14
ภาพประกอบ 3 แสดงกลูโคสในรูปแบบโซ่เปิด (ซ้าย) และรูปแบบวงแหวน(ขวา).....	27
ภาพประกอบ 4 กระบวนการไกลโคไลซิส (การหายใจระดับเซลล์).....	30
ภาพประกอบ 5 กระบวนการสลายและการสังเคราะห์ทางชีวภาพของกลูโคสและไกลโคเจนในการสร้าง ATP.....	31
ภาพประกอบ 6 แบบจำลองอธิบายบทบาทของสมองในสภาวะสมดุลของกลูโคส (a) การรักษาระดับน้ำตาลในเลือดของกลูโคสที่ขับออกไปและเข้าสู่กระแสเลือด (b) ความบกพร่องทางสมองในการรับรู้ระดับกลูโคสในเลือด (จุดสีน้ำเงิน) อาจเป็นผลมาจากความบกพร่องทางพันธุกรรมหรือที่ได้มาจากพฤติกรรม.....	33
ภาพประกอบ 7 การเปลี่ยนแปลงระดับกลูโคสและอินซูลินในเลือด ก่อน (Basal) และหลังออกกำลังกาย (PE) และหลัง (PS) การบริโภคสารละลายที่มีคาร์โบไฮเดรต (CHO-E) และสารหล่อ (PLA).....	35
ภาพประกอบ 8 การเปลี่ยนแปลงระดับคอรีติซอล โทเดียม และโพแทสเซียมในเลือด ก่อน (Basal) และหลังออกกำลังกาย (PE) และหลัง (PS) การบริโภคสารละลายที่มีคาร์โบไฮเดรต (CHO-E) และสารหล่อ (PLA).....	36
ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการทดสอบการบริโภคกลูโคสก่อนออกกำลังกายต่อการตอบสนองทางเมตาบอลิซึมและความอดทนของกล้ามเนื้อ.....	39
ภาพประกอบ 10 โครงสร้างของ HBCD.....	42
ภาพประกอบ 11 ความเสถียรของสารละลายเดกซ์ทรีนต่างๆ.....	43
ภาพประกอบ 12 การออกแบบการวิจัย.....	52
ภาพประกอบ 13 ขั้นตอนและวิธีการในการทดสอบหลัก.....	52

ภาพประกอบ 14 ตัวอย่าง $VO_2$ -Power linear regression ของกลุ่มตัวอย่างชาย (A) และกลุ่มตัวอย่างหญิง (B).....	60
ภาพประกอบ 15 การเปรียบเทียบ (A) ระยะเวลาในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่บริเวณเครื่องตีไม้แต่ละชนิด และ (B) ระยะเวลาในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G).....	62
ภาพประกอบ 16 การเปรียบเทียบ (A) กำลังเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่บริเวณเครื่องตีไม้แต่ละชนิด และ (B) กำลังเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G).....	64
ภาพประกอบ 17 การเปรียบเทียบ (A) อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่บริเวณเครื่องตีไม้แต่ละชนิด และ (B) อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G).....	66
ภาพประกอบ 18 การเปรียบเทียบ (A) ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่บริเวณเครื่องตีไม้แต่ละชนิด และ (B) ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G).....	68
ภาพประกอบ 19 การเปรียบเทียบ (A) การใช้พลังงานในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่บริเวณเครื่องตีไม้แต่ละชนิด และ (B) การใช้พลังงานในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G).....	70
ภาพประกอบ 20 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิก (AE) และแอนแอโรบิก (AN) ในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างการพายเรือคยัค รอบที่ 1, 2 และ 3 ในสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G).....	72

ภาพประกอบ 21 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิก (AE) และแอนแอโรบิก (AN) ในการพายเรือคายัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)..... 73

ภาพประกอบ 22 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (CHO) และไขมัน (FAT) ในการพายเรือคายัค 500 เมตร ระหว่างการพายเรือคายัค รอบที่ 1, 2 และ 3 ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)..... 76

ภาพประกอบ 23 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (CHO) และไขมัน (FAT) ในการพายเรือคายัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)..... 77

ภาพประกอบ 24 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตขณะพัก ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) ..... 81

ภาพประกอบ 25 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของไขมันขณะพัก ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)..... 82

ภาพประกอบ 26 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (CHO) และไขมัน (FAT) โดยรวมทุกช่วงเวลาขณะพัก ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) ..... 83

ภาพประกอบ 27 การเปรียบเทียบระดับกลูโคสในเลือดก่อนและหลังการพายเรือคายัค 500 เมตร ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)..... 87

ภาพประกอบ 28 การเปรียบเทียบระดับกลูโคสในเลือดรวมทุกช่วงเวลา ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)..... 88

ภาพประกอบ 29 การเปรียบเทียบระดับแลคเตทในเลือดก่อนและหลังการพายเรือคายัค 500 เมตร ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)..... 91

ภาพประกอบ 30 การเปรียบเทียบระดับแลคเตทในเลือดรวมทุกช่วงเวลาระหว่างสภาวะที่บริโภค  
น้ำเปล่า (W) สารละลายไฮไลบรานไฮคลิดเด็กซ์ทริน (H) และสารละลายกลูโคส (G)..... 92

ภาพประกอบ 31 การเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะก่อนและหลังการทดสอบใน  
สภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮไลบรานไฮคลิดเด็กซ์ทริน (H) และสารละลายกลูโคส  
(G) ..... 94



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

กีฬาเรือคายัค (Kayak) เป็นกีฬาทางน้ำประเภทความเร็วที่อยู่ในกลุ่มเรือแคนูสปринท์ (Canoe sprint) ซึ่งได้รับความนิยมจากคนทั่วโลก โดยในปัจจุบันมีการแข่งขันกีฬาเรือคายัคในมหกรรมกีฬา ทั้งในระดับนานาชาติ เช่น โอลิมปิกเกมส์ เอเชียนเกมส์ ซีเกมส์ เป็นต้น และในระดับชาติของประเทศต่างๆ เช่น การแข่งขันกีฬาแห่งชาติ การแข่งขันกีฬามหาวิทยาลัยแห่งประเทศไทย เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการแข่งขันเฉพาะกีฬาเรือคายัคในระดับนานาชาติอีกหลายรายการ ทั้งการแข่งขันระดับโลก ระดับทวีป การแข่งขันเฉพาะกลุ่มประเทศ และเฉพาะรุ่นอายุ (ICF, 2022d) การแข่งขันกีฬาเรือคายัคอย่างเป็นทางการจะเป็นไปตามข้อกำหนดของสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติ (International Canoe Federation; ICF) ซึ่งมีการแบ่งประเภทการแข่งขันออกเป็นรุ่นทั่วไป (Open) รุ่นอายุไม่เกิน 23 ปี (U23) และรุ่นอายุไม่เกิน 18 ปี (Junior) โดยในแต่ละรุ่นอายุมีการแบ่งออกเป็นเพศชาย (M) หญิง (W) และผสมชายหญิง (M) ซึ่งในแต่ละเพศยังแบ่งออกเป็นประเภท 1 ฝีพาย (K1) 2 ฝีพาย (K2) และ 4 ฝีพาย (K4) รวมทั้งแบ่งตามระยะทางที่ใช้ในการแข่งขัน โดยมีระยะทางหลัก คือ 200 เมตร 500 เมตร และ 1,000 เมตร นอกจากนี้ การแข่งขันกีฬาเรือคายัคในรายการเดียวกันมีหลายประเภท และแต่ละประเภทมีการแข่งเป็นรอบ (Heat) จากรอบแรก (Heat1) ถึงรอบตัดเชือก (Final) ซึ่งเป็นรอบสุดท้ายของการแข่งขัน (ICF, 2022d) ความหลากหลายของประเภทและรอบการแข่งขันดังกล่าว ส่งผลให้ในการแข่งขันกีฬาเรือคายัคแต่ละรายการมีนักกีฬานักกีฬานักกีฬาจำนวนหนึ่งที่ลงแข่งมากกว่า 1 ครั้ง ภายใน 1 วัน โดยมีเวลาพักระหว่างการแข่งขันแต่ละครั้งเพียงช่วงสั้นๆ เช่น ในการแข่งขันกีฬาเรือคายัครายการ 2022 ICF Canoe Sprint World Cup I ในวันที่ 20 เมษายน 2565 นักกีฬาชื่อ Marcus Walz ลงแข่งทั้งหมด 4 ประเภท ในจำนวนนี้มี 2 ประเภท คือ MK4 ระยะ 500 เมตร และ MK1 ระยะ 500 เมตร ซึ่งแข่งในเวลา 14.40 น. และ 15.16 น. ตามลำดับ (เวลาพัก 36 นาที) (ICF, 2022a, 2022b, 2022c) และในรายการ 2022 ICF Canoe Sprint and Paracanoe World Championships ในวันที่ 6 สิงหาคม 2565 นักกีฬาชื่อ Yale Steinepreis ลงแข่งประเภท WK1 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 11.10 น. และ WK1 ระยะ 200 เมตร ในเวลา 12.07 น. (เวลาพัก 57 นาที) และนักกีฬาชื่อ Albart Flier ลงแข่งประเภท MK1 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 14.42 น. และ MK1 ระยะ 1,000 เมตร ในเวลา 15.10 น. (เวลาพัก 28 นาที) (Bailey et al., 2015; Blohm, Beidler, Rosen, Kressler, & Hong, 2020; Mor, Kayacan,

Ipekoglu, & Arslanoglu, 2019) เป็นต้น ซึ่งในกรณีเช่นนี้ การเตรียมความพร้อมให้แก่นักกีฬา ทั้งในช่วงก่อนแข่งและช่วงฟื้นสภาพ (Recovery) หลังจากการแข่งขัน เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้ นักกีฬามีสมรรถภาพสูงสุดในทุกครั้งที่ทำการแข่งขัน

สมรรถภาพในการแข่งขันกีฬาเรือคายัคมีตัวชี้วัด คือ เวลาที่ใช้ในการพายจากจุดเริ่มต้น จนถึงจุดสิ้นสุดของระยะทางที่กำหนด (Time performance) ในการแข่งขันกีฬาเรือคายัคระดับนานาชาติโดยทั่วไปนั้น เวลาที่ใช้หรือสถิติในการพายระยะ 200 เมตร 500 เมตร และ 1,000 เมตร อยู่ที่ประมาณ 33.380 - 37.898 วินาที 1:35.04 - 1:46.465 นาที และ 3:20.643 - 3:48.560 นาที (c. Wikipedia, 2022c) ตามลำดับ เวลาดังกล่าวเป็นผลของแรง (Force) และกำลัง (Power) ในการพาย ซึ่งเกิดจากพลังงานทางเคมีที่เป็นผลมาจากเมตาบอลิซึมของสารพลังงานภายในร่างกาย โดยพบว่า การพายเรือคายัคแบบสปринท์เป็นเวลา 40 วินาที และ 120 วินาที ในนักกีฬาหญิง มีการใช้พลังงานในระหว่างการพายประมาณ 75.2 กิโลจูล (1.15 กิโลจูล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว) และ 160.0 กิโลจูล (2.47 กิโลจูล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว) ตามลำดับ ส่วนการพายเรือคายัคแบบสปринท์เป็นเวลา 40 วินาที และ 240 วินาที ในนักกีฬาชาย มีการใช้พลังงานตลอดช่วงของการพายประมาณ 108.0 กิโลจูล (1.45 กิโลจูล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว) และ 362.0 กิโลจูล (4.93 กิโลจูล/กิโลกรัมน้ำหนักตัว) ตามลำดับ (Y. Li, 2015) พลังงานที่ใช้ในการแข่งขันกีฬาเรือคายัคระยะ 200 เมตร 500 เมตร และ 1,000 เมตร เกิดจากระบบพลังงานแอโรบิก (Aerobic energy system) ประมาณ 37.0% 64.0% และ 82.0% ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นผลของระบบพลังงานแอนแอโรบิก (Anaerobic energy system) (Borges, Dascombe, Bullock, & Coutts, 2015; Byrnes & Kearney, 1997) ซึ่งจะมีส่วนร่วมมากขึ้นเมื่อระยะทางสั้นลง และส่งผลให้ระดับแลคเตท (Lactate) ในเลือดเมื่อจบการแข่งขันระยะ 500 เมตร ทันทีมีค่าเพิ่มขึ้นจนเกือบถึง 20.0 มิลลิโมล/ลิตร (Zouhal et al., 2012) ผลการทบทวนวรรณกรรมยังสรุปว่า เกือบตลอดช่วงของการแข่งขันกีฬาเรือคายัคที่มีระยะทางไม่เกิน 1,000 เมตร ร่างกายมีการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption,  $VO_2$ ) มากกว่า 73% ของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak oxygen consumption,  $VO_{2peak}$ ) (Michael, Rooney, & Smith, 2008) ซึ่งเกินความสามารถสูงสุดในการสลายไขมันของร่างกาย (Hargreaves & Spriet, 2020) ดังนั้น คาร์โบไฮเดรตที่เก็บสะสมเป็นไกลโคเจนในกล้ามเนื้อและกลูโคสในเลือด เป็นแหล่งพลังงานหลักในระหว่างการแข่งขันกีฬาเรือคายัคระยะ 200 เมตร 500 เมตร และ 1,000 เมตร โดยผ่านระบบพลังงานทั้งแอนแอโรบิกและแอโรบิก นอกจากนี้ ผลการวิจัยที่ผ่านมายังแสดงว่า การออกกำลังกายแบบมีแรงต้าน (Resistance exercise) ซึ่งเป็นรูปแบบกิจกรรมของการพายเรือคายัค

ทำให้ไกลโคเจนในเซลล์กล้ามเนื้อที่มีปริมาณลดลง ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการสร้างแรงและกำลังของกล้ามเนื้อลดลงด้วย (Hargreaves, 2016; Henselmans, Bjørnsen, Hedderman, & Vårvik, 2022) และภายหลังจากการออกกำลังกาย ร่างกายยังคงมีค่า  $VO_2$  ที่สูงเมื่อเทียบกับช่วงก่อนการออกกำลังกาย (Excess post-exercise oxygen consumption, EPOC) ซึ่งแสดงว่า ร่างกายมีการใช้หรือมีความต้องการพลังงานที่สูงสำหรับกระบวนการต่างๆ เพื่อให้มีการฟื้นฟูสภาพ (Recovery) กลับสู่สภาวะสมดุล เช่น การเติมกลับของไกลโคเจนที่มีการใช้ไปให้เต็ม การลดการสะสมของกรดแลคติก เป็นต้น (Børsheim & Bahr, 2003; Thompson, 2018)

เมตาบอลิซึมของสารพลังงานที่สูงขึ้นในระหว่างและหลังการแข่งขันกีฬาเรื้อรัง อาจทำให้ร่างกายของนักกีฬามีการสูญเสีย น้ำ เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ที่เกิดจากการสลายสารพลังงานจะเป็นความร้อน ซึ่งต้องได้รับการระบายออกจากร่างกายเพื่อให้อุณหภูมิของร่างกายอยู่ในสภาวะปกติ การระบายความร้อนของร่างกายอันเป็นผลมาจากการมีกิจกรรมทางกายมีกลไกหลัก คือ การหลั่งเหงื่อ ซึ่งข้อมูลจากวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (American College of Sports Medicine, ACSM) ได้แสดงให้เห็นว่า ในกีฬาที่มีการแข่งขันกันอย่างเข้มข้น นักกีฬามีการหลั่งเหงื่อในช่วงแข่งและช่วงฝึกซ้อมในสภาพแวดล้อมต่างๆ เฉลี่ย 0.29-2.60 ลิตร/ชั่วโมง แต่มีการดื่มน้ำเฉลี่ยเพียง 0.14-1.60 ลิตร/ชั่วโมง ซึ่งส่งผลให้มีการขาดน้ำ (Dehydration) เฉลี่ย 0.26-2.42% ของน้ำหนักตัว (Sawka et al., 2007) อย่างไรก็ตาม ผลการทบทวนวรรณกรรมมีการสรุปว่า ในกีฬาเพื่อการแข่งขันซึ่งโดยทั่วไปมีระดับความหนักของกิจกรรมที่สูง ร่างกายจะมีการสูญเสียน้ำผ่านการหายใจและการแพร่ทางผิวหนังในปริมาณที่มากด้วย (Maughan & Shirreffs, 2010) จากข้อสรุปดังกล่าว (Maughan & Shirreffs, 2010) และข้อมูลของ ACSM (Sawka et al., 2007) แสดงว่า ในกีฬาที่มีการแข่งขันกันอย่างเข้มข้น นักกีฬาจะมีการสูญเสียน้ำเฉลี่ยมากกว่า 2.60 ลิตร/ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลมาจากการหลั่งเหงื่อ การหายใจ และการแพร่ทางผิวหนัง และนักกีฬาจะมีการขาดน้ำมากกว่า 2.42% ของน้ำหนักตัว ซึ่งผลการวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่า การขาดน้ำแม้เพียงเล็กน้อย (ไม่เกิน 2.00% ของน้ำหนักตัว) ทำให้ความรู้สึกเหนื่อยขณะออกกำลังกายเพิ่มขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกาย เช่น ปริมาตรพลาสมาลดลง อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น ระดับแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้น การสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น เป็นต้น (Logan-Sprenger, Heigenhauser, Jones, & Spriet, 2013) นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์งานวิจัยเกี่ยวกับผลของการขาดน้ำในทุกด้านอย่างละเอียดมีการสรุปว่า การขาดน้ำมีผลกระทบในทางลบต่อสมรรถภาพทางกายในกิจกรรมที่ใช้ระยะเวลาตั้งแต่ 30 วินาที ขึ้นไป

เนื่องจากการขาดน้ำทำให้ความสามารถในการสังเคราะห์พลังงานของวิถีแอนแอโรบิกไกลโคไลซิส และวิถีแอโรบิกมีการลดลง (Carlton & Orr, 2015)

ข้อมูลที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแสดงว่า โภชนาการสำหรับการแข่งขันกีฬาเรือคายัคควรเน้นวิธีการที่ทำให้ร่างกายของนักกีฬามีคาร์โบไฮเดรตและน้ำอย่างเพียงพอ ทั้งก่อน ระหว่าง และหลังการแข่งขัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนักกีฬาที่มีการแข่งขันหลายครั้งใน 1 วัน และมีช่วงพักระหว่างการแข่งขันแต่ละครั้งไม่เกิน 1 ชั่วโมง การบริโภคคาร์โบไฮเดรตที่เป็นของเหลวจะมีผลดีเนื่องจากจะช่วยให้ออกกำลังกายมีการดูดซึมทั้งคาร์โบไฮเดรตและน้ำได้อย่างรวดเร็ว (Sawka et al., 2007) ในประเด็นของสารละลายคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate solution) ที่เหมาะสมสำหรับการกีฬาและการออกกำลังกายนั้น ผลการวิจัยตลอดระยะเวลาหลายทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการสรุปว่า สารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้นถึง 6% มีอัตราการเคลื่อนตัวของอาหารลงไปที่ลำไส้เล็ก (Gastric emptying rate, GE) ไม่แตกต่างกับน้ำ (Baker & Jeukendrup, 2014) สารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้น 4-8% ไม่จำกัดอัตราการดูดซึมคาร์โบไฮเดรตของลำไส้เล็ก และการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตในระหว่างการออกกำลังกาย เมื่อเทียบกับสารละลายคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีค่า GE ที่สูงกว่า (Rehrer et al., 1992) ACSM มีการแนะนำว่า รสชาติที่ดีจะส่งเสริมให้นักกีฬาและผู้ให้ออกกำลังกายมีการดื่มเครื่องดื่มมากขึ้น และอุณหภูมิมีผลต่อรสชาติของเครื่องดื่มซึ่งนักกีฬารวมทั้งผู้ให้ออกกำลังกายต้องการเครื่องดื่มที่มีความเย็น มากกว่าเครื่องดื่มที่ร้อนหรือมีอุณหภูมิปกติ (Sawka et al., 2007) ในด้านประโยชน์ของสารละลายคาร์โบไฮเดรตนั้น ผลการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ และการวิเคราะห์ห่อถักงานวิจัยซึ่งมีการทดสอบสมรรถภาพที่เกี่ยวข้องกับการแข่งขันกีฬา มีการสรุปว่า การบริโภคสารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้น 6-8% ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส กลูโคสโพลิเมอร์ ซูโครส ฟรุคโตส หรือมอลโตเดกซ์ทริน เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดร่วมกัน โดยบริโภคก่อนการทดสอบทันที และบริโภคเป็นระยะๆ ในระหว่างการทดสอบ ทำให้สมรรถภาพด้านความเร็วและกำลังขณะทำกิจกรรมที่ใช้ระยะเวลาตั้งแต่ 90 นาที ขึ้นไป มีการเพิ่มขึ้นมากกว่าการบริโภคสารหลอก (Pöschmüller, Schwingshackl, Colombani, & Hoffmann, 2016) ผลการวิจัยที่ศึกษาสมรรถภาพในด้านแอนแอโรบิกมีการพบด้วยว่า โดยภาพรวมแล้วการบริโภคสารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้น 6-8% ซึ่งประกอบด้วยกลูโคสและฟรุคโตส โดยบริโภคก่อนการทดสอบทันที และบริโภคทุกๆ 15 นาที ในระหว่างการทดสอบความแข็งแรงและสมรรถภาพทางกาย ช่วยเพิ่มสมรรถภาพในการออกกำลังกายด้วยแรงต้านของร่างกายส่วนบน การวิ่งสปринท์จำนวนหลายเที่ยว และการกระโดดไกล เมื่อ

เทียบกับการบริโภคสารละลายที่ไม่มีคาร์โบไฮเดรต (Kring et al., 2016) นอกจากนี้ ผลการวิจัยที่ผ่านมาที่มีการแสดงให้เห็นว่า ในช่วงฟื้นสภาพหลังจากการออกกำลังกาย (Recovery) การบริโภคสารละลายที่มีกลูโคสทำให้อาการเหนื่อยล้าและการสังเคราะห์ไกลโคเจนขึ้นใหม่มากกว่าการบริโภคสารหล่อเลี้ยง และการบริโภคสารละลายที่ประกอบด้วยกลูโคสกับฟรุกโตส และสารละลายที่ประกอบด้วยกลูโคสกับซูโครส ไม่ช่วยให้อาการเหนื่อยล้าและการสังเคราะห์ไกลโคเจนขึ้นใหม่เพิ่มขึ้นมากกว่าการบริโภคสารละลายที่มีกลูโคสเพียงอย่างเดียว (Trommelen et al., 2016; Wallis et al., 2008)

ไฮลีสบรานซ์ไซคลิกเดกซ์ทริน (Highly branched cyclic dextrin, HBCD) เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดใหม่ที่ผลิตมาจากแป้งข้าวโพด (Waxy corn) เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดวงแหวนที่มีแขนง มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีช่องของน้ำหนักโมเลกุลที่แคบ มีการละลายในน้ำได้ดี ทำให้อาการเหนื่อยล้ามีค่าออสโมลาลิตีต่ำ และไม่ทำให้เกิดการคืนตัวหรือเป็นเจลของแป้ง (Retrogradation) เมื่อเทียบกับกลูโคสและเดกซ์ทรินชนิดอื่น ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว HBCD จึงได้รับการยอมรับว่าเป็น Gold standard ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มทางการกีฬา ภายใต้ชื่อทางการค้าว่า คลัสเตอร์เดกซ์ทริน (Cluster dextrin) ซึ่งได้รับการรับรองในด้านความปลอดภัยจากคณะกรรมการอาหารและยา (Shiraki, Kometani, Yoshitani, Takata, & Nomura, 2015; Wilburn, Machek, & Ismaeel, 2021b) อย่างไรก็ตาม การวิจัยถึงผลของการบริโภค HBCD ในทางการกีฬาและการออกกำลังกายยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น โดยเริ่มในปี ค.ศ. 1999 ที่มีการศึกษาโดยให้หนูทดลองดื่มน้ำเป็นเวลา 7 ชั่วโมง แล้วให้สารละลายที่มี HBCD หรือกลูโคสซึ่งมีความเข้มข้น 5% หรือน้ำเปล่า ในช่วงเวลา 10 นาที ก่อนการทดสอบ และให้ซ้ำในช่วงเวลา 10 นาที และ 30 นาที ขณะทำการทดสอบพบว่า หนูทดลองที่ได้รับ HBCD ในช่วงเวลาก่อนการทดสอบ และในช่วงเวลา 10 นาที ขณะทำการทดสอบ สามารถว่ายน้ำได้นานกว่าหนูทดลองที่ได้รับสารละลายกลูโคสและน้ำเปล่า สารละลาย HBCD มี GE ที่สูงกว่า และทำให้ระดับกลูโคสและอินซูลินในเลือดเพิ่มขึ้นไม่มากเท่ากับสารละลายกลูโคส (H. Takii, Ishihara, Kometani, Okada, & Fushiki, 1999) ในปี ค.ศ. 2004 มีการวิจัยในมนุษย์เป็นครั้งแรก โดยให้กลุ่มตัวอย่างบริโภคเครื่องดื่มต้นแบบของเครื่องดื่มทางการกีฬาซึ่งประกอบด้วย HBCD เดกซ์ทริน และกลูโคสที่มีความเข้มข้น 10% และน้ำเปล่า ในช่วงเวลา 10 นาที ก่อนการปั่นจักรยานซึ่งใช้ระยะเวลารวม 30 นาที การทดสอบดังกล่าวมีการดำเนินการในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากการบริโภคอาหาร และพบว่า เครื่องดื่มที่มี HBCD ทำให้เกิดความผิดปกติในการทำงานของระบบทางเดินอาหารน้อยกว่าเครื่องดื่มที่ประกอบด้วยเดกซ์ทรินและกลูโคส ซึ่งผลดังกล่าวเกิดจากการมี GE ที่สูงของ HBCD (Hiroshi Takii, Kometani,

Nishimura, Kuriki, & Fushiki, 2004) ในปี ค.ศ.2014 เป็นต้นมา มีการศึกษาถึงผลของ HBCD ที่มีต่อสมรรถภาพในการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลาสั้น โดยการศึกษาในกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดี พบว่า การบริโภคสารละลายที่มี HBCD ซึ่งมีความเข้มข้น 7.5% ในช่วงเวลา 60 นาที หลังจากเริ่มปั่นจักรยาน ทำให้ความรู้สึกเหนื่อยล้าสัมพัทธ์ (Rating of perceived exertion, RPE) ขณะปั่นจักรยานมีการเพิ่มขึ้นน้อยกว่า และระดับกลูโคสในเลือดหลังจากการบริโภค 30 นาที มีการเพิ่มขึ้นมากกว่าการบริโภคสารละลายมอลโตเดกซ์ตริน (Furuyashiki et al., 2014) ส่วนในกลุ่มนักกีฬาขั้นเลิศ การบริโภคสารละลาย HBCD ที่มีความเข้มข้น 21% ก่อนการว่ายน้ำทันที ทำให้นักกีฬาว่ายน้ำได้นานขึ้น และระดับกลูโคสในเลือดมีการเพิ่มขึ้นมากกว่าการบริโภคสารละลายที่มีกลูโคส (Shiraki et al., 2015) นอกจากนี้ ผลการวิจัยในนักวิ่งมาราธอนในปี ค.ศ. 2022 มีการพบว่า การบริโภคสารละลาย HBCD (คาร์โบไฮเดรต 1.5 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม) ในช่วงเวลา 30 นาที ก่อนการทดสอบ ทำให้นักกีฬาวิ่งได้นานกว่า และมีการสูญเสียให้น้ำน้อยกว่าการบริโภคสารละลายกลูโคส (Chuychai et al., 2022)

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้น ประกอบกับในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาถึงผลของการบริโภคสารละลายคาร์โบไฮเดรต รวมทั้ง HBCD ที่มีต่อสมรรถภาพในการแข่งขันกีฬาเรือคายัคซึ่งมีการแข่งหลายครั้งใน 1 วัน อีกทั้ง ยังไม่มีข้อมูลทางด้านสรีรวิทยาในระหว่างการพายเรือคายัค และในช่วงฟื้นฟูสภาพหลังจากการพายเรือ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและ HBCD ที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลองในนักกีฬาเรือคายัค โดยทำการจำลองการแข่งขันกีฬาเรือคายัค ระยะทาง 500 เมตร จำนวน 3 รอบ มีเวลาพักระหว่างการพายแต่ละรอบ 30 นาที และให้กลุ่มตัวอย่างบริโภคสารละลายกลูโคสและ HBCD ก่อนและในระหว่างการแข่งขัน แล้วทำการประเมินสมรรถภาพในการพายเรือ การตอบสนองทางด้านเมตาบอลิซึมของสารพลังงานในระหว่างการพายเรือและในช่วงฟื้นฟูสภาพ รวมทั้ง ประเมินสภาวะน้ำในร่างกายในช่วงก่อนและหลังการแข่งขัน โดยใช้วิธีการวัดความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ (Urine specific gravity, USG) ซึ่งเป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ง่าย มีความเที่ยงตรง และได้รับการยอมรับในทางกีฬาและการออกกำลังกาย (Barley, Chapman, & Abbiss, 2020; Muñoz, McKenzie, & Armstrong, 2014)

### คำถามงานวิจัย

1. การบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยัลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรินมีผลต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง (กำลังและเวลาในการพายเรือคายัคแบบสปรีนท์ ระยะทาง 500 เมตร) ในนักกีฬาเรือคายัคหรือไม่

2. การบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยัลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรินมีผลต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง (กำลังและเวลาในการพายเรือคายัคแบบสปรีนท์ ระยะทาง 500 เมตร) ในนักกีฬาเรือคายัคแตกต่างกันหรือไม่

3. การบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยัลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรินมีผลต่อตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา (อัตราการเต้นของหัวใจ ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน การใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ) ในช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการแข่งขันเรือคายัคจำลองหรือไม่

4. การบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยัลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรินมีผลต่อตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา (อัตราการเต้นของหัวใจ ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน การใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ) ในช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการแข่งขันเรือคายัคจำลองแตกต่างกันหรือไม่

### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยัลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรินที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง (กำลังและเวลาในการพายเรือคายัคแบบสปรีนท์ ระยะทาง 500 เมตร) ในนักกีฬาเรือคายัค

2. เพื่อเปรียบเทียบผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยัลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรินที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง (กำลังและเวลาในการพายเรือคายัคแบบสปรีนท์ ระยะทาง 500 เมตร) ในนักกีฬาเรือคายัค

3. เพื่อศึกษาผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยัลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรินที่มีต่อตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา (อัตราการเต้นของหัวใจ ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน การใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก สัดส่วนการออกซิเดชัน

ของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถี่จำเพาะของปัสสาวะ) ในช่วงพักและระหว่างการแข่งขันเรือคายัคจำลอง

4. เพื่อเปรียบเทียบผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลิทรานซีไคคลิกเด็กซ์ทรินที่มีต่อตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา (อัตราการเต้นของหัวใจ ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนการใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถี่จำเพาะของปัสสาวะ) ในช่วงพักและระหว่างการแข่งขันเรือคายัคจำลอง

### ความสำคัญของงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแรกที่มีการจำลองการแข่งขันกีฬาเรือคายัคให้คล้ายกับการแข่งขันจริง และให้นักกีฬาบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลิทรานซีไคคลิกเด็กซ์ทรินตามคำแนะนำขององค์กรกีฬาสากล ทั้งในด้านความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรต ปริมาณและเวลาในการบริโภคสารละลาย เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของสารละลายดังกล่าวที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันของนักกีฬา ดังนั้น ผลการวิจัยในครั้งนี้จึงมีประโยชน์โดยตรงต่อนักกีฬาเรือพาย ทีมผู้ฝึกสอน และองค์กรที่เกี่ยวข้องกับกีฬาเรือพาย เพราะสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการเลือกเครื่องดื่มสำหรับเพิ่มสมรรถภาพในการแข่งขันและการฝึกซ้อมของนักกีฬาในสถานการณ์จริง

เนื่องจากการจำลองการแข่งขันกีฬาเรือคายัคในการวิจัยนี้มีลักษณะของการออกแรงเต็มที่ในช่วงเวลาสั้นๆ สลับกับการพักแบบซ้ำๆ ผลการวิจัยในครั้งนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกีฬาหลายชนิดที่มีการสปรินท์หลายครั้ง เช่น ฟุตบอล บาสเก็ตบอล จักรยาน เป็นต้น

ข้อมูลทางด้านสรีรวิทยาที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณการใช้ออกซิเจน การใช้พลังงาน สัดส่วนการเผาผลาญสารพลังงาน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถี่จำเพาะของปัสสาวะ จะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอน และการทำวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย

### ขอบเขตของงานวิจัย

#### ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักกีฬาเรือพายที่ทำการเก็บตัวฝึกซ้อม ณ ศูนย์ฝึกกีฬาเรือพาย ของสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย

## กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักกีฬาเรือพายที่ทำการเก็บตัวฝึกซ้อม ณ ศูนย์ฝึกกีฬาเรือพาย ของสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย จำนวน 12 คน กลุ่มตัวอย่างทุกคนได้รับการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ในการศึกษา และต้องลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Informed consent form)

## ตัวแปรที่ศึกษา

### 1. ตัวแปรอิสระ (Independent variables)

1.1 สารละลายกลูโคส

1.2 สารละลายไฮยาลูรอนซึไฮคลิดเด็กซ์ทริน

1.3 น้ำเปล่า

### 2. ตัวแปรตาม (Dependent variables)

2.1 ตัวชี้วัดสมรรถภาพการแข่งขัน ได้แก่ กำลัง และระยะเวลาในการแข่งขัน เรือคายัคจำลอง ระยะทาง 500 เมตร

2.2 ตัวแปรทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ค่าปริมาตรการใช้ ออกซิเจน การใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถี่หัวใจของปัสสาวะ

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **เรือคายัค (Kayak)** หมายถึง กีฬาทางน้ำประเภทความเร็วที่อยู่ในกลุ่มเรือแคนูสปринท์ (Canoe sprint) ตามข้อกำหนดของสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติ (International Canoe Federation; ICF) การแข่งขันกีฬาชนิดนี้มีการกำหนดให้นักกีฬานั่งบนเรือคายัค หันหน้าและยึดขา 2 ข้าง ไปทางหัวเรือ และใช้ไม้พายชนิดใบพายคู่ตีใบพายผ่านน้ำเพื่อขับเคลื่อนเรือไปข้างหน้าภายในระยะทางที่กำหนด (ICF, 2022d)

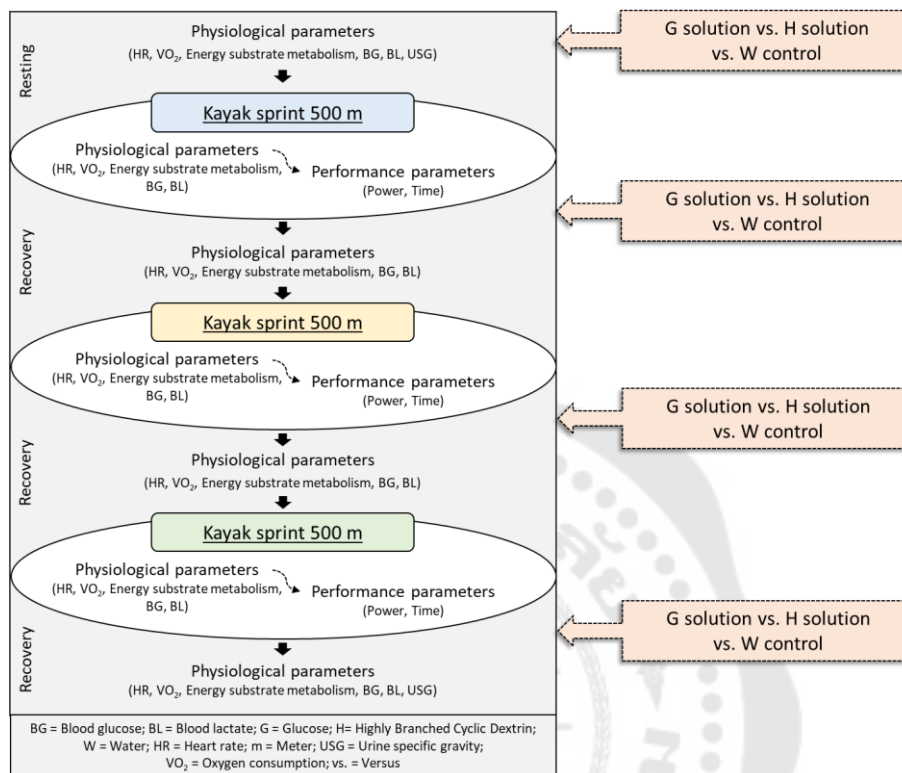
2. **การแข่งขันกีฬาเรือคายัคจำลอง (Kayak race simulation)** หมายถึง การทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ โดยการพายเรือคายัคแบบสปринท์ หรือการพายอย่างเต็มความสามารถ ในระยะ 500 เมตร จำนวน 3 รอบ และมีการพักระหว่างการพายแต่ละรอบ 30 นาที คล้ายกับการแข่งขันจริง

3. ไฮยัลิบริรานซ์ไซคลิกเต็ททรีน (Highly branched cyclic dextrin, HBCD) หมายถึง โอลิโกแซ็กคาไรด์รูปวงแหวนแบบกิ่งของคาร์โบไฮเดรต มีโครงสร้างโมเลกุลซึ่งประกอบด้วยโมโนเมอร์  $\alpha$ -D-กลูโคส ประมาณ 16-100 หน่วย มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 30,000-1,000,000 กรัม/โมล มวลโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ที่ 160,000 Da และมีสูตรทางเคมี คือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  ซึ่งคล้ายกับไกลโคเจน ( $C_{24}H_{42}O_{21}$ ) มักเรียก HBCD โดยใช้ชื่อทางการค้าว่า คลัสเตอร์เต็ททรีน (Cluster Dextrin) (Glico Nutrition Co., 2023)

4. ความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ (Urine specific gravity, USG) หมายถึง ค่าความหนาแน่นของน้ำปัสสาวะเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบริสุทธิ์ในอัตราส่วนที่เท่ากัน ซึ่งค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำที่ดื่ม ถ้าดื่มน้ำมากค่าก็จะต่ำ (ปัสสาวะเจือจาง) ถ้าดื่มน้ำน้อยหรือขาดน้ำค่านี้จะสูงขึ้น (ปัสสาวะมีความเข้มข้นขึ้น) โดยค่า  $<1.010$  แสดงว่ามีสภาวะน้ำปกติ  $1.010-1.020$  มีการสูญเสียน้ำเล็กน้อย  $1.021-1.030$  มีการสูญเสียน้ำอย่างเห็นได้ชัด และ  $>1.030$  มีการสูญเสียน้ำขั้นรุนแรง (Casa et al., 2000; MedThai, 2018 March, 22)

5. สภาวะของเหลวในร่างกาย (Hydration status) หมายถึง สถานะ สถานการณ์ หรือภาวะของน้ำในร่างกาย โดย Euhydration คือ ภาวะที่น้ำในร่างกายมีความสมดุล Hyperhydration คือ ภาวะที่ร่างกายสะสมน้ำไว้มากเกินไป Hypohydration คือ ภาวะที่ร่างกายมีการสูญเสียน้ำ และ Dehydration คือ ภาวะขาดน้ำหรือร่างกายมีน้ำน้อยกว่าปกติ (Shirreffs, 2003)

## กรอบแนวคิดงานวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

## สมมติฐานของงานวิจัย

1. การบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลิبرانที่ไซคลิกเด็กซ์ทรินทำให้สมรรถภาพการแข่งขันจำลอง (กำลังและเวลาในการพายเรือคายัคแบบสปринท์ ระยะทาง 500 เมตร) ในนักกีฬาเรือคายัคดีขึ้น
2. การบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลิبرانที่ไซคลิกเด็กซ์ทรินมีผลต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง (กำลังและเวลาในการพายเรือคายัคแบบสปринท์ ระยะทาง 500 เมตร) ในนักกีฬาเรือคายัคแตกต่างกัน
3. การบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลิبرانที่ไซคลิกเด็กซ์ทรินมีผลต่อตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา (อัตราการเต้นของหัวใจ ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนการใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ) ในช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการแข่งขันเรือคายัคจำลอง

4. การบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลิรอนซีไซคลิกเด็กซ์ทรินมีผลต่อตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา (อัตราการเต้นของหัวใจ ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน การใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถี่จำเพาะของปัสสาวะ) ในช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการแข่งขันเรือคายัคจำลองแตกต่างกัน



## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

#### 1. กีฬาเรือคายัค

1.1 ธรรมชาติของการแข่งขันกีฬาเรือคายัค

1.2 ความต้องการทางสรีรวิทยาของกีฬาเรือคายัค

#### 2. สารละลายคาร์โบไฮเดรตและความสามารถทางการกีฬาและการออกกำลังกาย

2.1 ชีวิตเคมีของกลูโคส

2.2 ผลของการบริโภคสารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีต่อความสามารถทางการกีฬาและการออกกำลังกาย

#### 3. ไฮยาลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรีน

3.1 ชีวิตเคมีของไฮยาลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรีน

3.2 ผลของการบริโภคไฮยาลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรีนที่มีต่อความสามารถทางการกีฬาและการออกกำลังกาย

#### 1. กีฬาเรือคายัค

##### 1.1 ธรรมชาติของการแข่งขันกีฬาเรือคายัค

กีฬาเรือคายัค (Kayak) เป็นกีฬาทางน้ำประเภทความเร็วที่อยู่ในกลุ่มเรือแคนูสปรีนทิง (Canoe Sprint) ตามข้อกำหนดของสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติ (International Canoe Federation; ICF) (ICF, 2022d) การแข่งขันกีฬาชนิดนี้มีการกำหนดให้นักกีฬานั่งบนเรือคายัค หันหน้าและยึดขา 2 ข้าง ไปทางหัวเรือ และใช้ไม้พายชนิดใบพายคู่ดึงใบพายผ่านน้ำเพื่อขับเคลื่อนเรือไปข้างหน้าภายในระยะทางที่กำหนด (ภาพประกอบ 2) สำหรับการแข่งขันกีฬาเรือคายัคอย่างเป็นทางการจะเป็นไปตามข้อกำหนดของสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติ ซึ่งมีการใช้สัญลักษณ์ตัวอักษรและตัวเลขแทนประเภทของการแข่งขันโดยมี M แทน เพศชาย W แทน เพศหญิง X แทน เพศชายและเพศหญิง K แทน การแข่งขันเรือคายัค และตัวเลข แทน จำนวนของนักกีฬาหรือฝีพาย ดังนี้

MK1 หมายถึง การแข่งขันเรือคายัคเดี่ยว ชาย

- WK1 หมายถึง การแข่งขันเรือคายัคเดี่ยว หญิง  
 MK2 หมายถึง การแข่งขันเรือคายัคคู่ ชาย  
 WK2 หมายถึง การแข่งขันเรือคายัคคู่ หญิง  
 XK2 หมายถึง การแข่งขันเรือคายัคคู่ ผสมชาย-หญิง  
 MK4 หมายถึง การแข่งขันเรือคายัค 4 คน ชาย  
 WK4 หมายถึง การแข่งขันเรือคายัค 4 คน หญิง  
 XK4 หมายถึง การแข่งขันเรือคายัค 4 คน ผสมชาย-หญิง



ภาพประกอบ 2 เรือคายัคเดี่ยวหญิง คยัคคู่ชาย และคยัค 4 คน หญิง  
 แหล่งที่มา: (ICF, 2023)

สหพันธ์เรือแคนูนานาชาติมีการจัดการแข่งขันเรือคายัคโดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 รายการ ICF World Championships ประกอบด้วยรุ่นทั่วไป (Open) รุ่นอายุไม่เกิน 23 ปี (U23) และรุ่นอายุไม่เกิน 18 ปี (Junior) ระดับที่ 2 รายการ ICF World Cup และระดับที่ 3 รายการ ICF World Ranking competitions นอกจากนี้ยังให้การรับรองการแข่งขันระดับที่ 4 ได้แก่ รายการแข่งขันระดับนานาชาติ (International competitions) เช่น โอลิมปิกเกมส์ เอเชียนเกมส์ ซีเกมส์ ชิงแชมป์เอเชีย ชิงแชมป์ยุโรป เป็นต้น รายการรุ่นทั่วไป (Masters or open competitions) และรายการแข่งขันที่มีการเชิญประเทศต่างๆ มาเข้าร่วม (Invitational competitions) (ตาราง 1)

ตาราง 1 รายการแข่งขันที่จัดขึ้นและรับรองโดยสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติ

Type of Competition	Competition
ICF Competition	ICF World Championships
	ICF World Cup
	ICF World Ranking competitions
International competitions	
Master's or open competitions	
Invitational competitions	

แหล่งที่มา: ICF CANOE SPRINT COMPETITION RULES 2022 (ICF, 2022d)

สนามแข่งเรือคยัคตามสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติมีระยะทางตั้งแต่ 200 เมตร จนถึง 5,000 เมตร ในการแข่งขันระดับนานาชาติ ระดับทวีป และระดับโลก (World championships) มี 9 ลู่ การคัดเลือกโอลิมปิกภาคพื้นทวีปและกีฬาโอลิมปิกมี 8 ลู่ และมีระบบการจัดการการแข่งขันหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับจำนวนเรือที่เข้าร่วมการแข่งขันในแต่ละรายการ ซึ่งระบบการจัดการแข่งขันดังกล่าวมีผลให้นักกีฬาที่ลงแข่งแต่ละประเภทต้องทำการแข่งเป็นรอบๆ ได้แก่ รอบคัดเลือก (Heat) รอบก่อนชิงชนะเลิศ (Semifinal) และรอบชิงชนะเลิศ (Final) นอกจากนี้แต่ละรายการอาจมีการปรับเปลี่ยนจำนวนรอบในการแข่งขันเพื่อให้เหมาะสมกับสถานการณ์ภายใต้ความเห็นชอบของคณะกรรมการบริหารสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติ ซึ่งการปรับเปลี่ยนดังกล่าวอาจเป็นในด้านของเวลา สถานที่จัดการแข่งขัน ระยะทางที่ใช้ในการแข่งขัน เช่น รายการ ICF World championships มีการจัดการแข่งขันทุกปี ยกเว้นในปีที่มีการแข่งขันโอลิมปิก ในการแข่งขันเรือคยัคในโอลิมปิกฤดูร้อน ตั้งแต่ปี ค.ศ.1936 มีการแข่งขันทั้งในระยะ 200 เมตร 500 เมตร 1,000 เมตร และ 10,000 เมตร สำหรับผู้ชาย และสำหรับผู้หญิงมีการจัดรายการ WK1 ระยะ 500 เมตร ขึ้นในโอลิมปิกปี ค.ศ.1948 ต่อมาในปี ค.ศ.1956 มีการตัดระยะ 10,000 เมตร ออกจากโอลิมปิกเกมส์ ในปัจจุบันระยะที่ทำการแข่งขันในโอลิมปิกเกมส์มี 3 ระยะ คือ 200 เมตร 500 เมตร และ 1,000 เมตร ซึ่งระยะ 200 เมตร ได้มีการเพิ่มเข้ามาครั้งแรกในโอลิมปิกเกมส์ปี 2009 (Yongming Li, 2014; Van Someren, 2000; c. Wikipedia, 2022a) ในการแข่งขัน World championships, World cup และ ICF World ranking competitions มีการจัดการแข่งขันประเภท

MK1, MK2, MK4, WK1, WK2, WK4, XK2 และ XK4 ระยะ 200 เมตร 1,000 เมตร และ 5,000 เมตร และมีระยะ 500 เมตร ในประเภท MK1, XK2 และ XK4 และมีการจัดการแข่งขันในรายการต่างๆ โดยมีระยะทางที่ใช้ในการแข่งขันแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 รายการแข่งขันเรือคายัคตามมาตรฐานของสหพันธ์เรือแคนูนานาชาติ

รายการ	ระยะทางในการแข่งขัน (เมตร)			
	200	500	1,000	5,000
โอลิมปิกฤดูร้อน	MK1, MK2	MK2, MK4	MK1	
	WK1	WK1, WK2, WK4		
World Championships	MK1, MK2, MK4	MK1	MK2, MK4	MK1, MK2, MK4
World Cup	WK1, WK2, WK4		WK1, WK2, WK4	WK1, WK2, WK4
ICF World Ranking Competitions	XK2, XK4	XK2, XK4	XK2, XK4	XK2, XK4
เอเชียนเกมส์ปี 2018	MK1	MK4	MK2	
	WK1	WK1, WK2, WK4		
ซีเกมส์ปี 2021			MK1, MK2	
		WK2, WK4	WK2, WK4	
ชิงแชมป์เอเชียปี 2022	MK1, MK2, MK4			
	WK1, WK2, WK4			

แหล่งที่มา: (ICF, 2022d; Wikipedia, 2022; สมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย, 2556)

จากการแข่งขันที่มีหลายประเภท และระบบการจัดการแข่งขันที่แบ่งออกเป็นรอบๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้นักกีฬาจำนวนหนึ่งมีการลงแข่งมากกว่า 1 ครั้ง ภายใน 1 วัน และมีเวลาพักระหว่างการแข่งขันแต่ละครั้งเพียงแค่วางส้นๆ (ไม่กินน้ำ) ถึงเป็นชั่วโมง เช่น ในการแข่งขันเรือคายัค รายการ 2022 ICF Canoe sprint world cup I นักกีฬาชื่อ Ivan Penchev ในวันที่ 21 เมษายน 2565 ลงแข่ง 2 ประเภท คือ MK1 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 10.03 น. และ MK1 ระยะ 1,000 เมตร

ในเวลา 10.31 น. (เวลาพัก 28 นาที) นักกีฬาชื่อ Marcus Walz ในวันที่ 20 เมษายน 2565 ลงแข่ง 4 ประเภท คือ MK4 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 9.33 น. MK1 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 10.45 น. (เวลาพัก 1 ชั่วโมง 12 นาที) MK4 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 14.40 น. (เวลาพัก 3 ชั่วโมง 55 นาที) และ MK1 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 10.45 น. (เวลาพัก 36 นาที) สำหรับการแข่งขันเรือคยัค รายการ 2022 ICF Canoe sprint and paracanoe world championships นักกีฬาชื่อ Linnea Stensils ในวันที่ 7 สิงหาคม 2565 ลงแข่ง 2 ประเภท คือ WK2 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 12.47 น. และ XK2 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 13.25 น. (เวลาพัก 38 นาที) นักกีฬาชื่อ Eddy Barranco ในวันที่ 5 สิงหาคม 2565 ลงแข่ง 3 รายการ คือ MK1 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 10.51 น. MK1 ระยะ 1,000 เมตร ในเวลา 13.04 น. (เวลาพัก 2 ชั่วโมง 13 นาที) และ MK1 ระยะ 200 เมตร ในเวลา 14.55 น. (เวลาพัก 1 ชั่วโมง 15 นาที) และในการแข่งขันเรือคยัค รายการ 2022 ICF Junior and U23 canoe sprint world championships นักกีฬาชื่อ Panwad Thongnim ในวันที่ 1 กันยายน 2565 ลงแข่ง 4 ประเภท คือ WK2 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 9.00 น. WK1 ระยะ 1,000 เมตร ในเวลา 11.22 น. (เวลาพัก 2 ชั่วโมง 22 นาที) WK2 ระยะ 500 เมตร ในเวลา 14.30 น. (เวลาพัก 3 ชั่วโมง 8 นาที) และ WK1 ระยะ 1,000 เมตร ในเวลา 16.04 น. (เวลาพัก 1 ชั่วโมง 34 นาที) เป็นต้น (ตาราง 3)

ตาราง 3 ตัวอย่างการลงแข่งขันใน 1 วัน ของนักกีฬาเรือคายัค

รายการแข่งขัน	วันที่	ชื่อนักกีฬา	ประเภทที่ลงแข่ง	รอบการแข่งขัน	เวลาที่เริ่มแข่ง	เวลาพัก
2022 ICF Canoe Sprint World Cup I	20 เมษายน		MK1 500 เมตร	2 <sup>nd</sup> Heat	10.39 น.	-
	2565		MK1 1,000 เมตร	3 <sup>rd</sup> Heat	12.18 น.	1 ชั่วโมง 39 นาที
		Ivan	MK1 500 เมตร	2 <sup>nd</sup> Semi-final	15.10 น.	2 ชั่วโมง 52 นาที
		Penchev	MK1 1,000 เมตร	2 <sup>nd</sup> Semi-final	16.10 น.	1 ชั่วโมง
	21 เมษายน		MK1 500 เมตร	Final B	10.03 น.	-
	2565		MK1 1,000 เมตร	Final C	10.31 น.	28 นาที
	20 เมษายน		MK4 500 เมตร	1 <sup>st</sup> Heat	9.33 น.	-
	2565		MK1 500 เมตร	3 <sup>rd</sup> Heat	10.45 น.	1 ชั่วโมง 12 นาที
		Marcus	MK4 500 เมตร	3 <sup>rd</sup> Semi-final	14.40 น.	3 ชั่วโมง 55 นาที
		Walz	MK1 500 เมตร	3 <sup>rd</sup> Semi-final	15.16 น.	36 นาที
	21 เมษายน		MK4 500 เมตร	Final A	11.38 น.	-
	2565		MK1 500 เมตร	Final A	12.11 น.	33 นาที
20 เมษายน	Jacob	MK4 500 เมตร	3rd Heat	9.45 น.	-	
2565	Schopf	MK1 1,000 เมตร	6th Heat	12.39 น.	2 ชั่วโมง 54 นาที	
		MK4 500 เมตร	3rd Semi-final	14.40 น.	2 ชั่วโมง 1 นาที	
		MK1 1,000 เมตร	3rd Semi-final	16.17 น.	1 ชั่วโมง 37 นาที	
21 เมษายน	Cheuk	MK4 500 เมตร	4 <sup>th</sup> Heat	9.51 น.	-	
2565	Cheung	MK1 500 เมตร	1 <sup>st</sup> Heat	10.33 น.	42 นาที	
20 เมษายน		MK4 500 เมตร	4 <sup>th</sup> Heat	9.51 น.	-	
2565	Long	MK1 500 เมตร	4 <sup>th</sup> Heat	10.51 น.	1 ชั่วโมง	
	Chang	MK1 1,000 เมตร	4 <sup>th</sup> Heat	12.25 น.	1 ชั่วโมง 34 นาที	
		MK1 500 เมตร	2 <sup>nd</sup> Semi-final	15.10 น.	2 ชั่วโมง 45 นาที	

แหล่งที่มา : (ICF, 2022a, 2022b, 2022c)

ตาราง 3 ตัวอย่างการลงแข่งขันใน 1 วัน ของนักกีฬาเรือคายัค (ต่อ)

รายการแข่งขัน	วันที่	ชื่อนักกีฬา	ประเภทที่ลงแข่ง	รอบการแข่งขัน	เวลาที่เริ่มแข่ง	เวลาพัก
2022 ICF Canoe Sprint World Cup I	21	Saeid	MK1 500 เมตร	2 <sup>nd</sup> Heat	10.39 น.	-
	เมษายน	Fazlouloula	MK1 1,000 เมตร	2 <sup>nd</sup> Heat	12.11 น.	1 ชั่วโมง 32 นาที
	2565		MK1 500 เมตร	2 <sup>nd</sup> Semi-final	15.10 น.	2 ชั่วโมง 59 นาที
			MK1 1,000 เมตร	3 <sup>rd</sup> Semi-final	16.17 น.	1 ชั่วโมง 7 นาที
	20	Aukai	MK4 500 เมตร	3 <sup>rd</sup> Heat	9.45 น.	-
	เมษายน	Manson	MK1 500 เมตร	3 <sup>rd</sup> Heat	10.45 น.	1 ชั่วโมง
	2565					
	20		WK4 500 เมตร	1 <sup>st</sup> Heat	9.15 น.	-
	เมษายน		WK1 500 เมตร	2 <sup>nd</sup> Heat	11.03 น.	1 ชั่วโมง 48 นาที
	2565		WK4 500 เมตร	2 <sup>nd</sup> Semi-final	14.16 น.	3 ชั่วโมง 13 นาที
		Lisa	WK1 500 เมตร	3 <sup>rd</sup> Semi-final	15.34 น.	1 ชั่วโมง 18 นาที
	21	Carrington	WK4 500 เมตร	Final A	11.11 น.	-
	เมษายน		WK1 500 เมตร	Final A	12.20 น.	1 ชั่วโมง 9 นาที
	2565		WK2 500 เมตร	1 <sup>st</sup> Heat	14.38 น.	2 ชั่วโมง 18 นาที
		WK2 500 เมตร	2 <sup>nd</sup> Semi-final	17.28 น.	2 ชั่วโมง 50 นาที	
2022 ICF	6		WK1 500 เมตร	Final A	11.10 น.	-
Canoe	สิงหาคม	Alyssa Bull	WK4 500 เมตร	Final A	12.21 น.	1 ชั่วโมง 11 นาที
Sprint	2565					
	6	Yale	WK4 500 เมตร	Final A	11.10 น.	-
	สิงหาคม	Steinepreis	WK2 200 เมตร	Final A	12.07 น.	57 นาที
	2565					

แหล่งที่มา : (ICF, 2022a, 2022b, 2022c)

ตาราง 3 ตัวอย่างการลงแข่งขันใน 1 วัน ของนักกีฬาเรือคายัค (ต่อ)

รายการแข่งขัน	วันที่	ชื่อนักกีฬา	ประเภทที่ลงแข่ง	รอบการแข่งขัน	เวลาที่เริ่มแข่ง	เวลาพัก
2022 ICF Canoe Sprint	6 สิงหาคม 2565		MK1 500 เมตร	Final C	14.42 น.	-
		Albart Flier	MK1 1,000 เมตร	Final B	15.10 น.	28 นาที
	3 สิงหาคม 2565		WK4 500 เมตร	Heat 2	11.36 น.	-
			WK1 500 เมตร	Heat 2	15.36 น.	4 ชั่วโมง
	5 สิงหาคม 2565		WK1 500 เมตร	Semifinal 1	12.15 น.	-
			WK2 500 เมตร	Semifinal 2	16.12 น.	3 ชั่วโมง 57 นาที
	6 สิงหาคม 2565	Lisa Carrington	WK4 500 เมตร	Final A	11.10 น.	-
			WK1 500 เมตร	Final A	12.21 น.	1 ชั่วโมง 11 นาที
	7 สิงหาคม 2565		WK1 200 เมตร	Final A	11.03 น.	-
			WK2 500 เมตร	Final A	12.47 น.	1 ชั่วโมง 44 นาที
	3 สิงหาคม 2565		MK1 500 เมตร	Heat 5	12.54 น.	-
			MK1 1,000 เมตร	Heat 1	16.15 น.	3 ชั่วโมง 21 นาที
	5 สิงหาคม 2565	Fernando Pimenta	MK1 500 เมตร	Semifinal 2	10.57 น.	-
			MK1 1,000 เมตร	Semifinal 1	12.50 น.	1 ชั่วโมง 53 นาที

แหล่งที่มา : (ICF, 2022a, 2022b, 2022c)

ตาราง 3 ตัวอย่างการลงแข่งขันใน 1 วัน ของนักกีฬาเรือคายัค (ต่อ)

รายการ แข่งขัน	วันที่	ชื่อนักกีฬา	ประเภทที่ลงแข่ง	รอบการ แข่งขัน	เวลาที่ เริ่มแข่ง	เวลาพัก
2022 ICF Canoe Sprint	6 สิงหาคม 2565	Fernando	MK1 500 เมตร	Final A	11.52 น.	-
	7 สิงหาคม 2565	Pimenta	XK2 500 เมตร	Final A	13.25 น.	-
			MK1 1,000 เมตร	Final A	12.55 น.	1 ชั่วโมง 3 นาที
			MK1 5,000 เมตร	Final A	16.30 น.	3 ชั่วโมง 5 นาที
	5 สิงหาคม 2565	Eddy Barranco	MK1 500 เมตร	Semifinal 1	10.51 น.	-
			MK1 1,000 เมตร	Semifinal 3	13.04 น.	2 ชั่วโมง 13 นาที
			MK1 200 เมตร	Semifinal 2	14.55 น.	1 ชั่วโมง 51 นาที
	7 สิงหาคม 2565	Linnea Stensils	WK2 500 เมตร	Final A	12.47 น.	-
			XK2 500 เมตร	Final A	13.25 น.	38 นาที
2022 ICF JUNIOR AND U23 CANOE SPRINT WORLD CHAMPIO NSHIPS	1 กันยายน 2565	Panwad Thongnim	WK2 500 เมตร Junior	Heat 1	9.00 น.	-
			WK1 1,000 เมตร	Heat 2	11.22 น.	2 ชั่วโมง 22 นาที
			Junior	Semifinal 1	14.30 น.	3 ชั่วโมง 8 นาที
			WK2 500 เมตร Junior	Semifinal 2	16.04 น.	1 ชั่วโมง 34 นาที
			WK1 1,000 เมตร			
			Junior			

แหล่งที่มา : (ICF, 2022a, 2022b, 2022c)

ตาราง 3 ตัวอย่างการลงแข่งขันใน 1 วัน ของนักกีฬาเรือคายัค (ต่อ)

รายการแข่งขัน	วันที่	ชื่อนักกีฬา	ประเภทที่ลงแข่ง	รอบการแข่งขัน	เวลาที่เริ่มแข่ง	เวลาพัก
	1 กันยายน 2565	Kantida Nurun	WK1 1,000 เมตร U23 WK2 500 เมตร U23 XK2 500 เมตร U23	Heat 1 Heat 3 Heat 3	10.05 น. 12.55 น. 18.35 น.	- 2 ชั่วโมง 50 นาที 5 ชั่วโมง 40 นาที
	1 กันยายน 2565	Methasit	MK1 1,000 เมตร U23 MK2 500 เมตร U23 XK2 500 เมตร U23	Heat 3 Heat 2 Heat 3	10.54 น. 13.00 น. 18.35 น.	- 2 ชั่วโมง 6 นาที 5 ชั่วโมง 35 นาที
	2 กันยายน 2565	Sitthipharat	MK1 500 เมตร U23 XK2 500 เมตร U23	Heat 3 Semifinal 2	15.35 น. 17.40 น.	- 2 ชั่วโมง 5 นาที

แหล่งที่มา : (ICF, 2022a, 2022b, 2022c)

## 1.2 ความต้องการทางสรีรวิทยาของกีฬาเรือคายัค

มีการศึกษาเกี่ยวกับความต้องการทางด้านระบบพลังงานและสรีรวิทยาของการแข่งขันกีฬาคายัคที่ระยะ 500 เมตร และ 1,000 เมตร และลักษณะทางกายภาพของนักกีฬาที่ประสบความสำเร็จ โดยมีข้อสรุปอยู่ 2 ข้อ ดังต่อไปนี้

### 1.2.1 มานุษยวิทยาของนักกีฬาเรือคายัค

การพายเรือคายัคใช้ร่างกายส่วนบนและลำตัวเป็นหลัก งานวิจัยส่วนใหญ่สรุปว่านักกีฬาเรือคายัคที่ประสบความสำเร็จนั้นมีรูปร่างและน้ำหนักตัวที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย มีระดับไขมันในร่างกายต่ำ ขนาดของกล้ามเนื้อโดยเฉพาะกล้ามเนื้อช่วงบนที่มีเส้นรอบวงขนาดใหญ่และมีลักษณะทางกายภาพที่สมส่วน ทั้งนี้ลักษณะทางกายภาพของนักกีฬาเรือคายัคก็ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพในการพายเรือ (Van Someren, 2000) แต่ในการทดสอบการพายเรือคายัค 200 เมตร และประเมินรูปร่างของนักกีฬาเรือคายัคทั้งในระดับนานาชาติ และระดับชาติ จำนวน 26 คน พบว่านักกีฬาระดับนานาชาติมีเส้นรอบวงของแขนใหญ่กว่านักกีฬาระดับชาติ โดยเฉพาะความกว้างของกระดูกต้นแขนที่มีความสัมพันธ์ต่อสมรรถภาพในการพายเรือคายัค 200

เมตร ( $r = -0.61$ ) และพบว่านักกีฬาระดับนานาชาติพายเรือคายัคระยะ 200 เมตรได้เร็วกว่า แม้ว่า จะมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายมากกว่า (กลุ่มนักกีฬานานาชาติ =  $14.1 \pm 2.9\%$  และกลุ่มนักกีฬาระดับชาติ =  $12.9 \pm 3.6\%$ ) อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายกับสมรรถภาพในการพายเรือคายัคอาจจะเกี่ยวข้องกับระยะทางในการพายเรือคายัค (van Someren & Palmer, 2003)

มีการตั้งข้อสังเกตว่านักกีฬาเรือคายัคมีองค์ประกอบของร่างกายที่เป็นกล้ามเนื้ออยู่มากและมีเส้นรอบวงของร่างกายส่วนบนที่ใหญ่และสะโพกเล็กตามสัดส่วนค่าเฉลี่ย somatotype ที่บันทึกไว้ มีค่าเท่ากับ 1.6-5.7-2.2 สำหรับผู้ชาย และ 2.4-4.7-2.0 สำหรับผู้หญิง แสดงให้เห็นว่านักกีฬาเรือคายัคมีลักษณะทางกายที่สมส่วน หรือเป็นแบบ Mesomorphs นักกีฬาเรือคายัคในปัจจุบันมีน้ำหนักตัวที่มากขึ้นและมีเปอร์เซ็นต์ของมวลที่ไม่มีไขมันอยู่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับ 25 ปีก่อน น้ำหนักตัวที่มากขึ้นนั้นอาจจะทำให้  $VO_{2peak}$  สูงด้วยเช่นกัน แต่ขนาดตัวที่ใหญ่มากเกินไปอาจส่งผลเสียต่อความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดต่อมวลของร่างกาย (Relative peak  $VO_2$ ) ทำให้เรือจมลงไปในน้ำเยอะเกินไป และเพิ่มพื้นที่ให้น้ำเข้ามาในเรือ ค่าพลังงาน (Energy cost) ในการพายเรือคายัค ประเมินจากแรงที่ใช้ในการต้านกับน้ำเพื่อให้เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและประสิทธิภาพของนักกีฬาเรือคายัคในการเอาชนะแรงต้าน ดังนั้น การทำทั้งสองอย่างเป็นตัวกำหนดค่าพลังงานซึ่งมีความแปรปรวนสูง ค่าพลังงานของการพายเรือในระยะทางที่กำหนดเพิ่มขึ้นด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นตามฟังก์ชันกำลัง สมรรถภาพสูงสุดในการพายเรือคายัคจึงขึ้นอยู่กับพลังเมตาบอลิซึมสูงสุด ร่วมกับความสามารถในการเคลื่อนที่ที่ช่วยประหยัดการใช้พลังงานดังกล่าว (Ackland, Ong, Kerr, & Ridge, 2003; Michael et al., 2008)

### 1.2.2 ระบบพลังงานระหว่างการแข่งเรือคายัค

การทดสอบนักกีฬาเรือคายัคเพื่อหาปริมาณออกซิเจนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การพายเรือบนน้ำ เครื่องวัดงานจำลองเรือคายัค จักรยานที่ปั่นด้วยมือ จักรยานวัดงาน ลู่วิ่ง และกิจกรรมที่ผสมผสานทั้งแขนและขา แต่ละวิธีมีส่วนการใช้งานของกล้ามเนื้อที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจมีผลต่อปริมาณการใช้ออกซิเจนที่ถูกระเมินออกมา (Michael et al., 2008) การออกกำลังกายที่ใช้ส่วนบนของร่างกายเป็นหลักทำให้อัตราการใช้ออกซิเจนต่ำกว่าการออกกำลังกายที่ใช้ร่างกายส่วนล่างเป็นหลักและการออกกำลังกายที่ใช้ทั้งร่างกาย (Franklin, 1985; Miles, Cox, & Bomze, 1989; Vokac, Bell, Bautz-Holter, & Rodahl, 1975) การหาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $VO_{2max}$ ) ด้วยการออกกำลังกายที่ใช้ร่างกายส่วนบนอาจไม่สามารถทำได้ จึงมีการศึกษาอัตราการ

ใช้ออกซิเจนต่ำกว่าสูงสุด หรือ  $VO_{2peak}$  แทน จากการศึกษานี้ของ Pyke และคณะ ในปี ค.ศ. 1973 ทำการประเมินปริมาณการใช้ออกซิเจนในนักกีฬาเรือคายัค โดยวัดจากการหายใจเครื่องวัดงานเรือคายัคจำลองและการปั่นจักรยานวัดงาน ผลการทดสอบพบว่า  $VO_{2peak}$  ในระหว่างการหายใจเครื่องวัดงานเรือคายัคจำลองสามารถทำได้เพียง 65% ของค่า  $VO_{2peak}$  ที่ได้ระหว่างการปั่นจักรยานวัดงาน ซึ่งค่าที่ได้นี้นั้นมักพบในบุคคลที่ไม่ได้รับการฝึกร่างกายส่วนบนมาอย่างดี อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ กลุ่มตัวอย่างมีอายุน้อย (15-25 ปี) น้ำหนักตัวน้อย (ค่าเฉลี่ย 71.4 กิโลกรัม) และมีความสามารถหลากหลายตั้งแต่ นักกีฬามือใหม่ไปจนถึงนักกีฬาระดับนานาชาติ ดังนั้นผลการศึกษานี้ อาจไม่สามารถบอกถึงความสามารถของนักกีฬาเรือคายัคที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดีได้ (Van Someren, 2000) การศึกษาจำนวนหนึ่ง (Fry & Morton, 1991; Per Tesch, 1983; van Someren & Oliver, 2002) มีการหาค่าของ  $VO_{2peak}$  สัมพันธ์ในการหายใจเรือคายัค (58 มล./กก./นาที่) เปรียบเทียบกับกีฬาทางน้ำอื่นๆ เช่น กีฬาวัยน้ำ (58.4 มล./กก./นาที่) (Roels et al., 2005) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า  $VO_{2peak}$  สัมพันธ์ไม่ได้แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ในกิจกรรมกีฬาที่ใช้ร่างกายส่วนล่างเป็นหลัก เช่น การปั่นจักรยานบนถนน และการวิ่งทางไกล ค่า  $VO_{2peak}$  สัมพันธ์จะอยู่ที่ประมาณ 73 มล./กก./นาที่ (Billat et al., 1996; Lee, Martin, Anson, Grundy, & Hahn, 2002) และ 74 มล./กก./นาที่ (Luciá, Hoyos, Carvajal, & Chicharro, 1999) ซึ่งสูงกว่านักกีฬาเรือคายัค (Michael et al., 2008) แสดงให้เห็นว่าการทำงานของกล้ามเนื้อหลักในแต่ละชนิดกีฬามีผลต่อค่า  $VO_{2peak}$  สัมพันธ์ที่แตกต่างกัน

นักกีฬาอายุระยะ 500 เมตร และ 1,000 เมตร มีการใช้ออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจในระดับสูง ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีการลดลงของสารตั้งต้นในกล้ามเนื้อ แสดงให้เห็นว่าการหายใจเรือคายัคทั้ง 2 ระยะ ต้องการพลังงานทั้งจากระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนและแบบใช้ออกซิเจน ในปี ค.ศ. 1997 Byrnes และ Kearney แสดงให้เห็นว่าในนักกีฬาอายุระยะสั้นๆ ทั่วไปมีอัตราการใช้ออกซิเจนลดลงเมื่อระยะทางในการแข่งขันลดลง อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ( $VO_{2max}$ ) อยู่ที่ 4.24±0.27 ลิตร/นาที่ 3.78±0.26 ลิตร/นาที่ และ 2.56±0.32 ลิตร/นาที่ ในระหว่างการทดสอบที่ระยะ 1,000 เมตร 500 เมตร และ 200 เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ การหาค่าภาวะขาดแคลนออกซิเจนที่สะสม (Maximum accumulated oxygen deficit ; MAOD) ในระหว่างการทดสอบทำให้สามารถคำนวณการทำงานของระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจน คือ 82±5.0%, 62±3.5% และ 37±4.4% สำหรับระยะ 1,000 เมตร

500 เมตร และ 200 เมตร ตามลำดับ (Byrnes & Kearney, 1997) นอกจากนี้ การศึกษาความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดที่สูงสุดในนักกีฬาเรือคายัคชาวสวีเดน จากการจำลองการแข่งขันเรือคายัคในระยะทาง 500 เมตร และ 1,000 เมตร ผลการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดที่สูงสุดอยู่ที่ 13.2 มิลลิโมล/ลิตร และ 12.9 มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ (P. Tesch, Piehl, Wilson, & Karlsson, 1976) ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนสูงในการแข่งขันเรือคายัคระยะทาง 500 เมตร และ 1,000 เมตร โดยที่การแข่งขันระยะทาง 500 เมตร ทำให้เกิดความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดมากกว่า สะท้อนถึงอัตราการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Byrnes และ Kearney ที่รายงานว่ามีการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน 38% ในการพายเรือคายัคระยะทาง 500 เมตรและ 18% ในการพายเรือคายัคระยะทาง 1,000 เมตร (Byrnes & Kearney, 1997)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการพายเรือคายัคบนน้ำระยะ 500 เมตร ( $K_{500}$ ) กับตัวแปรทางสรีรวิทยาของ David Bishop มีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเรือคายัคหญิง 9 คน อายุเฉลี่ย  $23 \pm 5$  ปี ส่วนสูง  $169.5 \pm 5.8$  เซนติเมตร น้ำหนัก  $70.4 \pm 6.3$  กิโลกรัม ผลรวมของความหนาของไขมันใต้ผิวหนัง  $100.5 \pm 33.0$  มิลลิเมตร และเปอร์เซ็นต์ไขมัน  $22.1 \pm 6.0\%$  โดยทำการประเมิน  $VO_{2peak}$ , Anaerobic threshold ( $Th_{an}$ ), Accumulated oxygen deficit (AOD), ระดับแลคเตทในเลือด และ  $K_{500}$  ในแต่ละการทดสอบจะเว้นห่างกันอย่างน้อย 48 ชั่วโมง โดยทดสอบด้วยเครื่องคายัคจำลองเพื่อหาค่า  $VO_{2peak}$  เป็นเวลา 5 นาที สลับพัก 1 นาที ในช่วงพักมีการวัดระดับแลคเตทในเลือด ความหนักเริ่มที่ 55 วัตต์ และเพิ่มขึ้น 15 วัตต์ จนกว่าจะหมดแรง ค่า  $VO_2$  ในช่วง 2 ที่สุดท้ายในแต่ละขั้นถูกบันทึกไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์  $VO_{2peak}$  ภายหลัง การทดสอบพาย 2 นาที เพื่อหาค่า  $Th_{an}$  และ AOD โดยตัวอย่างเลือดจะถูกเก็บหลังจากทดสอบเสร็จแล้วในนาทีที่ 14 และ 7 การทดสอบสุดท้ายเป็นการทดสอบ  $K_{500}$  ผลการศึกษาพบว่า  $K_{500}$  มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ  $VO_{2peak}$  ไม่ว่าจะเป็ค่าสัมบูรณ์ (ลิตร/นาที;  $r = -0.72$ ,  $p < 0.05$ ) หรือสัมพัทธ์ (มล./กก./นาที;  $r = -0.75$ ,  $p < 0.05$ ) สัมพันธ์กับกำลังเฉลี่ยสุดท้ายที่ทำได้ (วัตต์/กก.;  $r = -0.75$ ,  $p < 0.05$ ) และมีความสัมพันธ์มากที่สุดกับ  $Th_{an}$  ( $r = -0.89$ ,  $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ยังพบว่า  $K_{500}$  มีความสัมพันธ์ที่สูงอย่างไม่เป็นนัยสำคัญกับกำลังเฉลี่ย ( $W_{av}$ ;  $r = -0.61$ ,  $p = 0.08$ ) ค่ากำลังเฉลี่ยต่อน้ำหนักตัว ( $W_{av}/kg$ ;  $r = -0.64$ ,  $p = 0.06$ ) และ  $VO_2$  รวมต่อน้ำหนักตัว (AO/kg;  $r = -0.64$ ,  $p = 0.06$ ) ทั้งนี้  $K_{500}$  กับระดับแลคเตทในเลือดไม่มีความสัมพันธ์กัน ( $r = -0.27$ ) ซึ่งอาจเป็นเพราะค่าความเข้มข้นที่ต่ำของค่าความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดสูงสุด (Bishop, 2000)

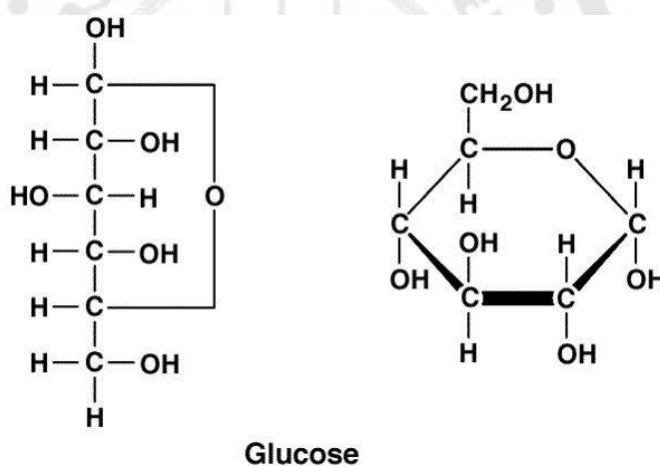
การศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำรอง (Anaerobic power reserve; APR) ความเหนื่อยล้าระหว่างการออกกำลังกายแบบทำซ้ำ และผลกระทบเฉียบพลันของการออกกำลังกายแบบทำซ้ำที่มีต่อระบบประสาทกล้ามเนื้อ ซึ่งเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าจากการตรวจเส้นประสาทและกล้ามเนื้อด้วยไฟฟ้า (EMG) ในผู้ชายที่ออกกำลังกายเป็นประจำ จำนวน 8 คน อายุ  $19.8 \pm 0.8$  ปี ส่วนสูง  $1.84 \pm 0.06$  เมตร น้ำหนัก  $81.4 \pm 8.6$  กิโลกรัม การทดสอบแต่ละครั้ง เริ่มอบอุ่นร่างกายด้วยการปั่นจักรยาน 4 นาที ที่ความหนัก 100-120 วัตต์ ตามด้วยปั่นแบบเร็วที่สุด (ประมาณ 2 วินาที) และพัก 3 นาที ก่อนทำการทดสอบปั่นจักรยานอย่างเต็มกำลังแบบซ้ำ 6 วินาที สลับกับพัก 30 วินาที (Repeated-sprint exercise) จนครบ 10 รอบ ผลการศึกษาพบว่า กำลังสูงสุดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ( $P_{ana}$ ) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $18.8 \pm 0.4$  วัตต์/กิโลกรัม ค่าที่กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนทำได้อยู่ในช่วง 17.2-20.1 วัตต์/กิโลกรัม น้ำหนักตัว กำลังสูงสุดแบบใช้ออกซิเจน ( $P_{aer}$ ) มีค่าเฉลี่ยคือ  $3.8 \pm 0.1$  วัตต์/กิโลกรัม น้ำหนักตัว และค่า  $VO_{2peak}$  คือ  $53.7 \pm 2.0$  มล./กก./นาที ค่าที่กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนทำได้ในช่วง 3.4 ถึง 4.4 วัตต์/กิโลกรัม และ 47.9 ถึง 62.0 มล./กก./นาที สำหรับ  $P_{aer}$  และ  $VO_{2peak}$  ตามลำดับ พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนสำรอง มีค่าเฉลี่ย  $15.0 \pm 1.4$  วัตต์/กิโลกรัม ค่าที่กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนทำได้อยู่ในช่วง 13.6-16.7 วัตต์/กิโลกรัม โดยเฉลี่ยแล้วกำลังสูงสุดแบบไม่ใช้ออกซิเจนในระหว่างการปั่นจักรยานอย่างเต็มกำลังแบบซ้ำ 6 วินาทีนั้นสูงกว่ากำลังสูงสุดแบบใช้ออกซิเจนถึง  $5.0 \pm 0.2$  เท่า นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของ EMG ตลอดการปั่นซ้ำ มีค่าลดลงหลังจากการปั่น 5 รอบแรกเฉลี่ย 9.2% ( $P < 0.01$ ) ช่วงของการลดลงนี้อยู่ในช่วง 3.6-21.8% การที่มีกำลังสูงสุดแบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนต่ำ จะมีความทนต่อความล้าได้ดี หรืออีกนัยหนึ่งคือบุคคลนั้นมีกำลังสูงสุดแบบที่ใช้ออกซิเจนสูงนั่นเอง เนื่องจากการใช้พลังงานแบบใช้ออกซิเจนได้สูงนั้น ทำให้สามารถรักษาระดับสมรรถภาพไว้ได้ตลอดการทำกิจกรรมหรือการออกกำลังกายแบบที่ทำซ้ำ (Mendez-Villanueva, Hamer, & Bishop, 2008)

## 2. สารละลายคาร์โบไฮเดรตและความสามารถทางการกีฬาและการออกกำลังกาย

### 2.1 ชีวเคมีของกลูโคส

กลูโคส เป็นน้ำตาลประเภทโมโนแซคคาไรด์ (Monosaccharide) สูตรโมเลกุล คือ  $C_6H_{12}O_6$  (The Editors of Encyclopedia, 2022b; c. Wikipedia, 2022b) มีความสำคัญที่สุดในกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ซึ่งในการเผาผลาญจะถูกเก็บไว้ในรูปพอลิเมอร์ ส่วนในพืชส่วนใหญ่เก็บไว้ในรูปแป้งและอะไมโลเพกติน และสัตว์จะเก็บไว้ในรูป

ของไกลโคเจน รูปแบบที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของกลูโคสคือ D-glucose ในขณะที่ L-glucose ถูกผลิตขึ้นโดยการสังเคราะห์ในปริมาณที่ค่อนข้างน้อยและมีฤทธิ์ทางชีวภาพน้อยกว่า กลูโคสมีอะตอมของคาร์บอนหกอะตอมและกลุ่มอัลดีไฮด์ ดังนั้นจึงเป็นอัลโดเฮกโซส โมเลกุลกลูโคสสามารถอยู่ในรูปแบบไซเคิล (Acyclic) เช่นเดียวกับรูปแบบวงแหวน (Cyclic) ซึ่งกลูโคสเกิดขึ้นตามธรรมชาติและพบได้ในสภาพอิสระ ในผลไม้และส่วนอื่นๆ ของพืช ในสัตว์จะมีกระบวนการที่เรียกว่าไกลโคจีโนไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการสลายไกลโคเจนออกมาเป็นกลูโคสและนำไปใช้เป็นพลังงานต่อไป กลูโคสมักจะอยู่ในรูปของของแข็ง เป็นโมโนไฮเดรตที่มีวงแหวนไพแรนปิด (เดกซ์โทรสไฮเดรต) เป็นส่วนประกอบสำคัญของไคแท็กคาไรด์ แลคโตส และซูโครส (อ้อยหรือน้ำตาลหัวบีต) โอลิโกแซ็กคาไรด์ เช่น ราฟฟิโนส และโพลีแซ็กคาไรด์ เช่น แป้ง อะไมโลเพคติน ไกลโคเจน และเซลลูโลส (c. Wikipedia, 2022b)



ภาพประกอบ 3 แสดงกลูโคสในรูปแบบไซเคิล (ซ้าย) และรูปแบบวงแหวน(ขวา)  
ที่มา (BYJU'S, 2023)

กลูโคสในรูปแบบสายไซเคิล (The open-chain form ) ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสน้อยกว่า 0.02% ในสารละลายที่เป็นน้ำ ส่วนที่เหลือเป็นหนึ่งในสองรูปแบบเฮมิอะซีตัลแบบวงแหวน ในรูปแบบสายไซเคิล โมเลกุลกลูโคสมีแกนหลักเปิดของอะตอมคาร์บอน 6 อะตอม โดยที่ C-1 เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มอัลดีไฮด์  $H(C=O)-$  ดังนั้นกลูโคสจึงจัดเป็นอัลโดสหรืออัลโดเฮกโซส กลุ่มอัลดีไฮด์ทำให้กลูโคสเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ นอกจากนี้ยังมีกลูโคสในรูปแบบวงแหวน (Cyclic form) ซึ่งเกิดขึ้นจากรูปแบบไซเคิลโดยปฏิกิริยาเติมนิวคลีโอฟิลิกภายในโมเลกุลระหว่างกลุ่มอัลดีไฮด์ (ที่ C-

1) และกลุ่มไฮดรอกซิล C-4 หรือ C-5 ก่อรูปพันธะเฮมิอะซีตัล  $-C(OH)H-O$  และกลูโคสมีครึ่งชีวิตโดยประมาณคือ 14.3 นาทีหลังจากได้รับการฉีดเข้าผ่านเส้นเลือดดำ ครึ่งชีวิตของกลูโคสในลำไส้มีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในเพศหญิง ( $79 \pm 2$  นาที) มากกว่าเพศชาย ( $65 \pm 3$  นาที,  $P < 0.0001$ ) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความสูงของร่างกาย ( $r = -0.481$ ;  $P < 0.0001$ ) (DrugBank, 2022)

กลูโคสที่กินเข้าไปจะจับกับตัวรับรส และให้รสหวานบนลิ้นของมนุษย์ โดยมีหน่วยรับรสที่เป็นคอมเพล็กซ์ของโปรตีน คือ T1R2 และ T1R3 กลูโคสส่วนใหญ่มาจากอาหารประมาณ 300 กรัม (11 ออนซ์) ต่อวัน แต่ยังสังเคราะห์จากสารในกระบวนการสร้างและสลาย (Metabolite) อื่นๆ ในเซลล์ของร่างกายอีกด้วย ในมนุษย์การสลายตัวของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีกลูโคสเกิดขึ้นแล้วในระหว่างการเคี้ยวโดยใช้อะไมเลสซึ่งมีอยู่ในน้ำลาย ในการที่จะเข้าหรือออกจากเยื่อหุ้มเซลล์ กลูโคสต้องการโปรตีนการขนส่งพิเศษ ในลำไส้เล็ก กลูโคสถูกนำไปสู่เยื่อหุ้มในลำไส้ด้วยตัวขนส่งกลูโคส ผ่านกลไกการขนส่งที่เรียกว่าโซเดียม-ไอออน-กลูโคสผ่านทางโซเดียมหรือกลูโคสโคทรานสปอร์ต 1 (SGLT1) การถ่ายโอนเพิ่มเติมเกิดขึ้นที่ด้านข้างของฐานของเซลล์เยื่อหุ้มในลำไส้ผ่านทางตัวขนส่งกลูโคส GLUT2 รวมทั้งการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ตับ ไต เซลล์ไอส์เลตของพังก์ชันที่ตับอ่อน เซลล์ประสาท เซลล์แอสโตรไซต์ และเซลล์แทนนีไซต์ กลูโคสเข้าสู่ตับผ่านทางหลอดเลือดดำพอร์ทัลและเก็บไว้ในรูปของไกลโคเจนในเซลล์ ในเซลล์ตับจะถูกฟอสโฟริเลตโดยกลูโคคิเนสที่ตำแหน่ง 6 เพื่อสร้างกลูโคส 6-ฟอสเฟต ซึ่งไม่สามารถออกจากเซลล์ได้ กลูโคส 6-ฟอสฟาเตสสามารถเปลี่ยนกลูโคส 6-ฟอสเฟตกลับเป็นกลูโคสเฉพาะในตับ เพื่อให้ร่างกายสามารถรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้เพียงพอ ในเซลล์อื่นๆ การดูดซึมจะเกิดขึ้นโดยการขนส่งแบบพาสซีฟผ่านโปรตีน GLUT 14 ชนิด และมีกระบวนการฟอสโฟริเลชันเกิดขึ้นผ่านเฮกโซคิเนส ดังนั้นกลูโคสจะไม่สามารถแพร่กระจายออกจากเซลล์ได้อีกตัวขนส่งกลูโคส GLUT1 ถูกผลิตโดยเซลล์ส่วนใหญ่และมีความสำคัญเป็นพิเศษสำหรับเซลล์ประสาทและเซลล์เบต้าที่ตับอ่อน นอกจากนี้ยังมีตัวขนส่งกลูโคส GLUT3 ที่มีการทำงานในเซลล์ประสาทเช่นเดียวกัน กลูโคสจากกระแสเลือดจะถูกดูดซึมโดย GLUT4 จากเซลล์กล้ามเนื้อ และเซลล์ไขมัน น้ำตาลกลูโคสส่วนเกินจะถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นกรดไขมันซึ่งถูกเก็บไว้เป็นไตรกลีเซอไรด์ ในปัสสาวะกลูโคสจะถูกดูดซึมผ่าน SGLT1 และ SGLT2 และส่งต่อผ่าน GLUT2 การดูดซึมกลูโคสในไตประมาณ 90% ทำได้โดย SGLT2 และประมาณ 3% ผ่านทาง SGLT1 (c. Wikipedia, 2022b)

### 2.1.1 การขนส่งกลูโคส

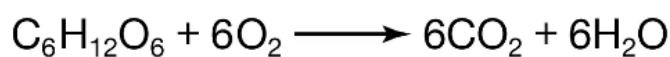
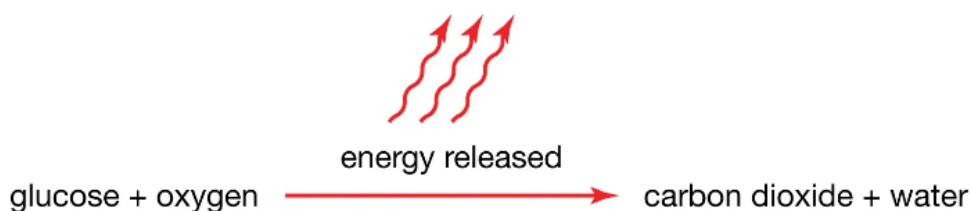
กลูโคสถูกขนส่งข้ามเยื่อหุ้มเซลล์โดยระบบการขนส่งที่เฉพาะ ซึ่งรวมถึงตัวขนส่งกลูโคสสองประเภท: (1) ตัวขนส่งกลูโคสที่ขึ้นกับโซเดียม (SGLTs) ซึ่งขนส่งกลูโคสโดยเทียบกับระดับความเข้มข้นของน้ำ และ (2) ตัวขนส่งกลูโคสอิสระ (GLUTs) ซึ่งขนส่งกลูโคสโดยการแพร่กระจายผ่านความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของสาร GLUT1 ที่มีไกลโคซิเลตมากนั้นผลิตขึ้นในหลอดเลือดขนาดเล็กของสมองและช่วยให้การขนส่งกลูโคสผ่านแนวกันระหว่างเลือดกับสมอง (Blood brain barrier) กลูโคสที่ขนส่งไปยัง Astrocytes โดย GLUT1 จะถูกเผาผลาญเป็นแลคเตทที่ส่งไปยังเซลล์ประสาทเป็นแหล่งพลังงาน Proinflammatory cytokine interleukin (IL)- $1\beta$  upregulates GLUT1 ในเซลล์บุผนังหลอดเลือด GLUT2 มีอยู่ในเซลล์ประสาทไฮโปทาลามิกและทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ระดับน้ำตาลในการควบคุมการรับประทานอาหาร ในเซลล์ประสาทของฮิบโปแคมปัส GLUT2 ควรจะควบคุมกิจกรรม Synaptic และการปล่อยสารสื่อประสาท GLUT3 เป็นตัวขนส่งกลูโคสที่มีอยู่ในสมองมากที่สุด โดยมีความสามารถในการขนส่งสูงกว่า GLUT1 ถึง 5 เท่า GLUT3 มีอยู่ใน Neuropil ส่วนใหญ่อยู่ในแอกซอนและเดนไดรต์ GLUT5 เป็นสารขนส่งฟรุกโตสเป็นส่วนใหญ่ ในสมอง GLUT5 เป็นตัวขนส่งเฮกโซสเพียงตัวเดียวในไมโครเกลีย ซึ่งยังไม่มีข้อมูลชัดเจนเกี่ยวกับ GLUT5 ในสมอง และ GLUT4 และ GLUT8 เป็นตัวขนส่งกลูโคสที่ควบคุมด้วยอินซูลินในร่างกายของเซลล์ประสาทในคอร์เทกซ์และซีรีเบลลัม แต่ส่วนใหญ่อยู่ในฮิบโปแคมปัสและอะมิกดาลา ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจที่ขึ้นกับฮิบโปแคมปัส อินซูลินจะย้าย GLUT4 จากไซโตซอลไปยังพลาสมาเมมเบรนเพื่อขนส่งกลูโคสไปยังเซลล์ และอินซูลินจะย้าย GLUT8 จากไซโตซอลไปเป็นเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (c. Wikipedia, 2022b)

### 2.1.2 กระบวนการสร้างพลังงานด้วยกลูโคส

กลูโคสเป็นเชื้อเพลิงที่แพร่หลายในทางชีววิทยา ใช้เป็นแหล่งพลังงานในสิ่งมีชีวิตตั้งแต่แบคทีเรียไปจนถึงมนุษย์ ทั้งผ่านการหายใจแบบใช้ออกซิเจน และการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน หรือแม้กระทั่งในกระบวนการหมัก กลูโคสให้พลังงานประมาณ 3.75 กิโลแคลอรี/กรัม การสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตทำให้เกิดโมโนและไดแซ็กคาไรด์ โดยผ่านกระบวนการไกลโคไลซิส (ภาพประกอบ 4) และในปฏิกิริยาของวัฏจักรกรดซิตริกและฟอสโฟรีเลชันออกซิเดชัน (ภาพประกอบ 5) กลูโคสถูกออกซิไดซ์จนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด โดยให้พลังงานส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเอทีพี (ATP) กระบวนการไกลโคไลซิสแบ่งออกเป็นได้ 2 ระยะหลัก โดยระยะเตรียม เริ่มต้นจากการฟอสโฟรีเลชันของกลูโคสโดยเฮกโซไคเนสเพื่อสร้างกลูโคส-6-

ฟอสเฟต เมแทบอลิซึมของกลูโคสแบบแอโรบิกสามารถผลิตโมเลกุลเอทีพีได้ถึง 36 โมเลกุล ปฏิกิริยาที่สร้างพลังงานของกลูโคสจะเกิดขึ้นเฉพาะ D-glucose เนื่องจาก L-glucose ไม่สามารถสร้างฟอสฟอรัสโดยเอนไซม์เฮกโซไคเนสได้ นอกจากนี้ กลูโคสสามารถทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารชีวโมเลกุลอื่นๆ เช่น วิตามินซี ที่มีบทบาทเป็นโมเลกุลส่งสัญญาณเพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและสถานะสมดุลของพลังงาน นอกจากนี้ กลูโคสยังสามารถควบคุมการถอดรหัส ยีน กิจกรรมของเอนไซม์ การหลั่งฮอร์โมน และกิจกรรมของเซลล์ประสาท เพื่อรักษาความสมบูรณ์ของการเผาผลาญของเซลล์และทั้งร่างกายอีกด้วย (DrugBank, 2022)

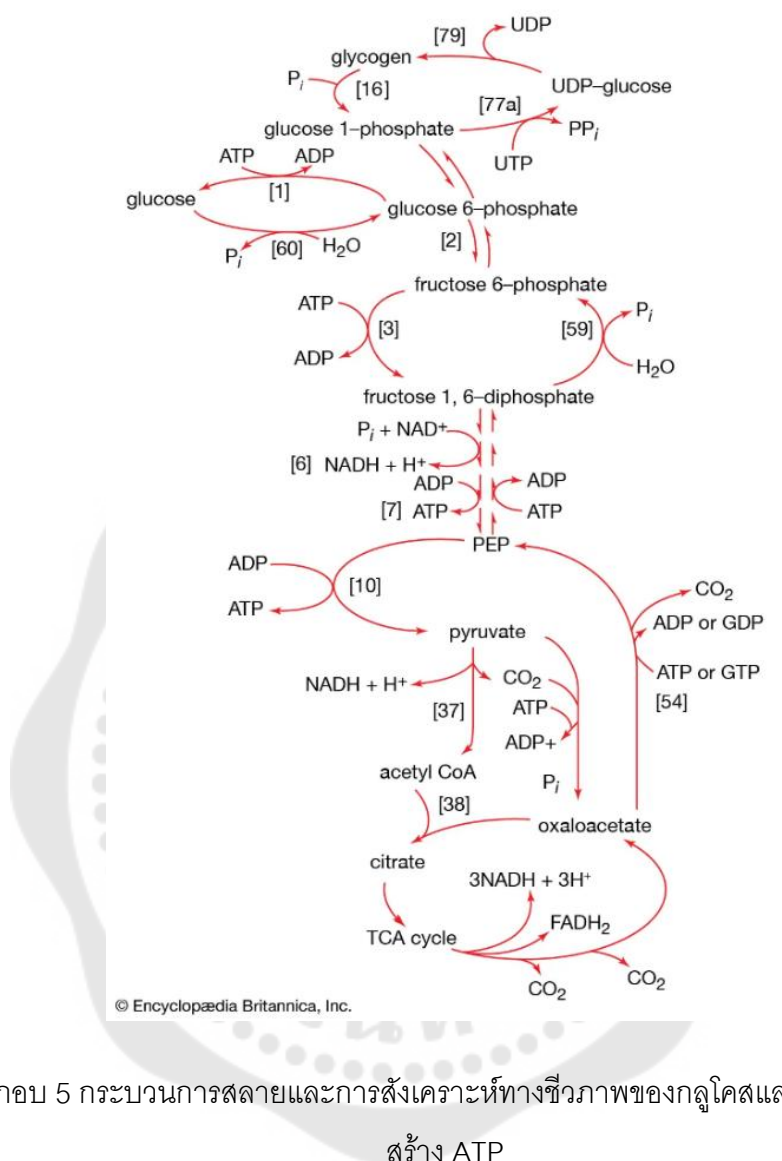
### The release of energy during cellular respiration



© Encyclopædia Britannica, Inc.

ภาพประกอบ 4 กระบวนการไกลโคไลซิส (การหายใจระดับเซลล์)

ที่มา (The Editors of Encyclopedia, 2022a)



ภาพประกอบ 5 กระบวนการสลายและการสังเคราะห์ทางชีวภาพของกลูโคสและไกลโคเจนในการสร้าง ATP

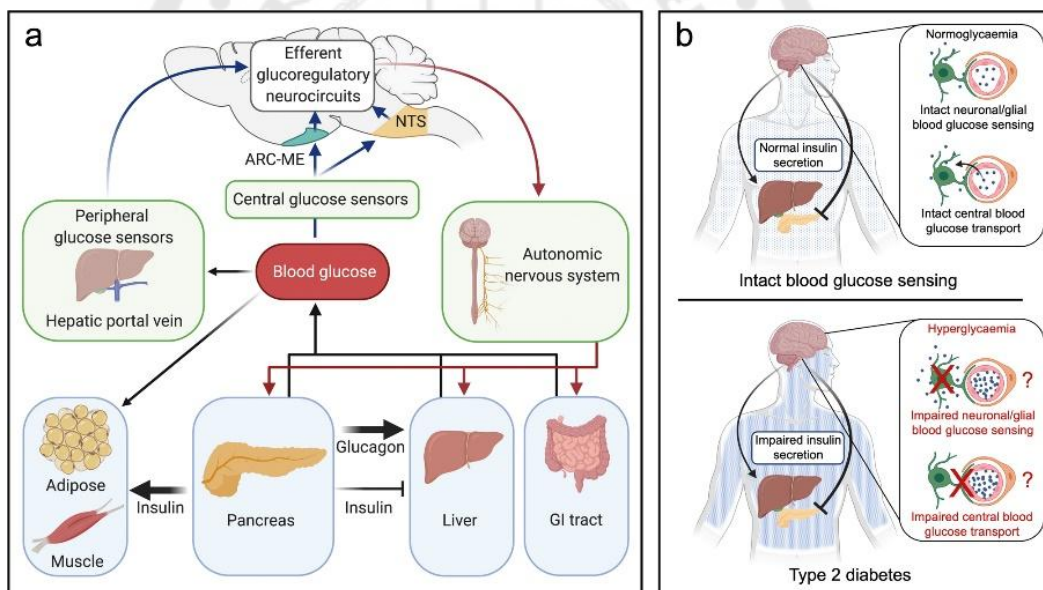
ที่มา (Britannica, 2023)

ระดับกลูโคสในเลือดเป็นแหล่งพลังงานที่จำเป็นที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเซลล์ต่างๆ และยังทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณที่หลากหลาย (DrugBank, 2022) ปริมาณกลูโคสในเลือดของบุคคลที่มีสุขภาพดีในภาวะอดอาหาร เช่น ผู้ที่อดอาหาร หลังจากมือเย็นขำมคืน จะมีปริมาณกลูโคสในเลือดประมาณ 70-100 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (4 ถึง 5.5 มิลลิโมลาร์) ซึ่งในพลาสมา ค่าที่วัดได้จะสูงกว่าประมาณ 10-15% นอกจากนี้ ค่าในเลือดแดงจะสูงกว่าในเลือดดำ เนื่องจากกลูโคสถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อแล้ว นอกจากนี้ ในเลือดฝอยซึ่งมักใช้ในการวัดระดับกลูโคสในเลือด

บางครั้งค่าอาจสูงกว่าในเลือดดำ ปริมาณกลูโคสในเลือดถูกควบคุมโดยฮอร์โมนอินซูลิน อินครีติน และกลูคากอน (Koekkoek, Mul, & la Fleur, 2017; La Fleur, Fliers, & Kalsbeek, 2014) โดยอินซูลินจะทำหน้าที่ลดระดับกลูโคสในเลือด ซึ่งกลูคากอนจะทำหน้าที่ตรงกันข้าม นอกจากนี้ฮอร์โมนอะดรีนาลีน ไทรอกซีน กลูโคคอร์ติคอยด์ โซมาโตโทรปิน และอะดรีโนคอร์ติโคโทรปินทำให้ระดับกลูโคสเพิ่มขึ้น หลังจากรับประทานอาหารเข้าไป ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดจะเพิ่มขึ้นหากค่ามากกว่า 180 มิลลิกรัม/เดซิลิตร เรียกว่าภาวะกลูโคสในเลือดสูง และค่าต่ำกว่า 40 มิลลิกรัม/เดซิลิตร เรียกว่าภาวะกลูโคสในเลือดต่ำ กลูโคสจะถูกปล่อยเข้าสู่กระแสเลือดโดยกลูโคส-6-ฟอสฟาเตส จากกลูโคส-6-ฟอสเฟตที่มีต้นกำเนิดจากไกลโคเจนในตับและไต เพื่อให้เกิดสภาวะสมดุลของความเข้มข้นของกลูโคสในเลือด (c. Wikipedia, 2022b)

การตอบสนองของอินซูลิน (ภาพประกอบ 6) และกลไกอื่นๆ ช่วยควบคุมความเข้มข้นของกลูโคสในเลือด กลูโคสและออกซิเจนให้พลังงานเกือบทั้งหมดแก่สมอง ดังนั้นความพร้อมของสมองจึงส่งผลต่อกระบวนการทางจิตวิทยา เมื่อระดับกลูโคสในเลือดต่ำ กระบวนการทางจิตวิทยาที่ต้องใช้ความพยายามทางจิต เช่น การควบคุมตนเอง การใช้ความพยายามในการตัดสินใจ เป็นต้น จะบกพร่อง (Fairclough & Houston, 2004; Gailliot & Baumeister, 2007; Gailliot et al., 2007; Masicampo & Baumeister, 2008) ความเข้มข้นของกลูโคสมักอยู่ที่ 4-6 มิลลิโมล (5 มิลลิโมล เท่ากับ 90 มิลลิกรัม/เดซิลิตร) (Satyanarayana, 2014) แต่จะลดลงเหลือ 2-3 มิลลิโมล เมื่อมีการอดอาหาร สมองจะเกิดความสับสนขึ้นหากกลูโคสต่ำกว่า 1 มิลลิโมล และจะเกิดอาการโคม่าหากความเข้มข้นต่ำกว่านั้น (Glucose metabolism in the brain: Volume 51, 2002) ระดับกลูโคสในเลือดถูกควบคุมโดยเซลล์ประสาทที่จับกับกลูโคสบริเวณไฮโปทาลามัส นอกจากนี้ กลูโคสในสมองยังจับกับตัวรับกลูโคสของระบบการให้รางวัลในตำแหน่งนิวเคลียส แอแคมเบนส์ การจับกันของกลูโคสกับตัวรับความหวานบนลิ้นทำให้เกิดการหลั่งฮอร์โมนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการเผาผลาญพลังงาน ส่งผลให้การดูดซึมพลังงานของเซลล์เพิ่มขึ้นและระดับน้ำตาลในเลือดลดลง ถึงอย่างนั้นการบริโภคสารให้ความหวานเทียมไม่ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ (R. M. Tucker & Tan, 2017) สิ่งมีชีวิตใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารสำคัญหลายชนิด แป้ง เซลลูโลส และไกลโคเจน เป็นกลูโคสโพลีเมอร์ทั่วไป โพลีเมอร์เหล่านี้บางส่วน เช่น แป้งหรือไกลโคเจน ทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บพลังงาน ในขณะที่บางชนิด เช่น เซลลูโลสและไคตินซึ่งทำมาจากอนุพันธ์ของกลูโคส มีบทบาทเชิงโครงสร้าง กลูโคสสามารถย่อยสลายเพื่อสังเคราะห์ชีวโมเลกุลอื่นๆ ได้หลากหลาย นี่เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากกลูโคสทำหน้าที่เป็นทั้งแหล่ง

พลังงานหลักและเป็นแหล่งของคาร์บอนอินทรีย์ กลูโคสสามารถย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นไขมันได้ นอกจากนี้ยังเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์โมเลกุลที่สำคัญอื่นๆ เช่น วิตามินซี หรือเรียกว่า กรดแอสคอร์บิก ในสิ่งมีชีวิต กลูโคสจะถูกแปลงเป็นสารประกอบทางเคมีอื่นๆ อีกหลายชนิด ที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับกระบวนการเผาผลาญต่างๆ กลูโคสบางชนิดถูกแปลงเป็นกรดแลคติกโดย แอสโตรไซต์ จากนั้นจะใช้เป็นแหล่งพลังงานในเซลล์สมอง กลูโคสบางชนิดถูกใช้ในเซลล์ในลำไส้ และเซลล์เม็ดเลือดแดง ในขณะที่ส่วนที่เหลือไปที่ตับ เนื้อเยื่อไขมัน และเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งจะถูกดูดซึมและเก็บไว้เป็นไกลโคเจน ไกลโคเจนที่เก็บไว้ในเซลล์ตับสามารถเปลี่ยนเป็นกลูโคสและกลับสู่กระแสเลือดเมื่ออินซูลินต่ำหรือไม่มีอินซูลิน แต่ไกลโคเจนในเซลล์กล้ามเนื้อจะไม่กลับเข้าสู่กระแสเลือดเนื่องจากขาดเอนไซม์ ส่วนในเซลล์ไขมัน กลูโคสถูกใช้เพื่อให้พลังงานแก่ปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ไขมันบางชนิด (c. Wikipedia, 2022b)



ภาพประกอบ 6 แบบจำลองอธิบายบทบาทของสมองในสภาวะสมดุลของกลูโคส (a) การรักษาระดับน้ำตาลในเลือดของกลูโคสที่ขับออกไปและเข้าสู่กระแสเลือด (b) ความบกพร่องทางสมองในการรับรู้ระดับกลูโคสในเลือด (จุดสีน้ำเงิน) อาจเป็นผลมาจากความบกพร่องทางพันธุกรรมหรือที่ได้มาจากพฤติกรรม

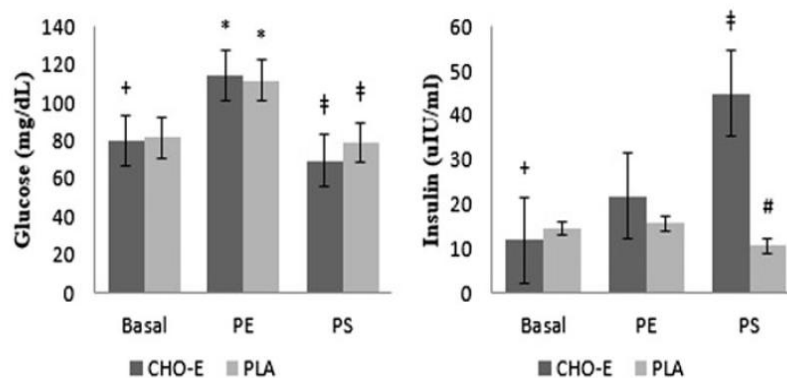
ที่มา (Alonge, D'Alessio, & Schwartz, 2021)

## 2.2 ผลของการบริโภคสารละลายคาร์โบไฮเดรตที่มีผลต่อความสามารถทางการกีฬาและการออกกำลังกาย

การศึกษาผลของการกินสารละลายคาร์โบไฮเดรต (CHO) ก่อนออกกำลังกายต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของนักกีฬาที่ได้รับการฝึกฝนร่างกายส่วนบนในการปั่นจักรยานด้วยมือ โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็น นักกีฬาชาย 10 คน อายุเฉลี่ย  $28 \pm 8$  ปี ความสูง  $180.8 \pm 6.5$  เซนติเมตร น้ำหนักตัว  $82.7 \pm 11.5$  กิโลกรัม และ  $VO_{2peak}$   $3.10 \pm 0.50$  ลิตร/นาที กลุ่มตัวอย่างบริโภคเครื่องดื่มที่ผสมกลูโคสหรือสารหลอก โดยผสมน้ำ 500 มิลลิลิตร กับน้ำส้มเจือจาง 100 มิลลิลิตร และเติมเดกซ์โทรสโมโนไฮเดรต 48 กรัม (Glucose drink; CHO group) หรือเติมสารหลอก (PLA Group) ก่อนการทดสอบ 20 นาที การทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ การปั่นจักรยานด้วยมือเป็นเวลา 60 นาที ที่ความหนัก  $65\% VO_{2peak}$  หลังจากนั้นพัก 5 นาที ก่อนที่จะทำการทดสอบปั่นจักรยานด้วยมือ 20 นาที ตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราการระบายอากาศ (VE) ปริมาณการใช้ออกซิเจน ( $VO_2$ ) อัตราการแลกเปลี่ยนทางเดินหายใจ (RER) อัตราการเต้นของหัวใจ (HR) ค่าแลคเตทในเลือด และค่ากลูโคสในเลือด โดยจะบันทึกก่อนออกกำลังกาย 20 และนาทีที่ 0, 20, 40 และ 60 ในการทดสอบแรก และจะบันทึกหลังจากการทดสอบที่ 2 ผ่านไป 30 วินาที, 5 นาที และ 10 นาที ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของ  $VO_{2peak}$  เท่ากับ  $3.10 \pm 0.50$  ลิตร/นาที และอยู่ในช่วง 2.26-3.81 ลิตร/นาที ตลอดการทดสอบ 60 นาที ในกลุ่ม CHO สามารถออกกำลังกายได้ที่  $62 \pm 6\% VO_{2peak}$  และในกลุ่ม PLA สามารถออกกำลังกายได้ที่  $62 \pm 6\% VO_{2peak}$  ระดับกลูโคสในเลือดในขณะพักระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกัน (กลุ่ม CHO :  $4.7 \pm 0.2$  มิลลิลิตร/ลิตร และกลุ่ม PLA :  $4.5 \pm 0.5$  มิลลิลิตร/ลิตร) แต่ระดับกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นทั้งสองกลุ่มในขณะที่ออกกำลังกาย 60 นาที โดยกลุ่ม CHO เพิ่มขึ้น  $8.7 \pm 0.7$  มิลลิลิตร/ลิตร และกลุ่ม PLA เพิ่มขึ้น  $4.5 \pm 0.5$  มิลลิลิตร/ลิตร ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ( $p < 0.05$ ) ในการทดสอบ 20 นาที พบว่ากลุ่ม CHO สามารถทำระยะทางได้มากกว่ากลุ่ม PLA อย่างมีนัยสำคัญ ( $12.55 \pm 1.29$  กิโลเมตร และ  $11.50 \pm 1.68$  กิโลเมตร ตามลำดับ;  $P < 0.05$ ) กลุ่ม CHO มีค่า  $VO_2$ , VE, HR และแลคเตทในเลือดในการทดสอบ 20 นาที ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงสุดท้ายของการทดสอบ 60 นาที (41-60 นาที;  $p < 0.05$ ) แต่ในกลุ่ม PLA มีเพียง  $VO_2$  และ VE เท่านั้นที่เพิ่มขึ้น (Spendiff & Campbell, 2002)

การศึกษาระดับฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการบริโภคกลูโคส ที่คล้ายกัน ในกลุ่มนักกีฬา 16 คน เพศชาย อายุระหว่าง 18-25 ปี แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 7 คน ให้บริโภค Carbohydrate-

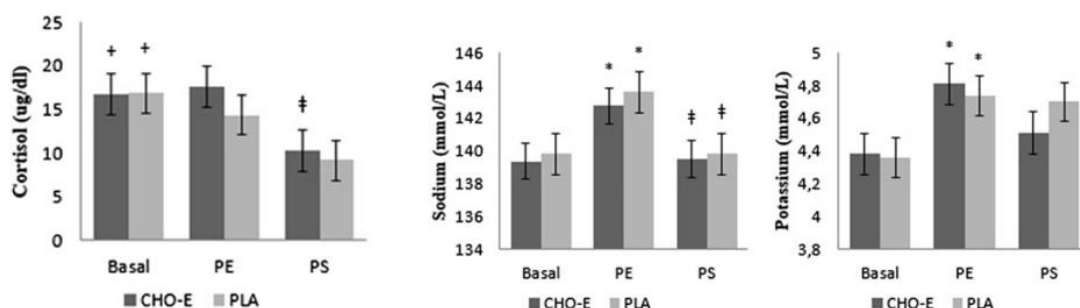
Electrolyte (CHO-E) หรือสารหลอก (PLA) เพื่อตรวจสอบผลจากการบริโภค CHO-E ภายหลังจากออกกำลังกายที่มีต่อฮอร์โมนอินซูลิน คอร์ติซอล และการตอบสนองของกลูโคสในเลือด โดยสารอาหารเสริม CHO-E คือ อาหารเสริมยี่ห้อ Vitargo (คาร์โบไฮเดรต/อิเล็กโทรไลต์) ซึ่งให้พลังงาน 277.5 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 69 กรัม เป็นน้ำตาล 0 กรัม แป้ง 64.5 กรัม โซเดียม 412.5 มิลลิกรัม และโพแทสเซียม 78.75 มิลลิกรัม จะเตรียมไว้ให้กับกลุ่ม CHO-E ตามคำแนะนำและปริมาณการบริโภคต่อวัน ผสมในน้ำ 700 มิลลิลิตร และใช้ปริมาณเดียวกันกับสารหลอกให้กับกลุ่ม PLA กลุ่มตัวอย่างจะทำการทดสอบ Shuttle run 20 เมตร จนกว่าจะหมดแรง และถูกเก็บตัวอย่างเลือดทั้งหมด 3 ครั้ง คือ ก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบทันที และหลังดื่มเครื่องดื่มไปแล้ว 2 ชั่วโมง และนำผลมาวิเคราะห์ระดับกลูโคส โซเดียม โพแทสเซียม อินซูลิน และคอร์ติซอล พบว่า ระดับกลูโคสในเลือดของกลุ่ม CHO-E มีความแตกต่างภายในกลุ่มในทุกช่วงเวลาอย่างนัยสำคัญ โดยหลังจากดื่มเครื่องดื่ม ระดับน้ำตาลในเลือดของกลุ่ม CHO-E ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับก่อนการทดสอบ และหลังการทดสอบ ในขณะที่กลุ่ม PLA มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างก่อนการทดสอบกับหลังการทดสอบ และระหว่างหลังการทดสอบกับหลังดื่มเครื่องดื่ม แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างก่อนการทดสอบกับหลังดื่มเครื่องดื่ม (ภาพประกอบ 7) (Alonge et al., 2021)



ภาพประกอบ 7 การเปลี่ยนแปลงระดับกลูโคสและอินซูลินในเลือด ก่อน (Basal) และหลังออกกำลังกาย (PE) และหลัง (PS) การบริโภคสารละลายที่มีคาร์โบไฮเดรต (CHO-E) และสารหลอก (PLA)

ที่มา (Alonge et al., 2021)

ระดับอินซูลินของกลุ่ม CHO-E มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างก่อนการทดสอบกับหลังตีมือเครื่องตี และระหว่างหลังการทดสอบกับหลังตีมือเครื่องตี และมีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (ภาพประกอบ 8) เช่นเดียวกับกับระดับฮอร์โมนคอร์ติซอล แต่ระดับฮอร์โมนคอร์ติซอลไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ระดับโซเดียมของทั้ง 2 กลุ่ม มีความแตกต่างระหว่างก่อนการทดสอบกับหลังการทดสอบ และระหว่างหลังการทดสอบกับหลังตีมือเครื่องตี ในขณะที่ระดับโพแทสเซียมมีความแตกต่างเพียงระหว่างก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบ (ภาพประกอบ 8) (Alonge et al., 2021)



ภาพประกอบ 8 การเปลี่ยนแปลงระดับคอร์ติซอล โซเดียม และโพแทสเซียมในเลือด ก่อน (Basal) และหลังออกกำลังกาย (PE) และหลัง (PS) การบริโภคสารละลายที่มีคาร์โบไฮเดรต (CHO-E) และสารหลอก (PLA) ที่มา (Alonge et al., 2021)

จากผลการศึกษา กลุ่ม CHO-E มีระดับกลูโคสในเลือดลดลง และระดับอินซูลินเพิ่มขึ้น ภายหลังจากตีมือเครื่องตีอย่างมีนัยสำคัญ เปรียบเทียบกับก่อนการทดสอบ ซึ่งระดับอินซูลินที่สูงขึ้นหลังการออกกำลังกายเป็นภาวะที่นักกีฬาต้องการเพื่อการฟื้นตัวอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ สาเหตุที่ทำให้ระดับกลูโคสในเลือดลดลง ถือว่าเกิดจากการเพิ่มขึ้นของอินซูลินและการขนส่งกลูโคสไปยังเซลล์กล้ามเนื้อผ่านอินซูลินเพื่อการฟื้นตัวของร่างกาย (Alonge et al., 2021) การบริโภครีโบริโไฮเดรตผสมกับอิเล็กโทรไลต์หลังการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูง จะเพิ่มการขนส่งสารอาหารที่บริโภคไปยังเซลล์กล้ามเนื้อ เดิมการจัดเก็บไกลโคเจน เร่งกระบวนการฟื้นตัวที่เหมาะสมที่สุด และทำให้การเผาผลาญอาหารยังคงอยู่ในสถานะ Anabolic โดย

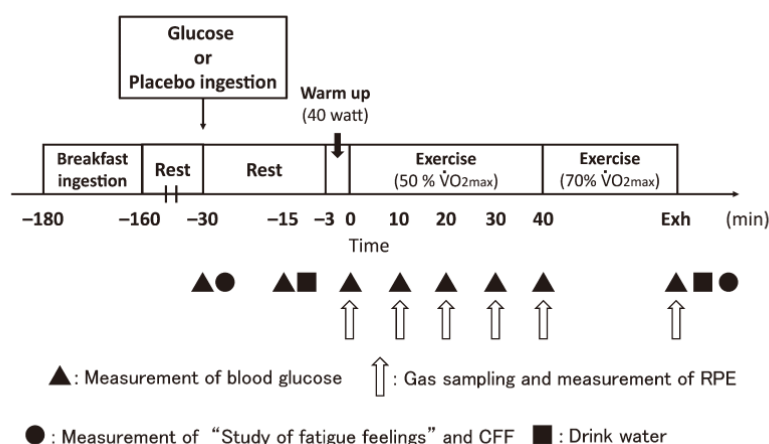
ป้องกันไม่ให้เข้าสู่สถานะ Catabolic รวมทั้งรักษาระดับฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการเผาผลาญให้สมดุล (Mor et al., 2019)

นอกจากการบริโภคคาร์โบไฮเดรตผสมกับอิเล็กโทรไลต์แล้วยังมีการนำน้ำผลไม้ที่มีส่วนประกอบกลูโคสอยู่ด้วย อย่างเช่น น้ำแตงโม ในการศึกษากลุ่มตัวอย่าง 27 คน ที่ไม่เคยรับการฝึกมาก่อน เป็นผู้ชาย 13 คน และผู้หญิง 14 คน อายุระหว่าง 21 – 35 ปี ทำการศึกษากลยุทธ์ของการดื่มน้ำแตงโมก่อนออกกำลังกายที่มีต่อการฟื้นตัวของอัตราการเต้นของหัวใจ (HR) หลังจากออกกำลังกายที่ความหนักต่ำกว่าสูงสุด ระดับแลคเตทในเลือด (BL) ความดันเลือด (BP) ระดับกลูโคสในเลือด (BG) และอาการปวดเมื่อยของกล้ามเนื้อ เครื่องดื่มปริมาณ 335 มิลลิลิตร ได้แก่ น้ำเปล่า น้ำผสมน้ำตาล (น้ำตาล 22.5 กรัม) น้ำแตงโม (เติม L-citrulline 780 มิลลิกรัม/335 มิลลิลิตร) และเกเตอเรท การทดสอบแต่ละเครื่องดื่มจะเว้นช่วงเป็นเวลา 2 วัน ในการทดสอบแต่ละครั้งของกลุ่มตัวอย่างจะให้ใส่สายวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และนั่งพัก 15 นาที หลังจากนั้นจะมีการวัดส่วนสูง น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์ไขมัน ความดันเลือด อัตราการเต้นของหัวใจ ระดับแลคเตทในเลือด และระดับกลูโคสในเลือด หลังจากนั้นกลุ่มตัวอย่างจะดื่มเครื่องดื่มที่เตรียมไว้ และนั่งพัก 45 นาที เมื่อครบ 45 นาที ตัวแปรก่อนหน้าจะวัดอีกครั้ง ก่อนที่จะทำการทดสอบ และวัดอีกครั้งหลังการทดสอบทันที และที่นาที่ที่ 5 นาทีที่ 20 และหลังจากการทดสอบจะบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจไว้ตลอดตั้งแต่นาทีที่ 0 ถึง 20 การทดสอบด้วยการปั่นจักรยาน เริ่มด้วยการอบอุ่นร่างกาย 3 นาที ที่ความหนัก 20 วัตต์ หลังจากนั้นความหนักจะเพิ่มขึ้น 20 วัตต์ ทุก 1 นาที จนกว่าจะถึงที่ 80%  $HR_{max}$  และต้องรักษารอบขาไว้ให้ได้ >70 rpm หากน้อยกว่านั้นจะทำการหยุดการทดสอบ นอกจากกรณีนี้ หากกลุ่มตัวอย่างมีค่า RPE (6-20 Borg Scale) มากกว่า 17 จะให้หยุดการทดสอบทันทีเช่นกัน พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจไม่มีความแตกต่างระหว่างเครื่องดื่ม เวลาในการทดสอบจนถึง 80%  $HR_{max}$  ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเทียบในแต่ละชนิดเครื่องดื่ม แต่พบว่าผู้ชายใช้เวลานานกว่าผู้หญิง และทำวัตต์ได้มากกว่า อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ ) ภายหลังจากการทดสอบระดับอาการปวดกล้ามเนื้อหลังจากการออกกำลังกายทั้งชายและหญิง ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หลังการทดสอบ 5 นาที พบว่าความดันเลือดเพิ่มขึ้นในกลุ่มตัวอย่างผู้หญิงที่ดื่มน้ำเปล่า น้ำผสมน้ำตาล และเกเตอเรท ( $p < 0.05$ ) ระดับแลคเตทระหว่างหลังดื่มเครื่องดื่มกับหลังการทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งชายและหญิง ( $p < 0.01$ ) แต่เครื่องดื่มที่แตกต่างกันไม่ได้มีผลต่อแลคเตท ระดับกลูโคสในเลือดพบว่ามีความสัมพันธ์กับเวลาอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ ) ทั้งชายและหญิง และการดื่มเครื่องดื่มที่เป็นน้ำผสมน้ำตาล น้ำแตงโม และเกเตอเรททำให้ระดับน้ำตาลใน

เลือดสูงกว่าการดื่มน้ำเปล่าในช่วงก่อนการทดสอบ ( $p < 0.001$ ) อย่างไรก็ตาม ภายหลังการทดสอบไม่มีความแตกต่างของระดับกลูโคสในเลือดในแต่ละเครื่องดื่ม ซึ่งในการศึกษานี้ความแตกต่างทางเพศมีผลสำคัญในการควบคุมความดันเลือด ผู้หญิงมักมีความดันเลือดต่ำกว่าผู้ชาย ซึ่งน่าจะเกิดจากการขยายตัวของหลอดเลือด  $\beta$ -adrenergic ในขณะที่ความดันเลือดสูงพบได้บ่อยในผู้หญิงสูงวัยมากกว่าในผู้ชายสูงวัย L-citrulline ที่ผสมในน้ำแตงโม ได้ถูกตั้งสมมติฐานว่ามีส่วนในการลดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจากการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นยูเรีย นอกจากนี้ในตริกอกอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นอาจลดการใช้ออกซิเจนในไมโทคอนเดรีย ซึ่งจะช่วยปรับปรุงความพร้อมของออกซิเจนในกล้ามเนื้อโครงร่าง (Blohm et al., 2020) ในการศึกษาที่ก่อนหน้านี้ การออกกำลังกายที่มีความหนักปานกลางถึงสูงมาก การบริโภค L-citrulline ช่วยทำให้ระยะเวลาที่ออกกำลังกายสามารถทำได้นานขึ้นและกำลังก็เพิ่มขึ้น (Bailey et al., 2015; T. Suzuki, Morita, Kobayashi, & Kamimura, 2016) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการบริโภค L-citrulline จะช่วยพัฒนา  $VO_2$  ในระหว่างการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงมาก แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในการออกกำลังกายที่มีความหนักปานกลาง (Bailey et al., 2015) ดังนั้น ความหนักของการออกกำลังกายที่ค่อนข้างต่ำในการศึกษาปัจจุบันอาจส่งผลให้ไม่มีความแตกต่างด้านประสิทธิภาพระหว่างกลุ่มเครื่องดื่ม เครื่องดื่มที่เป็นน้ำผสมน้ำตาล น้ำแตงโม และเตอเรท ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นเมื่อเทียบระหว่างช่วงวันค่าเริ่มต้นและก่อนการทดสอบเนื่องจากเครื่องดื่มทั้ง 3 อย่างมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรต (Blohm et al., 2020)

ทั้งนี้ความล้าที่เกิดขึ้นภายหลังจากการออกกำลังกายอาจจะมีผลมาจากการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางได้ จากการศึกษา นักเรียนชายที่เป็นนักกีฬา สัญชาติญี่ปุ่น 8 คน อายุ  $18.9 \pm 0.9$  ปี ส่วนสูง  $174 \pm 2.6$  เซนติเมตร น้ำหนักตัว  $62.7 \pm 4.9$  กิโลกรัม ไขมัน  $13.7 \pm 3.8\%$  มวลร่างกายที่ไม่มีไขมัน  $37.4 \pm 1.6\%$  ระดับกลูโคสในเลือด  $88.4 \pm 10.9$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร  $VO_{2max}$   $48.5 \pm 5.4$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม/นาที พลังงานที่ได้รับต่อวัน  $2,069 \pm 424$  กิโลแคลอรี แบ่งเป็นพลังงานจากคาร์โบไฮเดรต  $280.3 \pm 40.5$  กรัม, โปรตีน  $72.4 \pm 24.8$  กรัม และ ไขมัน  $68.6 \pm 20.6$  กรัม ให้บริโภคกลูโคส 1.5 กรัม/กิโลกรัม (G trial) หรือ สารให้ความหวาน 0.5 กรัม/กิโลกรัม (P trial) เพื่อศึกษาผลของการบริโภคกลูโคสก่อนออกกำลังกายต่อการตอบสนองทางเมตาบอลิซึมและความอดทนของกล้ามเนื้อ โดยมีการทดสอบความล้าด้วยการวัดความสามารถของตาในการจับความถี่ของการกระพริบของดวงไฟ (Critical Flicker Frequency : CFF),  $VO_{2peak}$ , ระดับกลูโคสในเลือด, เวลาที่ทำได้จากการทดสอบจนหมดแรง, ค่า RPE, การประเมินความล้าจากแบบสอบถาม (Study

of fatigue feeling) และอัตราออกซิเดชันของ CHO และ FAT กลุ่มตัวอย่างจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม LOW (< 20%) และกลุ่ม HIGH ( $\geq$  20%) โดยแบ่งด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับกลูโคส ในเลือดเมื่อเริ่มออกกำลังกาย เพื่อประเมินการตอบสนองของอินซูลินต่อการบริโภคกลูโคส และให้ กลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมทั้ง 2 การทดลอง โดยทั้ง 2 การทดลองจะห่างกัน 1 สัปดาห์ การทดลองกลุ่ม ตัวอย่างจะถูกควบคุมปริมาณพลังงานที่ได้รับต่อวัน และบริโภคอาหารเข้าที่เตรียมไว้ 180 นาที ก่อนการทดสอบด้วยการปั่นจักรยานวัดงาน หลังจากนั้นกลุ่มตัวอย่างจะนั่งพักเป็นเวลา 160 นาที ต่อด้วยการบริโภคเครื่องดื่มที่ผสมกลูโคสหรือสารให้ความหวานก่อนการออกกำลังกาย 30 นาที และนั่งพักต่ออีก 15 นาที หลังจากนั้นจะวัดระดับน้ำตาลในเลือด และให้กลุ่มตัวอย่างดื่มน้ำเปล่า ก่อนการออกกำลังกาย กลุ่มตัวอย่างจะเริ่มด้วยการอบอุ่นร่างกายเป็นเวลา 3 นาที ที่ความหนัก 40 วัตต์ และเริ่มต้นออกกำลังกายที่ความหนัก 50%  $\dot{V}O_{2max}$  เป็นเวลา 40 นาที โดยให้คุมรอบขาที่ 50-60 รอบ/นาที การวัดระดับกลูโคสในเลือดจะเกิดขึ้นนาที่ที่ 0, 10, 20, 30 และ 40 หลังจากนั้น ความหนักจะเพิ่มขึ้นเป็น 70%  $\dot{V}O_{2max}$  และปั่นต่อจนกว่าจะหมดแรง การวัดระดับน้ำตาลในเลือด จะเกิดขึ้นหลังจากการออกกำลังกาย พร้อมกับการประเมินความรู้สึกเหนื่อย (Study of fatigue feeling) ทดสอบความล้าโดยการวัดความสามารถของตาในการจับความถี่ของการกะพริบของ ดวงไฟ (CFF) และให้กลุ่มตัวอย่างดื่มน้ำเปล่า (ภาพประกอบ 9) (Kondo, Tanisawa, Suzuki, Terada, & Higuchi, 2019)



RPE = rating of perceived exertion; CFF = critical flicker frequency

ภาพประกอบ 9 ขั้นตอนการทดสอบการบริโภคกลูโคสก่อนออกกำลังกายต่อการตอบสนองทางเมตาบอลิซึมและความอดทนของกล้ามเนื้อ

ที่มา (Kondo et al., 2019)

ผลการศึกษาพบว่า ทั้งกลุ่ม 2 กลุ่มที่บริโภคน้ำตาลในเลือดลดลงจากจุดสูงสุด ( $112 \pm 6$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในกลุ่ม LOW และ  $123 \pm 6$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในกลุ่ม HIGH) ลงมาที่ค่าเริ่มต้น ( $97 \pm 12$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในกลุ่ม LOW และ  $85 \pm 11$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในกลุ่ม HIGH) หลังจากออกกำลังกายไปแล้ว 20 นาที ในกลุ่ม LOW ที่บริโภคน้ำตาลในเลือดสูงกว่าการบริโภคสารให้ความหวานอย่างมีนัยสำคัญ ( $p = 0.033$ ) ในขณะที่กลุ่ม HIGH ไม่พบความแตกต่างระหว่าง 2 การทดลอง อัตราออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับอัตราออกซิเดชันของไขมันในกลุ่ม LOW แต่ในกลุ่ม HIGH กลับพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญซึ่งการบริโภคน้ำตาลทำให้อัตราออกซิเดชันของไขมันต่ำกว่าการบริโภคสารให้ความหวาน ( $p = 0.011$ ) ระยะเวลาการออกกำลังกายจนหมดแรง ในกลุ่ม LOW ที่บริโภคน้ำตาล สามารถทำได้นานกว่ากลุ่มที่บริโภคสารให้ความหวานประมาณ 33.8% (G trial,  $830 \pm 198$  วินาที vs P trial,  $620 \pm 102$  วินาที) แต่ก็ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ระยะเวลาการออกกำลังกายจนหมดแรง ในกลุ่ม HIGH ระหว่าง 2 การทดลองใกล้เคียงกัน (G trial,  $737 \pm 376$  วินาที vs P trial,  $768 \pm 398$  วินาที) ความรู้สึกเมื่อยล้า ในกลุ่ม HIGH โดยส่วนใหญ่จะรู้สึกไม่ค่อยสบายตัว (Group III = Unpleasantness) ในการทดลองบริโภคน้ำตาลมากกว่าสารให้ความหวาน ( $p < 0.05$ ) แต่ในกลุ่ม LOW ไม่มีความแตกต่างระหว่างการทดลอง การทดสอบความล้าโดยการวัดความสามารถของตาในการจับความถี่ของการกระพริบของดวงไฟ (CFF) คำนวณจากค่าที่ได้ก่อนออกกำลังกายลบกับค่าที่หลังออกกำลังกาย ซึ่งทั้ง 2 กลุ่มไม่พบความแตกต่างในระหว่าง 2 การทดลอง แต่ในกลุ่ม LOW พบว่ามีแนวโน้มที่ CFF จะเพิ่มขึ้นในการบริโภคน้ำตาลมากกว่าการบริโภคสารให้ความหวาน ระดับอินซูลินเพิ่มขึ้นเมื่อระดับน้ำตาลในเลือดที่เพิ่มขึ้นสามารถระบุได้ถึงการตอบสนองต่อการบริโภคน้ำตาลของกลุ่มตัวอย่างว่าสูงหรือต่ำ ซึ่งเป็นไปได้ว่ากลุ่มที่มีระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นในทันทีหลังบริโภคน้ำตาลจะมีการตอบสนองของอินซูลินที่สูงด้วยเช่นกัน ในการศึกษาครั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างบริโภคน้ำตาลไป 1.5 กรัม/กิโลกรัม หรือประมาณ 75-100 กรัม แต่ในการศึกษาก่อนหน้า (Kondo et al., 2019) ปริมาณน้ำตาลที่ใช้คือ 150 กรัม ก่อนการออกกำลังกายซึ่งทำให้ระดับอินซูลินเพิ่มขึ้น การตอบสนองดังกล่าวมากกว่าการตอบสนองต่อการบริโภคน้ำตาล 75 กรัม ถึงสองเท่า จากข้อมูลนี้ ตั้งข้อสังเกตได้ว่าเมื่อเริ่มออกกำลังกาย ระดับอินซูลินของกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาปัจจุบันต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างในการศึกษาก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำตาลในการศึกษาปัจจุบันไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงมากตามหลังการมีภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (Rebound hypoglycemia) ความสามารถด้านความ

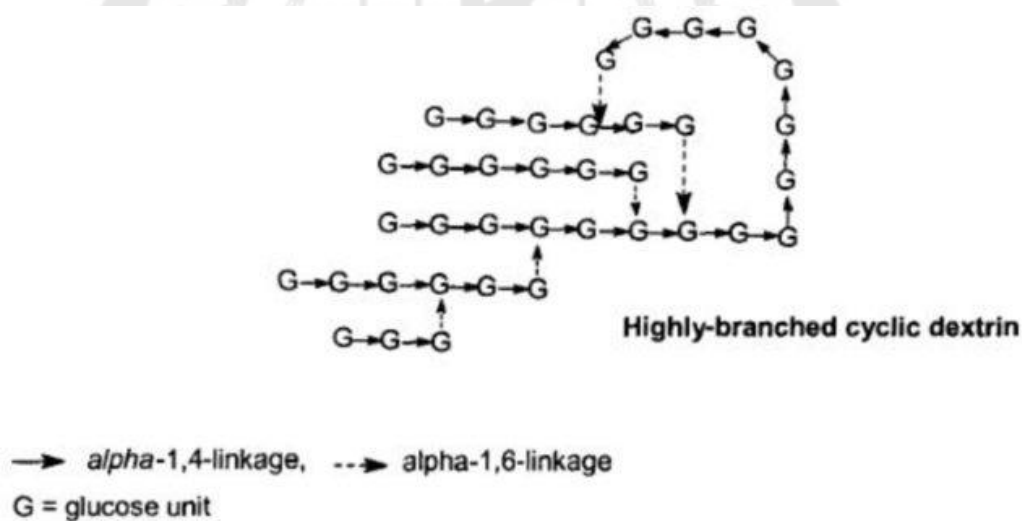
อดทนมีความสำคัญต่อการรักษาระดับกลูโคสในเลือดในระหว่างออกกำลังกาย เนื่องจากกลูโคสในเลือดถูกใช้ในการสร้างพลังงานเพื่อทดแทนการใช้ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ และในกลุ่ม LOW กลุ่มตัวอย่างสามารถทำเวลาในการออกกำลังกายได้นานขึ้นประมาณ 33.8% เมื่อบริโภคกลูโคสก่อนออกกำลังกาย เพราะกลุ่ม LOW มีการตอบสนองต่ออินซูลินที่ต่ำ ทำให้กลูโคสอยู่ในเลือดได้นานขึ้น ส่งผลต่อการผลิตพลังงานในระหว่างการออกกำลังกาย ทำให้ออกกำลังกายได้นานขึ้น ในขณะที่เดียวกันกลุ่ม HIGH ไม่พบความเปลี่ยนแปลงของเวลาในการออกกำลังกาย นอกจากนี้ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้ออาจเกิดขึ้นได้จากการหยุดชะงักของการส่งสัญญาณจากระบบประสาทส่วนกลางไปยังมัดกล้ามเนื้อที่ทำงาน ซึ่งกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานหลักของระบบประสาทส่วนกลาง ภาวะกลูโคสในเลือดต่ำที่เกิดขึ้นระหว่างออกกำลังกายทำให้การทำงานของระบบประสาทส่วนกลางลดลง ดังนั้นจึงมีคำแนะนำให้มีการบริโภคสารอาหารเสริมกลูโคสก่อนออกกำลังกายเพื่อป้องกันภาวะดังกล่าว การทดสอบ CFF ออกแบบมาเพื่อประเมินการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางโดยรวม และเปลี่ยนแปลงตามการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง ดังนั้นหากค่า CFF ลดลงแสดงว่ามีความล้าของระบบประสาทส่วนกลางสะสมเพิ่มขึ้น ในการศึกษาที่พบว่าในทั้ง 2 กลุ่มมีค่า CFF ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถตีความได้ว่าการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง ไม่ได้ลดลงแต่เพิ่มขึ้นแทน ซึ่งในกลุ่ม LOW มีแนวโน้มที่ค่า CFF จะสูงขึ้นเมื่อบริโภคกลูโคสก่อนออกกำลังกายเทียบกับการบริโภคสารให้ความหวาน ดังนั้น การบริโภคกลูโคสก่อนออกกำลังกายปริมาณ 1.5 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ในนักเรียนชายที่เป็นนักกีฬาชาวเอเชีย ตะวันออก ไม่ทำให้เกิดภาวะกลูโคสในเลือดต่ำ และไม่ลดความสามารถด้านความอดทนโดยไม่คำนึงถึงการตอบสนองต่ออินซูลินของแต่ละบุคคล (Koma & Terasawa, 2020)

### 3. ไฮยัลิبرانไซโคลิกลีคเต็กซ์ทริน

#### 3.1 ซิวเคมีของ Highly branched cyclic dextrin (HBCD)

การผลิต HBCD เริ่มด้วยแป้งอาหารที่ไม่ผ่านการแปรรูปจากข้าวโพดข้าวเหนียว โดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะไมโลเพคติน จากนั้นแป้งจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ด้วย  $\alpha$ -amylase ที่ได้มาจากแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ซึ่งส่งผลให้เกิดคลัสเตอร์โอลิโกแซ็กคาไรด์ของสายกลูโคส  $\alpha$ -(1,4) เชิงเส้นสั้นที่เชื่อมโยงกันผ่านทางพันธะ  $\alpha$ -(1,6) ชั้นตอนที่สองของเอนไซม์ดำเนินการโดยเอนไซม์ 1,4- $\alpha$ -D-glucan ที่แตกแขนงจาก *Bacillus stearothermophilus* ซึ่งนำไปสู่การสร้างวัฏจักร ผ่านทรานส์ไกลโคซิเลชันภายในโมเลกุล ได้เป็นผงสีขาวไม่มีกลิ่น (Glico Nutrition Co., 2023)

HBCD คือ โอลิโกแซ็กคาไรด์แบบไซคลิกแบบกิ่งที่มีหน่วยโครงสร้างซึ่งประกอบด้วยโมโนเมอร์  $\alpha$ -D-กลูโคส (ภาพประกอบ 10) น้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 30,000 ถึง 1,000,000 กรัม/โมล และมวลโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ที่ 160,000 Da นอกจากนี้ โมเลกุลของ HBCD ประกอบด้วยสายโซ่เชิงเส้นสั้น ๆ ของหน่วยกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยกลูโคสที่เชื่อมโยงกับ  $\alpha$  16 ถึง 100 หน่วย สูตรทางเคมีของ HBCD คือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  ซึ่งคล้ายกับไกลโคเจน  $(C_{24}H_{42}O_{21})$  HBCD เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีการกระจายตัวในขนาดที่แคบ การละลายสูงในน้ำทำให้เกิดแรงดันออสโมติกน้อย มีค่าออสโมลาลิตีต่ำ และมีแนวโน้มค่อนข้างต่ำที่จะเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) หรือการคืนตัวของสตาร์ช (Starch) น้อยกว่าเดกทรีนส์ทั่วไป HBCD มักเรียกกันโดยใช้ชื่อทางการค้าว่า คลัสเตอร์เด็กทรีน (Cluster dextrin) ซึ่งมีสมรรถภาพที่จะช่วยเพิ่มความอดทนในการออกกำลังกาย เร่งประสิทธิภาพการฟื้นตัวหลังการออกกำลังกาย และการหลีกเลี่ยงการเกิดตะคริว (Chuychai et al., 2022; Wilburn, Machek, & Ismaeel, 2021a)



ภาพประกอบ 10 โครงสร้างของ HBCD

ที่มา (Wilburn et al., 2021a)

ในทางการค้า HBCD จะถูกเรียกว่า คลัสเตอร์เด็กทรีน (Cluster dextrin) ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังนี้ (Glico Nutrition Co, 2022)

1. ละลายได้ดีในน้ำ (ภาพประกอบ 11) และสารละลายมีความเสถียรสูงระหว่างการเก็บรักษา ทำให้มีแรงดันออสโมติกเพียงเล็กน้อย และมีแนวโน้มค่อนข้างต่ำที่จะเกิด Retrogradation หรือการคืนตัวของสตาร์ช (Starch)
2. มีสายโซ่ด้านข้างที่ค่อนข้างยาวและโครงสร้างเป็นเกลียว ซึ่งสามารถสร้างสารเชิงซ้อนร่วมกับโมเลกุลของสารอื่นๆ ได้ เช่น กรดอินทรีย์
3. ดูดซับความชื้นได้เล็กน้อย และไม่ค่อยทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลใดๆ คุณสมบัตินี้ทำให้ คัลสเตอร์เด็กทรีนส์เหมาะอย่างยิ่งสำหรับใช้ในเครื่องช่วยพ่นแบบแห้ง (Spray-drying aid)
4. ความหวานของคัลสเตอร์เด็กทรีนส์นั้นต่ำเมื่อเทียบกับความหวานของเด็กทรีนส์อื่นๆ ที่มีค่า DE (Dextrose equivalent) ที่ค่อนข้างสูง
5. คัลสเตอร์เด็กทรีนส์ มีรสชาติที่ไม่ค่อยดีจากแป้งเมื่อเปรียบเทียบกับเด็กทรีนส์ชนิดอื่น



Cluster Dextrin DE2 DE5 DE8 DE12  
Appearance of 5% w/v solutions after multiple freeze-thaw cycles

ภาพประกอบ 11 ความเสถียรของสารละลายเด็กทรีนส์ต่างๆ  
ที่มา: (Glico Nutrition Co., 2023)

### 3.2 ผลของการบริโภคไฮยาลิبرانซ์ไซคลิกเด็กทรีนที่มีต่อความสามารถทางการกีฬาและการออกกำลังกาย

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการบริโภค HBCD ว่ามีผลดีต่อการออกกำลังกายอย่างไร จากการค้นหาในฐานข้อมูล เช่น Pubmed และ Google Scholar เพื่อค้นหาบทความที่เกี่ยวข้องโดยใช้คำสำคัญต่อไปนี้ Highly Branched Cyclic Dextrin, การออกกำลังกาย, กีฬา,

ความทนทาน, ความแข็งแรง และนักกีฬา เกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกบทความหรืองานวิจัย คือ (1)ตีพิมพ์ในประเทศใดก็ได้ (2)เป็นภาษาอังกฤษ (3)มีความเกี่ยวกับการใช้ HBCD เป็นอาหารเสริม (4)มีการกำหนดเกณฑ์การคัดบทความหรืองานวิจัยออก ได้แก่ บทความหรืองานวิจัยที่มีการใช้อาหารเสริมอื่นๆ นอกเหนือจาก HBCD และไม่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย (González Matarín, 2022)

จากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าว สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

#### 1. การเสริม HBCD ในการออกกำลังกายแบบทนทานหรือการฝึกแบบสลับช่วง

การเสริมด้วยเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของ HBCD ในระหว่างการออกกำลังกาย อาจช่วยรักษาการสูญเสียของเหลวออกจากร่างกายได้ดีกว่าเครื่องดื่มกลูโคส ทำให้สามารถออกกำลังกายแบบทนทานได้ดีขึ้น จากการศึกษาผลของเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของ HBCD และกลูโคส 1.5 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ในน้ำ 500 มิลลิลิตร ที่มีต่อสมรรถภาพทางกายแบบทนทานในนักกีฬาวิ่งมาราธอนชาย 13 คน โดยการวิ่งที่ความเร็วที่จุดเริ่มลำที่ 1 (VT1) 30 นาที และวิ่งที่ความเร็วที่จุดเริ่มลำที่ 2 (VT2) จนหมดแรง โดยก่อนและหลังการทดสอบมีการวัดปริมาณการสูญเสียน้ำพบว่า การดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของ HBCD สามารถรักษาปริมาณน้ำที่สูญเสียไประหว่างการออกกำลังกายได้ดีกว่าการดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของกลูโคส และทำให้ระยะเวลาการออกกำลังกายนานขึ้น (Chuychai et al., 2022)

การศึกษาถึงผลของสารละลาย HBCD เปรียบเทียบกับสารละลายมอลโตเดกซ์ทริน โดยทั้งสองสารละลายมีปริมาณ 15 กรัม (7.5% CHO) ในน้ำ 200 มิลลิลิตร ต่อสมรรถภาพในการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลานาน ในกลุ่มผู้ที่มีสุขภาพดี 24 คน ทดสอบโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก  $40\%VO_{2max}$  เป็นเวลา 30 นาที และปั่นต่อที่ความหนัก  $60\%VO_{2max}$  เป็นเวลา 90 นาที โดยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับสารละลายหลังจากผ่านการทดสอบไปแล้ว 1 ชั่วโมง พบว่า การบริโภคสารละลายที่มี HBCD ในช่วงเวลา 60 นาที หลังจากเริ่มปั่นจักรยาน ทำให้ความรู้สึกเหนื่อยล้า (Rating of perceived exertion, RPE) ขณะปั่นจักรยานเพิ่มขึ้นน้อยกว่า และระดับกลูโคสในเลือดหลังจากการบริโภค 30 นาที เพิ่มขึ้นมากกว่าการบริโภคสารละลายมอลโตเดกซ์ทริน ผลดังกล่าว อาจมาจากความสามารถของ HBCD ในการให้พลังงานแก่ร่างกายได้นานขึ้น โดยเห็นจากระดับของกลูโคสในเลือดที่เพิ่มขึ้นมากกว่ามอลโตเดกซ์ทริน และ HBCD มีคุณสมบัติในการลำเลียงออกจากกระเพาะอาหาร (Gastric emptying time) ได้เร็วกว่า (Furuyashiki et al., 2014; H. Takii et al., 2005)

การเปรียบเทียบเครื่องดื่มน้ำที่มีส่วนประกอบของ HBCD กับกลูโคส ต่อการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันและระบบต่อมไร้ท่อจากการออกกำลังกายแบบทนทาน ในนักกีฬาไตรกีฬาชาย 7 คน ที่ลงแข่งขันทวิกีฬา (วิ่ง 5 กิโลเมตร ปั่นจักรยาน 40 กิโลเมตร และวิ่งอีก 5 กิโลเมตร) 2 ครั้ง ในการแข่งขันครั้งแรก นักกีฬา 4 คนดื่มน้ำที่มีส่วนประกอบของ HBCD นักกีฬาอีก 3 คนดื่มน้ำที่มีส่วนประกอบของกลูโคส และสลับกันในการแข่งขันครั้งที่ 2 มีการเก็บตัวอย่างเลือดและปัสสาวะก่อนและหลังการแข่งขัน เพื่อนำมาวิเคราะห์จำนวนเม็ดเลือดขาว รวมถึงความเข้มข้นของฮอร์โมนและไซโตไคน์ต่างๆ พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ดื่มน้ำที่มีส่วนประกอบของ HBCD มีระดับของนอร์อิพิเนฟริน (Norepinephrine) และไซโตไคน์ (IL-8, IL-10 และ IL-12) ต่ำกว่าหลังการแข่งขัน เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่ดื่มน้ำที่มีส่วนประกอบของกลูโคส (K. Suzuki, Shiraishi, Yoshitani, Sugama, & Kometani, 2014)

การศึกษาในกลุ่มนักกีฬาวัยน้ำชั้นเลิศ 7 คน ทำการว่ายน้ำจำนวน 10 รอบ ในแต่ละรอบประกอบด้วย การว่ายน้ำที่ความหนัก  $75\%VO_{2max}$  เป็นเวลา 5 นาที และพัก 3 นาที เมื่อพายครบ 10 รอบ นักกีฬาจะพายต่อที่ความหนัก  $90\%VO_{2max}$  จนหมดแรง โดยก่อนการทดสอบนักกีฬาจะได้รับ HBCD หรือกลูโคสปริมาณ 1.5 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ในน้ำ 500 มิลลิลิตร หรือน้ำเปล่า 500 มิลลิลิตร (กลุ่มควบคุม) ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาที่นักกีฬาวัยน้ำจนหมดแรงยาวนานกว่าประมาณ 70% ในกลุ่ม HBCD เมื่อเทียบกับกลูโคสและน้ำเปล่า ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระดับกลูโคสในเลือดในกลุ่ม HBCD สามารถคงให้อยู่ในระดับที่สูงกว่าระหว่างรอบก่อนว่ายน้ำเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ได้รับกลูโคสหรือน้ำเปล่า ผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการให้ HBCD ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการออกกำลังกายแบบทนทาน (Shiraki et al., 2015)

## 2. การเสริม HBCD ในการออกกำลังกายแบบใช้แรงต้าน

จากงานศึกษาของ Nishimura et al. (2022) ที่ทำการศึกษากาบริโอด HBCD หรือกลูโคสปริมาณ 75 กรัมร่วมกับโปรตีนที่ทำจากเนื้อสัตว์ที่ไม่มีไขมัน 0.6 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมผสมในน้ำเปล่า 350 มิลลิลิตร หลังจากการฝึกความแข็งแรง เพื่อศึกษากาบริโอด HBCD ร่วมกับกรดอะมิโนที่ได้จากการไฮโดรไลสของโปรตีนจากเนื้อสัตว์ จะช่วยเพิ่มการดูดซึมกรดอะมิโน กระตุ้นการทำงานของสัญญาณ Akt/mTORC1 และเพิ่มอัตราการสังเคราะห์โปรตีนกล้ามเนื้อได้หรือไม่ ในกลุ่มตัวอย่างเพศชายที่ออกกำลังกายปานกลาง 10 คน โดยออกกำลังกายด้วยแรงต้านที่กล้ามเนื้อส่วนบนและส่วนล่างจำนวนส่วนละ 2 ท่า ใช้ความหนักที่ 8RM และ 10RM ตามลำดับ ทั้งหมด 3 เซ็ต พบว่า การกินโปรตีนจากเนื้อสัตว์ร่วมกับ HBCD ไม่ได้ช่วยเพิ่มระดับ

กรดอะมิโนหลังมื้ออาหารหรืออัตราการสังเคราะห์โปรตีนในกล้ามเนื้อ เมื่อเทียบกับกลุ่มที่กินโปรตีนร่วมกับกลูโคส อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่กินโปรตีนร่วมกับ HBCD มีการกระตุ้นสัญญาณในกล้ามเนื้อมากกว่า



### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการบริโภคสารละลายกลูโคส และไฮยาลูรอนชาโซคลิกเด็กซ์ทรินที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง และตัวแปรทางด้านสรีรวิทยาในช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการแข่งขันเรือคายัคจำลองในนักกีฬาเรือคายัค ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

#### การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

##### ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักกีฬาเรือพายที่ทำการเก็บตัวฝึกซ้อม ณ ศูนย์ฝึกกีฬาเรือพายของสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย

##### กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักกีฬาเรือพายที่ทำการเก็บตัวฝึกซ้อม ณ ศูนย์ฝึกกีฬาเรือพายของสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย จำนวน 12 คน ซึ่งได้มาจากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป G\*Power (Version 3.1.9.4) โดยมีการกำหนดกลุ่มของสถิติ (Test family) เป็น F-test สถิติที่ใช้ (Statistical test) เป็น ANOVA: Repeated measures, within-between interaction ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (P) = 0.05 ค่าอำนาจทดสอบ (Power of test) = 0.80 และขนาดอิทธิพล (Effect size) = 0.4 ค่าขนาดอิทธิพลดังกล่าวได้มาจากการคำนวณค่าเฉลี่ยของเวลาในการออกกำลังกายภายหลังการได้รับเครื่องดื่มที่มีไฮยาลูรอนชาโซคลิกเด็กซ์ทริน และเครื่องดื่มที่มีกลูโคสจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Chuychai et al., 2022) กลุ่มตัวอย่างทุกคนจะได้รับการคัดเลือกเข้าสู่การวิจัยโดยใช้วิธีเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling) ตามเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้

##### เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าสู่การวิจัย (Inclusion criteria)

1. เป็นนักกีฬาเรือคายัคชายหรือหญิง

2. มีอายุ 18-30 ปี
3. มีการฝึกซ้อมกีฬาเรือคายัคตามโปรแกรมการฝึกของสมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทยต่อเนื่องอย่างน้อย 2 ปี
4. มีสุขภาพดี ไม่มีการบาดเจ็บ การป่วย และความผิดปกติของไขมันและน้ำตาลในเลือด ไม่ดื่มกาแฟ/แอลกอฮอล์ และไม่มีการใช้อาหารเสริม

#### เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย (Exclusion criteria)

1. มีปริมาณไขมันในร่างกาย (%) ที่ไม่อยู่ในช่วงของค่าเฉลี่ย (Mean,  $\bar{X}$ )  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD.) ของนักกีฬาเรือคายัคทั้งหมดที่ได้รับการคัดเลือกไปแข่งขันในระดับนานาชาติในช่วงของการเก็บรวบรวมข้อมูล
2. มีปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen consumption,  $VO_2$ ) เทียบกับปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Peak oxygen consumption,  $VO_{2peak}$ ) หรือ %  $VO_{2peak}$  ที่ไม่อยู่ในช่วงของค่า  $\bar{X} \pm S.D.$  ของนักกีฬาเรือคายัคทั้งหมดที่ได้รับการคัดเลือกไปแข่งขันในระดับนานาชาติ ในช่วงของการเก็บรวบรวมข้อมูล
3. นักกีฬาหญิงที่มีรอบเดือนไม่ปกติ

#### เกณฑ์การยุติการวิจัย (Termination criteria)

1. การขอถอนตัวจากการวิจัย
2. มีการป่วยหรือการบาดเจ็บที่ทำให้ไม่สามารถทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อได้
3. ไม่ปฏิบัติตามข้อตกลงของการวิจัยที่ได้ตกลงร่วมกัน

เพื่อเป็นการพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยทำการอธิบายรายละเอียดของการวิจัย ได้แก่ ชื่อการวิจัย วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย และความเสี่ยงที่อาจเกิดจากการเข้าร่วมในการวิจัย ให้กลุ่มตัวอย่างทราบ และกลุ่มตัวอย่างทุกคนลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Informed Consent Form) ที่ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (SWUEC-661014) ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

#### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เรือคายัควัดงาน (Kayaking Ergometer, Kayak Pro, USA)
2. เครื่องติดตามอัตราการเต้นของหัวใจ (Polar, H10, Polar electro, Finland)

3. เครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ (Cardiopulmonary Exercise Testing, K5, COSMED, Italy)
4. หน้ากากสำหรับเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ (Wearable Metabolic System, K5, COSMED, USA)
5. เครื่องวัดระดับกลูโคสในเลือด (Blood Glucose Meter G-426, ALLWELL, Thailand)
6. เครื่องวัดระดับแลคเตทในเลือด (Blood Lactate Measuring Meter, Lactate Plus, Canada)
7. เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ (MA887 Digital Salinity Refractometer, Milwaukee, China)
8. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล (BC-730 White Tanita, Tanita, Japan)
9. เครื่องชั่งสาร (Pioneer series, Electronic balance, SciLution CO., Ltd, Thailand)

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

#### ขั้นตอนก่อนการทดสอบ (Preliminary tests)

กลุ่มตัวอย่างมาที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อายุ (ปี) น้ำหนักตัว (กิโลกรัม) ส่วนสูง (เซนติเมตร) ปริมาณไขมันในร่างกาย (%) อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที) ประสิทธิภาพในการหายใจ (ปี เดือน) และประวัติการเจ็บป่วย การรักษา การช้ยา การช้อาหารเสริม การดื่มแอลกอฮอล์ และการสูบบุหรี่ นอกจากนี้มีการประเมินสมรรถภาพทางกาย ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate,  $HR_{max}$ ) และความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption,  $VO_{2max}$ ) โดยให้กลุ่มตัวอย่างสวมแถบผ้ายึดที่มีเครื่องติดตามอัตราการเต้นของหัวใจไว้ที่หน้าอก และหายใจผ่านหน้ากากที่ต่อกับเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติซึ่งได้ทำการปรับค่าให้เป็นมาตรฐาน (Calibration) ไว้แล้วตามคู่มือการใช้งานของเครื่อง พร้อมทั้งทำการทดสอบหายใจด้วยงาน โดยเริ่มหายใจที่ความหนัก 60 วัตต์ สำหรับนักกีฬาชาย และ 50 วัตต์ สำหรับนักกีฬาหญิง เป็นเวลา 3 นาที เพื่ออบอุ่นร่างกาย หลังจากนั้นจะหายใจที่ความหนัก 80 วัตต์ สำหรับนักกีฬาชาย และ 70 วัตต์ สำหรับนักกีฬาหญิง เป็นเวลา 3 นาที และเพิ่มความหนัก 30 วัตต์ ทุกๆ 3 นาที จนกระทั่งกลุ่มตัวอย่างหมดแรงหรือมีสภาวะตามเกณฑ์ที่กำหนดจึงหยุดการทดสอบ และให้กลุ่มตัวอย่างคลาย

อุ้งร่างกายโดยการพายเรือคายัคที่ไม่ได้กำหนดความหนักเป็นเวลา 3 นาที เกณฑ์ที่ใช้ในการหยุดการทดสอบดังกล่าว คือ การมีสภาวะ 3 ใน 5 ข้อ ดังนี้ (1) อัตราการเต้นของหัวใจแตกต่างจากอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (220 - อายุเป็นปี) 5% (2) ค่า  $VO_2$  เพิ่มขึ้นน้อยกว่า 150 มิลลิลิตร/นาที เมื่อเพิ่มความหนัก (วัตต์) ในการพายเรือ (3) อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน (Respiratory exchange ratio, RER) มีค่าตั้งแต่ 1.1 ขึ้นไป (4) ความรู้สึกเหนื่อยสัมพัทธ์ (Rating of perceived exertion, RPE) มีค่าตั้งแต่ 18 ขึ้นไป (5) ไม่สามารถรักษาความหนัก (วัตต์) ของการพายไว้ได้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยทำการติดตามอัตราการเต้นของหัวใจ ค่า  $VO_2$  และค่า RER ตลอดช่วงของการทดสอบ และให้กลุ่มตัวอย่างระบุค่า RPE ก่อนเพิ่มความหนัก (วัตต์) สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ค่า  $HR_{max}$  และ  $VO_{2max}$  หมายถึง อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย และค่า  $VO_2$  เฉลี่ย ในช่วง 15 วินาทีสุดท้ายก่อนที่จะหยุดการทดสอบ ตามลำดับ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการบันทึกค่าเฉลี่ยของ  $VO_2$  และกำลัง (Power) ในช่วง 1 นาทีสุดท้ายของการพายเรือก่อนที่จะเพิ่มความหนักในแต่ละขั้น แล้วนำค่าดังกล่าวไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ( $VO_2$ -Power linear regression) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณการใช้พลังงานในขั้นตอนการทดสอบหลักต่อไป (Ho, Smith, Chapman, Sinclair, & Funato, 2013) ทั้งนี้ ผู้วิจัยทำการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และเครื่องวิเคราะห์แก๊สให้มีการทำงานที่สัมพันธ์กัน และทำการปรับระบบการวัดของเครื่องมือ (Calibration) ก่อนการทดสอบทุกครั้ง ได้แก่ ตัววัดปริมาตรการไหลของอากาศ (Flow meter) โดยใช้กระบอกสูบที่มีปริมาตร 3 ลิตร ตัววิเคราะห์ค่าแก๊ส (Gas analyzer) ของเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ โดยใช้แก๊สอ้างอิงที่มีความเข้มข้นของ  $O_2$  16%,  $CO_2$  5%, และ  $N_2$  Balance และระบบของเรือคายัควัดงานตามคู่มือการใช้งานของเครื่อง

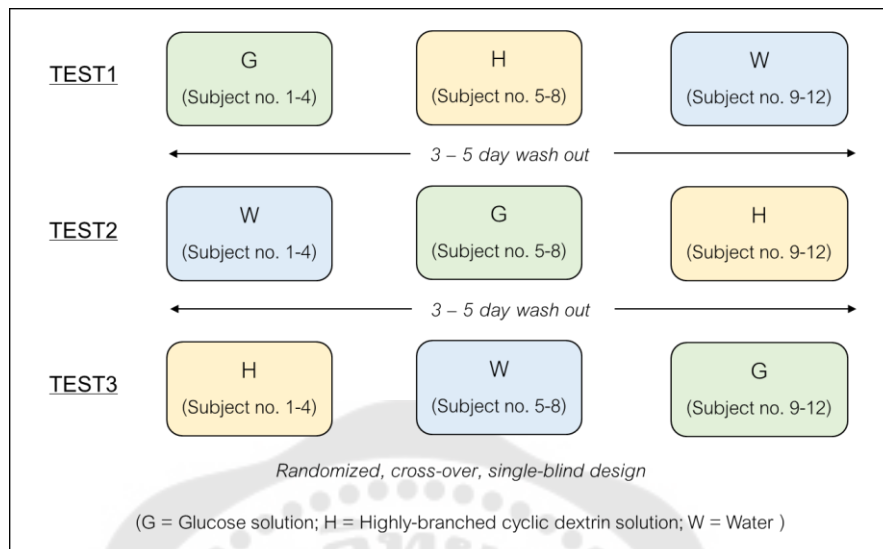
## การทดสอบหลัก (Main tests)

### การออกแบบการวิจัย (Research design)

การทดสอบหลักของการวิจัยนี้เป็นการทดสอบผลของสารละลาย 2 ชนิด คือ สารละลายกลูโคส (G) และสารละลายไฮยาลูรอนซึไฮดรอลิกเด็คทรีน (H) โดยเทียบกับน้ำเปล่า (W) เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) แบบสุ่ม ไขว้สลับ และปกปิดกลุ่มตัวอย่าง (Randomized, cross-over, single-blind design) โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบพายเรือคายัคเสมือนการแข่งขันจริง (Race simulation) บนเครื่องพายเรือวัดงาน จำนวน 3 ครั้ง โดยที่

แต่ละครั้งมีระยะห่างกัน 3-5 วัน (Wash out) เพื่อให้ร่างกายของกลุ่มตัวอย่างมีการฟื้นฟูสภาพเต็มที่ และในการทดสอบแต่ละครั้ง กลุ่มตัวอย่างพายเรือ ระยะทาง 500 เมตร จำนวน 3 รอบ มีการพักระหว่างการพายแต่ละรอบ 30 นาที และได้รับการสู่มให้ได้รับสารละลาย W, H หรือ G ดังภาพประกอบ 1 นอกจากนี้ เพื่อให้มีมาตรฐานเดียวกัน การทดสอบทุกครั้งมีการดำเนินการในช่วงเวลา 06:30-10:00 น. ภายในห้องปฏิบัติการที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงเดียวกัน รวมทั้งมีข้อปฏิบัติสำหรับกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

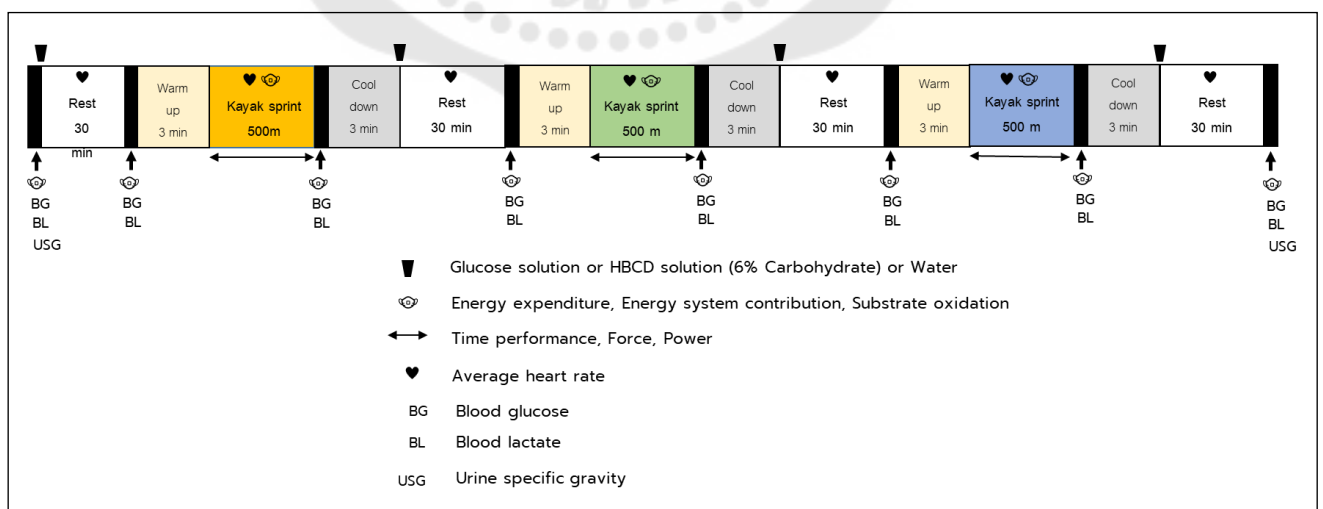
1. งดออกกำลังกาย ฝึกซ้อมกีฬา และทำกิจกรรมที่ต้องใช้ความหนักสูงเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ
2. งดบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์และคาเฟอีนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ
3. นอนพักผ่อนให้เพียงพออย่างน้อย 7 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ
4. บริโภคอาหารมื้อเย็นในวันก่อนการทดสอบในช่วง 19.00-20.00 น. หลังจากนั้นงดอาหารและเครื่องดื่มที่ให้พลังงานทุกชนิด และสามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามที่ต้องการจนถึงเวลาทดสอบ
5. บันทึกอาหารและเครื่องดื่มที่บริโภค รวมทั้งกิจกรรมที่ทำในรอบ 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบครั้งที่ 1 และบริโภคอาหารและเครื่องดื่ม รวมทั้งทำกิจกรรมดังกล่าวในช่วง 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3
6. ในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงได้ทำการบันทึกรอบเดือน และให้มาทำการทดสอบในช่วงเวลา 1-2 สัปดาห์หลังจากหมดประจำเดือน (Follicular phase – Ovulatory phase)
7. มาถึงห้องปฏิบัติการตรงเวลา



ภาพประกอบ 12 การออกแบบการวิจัย

### ขั้นตอนและวิธีการในการทดสอบหลัก (Procedures of the main test)

การทดสอบหลักทั้ง 3 ครั้ง ประกอบด้วย การพายเรือคายัคแบบสปринท์บนเครื่องพายเรือ วัตงาน ระยะทาง 500 เมตร จำนวน 3 รอบ โดยเว้นช่วงพักระหว่างการพายแต่ละรอบ 30 นาที เสมือนการแข่งขันจริง และก่อนการพายรอบที่ 1 และหลังการพายทุกๆ รอบ ทันที กลุ่มตัวอย่างจะดื่มสารละลาย G, H หรือ W ตามที่ได้ทำการสุ่มไว้ และพักอยู่ในบริเวณห้องปฏิบัติการจนกว่าจะจบการทดสอบ (ภาพประกอบ 13)



ภาพประกอบ 13 ขั้นตอนและวิธีการในการทดสอบหลัก

ในการพายเรือคายัคแต่ละรอบเพื่อให้เหมือนการแข่งขันจริง ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างทำการอบอุ่นร่างกายบนเครื่องพายเรือวัดงาน โดยการพายที่ไม่ได้กำหนดความหนัก เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นใช้คำสั่งว่า Attention เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างอยู่ในท่าเตรียมพร้อม และใช้เสียงสัญญาณแตร เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างเริ่มพายอย่างเต็มความสามารถ เมื่อพายจบระยะ กลุ่มตัวอย่างทำการคลายอบอุ่นร่างกายบนเครื่องพายเรือวัดงาน โดยการพายที่ไม่ได้กำหนดความหนัก เป็นเวลา 3 นาที

สารละลายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ G ความเข้มข้น 6% ซึ่งเป็นส่วนผสมของกลูโคส ชนิดผง (เลขที่ อย. 11-156231-1-0001) 6 กรัม ในน้ำเปล่า 100 มิลลิลิตร H ความเข้มข้น 6% ซึ่งประกอบด้วยไฮยาลิبرانซีไฮคลิกเด็กซ์ทริน (หมายเลข CAS 9050-36-6) 6 กรัม ในน้ำเปล่า 100 มิลลิลิตร และ W ซึ่งเป็นน้ำเปล่า (เลขที่ อย. 14-2-00336-2-0002) สารละลายและน้ำเปล่าดังกล่าวจะได้รับการเตรียมตามที่ได้ทำการสุ่มไว้ในเวลาไม่เกิน 60 นาที ก่อนการทดสอบ แล้วนำไปบรรจุในภาชนะที่ปิดและมีฝาปิด และเก็บไว้ในตู้เย็นปกติ เมื่อถึงเวลาทดสอบให้กลุ่มตัวอย่างดื่มสารละลายหรือน้ำเปล่าที่เตรียมไว้ในปริมาตร 5 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม จำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ ก่อนการพายรอบที่ 1 เป็นเวลา 30 นาที และหลังการพายทุกๆ รอบทันที โดยดื่มให้หมดภายในระยะเวลา 3 นาที และในระหว่างการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างสามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามที่ต้องการ โดยผู้วิจัยจะทำการบันทึกปริมาณน้ำที่กลุ่มตัวอย่างดื่มทั้งหมด

ตัวแปรตามสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วย ตัวชี้วัดสมรรถภาพการแข่งขัน ได้แก่ กำลังและระยะเวลาในการแข่งขันเรือคายัคจำลอง ระยะทาง 500 เมตร จำนวน 3 รอบ และตัวแปรทางสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ  $VO_2$  การใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงาน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ การวัดค่าตัวแปรตามดังกล่าวมีรายละเอียด ดังนี้

1. กำลังในการพาย (Power): ทำการบันทึกค่ากำลังเฉลี่ย (วัตต์) ในการพายเรือตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการพายในแต่ละรอบ ซึ่งเป็นผลการคำนวณโดยเครื่องพายเรือวัดงานและมีการแสดงผลเป็นตัวเลข

2. ระยะเวลาในการพาย (Time): ทำการบันทึกระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการพายเรือในแต่ละรอบ (วินาที) แสดงบนหน้าจอของเครื่องพายเรือวัดงาน

3. อัตราการเต้นของหัวใจ (HR): ให้กลุ่มตัวอย่างสวมแถบผ้ายืดที่มีเครื่องติดตามอัตราการเต้นของหัวใจไว้ที่หน้าอก โดยเริ่มตั้งแต่มาถึงห้องปฏิบัติการจนจบการทดสอบในแต่ละครั้ง และทำการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย (ครั้ง/นาที) ในช่วง 30 นาที ก่อนเริ่มพายเรือ

คัยครอบที่ 1 ระหว่างการพายเรือ และในช่วงพัก 30 นาที หลังจากการพายเรือทุกรอบ นอกจากนี้มี การนำค่าอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในระหว่างการพายเรือแต่ละรอบไปคำนวณเป็น % ของ  $HR_{max}$  เพื่อประเมินความหนักของการพายเรือแต่ละรอบด้วย

4. ค่าของตัวแปรทางด้านเมตาบอลิซึมของสารพลังงานในระหว่างการพายเรือ: ให้กลุ่ม ตัวอย่างหายใจผ่านหน้ากากที่ต่อกับเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ ซึ่งได้ทำการปรับค่าให้เป็น มาตรฐาน (Calibration) ไว้แล้วตามคู่มือการใช้งานของเครื่อง แล้วทำการบันทึกค่า  $VO_2$  (ลิตร/ นาที) และค่า RER ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสุดระยะทาง 500 เมตร ในแต่ละรอบ เพื่อนำไปคำนวณค่า ต่างๆ ดังนี้

4.1 ค่า  $VO_2$  ในระหว่างการพายเรือ ( $VO_{2r}$ ): ทำการวัดค่า  $VO_2$  เฉลี่ยตลอดการพายเรือ โดยให้กลุ่มตัวอย่างหายใจผ่านหน้ากากที่ต่อกับเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ ในช่วงเวลาตั้งแต่ เริ่มต้นพายเรือจนถึงสุดระยะทาง 500 เมตร แล้วนำค่า  $VO_2$  ดังกล่าวไปคำนวณเป็น % ของ  $VO_{2max}$  เพื่อประเมินความหนักของการพายเรือในแต่ละรอบ

4.2 การใช้พลังงานในระหว่างการพายเรือ (EE): ทำการคำนวณพลังงานที่ใช้ (กิโล แคลลอรี่) ในระหว่างการพายเรือคัย ระยะทาง 500 เมตร โดยนำค่ากำลังเฉลี่ย (วัตต์) ในระหว่าง การพายเรือแต่ละรอบไปเปลี่ยนเป็นค่า  $VO_2$  (ลิตร/นาที) โดยใช้สูตรความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ( $VO_2$ -Power linear regression) ที่ได้ในขั้นตอนก่อนการทดสอบ จากนั้น นำค่า  $VO_2$  ที่ได้ไปคูณ ด้วยเวลาที่ใช้ในการพายเรือ จะได้ค่า  $VO_2$  ในระหว่างการพายเรือที่มีหน่วยเป็น ลิตร แล้วนำไปคูณ ด้วย 5 เนื่องจาก 1 ลิตร ของออกซิเจนที่ใช้จะได้พลังงาน 5 กิโลแคลลอรี่ (Matthews, Astorino, Crocker, & Sheard, 2022; W. J. Tucker, Angadi, & Gaesser, 2016)

4.3 สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก: ทำการคำนวณ สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิก (%AA) ในระหว่างการพายเรือแต่ละรอบ โดยการนำค่า  $VO_2$  เฉลี่ยที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติไปเทียบกับค่า  $VO_2$  ที่คำนวณได้จากสูตร ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ( $VO_2$ -Power linear regression) และคำนวณสัดส่วนการใช้พลังงาน จากระบบแอนแอโรบิก (%AA) โดยการนำค่า  $VO_2$  เฉลี่ยที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ ไปลบออกจากค่า  $VO_2$  ที่คำนวณได้จากสูตรความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ( $VO_2$ -Power linear regression) แล้วนำผลที่ได้ไปเทียบกับค่า  $VO_2$  ที่คำนวณได้จากสูตรความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ( $VO_2$ -Power linear regression) (Ho et al., 2013)

4.4 สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน: นำค่า RER เฉลี่ยตลอดการพายแต่ละรอบไปคำนวณค่าสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมันโดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (\%CHO)} = [(RER - 0.707) \div 0.293] \times 100$$

$$\text{การออกซิเดชันของไขมัน (\%FAT)} = 100 - [(RER - 0.707) \div 0.293] \times 100$$

(Kuo, Fattor, Henderson, & Brooks, 2005)

5. ค่าตัวแปรทางด้านเมตาบอลิซึมของสารพลังงานในช่วงพักและช่วงฟื้นฟูสภาพหลังจากการพายเร็ว: ให้กลุ่มตัวอย่างหายใจผ่านหน้ากากที่ต่อกับเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ ซึ่งได้ทำการปรับค่าให้เป็นมาตรฐาน (Calibration) ไว้แล้วตามคู่มือการใช้งานของเครื่อง แล้วทำการบันทึกค่า RER เป็นเวลา 5 นาที จำนวน 8 ช่วงเวลา ได้แก่ (1) ก่อนดื่มสารละลาย (2) หลังดื่มสารละลาย 30 นาที หรือก่อนอบอุ่นร่างกายของการพายเร็วรอบที่ 1 (3) หลังการพายรอบที่ 1 ทันที (4) 30 นาทีหลังการพายรอบที่ 1 หรือก่อนอบอุ่นร่างกายของการพายเร็วรอบที่ 2 (5) หลังการพายรอบที่ 2 ทันที (6) 30 นาทีหลังการพายรอบที่ 2 หรือก่อนอบอุ่นร่างกายของการพายเร็วรอบที่ 3 (7) หลังการพายรอบที่ 3 ทันที และ (8) 30 นาทีหลังการพายรอบที่ 3 หลังจากนั้น นำค่า RER ใน 3 นาทีสุดท้าย (จาก 5 นาที) ไปหาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปคำนวณสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{การออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (\%)} = [(RER - 0.707) \div 0.293] \times 100$$

$$\text{การออกซิเดชันของไขมัน (\%)} = 100 - [(RER - 0.707) \div 0.293] \times 100$$

(Kuo et al., 2005)

ทั้งนี้ ผู้วิจัยทำการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และเครื่องวิเคราะห์แก๊สให้มีการทำงานที่สัมพันธ์กัน และทำการปรับระบบการวัดของเครื่องมือ (Calibration) ก่อนการทดสอบทุกครั้ง ได้แก่ ตัววัดปริมาตรการไหลของอากาศ (Flow meter) โดยใช้กระบอกสูบที่มีปริมาตร 3 ลิตร ตัววิเคราะห์ค่าแก๊ส (Gas analyzer) ของเครื่องวิเคราะห์แก๊สอัตโนมัติ โดยใช้แก๊สอ้างอิงที่มีความเข้มข้นของ O<sub>2</sub> 16%, CO<sub>2</sub> 5%, และ N<sub>2</sub> Balance และระบบของเรื่อคัยค์วัดงานตามคู่มือการใช้งานของเครื่อง

6. ระดับกลูโคสในเลือด (BG): ทำการวัดระดับกลูโคสในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร) จำนวน 8 ช่วงเวลา ได้แก่ ก่อนการดื่มสารละลาย ก่อนเริ่มพายเร็วคัยค์รอบที่ 1 หลังการพายเร็วคัยค์ในแต่ละรอบทันที และในช่วงฟื้นฟูสภาพหลังจากการพายเร็วคัยค์แต่ละรอบ 30 นาที โดย

พยาบาลวิชาชีพทำการเจาะเลือดที่บริเวณปลายนิ้วของกลุ่มตัวอย่าง แล้วหยดเลือดลงบนแผ่นทดสอบก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ระดับกลูโคสโดยใช้เครื่องวิเคราะห์กลูโคสชนิดพกพา

7. ระดับแลคเตทในเลือด (BL): ทำการวัดระดับกลูโคสในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร) จำนวน 8 ช่วงเวลา ได้แก่ ก่อนการดื่มสารละลาย ก่อนเริ่มพายเรือคายัครอบที่ 1 หลังการพายเรือคายัคในแต่ละรอบทันที และในช่วงฟื้นฟูสภาพหลังจากการพายเรือคายัคแต่ละรอบ 30 นาที โดยพยาบาลวิชาชีพทำการเจาะเลือดที่บริเวณปลายนิ้วของกลุ่มตัวอย่าง แล้วหยดเลือดลงบนแผ่นทดสอบก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ระดับแลคเตทโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แลคเตทชนิดพกพา

8. ความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ (USG): ทำการวัดความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ จำนวน 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ก่อนการดื่มสารละลาย และ 30 นาที หลังจากการพายเรือคายัครอบที่ 3 โดยให้กลุ่มตัวอย่างนำปัสสาวะในช่วงกลางของการปัสสาวะ ปริมาตร 40 มิลลิลิตร บรรจุในกระปุกเก็บตัวอย่างปัสสาวะ แล้วผู้วิจัยนำตัวอย่างปัสสาวะดังกล่าวไปวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะชนิดพกพา

#### การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาตรวจสอบความถูกต้อง ครบถ้วน และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS (IBM SPSS Statistics Version 19) ในการวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ในขั้นตอนก่อนการทดสอบและขั้นตอนการทดสอบหลัก โดยใช้ Descriptive statistic และรายงานผลเป็นค่า  $\bar{X} \pm S.D.$

2. วิเคราะห์ความแตกต่างของ ค่าตัวแปรด้านสมรรถภาพการแข่งขัน (ได้แก่ กำลังและเวลาในการพายเรือคายัค) ในการพายเรือแต่ละรอบ และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา (ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ค่า  $VO_2$  การใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ระดับกลูโคสในเลือด และระดับแลคเตทในเลือด) ที่วัดในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้สถิติ One-way Analysis of Variance (ANOVA) with Repeated Measures

3. วิเคราะห์ความแตกต่างของ ค่าตัวแปรด้านสมรรถภาพการแข่งขัน (ได้แก่ กำลังและเวลาในการพายเรือคายัค ในการพายแต่ละรอบ) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา (ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ค่า  $VO_2$  การใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกและระบบแอนแอโรบิก สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ระดับกลูโคสในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด และความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะ) ที่วัดในแต่ละ

ช่วงเวลา) หลังจากการบริโภคเครื่องดื่มแต่ละชนิด โดยใช้สถิติ Three-way Analysis of Variance (ANOVA) with Repeated Measures ตามรูปแบบของ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยมีปัจจัยเกี่ยวข้องคือ กลุ่มตัวอย่างแต่ละคน เครื่องดื่ม และเวลาที่ประเมินค่าตัวแปร (Subject\*Solution\*Time)

4. วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความถ่วงจำเพาะของบัสสาวะ ก่อนและหลังการทดสอบ เมื่อมีการบริโภคเครื่องดื่มแต่ละชนิด โดยใช้สถิติ Paired Samples T-test และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างเครื่องดื่มในแต่ละช่วงเวลาโดยใช้สถิติ One-way Analysis of Variance (ANOVA) with Repeated Measures

5. วิเคราะห์ความแตกต่างเป็นรายคู่ (Post Hoc) เมื่อใช้สถิติ ANOVA โดยใช้วิธี Bonferroni

6. กำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

ผลการวิจัยในครั้งนี้มีลักษณะเป็นการบรรยาย ตาราง และภาพประกอบ โดยมีการรายงานค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง
2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ออกซิเจนและกำลังในการพายเรือ (VO<sub>2</sub>-Power linear regression)
3. ผลของการบริโภคน้ำเปล่า สารละลายไฮยาลูรอนซึไฮคลิดเด็กซ์ทริน และสารละลายกลูโคสที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง
4. ผลของการบริโภคน้ำเปล่า สารละลายไฮยาลูรอนซึไฮคลิดเด็กซ์ทริน และสารละลายกลูโคสที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา

#### ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

นักกีฬาเรือคายัคที่เข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ด้วยความสมัครใจ และทำการทดสอบครบทุกรายการ มีจำนวน 12 คน เป็นเพศชาย จำนวน 6 คน (ร้อยละ 50) และหญิง จำนวน 6 คน (ร้อยละ 50) ทุกคนมีสุขภาพดี ไม่มีการเจ็บป่วยเรื้อรัง รวมทั้งไม่มีการใช้ยา การบริโภคอาหารเสริม การสูบบุหรี่ และการดื่มแอลกอฮอล์เป็นประจำ

กลุ่มตัวอย่างมีช่วงอายุ 18-30 ปี ดัชนีมวลกาย 20.04-26.85 กิโลกรัม/เมตร<sup>2</sup> ไขมันในร่างกาย 10.6-24.7% อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก 61-87 ครั้ง/นาที อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (HR<sub>max</sub>) 172-197 ครั้ง/นาที ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO<sub>2max</sub>) 2.53-4.24 ลิตร/นาที หรือ 41.35-56.69 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที และมีประสบการณ์ในการพายเรือคายัค 4-24 ปี โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) ของข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไป	กลุ่มตัวอย่าง		
	เพศชาย (6 คน)	เพศหญิง (6 คน)	รวม (12 คน)
อายุ (ปี)	23.00±6.57	18.33±2.07	20.67±5.25
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร <sup>2</sup> )	23.72±1.94	21.71±1.45	22.71±1.94
ไขมันในร่างกาย (%)	16.07±4.52	22.25±2.21	19.16±4.68
อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (ครั้ง/นาที)	71.00±8.17	68.67±5.57	69.83±6.78
อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (ครั้ง/นาที)	180.80±6.10	184.20±9.20	182.50±7.58
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด			
ลิตร/นาที	3.51±0.38	2.78±0.27	3.14±0.49
มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที	50.32±4.53	50.25±5.71	50.28±4.91
ประสบการณ์ในการพายเรือคายัค (ปี)	11.00±7.10	8.00±2.45	9.50±5.30

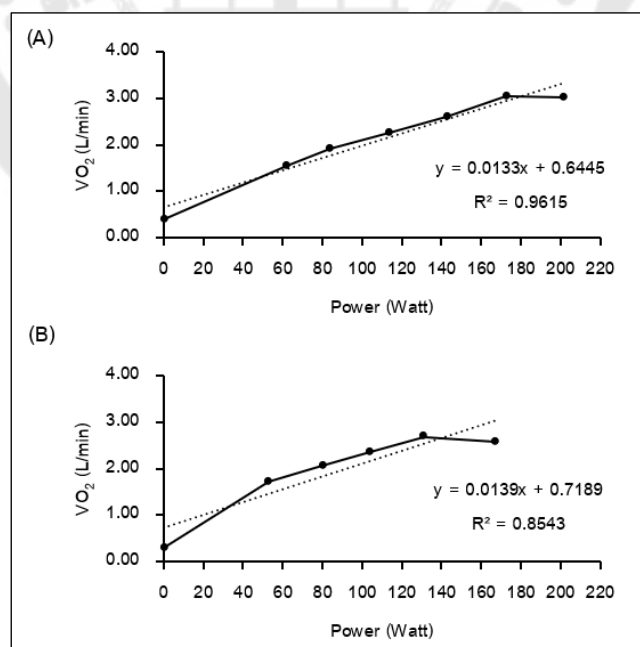
**ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ออกซิเจนและกำลังในการพายเรือ (VO<sub>2</sub>-Power linear regression)**

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ออกซิเจน (VO<sub>2</sub>) และกำลัง (Power) ในช่วง 1 นาทีสุดท้ายของการพายเรือก่อนเพิ่มความหนักในแต่ละชั้น (VO<sub>2</sub>-Power linear regression) ในช่วงของการทดสอบค่า VO<sub>2max</sub> ในกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนมีสูตรดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 สูตรความสัมพันธ์ VO<sub>2</sub>-Power linear regression ของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างคนที่	VO <sub>2</sub> -Power linear regression	กลุ่มตัวอย่างคนที่	VO <sub>2</sub> -Power linear regression
1	$y = 0.0180x + 0.7217$	7	$y = 0.0139x + 0.7189$
2	$y = 0.0206x + 0.5551$	8	$y = 0.0157x + 0.5627$
3	$y = 0.0178x + 0.6045$	9	$y = 0.0181x + 0.7144$
4	$y = 0.0131x + 0.9921$	10	$y = 0.0196x + 0.7247$
5	$y = 0.0173x + 0.6521$	11	$y = 0.0158x + 0.5856$
6	$y = 0.0133x + 0.6445$	12	$y = 0.0216x + 0.5712$

สูตรดังกล่าวมีการนำไปใช้เพื่อหาค่า VO<sub>2</sub> สำหรับคำนวณการใช้พลังงานของกลุ่มตัวอย่างแต่ละคน ในขั้นตอนของการทดสอบหลัก ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าเฉลี่ยของ VO<sub>2</sub> และ Power ในช่วงของการทดสอบเพื่อหาค่า VO<sub>2max</sub> ของกลุ่มตัวอย่างมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 ตัวอย่าง VO<sub>2</sub>-Power linear regression ของกลุ่มตัวอย่างชาย (A) และกลุ่มตัวอย่างหญิง (B)

ผลของการบริโภคน้ำเปล่า สารละลายไฮยัลิبرانซ์ไซคลิกเด็กซ์ทริน และสารละลาย  
กลูโคสที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง

ระยะเวลาในการพาย

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของระยะเวลาในการพายเรือคยัค รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ของกลุ่มตัวอย่าง ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮยัลิبرانซ์ไซคลิกเด็กซ์ทริน (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง

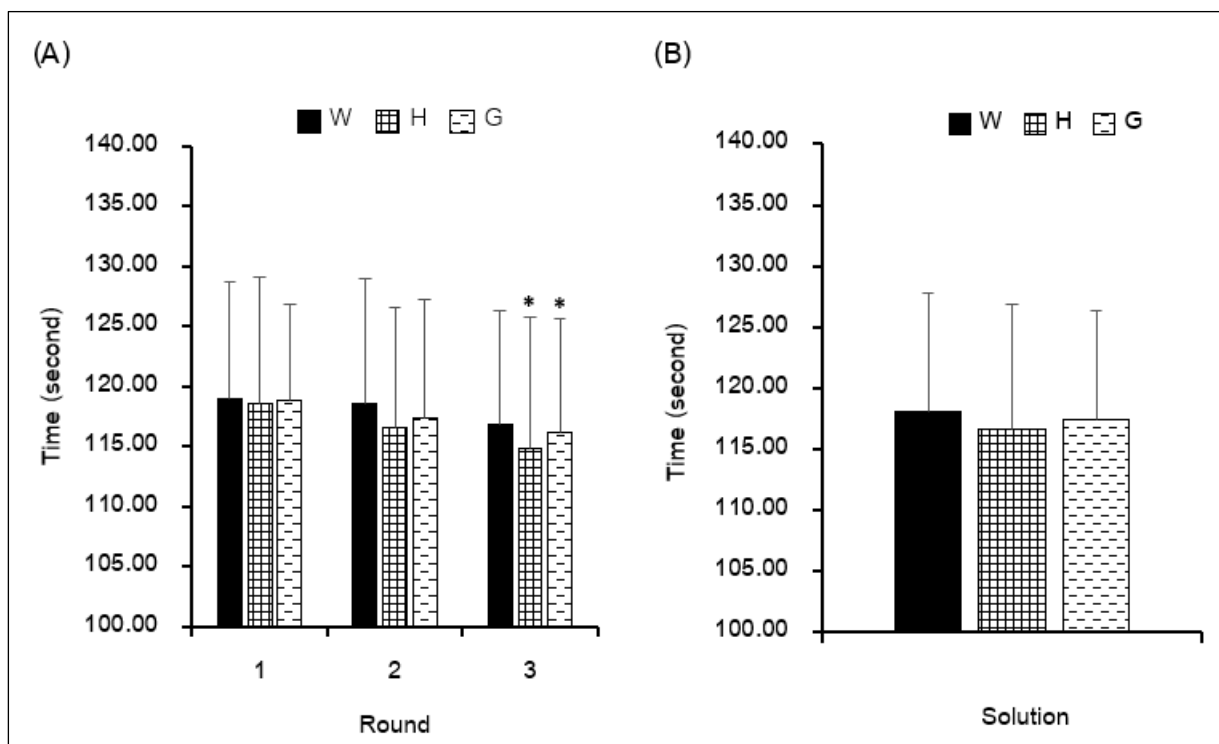
ตาราง 6 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของระยะเวลาในการพายเรือคยัค (วินาที) ของกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องดื่ม	รอบของการพาย		
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
W	118.94±9.35 (105-137)	118.62±9.91 (105-135)	116.83±9.12 (101-130)
H	118.52±10.09 (105-135)	116.51±9.59 (102-132)	114.81±10.45 (100-132)
G	118.78±7.72 (105-134)	117.43±9.41 (103-131)	116.13±9.10 (102-130)

อักษรย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮยัลิبرانซ์ไซคลิกเด็กซ์ทริน, G = สารละลายกลูโคส

การเปรียบเทียบระหว่างรอบของการพาย (ภาพประกอบ 15(A)) พบว่า ในสภาวะที่บริโภค W ระยะเวลาในการพาย รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสภาวะที่บริโภค H และ G ระยะเวลาในการพาย รอบที่ 3 (H; 116.83±9.53 วินาที, G; 116.13±9.50 วินาที) น้อยกว่าการพายรอบที่ 1 (H; 118.94±9.76 วินาที, G; 118.78±8.06 วินาที) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (H รอบที่ 1 vs. รอบที่ 3;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.498$ ,  $F = 10.917$ , G รอบที่ 1 vs. รอบที่ 3;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.431$ ,  $F = 8.346$ )

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องดื่ม (ภาพประกอบ 15(B)) พบว่า ระยะเวลาในการพายโดยรวมของทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่บริโภค W (118.13±9.64 วินาที) H (116.61±10.31 วินาที) และ G (117.44±8.96 วินาที) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพประกอบ 15 การเปรียบเทียบ (A) ระยะเวลาในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่บริเวณเครื่องตีแต่ละชนิด และ (B) ระยะเวลาในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮยัลูรอนซึไฮคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และ สารละลายกลูโคส (G)

สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในเครื่องตีชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 1 และรอบที่ 3 ที่  $p < 0.05$

### กำลังเฉลี่ยในการพาย

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของกำลังเฉลี่ยในระหว่างการพายเรือคยัค รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ของกลุ่มตัวอย่าง ในสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮยัลูรอนซึไฮคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 7

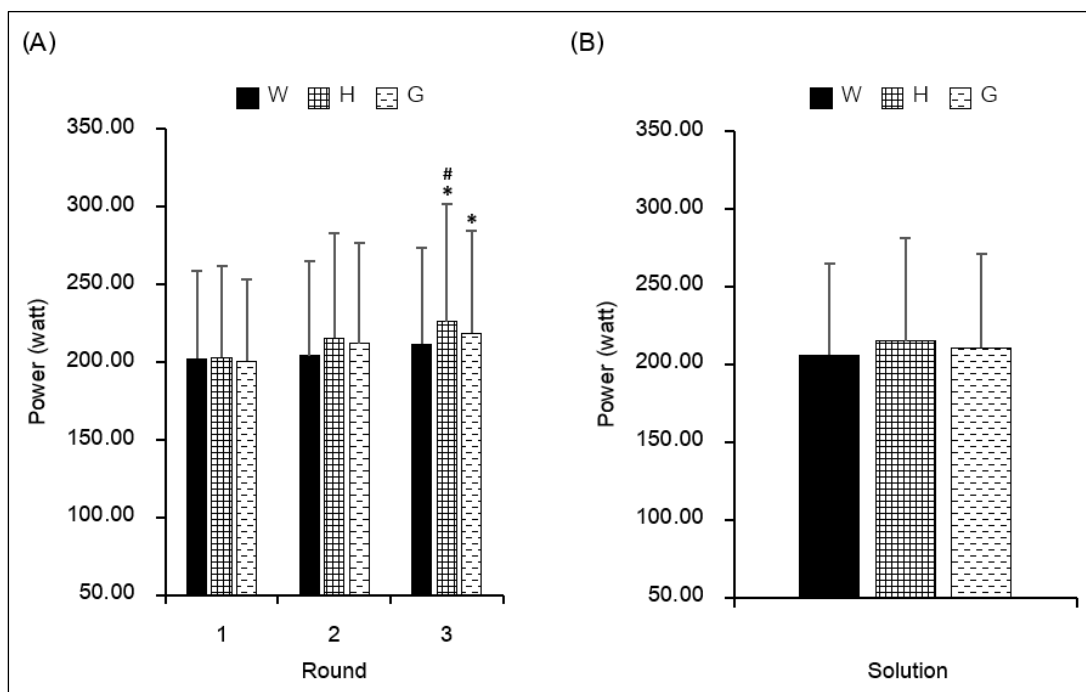
ตาราง 7 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของกำลังเฉลี่ย (วัตต์) ในระหว่างการพ่ายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องตี	รอบของการพ่าย		
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
W	202.20±54.46 (105-296)	203.98 ±58.17 (117-293)	211.45 ±59.71 (133-331)
H	202.87 ±56.53 (117-296)	215.43 ±64.95 (128-325)	225.93 ±72.70 (126-354)
G	200.64 ±50.62 (120-308)	211.75 ±62.06 (130-316)	218.70 ±63.38 (134-327)

อักษรย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮยาลูรอนที่ไซคลิกเด็กซ์ทริน, G = สารละลายกลูโค

การเปรียบเทียบระหว่างรอบของการพ่าย (ภาพประกอบ 16(A)) พบว่า ในสภาวะที่บริเวณ W กำลังเฉลี่ยในการพ่าย รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสภาวะที่บริเวณ H กำลังเฉลี่ยในการพ่าย รอบที่ 3 (225.93±75.93 วัตต์) สูงกว่าการพ่ายรอบที่ 1 (202.87±59.05 วัตต์) และรอบที่ 2 (215.43±67.83 วัตต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รอบที่ 3 vs. รอบที่ 1 และรอบที่ 3 vs. รอบที่ 2;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.515$ ,  $F = 11.662$ ) ส่วนในสภาวะที่บริเวณ G กำลังเฉลี่ยในการพ่าย รอบที่ 3 (218.70±66.20 วัตต์) สูงกว่าการพ่ายรอบที่ 1 (200.64±52.87 วัตต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ,  $EF = 0.451$ ,  $F = 9.018$ )

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องตี (ภาพประกอบ 16(B)) พบว่า กำลังเฉลี่ยในการพ่ายโดยรวมของทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่บริเวณ W (205.88±58.45 วัตต์) H (214.74±66.67 วัตต์) และ G (210.36±60.27 วัตต์) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพประกอบ 16 การเปรียบเทียบ (A) กำลังเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่บริเวณเครื่องตีแต่ละชนิด และ (B) กำลังเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮยัลิبرانซีไคคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และ สารละลายกลูโคส (G)

สัญลักษณ์\* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญภายในเครื่องตีชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 1 และรอบที่ 3 ที่  $p < 0.05$ ; # หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในเครื่องตีชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 2 และรอบที่ 3 ที่  $p < 0.05$

### ผลของการบริเวณน้ำเปล่า สารละลายไฮยัลิبرانซีไคคลิกเด็กซ์ทรีน และสารละลายกลูโคสที่มีต่อตัวแปรทางสรีรวิทยา

#### อัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างการพายเรือ

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในระหว่างการพายเรือคยัค รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ของกลุ่มตัวอย่าง ในสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮยัลิبرانซีไคคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และ สารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ย (ครั้ง/นาที) ในระหว่างการพายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง

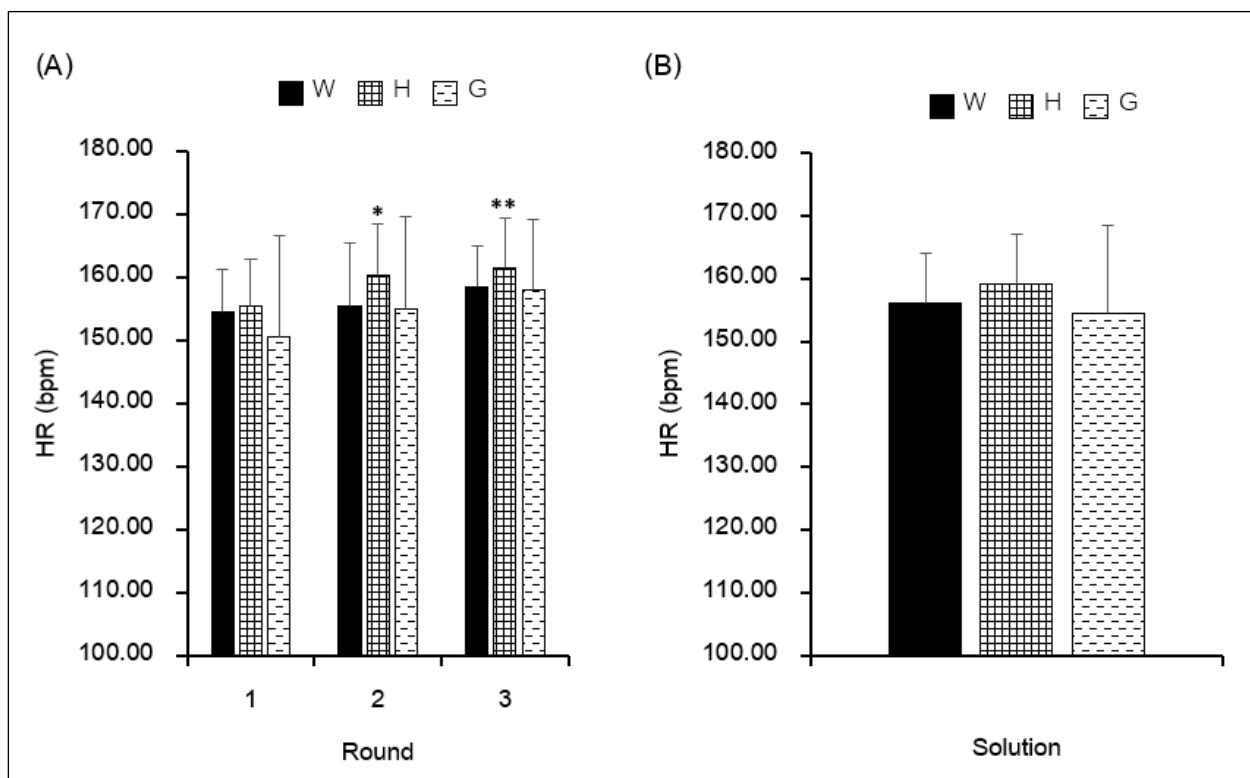
เครื่องเดิม	รอบของการพาย		
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
W	154.52±6.80 (142-162)	155.36±10.01 (139-180)	158.56±6.46 (144-167)
H	155.40±7.54 (143-167)	160.35±8.05 (146-174)	161.41±8.13 (149-172)
G	150.61±16.03 (101-162)	154.98±14.68 (121-174)	157.97±11.17 (128-170)

อักษรย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮยาลูรอนที่ไซคลิกเด็กซ์ทรีน, G = สารละลายกลูโคส

การเปรียบเทียบระหว่างรอบของการพาย (ภาพประกอบ 17(A)) พบว่า ในสภาวะที่บริเวณ W และ G อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพาย รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสภาวะที่บริเวณ H อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพาย รอบที่ 1 (155.40±7.54 ครั้ง/นาที) ต่ำกว่าการพายรอบที่ 2 (160.35±8.05 ครั้ง/นาที) และรอบที่ 3 (161.41±8.13 ครั้ง/นาที) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รอบที่ 1 vs. รอบที่ 2;  $p < 0.05$ , รอบที่ 1 vs. รอบที่ 3;  $p < 0.01$ ,  $EF = 0.769$ ,  $F = 36.581$ )

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องเดิม (ภาพประกอบ 17(B)) พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพายโดยรวมของทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่บริเวณ W (156.15±7.89 ครั้ง/นาที) H (159.05±8.13 ครั้ง/นาที) และ G (154.52±14.04 ครั้ง/นาที) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในระหว่างการพายเรือของกลุ่มตัวอย่างแต่ละคน เมื่อนำไปเทียบกับ  $HR_{max}$  ของกลุ่มตัวอย่างคนนั้นๆ พบว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{x} \pm S.D.$ ) ของอัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในระหว่างการพายเรือ รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ในสภาวะที่บริเวณ W อยู่ที่ 83.33±5.05, 83.75±3.62 และ 81.00±8.12 % $HR_{max}$  ในสภาวะที่บริเวณ H อยู่ที่ 83.92±5.79, 86.42±3.53 และ 83.42±7.46 % $HR_{max}$  และในสภาวะที่บริเวณ G อยู่ที่ 85.50±3.97, 86.92±3.94 และ 85.17±5.70 % $HR_{max}$  ตามลำดับ โดยมี % $HR_{max}$  รวมของการพายทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่บริเวณ W, H และ G อยู่ที่ 82.69±5.86, 84.58±5.81 และ 85.86±4.50 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 17 การเปรียบเทียบ (A) อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่บริเวณเครื่องตีแต่ละชนิด และ (B) อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรไลซ์คอลลาเจน (H) และสารละลายกลูโคส (G) สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในเครื่องตีชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 1 และรอบที่ 2 ที่  $p < 0.05$ , \*\* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในเครื่องตีชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 1 และรอบที่ 3 ที่  $p < 0.01$

### ปริมาณการใช้ออกซิเจนในระหว่างการพายเรือ

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในระหว่างการพายเรือคยัค รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ของกลุ่มตัวอย่าง ในสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรไลซ์คอลลาเจน (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ย (ลิตร/นาที) ในระหว่างการพายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องตี	รอบของการพาย		
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
W	2.66±0.50 (1.77-3.56)	2.82±.50 (1.90-3.56)	2.86±0.49 (2.06-3.77)
H	2.81±0.45 (2.24-3.56)	2.93±0.49 (2.29-3.73)	2.91±0.55 (2.29-3.86)
G	2.77±0.38 (2.28-3.63)	2.83±0.42 (2.37-3.59)	2.84±0.54 (1.98-3.69)

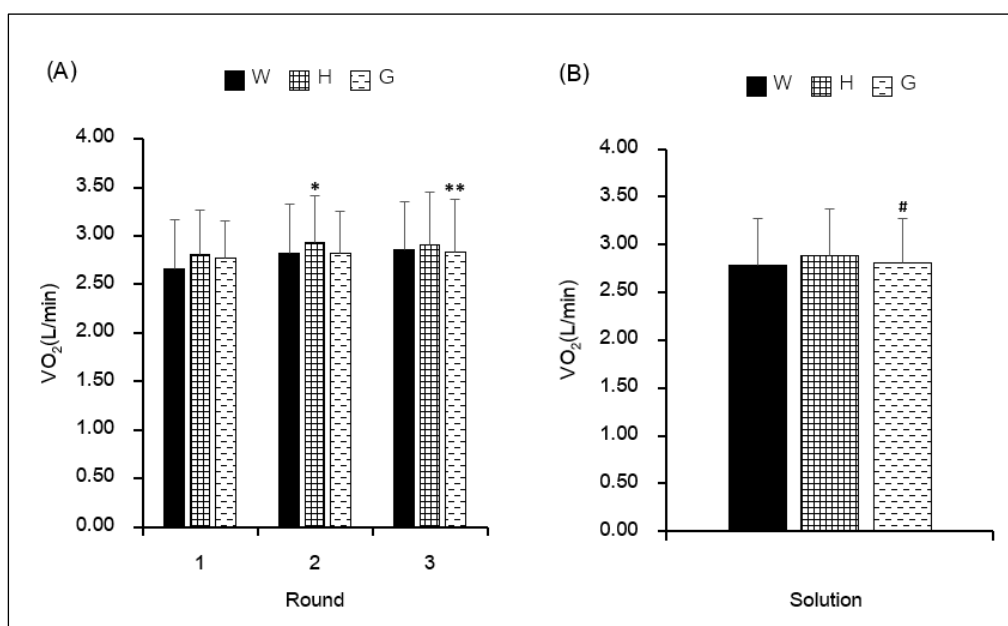
อักษรย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮยาลูรอนที่ไซคลิกเด็กซ์ทริน, G = สารละลายกลูโคส

การเปรียบเทียบระหว่างรอบของการพาย (ภาพประกอบ 18(A)) พบว่า ในสภาวะที่บริเวณ W ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในการพาย รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสภาวะที่บริเวณ H ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในการพาย รอบที่ 2 (2.93±0.49 ลิตร/นาที) สูงกว่าการพายรอบที่ 1 (2.81±0.45 ลิตร/นาที) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.01$ ,  $EF=0.267$ ,  $F=4.006$ ) และในสภาวะที่บริเวณ G ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในการพาย รอบที่ 3 (2.84±0.54 ลิตร/นาที) สูงกว่าการพายรอบที่ 1 (2.77±0.38 ลิตร/นาที) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ,  $EF=0.442$ ,  $F=8.709$ )

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องตี (ภาพประกอบ 18(B)) พบว่า ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในการพายโดยรวมของทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่บริเวณ W (2.70±0.49 ลิตร/นาที) กับ H (2.81±0.49 ลิตร/นาที) และกับ G (2.65±0.46 ลิตร/นาที) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่สภาวะที่บริเวณ H กับ G มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p<0.05$  ( $EF=0.283$ ,  $F=4.337$ )

ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในระหว่างการพายเรือของกลุ่มตัวอย่างแต่ละคน เมื่อนำไปเทียบกับ  $VO_{2max}$  ของกลุ่มตัวอย่างคนนั้นๆ พบว่า ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X}\pm S.D.$ ) ของปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในระหว่างการพายเรือ รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ในสภาวะที่บริเวณ W อยู่ที่ 84.67±8.82, 89.67±8.11 และ 91.80±7.62 % $VO_{2max}$  ในสภาวะที่บริเวณ H อยู่ที่ 89.67±6.51, 93.33±7.81 และ 92.42±8.98 % $VO_{2max}$  และในสภาวะที่บริเวณ G อยู่ที่ 87.42±9.33, 90.17±7.48 และ 91.25±9.07 % $VO_{2max}$  ตามลำดับ โดยมี % $VO_{2max}$  รวมของ

การพายทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่ปริมาตร W, H และ G อยู่ที่  $88.47 \pm 8.44$ ,  $91.81 \pm 7.77$  และ  $89.61 \pm 8.94$  ตามลำดับ



ภาพประกอบ 18 การเปรียบเทียบ (A) ปริมาณการใช้ออกซิเจนเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่ปริมาตรเครื่องตีแต่ละชนิด และ (B) ปริมาณการใช้ ออกซิเจนเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่ปริมาตรน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮยาลูรอนไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในเครื่องตีชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 1 และ 2 ที่  $p < 0.05$ , \*\* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องตีชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 1 และ 3 ที่  $p < 0.05$ , # หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเครื่องตี H และ G ที่  $p < 0.05$

### การใช้พลังงานในระหว่างการพายเรือ

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของการใช้พลังงานในระหว่างการพายเรือคยัค รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ของกลุ่มตัวอย่าง ในสภาวะที่ปริมาตรน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮยาลูรอนไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 10

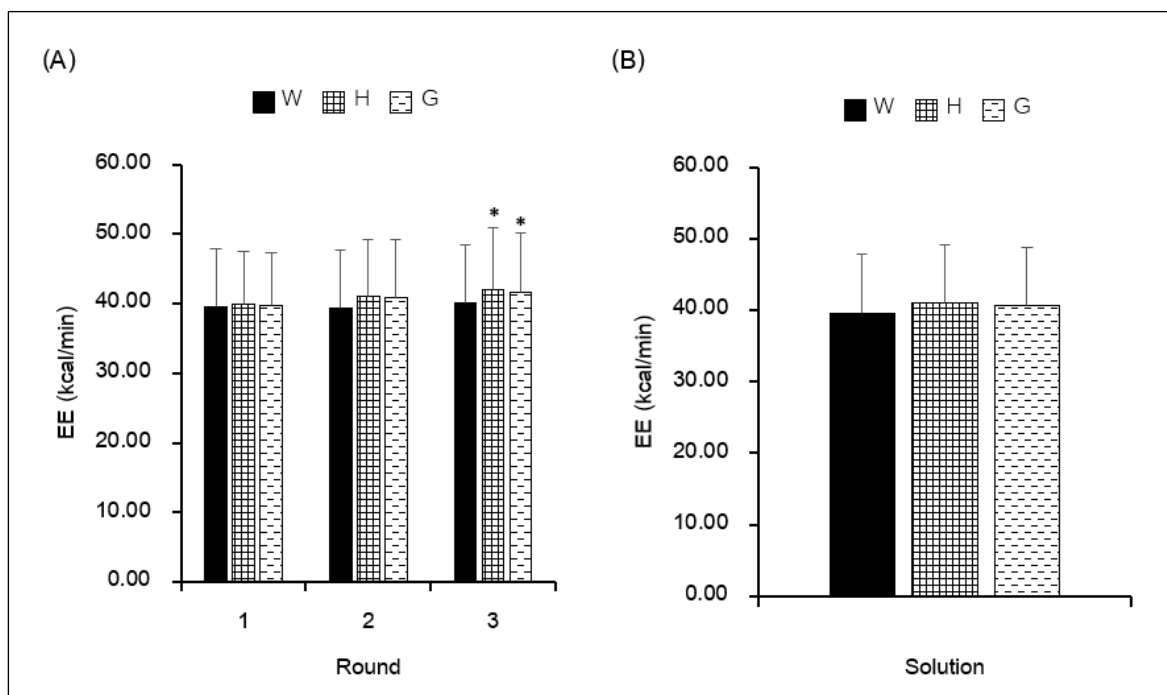
ตาราง 10 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของการใช้พลังงาน (กิโลแคลอรี) ในการพายเรือคายัคของกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องตี๋ม	รอบของการพาย		
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3
W	39.53±8.40 (26-53)	39.31±8.49 (27-55)	40.05±8.47 (29-55)
H	39.86±7.75 (29-52)	41.03±8.27 (29-54)	41.94±9.01 (30-57)
G	39.80±7.51 (28-54)	40.85±8.40 (29-55)	41.57±8.61 (29-57)

อักษรย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮโดรไลซิสของข้าวสาลี, G = สารละลายกลูโคส

การเปรียบเทียบระหว่างรอบของการพาย (ภาพประกอบ 19(A)) พบว่า ในสภาวะที่บริเวณ W การใช้พลังงานในการพายเรือ รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสภาวะที่บริเวณ H และ G การใช้พลังงานในการพายเรือรอบที่ 3 (H; 41.94±9.01 กิโลแคลอรี, G; 41.57±8.61 กิโลแคลอรี) สูงกว่าการพายรอบที่ 1 (H; 39.86±7.75 กิโลแคลอรี, G; 39.80±7.51 กิโลแคลอรี) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (H รอบที่ 1 vs. รอบที่ 3;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.529$ ,  $F = 12.333$ , G รอบที่ 1 vs. รอบที่ 3;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.434$ ,  $F = 8.451$ )

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องตี๋ม (ภาพประกอบ 19(B)) พบว่า การใช้พลังงานในการพายเรือโดยรวมของทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่บริเวณ W (39.63±8.21 แคลอรี) H (40.94±8.16 แคลอรี) และ G (40.74±7.99 แคลอรี) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพประกอบ 19 การเปรียบเทียบ (A) การใช้พลังงานในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างรอบของการพายในสภาวะที่ปริมาตรเครื่องดื่มแต่ละชนิด และ (B) การใช้พลังงานในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่ปริมาตรน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรไลซิสโปรตีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)

สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกันระหว่างการพายรอบที่ 1 และรอบที่ 3 ที่  $p < 0.05$

### สัดส่วนของระบบพลังงานในระหว่างการพายเรือ

เมื่อให้การใช้พลังงานในระหว่างการพายเรือคยัค 500 เมตร ในแต่ละรอบเป็น 100% พบว่า การพายเรือทุกรอบมีการใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิก (AN) ในสัดส่วนที่สูงกว่าระบบแอโรบิก (AE) โดยมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบดังกล่าวในระหว่างการพายเรือคยัค รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ของกลุ่มตัวอย่าง ในสภาวะที่ปริมาตรน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรไลซิสโปรตีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิก และระบบแอนแอโรบิก (%) ในระหว่างการพายเรือคีย์คอกของกลุ่มตัวอย่าง

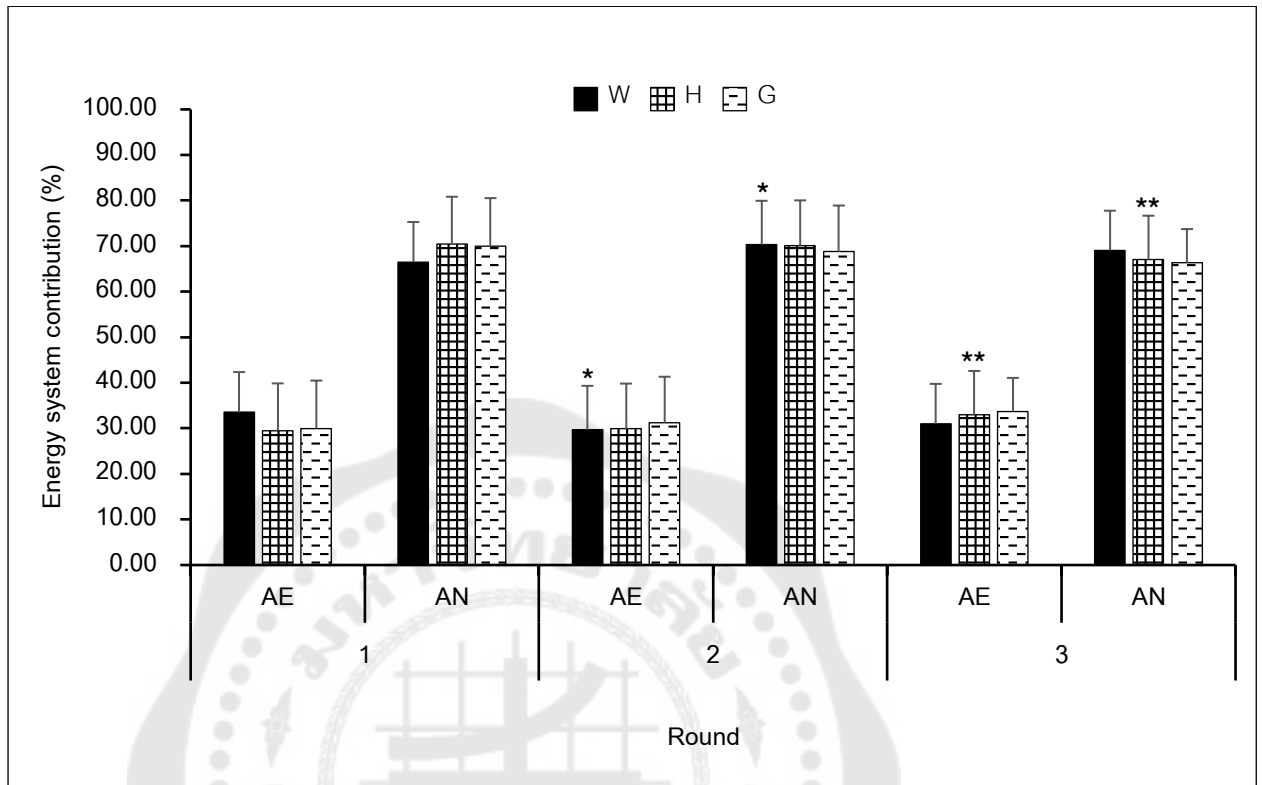
เครื่องตี๋ม	รอบของการพาย					
	รอบที่ 1		รอบที่ 2		รอบที่ 3	
	AE	AN	AE	AN	AE	AN
W	33.53±8.82 (21-48)	66.47±8.82 (52-79)	29.69±9.63 (17-42)	70.31±9.63 (58-83)	31.00±8.77 (17-42)	69.00±8.77 (58-83)
H	29.52±10.35 (8-44)	70.48±10.35 (56-92)	29.90±9.93 (10-45)	70.10±9.93 (55-90)	32.96±9.63 (17-54)	67.04±9.63 (46-83)
G	29.98±10.51 (8-46)	70.02±10.51 (54-92)	31.21±10.11 (10-48)	68.79±10.11 (52-90)	33.67±7.40 (21-48)	66.33±7.40 (52-79)

อักษรย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮยัลิรอนซึ่ไซคลิกเด็คซ์ทริน, G = สารละลายกลูโคส

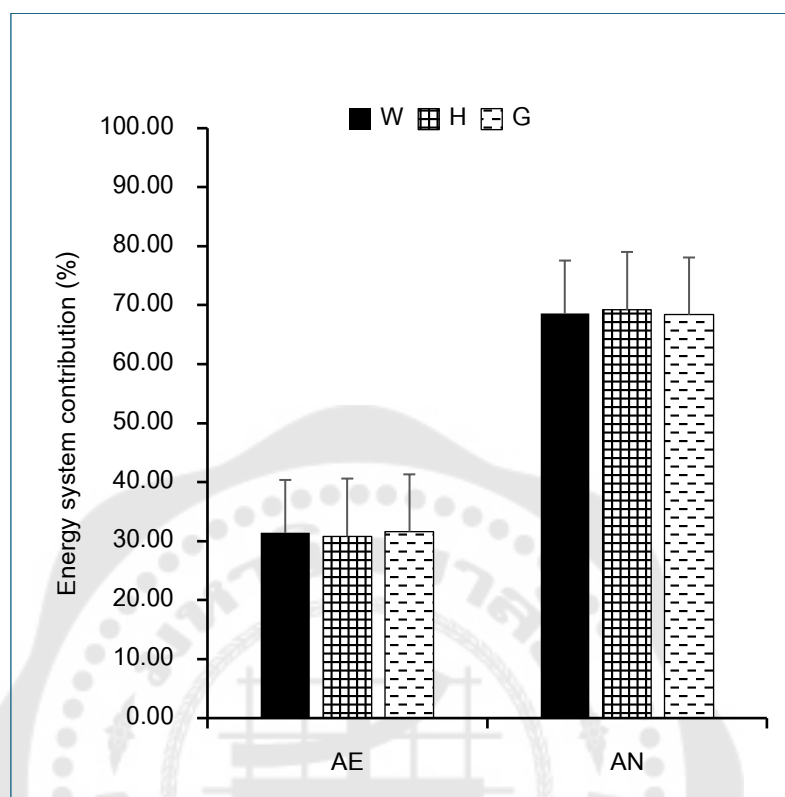
การเปรียบเทียบระหว่างรอบของการพาย (ภาพประกอบ 7) พบว่า ในสภาวะที่ปริมาตร W สัดส่วนการใช้พลังงานจาก AE ในระหว่างการพายเรือรอบที่ 1 (33.53±8.82%) สูงกว่าการพายรอบที่ 2 (29.69±9.63%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ,  $EF = 0.245$ ,  $F = 3.562$ ) ส่วนในสภาวะที่ปริมาตร H สัดส่วนการใช้พลังงานจาก AE ในระหว่างการพายเรือรอบที่ 3 (32.96±9.63%) สูงกว่าการพายรอบที่ 1 (29.52±10.35%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ,  $EF = 0.466$ ,  $F = 9.615$ ) ขณะที่ในสภาวะที่ปริมาตร G สัดส่วนการใช้พลังงานจาก AE ในระหว่างการพายเรือรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องตี๋ม (ภาพประกอบ 8) พบว่า สัดส่วนการใช้พลังงานจาก AE ในระหว่างการพายเรือโดยรวมของทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่ปริมาตร W (31.41±8.97%) H (30.79±9.81%) และ G (31.62±9.70%) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรอบของการพาย (ภาพประกอบ 20) และระหว่างชนิดของเครื่องตี๋ม (ภาพประกอบ 21) สัดส่วนการใช้พลังงานจาก AN มีความแตกต่างทางสถิติคล้ายกับ สัดส่วนการใช้พลังงานจาก AE



ภาพประกอบ 20 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิก (AE) และแอนแอโรบิก (AN) ในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างการพายเรือคยัค รอบที่ 1, 2 และ 3 ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรคลอริก (H) และสารละลายกลูโคส (G) สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของ AE และ AN ภายในเครื่องมือชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 1 และ 2 ที่  $p < 0.05$ , \*\* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของ AE และ AN ภายในเครื่องมือชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 1 และ 3 ที่  $p < 0.05$



ภาพประกอบ 21 การเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอโรบิก (AE) และแอนแอโรบิก (AN) ในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)

### สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมันในระหว่างการพายเรือ

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (%CHO) และไขมัน (%FAT) ในระหว่างการพายเรือคยัค รอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ของกลุ่มตัวอย่าง ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน (%) ในระหว่างการรักษาโรคภัยเรื้อรังของกลุ่มตัวอย่าง

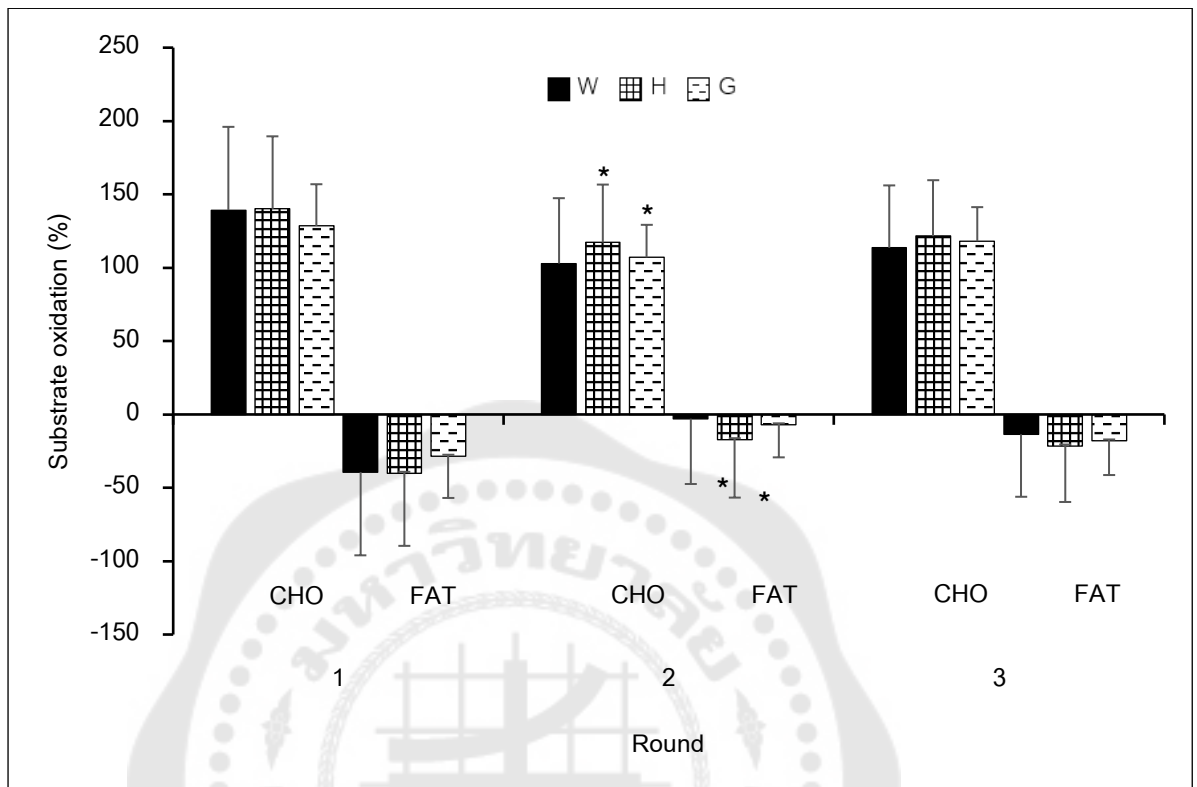
เครื่องหมาย	รอบของการพยาย					
	รอบที่ 1		รอบที่ 2		รอบที่ 3	
	CHO	FAT	CHO	FAT	CHO	FAT
W	139.33±56.69 (58-238)	-39.33±56.69 (-138-42)	102.91±44.51 (47-193)	-2.91±44.51 (-93-53)	113.56±42.56 (49-195)	-13.56±42.56 (-95-51)
H	140.11±49.46 (58-215)	-40.11±49.46 (-115-42)	117.18±39.50 (69-203)	-17.18±39.50 (-103-31)	121.52±38.14 (78-199)	-21.52±38.14 (-99-22)
G	128.46±28.46 (82-180)	-28.46±29.72 (-80-18)	107.06±22.18 (61-146)	-7.06±23.16 (-46-39)	118.03±23.27 (86-152)	-18.03±24.30 (-52-14)

ตัวย่อ CHO = คาร์โบไฮเดรต, FAT = ไขมัน, W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์, G = สารละลายกลูโคส

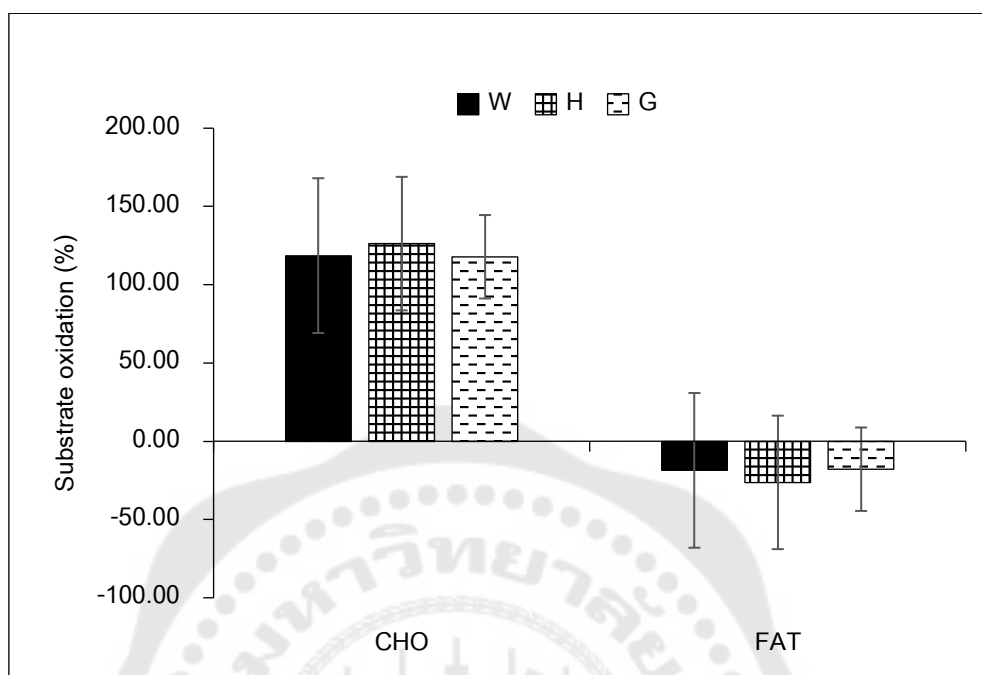
G = สารละลายกลูโคส

การเปรียบเทียบระหว่างรอบของการพาย (ภาพประกอบ 22) พบว่า ในสภาวะที่ปริมาตร W และ H %CHO ในระหว่างการพายเรือรอบที่ 1 (W;  $139.33 \pm 56.69\%$ , H;  $140.11 \pm 49.46\%$ ) สูงกว่าการพายรอบที่ 2 (W;  $102.91 \pm 44.51\%$ , H;  $117.18 \pm 39.50\%$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (W รอบที่ 1 vs. รอบที่ 2;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.338$ ,  $F = 5.611$ , H รอบที่ 1 vs. รอบที่ 2;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.328$ ,  $F = 5.369$ ) ส่วนในสภาวะที่ปริมาตร G %CHO ในระหว่างการพายเรือรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องตี (ภาพประกอบ 23) พบว่า %CHO ในระหว่างการพายเรือโดยรวมของทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่ปริมาตร W ( $118.60 \pm 49.42\%$ ) H ( $126.27 \pm 42.64\%$ ) และ G ( $117.85 \pm 26.65\%$ ) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การเปลี่ยนแปลงของ %FAT เป็นไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับ %CHO แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างรอบของการพาย (ภาพประกอบ 22) และระหว่างชนิดของเครื่องตี (ภาพประกอบ 23) %FAT มีความแตกต่างทางสถิติที่คล้ายกับ %CHO



ภาพประกอบ 22 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (CHO) และไขมัน (FAT) ในการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างการพายเรือคยัค รอบที่ 1, 2 และ 3 ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลิบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของสัดส่วนการออกซิเดชันของ CHO และ FAT ภายในเครื่องมือชนิดเดียวกัน ระหว่างการพายรอบที่ 1 และ 2 ที่  $p < 0.05$



ภาพประกอบ 23 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (CHO) และไขมัน (FAT) ในการพายเรือคยัค 500 เมตร รวม 3 รอบ ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรไลสคาร์โบไฮเดรต (H) และสารละลายกลูโคส (G)

### สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมันขณะพัก

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (%CHO) ในช่วงพัก 30 นาที หลังจากการพาย รอบที่ 1 รอบที่ 2 รอบที่ 3 และในช่วงฟื้นฟูสภาพหลังจากการทดสอบ 30 นาที ของกลุ่มตัวอย่าง ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรไลสคาร์โบไฮเดรต (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 13

ตาราง 13 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (%) ขณะพักของกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องดื่ม	รอบของการพาย							
	ก่อนทดสอบ	หลังดื่ม1	หลังพาย1	หลังดื่ม2	หลังพาย2	หลังดื่ม3	หลังพาย3	หลังพัก30นาที
W	40.27±25.77	40.27±14.37	156.03±29.09	7.00±16.66	151.19±29.93	-2.96±20.21	136.41±30.22	-6.09±26.93
	(4-86)	(15-59)	(110-199)	(-16-35)	(83-192)	(-40-28)	(97-209)	(-47-25)
H	43.40±21.16	65.30±20.10	168.26±35.11	19.23±21.89	158.59±43.22	14.96±20.24	166.27±35.66	-3.53±23.71
	(11-90)	(32-90)	(117-237)	(-16-59)	(59-219)	(-13-49)	(97-226)	(-54-39)
G	56.20±19.89	58.48±13.35	148.63±33.53	13.54±20.35	159.44±35.45	16.10±19.08	151.19±24.49	5.01±23.01
	(22-93)	(32-80)	(103-213)	(-19-56)	(86-213)	(-16-45)	(107-192)	(-33-39)

อักษรย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 3%, G = สารละลายกลูโคส

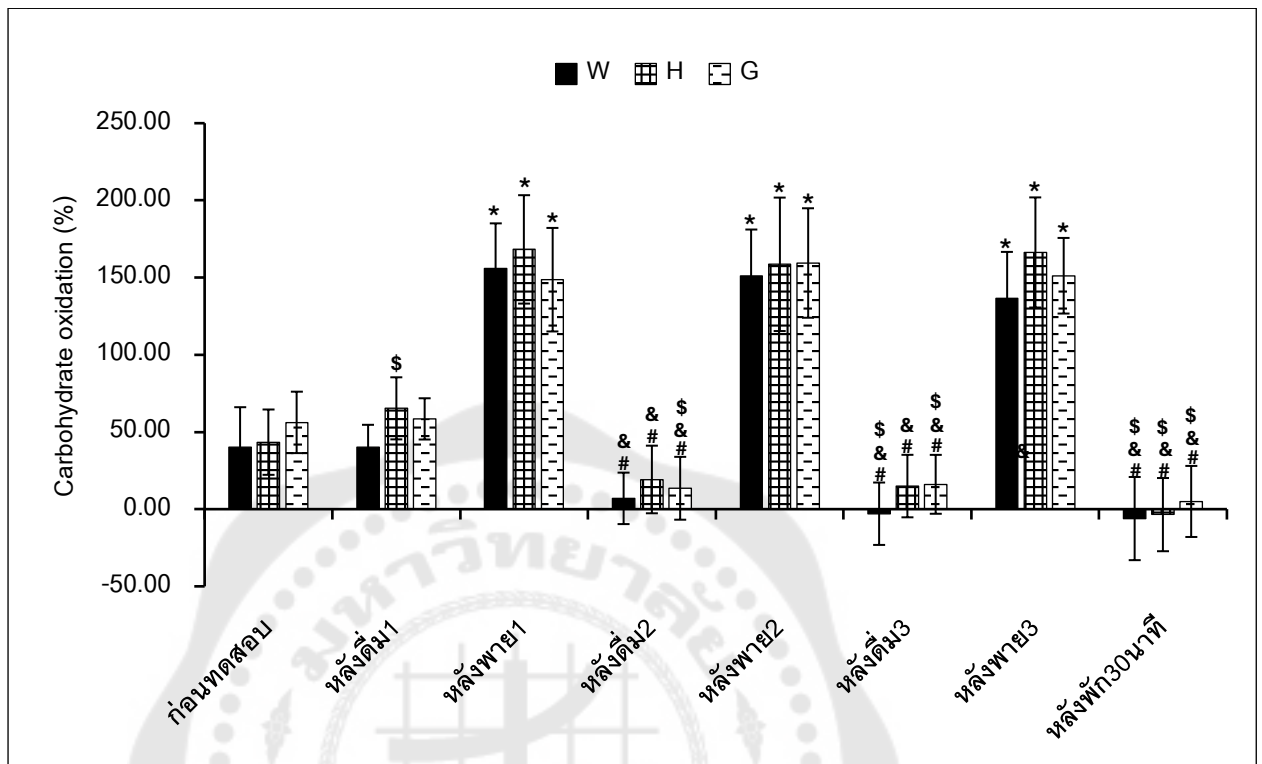
ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของสัดส่วนการออกซิเดชันของไขมัน (% FAT) ในช่วงพัก 30 นาที หลังจากการพาย รอบที่ 1 รอบที่ 2 รอบที่ 3 และในช่วงฟื้นฟูสภาพหลังจากการทดสอบ 30 นาที ของกลุ่มตัวอย่าง ในสถานะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 3% (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของสัดส่วนการออกซิเดชันของไขมัน (%) ขณะพักของกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องดื่ม	รอบของการพาย							
	ก่อนทดสอบ	หลังดื่ม1	หลังพาย1	หลังดื่ม2	หลังพาย2	หลังดื่ม3	หลังพาย3	หลังพัก30นาที
W	59.73±25.77	59.73±14.37	-	93.00±16.66	-51.19±29.93	102.96±20.21	-36.41±30.22	106.09±26.93
	(14-96)	(41-85)	(-99-(-10))	(65-116)	(-92-17)	(72-140)	(-109-3)	(75-147)
H	56.60±21.16	34.70±20.10	-	80.77±21.89	-58.59±43.22	85.04±20.24	-66.27±35.66	103.53±23.71
	(10-89)	(10-68)	(-137-(-17))	(41-116)	(-119-41)	(51-113)	(-126-3)	(61-154)
G	43.80±19.89	41.52±13.35	-	86.46±20.35	-59.44±35.45	83.90±19.08	-51.19±24.49	94.09±23.01
	(7-78)	(20-68)	(-113-(-3))	(44-119)	(-113-14)	(55-116)	(-92-(-7))	(61-133)

ตัวย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 3%, G = สารละลายกลูโคส

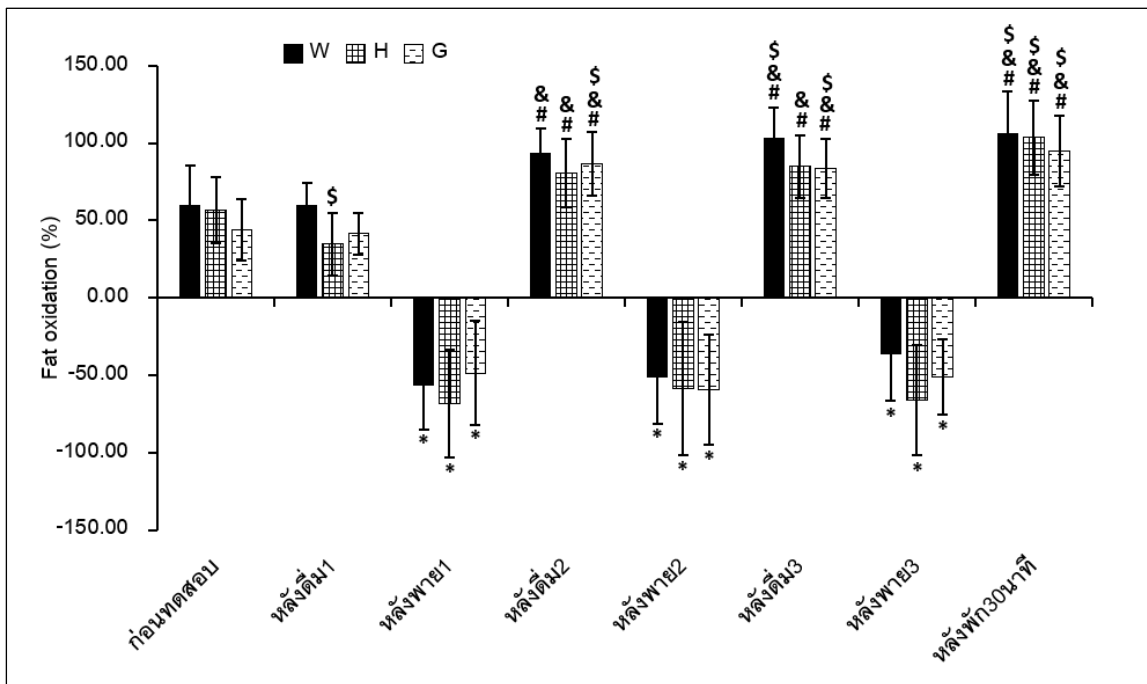
การเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาที่ทำการวัด (ภาพประกอบ 24) พบว่า %CHO ในช่วงพักหลังจากการพายทุกรอบในทั้ง 3 สภาวะ มีค่าสูงกว่าก่อนการพายในรอบนั้น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในสภาวะที่บริโศค W %CHO หลังพาย1 vs. หลังตี้ม1 หลังพาย2 vs. หลังตี้ม2 และ หลังพาย3 vs. หลังตี้ม3 มี  $p < 0.001$  (EF=0.173, F=2.297) ในสภาวะที่บริโศค H %CHO หลังพาย1 vs. หลังตี้ม1 หลังพาย2 vs. หลังตี้ม2 และ หลังพาย3 vs. หลังตี้ม3 มี  $p < 0.001$  (EF=0.247, F=3.614) และในสภาวะที่บริโศค G %CHO หลังพาย1 vs. หลังตี้ม1 หลังพาย2 vs. หลังตี้ม2 และ หลังพาย3 vs. หลังตี้ม3 มี  $p < 0.001$  (EF=0.344, F=5.775) และในทั้ง 3 สภาวะ %CHO ในช่วงฟื้นฟูสภาพหลังจากการทดสอบ 30 นาที มีค่าต่ำกว่าก่อนการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (หลังพัก 30 นาที vs. ก่อนการทดสอบ W;  $p < 0.001$ , H และ G;  $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ ในสภาวะที่บริโศค H %CHO ก่อนการพายเร็วรอบที่ 1 มีค่าสูงกว่าก่อนการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (หลังตี้ม1 vs. ก่อนทดสอบ;  $p < 0.05$ )



ภาพประกอบ 24 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตขณะพัก ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)

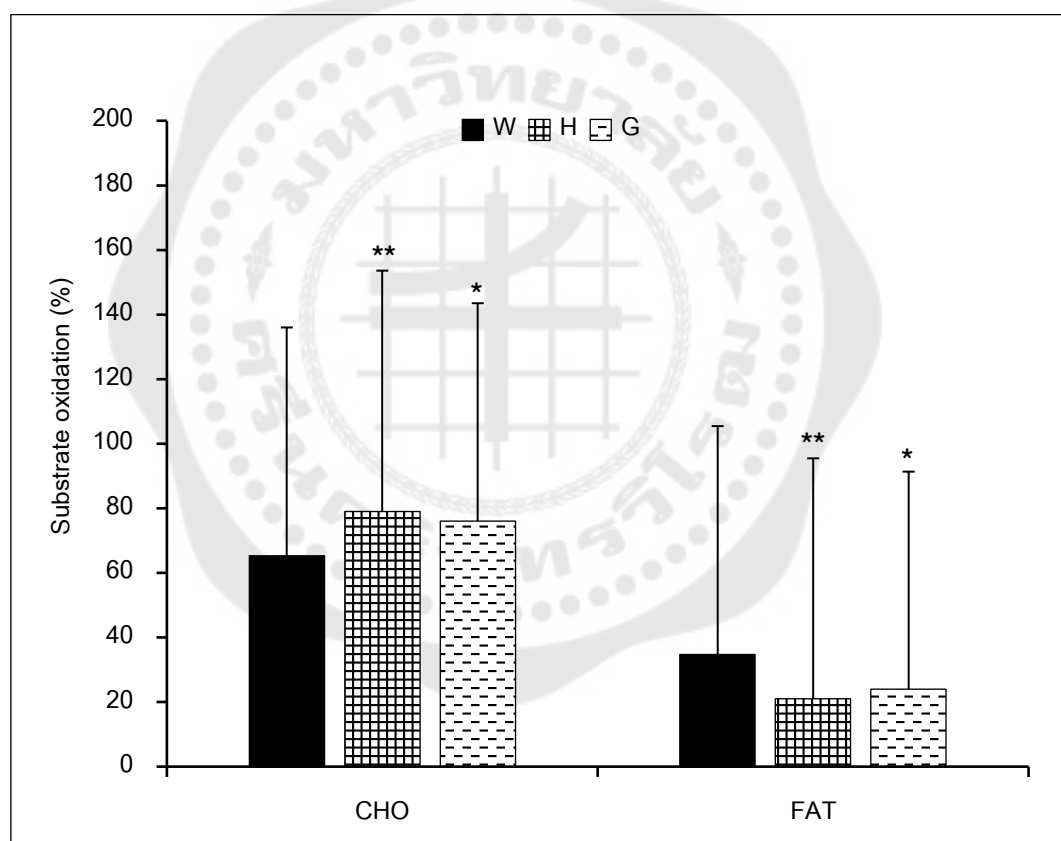
สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังดื่มกับหลังพายในรอบเดียวกัน ที่  $p < 0.001$ , # หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังพายกับหลังดื่มในรอบถัดไปและหลังพัก30นาที ที่  $p < 0.001$ , & มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังดื่ม 1 กับหลังดื่ม2 และหลังดื่ม3 ที่  $p < 0.01$ , § มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างก่อนทดสอบ กับหลังดื่ม1 หลังดื่ม2 หลังดื่ม3 และหลังพัก30นาที ที่  $p < 0.05$

การเปลี่ยนแปลงของ %FAT เป็นไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของ %CHO โดยพบความแตกต่างทางสถิติระหว่างช่วงเวลาที่ทำกรวัดดังแสดงใน ภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของไขมันขณะพัก ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลิบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังดื่มกับหลังพายในรอบเดียวกัน ที่  $p < 0.001$ , # หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังพายกับหลังดื่มในรอบถัดไป ที่  $p < 0.001$ , & มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังดื่ม 1 กับหลังดื่ม 2 และหลังดื่ม 3 ที่  $p < 0.01$ , § มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างก่อนทดสอบ กับหลังดื่ม 1 หลังดื่ม 2 หลังดื่ม 3 และหลังพัก 30 นาที ที่  $p < 0.05$

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องดื่ม (ภาพประกอบ 26) พบว่า %CHO และ %FAT ขณะพักโดยรวมทุกช่วงเวลา ในสภาวะที่บริโภค H (%CHO  $79.6 \pm 74.53$ , %FAT  $20.54 \pm 74.53$ ) และ G (%CHO  $76.07 \pm 67.42$ , %FAT  $23.93 \pm 67.42$ ) มีค่าสูงกว่าในสภาวะที่บริโภค W (%CHO  $65.27 \pm 70.72$ , %FAT  $34.73 \pm 70.72$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (%CHO H vs. W;  $p < 0.01$ , G vs. W;  $p < 0.05$ , EF=0.439, F=8.622, (%FAT H vs. W;  $p < 0.01$ , G vs. W;  $p < 0.05$ , EF=0.439, F=8.622) ขณะที่ %CHO ในสภาวะที่บริโภค H และ G ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพประกอบ 26 การเปรียบเทียบสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (CHO) และไขมัน (FAT) โดยรวมทุกช่วงเวลาขณะพัก ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิก เด็กซ์ทริน (H) และสารละลายกลูโคส (G) สัญลักษณ์ \* และ \*\* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่บริโภค W ที่  $p < 0.05$  และ  $p < 0.01$  ตามลำดับ

### ระดับกลูโคสในเลือด

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของระดับกลูโคสในเลือดของกลุ่มตัวอย่างที่ทำกรวัดในช่วงเวลาต่างๆ ในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮยัลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของระดับกลูโคสในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร) ของ

กลุ่มตัวอย่าง

เครื่อง ดื่ม	รอบของการพ่าย							
	ก่อนทดสอบ	หลังดื่ม1	หลังพ่าย1	หลังดื่ม2	หลังพ่าย2	หลังดื่ม3	หลังพ่าย3	หลังพัก30นาที
W	84.42±7.18	89.92±7.83	100.42±10.61	88.25±9.62	92.67±10.68	81.42±5.18	97.25±6.69	80.25±6.70
	(69-94)	(77-103)	(84-118)	(73-102)	(75-111)	(73-88)	(87-110)	-70.93
H	88.42±11.05	127.25±22.	92.00±15.97	125.42±9.28	100.33±12.37	115.42±10.5	98.17±19.03	120.17±11.14
	(76-119)	(78-156)	(56-117)	(113-141)	(80-126)	(99-136)	(73-147)	(96-139)
G	83.42±5.78	114.92±17.	88.67±10.01	122.75±23.1	99.83±18.84	116.08±8.66	92.25±16.79	119.58±15.15
	(72-97)	(82-149)	(73-106)	(77-156)	(59-121)	(102-134)	(57-124)	(88-143)

อักษรย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮยัลิبرانซีไซคลิกเด็กซ์ทรีน, G = สารละลายกลูโคส

การเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาที่ทำการวัด (ภาพประกอบ 27) พบว่า ในสภาวะที่บริเวณ W กลูโคสในเลือดหลังการพายเรือ รอบที่ 1 (หลังพาย1;  $100.42 \pm 10.61$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) และรอบที่ 3 (หลังพาย3;  $97.25 \pm 6.69$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) มีระดับที่สูงกว่าก่อนทดสอบ ( $84.42 \pm 7.18$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (หลังพาย1 vs. ก่อนทดสอบ และหลังพาย3 vs. ก่อนทดสอบ;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.168$ ,  $F = 2.219$ ) และกลูโคสในเลือดหลังการทดสอบ 30 นาที มีระดับที่ไม่แตกต่างจากก่อนการทดสอบ

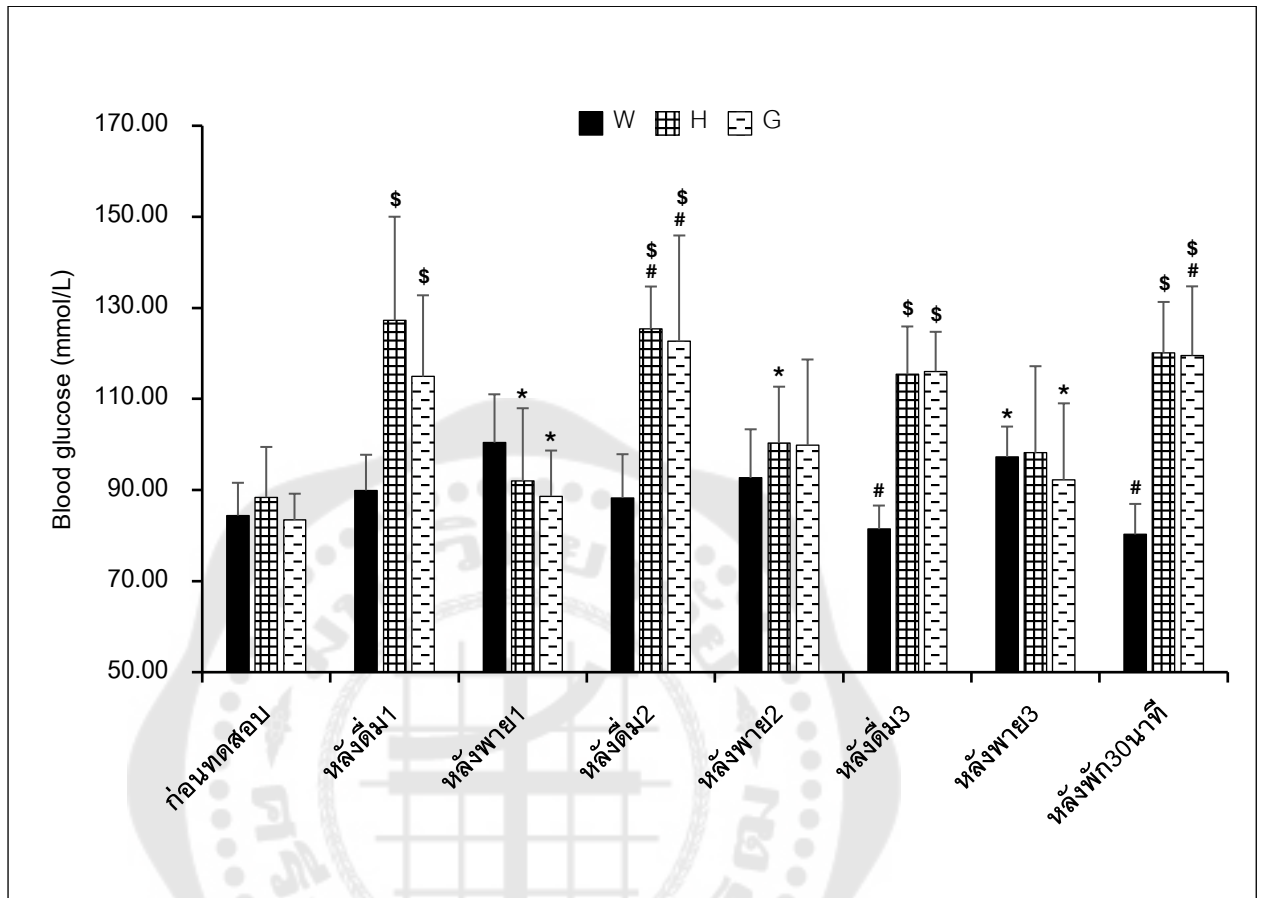
ในสภาวะที่บริเวณ H กลูโคสในเลือดก่อนการทดสอบ ( $88.42 \pm 11.05$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) และหลังการพายเรือ รอบที่ 1 ( $92.00 \pm 15.97$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) มีค่าต่ำกว่าหลังการบริเวณ ครั้งที่ 1, 2, 3 และหลังการทดสอบ 30 นาที (หลังตี้ม1;  $127.25 \pm 22.78$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร, หลังตี้ม2;  $125.42 \pm 9.28$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร, หลังตี้ม3;  $115.42 \pm 10.51$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร และหลังพัก30นาที;  $120.17 \pm 11.14$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ก่อนทดสอบ vs. หลังตี้ม1;  $p < 0.05$ , ก่อนทดสอบ vs. หลังตี้ม2;  $p < 0.01$ , ก่อนทดสอบ vs. หลังตี้ม3 และหลังพัก30นาที;  $p < 0.001$ ; และหลังพาย1 vs. หลังตี้ม1, หลังพาย1 vs. หลังตี้ม3 และหลังพาย1 vs. หลังพัก30นาที ;  $p < 0.05$ , หลังพาย1 vs. หลังตี้ม2;  $p < 0.001$ ;  $EF = 0.457$ ,  $F = 9.252$ ) กลูโคสในเลือดหลังการพายเรือ รอบที่ 2 (หลังพาย2;  $100.33 \pm 12.37$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) มีระดับที่ต่ำกว่าหลังการบริเวณ ครั้งที่ 1, 2 และหลังการทดสอบ 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (หลังพาย2 vs. หลังตี้ม1 และหลังพาย2 vs. หลังพัก30นาที;  $p < 0.05$ , หลังพาย2 vs. หลังตี้ม2;  $p < 0.01$ ) นอกจากนี้ กลูโคสในเลือดหลังการพายเรือ รอบที่ 3 (หลังพาย3;  $115.42 \pm 10.51$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) มีระดับที่ต่ำกว่าหลังการบริเวณ ครั้งที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (หลังพาย3 vs. หลังตี้ม2;  $p < 0.05$ )

ในสภาวะที่บริเวณ G กลูโคสในเลือดก่อนการทดสอบ ( $83.42 \pm 5.78$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) และหลังการพายเรือ รอบที่ 1 ( $88.67 \pm 10.01$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) มีค่าต่ำกว่าหลังการบริเวณ ครั้งที่ 1, 2, 3 และหลังการทดสอบ 30 นาที (หลังตี้ม1;  $114.92 \pm 17.85$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร, หลังตี้ม2;  $122.75 \pm 23.16$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร, หลังตี้ม3;  $116.08 \pm 8.66$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร และหลังพัก30นาที;  $119.58 \pm 15.15$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ก่อนทดสอบ vs. หลังตี้ม1, ก่อนทดสอบ vs. หลังพัก30นาที;  $p < 0.01$ , ก่อนทดสอบ vs. หลังตี้ม2;  $p < 0.05$ , ก่อนทดสอบ vs. หลังตี้ม3;  $p < 0.001$ ; หลังพาย1 vs. หลังตี้ม 3;  $p < 0.001$ , หลังพาย1 vs. หลังตี้ม1, หลังพาย1 vs. หลังตี้ม2 และหลังพาย1 vs. หลังพัก30นาที;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.469$ ,  $F = 9.710$ ) นอกจากนี้ กลูโคสใน

เลือดหลังการพายเรือ รอบที่ 3 ( $92.25 \pm 16.79$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) มีระดับที่ต่ำกว่า หลังการบริโภคครั้งที่ 3 และหลังการทดสอบ 30 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

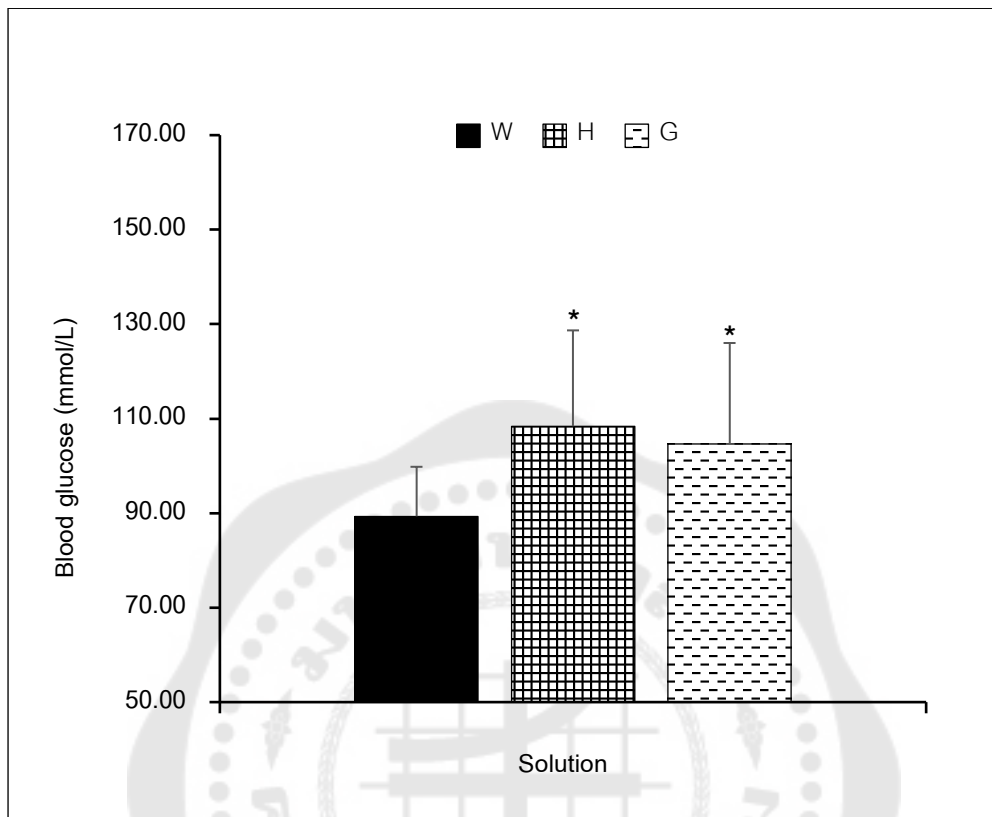
การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องดื่ม (ภาพประกอบ 28) พบว่า กลูโคสในเลือดโดยรวมของทุกช่วงเวลาที่ทำกรวัด ในสภาวะที่บริโภค H ( $108.40 \pm 20.29$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) และ G ( $104.69 \pm 21.33$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) มีระดับที่สูงกว่าสภาวะที่บริโภค W ( $89.32 \pm 10.49$  มิลลิกรัม/เดซิลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (H vs. W และ G vs. W;  $p < 0.001$ ,  $EF = 0.841$ ,  $F = 58.309$ ) ขณะที่ระดับกลูโคสในเลือดโดยรวมของทุกช่วงเวลาที่ทำกรวัดในสภาวะที่บริโภค H และ G ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ





ภาพประกอบ 27 การเปรียบเทียบระดับกลูโคสในเลือดก่อนและหลังการพายเรือคยัค 500 เมตร ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H) และสารละลายกลูโคส (G)

สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังดื่มกับหลังพายในรอบเดียวกัน ที่  $p < 0.05$ , # หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังพายกับหลังดื่มในรอบถัดไป ที่  $p < 0.05$ , \$ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน ระหว่างก่อนทดสอบ กับหลังดื่ม1 หลังดื่ม2 หลังดื่ม3 และหลังพัก30นาที ที่  $p < 0.05$



ภาพประกอบ 28 การเปรียบเทียบระดับกลูโคสในเลือดรวมทุกช่วงเวลาระหว่างสถานะที่บริโภค น้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทริน (H) และสารละลายกลูโคส (G) สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะที่บริโภค W ที่  $p < 0.001$

### ระดับแลคเตทในเลือด

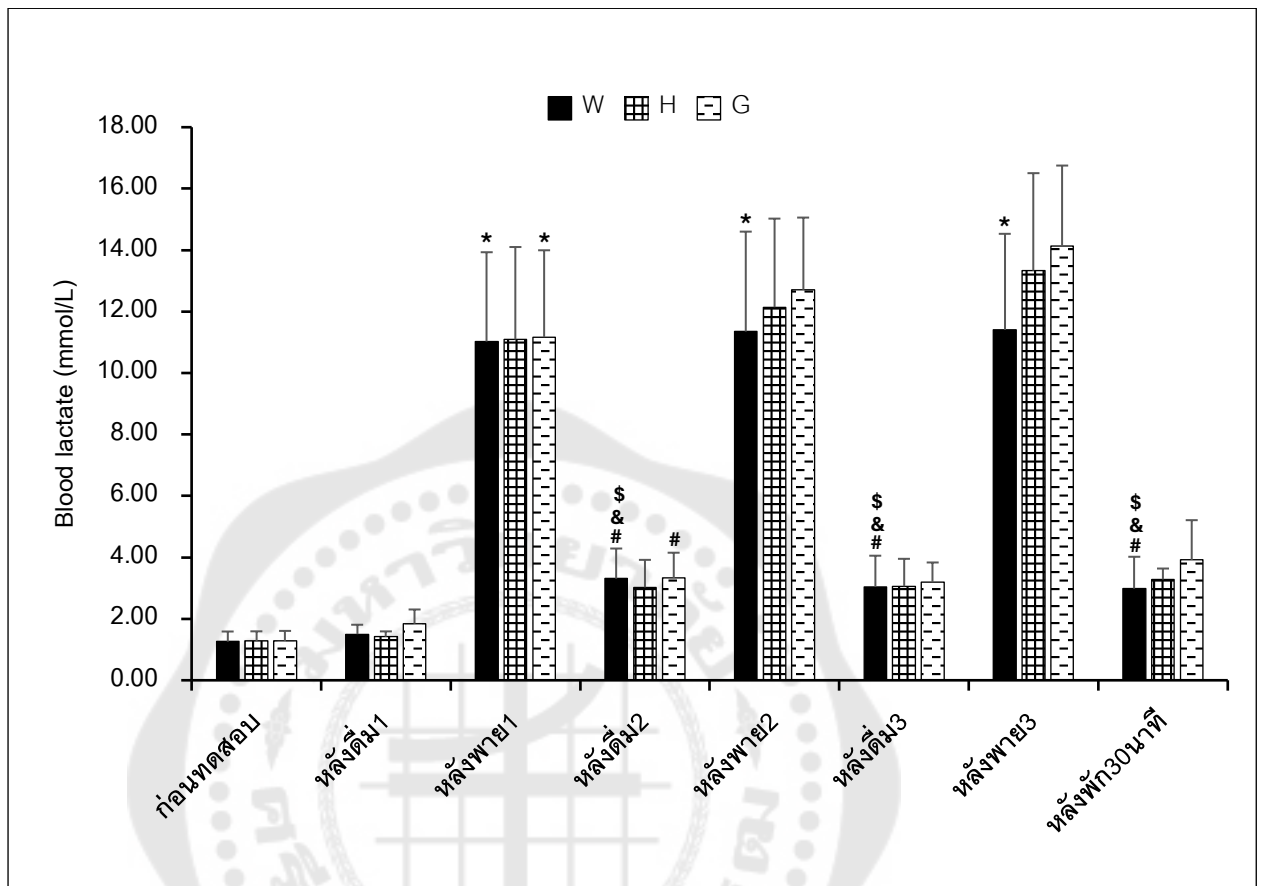
ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของระดับแลคเตทในเลือดของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการวัดในช่วงเวลาต่างๆ ในสถานะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลีสบรานไซคลิกเด็กซ์ทริน (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 16

ตาราง 16 ค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของระดับแคลเซียมในเลือด (มิลลิโมลลิตร) ของกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องวัด	รอบของการพาย							
	ก่อนทดสอบ	หลังดื่ม1	หลังพาย1	หลังดื่ม2	หลังพาย2	หลังดื่ม3	หลังพาย3	หลังพัก30นาที
W	1.26±0.33	1.50±0.31	11.03±2.91	3.31±0.98	11.35±3.25	3.04±1.01	11.41±3.12	2.98±1.04
	(0.8-2.1)	(1.2-2.3)	(5.2-14.5)	(2.1-5.2)	(6.2-15.5)	(1.7-5.6)	(6.9-15.6)	(1.9-5.3)
H	1.28±0.31	1.42±0.17	11.09±3.01	3.03±0.89	12.14±2.88	3.06±0.89	13.33±3.17	3.28±0.35
	(0.9-1.8)	(1.1-1.6)	(6.5-15.4)	(2.0-4.6)	(8.1-18.8)	(1.5-4.9)	(8-17.4)	(2.6-4)
G	1.28±0.32	1.84±0.46	11.17±2.83	3.33±0.82	12.71±2.35	3.19±0.64	14.13±2.63	3.92±1.29
	(0.9-1.9)	(1.1-2.6)	(6.8-15.2)	(2.1-4.6)	(9.0-16.6)	(2.2-4.2)	(9.2-17.8)	(1.8-5.9)

ตัวย่อ W = น้ำเปล่า, H = สารละลายไฮโปรอนโซเดียมเด็กเด็กทารก, G = สารละลายเกลือโคเล

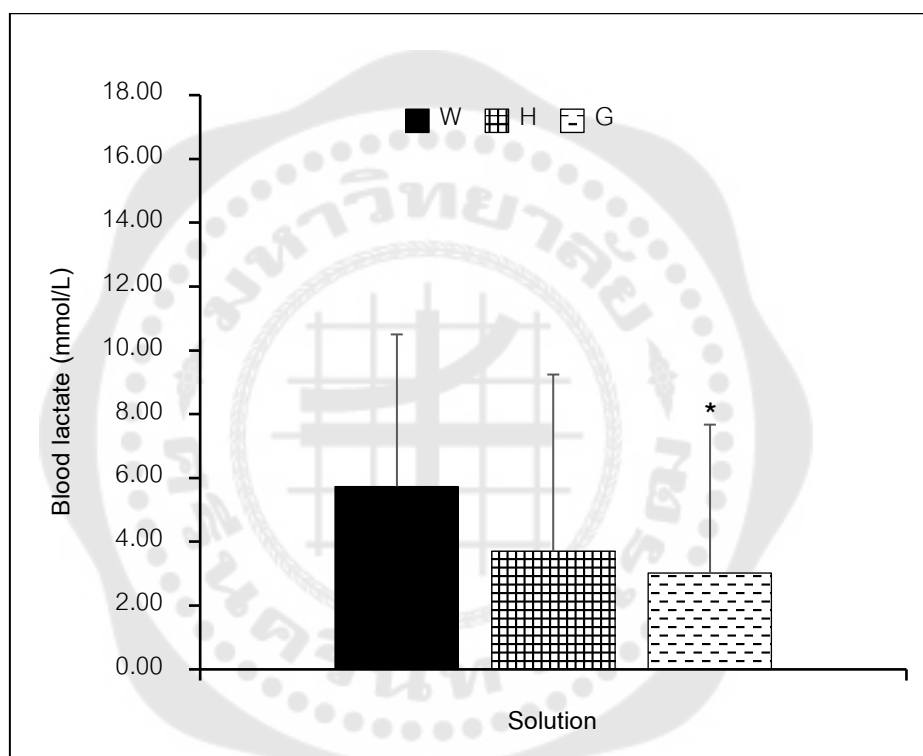
การเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาที่ทำการวัด (ภาพประกอบ 29) พบว่า ในสภาวะที่บริเวณ W H และ G แลคเตทในเลือดหลังการพ่ายเรือ รอบที่ 1 (หลังพ่าย1;  $11.03 \pm 2.91$ ,  $11.09 \pm 3.01$ ,  $11.17 \pm 2.83$  มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ) รอบที่ 2 (หลังพ่าย2;  $11.35 \pm 3.25$ ,  $12.14 \pm 2.88$ ,  $12.71 \pm 2.35$  มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ) และรอบที่ 3 (หลังพ่าย3;  $11.41 \pm 3.12$ ,  $13.33 \pm 3.17$ ,  $14.13 \pm 2.63$  มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ) มีระดับที่สูงกว่าก่อนการพ่ายรอบนั้นๆ (หลังตี๋ม1;  $1.50 \pm 0.31$ ,  $1.42 \pm 0.17$ ,  $1.84 \pm 0.46$  มิลลิโมล/ลิตร, หลังตี๋ม2;  $3.31 \pm 0.98$ ,  $3.03 \pm 0.89$ ,  $3.33 \pm 0.82$  มิลลิโมล/ลิตร, หลังตี๋ม3;  $3.04 \pm 1.01$ ,  $3.06 \pm 0.89$ ,  $3.19 \pm 0.64$  มิลลิโมล/ลิตร ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (หลังพ่าย1 vs. หลังตี๋ม1 หลังพ่าย2 vs. หลังตี๋ม2 และหลังพ่าย3 vs. หลังตี๋ม3 ของ W;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.904$ ,  $F = 103.697$ , H;  $p < 0.01$ ,  $EF = 0.923$ ,  $F = 131.059$ , G;  $p < 0.05$ ,  $EF = 0.974$ ,  $F = 407.657$ ) และแลคเตทในเลือดหลังการพ่ายทุกรอบมีระดับที่ลดลงในช่วงพักก่อนการพ่ายในรอบถัดไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (หลังพ่าย1 vs. หลังตี๋ม2 หลังพ่าย2 vs. หลังตี๋ม3 และหลังพ่าย3 vs. หลังพัก 30 นาที;  $p < 0.001$ ) นอกจากนี้ แลคเตทในเลือดหลังการทดสอบ 30 นาที (หลังพัก 30 นาที ของ W;  $2.98 \pm 1.04$ , H;  $3.28 \pm 0.35$ , G;  $3.92 \pm 1.29$  มิลลิโมล/ลิตร) ยังคงมีระดับที่สูงกว่าก่อนการทดสอบ (ก่อนทดสอบ ของ W;  $1.26 \pm 0.33$ , H;  $1.28 \pm 0.31$ , G;  $1.28 \pm 0.32$  มิลลิโมล/ลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )



ภาพประกอบ 29 การเปรียบเทียบระดับแลคเตทในเลือดก่อนและหลังการพายเรือคายัค 500 เมตร ระหว่างสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลิบรานไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) และสารละลายกลูโคส (G)

สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มน้ำชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังดื่มน้ำกับหลังพายในรอบเดียวกัน ที่  $p < 0.001$ , # หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มน้ำชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังพายกับหลังดื่มน้ำในรอบถัดไป ที่  $p < 0.001$ , &amp; หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มน้ำชนิดเดียวกัน ระหว่างหลังดื่มน้ำ 1 กับหลังดื่มน้ำ 2 และหลังดื่มน้ำ 3 ที่  $p < 0.05$ , § หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ภายในเครื่องดื่มน้ำชนิดเดียวกัน ระหว่างก่อนทดสอบ กับหลังดื่มน้ำ 1 หลังดื่มน้ำ 2 หลังดื่มน้ำ 3 และหลังพัก 30 นาที ที่  $p < 0.01$

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องดื่ม (ภาพประกอบ 30) พบว่า แลคเตทในเลือดโดยรวมของทุกช่วงเวลาที่ทำกรวัด ในสภาวะที่ปริโภค G ( $6.45 \pm 5.25$  มิลลิโมล/ลิตร) มีระดับที่ต่ำกว่าสภาวะที่ปริโภค W ( $5.73 \pm 4.77$  มิลลิโมล/ลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ,  $EF = 0.248$ ,  $F = 3.635$ ) ขณะที่ระดับแลคเตทในเลือดโดยรวมของทุกช่วงเวลาที่ทำกรวัดในสภาวะที่ปริโภค H และ G ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพประกอบ 30 การเปรียบเทียบระดับแลคเตทในเลือดรวมทุกช่วงเวลาระหว่างสภาวะที่ปริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H) และสารละลายกลูโคส (G) สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ปริโภค W ที่  $p < 0.05$

### ความถ่วงจำเพาะของแป้งสภาวะ

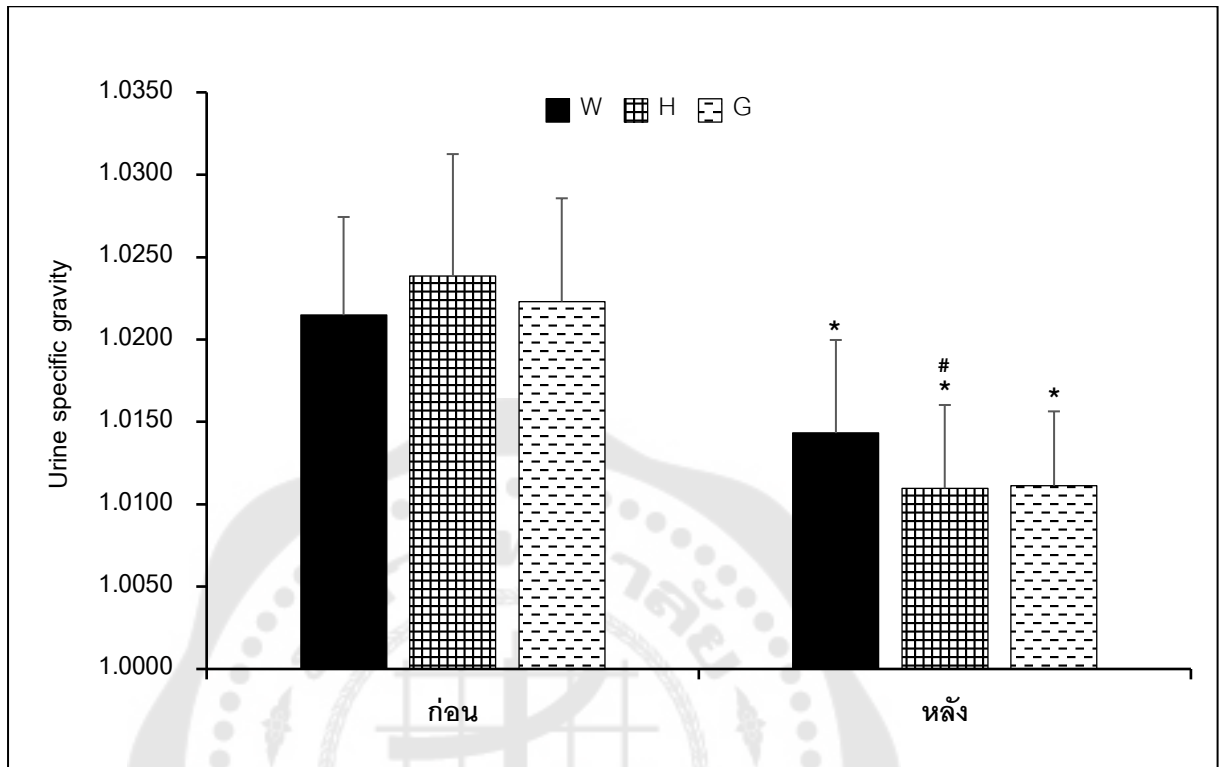
ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\bar{X} \pm S.D.$ ) รวมถึงช่วง (ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด) ของความถ่วงจำเพาะของแป้งสภาวะของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการวัดก่อนและหลังการทดสอบ ในสภาวะที่บริเวณน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮยัลูรอนซึไฮคลิกเด็คซ์ทริน (H) และสารละลายกลูโคส (G) เป็นดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 17 ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงของความถ่วงจำเพาะของแป้งสภาวะของกลุ่มตัวอย่าง

เครื่องมือ	ช่วงเวลาที่ใช้วัด	
	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ
W	1.0215±0.0060 (1.0106-1.0332)	1.0143±0.0057 (1.0061-1.0235)
H	1.0238±0.0074 (1.0125-1.0400)	1.0110±0.0051 (1.0031-1.0228)
G	1.0223±0.0060 (1.0117-1.0327)	1.0111±0.0043 (1.0040-1.0207)

การเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาทำการวัด (ภาพประกอบ 31) พบว่า ในสภาวะที่บริเวณ W, H และ G ความถ่วงจำเพาะของแป้งสภาวะก่อนการทดสอบ (1.0215±0.0060, 1.0238±0.0074 และ 1.0223±0.0060 ตามลำดับ) มีค่าสูงกว่าหลังการทดสอบ (1.0143±0.0057, 1.0110±0.0051 และ 1.0111±0.0043 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ก่อนทดสอบ vs. หลังทดสอบ ใน W;  $p < 0.01$ ,  $t = 3.513$ ,  $df = 10$ ; H;  $p < 0.001$ ,  $t = 5.854$ ,  $df = 11$ ; G;  $p < 0.001$ ,  $t = 5.344$ ,  $df = 11$ )

การเปรียบเทียบระหว่างชนิดของเครื่องมือ (ภาพประกอบ 31) พบว่า ความถ่วงจำเพาะของแป้งสภาวะก่อนการทดสอบ ในสภาวะที่บริเวณ W, H และ G ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ภายหลังการทดสอบ ความถ่วงจำเพาะของแป้งสภาวะ ในสภาวะที่บริเวณ H ต่ำกว่าในสภาวะที่บริเวณ W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ,  $EF = 0.376$ ,  $F = 6.030$ ) ขณะที่ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติระหว่างสภาวะที่บริเวณ H กับ G



ภาพประกอบ 31 การเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะก่อนและหลังการทดสอบใน  
 สภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายไฮลิบรานไซคลิกเด็กซ์ทริน (H) และสารละลายกลูโคส  
 (G)

สัญลักษณ์ \* หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายในเครื่องดื่มชนิดเดียวกัน  
 ระหว่างก่อนและหลังการทดสอบที่  $p < 0.01$ , # หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
 ระหว่างเครื่องดื่ม W และ H ในช่วงเวลาหลังทดสอบที่  $p < 0.05$

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยเรื่อง ผลของการบริโภคสารละลายกลูโคสและไฮยาลิبرانซ์ไซคลิกเด็กซ์ทรีนที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลองในนักกีฬาเรือคายัค มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการบริโภคสารละลายดังกล่าวที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลองและตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา มีลักษณะเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) แบบสุ่ม ไขว้สลับ และปกปิดกลุ่มตัวอย่าง (Randomized, cross-over, single-blind design) มีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเรือคายัค จำนวน 12 คน (เพศชาย 6 คน และเพศหญิง 6 คน) ทำการทดสอบโดยการพายเรือคายัคเสมือนการแข่งขันจริง (Race simulation) บนเครื่องพายเรือวัดงาน จำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งมีระยะห่างกัน 3-5 วัน และในการทดสอบแต่ละครั้ง กลุ่มตัวอย่างพายเรือคายัค 500 เมตร จำนวน 3 รอบ มีการพักระหว่างการพายแต่ละรอบ 30 นาที และได้รับการสุ่มให้บริโภคน้ำเปล่า (W) สารละลายกลูโคส (G) หรือสารละลายไฮยาลิبرانซ์ไซคลิกเด็กซ์ทรีน (H) ที่มีความเข้มข้น 6% โดยบริโภคในปริมาณ 5 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม จำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ ก่อนการพายรอบที่ 1 เป็นเวลา 30 นาที และหลังการพายทุกๆ รอบทันที ผลการดำเนินงานได้มีการสรุปเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

1. ระยะเวลาในการพายเรือคายัค 500 เมตร โดยรวมของการพายทั้ง 3 รอบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสภาวะที่บริโภค W, H และ G อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาในการพายมีแนวโน้มลดลงเมื่อรอบของการพายเพิ่มขึ้นในทั้ง 3 สภาวะ และในสภาวะที่บริโภค H และ G ระยะเวลาในการพาย รอบที่ 3 สั้นกว่ารอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )
2. กำลังเฉลี่ยในการพายเรือคายัค 500 เมตร โดยรวมของการพายทั้ง 3 รอบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสภาวะที่บริโภค W, H และ G อย่างไรก็ตาม กำลังเฉลี่ยในการพายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อรอบของการพายเพิ่มขึ้นในทั้ง 3 สภาวะ และในสภาวะที่บริโภค H กำลังเฉลี่ยในการพายรอบที่ 3 สูงกว่าการพายรอบที่ 1 และรอบที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

นอกจากนี้ ในสภาวะที่ปริมาตร G กำลังเฉลี่ยในการพายรอบที่ 3 สูงกว่าการพายรอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

3. อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร โดยรวมของการพายทั้ง 3 รอบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสภาวะที่ปริมาตร W, H และ G อย่างไรก็ตาม อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อรอบของการพายเพิ่มขึ้นในทั้ง 3 สภาวะ และในสภาวะที่ปริมาตร H อัตราการเต้นของหัวใจเฉลี่ยในการพายรอบที่ 1 ต่ำกว่าการพายรอบที่ 2 และรอบที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$  และ  $p < 0.01$  ตามลำดับ)

4. ปริมาณการใช้ออกซิเจน ( $VO_2$ ) เฉลี่ยในการพายเรือคยัค 500 เมตร โดยรวมของการพายทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่ปริมาตร H สูงกว่าสภาวะที่ปริมาตร G อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ ในสภาวะที่ปริมาตร H ค่า  $VO_2$  เฉลี่ยในการพายรอบที่ 2 สูงกว่าการพายรอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) และในสภาวะที่ปริมาตร G ค่า  $VO_2$  เฉลี่ยในการพายรอบที่ 3 สูงกว่าการพายรอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

5. การใช้พลังงาน (EE) ในการพายเรือคยัค 500 เมตร โดยรวมของการพายทั้ง 3 รอบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสภาวะที่ปริมาตร W, H และ G อย่างไรก็ตาม ในสภาวะที่ปริมาตร H และ G ค่า EE ในการพายรอบที่ 3 สูงกว่าการพายรอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

6. การพายเรือคยัค 500 เมตร ทุกรอบมีสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบแอนแอโรบิก (AN) สูงกว่าระบบแอโรบิก (AE) และสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบ AN และ AE ในการพายเรือโดยรวมทั้ง 3 รอบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสภาวะที่ปริมาตร W, H และ G อย่างไรก็ตาม ในสภาวะที่ปริมาตร W สัดส่วนการใช้พลังงานจาก AN และ AE ในการพายเรือรอบที่ 1 สูงกว่าการพายรอบที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนในสภาวะที่ปริมาตร H สัดส่วนการใช้พลังงานจาก AN และ AE ในการพายเรือรอบที่ 3 สูงกว่าการพายรอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

7. การพายเรือคยัค 500 เมตร ทุกรอบได้รับพลังงานจากการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมัน และสัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต (%CHO) และไขมัน (%FAT) ในระหว่างการพายเรือโดยรวมทั้ง 3 รอบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสภาวะที่ปริมาตร W, H และ G อย่างไรก็ตาม ในสภาวะที่ปริมาตร W และ H %CHO ในระหว่างการพายเรือ

รอบที่ 2 ลดลง และ %FAT เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับรอบที่ 1 ( $p < 0.05$ )

8. ในสภาวะที่ปริมาตร W, H และ G% CHO ในช่วงพักหลังจากการพายทุกรอบมีค่าสูงกว่าก่อนการพายในรอบนั้น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และ %CHO ในช่วงฟื้นฟูสภาพหลังจากการทดสอบ 30 นาที มีค่าต่ำกว่าก่อนการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ในสภาวะที่ปริมาตร H %CHO ก่อนการพายเร็วยุทธที่ 1 มีค่าสูงกว่าก่อนการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และ %CHO ขณะพักโดยรวมทุกช่วงเวลา ในสภาวะที่ปริมาตร H และ G สูงกว่าสภาวะที่ปริมาตร W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$  และ  $p < 0.05$  ตามลำดับ) ขณะที่การเปลี่ยนแปลงของ% FAT เป็นไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของ% CHO

9. ระดับกลูโคสในเลือดในสภาวะที่ปริมาตร H และ G มีค่าสูงขึ้นหลังจากการบริโภค และระดับกลูโคสในเลือดโดยรวมของทุกช่วงเวลาที่ทำกรวัด ในสภาวะที่ปริมาตร H และ G สูงกว่าสภาวะที่ปริมาตร W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

10. ระดับแลคเตทในเลือดมีค่าสูงขึ้นหลังจากการพายทุกรอบ และลดลงหลังจากการพัก 30 นาทีก่อนการพายรอบถัดไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ ระดับแลคเตทในเลือดในสภาวะที่ปริมาตร G มีค่าต่ำกว่าสภาวะที่ปริมาตร W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

11. ความถี่จำเพาะของปัสสาวะ (USG) หลังจากการทดสอบในสภาวะที่ปริมาตร H และ G มีค่าต่ำกว่าก่อนการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) และค่า USG หลังการทดสอบ ในสภาวะที่ปริมาตร H มีค่าต่ำกว่าสภาวะที่ปริมาตร W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

## อภิปรายผลการวิจัย

### 1. ผลของการบริโภคสารละลายที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลอง

ผลการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ระยะเวลาและกำลังในการพายเรือคยัค 500 เมตร โดยรวมของการพายทั้ง 3 รอบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างสภาวะที่ปริมาตร W, H และ G ใดๆก็ตาม มีการลดลงของระยะเวลาในการพาย และการเพิ่มขึ้นของกำลังในการพาย เมื่อจำนวนรอบของการพายเพิ่มขึ้น ในทั้ง 3 สภาวะ โดยพบความแตกต่างทางสถิติของระยะเวลาและกำลังในการพายรอบที่ 3 กับรอบที่ 1 ในสภาวะที่ปริมาตร G และพบความแตกต่างทางสถิติของระยะเวลาใน

การพ่ายรอบที่ 3 กับรอบที่ 1 และกำลังในการพ่ายรอบที่ 3 กับรอบที่ 1 และรอบที่ 2 ในสภาวะที่บริโภคน้ำ H

ข้อมูลด้านระยะเวลาและกำลังในการพ่ายดังกล่าว เป็นไปตามหลักพื้นฐานของกีฬาเรือพาย รวมถึงเรือคายัค ที่มีตัวชี้วัดสมรรถภาพการแข่งขัน คือ เวลา ซึ่งหมายถึงนักกีฬาต้องใช้เวลาในการพ่ายภายใต้ระยะทางที่กำหนดให้น้อยกว่าคู่แข่ง หรือต้องทำเวลาให้ดีที่สุด ซึ่งระยะเวลาในการพ่ายเป็นผลมาจากกำลังในการพ่าย นักกีฬาที่มีกำลังในการพ่ายมากจะสามารถทำเวลาได้ดีกว่านักกีฬาที่มีกำลังในการพ่ายน้อย (Puntularp & Senakham, 2018) และการลดลงของระยะเวลาในการพ่าย ร่วมกับการเพิ่มขึ้นของกำลังในการพ่าย จากการพ่ายรอบที่ 1 ไปยังรอบที่ 2 และรอบที่ 3 ในการวิจัยครั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากความคุ้นชินกับเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือวิธีการทดสอบ (Ritti-Dias et al., 2005) หรืออาจเกิดจากการเรียนรู้ความผิดพลาดในการพ่ายครั้งแรกของนักกีฬา แล้วมีการปรับเปลี่ยนเทคนิคการพ่ายให้ดีขึ้นเมื่อมีการพ่ายในรอบต่อไป (Samuel, Stambulova, Galily, & Tenenbaum, 2023) เพื่อให้สามารถออกตัวได้อย่างรวดเร็ว และรักษา กำลังในการพ่ายให้คงที่จนถึงสิ้นสุดระยะทางในการพ่ายเพื่อให้มีระยะเวลาในการพ่ายแต่ละรอบที่ดีที่สุด นอกจากนี้ จากการที่การวิจัยนี้มีการควบคุมกลุ่มตัวอย่างให้ได้รับน้ำและสารละลายที่มีปริมาตรเท่ากัน (5 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม) และให้บริโภคน้ำในช่วงเวลาเดียวกัน (30 นาที ก่อนการพ่าย) รวมทั้งมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่จะมีผลต่อการทดสอบ เช่น การบริโภคน้ำ และการพักผ่อนก่อนการทดสอบของกลุ่มตัวอย่าง สภาพแวดล้อมภายในห้องทดสอบ ช่วงเวลาในการทดสอบ เป็นต้น และผลการวิจัยพบความมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างรอบของการพ่ายในสภาวะที่บริโภคน้ำ G และ H แสดงว่า การบริโภคน้ำสารละลายคาร์โบไฮเดรตในรูปแบบของกลูโคสและ HBCD ที่มีความเข้มข้น 6% โดยบริโภคน้ำหลังจากการทดสอบแต่ละครั้งทันที หรือ 30 นาที ก่อนการทดสอบทุกครั้ง ทำให้ระยะเวลาและกำลังในการพ่ายดีขึ้น โดยเฉพาะการพ่ายในรอบที่ 3

ผลที่มีต่อสมรรถภาพการแข่งขันจำลองของ G และ H ในการวิจัยครั้งนี้ สอดคล้องกับผลการวิจัยก่อนหน้า เช่น งานวิจัยของ Thanatat Saelao (2023) ศึกษาผลของการรับประทาน HBCD และมอลโทเดกซ์ทริน (MDX) ปริมาณ 1.5 กรัม ต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ละลายในน้ำ 500 มิลลิลิตร ก่อนวิ่ง 30 นาทีต่อตัวแปรที่เกี่ยวข้องด้านสมรรถภาพในการวิ่ง ในนักวิ่งมาราธอนชาย จำนวน 7 คน ซึ่งผลการวิจัยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง HBCD และ MDX แต่ HBCD อาจมีแนวโน้มที่จะกระตุ้นการหลั่งอินซูลินน้อยกว่า ซึ่งนำไปสู่ระดับกรดไขมันอิสระในเลือดที่สูงกว่า แม้ว่าระดับน้ำตาลในเลือดจะถึงจุดยอดในเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยก่อน

หน้านี้ที่พบว่า การบริโภค HBCD มีผลดีมากกว่าการบริโภคกลูโคส ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการวิจัยในครั้งที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของระยะเวลาและกำลังในการพาย ระหว่างการบริโภค W, H และ G เช่น งานวิจัยของ Chuychai et al. (2022) ที่ให้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักวิ่งมาราธอนชาย จำนวน 13 คน วิ่ง 30 นาทีที่ความเร็วที่ VT1 และวิ่งต่อที่ความเร็ว VT2 จนหมดแรง เพื่อวัดความสามารถในการทนทาน ก่อนการทดสอบจนหมดแรง 30 นาที ผู้เข้าร่วมจะดื่มเครื่องดื่ม 500 มิลลิลิตร โดยมีปริมาณ HBCD หรือกลูโคส 1.5 กรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม พบว่าการดื่ม HBCD ก่อนออกกำลังกายทำให้วิ่งได้นานกว่าการดื่มกลูโคส  $42.67 \pm 4.92$  นาที และ  $40.77 \pm 4.40$  นาที ตามลำดับ ส่งผลให้ความสามารถในการทนทานเพิ่มขึ้น และงานวิจัยของ Shiraki et al. (2015) ที่ให้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักว่ายน้ำระดับสูง จำนวน 7 คน บริโภค HBCD และกลูโคส ปริมาณ 1.5 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม และทดสอบด้วยการว่ายน้ำทั้งหมด 10 รอบ ที่ความหนัก  $75\%VO_{2max}$  ต่อด้วยความหนักที่  $90\%VO_{2max}$  จนหมดแรง พบว่า HBCD ทำให้ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนกว่าจะหมดแรงเพิ่มขึ้นสูงกว่าการบริโภคกลูโคสถึง 70% ( $504$  วินาที vs.  $284$  วินาที) ความไม่สอดคล้องกันของผลการวิจัยในครั้งกับผลการวิจัยดังกล่าว (Chuychai et al., 2022; Shiraki et al., 2015) อาจเกิดจากความแตกต่างกันในด้านต่างๆ เช่น คุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง โดยงานวิจัยครั้งนี้เป็นกลุ่มนักกีฬาเรือคายัคสปรีน แต่งานวิจัยในครั้งก่อนเป็นนักกีฬาหรือผู้ที่ออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลานาน ปริมาณ HBCD ที่กลุ่มตัวอย่างได้รับในงานวิจัยนี้เฉลี่ยเท่ากับ  $75.32 \pm 10.89$  กรัม (ความเข้มข้นของสารละลาย คือ 6%) ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้ากำหนดปริมาณเครื่องดื่มไว้ที่ 500 มิลลิลิตร ทำให้เมื่อผสมสารละลายแล้วความเข้มข้นจะเท่ากับ 21% ระยะเวลาที่เริ่มทำการทดสอบหลังจากการบริโภค HBCD หรือชนิดของกิจกรรมที่ใช้ในการทดสอบ เป็นต้น

ในการวิจัยครั้งนี้ ระยะเวลาในการพายรอบที่ 1 รอบที่ 2 และรอบที่ 3 ในสภาวะที่บริโภค H สั้นกว่าสภาวะที่บริโภค G ที่ 0.26 วินาที 0.92 วินาที และ 1.32 วินาที ตามลำดับ ระยะเวลาที่แตกต่างกันดังกล่าวแม้ว่าจะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สามารถตัดสินผู้ชนะในการแข่งขันจริงซึ่งมีระยะเวลาห่างกันเพียงเสี้ยววินาทีได้ เช่น ในการแข่งขันรายการ 2025 ICF Canoe Sprint World Championships เรือคายัคหญิง ระยะ 500 เมตร (Final A) ผู้ชนะอันดับ 1 อันดับ 2 และอันดับ 3 ทำเวลาได้ 109.30 วินาที 109.73 วินาที และ 109.84 วินาที ตามลำดับ และ เรือคายัคชาย ระยะ 500 เมตร (Final A) ผู้ชนะอันดับ 1 อันดับ 2 และอันดับ 3 ทำเวลาได้ 98.43 วินาที 98.52 วินาที และ 99.05 วินาที ตามลำดับ (International Canoe, 2025) เมื่อพิจารณาผลการวิจัยในครั้งนี้

ร่วมกับผลการวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่า การบริโภค HBCD ในปริมาณ 1.5 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 30 นาทีก่อนการทดสอบ ช่วยเพิ่มสมรรถภาพด้านความอดทนของกลุ่มตัวอย่าง หรือช่วยให้กลุ่มตัวอย่างออกกำลังกายได้นานขึ้น (Cermak & van Loon, 2013; Francisco Javier Grijota, 2024; Shiraki et al., 2015; Stellingwerff, Maughan, & Burke, 2011) จึงอาจเป็นไปได้ว่า การบริโภค HBCD ในปริมาณ 1.5 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 30 นาทีก่อนการทดสอบ จะช่วยให้การพ่ายเรือคายัค 500 เมตร มีระยะเวลาและกำลังที่ดีกว่าการบริโภคกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หรือถ้ามีการบริโภค HBCD โดยใช้วิธีการเดียวกับการวิจัยในครั้งนี้ แต่เปลี่ยนระยะทางในการพ่ายเรือคายัค จาก 500 เมตร เป็น 1,000 เมตร หรือเป็นการพ่ายเรือคายัคมาราธอน อาจทำให้เห็นผลที่ชัดเจนมากขึ้น ซึ่งสมมติฐานดังกล่าวควรได้รับการพิสูจน์ในการวิจัยต่อไป

การพบว่า G มีผลให้ระยะเวลาในการพ่ายลดลง และกำลังในการพ่ายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการพ่ายรอบที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับรอบที่ 1 ส่วน H มีผลต่อระยะเวลาในการพ่ายเช่นเดียวกับ G แต่ทำให้กำลังในการพ่ายรอบที่ 3 สูงกว่ารอบที่ 1 และรอบที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่า การแสดงผลของ G และ H มีช่วงเวลาและขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรทางสรีรวิทยา นำไปไว้ในหัวข้อต่อไป

## 2. ผลของการบริโภคสารละลายที่มีต่อตัวแปรทางด้านสรีรวิทยา

ผลการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า EE โดยรวมของการพ่ายเรือคายัค 500 เมตร ทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่บริโภค W, H และ G ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสภาวะที่บริโภค H และ G การใช้พลังงานในการพ่ายรอบที่ 3 สูงกว่ารอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พลังงานที่ใช้ในการพ่ายทั้ง 3 รอบ ในสภาวะที่บริโภค W, H และ G เกิดจากระบบแอโรบิก  $31.41 \pm 8.97\%$ ,  $30.79 \pm 9.81\%$  และ  $31.62 \pm 9.70\%$  ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในสภาวะที่บริโภค W การใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกในการพ่ายรอบที่ 2 สูงกว่ารอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในสภาวะที่บริโภค H การใช้พลังงานจากระบบแอโรบิกในการพ่ายรอบที่ 3 สูงกว่ารอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่า สัดส่วนการออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต

ผลการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า %CHO เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างการพ่ายเรือคายัค 500 เมตร ทั้ง 3 รอบ เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการพ่าย ทั้งในสภาวะที่บริโภค W, H และ G ขณะที่ %FAT มีการลดลง และในขณะพัก %CHO และ %FAT โดยรวมทุกช่วงเวลา ทั้งก่อนและ

หลังการพ่ายเรือ ในสภาวะที่บริโภาค H และ G มีค่าสูงกว่าสภาวะที่บริโภาค W ซึ่งสอดคล้องกับระดับกลูโคสในเลือดที่มีค่าสูงกว่าในสภาวะที่บริโภาค H และ G เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่บริโภาค W แสดงว่า การบริโภาคสารละลาย H และ G ที่มีส่วนประกอบของ HBCD และกลูโคสทำให้ระดับกลูโคสในเลือดสูงขึ้น ประกอบกับมีการเพิ่มขึ้นของ  $VO_2$  และอัตราการเต้นของหัวใจดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ทำให้มีออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตและไขมันเพิ่มขึ้น ทั้งขณะพ่ายเรือและในช่วงพักหลังจากการพ่าย และลักษณะโครงสร้างของ HBCD ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนชนิดดูดซึ่มน้ำ จะสามารถคงระดับกลูโคสในเลือดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมระหว่างการออกแรงต่อเนื่อง ส่งผลให้ร่างกายสามารถรักษาพลังงานได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Francisco Javier Grijota (2024) ซึ่งพบว่า HBCD ช่วยคงระดับกลูโคสในเลือดได้ดีกว่ากลูโคสทั่วไปในช่วงการออกกำลังกายหนักแบบหนักสลับเบาหรือแบบทนทาน อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ระดับแลคเตทในเลือดในสภาวะที่บริโภาค H มีแนวโน้มสูงกว่าสภาวะที่บริโภาค G ขณะที่ระดับแลคเตทในเลือดในสภาวะที่บริโภาค G มีค่าต่ำกว่าสภาวะที่บริโภาค W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Shiraki และคณะ (2015) ซึ่งสรุปว่า แม้กลูโคสจะมีการดูดซึ่มที่เร็ว แต่ HBCD อาจเพิ่มระดับกลูโคสและแลคเตทในเลือดได้สูงกว่าในระยะยาว โดยเฉพาะในกิจกรรมหนักแบบต่อเนื่องหลายเซต เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับกลูโคสในเลือดที่มีความสเถียรมากกว่า ทำให้เพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงพร้อมใช้ (Substrate surplus) เพิ่มอัตราของ Glycolysis และทำให้แลคเตทสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่า แม้กลูโคสจะดูดซึ่มเร็ว แต่ก็อาจทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของระดับอินซูลินในเลือดอย่างรวดเร็ว (Insulin spike) และพลังงานที่ไม่เสถียรระหว่างกิจกรรมมากกว่า HBCD ที่ให้พลังงานแบบสม่ำเสมอ จากคุณสมบัติของ HBCD ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและค่าออสโมลาริตีต่ำมาก ทำให้ย่อยและขนส่งในกระเพาะเร็วกว่ากลูโคสหรือมอลโทเด็กทรีน (Wilburn et al., 2021a) และช่วงเวลาที่วัดอาจส่งผลต่อระดับของกลูโคสในเลือดและแลคเตท เนื่องจากการคงอยู่ของ HBCD จากที่กล่าวมาจะนานกว่ากลูโคส หากทำการวัดในช่วงแรกหรือทันที อาจไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจน แต่หากวัดเมื่อเวลาผ่านไปสักระยะ HBCD ที่มีการดูดซึ่มอย่างต่อเนื่อง อาจมีค่าระดับของกลูโคสในเลือดและแลคเตทสูงกว่าการบริโภาคกลูโคสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในระหว่างการพ่ายเรือในการวิจัยครั้งนี้ %CHO และ %FAT ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการบริโภาค W, H และ G แต่ %CHO ในการพ่ายรอบที่ 2 ต่ำกว่าการพ่ายรอบที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในสภาวะที่บริโภาค H และ G ขณะที่ %FAT มีค่าสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการ

วิจัยของ Chinapong (2022) ที่ทำการศึกษาผลของการบริโภค HBCD มอลโทเด็คซ์ทริน (MD) และไนเตรท ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและความทนทานของนักวิ่งมาราธอน พบว่า การบริโภค HBCD เพียงอย่างเดียว ช่วยส่งเสริมการเผาผลาญไขมันเป็นพลังงานมากขึ้น ทำให้ RER ลดลง ซึ่งบ่งชี้ว่า ร่างกายใช้ไขมันมากกว่าคาร์โบไฮเดรตในระหว่างการวิ่งที่ระดับความเข้มข้น  $70\%VO_{2peak}$  นอกจากนี้ HBCD ที่มีค่าออสโมลาริตีต่ำ ทำให้ระดับการเพิ่มขึ้นของกลูโคสในกระแสเลือดเป็นไปอย่างช้าๆ ระดับอินซูลินไม่สูงมาก ทำให้ร่างกายไม่กระตุ้นการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้รูปแบบในการออกกำลังกายในระดับความหนักที่  $65-75\%VO_{2max}$  อยู่ในโซนที่ร่างกายยังคงใช้ไขมันได้ดี ซึ่งหากมีการบริโภค HBCD จะช่วยให้กล้ามเนื้อดึงไขมันจากไขมันภายในเซลล์กล้ามเนื้อ (Intramuscular triglycerides) และไขมันที่ลอยในกระแสเลือดได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ที่ทำการศึกษาในการพายเรือคายัคระยะ 500 เมตร พบว่าทั้งในสภาวะที่บริโภคน้ำเปล่า กลูโคส หรือ HBCD มีระดับความหนักเกิน  $75\%VO_{2max}$  ถึงแม้ HBCD จะมีส่วนช่วยให้ %FAT เพิ่มขึ้น แต่ด้วยความหนักของกิจกรรมจึงทำให้การใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากคาร์โบไฮเดรต ซึ่งในการบริโภค HBCD ทำให้มีพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตที่คงที่กว่าเมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรตประเภทอื่น (Shiraki et al., 2015; Wilburn et al., 2021a) นอกจากนี้ยังมีการวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงกลไกของ HBCD ที่มีความสามารถในการให้พลังงานอย่างคงที่มากกว่ากลูโคส โดยทำการเปรียบเทียบผลของสารละลาย HBCD กับสารละลายมอลโทเด็คซ์ทริน ปริมาณ 15 กรัม (7.5% CHO) ในน้ำ 200 มิลลิลิตร ที่มีต่อสมรรถภาพในการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลา 60 นาที พบว่า การบริโภคสารละลายที่มี HBCD ในช่วงเวลา 60 นาที หลังจากเริ่มปั่นจักรยาน ทำให้ระดับกลูโคสในเลือดหลังจากการบริโภค 30 นาที เพิ่มขึ้นมากกว่าการบริโภคสารละลายมอลโทเด็คซ์ทริน ซึ่งผลดังกล่าวอาจมาจากความสามารถของ HBCD ในการให้พลังงานแก่ร่างกายได้นานขึ้น โดยเห็นจากระดับของกลูโคสในเลือดที่เพิ่มขึ้นมากกว่ามอลโทเด็คซ์ทริน และ HBCD มีคุณสมบัติในการลำเลียงออกจากกระเพาะอาหาร (Gastric emptying time) ได้เร็วกว่า (Furuyashiki et al., 2014; H. Takii et al., 2005)

ในด้านสภาวะน้ำในร่างกาย ผลการวิจัยนี้ พบว่า ค่า USG ภายหลังจากทดสอบพายเรือคายัค 500 เมตร ทั้ง 3 รอบ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับก่อนการทดสอบ ทั้งในสภาวะที่บริโภค W, H และ G โดยที่ค่า USG ภายหลังจากทดสอบในสภาวะที่บริโภค H ต่ำกว่าสภาวะที่บริโภค W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงว่า การให้น้ำเปล่าและสารละลายกลูโคส 6% และ HBCD 6% ในปริมาตร 5 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ในช่วงเวลา 30 นาที ก่อนการ

พายุเรือดัยค 500 เมตร ในการวิจัยครั้งนี้ช่วยรักษาสมภาวะน้ำในร่างกาย โดยที่สารละลาย HBCD มีผลดีกว่าน้ำเปล่าอย่างชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่ศึกษาผลของเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของ HBCD และกลูโคส 1.5 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ในน้ำ 500 มิลลิลิตร ที่มีต่อสมรรถภาพทางกายแบบทนทานในนักกีฬาวิ่งมาราธอนชาย โดยให้นักกีฬาดื่มสารละลายในช่วงเวลา 30 นาที ก่อนทำการทดสอบโดยการวิ่งที่ความเร็วที่จุดเริ่มลำที่ 1 (VT1) 30 นาที และความเร็วที่จุดเริ่มลำที่ 2 (VT2) จนเหนื่อยหมดแรง พบว่า การดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของ HBCD สามารถรักษาปริมาณน้ำที่สูญเสียไประหว่างการออกกำลังกายได้ดี และรักษาระบบการไหลเวียนของเลือดที่ผิวหนัง บัองกันไม่ให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากโมเลกุลของ HBCD ที่มีขนาดใหญ่ จึงมีการให้พลังงานออกมาอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิในร่างกายสูงขึ้นไม่มาก จึงทำให้ร่างกายระบายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาผลาญพลังงานผ่านการสูญเสียน้ำออกจากร่างกายน้อยลง (Chuychai et al., 2022)

#### ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ มีการให้กลุ่มตัวอย่างบริโภค HBCD ในปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งอาจทำให้ไม่เห็นผลของ HBCD อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลูโคส การศึกษาผลของ HBCD ที่มีต่อสมรรถภาพทางการกีฬาในงานวิจัยครั้งต่อไป ควรให้กลุ่มตัวอย่างบริโภค HBCD ในปริมาณที่มากขึ้น

เนื่องจากเพศชายและเพศหญิงมีสมรรถภาพในการแข่งขันที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลให้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มีการกระจาย งานวิจัยครั้งต่อไปที่มีการประเมินสมรรถภาพในการแข่งขันควรศึกษาในกลุ่มตัวอย่างเพียงเพศเดียว

2. ข้อมูลด้านระยะเวลาในการพายุเรือดัยค 500 เมตร ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ แม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Statistical significance) ระหว่างการบริโภคน้ำเปล่า กลูโคส และ HBCD แต่พบว่าการบริโภค HBCD ทำให้ระยะเวลาในการพายุเรือดัยค การบริโภคน้ำเปล่าและกลูโคสถึง 0.26-2.11 วินาที ซึ่งเวลาดังกล่าวมีความสำคัญต่อผลการแข่งขันในสถานการณ์จริง (Practical significance)

3. งานวิจัยครั้งต่อไปอาจทำการศึกษาในการพายุเรือดัยคที่มีระยะทางมากกว่า 500 เมตร

### ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินการในบริบทของการแข่งขันจำลอง (Simulation) ซึ่งอาจมีข้อจำกัดในการสะท้อนสถานะจริงของการแข่งขันในสนาม เช่น แรงกดดันทางจิตใจ สภาพอากาศ และสถานการณ์ทางเทคนิคที่ซับซ้อน นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในขนาดตัวอย่าง และช่วงเวลาในการติดตามผล

### ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ควรมีการศึกษาผลของ HBCD และกลูโคสในสถานะการแข่งขันจริง รวมถึงศึกษาความสัมพันธ์กับตัวแปรทางสรีรวิทยาอื่น ๆ เช่น ระดับแลคเตทในเลือด อัตราการเต้นหัวใจ และระดับการสูญเสียเหงื่อ เพื่อให้เข้าใจกลไกการออกฤทธิ์อย่างชัดเจนขึ้น อีกทั้งควรพิจารณาผลในนักกีฬาที่มีระดับสมรรถภาพต่างกัน (เช่น มือใหม่ เทียบกับระดับทีมชาติ)



## บรรณานุกรม

- Ackland, T. R., Ong, K. B., Kerr, D. A., & Ridge, B. (2003). Morphological characteristics of Olympic sprint canoe and kayak paddlers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6(3), 285-294. doi:[https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(03\)80022-1](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(03)80022-1)
- Alonge, K. M., D'Alessio, D. A., & Schwartz, M. W. (2021). Brain control of blood glucose levels: implications for the pathogenesis of type 2 diabetes. *Diabetologia*, 64(1), 5-14. doi:10.1007/s00125-020-05293-3
- Bailey, S. J., Blackwell, J. R., Lord, T., Vanhatalo, A., Winyard, P. G., & Jones, A. M. (2015). L-Citrulline supplementation improves O<sub>2</sub> uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans. *J Appl Physiol (1985)*, 119(4), 385-395. doi:10.1152/jappphysiol.00192.2014
- Baker, L. B., & Jeukendrup, A. E. (2014). Optimal composition of fluid-replacement beverages. *Compr Physiol*, 4(2), 575-620. doi:10.1002/cphy.c130014
- Barley, O. R., Chapman, D. W., & Abbiss, C. R. (2020). Reviewing the current methods of assessing hydration in athletes. *J Int Soc Sports Nutr*, 17(1), 52. doi:10.1186/s12970-020-00381-6
- Billat, V., Faina, M., Sardella, F., Marini, C., Fanton, F., Lupo, S., . . . Dalmonte, A. (1996). A comparison of time to exhaustion at VO<sub>2</sub> max in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. *Ergonomics*, 39(2), 267-277. doi:10.1080/00140139608964457
- Bishop, D. (2000). Physiological predictors of flat-water kayak performance in women. *Eur J Appl Physiol*, 82(1-2), 91-97. doi:10.1007/s004210050656
- Blohm, K., Beidler, J., Rosen, P., Kressler, J., & Hong, M. Y. (2020). Effect of acute watermelon juice supplementation on post-submaximal exercise heart rate recovery, blood lactate, blood pressure, blood glucose and muscle soreness in healthy non-athletic men and women. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 71(4), 482-489. doi:10.1080/09637486.2019.1675604

- Borges, T. O., Dascombe, B., Bullock, N., & Coutts, A. J. (2015). Physiological characteristics of well-trained junior sprint kayak athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(5), 593-599. doi:10.1123/ijsp.2014-0292
- Børsheim, E., & Bahr, R. (2003). Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med*, 33(14), 1037-1060. doi:10.2165/00007256-200333140-00002
- Britannica, E. (2023). catabolism and biosynthesis of glucose and glycogen. Retrieved from สืบค้นจาก <https://www.britannica.com/science/metabolism/Fatty-acids#/media/1/377325/2352>
- BYJU'S. (2023). Monosaccharides (glucose). Retrieved from สืบค้นจาก <https://byjus.com/chemistry/monosaccharides/>
- Byrnes, W. C., & Kearney, J. T. (1997). Aerobic and anaerobic contributions during simulated canoe/kayak sprint events 1256. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29(Supplement), 220. doi:10.1097/00005768-199705001-01254
- Carlton, A., & Orr, R. M. (2015). The effects of fluid loss on physical performance: A critical review. *Journal of Sport and Health Science*, 4(4), 357-363. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.004>
- Casa, D. J., Armstrong, L. E., Hillman, S. K., Montain, S. J., Reiff, R. V., Rich, B. S., . . . Stone, J. A. (2000). National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for athletes. *J Athl Train*, 35(2), 212-224.
- Cermak, N. M., & van Loon, L. J. C. (2013). The Use of Carbohydrates During Exercise as an Ergogenic Aid. *Sports Medicine*, 43(11), 1139-1155. doi:10.1007/s40279-013-0079-0
- Chinapong, S. (2022). The effects of co-ingestion of highly branched cyclic dextrin and dietary nitrate on physiological responses and endurance capacity in recreational endurance runners. *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. doi:<https://doi.org/10.58837/CHULA.THE.2022.337>

- Chuychai, J., Srihirun, K., Chinapong, S., Sanpasitt, C., Khaosanit, P., & Nokkaew, N. (2022). Fluid Containing Highly Branched Cyclic Dextrin: An Alternative Ergogenic Aid to Enhance Endurance Exercise Performance in Long-Distance Runners. *Journal of Exercise Physiology Online*, 25, 1-13.
- DrugBank. (2022, November, 06 2022). Glucose: Uses, Interactions, Mechanism of Action | DrugBank Online. Retrieved from <https://go.drugbank.com/drugs/DB09341>
- Fairclough, S. H., & Houston, K. (2004). A metabolic measure of mental effort. *Biological Psychology*, 66(2), 177-190. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2003.10.001>
- Franklin, B. A. (1985). Exercise testing, training and arm ergometry. *Sports Med*, 2(2), 100-119. doi:10.2165/00007256-198502020-00003
- Francisco Javier Grijota, V. T.-R., Ignacio Bartolomé , Elías Cordero-Román , Cristian Sánchez López , Jose Miguel Jiménez, Ismael Martínez-Guardado (2024). Acute Effects of 30 g Cyclodextrin Intake during CrossFit® Training on Performance and Fatigue. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(1), 27. doi:10.3390/jfmk9010027
- Fry, R. W., & Morton, A. R. (1991). Physiological and kinanthropometric attributes of elite flatwater kayakists. *Med Sci Sports Exerc*, 23(11), 1297-1301.
- Furuyashiki, T., Tanimoto, H., Yokoyama, Y., Kitaura, Y., Kuriki, T., & Shimomura, Y. (2014). Effects of ingesting highly branched cyclic dextrin during endurance exercise on rating of perceived exertion and blood components associated with energy metabolism. *Biosci Biotechnol Biochem*, 78(12), 2117-2119. doi:10.1080/09168451.2014.943654
- Gailliot, M. T., & Baumeister, R. F. (2007). The Physiology of Willpower: Linking Blood Glucose to Self-Control. *Personality and Social Psychology Review*, 11(4), 303-327. doi:10.1177/1088868307303030
- Gailliot, M. T., Baumeister, R. F., DeWall, C. N., Maner, J. K., Plant, E. A., Tice, D. M., . . . Schmeichel, B. J. (2007). Self-control relies on glucose as a limited energy source:

willpower is more than a metaphor. *J. Pers. Soc. Psychol.*, 92(2), 325-336.

doi:10.1037/0022-3514.92.2.325

Glico Nutrition Co, L. (2022). CLUSTER DEXTRIN™ | Glico Nutrition. Retrieved from

<https://www.glico.com/nutrition/en/product/finechemical/cdextrin/>

Glico Nutrition Co., L. (2023). CLUSTER DEXTRIN. Retrieved from สืบค้นจาก

<https://www.glico.com/nutrition/en/product/finechemical/cdextrin/>

*Glucose metabolism in the brain: Volume 51.* (2002). San Diego, CA: Academic Press.

González Matarín, P. (2022). Effects of Highly Branched Cyclic Dextrin Supplementation on Exercise: A Narrative Review. doi:10.31829/2765-8368/alsnr2022-6(1)-003

Hargreaves, M. (2016). METABOLIC FACTORS IN FATIGUE. *Sports Science Exchange*, 19(155), 1-5. Retrieved from [https://www.gssiweb.org/sports-science-exchange/article/sse-155-metabolic-factors-in-fatigue#articleTopic\\_7](https://www.gssiweb.org/sports-science-exchange/article/sse-155-metabolic-factors-in-fatigue#articleTopic_7)

Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, 2(9), 817-828. doi:10.1038/s42255-020-0251-4

Henselmans, M., Bjørnsen, T., Hedderman, R., & Vårvik, F. T. (2022). The Effect of Carbohydrate Intake on Strength and Resistance Training Performance: A Systematic Review. *Nutrients*, 14(4). doi:10.3390/nu14040856

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. doi:10.1519/JSC.0b013e318252f612

ICF. (2022a). 2022 ICF CANOE SPRINT AND PARACANOE WORLD CHAMPIONSHIPS - TIME TABLE & RESULTS. Retrieved from

<https://memosoft.spotfokus.com/timetable/eventdetail/72/2022-ICF-Canoe-Sprint-and-Paracanoe-World-Championships>.

<https://memosoft.spotfokus.com/timetable/eventdetail/72/2022-ICF-Canoe-Sprint-and-Paracanoe-World-Championships>

ICF. (2022b). 2022 ICF CANOE SPRINT WORLD CUP I - TIME TABLE & RESULTS.

Retrieved from

<https://memosoft.spotfokus.com/timetable/index.php?page=eventdetail&folder=67&gmt=7&gmt2=-420>.

<https://memosoft.spotfokus.com/timetable/index.php?page=eventdetail&folder=67&gmt=7&gmt2=-420>

ICF. (2022c). 2022 ICF JUNIOR AND U23 CANOE SPRINT WORLD CHAMPIONSHIPS.

Retrieved from <https://results.szeged2022.com/results/competition/1/races>.

<https://results.szeged2022.com/results/competition/1/races>

ICF. (2022d). *ICF Canoe Sprint Competition Rules 2022*. Retrieved from

[https://www.canoeicf.com/sites/default/files/rules\\_canoe\\_sprint\\_2022.pdf](https://www.canoeicf.com/sites/default/files/rules_canoe_sprint_2022.pdf)

ICF. (2023). The difference between Canoe and Kayak. Retrieved from สืบค้นจาก

<https://chillinorthholidays.co.uk/wp-content/uploads/2022/02/Canoe-Or-Kayak.jpg>

International Canoe, F. (2025). *Results: CSP World Championships 2025*. Retrieved from

Idroscalo di Milano, Italy:

[https://www.canoeicf.com/sites/default/files/results\\_cspwch2025.pdf](https://www.canoeicf.com/sites/default/files/results_cspwch2025.pdf)

Koekkoek, L. L., Mul, J. D., & la Fleur, S. E. (2017). Glucose-Sensing in the Reward

System. *Frontiers in Neuroscience*, 11. doi:10.3389/fnins.2017.00716

Koma, R., & Terasawa, N. (2020). Pre-Exercise Glucose Ingestion May Improve Endurance

Capacity in East Asian Student Athletes with Lower Blood Glucose Response. *J*

*Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 66(2), 150-157. doi:10.3177/jnsv.66.150

Kondo, S., Tanisawa, K., Suzuki, K., Terada, S., & Higuchi, M. (2019). Preexercise

Carbohydrate Ingestion and Transient Hypoglycemia: Fasting versus Feeding.

*Med Sci Sports Exerc*, 51(1), 168-173. doi:10.1249/mss.0000000000001773

Krings, B. M., Rountree, J. A., McAllister, M. J., Cummings, P. M., Peterson, T. J., Fountain,

B. J., & Smith, J. W. (2016). Effects of acute carbohydrate ingestion on anaerobic

exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr*, 13, 40. doi:10.1186/s12970-016-

0152-9

- Kuo, C. C., Fattor, J. A., Henderson, G. C., & Brooks, G. A. (2005). Lipid oxidation in fit young adults during postexercise recovery. *J Appl Physiol (1985)*, *99*(1), 349-356. doi:10.1152/jappphysiol.00997.2004
- La Fleur, S. E., Fliers, E., & Kalsbeek, A. (2014). Chapter 24 - Neuroscience of glucose homeostasis. In D. W. Zochodne & R. A. Malik (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 126, pp. 341-351): Elsevier.
- Lee, H., Martin, D. T., Anson, J. M., Grundy, D., & Hahn, A. G. (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *J Sports Sci*, *20*(12), 1001-1008. doi:10.1080/026404102321011760
- Li, Y. (2014). *Energetics in Canoe Sprint*.
- Li, Y. (2015). *Energetics in canoe sprint*. Leipzig.
- Logan-Sprenger, H. M., Heigenhauser, G. J., Jones, G. L., & Spriet, L. L. (2013). Increase in skeletal-muscle glycogenolysis and perceived exertion with progressive dehydration during cycling in hydrated men. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, *23*(3), 220-229. doi:10.1123/ijsnem.23.3.220
- Luciá, A., Hoyos, J., Carvajal, A., & Chicharro, J. L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *Int J Sports Med*, *20*(3), 167-172. doi:10.1055/s-1999-970284
- Masicampo, E. J., & Baumeister, R. F. (2008). Toward a Physiology of Dual-Process Reasoning and Judgment: Lemonade, Willpower, and Expensive Rule-Based Analysis. *Psychological Science*, *19*(3), 255-260. doi:10.1111/j.1467-9280.2008.02077.x
- Matthews, A. R. D., Astorino, T. A., Crocker, G. H., & Sheard, A. C. (2022). Acute Effects of High-Intensity Interval Exercise While Wearing a Sauna Suit on Energy Expenditure and Excess Post-exercise Oxygen Consumption. *J Strength Cond Res*, *36*(9), 2427-2433. doi:10.1519/jsc.0000000000003834

Maughan, R. J., & Shirreffs, S. M. (2010). Dehydration and rehydration in competitive sport. *Scand J Med Sci Sports, 20 Suppl 3*, 40-47. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01207.x

MedThai. (2018 March, 22, 2018 April, 29). การตรวจปัสสาวะ (Urinalysis หรือ Urine analysis : UA) มีประโยชน์อย่างไร ? Retrieved from <https://medthai.com/%e0%b8%81%e0%b8%b2%e0%b8%a3%e0%b8%95%e0%b8%a3%e0%b8%a7%e0%b8%88%e0%b8%9b%e0%b8%b1%e0%b8%aa%e0%b8%aa%e0%b8%b2%e0%b8%a7%e0%b8%b0/>

Mendez-Villanueva, A., Hamer, P., & Bishop, D. J. (2008). Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *European Journal of Applied Physiology, 103*, 411-419. doi:10.1007/s00421-008-0723-9

Michael, J. S., Rooney, K. B., & Smith, R. (2008). The metabolic demands of kayaking: a review. *J Sports Sci Med, 7*(1), 1-7.

Miles, D. S., Cox, M. H., & Bomze, J. P. (1989). Cardiovascular responses to upper body exercise in normals and cardiac patients. *Med Sci Sports Exerc, 21*(5 Suppl), S126-131.

Mor, A., Kayacan, Y., Ipekoglu, G., & Arslanoglu, E. (2019). Effect of carbohydrate–electrolyte consumption on insulin, cortisol hormones and blood glucose after high-intensity exercise. *Archives of Physiology and Biochemistry, 125*(4), 344-350. doi:10.1080/13813455.2018.1465098

Muñoz, C. X., McKenzie, A. L., & Armstrong, L. E. (2014). Optimal hydration biomarkers: consideration of daily activities. *Obes Facts, 7 Suppl 2*(Suppl 2), 13-18. doi:10.1159/000360655

Nishimura, Y., Jensen, M., Bülow, J., Thomsen, T. T., Arimitsu, T., van Hall, G., . . . Holm, L. (2022). Co-ingestion of cluster dextrin carbohydrate does not increase exogenous protein-derived amino acid release or myofibrillar protein synthesis following a whole-body resistance exercise in moderately trained younger males: a double-

- blinded randomized controlled crossover trial. *Eur J Nutr*, 61(5), 2475-2491.  
doi:10.1007/s00394-021-02782-y
- Pöchmüller, M., Schwingshackl, L., Colombani, P. C., & Hoffmann, G. (2016). A systematic review and meta-analysis of carbohydrate benefits associated with randomized controlled competition-based performance trials. *J Int Soc Sports Nutr*, 13, 27.  
doi:10.1186/s12970-016-0139-6
- Puntularp, A., & Senakham, T. (2018). Difference in the intensity between on ergometer and on water dragon boat paddling in university level female dragon boat paddlers. *Journal of Faculty of Physical Education*, 21(2), 55-65.
- Rehrer, N. J., Wagenmakers, A. J., Beckers, E. J., Halliday, D., Leiper, J. B., Brouns, F., . . . Saris, W. H. (1992). Gastric emptying, absorption, and carbohydrate oxidation during prolonged exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 72(2), 468-475.  
doi:10.1152/jappl.1992.72.2.468
- Ritti-Dias, R., Cyrino, E., Salvador, E., Soares-Caldeira, L., Nakamura, F., Papst, R., . . . Gurjão, A. (2005). Influence of familiarization process on muscular strength assessment in 1-RM tests. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 11, 39-42.
- Roels, B., Schmitt, L., Libicz, S., Bentley, D., Richalet, J. P., & Millet, G. (2005). Specificity of VO<sub>2</sub>MAX and the ventilatory threshold in free swimming and cycle ergometry: comparison between triathletes and swimmers. *Br J Sports Med*, 39(12), 965-968.  
doi:10.1136/bjism.2005.020404
- Samuel, R. D., Stambulova, N., Galily, Y., & Tenenbaum, G. (2023). Adaptation to change: a meta-model of adaptation in sport. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 22. doi:10.1080/1612197X.2023.2168726
- Satyanarayana, U. (2014). *Biochemistry (4 ed.): Made Simple Books*.
- Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., & Stachenfeld, N. S. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*, 39(2), 377-390.  
doi:10.1249/mss.0b013e31802ca597

- Shiraki, T., Kometani, T., Yoshitani, K., Takata, H., & Nomura, T. (2015). Evaluation of Exercise Performance with the Intake of Highly Branched Cyclic Dextrin in Athletes. *Food Science and Technology Research*, 21, 499-502. doi:10.3136/fstr.21.499
- Shirreffs, S. M. (2003). Markers of hydration status. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57(2), S6-S9. doi:10.1038/sj.ejcn.1601895
- Spendiff, O., & Campbell, I. G. (2002). The effect of glucose ingestion on endurance upper-body exercise and performance. *Int J Sports Med*, 23(2), 142-147. doi:10.1055/s-2002-20127
- Stellingwerff, T., Maughan, R. J., & Burke, L. M. (2011). Nutrition for power sports: middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *J Sports Sci*, 29 Suppl 1, S79-89. doi:10.1080/02640414.2011.589469
- Suzuki, K., Shiraishi, K., Yoshitani, K., Sugama, K., & Kometani, T. (2014). Effect of a sports drink based on highly-branched cyclic dextrin on cytokine responses to exhaustive endurance exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, 54(5), 622-630.
- Suzuki, T., Morita, M., Kobayashi, Y., & Kamimura, A. (2016). Oral L-citrulline supplementation enhances cycling time trial performance in healthy trained men: Double-blind randomized placebo-controlled 2-way crossover study. *J Int Soc Sports Nutr*, 13, 6. doi:10.1186/s12970-016-0117-z
- Takii, H., Ishihara, K., Kometani, T., Okada, S., & Fushiki, T. (1999). Enhancement of swimming endurance in mice by highly branched cyclic dextrin. *Biosci Biotechnol Biochem*, 63(12), 2045-2052. doi:10.1271/bbb.63.2045
- Takii, H., Kometani, T., Nishimura, T., Kuriki, T., & Fushiki, T. (2004). A Sports Drink Based on Highly Branched Cyclic Dextrin Generates Few Gastrointestinal Disorders in Untrained Men during Bicycle Exercise. *Food Science and Technology Research*, 10(4), 428-431. doi:10.3136/fstr.10.428
- Takii, H., Takii Nagao, Y., Kometani, T., Nishimura, T., Nakae, T., Kuriki, T., & Fushiki, T. (2005). Fluids containing a highly branched cyclic dextrin influence the gastric emptying rate. *Int J Sports Med*, 26(4), 314-319. doi:10.1055/s-2004-820999

- Tesch, P. (1983). Physiological characteristics of elite kayak paddlers. *Canadian journal of applied sport sciences. Journal canadien des sciences appliquées au sport*, 8, 87-91.
- Tesch, P., Piehl, K., Wilson, G., & Karlsson, J. (1976). Physiological investigations of Swedish elite canoe competitors. *Med Sci Sports*, 8(4), 214-218.
- Thanatat Saelao, W. L., Nutchalarpant, Phuritakawarsa, Nattiporn Nokkaew. (2023). Effects of Highly Branched Cyclic Dextrin Ingestion on Running Performance, Glucoregulatory Hormones, and Metabolic Responses Among Long-Distance Male Runners. *Journal of Exercise Physiologyonline* 26(4), 147. Retrieved from [https://www.asep.org/asep/asep/JEPonlineAUGUST2023\\_Nattiporn%20Nokkaew\\_14.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.asep.org/asep/asep/JEPonlineAUGUST2023_Nattiporn%20Nokkaew_14.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- The Editors of Encyclopedia, B. (2022a). cellular respiration. In *Encyclopedia Britannica*.
- The Editors of Encyclopedia, B. (2022b). glucose. In *Encyclopedia Britannica*.
- Thompson, M. (2018). Oxygen consumption during recovery. *PE Review*, 14(1). Retrieved from [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.hoddereducation.co.uk%2Fmedia%2FDocuments%2Fmagazine-extras%2FPE%2520Review%2FPE%2520Rev%2520Vol%252014%2520No%25201%2FPEReview14\\_1\\_OxygenConsumption\\_revision.docx%3Fext%3D.docx%23%3A~%3Atext%3DMark%2520Thompson%26text%3DWhen%2520a%2520performer%2520finishes%2520exercising%2Cexercise%2520oxygen%2520consumption%2520\(EPOC\).&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.hoddereducation.co.uk%2Fmedia%2FDocuments%2Fmagazine-extras%2FPE%2520Review%2FPE%2520Rev%2520Vol%252014%2520No%25201%2FPEReview14_1_OxygenConsumption_revision.docx%3Fext%3D.docx%23%3A~%3Atext%3DMark%2520Thompson%26text%3DWhen%2520a%2520performer%2520finishes%2520exercising%2Cexercise%2520oxygen%2520consumption%2520(EPOC).&wdOrigin=BROWSELINK)
- Trommelen, J., Beelen, M., Pinckaers, P. J., Senden, J. M., Cermak, N. M., & Van Loon, L. J. (2016). Fructose Coingestion Does Not Accelerate Postexercise Muscle Glycogen Repletion. *Med Sci Sports Exerc*, 48(5), 907-912.  
doi:10.1249/mss.0000000000000829

- Tucker, R. M., & Tan, S.-Y. (2017). Do non-nutritive sweeteners influence acute glucose homeostasis in humans? A systematic review. *Physiology & Behavior*, 182, 17-26. doi:<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.09.016>
- Tucker, W. J., Angadi, S. S., & Gaesser, G. A. (2016). Excess Postexercise Oxygen Consumption After High-Intensity and Sprint Interval Exercise, and Continuous Steady-State Exercise. *J Strength Cond Res*, 30(11), 3090-3097. doi:10.1519/jsc.0000000000001399
- Van Someren, K. A. (2000). *Physiological Factors Associated with 200 m Sprint Kayak Racing*. University of Surrey, Guildford.
- van Someren, K. A., & Oliver, J. E. (2002). The efficacy of ergometry determined heart rates for flatwater kayak training. *Int J Sports Med*, 23(1), 28-32. doi:10.1055/s-2002-19268
- van Someren, K. A., & Palmer, G. S. (2003). Prediction of 200-m sprint kayaking performance. *Can J Appl Physiol*, 28(4), 505-517. doi:10.1139/h03-039
- Vokac, Z., Bell, H., Bautz-Holter, E., & Rodahl, K. (1975). Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J Appl Physiol*, 39(1), 54-59. doi:10.1152/jappl.1975.39.1.54
- Wallis, G. A., Hulston, C. J., Mann, C. H., Roper, H. P., Tipton, K. D., & Jeukendrup, A. E. (2008). Postexercise muscle glycogen synthesis with combined glucose and fructose ingestion. *Med Sci Sports Exerc*, 40(10), 1789-1794. doi:10.1249/MSS.0b013e31817e0f7e
- Wikipedia. (2022). 2022 Asian Canoe Sprint Championships. Retrieved from Retrieved from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=2022 Asian Canoe Sprint Championships&oldid=1084739111](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=2022%20Asian%20Canoe%20Sprint%20Championships&oldid=1084739111)
- Wikipedia, c. (2022a, 2022/7/20). Canoeing at the summer Olympics. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Canoeing at the Summer Olympics&oldid=1099377655](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Canoeing%20at%20the%20Summer%20Olympics&oldid=1099377655)

Wikipedia, c. (2022b). Glucose --- Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved from

<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Glucose&oldid=1120009973>

Wikipedia, c. (2022c, 2022/9/21). List of world records in canoeing. Retrieved from

<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List of world records in canoeing&oldid=1111523951>

Wilburn, D., Machek, S., & Ismaeel, A. (2021a). Highly Branched Cyclic Dextrin and its Ergogenic Effects in Athletes: A Brief Review. *Journal of Exercise and Nutrition*, 4. doi:10.53520/jen2021.103100

Wilburn, D., Machek, S., & Ismaeel, A. (2021b). Highly branched cyclic dextrin and its ergogenic effects in athletes: A brief review. *Journal of Exercise and Nutrition*, 4(3). doi:10.53520/jen2021.103100

Zouhal, H., Le Douairon Lahaye, S., Ben Abderrahaman, A., 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. *J Strength Cond Res*, 26(3), 825-831. doi:10.1519/JSC.0b013e31822766f7

สมาคมกีฬาเรือพายแห่งประเทศไทย. (2556). กติกาการแข่งขันแคนูสปринท์ พ.ศ.2556. Retrieved from <https://www.rcat.or.th/wp-content/uploads/2015/05/%E0%B9%81%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%A2canoesprint3.pdf>



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธนสร ใจตรง
วัน เดือน ปี เกิด	14 June 1999
สถานที่เกิด	Chonburi
ที่อยู่ปัจจุบัน	Chonburi
ผลงานตีพิมพ์	-
รางวัลที่ได้รับ	-

