

ผลของการรับประทานไฮลีสีรานซ์ไซคลิกเดกซ์ทรินต่อสมรรถภาพในการวิ่ง ฮอริโมนที่ควบคุมระดับ
น้ำตาลในเลือด และการตอบสนองด้านเมแทบอลิกในนักวิ่งระยะไกลเพศชาย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

EFFECTS OF HIGHLY BRANCHED CYCLIC DEXTRIN INGESTION ON RUNNING
PERFORMANCE, GLUCOREGULATORY HORMONES, AND METABOLIC RESPONSES
AMONG MALE LONG-DISTANCE RUNNERS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Sports and Exercise Science

FACULTY OF SPORTS SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการรับประทานไฮลี่ปรานซ์ไซคลิกเดกซ์ทรินต่อ
สมรรถภาพในการวิ่ง ฮอริโมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลใน
เลือด และการตอบสนองด้านเมแทบอลิซึมในนักวิ่งระยะไกล
เพศชาย

โดย

นายธนทัต แซ่เล่า

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัติพร นกแก้ว

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ หล่อศิริรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ทศพร ยิ้มลมัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัติพร นกแก้ว)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิกร อาภาณุกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล ลีลาญวัฒน์)

ธนทัต แซ่เล่า : ผลของการรับประทานไฮลีสบรานซีไซคลิกเดกซ์ทรินต่อสมรรถภาพในการวิ่ง ฮอริโมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และการตอบสนองด้านเมแทบอลิซึมในนักวิ่งระยะไกลเพศชาย. (EFFECTS OF HIGHLY BRANCHED CYCLIC DEXTRIN INGESTION ON RUNNING PERFORMANCE, GLUCOREGULATORY HORMONES, AND METABOLIC RESPONSES AMONG MALE LONG-DISTANCE RUNNERS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ณัฏพร นกแก้ว

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของการรับประทานไฮลีสบรานซีไซคลิกเดกซ์ทริน ต่อตัวแปรที่เกี่ยวข้องด้านสมรรถภาพในการวิ่ง ด้านฮอริโมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ด้านสารชีวโมเลกุลในเลือด และด้านอาการแสดงของระบบทางเดินอาหารในนักกีฬาวิ่งมาราธอนเพศชาย การศึกษานี้เป็นการทดลองแบบไขว้ อำพรางฝ่ายเดียว และสุ่มลำดับ โดยมีผู้เข้าร่วมเป็นนักวิ่งมาราธอนชายจำนวน 7 คน กลุ่มตัวอย่างจะถูกสุ่มให้เข้าร่วมการทดสอบ 2 ครั้ง ได้แก่ ครั้งที่หนึ่ง ต้มเครื่องดื่ม 500 มล. ที่มีส่วนประกอบเป็นไฮลีสบรานซีไซคลิกเดกซ์ทรินปริมาณ 1.5 ก. ต่อน้ำหนักตัว 1 กก. และครั้งที่สอง ต้มเครื่องดื่ม 500 มล. ที่มีส่วนประกอบมอลโทเดกซ์ทรินปริมาณ 1.5 ก. ต่อน้ำหนักตัว 1 กก. กลุ่มตัวอย่างจะต้องดื่มเครื่องดื่มทั้งสองชนิดก่อนเริ่มการทดสอบแรก 30 นาที โดยการทดสอบแรกจะเป็นการวิ่งที่ความเร็ว ณ จุดเปลี่ยนแปลงการหายใจที่ 1 อย่างคงที่บนลู่วิ่งเป็นเวลา 30 นาที ต่อมา กลุ่มตัวอย่างจะต้องเข้ารับการทดสอบที่ 2 โดยเป็นการเริ่มต้นวิ่งที่ความเร็วเดิมจากการทดสอบแรก จากนั้น ความเร็วจะถูกปรับเพิ่มขึ้น 0.5 กม.ต่อชม. ทุก 30 วินาที จนกว่ากลุ่มตัวอย่างจะเหนื่อยหมดแรง การศึกษานี้ทำการเก็บข้อมูลระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า ฮอริโมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การตอบสนองด้านเมแทบอลิซึม และอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารทั้งก่อนและหลังการทดสอบ โดยระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงจะถูกวิเคราะห์ด้วยการทดสอบทีแบบจับคู่ ในขณะที่ ระดับอินซูลินในเลือด ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย ระดับน้ำตาลในเลือด และระดับแลคเตทในเลือดจะถูกวิเคราะห์ด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้องกันสองทาง และระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด และอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารจะถูกวิเคราะห์ด้วยการทดสอบของพรีดแมน โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิจัย ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกตัวแปร ระหว่างการรับประทานไฮลีสบรานซีไซคลิกเดกซ์ทรินและมอลโทเดกซ์ทริน ทั้งนี้ การรับประทานไฮลีสบรานซีไซคลิกเดกซ์ทรินอาจมีแนวโน้มที่จะกระตุ้นการหลั่งอินซูลินน้อยกว่า ซึ่งนำไปสู่ระดับกรดไขมันอิสระในเลือดที่สูงกว่า แม้ว่าระดับน้ำตาลในเลือดจะถึงจุดยอดในเวลาเดียวกันก็ตาม

สรุปผลวิจัย การรับประทานไฮลีสบรานซีไซคลิกเดกซ์ทรินในปริมาณ 1.5 ก. ต่อน้ำหนักตัว 1 กก. ก่อนวิ่งเป็นเวลา 30 นาที ไม่ช่วยพัฒนาสมรรถภาพในการวิ่ง รวมถึงการตอบสนองด้านฮอริโมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การตอบสนองด้านเมแทบอลิซึม และอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารในกลุ่มนักกีฬาวิ่งมาราธอนเพศชาย เมื่อเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทรินในปริมาณ 1.5 ก. ต่อน้ำหนักตัว 1 กก. ก่อนวิ่งเป็นเวลา 30 นาที

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย	ลายมือชื่อนิสิต
	กาย	
ปีการศึกษา	2565	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6270009439 : MAJOR SPORTS AND EXERCISE SCIENCE

KEYWORD: Carbohydrate, Marathon runner, Running performance, Insulin

Thanatat Saelao : EFFECTS OF HIGHLY BRANCHED CYCLIC DEXTRIN INGESTION ON RUNNING PERFORMANCE, GLUCOREGULATORY HORMONES, AND METABOLIC RESPONSES AMONG MALE LONG-DISTANCE RUNNERS. Advisor: Asst. Prof. NATTIPORN NOKKAEW

This study aimed to investigate the effects of highly branched cyclic dextrin ingestion on running performance, gluoregulatory hormones, metabolic responses, and gastrointestinal (GI) symptoms in long-distance male runners. A randomized, single-blinded, crossover trial was conducted with seven well-trained runners. The participants were randomly assigned to two occasions: 1) ingested 500 ml fluid containing 1.5 g/kgBW of highly branched cyclic dextrin (HBCD), and 2) ingested 500 ml fluid containing 1.5 g/kgBW of maltodextrin (MDX). The running protocol consisted of a 30-minute run at a constant speed at ventilatory threshold 1 (VT1) on a motorized treadmill, followed by a second protocol where the speed was increased by 0.5 km/h every 30 seconds until exhaustion. Time to exhaustion (TTE), rate of perceived exertion (RPE), gluoregulatory hormones, metabolic responses, and GI symptoms were measured before and after the protocols. Paired t-tests were used to analyze TTE, while two-way repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used to analyze serum insulin levels, salivary cortisol levels, blood glucose levels, and blood lactate levels. Friedman test was used to analyze RPE, serum free fatty acid levels, and GI symptoms. Statistical significance was set at $p < .05$ for all tests.

The results indicated that there were no significant differences between HBCD and MDX in all variables examined. However, trends were observed suggesting that HBCD ingestion may lead to lower insulin secretion compared to MDX ingestion, resulting in higher serum free fatty acid levels. Interestingly, blood glucose levels reached their peak at the same time for both HBCD and MDX.

In conclusion, the consumption of 1.5 g/kgBW of HBCD 30 minutes before exercise did not improve running performance, gluoregulatory hormones, metabolic responses, and GI symptoms in long-distance male runners compared to the consumption of 1.5 g/kgBW of MDX 30 minutes before exercise. Further research is needed to fully understand the potential effects of HBCD ingestion on these parameters.

Field of Study: Sports and Exercise Science

Student's Signature

Academic Year: 2022

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณในความเมตตากรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัติพร นกแก้ว ผู้ที่อุทิศกาย ใจ และเวลาในการสั่งสอนประสิทธิ์ประสาทสรรพวิชาให้แก่ผู้วิจัย ทั้งยังเป็นที่พักทางกายและใจในยามที่ผู้วิจัยประสบปัญหาในระหว่างการทำเนิการวิจัย นับเป็นพระคุณที่ผู้วิจัยจักไม่มีวันลืม

ขอบพระคุณในความเมตตากรุณาที่ได้รับจากท่านประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ทศพล ยิ้มลัมย์ และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิกร อภาานุกูล รวมถึงกรรมการภายนอก มหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล ลีลาญวัฒน์ ในการให้คำแนะนำและติชมด้วยความหวังดี

ขอบคุณในความเมตตากรุณาที่ได้รับจากผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจคุณภาพความเที่ยงตรงของเนื้อหา คณาจารย์ บุคลากร ศิษย์เก่า และนิสิตปัจจุบันของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการชี้แนะ และให้การสนับสนุนตลอดช่วงการทำเนิการวิจัย

ขอบพระคุณในความเมตตากรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร. วนิตา หลายวัฒน์ไพศาล ที่ให้การดูแลช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างเลือด และตรวจวิเคราะห์สารชีวโมเลกุลในเลือดจนสำเร็จลุล่วง

ขอบคุณในความเมตตากรุณาจากผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่านในการเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อมาเข้าร่วมการทดสอบวิจัยในครั้งนี้ ทั้งยังให้ความร่วมมืออย่างเต็มที่ตลอดการทดสอบ ผู้วิจัยจะไม่มีวันลืมเลือน

ขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการสนับสนุนทุนวิจัย

และสุดท้าย ขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนพ้อง พี่น้อง ญาติมิตร ที่เป็นกำลังใจให้ตลอดการเรียนระดับบัณฑิตศึกษา จนสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วง

ธนทัต แซ่เล่า

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
คำถามในการวิจัย	6
สมมุติฐานของการวิจัย.....	7
ขอบเขตของการวิจัย.....	7
คำจำกัดความของการวิจัย.....	9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
กีฬาวีจมาราธอน.....	17
ระบบพลังงานที่ใช้ในกีฬามาราธอน	21
การตอบสนองด้านฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดขณะออกกำลังกายประเภททนทาน...	31
สารอาหารที่สำคัญสำหรับนักกีฬาวีจมาราธอน	38

บรรณานุกรม.....	160
ประวัติผู้เขียน.....	188



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 พลังงานสุทธิที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดปาล์มมิก	29
ตารางที่ 2 ตารางสรุปประโยชน์ของ HBCD เมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น	50
ตารางที่ 3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	80
ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลทางสรีรวิทยาของ กลุ่มตัวอย่าง.....	85
ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบทีแบบ จับคู่ของระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	86
ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบของ พรีดแมนของระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX .	88
ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบความ แปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางของระดับอินซูลินในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX	90
ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบความ แปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางของระดับคอร์ติซอลในน้ำลายในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	92
ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบของ พรีดแมนของระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	94
ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบ ความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางของระดับน้ำตาลในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	96
ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบ ความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางของระดับแลคเตทในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	98

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยการทดสอบของ
 ฟรีดของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ
 MDX 100

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยการทดสอบของ
 ฟรีดของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ
 MDX 102

ตารางที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยการทดสอบของ
 ฟรีดของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ
 MDX 104



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ร้อยละของผู้เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนรายการใหญ่ในประเทศไทย	20
รูปที่ 2 วิธีไกลโคไลซิส (Glycolysis pathway).....	22
รูปที่ 3 วัฏจักรซิตริก (Citric acid cycle)	25
รูปที่ 4 ลูกลำโพงขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport chain).....	26
รูปที่ 5 พลังงานสุทธิที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคส	27
รูปที่ 6 ปฏิกิริยาทั้งหมดของเบตาออกซิเดชัน (β -oxidation).....	28
รูปที่ 7 การเลือกใช้สารอาหารเป็นพลังงานขณะออกกำลังกายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	30
รูปที่ 8 กลไกการกระตุ้นการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อแบบอาศัยและไม่อาศัยอินซูลิน	32
รูปที่ 9 ผลของคอร์ติซอลต่ออวัยวะหรือเนื้อเยื่อในร่างกาย	36
รูปที่ 10 โครงสร้างของไฮลิบรานซ์ไซคลิกเต็กซ์ทริน	46
รูปที่ 11 โครงสร้างของมอลโทส มอลโทไทรโอส มอลโทเททราโอส.....	47
รูปที่ 12 โครงสร้างของมอลโทเดกซ์ทริน	52
รูปที่ 13 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	59
รูปที่ 14 การศึกษานำร่องกับอาสาสมัคร.....	64
รูปที่ 15 แผนผังมโนทัศน์วิธีการดำเนินการวิจัย.....	75
รูปที่ 16 ขั้นตอนการทดลอง.....	76
รูปที่ 17 ลำดับขั้นตอนมาตรฐานรวมในการรายงานการทดลอง	84
รูปที่ 18 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	87
รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	89

รูปที่ 20 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับอินซูลินในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	91
รูปที่ 21 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับคอร์ติซอลในน้ำลายในแต่ละ ช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX	93
รูปที่ 22 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในแต่ละ ช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX	95
รูปที่ 23 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับน้ำตาลในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	97
รูปที่ 24 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับแลคเตทในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	99
รูปที่ 25 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	101
รูปที่ 26 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX.....	103
รูปที่ 27 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX	105
รูปที่ 28 การคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G*Power.....	123
รูปที่ 29 การกระจายตัวของข้อมูลระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง	124
รูปที่ 30 การกระจายตัวของข้อมูลระดับความรับรู้ต่อความเหนื่อยล้าในแต่ละจุดเวลา	125
รูปที่ 31 การกระจายตัวของข้อมูลระดับอินซูลินในเลือดในแต่ละจุดเวลา.....	126
รูปที่ 32 การกระจายตัวของข้อมูลระดับคอร์ติซอลในน้ำลายในแต่ละจุดเวลา	127
รูปที่ 33 การกระจายตัวของข้อมูลระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในแต่ละจุดเวลา.....	128
รูปที่ 34 การกระจายตัวของข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือดในแต่ละจุดเวลา.....	129
รูปที่ 35 การกระจายตัวของข้อมูลระดับแลคเตทในเลือดในแต่ละจุดเวลา.....	130
รูปที่ 36 การกระจายตัวของข้อมูลอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) ในแต่ละจุดเวลา	131

รูปที่ 37 การกระจายตัวของข้อมูลอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) ในแต่ละจุดเวลา	132
รูปที่ 38 การกระจายตัวของข้อมูลอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) ในแต่ละจุดเวลา	133
รูปที่ 39 เครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย	152
รูปที่ 40 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส	152
รูปที่ 41 ลูกล	153
รูปที่ 42 เครื่องวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือด	153
รูปที่ 43 เครื่องวิเคราะห์ระดับแลคเตทในเลือด	154
รูปที่ 44 เครื่องอ่านค่าไมโครเฟลท	154
รูปที่ 45 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ	155
รูปที่ 46 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 1-5	156
รูปที่ 47 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 2-5	156
รูปที่ 48 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 3-5	157
รูปที่ 49 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 4-5	157
รูปที่ 50 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 5-5	158

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเป็นที่สังเกตได้ว่า การวิ่งระยะไกล (Long-distance running) ในประเทศไทยกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น จากรายงานของสถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าการแข่งขันวิ่งในประเทศไทยมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 15 ปีที่ผ่านมา โดยในการแข่งขันแต่ละครั้งจะมีระยะวิ่งที่เป็นที่นิยม ได้แก่ ระยะ 10 กิโลเมตร ระยะ 21 กิโลเมตร และระยะ 42.195 กิโลเมตร หรือที่เรียกว่าระยะฟูลมาราธอน นอกจากนี้ จำนวนของนักวิ่งชาวไทยก็มีการเพิ่มขึ้นอย่างมากเช่นกัน พบว่า นักวิ่งที่ลงแข่งขันในระยะฟูลมาราธอนส่วนมากเป็นเพศชายและมีอายุอยู่ในช่วง 40 – 49 ปี (“Bangsaen42 Chonburi Marathon 2020 Results”, 2020; “Buriram Marathon 2021 Results”, 2021) ในด้านของระยะเวลาในการเข้าเส้นชัย จากสถิติในปี ค.ศ. 2019 แสดงให้เห็นว่า ในการแข่งขันวิ่งระยะฟูลมาราธอน นักวิ่งชาวไทยใช้เวลาเฉลี่ยในการเข้าเส้นชัยอยู่ที่ 4:51:38 ชั่วโมง โดยเป็นเวลาที่ช้ากว่าเวลาเฉลี่ยในการเข้าเส้นชัยของนักวิ่งทั่วโลกซึ่งใช้เวลาอยู่ที่ 4:29:53 ชั่วโมง (Anderson, 2020) อีกทั้งหากเปรียบเทียบสถิติที่ดีที่สุดของประเทศไทยกับสถิติโลก นักวิ่งชาวไทยยังคงตามหลังสถิติโลกอยู่ประมาณ 18 นาที โดยสถิติที่ถูกบันทึกไว้อย่างเป็นทางการของประเทศไทยอยู่ที่ 2:19:33 ชั่วโมง (สมาคมกรีฑา) และสถิติอย่างไม่เป็นทางการอยู่ที่ 2:16:56 ชั่วโมง (อนุชิต ไกรวิจิตร, 2561) ในขณะที่สถิติโลกอยู่ที่ 2:01:39 ชั่วโมง (World Athletics, 2020)

ช่องว่างระหว่างสถิติของประเทศไทยและสถิติโลกเป็นผลมาจากความแตกต่างของสมรรถภาพการกีฬาของนักวิ่งไทยและนักวิ่งชั้นนำระดับโลก ซึ่งสมรรถภาพการกีฬานั้นเป็นสิ่งที่ถูกกำหนดโดยหลายปัจจัย (Boullosa et al., 2020) โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

- 1) ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยส่วนมากมักถูกกำหนดโดยพันธุกรรมของแต่ละบุคคล เช่น เชื้อชาติ เพศ มานุษยมิติ (Anthropometry) และการแสดงออกของยีนบางตัวที่ส่งผลต่อสมรรถภาพการกีฬา เป็นต้น หรือแม้กระทั่งอายุของนักกีฬาก็เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้เช่นกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งที่นักกีฬาไม่สามารถควบคุมหรือฝึกฝนให้เหมาะสมกับกีฬาของตนเองได้

2) ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ อันเป็นปัจจัยที่นักกีฬาสามารถปรับเปลี่ยนหรือฝึกซ้อมเพื่อให้ร่างกายเกิดการปรับตัวให้เหมาะสมกับการเล่นกีฬาประเภทนั้น ๆ เช่น ปัจจัยด้านสรีรวิทยา ซึ่งสามารถพัฒนาได้ผ่านการฝึกซ้อมร่างกาย ฝึกซ้อมทักษะทางด้านกีฬา และการจัดการด้านโภชนาการให้มีความเหมาะสมกับระบบพลังงานของแต่ละกีฬา (Doherty et al., 2020) การปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้นั้นเป็นสิ่งที่เป็นไปได้สำหรับนักกีฬา ดังนั้น ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้จึงเป็นสิ่งที่นักกีฬาต้องให้ความสำคัญสูงสุด ด้วยความก้าวหน้าของวงการวิทยาศาสตร์การกีฬา การฝึกซ้อมของนักกีฬาได้ถูกพัฒนาให้มีความเฉพาะเจาะจงกับความต้องการในการใช้งานของกีฬาแต่ละประเภทมากยิ่งขึ้น จึงส่งผลให้นักกีฬาประเภทชนิดกีฬาเดียวกันมีการฝึกซ้อมร่างกายและทักษะทางด้านกีฬาที่คล้ายกัน อย่างไรก็ตาม ความรู้ด้านโภชนาการยังคงเป็นสิ่งที่นักกีฬาไม่ได้ให้ความสำคัญเท่าที่ควร จากหลาย ๆ การศึกษาที่ผ่านมาในอดีต ความรู้ด้านโภชนาการของนักกีฬานั้นไม่แตกต่างจากบุคคลทั่วไป และสิ่งที่น่ากังวลยิ่งกว่าคือ ยังมีนักกีฬาจำนวนมากที่ไม่สามารถอธิบายแม้กระทั่งความสำคัญของสารอาหารหลักแต่ละตัวต่อการฝึกซ้อมกีฬาของตนเองได้ (Heaney et al., 2011) ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาในประเทศไทย โดยพบว่านักกีฬามีความรู้ด้านโภชนาการอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น (Thanaponganan, 2011) ซึ่งการขาดความรู้ความเข้าใจด้านโภชนาการยังส่งผลให้นักกีฬาขาดความตระหนักถึงความสำคัญและการนำไปปฏิบัติตาม (Sittithan, 2018; Spronk et al., 2014) และเป็นผลให้นักกีฬาไม่สามารถพัฒนาสมรรถภาพการกีฬาหรือแสดงศักยภาพที่มีได้อย่างที่ควรจะเป็น

หนึ่งในความท้าทายหลักของกีฬาวิ่งมาราธอน คือ ระยะเวลาในการแข่งขันที่ยาวนาน ในการวิ่งมาราธอนแต่ละครั้ง ร่างกายจะมีการเผาผลาญพลังงานสูงถึง 2,500-3,000 กิโลแคลอรี (Loftin et al., 2007) และพลังงานกว่าร้อยละ 99 มาจากระบบอากาศนิยม (Aerobic system) (Burke & Deakin, 2015) ซึ่งอาศัยการสร้างพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นหลัก โดยในร่างกายจะมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตในรูปของไกลโคเจน (Glycogen) ในตับและกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองได้ประมาณ 2,000 กิโลแคลอรี ในขณะที่ไขมันที่ถูกสะสมในร่างกายสามารถให้พลังงานได้ประมาณ 100,000 กิโลแคลอรี (Eberle, 2014) เพียงแต่การเลือกใช้พลังงานของร่างกายนั้นถูกควบคุมโดยความเข้มข้นในการออกกำลังกาย ซึ่งคำนวณจากการเปรียบเทียบกับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) และระยะเวลาที่ใช้ในการออกกำลังกาย (Knuijan et al., 2015) ร่างกายของนักวิ่งระดับสูงจะมีการปรับตัวทำให้สามารถทนต่อความเข้มข้นในการวิ่งที่สูงกว่า ซึ่ง

สะท้อนออกมาเป็นความเร็วที่ใช้ในการวิ่งที่สูงกว่านักวิ่งทั่วไป ส่งผลให้นักวิ่งระดับสูงสามารถจบการแข่งขันวิ่งมาราธอนได้ด้วยระยะเวลาเพียง 2.30 ชม. ซึ่งจากการศึกษาพบว่านักวิ่งเหล่านี้ใช้พลังงานมากกว่า 2 ใน 3 จากคาร์โบไฮเดรต (Coyle, 2007) โดยสาเหตุมาจากการวิ่งที่ระดับความเข้มข้นสูง ต้องอาศัยพลังงานจำนวนมาก ร่างกายจึงเลือกใช้ไกลโคเจนเป็นแหล่งพลังงานหลัก เพราะไกลโคเจนนี้มีอัตราเร็วในการสร้างพลังงานเร็วกว่าไขมัน (Mul et al., 2015) จึงสามารถสร้างพลังงานได้อย่างทัน่วงที่ต่อการใช้งานของกล้ามเนื้อ

กลไกในการควบคุมอัตราการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน จำเป็นต้องอาศัยการควบคุมจากหลายปัจจัย โดยหนึ่งในปัจจัยสำคัญ คือ ระบบต่อมไร้ท่อ เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการพลังงานของร่างกายที่สูงขึ้นอย่างฉับพลัน ภาวะที่ทำหน้าที่ในการหลั่งฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด (Glucoregulatory hormones) จะถูกกระตุ้น โดยตับอ่อนจะเพิ่มการหลั่งกลูคากอน (Glucagon) และลดการหลั่งอินซูลิน (Insulin) ในขณะที่ต่อมหมวกไตจะมีการหลั่งอิพิเนฟริน (Epinephrine) นอร์อิพิเนฟริน (Norepinephrine) และคอร์ติซอล (Cortisol) ออกมามากขึ้น ส่งผลให้เกิดกระบวนการสลายไกลโคเจน (Glycogenolysis) มากขึ้น นอกจากนี้ การออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูง หรือออกกำลังกายเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้ต่อมหมวกไตมีการหลั่งอิพิเนฟรินและนอร์อิพิเนฟรินมากขึ้น จึงเป็นการเร่งให้เกิดการสลายไกลโคเจนทั้งในตับและกล้ามเนื้อเพิ่มมากยิ่งขึ้น (Kenney et al., 2015)

ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถภาพการออกกำลังกาย โดยพบว่าการออกกำลังกายในภาวะที่มีไกลโคเจนในกล้ามเนื้อสูง จะช่วยให้นักกีฬาเกิดความเมื่อยล้า (Fatigue) ช้ากว่าปกติ (Vitale & Getzin, 2019) ในทางกลับกัน การออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นสูง หรือใช้ระยะเวลานาน จะทำให้ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อลดลง และเมื่อลดลงจนถึงจุดหนึ่งสมรรถภาพการออกกำลังกายจะลดลง แม้ว่าจะยังมีสารอาหารอื่น ๆ ที่สามารถใช้เป็นพลังงานได้ก็ตาม (Hammond et al., 2019) ในด้านของการแข่งขันวิ่งมาราธอน เมื่อนักวิ่งวิ่งถึงระยะประมาณ 25-35 กม. มักจะมีความรู้สึกยากลำบากในการวิ่งต่อไป และมีความรับรู้ถึงความเหนื่อยล้าเพิ่มขึ้นถึงแม้ว่าจะวิ่งด้วยความเร็วเท่าเดิมก็ตาม (Coyle, 2007) อาการเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการที่ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อหมดจากการออกกำลังกายเป็นระยะเวลานาน หรือเรียกว่า “อาการชนกำแพง (Hitting the wall)” จากงานวิจัยพบว่า ในแต่ละปีจะมีนักวิ่งที่เกิดอาการชนกำแพงสูงถึงร้อยละ 40 และจะมีนักวิ่งร้อยละ 1-2 ที่มีอาการรุนแรงจนถึงขั้นไม่สามารถเข้าเส้นชัยได้ (Rapoport, 2010)

การใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานหลักขณะออกกำลังกายนั้นเป็นเรื่องที่ถูกรับทราบดีมาอย่างยาวนาน และยังคงมีงานวิจัยอีกจำนวนมากยืนยันถึงประโยชน์ของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตขณะออกกำลังกายต่อการชะลอความเมื่อยล้าทั้งทางระบบประสาทส่วนกลางและกล้ามเนื้อ (Vandenbogaerde & Hopkins, 2011) โดยกลไกที่คาร์โบไฮเดรตช่วยชะลอความเมื่อยล้าประกอบด้วย 1) ป้องกันภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (Hypoglycemia) 2) ช่วยเติมพลังงานขณะออกกำลังกาย 3) ช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง (Burke & Deakin, 2015) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของคาร์โบไฮเดรตนั้นส่งผลต่อการชะลอความเมื่อยล้าไม่เท่ากัน โดยพบว่า กลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ร่างกายสามารถย่อยและดูดซึมได้อย่างรวดเร็วถือเป็นแหล่งพลังงานที่ดีในขณะออกกำลังกาย อย่างไรก็ตาม สารละลายกลูโคสนั้นมีออสโมลาลิตี (Osmolality) สูงกว่าสารละลายกลูโคสพอลิเมอร์ (Glucose polymer) เช่น มอลโทเดกซ์ทริน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การที่สารละลายมีออสโมลาลิตีที่สูงจะส่งผลให้มีการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหาร (Gastric emptying) ช้ากว่า จึงถูกดูดซึมและนำไปใช้สร้างเป็นพลังงานได้ช้ากว่าเช่นกัน (Mock et al., 2018) นอกจากนี้ ขณะออกกำลังกาย ร่างกายจะเกิดการปรับตัวทางด้านสรีรวิทยาโดยการลดการไหลเวียนเลือดไปยังทางเดินอาหาร ดังนั้น การที่สารละลายกลูโคสยังเหลือค้างอยู่ในกระเพาะอาหารเป็นระยะเวลาอันอาจส่งผลให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal distress) จนนำไปสู่สมรรถภาพการออกกำลังกายที่ลดลงได้ (Xiaocai et al., 2004)

ในปัจจุบัน ประเทศญี่ปุ่นเริ่มมีการนำกลูโคสพอลิเมอร์ชนิดใหม่ คือ ไฮลีสบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทริน (Highly branched cyclic dextrin; HBCD) ซึ่งผลิตจากข้าวโพดข้าวเหนียว โดยใช้เอนไซม์ชนิดพิเศษเพื่อทำการสร้างกิ่งและทำการไซโคลเซชัน (Cyclization) โครงสร้างของ HBCD จึงมีลักษณะเป็นกลูโคสหลายโมเลกุลเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงและแตกกิ่งคล้ายกับอะไมโลเพกทิน (Amylopectin) แต่จะมีบางกิ่งที่ต่อกันเป็นวง ซึ่งคุณสมบัติเด่นของ HBCD คือ มีมวลโมเลกุลสูง เนื่องจากโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นกลูโคสเรียงต่อกันเป็นจำนวนมาก แต่ในขณะเดียวกันกลับมีความแตกต่างของขนาดระหว่างโมเลกุลต่ำ อีกทั้งยังมีค่าสมมูลเดกซ์โทรส (Dextrose equivalent; DE) ต่ำมาก จึงทำให้ HBCD นั้นไม่มีรสชาติ ไม่มีกลิ่น และแทบไม่ส่งผลต่อออสโมลาลิตีของสารละลายเมื่อเทียบกับสารละลายคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น (Choi et al., 2009; Takii et al., 2005) ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ จึงมีงานวิจัยได้นำ HBCD ไปทดสอบด้านการเพิ่มสมรรถภาพการออกกำลังกายในสัตว์ทดลอง พบว่า HBCD ช่วยเพิ่มสมรรถภาพในการว่ายน้ำได้ดีกว่ากลูโคส (Takii et al., 1999) งานวิจัยในมนุษย์ก็

ให้ผลไปในทิศทางที่คล้ายกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของการเพิ่มสมรรถภาพการว่ายน้ำของ นักกีฬาว่ายน้ำระดับสูงระหว่าง HBCD และกลูโคส พบว่า HBCD ช่วยชะลอความเมื่อยล้าของนักกีฬา และส่งผลให้สามารถว่ายน้ำได้นานกว่ากลูโคสถึงร้อยละ 70 (Shiraki et al., 2015) และยังพบอีกว่า HBCD ช่วยให้ผู้ทดลองเกิดความรู้สึกเหนื่อยล้าน้อยลงขณะปั่นจักรยานเมื่อเปรียบเทียบกับมอลโท เดกซ์ทรีน (Furuyashiki et al., 2014)

กลไกที่ HBCD ช่วยเพิ่มสมรรถภาพการออกกำลังกายได้ดีกว่ากลูโคสคาดว่ามาจากโครงสร้าง โมเลกุลของ HBCD มีขนาดใหญ่และมีการแตกกิ่งก้าน พร้อมทั้งยังมีการเรียงตัวเป็นวงกลม จึง อาจส่งผลให้ลำไส้ต้องใช้เวลาในการย่อยและดูดซึมนานกว่ากลูโคส ถึงแม้ว่า HBCD จะมีการเคลื่อน ผ่านกระเพาะอาหารเร็วกว่ากลูโคสก็ตาม การที่ HBCD ถูกย่อยและดูดซึมอย่างช้า ๆ จึงช่วยให้ ร่างกายสามารถรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่อย่างต่อเนื่องและยาวนานกว่ากลูโคส นอกจากนี้ยัง ช่วยรักษาระดับไกลโคเจนทั้งในตับและกล้ามเนื้อไม่ให้ลดลงอย่างรวดเร็วขณะออกกำลังกายได้เช่นกัน (Gonzalez et al., 2015; Stellingwerff et al., 2007)

ทั้งนี้ประโยชน์ของ HBCD อาจไม่ได้มีเพียงแค่นั้นในด้านของการให้พลังงานเท่านั้น แต่อาจ รวมถึงด้านการตอบสนองของฮอร์โมนเช่นกัน มีงานวิจัยพบว่าการรับประทาน HBCD กระตุ้นการ หลั่งอินซูลินน้อยกว่ากลูโคสในสัตว์ทดลอง (Takii et al., 1999) ซึ่งการมีภาวะอินซูลินในเลือดสูง (Hyperinsulinemia) ส่งผลให้สมรรถภาพการออกกำลังกายลดลง เนื่องจากปริมาณอินซูลินที่ถูกหลั่ง ออกมามากเกินไปจะทำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (Hypoglycemia) และลดอัตราการสลาย ไขมันมาใช้เป็นพลังงาน (Erion & Corkey, 2017) อีกทั้งยังมีงานวิจัยพบว่า การรับประทาน คาร์โบไฮเดรตขณะออกกำลังกายช่วยลดการหลั่งคอร์ติซอล เอพิเนพรีน และนอร์เอพิเนพรีน (Utter et al., 1999) ซึ่งฮอร์โมนเหล่านี้ทำหน้าที่เร่งการสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อดังที่กล่าวไป ด้วยเหตุนี้ การรับประทานคาร์โบไฮเดรตจึงช่วยชะลอความเมื่อยล้าจากการออกกำลังกาย เป็นผลให้สมรรถภาพ ในการออกกำลังกายประเภททนทานดีขึ้นได้

ถึงแม้ว่าประโยชน์ของคาร์โบไฮเดรตต่อการเพิ่มสมรรถภาพการออกกำลังกายและการชะลอ ความเมื่อยล้าจะเป็นที่ประจักษ์ อย่างไรก็ตาม คาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดต่างมีโครงสร้างและคุณสมบัติ ที่ไม่เหมือนกัน จึงส่งผลให้เกิดความแตกต่างในด้านอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหาร อัตราเร็วใน การย่อยและดูดซึม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการตอบสนองของร่างกายเมื่อรับประทาน คาร์โบไฮเดรต ในปัจจุบัน มีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาในด้านการตอบสนองของสารชีวโมเลกุลใน

เลือดและฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกันไปขณะ ออกกำลังกาย แต่ผลของการรับประทาน HBCD ต่อการตอบสนองเหล่านี้ยังมีอยู่อย่างจำกัดมาก ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะทำการศึกษาในเรื่องการตอบสนองของฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลใน เลือด และสารชีวโมเลกุลในเลือดเมื่อรับประทาน HBCD ก่อนวิ่งแบบทนทาน โดยมีวัตถุประสงค์ คือ

- 1) เพื่อศึกษาการตอบสนองของฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของนักวิ่งระยะไกล เมื่อ รับประทานไฮลีสี่برانซ์ไซคลิกเดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทาน
- 2) เพื่อศึกษาการตอบสนองของสารชีว โมเลกุลในเลือดของนักวิ่งระยะไกล เมื่อรับประทานไฮลีสี่برانซ์ไซคลิกเดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทาน
- 3) เพื่อศึกษาสมรรถภาพในการวิ่งของนักวิ่งระยะไกล เมื่อรับประทานไฮลีสี่برانซ์ไซคลิกเดกซ์ทริน ก่อนวิ่งแบบทนทาน

ทั้งนี้ ผู้วิจัยหวังว่าการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการเพิ่มองค์ความรู้เกี่ยวกับการ รับประทาน HBCD ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดใหม่ต่อสมรรถภาพในการวิ่งแบบทนทาน และสร้าง ความเข้าใจในเรื่องกลไกการตอบสนองของร่างกายต่อการรับประทาน HBCD ก่อนการวิ่งแบบ ทนทาน เพื่อนำความรู้ทั้งหมดไปใช้ในการวางแผนพัฒนาสมรรถภาพทางการกีฬาของนักกีฬาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาสมรรถภาพในการวิ่งของนักวิ่งระยะไกล เมื่อรับประทานไฮลีสี่برانซ์ไซคลิก เดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทานเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน
- 2) เพื่อศึกษาการตอบสนองของฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของนักวิ่งระยะไกล เมื่อรับประทานไฮลีสี่برانซ์ไซคลิกเดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทานเทียบกับการรับประทาน มอลโทเดกซ์ทริน
- 3) เพื่อศึกษาการตอบสนองของสารชีวโมเลกุลในเลือดของนักวิ่งระยะไกล เมื่อรับประทาน ไฮลีสี่برانซ์ไซคลิกเดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทานเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน

คำถามในการวิจัย

- 1) การรับประทานไฮลีสี่برانซ์ไซคลิกเดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทานส่งผลต่อสมรรถภาพใน การวิ่งของนักวิ่งระยะไกลอย่างไร เมื่อเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน
- 2) การรับประทานไฮลีสี่برانซ์ไซคลิกเดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทานส่งผลต่อการตอบสนอง ของฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของนักวิ่งระยะไกลอย่างไร เมื่อเทียบกับการรับประทาน มอลโทเดกซ์ทริน

3) การรับประทานไฮลีสบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทานส่งผลต่อการตอบสนองของสารชีวโมเลกุลในเลือดของนักวิ่งระยะไกลอย่างไร เมื่อเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน

สมมุติฐานของการวิจัย

1) การรับประทานไฮลีสบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทานส่งผลให้สมรรถภาพในการวิ่งของนักวิ่งระยะไกลดีขึ้น เมื่อเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน

2) การรับประทานไฮลีสบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทานช่วยลดการตอบสนองของฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของนักวิ่งระยะไกล เมื่อเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน

3) การรับประทานไฮลีสบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทรินก่อนวิ่งแบบทนทานช่วยให้การตอบสนองของสารชีวโมเลกุลในเลือดของนักวิ่งระยะไกลดีขึ้น เมื่อเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักวิ่งระยะไกลเพศชาย

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักวิ่งระยะไกลเพศชาย อายุระหว่าง 40 – 49 ปี เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีการเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนรายการใหญ่ภายในประเทศ เช่น Bangkok marathon, Buriram marathon, Bangsaen42 Chonburi marathon มากที่สุดในช่วงปี ค.ศ. 2019 – 2020 จำนวน 9 คน ที่มีประสบการณ์ในการวิ่งอย่างต่อเนื่องไม่ต่ำกว่า 12 เดือน เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ร่างกายมีการพัฒนาในด้านอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; $VO_2\max$) และขีดจำกัดแลคเตท (Lactate threshold) น้อยมาก จึงไม่เป็นการรบกวนผลของการทดลองอันเกิดจากความทนทานของร่างกายที่เพิ่มขึ้นจากการฝึกซ้อม (Kenney et al., 2015) ในขั้นตอนการทดลอง กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนจะต้องทำการเข้ารับการทดสอบในลักษณะแบบไขว้ (Crossover design) ทั้งหมด 2 ครั้ง ได้แก่

ครั้งที่ 1 HBCD ต้มเครื่องดื่ม HBCD 30 นาที ก่อนเริ่มการทดสอบ

ครั้งที่ 2 MDX ต้มเครื่องดื่มมอลโทเดกซ์ทริน 30 นาที ก่อนเริ่มการทดสอบ

ทั้งนี้ ผู้วิจัยวิธีการทดลองแบบอำพรางฝ่ายเดียว (Single-blinded experiment) เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้เข้าร่วมทราบว่าตนเองกำลังได้รับการทดสอบด้วยรูปแบบใด

ขอบเขตด้านเนื้อหา

ตัวแปรต้น

ไฮลึ่บรานซ์ไซคลิกเดกซ์ทริน (Highly branched cyclic dextrin)

ตัวแปรด้านสรีรวิทยา

น้ำหนักตัว (Weight)

ส่วนสูง (Height)

ดัชนีมวลกาย (Body mass index; BMI)

อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; $VO_2\max$)

ตัวแปรตามด้านการตอบสนองด้านฮอร์โมน

ระดับอินซูลินในเลือด (Blood insulin level)

ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย (Salivary cortisol level)

ตัวแปรตามด้านการตอบสนองด้านเมแทบอลิก

ระดับน้ำตาลในเลือด (Blood glucose level)

ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด (Blood free fatty acids level)

ระดับแลคเตทในเลือด (Blood lactate level)

ตัวแปรตามด้านสมรรถภาพในการออกกำลังกายแบบทนทาน

ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง (Time to exhaustion; TTE)

ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า (Rate of perceived exertion; RPE)

ตัวแปรด้านจิตวิทยา

อาการแสดงของระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal symptoms)

ขอบเขตด้านสถานที่

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูล คือ อาคารจุฬาพัฒน์ 8 ชั้น 1 ห้องปฏิบัติการ 2102 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบเขตด้านระยะเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 3 เดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนเมษายน 2566

คำจำกัดความของการวิจัย

ไฮลึบรานซีไซคลิกซ์เดกซ์ทริน (Highly branched cyclic dextrin; HBCD) หมายถึง กลูโคสพอลิเมอร์ประเภทใหม่ที่ถูกผลิตจากแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แต่มีโครงสร้างพิเศษคือ มีวงแหวน แป้ง (Starch ring) อยู่ตรงกลาง อันเกิดจากการใช้เอนไซม์ในการต่อกิ่ง (Branching enzyme) เพื่อให้โมเลกุลของกลูโคสเกิดกระบวนการไซโคลเซชัน (Cyclization) เรียงต่อกันเป็นวงกลม และมีกิ่ง ที่มีโครงสร้างคล้ายกับมอลโทเดกซ์ทรินเรียงต่อกันออกมาจากวงแหวนแป้งอีกชั้นหนึ่ง คุณสมบัติของ HBCD คือ ไม่มีรสชาติ และสามารถละลายน้ำได้ดี นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในประเทศ ญี่ปุ่น รวมถึงเป็นส่วนประกอบของเครื่องดื่มทางการกีฬา (Sport drink)

มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin) หมายถึง คาร์โบไฮเดรตประเภทโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่ถูกผลิตจากการนำแป้งในพืชมาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสแบบบางส่วนจนได้ออกมาเป็นผงสีขาว มอลโทเดกซ์ทรินเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยและดูดซึมได้อย่างรวดเร็วคล้ายกับกลูโคส มีรสชาติดหวานเล็กน้อยหรืออาจไม่มีรสชาติ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) ที่อยู่ในสายโพลีเมอร์ มอลโทเดกซ์ทรินถูกนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารในการผลิตน้ำอัดลม ลูกอม หรืออาหารแปรรูป และเป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่มทางการกีฬาในปัจจุบัน

เครื่องดื่ม HBCD (HBCD drink) หมายถึง เครื่องดื่มที่เตรียมจากการนำผง HBCD ปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัม ผสมในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร และปรับความหวานด้วยสตีวียอลไกลโคไซด์ เพื่อใช้สำหรับให้ผู้ร่วมวิจัยดื่มก่อนทำการทดสอบ

เครื่องดื่มมอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin drink) หมายถึง เครื่องดื่มที่เตรียมจากการนำผงมอลโทเดกซ์ทริน ปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัม ผสมในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร และปรับความหวานด้วยสตีวียอลไกลโคไซด์ เพื่อใช้สำหรับให้ผู้ร่วมวิจัยดื่มก่อนทำการทดสอบ

ระดับน้ำตาลในเลือด (Blood glucose level) หมายถึง ความเข้มข้นของกลูโคสภายในเลือด โดยมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (mg/dL) ระดับน้ำตาลในเลือดโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 72 – 99 mg/dL ในขณะอดอาหาร และไม่ควรเกิน 140 mg/dL หลังจากรับประทานอาหารไปแล้วเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยกลูโคสส่วนเกินจะถูกนำไปสะสมในรูปของไกลโคเจนทั้งในตับและกล้ามเนื้อเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองของร่างกาย ระดับน้ำตาลในเลือดจะถูกควบคุมโดยฮอร์โมนจากตับอ่อนและ

ต่อมหมวกไตเพื่อให้อยู่ในภาวะธำรงดุล (Homeostasis) อยู่เสมอ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดส่งผลต่อการทำงานของอวัยวะภายในร่างกาย โดยเฉพาะสมอง

ระดับแลคเตทในเลือด (Blood lactate level) หมายถึง ความเข้มข้นของแลคเตทภายในเลือด โดยมีหน่วยเป็น มิลลิโมลต่อลิตร (mmol/L) และมีค่าอ้างอิงอยู่ที่ 0.5 – 1.0 mmol/L โดยแลคเตทนั้นถูกสร้างขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมแบบไม่อาศัยออกซิเจนภายในเซลล์ จากนั้นจึงถูกขับออกจากเซลล์เข้าสู่กระแสเลือดและถูกขนส่งไปที่ตับเพื่อเปลี่ยนเป็นกลูโคสผ่านวัฏจักรโครี (Cori cycle) โดยระดับแลคเตทที่สูงขึ้นในเลือดบ่งบอกถึงการที่ร่างกายได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้เซลล์ต้องสร้างพลังงานผ่านระบบพลังงานที่ไม่อาศัยออกซิเจน เช่น ในขณะที่ออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นสูง หรืออยู่ในภาวะเจ็บป่วยรุนแรง เป็นต้น

ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด (Blood free fatty acid level) หมายถึง ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระภายในเลือด โดยมีหน่วยเป็น มิลลิโมลต่อลิตร และมีค่าอ้างอิงอยู่ที่ 0.1-0.9 mmol/L กรดไขมันอิสระนั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของไตรกลีเซอไรด์ เมื่อร่างกายเกิดกระบวนการลิพอลิซิส (Lipolysis) ไตรกลีเซอไรด์ในเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue) จะถูกเอนไซม์ฮอร์โมนเซนซิทีฟลิเพส (Hormone sensitive lipase) ย่อยเป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอลออกสู่กระแสเลือด ดังนั้น การตรวจวัดระดับกรดไขมันอิสระในเลือดจึงสามารถใช้บ่งบอกถึงปริมาณไขมันที่ถูกนำมาใช้เป็นพลังงาน

ระดับอินซูลินในเลือด (Blood insulin level) หมายถึง ความเข้มข้นของอินซูลินภายในเลือด มีหน่วยเป็น พิโคโมลต่อลิตร (pmol/L) มีค่าอ้างอิงอยู่ที่ < 174 pmol/L ในขณะที่อดอาหาร โดยอินซูลินนั้นจะถูกหลั่งออกมาเพื่อตอบสนองต่อระดับน้ำตาลในเลือดที่สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังจากการรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบ และจะถูกยับยั้งการหลั่งเมื่อออกกำลังกายที่ความเข้มข้นตั้งแต่ปานกลางไปจนถึงความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ ระดับอินซูลินในเลือดยังถูกนำไปใช้ในการตรวจวินิจฉัยโรคเบาหวานชนิดที่ 1 และ 2

ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย (Salivary cortisol level) หมายถึง ความเข้มข้นของคอร์ติซอลในน้ำลาย มีหน่วยเป็น นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร (ng/mL) คอร์ติซอลในน้ำลายจะอยู่ในรูปของคอร์ติซอลอิสระทั้งหมด ซึ่งแตกต่างจากคอร์ติซอลในเลือดที่จะอยู่ในรูปของคอร์ติซอลอิสระเพียงร้อยละ 1-10 เท่านั้น โดยคอร์ติซอลอิสระเป็นส่วนที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ และเป็นส่วนที่สามารถแพร่เข้าสู่เซลล์ที่เป็นเป้าหมายได้ อีกทั้งระดับคอร์ติซอลในน้ำลายยังมีความสัมพันธ์อย่างมากกับระดับคอร์ติซอลใน

เลือด จึงสามารถใช้ระดับคอริติซอลในน้ำลายประมาณค่าระดับคอริติซอลในเลือดได้ อีกทั้งการวัดระดับคอริติซอลในน้ำลายนั้นยังมีข้อดีในแง่ที่เป็นวิธีการตรวจสอบที่ไม่รุกรานต่อผู้ร่วมวิจัย อย่างไรก็ตาม ระดับคอริติซอลในน้ำลายนั้นมีความผันแปรไปตามช่วงเวลาในแต่ละวัน ค่าอ้างอิงของระดับคอริติซอลจึงขึ้นอยู่กับช่วงเวลาทำการเก็บตัวอย่าง แบ่งเป็นช่วงเวลาดังนี้

1. เวลา 07.00 น. – 09.00 น. มีค่าอ้างอิงอยู่ที่ 100 - 750 ng/dL
2. เวลา 15.00 น. – 17.00 น. มีค่าอ้างอิงอยู่ที่ <401 ng/dL
3. เวลา 23.00 น. – 00.00 น. มีค่าอ้างอิงอยู่ที่ <100 ng/dL

อัตราส่วนการแลกเปลี่ยนแก๊ส (Respiratory exchange ratio; RER) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกสร้างขึ้นและแก๊สออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในกระบวนการเผาผลาญพลังงาน ซึ่งสามารถวัดได้จากการใส่หน้ากากวิเคราะห์แก๊ส RER สามารถใช้เพื่อประมาณค่าการเลือกใช้แหล่งพลังงานขณะทำกิจกรรมของร่างกาย หากค่า RER ยิ่งต่ำเป็นการบ่งบอกว่าร่างกายกำลังใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงาน ในทางกลับกัน หากค่า RER สูงจะหมายถึงร่างกายกำลังใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานหลัก อย่างไรก็ตาม การประเมินการเลือกใช้แหล่งพลังงานจาก RER นั้นจะมีความแม่นยำเฉพาะเมื่อทดสอบในขณะที่พักหรือออกกำลังกายที่ความเข้มข้นปานกลางเท่านั้น เนื่องจากการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดการสะสมของแลคเตทเพิ่มขึ้นในเลือด ร่างกายจึงเพิ่มการขับคาร์บอนไดออกไซด์ออกผ่านทางระบบหายใจ และส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้มีค่ามากกว่าปกติ โดยทั่วไป RER มักมีค่าอยู่ในช่วง 0.70 – 1.00 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกิจกรรมที่ทำ โดย RER ขณะวิ่งมาราธอนนั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.87 – 0.89 นอกจากนี้ เพศยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อ RER ซึ่งเพศชายจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเพศหญิง

อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate; HR) หมายถึง จำนวนครั้งที่หัวใจบีบตัวภายในหนึ่งนาที มีหน่วยเป็น ครั้งต่อนาที (bpm) ซึ่งจะมีการปรับเปลี่ยนไปตามสภาวะที่ร่างกายกำลังเผชิญ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจนั้นมีมากมาย เช่น พันธุกรรม ความแข็งแรงของร่างกาย ความเครียด ยา อาหาร ระดับฮอร์โมน สิ่งแวดล้อม โรคภัย หรืออาจเกิดจากปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของปัจจัยเหล่านี้ ในทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจสามารถใช้บ่งบอกความเข้มข้นในการออกกำลังกายได้ เนื่องจากอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่ต้องการออกซิเจนมากขึ้นหรือต้องการขับคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นในการออกกำลังกาย

การทดสอบแบบไล่ระดับตามแนวทางของแรมป์ (Incremental ramp exercise protocol) หมายถึง การทดสอบความสามารถในการออกกำลังกายโดยการกำหนดให้ผู้ทดสอบต้องออกกำลังกายที่มีการเพิ่มระดับความเข้มข้นให้สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถทดสอบได้โดยการกำหนดความเร็วตั้งต้นในการทดสอบ ระดับการออกกำลังกายในแต่ละขั้น ซึ่งวัดจากงานที่ผู้ทดสอบต้องกระทำ และอัตราเร็วในการปรับระดับความเข้มข้นในการออกกำลังกาย การทดสอบนี้จะเริ่มโดยการให้ผู้ทดสอบออกกำลังกายที่ความเข้มข้นต่ำ จากนั้นจึงค่อย ๆ ปรับระดับความเข้มข้นขึ้นจนถึงจุดที่ผู้ทดสอบไม่สามารถออกกำลังกายได้ตามความเข้มข้นที่กำหนดให้จึงเป็นอันสิ้นสุดการทดสอบ การทดสอบนี้ถูกใช้ร่วมกับการวิเคราะห์แก๊สเพื่อประเมินค่าจุดเปลี่ยนแปลงการหายใจที่ 1 และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายโดยเป็นวิธีทดสอบที่ปลอดภัยและสามารถทำการทดสอบได้ตั้งแต่ผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดในการออกกำลังกายไปจนถึงนักกีฬาระดับสูง

จุดเปลี่ยนแปลงการหายใจที่ 1 (Ventilatory threshold 1; VT₁) หมายถึง จุดที่อัตราการหายใจขณะออกกำลังกายเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย อันเกิดจากการที่ร่างกายไม่สามารถกำจัดกรดแลคติกได้ทัน จึงเริ่มเกิดการสะสมขึ้นในเลือด มักนิยมใช้ในการกำหนดความเข้มข้นในการออกกำลังกายสำหรับผู้ที่มีข้อจำกัดในการออกกำลังกาย เช่น ผู้ป่วยโรคปอดหรือหัวใจ ผู้สูงอายุ เป็นต้น

จุดเปลี่ยนแปลงการหายใจที่ 2 (Ventilatory threshold 2; VT₂) คือ จุดที่อัตราการหายใจขณะออกกำลังกายเพิ่มสูงขึ้นจนผู้ทดสอบหายใจไม่ทัน ที่อัตราการหายใจที่สูงระดับนี้ ผู้ทดสอบจะไม่สามารถพูดคุยโต้ตอบได้อีกต่อไป เนื่องจากการออกกำลังกายที่จุดเปลี่ยนแปลงการหายใจที่ 2 มีความเข้มข้นสูงมากจนร่างกายมีการเปลี่ยนระบบพลังงานจากอากาศนิยมไปเป็นอนากาศนิยมมากขึ้น จนทำให้ปริมาณแลคเตทในเลือดเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว สามารถเรียกจุดนี้ได้อีกชื่อว่า **ขีดจำกัดอนากาศนิยม (Anaerobic threshold)**

อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; VO₂max) หมายถึง อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายในขณะออกกำลังกาย มีหน่วยเป็น มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อนาที (mL/kg/min) โดยเป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นถึงระดับความทนทานต่อการออกกำลังกายประเภททนทานของร่างกาย ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากการทดสอบความสามารถในการออกกำลังกายแบบไล่ระดับ

การวิ่งระยะไกล (Long distance running) คือ การวิ่งอย่างต่อเนื่องบนถนนในระยะทางตั้งแต่ 10 กิโลเมตรเป็นต้นไป จัดเป็นการออกกำลังกายแบบอากาศนิยม ซึ่งร่างกายต้องพึ่งพาระบบพลังงานออกซิเดทีฟเป็นระบบพลังงานหลัก

นักวิ่งระยะไกล (Long-distance runners) หมายถึง ผู้มีประสบการณ์ผ่านการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนอย่างน้อย 1 ครั้ง ภายในช่วงเวลาไม่เกิน 1 ปี ก่อนการเข้าร่วมการวิจัย และในปัจจุบันยังมีการฝึกซ้อมวิ่งในระยะทางไม่ต่ำกว่า 50 กิโลเมตรต่อสัปดาห์

การทดสอบวิ่งแบบทนทาน (Endurance running test) หมายถึง การวิ่งที่ความเร็ว ณ จุดเปลี่ยนแปลงการหายใจที่ 1 เป็นเวลา 30 นาที ตามมาด้วยการวิ่งแบบไล่ระดับจนเหนื่อยหมดแรง โดยเป็นการวิ่งที่ใช้ความเร็ว ณ จุดเปลี่ยนแปลงการหายใจที่ 1 เป็นความเร็วเริ่มต้น จากนั้นจึงเพิ่มความเร็วขึ้น 0.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทุก 30 วินาที เนื่องจากการแข่งขันกีฬามาราธอนในระดับสูง นักกีฬาจำเป็นต้องมีทั้งความทนทานและความเร็วเพื่อให้ได้สถิติเวลาที่ดีที่สุด

ระดับความรู้รู้ต่อความเหนื่อยล้า (Rate of perceived exertion; RPE) หมายถึง ความรู้สึกในการใช้ความพยายามในการออกแรงขณะทำกิจกรรมทางกาย โดยสามารถวัดได้ในเชิงปริมาณด้วยมาตรวัดของบอร์ก (Borg's scale) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 6- 20 ระดับความรู้รู้ต่อความเหนื่อยล้า นั้นสามารถใช้บ่งบอกความเข้มข้นของการทดสอบผ่านความรู้สึกที่ผู้ร่วมวิจัยรับรู้หรือสัมผัสได้

การเหนื่อยหมดแรง (Exhaustion) หมายถึง ภาวะที่ผู้ร่วมวิจัยไม่สามารถวิ่งที่ความเร็วที่กำหนดไว้ได้อีกต่อไป ส่งผลให้ผู้ร่วมวิจัยต้องลดความเร็วในการวิ่งลงหรือต้องหยุดออกกำลังกายในทันที สามารถสังเกตได้จาก 1) RER มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.15 ขึ้นไป ซึ่งเป็นการสะท้อนว่าร่างกายออกกำลังกายจนถึงจุดที่ไม่สามารถกำจัดแลคเตทได้ทัน และเกิดการสะสมของแลคเตทขึ้นในเลือด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถภาพในการวิ่ง 2) RPE มากกว่าหรือเท่ากับ 18 เมื่อวัดด้วยมาตรวัดของบอร์ก ซึ่งบ่งบอกว่าผู้ร่วมวิจัยไม่มีแรงเพียงพอที่จะวิ่งที่ความเร็วที่กำหนดได้อีกต่อไป จนส่งผลให้ผู้ร่วมวิจัยรู้สึกว่าจะต้องใช้ความพยายามมากขึ้นในการรักษาความเร็วให้คงที่

ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง (Time to exhaustion; TTE) หมายถึง ระยะเวลาที่ผู้ร่วมวิจัยสามารถวิ่งที่ความเร็วที่กำหนดได้ก่อนที่เหนื่อยหมดแรง มีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งเป็นค่าที่สะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของร่างกายในการอดทนต่อการออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นสูง

ความเมื่อยล้า (Fatigue) หมายถึง สภาวะที่กล้ามเนื้อมีความสามารถในการสร้างแรงหรือกำลังลดลง และเกิดความรู้สึกอยากลำบากที่จะทำกิจกรรมนั้น ๆ ต่อไป จนส่งผลให้ร่างกายต้องลดระดับความเข้มข้นในการทำกิจกรรมลงเพื่อให้ยังสามารถกิจกรรมนั้น ๆ ต่อไปได้

อาการทางระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal symptoms) หมายถึง อาการไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นภายในระบบทางเดินอาหาร เช่น ปวดแน่นท้อง ปวดเกร็งท้อง ปวดแสบท้อง ท้องอืด ท้องเฟ้อ ท้องเสีย เป็นต้น ซึ่งพบได้มากในนักกีฬาหรือผู้ที่ออกกำลังกาย และจะยังมีความเสี่ยงในการเกิดอาการแสดงของระบบทางเดินอาหารมากขึ้นเมื่อออกกำลังกายทันทีหลังรับประทานอาหาร หรือเมื่อรับประทานอาหารในระหว่างออกกำลังกาย อาการทางระบบทางเดินอาหารไม่สามารถวัดเป็นค่าที่แท้จริงได้ แต่สามารถให้ผู้ร่วมวิจัยอธิบายอาการและความรุนแรงที่เกิดขึ้นผ่านการใช้มาตรวัดแบบวิซวลอนาล็อก (Visual analogue scale) ซึ่งเป็นการวัดความรู้สึกที่ผู้ร่วมวิจัยกำลังรับรู้อยู่ ณ ขณะนั้น

ขั้นตอนในการสร้างความคุ้นเคย (Familiarization protocol) หมายถึง การจำลองขั้นตอนหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจริง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ร่วมวิจัยเกิดความรู้และความเข้าใจต่อกิจกรรมหรือขั้นตอนที่มีความเฉพาะเจาะจงที่ต้องปฏิบัติขณะเข้าร่วมการวิจัย เพื่อลดความผันผวนของผลการทดสอบอันเกิดจากความไม่คุ้นเคยต่อการทดสอบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงผลของการรับประทาน HBDCD ก่อนวิ่งระยะไกลต่อการตอบสนองของฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด สารชีวโมเลกุลในเลือด และสมรรถภาพในการวิ่งของนักวิ่งเพศชาย อายุ 40 ถึง 49 ปี
- 2) นำความรู้ที่ได้ไปต่อยอดในการพัฒนาเครื่องมือให้เหมาะสมกับการวิ่งระยะไกล
- 3) เป็นการเพิ่มองค์ความรู้ใหม่ด้านโภชนาการการกีฬาในประเทศไทย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาผลของการรับประทานไฮลีสบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทรินต่อสมรรถภาพต่อฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การตอบสนองด้านเมแทบอลิก และสมรรถภาพในการวิ่งในนักวิ่งระยะไกล ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลต่างๆ จากหนังสือ วารสาร เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เพื่อสร้างความรู้และความเข้าใจในด้านผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตขณะออกกำลังกายต่อสมรรถภาพการออกกำลังกาย รวมถึงการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของร่างกาย และเพื่อค้นหาประเด็นปัญหาที่งานวิจัยก่อนหน้านี้ในอดีตยังไม่สามารถหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้ จนนำไปสู่การตั้งคำถามในการวิจัยเพื่อหาคำตอบ โดยตั้งอยู่บนหลักฐานทางวิทยาศาสตร์หรือทฤษฎีที่ได้รับการพิสูจน์มาก่อนหน้า ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสรุปองค์ความรู้ตามหัวข้อตามลำดับ ดังต่อไปนี้

กีฬาวิ่งมาราธอน

ประวัติความเป็นมาของกีฬาวิ่งมาราธอนในต่างประเทศ

ประวัติความเป็นมาของกีฬาวิ่งมาราธอนในประเทศไทย

ประเภทของกีฬาวิ่งมาราธอน

ระบบพลังงานที่ใช้ในกีฬามาราธอน

ระบบเอทีพี-ซีพี

ระบบไกลโคไลติก

ระบบออกซิเดทีฟ

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

การตอบสนองด้านฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดขณะออกกำลังกายประเภท
ทนทาน

อินซูลิน

กลูคากอน

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอินซูลินและกลูคากอน

คอร์ติซอล

วิธีการตรวจวัดฮอร์โมน

สารอาหารที่สำคัญสำหรับนักกีฬาวิ่งมาราธอน

คาร์โบไฮเดรต

ระดับไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ

ระดับน้ำตาลในเลือด

โปรตีน

ไขมัน

อาหารเสริมที่เพิ่มสมรรถนะทางการกีฬา

กลุ่มคาร์โบไฮเดรต

คาเฟอีน

ไนเตรท

ไฮลีสัปรานซ์ไซคลิกเดกซ์ทริน

โครงสร้างและคุณสมบัติของ HBCD

กระบวนการย่อยและดูดซึม HBCD

ประโยชน์ของ HBCD

ปริมาณการใช้ HBCD ในการวิจัย

มอลโทเดกซ์ทริน

โครงสร้างและคุณสมบัติของมอลโทเดกซ์ทริน

ประโยชน์ในด้านการเสริมสมรรถภาพความทนทาน

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยภายในประเทศ

งานวิจัยต่างประเทศ

กรอบแนวคิดการวิจัย

โดยแต่ละหัวข้อมามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กีฬาวิ่งมาราธอน

ประวัติความเป็นมาของกีฬาวิ่งมาราธอนในต่างประเทศ

จากหนังสือ The Olympic Marathon ได้อธิบายถึงความเป็นมาของกีฬาวิ่งมาราธอนตั้งแต่จุดเริ่มต้น โดยแต่เดิมชื่อการแข่งขัน “มาราธอน” มาจากเมืองมาราธอนในประเทศกรีซ อันเป็นสมรภูมิของการต่อสู้ที่เมืองมาราธอน (Battle of Marathon) ระหว่างชาวเปอร์เซียและชาวเอเธนส์ (Martin et al., 2000) ผลการต่อสู้ในครั้งนั้นจบลงด้วยชัยชนะของชาวเอเธนส์ และเพื่อเป็นการแจ้งข่าวให้กับกองทัพเอเธนส์ทราบ ผู้ส่งสารนามว่า Philippides จำเป็นต้องวิ่งจากเมืองมาราธอนไปยังกรุงเอเธนส์เป็นระยะทางประมาณ 40 กิโลเมตร เมื่อไปถึงจุดหมาย เขาจึงได้ประกาศชัยชนะให้ทุกคนทราบพร้อมกับล้มลงและเสียชีวิตในทันที

ตำนานดังกล่าวสร้างแรงบันดาลใจให้กับนักปรัชญาชาวฝรั่งเศสชื่อว่า Michel Bréal ซึ่งเป็นผู้ที่ชื่นชอบในเรื่องนิยายปรัมปราของกรีกและเป็นผู้คลั่งไคล้ในกีฬา ประกอบกับในช่วงเวลาดังกล่าว เขากำลังทำงานร่วมกับ Pierre de Coubertin นักประวัติศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ซึ่งเป็นคนสำคัญในการผลักดันให้เกิดการแข่งขัน “กีฬาโอลิมปิก (Olympic Games)” อันเป็นการแข่งขันกีฬาที่นำชื่อมาจากการแข่งขันโอลิมปิกในสมัยกรีกโบราณ ด้วยความที่กีฬาโอลิมปิกครั้งแรกจะถูกจัดขึ้นที่ประเทศกรีซ Bréal จึงเกิดความคิดที่ว่า หากในการแข่งขันครั้งนี้มีกีฬาที่มีต้นกำเนิดมาจากตำนานกรีกรวมอยู่ด้วย ก็น่าจะได้รับความสนับสนุนจากชาวกรีซเป็นอย่างดี ดังนั้น ทั้งคู่จึงได้ร่วมกันเสนอให้มีการจัดการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนขึ้นในกีฬาโอลิมปิกนับตั้งแต่ครั้งแรกที่มีการจัดการแข่งขันขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1896 นอกจากนี้ ความสำเร็จในการจัดการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนในกีฬาโอลิมปิกกลายเป็นแรงบันดาลใจให้เกิดการจัดการแข่งขันบอสตันมาราธอน (Boston marathon) ในปีถัดมา ซึ่งนับว่าเป็นการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนประจำปีที่เก่าแก่ที่สุดของโลก (Berryman & Park, 1992) ในช่วงแรกการแข่งขันวิ่งมาราธอนยังไม่ถูกกำหนดระยะทางอย่างเป็นทางการ โดยมีระยะทางอยู่ที่ 40 – 42 กิโลเมตร จนกระทั่งปี ค.ศ. 1921 ทางสหพันธ์สมาคมกรีฑานานาชาติ ซึ่งปัจจุบันเปลี่ยนชื่อมาเป็นกรีฑาโลก (World Athletics) ได้มีการกำหนดระยะทางมาตรฐานสำหรับกีฬาวิ่งมาราธอนไว้ที่ 42.195 กิโลเมตร และเริ่มใช้ในการแข่งขันอย่างเป็นทางการครั้งแรกในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกในปี ค.ศ. 1924 เรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน (Martin et al., 2000)

ความนิยมของกีฬาวิ่งมาราธอนเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา โดยในปี ค.ศ. 2006 ได้เกิดการแข่งขันเวิร์ลด์มาราธอนเมเจอร์ (World marathon majors) ซึ่งเป็นการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนในลักษณะเก็บคะแนนสะสมเป็นฤดูกาล การแข่งขันนี้ประกอบไปด้วยการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอน 5 สนาม อันได้แก่ บอสตันมาราธอน, ลอนดอนมาราธอน (London marathon), เบอร์ลินมาราธอน (Berlin marathon), ชิคาโกมาราธอน (Chicago marathon) และนิวยอร์กซิตีมาราธอน (New York City marathon) ต่อมาในปี ค.ศ. 2015 การแข่งขันโตเกียวมาราธอน (Tokyo marathon) ได้ถูกรวมเป็นส่วนหนึ่งของการแข่งขันเวิร์ลด์มาราธอนเมเจอร์ ทำให้ในปัจจุบันการแข่งขันนี้มีสนามวิ่งทั้งหมด 6 สนาม และผู้ชนะในแต่ละฤดูกาลจะได้รับเงินรางวัลสูงถึง 500,000 ดอลลาร์สหรัฐ ไม่เพียงเท่านั้น ความนิยมของกีฬาวิ่งมาราธอนยังคงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนในปี ค.ศ. 2016 มีนักวิ่งสมัครเล่นลงแข่งขันวิ่งมาราธอนสูงถึง 9.1 ล้านคน นับเป็นสถิติจำนวนผู้สมัครสูงที่สุดตั้งแต่มีการจัดการแข่งขัน (Anderson, 2020)

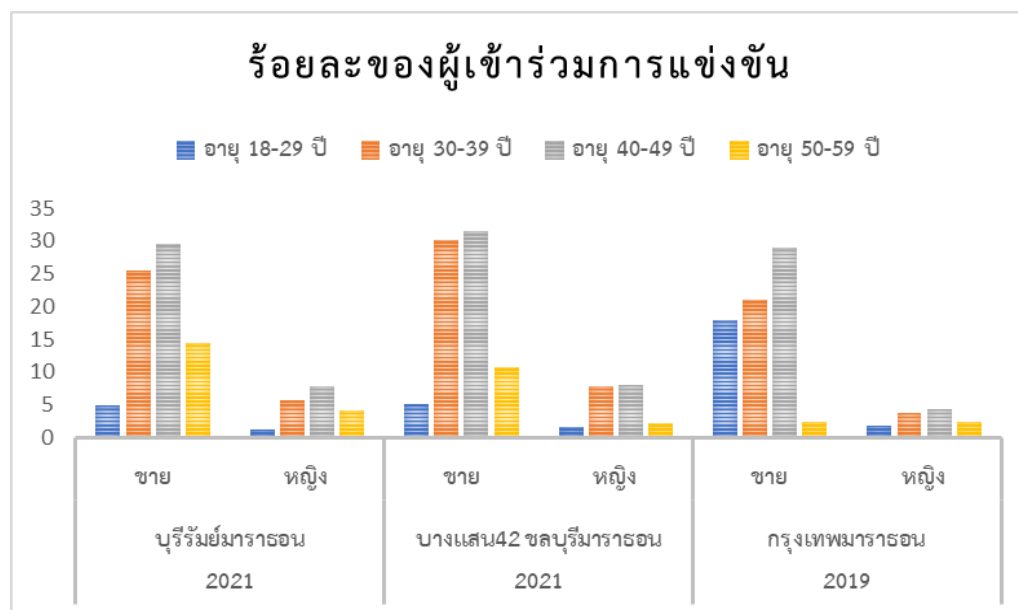
ประวัติความเป็นมาของกีฬาวิ่งมาราธอนในประเทศไทย

หากเปรียบเทียบในระดับสากล กีฬาวิ่งมาราธอนในประเทศไทยยังถือว่าเป็นการแข่งขันกีฬาที่เกิดขึ้นได้ไม่นาน โดยการแข่งขันวิ่งทางไกลในระยะมาราธอนถูกจัดขึ้นเป็นครั้งแรกในรายการ “วิ่งลอยฟ้าเฉลิมพระเกียรติ The Royal Marathon Bangkok” เมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2530 หรือเกิดขึ้นภายหลังจากมีการจัดการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนอย่างเป็นทางการครั้งแรกของโลกกว่า 90 ปี อย่างไรก็ตาม ในรายการดังกล่าวถือเป็นจุดเริ่มต้นของประวัติศาสตร์การวิ่งของประเทศไทย เพราะไม่เพียงแต่จะเป็นการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนที่เกิดขึ้นครั้งแรกอย่างเป็นทางการเท่านั้น แต่ยังสามารถรับสมัครนักวิ่งทุกประเภทเข้าร่วมการแข่งขันได้เป็นจำนวนกว่า 100,000 คน และนับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา กระแสความนิยมในด้านการวิ่งของประเทศไทยมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องจากการสนับสนุนจากหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน รวมถึงสื่อภาพยนตร์ที่ได้นำกีฬาวิ่งมาราธอนมาเป็นตัวดำเนินเรื่องหลักจนสามารถจุดกระแสความนิยมในเรื่องการวิ่งเพื่อสุขภาพให้กับคนไทยได้ ซึ่งสังเกตได้จากสถิติผู้ออกกำลังกายด้วยการวิ่งในประเทศไทย จากเดิมในปี พ.ศ.2554 มีจำนวนประมาณ 5.5 ล้านคน ได้เพิ่มขึ้นเป็น 11.96 ล้านคน ในปี พ.ศ.2559 โดยในบรรดานักวิ่งทั้งหมด พบว่า นักวิ่งส่วนใหญ่อยู่ในวัยทำงานเป็นจำนวน 6.88 ล้านคน ไม่เพียงเท่านั้น ในปี พ.ศ.2560 ยังได้มีการจัดตั้งโครงการ “ก้าวคนละก้าว” ซึ่งเป็นโครงการวิ่งระยะไกลจากอำเภอเบตง จังหวัดยะลา ไปสิ้นสุดที่

อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย เพื่อระดมทุนนำไปซื้อเครื่องมือทางการแพทย์ไปบริจาคให้กับโรงพยาบาลทั่วประเทศไทย โครงการดังกล่าวเป็นปรากฏการณ์สำคัญที่สามารถสร้างแรงบันดาลใจให้คนไทยหันมาวิ่งออกกำลังกายเพื่อสุขภาพมากขึ้น ซึ่งสะท้อนออกมาเป็นจำนวนการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนภายในประเทศที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับจำนวนนักวิ่ง โดยในปี พ.ศ.2559 มีการจัดการแข่งขันรวมทั้งสิ้น 471 รายการ ต่อมาในปี พ.ศ.2560 จำนวนการแข่งขันได้เพิ่มขึ้นจนมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 696 รายการ ดังนั้น แนวโน้มของการวิ่งเพื่อสุขภาพตลอดจนถึงการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนในประเทศไทยนั้นกำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่องในทุกปี (Rakpuang, 2019)

ถึงแม้ว่าการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนในประเทศไทยจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การแข่งขันที่ได้รับการรับรองมาตรฐานในระดับสากลจากทางกรีฑาโลกนั้นมีเพียง 2 การแข่งขันเท่านั้น ได้แก่ บุรีรัมย์มาราธอน โดยผ่านการรับรองมาตรฐานการแข่งขันกรีฑาประเภทถนนระดับฉลากเงิน (Silver label road race) ซึ่งการแข่งขันระยะฟูลมาราธอนประจำปี 2021 มีผู้เข้าร่วมทั้งสิ้น 4,291 คน แบ่งเป็นเพศชาย 3,438 คน คิดเป็นร้อยละ 80.1 และเพศหญิง 853 คน คิดเป็นร้อยละ 19.9 เมื่อจำแนกผู้เข้าร่วมตามกลุ่มอายุ พบว่า กลุ่มอายุที่มีผู้เข้าร่วมมากที่สุด คือ กลุ่มอายุ 40-49 ปี มีจำนวน 1,601 คน คิดเป็นร้อยละ 37.3 รองลงมาเป็นกลุ่มอายุ 30-39 ปี มีจำนวน 1,341 คน คิดเป็นร้อยละ 31.2 ในด้านสถิติการเข้าเส้นชัย เวลาเข้าเส้นชัยที่ดีที่สุดของฝ่ายชาย คือ 2:34:59 ชั่วโมง ส่วนฝ่ายหญิงอยู่ที่เวลา 3:14:57 ชั่วโมง (“Buriram Marathon 2021 Results”, 2021) และอีกหนึ่งการแข่งขันที่ผ่านมาตรฐานของกรีฑาโลก คือ บางแสน 42 ชลบุรีมาราธอน โดยได้รับมาตรฐานการแข่งขันกรีฑาประเภทถนนระดับฉลากทองแดง (Bronze label road race) โดยในปี 2020 มีผู้เข้าร่วมการแข่งขันระยะฟูลมาราธอนจำนวน 8,309 คน แบ่งเป็นเพศชาย 6,617 คน คิดเป็นร้อยละ 79.6 และเพศหญิง 1,692 คน คิดเป็นร้อยละ 20.4 ในส่วนของสถิติกลุ่มอายุของผู้เข้าร่วมพบว่า กลุ่มอายุที่มีผู้เข้าร่วมมากที่สุด คือ กลุ่มอายุ 35-39 ปี มีจำนวน 1,928 คน คิดเป็นร้อยละ 23.2 รองลงมาเป็นกลุ่มอายุ 40-44 ปี มีจำนวน 1,899 คน คิดเป็นร้อยละ 22.8 สำหรับสถิติการเข้าเส้นชัยลำดับที่หนึ่งของฝ่ายชายอยู่ที่เวลา 2:22:26 ชั่วโมง และฝ่ายหญิงอยู่ที่เวลา 2:57:47 ชั่วโมง (“Bangsaen 42 Chonburi Marathon 2020 Results”, 2020) นอกจากนี้ ยังมีอีกหนึ่งการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนประจำปีที่กำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นของประเทศไทย ได้แก่ กรุงเทพมหานคร โดยในปี 2019 มีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 2,076 คน แบ่งเป็นเพศชาย 1,803 คน คิดเป็นร้อยละ 86.8 และเพศหญิง

273 คน คิดเป็นร้อยละ 13.2 ในด้านกลุ่มอายุที่มีผู้เข้าร่วมการแข่งขันมากที่สุด คือ กลุ่มอายุ 40-49 ปี มีจำนวน 695 คน รองลงมาเป็นกลุ่มอายุ 30-39 ปี มีจำนวน 515 คนและสุดท้ายในด้านของสถิติเวลาในการเข้าเส้นชัยเป็นลำดับที่หนึ่งของฝ่ายชายอยู่ที่เวลา 2:33:54 ชั่วโมง ส่วนฝ่ายหญิงอยู่ที่เวลา 2:55:14 ชั่วโมง (“Bangkok Marathon 2019 Results”, 2019) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ร้อยละของผู้เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนรายการใหญ่ในประเทศไทย

ที่มา: raceresult.com, 2019

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเภทของกีฬาวิ่งมาราธอน

การแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนจัดอยู่ในประเภทการวิ่งบนพื้นถนน (Road running) โดยทั่วไป หากพูดถึงกีฬาวิ่งมาราธอนจะหมายถึงการแข่งขันวิ่งระยะทาง 42.195 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม การแข่งขันวิ่งมาราธอนในแต่ละครั้งมักมีระยะทางให้ผู้เข้าร่วมลงแข่งขันได้หลากหลาย โดยระยะทางมาตรฐานที่ทางกรีฑาโลกให้การรองรับและบันทึกสถิติโลก คือ ระยะ 5 กิโลเมตร 10 กิโลเมตร 21 กิโลเมตร หรือฮาล์ฟมาราธอน (Half marathon) 42.195 กิโลเมตร หรือมาราธอน (Marathon) และ 100 กิโลเมตร หรืออัลตรามาราธอน (Ultramarathon) (World Athletics, n.d.)

ระบบพลังงานที่ใช้ในกีฬามารathon

Kenney et al. (2015) ได้อธิบายถึงทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานในเชิงสรีรวิทยาการออกกำลังกายโดยมีใจความสำคัญ คือ การออกกำลังกายจำเป็นต้องอาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งในการหดตัวของกล้ามเนื้อแต่ละครั้งต้องอาศัยพลังงานในรูปของอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine triphosphate; ATP) เพื่อขับเคลื่อนให้เกิดปฏิกิริยาเคมีจนนำไปสู่การขยับร่างกายเพื่อออกกำลังกาย โดยเซลล์ในร่างกายมีความสามารถในการสร้าง ATP จากระบบพลังงานทั้งหมด 3 ระบบ ได้แก่

ระบบเอทีพี-ซีพี

ระบบเอทีพี-ซีพีเป็นระบบพลังงานที่มีความเรียบง่ายที่สุด ประกอบไปด้วย ATP ซึ่งเป็นพลังงานที่ถูกสะสมอยู่ในเซลล์โดยตรง และสารให้พลังงานสูงที่เรียกว่า ครีเอทีนฟอสเฟต (Creatine phosphate; CP) ซึ่งสามารถให้พลังงานได้ทันทีโดยอาศัยเพียงปฏิกิริยาเดียวในการสร้าง ATP ได้แก่

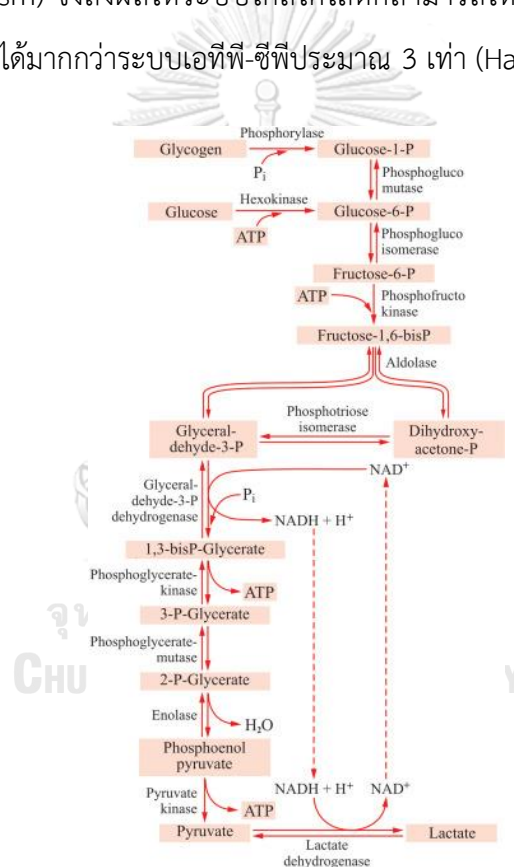


การที่ระบบเอทีพี-ซีพีสามารถสร้าง ATP ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ระบบพลังงานนี้เป็นแหล่งผลิต ATP ที่มีความสำคัญมากในขณะที่ยอกำลังกายด้วยความเข้มข้นสูง เช่น การยกน้ำหนัก การกระโดดสูง หรือการวิ่งเร็ว (Sprint) ซึ่งเป็นกิจกรรมที่มีอัตราการใช้ ATP สูงกว่าขณะพักถึง 100 เท่า เพื่อให้กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้อย่างรวดเร็ว (Parolin et al., 1999) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดที่สำคัญของระบบเอทีพี-ซีพี คือ ความจุในการเก็บรักษา ATP และ CP ในเซลล์นั้นต่ำมาก ระบบพลังงานนี้จึงสามารถให้พลังงานได้เพียงแค่ช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 15 วินาทีแรกของการออกกำลังกายเท่านั้น (Kenney et al., 2015) หากการออกกำลังกายหรือการแข่งขันกีฬามีระยะเวลาที่นานขึ้น ร่างกายจำเป็นต้องอาศัยระบบพลังงานอื่นเพื่อช่วยในการสร้าง ATP ด้วยเหตุนี้ ระบบเอทีพี-ซีพีจึงแทบไม่มีความสำคัญในการแข่งขันวิ่งระยะไกลอย่างมารathon

ระบบไกลโคไลติก

หลังจากที่ระบบเอทีพี-ซีพีไม่สามารถสร้าง ATP ได้อย่างเพียงพออีกต่อไป ระบบพลังงานหลักลำดับถัดไป คือ ระบบไกลโคไลติก ซึ่งอาศัยกระบวนการในการแตกตัวของกลูโคส เรียกว่า ไกลโคไลซิส (Glycolysis) โดยร่างกายจะได้รับกลูโคสจากการรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรต จากนั้นคาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดในรูปของกลูโคส ต่อมากลูโคสส่วนเกินจะ

ถูกนำไปสะสมในตับและกล้ามเนื้อในรูปของไกลโคเจน ไกลโคไลซิสยังสามารถจำแนกออกเป็นไกลโคไลซิสแบบอาศัยออกซิเจน (Aerobic glycolysis) และไกลโคไลซิสแบบไม่อาศัยออกซิเจน (Anaerobic glycolysis) โดยสิ่งที่กำหนดว่าจะเกิดไกลโคไลซิสแบบใดนั้น คือ ออกซิเจนภายในเซลล์ ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการไกลโคไลซิส ไกลโคเจนจะถูกสลายออกมาเป็นกลูโคสอีกครั้ง จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการไกลโคไลซิส ซึ่งประกอบไปด้วยปฏิกิริยา 10 ถึง 12 ปฏิกิริยา (Blanco & Blanco, 2017) ดังรูปที่ 2 เพื่อสร้างเป็นไพรูเวต (Pyruvate) และจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก (Lactic acid) ในขั้นตอนสุดท้ายหากภายในเซลล์ไม่มีออกซิเจนเพียงพอ กระบวนการทั้งหมดเกิดขึ้นภายในไซโทพลาซึม (Cytoplasm) จึงส่งผลให้ระบบไกลโคไลติกสามารถให้พลังงานได้อย่างรวดเร็ว ทั้งยังสามารถสร้างพลังงานได้มากกว่าระบบเอทีพี-ซีพีประมาณ 3 เท่า (Hargreaves & Spriet, 2020)



รูปที่ 2 วิธีไกลโคไลซิส (Glycolysis pathway)

ที่มา: Blanco & Blanco, 2017

ถึงแม้ว่าระบบไกลโคไลติกจะสามารถให้พลังงานได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ระบบนี้มีข้อเสียที่สำคัญ คือ สามารถผลิต ATP ได้น้อย โดยที่ไกลโคเจน 1 โมเลกุลสามารถสร้าง ATP ได้เพียง 3 โมเลกุล และกลูโคส 1 โมเลกุลใช้ผลิต ATP ได้เพียง 2 โมเลกุลเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้น ในช่วงแรกของ

การออกกำลังกาย ความต้องการพลังงานของร่างกายจะสูงขึ้นอย่างฉับพลัน ทำให้เซลล์ต้องเร่งสร้าง ATP ให้รวดเร็วที่สุด แต่ในขณะเดียวกัน ร่างกายยังไม่สามารถนำออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์เหล่านั้นได้ทันทั่วถึง จึงทำให้เกิดไกลโคไลซิสแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งก่อให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้กล้ามเนื้อมีสภาพเป็นกรด ด้วยสภาวะเช่นนี้ กระบวนการไกลโคไลซิสจะถูกหยุดลงเนื่องจากความเป็นกรดจะไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (Enzyme) ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการนี้ และยังลดความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งสภาวะที่กล้ามเนื้อเป็นกรดนี้ ส่งผลให้ระบบไกลโคไลติกไม่สามารถสร้างพลังงานได้อย่างเพียงพอในการออกกำลังกายที่นานเกินกว่า 90 วินาที แม้ว่าจะยังมีไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเหลืออยู่ก็ตาม (Hargreaves & Spriet, 2020)

ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ ทำให้ระบบไกลโคไลติกไม่สามารถทำงานเป็นระบบพลังงานหลักให้กับร่างกายขณะวิ่งมาราธอนได้ เนื่องจากการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนเป็นการออกกำลังกายแบบทนทานที่ต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อเป็นระยะเวลานาน ดังนั้น ระบบไกลโคไลติกซึ่งมีจุดเด่นในด้านการสร้างพลังงานได้อย่างรวดเร็ว แต่ทว่าพลังงานที่สร้างได้นั้นมีจำกัดและไม่เพียงพอต่อความต้องการพลังงานในขณะวิ่งมาราธอน ไม่เพียงเท่านั้น ระบบไกลโคไลติกยังทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกในกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ทำให้ร่างกายไม่สามารถวิ่งได้เต็มสมรรถภาพ (Hall et al., 2016)

ระบบออกซิเดทีฟ

ทั้งระบบเอทีพี-ซีพีและระบบไกลโคไลติกเป็นระบบพลังงานที่สามารถให้พลังงานได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูง หรือเหมาะกับการเป็นแหล่งพลังงานในช่วงแรกของการออกกำลังกาย ขณะที่ยังไม่มีออกซิเจนมากเพียงพอ แต่ด้วยข้อจำกัดในเรื่องปริมาณ ATP ที่สร้างได้น้อย และก่อให้เกิดการสะสมของกรดแลคติก การออกกำลังกายที่ใช้เวลานานจึงจำเป็นต้องอาศัยพลังงานจากระบบพลังงานสุดท้าย ที่เรียกว่า “ระบบออกซิเดทีฟ”

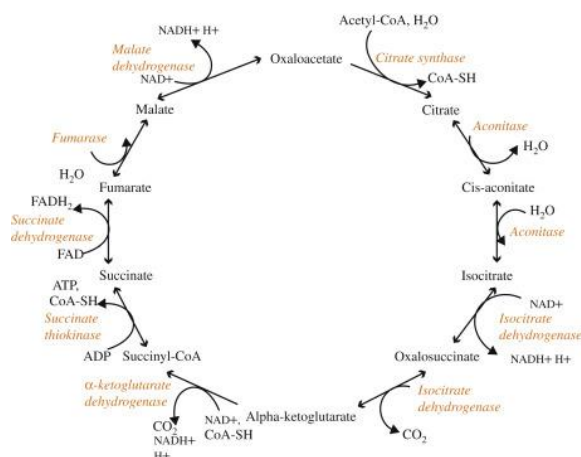
ระบบพลังงานออกซิเดทีฟเป็นระบบพลังงานที่มีความซับซ้อนที่สุด ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการหลายขั้นตอนในการเปลี่ยนสารอาหารเป็น ATP อีกทั้งยังต้องอาศัยออกซิเจนในการทำปฏิกิริยา จึงสามารถเรียกอีกชื่อว่า “การหายใจระดับเซลล์ (Cellular respiration)” และระบบออกซิเดทีฟยังเกิดการสร้าง ATP ทั้งในไซโทพลาซึมและในออร์แกเนลล์ (Organelle) ชนิดพิเศษ เรียกว่า ไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ซึ่งต่างจาก 2 ระบบแรกที่เกิดขึ้นภายในไซโทพลาซึมเท่านั้น นอกจากนี้ ระบบนี้ยังสามารถสร้าง ATP ได้ทั้งจากคาร์โบไฮเดรต ไขมัน หรือแม้กระทั่งโปรตีน

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต

การสร้าง ATP จากคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่ ไกลโคไลซิส วัฏจักรกรดซิตริก (Citric acid cycle) และลูกโซ่ของการขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport chain)

ในช่วงไกลโคไลซิส คาร์โบไฮเดรตในรูปของกลูโคสหรือไกลโคเจนสามารถเกิดกระบวนการนี้ได้ทั้งแบบไกลโคไลซิสแบบอาศัยออกซิเจนและไม่อาศัยออกซิเจน ซึ่งปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นล้วนเหมือนกันทั้งใน 2 รูปแบบ เพียงแต่ออกซิเจนจะเป็นปัจจัยกำหนดว่า เมื่อสิ้นสุดไกลโคไลซิสจะเกิดสารใดเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย (End product) ดังที่กล่าวไปในระบบพลังงานไกลโคไลติก ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของไกลโคไลซิสแบบไม่อาศัยออกซิเจน คือ กรดแลคติก แต่ในไกลโคไลซิสแบบอาศัยออกซิเจนนั้น กรดไพรูวิกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นอะซิติลโคเอนไซม์ เอ (Acetyl coenzyme A) หรือ อะซิติลโค เอ (Acetyl CoA) (Gill et al., 2016)

หลังจากสิ้นสุดกระบวนการไกลโคไลซิสแบบอาศัยออกซิเจน อะซิติลโคเอจะถูกขนส่งเข้าไปภายในชั้นเมทริกซ์ (Matrix) ของไมโทคอนเดรีย เพื่อเข้าสู่กระบวนการลำดับถัดไป คือ วัฏจักรกรดซิตริก (Citric acid cycle) ซึ่งถือเป็นกระบวนการที่สำคัญมากในการสร้างพลังงานของร่างกาย เนื่องจากประมาณ 2 ใน 3 ของพลังงานทั้งหมดที่ร่างกายสร้างขึ้นเกิดจากกระบวนการนี้ (Akram, 2014) ยิ่งไปกว่านั้น วัฏจักรซิตริกยังถือเป็นกระบวนการหลักของการสร้างพลังงาน เพราะสารอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ล้วนจำเป็นต้องเข้าสู่กระบวนการนี้ก่อนที่จะถูกนำไปสร้างเป็น ATP ทั้งสิ้น จากรูปที่ 3 สังเกตว่า ATP ที่เกิดขึ้นในวัฏจักรซิตริกนั้นมีเพียงแค่ 1 โมเลกุล ซึ่งเกิดขึ้นในปฏิกิริยาการเปลี่ยนซัคซินิลโคเอนไซม์ เอ (Succinyl-CoA) เป็นซัคซิเนท (Succinate) แต่ว่า 1 โมเลกุลของกลูโคสนั้นสามารถสร้างเป็นอะซิติลโค เอ ได้ 2 โมเลกุล จึงสามารถเกิดวัฏจักรซิตริกได้ 2 รอบ (Kumari, 2018) ดังนั้น หลังจากสิ้นสุดกระบวนการนี้ จะมี ATP ถูกสร้างเพิ่มขึ้นมาอีก 2 โมเลกุลต่อกลูโคส 1 โมเลกุล



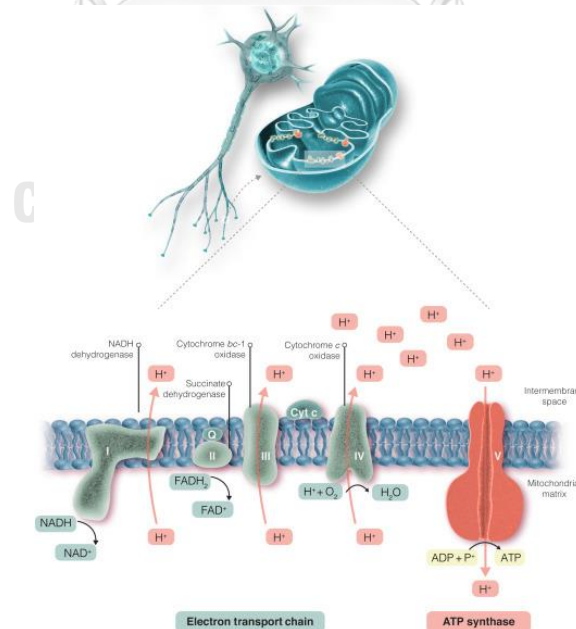
รูปที่ 3 วัฏจักรซิตริก (Citric acid cycle)

ที่มา: Kumari, 2018

การที่กลูโคสผ่านเข้าสู่ไกลโคไลซิสและวัฏจักรซิตริกจะเกิดการสร้างไฮโดรเจนไอออน (H^+) ขึ้นในหลาย ๆ ปฏิกิริยา ซึ่งหากไฮโดรเจนไอออนเหล่านี้มีปริมาณมากขึ้น ก็จะทำให้ค่าความเป็นกรดภายในเซลล์เพิ่มมากขึ้น และขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ดังที่กล่าวไป ดังนั้น เพื่อเป็นการป้องกันสภาวะดังกล่าว เอนไซม์นิโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (Nicotinamide adenine dinucleotide; NAD) และเอนไซม์ฟลาวินอะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (Flavin adenine dinucleotide; FAD) จึงมาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออนและเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ $NADH+H^+$ และ $FADH_2$ ตามลำดับ ภายหลังจากนั้น ทั้ง $NADH+H^+$ และ $FADH_2$ จะถูกขนส่งมายังบริเวณเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียเพื่อเริ่มกระบวนการลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอน ในกระบวนการนี้ต้องอาศัยโปรตีนคอมเพล็กซ์ (Protein complex) ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิดและโปรตีนที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ เรียกว่า ไซโทโครม (Cytochrome) โดย $NADH+H^+$ จะทำการขนส่งอิเล็กตรอนให้กับโปรตีนคอมเพล็กซ์วัน (Protein complex I) จากนั้นอิเล็กตรอนจะถูกส่งต่อกันเป็นทอด ๆ ไปยังโคเอนไซม์ คิว (Coenzyme Q), โปรตีนคอมเพล็กซ์ที่สาม (Protein complex III) และโปรตีนคอมเพล็กซ์โฟร์เป็นลำดับสุดท้าย (Protein complex IV) สำหรับ $FADH_2$ นั้นจะแตกต่างออกไปเล็กน้อย โดยการขนส่งอิเล็กตรอนจะไม่ได้เริ่มที่โปรตีนคอมเพล็กซ์วัน แต่จะถูกขนส่งโดยโปรตีนคอมเพล็กซ์ทู (Protein complex II) แทน (Aerts & Morais, 2017) แต่สุดท้ายแล้วการขนส่งอิเล็กตรอนจะจบลงที่โปรตีนคอมเพล็กซ์โฟร์เช่นเดียวกัน ซึ่ง ณ ตำแหน่งนี้ ไฮโดรเจนไอออนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นน้ำ และส่งผลให้เซลล์ไม่เกิดสภาวะเป็นกรด

ในทุกครั้งที่เกิดการขนส่งอิเล็กตรอน ไฮโดรเจนไอออนจะถูกขนส่งออกไปยังช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในและชั้นนอกของไมโทคอนเดรีย ยิ่งไฮโดรเจนไอออนถูกขนส่งออกไปมากขึ้นเท่าไร จะทำให้เกิดความแตกต่าง (Gradient) ของศักย์ไฟฟ้าและความเป็นกรดมากขึ้นตาม ซึ่งความแตกต่างนี้ส่งผลให้ไฮโดรเจนไอออนไหลกลับเข้าสู่ภายในเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียผ่านการหมุนของเอนไซม์เอทีพีซินเทส (ATP synthase) และเกิดปฏิกิริยาฟอสโฟรีเลชัน (Phosphorylation) เปลี่ยน ADP เป็น ATP ดังรูปที่ 4 ด้วยเหตุที่กระบวนการนี้เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาฟอสโฟรีเลชันของสารอาหารเพื่อสร้างเป็น ATP กระบวนการนี้จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชัน (Oxidative phosphorylation)

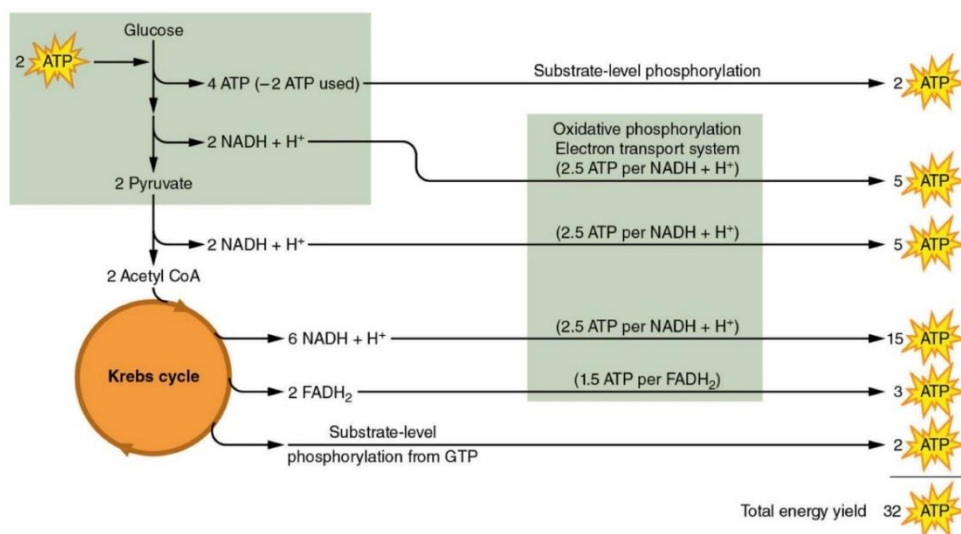
ลูกโซ่การขนส่งอิเล็กตรอนที่เกิดจากการขนส่งด้วย $\text{NADH}+\text{H}^+$ สามารถผลิต ATP ได้ทั้งหมด 3 โมเลกุลในขณะที่การขนส่งด้วย FADH_2 สามารถผลิต ATP ได้ 2 โมเลกุล อย่างไรก็ตาม ตัวขนส่งทั้ง 2 ตัวนั้นถูกสร้างขึ้นภายนอกไมโทคอนเดรีย ดังนั้น เพื่อให้สามารถเกิดลูกโซ่การขนส่งอิเล็กตรอนได้ จึงจำเป็นต้องมีการขนส่งทั้ง $\text{NADH}+\text{H}^+$ และ FADH_2 เข้าสู่ไมโทคอนเดรียก่อน ซึ่งการขนส่งนี้จำเป็นต้องอาศัย ATP เช่นกัน ส่งผลให้ในทางปฏิบัติ การขนส่งอิเล็กตรอนด้วย $\text{NADH}+\text{H}^+$ และ FADH_2 จะสามารถสร้าง ATP สุทธิได้ 2.5 และ 1.5 โมเลกุล ตามลำดับ



รูปที่ 4 ลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport chain)

ที่มา: Aert & Morais, 2017

โดยสรุป พลังงานที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรตมาจากการสร้าง ATP โดยตรงจากสารตั้งต้นหรือฟอสโฟริเลชันระดับซับสเตรท (Substrate-level phosphorylation) ทั้งหมด 4-5 โมเลกุล ซึ่งเกิดจากไกลโคไลซิสทั้งหมด 2 โมเลกุลหรือ 3 โมเลกุล ขึ้นอยู่กับว่าสารตั้งต้นเป็นกลูโคสหรือไกลโคเจนตามลำดับ และวัฏจักรซิตริกอีก 2 โมเลกุล และมาจากการสร้าง ATP ผ่านออกซิเดทีฟฟอส โดยจำแนกเป็นการขนส่งอิเล็กตรอนด้วย $\text{NADH} + \text{H}^+$ ทั้งหมด 10 โมเลกุล ซึ่งเกิดจากไกลโคไลซิส 2 โมเลกุล การเปลี่ยนกรดไพรูวิกเป็นอะซีติลโคเอ 2 โมเลกุล และวัฏจักรกรดซิตริก 6 โมเลกุล สร้างเป็น ATP สุทธิ 25 โมเลกุล และเกิดจากการขนส่งอิเล็กตรอนด้วย FADH_2 ทั้งหมด 2 โมเลกุล ซึ่งเกิดขึ้นในวัฏจักรซิตริก สร้างเป็น ATP สุทธิ 3 โมเลกุล ส่งผลให้ ATP สุทธิที่ได้จากออกซิเดทีฟฟอสโฟริเลชันอยู่ที่ 28 โมเลกุล และเมื่อรวม ATP ทั้งหมดที่เกิดขึ้น ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคสหรือไกลโคเจนสามารถสร้าง ATP สุทธิได้ทั้งสิ้น 32 หรือ 33 โมเลกุล ตามลำดับ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 พลังงานสุทธิที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลูโคส

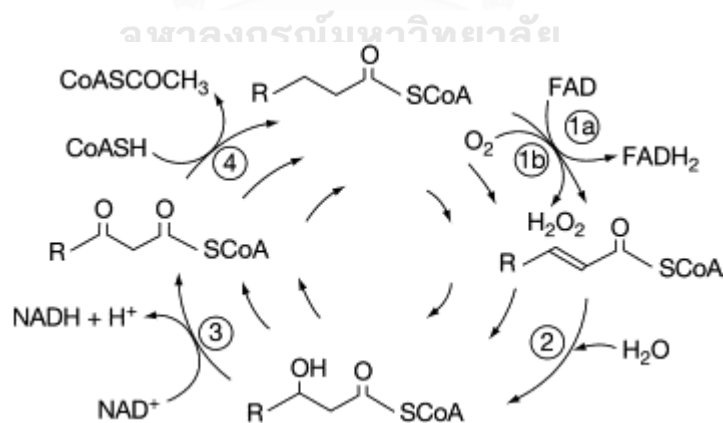
ที่มา: Kenney et al., 2015

2. ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน

ไขมันถือเป็นอีกหนึ่งแหล่งพลังงานที่สำคัญของกล้ามเนื้อ ถึงแม้ว่าในร่างกายมนุษย์จะมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่มากมายในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides), ฟอสโฟลิพิด (Phospholipids) หรือคอเลสเตอรอล (Cholesterol) เป็นต้น แต่มีเพียงแค่ว่าไตรกลีเซอไรด์เท่านั้นที่ถือว่าเป็นแหล่งพลังงานหลัก โดยก่อนที่จะถูกนำไปสร้างเป็นพลังงาน ไตรกลีเซอไรด์ต้องผ่าน

กระบวนการที่เรียกว่า ลิพอลิซิส ซึ่งอาศัยเอนไซม์ลิเพส (Lipase) ในการเร่งปฏิกิริยา โดยไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุล จะถูกสลายออกมาเป็นกลีเซอรอล (Glycerol) 1 โมเลกุล และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) 3 โมเลกุล ซึ่งกรดไขมันอิสระเหล่านี้จะถูกขนส่งผ่านกระแสเลือดไปทั่วร่างกาย และจะถูกขนส่งเข้าสู่เส้นใยกล้ามเนื้อผ่านการแพร่ธรรมดา (Simple diffusion) หรือการแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated diffusion) โดยอัตราการขนส่งเข้าสู่กล้ามเนื้อจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระในเลือด หากยังมีความเข้มข้นในเลือดมาก กรดไขมันอิสระจะแพร่เข้าสู่เส้นใยกล้ามเนื้อได้มากตามไปด้วย (Morales et al., 2017)

ถึงแม้ว่ากรดไขมันอิสระจะถูกนำไปใช้สร้างเป็นพลังงานได้ อย่างไรก็ตาม เซลล์ยังไม่สามารถนำไปสังเคราะห์เป็น ATP ได้โดยตรงในทันที กรดไขมันอิสระจำเป็นต้องถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของอะซิติลโคเอเสียก่อนผ่านกระบวนการที่เรียกว่า เบตาออกซิเดชัน (β -oxidation) อันเป็นวัฏจักรที่ประกอบด้วย 4 ปฏิกิริยาเรียงเป็นลำดับ ได้แก่ 1) ดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) 2) ไฮเดรชัน (Hydration) 3) ออกซิเดชัน 4) ไธโอไลซิส (Thiolysis) ดังที่แสดงในรูปที่ 6 ในทุกครั้งที่เกิดเบตาออกซิเดชัน สารตั้งต้นอย่างอะซิลโค เอ (Acyl-CoA) จะมีจำนวนคาร์บอนลดลง 2 โมเลกุล เนื่องจากคาร์บอนจะถูกนำไปสร้างเป็นอะซิติลโค เอ (Schulz, 2013) หลังจากสิ้นสุดเบตาออกซิเดชัน อะซิติลโค เอ จะเข้าสู่วัฏจักรซิตริก และถูกใช้ขนส่งอิเล็กตรอนเพื่อนำไปสังเคราะห์ ATP เช่นเดียวกับดังที่กล่าวไปในหัวข้อปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์โบไฮเดรต



รูปที่ 6 ปฏิกิริยาทั้งหมดของเบตาออกซิเดชัน (β -oxidation)

ที่มา: Schulz, 2013

พลังงานที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนในกรดไขมันอิสระ หากกรดไขมันอิสระมีจำนวนคาร์บอนตั้งต้นมากก็จะสามารถเกิดเบตาออกซิเดชันได้หลายครั้ง และสร้างเป็นอะซิติลโค เอ ได้มากเช่นกัน ยกตัวอย่างดังตารางที่ 1 กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) 1 โมเลกุล ซึ่งมีคาร์บอนทั้งหมด 16 โมเลกุล จะสามารถสังเคราะห์เป็น ATP ได้ 106 โมเลกุล ซึ่งมากกว่าการสังเคราะห์ ATP จากคาร์โบไฮเดรต หากเทียบเป็น ATP ที่สร้างได้ต่อหนึ่งโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตหรือไขมัน อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันก็จำเป็นต้องอาศัยออกซิเจนที่มากกว่าเช่นกัน

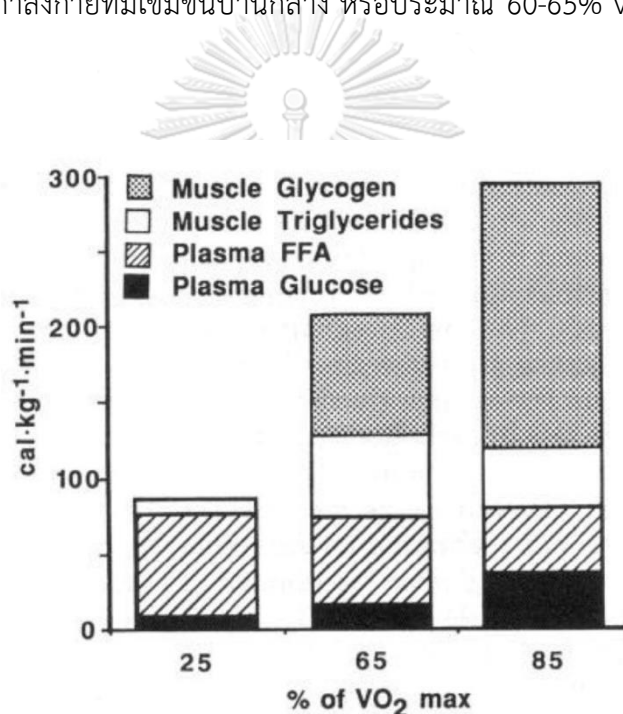
ตารางที่ 1 พลังงานสุทธิที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดปาล์มมิติก

ขั้นตอน	พลังงานจากฟอสโฟริเลชัน ระดับซับสเตอร์ท (โมเลกุล)	พลังงานจากออกซิเดทีฟ ฟอสโฟริเลชัน (โมเลกุล)
การกระตุ้นกรดไขมัน	0	-2
เบตาออกซิเดชัน (เกิดขึ้น 7 ครั้ง)	0	28
วัฏจักรกรดซิตริก (เกิดขึ้น 8 ครั้ง)	8	72
รวม	8	98
สุทธิ		106

ที่มา: Kenney et al., 2015

ถึงแม้ว่าระบบออกซิเดทีฟสามารถสร้างพลังงานได้จากทั้งคาร์โบไฮเดรตและไขมันดังที่กล่าวไป แต่ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่า การเลือกใช้สารอาหารใดเป็นแหล่งพลังงานหลักของร่างกายนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นในการออกกำลังกาย โดยกรดไขมันอิสระจะถูกใช้ป็นแหล่งพลังงานหลักเมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะพักไปจนถึงขณะออกกำลังกายที่ความเข้มข้นต่ำ ในทางกลับกัน ขณะออกกำลังกายที่ความเข้มข้นปานกลางไปจนถึงสูง ร่างกายจะพึ่งพากลูโคสในเลือดและไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ

เป็นแหล่งพลังงานหลัก และลดการพึ่งพาการสร้างพลังงานจากไขมันลง ดังรูปที่ 7 เนื่องจากการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูงต้องอาศัยพลังงานปริมาณสูงเพื่อให้กล้ามเนื้อใช้ในการหดตัว แต่การสร้างพลังงานจากไขมันนั้นช้ากว่าคาร์โบไฮเดรตประมาณ 2 เท่า (Mul et al., 2015) และยังมีประสิทธิภาพด้อยกว่าคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 7 เนื่องจากการสังเคราะห์ ATP จากไขมันจำเป็นต้องอาศัยขั้นตอนจำนวนมากตั้งแต่การสลายกรดไขมันอิสระภายในเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue) ไปจนถึงการขนส่งเข้าไมโทคอนเดรียภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ ไขมันจึงถูกมองว่าเป็นแหล่งพลังงานช่วยเหลือของร่างกายมากกว่า ซึ่งจะมีความสำคัญมากในขณะทำกิจกรรมที่มีความเข้มข้นต่ำไปจนถึงขณะออกกำลังกายที่มีเข้มข้นปานกลาง หรือประมาณ 60-65% VO_2max (Hargreaves & Spriet, 2020)



รูปที่ 7 การเลือกใช้สารอาหารเป็นพลังงานขณะออกกำลังกายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ที่มา: Romijn et al., 1993

คุณสมบัติและคุณลักษณะในการสร้างพลังงานที่แตกต่างกันระหว่างคาร์โบไฮเดรตและไขมัน ส่งผลให้มนุษย์สามารถสร้างพลังงานได้อย่างเพียงพอในการทำกิจกรรมที่มีความเข้มข้นที่หลากหลาย รวมถึงสามารถรักษาระดับความเข้มข้นของการทำกิจกรรมเหล่านั้นได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน การพึ่งพาไขมันในขณะที่มีความต้องการพลังงานของร่างกายต่ำเป็นการออกแบบเพื่อให้ร่างกายสามารถเก็บรักษาไกลโคเจนไว้ใช้เป็นแหล่งพลังงานในช่วงเวลาที่ความต้องการพลังงานของร่างกายสูง แนวคิดนี้ จะยังมีเหตุผลมากยิ่งขึ้นเมื่อมองในมุมมองของการแข่งขันกีฬา ยกตัวอย่างกีฬาวิ่งมาราธอน นักวิ่งระดับสูง

มักมีความสามารถในการวิ่งที่ระดับความเข้มข้นสูงได้เป็นระยะเวลาานาน ซึ่งสะท้อนออกมาเป็นความเร็วในการวิ่งที่สูงอย่างต่อเนื่องตลอดการแข่งขัน ในการวิ่งที่ความเข้มข้นระดับนี้ พบว่าร่างกายของนักกีฬามีการใช้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตถึงประมาณ 2 ใน 3 ของพลังงานทั้งหมด (Coyle, 2007) จึงยังเป็นการตอกย้ำให้เห็นถึงความสำคัญของคาร์โบไฮเดรตต่อการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอน เพราะการจะได้มาซึ่งชัยชนะนั้น นักกีฬาจำเป็นต้องรักษาสมรรถภาพของตนเองให้สูงอยู่ตลอดการแข่งขัน

การตอบสนองด้านฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดขณะออกกำลังกายประเภททนทาน

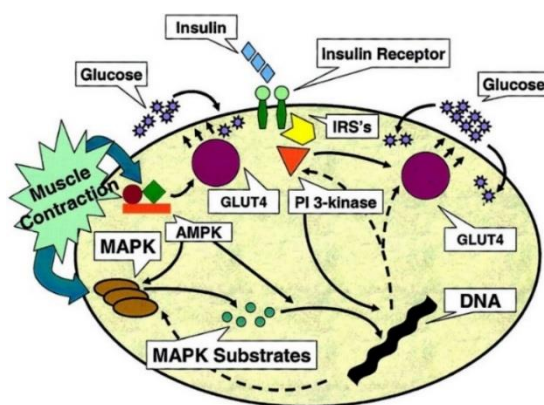
อินซูลิน

อินซูลินเป็นฮอร์โมนที่ถูกหลั่งมาจากเบตาเซลล์ (Beta cell) ภายในตับอ่อนเมื่อร่างกายเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (Hyperglycemia) หน้าที่หลักของอินซูลิน คือ การลดระดับกลูโคสในเลือดให้กลับสู่สภาวะปกติโดยการส่งสัญญาณให้เซลล์ต่าง ๆ ภายในร่างกายทำการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อและตับเพื่อนำไปเก็บสะสมในรูปของไกลโคเจน ซึ่งเป็นฮอร์โมนเพียงชนิดเดียวในร่างกายที่สามารถลดระดับกลูโคสในกระแสเลือด (Rorsman & Ashcroft, 2018) อีกทั้งยังมีหน้าที่รวมไปถึงยับยั้งกระบวนการกลูโคนีโอเจเนซิส (Gluconeogenesis) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารชีวโมเลกุลอื่นที่ไม่ใช่กลูโคสให้กลับมาอยู่ในรูปของกลูโคสเพื่อนำมาใช้สร้างเป็นพลังงาน ด้วยหน้าที่ทั้งหมดนี้ อินซูลินจึงเป็นฮอร์โมนที่คอยควบคุมไม่ให้อัตราน้ำตาลในเลือดสูงจนเกินไป นอกจากนี้ อินซูลินยังกระตุ้นให้เกิดการดูดซึมกรดอะมิโนและกรดไขมันเข้าสู่เซลล์เพื่อนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนและไขมันตามลำดับ (Petersen & Shulman, 2018)

หากพิจารณาในแง่ของหน้าที่หลักของอินซูลินอันได้แก่ การลดระดับกลูโคสในเลือดและยับยั้งการสลายไขมันเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ขัดแย้งกับความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกาย ดังนั้น เบตาเซลล์จึงตอบสนองโดยการลดการหลั่งอินซูลินลงขณะออกกำลังกาย ซึ่งสังเกตได้จากการวัดปริมาณซีเพปไทด์ (C-peptide) ที่มีปริมาณลดลงขณะออกกำลังกาย (Hilsted et al., 1980) สาเหตุที่ทำให้การหลั่งอินซูลินลดลงนั้นมาจากการออกกำลังกายจะกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic nervous system) ให้ทำงานเพิ่มมากขึ้น (Jia et al., 2016) โดยพบว่าขณะออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 50 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดหรือ 50% VO_2max ระบบประสาทซิมพาเทติกจะตอบสนองโดยการส่งกระแสประสาทไปยังตัวรับอัล

ฟาดอร์รีนาจิก (Alpha-adrenergic receptor) ที่ตัวยับยั้งการหลั่งอินซูลินของเบตาเซลล์ (Galbo & Københavns, 1983; Rorsman & Ashcroft, 2018) ในทางกลับกัน การขัดขวางการส่งกระแสประสาทไปยังตัวรับอัลฟาอะดรีนาจิกสามารถป้องกันไม่ให้ระดับอินซูลินลดลงขณะออกกำลังกายได้ (Galbo et al., 1977b) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยพบว่าการกินกลูโคสขณะออกกำลังกายไม่สามารถกระตุ้นการหลั่งอินซูลินให้เพิ่มขึ้นได้ (Utter et al., 1999) ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้เป็นนัยว่า ในขณะออกกำลังกายนั้น ระบบประสาทซิมพาเทติกมีอิทธิพลต่อการควบคุมการหลั่งอินซูลินของเบตาเซลล์เหนือกว่าระดับกลูโคสในเลือด

การลดลงของระดับอินซูลินในเลือดขณะออกกำลังกายส่งผลให้มีการสลายไกลโคเจนในตับออกมาเป็นกลูโคสในเลือดมากขึ้น และยังเพิ่มการสลายไขมันจากเนื้อเยื่อไขมัน การตอบสนองทั้งหมดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ร่างกายมีสารอาหารสำหรับนำไปสังเคราะห์เป็นพลังงานให้กับกล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจากการมีสารอาหารเพียงพอแล้ว ก่อนที่กล้ามเนื้อจะนำกลูโคสในเลือดไปใช้ได้ ยังจำเป็นต้องอาศัยอินซูลินในการขนส่งกลูโคสเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อ แต่ถึงกระนั้น แม้ว่าระดับอินซูลินในเลือดจะลดลงขณะออกกำลังกาย แต่ความสามารถในการขนส่งกลูโคสเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อกลับเพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากการออกกำลังกายช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือดไปยังกล้ามเนื้อมากขึ้น และเพิ่มความสามารถของอินซูลินในการจับกับตัวรับของอินซูลินที่เซลล์กล้ามเนื้อ (Kenney et al., 2015) ยิ่งไปกว่านั้น การหดตัวของกล้ามเนื้อขณะออกกำลังกายยังกระตุ้นให้เซลล์กล้ามเนื้อสามารถดูดซึมกลูโคสเข้าสู่เซลล์ได้โดยไม่ต้องพึ่งพาอินซูลิน ดังรูปที่ 8 (Zierath, 2002) ทั้งหมดนี้เป็นกลไกที่แสดงให้เห็นว่า แม้ระดับอินซูลินในเลือดจะต่ำลง แต่กล้ามเนื้อยังสามารถดูดซึมกลูโคสจากตับหรือจากทางเดินอาหารเข้าสู่เซลล์เพื่อนำมาใช้สังเคราะห์เป็นพลังงานได้



รูปที่ 8 กลไกการกระตุ้นการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อแบบอาศัยและไม่อาศัยอินซูลิน

ที่มา: Zierath, 2022

กลูคากอน

กลูคากอนเป็นฮอร์โมนที่ถูกหลั่งมาจากตับอ่อนเช่นเดียวกับอินซูลิน เพียงแต่เซลล์ที่ทำหน้าที่ในการหลั่งกลูคากอนจะเป็นอัลฟาเซลล์ (Alpha cell) กลูคากอนเป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ตรงข้ามกับอินซูลิน โดยจะถูกกระตุ้นให้หลั่งออกมามากขึ้นเมื่อร่างกายเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (Janah et al., 2019) ฮอร์โมนนี้มีหน้าที่เพิ่มการผลิตกลูโคสของตับ (Hepatic glucose production) โดยการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการสลายไกลโคเจนในตับ (Glycogenolysis) และกระบวนการกลูโคเนโอเจเนซิส นอกจากนี้ยังส่งผลต่อเซลล์ไขมัน โดยการเพิ่มการสลายเซลล์ไขมันพร้อมกับยับยั้งการสังเคราะห์เซลล์ไขมัน (Scott & Bloom, 2018) ด้วยหน้าที่เหล่านี้ กลูคากอนจึงช่วยให้มีกลูโคสและกรดไขมันอิสระในเลือดเพิ่มขึ้น เพื่อเตรียมพร้อมในการนำไปใช้สังเคราะห์เป็นพลังงานภายในเซลล์ต่าง ๆ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อ

การตอบสนองของกลูคากอนขณะออกกำลังกายขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการออกกำลังกาย โดยทั่วไปหากนักกีฬามีไกลโคเจนสะสมในตับและกล้ามเนื้อในระดับปกติ ระดับกลูคากอนในเลือดจะยังไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าจะออกกำลังกายเป็นระยะเวลานานตั้งแต่ 1 ชั่วโมงเป็นต้นไป (Galbo & Kjøbenhavn, 1983) เนื่องจากขณะออกกำลังกายที่ความเข้มข้นปานกลาง กล้ามเนื้อจะเลือกใช้ไกลโคเจนที่สะสมอยู่ภายในกล้ามเนื้อเองเป็นแหล่งพลังงานหลักก่อน จนเมื่อออกกำลังกายไปเป็นระยะเวลาหนึ่ง ในช่วงที่ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อใกล้หมด กล้ามเนื้อจะเพิ่มการดูดซึมกลูโคสในเลือด ส่งผลให้ระดับกลูโคสในเลือดลดลงและกระตุ้นการหลั่งกลูคากอนในท้ายที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สะสมภายในร่างกายเป็นตัวควบคุมการหลั่งกลูคากอนก็ว่าได้ นอกจากนี้ จากการศึกษายังพบว่า การรับประทานกลูโคสขณะออกกำลังกายสามารถลดระดับกลูคากอนในเลือดลงได้ ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากระดับน้ำตาลในเลือดที่เพิ่มสูงขึ้นจากการรับประทานคาร์โบไฮเดรต จึงช่วยลดอัตราการผลิตกลูโคสของตับลง (Galbo et al., 1977a) อย่างไรก็ตาม กลูคากอนไม่ใช่ฮอร์โมนเดียวที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการผลิตกลูโคสของตับ โดยระบบประสาทซิมพาเทติกก็พบว่ามีส่วนในการเพิ่มการผลิตกลูโคสของตับได้เช่นกัน (Trefts et al., 2015)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอินซูลินและกลูคากอน

อินซูลินและกลูคากอนเป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อช่วยรักษาภาวะธำรงดุล (Homeostasis) ของร่างกาย ในขณะออกกำลังกาย ตับอ่อนจะลดการหลั่งอินซูลินลง ใน

ขณะเดียวกันก็จะเพิ่มการหลั่งกลูคากอน ทั้งหมดนี้เพื่อเป็นการปรับอัตราการสลายไกลโคเจนและไขมันเพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการใช้พลังงานในขณะออกกำลังกาย ถึงแม้ว่าฮอร์โมนทั้งสองชนิดจะทำหน้าที่ตรงข้ามกัน แต่ในความเป็นจริง อินซูลินและกลูคากอนทำงานสอดประสานกันเพื่อช่วยควบคุมการผลิตกลูโคสของตับ ในยุคแรกของการศึกษาผลของอินซูลินและกลูคากอนขณะออกกำลังกายนั้นสามารถทำได้โดยการใช้วิธีฉีดฮอร์โมนโซมาโทสแตติน (Somatostatin) เพื่อยับยั้งการหลั่งอินซูลินและกลูคากอนของตับอ่อน ร่วมกับการฉีดอินซูลินหรือกลูคากอนเข้าทางเส้นเลือดส่วนปลาย ด้วยวิธีการนี้ ผู้วิจัยจะสามารถสังเกตผลของการเปลี่ยนแปลงของระดับอินซูลินและกลูคากอนขณะออกกำลังกายได้อย่างชัดเจน จากการศึกษาด้วยวิธีดังกล่าวพบว่า การยับยั้งไม่ให้ระดับอินซูลินลดลงหรือการยับยั้งไม่ให้ระดับกลูคากอนเพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกายส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงไป 30 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ภายในระยะเวลา 60 นาที (Hirsch et al., 1991) การศึกษาในสุนัขด้วยวิธีการเดียวกันนี้ยังแสดงให้เห็นชัดเจนถึงบทบาทหน้าที่ของกลูคากอน โดยพบว่า ระดับกลูคากอนที่เพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกายทำหน้าที่ในการควบคุมการผลิตกลูโคสของตับที่เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 60 ซึ่งมาจากการทำงานของตับให้ตับสามารถสกัดสารอาหารที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการกลูโคเนโอเจเนซิสได้เพิ่มมากขึ้น (Wasserman et al., 1984) ในด้านของอินซูลิน พบว่า การลดลงของอินซูลินส่งผลให้การผลิตกลูโคสของตับเพิ่มขึ้นร้อยละ 55 แต่สาเหตุของการเพิ่มขึ้นนี้ต่างจากกลูคากอนเนื่องจากระดับอินซูลินที่ลดลงส่งผลให้การยับยั้งการสลายไกลโคเจนลดลง จึงเป็นการกระตุ้นให้เกิดการสลายไกลโคเจนในตับมากขึ้น และเพิ่มการผลิตกลูโคสของตับในที่สุด (Trefts et al., 2015)

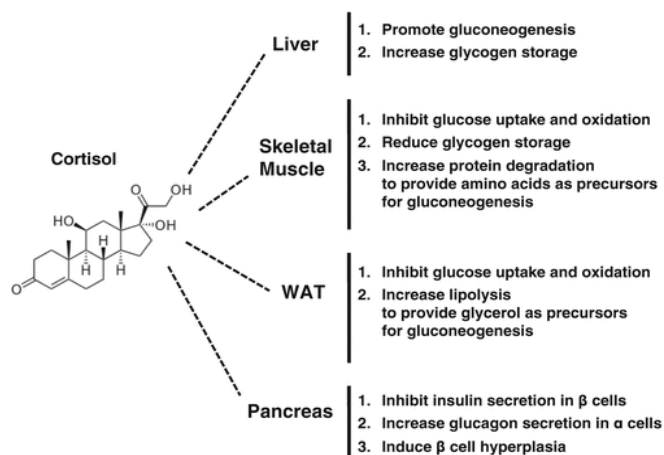
ถึงแม้ว่าอินซูลินและกลูคากอนที่เปลี่ยนแปลงขณะออกกำลังกายนั้นจะมีบทบาทแยกกันอย่างชัดเจนในการควบคุมกระบวนการสลายไกลโคเจนในตับ และกระบวนการกลูโคเนโอเจเนซิสตามลำดับ แต่ปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองฮอร์โมนนั้นถือเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการควบคุมระดับกลูโคสในเลือด (Brooks, 2020) ถึงแม้การลดลงของอินซูลินหรือการเพิ่มขึ้นของกลูคากอนสามารถส่งผลให้การผลิตกลูโคสของตับเพิ่มขึ้นได้เช่นเดียวกัน แต่พบว่าหากการเปลี่ยนแปลงของทั้งสองฮอร์โมนเกิดขึ้นพร้อมกัน จะส่งผลให้ตับสามารถผลิตกลูโคสได้มากกว่าการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนใดฮอร์โมนหนึ่งเพียงอย่างเดียว (Wasserman et al., 1984) เหตุผลต่อมาคือ การผลิตกลูโคสของตับจะเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า ในกรณีที่ระดับกลูคากอนในเลือดเพิ่มขึ้นพร้อมกับระดับอินซูลินในเลือดลดลง เมื่อเทียบกับการที่ระดับกลูคากอนเพิ่มขึ้น แต่ระดับอินซูลินอยู่ในระดับปกติเท่ากับขณะพัก (Wasserman et al., 1989) และเหตุผลสุดท้ายคือ การลดลงของอินซูลินไม่สามารถช่วยเพิ่มการผลิตกลูโคสของตับได้ หาก

ปราศจากกลูคากอนในเลือด (Lavoie et al., 1997) ด้วยเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมา อาจสรุปได้ว่า การลดลงของอินซูลินขณะออกกำลังกายเป็นการช่วยเพิ่มความไวในการออกฤทธิ์ของกลูคากอนต่อตับ เพื่อกระตุ้นให้ตับสามารถผลิตกลูโคสได้มากขึ้นตามความต้องการที่เพิ่มขึ้น

คอร์ติซอล

คอร์ติซอลเป็นหนึ่งในฮอร์โมนกลุ่มกลูโคคอร์ติคอยด์ (Glucocorticoids) ที่มีปริมาณมากที่สุดในร่างกาย (Kenney et al., 2015) โดยชื่อ “กลูโคคอร์ติคอยด์” นั้นถูกตั้งขึ้นตามหน้าที่ในการควบคุมภาวะธำรงดุลของกลูโคสในร่างกาย คอร์ติซอลยังได้รับฉายาว่าฮอร์โมนแห่งความเครียด เนื่องจากคอร์ติซอลนั้นจะถูกหลั่งออกมาในสถานการณ์ที่ร่างกายมีความเครียดเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นทั้งความเครียดทางกายหรือทางใจ (Adam et al., 2017) ทั้งนี้เพื่อเป็นการให้ร่างกายสามารถจัดการกับความเครียดที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม หรืออีกนัยหนึ่งคือ เพื่อให้ร่างกายสามารถเอาชีวิตรอดในสภาพแวดล้อมที่กดดันได้ โดยหนึ่งในสิ่งที่สร้างความเครียดให้กับร่างกายและส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับคอร์ติซอลในร่างกายเป็นอย่างดีคือ การออกกำลังกาย ซึ่งความเครียดจากการออกกำลังกายนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Garrett & Kirkendall, 2000) โดยพบว่า การออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 60% VO_2max ขึ้นไปเป็นระยะเวลา 30 นาทีส่งผลให้ระดับคอร์ติซอลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการออกกำลังกายที่ความเข้มข้น 40% VO_2max (Hill et al., 2008)

การออกฤทธิ์ของคอร์ติซอลจะแตกต่างกันออกไปตามอวัยวะหรือเนื้อเยื่อ ดังรูปที่ 9 เริ่มจากคอร์ติซอลจะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการกลูโคเนโอเจเนซิสมากขึ้นที่ตับ โดยสารที่นำมาใช้ในกระบวนการนี้คือ กรดอะมิโน กลีเซอรอล (Glycerol) และแลคเตท ซึ่งได้รับมาจากการที่คอร์ติซอลออกฤทธิ์ต่อไปยังกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อไขมันให้มีการเร่งการสลายโปรตีนและไขมันเพิ่มมากขึ้น และลดการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่เซลล์เหล่านี้ ยิ่งไปกว่านั้น คอร์ติซอลยังส่งผลต่อการหลั่งฮอร์โมนควบคุมระดับกลูโคสในเลือดของตับอ่อนเช่นกัน โดยจะทำการยับยั้งการหลั่งอินซูลินของเบตาเซลล์ ขณะเดียวกันจะทำการเพิ่มการหลั่งกลูคากอนของอัลฟาเซลล์แทน ทั้งนี้จะสังเกตได้ว่าหน้าที่ทั้งหมดของคอร์ติซอลจะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มระดับกลูโคสในเลือด โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้มีกลูโคสเพียงพอต่อการใช้งานของสมองในสภาวะที่ร่างกายมีความเครียดเกิดขึ้น (Kuo et al., 2015)



รูปที่ 9 ผลของคอร์ติซอลต่ออวัยวะหรือเนื้อเยื่อในร่างกาย

ที่มา: Kuo et al., 2015

นอกเหนือจากหน้าที่ในการเพิ่มกระบวนการกลูโคซิโอเจเนซิสแล้ว คอร์ติซอลยังพบว่าเป็นฮอร์โมนที่ส่งผลต่อการสร้างและการสลายไกลโคเจนอีกเช่นกัน ซึ่งผลเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับว่าคอร์ติซอลไปจับกับตัวรับที่อวัยวะหรือเนื้อเยื่อใด โดยคอร์ติซอลจะส่งผลเพิ่มกระบวนการสังเคราะห์ไกลโคเจนที่ตับโดยการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ไกลโคเจนซินเทส (Glycogen synthase) (Contrada & Baum, 2010) ในทางกลับกัน คอร์ติซอลส่งผลต่อการสลายไกลโคเจนที่กล้ามเนื้อ ซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นจากคอร์ติซอลโดยตรง แต่เป็นผลทางอ้อมจากการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเอพิเนฟริน ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เพิ่มการสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงาน ดังนั้น ระดับคอร์ติซอลที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้เอพิเนฟรินมีประสิทธิภาพในการสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อได้ดีขึ้น ซึ่งผลของคอร์ติซอลต่อการทำงานของเอพิเนฟรินนั้นได้รับการยืนยันจากการทดลองในหนูที่ถูกตัดต่อหมวกไต โดยพบว่าผลของเอพิเนฟรินต่อการสลายไกลโคเจนในหนูเหล่านี้ลดลง แต่เมื่อมีการฉีดคอร์ติซอลเข้าไป เอพิเนฟรินจะส่งผลให้เกิดการสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อตามปกติ (Green et al., 1980) ถึงแม้ว่าคอร์ติซอลอาจไม่ใช่ฮอร์โมนที่ส่งผลกระทบต่อการสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อโดยตรง แต่ด้วยหน้าที่ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเอพิเนฟริน จึงอาจสรุปได้ว่า คอร์ติซอลเป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ในการให้ค้ำหนุนต่อเอพิเนฟรินในการสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ (Kuo et al., 2015)

วิธีการตรวจวัดฮอร์โมน

ฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอนจัดเป็นฮอร์โมนประเภทเพปไทด์ฮอร์โมน (Peptide hormones) ในขณะที่คอร์ติซอลนั้นมีโครงสร้างเป็นสเตียรอยด์ฮอร์โมน ซึ่งฮอร์โมนทั้งสองประเภทนี้สามารถตรวจวัดได้โดยใช้การทดสอบทางวิทยาภูมิคุ้มกัน (Immunoassay) อันเป็นวิธีการตรวจสอบสารชีวโมเลกุลในเลือด ปัสสาวะ หรือน้ำลายในเชิงปริมาณ โดยอาศัยการใช้สารประกอบติดฉลากในการติดตามผลของปฏิกิริยาจำเพาะระหว่างสารก่อภูมิคุ้มกัน (Antigen) และสารภูมิคุ้มกัน (Antibody) การทดสอบทางวิทยาภูมิคุ้มกันสามารถทำได้หลายวิธี แต่หนึ่งในวิธีที่มีความแม่นยำและถูกใช้อย่างแพร่หลายคือ Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) (Engvall, 2010)

หลักการของ ELISA อาศัยเอนไซม์เป็นฉลากในการตรวจหาสารที่ต้องการ โดยเริ่มต้นจากการตรึงสารก่อภูมิคุ้มกันไว้กับ solid phase ซึ่งมักนิยมใช้เป็นหลอดทดลองหรือไมโครเพลท (Microplate) โดยที่ solid phase เหล่านี้ต้องมีคุณสมบัติในการตรึงสารก่อภูมิคุ้มกันหรือสารภูมิคุ้มกันที่ต้องการตรวจเท่านั้น เพื่อให้องค์ประกอบอื่นที่ไม่ต้องการถูกกำจัดออกไป จึงช่วยให้สามารถตรวจวัดสารที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ ต่อมาจึงทำการเติมสารก่อภูมิคุ้มกันหรือสารภูมิคุ้มกันที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารชนิดแรกที่ถูกตรึงอยู่บน solid phase โดยสารที่เติมลงไปนั้นจะถูกติดฉลากโดยเอนไซม์อีกชั้นหนึ่ง ในขั้นตอนสุดท้าย ซับสเตรทที่จำเพาะเจาะจงต่อเอนไซม์เหล่านี้จะถูกเติมลงไป เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์และซับสเตรท และเกิดการเปลี่ยนสีของสารละลาย ซึ่งความเข้มของสีที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณของสารที่ต้องการตรวจ (Engvall, 2010) จึงส่งผลให้ ELISA สามารถวัดค่าสารชีวโมเลกุลในเชิงปริมาณได้

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ELISA ได้ถูกนำไปใช้ตรวจหาสารอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากสารก่อภูมิคุ้มกันและสารภูมิคุ้มกัน ด้วยเหตุนี้ ELISA จึงถูกพัฒนาต่อเพื่อให้สามารถตรวจวัดสารที่มีคุณสมบัติและโครงสร้างที่แตกต่างกันได้ จนสามารถแบ่งวิธีการตรวจออกได้เป็นดังนี้

- 1) Direct ELISA
- 2) Indirect ELISA
- 3) Sandwich ELISA
- 4) Competitive ELISA

โดยแต่ละวิธีจะมีข้อบ่งชี้และความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งในการตรวจวัดระดับฮอร์โมนในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการตรวจแบบ Sandwich ELISA เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับว่ามีความไวในการตรวจสูงกว่า ELISA ประเภทอื่นถึง 2-5 เท่า (Aydin, 2015)

สารอาหารที่สำคัญสำหรับนักกีฬาวิ่งมาราธอน

โภชนาการเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในแง่ของกีฬา เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงความสำคัญนั้น ในปี 2016 องค์กรผู้เชี่ยวชาญด้านโภชนาการและการกำหนดอาหารอันประกอบด้วย สำนักโภชนาการและการกำหนดอาหาร (Academy of Nutrition and Dietetics) สถาบันนักกำหนดอาหารแห่งแคนาดา (Dietitians of Canada) และวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา (American College of Sports Medicine; ACSM) ได้ร่วมกันออกแถลงการณ์จุดยืนในด้านความสำคัญของโภชนาการและสมรรถภาพการกีฬาไว้ ดังนี้ (Thomas et al., 2016)

คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารที่ได้รับความสนใจในวงการกีฬามาโดยตลอด เนื่องจากผลลัพธ์ในการช่วยให้นักกีฬาปรับตัวกับการฝึกซ้อมจนนำไปสู่สมรรถภาพการกีฬาที่ดีขึ้น โดย Thomas et al. (2016) ได้ทำการสรุปเหตุผลสำคัญที่คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับนักกีฬาไว้ ดังนี้

- 1) คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารที่ร่างกายสามารถนำไปใช้สร้างพลังงานได้ในทุกระบบพลังงานจึงทำให้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานหลักในการออกกำลังกายและเล่นกีฬา
- 2) คาร์โบไฮเดรตมีประสิทธิภาพในด้านเมตาบอลิซึม (Metabolic efficiency) มากกว่าไขมัน โดยหากเทียบกับปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการสันดาปที่เท่ากัน คาร์โบไฮเดรตสามารถสร้าง ATP ได้มากกว่า
- 3) คาร์โบไฮเดรตมีความสามารถในการรักษาสมรรถภาพการกีฬา โดยเฉพาะอย่างยิ่งกีฬาที่ระยะเวลาในการแข่งขันที่นาน และกีฬาที่มีความเข้มข้นในการแข่งขันสูง
- 4) ร่างกายมีแหล่งสะสมคาร์โบไฮเดรตที่จำกัด ทำให้ประโยชน์ทั้งหมดของคาร์โบไฮเดรตจะคงอยู่ตราบเท่าที่ร่างกายยังมีคาร์โบไฮเดรตให้ใช้เท่านั้น

ด้วยเหตุผลทั้งหมดนี้ จึงส่งผลให้คาร์โบไฮเดรตเป็นสิ่งที่นักกีฬาต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะนักกีฬาวิ่งมาราธอน เนื่องจากการแข่งขันกีฬานานจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานาน รวมถึงมีความเข้มข้นในการวิ่งที่สูง การรับประทานคาร์โบไฮเดรตไม่เพียงพออาจนำไปสู่สมรรถภาพการวิ่งที่

ลดลง โดยสามารถอธิบายกลไกของคาร์โบไฮเดรตที่ส่งผลต่อกีฬาหรือการออกกำลังกายประเภท ทนทานได้ ดังนี้

1. ระดับไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ

ในหัวข้อระบบพลังงานออกซิเดทีฟได้มีการกล่าวถึงแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย คือ ไกลโคเจนและไขมัน ซึ่งจะถูกเลือกใช้ตามความเข้มข้นในการออกกำลังกาย โดยไขมันจะถูกใช้เป็น แหล่งพลังงานหลักในกรณีที่การออกกำลังกายมีความเข้มข้นน้อยกว่า 65% VO_2max แต่หาก กล่าวถึงการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนนั้น นักวิ่งมักจะวิ่งที่ความเข้มข้นประมาณ 65 - 85% VO_2max (Coyle, 2007) ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่กล้ามเนื้ออาศัยไกลโคเจนเป็นแหล่งพลังงานหลัก

ปัจจุบัน ระดับไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อได้รับการยอมรับว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการออก กำลังกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 65% VO_2max เป็นต้นไป (Harris et al., 2018) อีกทั้งระดับไกลโคเจนที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อยังสามารถใช้ในการทำนาย สมรรถภาพในการออกกำลังกายได้ โดยหากเริ่มออกกำลังกายในภาวะที่กล้ามเนื้อมีไกลโคเจนสะสม อยู่มากจะช่วยชะลอความเมื่อยล้าและทำให้นักกีฬาสามารถออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูงได้ ยาวนานขึ้น (Hawley et al., 1997) ในทางกลับกัน การรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตต่ำส่งผล ให้เกิดการสะสมของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อน้อยลง และส่งผลเสียต่อสมรรถภาพในการออกกำลังกาย (Burke et al., 2017) ด้วยองค์ความรู้ดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวคิดในการใช้วิธีการที่เรียกว่า คาร์โบไฮเดรตโหลดดิ่ง (Carbohydrate loading) ซึ่งเป็นกลยุทธ์ทางโภชนาการที่ช่วยให้นักกีฬา สามารถเก็บสะสมไกลโคเจนในกล้ามเนื้อได้มากกว่าปกติ และช่วยชะลอความเมื่อยล้าได้ถึงประมาณ ร้อยละ 20 เมื่อออกกำลังกายเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 90 นาที เป็นต้นไป (Hawley et al., 1997)

ความสำคัญของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อนั้นอธิบายได้จากกลไกในการเกิดความเมื่อยล้า ใน ปัจจุบัน แนวความคิดของความเมื่อยล้านี้เชื่อว่ามาจากหลาย ๆ ปัจจัยประกอบกัน เช่น ความ บกพร่องในการส่งสารของระบบประสาทส่วนกลางมายังส่วนปลาย การสูญเสียความสามารถในการ หดตัวของกล้ามเนื้อ การลำเลียงออกซิเจนมายังกล้ามเนื้อที่ไม่เพียงพอ เป็นต้น (Kent et al., 2016) แต่อีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญคาดว่ามาจากการขาดพลังงานในกล้ามเนื้อ ในการหดตัวแต่ละครั้งของ กล้ามเนื้อจะมีลำดับขั้นตอนที่เรียงต่อกันอย่างซับซ้อน เรียกว่า เอ็กไซตเทชัน-คอนแทร็กชันคัปปลิง (Excitation-contraction coupling; ECC) ซึ่งในบรรดาขั้นตอนที่ซับซ้อนเหล่านี้ พบว่ามีอยู่อย่าง

น้อย 3 ขั้นตอนที่ต้องอาศัยพลังงานในรูปของ ATP อันได้แก่ 1) โซเดียมโพแทสเซียมเอทีพีเอส (Na^+/K^+ -ATPase) ที่บริเวณทรานส์เวิร์สทิวบูล (Transverse tubule) และซาร์โคเลมมา (Sarcolemma) 2) ไมโอซินเอทีพีเอส (Myosin ATPases) ที่บริเวณคอนแทร็กไทล์แอพาราตัส (Contractile apparatus) และ 3) แคลเซียมเอทีพีเอส (Ca^{2+} -ATPase) ที่บริเวณซาร์โคพลาสซึมเรติคูลัม (Sarcoplasmic reticulum; SR) การลดลงของระดับ ATP หรือการเพิ่มขึ้นของของเสียภายในเซลล์ต่างรบกวนกระบวนการ ECC ได้ทั้งสิ้น นอกจากนี้ ระดับ ATP ยังส่งผลทางอ้อมต่อการปล่อยแคลเซียมของ SR อีกเช่นกัน (Dhar-Chowdhury et al., 2007)

ไกลโคเจนเปรียบเสมือนแหล่งสะสม ATP ขนาดใหญ่ของกล้ามเนื้อ ถึงแม้ว่ากล้ามเนื้อจะสามารถสะสมพลังงานในรูปของ ATP ได้โดยตรง แต่ปริมาณที่สะสมได้นั้นค่อนข้างจำกัดมากดังที่กล่าวไปในหัวข้อระบบพลังงานแบบเอทีพี-ซีพีที กล้ามเนื้อจึงจำเป็นต้องอาศัยการสังเคราะห์ ATP จากไกลโคเจนในขณะออกกำลังกาย เนื่องจากหากเทียบกับกลูโคสในเลือดและไขมัน ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อมีอัตราการสังเคราะห์ ATP สูงกว่ามาก จึงช่วยให้กล้ามเนื้อมี ATP เพียงพอในการเกิดกระบวนการ ECC ได้อย่างต่อเนื่อง นอกเหนือจากการเป็นแหล่งพลังงานของกล้ามเนื้อ ไกลโคเจนยังเป็นตัวควบคุมการทำงานของเอนไซม์ไกลโคเจนฟอสโฟริเลส (Glycogen phosphorylase) ด้วยเหตุนี้ ไกลโคเจนจึงไม่ได้ทำหน้าที่เป็นแค่แหล่งพลังงานสำหรับกล้ามเนื้อ แต่ยังเปรียบเสมือนตัวควบคุมอัตราการเกิดไกลโคไลซิสอีกเช่นกัน (Sahlin et al., 1998)

การหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับระดับแคลเซียมภายในไซโทซอล (Cytosol) ในเซลล์กล้ามเนื้อ ซึ่งแคลเซียมเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ใน SR เมื่อเกิดศักยงาน (Action potential) SR จะทำการปล่อยแคลเซียมออกมา ส่งผลให้ระดับแคลเซียมในไซโทซอลสูงขึ้น และเกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อในที่สุด หลังจากนั้น แคลเซียมจะถูกดูดกลับเข้าสู่ภายใน SR อีกครั้งเพื่อให้ระดับแคลเซียมในไซโทซอลลดลงและเกิดการคลายตัวของกล้ามเนื้อในที่สุด ทั้งการปล่อยและการดูดกลับแคลเซียมของ SR ล้วนมีความสัมพันธ์กับระดับไกลโคเจน โดยพบว่า การออกกำลังกายเป็นระยะเวลานานจนระดับไกลโคเจนในกล้ามเนื้อลดต่ำลงส่งผลให้การปล่อยแคลเซียมของ SR ลดลง (Nielsen et al., 2009) และส่งผลให้การดูดกลับของแคลเซียมลดลงเช่นกัน (Ortenblad et al., 2013) ในปัจจุบันนักสรีรวิทยาการออกกำลังกายมีการเสนอแนวคิดถึงความเป็นไปได้ที่ร่างกายอาจจะมีเส้นแบ่งไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ (Muscle glycogen threshold) โดยอยู่ที่ประมาณ 100-300 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม

หากไกลโคเจนในกล้ามเนื้อต่ำกว่าระดับของเส้นแบ่งนี้ การทำงานของ SR ในการควบคุมระดับแคลเซียมในไซโทซอลจะบกพร่อง ส่งผลให้กล้ามเนื้อไม่สามารถหดตัวได้ตามปกติ จนนำไปสู่ความเมื่อยล้าในที่สุด (Hammond et al., 2019)

2. ระดับน้ำตาลในเลือด

หากมองในแง่ของการเกิดความเมื่อยล้า ไกลโคเจนยังคงเป็นตัวแปรที่สำคัญกว่าระดับน้ำตาลในเลือด เนื่องจากปริมาณไกลโคเจนที่มีอยู่อย่างจำกัดและแนวคิดเรื่องเส้นแบ่งไกลโคเจน อย่างไรก็ตาม ระดับน้ำตาลในเลือดยังคงส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพในการออกกำลังกาย การที่ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำมากจนไม่เพียงพอต่อการใช้งานของสมองจะทำให้เกิดภาวะนิวโรไกลโคพีเนีย (Neuroglycopenia) ถึงแม้ว่าภาวะนี้จะพบได้น้อยจากการออกกำลังกาย (Brun et al., 2001) เนื่องจากการทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพของฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด แต่การออกกำลังกายเป็นระยะเวลานานยังคงเป็นหนึ่งในปัจจัยเสี่ยงต่อภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ ซึ่งเมื่อเกิดภาวะนี้ขึ้น ร่างกายจะต้องพึ่งพาการสลายไขมันเพื่อนำมาใช้สังเคราะห์เป็นพลังงานมากขึ้น และส่งผลให้ต้องลดความเข้มข้นในการออกกำลังกายลงโดยปริยาย (Harris et al., 2018)

อีกหนึ่งสาเหตุของการเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำขณะออกกำลังกายมักมาจากการรับประทานคาร์โบไฮเดรตก่อนออกกำลังกายจนเกิดเป็นภาวะที่เรียกว่า ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำหลังรับประทานอาหาร (Postprandial reactive hypoglycemia) อันเป็นผลมาจากการตอบสนองของอินซูลินที่มากเกินไปจนเกิดภาวะอินซูลินในเลือดสูง ซึ่งอินซูลินนั้นไม่ได้มีผลต่อการออกกำลังกายในแง่ของการลดระดับน้ำตาลในเลือดลงเท่านั้น แต่ยังยับยั้งการสลายไขมันจากเนื้อเยื่อไขมันเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานอีกเช่นกัน (Erion & Corkey, 2017) และอีกหนึ่งกลไกที่สำคัญคือ การตอบสนองของระบบประสาทซิมพาเทติก โดยพบว่าการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นต่ำเกินไปไม่สามารถกระตุ้นระบบประสาทซิมพาเทติกให้ทำหน้าที่สลายไกลโคเจนได้อย่างเพียงพอต่อการใช้งานของร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วง 20 นาทีแรกของการออกกำลังกาย อย่างไรก็ตาม ระดับน้ำตาลในเลือดจะกลับสู่สภาวะปกติเมื่อออกกำลังกายต่อเนื่องไปอีก 20 นาที (Kuipers et al., 1999) ซึ่งคาดว่าสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานของร่างกายจากสภาวะพักมาสู่การออกกำลังกายอย่างฉับพลัน ร่วมกับการดูดซึ่มกลูโคสเข้าสู่เซลล์อย่างรวดเร็ว (Foster et al., 1979) และการลดลงของการผลิตกลูโคสของตับอันเป็นผลมาจากการทำงานของอินซูลิน (Rorsman &

Ashcroft, 2018) ถึงแม้ว่าภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำจะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาอันสั้น แต่ก็สามารถส่งผลให้สมรรถภาพในการออกกำลังกายของนักกีฬาตกลงได้เช่นกัน (Suzuki et al., 2014)

โปรตีน

โปรตีนเป็นองค์ประกอบสำคัญของกล้ามเนื้อ จึงปฏิเสธไม่ได้ว่าการรับประทานโปรตีนให้เพียงพอมีความสำคัญต่อการปรับตัวต่อการฝึกซ้อมของนักกีฬา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนากล้ามเนื้อ กระดูก และเส้นเอ็น ถึงแม้ว่านักกีฬาวิ่งมาราธอนจะไม่มีผลจำเป็นในการสร้างกล้ามเนื้อ แต่การรับประทานโปรตีนให้เพียงพอก็ถือว่าเป็นหนึ่งในเป้าหมายด้านโภชนาการที่สำคัญ เนื่องจากการแข่งขันหรือแม้กระทั่งการซ้อมวิ่งในแต่ละครั้งจะส่งผลให้กล้ามเนื้อเกิดความเสียหายอย่างหนัก ร่างกายจึงต้องการโปรตีนเพื่อไปกระตุ้นการซ่อมแซมกล้ามเนื้อให้ฟื้นฟูกลับมาดังเดิมและปรับตัวให้สมรรถภาพเพิ่มขึ้น

โดยทั่วไปแล้ว นักกีฬามีความต้องการโปรตีนสูงกว่าคนปกติ เพื่อให้มั่นใจว่าร่างกายจะมีโปรตีนเพียงพอสำหรับการฟื้นฟูกล้ามเนื้อและเกิดการปรับตัวกับการฝึกซ้อม โดยปริมาณโปรตีนที่แนะนำจะอยู่ที่ 1.2 - 2.0 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว หรืออาจรับประทานมากกว่าปริมาณดังกล่าวได้ ในกรณีที่มีการฝึกซ้อมที่เข้มข้นขึ้นหรือกำลังอยู่ในช่วงจำกัดพลังงาน หากมองในแง่ของนักกีฬาประเภททนทาน ปริมาณโปรตีนที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 1.2 – 1.6 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ซึ่งปริมาณโปรตีนในช่วงนี้เพียงพอที่จะทำให้ร่างกายเกิดการปรับตัวอย่างสูงสุดแล้ว (Burke & Deakin, 2015) การรับประทานโปรตีนที่มากกว่านี้ อาจส่งผลต่อการรับประทานอาหารที่สำคัญตัวอื่น ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต และส่งผลโดยตรงต่อปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อได้

ไขมัน

ไขมันเป็นสารอาหารที่ร่างกายต้องการเช่นกัน เนื่องจากไขมันเป็นแหล่งให้พลังงานที่ดี ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และยังช่วยในการดูดซึมวิตามินที่ละลายในไขมัน ปริมาณไขมันที่ควรรับประทานมักไม่ได้ถูกกำหนดไว้ตายตัว แต่มักถูกคำนวณปริมาณเป็นลำดับสุดท้ายหลังจากคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่ควรรับประทานไปหักลบกับพลังงานที่ควรได้รับต่อวันเป็นที่เรียบร้อยแล้ว อย่างไรก็ตาม นักกีฬาไม่ควรรับประทานไขมันอิ่มตัวเกินร้อยละ 10 ของพลังงานทั้งหมดที่ได้รับต่อวัน เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง (DeSalvo et al., 2016)

ปัจจุบันมีแนวคิดที่ต้องการให้ร่างกายเกิดการปรับตัวโดยการใช้น้ำมันเป็นแหล่งพลังงานหลัก ขณะออกกำลังกาย เนื่องจากจุดด้อยของไกลโคเจนที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น จึงเกิดเป็นแนวคิดที่ให้นักกีฬารับประทานอาหารไขมันสูง และคาร์โบไฮเดรตต่ำ เพื่อฝึกฝนร่างกายให้สามารถดึงแหล่งพลังงานสำรองอย่างไขมันในร่างกายออกมาใช้ โดยที่ยังรักษาปริมาณไกลโคเจนในกล้ามเนื้อเอาไว้ได้ แต่จากผลการวิจัยในปัจจุบันยังคงแสดงให้เห็นว่า การรับประทานอาหารไขมันสูงช่วยให้ร่างกายเกิดการปรับตัวในการเพิ่มอัตราการใช้น้ำมันขณะออกกำลังกายได้จริงเฉพาะการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นระดับปานกลางเท่านั้น หากออกกำลังกายที่ความเข้มข้นระดับสูงกว่านี้ สมรรถภาพในการออกกำลังกายจะลดลง (Volek et al., 2015) โดยคาดว่าเป็นผลมาจากอัตราการใช้น้ำมันที่ลดลง ขณะออกกำลังกายอันเกิดจากอัตราการใช้น้ำมันที่เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าจะยังคงมีไกลโคเจนเหลืออยู่เพียงพอในกล้ามเนื้อก็ตาม จึงเป็นการแสดงให้เห็นว่า คาร์โบไฮเดรตยังคงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นสูง

อาหารเสริมที่เพิ่มสมรรถนะทางการกีฬา

ในบรรดาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ถูกวางขายอยู่ทั่วไป มีเพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นที่ได้รับการศึกษาและทบทวนอย่างเป็นระบบจนได้รับการยืนยันว่าสามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพการกีฬา โดยผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ช่วยเพิ่มความทนทานในการออกกำลังกายสามารถแบ่งออกได้เป็น ดังนี้

1. กลุ่มคาร์โบไฮเดรต

ในขณะที่กำลังทำการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอน ร่างกายจะเกิดการเผาผลาญพลังงานสูงมาก การเตรียมตัวด้านโภชนาการทั้งในช่วงก่อนการแข่งขันและระหว่างการแข่งขันจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ซึ่งสารอาหารที่ช่วยเพิ่มพลังงานที่ได้รับความนิยมมักจะเป็นคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากประโยชน์ในด้านการให้พลังงานและด้านการรักษาสมรรถภาพการกีฬาดังที่กล่าวไป แต่การรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปของอาหารทั่วไปเป็นสิ่งที่แทบจะเป็นไปไม่ได้ขณะแข่งขัน ดังนั้น ผู้ผลิตหลายรายจึงทำการแปรรูปคาร์โบไฮเดรตให้อยู่ในรูปแบบที่รับประทานได้สะดวก พกพาได้ง่าย และไม่ก่อให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหาร โดยรูปแบบที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ เครื่องดื่มให้พลังงาน (Sports drinks) เจลให้พลังงาน (Sports gels) ขนมแท่งให้พลังงาน (Energy bars) เป็นต้น

2. คาเฟอีน

คาเฟอีนเป็นหนึ่งในอาหารเสริมที่ได้รับความนิยมอย่างมากในวงการกีฬา ประสิทธิภาพในการเพิ่มสมรรถภาพการกีฬาของคาเฟอีนมาจากการที่คาเฟอีนนั้นมีโครงสร้างที่คล้ายกับอะดีโนซีน (Adenosine) จึงทำให้คาเฟอีนสามารถแย่งจับกับตัวรับอะดีโนซีนภายในสมอง และมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง คือ กระตุ้นการหลั่งสารสื่อประสาท เพิ่มสมรรถภาพในการทำงานของสมอง และลดความเจ็บปวด อีกทั้งยังส่งผลต่อระบบประสาทส่วนปลาย คือ เพิ่มการระดมการทำงานของหน่วยประสาทสั่งการ (Motor unit) อีกทั้งยังช่วยในด้านการหดตัวของกล้ามเนื้อ เพิ่มอัตราการใช้ไขมันเป็นพลังงาน และเพิ่มการผลิตความร้อนของร่างกาย (Thermogenesis) (Vitale & Getzin, 2019)

ในด้านการเพิ่มสมรรถภาพการกีฬา งานวิจัยส่วนมากแนะนำว่า การรับประทานคาเฟอีนในปริมาณ 3 - 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว เป็นเวลา 30 - 90 นาทีก่อนออกกำลังกาย ช่วยรักษาสมรรถภาพในการออกกำลังกายประเภททนทาน (Glaister & Gissane, 2018) และเมื่อรับประทานคาเฟอีนร่วมกับคาร์โบไฮเดรต จะยิ่งเป็นการเพิ่มพูนสมรรถภาพในการออกกำลังกายประเภททนทาน เมื่อเทียบกับการรับประทานแค่คาเฟอีนหรือคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ การรับประทานคาเฟอีนในปริมาณที่มากกว่า 9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ไม่ได้ช่วยเพิ่มสมรรถภาพในการออกกำลังกายประเภททนทานอีกต่อไป และอาจก่อให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ เช่น อาการทางระบบทางเดินอาหาร เกิดอาการกังวล มึนงง และรบกวนการนอนหลับ (Spriet, 2014a)

3. ไนเตรต

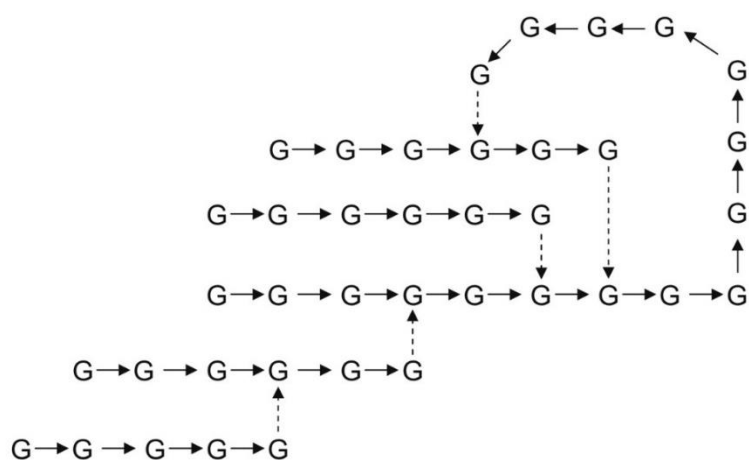
แต่เดิมไนเตรตถูกใช้ในทางการแพทย์เพื่อรักษาโรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคความดันโลหิตสูง เนื่องจากไนเตรตนั้นจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide; NO) ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยในการขยายตัวของหลอดเลือด จึงเป็นการเพิ่มการไหลเวียนของออกซิเจนไปสู่กล้ามเนื้อ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการสันดาบของไมโทคอนเดรีย (Mitochondrial respiration) เพิ่มการสร้างไมโทคอนเดรีย (Mitochondrial biogenesis) เพิ่มการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่เซลล์ และช่วยในการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อ (McMahon et al., 2017) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว Larsen et al. (2007) จึงได้นำ NO มาทดลอง และพบว่า NO ลดอัตราการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกายได้ อีกทั้งยังมีงานวิจัยอีกจำนวนหนึ่งยืนยันผลของ NO ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของกล้ามเนื้อ (Muscle economy) ลดความพยายามในการออกกำลังกายที่จุดต่ำกว่าจุดสูงสุด (Submaximal

exercise) และช่วยชะลออาการเหนื่อยล้า (Jonvik et al., 2015; McMahon et al., 2017) นอกจากนี้ NO ในรูปของน้ำปัสสาวะยังช่วยลดอัตราการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังกาย เพิ่มระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง เพิ่มสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือดขณะออกกำลังกายที่ซัดจำกัดออกาศนิยม และเพิ่ม $VO_2\text{max}$ (Dominguez et al., 2017)

ไฮลึบรานซ์ไซคลิกเดกซ์ทริน

โครงสร้างและคุณสมบัติของไฮลึบรานซ์ไซคลิกเดกซ์ทริน

ไฮลึบรานซ์ไซคลิกเดกซ์ทรินเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีโครงสร้างพิเศษเรียกว่า วงแหวนแปง ซึ่งประกอบไปด้วยโมเลกุลของอัลฟาดีกลูโคส (Alpha-D-glucose) เรียงต่อกันเป็นวงกลมด้วยพันธะอัลฟาวันโพรี่ไกลโคซิดิก (Alpha-1,4 glycosidic bond) และยังมีการแตกกิ่งออกไปจากวงแหวนแปงอีกชั้นหนึ่งด้วยพันธะอัลฟาวันซิกซ์ไกลโคซิดิก (Alpha-1,6 glycosidic bond) โดยกิ่งเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นมาจากโมเลกุลของอัลฟาดีกลูโคสที่เรียงต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะอัลฟาวันโพรี่ไกลโคซิดิก ดังรูปที่ 10 โครงสร้างของกิ่งเหล่านี้มีความคล้ายคลึงกับโครงสร้างของอะไมโลเพกทิน เนื่องจาก HBCD นั้นถูกผลิตมาจากแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว ซึ่งมีอะไมโลเพกทินเป็นองค์ประกอบหลัก (Buléon et al., 1998) โดยใช้เอนไซม์อัลฟาอะไมเลส (Alpha-amylase) เพื่อให้เกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จนได้เป็นอะไมโลเพกทินสายสั้น จากนั้นจึงใช้เอนไซม์วันโพรี่อัลฟาไกลูแคน (1,4-alpha glucan) ในการทำให้เกิดกระบวนการไซโคลเซชันจนเกิดเป็นโครงสร้างวงแหวนแปง ในหนึ่งโมเลกุลของ HBCD จะประกอบไปด้วยอะไมโลเพกทินที่มีกลูโคสเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 16 โมเลกุล และในส่วนของวงแหวนแปง มักประกอบด้วยกลูโคสจำนวน 16 - 100 โมเลกุลเรียงต่อกันเป็นวงกลม (Takata et al., 2003) คุณสมบัติเด่นของ HBCD คือ มีค่า DE ต่ำกว่า 5 ดังนั้น HBCD จึงมีคุณสมบัติคล้ายกับแป้งคือ ไม่มีรสหวาน ไม่มีกลิ่น และละลายน้ำได้ดี



รูปที่ 10 โครงสร้างของไฮลึบรานซ์ไซคลิกเด็กซ์ทริน

โดยลูกศรเส้นทึบแสดงถึงการต่อกันของกลูโคสด้วยพันธะอัลฟาวันโพร์ไกลโคซิดิก (Alpha-1,4 glycosidic bond) ในขณะที่ลูกศรเส้นประแสดงถึงพันธะอัลฟาวันซิกซีไกลโคซิดิก (Alpha-1,6 glycosidic bond)

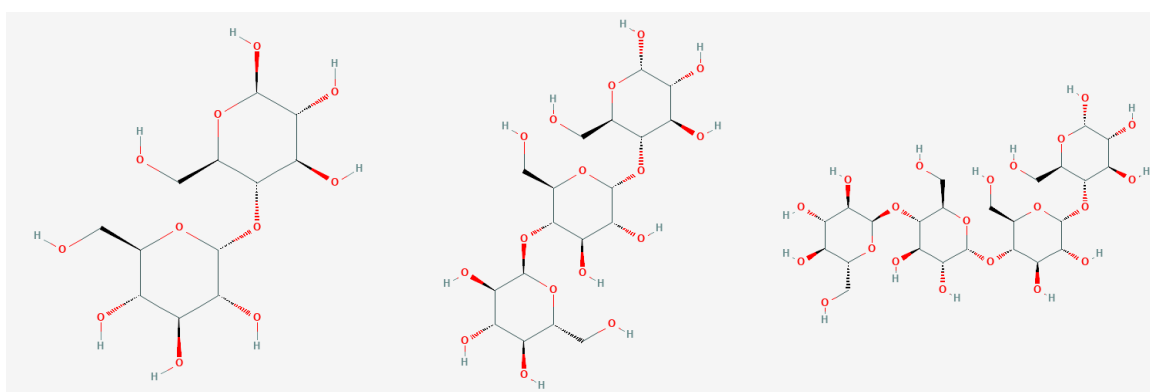
ที่มา: Choi et al., 2009

กระบวนการย่อยและดูดซึมไฮลึบรานซ์ไซคลิกเด็กซ์ทริน

ประเทศญี่ปุ่นได้ให้การอนุมัติว่า HBCD สามารถใช้เป็นอาหารหรือวัตถุเติมในอาหารตั้งแต่ปี ค.ศ. 2002 โดยในปัจจุบันมีการนำ HBCD ไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม โดยเฉพาะเครื่องดื่มทางการกีฬา (Sports drink) รวมถึงมีการทำวิจัยเพื่อศึกษาผลของการรับประทาน HBCD ในมนุษย์อยู่จำนวนหนึ่ง (Furuyashiki et al., 2014; Shiraki et al., 2015; Suzuki et al., 2014; Takii et al., 1999; Takii et al., 2005) จากการศึกษาทั้งหมดยังไม่พบผลข้างเคียงจากการรับประทาน HBCD ในมนุษย์แต่อย่างใด มีหน้าที่ซ้ำยังกลับพบว่า การรับประทาน HBCD ขณะออกกำลังกายก่อให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหารน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการรับประทานกลูโคสอีกด้วย (Takii et al., 2004)

ในด้านของการศึกษาการย่อยของ HBCD ในหลอดทดลอง (Choi et al., 2009) พบว่า เมื่อสัมผัสกับเอนไซม์อัลฟาอะไมเลสในน้ำลายของมนุษย์เป็นเวลา 20 นาที HBCD จะถูกย่อยและแตกตัวออกมาเป็นมอลโทส (Maltose) มอลโทไตรโอส (Maltotriose) มอลโทเตตราโอส (Maltotetraose) และกลูโคส และเมื่อทำการศึกษาต่อในสัตว์ทดลองยังพบอีกว่า อัตราการย่อย HBCD จะอยู่ ณ

จุดสูงสุดในช่วง 120 นาทีแรก โดยในช่วงเวลาดังกล่าว HBCD ปริมาณร้อยละ 33 จะถูกย่อยเป็น มอลโทสและมอลโทไตรโอส และจะถูกย่อยจนกลายเป็นกลูโคสทั้งหมดภายในระยะเวลา 1440 นาที ซึ่งสอดคล้องกับระดับน้ำตาลในเลือดที่สูงขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาดังกล่าว ดังนั้น หากพิจารณาร่วมกับ งานวิจัยในมนุษย์จึงสรุปได้ว่า เมื่อ HBCD เข้าสู่ระบบทางเดินอาหารจะถูกย่อยเป็นกลูโคสและคูดซิม เข้าสู่ร่างกายได้ทั้งหมด



รูปที่ 11 โครงสร้างของมอลโทส มอลโทไตรโอส มอลโทเทตราโอส

ที่มา: National Center for Biotechnology Information, 2020

ประโยชน์ของไฮลีสึรานซ์ไซคลิกเดกซ์ทริน

เป็นที่ทราบกันดีว่าการรับประทานคาร์โบไฮเดรตทั้งก่อน ระหว่าง และหลังออกกำลังกาย สามารถส่งผลชะลอความเมื่อยล้าจนนำไปสู่สมรรถภาพการออกกำลังกายที่ดีขึ้นได้ ซึ่งตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา องค์ความรู้ดังกล่าวได้ถูกพัฒนาให้มีความก้าวหน้ามากขึ้น โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการชะลอความเมื่อยล้าของคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกันแต่ละชนิด พบว่า มอลโทเดกซ์ทรินมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตขณะออกกำลังกายมากที่สุด (Coombes & Hamilton, 2000) เนื่องจากสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินนั้นปราศจากกลิ่นและรสชาติ ละลายน้ำได้ดี และที่สำคัญคือ มีแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) ต่ำกว่าสารละลายคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น ซึ่งแรงดันออสโมติกเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการเคลื่อนผ่านของอาหารผ่านกระเพาะอาหาร (Gastric emptying time) และอาการทางระบบทางเดินอาหาร อย่างไรก็ตาม มอลโทเดกซ์ทรินถูกผลิตโดยใช้เอนไซม์อัลฟาอะไมเลสในการย่อยโมเลกุลของแป้งให้มีขนาดเล็กลง จึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าจะให้เอนไซม์ทำการตัดพันธะที่ตำแหน่งใด ส่งผลให้มอลโทเดกซ์ทรินมีขนาดโมเลกุลที่ต่างกันมาก ในทางกลับกัน HBCD เป็นเดกซ์ทรินที่มีมวลโมเลกุลสูง

แต่ทว่าขนาดของแต่ละโมเลกุลนั้นมีความใกล้เคียงกัน อีกทั้งสารละลาย HBCD นั้นยังมีจุดเด่นที่เหนือกว่า เนื่องจากมันมีแรงดันออสโมติกต่ำมากจนใกล้เคียงกับน้ำ และยังมีระยะเวลาในการเคลื่อนผ่านของอาหารผ่านกระเพาะอาหารน้อยกว่าสารละลายกลูโคสและมอลโทเดกซ์ทริน (Takii et al., 2005) ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงส่งผลให้ HBCD มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้รับประทานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในขณะออกกำลังกาย

การศึกษาเรื่องประโยชน์ของ HBCD ในแง่ของการเพิ่มสมรรถภาพการออกกำลังกายนั้นมียุ่อย่างจำกัดมาก โดยมีจุดเริ่มต้นมาจากการศึกษาในสัตว์ทดลองเมื่อปี ค.ศ. 1999 (Takii et al., 1999) การทดลองนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรับประทาน HBCD และกลูโคส เพื่อศึกษาว่าคาร์โบไฮเดรตชนิดใดจะช่วยให้หนูสามารถว่ายน้ำได้นานกว่ากัน ผลการศึกษาพบว่า HBCD สามารถยืดระยะเวลาในการว่ายน้ำออกไปได้นานกว่ากลูโคส และน้ำ (กลุ่มควบคุม) โดยผู้วิจัยคาดว่าสาเหตุมาจากการที่ HBCD นั้นมีอัตราการเคลื่อนผ่านของอาหารผ่านกระเพาะอาหาร (Gastric emptying rate) ที่เร็วกว่า ส่งผลให้เมื่อรับประทานเข้าไปในร่างกาย HBCD จะเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารไปยังลำไส้เล็กได้อย่างรวดเร็ว แต่ในขณะเดียวกัน การย่อย HBCD จะเกิดขึ้นและดำเนินไปอย่างช้า ๆ จากนั้นจึงค่อย ๆ ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลการตรวจระดับน้ำตาลในเลือด ในงานวิจัยดังกล่าวพบว่า การรับประทาน HBCD สามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดอย่างช้า ๆ แตกต่างจากการรับประทานกลูโคสที่ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ผลการตรวจระดับอินซูลินในเลือดยังมีความสอดคล้องกับระดับน้ำตาลในเลือด โดยพบว่า HBCD มีการกระตุ้นการหลั่งอินซูลินน้อยกว่ากลูโคส ผู้วิจัยคาดว่าสาเหตุมาจากการที่ HBCD มีโครงสร้างที่ใหญ่และมีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งส่งผลให้ร่างกายต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยและดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด จึงไม่ก่อให้เกิดการตอบสนองที่มากเกินไปของอินซูลิน (Roberts et al., 2011) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงคาดว่า HBCD เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index) ต่ำ ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีข้อมูลในส่วนนี้ก็ตาม

ในด้านการศึกษาในมนุษย์ก็ให้ผลลัพธ์ที่ดีเช่นเดียวกัน จากการศึกษาในนักว่ายน้ำระดับสูง (Shiraki et al., 2015) พบว่า HBCD สามารถชะลอความเมื่อยล้าและช่วยให้นักกีฬาสามารถว่ายน้ำได้นานขึ้นถึงร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับกลูโคส โดยสาเหตุคาดว่ามาจากการรับประทาน HBCD ช่วยให้ผู้ร่วมวิจัยสามารถรักษาระดับน้ำตาลในเลือดได้สูงกว่าการรับประทานกลูโคสตลอดการทดลอง และ

ยังส่งผลให้อัตราการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานสูงขึ้นเมื่อว่ายน้ำที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น และสิ่งที่น่าสนใจยิ่งกว่า คือ การรับประทานกลูโคสส่งผลให้นักกีฬาว่ายน้ำเกิดความเมื่อยล้าเร็วกว่าการดื่มน้ำถึงแม้ว่ากลูโคสช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือดของนักกีฬาว่ายน้ำเหล่านี้ให้สูงอยู่ตลอดการทดลองก็ตาม จากผลการทดลองนี้ทำให้ผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตว่า ผลเสียเหล่านี้อาจมาจากการที่กลูโคสกระตุ้นให้อินซูลินหลั่งออกมามากเกินไปจนกระทั่งไปยับยั้งกระบวนการสลายไขมัน อีกหนึ่งเหตุผล คือ สารละลายกลูโคสมีแรงดันออสโมติกมากกว่าน้ำ จึงคาดว่าสารละลายกลูโคสส่วนมากยังคงเหลือค้างอยู่ในกระเพาะอาหารและไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ส่งผลให้ร่างกายของผู้ร่วมวิจัยขาดทั้งพลังงานและน้ำจนกระทบต่อสมรรถภาพในการว่ายน้ำ ต่อมาเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการช่วยชะลออาการเหนื่อยล้ากับมอลโทเดกซ์ทริน พบว่า HBCD ช่วยลดระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าของผู้ร่วมวิจัยได้มากกว่าในขณะปั่นจักรยานที่ระดับความเข้มข้นปานกลางเป็นระยะเวลา 60 นาที โดยที่ระดับกลูโคสและแลคเตทในเลือดหลังรับประทานนั้นไม่แตกต่างกัน สำหรับสาเหตุยังคงไม่เป็นที่แน่ชัด แต่ผู้วิจัยคาดว่ามาจากการที่ HBCD มีอัตราการเคลื่อนผ่านของอาหารผ่านกระเพาะอาหารที่เร็วกว่า และสามารถให้พลังงานได้อย่างต่อเนื่องและยาวนานกว่า (Furuyashiki et al., 2014) ประโยชน์ของ HBCD จากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ดังที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางสรุปประโยชน์ของ HBCD เมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น

ผู้วิจัย (ปี)	การออกแบบการทดลอง	ตัวแปรตาม	ประโยชน์
Takii et al. (1999)	HBCD เทียบกับ กลูโคส และ น้ำ (กลุ่มควบคุม)	TTE ระดับน้ำตาลในเลือด ระดับอินซูลินในเลือด	HBCD ช่วยยืดระยะเวลาในการ ว่ายนํ้าได้นานกว่ากลูโคส และน้ำ
Takii et al. (2004)	HBCD เทียบกับ กลูโคส	อาการทางระบบ ทางเดินอาหาร	HBCD ก่อให้เกิดอาการแสดงทาง ระบบทางเดินอาหารน้อยกว่า กลูโคส
Takii et al. (2005)	HBCD เทียบกับ กลูโคส และมอลโทเดกซ์ทรีน	อัตราการเคลื่อนผ่าน กระเพาะอาหาร อาการทางระบบ ทางเดินอาหาร	สารละลาย HBCD มีอัตราการ เคลื่อนของอาหารผ่านกระเพาะ อาหารเร็วกว่าสารละลายกลูโคส และมอลโทเดกซ์ทรีน
Furuyashiki et al. (2014)	HBCD เทียบกับ มอลโทเดกซ์ทรีน	RPE	HBCD ช่วยลดระดับความรับรู้ต่อ ความเหนื่อยล้าได้มากกว่ามอลโท เดกซ์ทรีน
Shiraki et al. (2015)	HBCD เทียบกับ กลูโคส	TTE ระดับน้ำตาลในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด	HBCD ช่วยยืดระยะเวลาในการ ว่ายนํ้าออกไปร้อยละ 70

ปริมาณการใช้ไฮลีสบรานซีไซคลิกเดกซ์ทรีน

การศึกษาที่ผ่านมามีการกำหนดให้ผู้เข้าร่วมรับประทาน HBCD ในลักษณะ 2 รูปแบบ ได้แก่

- 1) รับประทานในปริมาณที่กำหนดไว้ที่ 15 กรัม (Furuyashiki et al., 2014)
- 2) รับประทานปริมาณตามน้ำหนักตัวที่ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (Shiraki et al.,

2015) หรือโดยเฉลี่ยประมาณ 105 กรัมต่อคน

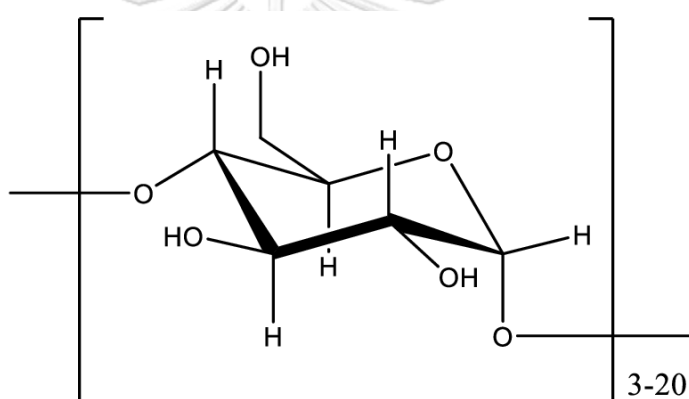
สังเกตว่าปริมาณการรับประทาน HBCD ทั้ง 2 รูปแบบนั้นมีความแตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุประสงค์ของแต่ละการศึกษานั้นแตกต่างกัน การศึกษาของ Furuyashiki และคณะ กำหนดปริมาณการรับประทานไว้ที่ 15 กรัม โดยมีจุดประสงค์เพื่อสังเกตผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตระหว่างออกกำลังกาย แต่การศึกษาของ Shiraki และคณะนั้น กำหนดปริมาณการรับประทานตามน้ำหนักตัวของผู้เข้าร่วม เนื่องจากต้องการศึกษาผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตก่อนออกกำลังกาย

ตามคำแนะนำของวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาแห่งสหรัฐอเมริกา ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เหมาะสมสำหรับรับประทานก่อนออกกำลังกาย คือ 1 - 4 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (Thomas et al., 2016) ซึ่งปริมาณดังกล่าวตรงกับปริมาณที่ Shiraki และคณะ ได้ให้ผู้เข้าร่วมรับประทานก่อนการทดลอง แต่หากมองในแง่ของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตขณะออกกำลังกาย นอกเหนือจากปริมาณการรับประทานที่ต้องพิจารณาแล้ว ความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตก็มีความสำคัญเช่นกัน เนื่องจากการรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้นเหมาะสมนอกจากจะเป็นการเติมพลังงานระหว่างออกกำลังกายแล้ว ยังช่วยเพิ่มการดูดซึมน้ำที่ลำไส้เล็ก จึงทำให้ร่างกายได้รับน้ำได้อย่างรวดเร็วกว่าการดื่มน้ำที่ไม่ผสมคาร์โบไฮเดรต โดยองค์กร The International Marathon Medical Directors Association ได้ให้คำแนะนำไว้ว่า ควรดื่มน้ำปริมาตร 400 - 800 มล. ก่อนทำการแข่งขันวิ่งมาราธอน เพื่อช่วยลดภาวะขาดน้ำ (Dehydrate) ก่อนที่จะทำการแข่งขัน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสมรรถภาพในการวิ่งของนักกีฬา และคำแนะนำดังกล่าวยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Shiraki และคณะที่กำหนดปริมาตรของเครื่องดื่มสำหรับการทดสอบไว้ที่ 500 มล. ทั้งนี้ ประโยชน์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อรับประทานเครื่องดื่มที่ผสมคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 8 เท่านั้น (Gisolfi et al., 1992) เมื่อพิจารณาไปที่การศึกษาของ Furuyashiki และคณะ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่กำหนดไว้ให้ผู้เข้าร่วมรับประทานขณะทดลองคือ 15 กรัม โดยผสมในน้ำ 200 มล. หรือเท่ากับมีความเข้มข้นร้อยละ 7.5 ซึ่งใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่แนะนำ ดังนั้น ปริมาณการรับประทาน HBCD ที่เหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวิจัย ว่าต้องการที่จะศึกษาผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตต่อการชะลอความเมื่อยล้าในช่วงเวลาก่อนออกกำลังกายหรือขณะออกกำลังกาย

มอลโทเดกซ์ทริน

โครงสร้างและคุณสมบัติของมอลโทเดกซ์ทริน

มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin) เป็นกลูโคสพอลิเมอร์ ซึ่งถูกผลิตจากการนำแป้งไปผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสบางส่วน (Partial hydrolysis) จึงส่งผลให้มอลโทเดกซ์ทรินมีขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกันไปตามระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยทั่วไปมักจะประกอบไปด้วยกลูโคสเรียงต่อกันตั้งแต่ 3 - 20 โมเลกุล (Guntero et al., 2020) ดังรูปที่ 12 ด้วยขนาดที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้ค่าสมมูลเดกซ์โทรสของมอลโทเดกซ์ทรินนั้นมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3 - 20 โดยมักนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ลูกอม หรือแม้กระทั่งการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องดื่มทางการกีฬา (Gonzalez et al., 2015)



รูปที่ 12 โครงสร้างของมอลโทเดกซ์ทริน

ที่มา: Guntero et al., 2020

มอลโทเดกซ์ทรินนั้นเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ถูกละลายและดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็วคล้ายกับกลูโคส ทั้งยังเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มี GI สูงอยู่ในช่วง 80 - 100 แต่กลับส่งผลต่อออสโมลาริตีของสารละลายน้อยกว่า (SHI et al., 1995) และมีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารที่เร็วกว่ากลูโคส (Sole & Noakes, 1989) ด้วยเหตุนี้ มอลโทเดกซ์ทรินจึงได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตในเครื่องดื่มทางการกีฬา

ประโยชน์ในด้านการเสริมสมรรถภาพความทนทาน

ในด้านการเพิ่มสมรรถภาพการกีฬา การรับประทานมอลโทเดกซ์ทรินนั้นสามารถเพิ่มความทนทานได้ไม่ต่างจากการรับประทานกลูโคส (Bourdais et al., 2021) เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตทั้งสอง

ชนิดมีอัตราการย่อยและดูดซึมที่ใกล้เคียงกัน และส่งผลให้อัตราการนำคาร์โบไฮเดรตไปใช้เป็นพลังงานของกลูโคสและมอลโทเดกซ์ทรินจำกัดอยู่ที่ 1.0 - 1.1 กรัมต่อนาที (Cermak et al., 2013)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยภายในประเทศ

นุชรีย์ ชูประดิษฐ์ (2548) ได้ทำการศึกษาผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตร่วมกับโปรตีนต่อสมรรถภาพความทนทาน โดยผู้วิจัยทดลองโดยใช้วิธีการทดลองแบบไขว้อำพรางทั้งสองฝ่าย (Double-blinded crossover experiment) ซึ่งผู้ร่วมวิจัยจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะต้องดื่มเครื่องดื่มทั้งหมด 3 ชนิด ประกอบด้วย เครื่องดื่มที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบร้อยละ 6 (CHO) เครื่องดื่มที่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบร้อยละ 1.5 (PRO) หรือเครื่องดื่มที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบร้อยละ 6 ร่วมกับโปรตีนร้อยละ 1.5 (CHO-PRO) อย่างใดอย่างหนึ่งในปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว ต่อมาจึงเริ่มวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill) ที่ความเข้มข้น 70% VO_2max เป็นเวลา 60 นาที โดยขณะที่ทำการวิ่งจะต้องดื่มเครื่องดื่มที่กำหนดให้ในปริมาณ 3 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว ทุก ๆ 20 นาที รวมเป็นปริมาณเครื่องดื่มที่ผู้เข้าร่วมแต่ละคนต้องดื่มทั้งสิ้น 14 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว หลังจากวิ่งครบ 60 นาที ผู้วิจัยได้เพิ่มความเร็ว 0.5 ไมล์ทุก ๆ 5 นาที จนกว่าผู้ร่วมวิจัยจะเหนื่อยหมดแรง ในด้านผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงของกลุ่ม CHO และ CHO-PRO มากกว่ากลุ่ม PRO แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ยูกาพร คานเพชรทา (2554) ได้ทำการศึกษาผลของอาหารเสริมต่อการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อทั้งในหนูทดลอง และนักฟุตบอล โดยการทดลองในหนูนั้น ผู้วิจัยทำการแบ่งกลุ่มเป็นทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ได้รับยาหลอก กลุ่มที่ 2 ได้รับวิตามินซี และกลุ่มที่ 3, 4, 5 ได้รับเคอร์เซตินในปริมาณ 150, 300, 450 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม ตามลำดับ โดยหนูทุกตัวจะได้รับอาหารเสริม 1 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 28 วัน ในระหว่างการทดลอง ผู้วิจัยได้ให้หนูทำการว่ายน้ำอย่างหนักในวันที่ 1, 7, 14, 28 และทำการวัดระดับของมาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) และซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (Superoxide dismutase; SOD) ในกล้ามเนื้อขาเพื่อสังเกตการฟื้นตัว ในส่วนของการทดลองในนักฟุตบอล ผู้วิจัยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมทำการดื่มอาหารเสริมทั้งหมด 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเวย์โปรตีน และกลุ่มเวย์โปรตีน ร่วมกับเคอร์เซติน วิตามินซี และกลูโคส ในปริมาณ 2 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัว โดยทำการดื่มทุก ๆ 15 นาทีตลอดการออกกำลังกาย จากนั้นจึงทำการวัดครี

เอทีนไคเนส (Creatine kinase; CK) MDA และ SOD เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการออกกำลังกาย ผลการทดลองในหนูพบว่า MDA และ SOD ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม แต่กลุ่มที่ได้รับเคอร์เซตินทุกกลุ่มสามารถว่ายน้ำได้นานขึ้นกว่ากลุ่มที่ได้รับยาหลอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนผลการทดลองในนักฟุตบอลนั้น พบว่า ระดับ MDA และ SOD หลังออกกำลังกายในกลุ่มทดลองต่ำกว่าตอนก่อนออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเคอร์เซตินในการเพิ่มอัตราการฟื้นตัวหลังออกกำลังกายได้

ณธีรา เสงเจริญ (2555) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่างการตีมนมช็อคโกแลตและกลูโคสก่อนการออกกำลังกายต่อการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงาน และระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง โดยผู้วิจัยกำหนดให้ผู้ร่วมวิจัย ซึ่งเป็นอาสาสมัครเพศชายอายุ 18 – 23 ปี ทำการตีมเครื่องตีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องตีหมอก เครื่องตีมกลูโคส และนมช็อคโกแลต โดยการทดลองนี้เป็นแบบไขว้ หลังจากตีเครื่องตีแล้วเป็นเวลา 1 ชม. ผู้ร่วมวิจัยจะต้องวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเข้มข้น 70% VO_2max จนกระทั่งเหนื่อยหมดแรง ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่ได้รับนมช็อคโกแลตมีอัตราการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานสูงกว่า สามารถรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่ได้มากกว่า และมีระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงยาวนานกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสามารถสรุปได้ว่า การตีมนมช็อคโกแลตก่อนออกกำลังกายช่วยเพิ่มสมรรถภาพในการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นต่ำกว่าระดับสูงสุด โดยการเพิ่มอัตราการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงาน และการรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้สูงอยู่ตลอดการออกกำลังกาย

งานวิจัยต่างประเทศ

Takii et al. (1999) ได้ทำการศึกษาผลของการให้ HBCD ต่อความทนทานในการว่ายน้ำของหนูเมื่อเปรียบเทียบกับกลูโคสและน้ำ โดยผู้วิจัยทำการฉีด HBCD กลูโคส หรือน้ำอย่างใดอย่างหนึ่งเข้าสู่กระเพาะอาหารโดยตรง ผลการทดลองพบว่า หนูกลุ่มที่ได้รับ HBCD ในปริมาณ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวนั้นสามารถว่ายน้ำได้นานกว่ากลุ่มที่ได้รับกลูโคสและน้ำ อย่างไรก็ตาม ไม่พบว่า HBCD ช่วยเพิ่มความทนทานในการว่ายน้ำเมื่อให้ที่ปริมาณ 166 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ซึ่งบ่งบอกถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณที่ได้รับกับการตอบสนอง (Dose response relationship) ต่อมาเมื่อทำการวัดระดับน้ำตาลในเลือด พบว่า ระดับน้ำตาลในเลือดของหนูกลุ่มที่ได้รับกลูโคสเพิ่มสูงกว่าหนูกลุ่มอื่น อีกทั้งระดับอินซูลินในเลือดของหนูกลุ่มนี้ยังเพิ่มสูงขึ้นกว่าหนูกลุ่มอื่นด้วยเช่นกัน ผู้วิจัยจึงทำการสรุปว่า HBCD สามารถรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่ตลอดการ

ว่ายน้ำ โดยที่ไม่กระตุ้นให้เกิดการหลั่งอินซูลินที่มากเกินไปจนเกิดผลเสียต่อความทนทานในการว่ายน้ำ
น้ำ จนสามารถชะลออาการเหนื่อยล้าและเพิ่มความทนทานในการว่ายน้ำของหนูในท้ายที่สุด

Takii et al. (2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของการตี๋มเครื่องตี๋มเกลือแร่ที่ผสม
HBCD และกลูโคสต่ออาการทางระบบทางเดินอาหารขณะปั่นจักรยาน โดยทำการศึกษาในกลุ่ม
ตัวอย่างที่ไม่เคยฝึกซ้อมมาก่อน ผู้วิจัยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมทำการปั่นจักรยานเป็นเวลา 10 นาที
หลังจากนั้นจึงรับประทานเครื่องตี๋มเกลือแร่ที่ผสม HBCD หรือกลูโคสที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 และ
พักเป็นเวลา 10 นาทีก่อนที่จะเริ่มปั่นจักรยานอีกครั้งเป็นเวลา 30 นาที และทำการศึกษาอัตราการ
เคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารและอาการทางระบบทางเดินอาหารตลอดการทดลอง จากการทดลอง
พบว่า เครื่องตี๋มเกลือแร่ที่ผสม HBCD มีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารเร็วกว่า อีกทั้งยัง
ก่อให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหารน้อยกว่าเครื่องตี๋มเกลือแร่ที่ผสมกลูโคสตลอดการทดลอง
ผู้วิจัยจึงสรุปว่า HBCD อาจเป็นตัวเลือกของคาร์โบไฮเดรตที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องตี๋มเกลือแร่ เนื่องจาก
เคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารอย่างรวดเร็วและแทบไม่ก่อให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหาร

Takii et al. (2005) ได้ทำการเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารของ
สารละลายที่แตกต่างกัน โดยสารละลายที่ผู้วิจัยทำการศึกษาประกอบด้วย น้ำ น้ำเกลือ สารละลาย
กลูโคส สารละลายมอลโทส สารละลายซูโครส สารละลายเดกซ์ทรีน และสารละลาย HBCD ผ่าน
วิธีการตรวจด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonography) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะสารละลาย
คาร์โบไฮเดรต HBCD มีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารเร็วเป็นลำดับที่สาม รองจากสารละลาย
เดกซ์ทรีน และสารละลายซูโครส อย่างไรก็ตาม HBCD ส่งผลกระทบต่อแรงดันออสโมติกของสารละลายน้อย
กว่าสารละลายคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น ซึ่งแรงดันออสโมติกนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบบั้
อัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารของสารละลาย ยิ่งไปกว่านั้น ผู้วิจัยยังทำการเปรียบเทียบแรงดัน
ออสโมติกและอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารของเครื่องตี๋มเกลือแร่ที่ผสม HBCD และเดกซ์
ทรีน พบว่า เครื่องตี๋มเกลือแร่ที่ผสม HBCD นั้นมีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารเร็วกว่า และมี
แรงดันออสโมติกที่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า (Takii et al., 2004) ผู้วิจัยจึงสรุปว่า
HBCD นั้นมีประโยชน์ในด้านการนำไปผลิตเครื่องตี๋มเกลือแร่สำหรับนักกีฬาในสถานการณ์จริงมาก
ที่สุด เนื่องจาก HBCD ส่งผลกระทบต่อแรงดันออสโมติกของสารละลายน้อยกว่าคาร์โบไฮเดรตชนิด

อื่น จึงทำให้เมื่อนำไปผสมกับอิเล็กทรอนิกส์จะได้เป็นเครื่องต้มเกลือแร่ที่มีความดันออสโมติกในช่วงที่เหมาะสม และมีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารเร็วที่สุด

Choi et al. (2009) ได้ทำการศึกษาเรื่องความสามารถในการย่อย HBCD ของเอนไซม์ในน้ำลายและลำไส้เล็กของมนุษย์ และยังศึกษาถึงความปลอดภัยในการรับประทาน HBCD ในหนูทดลอง โดยพบว่า HBCD สามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์อัลฟาอะไมเลสจนได้เป็นมอลโทส มอลโทโทรโอส และมอลโทเทเทรโอสก่อนในช่วงแรก และสุดท้ายจะถูกย่อยเป็นกลูโคสทั้งหมดภายในเวลา 1,440 นาที ในด้านความปลอดภัยของ HBCD เมื่อผู้วิจัยให้หนูวิสตา (Wistar rat) กิน HBCD ปริมาณ 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว พบว่าไม่มีการเสียชีวิตหรืออาการผิดปกติแต่อย่างใด ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงสรุปว่า HBCD นั้นเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สามารถถูกย่อยภายในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ได้อย่างสมบูรณ์ และมีความปลอดภัยในการรับประทาน

Furuyashiki et al. (2014) ได้ทำการเปรียบเทียบผลของการรับประทาน HBCD และมอลโทเดกซ์ทรินในปริมาณ 15 กรัม ต่อระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า เมื่อให้ผู้เข้าร่วมปั่นจักรยานเป็นเวลา 120 นาที ซึ่งการศึกษานี้ใช้วิธีทดลองแบบไขว้อำพรางทั้งสองฝ่าย โดยผู้วิจัยจะเริ่มให้ผู้เข้าร่วมรับประทาน HBCD หรือมอลโทเดกซ์ทรินเมื่อปั่นจักรยานจนถึงนาทีที่ 60 หลังจากนั้นจึงเริ่มวัดระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าโดยใช้มาตรวัดของบอร์ก (Borg's scale) ผลการทดลองพบว่าตลอดระยะเวลา 60 นาทีหลังจากการรับประทาน ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าที่น้อยลง ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในทั้งสองกลุ่ม แต่ทว่ากลุ่มที่รับประทาน HBCD นั้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ช้ากว่ากลุ่มที่รับประทานมอลโทเดกซ์ทรินอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการที่ HBCD ถูกย่อยและดูดซึมเป็นกลูโคสอย่างช้า ๆ จึงส่งผลให้ร่างกายมีพลังงานหล่อเลี้ยงอยู่ตลอดแม้ว่าจะออกกำลังกายเป็นระยะเวลานานแล้วก็ตาม

Shiraki et al. (2015) ได้ทำการศึกษาผลของการรับประทาน HBCD ต่อความทนทานในการว่ายน้ำของนักกีฬาว่ายน้ำระดับสูง และเปรียบเทียบผลกับการรับประทานกลูโคสและน้ำ โดยผู้วิจัยกำหนดให้ผู้เข้าร่วมรับประทาน HBCD กลูโคส หรือน้ำอย่างใดอย่างหนึ่งในปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว และทำการว่ายน้ำที่ระดับความเข้มข้น 70% VO_2max เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นพัก 3 นาที ทั้งหมด 10 รอบ ตามด้วยการว่ายน้ำที่ระดับความเข้มข้น 90% VO_2max จนกว่าจะหมดแรง จากนั้นจึงทำการจับเวลาเพื่อหาระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง จากการ

ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่รับประทาน HBCD นั้นสามารถว่ายน้ำได้นานกว่ากลุ่มที่รับประทาน กลูโคสและน้ำถึงร้อยละ 70 อีกทั้ง HBCD ยังสามารถรักษาระดับน้ำตาลในเลือดในระดับสูงได้ตลอด การทดลอง ผู้วิจัยจึงสรุปว่า HBCD สามารถเพิ่มสมรรถภาพในการออกกำลังกายประเภททนทานได้

ถึงแม้ว่างานวิจัยที่ผ่านมาจะให้ผลลัพธ์ในเชิงบวกทั้งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง แต่สาเหตุในแง่ของการลดการกระตุ้นการหลั่งอินซูลินนั้นยังคงไม่ชัดเจน เนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการวัดระดับอินซูลินในเลือดหลังจากรับประทาน HBCD และเมื่อพิจารณาในแง่ของความเหมาะสมของการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน ด้วยอัตราการย่อยและการดูดซึมที่ช้าจึงส่งผลให้ HBCD มีความสามารถในการรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้คงที่ได้เป็นระยะเวลาาน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานก่อนออกกำลังกายประเภททนทาน ไม่เพียงเท่านั้น HBCD ยังสามารถรักษาอัตราการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานไว้ได้สูงเป็นระยะเวลาาน จึงช่วยให้นักกีฬาสามารถออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นสูงได้อย่างต่อเนื่อง อันเป็นสิ่งสำคัญในการตัดสินผลการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอน (Hargreaves & Spriet, 2020) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมายังไม่สามารถแสดงศักยภาพของ HBCD ในการชะลอความเมื่อยล้าในการออกกำลังกายประเภททนทานได้มากนัก เนื่องจากการทดสอบที่ใช้ในการวัดผลยังไม่มีความเฉพาะเจาะจงหรือยังไม่มีมีความเข้มข้นมากพอเมื่อเทียบกับการแข่งขันจริง นอกจากนี้ トラบาจนปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการทดลองโดยการวิ่งแบบทนทาน ดังนั้น ประโยชน์ของ HBCD ในแง่ของการชะลอความเมื่อยล้าในการวิ่งที่ระดับความเข้มข้นสูงใกล้เคียงกับการแข่งขันกีฬาวิ่งมาราธอนนั้นยังคงไม่เป็นที่ประจักษ์

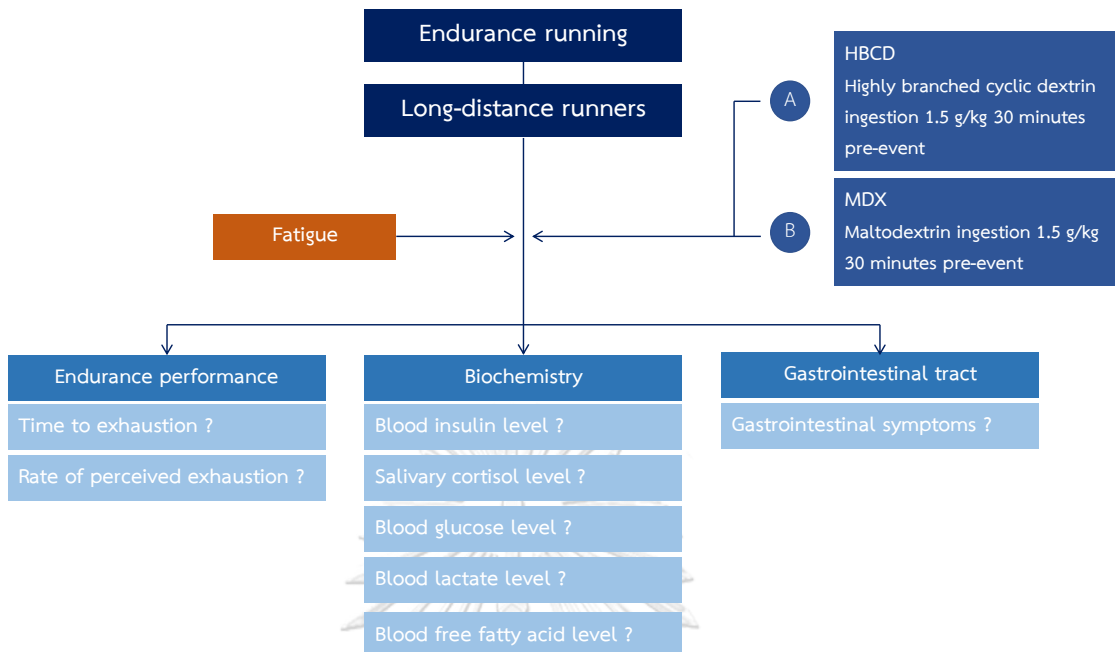
กรอบแนวคิดในการวิจัย

การแข่งขันวิ่งระยะไกลถือเป็นการแข่งขันสมรรถภาพด้านความทนทาน เนื่องจากนักวิ่งแต่ละคนต้องใช้งานกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาาน ซึ่งกล้ามเนื้อต้องอาศัยพลังงานในการยึดและหดตัว โดยพลังงานเหล่านี้มาจากคาร์โบไฮเดรตและไขมัน แต่ทว่าการนำไขมันไปใช้เป็นพลังงานนั้นช้ากว่าการใช้คาร์โบไฮเดรต (Mul et al., 2015) จึงไม่เพียงพอที่จะให้พลังงานแก่กล้ามเนื้อในการแข่งขันที่มีความเข้มข้นสูง ในขณะที่เดียวกัน ร่างกายสามารถกระตุ้นการนำคาร์โบไฮเดรตมาใช้เป็นพลังงานได้มากขึ้นโดยการลดการหลั่งอินซูลิน และเพิ่มการหลั่งกลูคากอน สารแคทีโคลามีน (Catecholamines) และคอร์ติซอล (Kenney et al., 2015) อย่างไรก็ตาม กระบวนการเหล่านี้

นำไปสู่ระดับไกลโคเจนในกล้ามเนื้อที่ลดลงอย่างรวดเร็ว และส่งผลให้สมรรถภาพในการออกกำลังกายลดลงในที่สุด (Hammond et al., 2019)

อีกทั้ง ปริมาณไกลโคเจนในร่างกายนั้นมีน้อยและไม่เพียงพอต่อการใช้เป็นพลังงานสำหรับการวิ่งมาราธอน (Loftin et al., 2007) ด้วยเหตุนี้ คาร์โบไฮเดรตจากภายนอก (Exogenous carbohydrate) จึงมีบทบาทสำคัญในการเป็นแหล่งพลังงานสำรองในขณะออกกำลังกาย และช่วยรักษาระดับไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ (Burke & Deakin, 2015) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดนั้นส่งผลต่อสมรรถภาพในการออกกำลังกายต่างกัน จากงานวิจัยพบว่า HBCD ซึ่งเป็นกลูโคสพอลิเมอร์สามารถเพิ่มสมรรถภาพความทนทานได้ดีกว่ากลูโคส (Shiraki et al., 2015) และช่วยลดระดับความรู้สึกเหนื่อยล้าได้ดีกว่ามอลโทเดกซ์ทริน (Furuyashiki et al., 2014) โดยกลไกส่วนหนึ่งมาจากการที่ HBCD เคลื่อนที่ผ่านกระเพาะอาหารได้เร็วกว่ากลูโคส จึงเป็นการลดโอกาสในการเกิดอาการทางระบบทางเดินอาหาร แต่ในขณะเดียวกัน HBCD กลับถูกย่อยและดูดซึมช้ากว่า ส่งผลให้ร่างกายมีแหล่งพลังงานอย่างต่อเนื่องและยาวนาน ลดการหลังกลูคากอน สารแคทีโคลามีน และคอร์ติซอล (Utter et al., 1999) อันนำไปสู่การฟื้นฟูไกลโคเจนในกล้ามเนื้อที่ลดลง และสมรรถภาพในการออกกำลังกายประเภททนทานที่ดีขึ้น

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการรับประทาน HBCD และมอลโทเดกซ์ทรินก่อนการทดสอบวิ่งแบบทนทานต่อการตอบสนองด้านฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การตอบสนองด้านเมตาบอลิก และระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงของนักวิ่งระยะไกลเพศชาย การทดลองนี้เป็นแบบไขว้อำพรางฝ่ายเดียว ชั้นแรกผู้ร่วมวิจัยแต่ละคนจะถูกสุ่มว่าจะต้องรับประทานคาร์โบไฮเดรตชนิดใดเป็นลำดับแรก หลังจากนั้น ผู้ร่วมวิจัยจะต้องรับประทาน HBCD หรือมอลโทเดกซ์ทรินในปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว และทำการทดสอบวิ่งแบบทนทานเพื่อวัดตัวแปรในแต่ละด้านดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีรูปแบบการศึกษาเป็นแบบไขว้และอำพรางฝ่ายเดียว (Single-blinded crossover study) โดยเป็นการศึกษาผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่ต่างกัน 2 ชนิดคือ ไฮโดรเจนไซคลิซเดกซ์ทรินและมอลโทเดกซ์ทริน ต่อตัวแปรที่เกี่ยวข้องด้านสมรรถภาพในการวิ่ง ด้านฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ด้านสารชีวโมเลกุลในเลือด และด้านอาการแสดงของระบบทางเดินอาหารในนักกีฬาวิ่งมาราธอนเพศชาย อายุ 40 ถึง 49 ปี

ในขั้นตอนการดำเนินการวิจัยตั้งแต่การวางแผนเก็บข้อมูล การเตรียมตัวอย่างและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง การเก็บตัวอย่างสารคัดหลั่ง ตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูล จำเป็นต้องอาศัยความเชี่ยวชาญจากหลากหลายสาขาวิชาชีพ ไม่ว่าจะเป็น นักวิทยาศาสตร์การกีฬา นักเทคนิคการแพทย์ และนักกำหนดอาหารทำงานร่วมกัน นอกจากนี้ การวิเคราะห์ผลบางตัวแปร เช่น ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด ระดับอินซูลินในเลือด และระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์และเครื่องมือที่ทันสมัย รวมถึงความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านของบุคลากร จึงมีหน่วยงานที่ให้ความอนุเคราะห์ในการช่วยเหลือสนับสนุนห้องปฏิบัติการสำหรับการวิจัยทั้งสิ้น 3 หน่วยงาน ดังนี้

- 1) ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2) หน่วยปฏิบัติการบริการทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 3) ศูนย์ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

สำหรับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร (Population) คือ นักวิ่งระยะไกลเพศชาย

กลุ่มตัวอย่าง (Sample) คือ นักวิ่งระยะไกลเพศชาย อายุ 40 – 49 ปี โดยคำนวณขนาดตัวอย่างจากการใช้โปรแกรมคำนวณขนาดตัวอย่าง G*Power, Version 3.1.9.7 โดยกำหนดอำนาจ

ในการทดสอบทางสถิติ (Power of test) ที่ 0.8 และขนาดของผลกระทบ (Effect size) ที่ 0.50 เนื่องจากผู้วิจัยคาดหวังว่าจะเห็นขนาดของผลกระทบจากการทดลองนี้ในระดับปานกลาง (ภาคผนวก ก) จากการคำนวณต้องใช้ขนาดตัวอย่าง 7 คน อีกทั้ง ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้กับงานวิจัยก่อนหน้าของ Shiraki และคณะ โดยเป็นการทดสอบเปรียบเทียบผลของการรับประทาน HBCD และกลูโคสในนักกีฬาว่ายน้ำ จำนวน 7 คน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่าง ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดตัวอย่างของงานวิจัยนี้ไว้ที่ 7 คน ร่วมกับการเพิ่มขนาดตัวอย่างเพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูลอีกร้อยละ 20 ดังนั้น ต้องใช้ขนาดตัวอย่างทั้งสิ้น 9 คน

การทดลองนี้เป็นการทดลองแบบไขว้ โดยผู้ร่วมวิจัยจะต้องมาเข้าร่วมการวิจัยให้ครบทั้งสองครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะได้รับการทดลองที่แตกต่างกัน และการจัดลำดับในการทดลองจะใช้วิธีการสุ่มแบบง่าย (Simple random sampling) ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์อัตโนมัติ โดยแต่ละครั้งมีรายละเอียดดังนี้

ครั้งที่ 1 HBCD กลุ่มที่ดื่มเครื่องดื่ม HBCD ซึ่งประกอบไปด้วย HBCD ปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (g/kg) ละลายในน้ำเปล่าจนได้ปริมาตรรวมเป็น 500 มล. และปรับรสชาติด้วยสตีวียอลไกลโคไซด์ ก่อนเริ่มการทดสอบ 30 นาที

ครั้งที่ 2 MDX กลุ่มที่ดื่มเครื่องดื่มมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งประกอบไปด้วยมอลโทเดกซ์ทริน ปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (g/kg) ละลายในน้ำเปล่าจนได้ปริมาตรรวมเป็น 500 มล. และปรับรสชาติด้วยสตีวียอลไกลโคไซด์ ก่อนเริ่มการทดสอบ 30 นาที

เกณฑ์ในการคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมในการวิจัย (Inclusion criteria)

- 1) เป็นนักกีฬาวิ่งมาราธอน เพศชาย ที่มีอายุระหว่าง 40 – 49 ปี
- 2) มีประสบการณ์การวิ่งอย่างต่อเนื่องไม่ต่ำกว่า 12 เดือน และปัจจุบันยังมีการซ้อมสัปดาห์ละ 3 – 5 วัน ระยะทางรวม 50 – 80 กิโลเมตร/สัปดาห์
- 3) มีสถิติเวลาในการเข้าเส้นชัยระยะมาราธอนต่ำกว่า 5 ชั่วโมง
- 4) มี $VO_2max > 40$ ml/kg/min
- 5) ไม่มีการเข้าร่วมการแข่งขันรายการการวิ่งมาราธอนภายในระยะเวลา 2 สัปดาห์ก่อนเข้าร่วมการวิจัย และตลอดระยะเวลาที่เข้าร่วมการวิจัย

6) ไม่มีโรคประจำตัว เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง โรคไตเรื้อรัง หรือโรคมะเร็ง เป็นต้น และไม่มีอาการบาดเจ็บที่ส่งผลให้ไม่สามารถออกกำลังกายโดยการวิ่งได้

7) ผ่านการประเมินความพร้อมต่อการมีกิจกรรมทางกาย (Physical activity readiness questionnaire Plus; PAR-Q+) ดังที่แสดงในภาคผนวก ข

8) ไม่มีอาการแพ้แอลกอฮอล์ทริน ได้แก่ อาการท้องร่วง และไม่เคยมีอาการผิดปกติทางระบบทางเดินอาหาร รวมถึงอาการท้องผูก

9) ไม่มีประวัติการสูบบุหรี่

10) ไม่รับประทานอาหารเสริมอื่น ๆ ที่เพิ่มสมรรถนะทางการกีฬา ได้แก่ อาหารเสริมที่มีคาร์โบไฮเดรต เครื่องดื่มให้พลังงาน เจลให้พลังงาน วิตามินและเกลือแร่ คอลลาเจน เวย์โปรตีน กรดอะมิโนแบบกิ่ง (Branched-chain amino acids; BCAAs) เป็นต้น ในช่วงเวลา 2 สัปดาห์ก่อนเข้าร่วมการวิจัย

11) มีความสมัครใจในการเข้าร่วมการวิจัย และยินดียินยอมในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

เกณฑ์ในการคัดกลุ่มตัวอย่างออกจากการศึกษา (Exclusion criteria)

1) เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อไปได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยเป็นโรคนอนไม่สามารถออกกำลังกายโดยการวิ่งได้ เป็นต้น

2) เกิดเหตุสุดวิสัยที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ร่วมวิจัยขณะทำการทดลอง

3) ขาดการเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้ร่วมวิจัยมาเข้ารับการทดสอบไม่ครบตามกำหนด

4) มีการรับประทานอาหารเสริมอื่นที่ส่งผลเพิ่มสมรรถนะทางการกีฬาในระหว่างการวิจัย

5) มีความประสงค์ที่จะขอถอนตัวจากการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมการก่อนการทดลอง

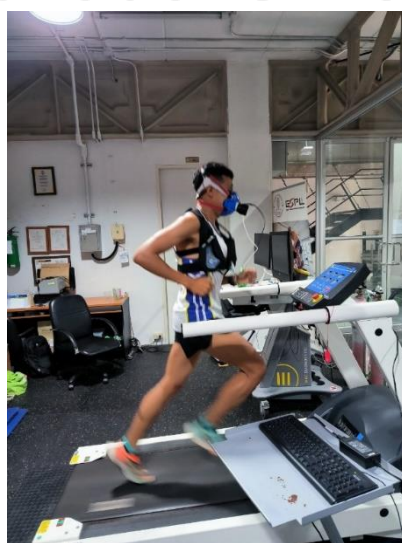
1) ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิ่งมาราธอน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสมรรถภาพในการวิ่งมาราธอน การเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดขณะออกกำลังกายประเภททนทาน และผลของการรับประทานไฮลีสีรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทรินกับการออกกำลังกาย

2) สร้างแผนการดำเนินงานเก็บข้อมูลในการวิจัย

3) ทำการศึกษานำร่องก่อนการวิจัย (Pilot study) กับอาสาสมัคร จำนวน 2 คน ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างที่จะดำเนินการวิจัย เพื่อเป็นการทดลองรูปแบบการเก็บข้อมูลและทดสอบวิธีการใช้เครื่องมือในการวัดตัวแปรตาม ในการศึกษา นำร่องผู้วิจัยได้ขอให้อาสาสมัครทำการทดสอบด้วยการวิ่งเพื่อหาค่าความเร็วที่จุดเปลี่ยนแปลงการหายใจที่ 1 (Ventilatory threshold 1; VT_1) และ 2 (VT_2) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzer) ซึ่งความเร็วทั้งสองจุดนี้จะถูกนำมาใช้ประเมินความเหมาะสมในการกำหนดความเร็วที่ใช้สำหรับทดสอบจริง อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานำร่องนี้แสดงให้เห็นว่า การออกแบบการทดลองโดยการให้อาสาสมัครทำการวิ่งที่ความเร็ว ณ จุด VT_1 เป็นเวลา 30 นาที ตามด้วยการวิ่งที่ความเร็ว ณ จุด VT_2 จนกว่าจะเหนื่อยหมดแรงนั้นอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากอาสาสมัครรายงานว่า ความเร็ว ณ จุด VT_2 ที่คำนวณได้เป็นความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการแข่งขันวิ่งมาราธอนของตน (11.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 12.1 กิโลเมตรต่อชั่วโมงหรือเทียบเท่ากับเพซ 5:05 และ 4:57 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นความเร็วที่สามารถวิ่งได้เป็นเวลามากกว่า 2 ชั่วโมง ข้อมูลดังกล่าวขัดแย้งกับการศึกษา TTE ของ Moral-González et al. (2020) ในกลุ่มนักปั่นจักรยาน โดยพบว่า TTE ของนักปั่นจักรยานเมื่อนักปั่นจักรยานที่ความเร็ว ณ จุด VT_2 โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 20 นาที โดยไม่ขึ้นอยู่กับระดับของการฝึกฝน ถึงแม้ว่าการเปรียบเทียบ TTE ของชนิดกีฬาที่ต่างกันอาจจะไม่สามารถทำได้โดยตรง แต่หากเปรียบเทียบเป็นระดับความเข้มข้นในการออกกำลังกาย พบว่า นักกีฬาปั่นจักรยานกลุ่มนี้นักกีฬาที่ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ 85% ซึ่งใกล้เคียงกับระดับความเข้มข้นที่ใช้ในการแข่งขันวิ่งมาราธอน (Coyle, 2007) รวมถึงความเข้มข้นของการวิ่ง ณ จุด VT_2 ของอาสาสมัครซึ่งอยู่ที่ 83% และ 86% VO_2 peak อีกทั้ง Gleser and Vogel (1973) รายงานไว้ว่า การออกกำลังกายที่ความเข้มข้น 85% VO_2 peak จะมี TTE อยู่ที่ 1 ชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งความแตกต่างทางด้านของระยะเวลาอาจมาได้จากหลายปัจจัย เช่น ความแตกต่างของการใช้งานกล้ามเนื้อในการวิ่งและปั่นจักรยาน (Dittrich et al., 2013) หรือความแตกต่างระหว่างการเก็บข้อมูลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและสนามฝึกจริง (Metaxas et al., 2005) นอกจากนี้ TTE เป็นตัวแปรที่มีความแตกต่างในตัวบุคคล (Within-subject variability) ค่อนข้างสูง (Jeukendrup et al., 1996) โดยในการศึกษาของ McLellan et al. (1995) พบว่า การออกกำลังกายที่ความเข้มข้น 80% VO_2 peak มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวนอยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 31.4% โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.3% จากการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างในตัว

บุคคลนี้สามารถถูกจำกัดให้แคบลงได้จากการเพิ่มความเข้มข้นของการทดสอบ โดยพบว่า การทดสอบ TTE โดยการออกกำลังกายที่ความเข้มข้น 120% $VO_2\max$ มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรปรวนอยู่ที่ 10% (Billat & Koralsztejn, 1996) และการทดสอบ TTE ที่ความเร็วสูงสุดของอากาศนิยม (Maximal aerobic speed) สามารถทำซ้ำได้โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง (Billat et al., 1994) จึงอาจสรุปได้ว่า การทดสอบที่ใช้เวลานานจะทำให้ TTE ที่วัดได้มีความแตกต่างกันมาก ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงทำการปรับเปลี่ยนวิธีการทดสอบเพื่อหา TTE โดยเปลี่ยนจากการวิ่งที่ความเร็วคงที่ ณ จุด VT_2 เป็นการทดสอบแบบไล่ระดับตามแนวทางของแรมป์ (Incremental ramp exercise protocol) โดยการเพิ่มความเร็วในการวิ่ง 0.5 กิโลเมตร ทุก 30 วินาที (Sperlich et al., 2015) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนี้มีความใกล้เคียงกับการศึกษาของ Billat et al. (1994) ผู้วิจัยจึงคาดหวังว่า วิธีการทดสอบนี้จะสามารถช่วยลดปัญหาด้านความแตกต่างในตัวบุคคลของ TTE และสามารถสะท้อนสมรรถภาพในการวิ่งของกลุ่มตัวอย่างได้แม่นยำมากขึ้น

4) เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการเก็บตัวอย่างเลือดและทำการทดสอบสมรรถภาพของกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงนำรูปแบบการรับประทานไฮลิบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทริน รูปแบบการทดสอบสมรรถภาพทางกายแบบทนทานในนักกีฬาวิ่งมาราธอนชาย และรูปแบบการตรวจวัดค่าตัวแปร เสนอต่อคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อขออนุมัติในการดำเนินการวิจัย และได้รับการรับรองโครงการวิจัยในวันที่ 23 พฤษภาคม 2565 เลขที่โครงการวิจัย 650034 (ภาคผนวก ค) และได้รับการอนุมัติขอต่ออายุโครงการวิจัยในวันที่ 5 มิถุนายน 2566 (ภาคผนวก ง)



รูปที่ 14 การศึกษานำร่องกับอาสาสมัคร

- 5) ดำเนินการติดต่อทำหนังสือจากคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา เพื่อทำหนังสือขอความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่าง และทำหนังสือขอยืมอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 6) เปิดรับอาสาสมัครเพื่อเข้าร่วมการวิจัยผ่านช่องทางที่ระบุไว้ในหัวข้อวิธีการได้มาและการเข้าถึงผู้เข้าร่วมวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 วิธีการได้มาและการเข้าถึงกลุ่มผู้อาสาสมัครเพื่อเข้าร่วมการวิจัย

ผู้วิจัยทำการประชาสัมพันธ์การเปิดรับสมัครผู้ร่วมวิจัยผ่านช่องทางสื่อสังคมออนไลน์ ได้แก่ Facebook กลุ่ม 42.195 K Club...เราจะไปมาราธอนด้วยกัน เพื่อค้นหานักวิ่งมาราธอนที่มีความสนใจในการเข้าร่วมการวิจัย จากนั้นจึงทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์ในการคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมในการวิจัย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- 1) ผู้วิจัยเชิญอาสาสมัครที่มีความสนใจเข้าร่วมกลุ่มสนทนาผ่านทางแอปพลิเคชัน LINE เพื่อให้ผู้วิจัยอธิบายข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยโดยละเอียด ได้แก่ เกณฑ์ในการคัดเข้าร่วมการวิจัย รูปแบบการทดลอง สถานที่ในการดำเนินการวิจัย และประโยชน์ที่จะได้รับ เป็นต้น

- 2) อาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์ในการคัดเข้าเบื้องต้น (ไม่นับรวมหัวข้อ VO₂max) จะได้รับการนัดหมายให้มาเข้าร่วมการทดสอบเพื่อหาค่า VO₂max ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส โดยใช้การทดสอบแบบไล่ระดับตามแนวทางของแรมป์ (Sperlich et al., 2015) ผ่านการตั้งค่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบบอัตโนมัติชื่อ MetaSoft Studio Properties ณ ห้องปฏิบัติการ 2102 อาคารจุฬาพัฒน์ 8 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัย

- 3) ก่อนทำการทดสอบเป็นเวลา 3 วัน ผู้วิจัยได้ขอความร่วมมือให้อาสาสมัครทุกคนรับประทานอาหารในรูปแบบและปริมาณเท่าเดิมเหมือนกับที่เคยรับประทานมา และมีกิจกรรมทางกายในระดับเดิมและงดเว้นการซ้อมวิ่งที่มีความเข้มข้นสูง เช่น การซ้อมวิ่งแบบความเข้มข้นหนักสลับเบา (Interval training) หรือการซ้อมวิ่งแบบเก็บเต็มประสิทธิภาพของร่างกาย (Tempo training) เป็นต้น อีกทั้ง ผู้วิจัยได้ขอความร่วมมือให้อาสาสมัครทำการจดบันทึกพฤติกรรมการรับประทาน อาหารและกิจกรรมทางกายของตน โดยจะได้รับคำแนะนำในการจดบันทึกจากนักกำหนดอาหาร ผู้ช่วยวิจัยผ่านทางแอปพลิเคชัน LINE โดยใช้แบบบันทึกการรับประทานอาหาร (ภาคผนวก ข) พร้อมแบบรูปอาหารที่รับประทานทั้งวัน และแบบบันทึกกิจกรรมทางกาย (ภาคผนวก ฉ) โดยข้อมูลการรับประทานอาหารจะถูกนำมาประเมินร่วมกับกิจกรรมทางกายเพื่อให้มั่นใจว่า ผลลัพธ์จากการ

ทดสอบ $VO_2\max$ ในครั้งนี้สามารถสะท้อนสมรรถภาพความทนทานที่แท้จริงของอาสาสมัครแต่ละคนได้อย่างถูกต้อง ทั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการนัดหมายอาสาสมัครตามลำดับในการสมัคร และจะปิดรับอาสาสมัครทันทีที่ได้ผู้เข้าร่วมวิจัยครบ 9 คน ตามการคำนวณขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมรวมกับการป้องกันตัวอย่างสูญหายอีกร้อยละ 20

4) เมื่ออาสาสมัครมาถึงห้องปฏิบัติการตามการนัดหมาย ผู้วิจัยจะขอให้อาสาสมัครทำการคัดกรองปัญหาด้านสุขภาพและความพร้อมในการมีกิจกรรมทางกายผ่านแบบประเมิน PAR-Q+ จากนั้นผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลองค์ประกอบร่างกาย ได้แก่ น้ำหนักและส่วนสูง และเตรียมความพร้อมสำหรับการทดสอบหาค่า $VO_2\max$

5) อาสาสมัครทำการสวมเครื่องวิเคราะห์ไหลมหายใจแบบอัตโนมัติและสายคาดอกที่ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ และขึ้นประจำตำแหน่งบนลูกลูกเพื่อฟังคำอธิบายเกี่ยวกับขั้นตอนและวิธีการทดสอบ รวมถึงคำแนะนำการปฏิบัติตัวในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดสอบต่อไปได้ และผู้วิจัยได้ใช้โอกาสนี้ในการอาสาสมัครทำความคุ้นเคย (Familiarization) กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

6) อาสาสมัครเข้ารับการทดสอบโดยใช้วิธีการตั้งค่าแบบอัตโนมัติและมีการปรับเพิ่มความเข้มข้นของการทดสอบตามหลักการการทดสอบแบบไล่ระดับตามแนวทางของแรมป์ (Sperlich et al., 2015) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ MetaSoft Studio Properties โดยมีการตั้งค่า ดังต่อไปนี้

- หาค่าพื้นฐานของร่างกาย โดยอาสาสมัครจะต้องทำการยืนนิ่งเป็นเวลา 2 นาที
- อบอุ่นร่างกายด้วยการเดินที่ความเร็ว 4.00 กิโลเมตร/ชั่วโมง เป็นเวลา 2 นาที
- เริ่มการทดสอบด้วยความเร็ว 4.59 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- เพิ่มความเร็ว 0.65 กิโลเมตร/ชั่วโมง และความชันร้อยละ 0.4 ทุก 1 นาที
- เมื่ออาสาสมัครเหนื่อยหมดแรง ผู้วิจัยจะทำการสิ้นสุดการทดสอบ และขอให้อาสาสมัครคลายอบอุ่นร่างกายด้วยการเดินที่ความเร็ว 4.50 กิโลเมตร/ชั่วโมง จนกว่าอาสาสมัครจะขอยุติ

ทั้งนี้ การสิ้นสุดการทดสอบสามารถประเมินได้จากค่าทางสรีรวิทยา หรืออาการแสดงดังต่อไปนี้

- มีอัตราการเต้นของหัวใจเทียบเท่ากับร้อยละ 100 ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด โดยคำนวณจากสูตร $220 - \text{อายุ}$ หรือ

- อัตราส่วนระหว่างปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นต่อปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ถูกใช้ไป (Respiratory exchange ratio; RER) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.15 (Beltz et al., 2016) หรือ
- ระดับความรู้รู้ต่อความเหนื่อยล้าของผู้ร่วมวิจัยมากกว่าหรือเท่ากับ 17 ในมาตราวัดของบอร์ก (Borg's scale) (Beltz et al., 2016) หรือ
- อาสาสมัครเหนื่อยล้าหมดแรง จนไม่สามารถทำการทดสอบต่อไปได้
- มีอาการไม่สบายในทรวงอก เช่น แน่น อึดอัด เจ็บ หรือ
- มีอาการวิงเวียนศีรษะ สับสน คลื่นไส้ อาเจียน อุณหภูมิผิวหนังเย็น หรือ
- อัตราการเต้นของหัวใจผิดปกติ เช่น อัตราการเต้นของหัวใจไม่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของการทดสอบ

7) บันทึกค่า $VO_2\max$ และความเร็ว ณ จุด VT_1 ลงในแบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ (ภาคผนวก ฉ)

8) พิจารณาคัดเลือกอาสาสมัครที่มีค่า $VO_2\max$ ผ่านเกณฑ์การคัดเลือก จากนั้นทำการแจ้งผลการพิจารณา โดยอาสาสมัครที่ผ่านเกณฑ์จะได้รับการอธิบายข้อมูลในเอกสารสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และภายหลังจากที่อาสาสมัครลงนามแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยจะทำการนัดหมายให้มาเข้าร่วมการทดสอบตามขั้นตอนเป็นการต่อไป ทั้งนี้ อาสาสมัครทุกคนทั้งผู้ที่ผ่านและไม่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจะได้รับผลการทดสอบ $VO_2\max$ เป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงการแปลผลและคำแนะนำในการพัฒนาการฝึกซ้อมเป็นการตอบแทน

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมเครื่องตี้มในการวิจัย

นักกำหนดอาหารที่เป็นผู้ช่วยวิจัยจะเป็นผู้เตรียมเครื่องตี้มที่ใช้ในการทดลอง โดยมีรายละเอียดขั้นตอนในการเตรียมเครื่องตี้ม ดังนี้

การเตรียมเครื่องตี้มมอลโทเดกซ์ทริน

นักกำหนดอาหารต้องเตรียมผงมอลโทเดกซ์ทรินปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวผสมในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ช่วยลดรสชาติหวานลง (Lipscomb et al., 2016) และปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร จากนั้นจึงนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเพื่อลดปัญหา

การไม่ละลายของผงมอลโทเดกซ์ทริน และสุดท้ายจึงทำการบรรจุใส่บรรจุภัณฑ์ เพื่อเตรียมให้ผู้ร่วมวิจัยดื่มก่อนการทดสอบ

การเตรียมเครื่องดื่ม HBCD

นักกำหนดอาหารต้องเตรียมผง HBCD (ยี่ห้อ CLUSTER DEXTRIN™ โดยได้รับการสนับสนุนตัวอย่างจากบริษัท ดีเคเอสเอช (ประเทศไทย) จำกัด) ปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว ผสมในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปรับปริมาตรให้ได้ 500 มิลลิลิตร และนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเพื่อลดปัญหาการไม่ละลายของ HBCD และสุดท้ายจึงทำการบรรจุใส่บรรจุภัณฑ์ เพื่อเตรียมให้ผู้ร่วมวิจัยดื่มก่อนการทดสอบ

การกลบรสชาติของเครื่องดื่ม

เนื่องจากเครื่องดื่มมอลโทเดกซ์ทรินและเครื่องดื่ม HBCD มีรสชาติที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องมีการกลบรสชาติ (Flavor masking) เพื่อให้รสชาติของเครื่องดื่มทั้ง 2 ชนิดเหมือนกัน และเป็นการลดอคติที่อาจส่งผลต่อผลการทดลองได้ ซึ่งผู้วิจัยจะใช้สารสตีวียอลไกลโคไซด์ (Steviol glycosides) หรือหญ้าหวานเพื่อทำให้เครื่องดื่มทั้งสองชนิดมีรสหวานใกล้เคียงกัน ตามวิธีการ ดังนี้

1. การกำหนดความหวานมาตรฐานของเครื่องดื่ม

เนื่องจากเครื่องดื่มมอลโทเดกซ์ทรินและเครื่องดื่ม HBCD นั้นมีความหวานไม่เท่ากัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการกำหนดค่าความหวานมาตรฐานขึ้นมา เพื่อใช้เป็นเป้าหมายในการปรับความหวานให้เครื่องดื่มทั้งสองชนิดเท่ากัน โดยค่าความหวานมาตรฐานนี้กำหนดให้มีค่าเทียบเท่ากับความหวานของสารละลายกลูโคสที่มีปริมาณการใช้เท่ากับ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม และกำหนดให้ผู้เข้าร่วมวิจัยตัวอย่างมีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ความหวานมาตรฐาน} &= \text{ความหวานของกลูโคส} \times \text{ปริมาณ} \times \text{น้ำหนักตัว} \\ &= 0.7 \times 1.5 \times 60 \\ &= 63 \end{aligned}$$

2. การปรับรสชาติของสารละลายมอลโทเดกซ์ทริน

มอลโทเดกซ์ทรินนั้นมีความหวานเล็กน้อยประมาณ 0.1 เท่าของน้ำตาลทราย ดังนั้นจะต้องมีการใช้สารให้ความหวานเพื่อปรับรสชาติให้ตรงกับความหวานมาตรฐานที่กำหนดไว้ ในที่นี้ผู้วิจัยเลือกใช้สตีวียอลไกลโคไซด์ เนื่องจากเป็นสารให้ความหวานที่มีรสชาติใกล้เคียงกับความหวาน

ของน้ำตาลกลูโคส และไม่ให้พลังงาน สำหรับวิธีการคำนวณปริมาณการใช้สตีวอลไกลโคไซด์เป็นไปตามสมการ ดังนี้

ความหวานของหญ้าหวาน = ความหวานมาตรฐาน - ความหวานของเครื่องดื่มมอลโทเดกซ์ทริน

ปริมาณการใช้ × ความหวาน = ความหวานมาตรฐาน - ความหวานของเครื่องดื่มมอลโทเดกซ์ทริน

$$\text{ปริมาณการใช้} \times 300 = 63 - (0.1 \times 1.5 \times 60)$$

$$\text{ปริมาณการใช้} = 0.18 \text{ กรัม}$$

$$= 180 \text{ มิลลิกรัม}$$

3. การปรับรสชาติของเครื่องดื่ม HBCD

HBCD นั้นมีโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน จึงทำให้ไม่มีรสหวาน ดังนั้น ความหวานของเครื่องดื่ม HBCD จะมาจากสตีวอลไกลโคไซด์เพียงอย่างเดียว ซึ่งวิธีการคำนวณปริมาณการใช้สตีวอลไกลโคไซด์เป็นไปตามสมการ ดังนี้

ระดับความหวานของหญ้าหวาน = ความหวานมาตรฐาน

$$\text{ปริมาณการใช้} \times 300 = 63$$

$$\text{ปริมาณการใช้} = 0.21 \text{ กรัม}$$

$$= 210 \text{ มิลลิกรัม}$$

การอำพรางเครื่องดื่ม

นักกำหนดอาหารจะเป็นผู้กำหนดรหัสเครื่องดื่มและติดรหัสไว้ข้างบรรจุภัณฑ์แต่ละขวด จากนั้นจึงมอบให้ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยนำไปใช้ในการทดสอบและเก็บข้อมูล ทั้งนี้ เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ผู้เข้าร่วมทราบว่าลำดับการทดสอบของตนเองเป็นอย่างไร

ขั้นตอนที่ 4 การดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลการทดลองทั้งหมดจะถูกรวบรวมโดยผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย รวมทั้งสิ้น 3 คน ดังนี้

ผู้วิจัย ทำหน้าที่สุ่มการทดสอบ จัดเตรียมอุปกรณ์และสถานที่สำหรับการทดสอบ ดำเนินการ

ทดลอง และบันทึกผล

ผู้ช่วยวิจัยคนที่ 1 นักกำหนดอาหาร คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำหน้าที่ติดตามบันทึกการรับประทานอาหารและกิจกรรมทางกาย ให้คำแนะนำทางด้านโภชนาการกับผู้ร่วมวิจัยตลอดการวิจัย เตรียมเครื่องดื่มสำหรับทดสอบ

ผู้ช่วยวิจัยคนที่ 2 นักเทคนิคการแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำหน้าที่ เก็บตัวอย่างเลือดและน้ำลายจากผู้เข้าร่วมวิจัย วิเคราะห์ผลตัวอย่าง รวมถึงช่วยผู้วิจัยจัดเตรียมอุปกรณ์และสถานที่สำหรับทำการทดสอบ

2) ผู้วิจัยร้องขอให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการเตรียมตัวก่อนการทดลองล่วงหน้าเป็นเวลา 3 วัน โดยการจดบันทึกการรับประทานอาหาร อันประกอบด้วย เวลาที่รับประทาน ชื่ออาหารที่รับประทาน ปริมาณ พร้อมทั้งถ่ายภาพอาหารที่รับประทานทั้งหมด และจดบันทึกกิจกรรมทางกาย อันประกอบด้วย ระยะเวลาการทำงาน ระยะเวลาการออกกำลังกาย และระยะเวลาการนอน ทั้งนี้ เพื่อให้มั่นใจว่า ผลของการทดลองเป็นผลมาจากการรับประทานไฮลีสบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทรินจริง ไม่ได้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการรับประทานอาหาร เช่น การรับประทานอาหารคีโตเจนิค (Ketogenic diet) การอดอาหารแบบจำกัดเวลา (Intermittent fasting) หรือการทำคาร์โบไฮเดรตโหลดดิ่ง (Carbohydrate loading) อีกทั้ง ผู้ร่วมวิจัยจะถูกขอร้องให้ปฏิบัติตัวโดยมีพฤติกรรมรับประทานอาหารและกิจกรรมทางกายใกล้เคียงกันในวันก่อนการทดลองทั้งสองครั้ง

นอกจากนี้ ผู้ร่วมวิจัยจะถูกขอให้อดอาหารอย่างน้อย 8 ชั่วโมงก่อนการทดลอง เพื่อป้องกันการรบกวนระดับน้ำตาลในเลือดจากอาหารที่รับประทานไปก่อนหน้านี้ ("Diagnosis and classification of diabetes mellitus," 2010) โดยผู้ร่วมวิจัยยังสามารถดื่มน้ำเปล่าได้ตามปกติ และในมือสุดท้ายก่อนการทดสอบ ผู้ร่วมวิจัยจะถูกแนะนำให้รับประทานคาร์โบไฮเดรตในปริมาณ 1 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว โดยไม่มีการกำหนดชนิดและประเภทของคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากค่าดัชนีน้ำตาลนั้นไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพในการวิ่งในกรณีที่ไม่ได้รับประทานขณะออกกำลังกาย

3) ผู้วิจัยดำเนินการทดลองแบบไขว้ โดยผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนจะต้องเข้ารับการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง ได้แก่ HBCD และ MDX โดยมีรายละเอียดดังนี้

HBCD เครื่องดื่ม HBCD ซึ่งประกอบไปด้วย HBCD ปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (g/kg) ละลายในน้ำเปล่าจนได้ปริมาตรรวมเป็น 500 มล. และเติมสตีวีโอลไกลโคไซด์ ก่อนเริ่มการทดสอบ 30 นาที เนื่องจากต้องการให้ HBCD เข้าสู่กระบวนการย่อยภายในลำไส้ในขณะที่ออก

กำลังภายใน โดยพบว่า สารละลาย HBCD ความเข้มข้น 10% มีระยะเวลาในการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารเฉลี่ยอยู่ที่ 26.7 นาที (Takii et al., 2005)

MDX ต้มเครื่องต้มมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งประกอบไปด้วยมอลโทเดกซ์ทริน ปริมาณ 1.5 กรัม ต่อกลีโกรัมน้ำหนักตัว (g/kg) ละลายในน้ำเปล่าจนได้ปริมาตรรวมเป็น 500 มล. และเติมสตีวีโอลไกลโคไซด์ ก่อนเริ่มการทดสอบ 30 นาที

ซึ่งผู้วิจัยจะกำหนดลำดับการทดลองด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนั้นผู้ร่วมวิจัยแต่ละคนจะไม่ทราบว่าลำดับการทดลองมีลำดับเป็นอย่างไร และผู้ร่วมวิจัยจะได้รับการทดลองเพียงหนึ่งรูปแบบการทดลองต่อหนึ่งครั้งที่มาเข้าร่วมเท่านั้น โดยมีระยะเวลาพักระหว่างการทดลอง (Washout period) เป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน เพื่อให้กล้ามเนื้อฟื้นฟูได้อย่างเต็มที่ก่อนที่จะเข้าร่วมการทดลองครั้งถัดไป นอกจากนี้ ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการแจ้งเตือนจากผู้วิจัยถึงแนวทางในการปฏิบัติตัวก่อนการทดลองตามรายละเอียดในข้อ 2) ซ้ำอีกครั้ง

4) การทดสอบจะถูกแบ่งเป็น 2 รอบในช่วงเวลา 07.00 – 09.00 น. และ 09.00 – 11.00 น. โดยผู้เข้าร่วมแต่ละคนจะได้รับการนัดหมายให้เข้าร่วมการทดลองในช่วงเวลาเดียวกันทั้งสองครั้ง เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนจากผลของนาฬิกาชีวภาพ (Circadian rhythm) (Huang et al., 2020; Stenvers et al., 2019) และเพื่อความสะดวกในการอดอาหารของผู้ร่วมวิจัย

5) เริ่มการทดลองโดยมีลำดับขั้นตอนโดยละเอียดเป็นดังต่อไปนี้

1. เมื่อผู้ร่วมวิจัยมาถึงห้องปฏิบัติการทดสอบ ผู้วิจัยทำการสอบถามผู้เข้าร่วมวิจัยว่าได้มีการปฏิบัติตัวตามที่ตกลงกันไว้หรือไม่ และขอให้ผู้ร่วมวิจัยนั่งพักเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ร่างกายได้อยู่ในสภาวะพัก โดยในระหว่างนี้ผู้วิจัยจะทำการทบทวนขั้นตอนการทดสอบ โดยการทดสอบทั้งหมดจะใช้เวลาไม่เกิน 90 นาที
2. เมื่อครบกำหนดเวลา ผู้ร่วมวิจัยจะถูกเก็บตัวอย่างเลือดและน้ำลายสำหรับตรวจวัดค่าตัวแปรเป็นครั้งที่ 1 เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงขณะพัก (REST) โดยตัวแปรทั้งหมดที่จะทำการตรวจวัดมีดังต่อไปนี้

2.1 ระดับน้ำตาลในเลือด (Blood glucose level) ถูกเก็บตัวอย่างโดยนักเทคนิคการแพทย์ผู้ช่วยวิจัยด้วยวิธีการทดสอบ ณ จุดดูแล (Point-of-care testing) โดยการเจาะเลือดที่บริเวณปลายนิ้วโดยใช้เข็มเจาะเลือดแบบใช้ครั้งเดียว จากนั้นนำเลือดไปหยดลงในเครื่องวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือดเพื่อตรวจวิเคราะห์

2.2 ระดับแลคเตทในเลือด (Blood lactate level) ถูกเก็บตัวอย่างโดยนักเทคนิคการแพทย์ผู้ช่วยวิจัยด้วยวิธีการทดสอบ ณ จุดดูแล เช่นเดียวกัน โดยภายหลังจากการวัดระดับน้ำตาลในเลือด จะนำเลือดไปหยดลงในเครื่องวิเคราะห์ระดับแลคเตทในเลือดเพื่อตรวจวิเคราะห์

2.3 ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด (Blood free fatty acid level) ถูกเก็บตัวอย่างโดยนักเทคนิคการแพทย์ผู้ช่วยวิจัยด้วยวิธีเจาะหลอดเลือดดำ (Venipuncture) บริเวณข้อพับแขน โดยใช้เลือดปริมาตร 4 มิลลิลิตร หรือประมาณ 1 ซ้อนชา จากนั้นนำเลือดไปวิเคราะห์ด้วยชุดตรวจปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid quantitation kit) และนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบความทึบแสง (Spectrophotometry) ด้วยเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ (Spectrometer) เพื่อวิเคราะห์เป็นระดับกรดไขมันอิสระในเลือด (Seepika et al., 2022)

2.4 ระดับอินซูลินในเลือด (Blood insulin level) ถูกเก็บตัวอย่างโดยนักเทคนิคการแพทย์ผู้ช่วยวิจัยด้วยวิธีเจาะหลอดเลือดดำบริเวณข้อพับแขนเช่นเดียวกัน โดยแบ่งเลือดปริมาตร 4 มิลลิลิตร หรือประมาณ 1 ซ้อนชา จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีทดสอบ Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) เพื่อวิเคราะห์เป็นระดับอินซูลินในเลือด

2.5 ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย (Salivary cortisol level) ถูกเก็บตัวอย่างโดยนักเทคนิคการแพทย์ผู้ช่วยวิจัยด้วยหลอดเก็บตัวอย่าง Salivette® ซึ่งภายในจะมีสำลีสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำลาย โดยจะขอให้ผู้ร่วมวิจัยอมสำลีไว้ในปากอย่างน้อยเป็นเวลา 90 วินาที จากนั้นจึงคายสำลีใส่หลอดเก็บตัวอย่าง และนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีทดสอบ Electrochemiluminescence immunoassay (ECLIA) เพื่อวิเคราะห์เป็นระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย

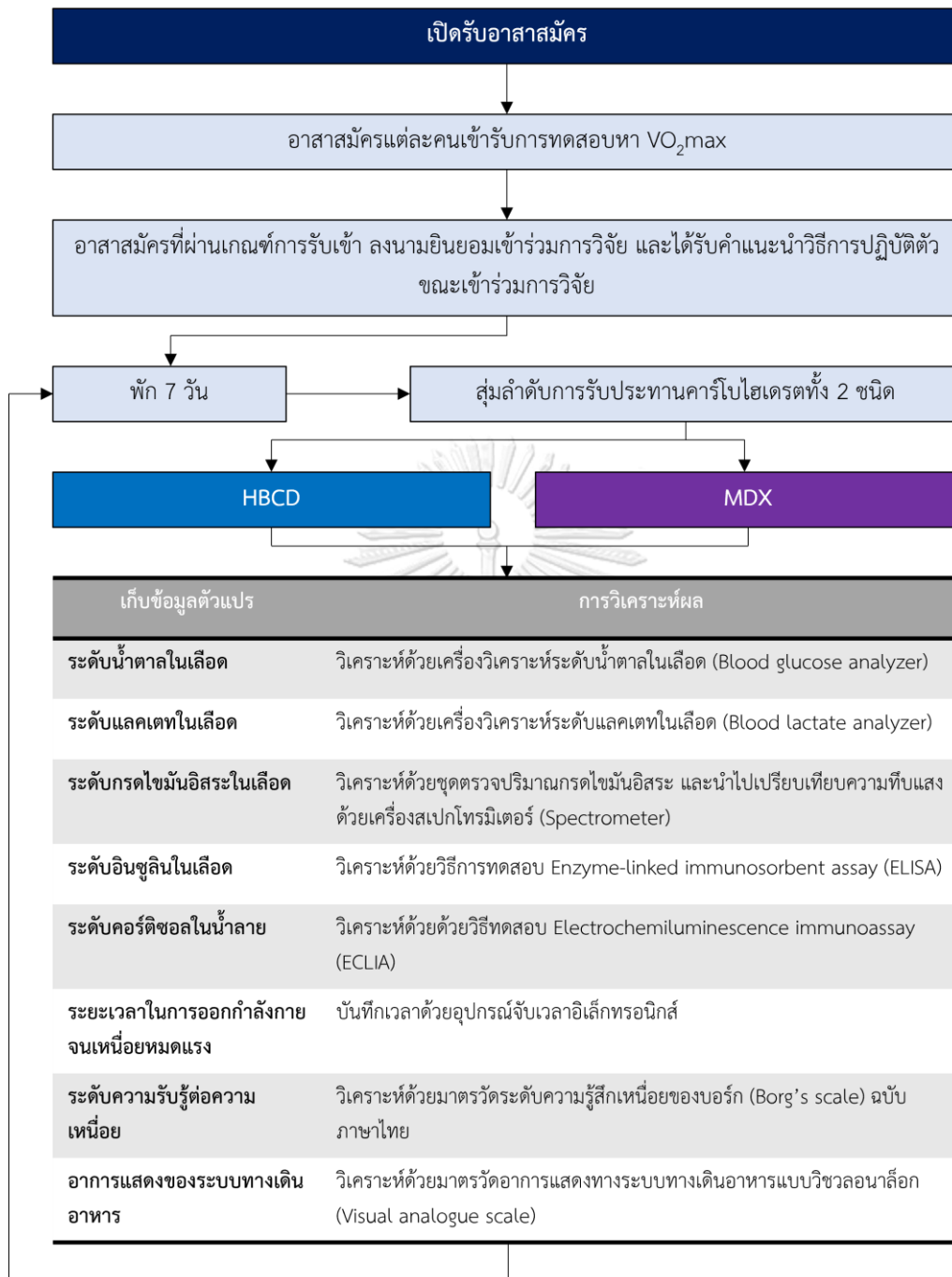
2.6 ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า (Rate of perceived exertion) ถูกวัดโดยผู้วิจัยด้วยการใช้มาตรวัดระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าของบอร์ก (Borg's scale) ฉบับภาษาไทย โดยมีคะแนนตั้งแต่ 6 – 20 ซึ่งผู้วิจัยจะทำการอธิบายให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทราบว่า คะแนนแต่ละคะแนนสื่อถึงความเหนื่อยล้าระดับใด

- 2.7 อาการแสดงของระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal symptoms) ถูกวัดโดยผู้วิจัยด้วยการใช้มาตรวัดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารแบบวิซวลอนาล็อก (Visual analogue scale) ซึ่งเป็นแถบที่มีความยาว 10 เซนติเมตร และไม่มีระดับระบุไว้เพื่อป้องกันการชี้หน้า
3. ผู้ร่วมวิจัยดื่มเครื่องดื่มที่ถูกกำหนดไว้ผ่านการสุ่ม โดยต้องดื่มให้หมดภายใน 5 นาที จากนั้นนั่งพักเป็นเวลา 30 นาที
 4. เมื่อนั่งพักจนครบ 30 นาที ผู้ร่วมวิจัยจะถูกเก็บตัวอย่างเลือดและน้ำลายสำหรับตรวจวัดค่าตัวแปรเป็นครั้งที่ 2 เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 (PRE- VT1) โดยตัวแปรที่ถูกตรวจวัดประกอบด้วย ระดับน้ำตาลในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด ระดับอินซูลินในเลือด ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า และอาการแสดงของระบบทางเดินอาหาร ด้วยวิธีการเดียวกับการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1
 5. ผู้วิจัยขอให้ผู้ร่วมวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายด้วยการวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และความชันร้อยละ 1 เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา ผู้วิจัยจะปรับเพิ่มความเร็วของลู่วิ่งให้เท่ากับความเร็วที่ VT₁ จากนั้น ผู้วิจัยจะเริ่มจับเวลาการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 โดยผู้ร่วมวิจัยจะต้องวิ่งที่ความเร็วคงที่นี้เป็นเวลา 30 นาที
 6. เมื่อวิ่งจนครบ 30 นาที ผู้ร่วมวิจัยจะถูกเก็บตัวอย่างเลือดและน้ำลายสำหรับวัดค่าตัวแปรเป็นครั้งที่ 3 โดยเป็นการตรวจวัดระดับสารชีวโมเลกุลในเลือดหลังจากการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 (POST- VT1) ประกอบด้วย ระดับน้ำตาลในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า และอาการแสดงของระบบทางเดินอาหาร ด้วยวิธีการเดียวกับการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1
 7. ผู้ร่วมวิจัยจะต้องกลับไปวิ่งด้วยความเร็วที่ VT₁ อีกครั้งเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้น ผู้ร่วมวิจัยจะเข้าสู่การทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไล่ระดับตามแนวทางของแรมป์ (Sperlich et al., 2015) โดยผู้ร่วมวิจัยจะเริ่มต้นการวิ่งที่ความเร็วที่ VT₁ หลังจากนั้น ความเร็วของลู่วิ่งจะถูกปรับเพิ่มขึ้น 0.50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทุก 30 วินาที และจะสิ้นสุดการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยเหนื่อย

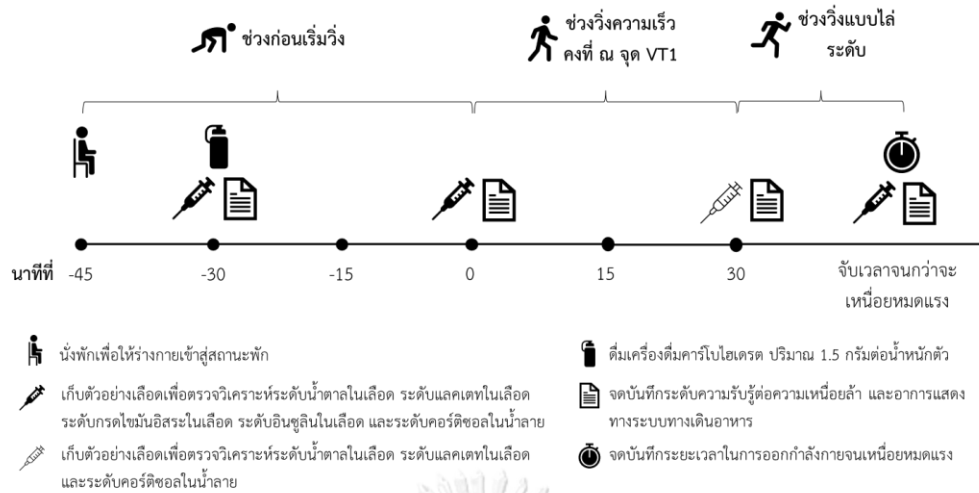
หมดแรงจนไม่สามารถวิ่งต่อไปได้ และในระหว่างการทดสอบวิ่งครั้งนี้ ผู้วิจัยจะให้สัญญาณเสียงแจ้งเตือนการปรับเพิ่มความเร็วล่วงหน้าเป็นเวลา 10 วินาที

8. หลังจากสิ้นสุดการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ผู้วิจัยจะทำการบันทึกระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงของผู้ร่วมวิจัย จากนั้น ผู้ร่วมวิจัยจะถูกเก็บตัวอย่างเลือดและน้ำลายสำหรับวัดค่าตัวแปรเป็นครั้งที่ 4 (POST-VT2) ประกอบด้วย ระดับน้ำตาลในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด ระดับอินซูลินในเลือด ระดับคอรีติซอลในน้ำลาย ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า และอาการแสดงของระบบทางเดินอาหาร ด้วยวิธีการเดียวกับการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1

9. ผู้ร่วมวิจัยทำการคลายอุ่นและยืดเหยียดร่างกาย เป็นอันสิ้นสุดการทดลอง การเก็บตัวอย่างเลือดและน้ำลายถูกกระทำโดยนักเทคนิคการแพทย์ผู้ช่วยวิจัย จากคณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และผู้ร่วมวิจัยจะถูกเก็บตัวอย่าง ณ สถานที่ที่ผู้วิจัยจัดเตรียมขึ้นใกล้กับจุดทดสอบ โดยใช้เวลาแต่ละครั้งประมาณ 2 นาที โดยสามารถสรุปกระบวนการทั้งหมดของการวิจัยและขั้นตอนการทดลองทั้งหมดได้ดังรูปที่ 15 และ 16 ตามลำดับ



รูปที่ 15 แผนผังมโนทัศน์วิธีการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 16 ขั้นตอนการทดลอง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยและคณะผู้ช่วยวิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

- 1) เก็บข้อมูลอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกายและความเร็วที่ VT_1 ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สและลู่กลตามวิธีการทดสอบแบบไล่ระดับของแรมป์ ณ ห้องปฏิบัติการ 2102 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบ พร้อมทั้งสำรองข้อมูลเก็บไว้ในรูปแบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์
- 2) เก็บข้อมูลน้ำหนัก ส่วนสูง และดัชนีมวลกาย ด้วยเครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย ณ ห้องปฏิบัติการ 2102 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบ พร้อมทั้งสำรองข้อมูลเก็บไว้ในรูปแบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์
- 3) เก็บข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือดด้วยวิธีการทดสอบ ณ จุดดูแล โดยเป็นการเจาะเลือดที่บริเวณปลายนิ้วโดยใช้เข็มเจาะเลือดแบบใช้ครั้งเดียว จากนั้นนำเลือดไปหยดลงในเครื่องวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือด ณ ห้องปฏิบัติการ 2102 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบ พร้อมทั้งสำรองข้อมูลเก็บไว้ในรูปแบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์

- 4) เก็บข้อมูลระดับแลคเตทในเลือดด้วยวิธีการทดสอบ ณ จุดดูแล เช่นเดียวกัน โดยภายหลังจากการวัดระดับน้ำตาลในเลือด จะนำเลือดไปหยดลงในเครื่องวิเคราะห์ระดับแลคเตทในเลือดเพื่อตรวจวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ 2102 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบ พร้อมทั้งสำรองข้อมูลเก็บไว้ในรูปแบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์
- 5) เก็บข้อมูลระดับกรดไขมันอิสระในเลือดด้วยวิธีเจาะหลอดเลือดดำ (Venipuncture) บริเวณข้อพับแขน โดยใช้เลือดปริมาตร 4 มิลลิลิตร หรือประมาณ 1 ซ้อนชา จากนั้นนำเลือดไปวิเคราะห์ด้วยชุดตรวจปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid quantitation kit) และนำไปตรวจวิเคราะห์ต่อด้วยวิธีการเปรียบเทียบความทึบแสง (Spectrophotometry) ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ณ หน่วยปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบอิเล็กทรอนิกส์
- 6) เก็บข้อมูลระดับอินซูลินในเลือดด้วยวิธีเจาะหลอดเลือดดำบริเวณข้อพับแขนเช่นเดียวกัน โดยแบ่งเลือดปริมาตร 4 มิลลิลิตร หรือประมาณ 1 ซ้อนชา จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีทดสอบ Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) ณ หน่วยปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบอิเล็กทรอนิกส์
- 7) เก็บข้อมูลระดับคอร์ติซอลในน้ำลายด้วยหลอดเก็บตัวอย่าง Salivette® ซึ่งภายในจะมีสำลีสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำลาย โดยจะขอให้ผู้ร่วมวิจัยอมสำลีไว้ในปากอย่างน้อยเป็นเวลา 90 วินาที จากนั้นจึงคายสำลีใส่หลอดเก็บตัวอย่าง และนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี Electrochemiluminescence immunoassay (ECLIA) ณ ศูนย์ปฏิบัติการทางการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย และทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบอิเล็กทรอนิกส์
- 8) เก็บข้อมูลระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงด้วยการบันทึกเวลา ณ เวลาสุดท้ายที่ผู้ร่วมวิจัยไม่สามารถวิ่งต่อได้ในการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 โดยใช้นาฬิกาดิจิตอล และทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบ พร้อมทั้งสำรองข้อมูลเก็บไว้ในรูปแบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์

- 9) เก็บข้อมูลระดับความรู้ต่อความเหนื่อยด้วยการใช้มาตรวัดระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าของบอร์ก ฉบับภาษาไทย ณ ห้องปฏิบัติการ 2102 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบ พร้อมทั้งสำรองข้อมูลเก็บไว้ในรูปแบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์
- 10) เก็บข้อมูลอาการแสดงของระบบทางเดินอาหารด้วยการใช้มาตรวัดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารแบบวิซวลอนาล็อก (Visual analogue scale) ณ ห้องปฏิบัติการ 2102 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการบันทึกผลลงในแบบบันทึกผลการทดสอบ พร้อมทั้งสำรองข้อมูลเก็บไว้ในรูปแบบเอกสารอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือสำหรับการคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย

- 1) เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzer) ยี่ห้อ Cortex รุ่น METAMAX® 3B
- 2) เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อ Polar รุ่น H10
- 3) ลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อ h/p/cosmos รุ่น pluto® med
- 4) แบบประเมินความพร้อมในการมีกิจกรรมทางกาย (Physical activity readiness questionnaire; PAR-Q+2019)
- 5) แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย (ออนไลน์ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์)

เครื่องมือสำหรับเตรียมเครื่องดื่ม

- 1) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล (Digital weighing scale) ความละเอียด 0.1 กรัม ยี่ห้อ SHAPER รุ่น CFK-220
- 2) เครื่องปั่นผสมอาหาร (Blenderizer) ยี่ห้อ SHARP รุ่น EM-SMA RT4
- 3) ตู้เย็น (Refrigerator)
- 4) บรรจุภัณฑ์สำหรับเก็บเครื่องดื่ม (Container)

เครื่องมือสำหรับการเก็บและวิเคราะห์ตัวแปร

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop)
- 2) เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography; HPLC) ยี่ห้อ Alltech รุ่น ELSD 2000ES

- 3) เครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer) ยี่ห้อ Jawon Medical รุ่น ioi 353
- 4) เครื่องวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือด (Blood glucose analyzer) ยี่ห้อ Accu-Chek รุ่น Perfoma
- 5) เครื่องวิเคราะห์ระดับแลคเตทในเลือด (Blood lactate analyzer) ยี่ห้อ EKF Diagnostics รุ่น Lactate scout+
- 6) เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ยี่ห้อ Perkinelmer รุ่น PERKIN ELMER Spectrum GX
- 7) ชุดตรวจปริมาณไขมันอิสระ (Free fatty acid quantitation kit) ยี่ห้อ MAK004 รุ่น Sigma-Aldrich
- 8) เครื่องตรวจวิเคราะห์ทางวิทยาภูมิคุ้มกัน (Immunoassay analyzer) ยี่ห้อ Roche รุ่น cobas e 411
- 9) ลู่วิ่ง (Treadmill) ยี่ห้อ h/p/cosmos รุ่น pluto® med
- 10) นาฬิกาดิจิตอล (Digital clock)
- 11) มาตรฐานวัดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารแบบวิซวลอนาล็อก (Visual analogue scale)
- 12) มาตรฐานวัดระดับความรู้ความเหนื่อยล้าของบอร์ก ฉบับภาษาไทย (Borg's scale) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 13) แบบบันทึกการรับประทานอาหาร (Food record)
- 14) แบบบันทึกการทำกิจกรรมทางกาย (Physical activity record)

ตารางที่ 3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ตัวแปร	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	การบันทึกผล
อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด และความเร็ว ณ จุด VT ₁	เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas analyzer) เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ลู่วิ่ง (Treadmill) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop)	
น้ำหนัก ส่วนสูง และ ดัชนีมวลกาย	เครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย (Body composition analyzer)	
ระดับน้ำตาลในเลือด	เครื่องวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือด (Blood glucose analyzer)	
ระดับแลคเตทในเลือด	เครื่องวิเคราะห์ระดับแลคเตทในเลือด (Blood lactate analyzer)	
ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด	เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) ชุดตรวจปริมาณไขมันอิสระ (Free fatty acid quantitation kit)	บันทึกผลลงในแบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ
ระดับอินซูลินในเลือด	เครื่องตรวจวิเคราะห์ทางวิทยามิคุ้มกัน (Immunoassay analyzer)	
ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย	เครื่องตรวจวิเคราะห์ทางวิทยามิคุ้มกัน (Immunoassay analyzer)	
ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง	นาฬิกาดิจิตอล (Digital clock)	
ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า	มาตรวัดระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าของบอร์ก (Borg's scale)	
อาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร	มาตรวัดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารแบบวิซวลอนาล็อก (Visual analogue scale)	

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0 โดยมีระดับนัยสำคัญทางสถิติอยู่ที่ $p < .05$ และนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของตารางและแผนภูมิประกอบความเรียง จำนวนทั้งหมด 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลด้านสรีรวิทยาของกลุ่มตัวอย่างด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตอนที่ 2 วิเคราะห์ตัวแปรด้านสมรรถภาพในการออกกำลังกายแบบทนทาน ได้แก่ ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง โดยเริ่มจากการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติจะทำการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบทีแบบจับคู่ (Paired t-test) หรือหากข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติจะวิเคราะห์ด้วยการทดสอบอันดับที่ลงนาม (Wilcoxon signed-rank test) สำหรับข้อมูลระดับความรับรู้ต่อความเหนื่อยล้า ในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงปกติจะวิเคราะห์ด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางและวัดซ้ำหลายครั้ง (Two-way repeated measures; ANOVA) หรือในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติจะวิเคราะห์ด้วยการทดสอบของฟรீดแมน (Friedman test)

ตอนที่ 3 วิเคราะห์ตัวแปรด้านการตอบสนองด้านฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ตัวแปรด้านการตอบสนองด้าน เมแทบอลิก และตัวแปรด้านจิตวิทยา ได้แก่ ระดับอินซูลินในเลือด ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย ระดับน้ำตาลในเลือด ระดับแลคเตทในเลือด ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด และอาการแสดงของระบบทางเดินอาหาร โดยเริ่มจากการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติจะทำการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางและวัดซ้ำหลายครั้ง (Two-way repeated measures; ANOVA) หรือในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติจะวิเคราะห์ด้วยการทดสอบของฟรீดแมน (Friedman test)

ตอนที่ 4 วิเคราะห์ตัวแปรด้านจิตวิทยา ได้แก่ อาการแสดงของระบบทางเดินอาหาร โดยเริ่มจากการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติจะทำการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางและวัดซ้ำหลายครั้ง (Two-way repeated measures; ANOVA) หรือในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติจะวิเคราะห์ด้วยการทดสอบของฟรீดแมน (Friedman test)

ข้อพิจารณาจริยธรรม

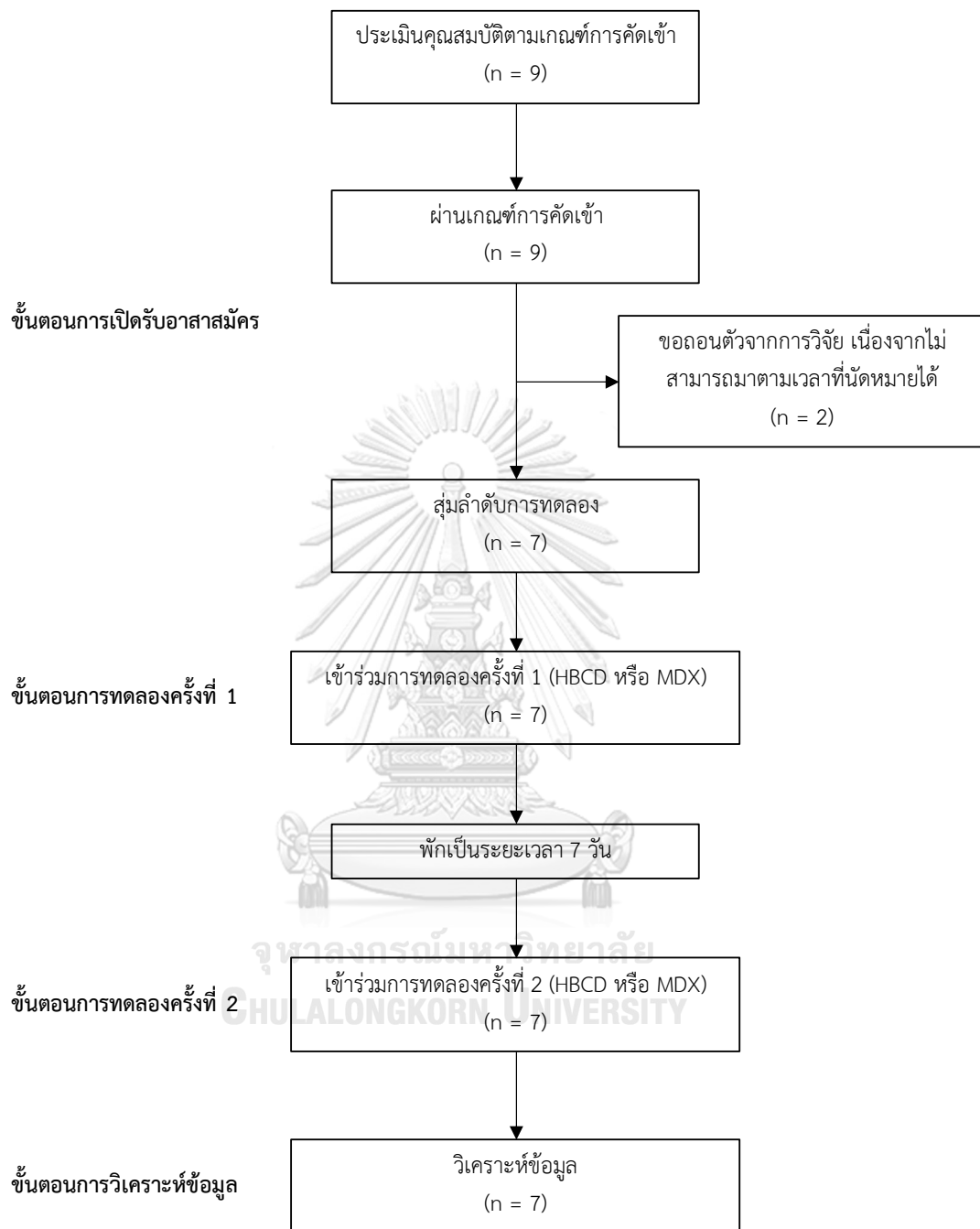
ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยยึดตามหลักจริยธรรมที่ระบุไว้ในรายงานเบลมอนต์ (Belmont report) อันประกอบด้วยหลักการ 3 ข้อ ได้แก่ มีความเคารพในตัวบุคคล (Respect for person) เป็นการกระทำที่เป็นประโยชน์และไม่เป็นอันตราย (Beneficence) และมีความยุติธรรม (Justice) ดังนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับหลักการที่ยึดถือ ผู้วิจัยได้มีการชี้แจงข้อมูลและสิทธิกับผู้เข้าร่วมวิจัยและอาสาสมัครตามรายละเอียด ดังนี้

- 1) อาสาสมัครทุกคนจะได้รับคำชี้แจงเกี่ยวกับงานวิจัยนี้โดยละเอียด อันได้แก่ ชื่อวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย วิธีการเก็บตัวอย่าง สถานที่เก็บข้อมูล ระยะเวลาที่ใช้ และสิทธิต่าง ๆ ที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับ โดยผู้วิจัยจะใช้เวลาในการตัดสินใจเข้าร่วมอย่างเพียงพอ รวมถึงโอกาสในการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมก่อนการลงนามยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย
- 2) อาสาสมัครมีสิทธิในการตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยโดยอิสระ และสามารถขอถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกเมื่อโดยไม่จำเป็นต้องแจ้งเหตุผล
- 3) อาสาสมัครได้รับข้อมูลจากเอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือแสดงความยินยอม โดยมีการระบุรายละเอียดของโครงการวิจัย รวมถึงความเสี่ยงและความไม่สบายที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการวิจัย
- 4) ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยด้วยความระมัดระวังและรอบคอบมากที่สุด เพื่อเป็นการป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายต่อผู้ร่วมวิจัย และจะได้ดำเนินการใด ๆ ที่จะเป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการได้รับบาดเจ็บนอกเหนือไปจากที่ระบุไว้ในเอกสารสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือแสดงความยินยอม
- 5) ผู้วิจัยจะเคารพสิทธิข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ร่วมวิจัยทุกคน โดยจะเก็บรักษาข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วมทุกคนไว้เป็นความลับ และจะรายงานผลการวิจัยต่อสาธารณะในลักษณะที่เป็นภาพรวม โดยไม่ระบุเจาะจงชื่อของผู้เข้าร่วม
- 6) อาสาสมัครทุกคนจะถูกคัดเลือกตามเกณฑ์การคัดเลือกเข้าและคัดออก และผู้เข้าร่วมจะได้รับการแบ่งลำดับในการเข้ารับการทดสอบด้วยวิธีการสุ่มเพื่อให้เป็นไปตามระเบียบวิธีวิจัยที่เหมาะสมและเพื่อให้เกิดความเท่าเทียมยุติธรรม

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองแบบไขว้และอำพรางฝ่ายเดียว โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อศึกษาผลของการรับประทานไฮลีสบรานซีไซคลิกซ์เดกซ์ทรินต่อสมรรถภาพในการวิ่ง ฮอริโมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด สารชีวโมเลกุลในเลือด รวมถึงอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร โดยเปรียบเทียบกับรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน กลุ่มตัวอย่างคือ นักวิ่งระยะไกลเพศชาย อายุระหว่าง 40 ถึง 49 ปี จำนวน 7 คน ก่อนการทดสอบผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย ความเร็ว ณ จุด VT_1 และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด จากนั้นผู้ร่วมวิจัยจะถูกสุ่มเข้ารับการทดสอบทั้งหมด 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม HBCD เป็นที่ได้รับ HBCD ปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว และกลุ่ม MDX เป็นกลุ่มที่ได้รับมอลโทเดกซ์ทรินปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัว เป็นเวลา 30 นาที ก่อนที่จะเข้ารับการทดสอบวิ่งที่ความเร็วคงที่ ณ จุด VT_1 และความชันร้อยละ 1 เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบวิ่งแบบไล่ระดับโดยเป็นการวิ่งโดยใช้ความเร็ว ณ จุด VT_1 เป็นความเร็วเริ่มต้น และจะปรับเพิ่มความเร็ว 0.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทุก 30 วินาที จนกว่าผู้ร่วมวิจัยจะเหนื่อยหมดแรง การทดสอบนี้จะถูกจัดขึ้นในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลตัวแปรด้านสมรรถภาพในการออกกำลังกายแบบทนทาน ด้านการตอบสนองด้านฮอริโมน ด้านการตอบสนองด้านเมแทบอลิก และอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0 และนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของตารางข้อมูล แผนภูมิ และกราฟ ประกอบกับความเรียงทั้งหมด 4 ตอน โดยสามารถสรุปเป็นลำดับขั้นตอนมาตรฐานรวมในการรายงานการทดลอง (Consolidated standards of reporting trials; CONSORT) ได้ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ลำดับขั้นตอนมาตรฐานรวมในการรายงานการทดลอง

ทั้งนี้ เนื่องจากตัวแปรในงานวิจัยนี้มีการวัดค่าซ้ำหลายครั้ง ผู้วิจัยจึงกำหนดชื่อเรียกจุดเวลาที่ทำการวัดดังต่อไปนี้

จุดเวลาที่ 1 เป็นการเก็บข้อมูลตัวแปรขณะพัก หรือ REST

จุดเวลาที่ 2 เป็นการเก็บข้อมูลตัวแปรก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 หรือ PRE-VT1

จุดเวลาที่ 3 เป็นการเก็บข้อมูลตัวแปรหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 หรือ POST-VT1

จุดเวลาที่ 4 เป็นการเก็บข้อมูลตัวแปรหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 หรือ POST-RAMP

โดยผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลด้านสรีรวิทยาของกลุ่มตัวอย่างด้วยค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลทางสรีรวิทยาของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลผู้ร่วมวิจัย (n = 7)	$\bar{x} \pm S. D.$
อายุ (ปี)	45.00 \pm 2.31
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	64.31 \pm 11.28
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	171.00 \pm 6.88
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อเมตร ²)	22.01 \pm 3.58
ความเร็วในการวิ่ง ณ จุด VT ₁ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	8.74 \pm 0.74
อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อนาที)	53.28 \pm 6.40

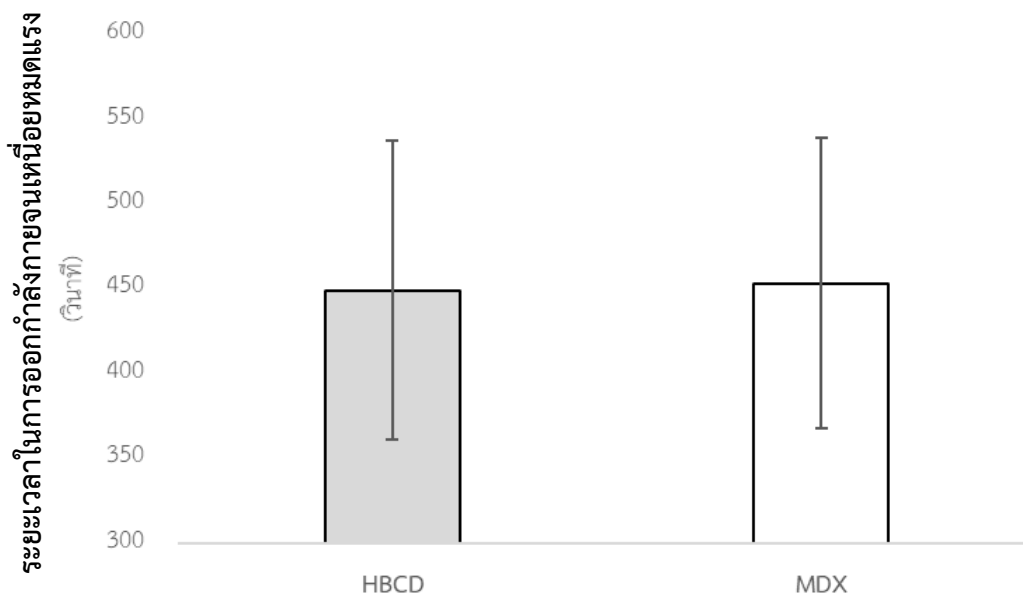
จากตารางที่ 4 แสดงข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลทางสรีรวิทยาของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 7 คน โดยมีอายุเฉลี่ยอยู่ที่ 45.00 \pm 2.31 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 64.31 \pm 11.28 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 171.00 \pm 6.88 เซนติเมตร ดัชนีมวลกายเฉลี่ย 22.01 \pm 3.58 กิโลกรัมต่อเมตร² ความเร็วในการวิ่ง ณ จุด VT₁ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8.74 \pm 0.74 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 53.28 \pm 6.40 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อนาที

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรด้านสมรรถภาพในการออกกำลังกายแบบทนทาน

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบที่แบบจับคู่ของระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง (วินาที)			
กลุ่มการทดสอบ (n=7)	$\bar{x} \pm S.D.$	t	P-value
กลุ่ม HBCD	449.34 \pm 88.03	-0.244	.816
กลุ่ม MDX	453.39 \pm 85.54		

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 449.34 \pm 88.03 วินาที และกลุ่ม MDX เท่ากับ 453.39 \pm 85.54 วินาที ผลการทดสอบที่แบบจับคู่ของระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 18 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

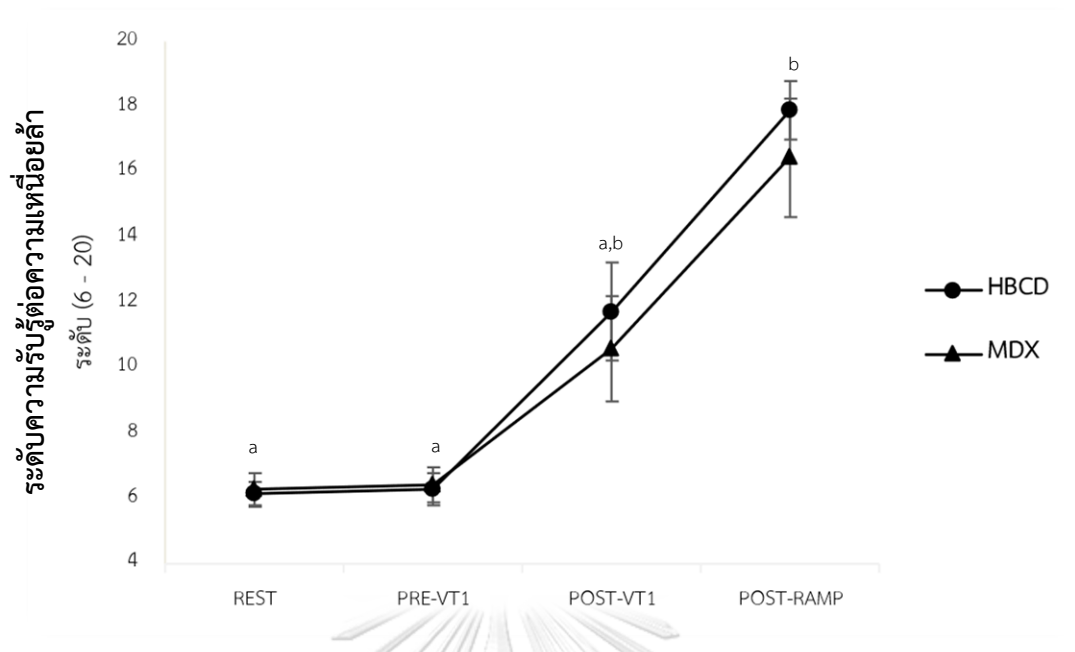
หากพิจารณาระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX ด้วยการทดสอบทีแบบจับคู่ พบว่า ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > .05$) และหากเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นร้อยละ พบว่า กลุ่ม MDX มีระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงเฉลี่ยมากกว่ากลุ่ม HBCD เท่ากับ 0.90%

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบของฟรีดแมนของระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า ระดับ (6 – 20)		
ช่วงเวลา	กลุ่ม HBCD	กลุ่ม MDX
	(n=7)	(n=7)
	$\bar{x} \pm S. D.$	$\bar{x} \pm S. D.$
REST	6.14 ± 0.38^a	6.29 ± 0.49^a
PRE-VT1	6.29 ± 0.49^a	6.43 ± 0.53^a
POST-VT1	$11.71 \pm 1.5^{a,b}$	$10.57 \pm 1.62^{a,b}$
POST-RAMP	17.86 ± 0.9^b	16.43 ± 1.81^b

^{a,b}แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละจุดเวลาภายในกลุ่ม ($P < .05$)

จากตารางที่ 6 แสดงถึงค่าเฉลี่ยระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงขณะพัก ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 6.14 ± 0.38 กลุ่ม MDX เท่ากับ 6.29 ± 0.49 ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 6.29 ± 0.49 กลุ่ม MDX เท่ากับ 6.43 ± 0.53 ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 11.71 ± 1.5 กลุ่ม MDX เท่ากับ 10.57 ± 1.62 ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 17.86 ± 0.9 กลุ่ม MDX เท่ากับ 16.43 ± 1.81



รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้า ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

^{a,b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละจุดเวลาภายในกลุ่ม HBCD และ MDX ($P < .05$)

หากพิจารณาระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าในแต่ละช่วงเวลาระหว่างกลุ่มตามอิทธิพลจากกลุ่มและอิทธิพลจากเวลา ด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ตามการทดสอบของ Bonferroni พบว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

หากพิจารณาระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าในแต่ละช่วงเวลาตามอิทธิพลของเวลา ภายในกลุ่ม พบว่า ระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าในช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 มีค่าสูงกว่า ช่วงขณะพัก ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 และช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทั้งสองกลุ่ม ($P < .05$)

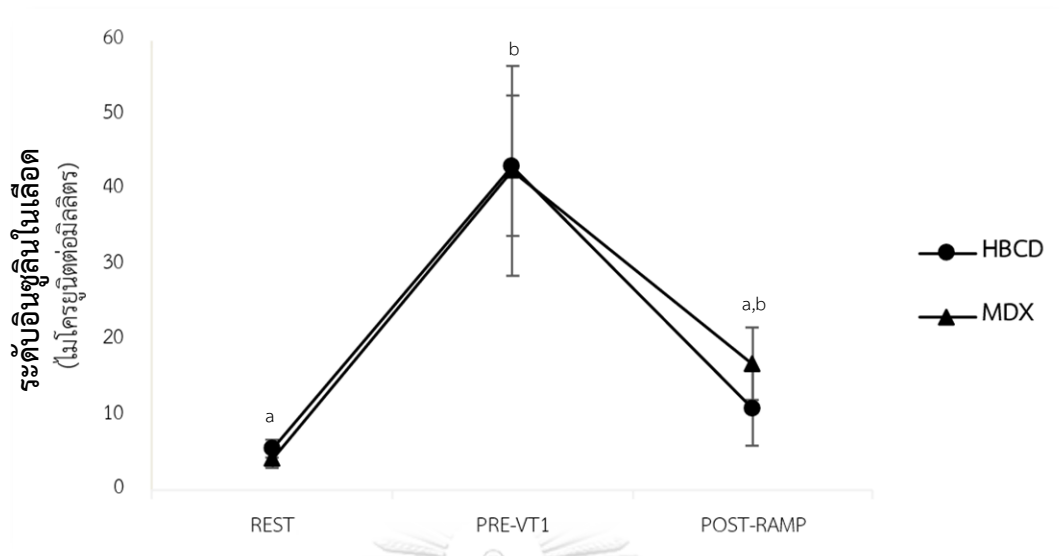
ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรด้านการตอบสนองด้านฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ตัวแปรด้านการตอบสนองด้านเมแทบอลิก

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางของระดับอินซูลินในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

ระดับอินซูลินในเลือด (ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร)		
ช่วงเวลา	กลุ่ม HBCD (n=7)	กลุ่ม MDX (n=7)
	$\bar{x} \pm S.D.$	$\bar{x} \pm S.D.$
REST	5.51 \pm 1.17 ^a	4.14 \pm 1.11 ^a
PRE-VT1	43.26 \pm 9.42 ^b	42.56 \pm 14.08 ^b
POST-RAMP	10.87 \pm 5.05 ^{a,b}	16.83 \pm 4.80 ^{a,b}

^{a,b}แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละจุดเวลาภายในกลุ่ม (P < .05)

จากตารางที่ 7 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของระดับอินซูลินในเลือดในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงขณะพักของกลุ่ม HBCD มีค่าเท่ากับ 5.51 \pm 1.17 ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 4.14 \pm 1.11 ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 43.26 \pm 9.42 ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 42.56 \pm 14.08 ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 10.87 \pm 5.05 ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 16.83 \pm 4.80 ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร



รูปที่ 20 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับอินซูลินในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

^{a,b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละจุดเวลาภายในกลุ่ม HBCD และ MDX ($P < .05$)

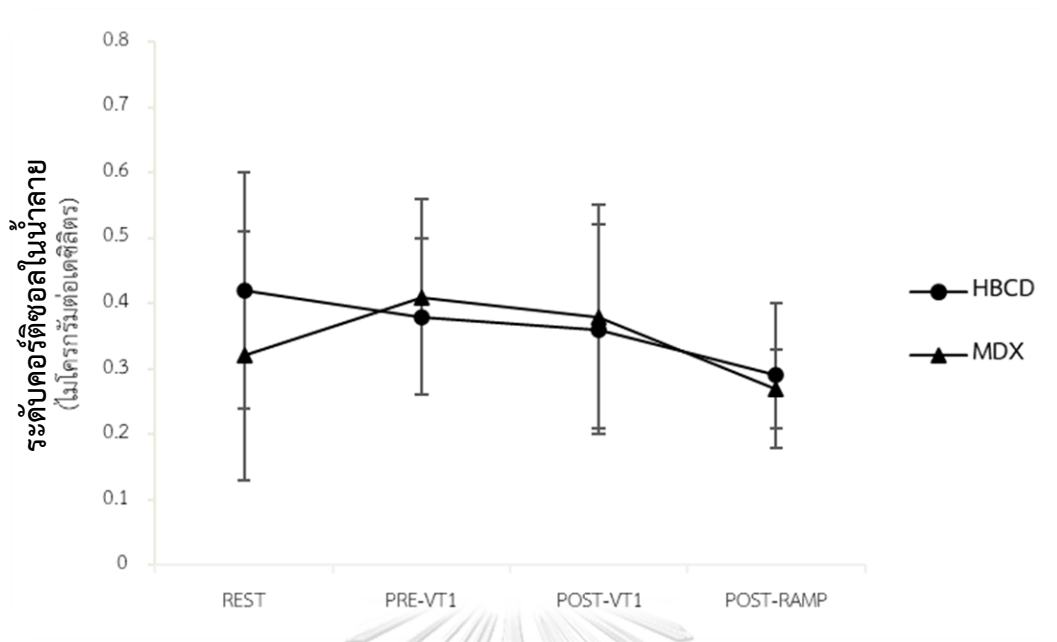
หากพิจารณาระดับอินซูลินในเลือดในแต่ละช่วงเวลาระหว่างกลุ่มตามอิทธิพลจากกลุ่มและอิทธิพลจากเวลา ด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ตามการทดสอบของ Bonferroni พบว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

หากพิจารณาระดับอินซูลินในเลือดในแต่ละช่วงเวลาตามอิทธิพลของเวลาภายในกลุ่ม พบว่าระดับอินซูลินในเลือดในช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่าช่วงขณะพัก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทั้งสองกลุ่ม ($P < .05$)

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางของระดับคอร์ติซอลในน้ำลายในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย (ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร)		
ช่วงเวลา	กลุ่ม HBCD	กลุ่ม MDX
	(n=7)	(n=7)
	$\bar{x} \pm S. D.$	$\bar{x} \pm S. D.$
REST	.42 \pm .18	.32 \pm .19
PRE-VT1	.38 \pm .12	.41 \pm .15
POST-VT1	.36 \pm .16	.38 \pm .17
POST-RAMP	.29 \pm .11	.27 \pm .06

จากตารางที่ 8 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของระดับคอร์ติซอลในน้ำลายในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงขณะพัก ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .42 \pm .18 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .32 \pm .19 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .38 \pm .12 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .41 \pm .15 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .36 \pm .16 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .38 \pm .17 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .29 \pm .11 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .27 \pm .06 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร



รูปที่ 21 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับคอร์ติซอลในน้ำลายในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

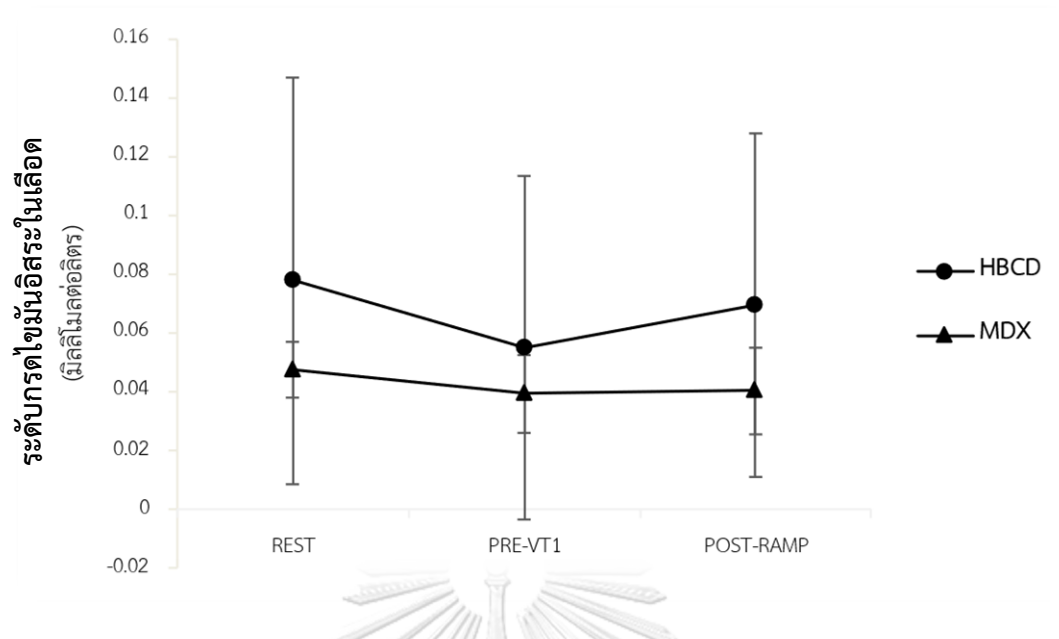
หากพิจารณาระดับคอร์ติซอลในน้ำลายในแต่ละช่วงเวลาระหว่างกลุ่มตามอิทธิพลจากกลุ่มและอิทธิพลจากเวลา ด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ตามการทดสอบของ Bonferroni พบว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

หากพิจารณาระดับคอร์ติซอลในน้ำลายในแต่ละช่วงเวลาตามอิทธิพลของเวลาภายในกลุ่มพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละจุดเวลาในทั้งสองกลุ่ม ($P > .05$)

ตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบของ ฟรیدแมนของระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร)		
ช่วงเวลา	กลุ่ม HBCD	กลุ่ม MDX
	(n=6)	(n=6)
	$\bar{x} \pm S. D.$	$\bar{x} \pm S. D.$
REST	.078 \pm .069	.048 \pm .009
PRE-VT1	.055 \pm .058	.039 \pm .013
POST-RAMP	.070 \pm .059	.040 \pm .015

จากตารางที่ 9 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในแต่ละช่วงเวลา โดย ในช่วงขณะพัก ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .078 \pm .069 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .048 \pm .009 มิลลิโมลต่อลิตร ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .055 \pm .058 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .039 \pm .013 มิลลิโมลต่อลิตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .070 \pm .059 มิลลิโมลต่อลิตรกลุ่ม MDX เท่ากับ .040 \pm .015 มิลลิโมลต่อลิตร



รูปที่ 22 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

หากพิจารณาระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในแต่ละช่วงเวลาระหว่างกลุ่มตามอิทธิพลจากกลุ่มและอิทธิพลจากเวลา ด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ตามการทดสอบของ Bonferroni พบว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

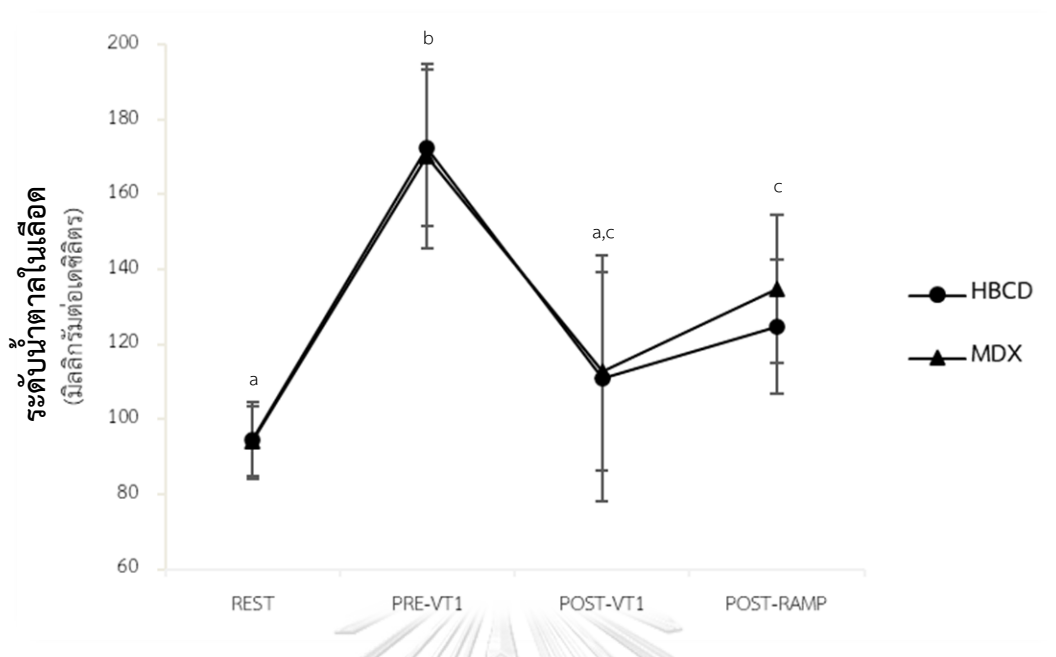
หากพิจารณากรดไขมันอิสระในเลือดในแต่ละช่วงเวลาตามอิทธิพลของเวลาภายในกลุ่ม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละจุดเวลาในทั้งสองกลุ่ม ($P > .05$)

ตารางที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางของระดับน้ำตาลในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

ระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)		
ช่วงเวลา	กลุ่ม HBCD	กลุ่ม MDX
	(n=7)	(n=7)
	$\bar{x} \pm S. D.$	$\bar{x} \pm S. D.$
REST	94.44 \pm 10.18 ^a	94.14 \pm 9.48 ^a
PRE-VT1	172.57 \pm 20.9 ^b	170.29 \pm 24.67 ^b
POST-VT1	110.86 \pm 32.89 ^{a,c}	112.71 \pm 26.58 ^{a,c}
POST-RAMP	124.71 \pm 17.9 ^c	134.71 \pm 19.76 ^c

^{a,b,c} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละจุดเวลาภายในกลุ่ม ($P < .05$)

จากตารางที่ 10 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลในเลือดในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงขณะพัก ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 94.44 \pm 10.18 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 94.14 \pm 9.48 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 172.57 \pm 20.9 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 170.29 \pm 24.67 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 110.86 \pm 32.89 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 112.71 \pm 26.58 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 124.71 \pm 17.9 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 134.71 \pm 19.76 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร



รูปที่ 23 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับน้ำตาลในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

^{a,b,c} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละจุดเวลาภายในกลุ่ม HBCD และ MDX ($P < .05$)

หากพิจารณาระดับน้ำตาลในเลือดในแต่ละช่วงเวลาระหว่างกลุ่มตามอิทธิพลจากกลุ่มและอิทธิพลจากเวลา ด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ตามการทดสอบของ Bonferroni พบว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

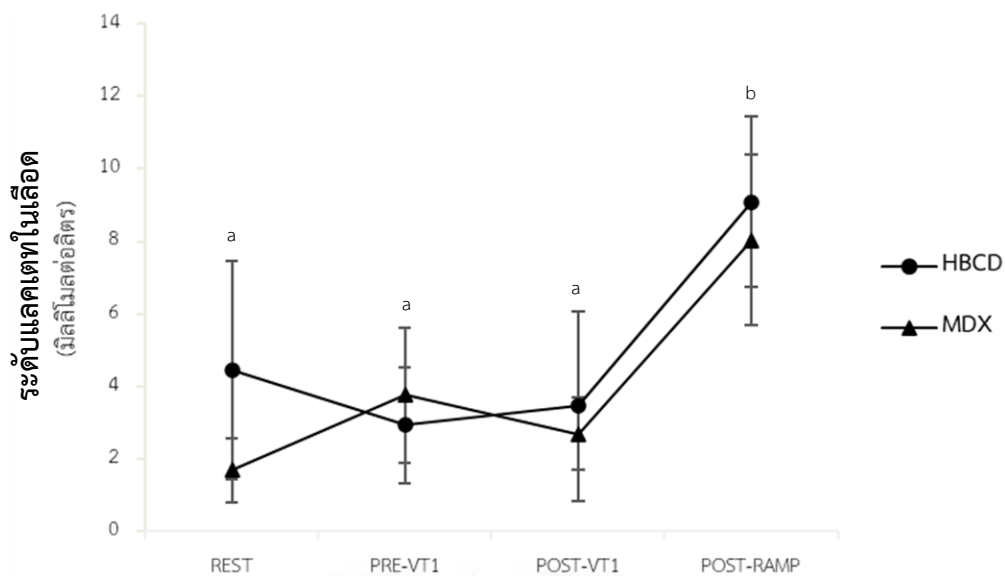
หากพิจารณาระดับน้ำตาลในเลือดในแต่ละช่วงเวลาตามอิทธิพลของเวลาภายในกลุ่ม พบว่าระดับน้ำตาลในเลือดในช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 มีค่าสูงกว่าช่วงขณะพัก ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองกลุ่ม ($P < .05$) อีกทั้ง ระดับน้ำตาลในเลือดในช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ยังมีค่าสูงกว่าในช่วงขณะพักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทั้งสองกลุ่ม ($P < .05$)

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบความแปรปรวนแบบเกี่ยวข้อกันสองทางของระดับแลคเตทในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

ระดับแลคเตทในเลือด (มิลลิโมลต่อลิตร)		
ช่วงเวลา	กลุ่ม HBCD	กลุ่ม MDX
	(n=7)	(n=7)
	$\bar{x} \pm S. D.$	$\bar{x} \pm S. D.$
REST	4.46 ± 3.01^a	1.69 ± 0.90^a
PRE-VT1	2.93 ± 1.59^a	3.77 ± 1.86^a
POST-VT1	3.47 ± 2.61^a	2.69 ± 1.00^a
POST-RAMP	9.09 ± 2.36^b	8.04 ± 2.35^b

^{a,b} แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละจุดเวลาภายในกลุ่ม ($P < .05$)

จากตารางที่ 11 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของระดับแลคเตทในเลือดในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงขณะพัก ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 4.46 ± 3.01 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 1.69 ± 0.90 มิลลิโมลต่อลิตร ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 2.93 ± 1.59 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 3.77 ± 1.86 มิลลิโมลต่อลิตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 3.47 ± 2.61 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 2.69 ± 1.00 มิลลิโมลต่อลิตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ 9.09 ± 2.36 มิลลิโมลต่อลิตร กลุ่ม MDX เท่ากับ 8.04 ± 2.35 มิลลิโมลต่อลิตร



รูปที่ 24 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับแลคเตทในเลือดในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

^{a,b}แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละจุดเวลาภายในกลุ่มของกลุ่ม HBCD และ MDX ($P < .05$)

หากพิจารณาระดับแลคเตทในเลือดในแต่ละช่วงเวลาระหว่างกลุ่มตามอิทธิพลจากกลุ่มและอิทธิพลจากเวลา ด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ตามการทดสอบของ Bonferroni พบว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

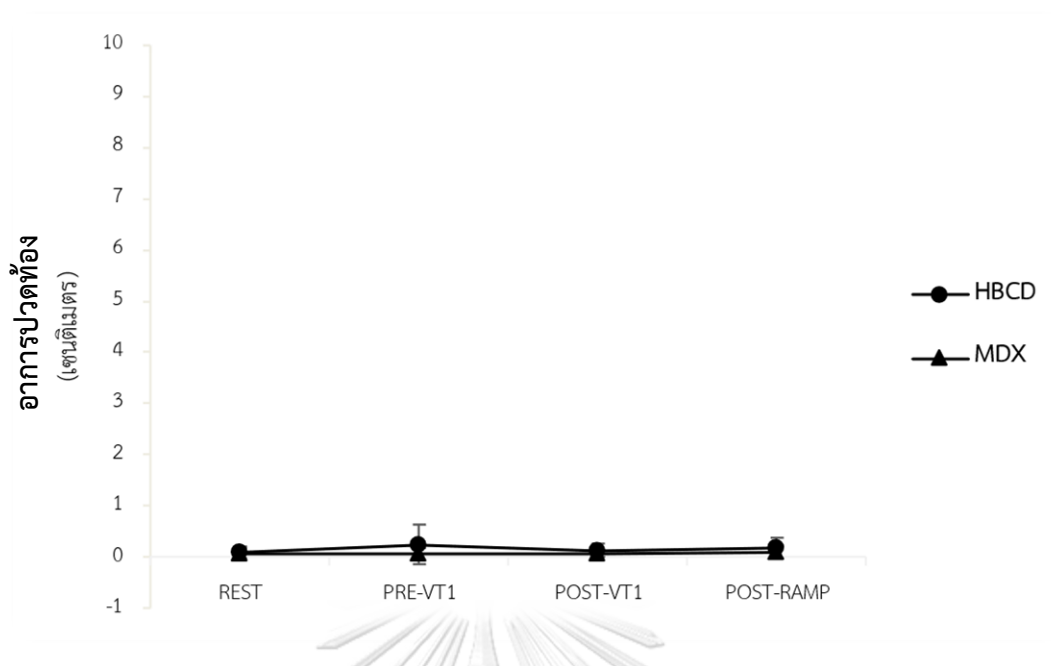
หากพิจารณาระดับแลคเตทในเลือดในแต่ละช่วงเวลาตามอิทธิพลของเวลาภายในกลุ่ม พบว่าระดับแลคเตทในเลือดในช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 มีค่าสูงกว่าช่วงขณะพัก ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทั้งสองกลุ่ม ($P < .05$)

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรด้านจิตวิทยา

ตารางที่ 12 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยการทดสอบของฟรیدของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

อาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) (0 - 10 เซนติเมตร)		
ช่วงเวลา	กลุ่ม HBCD	กลุ่ม MDX
	(n=7)	(n=7)
	$\bar{x} \pm S. D.$	$\bar{x} \pm S. D.$
REST	.09 ± .11	.06 ± .11
PRE-VT1	.25 ± .39	.06 ± .11
POST-VT1	.14 ± .13	.08 ± .08
POST-RAMP	.18 ± .19	.10 ± .13

จากตารางที่ 12 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) ในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงขณะพัก ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ $.09 \pm .11$ เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ $.06 \pm .11$ เซนติเมตร ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ $.25 \pm .39$ เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ $.06 \pm .11$ เซนติเมตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ $.14 \pm .13$ เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ $.08 \pm .08$ เซนติเมตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ $.18 \pm .19$ เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ $.10 \pm .13$ เซนติเมตร



รูปที่ 25 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

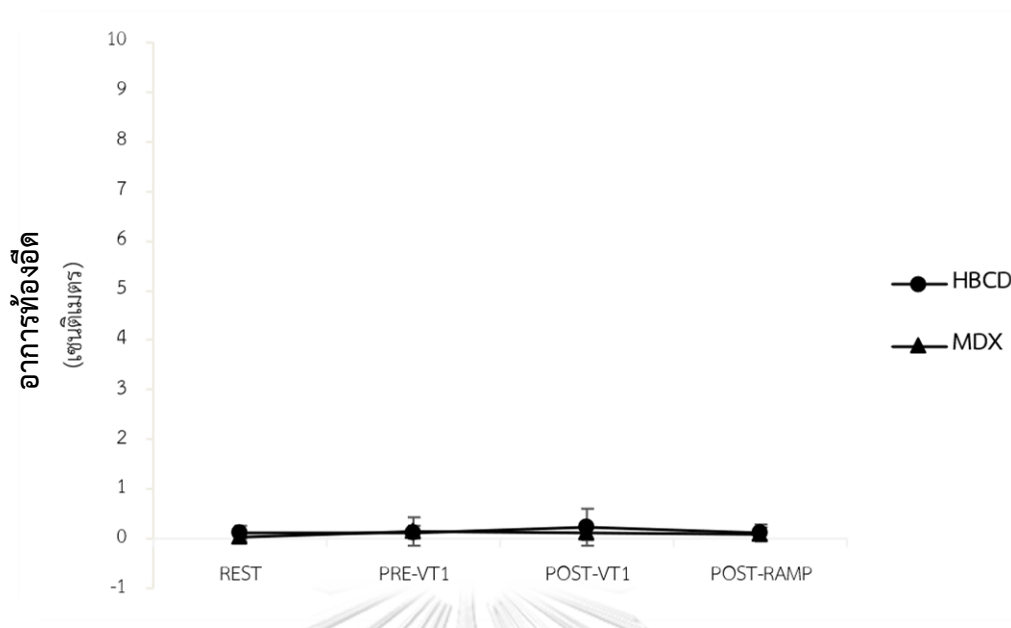
หากพิจารณาอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) ในแต่ละช่วงเวลาระหว่างกลุ่มตามอิทธิพลจากกลุ่มและอิทธิพลจากเวลา ด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ตามการทดสอบของ Bonferroni พบว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

หากพิจารณาอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) ในแต่ละช่วงเวลาตามอิทธิพลของเวลาภายในกลุ่ม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละจุดเวลาในทั้งสองกลุ่ม ($P > .05$)

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยการทดสอบของฟรீดของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

อาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) (0 - 10 เซนติเมตร)		
ช่วงเวลา	กลุ่ม HBCD (n=7)	กลุ่ม MDX (n=7)
	$\bar{x} \pm S.D.$	$\bar{x} \pm S.D.$
REST	.14 \pm .13	.03 \pm .08
PRE-VT1	.14 \pm .12	.15 \pm .28
POST-VT1	.24 \pm .38	.12 \pm .15
POST-RAMP	.13 \pm .17	.11 \pm .14

จากตารางที่ 13 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) ในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงขณะพัก ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .14 \pm .13 เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .03 \pm .08 เซนติเมตร ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .14 \pm .12 เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .15 \pm .28 เซนติเมตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .24 \pm .38 เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .12 \pm .15 เซนติเมตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .13 \pm .17 เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .11 \pm .14 เซนติเมตร



รูปที่ 26 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

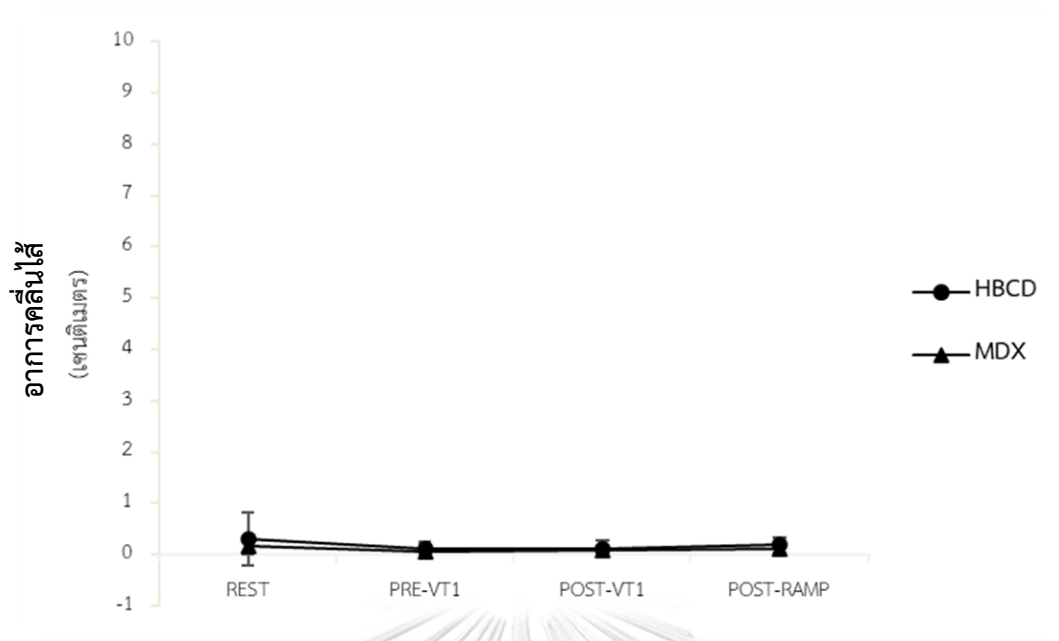
หากพิจารณาอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) ในแต่ละช่วงเวลาระหว่างกลุ่มตามอิทธิพลจากกลุ่มและอิทธิพลจากเวลา ด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ตามการทดสอบของ Bonferroni พบว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

หากพิจารณาอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) ในแต่ละช่วงเวลาตามอิทธิพลของเวลาภายในกลุ่ม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละจุดเวลาในทั้งสองกลุ่ม ($P > .05$)

ตารางที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยการทดสอบของฟรீดของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

อาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) (0 - 10 เซนติเมตร)		
ช่วงเวลา	กลุ่ม HBCD (n=7)	กลุ่ม MDX (n=7)
	$\bar{x} \pm S.D.$	$\bar{x} \pm S.D.$
REST	.31 ± .52	.18 ± .18
PRE-VT1	.13 ± .13	.07 ± .12
POST-VT1	.12 ± .16	.09 ± .09
POST-RAMP	.19 ± .15	.11 ± .13

จากตารางที่ 14 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) ในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงขณะพัก ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .31 ± .52 เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .18 ± .18 เซนติเมตร ช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .13 ± .13 เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .07 ± .12 เซนติเมตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .12 ± .16 เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .09 ± .09 เซนติเมตร ช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD เท่ากับ .19 ± .15 เซนติเมตร กลุ่ม MDX เท่ากับ .11 ± .13 เซนติเมตร



รูปที่ 27 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) ในแต่ละช่วงเวลา ระหว่างกลุ่ม HBCD และ MDX

หากพิจารณาอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) ในแต่ละช่วงเวลาระหว่างกลุ่มตามอิทธิพลจากกลุ่มและอิทธิพลจากเวลา ด้วยการเปรียบเทียบรายคู่ตามการทดสอบของ Bonferroni พบว่า ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

หากพิจารณาอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) ในแต่ละช่วงเวลาตามอิทธิพลของเวลาภายในกลุ่ม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละจุดเวลาในทั้งสองกลุ่ม ($P > .05$)

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลของการรับประทานไฮลีสบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทรินต่อสมรรถภาพในการวิ่ง ฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด สารชีวโมเลกุลในเลือด และอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร สามารถสรุปและอภิปรายผลได้ดังนี้

ด้านสมรรถภาพในการออกกำลังกายแบบทนทาน

ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง (Time to exhaustion; TTE)

จากการวิเคราะห์ ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ธรรมชาติของการแข่งขันวิ่งมาราธอนเป็นการออกกำลังกายที่ทำลายสมรรถภาพความทนทานของนักกีฬา โดยจากการทดสอบวิจัยนี้พบว่า การรับประทานไฮลีสบรานซ์ไซคลิกซ์เดกซ์ทรินก่อนการออกกำลังกายเป็นเวลา 30 นาที ไม่มีผลในการเพิ่ม TTE ของนักกีฬาวิ่งมาราธอน เมื่อเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน ดังรูปที่ 17 หากพิจารณาในด้านโครงสร้างของ HBCD และ MDX คาร์โบไฮเดรตทั้งสองชนิดนี้มีพื้นฐานเป็นกลูโคสพอลิเมอร์เหมือนกัน (Gonzalez et al., 2015) เพียงแต่ HBCD จะมีการแตกกิ่งออกมาจากสายพอลิเมอร์และเรียงต่อกันเป็นลักษณะของวงแหวนแปดเหลี่ยม (Choi et al., 2009) จึงส่งผลให้คุณสมบัติทางเภสัชจลนศาสตร์ของ HBCD แตกต่างออกไปจากกลูโคสพอลิเมอร์ทั่วไป โดย HBCD จะมีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะเร็วกว่าเดกซ์ทริน (Takii et al., 2005) แต่การย่อยและดูดซึมในลำไส้ชั้นในไปอย่างช้า ๆ โดยสะท้อนออกมาเป็นระดับน้ำตาลในเลือดที่มีจุดยอดต่ำกว่า MDX ซึ่งมีโครงสร้างเป็นกลูโคสพอลิเมอร์ที่ต่อกันเป็นสายยาว แต่ในขณะเดียวกัน HBCD ก็สามารถรักษาระดับน้ำตาลในเลือดให้อยู่ในระดับสูงได้ยาวนานกว่าเมื่อเทียบกับกลูโคส (Takii et al., 1999)

การให้พลังงานได้อย่างคงที่และยาวนานส่งผลให้ HBCD มีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในกีฬาที่ต้องอาศัยความทนทาน เช่น กีฬาวิ่งมาราธอน เนื่องจากเป็นกีฬาที่มีระยะเวลาในการแข่งขันที่ยาวนาน ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่านักกีฬาอาจจะเกิดภาวะไกลโคเจนในกล้ามเนื้อพร่อง (Muscle glycogen depletion) และกลายเป็นข้อจำกัดในด้านสมรรถภาพในการแข่งขัน (Coyle, 2007)

อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการทดสอบ TTE ของงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบแบบไล่ระดับตามแนวทางของ แรมป์ (Sperlich et al., 2015) เนื่องจากการทดสอบที่มีความเข้มข้นต่ำเกินไปจะส่งผลให้ TTE ที่ ประเมินได้นั้นมีระยะเวลานาน รวมถึงมีความแตกต่างภายในบุคคลที่สูงตามไปด้วย (Billat & Koralsztein, 1996) อีกทั้ง การทดสอบ TTE ที่ใช้ระดับความเข้มข้นสูงเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สามารถ ทำนายสมรรถภาพด้านความทนทานของนักกีฬาวิ่งระยะไกลได้เป็นอย่างดี (Casado et al., 2022; McLaughlin et al., 2010) ซึ่งในการทดลองนี้เป็นการทดสอบที่ใช้ระดับความเข้มข้นสูงจึงได้นำการ ทดสอบแบบไล่ระดับตามแนวทางของแรมป์ (Sperlich et al., 2015) มาประยุกต์ใช้ แต่ทั้งนี้ ด้วย ระยะเวลาการทดสอบที่สั้นเกินไป อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดภาวะไกลโคเจนในกล้ามเนื้อพร่อง และส่งผลให้สมรรถภาพความทนทานของกลุ่มตัวอย่างถูกจำกัดด้วยปัจจัยอื่นที่นอกเหนือจากระบบ พลังงานและไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ โดยการศึกษาของ Shiraki et al. (2015) ทำการศึกษาในนักว่ายน้ำ ได้กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างรับประทาน HBCD ในปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว จากนั้น จึงทำการทดสอบเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะไกลโคเจนในกล้ามเนื้อพร่องด้วยการว่ายน้ำที่ระดับความ เข้มข้น 75% VO_2max เป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นพัก 3 นาที ทั้งหมด 10 รอบ ซึ่งสังเกตได้ว่าใน ขั้นตอนการทดสอบนี้เป็นการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าการวิ่งที่ความเร็ว ณ จุด VT_1 ทั้งยัง มีระยะเวลาในการทดสอบนานกว่า โดยนับเป็นการว่ายน้ำรวมทั้ง 50 นาที จึงอาจเป็นไปได้ว่า ขั้นตอนการทดสอบนี้เพียงพอที่จะทำให้ระดับไกลโคเจนของกลุ่มตัวอย่างลดต่ำลง และกลายเป็น ข้อจำกัดที่ทำให้กล้ามเนื้อต้องพึ่งพาไกลโคเจนจากแหล่งภายนอกมากขึ้น (Mata et al., 2019) ซึ่ง ส่งผลให้ HBCD สามารถเพิ่ม TTE ในช่วงการทดสอบที่ 2 ซึ่งเป็นการว่ายน้ำที่ระดับความเข้มข้นสูงถึง 90% VO_2max อีกทั้ง ผลการศึกษาของ Chuychai et al. (2022) ก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน โดย การศึกษานี้มีขั้นตอนการทดลองโดยการกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างรับประทาน HBCD ในปริมาณ 1.5 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงทำการทดสอบด้วยการวิ่งที่ความเร็ว ณ จุด VT_1 เป็นเวลา 30 นาที และการทดสอบด้วยการวิ่งที่ความเร็ว ณ จุด VT_2 เพื่อประเมิน TTE จากผล การศึกษาพบว่า กลุ่มที่รับประทาน HBCD มี TTE อยู่ที่ 42.67 ± 4.92 นาที ซึ่งมากกว่ากลุ่มที่ รับประทานกลูโคสซึ่งอยู่ที่ 40.77 ± 4.40 นาที โดยหากเปรียบเทียบกับ TTE ของงานวิจัยนี้ซึ่งมีค่า อยู่ที่ 7.49 ± 1.47 นาที สำหรับกลุ่ม HBCD และ 7.56 ± 1.43 นาที สำหรับกลุ่ม MDX การใช้วิธีการ ทดสอบที่ต่างกัน ส่งผลให้ TTE ที่วัดได้มีความแตกต่างกันมาก ซึ่งความแตกต่างทั้งในด้านระดับความ เข้มข้นและระยะเวลาของการทดสอบ อาจส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้เกิดความเหนื่อยล้าและ

หมดแรงจากปัจจัยอื่นที่นอกเหนือไปจากการมีระดับไกลโคเจนในร่างกายไม่เพียงพอ โดยสังเกตจากระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในช่วงหลังจากการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 นั้นไม่แตกต่างกับระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในช่วงขณะพักในทั้งสองกลุ่มการทดลอง แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างยังมีการใช้ไขมันมาเป็นแหล่งพลังงานร่วมในช่วงของการทดสอบ

หากพิจารณาในแง่ของเภสัชจลนศาสตร์ ประโยชน์ของ HBCD ในการเพิ่มสมรรถภาพความทนทานได้รับการสนับสนุนมาจาก 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยข้อที่หนึ่ง HBCD มีความเร็วในการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารได้ไวกว่าสารละลายเดกซ์ทรีน (Takii et al., 2004) และก่อให้เกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารน้อยกว่ากลูโคส (Takii et al., 2004) จึงสามารถให้พลังงานกับนักกีฬาได้โดยที่ไม่มีผลข้างเคียงต่อสมรรถภาพในการออกกำลังกาย อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้พบว่า การรับประทาน HBCD และ MDX ก่อนการออกกำลังกายไม่ก่อให้เกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งยังไม่มี ความแตกต่างกันในทั้งสองกลุ่ม ปัจจัยที่สองคือ ลักษณะการให้พลังงานของ HBCD ที่ช้าแต่มีความต่อเนื่อง จึงอาจส่งผลให้ไม่สามารถแสดงประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ในการทดสอบที่มีระยะเวลาสั้น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะไม่มีข้อมูลค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic index; GI) ของ HBCD แต่จากการศึกษาอัตราการย่อย HBCD โดยเอนไซม์ในลำไส้ของมนุษย์สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า HBCD เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่ำ (Choi et al., 2009) ซึ่งการศึกษาของ Notbohm et al. (2021) พบว่า TTE ของนักปั่นจักรยานที่รับประทาน MDX ก่อนออกกำลังกายเป็นเวลา 45 นาที ไม่มีความแตกต่างกับการรับประทานไอโซมอลทูลอส ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่ำเช่นเดียวกับ HBCD ดังนั้น จากข้อมูลทั้งหมดนี้อาจเป็นไปได้ว่า ประโยชน์ของ HBCD ต่อสมรรถภาพความทนทานอาจมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติด้านเภสัชจลนศาสตร์เพียงอย่างเดียว

ระดับความรู้รู้ต่อความเหนื่อยล้า (Rate of perceived exertion; RPE)

จากการวิเคราะห์ ระดับความรู้รู้ต่อความเหนื่อยล้าระหว่างการรับประทาน HBCD กับ MDX ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ระดับความรู้รู้ต่อความเหนื่อยล้าถูกใช้เป็นเครื่องมือในการวัดความรู้สึกหนักของการออกกำลังกายอย่างกว้างขวาง โดย RPE นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยการศึกษาในปัจจุบันได้ให้ความสำคัญไปที่กลไกทางด้านสรีรประสาทวิทยา (Neurophysiological mechanisms) ซึ่งอธิบายว่า RPE ที่เกิดขึ้นที่สมองนั้น ได้รับอิทธิพลมาจากกระแสนอกกลับ (Feedback) ของหัวใจ ปอด และ

กล้ามเนื้อ (Lopes et al., 2022) โดยพบว่า RPE ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นสูงมาจากการสะสมของของเสียจากกระบวนการเมแทบอลิซึม หรือที่เรียกว่าเมแทบอลิต์ (Metabolite) ซึ่งของเสียเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ (Amann et al., 2020) ทั้งยังทำให้หลอดเลือดฝอยในปอดเกิดการหดตัว ซึ่งจะยิ่งส่งผลซ้ำเติมให้กระบวนการกำจัดเมแทบอลิต์แย่ลง เกิดเป็นการสะสมที่เพิ่มมากขึ้น และนำไปสู่การยับยั้งการสั่งการกล้ามเนื้อจากคอร์เทกซ์สั่งการปฐมภูมิ (Primary motor cortex) ภายในสมอง (Dempsey et al., 2006) โดยหนึ่งในเมแทบอลิต์ที่ส่งผลต่อ RPE อย่างมากคือ แลคเตท อันเกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิส ระดับแลคเตทในเลือดนั้นสามารถใช้อธิบาย RPE ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีความสัมพันธ์อย่างมากกับ RPE โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ที่ 0.83 (Scherr et al., 2013)

จากงานวิจัยนี้พบว่า ระดับ RPE ของ HBCD กับ MDX ไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าของ Shiraki et al. (2015) และ Chuychai et al. (2022) ที่พบว่า RPE ของกลุ่มที่รับประทาน HBCD ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่รับประทานกลูโคส อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตว่า ภายหลังจากการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 แนวโน้มของ RPE ในกลุ่ม HBCD สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับระดับแลคเตทในเลือดของกลุ่ม HBCD ที่มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่ม MDX เช่นกัน ถึงแม้จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม สาเหตุตรงนี้อาจมาจากการที่ HBCD ถูกย่อยและดูดซึมมาเป็นระดับน้ำตาลในเลือดได้ช้ากว่า MDX ในช่วงที่ความต้องการพลังงานสูงอย่างในกรณีของการทดสอบวิ่งแบบไล่ระดับ เป็นต้น โดยสังเกตจากการที่ระดับน้ำตาลในเลือดของกลุ่ม HBCD ในช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 นั้นต่ำกว่า และระดับกรดไขมันอิสระในเลือดนั้นมีแนวโน้มสูงกว่า ถึงแม้จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม ถึงกระนั้น ผลลัพธ์ที่ได้นี้ก็แตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าของ Furuyashiki et al. (2014) ซึ่งพบว่าการรับประทาน HBCD ช่วยลด RPE ในการปั่นจักรยานที่มีความเข้มข้นระดับกลางเมื่อเทียบกับการรับประทานมอลโทเดกซ์ทริน อย่างไรก็ตาม ปริมาณ HBCD ที่กลุ่มตัวอย่างนี้รับประทานอยู่ที่ 15 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก อีกทั้ง งานวิจัยดังกล่าวไม่สามารถอธิบายถึงเหตุผลที่ HBCD สามารถลด RPE ได้อย่างแน่ชัด เนื่องจากระดับน้ำตาลและแลคเตทในเลือดของกลุ่มตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับประโยชน์ในด้านการช่วยลด RPE ของ HBCD ยังคงมีความจำเป็นเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงกลไกและสาเหตุมากยิ่งขึ้น

ด้านการตอบสนองของฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและสารชีวโมเลกุลในเลือด

ระดับอินซูลินในเลือด (Blood insulin level)

จากการวิเคราะห์ ระดับอินซูลินในเลือด ระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เป็นที่ทราบกันดีว่า คาร์โบไฮเดรตที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูงจะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดหลังมื้ออาหารสูงขึ้นและกระตุ้นให้เกิดการหลั่งอินซูลินในปริมาณมากตามมา การศึกษาเกี่ยวกับการออกกำลังกายในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิดที่ 1 จะช่วยให้เกิดความเข้าใจถึงความสำคัญของระดับอินซูลินในเลือดขณะออกกำลังกายมากขึ้น เนื่องจากผู้ป่วยกลุ่มนี้สูญเสียความสามารถในการหลั่งอินซูลินและจำเป็นต้องพึ่งพาอินซูลินจากภายนอกเท่านั้น โดยการศึกษาของ Romeres et al. (2020) ทำการเปรียบเทียบผลของการสร้างกลูโคสภายในร่างกาย (Endogenous glucose production) ขณะออกกำลังกายใน 3 สภาวะ ได้แก่ 1) สภาวะที่ระดับน้ำตาลในเลือดปกติ แต่ระดับอินซูลินในเลือดต่ำ 2) สภาวะที่ระดับน้ำตาลในเลือดปกติ แต่ระดับอินซูลินในเลือดสูง 3) สภาวะที่ระดับน้ำตาลสูง แต่ระดับอินซูลินในเลือดต่ำ ผลการศึกษาพบว่า การออกกำลังกายในสภาวะที่ระดับน้ำตาลในเลือดปกติ แต่ระดับอินซูลินในเลือดสูงมีผลยับยั้งการสร้างกลูโคสภายในร่างกาย ถึงแม้ว่าการศึกษานี้จะไม่ได้มีการวัดผลในสภาวะที่ระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดสูง แต่อาจอนุมานได้ว่าการสร้างกลูโคสภายในร่างกายจะยิ่งลดต่ำลงไป เนื่องจากปรากฏการณ์กลูโคสเต็มประสิทธิภาพ (Glucose effectiveness) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายมีภาวะระดับน้ำตาลในเลือดสูง โดยจะส่งผลลดการสร้างกลูโคสภายในร่างกายและเพิ่มการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่เซลล์ทั่วร่างกาย (Ahrén & Pacini, 2021) ด้วยเหตุนี้ การออกกำลังกายโดยที่มีระดับอินซูลินในเลือดสูงอาจทำให้ระดับการสร้างกลูโคสภายในร่างกาย ร่วมกับการสลายไขมันมาใช้เป็นพลังงานลดลง (Erion & Corkey, 2017) ส่งผลให้ร่างกายต้องพึ่งพาไกลโคเจนในกล้ามเนื้อมากขึ้นและนำไปสู่สมรรถภาพในการออกกำลังกายที่ลดลงในท้ายที่สุด

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่ศึกษาผลของการรับประทาน HBCD ต่อระดับอินซูลินในเลือดขณะออกกำลังกายในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นมนุษย์ โดยผลที่ได้พบว่า ระดับอินซูลินในเลือดในช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 (หรือหลังจากรับประทานคาร์โบไฮเดรต 30 นาที) ของกลุ่ม HBCD และ MDX มีค่าเท่ากับ 43.26 ± 9.42 และ 42.56 ± 14.08 ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10) โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการศึกษาก่อนหน้าของ

Takii et al. (1999) ซึ่งเป็นการศึกษาในหนู และพบว่า ระดับอินซูลินในเลือดของหนูกลุ่มที่ได้รับ HBCD และกลุ่มที่ได้รับกลูโคสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การที่ระดับอินซูลินในเลือดของกลุ่ม HBCD และ MDX ไม่แตกต่างกันนั้น สาเหตุส่วนหนึ่งอาจเกิดจากการที่ HBCD และ MDX มีระยะเวลาในการถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 10 สังเกตว่าระดับน้ำตาลในเลือดในช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 ของกลุ่ม HBCD และ MDX จะมีค่าเท่ากับ 172.57 ± 20.9 และ 170.29 ± 24.67 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ โดยทั้งสองกลุ่มนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่า HBCD และ MDX จะมีโครงสร้างโมเลกุลที่แตกต่างกัน (Choi et al., 2009) และส่งผลให้อัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะของ HBCD เร็วกว่า (Takii et al., 2005) แต่อาจมีความเป็นไปได้ว่าการย่อยและดูดซึมในลำไส้ของ HBCD นั้นเกิดขึ้นช้ากว่า MDX จึงส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันและในปริมาณที่เท่ากัน และนำไปสู่การกระตุ้นการหลั่งอินซูลินที่ไม่แตกต่างกัน โดยข้อสันนิษฐานนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ M. D. Roberts et al. (2011) ซึ่งพบว่า การรับประทาน MDX ส่งผลให้ระดับอินซูลินในเลือดหลังรับประทานอาหารสูงกว่าการรับประทานแป้งที่ผ่านการดัดแปลงด้วยน้ำร้อน (Hydrothermally modified starch; HMS) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ถูกย่อยและดูดซึมช้า (Bhattacharya et al., 2007) อีกทั้งยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Notbohm et al. (2021) ที่พบว่า ระดับอินซูลินในเลือดหลังรับประทาน MDX สูงกว่าการรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่ำอย่างไอโซมอลทูลอสอย่างมีนัยสำคัญ คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้อาจแตกต่างจาก HBCD ในด้านของการมีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะที่ช้ากว่า ซึ่งส่งผลให้เคลื่อนที่ไปยังลำไส้ช้ากว่าตามไปด้วย ในขณะที่ HBCD นั้นถึงแม้ว่าจะถูกย่อยและดูดซึมช้าเช่นเดียวกัน แต่อาจมีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะที่เร็วกว่าและส่งผลให้ HBCD เคลื่อนที่ไปยังลำไส้ได้เร็วกว่าและมีระยะเวลาในการย่อยและดูดซึมนานกว่า และสะท้อนออกมาเป็นการตอบสนองของระดับน้ำตาลและระดับอินซูลินในเลือดที่ใกล้เคียงกับคาร์โบไฮเดรตที่มี GI สูงอย่าง MDX

ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย (Salivary cortisol level)

จากการวิเคราะห์ ระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย ระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คอร์ติซอลเป็นฮอร์โมนที่มีบทบาทต่อกระบวนการสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ ผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอพิเนพรีน (Kuo et al., 2015) โดยพบว่า ระดับคอร์ติซอลจะเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นในการออกกำลังกายและระยะเวลาในการออกกำลังกาย (Hill et al., 2008; Jacks et al., 2002) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การรับประทานคาร์โบไฮเดรตก่อนออกกำลังกายนั้นสามารถช่วยลดระดับคอร์ติซอลในเลือดในช่วงระหว่างและหลังออกกำลังกาย (Mor et al., 2019) โดยเป็นการลดการกระตุ้นการทำงานระหว่างไฮโปทาลามัส ต่อมพิทูอิทารี และต่อมหมวกไต หรือแกน Hypothalamic-pituitary-adrenal axis (HPA) ผ่านการป้อนกลับเชิงลบ (Negative feedback) ของตัวรับในไฮโปทาลามัส (McAllister et al., 2016) ประโยชน์ในด้านการลดการตอบสนองของระดับคอร์ติซอลต่อการออกกำลังกายอาจเป็นหนึ่งในกลไกที่ช่วยให้ การรับประทานคาร์โบไฮเดรตสามารถรักษาระดับไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ และนำไปสู่การเพิ่มสมรรถภาพความทนทานของนักกีฬา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่ศึกษาผลของการรับประทาน HBCD ต่อระดับคอร์ติซอลในน้ำลาย โดยพบว่า กลุ่ม HBCD และ MDX มีระดับคอร์ติซอลในเลือดในช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 อยู่ที่ $.29 \pm .11$ และ $.27 \pm .06$ ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ว่างานวิจัยนี้จะไม่ได้มีกลุ่มควบคุมเป็นการดื่มน้ำเปล่าเพียงอย่างเดียว แต่งานวิจัยจำนวนมากก่อนหน้านี้ (Anderson et al., 1991; De Oliveira Quirino et al., 2012; McAllister et al., 2016; Mor et al., 2019; Nehlsen-Cannarella et al., 1997) ได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตก่อนการออกกำลังกายต่อการลดระดับคอร์ติซอลเมื่อเทียบกับการดื่มน้ำเปล่า อีกทั้ง งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของระดับคอร์ติซอลในน้ำลายที่ลดลงในทั้งสองกลุ่มดังที่แสดงในรูปที่ 21 ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Roberts et al. (2011) ซึ่งพบว่า การรับประทาน HMS และ MDX ก่อนออกกำลังกายเป็นเวลา 35 นาที ส่งผลให้ระดับคอร์ติซอลในเลือดในระหว่างออกกำลังกายมีแนวโน้มที่จะลดลง อย่างไรก็ตาม ระดับคอร์ติซอลมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหลังจากออกกำลังกายเป็นเวลาตั้งแต่ 75 นาทีขึ้นไป ซึ่งคาดว่ามาจากการตอบสนองต่อระดับน้ำตาลในเลือดที่ลดลงอย่างต่อเนื่องขณะออกกำลังกาย ด้วยเหตุนี้ การที่ HBCD และ MDX ส่งผลต่อระดับคอร์ติซอลในน้ำลายไม่แตกต่างกันอาจเป็นผลมาจากการที่คาร์โบไฮเดรตทั้งสองชนิดนี้ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดไม่แตกต่างกัน และส่งสัญญาณไปยังยังการทำงานของแกน HPA ในระดับเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เป็นที่ทราบกันดีว่าระดับคอร์ติซอลมักจะ

เพิ่มขึ้นหลังจากการออกกำลังกายเป็นเวลาตั้งแต่ 30 ถึง 45 นาทีเป็นต้นไป (Kenney et al., 2015) จึงอาจมีความเป็นไปได้ว่า การทำงานวิจัยนี้ไม่พบความแตกต่างของระดับคอรัทีซอลในน้ำลายส่วนหนึ่ง อาจมาจากระยะเวลาการทดสอบที่สั้นเกินไป ดังนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความเข้าใจต่อผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างต่างกันต่อการตอบสนองของคอรัทีซอล

ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด (Blood free fatty acid level)

จากการวิเคราะห์ ระดับกรดไขมันอิสระในเลือด ระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาในการออกกำลังกายเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดการเลือกใช้แหล่งพลังงานของร่างกาย (Romijn et al., 1993) โดยไขมันจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานมากที่สุดที่ระดับความเข้มข้นในการออกกำลังกายประมาณ 60 – 65% VO_2max (Spriet, 2014b) และหากเพิ่มระดับความเข้มข้นมากกว่าระดับนี้จะทำให้ร่างกายมีการพึ่งพาคาร์โบไฮเดรตจากกลูโคสในเลือด ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ และคาร์โบไฮเดรตจากแหล่งภายนอกในร่างกายมากขึ้น และกลายเป็นแหล่งพลังงานหลักขณะออกกำลังกาย (Hargreaves & Spriet, 2018)

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตสองชนิด ได้แก่ HBCD และ MDX ต่อระดับกรดไขมันอิสระในเลือด ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนถึงอัตราการใช้ไขมันเป็นพลังงาน (Fat oxidation) โดยผลที่ได้พบว่า การรับประทาน HBCD และ MDX ส่งผลต่อระดับกรดไขมันอิสระในเลือดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังที่แสดงในตารางที่ 9 โดยผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Furuyashiki et al. (2014) ซึ่งพบว่า ระดับกรดไขมันอิสระในเลือดหลังรับประทาน HBCD และ MDX ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม ผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่มีระยะเวลาในการดูดซึมที่ต่างกันต่อระดับกรดไขมันอิสระในเลือดและอัตราการใช้ไขมันเป็นพลังงานยังค่อนข้างคลุมเครือ เนื่องจากการศึกษาที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรับประทาน MDX กับคาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่ำนั้นพบว่า ทั้งสองกลุ่มมีอัตราการใช้ไขมันเป็นพลังงานที่ไม่แตกต่างกัน (Notbohm et al., 2021) ในขณะที่กลุ่มที่รับประทาน MDX มีระดับไขมันอิสระในระหว่างการออกกำลังกายสูงกว่า (Roberts et al., 2011)

สาเหตุอาจสามารถอธิบายได้จาก 3 กลไกหลัก ได้แก่ กลไกที่หนึ่ง การออกกำลังกายในระดับความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้อัตราการไหลเวียนเลือดถูกถ่ายเทไปยังเซลล์กล้ามเนื้อมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันการไหลเวียนเลือดไปยังเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose tissue) ก็ถูกปรับลดลงตามไปด้วย (Jeukendrup & Achten, 2001) จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการปรากฏของกรดไขมันอิสระในเลือดลดลงและไม่แตกต่างกันระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX กลไกที่สองเป็นผลมาจากการเพิ่มอัตราการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานเมื่อรับประทานแหล่งคาร์โบไฮเดรตจากภายนอก เป็นที่ทราบกันดีว่า การรับประทานคาร์โบไฮเดรตก่อนออกกำลังกายช่วยรักษาอัตราการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานให้สูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นสูงและมีระยะเวลา และเป็นหนึ่งในเหตุผลที่ทำให้คาร์โบไฮเดรตสามารถเพิ่มสมรรถภาพความทนทานได้ (Coyle et al., 1986) ในทางกลับกัน การเพิ่มอัตราการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงานเป็นการบังคับให้ร่างกายลดอัตราการใช้ไขมันเป็นพลังงานด้วยเช่นกัน โดยการเพิ่มอัตราการเกิดกระบวนการไกลโคไลซิสจะส่งผลให้ปริมาณอะซิติลโคเอภายในไมโทคอนเดรียเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก และจะส่งสัญญาณเป็นกระแสย้อนกลับเชิงลบไปยังการดูดซึมกรดไขมันอิสระเข้าสู่เซลล์และลดอัตราการใช้กรดไขมันอิสระเป็นพลังงานในที่สุด (Muscella et al., 2020) โดยงานวิจัยนี้พบว่า การรับประทาน HBCD และ MDX ช่วยให้ระดับน้ำตาลในเลือดในช่วงก่อนการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 และหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 10) จึงอาจอนุมานได้ว่า คาร์โบไฮเดรตทั้งสองชนิดนี้สามารถเพิ่มอัตราการใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นพลังงาน และลดอัตราการใช้ไขมันเป็นพลังงานได้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน อีกทั้ง ระดับน้ำตาลในเลือดภายหลังการรับประทาน HBCD และ MDX ยังส่งผลกระทบต่อไปยังกลไกที่สาม ได้แก่ การตอบสนองของอินซูลิน เนื่องจากอินซูลินเป็นฮอร์โมนที่นอกจากจะทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดแล้ว ยังมีผลในการเพิ่มการดูดซึมกรดไขมันอิสระเข้าสู่เซลล์และยับยั้งกระบวนการสลายไขมันมาใช้เป็นพลังงาน (Erion & Corkey, 2017; Petersen & Shulman, 2018) ดังนั้น การที่ HBCD และ MDX ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดในระดับใกล้เคียงกัน และนำไปสู่การตอบสนองของอินซูลินในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ระดับกรดไขมันอิสระในเลือดของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Roberts et al. (2011) พบความแตกต่างของระดับกรดไขมันอิสระในเลือดภายหลังการรับประทาน MDX เมื่อเทียบกับ HMS ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่ำ ในระหว่างการ

ออกกำลังกาย แต่เป็นที่น่าแปลกใจว่า ระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งผู้วิจัยก็ไม่สามารถอธิบายเหตุผลในส่วนนี้ได้เช่นกัน

ทั้งนี้ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ของกลุ่ม HBCD ที่สูงกว่า ซึ่งบ่งบอกถึงแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้กรดไขมันอิสระเป็นพลังงาน (Frandsen et al., 2019) และหากพิจารณาร่วมกับ TTE ของงานวิจัยนี้จะสังเกตได้ว่า ถึงแม้การรับประทาน HBCD มีแนวโน้มที่จะเพิ่มอัตราการใช้ไขมันเป็นพลังงาน แต่กลับไม่ส่งผลกระทบต่อ TTE เมื่อเทียบกับการรับประทาน MDX ซึ่งเป็นการช่วยยืนยันว่า การรับประทาน HBCD อาจช่วยเพิ่มการใช้ไขมันเป็นพลังงาน ลดการพึ่งพาไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ และนำไปสู่การเพิ่มสมรรถภาพในการออกกำลังกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกกำลังกายในสภาวะที่มีไกลโคเจนในกล้ามเนื้อต่ำ เช่น การออกกำลังกายเป็นระยะเวลานาน หรือการออกกำลังกายในช่วงที่มีการจำกัดคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น (Wilburn et al., 2021)

ระดับน้ำตาลในเลือด (Blood glucose level)

จากการวิเคราะห์ ระดับน้ำตาลในเลือด ระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระดับน้ำตาลในเลือดมากที่สุด (Pearce et al., 2008) แต่ถึงกระนั้น โครงสร้างของคาร์โบไฮเดรตอาจเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญเช่นเดียวกัน เนื่องจากโครงสร้างที่แตกต่างกันนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติทางด้านเภสัชจลนศาสตร์ที่แตกต่างกัน เช่น ความเร็วในการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหาร และความเร็วในการย่อยและดูดซึมในลำไส้ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวกำหนดอัตราการปรากฏของกลูโคสในเลือด (Rate of glucose appearance) และนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดที่แตกต่างกัน (Wolever & Bolognesi, 1996) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบอิทธิพลของคาร์โบไฮเดรตแต่ละชนิดต่อระดับน้ำตาลในเลือดได้ จึงเกิดเป็นแนวคิดในการจัดตั้งค่าดัชนีน้ำตาลของอาหาร และนำมาใช้ในการให้คำแนะนำผู้ป่วยที่ต้องมีการจำกัดปริมาณคาร์โบไฮเดรต (American Diabetes, 2003)

งานวิจัยนี้พบว่า การรับประทาน HBCD และ MDX ส่งผลกระทบต่อระดับน้ำตาลในเลือดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการเปรียบเทียบ

ระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทาน HBCD และคาร์โบไฮเดรตที่มี GI สูง (Chuychai et al., 2022; Furuyashiki et al., 2014; Takii et al., 2004) ผลลัพธ์ดังกล่าวมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากในทางทฤษฎี HBCD มีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่ากลูโคสพอลิเมอร์ทั่วไป และต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยและดูดซึมนาน (Choi et al., 2009) แต่การศึกษาในมนุษย์ที่ผ่านมากลับพบว่า การรับประทาน HBCD และกลูโคสหรือกลูโคสพอลิเมอร์ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานไม่แตกต่างกัน มีหน้าซ้ำ การศึกษาของ Shiraki et al. (2015) ยังแสดงให้เห็นว่า ระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทาน HBCD นั้นสูงกว่าการรับประทานกลูโคส ทั้งยังมีแนวโน้มที่ระดับน้ำตาลของกลุ่ม HBCD นี้จะสูงกว่ากลุ่มกลูโคสตลอดระยะเวลาการออกกำลังกายอีกด้วย

ในด้านการเปรียบเทียบระดับน้ำตาลในเลือดระหว่างการรับประทาน MDX กับคาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่ำ พบว่า กลุ่มที่รับประทาน MDX มีระดับน้ำตาลในเลือดหลังรับประทานอาหารสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของระดับน้ำตาลในเลือดระหว่างการรับประทานคาร์โบไฮเดรตทั้งสองชนิดจะเริ่มลดลงจนไม่มีนัยสำคัญภายหลังจากการออกกำลังกายไปเป็นเวลาประมาณ 30 นาที (Notbohm et al., 2021; Roberts et al., 2011) เนื่องจากในขณะออกกำลังกายนั้น ประมาณร้อยละ 90 – 95 ของปริมาณกลูโคสที่ถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดจะถูกขนส่งต่อเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อทันทีเพื่อนำไปใช้สร้างพลังงาน (Jeukendrup et al., 1999) นอกจากนี้ การศึกษาของ König et al. (2016) ยังพบว่า การรับประทาน MDX ยังอาจนำไปสู่ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำภายหลังจากการรับประทานอาหารอีกด้วย จากความแตกต่างในด้านการตอบสนองของระดับน้ำตาลในเลือดต่อการรับประทาน HBCD หรือ MDX กับคาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่างกัน จะพบว่า มีความเป็นไปได้ที่ HBCD นั้นจะไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่ำตามทฤษฎี (Choi et al., 2009) ซึ่งสาเหตุบางส่วนอาจอธิบายได้จากกระบวนการย่อยและดูดซึมภายในระบบทางเดินอาหาร โดย HBCD นั้นมีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารที่เร็วกว่ากลูโคสพอลิเมอร์ (Takii et al., 2005) แต่อาจต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยและดูดซึมที่นานกว่าภายในลำไส้ ในขณะที่เดียวกัน MDX อาจมีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารที่ช้ากว่า แต่เนื่องจากโครงสร้างเป็นเส้นตรงไม่ซับซ้อน จึงส่งผลให้อัตราการย่อยและดูดซึมภายในลำไส้เร็วกว่า ประกอบกับกล้ามเนื้อมีกระบวนการดูดซึมกลูโคสโดยที่ไม่ต้องพึ่งพาอินซูลิน (Zierath, 2002) โดยสังเกตจากการตอบสนองของระดับอินซูลินในเลือดหลังจากการรับประทานคาร์โบไฮเดรตก่อนออกกำลังกาย โดยที่ระดับอินซูลินในเลือดนั้นอยู่ในระดับต่ำอย่างคงที่ตลอดระยะเวลาที่ออกกำลังกาย ในขณะที่ระดับน้ำตาลในเลือดกลับค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ

ในช่วงเวลาเดียวกัน (Notbohm et al., 2021; Roberts et al., 2011) กลไกดังกล่าวทำให้ประโยชน์ของการรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่ำ ในช่วงก่อนหรือแม้กระทั่งระหว่างการออกกำลังกายต่อการควบคุมระดับน้ำตาลและอินซูลินในเลือดนั้นลดน้อยลงจนอาจไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้น ด้วยปัจจัยทั้งหมดนี้จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของระดับน้ำตาลในเลือดระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX

ระดับแลคเตทในเลือด (Blood lactate level)

จากการวิเคราะห์ ระดับแลคเตทในเลือด ระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แลคเตทครั้งหนึ่งเคยถูกขนานนามว่าเป็น ของเสียที่เกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิสและเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะกรดในเลือด จนก่อให้เกิดอาการเหนื่อยล้าและไม่สามารถออกกำลังกายต่อไปได้ (Rabinowitz & Enerbäck, 2020) อย่างไรก็ตาม การศึกษาในปัจจุบันได้มีการชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ของแลคเตทในแง่ของการเป็นแหล่งพลังงาน โดยร้อยละ 75 ของแลคเตทที่เกิดขึ้นในขณะออกกำลังกายจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงาน และช่วยลดการพึ่งพาการใช้กลูโคสและกรดไขมันเป็นพลังงาน ส่วนแลคเตทที่เหลือจะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการกลูโคเนโอเจเนซิสภายในตับและไต (Brooks, 2009) ทั้งยังมีหลักฐานแสดงให้เห็นว่า แลคเตทไม่ได้เป็นสาเหตุของการเกิดสภาวะความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด (Lindinger et al., 2005; Robergs et al., 2004) ส่งผลให้แนวคิดเกี่ยวกับแลคเตทในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไป และไม่ได้ถูกมองว่าเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการไกลโคไลซิสในสภาวะอนาการณียอีกต่อไป (Hall et al., 2016)

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การรับประทาน HBCD และ MDX ส่งผลต่อระดับแลคเตทในเลือดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกช่วงเวลา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้า (Chuychai et al., 2022; Furuyashiki et al., 2014) เนื่องจากระดับแลคเตทที่เพิ่มสูงขึ้นขณะออกกำลังกายเป็นผลมาจากความไม่สมดุลกันระหว่างอัตราการเกิดกระบวนการไกลโคไลซิสที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นสูง และอัตราการเกิดออกซิเดทีฟฟอสโฟรีเลชันที่เกิดขึ้นช้ากว่ามาก (van Hall, 2010) อย่างไรก็ตาม การรับประทาน HBCD มีแนวโน้มที่จะทำให้ระดับแลคเตทในเลือดภายหลังจากการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 สูงกว่าการรับประทาน MDX ซึ่งสอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Shiraki et al. (2015) ที่พบว่า การรับประทาน HBCD ส่งผลให้ระดับแลคเตทในเลือด หลังการว่ายน้ำที่ความเข้มข้น 90% VO_2max สูงกว่ากลุ่มที่รับประทานกลูโคสหรือน้ำเปล่าอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการศึกษาดังกล่าวให้เหตุผลว่า HBCD ช่วยให้กล้ามเนื้อนำกลูโคสมาใช้เป็น พลังงานผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสได้มากกว่า เนื่องจากระดับน้ำตาลในเลือดของกลุ่ม HBCD นั้น สูงกว่ากลุ่มกลูโคสและน้ำเกือบทุกจุดเวลา จึงอาจเป็นไปได้ว่า HBCD ช่วยเพิ่มอัตราการใช้ คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานมากขึ้นผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสและสะท้อนออกมาเป็นระดับ แลคเตทที่สูงขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม ข้อสันนิษฐานดังกล่าวขัดแย้งกับงานวิจัยของ König et al. (2016) ซึ่งพบว่า ถึงแม้ว่าการรับประทานคาร์โบไฮเดรตที่มี GI ต่ำจะช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือด ขณะออกกำลังกายให้สูงกว่าการรับประทาน MDX อย่างมีนัยสำคัญ แต่กลับไม่ได้ส่งผลให้ระดับแลค เตทในทั้งสองกลุ่มแตกต่างกัน ทั้งยังไม่ได้สะท้อนออกมาเป็นผลลัพธ์ในด้านสมรรถภาพความทนทาน ที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด ซึ่งสอดคล้องกับผลของงานวิจัยนี้ที่ไม่พบความแตกต่างของระดับน้ำตาลในเลือด ระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ในทุกช่วงเวลา ดังนั้น จึงไม่อาจกล่าวได้ว่าการรับประทาน HBCD จะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดไกลโคไลซิส นอกจากนี้ เป็นที่น่าสังเกตว่า ระดับแลคเตทในเลือด ในช่วงขณะพักของกลุ่มตัวอย่างนั้นมีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถหาสาเหตุมาอธิบายได้ เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างได้มีการพักผ่อนเป็นเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์ก่อนเริ่มการทดสอบครั้งที่ 2 อีกทั้ง กลุ่มตัวอย่างได้ทำการนั่งพักเป็นเวลา 15 นาทีก่อนเริ่มการเก็บตัวอย่างเลือดสำหรับใช้เป็นค่า อ้างอิงขณะพัก

ด้านอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร

อาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal symptoms)

จากการวิเคราะห์ อาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร ระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กีฬาวิ่งมาราธอนนั้นเป็นกีฬาที่มีการทดสอบเทียบกับเวลา (Time trial) ส่งผลให้นักกีฬาไม่ เพียงแต่จะต้องมีความทนทานในการวิ่งให้ได้เป็นเวลานานเท่านั้น แต่ยังคงรักษาระดับความเข้มข้น หรือความเร็วในการวิ่งด้วย ซึ่งการออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นสูงนั้นจะกระตุ้นให้ระบบ ประสาทซิมพาเทติกทำงานมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการปรับการกระจายการไหลเวียนเลือดไปยังอวัยวะ

ต่าง ๆ ที่ร่างกายเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการ ณ ขณะนั้น โดยพบว่า ระบบการไหลเวียนเลือดที่ทางเดินอาหารและตับ (Splanchnic blood flow; SBF) จะถูกปรับลดลงถึงร้อยละ 80 เมื่อออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้น 70% VO_2max เป็นเวลา 40 นาทีเป็นต้นไป (Rehrer et al., 2001) กระบวนการนี้เกิดขึ้นแบบอัตโนมัติและมนุษย์ไม่สามารถที่จะฝึกฝนเพื่อลดผลกระทบเหล่านี้ได้ (McAllister, 1998) SBF ที่ลดลงจากการออกกำลังกายส่งผลให้เกิดภาวะระบบทางเดินอาหารขาดเลือด (GI ischemia) ลดการขยับตัวของลำไส้ (GI motility) และนำมาซึ่งการเกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ter Steege & Kolkman, 2012)

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การรับประทาน HBCD และ MDX เป็นเวลา 30 นาทีก่อนออกกำลังกายไม่ก่อให้เกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Takii et al. (2004) โดยพบว่า การรับประทาน HBCD เป็นเวลา 10 นาทีก่อนปั่นจักรยานก่อให้เกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารน้อยกว่าการรับประทานกลูโคส ซึ่งอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารนั้นส่งผลเสียต่อร่างกายในหลายระดับ โดยอาจเป็นไปได้ตั้งแต่การลดสมรรถภาพในการออกกำลังกายไปจนถึงก่อให้เกิดภาวะที่เป็นอันตรายถึงชีวิต (Simons & Kennedy, 2004) นอกเหนือจากระดับความเข้มข้นในการออกกำลังกาย อาหารและเครื่องดื่มที่รับประทานก่อนออกกำลังกายก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารเช่นกัน (Peters et al., 1999) โดยพบว่า ปริมาณพลังงานส่งผลต่ออัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหารของเครื่องดื่ม (Brouns, 1998) ทั้งนี้ หากระบุให้เจาะจงขึ้นควรกล่าวว่ แรงดันออสโมติกอันเกิดจากปริมาณความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายอยู่ในเครื่องดื่ม เป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหาร (Maughan, 1998) โดยการศึกษาของ Takii et al. (2005) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคสในเครื่องดื่มจะส่งผลให้แรงดันออสโมติกเพิ่มขึ้น ซึ่งแรงดันออสโมติกนี้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนผ่านกระเพาะอาหาร การออกกำลังกายในขณะที่มีอาหารอยู่ในท้องนั้นเป็นการเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดอาการเสียดท้อง (Plunkett & Hopkins, 1999) ดังนั้น เครื่องดื่มที่มีความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตสูงอาจเป็นผลเสียมากกว่าผลดีในกรณีที่เครื่องดื่มนั้นก่อให้เกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของ HBCD ในการเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตจากภายนอกโดยที่ไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงภายในระบบทางเดินอาหาร ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการที่ HBCD นั้นมีอัตราการเคลื่อนผ่านกระเพาะที่รวดเร็วกว่าสารละลายกลูโคสพอลิเมอร์ทั่วไป (Takii et al., 2005) ถึงกระนั้น แม้ว่า MDX จะส่งผล

ต่อออสโมลาริตีของสารละลายสูงกว่า HBCD แต่การรับประทาน MDX ขณะออกกำลังกายมักก่อให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหารน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการรับประทานกลูโคส (Rowlands et al., 2012; Wilson et al., 2015) จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้งานวิจัยนี้ไม่พบความแตกต่างระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ในด้านการก่อให้เกิดอาการทางระบบทางเดินอาหารขณะออกกำลังกาย อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยไม่สามารถตัดความเป็นไปได้ที่ว่า การทดสอบวิ่งทั้งสองครั้งอาจจะมีระยะเวลาหรือระดับความเข้มข้นไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารจากการออกกำลังกาย ส่งผลให้ไม่เห็นความแตกต่างระหว่างการรับประทาน HBCD และ MDX ได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ ผู้วิจัยอาจพอจะกล่าวได้ว่าการรับประทาน HBCD และ MDX เป็นเวลา 30 นาที ก่อนออกกำลังกายที่ความเข้มข้นระดับปานกลางมีความปลอดภัย โดยที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหารต่อนักกีฬา

ข้อจำกัดของการวิจัย

- 1) ไม่สามารถควบคุมปริมาณอาหาร รวมถึงสัดส่วนของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันในอาหารของผู้ร่วมวิจัยในวันก่อนเข้าร่วมการทดสอบ เนื่องจากปัจจัยบางประการ เช่น ความชอบส่วนบุคคล ความสะดวกสบายในการจัดส่ง รวมถึงการวิถีการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้เข้าร่วม เป็นต้น
- 2) วิธีการทดสอบหาระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการทดสอบนำร่องไม่สามารถกำหนดให้ระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ จึงมีการปรับเปลี่ยนวิธีทดสอบ ซึ่งอาจส่งผลต่อผลลัพธ์ของตัวแปรบางตัว
- 3) ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาไม่เท่ากัน เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการเก็บตัวอย่างเลือดและน้ำลายหลายวิธีเพื่อตรวจวัดค่าตัวแปรที่หลากหลาย จึงส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างของผู้เข้าร่วมแต่ละคนไม่เท่ากัน
- 4) ไม่ได้มีการเก็บข้อมูลตัวแปรระดับอินซูลินและระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในช่วงหลังการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 เนื่องจากผู้วิจัยเล็งเห็นว่าขั้นตอนการเก็บตัวอย่างค่อนข้างใช้เวลานาน และอาจส่งผลกระทบต่อผลของการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นการทดสอบที่สำคัญที่สุดสำหรับการวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม การไม่มีข้อมูลตัวแปรทั้งสองตัวในจุดเวลานี้อาจส่งผลให้พลาดการสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงบางอย่างจากงานวิจัยได้

ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการจัดส่งมื้ออาหารอย่างน้อย 1 มื้อในช่วงมื้อเย็นหรือมื้อสุดท้ายก่อนเข้าร่วมการทดสอบให้กับผู้ร่วมวิจัย เพื่อควบคุมให้ระดับไกลโคเจนในกล้ามเนื้อมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดในทุกสองครั้งของการเข้าร่วม

2) หากต้องการลดระยะเวลาการทดสอบวิ่งครั้งที่ 2 ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบในช่วงการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 แทน ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้เข้าร่วมเกิดภาวะไกลโคเจนในกล้ามเนื้อพร่อง ซึ่งอาจจะช่วยให้สามารถเห็นความเปลี่ยนแปลงระหว่างการรับประทานคาร์โบไฮเดรตทั้งสองครั้งได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

3) ควรเพิ่มความถี่ในการเก็บข้อมูล โดยอาจทำร่วมกับการเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบวิ่งครั้งที่ 1 เพื่อให้สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น

4) ควรวัดค่าออสโมลาลิตีของเครื่องดื่มทั้งสองชนิด เพื่อยืนยันความแตกต่างระหว่างผลของไฮลิบรานซีเซคลิกซ์เดกซ์ทรินและมอลโทเดกซ์ทริน



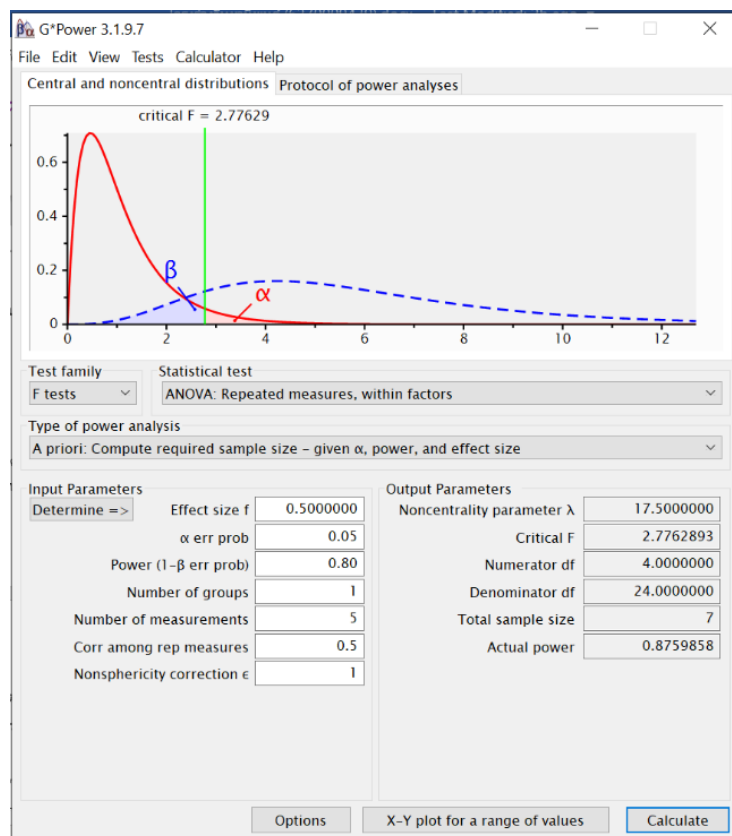


ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

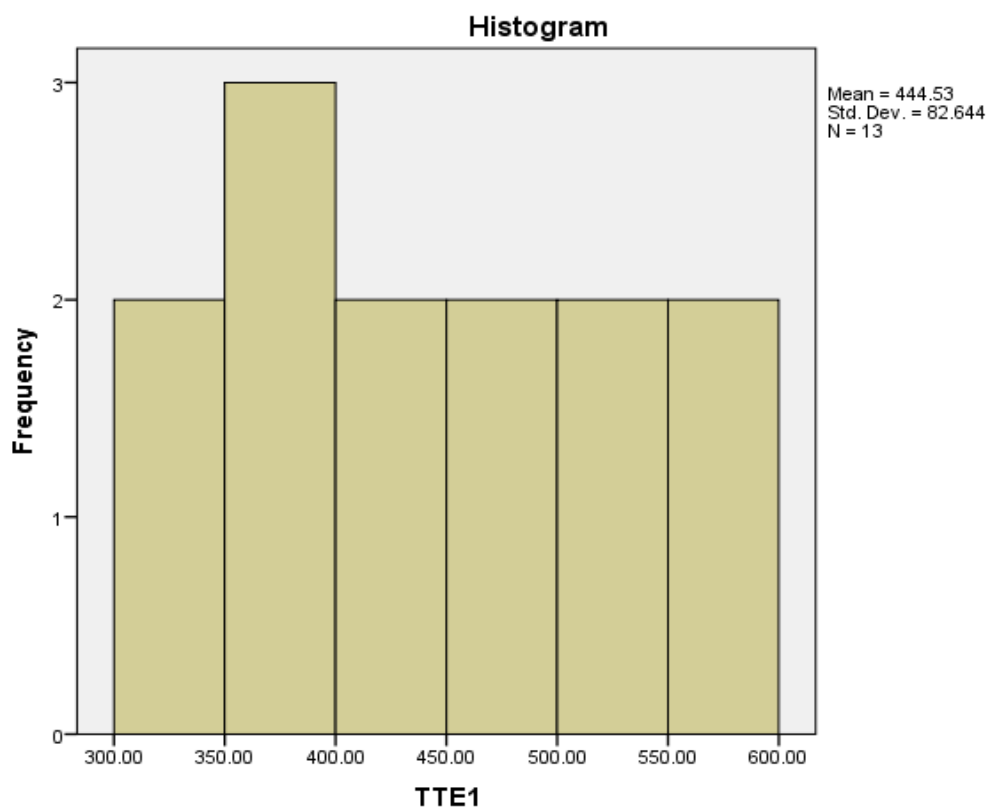
การคำนวณขนาดตัวอย่างโดยนำภาพจากการใช้โปรแกรม G*Power



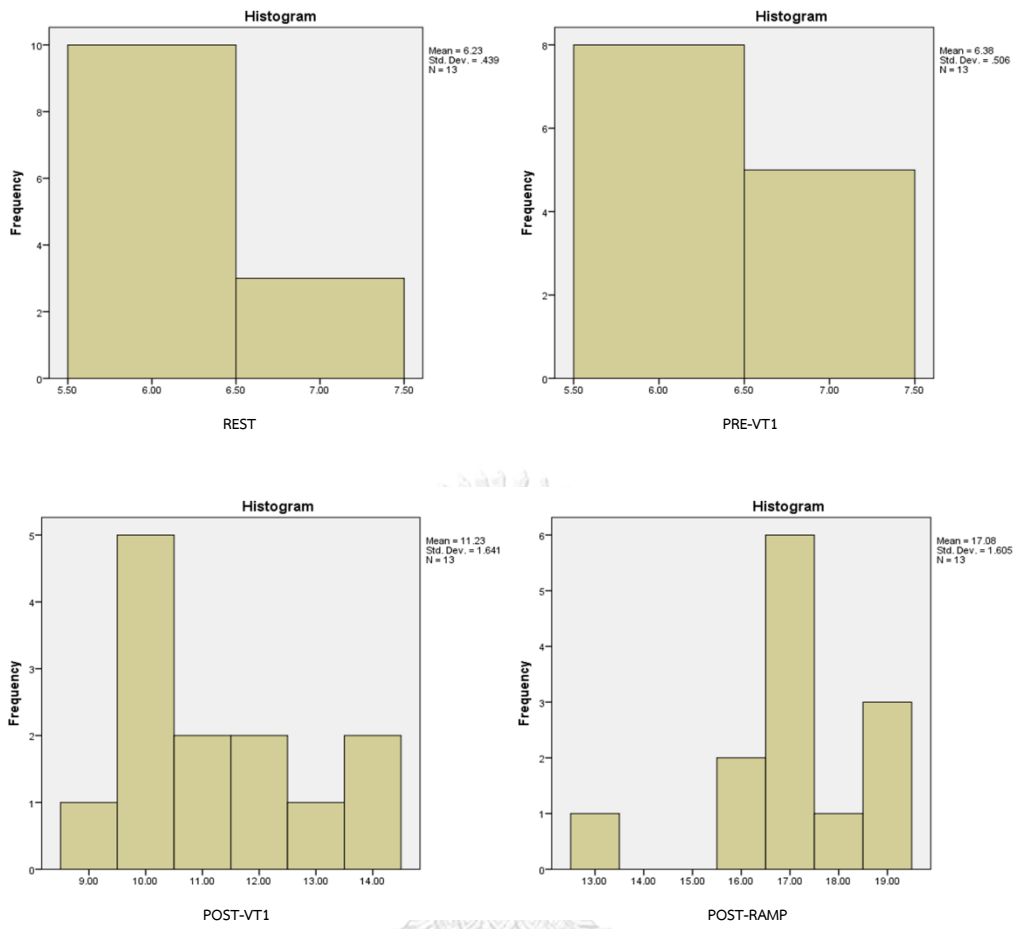
รูปที่ 28 การคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม G*Power

ภาคผนวก ข

การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล

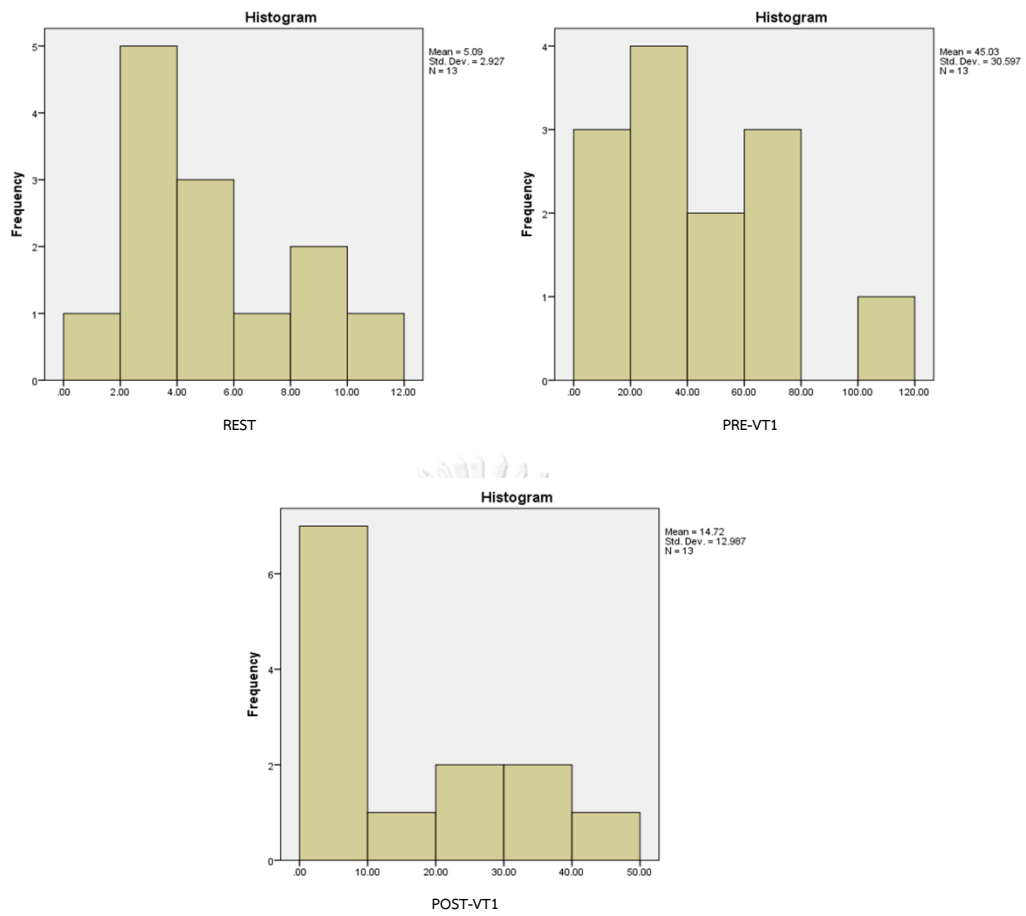


รูปที่ 29 การกระจายตัวของข้อมูลระยะเวลาในการออกกำลังกายจนเหนื่อยหมดแรง

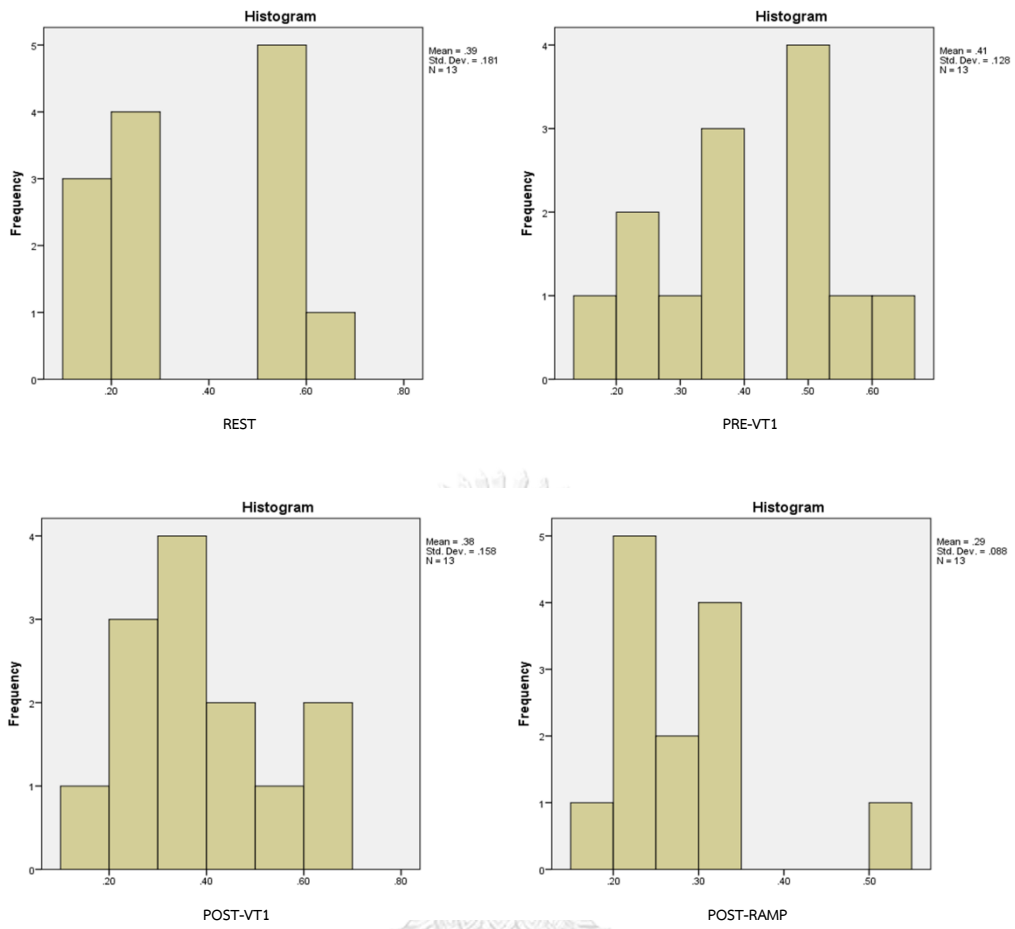


รูปที่ 30 การกระจายตัวของข้อมูลระดับความรู้ต่อความเหนื่อยล้าในแต่ละจุดเวลา

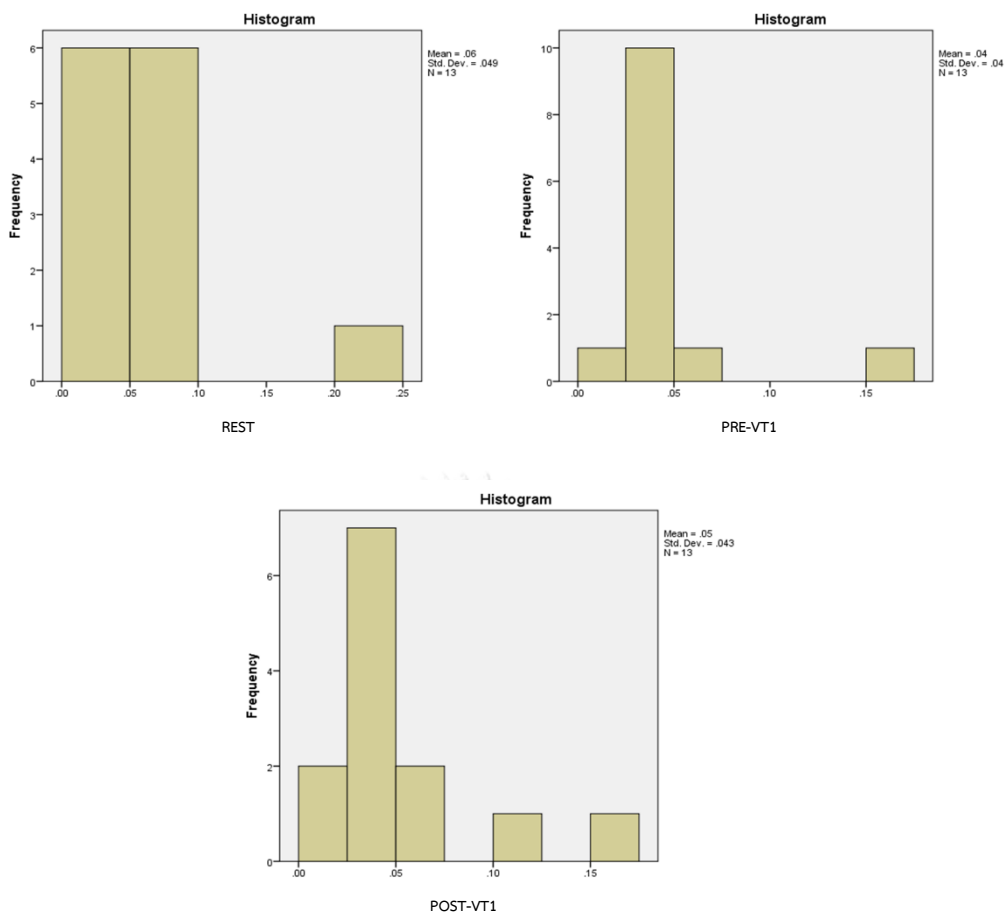




รูปที่ 31 การกระจายตัวของข้อมูลระดับอินซูลินในเลือดในแต่ละจุดเวลา

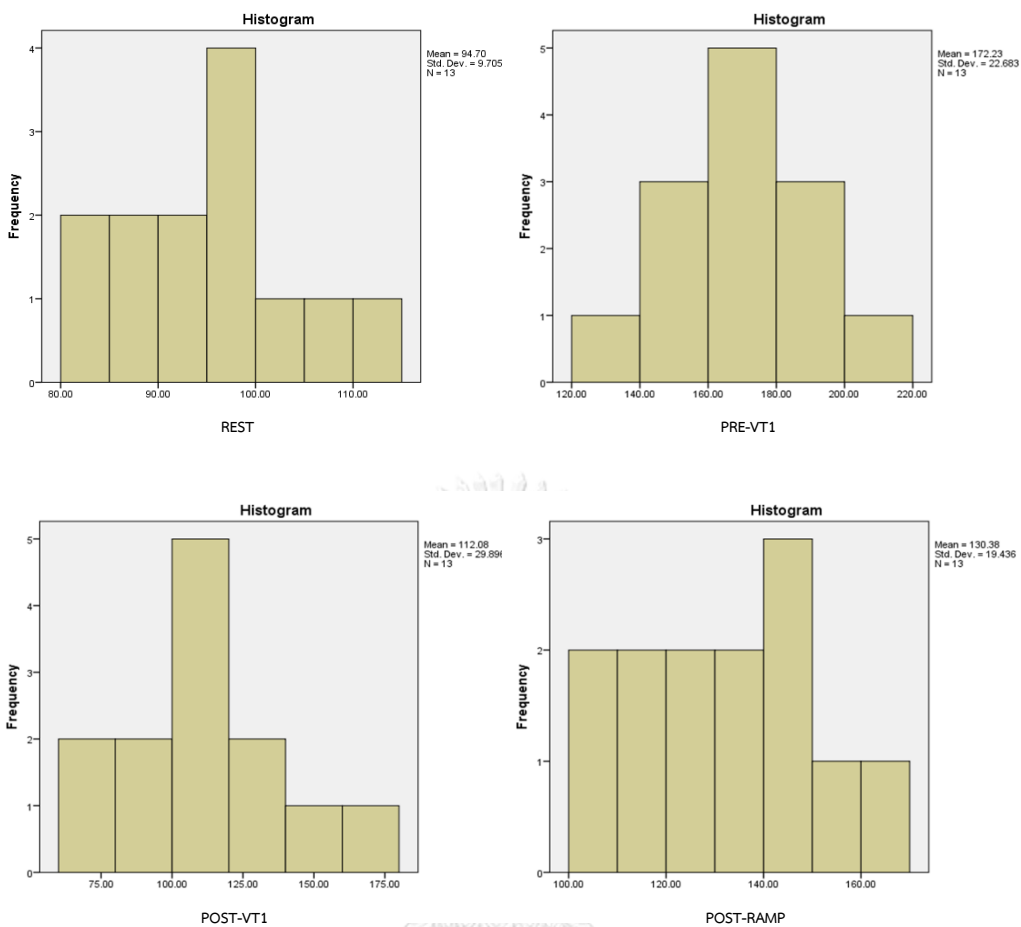


รูปที่ 32 การกระจายตัวของข้อมูลระดับคอร์ติซอลในน้ำลายในแต่ละจุดเวลา



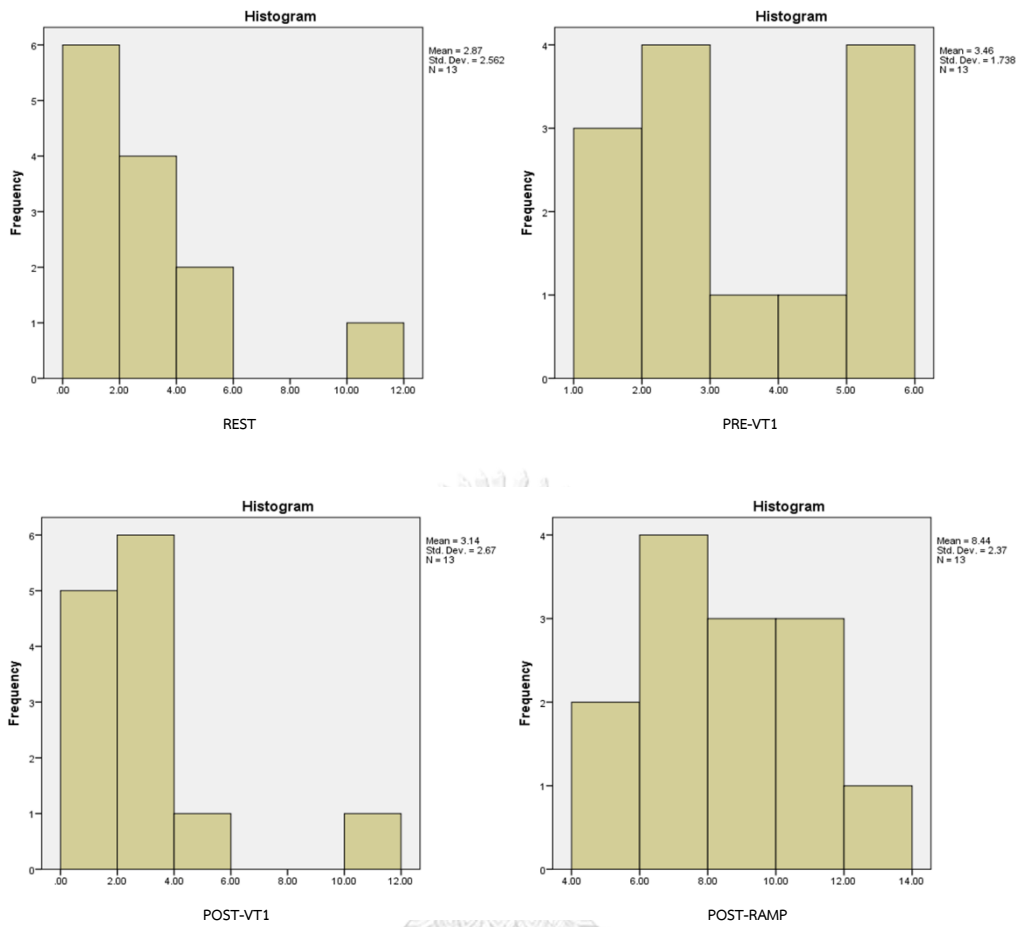
รูปที่ 33 การกระจายตัวของข้อมูลระดับกรดไขมันอิสระในเลือดในแต่ละจุดเวลา





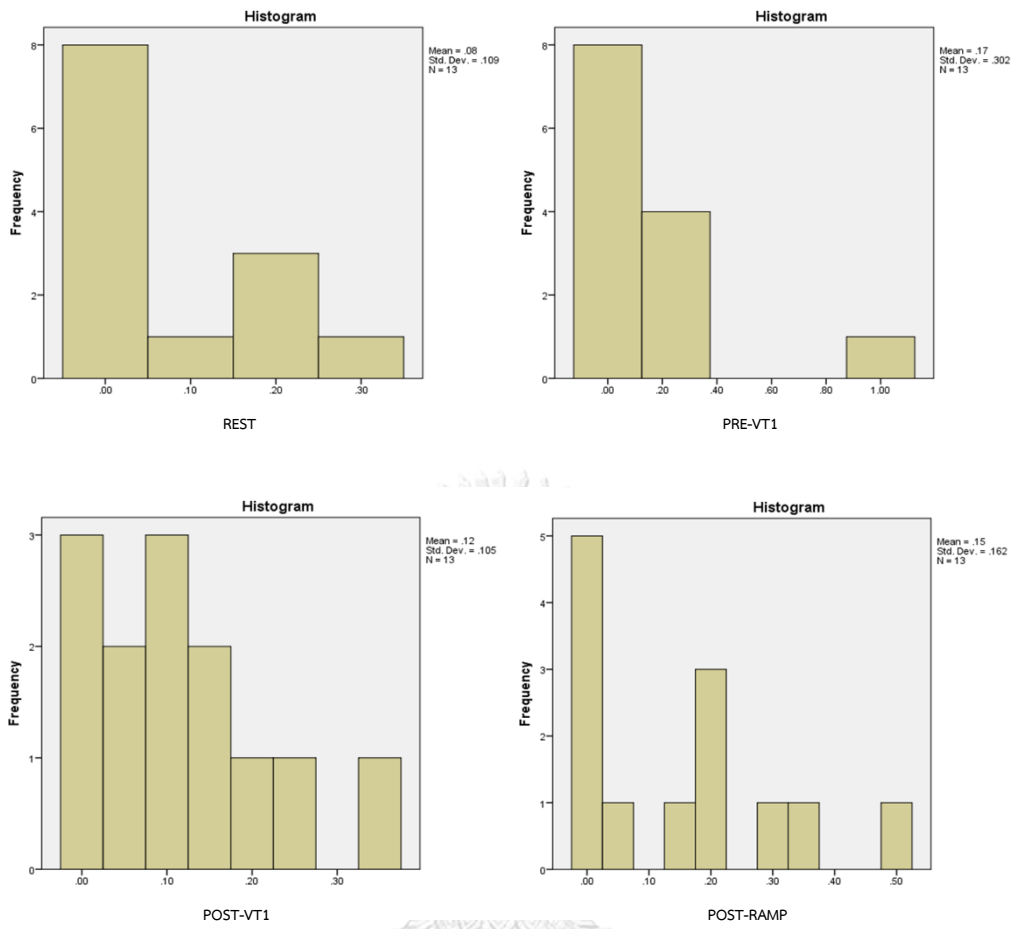
รูปที่ 34 การกระจายตัวของข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือดในแต่ละจุดเวลา



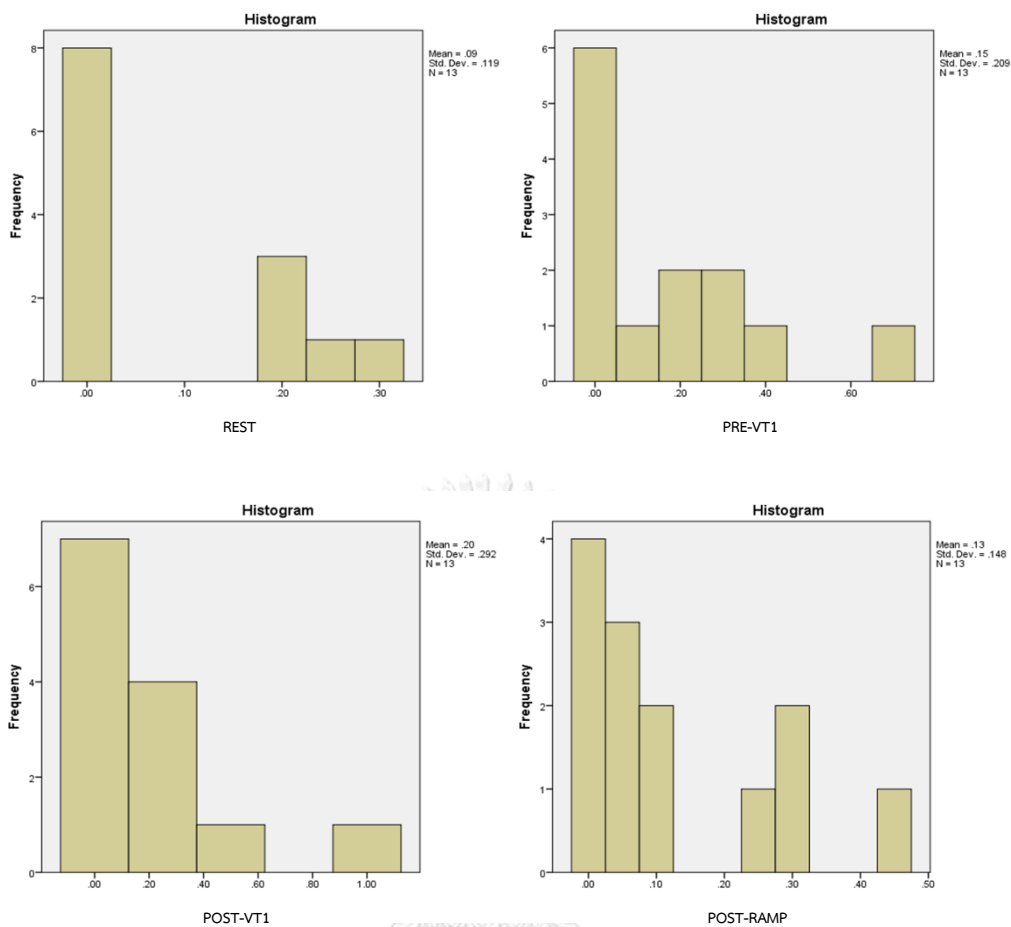


รูปที่ 35 การกระจายตัวของข้อมูลระดับแลคเตทในเลือดในแต่ละจุดเวลา

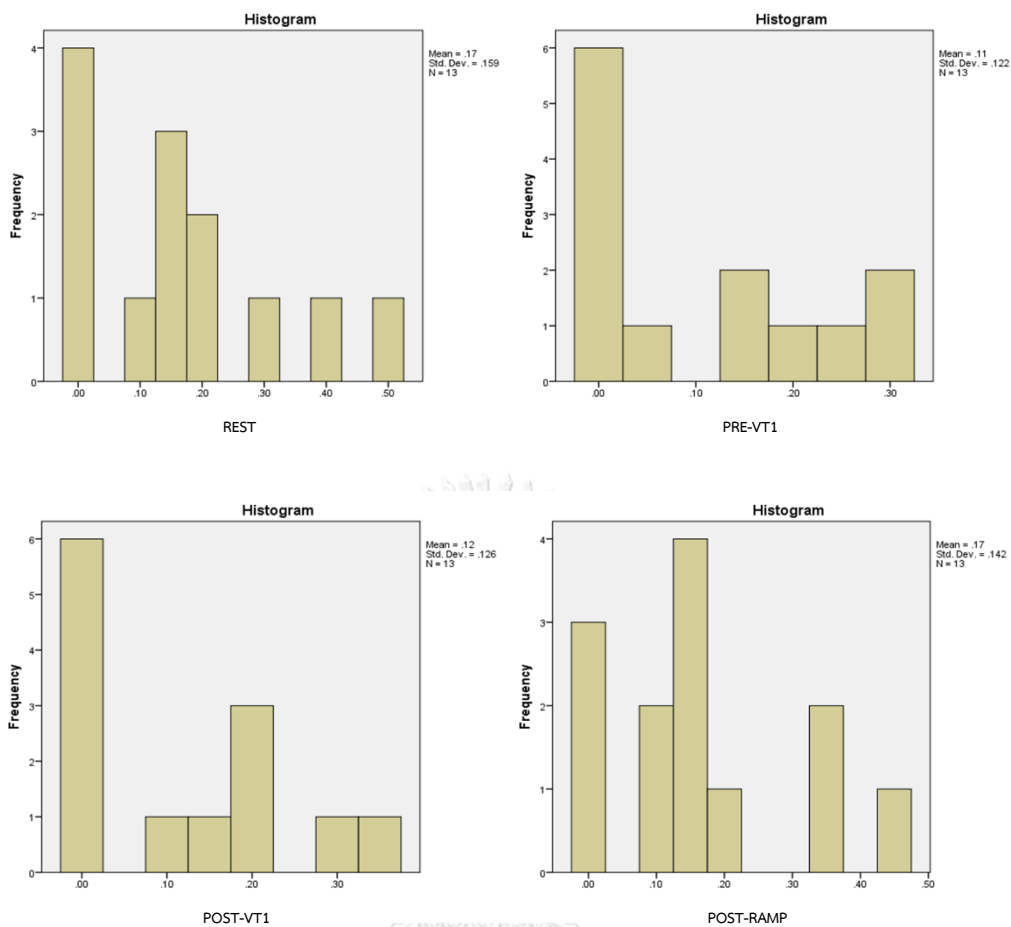




รูปที่ 36 การกระจายตัวของข้อมูลการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ปวดท้อง) ในแต่ละจุดเวลา



รูปที่ 37 การกระจายตัวของข้อมูลอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (ท้องอืด) ในแต่ละจุดเวลา



รูปที่ 38 การกระจายตัวของข้อมูลอาการแสดงทางระบบทางเดินอาหาร (คลื่นไส้) ในแต่ละจุดเวลา

ภาคผนวก ค

เอกสารอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์

แบบเสนอขออนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์	บม.2
ต่อคณะกรรมการบริหารคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	
คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ใช้ตัวพิมพ์เท่านั้น)	

ชื่อ (นาย/นาง/นางสาว).....ธวัช หนึ่งแล้ว.....รหัส 6 2 7 0 0 0 9 4 3 9
 นิสิตแขนงวิชา.....การเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬา.....วิทยานิพนธ์.....12.....หน่วยกิต
 เข้าเรียนในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ตั้งแต่ภาคการศึกษา ต้น ปลาย ปีการศึกษา.....2562.....
 ที่อยู่ติดต่อสะดวก 85 ซ.ก้านแก่น 13 แยก 27 ถ.เอกชัย แขวงคลองบางพราน เขตบางบอน กทม. 10150.....โทรศัพท์.....
 มือถือ.....095.827.5225.....E-MAIL.....Thanatat.saelao@gmail.com.....

มีความประสงค์ขออนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์ เพื่อดำเนินการต่อไป
 หัวข้อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....ผลของการรับประทานโมโนสแตคอินที่สกัดจากพืชสมุนไพรในทางวิ่ง ฮอริโมนที่ควบคุมระดับน้ำตาล
 โมเลกุล และการตอบสนองด้านเมแทบอลิซึมในนักวิ่งระยะไกล.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ(พิมพ์ตัวพิมพ์ใหญ่ทุกตัว).....EFFECTS OF HIGHLY BRANCHED CYCLIC DEXTRIN INGESTION ON
 RUNNING PERFORMANCE, GLUCOREGULATORY HORMONES, AND METABOLIC RESPONSES AMONG LONG-DISTANCE
 RUNNERS.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ หล่อศิริวัฒน์.....โทรศัพท์.....081.907.9899.....

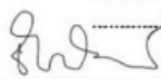
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....-.....โทรศัพท์.....-.....

และได้แนบโครงการวิจัย จำนวน.....1.....ชุด มาด้วย


ทั้งนี้ มีมติอนุมัติจากที่ประชุมคณะกรรมการบริหารหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ครั้งที่.....12/2564.....วันที่.....12 ก.ค.2564.....

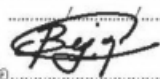
โดยแต่งตั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดังมีรายนามต่อไปนี้


.....อาจารย์ ดร. ทศพร นิยมชัย.....	ประธานกรรมการ
.....รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ หล่อศิริวัฒน์.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
.....-.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
.....อาจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ อภิภาณุกุล.....	กรรมการ
.....รองศาสตราจารย์ ดร. นฤมล ลิลาญวัฒน์.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

ลงชื่อ..........อาจารย์ที่ปรึกษา
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ หล่อศิริวัฒน์)
22...../.....7...../.....64.....

ลงชื่อ.....
 (.....)
22...../.....7...../.....64.....

ลงชื่อ.......... นิสิต
 (.....นายธวัช หนึ่งแล้ว.....)
22...../.....7...../.....64.....

ลงชื่อ..........
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เบญจพล เบญจพลกร)
 ประธานแขนงวิชาการเสริมสร้างสมรรถนะทางการกีฬา
22...../.....7...../.....64.....


ลงชื่อ..........
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรพร ท่องตะโด)
 เลขานุการคณะกรรมการบริหารหลักสูตรฯ
23 / ก.ค. / 64.....

มติจากที่ประชุมคณะกรรมการบริหารคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา ครั้งที่.....813564.....วันที่.....๒๓ ก.ค. ๖๔.....

อนุมัติ โดยไม่แก้ไข

อนุมัติ โดยมีข้อแก้ไขดังนี้

ปรับแก้ 1. ชื่อเรื่องให้สอดคล้อง และครบถ้วนของชื่อตัวว่า "คุณภาพ"
 มีรายละเอียด คำว่า "คุณภาพ" แทน

ลงชื่อ..........
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุระ โฉงประเสริฐ)
 เลขานุการคณะกรรมการบริหารคณะฯ
๒๓ ก.ค. / ๖๔.....

ภาคผนวก ง

เอกสารรับรองโครงการวิจัย

จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์: 02-218-3202, 02-218-3049 Email: eccu@chula.ac.th

COA No. 110/65

ใบรับรองโครงการวิจัย

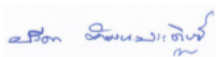
โครงการวิจัยที่ 650034 : ผลของการรับประทานโอลีสับรูโซคลิกเด็กหรือต่อสมรรถภาพในการวิ่ง ออร์โมนที่ควบคุม
ระดับน้ำตาลในเลือด และการตอบสนองด้านเมแทบอลิซึมในกึ่งระยะไกลเพศชาย

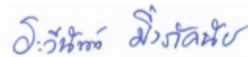
ผู้วิจัยหลัก : นาย ธนทัต แซ่เล่า

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้พิจารณาโดยใช้หลักของ Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOM) 2016, มาตรฐานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน (ค.) 2560, นโยบายแห่งชาติ และแนวทางการปฏิบัติการวิจัยในมนุษย์ 2558 อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม 
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ ปริดา หัตถประดิษฐ์)
ประธาน

ลงนาม 
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ระวีพันธ์ มิ่งภักดิ์)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 23 พฤษภาคม 2565

วันหมดอายุ : 22 พฤษภาคม 2566

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1. เอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย
2. โครงการวิจัย
3. ผู้วิจัย
4. เครื่องมือวิจัย
5. ใบประชาสัมพันธ์

หมายเหตุ

1. ข้าพเจ้ารับทราบว่าการผลิตจริยธรรม หากดำเนินการกับข้อมูลการวิจัยก่อนได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย
2. หากไม่ปฏิบัติตามจริยธรรมข้อนี้ การดำเนินการวิจัยที่ผิดกฎหมายจะถือว่าผิดกฎหมายและมีโทษจำคุกไม่เกิน 1 เดือน หรือปรับไม่เกิน 5,000 บาท หรือทั้งจำคุกปรับ
3. สิ้นสุดการวิจัยเมื่อเสร็จสิ้นโครงการวิจัยแล้วเสร็จ
4. ให้เอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย ใบยินยอมของผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และเอกสารอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้
5. หากมีเหตุสุดวิสัยที่จำเป็นต้องระงับการวิจัยในคนก่อนที่โครงการวิจัยจะเสร็จสิ้น ให้แจ้งคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนทราบ
6. หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้แจ้งคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนทราบ
7. หากผู้วิจัยหรือผู้เกี่ยวข้องกับการวิจัยในคน 2 สัปดาห์ก่อนดำเนินการวิจัย
8. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่วนระยะเวลาสิ้นสุดโครงการวิจัย (AF 01-15) และบทบัญญัติโครงการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น ส่วนโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ยื่นขอต่อคณะกรรมการภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยเสร็จสิ้น
9. โครงการวิจัยที่มีจริยธรรม จะรับรองโครงการเป็นระยะ เมื่อดำเนินการวิจัยในคนเสร็จสิ้นแล้ว ให้ดำเนินการส่งรายงานความก้าวหน้า พร้อมโครงการวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องไปยังคณะกรรมการ
10. คณะกรรมการฯ สงวนสิทธิ์ในการตรวจสอบและติดตามการดำเนินการวิจัย
11. ส่วนใบโครงการวิจัยจากภายนอก ผู้บริหารหน่วยงาน กว่าการดำเนินการวิจัย



เลขที่โครงการวิจัย 650034
วันที่รับรอง 23 พ.ค. 2565
วันที่หมดอายุ 22 พ.ค. 2566

Digital Certificate

ภาคผนวก จ

เอกสารรับรองการต่ออายุโครงการวิจัย

จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์: 02-218-3202, 02-218-3049 Email: eccu@chula.ac.th

COA No. 117/66

ใบรับรองโครงการวิจัย

โครงการวิจัยที่ 650034 : ผลของการรับประทานไอส์บรูซโคลิคเด็กหรือต่อสมรรถภาพในการวิ่ง ออร์โมนที่ควบคุม
ระดับน้ำตาลในเลือด และการตอบสนองด้านเมแทบอลิซึมในระยะไกลเพศชาย

ผู้วิจัยหลัก : นายธนทัต แซ่เล่า

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ได้พิจารณาโดยใช้หลักของ Belmont Report 1979, Declaration of Helsinki 2013, Council for International
Organizations of Medical Sciences (CIOM) 2016, มาตรฐานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน (ค.) 2560, นโยบายแห่งชาติ
และแนวทางปฏิบัติการวิจัยในมนุษย์ 2558 อนุมัติให้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวได้

ลงนาม



(รองศาสตราจารย์ นพ. ปรีดา ทัตประติษฐ)
ประธาน

ลงนาม



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ระวีพันธ์ มิ่งกัญชัย)
กรรมการและเลขานุการ

วันที่รับรอง : 5 มิถุนายน 2566

วันหมดอายุ : 4 มิถุนายน 2567

เอกสารที่คณะกรรมการรับรอง

1. เอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย
2. โครงการวิจัย
3. ผู้วิจัย
4. เครื่องมือวิจัย
5. ใบประชาสัมพันธ์

เงื่อนไข

1. ข้ำพื่อรับทราบว่าเป็นการวิจัยจริยธรรม หากดำเนินการกับข้อมูลวิจัยก่อนได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย
2. หากใบรับรองการวิจัยหมดอายุ การดำเนินการวิจัยต้องยุติ เมื่อถึงคราวต่ออายุต้องขออนุมัติใหม่ล่วงหน้าไม่น้อยกว่า 1 เดือน หรือต่ออายุตามความก้าวหน้าการวิจัย
3. ต้องดำเนินการวิจัยตามที่ขออนุมัติโครงการวิจัยอย่างเคร่งครัด
4. เมื่อผลการวิจัยส่งถึงกลุ่มประชากรวิจัยผู้ให้ส่วนร่วมการวิจัย ไม่เช่นนั้นขอจากกลุ่มประชากรวิจัยผู้ให้ส่วนร่วมการวิจัย และเอกสารแจ้งผู้ร่วมวิจัย (ถ้ามี) ลงโทษที่บังคับคณะกรรมการพิจารณา
5. หากเกิดเหตุการณ์ผิดปกติของตัววิจัยหรือในสถานที่วิจัยที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน 5 วันทำการ
6. หากมีการเปลี่ยนแปลงการดำเนินการวิจัย ให้ใช้คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนพิจารณา
7. หากต่อโครงการวิจัยที่คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน 2 สัปดาห์ก่อนสิ้นสุด
8. โครงการวิจัยไม่เกิน 1 ปี ส่วนของบางกรณีในชุดโครงการวิจัย (AF 01-15) และขอสั่งต่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยสิ้นสุด สำหรับโครงการวิจัยที่เป็นวิทยานิพนธ์ให้ขอสั่งต่อผลการวิจัยภายใน 30 วัน เมื่อโครงการวิจัยสิ้นสุด
9. โครงการวิจัยที่มีข้อยกเว้น จะได้รับอนุญาตเป็นระยะเวลาสั้นๆ เมื่อดำเนินการวิจัยไม่จบตามกำหนดที่แจ้งไว้ ได้รับดำเนินการด้วยความก้าวหน้า สนับสนุนการวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องในระยะเวลาต่อไป
10. คณะกรรมการฯ สงวนสิทธิ์ในการตรวจเยี่ยมที่ดำเนินการดำเนินการวิจัย
11. ส่วนที่โครงการวิจัยจบลงขอ ผู้บริหารส่วนงาน ว่าดำเนินการดำเนินการวิจัย



Digital Certificate

เลขที่โครงการวิจัย 650034
วันที่รับรอง 05 มิ.ย. 2566
วันที่หมดอายุ 04 มิ.ย. 2567

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยและหนังสือแสดงความยินยอม

ชื่อโครงการวิจัย ผลของการรับประทานไอส์บรานซีไซคลิกเดกซ์ทรินต่อสมรรถภาพในการวิ่ง ฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และการตอบสนองด้านเมแทบอลิซึมในนักวิ่งระยะไกลเพศชาย

ชื่อผู้วิจัย นายธนทัต แซ่เล้า ตำแหน่ง นิสิตระดับมหาบัณฑิต

สถานที่ติดต่อผู้วิจัย

(ที่ทำงาน) บริษัท ที.ซี.ฟาร์มาซูติคอล อุตสาหกรรม จำกัด 288 ถ.เอกชัย แขวงคลองบางพราน เขตบางบอน กรุงเทพฯ 10150

(ที่บ้าน) 85 ซ.กำนันแมน 13 แยก 27 ถ.เอกชัย แขวงคลองบางพราน เขตบางบอน กรุงเทพฯ 10150
โทรศัพท์ที่บ้าน -

โทรศัพท์มือถือ 095 827 5225 E-mail : thanatat.saelao@gmail.com

เรียน ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่าน

ขอเรียนเชิญเข้าร่วมการวิจัย ก่อนที่ท่านจะตัดสินใจเข้าร่วมในการวิจัย โปรดทำความเข้าใจว่างานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับอะไรและทำไมเพราะเหตุใด กรุณาใช้เวลาในการอ่านข้อมูลต่อไปนี้อย่างรอบคอบ หากมีข้อความใดที่อ่านแล้วไม่เข้าใจหรือไม่ชัดเจน โปรดสอบถามผู้วิจัยจนกว่าจะได้รับคำตอบที่ชัดเจน

1. งานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการรับประทานไอส์บรานซีไซคลิกเดกซ์ทริน (คาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่มีลักษณะคล้ายแป้ง) กับมอลโทเดกซ์ทริน (คาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่มีลักษณะคล้ายแป้ง) ก่อนการวิ่งแบบทนทาน เพื่อศึกษาว่า ไอส์บรานซีไซคลิกเดกซ์ทรินส่งผลต่อ ความทนทานในการวิ่ง ฮอร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และค่าสารชีวโมเลกุลในเลือดของผู้เข้าร่วมการวิจัยอย่างไร
2. งานวิจัยนี้จำเป็นที่จะต้องได้รับความยินยอมจากผู้เข้าร่วมการวิจัย หากผู้เข้าร่วมการวิจัยยินยอมที่จะเข้าร่วมการวิจัย สามารถแสดงความยินยอมได้โดยการลงนามที่ส่วนสุดท้ายของเอกสาร
3. รายละเอียดของผู้เข้าร่วมการวิจัยและคุณสมบัติ

ผู้เข้าร่วมการวิจัยต้องมีคุณสมบัติครบทุกประการ ดังต่อไปนี้

1. เป็นนักกีฬาวิ่งมาราธอน เพศชาย ที่มีอายุระหว่าง 40 – 49 ปี
2. มีประสบการณ์การวิ่งอย่างต่อเนื่องไม่ต่ำกว่า 12 เดือน และปัจจุบันยังมีการซ้อมสัปดาห์ละ 3 – 5 วัน ระยะทางรวม 50 – 80 กิโลเมตร/สัปดาห์
3. มีสถิติเวลาในการเข้าเส้นชัยระยะมาราธอนต่ำกว่า 5 ชั่วโมง
4. มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) > 40 มล./กก./นาที

5. ไม่มี การเข้าร่วมการแข่งขันรายการการวิ่งมาราธอนภายในระยะเวลา 2 สัปดาห์ก่อนเข้าร่วมการวิจัย และตลอดระยะเวลาที่เข้าร่วมการวิจัย
6. ไม่มีโรคประจำตัว เช่น โรคเบาหวาน โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง โรคไตเรื้อรัง หรือโรคมะเร็ง เป็นต้น และไม่มีอาการบาดเจ็บที่ส่งผลให้ไม่สามารถออกกำลังกายโดยการวิ่งได้
7. ผ่านการทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพร้อมต่อการมีกิจกรรมทางกาย (Physical Activity Readiness Questionnaire Plus; PAR-Q+)
8. ไม่มีอาการแพ้มลพิษทางอากาศ ได้แก่ อาการท้องร่วง และไม่เคยมีอาการผิดปกติทางระบบทางเดินอาหาร รวมถึงอาการท้องผูก
9. ไม่มีประวัติการสูบบุหรี่
10. ไม่รับประทานอาหารเสริมอื่น ๆ ที่เพิ่มสมรรถนะทางการกีฬา ได้แก่ อาหารเสริมที่มีคาร์โบไฮเดรต เครื่องดื่มให้พลังงาน เจลให้พลังงาน วิตามินและเกลือแร่ คอลลาเจน เวย์โปรตีน กรดอะมิโนแบบกิ่ง (Branched-Chain Amino Acids; BCAAs) เป็นต้น ในช่วงเวลา 2 สัปดาห์ก่อนเข้าร่วมการวิจัย
11. มีความสนใจในการเข้าร่วมการวิจัย และยินดีลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมในการเข้าร่วมการวิจัย

ในช่วงระหว่างที่กำลังเข้าร่วมการวิจัย ผู้เข้าร่วมวิจัยจะถูกเชิญออกจากงานวิจัย หากเกิดเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง ดังต่อไปนี้

1. เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อไปได้ เช่น เกิดการบาดเจ็บหรือเจ็บป่วยเป็นโรคจนไม่สามารถออกกำลังกายโดยการวิ่งได้ เป็นต้น
2. เกิดเหตุสุดวิสัยที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้เข้าร่วมการวิจัยขณะทำการทดลอง
3. ขาดการเข้าร่วมการวิจัย โดยการมาเข้ารับการทดสอบไม่ครบตามที่กำหนด
4. มีการรับประทานอาหารเสริมอื่นที่ส่งผลเพิ่มสมรรถนะทางการกีฬาในระหว่างการวิจัย
5. มีความประสงค์ที่จะขอถอนตัวจากการวิจัย

ผู้วิจัยต้องการอาสาสมัครผู้เข้าร่วมทั้งหมด 9 คน ซึ่งผู้วิจัยจะทำการประชาสัมพันธ์ลงบนสื่อสังคมออนไลน์ เพื่อเปิดรับอาสาสมัครเข้าร่วมงานวิจัย โดยหลังจากที่ผู้เข้าร่วมวิจัยผ่านการคัดกรองและผ่านเกณฑ์คุณสมบัติทั้งหมด ผู้วิจัยจะทำการแบ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมวิจัยเป็น 2 กลุ่ม โดยวิธีการสุ่ม เพื่อทำการวิจัยเป็นลำดับถัดไป

4. ผู้วิจัยจะทำการคัดกรองผู้เข้าร่วมการวิจัยตามคุณสมบัติดังที่แสดงในข้อ 3. โดยแบ่งเป็นการคัดกรองทั้งหมด 2 ครั้ง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผู้เข้าร่วมการวิจัยต้องทำแบบคัดกรองผ่านช่องทางออนไลน์โดยใช้เว็บไซต์ Google form **ยกเว้น** คุณสมบัติในด้านการมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด > 40 มล./กก./นาที

4.2 หลังจากที่ผ่านการคัดกรองในข้อ 4.1 ผู้วิจัยจะทำการนัดหมายผู้เข้าร่วมการวิจัยให้มาทำการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ณ อาคารจุฬาพัฒน์ 8 ชั้น 1 ห้องปฏิบัติการ 2101 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกระบวนการทดสอบจะใช้เวลาไม่เกิน 60 นาที และมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องสวมใส่ชุดเตรียมพร้อมสำหรับการวิ่ง
- ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องผ่านการคัดกรองเชื้อไวรัสโควิด-19 ตามที่นโยบายของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการวิจัย ได้แก่ น้ำหนักตัว ส่วนสูง อายุ จากนั้นจึงทำการอธิบายขั้นตอนวิธีทดสอบให้ผู้เข้าร่วมวิจัยรับทราบ
- ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกขอให้สวมใส่หน้ากากวิเคราะห์แก๊ส โดยเลือกปรับให้ตรงกับสรีระของใบหน้า จากนั้นผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องเดินบนลู่วิ่ง (Treadmill) ที่ความเร็ว 3 กม./ชม. ที่ความชันร้อยละ 5 เป็นเวลา 5 นาที เพื่อเป็นการทำความคุ้นเคยกับอุปกรณ์พร้อมกับการอบอุ่นร่างกาย
- ผู้วิจัยจะเริ่มการทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยการทดสอบวิ่งที่ความเร็ว 2.7 กม./ชม. ที่ความชันร้อยละ 10 และเพิ่มความเร็วและความชันของลู่วิ่งขึ้นเรื่อย ๆ ทุก 3 นาที จนกว่าผู้เข้าร่วมการวิจัยจะเหนื่อยหมดแรงและไม่สามารถทำการทดสอบต่อไปได้
- ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกขอให้ทำการคลายอุ่นด้วยการเดินบนลู่วิ่งที่ความเร็ว 5 กม./ชม. เป็นเวลา 5 นาที จะถือว่าสิ้นสุดการทดสอบ

4.3 ผู้วิจัยจะทำการแจ้งผลการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยรับทราบทันทีหลังสิ้นสุดการทดสอบ ผู้เข้าร่วมการวิจัยที่ผ่านเกณฑ์จะต้องลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเพื่อเข้าร่วมการวิจัย และจะได้รับการอธิบายขั้นตอนการเตรียมตัวในการเข้าร่วมการวิจัย และจะได้รับการนัดหมายให้มาเข้าร่วมการวิจัยในลำดับถัดไป สำหรับผู้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์จะได้รับการปรึกษาในด้านการดูแลรักษาร่างกายจากผู้วิจัย

5. ในการเข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำและขั้นตอนที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

5.1 ก่อนเข้าร่วมการทดสอบ ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกขอให้ทำการจดบันทึกประวัติการรับประทานอาหาร พร้อมทั้งถ่ายรูปอาหารที่รับประทานทั้งวัน และทำการจดบันทึกการออกกำลังกายเป็นเวลา 3 วัน และในวันก่อนวันทดสอบ ผู้เข้าร่วมการวิจัยถูกขอให้รับประทาน

อาหารตามคำแนะนำของนักกำหนดอาหารผู้ช่วยวิจัย รวมถึงต้องทำการอดอาหารตั้งแต่เวลา 20.00 น. เป็นต้นไป

5.2 ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องเข้าร่วมการทดสอบ ณ อาคารจุฬาพัฒน์ 8 ชั้น 1 ห้องปฏิบัติการ 2101 คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายในช่วงเวลา 7.00 – 10.00 น. โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกขอให้ทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 จะมีระยะห่างจากครั้งที่ 2 ประมาณ 7 วัน และครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 จะมีระยะห่าง 14 วัน ในแต่ละครั้งจะใช้เวลาไม่เกิน 90 นาที

5.3 ในวันทดสอบ จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- เมื่อผู้เข้าร่วมการวิจัยมาถึงยังสถานที่ทดสอบ ผู้วิจัยจะขออนุญาตเก็บข้อมูลองค์ประกอบร่างกาย ได้แก่ น้ำหนักตัว และส่วนสูง
- ผู้วิจัยจะขออนุญาตเก็บตัวอย่างสารชีวโมเลกุลครั้งที่ 1 ประกอบด้วยการเก็บตัวอย่างเลือดด้วยวิธีการเจาะปลายนิ้ว และเจาะเลือดที่บริเวณข้อพับ ปริมาตรประมาณ 1 ซ้อนชา (3 มล.) และเก็บตัวอย่างน้ำลาย
- ผู้วิจัยจะขอให้ผู้เข้าร่วมตีเครื่องตีทดสอบให้หมดภายใน 5 นาที โดยเครื่องตีที่ได้รับจะถูกสุ่ม
- หลังจากนั้น 30 นาที ผู้วิจัยจะขออนุญาตเก็บตัวอย่างสารชีวโมเลกุลครั้งที่ 2 ประกอบด้วยการเก็บตัวอย่างเลือดด้วยวิธีการเจาะปลายนิ้ว และเจาะเลือดที่บริเวณข้อพับ ปริมาตรประมาณ 1 ซ้อนชา (3 มล.) และเก็บตัวอย่างน้ำลาย
- หลังจากนั้น ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกขอให้เดินบน treadmill เพื่ออบอุ่นร่างกายเป็นเวลา 5 นาที
- เมื่ออบอุ่นร่างกายเสร็จ จะเริ่มเข้าสู่การทดสอบ ด้วยการวิ่งที่ความเร็วปานกลางเป็นเวลา 30 นาที (ความเร็วในการวิ่งของแต่ละคนจะไม่เท่ากันแปรผันตามความแข็งแรงของแต่ละบุคคล)
- เมื่อวิ่งครบ 30 นาที ผู้วิจัยจะขออนุญาตเก็บตัวอย่างสารชีวโมเลกุลครั้งที่ 3 ประกอบด้วยการเก็บตัวอย่างเลือดด้วยวิธีการเจาะปลายนิ้ว และเก็บตัวอย่างน้ำลาย
- หลังจากนั้น ผู้เข้าร่วมจะกลับเข้าสู่การทดสอบอีกครั้ง โดยการเริ่มต้นวิ่งที่ความเร็วปานกลางเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจะถูกขอให้เพิ่มความเร็วในการวิ่ง ณ จุดนี้ ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกขอให้วิ่งไปเรื่อย ๆ ให้นานที่สุดจนกว่าจะหมดแรง จึงถือว่าเป็นอันสิ้นสุดการทดสอบ
- ผู้วิจัยจะขออนุญาตเก็บตัวอย่างสารชีวโมเลกุลครั้งที่ 4 ประกอบด้วยการเก็บตัวอย่างเลือดด้วยวิธีการเจาะปลายนิ้ว และเจาะเลือดที่บริเวณข้อพับ ปริมาตรประมาณ 1 ซ้อนชา (3 มล.) และเก็บตัวอย่างน้ำลาย

- ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกขอให้เดินบน treadmill เพื่อเป็นการคลายอุ่นอีก 5 นาที เป็นอันเสร็จสิ้นการวิจัย

6. ในช่วงเวลาที่เข้าร่วมการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุจากการทดสอบวิ่ง ทั้งนี้ผู้วิจัยจะทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องก่อนการทดสอบทุกครั้งเพื่อป้องกันอุบัติเหตุอันเกิดจากความไม่พร้อมของอุปกรณ์ รวมถึงความเสี่ยงจากการเก็บตัวอย่างเลือด เช่น การเกิดแผลซ้ำ ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อบริเวณที่ถูกเข็มแทง เป็นต้น หากผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับบาดเจ็บจากอุบัติเหตุขณะทำการทดสอบ ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องยุติการทดสอบ และจะถูกส่งตัวไปที่หน่วยปฏิบัติการบริการวิทยาศาสตร์สุขภาพ ภายใต้สังกัดคณะสหเวชศาสตร์ ตั้งอยู่ที่อาคารจุฬาพัฒน์ 14 ชั้น 14 เพื่อรับการปฐมพยาบาลเบื้องต้นก่อนนำส่งให้นักกายภาพบำบัดทำการรักษาเป็นลำดับถัดไป โดยผู้วิจัยจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

7. ประโยชน์ในการเข้าร่วมการวิจัย

7.1 ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการทดสอบหาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

7.2 ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับคำแนะนำในการดูแลรักษาร่างกาย ทั้งในเชิงโภชนาการและการออกกำลังกายในระหว่างที่เข้าร่วมการวิจัย

7.3 ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้ทราบค่าสารชีวเคมีในเลือดของตนเอง

8. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยจะเก็บเป็นความลับโดยการเข้ารหัสตัวอักษรเพื่อระบุตัวตนของผู้เข้าร่วมการวิจัยแทนการใช้ชื่อ-นามสกุล ในส่วนของตัวอย่างเลือดและน้ำลายจะถูกส่งตรวจที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย

9. เมื่อเสร็จสิ้นการวิจัยตัวอย่างเลือดและน้ำลายจะถูกทำลายโดยไม่นำไปใช้ในงานวิจัยอื่น และหากมีการเสนอผลการวิจัยจะเสนอเป็นภาพรวม ข้อมูลใดที่สามารถระบุถึงตัวผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยได้จะไม่ปรากฏในรายงาน

10. งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยไม่มีค่าพาหนะเดินทางและค่าเสียเวลามอบให้ แต่ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการทดสอบหาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดทั้งหมด 3 ครั้ง เป็นการตอบแทน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งที่ท่านสละเวลาอันมีค่ามาเข้าร่วมการวิจัย

11. การเข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้เป็นไปโดยสมัครใจ ผู้เข้าร่วมการวิจัยสามารถปฏิเสธที่จะเข้าร่วมหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกขณะ โดยไม่ต้องให้เหตุผล ไม่สูญเสียประโยชน์ที่พึงได้รับ และไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อผู้เข้าร่วมการวิจัย

12. หากมีข้อสงสัย โปรดสอบถามเพิ่มเติมจากผู้วิจัยได้ตลอดเวลา และหากผู้วิจัยมีข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์หรือโทษเกี่ยวกับการวิจัย ผู้วิจัยจะแจ้งให้ท่านทราบอย่างรวดเร็วเพื่อให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทบทวนว่ายังสมัครใจจะอยู่ในงานวิจัยต่อไปหรือไม่

13. หากได้รับการปฏิบัติไม่ตรงตามข้อมูลดังกล่าวสามารถร้องเรียนได้ที่ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรม การวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 254 อาคารจามจุรี 1 ชั้น 2 ถนนพญาไท เขต ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-3202, 0-2218-3049 E-mail: eccu@chula.ac.th

ข้าพเจ้าได้รับการอธิบายจากผู้วิจัย และเข้าใจข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทุกประการแล้ว จึงลงนามเข้าร่วม การวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ และได้รับเอกสารไว้ 1 ชุดแล้ว

ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

(.....) (.....)

ผู้วิจัยหลัก

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

วันที่...../...../.....

วันที่...../...../.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

แบบบันทึกข้อมูลการทดสอบ

ผู้เข้าร่วมวิจัยหมายเลข _____ รหัสเครื่องตีพิมพ์ _____ วัน/เดือน/ปี _____

ส่วนที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานด้านร่างกาย

น้ำหนักตัว _____ กก. ส่วนสูง _____ ซม.

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) _____

ความเร็วที่จุดเปลี่ยนแปลงการหายใจที่ 1 (VT_1) _____

ส่วนที่ 2 ตัวแปรตามด้านการตอบสนองของฮอร์โมนและสารชีวโมเลกุลในเลือด และด้านสมรรถภาพในการวิ่ง

	ครั้งที่ 1 (ก่อนกิน)	ครั้งที่ 2 (หลังกิน 30 นาที)	ครั้งที่ 3 (หลังวิ่ง VT_1)	ครั้งที่ 4 (หลังวิ่ง RAMP)
Blood glucose (POCT)				
Blood lactate (POCT)				
Salivary cortisol				
Blood insulin				
Blood free fatty acid				
RPE (Borg's scale)				
Average HR				
Max HR				
Time to exhaustion				

ครั้งที่ 2 หลังรับประทานอาหารเสริม 30 นาที

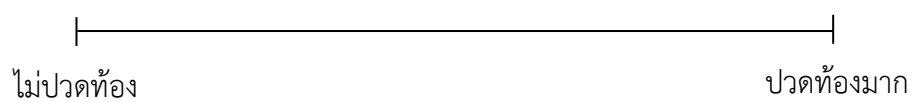


ครั้งที่ 3 หลังจากวิ่งที่ความเร็ว VT_1 ครบ 30 นาที



ครั้งที่ 4 หลังจากวิ่งที่ความเร็ว VT_2 จนเหนื่อยหมดแรง

อาการปวดท้อง



อาการท้องอืด



อาการคลื่นไส้



ภาคผนวก ซ

แบบสอบถามประเมินความเสี่ยงในการออกกำลังกาย

ผู้เข้าร่วมวิจัยหมายเลข _____ วัน/เดือน/ปี _____

แบบสอบถามความพร้อมที่จะมีกิจกรรมทางกาย 2019-PAR-Q +

การออกกำลังกาย หรือ กิจกรรมทางกาย มีหลักฐานที่ชัดเจนแล้วว่า มีประโยชน์ต่อสุขภาพ คนส่วนใหญ่ควรมีกิจกรรมทางกายในทุกวันของสัปดาห์ การมีกิจกรรมทางกายมีความปลอดภัยสำหรับประชาชนส่วนใหญ่ แบบสอบถามนี้จะบอกได้ว่า มีความจำเป็นที่จะขอคำแนะนำเพิ่มเติมจากแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกกำลังกายก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายที่หนักขึ้นจากเดิมที่เคยมีกิจกรรมทางกาย หรือไม่ โปรดอ่านคำถาม 7 ข้อด้านล่างอย่างถี่ถ้วนและตอบด้วยความสัตย์จริงว่า ใช่ หรือไม่ใช่

- | | ใช่ | ไม่ใช่ |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1. คุณเคยได้รับทราบจากแพทย์ว่า เป็นโรคเกี่ยวกับ โรคหัวใจ หรือ ความดันโลหิตสูง | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. คุณรู้สึกเจ็บที่หน้าอกในขณะที่พัก หรือระหว่างมีกิจกรรมในชีวิตประจำวัน หรือระหว่างออกกำลังกาย | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. ในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา คุณเคยเวียนศีรษะจนเสียการทรงตัว หรือเป็นลมไม่รู้สึกรู้ตัว หรือไม่ (ในกรณีที่ออกกำลังกายอย่างหนักจนทำให้หายใจเร็วแล้วตามด้วยการเวียนศีรษะ ให้ ตอบว่าไม่ใช่) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. คุณได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคเรื้อรังนอกเหนือจากโรคหัวใจหรือโรคความดันโลหิตสูง หรือไม่ ถ้าตอบว่าใช่ ให้ระบุว่าเป็นโรคเรื้อรังอะไร | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. ปัจจุบันคุณได้รับประทานยาเพื่อรักษาโรคเรื้อรัง หรือไม่
โปรดระบุเงื่อนไขและยาที่ได้รับ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. ปัจจุบัน หรือ ในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา คุณมีปัญหาเรื่องกระดูกและข้อหรือกล้ามเนื้อเส้นเอ็น ซึ่งอาการจะแย่ลงเมื่อมีกิจกรรมทางกายเพิ่มขึ้น
(ในกรณีที่คุณมีปัญหาโรคกระดูก ข้อ กล้ามเนื้อ หรือ เส้นเอ็นในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา แต่ปัจจุบันภาวะดังกล่าวได้หายไปแล้วและไม่มีผลต่อ ความ สามารถต่อการออกกำลังกายหรือกิจกรรมทางกายในปัจจุบัน ให้ตอบไม่ใช่) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. แพทย์เคยบอกคุณว่า คุณควรได้รับคำแนะนำก่อนที่จะมีกิจกรรมทางกายหรือออกกำลังกาย | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

ถ้าตอบว่าไม่ใช่ทุกข้อ คุณสามารถที่จะออกกำลังกายได้และปฏิบัติดังนี้

- ให้เริ่มการมีกิจกรรมทางกายที่เพิ่มขึ้น โดยค่อย ๆ เพิ่มความแรงของการมีกิจกรรมทาง กาย
- ให้คุณออกกำลังกายให้สอดคล้องกับอายุตามแนวทางของ International Physical activity guideline คุณควรที่จะได้รับการประเมินสมรรถภาพทางกาย (fitness) และ ประเมินสุขภาพ/ตรวจสุขภาพประจำปี(health) 58
- ถ้าคุณอายุมากกว่า 45 ปี และไม่ได้ฝึกซ้อมออกกำลังกายความหนักมาก่อน ให้ปรึกษา ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกายก่อนไปร่วมกิจกรรมทางกายที่มีความหนัก
- ถ้าคุณมีปัญหาเกี่ยวกับกิจกรรมทางกาย ให้สอบถามแพทย์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออก กกำลังกาย

Participant Declaration (คำประกาศของผู้สมัครเข้าร่วมกิจกรรมทางกาย)

ข้าพเจ้า ผู้ซึ่งลงนามในคำประกาศนี้ได้ อ่าน เข้าใจ โดยตอบคำถามทั้งหมดอย่างเต็มที่ และตระหนักเป็นอย่างดี ว่า คำประกาศนี้จะใช้ได้ภายใน 12 เดือนนับจากวันที่ได้ตอบแบบสอบถาม และจะไม่มีผลในกรณีที่มีการ เปลี่ยนแปลงของเงื่อนไข ข้าพเจ้ายินยอมที่จะให้ผู้จัด/ศูนย์ฝึก กิจกรรมทางกายได้สำเนาเอกสารนี้เก็บไว้อีก ฉบับ โดยผู้จัด/ศูนย์ ฝึกกิจกรรมทางกายต้องไม่นำข้อมูลไปเปิดเผยและปฏิบัติตามการรักษาความลับตามที่ กฎหมายกำหนด

ชื่อ ลายเซ็น วันที่

พยาน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

แบบประเมินระดับความรู้ความเข้าใจของบอร์ก ฉบับภาษาไทย

ผู้เข้าร่วมวิจัยหมายเลข _____

รหัสเครื่องตีพิมพ์ _____

วัน/เดือน/ปี _____

คำชี้แจง: โปรดระบุระดับความรู้ความเข้าใจของท่านตามตารางด้านล่าง โดยบอกเป็นตัวเลขตั้งแต่ 6 ถึง 20

ระดับ	ความรู้สึกรู้สึก	ระดับ	ความรู้สึกรู้สึก
6		15	เหนื่อย
7	รู้สึกสบาย	16	
8		17	เหนื่อยมาก
9	ไม่เหนื่อย	18	
10		19	เหนื่อยที่สุด
11	เริ่มรู้สึกเหนื่อย	20	
12			
13	ค่อนข้างเหนื่อย		
14			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดัดแปลงจาก ภาวิศ วงศ์แพทย์ และคณะ (2541) UNIVERSITY

ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4

ภาคผนวก ก
อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 39 เครื่องวัดองค์ประกอบของร่างกาย



รูปที่ 40 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส



รูปที่ 41 ลู่กล



รูปที่ 42 เครื่องวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือด



รูปที่ 43 เครื่องวิเคราะห์ระดับแลคเตทในเลือด



รูปที่ 44 เครื่องอ่านค่าไมโครเพลท



รูปที่ 45 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ฐ
แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัยออนไลน์ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์

แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ผลของการรับประทานไอส์ลิบรานซ์ใช้คลิสิกเด็กซ์ทรินต่อสมรรถภาพในการวิ่ง ฮอริโมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และการตอบสนองด้านเมแทบอลิซึมในนักวิ่งระยะไกลเพศชาย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของคาร์โบไฮเดรต 2 ชนิดในการเพิ่มสมรรถภาพในการวิ่ง ซึ่งต้องการอาสาสมัครจำนวน 9 ท่าน ในการเข้าร่วมการทดลอง และเนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการทดลองในบุคคลที่มีความจำเพาะ จึงต้องขอรบกวนให้ท่านอาสาสมัครที่มีความสนใจทำแบบคัดกรองนี้ ขอพระราชทานให้ความสนใจ

thanatat.saelao@gmail.com (ส่งไปแชท) สลับบัญชี

*จำเป็น

ชื่อ-นามสกุล *

คำคอมของคุณ

เพศ *

ชาย

หญิง

รูปที่ 46 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 1-5

วัน/เดือน/ปีเกิด *

งานวิจัยนี้ต้องการนักวิ่งเพศชายที่มีอายุ 40-49 ปี จึงขอรบกวนให้ท่านช่วยระบุวันเดือนปีเกิด

วันที่

mm/dd/yyyy

ประสบการณ์ในการวิ่งของท่าน *

หมายถึง ระยะเวลาที่ท่านฝึกซ้อมวิ่งอย่างต่อเนื่อง

ต่ำกว่า 1 ปี

ตั้งแต่ 1 ปีขึ้นไป

ระยะทางในการซ้อมวิ่งต่อสัปดาห์ของท่าน *

25-50 กม./สัปดาห์ (ซ้อมเฉลี่ยวันละ 5-10 กม.)

50-75 กม./สัปดาห์ (ซ้อมเฉลี่ยวันละ 10-15 กม.)

75-100 กม./สัปดาห์ (ซ้อมเฉลี่ยวันละ 15-20 กม.)

มากกว่า 100 กม./สัปดาห์ (ซ้อมเฉลี่ยวันละ 20 กม. ขึ้นไป)

รูปที่ 47 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 2-5

สถิติเวลาในการเข้าเส้นชัยมาราธอน (42.195 กม.) ของท่าน *

หากท่านเคยเข้าร่วมการแข่งขันมาราธอนหลายครั้ง โปรดเลือกสถิติการวิ่งครั้งล่าสุด

ไม่เวลาค่ากว่า 5 ชม.

ไม่เวลาลดถึง 5 ชม. ขึ้นไป

วันที่ท่านคาดว่าจะเข้าร่วมการแข่งขันมาราธอนครั้งต่อไป *

งานวิจัยระดับบริหารทดสอบในช่วงระหว่างเดือน พ.ศ. 65 - พ.ศ. 65 ซึ่งครอบคลุมระยะเวลาที่เข้าร่วมงานวิจัย ผู้วิจัยจะขอความร่วมมือให้ท่านพิจารณาเข้าร่วมการแข่งขันมาราธอน เพราะอาจส่งผลต่อผลทดสอบสมรรถภาพ หากท่านมีความประสงค์ที่จะเข้าร่วมการแข่งขันมาราธอน โปรดระบุวันที่คาดว่าจะเข้าร่วม เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถวางแผนร่วมกับท่านในการตัดสินใจทำการวิจัยเป็นลำดับต่อไป

วันที่

mm/dd/yyyy

ท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่ *

ไม่มี

มี: _____

ท่านมีอาการบาดเจ็บหรือไม่ *

รูปที่ 48 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 3-5

ท่านมีอาการบาดเจ็บหรือไม่ *

ไม่มี

มี: _____

ท่านมีประวัติการแพ้สารหรือไม่ *

ไม่มี

มี: _____

ท่านมีประวัติการสูบบุหรี่หรือไม่ *

ไม่เคยสูบบุหรี่

เคยสูบบุหรี่ แต่มีจันเลิกสูบบุหรี่แล้ว

มีจันสูบบุหรี่อยู่

ท่านรับประทานอาหารเสริมหรือไม่ *

ไม่รับประทาน

รูปที่ 49 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 4-5

ท่านรับประทานอาหารเสริมหรือไม่ *

ไม่รับประทาน

รับประทาน: _____

เบอร์โทรศัพท์ *

คำคมของคุณ _____

LINE ID *

หากไม่มี โปรดระบุ -

คำคมของคุณ _____

อีเมล (ไม่จำเป็นต้องกรอก)

คำคมของคุณ _____

ถัดไป

ล้างแบบฟอร์ม

รูปที่ 50 แบบคัดกรองการเข้าร่วมโครงการวิจัย ส่วนที่ 5-5



ภาคผนวก ๓

เอกสารประชาสัมพันธ์รับสมัครอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการวิจัย

ประชาสัมพันธ์

รับสมัครอาสาสมัครเข้าร่วมงานวิจัย เรื่อง

“ผลของการรับประทานไฮไล์برانซีไซคลิกเดกซ์ทรินต่อสมรรถภาพในการวิ่ง ฮอริโมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด และการตอบสนองด้านเมแทบอลิซึมในนักวิ่งระยะไกลเพศชาย”

หากท่านมีคุณสมบัติ

เพศชาย อายุ 40–49 ปี

เป็นนักวิ่งที่เคยผ่านการวิ่งมาราธอน

มีประสบการณ์ในการวิ่งมากกว่า 1 ปี

และผ่านคุณสมบัติตามแบบคัดกรองนี้

สิ่งที่ท่านจะต้องให้ความร่วมมือ

ผู้วิจัยต้องการศึกษาผลของการรับประทานคาร์โบไฮเดรต 2

ชนิด ว่ามีผลต่อสมรรถภาพในการวิ่งและผลตรวจเลือดอย่างไร ซึ่งท่านจะต้องเข้าร่วมการทดสอบที่ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กทม. เป็นจำนวนทั้งหมด 3 ครั้ง

สิ่งที่ท่านจะได้รับจากการเข้าร่วมงานวิจัย

ตรวจวัดค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 3 ครั้ง

คำแนะนำในการดูแลรักษาร่างกาย ทั้งในเชิงโภชนาการและการออกกำลังกายตลอดระยะเวลาโครงการ

*****เข้าร่วมฟรี ไม่มีค่าใช้จ่ายตลอดโครงการ รับจำนวนจำกัดเพียง 9 ท่าน เท่านั้น*****

หากท่านสนใจสอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม สามารถติดต่อได้ที่

ผู้วิจัย นายธนทัต แซ่เล้า เบอร์ติดต่อ 095-8275225 / LINE ID: thanatat.b / E-mail:

thanatat.saelao@gmail.com

แบบคัดกรองคุณสมบัติในการเข้าร่วมการวิจัย

โปรดสแกนเพื่อทำ
แบบคัดกรอง



บรรณานุกรม

- Adam, E. K., Quinn, M. E., Tavernier, R., McQuillan, M. T., Dahlke, K. A., & Gilbert, K. E. (2017). Diurnal cortisol slopes and mental and physical health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Psychoneuroendocrinology*, *83*, 25-41. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.05.018>
- Aerts, L., & Morais, V. A. (2017). Chapter 2 - Electron Transport Chain. In P. Verstreken (Ed.), *Parkinson's Disease* (pp. 41-75). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803783-6.00002-X>
- Ahrén, B., & Pacini, G. (2021, May). Glucose effectiveness: Lessons from studies on insulin-independent glucose clearance in mice. *J Diabetes Investig*, *12*(5), 675-685. <https://doi.org/10.1111/jdi.13446>
- Akram, M. (2014, 2014/04/01). Citric Acid Cycle and Role of its Intermediates in Metabolism. *Cell Biochemistry and Biophysics*, *68*(3), 475-478. <https://doi.org/10.1007/s12013-013-9750-1>
- Amann, M., Wan, H.-Y., Thurston, T. S., Georgescu, V. P., & Weavil, J. C. (2020). On the influence of group III/IV muscle afferent feedback on endurance exercise performance. *Exercise and sport sciences reviews*, *48*(4), 209.
- American Diabetes, A. (2003). Evidence-Based Nutrition Principles and Recommendations for the Treatment and Prevention of Diabetes and Related Complications. *Diabetes Care*, *26*(suppl_1), s51-s61. <https://doi.org/10.2337/diacare.26.2007.S51>

- Anderson, J. (2020). *Marathon Statistics 2019 Worldwide (Research)* from <https://runrepeat.com/research-marathon-performance-across-nations>
- Anderson, R. A., Bryden, N. A., Polansky, M. M., & Thorp, J. W. (1991). Effects of carbohydrate loading and underwater exercise on circulating cortisol, insulin and urinary losses of chromium and zinc. *Eur J Appl Physiol*, *63*, 146-150.
- Aydin, S. (2015, Oct). A short history, principles, and types of ELISA, and our laboratory experience with peptide/protein analyses using ELISA. *Peptides*, *72*, 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2015.04.012>
- Bangsaen42. (2020). *Bangsaen42 Marathon 2020*. Retrieved Apr 29 from <https://my.raceresult.com/161722/>
- Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M., & Dalleck, L. C. (2016, 2016/12/25). Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of $\dot{V}O_{2\max}$: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *Journal of Sports Medicine*, *2016*, 3968393. <https://doi.org/10.1155/2016/3968393>
- Berryman, J. W., & Park, R. J. (1992). *Sport and Exercise Science: Essays in the History of Sports Medicine*. University of Illinois Press. <https://books.google.co.th/books?id=TVkLO4FX76wC>
- Bhattacharya, K., Orton, R. C., Qi, X., Mundy, H., Morley, D. W., Champion, M. P., Eaton, S., Tester, R. F., & Lee, P. J. (2007, Jun). A novel starch for the treatment of glycogen storage diseases. *J Inherit Metab Dis*, *30*(3), 350-357.

<https://doi.org/10.1007/s10545-007-0479-0>

Billat, L. V., & Koralsztein, J. P. (1996, Aug). Significance of the velocity at VO₂max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med*, 22(2), 90-108.
<https://doi.org/10.2165/00007256-199622020-00004>

Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1994, Feb). Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc*, 26(2), 254-257. <https://doi.org/10.1249/00005768-199402000-00018>

Blanco, A., & Blanco, G. (2017). Chapter 14 - Carbohydrate Metabolism. In A. Blanco & G. Blanco (Eds.), *Medical Biochemistry* (pp. 283-323). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803550-4.00014-8>

Boullosa, D., Esteve-Lanao, J., Casado, A., Peyre-Tartaruga, L. A., Gomes da Rosa, R., & Del Coso, J. (2020, Mar 15). Factors Affecting Training and Physical Performance in Recreational Endurance Runners. *Sports (Basel)*, 8(3).
<https://doi.org/10.3390/sports8030035>

Bourdas, D. I., Souglis, A., Zacharakis, E. D., Geladas, N. D., & Travlos, A. K. (2021, Nov 24). Meta-Analysis of Carbohydrate Solution Intake during Prolonged Exercise in Adults: From the Last 45+ Years' Perspective. *Nutrients*, 13(12).
<https://doi.org/10.3390/nu13124223>

Brooks, G. A. (2009). Cell-cell and intracellular lactate shuttles. *The Journal of physiology*, 587(23), 5591-5600.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.178350>

- Brooks, G. A. (2020, Aug 10). The Precious Few Grams of Glucose During Exercise. *International journal of molecular sciences*, 21(16). <https://doi.org/10.3390/ijms21165733>
- Brouns, F. (1998, 2007/03/09). Gastric Emptying as a Regulatory Factor in Fluid Uptake. *Int J Sports Med*, 19(S 2), S125-S128. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971976>
- Brun, J. F., Dumortier, M., Fedou, C., & Mercier, J. (2001, Apr). Exercise hypoglycemia in nondiabetic subjects. *Diabetes Metab*, 27(2 Pt 1), 92-106.
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V., & Ball, S. (1998, 1998/08/01/). Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23(2), 85-112. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(98\)00040-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-8130(98)00040-3)
- Burke, L., & Deakin, V. (2015). *Clinical sports nutrition*. McGraw-Hill Education (Australia) Pty Ltd.
- Burke, L. M., Ross, M. L., Garvican-Lewis, L. A., Welvaert, M., Heikura, I. A., Forbes, S. G., Mirtschin, J. G., Cato, L. E., Strobel, N., Sharma, A. P., & Hawley, J. A. (2017, May 1). Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. *The Journal of physiology*, 595(9), 2785-2807. <https://doi.org/10.1113/jp273230>
- Casado, A., Tuimil, J. L., Iglesias, X., Fernández-Del-Olmo, M., Jiménez-Reyes, P., Martín-Acero, R., & Rodríguez, F. A. (2022). Maximum aerobic speed, maximum oxygen

consumption, and running spatiotemporal parameters during an incremental test among middle- and long-distance runners and endurance non-running athletes. *PeerJ*, 10, e14035. <https://doi.org/10.7717/peerj.14035>

Choi, S. S., Danielewska-Nikiel, B., Ohdan, K., Kojima, I., Takata, H., & Kuriki, T. (2009, Dec). Safety evaluation of highly-branched cyclic dextrin and a 1,4-alpha-glucan branching enzyme from *Bacillus stearothermophilus*. *Regul Toxicol Pharmacol*, 55(3), 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2009.07.011>

Chuychai, J., Srihirun, K., Chinapong, S., Sanpasitt, C., Khaosanit, P., & Nokkaew, N. (2022, 08/01). 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.

Contrada, R., & Baum, A. (2010). *The Handbook of Stress Science: Biology, Psychology, and Health*. Springer Publishing Company. <https://books.google.co.th/books?id=EXVlk8pnEKIC>

Coombes, J. S., & Hamilton, K. L. (2000, 2000/03/01). The Effectiveness of Commercially Available Sports Drinks. *Sports Medicine*, 29(3), 181-209. <https://doi.org/10.2165/00007256-200029030-00004>

Coyle, E. F. (2007). Physiological regulation of marathon performance. *Sports Med*, 37(4-5), 306-311. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737040-00009>

Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K., & Ivy, J. L. (1986, Jul). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl*

Physiol (1985), 61(1), 165-172. <https://doi.org/10.1152/jappl.1986.61.1.165>

De Oliveira Quirino, E. L., Gonçalves, M. R., de Oliveira, C. C., dos Santos, E. P., & Silva, A. S. (2012). Influence of carbohydrate supplementation during resistance training on concentrations of the hormones cortisol and insulin. *Sport Sci Health*, 7, 93-97.

Dempsey, J. A., Romer, L., Rodman, J., Miller, J., & Smith, C. (2006). Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respiratory physiology & neurobiology*, 151(2-3), 242-250.

DeSalvo, K. B., Olson, R., & Casavale, K. O. (2016). Dietary Guidelines for Americans. *JAMA*, 315(5), 457-458. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.18396>

Dhar-Chowdhury, P., Malester, B., Rajacic, P., & Coetzee, W. A. (2007, 2007/12/01). The regulation of ion channels and transporters by glycolytically derived ATP. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 64(23), 3069-3083. <https://doi.org/10.1007/s00018-007-7332-3>

Diagnosis and classification of diabetes mellitus. (2010, Jan). *Diabetes Care*, 33 Suppl 1(Suppl 1), S62-69. <https://doi.org/10.2337/dc10-S062>

Dittrich, N., de Lucas, R., Beneke, R., & Guglielmo, L. G. (2013, 11/14). Time to Exhaustion at Continuous and Intermittent Maximal Lactate Steady State During Running Exercise. *International journal of sports physiology and performance*, 9. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2013-0403>

- Doherty, C., Keogh, A., Davenport, J., Lawlor, A., Smyth, B., & Caulfield, B. (2020, Feb). An evaluation of the training determinants of marathon performance: A meta-analysis with meta-regression. *J Sci Med Sport*, 23(2), 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.09.013>
- Domínguez, R., Cuenca, E., Maté-Muñoz, J. L., García-Fernández, P., Serra-Paya, N., Estevan, M. C., Herreros, P. V., & Garnacho-Castaño, M. V. (2017, Jan 6). Effects of Beetroot Juice Supplementation on Cardiorespiratory Endurance in Athletes. A Systematic Review. *Nutrients*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/nu9010043>
- Eberle, S. G. (2014). The Body's Fuel Sources. In *Endurance Sports Nutrition-3rd Edition*. Human Kinetics, Incorporated.
- Engvall, E. (2010). The ELISA, Enzyme-Linked Immunosorbent Assay. *Clinical Chemistry*, 56(2), 319-320. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2009.127803>
- Erion, K. A., & Corkey, B. E. (2017). Hyperinsulinemia: a Cause of Obesity? *Current obesity reports*, 6(2), 178-186. <https://doi.org/10.1007/s13679-017-0261-z>
- Foster, C., Costill, D. L., & Fink, W. J. (1979, Spring). Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med Sci Sports*, 11(1), 1-5.
- Frandsen, J., Vest, S. D., Ritz, C., Larsen, S., Dela, F., & Helge, J. W. (2019, Jun 1). Plasma free fatty acid concentration is closely tied to whole body peak fat oxidation rate during repeated exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 126(6), 1563-1571. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00995.2018>

- 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. <https://doi.org/10.1080/09168451.2014.943654>
- Galbo, H., Christensen, N. J., & Holst, J. J. (1977a, Dec). Catecholamines and pancreatic hormones during autonomic blockade in exercising man. *Acta Physiol Scand*, 101(4), 428-437. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1977.tb06026.x>
- Galbo, H., Christensen, N. J., & Holst, J. J. (1977b, Apr). Glucose-induced decrease in glucagon and pinephrine responses to exercise in man. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 42(4), 525-530. <https://doi.org/10.1152/jappl.1977.42.4.525>
- Galbo, H., & Københavns, u. (1983). *Hormonal and metabolic adaptation to exercise* Georg Thieme Verlag ; Thieme-Stratton]. /z-wcorg/. Stuttgart; New York; New York.
- Garrett, W. E., & Kirkendall, D. T. (2000). *Exercise and Sport Science*. Lippincott Williams & Wilkins. <https://books.google.co.th/books?id=Cx22TcXodrwC>
- Gill, K. S., Fernandes, P., O'Donovan, T. R., McKenna, S. L., Doddakula, K. K., Power, D. G., Soden, D. M., & Forde, P. F. (2016, 2016/08/01/). Glycolysis inhibition as a cancer treatment and its role in an anti-tumour immune response. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Reviews on Cancer*, 1866(1), 87-105. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bbcan.2016.06.005>
- Gisolfi, C. V., Summers, R. W., Schedl, H. P., & Bleiler, T. L. (1992, Nov). Intestinal water

absorption from select carbohydrate solutions in humans. *J Appl Physiol* (1985), 73(5), 2142-2150. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.73.5.2142>

Glaister, M., & Gissane, C. (2018, Apr 1). Caffeine and Physiological Responses to Submaximal Exercise: A Meta-Analysis. *Int J Sports Physiol Perform*, 13(4), 402-411. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0312>

Gleser, M. A., & Vogel, J. A. (1973, Apr). Endurance capacity for prolonged exercise on the bicycle ergometer. *Journal of applied physiology*, 34(4), 438-442. <https://doi.org/10.1152/jappl.1973.34.4.438>

Gonzalez, J. T., Fuchs, C. J., Smith, F. E., Thelwall, P. E., Taylor, R., Stevenson, E. J., Trenell, M. I., Cermak, N. M., & Loon, L. J. C. v. (2015). Ingestion of glucose or sucrose prevents liver but not muscle glycogen depletion during prolonged endurance-type exercise in trained cyclists. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 309(12), E1032-E1039. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00376.2015>

Green, G. A., Chenoweth, M., & Dunn, A. (1980). Adrenal glucocorticoid permissive regulation of muscle glycogenolysis: action on protein phosphatase(s) and its inhibitor(s). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 77(10), 5711-5715. <https://doi.org/10.1073/pnas.77.10.5711>

Guntero, V., Peralta, M., Noriega, P., Kneeteman, M., & Ferretti, C. (2020). *One-Pot Selective Functionalization of Polysaccharides with Urea* (Vol. 3). <https://doi.org/10.3390/ecsoc-24-08346>

Hall, M. M., Rajasekaran, S., Thomsen, T. W., & Peterson, A. R. (2016). Lactate: Friend or

Foe. *PM&R*, 8(3S), S8-S15.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2015.10.018>

Hammond, K. M., Fell, M. J., Hearnis, M. A., & Morton, J. P. (2019). Chapter 11 - Carbohydrate Metabolism During Exercise. In J. A. Zoladz (Ed.), *Muscle and Exercise Physiology* (pp. 251-270). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814593-7.00011-6>

Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2018, Aug 1). Exercise Metabolism: Fuels for the Fire. *Cold Spring Harb Perspect Med*, 8(8). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029744>

Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2020). Skeletal muscle energy metabolism during exercise. *Nature Metabolism*, 1-12. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0251-4>

Hawley, J. A., Schabert, E. J., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (1997, 1997/08/01). Carbohydrate-Loading and Exercise Performance. *Sports Medicine*, 24(2), 73-81.
<https://doi.org/10.2165/00007256-199724020-00001>

Heaney, S., O'Connor, H., Michael, S., Gifford, J., & Naughton, G. (2011, Jun). Nutrition knowledge in athletes: a systematic review. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 21(3), 248-261. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.3.248>

Hearnis, M. A., Hammond, K. M., Fell, J. M., & Morton, J. P. (2018). Regulation of Muscle Glycogen Metabolism during Exercise: Implications for Endurance Performance and Training Adaptations. *Nutrients*, 10(3), 298.
<https://doi.org/10.3390/nu10030298>

- Hill, E. E., Zack, E., Battaglini, C., Viru, M., Viru, A., & Hackney, A. C. (2008, Jul). Exercise and circulating cortisol levels: the intensity threshold effect. *J Endocrinol Invest*, 31(7), 587-591. <https://doi.org/10.1007/bf03345606>
- Hilsted, J., Galbo, H., Sonne, B., Schwartz, T., Fahrenkrug, J., de Muckadell, O. B., Lauritsen, K. B., & Tronier, B. (1980, Sep). Gastroenteropancreatic hormonal changes during exercise. *Am J Physiol*, 239(3), G136-140. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.1980.239.3.G136>
- Hirsch, I. B., Marker, J. C., Smith, L. J., Spina, R. J., Parvin, C. A., Holloszy, J. O., & Cryer, P. E. (1991). Insulin and glucagon in prevention of hypoglycemia during exercise in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 260(5), E695-E704. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1991.260.5.E695>
- Huang, Y., Xu, C., He, M., Huang, W., & Wu, K. (2020). Saliva cortisol, melatonin levels and circadian rhythm alterations in Chinese primary school children with dyslexia. *Medicine*, 99(6), e19098. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000019098>
- Jacks, D. E., Sowash, J., Anning, J., McGloughlin, T., & Andres, F. (2002, May). Effect of exercise at three exercise intensities on salivary cortisol. *J Strength Cond Res*, 16(2), 286-289.
- Janah, L., Kjeldsen, S., Galsgaard, K. D., Winther-Sørensen, M., Stojanovska, E., Pedersen, J., Knop, F. K., Holst, J. J., & Wewer Albrechtsen, N. J. (2019). Glucagon Receptor Signaling and Glucagon Resistance. *International journal of molecular sciences*, 20(13), 3314. <https://doi.org/10.3390/ijms20133314>
- Jeukendrup, A., & Achten, J. (2001, 2001/12/01). Fatmax : A new concept to optimize

fat oxidation during exercise? *European Journal of Sport Science*, 1(5), 1-5.
<https://doi.org/10.1080/17461390100071507>

Jeukendrup, A., Saris, W. H., Brouns, F., & Kester, A. D. (1996). A new validated endurance performance test. *Med Sci Sports Exerc*, 28(2), 266-270.

Jeukendrup, A. E., Raben, A., Gijsen, A., Stegen, J. H., Brouns, F., Saris, W. H., & Wagenmakers, A. J. (1999, Mar 1). Glucose kinetics during prolonged exercise in highly trained human subjects: effect of glucose ingestion. *The Journal of physiology*, 515 (Pt 2)(Pt 2), 579-589. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1999.579ac.x>

Jia, T., Ogawa, Y., Miura, M., Ito, O., & Kohzaki, M. (2016). Music Attenuated a Decrease in Parasympathetic Nervous System Activity after Exercise. *PLoS one*, 11(2), e0148648-e0148648. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148648>

Jonvik, K. L., Nyakayiru, J., Loon, L. J. C. v., & Verdijk, L. B. (2015). Can elite athletes benefit from dietary nitrate supplementation? *Journal of applied physiology*, 119(6), 759-761. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00232.2015>

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2015). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics, Incorporated.
<https://books.google.co.th/books?id=OvF6DwAAOBAJ>

Kent, J., Ortenblad, N., Hogan, M., Poole, D., & Musch, T. (2016, 07/01). No Muscle Is an Island: Integrative Perspectives on Muscle Fatigue. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48, 1. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001052>

- Knuiman, P., Hopman, M. T. E., & Mensink, M. (2015, 2015/12/21). Glycogen availability and skeletal muscle adaptations with endurance and resistance exercise. *Nutrition & Metabolism*, 12(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s12986-015-0055-9>
- König, D., Zdzieblik, D., Holz, A., Theis, S., & Gollhofer, A. (2016, Jun 23). Substrate Utilization and Cycling Performance Following Palatinose™ Ingestion: A Randomized, Double-Blind, Controlled Trial. *Nutrients*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/nu8070390>
- Kuipers, H., Franssen, E. J., & Keizer, H. A. (1999, May). Pre-exercise ingestion of carbohydrate and transient hypoglycemia during exercise. *Int J Sports Med*, 20(4), 227-231. <https://doi.org/10.1055/s-2007-971122>
- Kumari, A. (2018). Chapter 2 - Citric Acid Cycle. In A. Kumari (Ed.), *Sweet Biochemistry* (pp. 7-11). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814453-4.00002-9>
- Kuo, T., McQueen, A., Chen, T.-C., & Wang, J.-C. (2015). Regulation of Glucose Homeostasis by Glucocorticoids. In J.-C. Wang & C. Harris (Eds.), *Glucocorticoid Signaling: From Molecules to Mice to Man* (pp. 99-126). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2895-8_5
- Lavoie, C., Ducros, F., Bourque, J., Langelier, H., & Chiasson, J. L. (1997, Jan). Glucose metabolism during exercise in man: the role of insulin and glucagon in the regulation of hepatic glucose production and gluconeogenesis. *Can J Physiol Pharmacol*, 75(1), 26-35. <https://doi.org/10.1139/cjpp-75-1-26>

- Lindinger, M. I., Kowalchuk, J. M., & Heigenhauser, G. J. F. (2005). Applying physicochemical principles to skeletal muscle acid-base status. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 289(3), R891-R894. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00225.2005>
- Lipscomb, K., Rieck, J., & Dawson, P. (2016). Effect of temperature on the intensity of basic tastes: sweet, salty and sour. *Journal of Food Research*, 5(4), 1-10.
- Loftin, M., Sothorn, M., Koss, C., Tuuri, G., Vanvrancken, C., Kontos, A., & Bonis, M. (2007, Nov). Energy expenditure and influence of physiologic factors during marathon running. *J Strength Cond Res*, 21(4), 1188-1191. <https://doi.org/10.1519/R-22666.1>
- Lopes, T. R., Pereira, H. M., & Silva, B. M. (2022). Perceived Exertion: Revisiting the History and Updating the Neurophysiology and the Practical Applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14439. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/21/14439>
- marathon, B. (2021). *Buriram Marathon 2021 Results*. <https://my.raceresult.com/167294/?lang=th>
- Martin, D. E., Martin, D. A., & Gynn, R. W. H. (2000). *The Olympic Marathon*. Human Kinetics. <https://books.google.co.th/books?id=Ob125O62NVOC>
- Mata, F., Valenzuela, P. L., Gimenez, J., Tur, C., Ferreria, D., Domínguez, R., Sanchez-Oliver, A. J., & Martínez Sanz, J. M. (2019, May 16). Carbohydrate Availability and Physical Performance: Physiological Overview and Practical Recommendations.

Nutrients, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nu11051084>

Maughan, R. J. (1998, Feb). The sports drink as a functional food: formulations for successful performance. *Proc Nutr Soc*, 57(1), 15-23. <https://doi.org/10.1079/pns19980005>

McAllister, M. J., Webb, H. E., Tidwell, D. K., Smith, J. W., Fountain, B. J., Schilling, M. W., & Williams, R. D., Jr. (2016, Dec). Exogenous Carbohydrate Reduces Cortisol Response from Combined Mental and Physical Stress. *Int J Sports Med*, 37(14), 1159-1165. <https://doi.org/10.1055/s-0042-113467>

McAllister, R. M. (1998, Mar). Adaptations in control of blood flow with training: splanchnic and renal blood flows. *Med Sci Sports Exerc*, 30(3), 375-381. <https://doi.org/10.1097/00005768-199803000-00006>

McLaughlin, J. E., Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr., Thompson, D. L., & Fitzhugh, E. C. (2010, May). Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 42(5), 991-997. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181c0669d>

McLellan, T. M., Cheung, S. S., & Jacobs, I. (1995, Mar). Variability of time to exhaustion during submaximal exercise. *Can J Appl Physiol*, 20(1), 39-51. <https://doi.org/10.1139/h95-003>

McMahon, N. F., Leveritt, M. D., & Pavey, T. G. (2017, Apr). The Effect of Dietary Nitrate Supplementation on Endurance Exercise Performance in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 47(4), 735-756.

<https://doi.org/10.1007/s40279-016-0617-7>

Metaxas, T. I., Koutlianos, N. A., Kouidi, E. J., & Deligiannis, A. P. (2005, Feb). Comparative study of field and laboratory tests for the evaluation of aerobic capacity in soccer players. *J Strength Cond Res*, 19(1), 79-84.

<https://doi.org/10.1519/14713.1>

Mock, M. G., Hirsch, K. R., Blue, M. N. M., Trexler, E. T., Roelofs, E. J., & Smith-Ryan, A. E. (2018). Post-Exercise Ingestion of Low or High Molecular Weight Glucose Polymer Solution Does Not Improve Cycle Performance in Female Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 10.1519/JSC.0000000000002560.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002560>

Mor, A., Kayacan, Y., Ipekoglu, G., & Arslanoglu, E. (2019, Oct). Effect of carbohydrate-electrolyte consumption on insulin, cortisol hormones and blood glucose after high-intensity exercise. *Arch Physiol Biochem*, 125(4), 344-350.

<https://doi.org/10.1080/13813455.2018.1465098>

Moral-González, S., González-Sánchez, J., Valenzuela, P. L., García-Merino, S., Barbado, C., Lucia, A., Foster, C., & Barranco-Gil, D. (2020, Aug 31). Time to Exhaustion at the Respiratory Compensation Point in Recreational Cyclists. *Int J Environ Res Public Health*, 17(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph17176352>

Morales, P. E., Bucarey, J. L., & Espinosa, A. (2017). Muscle Lipid Metabolism: Role of Lipid Droplets and Perilipins. *Journal of diabetes research*, 2017, 1789395-1789395. <https://doi.org/10.1155/2017/1789395>

Mul, J. D., Stanford, K. I., Hirshman, M. F., & Goodyear, L. J. (2015). Exercise and

Regulation of Carbohydrate Metabolism. *Prog Mol Biol Transl Sci*, 135, 17-37.
<https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.07.020>

Muscella, A., Stefàno, E., Lunetti, P., Capobianco, L., & Marsigliante, S. (2020, Dec 21). The Regulation of Fat Metabolism During Aerobic Exercise. *Biomolecules*, 10(12).
<https://doi.org/10.3390/biom10121699>

Nehlsen-Cannarella, S. L., Fagoaga, O. R., Nieman, D. C., Henson, D. A., Butterworth, D. E., Schmitt, R. L., Bailey, E. M., Warren, B., Utter, A., & Davis, J. M. (1997). Carbohydrate and the cytokine response to 2.5h of running. *Journal of applied physiology*, 82, 1662-1667.

Nielsen, J., Schroder, H. D., Rix, C. G., & Ortenblad, N. (2009, Jul 15). Distinct effects of subcellular glycogen localization on tetanic relaxation time and endurance in mechanically skinned rat skeletal muscle fibres. *The Journal of physiology*, 587(Pt 14), 3679-3690. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.174862>

Notbohm, H. L., Feuerbacher, J. F., Papendorf, F., Friese, N., Jacobs, M. W., Predel, H.-G., Zacher, J., Bloch, W., & Schumann, M. (2021, 2021/05/17). Metabolic, hormonal and performance effects of isomaltulose ingestion before prolonged aerobic exercise: a double-blind, randomised, cross-over trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 38.
<https://doi.org/10.1186/s12970-021-00439-z>

Ortenblad, N., Westerblad, H., & Nielsen, J. (2013, Sep 15). Muscle glycogen stores and fatigue. *The Journal of physiology*, 591(18), 4405-4413.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.251629>

- Parolin, M. L., Chesley, A., Matsos, M. P., Spriet, L. L., Jones, N. L., & Heigenhauser, G. J. F. (1999). Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 277(5), E890-E900.
<https://doi.org/10.1152/ajpendo.1999.277.5.E890>
- Pearce, K. L., Noakes, M., Keogh, J., & Clifton, P. M. (2008, 2008/03/01/). Effect of carbohydrate distribution on postprandial glucose peaks with the use of continuous glucose monitoring in type 2 diabetes. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 87(3), 638-644.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/87.3.638>
- Peters, H. P. F., Bos, M., Seebregts, L., Akkermans, L. M. A., van Berge Henegouwen, G. P., Bol, E., Mosterd, W. L., & de Vries, W. R. (1999). Gastrointestinal Symptoms in Long-Distance Runners, Cyclists, and Triathletes: Prevalence, Medication, and Etiology. *Official journal of the American College of Gastroenterology | ACG*, 94(6).
https://journals.lww.com/ajg/Fulltext/1999/06000/Gastrointestinal_Symptoms_in_Long_Distance.32.aspx
- Petersen, M. C., & Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of Insulin Action and Insulin Resistance. *Physiological reviews*, 98(4), 2133-2223.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00063.2017>
- Plunkett, B. T., & Hopkins, W. G. (1999, Aug). Investigation of the side pain "stitch" induced by running after fluid ingestion. *Med Sci Sports Exerc*, 31(8), 1169-1175.
<https://doi.org/10.1097/00005768-199908000-00014>

- Rabinowitz, J. D., & Enerbäck, S. (2020, Jul). Lactate: the ugly duckling of energy metabolism. *Nat Metab*, 2(7), 566-571. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-0243-4>
- Rakpuang, S. (2019, March 19, 2019). Marathon in Thailand: Social Network and Challenges in 21st Century. *Romphruek Journal Krirk University*, 37(1), 8-17.
- Rapoport, B. I. (2010, Oct 21). Metabolic factors limiting performance in marathon runners. *PLoS Comput Biol*, 6(10), e1000960. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000960>
- Rehrer, N. J., Smets, A., Reynaert, H., Goes, E., & De Meirleir, K. (2001, Sep). Effect of exercise on portal vein blood flow in man. *Med Sci Sports Exerc*, 33(9), 1533-1537. <https://doi.org/10.1097/00005768-200109000-00017>
- Roberts, R. A., Ghiasvand, F., & Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287(3), R502-R516. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00114.2004>
- Roberts, Lockwood, C., Dalbo, V. J., Volek, J., & Kerksick, C. M. (2011, 2011/06/01/). Ingestion of a high-molecular-weight hydrothermally modified waxy maize starch alters metabolic responses to prolonged exercise in trained cyclists. *Nutrition*, 27(6), 659-665. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nut.2010.07.008>
- Roberts, M. D., Lockwood, C., Dalbo, V. J., Volek, J., & Kerksick, C. M. (2011, Jun). Ingestion of a high-molecular-weight hydrothermally modified waxy maize starch alters metabolic responses to prolonged exercise in trained cyclists.

Nutrition, 27(6), 659-665. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2010.07.008>

Romeres, D., Olson, K., Carter, R., Cobelli, C., Dalla Man, C., Basu, A., & Basu, R. (2020, Sep). Hyperglycemia But Not Hyperinsulinemia Is Favorable for Exercise in Type 1 Diabetes: A Pilot Study. *Diabetes Care*, 43(9), 2176-2182. <https://doi.org/10.2337/dc20-0611>

Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., & Wolfe, R. R. (1993, Sep). Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol*, 265(3 Pt 1), E380-391. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1993.265.3.E380>

Rorsman, P., & Ashcroft, F. M. (2018). Pancreatic β -Cell Electrical Activity and Insulin Secretion: Of Mice and Men. *Physiological reviews*, 98(1), 117-214. <https://doi.org/10.1152/physrev.00008.2017>

Rowlands, D. S., Swift, M., Ros, M., & Green, J. G. (2012, Jun). Composite versus single transportable carbohydrate solution enhances race and laboratory cycling performance. *Appl Physiol Nutr Metab*, 37(3), 425-436. <https://doi.org/10.1139/h2012-013>

Sahlin, K., Tonkonogi, M., & Soderlund, K. (1998, Mar). Energy supply and muscle fatigue in humans. *Acta Physiol Scand*, 162(3), 261-266. <https://doi.org/10.1046/j.1365-201X.1998.0298f.x>

Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013, Jan). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*, 113(1), 147-155.

<https://doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x>

Schulz, H. (2013). Fatty Acid Oxidation. In W. J. Lennarz & M. D. Lane (Eds.), *Encyclopedia of Biological Chemistry (Second Edition)* (pp. 281-284). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378630-2.00071-2>

Scott, R. V., & Bloom, S. R. (2018). Problem or solution: The strange story of glucagon. *Peptides*, 100, 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2017.11.013>

Seepika, N., Chinapong, S., Piakaew, N., Laiwattanapaisal, W., Katelakha, K., Larpant, N., Sanpasitt, C., Khaosanit, P., Boonrod, W., & Nokkaew, N. (2022, 09/30). The Effects of Different Dosing Strategies of Caffeine Ingestion during an Endurance Performance Event in Male Half Marathon Runners. *Journal of Physical Education and Sport*, 22, 2173-2181. <https://doi.org/10.7752/jpes.2022.09277>

SHI, X., SUMMERS, R. W., SCHEDL, H. P., FLANAGAN, S. W., CHANG, R., & GISOLFI, C. V. (1995). Effects of carbohydrate type and concentration and solution osmolality on water absorption. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(12), 1607-1615. https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/1995/12000/Effects_of_carbohydrate_type_and_concentration_and_d.5.aspx

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(3), 499-502. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.499>

Simons, S. M., & Kennedy, R. G. (2004). Gastrointestinal Problems in Runners. *Current*

Sports Medicine Reports, 3(2), 112-116. https://journals.lww.com/acsm-csmr/Fulltext/2004/04000/Gastrointestinal_Problems_in_Runners.11.aspx

Sittithan, D. (2018). *Dietary Behavior and Supplementary Food of Cyclist in Chaing Mai Province Thailand National Sport University*].

Sole, C. C., & Noakes, T. D. (1989). Faster gastric emptying for glucose-polymer and fructose solutions than for glucose in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 58(6), 605-612. <https://doi.org/10.1007/bf00418506>

Sperlich, P. F., Holmberg, H. C., Reed, J. L., Zinner, C., Mester, J., & Sperlich, B. (2015, Jun). Individual versus Standardized Running Protocols in the Determination of VO₂max. *J Sports Sci Med*, 14(2), 386-393.

Spriet, L. L. (2014a, Nov). Exercise and sport performance with low doses of caffeine. *Sports Med*, 44 Suppl 2, S175-184. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0257-8>

Spriet, L. L. (2014b, May). New insights into the interaction of carbohydrate and fat metabolism during exercise. *Sports Med*, 44 Suppl 1(Suppl 1), S87-96. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0154-1>

Spronk, I., Kullen, C., Burdon, C., & O'Connor, H. (2014, May 28). Relationship between nutrition knowledge and dietary intake. *Br J Nutr*, 111(10), 1713-1726. <https://doi.org/10.1017/s0007114514000087>

Stellingwerff, T., Boon, H., Gijzen, A. P., Stegen, J. H., Kuipers, H., & van Loon, L. J. (2007, Jul). Carbohydrate supplementation during prolonged cycling exercise spares

muscle glycogen but does not affect intramyocellular lipid use. *Pflugers Arch*, 454(4), 635-647. <https://doi.org/10.1007/s00424-007-0236-0>

Stenvers, D. J., Scheer, F., Schrauwen, P., la Fleur, S. E., & Kalsbeek, A. (2019, Feb). Circadian clocks and insulin resistance. *Nat Rev Endocrinol*, 15(2), 75-89. <https://doi.org/10.1038/s41574-018-0122-1>

Suzuki, K., Shiraishi, K., Yoshitani, K., Sugama, K., & Kometani, T. (2014, Oct). 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. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25270782>

Takata, H., Ohdan, K., Takaha, T., Kuriki, T., & Okada, S. (2003). Properties of Branching Enzyme from Hyperthermophilic Bacterium, *Aquifex aeolicus*, and Its Potential for Production of Highly-branched Cyclic Dextrin. *Journal of Applied Glycoscience*, 50(1), 15-20. <https://doi.org/10.5458/jag.50.15>

Takii, H., Ishihara, K., Kometani, T., Okada, S., & Fushiki, T. (1999, Dec). Enhancement of swimming endurance in mice by highly branched cyclic dextrin. *Biosci Biotechnol Biochem*, 63(12), 2045-2052. <https://doi.org/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. <https://doi.org/10.3136/fstr.10.428>

Takii, H., Takii Nagao, Y., Kometani, T., Nishimura, T., Nakae, T., Kuriki, T., & Fushiki, T. (2005, May). Fluids containing a highly branched cyclic dextrin influence the

gastric emptying rate. *Int J Sports Med*, 26(4), 314-319. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820999>

ter Steege, R. W., & Kolkman, J. J. (2012, Mar). Review article: the pathophysiology and management of gastrointestinal symptoms during physical exercise, and the role of splanchnic blood flow. *Aliment Pharmacol Ther*, 35(5), 516-528. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2011.04980.x>

Thanaponganan, N. (2011). Health Behaviors and food consumption of athletes Mahasarakham University. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 31(3), 254-261.

Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016, Mar). American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc*, 48(3), 543-568. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000852>

Trefts, E., Williams, A. S., & Wasserman, D. H. (2015). Chapter Nine - Exercise and the Regulation of Hepatic Metabolism. In C. Bouchard (Ed.), *Progress in Molecular Biology and Translational Science* (Vol. 135, pp. 203-225). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.07.010>

Utter, A. C., Kang, J., Nieman, D. C., Williams, F., Robertson, R. J., Henson, D. A., Davis, J. M., & Butterworth, D. E. (1999, Jul). Effect of carbohydrate ingestion and hormonal responses on ratings of perceived exertion during prolonged cycling and running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(2), 92-99. <https://doi.org/10.1007/s004210050563>

van Hall, G. (2010). Lactate kinetics in human tissues at rest and during exercise. *Acta*

Physiologica, 199(4), 499-508. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2010.02122.x>

Vandenbogaerde, T. J., & Hopkins, W. G. (2011, 2011/09/01). Effects of Acute Carbohydrate Supplementation on Endurance Performance. *Sports Medicine*, 41(9), 773-792. <https://doi.org/10.2165/11590520-000000000-00000>

Vitale, K., & Getzin, A. (2019). Nutrition and Supplement Update for the Endurance Athlete: Review and Recommendations. *Nutrients*, 11(6), 1289. <https://doi.org/10.3390/nu11061289>

Volek, J. S., Noakes, T., & Phinney, S. D. (2015). Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. *Eur J Sport Sci*, 15(1), 13-20. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.959564>

Wasserman, D. H., Lickley, H. L., & Vranic, M. (1984). Interactions between glucagon and other counterregulatory hormones during normoglycemic and hypoglycemic exercise in dogs. *The Journal of clinical investigation*, 74(4), 1404-1413. <https://doi.org/10.1172/JCI111551>

Wasserman, D. H., Williams, P. E., Lacy, D. B., Goldstein, R. E., & Cherrington, A. D. (1989, Apr). Exercise-induced fall in insulin and hepatic carbohydrate metabolism during muscular work. *Am J Physiol*, 256(4 Pt 1), E500-509. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.1989.256.4.E500>

Wilburn, D., Macheck, S., & Ismaeel, A. (2021). Highly Branched Cyclic Dextrin and its Ergogenic Effects in Athletes: A Brief Review. *Journal of Exercise and Nutrition*,

4(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.53520/jen2021.103100>

Wilson, P. B., Rhodes, G. S., & Ingraham, S. J. (2015). Saccharide Composition of Carbohydrates Consumed during an Ultra-endurance Triathlon. *J Am Coll Nutr*, 34(6), 497-506. <https://doi.org/10.1080/07315724.2014.996830>

Wolever, T. M., & Bolognesi, C. (1996, Nov). Source and amount of carbohydrate affect postprandial glucose and insulin in normal subjects. *J Nutr*, 126(11), 2798-2806. <https://doi.org/10.1093/jn/126.11.2798>

World Records. (2020). Retrieved Dec 9 from <https://www.worldathletics.org/records/by-category/world-records>

Xiaocai, S., Mary, K. H., Kris, L. O., John, R. S., Jeffrey, J. Z., Craig, A. H., Dennis, H. P., & Robert, M. (2004). Gastrointestinal Discomfort during Intermittent High-Intensity Exercise: Effect of Carbohydrate-Electrolyte Beverage. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 14(6), 673-683. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.14.6.673>

Zierath, J. R. (2002). Invited Review: Exercise training-induced changes in insulin signaling in skeletal muscle. *Journal of applied physiology*, 93(2), 773-781. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00126.2002>

โกรวิจิตร, อ. (2018, Oct 29, 2018). โทนี่ เพย์น ทูบสถิติวิ่งมาราธอนเร็วสุดของไทยในรอบ 23 ปี. Retrieved Nov 5 from <https://thestandard.co/tony-payne-fastest-marathon-in-thailand/#:~:text=%E0%B8%99%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%A7%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%B5%E0%B8%81%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B6%E0%B9%8>

[8%E0%B8%87,%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%AA%E0%B8%B8%E0%B8%94%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B9%81%E0%B8%96%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2](#)





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ชนทัต แซ่เล่า
วัน เดือน ปี เกิด	26 มีนาคม 2540
สถานที่เกิด	ประเทศไทย
วุฒิการศึกษา	ประถมศึกษา โรงเรียนแม่พระประจักษ์ จ.กรุงเทพมหานคร มัธยมศึกษา โรงเรียนทวีธาภิเศก จ.กรุงเทพมหานคร ปริญญาบัณฑิต โภชนาการและการกำหนดอาหาร คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	85 ซ.กำนันแมน 13 แยก 27 ถ.เอกชัย แขวงคลองบางพราน เขตบางบอน กรุงเทพฯ 10150

