

ผลของการได้รับรางวัลเซโนะมิโนแอซิดที่มีต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อ
ภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา
พฤษภาคม 2556

ผลของการได้รับรางวัลชนะเลิศที่มีต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อ
ภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา

พฤษภาคม 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลของการได้รับบรอนซ์เซโนะมิโนแอซิดที่มีต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อ
ภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา
พฤษภาคม 2556

กรณีพิพาท ลิ้มวรรัตน์. (2555). ผลของการได้รับบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดที่มีต่อความเสียหาย

ของกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา. ปรินญาณพนธ์ ปร.ด.

(วิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: รศ.ดร.สุปราณีวีร์ ขวัญบุญจันทร์,

อาจารย์ ดร. สุภาภรณ์ ศิลาลิเศเดชกุล.

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาผลของการได้รับบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา

วิธีการศึกษา: อาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดลองเป็นนักกีฬาฟุตบอลชาย จำนวน 9 คน มีอายุระหว่าง 18-25 ปี อาสาสมัครทำการทดลอง 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มต้องมีระยะเวลาห่างกันอย่างน้อย 1 สัปดาห์ ซึ่งในแต่ละกลุ่มของการทดลองอาสาสมัครปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์สลับกับ 85 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุดจนกระทั่งอาสาสมัครรู้สึกล้า โดยอาสาสมัครได้รับเครื่องดื่มที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ เครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และเครื่องดื่มหลอก ก่อนการปั่นจักรยาน 15 นาที และ 45 นาทีภายหลังการออกกำลังกาย ทำการเก็บตัวอย่างเลือดและวัดระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อในช่วงเวลาเดียวกัน

ผลการศึกษา: ความเข้มข้นครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน อนุมูลอิสระในร่างกาย ฮอริโมนอินซูลิน ค่าฮีมาโทคริต อัตราการเต้นของหัวใจไม่มีความแตกต่างกันภายหลังการออกกำลังกายในทั้ง 3 กลุ่มทดลอง อย่างไรก็ตามระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอกภายหลังการออกกำลังกาย ($p < 0.05$) และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต มีค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก ($p < 0.05$) โดยค่าระดับน้ำตาลในเลือดในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีค่ามากกว่าในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดและในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอกภายหลังออกกำลังกายในนาทีที่ 15 และนาทีที่ 75 ($p < 0.05$) และระยะเวลาในการปั่นจักรยานกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีมากกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก ($p < 0.05$)

สรุป: การได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดไม่ส่งผลต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อ จากตัวบ่งชี้ความเข้มข้นครีเอทีนไคเนสของกล้ามเนื้อ ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน อนุมูลอิสระในร่างกาย ฮอริโมนอินซูลิน ค่าฮีมาโทคริต อัตราการเต้นของหัวใจ แต่ทำให้การรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อลดลงและเพิ่มระยะเวลาในการออกกำลังกาย

คำสำคัญ: บรานซ์เซนอะมิโนแอซิด ครีเอทีนไคเนส ออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา

EFFECTS OF BRANCHED - CHAIN AMINO ACIDS SUPPLEMENT ON
MUSCLE DAMAGE AFTER INTERMITTENT EXERCISE



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Doctoral of Philosophy Degree in Exercise and Sport Science
at Srinakharinwirot University

May 2013

Kornthip Limnararat. (2012). *Effects of Branched Chain Amino Acid Supplement on Muscle Damage after Intermittent Exercise*. Dissertation, Ph.D. (Exercise and Sport Science). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assoc. Prof. Dr. Supranee Kwanboonchan, Dr. Supaporn Silalertdetkul.

Objective: To investigate the effects of branched chain amino acid supplement on muscle damage after intermittent exercise.

Methods: Participants in the experiment were 9 football players, aged 18-25 years old. They were 3 groups experiment. Each group separated by at least one week. In each trial participants were cycling at 65 percent alternate with 85 percent maximum oxygen consumption until they felt fatigued. Participants received by three different types of drinks, branched-chain amino acid, carbohydrate and placebo at 15 minutes before exercising and at 45 minutes after exercise. Blood samples were taken at the same time of measured rating of perceived soreness score.

Results: Creatine kinase concentrations, biological antioxidant potential, determined reactive oxygen metabolites species, insulin hormone, hematocrit, heart rate were no significant different after exercise in between 3 groups. However, rating of perceived soreness score in branched-chain amino acid group was significantly less than carbohydrate and placebo groups after exercise ($p < 0.05$). In addition, rating of perceived soreness score in carbohydrate group was less than in the placebo group after exercise ($p < 0.05$). Levels of blood glucose in carbohydrate group was higher than branched chain amino acid and placebo groups after exercise at 15 and 75 minutes ($p < 0.05$). Time to fatigue, in branched-chain amino acid group and carbohydrate group were significantly more than in the placebo group. ($p < 0.05$)

Conclusion: Receiving the branched chain amino acid supplement did not affect on muscle damage. From indicators of creatine kinase concentrations, biological antioxidant potential, determined reactive oxygen metabolites species, insulin hormone, hematocrit, heart rate, nevertheless it attenuated rating of perceived soreness score and improved the time to fatigue.

Keywords: Branched- chain amino acid, Creatine kinase, Intermittent exercise.

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการได้รับบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิดที่มีต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อ

ภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา

ของ

กฤษฎิ์พีย์ ลิมนนวรรตน์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2556

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุปราณีวี ขวัญบุญจันทร์) (อาจารย์ ดร.อัฉรียา กลียะพัท)

..... กรรมการ กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุภาภรณ์ ศิลาเลิศเดชกุล) (รองศาสตราจารย์ ดร.สุปราณีวี ขวัญบุญจันทร์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุภาภรณ์ ศิลาเลิศเดชกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มยุรี ศุภวิบูลย์)



ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือ ความกรุณา และคำแนะนำอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุปราณีวี ขวัญบุญจันทร์ ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.สุภาภรณ์ ศิลาเลิศเดชกุล กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์ ดร.อัจริยา กลียะพัท ประธานกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มยุรี ศุภวิบูลย์ กรรมการบริหารหลักสูตร ที่ท่านเสียสละและเมตตาให้คำปรึกษา แนะนำในการทำงานวิจัยฉบับนี้ทุกขั้นตอน ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการทำงานวิจัยและรู้ถึงคุณค่าของงานวิจัยที่จะช่วยให้การทำงานในด้านวิทยาศาสตร์การออกกำลังกาย และกีฬา เป็นไปอย่างมีคุณค่ายิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้บริหาร บุคลากรโรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ สุสานทัพเรือสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยในการเก็บข้อมูล และขอขอบใจนักกีฬาฟุตบอล สังกัดทีมศูนย์ฝึกทหารใหม่ กรมยุทธศึกษาทหารเรือ กองทัพเรือ จังหวัดชลบุรี ทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัยในการศึกษาตามหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา ทำให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้ว่าการศึกษาระดับปริญญาเอกนั้นมีได้สิ้นสุดลงแค่เพียงการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จเท่านั้น แต่ยังได้ซึมซับกระบวนการเรียนรู้ที่ผ่านมาและพร้อมที่จะนำไปพัฒนา ปรับปรุง ถ่ายทอด และสร้างประโยชน์ให้แก่ผู้อื่นและสังคมต่อไป

ท้ายสุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุพการี พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้การสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยอย่างดียิ่งเสมอมา

กรณทิพย์ ลิมนรรัตน์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวความคิดในการวิจัย.....	6
สมมติฐานการวิจัย	7
2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
บรรณชีเซนอะมิโนแอซิด.....	8
ความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกาย.....	18
บรรณชีเซนอะมิโนแอซิดต่อการออกกำลังกาย.....	23
อนุมูลอิสระกับการออกกำลังกาย.....	40
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	56
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	56
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	57
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	58
การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	67
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	68

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	78
สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	78
อภิปรายผล.....	79
ข้อเสนอแนะ.....	86
บรรณานุกรม.....	87
ภาคผนวก.....	98
ภาคผนวก ก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	99
ภาคผนวก ข แบบประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ.....	102
ภาคผนวก ค แบบบันทึกรายการอาหารที่รับประทาน.....	104
ภาคผนวก ง เอกสารรับรองโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์.....	107
ภาคผนวก จ หนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูล.....	109
ภาคผนวก ฉ แบบสอบถามเกี่ยวกับสุขภาพ.....	111
ภาคผนวก ช หนังสือยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย.....	114
ภาคผนวก ซ แบบบันทึกข้อมูลส่วนตัวและการตรวจร่างกายแรกเข้า.....	117
ภาคผนวก ฌ ประมวลภาพการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	122
ภาคผนวก ฎ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	127
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	146

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 การศึกษาที่ใช้ครีเอทีฟไคเนสเป็นตัวบ่งชี้ความเสียหายของกล้ามเนื้อ.....	22
2 ความเข้มข้นของกรดอะมิโนในพลาสมา ก่อนและหลังการวิ่งมาราธอน.....	25
3 ความเข้มข้นของกรดอะมิโนในพลาสมาและในกล้ามเนื้อ ก่อนและหลังการวิ่งมาราธอน.....	27
4 การได้รับเครื่องดื่มbranched-chain amino acid ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ branched-chain amino acid ในกระแสเลือด ก่อนและหลังออกกำลังกาย	29
5 การได้รับเครื่องดื่มbranched-chain amino acid ที่มีต่อการยับยั้งการเพิ่มความเข้มข้นของ ครีเอทีฟไคเนสภายหลังการออกกำลังกายเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม.....	30
6 การได้รับเครื่องดื่มbranched-chain amino acid ที่มีต่อการยับยั้งการเพิ่มความเข้มข้นของค่า ระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย.....	31
7 การได้รับเครื่องดื่มbranched-chain amino acid ที่มีต่อการเพิ่มความอดทนใน การออกกำลังกาย.....	32
8 ชนิด ส่วนประกอบและคุณสมบัติของเครื่องดื่ม.....	35
9 การเปรียบเทียบส่วนประกอบของเครื่องดื่มแต่ละชนิด.....	61
10 คุณลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง.....	69
11 พลังงานและปริมาณสารอาหารหลักที่บริโภคต่อวันก่อนการทดลอง.....	77

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 โครงสร้างทางเคมีของบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด.....	9
2 โครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโนหน่วยย่อยของโปรตีน.....	9
3 การสลายบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด.....	12
4 ขบวนการการสลายบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดในกล้ามเนื้อ.....	13
5 ปฏิริยาดีอะมิเนชันของกรดกลูตาเมต.....	15
6 ปฏิริยาการสังเคราะห์กลูตามีนจากกลูตาเมต.....	15
7 ปฏิริยาเปลี่ยนกลูตามีนเป็นกลูตาเมตและแอมโมเนีย.....	16
8 วัฏจักรกลูโคส อะลานีน.....	16
9 อะมิโนแอซิดกับการแปลงข้อมูลของฮอร์โมนอินซูลิน.....	18
10 ครีเอทีนไคเนส.....	20
11 กระบวนการสร้างเอทีพีที่ไมโทคอนเดรีย.....	42
12 ขั้นตอนการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน.....	45
13 ขั้นตอนการออกกำลังกายเพื่อทดสอบเครื่องดื่มและการบันทึกตัวบ่งชี้ในช่วงเวลาต่างๆ.....	64
14 แสดงความแตกต่างของครีเอทีนไคเนส (ยูนิต/ลิตร).....	69
15 แสดงความแตกต่างของค่าการรับรู้ความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ (เซนติเมตร).....	70
16 แสดงความแตกต่างของค่าความสามารถในการออกซิเดชัน (ไมโครโมล/ลิตร).....	71
17 แสดงความแตกต่างของค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย (UCRR).....	72
18 แสดงความแตกต่างของระยะเวลาในการปั่นจักรยาน (นาที).....	72
19 แสดงความแตกต่างของอัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที).....	73
20 แสดงความแตกต่างของค่าระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร).....	74
21 แสดงความแตกต่างของฮอร์โมนอินซูลิน (ไมโครยูนิต/มิลลิลิตร).....	74
22 แสดงความแตกต่างของฮีมาโทคริต (เปอร์เซ็นต์).....	75
23 แสดงความแตกต่างของน้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกาย (กิโลกรัม).....	76

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การออกกำลังกายหรือการเล่นกีฬาเป็นสิ่งจำเป็นและเกิดประโยชน์ต่อร่างกาย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาย่างหนัก ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อได้ (Bangsbo & Krstrup. 2001; Greer et al. 2007; Matsumoto et al. 2009; Saunders et al. 2004) ความเสียหายหรือการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อซ้ำ ๆ กันเป็นเวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการหดตัวแบบยืดยาวออกส่งผลให้เกิดความตึงตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อ เกิดความเสียหาย ฉีกขาด และบาดเจ็บกล้ามเนื้อ (Greer. 2006; Paola; & Nicola. 2008) จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การออกกำลังกายต่อเนื่องมากกว่า 1 ชั่วโมง (Greer. 2006; Greer et al. 2007; Saunders et al. 2004) การออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน (Flann et al. 2011; Shimomura et al. 2010) การออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา (Ivy; et al. 2003) บาสเกตบอล (Recep. 2010) รักบี้ฟุตบอล (Reilly. 2010) จักรยานทางไกล (Koba; et al. 2007) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกีฬาฟุตบอลเป็นกีฬาที่มีรูปแบบการเคลื่อนไหวการเปลี่ยนทิศทางหมุนเวียนเป็นช่วง ๆ อย่างสม่ำเสมอ (Reilly. 1997; Sugiura et al. 1998) ภายหลังจากการออกกำลังกายหรือการแข่งขัน พบว่า ความเข้มข้นครีเอทีนไคเนสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น (Bangsbo; & Krstrup. 2001; Reilly. 1997; Sugiura et al. 1998) เกิดอาการปวดกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายเพิ่มขึ้น (Greer. 2006; Greer et al. 2007; Saunders et al. 2004; Shimomura et al. 2010) และส่งผลให้สมรรถภาพทางกายด้านความอดทนลดลง (Bangsbo; & Krstrup. 2001; Greer. 2006; Greer et al. 2007; Reilly. 1997; Saunders et al. 2004; Sugiura et al. 1998; The importance of carbohydrate ingestion during high intensity intermittent exercise. 2010) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการวิจัยเกี่ยวกับการลดความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นแนวทางในฟื้นฟูกล้ามเนื้ออกกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา

บรานซ์เชนอะมิโนแอซิด (Branched chain amino acids) ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็น 3 ชนิด คือ ลูซีน (Leucine) ไอโซลูซีน (Isoleucine) และวาลีน (Valine) บรานซ์เชนอะมิโนแอซิดสะสมในกล้ามเนื้อประมาณ 35-40 เปอร์เซ็นต์ และสามารถสลายให้พลังงานได้มากถึง 10-15 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมดที่ร่างกายต้องการ จากการทำงานของบรานซ์เชนอะมิโนทรานสเฟอเรส (Branched chain amino transferase; BCAT) ซึ่งแตกต่างจากกรดอะมิโนอื่นๆ ที่ขบวนการสลายต้องอาศัยเอนไซม์จากตับเป็นหลัก (Fernstrom. 2005; Gleeson. 2005; Shimomura. 2006;

Blomstrand; & Newsholme. 1992) จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การได้รับเครื่องดื่ม
 บรานซ์เซอะมิโนแอซิดก่อนการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน (Shimomura et al. 2010)
 วังมาราธอน (Blomstrand & Newsholme. 1992) แข่งขันสกี (Scifert et al. 2005) ส่งผลให้ความ
 เข้มข้นของ บรานซ์เซอะมิโนแอซิดในกระแสเลือดเพิ่มขึ้นระหว่างและหลังการออกกำลังกาย
 (Blomstrand; & Newsholme. 1992; Koba et al. 2007; Shimomura et al. 2010) โดยบรานซ์
 เซอะมิโนแอซิดสามารถสลายให้พลังงานอย่างรวดเร็วในกล้ามเนื้อ (Fernstrom. 2005; Shimomura.
 2006) ในขณะที่กล้ามเนื้อได้รับบรานซ์เซอะมิโนแอซิดเพียงพอ ส่งผลทำให้ลดการสลายกรดอะมิโน
 ไทโรซีน (Tyrosine) กรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ที่สะสมในกล้ามเนื้อจึงส่งผลให้ลด
 การสลายเส้นใยกล้ามเนื้อ ลดการเสียหายกล้ามเนื้อ บาดเจ็บกล้ามเนื้อ ลดค่าระดับการรับรู้ความ
 เจ็บปวดกล้ามเนื้อ (Blomstrand & Newsholme. 1992; Fernstrom. 2005; Shimomura et al.
 2010) และยับยั้ง การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นครีเอทีนไคเนสภายหลังการออกกำลังกาย (Greer et
 al. 2007; Greer et al. 2010; Nicholas et al. 2007; Mutsumoto et al. 2009) ในขณะเดียวกัน
 การได้รับเครื่องดื่ม บรานซ์เซอะมิโนแอซิดก่อนและระหว่างการออกกำลังกายปั่นจักรยาน
 แบบต่อเนื่องที่ระดับความหนัก 55% VO_{2max} (Greer. 2006; Greer et al. 2007; Greer et al.
 2010) ปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ระดับความหนัก 75% VO_{2max} (Saunders et al. 2004: 1233-
 1238) ส่งผลให้มีความอดทนในการ ปั่นจักรยานเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากร่างกายมีการใช้พลังงานจากการ
 สันดาปสารอาหารคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน จึงส่งผลต่อการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดและยับยั้งการ
 หลังฮอร์โมนอินซูลินระหว่าง การออกกำลังกาย ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าการได้รับเครื่องดื่มบรานซ์
 เซอะมิโนแอซิดก่อนและระหว่างการปั่นจักรยานแบบหนักสลับเบาอาจส่งผลต่อการลดความเสียหาย
 ของเส้นใยกล้ามเนื้อภายหลัง ออกกำลังกาย ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาผลของการได้รับเครื่องดื่ม
 บรานซ์เซอะมิโนแอซิดที่มีต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ความมุ่งหมายทั่วไป (General objective)

เพื่อศึกษาผลของการได้รับบรานซ์เซอะมิโนแอซิดต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลัง
 ออกกำลังกาย แบบหนักสลับเบา

ความมุ่งหมายเฉพาะ (Specific objectives)

1. เพื่อเปรียบเทียบความเสียหายของกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกาย จากการได้รับ
 เครื่องดื่มบรานซ์เซอะมิโนแอซิด กับการได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดื่มหลอก

2. เพื่อเปรียบเทียบความอดทนในการออกกำลังกายจากการได้รับเครื่องดื่ม
บรานซ์เซนอะมิโนแอซิด กับการได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดื่มหลอก
3. เพื่อเปรียบเทียบการสันดาปสารอาหารระหว่างการออกกำลังกาย จากการได้รับ
เครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด กับการได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดื่มหลอก
4. เพื่อเปรียบเทียบการสูญเสีย น้ำของร่างกายระหว่างการออกกำลังกาย จากการ
ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด กับการได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดื่มหลอก

ความสำคัญของการวิจัย

1. ผลจากการวิจัยนี้เป็นแนวทางสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬาและนักกีฬา ในการนำเครื่องดื่ม
บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดประยุกต์ใช้เพื่อช่วยลดความเสียหายของกล้ามเนื้อ ในการออกกำลังกายต่อไป
2. ผลการวิจัยนี้จะเป็แนวทางในการศึกษาค้นคว้าทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา
เกี่ยวกับเครื่องดื่มทางการกีฬาเพื่อลดความเสียหายของกล้ามเนื้อจากการออกกำลังกายต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นนักกีฬาฟุตบอล สังกัดทีมศูนย์ฝึกทหารใหม่
กรมยุทธศึกษาทหารเรือ กองทัพเรือ จังหวัดชลบุรี จำนวนทั้งสิ้น 20 คน โดยมีตารางการฝึก การศึกษา
ฝึกงาน การปฏิบัติภารกิจประจำวัน การรับประทานอาหาร และพักที่หอพักเหมือนกันทุกคน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาฟุตบอล สังกัดทีมศูนย์ฝึกทหารใหม่
กรมยุทธศึกษาทหารเรือ กองทัพเรือ จังหวัดชลบุรี จำนวน 9 คน

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1.1 เครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด (Branched chain amino acid; BCAA)
- 1.2 เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate; CHO)
- 1.3 เครื่องดื่มหลอก (Placebo; PLA)

2. ตัวแปรตาม ได้แก่

- 2.1 ค่าความเข้มข้นครีเอทีนไคเนส (Creatine kinase; CK)
- 2.2 ค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ (Rating of perceived damage)
- 2.3 ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (Biological antioxidant potential; BAP)
- 2.4 ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย (Determined reactive oxygen metabolites species; dROMs)
- 2.5 ระยะเวลาในการปั่นจักรยาน (Time performance)
- 2.6 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate)
- 2.7 ค่าระดับน้ำตาลในเลือด (Blood glucose)
- 2.8 ค่าระดับฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin hormone)
- 2.9 ค่าฮีมาโทคริต (Hematocrit)
- 2.10 ค่าน้ำหนักตัว ก่อนและหลังการออกกำลังกาย (Body weight)

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. เครื่องดื่มที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย เครื่องดื่ม 3 ชนิด

1.1 เครื่องดื่มบรานช์เชนอะมิโนแอซิด (Branched chain amino acid; BCAA) หมายถึง เครื่องดื่มที่มีประกอบของไอโซลิวซีน 10 กรัม ลูซีน 25 กรัม วาลีน 15 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิกรัม น้ำตาลเทียม 4 กรัม สารปรุงแต่งกลิ่นมะนาว 2 มิลลิตร ในปริมาณน้ำ 848 มิลลิตร และมีค่าออกซิโมลาลิตี้ 320 มิลลิออกซิโมลต่อกิโลกรัม

1.2 เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate; CHO) หมายถึง เครื่องดื่มที่มี ส่วนประกอบของกลูโคส 50 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิกรัม สารปรุงแต่งกลิ่นมะนาว 2 มิลลิตร ในปริมาณน้ำ 848 มิลลิตร และมีค่าออกซิโมลาลิตี้ 300 มิลลิออกซิโมลต่อกิโลกรัม

1.3 เครื่องดื่มหลอก (Placebo; PLA) หมายถึง เครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิกรัม น้ำตาลเทียม 4 กรัม สารปรุงแต่งกลิ่นมะนาว 2 มิลลิตร ในน้ำเปล่า 848 มิลลิตร และมีค่าออกซิโมลาลิตี้ 293 มิลลิออกซิโมลต่อกิโลกรัม มีสีและรสใกล้เคียงกับเครื่องดื่มบรานช์เชนอะมิโนแอซิด และเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตแต่ไม่มีผลต่อการให้พลังงาน

2. ความเสียหายของกล้ามเนื้อ (Muscle damage) หมายถึง การได้รับบาดเจ็บการเกิด ความเสียหายฉีกขาดของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ โดยมีการหลั่งของเอนไซม์ครีเอทีนไคเนสออกมาจาก กล้ามเนื้อเข้าสู่กระแสเลือดที่มากกว่าปกติ รวมถึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการ

ด้านออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย และค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ

3. ความอดทน (Physical Endurance) ในการออกกำลังกาย หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อที่ทำงานซ้ำๆได้เป็นระยะเวลาที่นานที่สุดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ สลับกับ 85 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุดจนกระทั่งอาสาสมัครรู้สึกล่า โดยมีค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นตัวกำหนด

4. การสันดาปสารอาหาร (Metabolism) หมายถึง การใช้พลังงานของร่างกายโดยการสันดาปสารอาหารประเภทต่าง ๆ จากคาร์โบไฮเดรต หรือโปรตีน ในระหว่างการออกกำลังกาย ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับน้ำตาลในเลือดและฮอร์โมนอินซูลิน

5. การสูญเสียน้ำของร่างกาย (Dehydration) หมายถึง ภาวะที่ร่างกายมีการสูญเสียน้ำจากการออกกำลังกาย โดยมีการระบายความร้อนทางผิวหนัง การหายใจและการหลั่งเหงื่อ ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าฮีมาโทคริต และการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกาย

6. ค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ (Rating of perceived damage) หมายถึง ระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อจากการทำแบบประเมินที่มีความยาวเส้นตรง 10 เซนติเมตร โดยที่ปลายด้านหนึ่งของเส้นตรง 0 เซนติเมตรแทนคะแนนต่ำสุดมีคำว่าไม่มีความเจ็บปวดเลยและที่ปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นตรง 10 เซนติเมตร แทนคะแนนสูงสุดมีคำว่าเจ็บปวดมากที่สุดเท่าที่จะมีได้ กลุ่มตัวอย่าง จะทำเครื่องหมายกากบาทลงบนเส้นตรง ณ จุดที่คิดว่าแทนระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อในขณะนั้น ความยาวของเส้นตรงที่วัดจากจุดเริ่มต้น 0 เซนติเมตร ถึงจุดกึ่งกลางเครื่องหมายกากบาทที่ขีดไว้แทนคะแนนประเมินระดับการรับรู้ความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อในขณะนั้น

7. การออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา (Intermittent exercise) หมายถึง การออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยาน 2 ช่วง ช่วงละ 45 นาที มีระยะเวลาพักระหว่างช่วง 15 นาที โดยอาสาสมัครปั่นจักรยานจนกระทั่งรู้สึกล่า ความหนักของการปั่นจักรยานอยู่ที่ 65 เปอร์เซ็นต์ สลับกับ 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด อาสาสมัครปั่นจักรยานที่มีความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์ 2 นาที 30 วินาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 30 วินาที

กรอบแนวคิดในการวิจัย



สมมติฐานการวิจัย

1. ความเสียหายของกล้ามเนื้อในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มน้ำขมิ้นชันอะมิโนแอซิดแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก
2. ความอดทนในการออกกำลังกายในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มน้ำขมิ้นชันอะมิโนแอซิดแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก
3. การสลายโปรตีนอาหารระหว่างการออกกำลังกาย ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มขมิ้นชันอะมิโนแอซิดแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก
4. การสูญเสียเหงื่อของร่างกายระหว่างการออกกำลังกาย ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มขมิ้นชันอะมิโนแอซิดแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก



บทที่ 2

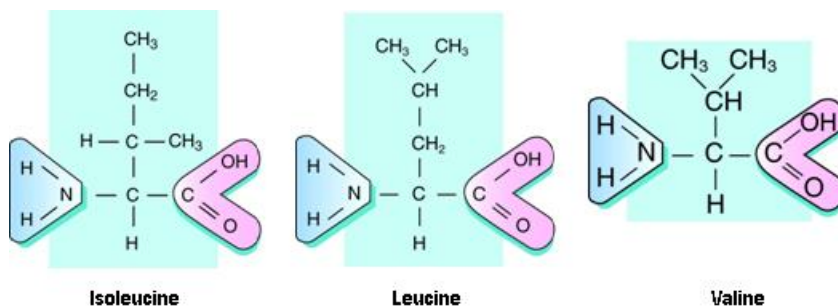
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ จากหนังสือ เอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้อง ตามหัวข้อต่อไปนี้

1. บรานซ์เชนอะมิโนแอซิด
2. ความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย
3. ผลของการได้รับบรานซ์เชนอะมิโนแอซิดต่อการออกกำลังกาย
4. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระกับการออกกำลังกาย

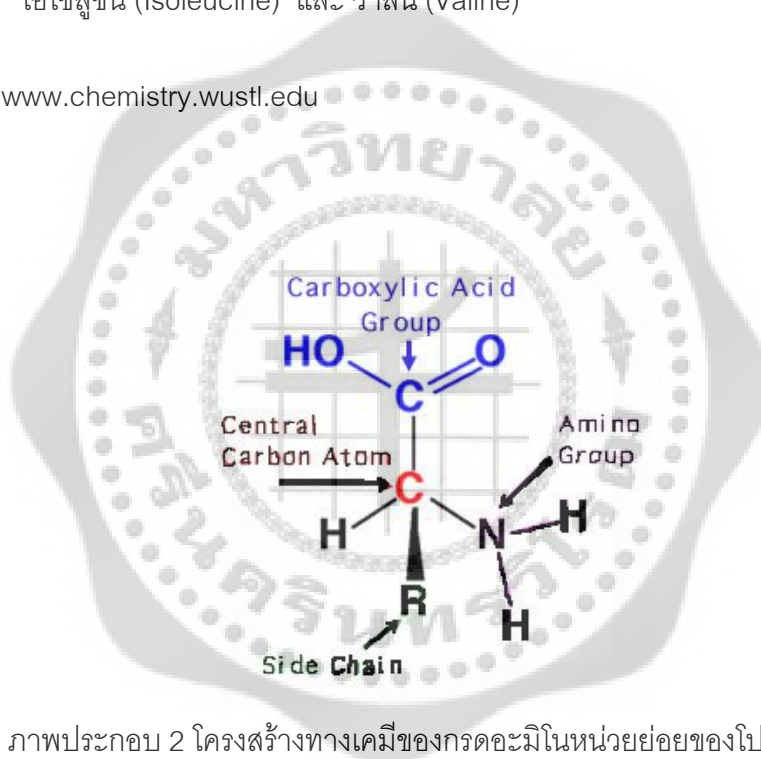
1. บรานซ์เชนอะมิโนแอซิด (Branched- chain amino acids ; BCAA)

บรานซ์เชนอะมิโนแอซิด (Branched- chain amino acids ; BCAA) ประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิดคือ ลูซีน (Leucine) ไอโซลูซีน (Isoleucine) และวาลีน (Valine) เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายซึ่งร่างกายไม่สามารถสร้างหรือสังเคราะห์ขึ้นได้ต้องได้รับจากอาหารจำพวกโปรตีนได้แก่ ไข่ ปลา เนื้อวัว และนม เป็นต้น (Greer. 2006) (ภาพประกอบ 1) บรานซ์เชนอะมิโนแอซิดเป็นหน่วยย่อยของโปรตีนที่มีองค์ประกอบแตกต่างจากคาร์โบไฮเดรตและ ลิพิด คือมีไนโตรเจนเป็นโมเลกุลนอกเหนือ จากคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน โมเลกุลเหล่านี้ประกอบขึ้นจากหน่วยย่อยพื้นฐานที่เรียกว่า กรดอะมิโนซึ่งประกอบไปด้วยหมู่คาร์บอกซี ($-\text{COOH}$) หมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) และอะตอมของคาร์บอน (-Carbon) โดยอาร์ (R) เป็นสัญลักษณ์แทนหมู่แขนงข้าง (Side chain) (ภาพประกอบที่ 2) สำหรับไนโตรเจนจากกรดอะมิโนเหล่านี้จะไม่สะสมในร่างกาย เมื่อได้รับมากเกินไปความต้องการของร่างกาย ทำให้มีการสลายกรดอะมิโนโดยการกำจัดหมู่อะมิโน (Amino group) ออกจากโมเลกุลด้วยปฏิกิริยา การย้ายหมู่อะมิโน (Transamination) และการกำจัดหมู่อะมิโน (Oxidative deamination) ได้ แอมโมเนียเกิดขึ้น ซึ่งแอมโมเนียจะถูกสังเคราะห์เป็นยูเรียโดยวัฏจักรยูเรีย แล้วขับออกทางปัสสาวะ สำหรับ โครงของคาร์บอนจะเปลี่ยนเป็นสารตัวกลาง (Intermediate) เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) และ จะถูกออกซิไดซ์เป็น คาร์บอนไดออกไซด์น้ำและพลังงานต่อไป (ธาดา สืบหลินวงศ์ และ นวลทิพย์ กมลวารินทร์. 2537)



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างทางเคมีของบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด ลูซีน (Leucine)
ไอโซลูซีน (Isoleucine) และ วาลีน (Valine)

ที่มา: www.chemistry.wustl.edu



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างทางเคมีของกรดอะมิโนหน่วยย่อยของโปรตีน

ที่มา: www.chemistry.wustl.edu.

บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดไม่ได้ทำหน้าที่หลักในการเป็นสารพลังงานแก่ร่างกาย (พจน์ ศรีบุญ
ลือ. 2543) แต่เมื่ออยู่ในสภาวะที่ระดับคาร์โบไฮเดรตลดลง บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดจะสลายและให้
พลังงานสูงกว่าปกติ ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของพลังงาน ทั้งหมดที่ร่างกายต้องการ (Gibala. 2001;
Greer. 2006) และยังเป็นแหล่งพลังงานโดยตรงของกล้ามเนื้อ ในขณะที่ร่างกายต้องการพลังงานอย่าง
รวดเร็ว เช่น ขณะออกกำลังกายอย่างหนัก (Vigorous exercise) ความโดดเด่นของบรานซ์เซนอะมิ
โนแอซิดที่สามารถสลายให้พลังงานได้อย่างรวดเร็วในกล้ามเนื้อเพราะกล้ามเนื้อมีเอนไซม์บรานซ์

เซนอะมิโน ทรานสเฟอเรส (Branched chain amino transferase; BCAT) ทำหน้าที่ในการสลายกรดอะมิโน บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดให้เป็นพลังงาน ซึ่งแตกต่างจากกรดอะมิโนอื่นๆ ที่ขบวนการสลายต้องอาศัยเอนไซม์จากตับเป็นหลัก โดยที่บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดสามารถสะสมในปริมาณ 0.1 กรัมต่อกล้ามเนื้อ 1 กิโลกรัม ซึ่งมีความเข้มข้นมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรดอะมิโนชนิดอื่นและพบว่าเมื่อมีการออกกำลังกายอย่างหนักและยาวนานจะเพิ่มขบวนการสลายกรดอะมิโนนี้ในกล้ามเนื้อเพื่อใช้เป็นพลังงานเพิ่มมากยิ่งขึ้น (Fernstrom. 2005; Gleeson. 2005; Shimomura. 2006)

อย่างไรก็ตามกรดอะมิโนลูซีน (Leucine) ในบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดยังมีความสำคัญในแง่ของการช่วยกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์โปรตีน (Protein synthesis) และยับยั้งการสลายโปรตีน (Protein degradation) โดยผ่านทางกลไกที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นให้ร่างกายมีการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินเพิ่ม มากขึ้น เพื่อเพิ่มการสังเคราะห์และสะสมโปรตีนในร่างกาย มีผลช่วยให้ลดการฉีกขาดของกล้ามเนื้อ ลดอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ (Reduce muscle pain) ภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก การทำงานของบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดเหล่านี้จะทำงานประสาน กันทั้งสลายเป็นพลังงานให้กล้ามเนื้อขณะที่ทำงานกรดอะมิโนเหล่านี้จะทำงานร่วมกันเพื่อป้องกันมิให้เกิดการสลายกล้ามเนื้อหรือยับยั้งการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อในขณะที่ร่างกายพักหรือออกกำลังกายที่มีระดับความหนักต่ำ ซึ่งในขณะนั้นร่างกายจะใช้พลังงานจากจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันเป็นหลัก แต่เมื่อใดก็ตามที่ที่ร่างกายต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะเมื่อพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตเริ่มหมดไป บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดสามารถสลายเป็นพลังงานโดยตรงให้กล้ามเนื้อได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนักกีฬาที่มีการออกกำลังกาย ที่ระดับความหนักหนักมากต่อเนื่องเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน (Gleeson. 2005) โดยปริมาณบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดที่แนะนำให้บริโภคได้กำหนดให้รับประทานในปริมาณ 15-60 กรัมต่อวัน และนิยมให้เป็นการเสริมในรูปของเครื่องดื่มในปริมาณ 15-50 กรัมต่อวันต่อคน (Fernstrom. 2005) ได้มีการศึกษาวิจัย พบว่าการเสริมบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดในปริมาณ 14-60 กรัมต่อวันมีรายงานว่าไม่มีผลเสียต่อร่างกาย (Adverse effects) (Fernstrom. 2005; Greer. 2006; Greer et al. 2007; Ivy. 2003) ซึ่งพบว่า การได้รับบรานซ์เซนอะมิโน แอซิดเสริมในรูปของเครื่องดื่มในปริมาณ 15-50 กรัมต่อวันต่อคน มีประโยชน์ในแง่ของการสลายเป็นพลังงานและลดการสลายบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดที่อยู่ในกล้ามเนื้อ ซึ่งส่งผลต่อการลดการฉีกขาด ลดความเจ็บปวด และเร่งการฟื้นฟูกล้ามเนื้อ ภายหลังการออกกำลังกาย และยังไม่พบผลเสียข้างเคียงต่อร่างกาย (Brosnan. 2005; Gleeson. 2005; Greer. 2006; Greer et al. 2007)

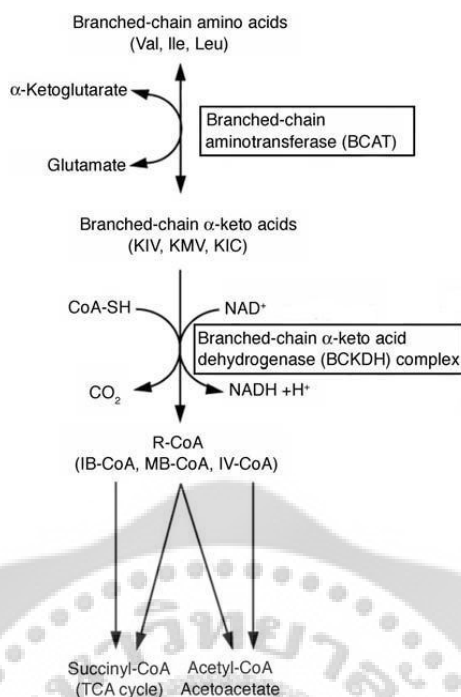
1.1 การสลายbranched chain amino acids (Catabolism of branched chain amino acids)

branched chain amino acids เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของกล้ามเนื้อ มีขั้นตอนการสลายที่จำเพาะในกล้ามเนื้อ (พัชรีย์ วิทยานวดี. 2550) เพราะในกล้ามเนื้อมีเอนไซม์ branched chain aminotransferase (BCAT) มีขั้นตอนดังนี้ (ภาพประกอบ 3) การกำจัดไนโตรเจนออกจากกรดอะมิโน ด้วยขบวนการเคลื่อนย้ายหมู่อะมิโน (Transamination) และการกำจัดหมู่อะมิโนโดยการออกซิเดชัน (Oxidative deamination) และการสลายโครงร่างคาร์บอนที่เหลือของกรดอะมิโน (Gibala. 2001; Gleeson. 2005; Newsholme & Blomstrand. 2006; Shimomura. 2006)

1.1.1 การกำจัดไนโตรเจนออกจากกรดอะมิโน

โดยขบวนการเคลื่อนย้ายหมู่อะมิโนทรานสอะมิเนชัน (Transamination) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ ขั้นที่ 1 การสลาย branched chain amino acids ด้วยเอนไซม์ branched chain aminotransferase โดยการย้ายหมู่อะมิโนจากกรดอะมิโนไปให้กับแอลฟาคีโตกลูตาเรต (α -Ketoglutarate) ทำให้ได้กรดอะมิโนใหม่ คือ กลูตาเมต (Glutamate) ซึ่งอาจส่งเข้าวิถีชีวสังเคราะห์ต่างๆ หรือถูกนำไปเปลี่ยนเป็นสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่จะถูกขับออกนอกร่างกาย ส่วน branched chain amino acids เดิมเมื่อมีการดึงหมู่อะมิโนออกไปก็จะเปลี่ยนไปเป็น branched chain α -keto acid (Branched chain α -Keto acid) ตัวใหม่โดยที่วาลีน (Valine) เปลี่ยนไปเป็น แอลฟาคีโตไอโซวาเลอเรต (α -ketoisovalerate; KIV) ไอโซลิวซีน (Isoleucine) เปลี่ยนไปเป็น แอลฟา คีโตเบต้ามีทิลวาเลอเรต (α -keto- β -methylvalerate; KMV) และลิวซีน (Leucine) เปลี่ยนไปเป็น แอลฟา คีโตไอโซคาโปรเอต (α -ketoisocaproate; KIC) (Shimomura. 2004)

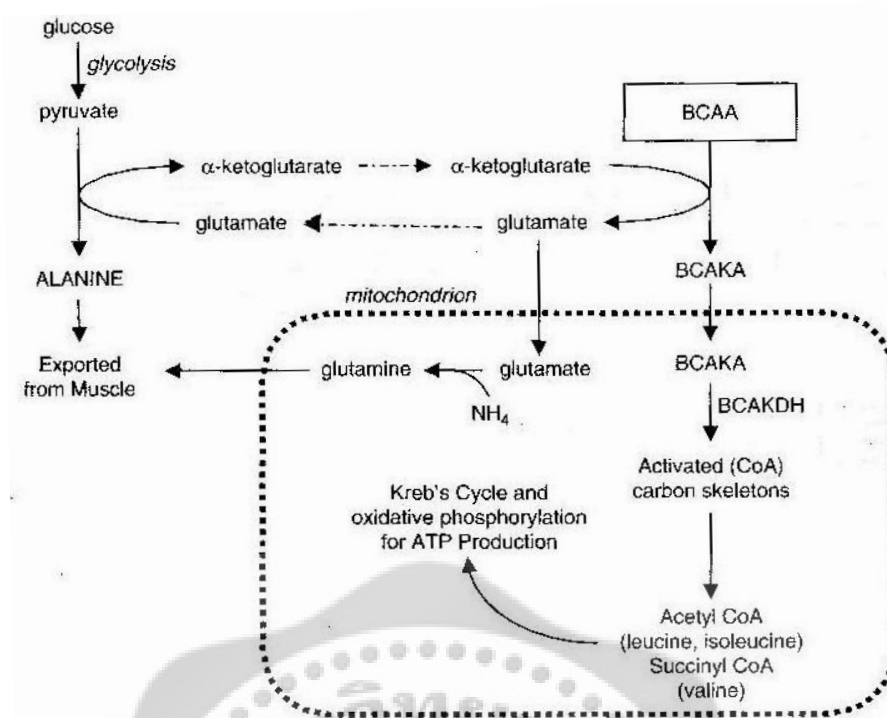
ขั้นตอนต่อไป คือ branched chain α -Keto acid (Branched chain α -Keto acid) ที่ตัดหมู่อะมิโนออกจากปฏิกิริยาดีอะมิเนชัน (Deamination) นั้นถูกสลายต่อไปโดยที่ แอลฟาคีโตไอโซวาเลอเรต (α -ketoisovalerate; KIV) เปลี่ยนไปเป็น IB-CoA, isovaleryl-CoA สำหรับแอลฟาคีโตเบต้ามีทิลวาเลอเรต (α -keto- β -methylvalerate; KMV) เปลี่ยนไปเป็น MB-CoA, α -methylbutyryl-CoA และแอลฟาคีโตไอโซคาโปรเอต (α -ketoisocaproate; KIC) เปลี่ยนไปเป็น IV-CoA, isovaleryl-CoA โดยอาศัยเอนไซม์ branched chain α -keto acid dehydrogenase complex (BCKDH) สำหรับหมู่อะมิโนของกลูตาเมตจะถูกตัดออกไปโดยปฏิกิริยาดีอะมิเนชัน (Deamination) โดยกลูตาเมตจะถูกขนส่งจากไซโตพลาซึมเข้าไปสู่ไมโทคอนเดรียเพื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดทีฟดีอะมิเนชัน (Oxidative deamination) ผลสุดท้ายจะถูกแยกสลายด้วยน้ำต่อไปกลายเป็นแอลฟาคีโตกลูตาเรต (α -Ketoglutarate) และแอมโมเนีย (Shimomura. 2004)



ภาพประกอบ 3 การสลายเบราน์เชนอะมิโนแอซิด

ที่มา: www.chemistry.wustl.edu.

1.1.2 การสลายโครงร่างคาร์บอนที่เหลือของเบราน์เชนอะมิโนแอซิด ในการสลายส่วนอะตอม ของคาร์บอนจะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และสารตัวกลางของวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) ซึ่งลูซีน (Leucine) สลายผ่านอะซิติลโคเอ (Acetyl-CoA) ไอโซลูซีน (Isoleucine) วาลีน (Valine) สลายผ่าน ซักซินิลโคเอ (Succinyl-CoA) ในวัฏจักรเครบส์ หรือวัฏจักรกรด ไตรคาร์บอกซิลิก (Tricarboxylic cycle; TCA Cycle) ซึ่งเป็นกระบวนการเมแทบอลิซึมของอะซิติลโคเอโดยอาศัยการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่เกิดขึ้นเป็นวงจรได้สารต่าง ๆ พร้อมทั้งขนส่งผลผลิตสุดท้ายไปยังตัวรับอิเล็กตรอนนิโคตินาไมด์ อะดีโนซีน ไดนิวคลีโอไทด์ (Nicotinamide Adenosine Dinucleotide; NADH และฟลาวิน อะดีโน ไดนิวคลีโอไทด์ (Flavin Adeno dinucleotide; FADH₂) เพื่อนำไปสร้างพลังงาน ซึ่งสามารถ ถูกเปลี่ยนต่อไปจนกระทั่งได้ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) น้ำ (H₂O) และสร้างอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Adenosine Triphosphate; ATP) ในกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนวัฏจักรนี้เกิดในไมโทคอนเดรีย (พจน ศิริบุญลือ. 2543; Gibala. 2001) (ภาพประกอบ 4)



ภาพประกอบ 4 ขบวนการสลายโปรตีนอะมิโนแอซิดในกล้ามเนื้อ

ที่มา: www.chemistry.wustl.edu.

ซึ่งสอดคล้องกับ จิบาลา (Gibala, 2001) ที่กล่าวว่าที่จุดเริ่มต้นของการออกกำลังกายควรมีสารตัวกลางของวัฏจักรเครบส์ในปริมาณสูงเพื่อเตรียมพร้อมในการผลิตพลังงานจากกระบวนการใช้ออกซิเจน (Aerobic) แต่ถ้ามีการลดลงของสารตัวกลางของวัฏจักรเครบส์ระหว่างออกกำลังกายแบบใช้ระยะเวลาสั้น จะเป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้เกิดการล้าของกล้ามเนื้อได้ ระหว่างการออกกำลังกาย ที่ระดับความหนักของการออกกำลังกายต่ำความเข้มข้นของสารตั้งต้นของวัฏจักรเครบส์จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ถ้าความหนักของการออกกำลังกายมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) แหล่งเก็บของสารตั้งต้นในวัฏจักรเครบส์จะเพิ่มขึ้น และเพิ่มมากกว่าขณะพัก 3-4 เท่า แต่ถ้าการออกกำลังกายนานขึ้น แหล่งเก็บของสารตั้งต้นในวัฏจักรเครบส์จะค่อย ๆ ลดลง ซึ่งการออกกำลังกายที่นานขึ้นพบว่าการเพิ่มอัตราการสลายโปรตีนอะมิโนแอซิดโดยสลายผ่าน วัฏจักรเครบส์ จากการพบเอนไซม์บรานซ์เชนอะมิโนทรานสเฟอเรส (Branched chain amino transferase; BCAT) ในกล้ามเนื้อมีปริมาณมากขึ้นมากกว่าขณะพัก ซึ่งแตกต่างจากกรดอะมิโนอื่นๆ ที่ขบวนการสลายต้องอาศัยเอนไซม์จากตับเป็นหลัก และจะพบว่าเอนไซม์นี้จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เมื่อระดับไกลโคเจนในร่างกายที่ลดลง ซึ่งเป็นการเพิ่มขบวนการสลายโปรตีนอะมิโนแอซิดในกล้ามเนื้อ เพื่อมาใช้เป็นพลังงานทดแทนก่อนการหมดไปของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ

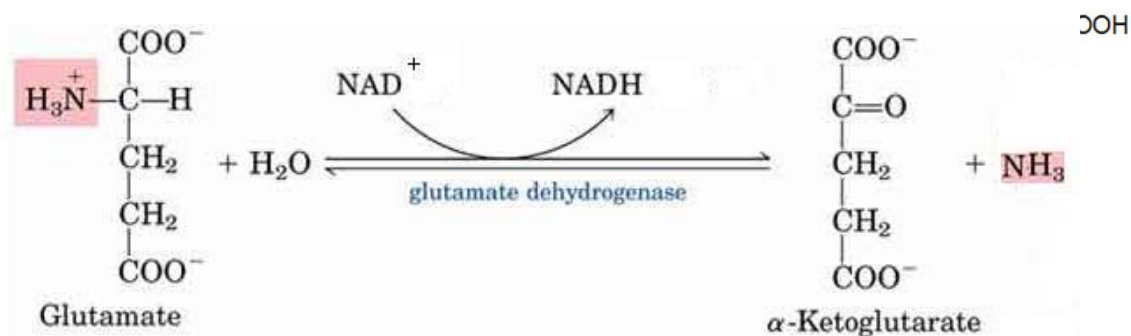
โดยกระบวนการเปลี่ยนบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิดไปเป็นสารตัวกลางของวัฏจักรเครบส์ และเกิดประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ระหว่างการออกกำลังกายที่ใช้ระยะเวลายาวนาน (Gibala. 2001; Gleeson. 2005; Fernstrom. 2005; Gleeson. 2005; Shimomura. 2006; Blomstrand & Newsholme. 1992)

1.2 เมแทบอลิซึมของแอมโมเนียและการขนส่งแอมโมเนียในกระแสเลือด

กรดอะมิโนกลูตาเมต (Glutamate) ที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายหมู่อะมิโนของปฏิกิริยาทรานสอะมิเนชัน (Transamination) ของบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิดนั้น อาศัยเอนไซม์บรานซ์เซโนอะมิโนทรานสเฟอเรส (พัชรา วีระกะลัส. 2549)

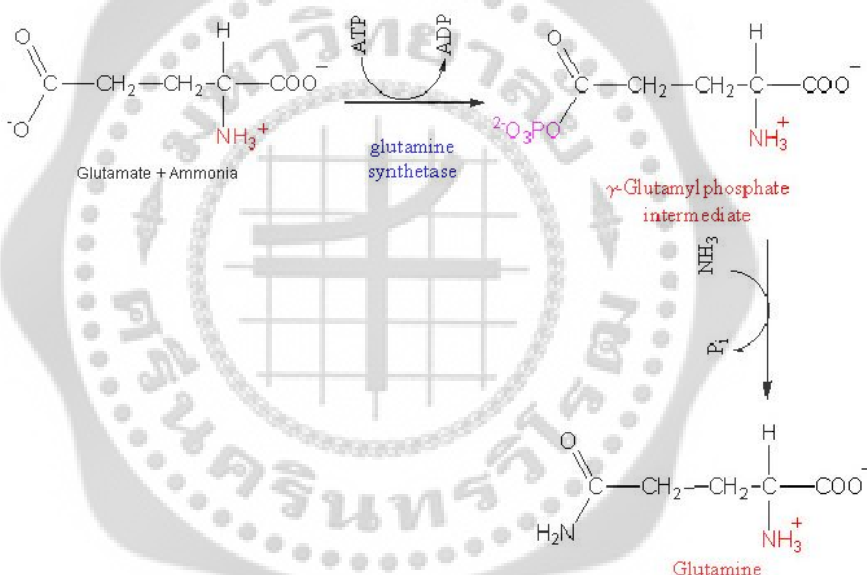
กลูตาเมตจะถูกขนส่งจากไซโตพลาซึมเข้าสู่ไมโทคอนเดรียเพื่อจะกำจัดหมู่อะมิโน จากปฏิกิริยาออกซิเดทีฟดีอะมิเนชัน (Oxidative deamination) โดยเอนไซม์กลูตาเมต ดีไฮโดรจีเนส (Glutamate dehydrogenase; GDH) ก่อให้เกิด แอลฟา คีโตกลูตาเรต (α -ketoglutarate) ให้กับวัฏจักร เครบส์ พร้อมกับมีแอมโมเนีย (NH_3) เกิดขึ้น (ภาพประกอบ 5) และขนส่งไปที่ตับในรูปของกลูตามีน (Glutamine) และอะลานีน (Alanine) และถูกขับออกนอกร่างกายในรูปของยูเรียต่อไป (พัชรา วีระกะลัส. 2549)

กลูตามีน (Glutamine) ที่ทำหน้าที่ขนส่งแอมโมเนียไปที่ตับ เนื่องจากแอมโมเนียเป็นสารที่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อ ดังนั้นแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกลูตามีนซึ่งไม่มีพิษก่อนที่จะถูกขนส่งออกนอกเนื้อเยื่อสู่กระแสโลหิตเพื่อไปยังตับและไตซึ่งแอมโมเนียจะรวมตัวกับกลูตาเมต เกิดเป็นกลูตามีน โดยปฏิกิริยาเร่งโดยเอนไซม์กลูตามีนซินเทส (Glutamine synthetase; GS) ซึ่งต้องการเอทีพี (Adenosine triphosphate; ATP) และ เกิด 2 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนแรกกลูตาเมตจะทำปฏิกิริยากับเอทีพี เกิดผลิตผลเป็นเอดีพี (Adenosine diphosphate; ADP) และสารตัวกลางแกรมมา กลูตามิลฟอสเฟต (γ -glutamylphosphate) ซึ่งต่อมาทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียเกิดผลิตผลเป็นกลูตามีน (ภาพประกอบ 6) กลูตามีนเป็นสารที่ไม่มีพิษโดยเป็นสารที่เป็นกลางไม่มีประจุทำให้สามารถผ่านข้ามเยื่อเซลล์ได้เป็นอย่างดี เพื่อเข้ากระแสโลหิตไปยังตับเพื่อขจัดไนโตรเจนของกลูตามีนออกมาเป็นแอมโมเนียใน ไมโทคอนเดรียของตับโดยมีเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาคือกลูตามิเนส (Glutaminase) ซึ่งจะถูกเปลี่ยน กลูตามีนไปเป็นกลูตาเมตและยูเรีย (พัชรา วีระกะลัส. 2549) (ภาพประกอบ 7)



ภาพประกอบ 5 ปฏิกิริยาคีโอะมิเนชัน (Deamination) ของกรดอะมิโนกลูตาเมต (Glutamate)

ที่มา: www.chemistry.wustl.edu.



ภาพประกอบ 6 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กลูตาไมนจากกลูตาเมตและแอมโมเนียเร่งโดยเอนไซม์กลูตาไมนซินทีเทส

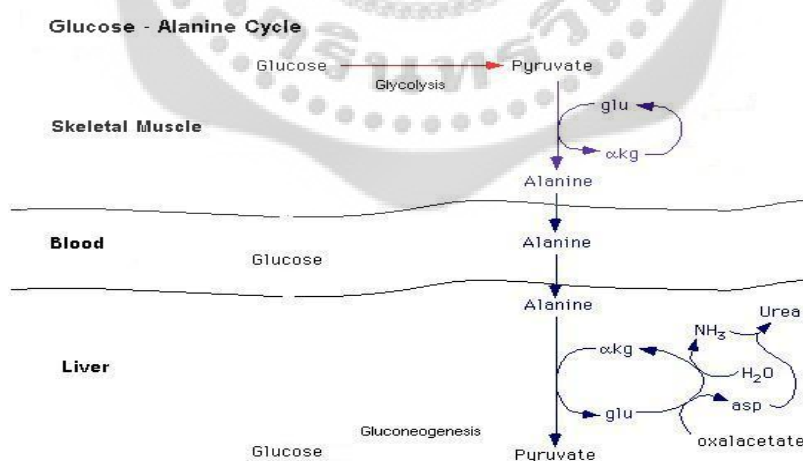
ที่มา: www.chemistry.wustl.edu



ภาพประกอบ 7 ปฏิกิริยาเปลี่ยนกลูตามีนเป็นกลูตาเมตและแอมโมเนียซึ่งเร่งโดยเอนไซม์ กลูตามิเนสซึ่งมีอยู่ในไมโทคอนเดรียของตับ

ที่มา: www.chemistry.wustl.edu.

สำหรับการขนส่งแอมโมเนียไปที่ตับโดยอะลานีน (Alanine) ซึ่งอะลานีนทำหน้าที่ขนส่ง แอมโมเนียจากกล้ามเนื้อไปสู่ตับ โดยอาศัยวัฏจักรกลูโคส-อะลานีน (Glucose-alanine cycle) ซึ่งเกิดจากการที่กลูตาเมตส่งหมู่อะมิโนให้กับไพรูเวตโดยอาศัยเอนไซม์อะลานีนอะมิโนทรานเฟอเรส (Alanine aminotransferase) และเกิดผลิตภัณฑ์เป็นอะลานีน (Alanine) ซึ่งอะลานีนจะถูกขนส่งไปตามกระแสเลือดเพื่อส่งไปยังตับต่อไป หลังจากนั้นอะลานีนถูกกำจัดหมู่อะมิโนออกโดยปฏิกิริยา ทรานสอะมิเนชัน (Transamination) และปฏิกิริยาออกซิเดทีฟดีอะมิเนชัน (Oxidative deamination) ส่วนไพรูเวต (Pyruvate) ที่เกิดจากปฏิกิริยาทรานสอะมิเนชัน (Transamination) ในตับจะเปลี่ยนเป็น กลูโคส (Glucose) และถูกส่งกลับไปยังกล้ามเนื้อเพื่อใช้เป็นพลังงานต่อไป (Gibala. 2001; Gleeson. 2005) (ภาพประกอบ 8)



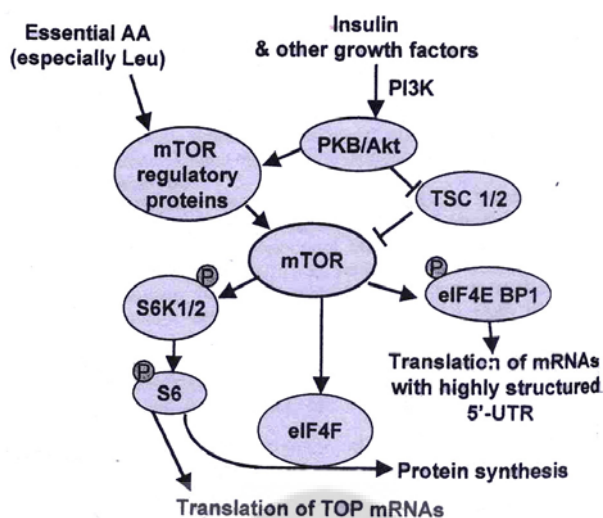
ภาพประกอบ 8 วัฏจักรกลูโคส อะลานีน (Glucose – alanine cycle)

ที่มา: www.chemistry.wustl.edu

1.3 บรานซ์เชนอะมิโนแอซิดกับอินซูลินฮอร์โมน

(Branched chain amino acids & Insulin hormone)

การได้รับบรานซ์เชนอะมิโนแอซิดก่อนการออกกำลังกาย เป็นที่ทราบว่าจะสามารถกระตุ้นการหลั่งของฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin hormone) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนลูซีน (Leucine) นั้นกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินเพิ่มขึ้น (McNaughton. 2000) ซึ่งฮอร์โมนดังกล่าวมีหน้าที่กระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนในร่างกายและยับยั้งการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ (Garlick. 2005; Nair & Short. 2005) ผลจากการได้รับบรานซ์เชนอะมิโนแอซิดนั้น มีบทบาทสำคัญในระดับยีนของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการคัดลอก (Transcriptional) และแปลข้อมูลที่ได้รับ (Translational) โดยมีการส่งสัญญาณผ่านทางหน่วยพันธุกรรมที่มีการถ่ายทอดทางโครโมโซมส่งสัญญาณ (mRNA) ของ Mammalian target of rapamycin (mTOR) เพื่อคัดลอกและประมวลผลข้อมูลที่ได้รับรวม ถึงส่งข้อมูลต่อไปให้กับ ตัวกลางรับสัญญาณข้อมูลของฮอร์โมนอินซูลิน และกระตุ้นตัวรับการตอบสนองของฮอร์โมนอินซูลินให้มีการหลั่งของฮอร์โมนอินซูลินเพิ่มมากขึ้น เพื่อเพิ่มขบวนการสังเคราะห์ และสะสมโปรตีน (Protein synthesis) และยับยั้งการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ (Muscle protein breakdown) (Garlick. 2005; Nair & Short. 2005) (ภาพประกอบ 9) สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า นักกีฬาที่ได้รับบรานซ์เชน อะมิโนแอซิดก่อนการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานอย่างต่อเนื่องที่ระดับความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง จนครบ 1 อาทิตย์ กลุ่มที่ได้รับบรานซ์เชนอะมิโนแอซิดเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอกล้มค่า ครีเอทีนโคเนสในกระแสเลือดลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อันเนื่องมาจากการได้รับบรานซ์เชนอะมิโนแอซิด มีส่วนช่วยให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีนและยับยั้งการสลายของโปรตีนในกล้ามเนื้อ ส่งผลให้เกิดการลดการฉีกขาดของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ลดการฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อขนาดเล็ก (Myofibrillar) หลังการออกกำลังกายนั่นเอง (McNaughton. 2000)



ภาพประกอบ 9 อะมิโนแอซิดกับการแปลข้อมูลของฮอร์โมนอินซูลิน

ที่มา: www.chemistry.wustl.edu

2. ความเสียหายและการปวดกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกาย

การออกกำลังกายเป็นสิ่งจำเป็นและเกิดประโยชน์ต่อร่างกาย การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอจะช่วยให้ระบบต่างๆ ของร่างกายมีการทำงานประสานกันอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ร่างกายเกิดความสมบูรณ์ แข็งแรง สำหรับการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา เป็นการออกกำลังกายที่มีระดับความหนักอย่างน้อยสองระดับสลับกันไปมาในระหว่างการออกกำลังกาย เช่น การออกกำลังกายที่ระดับความหนักหน่วงมาก (High intensity) และระดับความหนักเบาถึงปานกลาง (Low-moderate intensity) (Ivy et al. 2003) ซึ่งการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาที่ร่างกายจะใช้พลังงานแบบผสมผสานจาก 2 ระบบ คือ ระบบพลังงานที่ได้มาจากการทำงานแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic energy system) และแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic energy system) เช่น ฟุตบอล บาสเกตบอล ฟุตบอล ฮ็อกกี้ อเมริกันฟุตบอล แอนด์บอล เทนนิส แบดมินตัน เป็นต้น ซึ่งมีรูปแบบการเคลื่อนไหวไม่สม่ำเสมอ หมุนเวียนเป็นช่วงๆ (Intermittent exercise) (Bangsbo; & Krstrup. 2001; Ivy et al. 2003; Reilly. 1997; Saunders et al. 2004; Sugiura et al. 1998; The importance of carbohydrate ingestion during high intensity intermittent exercise. 2010) ตลอดระยะเวลาการออกกำลังกาย เช่น การเดิน การวิ่งเหยาะๆ การวิ่งอย่างมีเป้าหมายแต่ไม่เร่งสุดขีด การวิ่งเต็มที่เร่งสุดขีด กาสไลด์ด้านข้าง การวิ่งกลับตัว เป็นต้น (Reilly. 1997; Sugiura et al. 1998) ตัวอย่างเช่น ในกีฬาฟุตบอล ซึ่งมีรูปแบบการเคลื่อนไหวไม่สม่ำเสมอ หมุนเวียนเป็นช่วงๆ (Intermittent exercise)

ตลอดเกมการแข่งขัน ประกอบกับการเคลื่อนไหวซ้ำๆ มากกว่า 1,000 ครั้ง เช่น การเคลื่อนไหวไปกับบอล (With ball) การเคลื่อนไหวไปด้านหลัง (Backing) การเดิน (Walking) การวิ่งเหยาะ ๆ (Jogging) การวิ่งอย่างมีเป้าหมายแต่ไม่เร่งสุดขีด (Cruise) การวิ่งเต็ม ที่เร่งสุดขีด (Sprint) การสไลด์ด้านข้าง การวิ่งกลับตัว เป็นต้น ระยะทางรวมที่นักกีฬาเคลื่อนที่ประมาณ 10-13 กิโลเมตร ส่วนใหญ่มีระดับความหนักของการออกกำลังกายระหว่าง 65-85 ของความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) (Bangsbo; & Krstrup. 2001; Reilly. 1997; Sugiura. 1998)

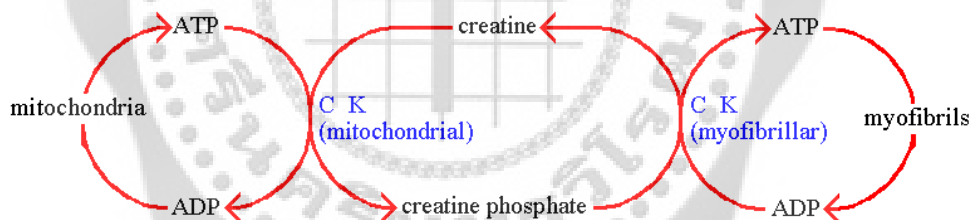
ความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายและเล่นกีฬาที่เกิดขึ้นในทุกๆประเภทของการเล่นกีฬาโดยเฉพาะอย่างยิ่งกีฬาที่ปะทะ มีระยะเวลาที่เล่นนาน หรือกีฬาที่มีระดับการแข่งขันอยู่ในระดับสูง เนื่องจากการเคลื่อนไหวที่หลากหลาย รวดเร็ว รุนแรง ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บเสียหายของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งการบาดเจ็บเสียหายเกิดขึ้นได้ทั้งภายนอกรุนแรง สามารถมองเห็นได้ชัดเจน (Macro injury) มีความรุนแรงต่อร่างกายมาก และการบาดเจ็บภายในร่างกายไม่สามารถมองเห็น อาการบาดเจ็บจากภายนอกซึ่งเป็นการบาดเจ็บแบบไมโคร (Micro injury) การบาดเจ็บเกิดขึ้นได้ทั้งฉบับพลันสามารถมองเห็นได้ทันที เช่น กระชากหัก หรือการเกิดขึ้นกับอวัยวะภายในซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าต้องอาศัยสังเกตจากอาการจึงจะทราบว่ามีการบาดเจ็บในอวัยวะภายในร่างกาย เช่น การวิ่งเวียน อาเจียนพุ่ง แสดงถึงการบาดเจ็บของระบบประสาท ปัสสาวะมีสีแดงบ่งชี้ถึงการมีอาการบาดเจ็บของไต เป็นต้น (Paola; & Nicola. 2008; Peake et al. 2005) การศึกษาหาตัวบ่งชี้ (Bio marker) ถึงการบาดเจ็บทางการกีฬาจึงมีความสำคัญต่อการรักษา ฟันฟูหรือแม้กระทั่งการป้องกันความรุนแรงความเสียหาย การบาดเจ็บจากการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาไม่ให้อุกลามมากขึ้น ดังนั้นการศึกษาระดับชีวเคมีในเลือด โดยใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Bio markers) เพื่อศึกษาความเสียหาย บาดเจ็บหลังการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาที่ไม่สามารถมองเห็นจากภายนอกด้วยตาเปล่าจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อนักกีฬา

ความเสียหายของกล้ามเนื้อ (Muscle damage) และอาการปวดกล้ามเนื้อ (Muscle soreness) ภายหลังออกกำลังกายนั้น เกิดจากการออกกำลังกายอย่างหนัก (Vigorous exercise) และใช้เวลานาน ความเสียหายและการปวดกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายมีสองแบบคือ ความเสียหายที่มองเห็นได้ชัดเจน มีความรุนแรงต่อร่างกายมาก ผลเสียที่เกิดขึ้นมีมากและระยะเวลาในการรักษานาน เช่นกล้ามเนื้อฉีกขาดจะส่งผลให้เกิดแผลเป็นภายในกล้ามเนื้อทำให้การหดตัวของกล้ามเนื้อทำได้ไม่มีประสิทธิภาพ ส่วนความเสียหายแบบที่สองคือความเสียหายภายในเส้นใยกล้ามเนื้อ (Muscle fibers) ไม่สามารถมองเห็นความเสียหายหรืออาการบาดเจ็บจากภายนอกได้ซึ่งเป็นการบาดเจ็บแบบไมโคร (Micro injury) จะมีอาการปวดกล้ามเนื้อตามมาภายหลังจากการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา 1-3 วัน ซึ่งเรียกอาการนี้ว่า อาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกาย (Delayed onset

muscular) และอาการนี้จะสามารถหายไปเอง 3-4 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามความเสียหาย บาดเจ็บจะไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกายเมื่อเทียบกับอาการบาดเจ็บที่มองเห็นได้ชัดเจน (Macro injury) แต่อาการนี้ก็สร้างปัญหาให้กับนักกีฬาได้เนื่องจากสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายทั้งคนทั่วไปและนักกีฬา เมื่อเกิดอาการขึ้นแล้วมีการทำลายประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อทั้งในระยะสั้นและทำลายประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวของนักกีฬาในระยะยาว (Armstrong et al. 1991; Peake et al. 2005)

2.1 ครีเอทีนไคเนส (Creatine kinase ; CK)

ครีเอทีนไคเนสเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในไซโตพลาสซึม (Cytoplasm) และไมโทคอนเดรีย (Mitochondrial) ของเซลล์ กล้ามเนื้อ ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการสลายครีเอทีนฟอสเฟต (Creatine phosphate) ให้เป็นครีเอทีน (Creatine) และฟอสเฟต (Phosphate) โดยที่ครีเอทีนฟอสเฟตจะทำหน้าที่จ่ายหมู่ฟอสเฟตให้เอดีพี (Adenosine diphosphate; ADP) เพื่อเปลี่ยนไปเป็นเอทีพี (Adenosine triphosphate; ATP) หรือพลังงานที่ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ (Paola & Nicola. 2008)



ภาพประกอบ 10 ครีเอทีนไคเนส (Creatine kinase enzyme; CK)

ที่มา: Mc Ardle, W.D.; Katch, F.I.; & Katch, V. L. (2000). Essentials of Exercise Physiology. 2nd ed. Philadelphia USA: William & Wilkins a waverly.

ครีเอทีนไคเนส มีโครงสร้างเป็นโปรตีนที่มีสองโมเลกุล คือสาย เอ็ม (Muscle) สายบี (Brain) ในการรวมกันของโปรตีนทั้งสองสายทำให้เกิดไอโซเอนไซม์ (Isoenzyme) ได้ 3 แบบ คือ พบที่กล้ามเนื้อหัวใจ (CK-MB) พบในสมองและเนื้อเยื่อประสาท (CK-BB) พบในกล้ามเนื้อลาย (CK-MM) โดยปกติ ครีเอทีนไคเนสอยู่ในกล้ามเนื้อเป็นส่วนใหญ่น้อยละ 99 ชนิด คือชนิด CK-MM และอยู่ในกระแสเลือดน้อยละ 1 การพบครีเอทีนไคเนสในกระแสเลือดเป็นดัชนีแสดงถึงการถูกทำลายของเซลล์

กล้ามเนื้อหรือการมีพยาธิสภาพของกล้ามเนื้อ ครีเอทีนไคเนสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้นเมื่อเป็นโรคเกี่ยวกับกล้ามเนื้อหรือเกิดความเสียหาย บาดเจ็บของกล้ามเนื้อ (Skeletal muscle diseases or muscle damage)จากการกีฬา การผ่าตัด (Kuipers. 1994; Paola; & Nicola. 2008) นอกจากนี้ยังพบว่า ครีเอทีนไคเนสเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก ซึ่งเกิดจากการทำลายเส้นใยกล้ามเนื้อทำให้ผนังเซลล์ (membranes) ฉีกขาดจึงทำให้ครีเอทีนไคเนสไหลออกจากภายในเซลล์ที่มีความเข้มข้นสูงสู่ภายนอกเซลล์ (Extracellular space) ที่มีความเข้มข้นของเอ็นไซม์ต่ำกว่า ซึ่งค่าอ้างอิง (Reference value) หรือค่าปกติ (Normal range) ของครีเอทีนไคเนสในกระแสเลือดมีค่า 0-190 ยูนิตต่อลิตร (U/L) ความไวในการวินิจฉัย (Sensitivity) ร้อยละ 95.6 ค่าความจำเพาะ (Specificity) เท่ากับร้อยละ 100 ช่วงระยะเวลาของการไหลออกจากภายในเซลล์สู่ภายนอกเซลล์ หรือสู่กระแสเลือดขึ้นอยู่กับระดับความหนัก และระยะเวลาที่ออกกำลังกายและการเพิ่มขึ้นของครีเอทีนไคเนสในกระแสเลือดสูงสุด 24 ชั่วโมงหลังการออกกำลังกายและค่อยๆลดลงจนสู่สภาวะปกติ 72-80 ชั่วโมง (Mero. 2010; Paola & Nicola. 2008; Shelder et al. 2000) เมื่อเวลาผ่านไป 48- 72 ชั่วโมงเกิดการอักเสบเกิดขึ้นทำให้บวมภายในเซลล์ มีความดันมากขึ้นจึงรู้สึกเจ็บปวด และบวม เนื่องจากปลายประสาท (Nerve endings) ถูกกดทับและ มีการแพร่ผ่านของของเหลวภายในเซลล์กล้ามเนื้อที่เสียหายไปยังช่องว่างระหว่างเซลล์ และเข้าสู่กระแสเลือดซึ่งประกอบไปด้วยแคลเซียมไอออน ไมโอโกลบิน ซีโรโทนิน (นพพรณ จารุรักษ์. 2547; Kuipers. 1994)

จากการศึกษาที่ผ่านมามีผลการทดลองที่ใช้ครีเอทีนไคเนส เป็นตัวบ่งชี้ถึงความเสียหายของกล้ามเนื้อหรืออาการปวดกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกายในกีฬาหลายชนิด พบว่า ระดับของ ครีเอทีนไคเนสในพลาสมา มีค่าสูงสุดหลังจากออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ดังตาราง 1

ตาราง 1 การศึกษาที่ใช้ครีเอทีนไคเนส (CK) เป็นตัวบ่งชี้ถึงความเสียหายของกล้ามเนื้อ

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง (คน)	เพศ	วิธีการทดลอง	ระยะเวลาการทดสอบหลังการทดลอง	ก่อน/หลังการทดลอง	ค่าCKสูงสุดหลังการทดลอง
Oguz et al. 1994	30	ชาย	ทดสอบแอนแอโรบิก โดย Wingate test	6 ชม.	SD*	-
Coombes et al. 2000	16	ชาย	ปั่นจักรยาน 70% VO_{2max}	1,2,3,4 ชม. 1,3,5,7วัน	SD*	24
Ivy et al. 2003	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 45% VO_{2max} และ 75% VO_{2max}	หลังจากทดลอง เสร็จทันที	SD*	-
Suanders et al. 2004	15	ชาย	ปั่นจักรยาน 75% VO_{2peak} และ 85% VO_{2peak}	12-15ชม.	SD*	-
Geer. 2006	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	4,24,48ชม.	SD*	24
Greer et al. 2007	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	4,24,48ชม.	SD*	24
Koba et al. 2007	8	ชาย	วิ่งมาราธอน 25 กิโลเมตร	หลังจากทดลอง เสร็จทันที	SD*	-
Vallentine et al. 2008	11	ชาย	ปั่นจักรยาน 75% VO_{2peak} จนเมื่อยล้า	หลังจากทดลอง เสร็จทันที	SD*	-
สยาม 2551	30	หญิง	ออกกำลังกาย vertical jump ให้เกิดการระบมของกล้ามเนื้อ	24,48,72 ชม.	SD*	24

SD* หมายถึง ก่อนและหลังการออกกำลังกายค่าครีเอทีนไคเนสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การออกกำลังกายต่อเนื่องมากกว่า 1 ชั่วโมง (Greer et al. 2007; Saunders et al. 2004) การออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน (Flann; et al. 2011; Shimomura et al. 2010) การออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา (Ivy; et al. 2003) บาสเกตบอล (Recep. 2010) รักบี้ฟุตบอล (Reilly. 2010) จักรยานทางไกล (Koba et al. 2007) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกีฬาฟุตบอลเป็นกีฬาที่มีรูปแบบการเคลื่อนไหวการเปลี่ยนทิศทางหมุนเวียน เป็นช่วงๆ อย่างสม่ำเสมอ (Reilly. 1997; Sugiura et al. 1998) ภายหลังการออกกำลังกายหรือการแข่งขัน พบว่า ความเข้มข้นครีเอทีนไคเนสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น (Bangsbo; & Krstrup. 2001; Reilly. 1997) เกิดอาการปวดกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายเพิ่มขึ้น (Greer. 2006; Saunders et al. 2004; Shimomura et al. 2010)

3. บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดต่อการออกกำลังกาย

ได้มีการรวบรวมผลของการได้รับบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดต่อการออกกำลังกายจากหลาย การทดลองและประเมินผลการได้รับบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาระหว่าง การออกกำลังกาย โดยพบว่าการเสริมด้วยบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดช่วยให้ร่างกายใช้พลังงานจากการ สลายบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดที่ได้รับเสริมเข้าไปและช่วยยับยั้งการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อขณะ ออกกำลังกายและการเสริมด้วยบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดมีความสัมพันธ์กับการล้าของระบบประสาท ส่วนกลาง (Central fatigue) ซึ่งมีผลต่อการออกกำลังกาย โดยเพิ่มระยะเวลาการออกกำลังกาย ให้ยาวนานขึ้น สามารถเพิ่มความทนทานในการออกกำลังกาย ลดความเหนื่อยล้า (Gleeson. 2005; Newsholme; & Blomstrand. 2006; Shimomura. 2006)

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเสริมบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด ช่วยลดความเสียหายของกล้ามเนื้อ ในระหว่างที่ออกกำลังกาย โดยนำบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดที่ได้รับจากเครื่องดื่มนำไปใช้เป็นพลังงาน ระหว่างการออกกำลังกาย ซึ่งงานวิจัยในปัจจุบันยังไม่ค่อยแพร่หลาย มีการศึกษาของเจรี่ (Geer. 2006) พบว่า ภายหลังการได้รับบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดสามารถลดการสลายโปรตีนของเส้นใยกล้ามเนื้อฝอย และองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ (Myofilament and membrane bound) การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ได้ศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอะมิโนไทโรซีน และกรดอะมิโนเฟนิลอะลานีน กรดอะมิโนลูซีน กรดอะมิโนไอโซลูซีน และกรดอะมิโนวาลีนใน พลาสมา ก่อนและหลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร และ วิ่งมาราธอน 42.2 กิโลเมตร ผลการทดลอง พบว่ากลุ่มควบคุม ที่ช่วงเวลาหลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร และวิ่งมาราธอน 42.2 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับช่วงเวลาก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร และวิ่งมาราธอน 42.2 กิโลเมตร มีความเข้มข้นของ กรดอะมิโนไทโรซีน และกรดอะมิโน เฟนิลอะลานีน เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ.05 แต่ความเข้มข้นของกรดอะมิโนลูซีน กรดอะมิโนไอโซลูซีน และกรดอะมิโนวาเลอีน ลดลงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.001 (Blomstrand; et al. 1991)

ส่วนกลุ่มทดลอง พบว่า ที่ช่วงเวลาหลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับช่วงเวลาก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนไทโรซีน และกรดอะมิโนเฟนิลอะลานีน ลดลงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ส่วนที่ช่วงเวลาหลังการวิ่งมาราธอน 42.2 กิโลเมตรเปรียบเทียบกับช่วงเวลาก่อนวิ่งมาราธอน 42.2 เมตร มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนไทโรซีน และกรดอะมิโนเฟนิลอะลานีน มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ช่วงเวลาหลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร และหลังการวิ่งมาราธอน 42.2 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับที่ช่วงเวลาก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร และการวิ่งมาราธอน 42.2 กิโลเมตร มีความเข้มข้น กรดอะมิโนลูซีน กรดอะมิโนไอโซลูซีน และกรดอะมิโนวาเลอีนเพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ.001 ดังตาราง 2 (Blomstrand et al. 1991)



ตาราง 2 ความเข้มข้นของกรดอะมิโนในพลาสมา ก่อนและหลังวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตรและ 42.2 กิโลเมตร

ความเข้มข้นของกรดอะมิโน ในพลาสมา (mol/L)	ก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร	หลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร
กลุ่มควบคุม (Control group)		
ไทโรซีน	73 ± 3.1	90 ± 3.5*
เฟนิลอะลานีน	49 ± 2.4	65 ± 3.9*
ลูซีน	188 ± 51	134 ± 29***
ไอโซลูซีน	97 ± 28	65 ± 17***
วาลีน	330 ± 80	245 ± 49***
กลุ่มทดลอง (Experimental group)		
ไทโรซีน	91 ± 4.5	78 ± 4.0 *
เฟนิลอะลานีน	76 ± 2.7	69 ± 3.6*
ลูซีน	170 ± 30	208 ± 73***
ไอโซลูซีน	90 ± 17	94 ± 33***
วาลีน	298 ± 47	542 ± 160***
ความเข้มข้นของกรดอะมิโน ในพลาสมา (mol/L)	ก่อนการวิ่งมาราธอน 42.2 กิโลเมตร	หลังการวิ่งมาราธอน 42.2 กิโลเมตร
กลุ่มควบคุม (Control group)		
ไทโรซีน	64.0 ± 18.0	78.0 ± 14.0*
เฟนิลอะลานีน	64.0 ± 9.0	76.0 ± 7.0*
ลูซีน	150 ± 31	121 ± 15***
ไอโซลูซีน	77 ± 19	57 ± 9***
วาลีน	300 ± 57	250 ± 57***
กลุ่มทดลอง (Experimental group)		
ไทโรซีน	67.0 ± 18.0	69.0 ± 8.0
เฟนิลอะลานีน	67.0 ± 12.0	67.0 ± 10.0
ลูซีน	150 ± 40	270 ± 56***
ไอโซลูซีน	77 ± 22	150 ± 40***
วาลีน	300 ± 90	830 ± 220***

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ** หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 *** หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

ที่มา: Greer, Beau Kjerulf. (2006). The Effects of Branched-Chain Amino Acid Supplementation on Indicators of Muscle Damage and Performance. P. 23-25.

ในปีต่อมาได้มีการศึกษาวิจัยผลของการได้รับบรานซ์เชนอะมิโนแอซิด ต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอะมิโนในพลาสมาและในกล้ามเนื้อ จากการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอะมิโนในพลาสมา พบว่า กลุ่มควบคุมที่ช่วงเวลาหลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับช่วงเวลาก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนไทโรซีน และกรดอะมิโนเฟนิลอะลานีน เพิ่มขึ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แต่ความเข้มข้นของกรดอะมิโนลูซีน ไอโซลูซีน และกรดอะมิโนวาลีน ลดลงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.001 (Blomstrand; & Newsholme. 1992)

กลุ่มทดลองที่ช่วงเวลาหลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับช่วงเวลาก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนไทโรซีน และกรดอะมิโนเฟนิลอะลานีน มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความเข้มข้นของกรดอะมิโนลูซีน กรดอะมิโนไอโซลูซีน และกรดอะมิโนวาลีน ลดลงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

และจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอะมิโนในกล้ามเนื้อของกลุ่มควบคุม ที่ช่วงเวลาหลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตรเปรียบเทียบกับช่วงเวลาก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนไทโรซีน และกรดอะมิโนเฟนิลอะลานีนเพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แต่ความเข้มข้นของกรดอะมิโนลูซีน กรดอะมิโนไอโซลูซีนและกรด อะมิโนวาลีนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนกลุ่มทดลองที่ช่วงเวลาก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตรเปรียบเทียบกับช่วงเวลาหลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร มีความเข้มข้นของกรดอะมิโนไทโรซีน และกรดอะมิโนเฟนิลอะลานีนแตกต่างกันอย่าง ไม่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความเข้มข้นของกรดอะมิโนลูซีน กรดอะมิโนไอโซลูซีน และกรดอะมิโนวาลีน เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตาราง 3

ตาราง 3 ความเข้มข้นของกรดอะมิโนในพลาสมาและในกล้ามเนื้อก่อนและหลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร

ความเข้มข้นของกรดอะมิโน ในพลาสมา(mol/L)	ก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร	หลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร
กลุ่มควบคุม (Control group)		
ไทโรซีน	78 ± 5.6	87 ± 3.6**
เฟนิลอะลานีน	68 ± 4.0	79 ± 2.4**
ลูซีน	163 ± 11	126 ± 4.8***
ไอโซลูซีน	83 ± 6.2	61 ± 2.3***
วาลีน	291 ± 17	228 ± 10***
กลุ่มทดลอง (Experimental group)		
ไทโรซีน	82 ± 7.2	81 ± 5.4
เฟนิลอะลานีน	68 ± 4.7	71 ± 2.9
ลูซีน	150 ± 12	173 ± 11***
ไอโซลูซีน	77 ± 6.3	101 ± 8.5 ***
วาลีน	280 ± 16	420 ± 31***
ความเข้มข้นของกรดอะมิโน ในกล้ามเนื้อ (mol/kg/dry wt)	ก่อนการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร	หลังการวิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร
กลุ่มควบคุม (Control group)		
ไทโรซีน	61 ± 5.2	86 ± 6.1**
เฟนิลอะลานีน	56 ± 4.0	74 ± 5.5**
ลูซีน	124 ± 7.0	120 ± 9.5
ไอโซลูซีน	60 ± 3.3	58 ± 4.9
วาลีน	192 ± 10	191 ± 14
กลุ่มทดลอง (Experimental group)		
ไทโรซีน	84 ± 7.9	89 ± 7.3
เฟนิลอะลานีน	64 ± 3.8	72 ± 2.6
ลูซีน	141 ± 3.4	184 ± 15*
ไอโซลูซีน	69 ± 2.0	101 ± 11*
วาลีน	216 ± 6.5	393 ± 53*

* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ** หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

***หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

ที่มา: Greer, Beau Kjerulf. (2006). The Effects of Branched-Chain Amino Acid Supplementation on Indicators of Muscle Damage and Performance. P. 23-25.

จากการศึกษาพบว่า การได้รับบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดเสริม นั้น ส่งผลให้บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดเพิ่มขึ้นทั้งในกระแสเลือดและกล้ามเนื้อ เพื่อที่จะรักษาระดับพลังงานให้คงที่และเพียงพอต่อความต้องการในการออกกำลังกายอย่างหนักและยาวนาน โดยจากการสลาย (Catabolism/ Degradation) บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดที่ได้รับ ประกอบกับลดการสลายกรดอะมิโนอื่นที่สะสมในกล้ามเนื้อ ทั้งเส้นใยกล้ามเนื้อฝอยและ เยื่อหุ้มเซลล์ (Myofilament and membranes bound) ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีความสมบูรณ์ แข็งแรง จึงส่งผลให้ลดความเสียหาย ชีวขาดในกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกายนั่นเอง (Blomstrand; & Newsholme. 1992) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการวิจัยเกี่ยวกับการได้รับเครื่องดื่ม บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดเพื่อลดความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อใช้เป็นแนวทางในพื้นที่กล้ามเนื้อกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา



ตาราง 4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนมิโนแอซิดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลง
ความเข้มข้นของบรานซ์เซโนมิโนแอซิดในกระแสเลือดก่อนและหลังการออกกำลังกาย

ผู้วิจัย	กลุ่ม ตัวอย่าง (คน)	เพศ	วิธีการทดลอง	ระยะเวลาการ ทดสอบหลัง การทดลอง	ก่อน/ หลัง การ ทดลอง	การเพิ่มขึ้น ของบรานซ์ เซโนมิโน แอซิด
Blomstrand et al . 1991	10	ชาย	วิ่งมาราธอน 42.5 กิโลเมตร	ก่อนและหลังการ ทดลองทันที	SD*	หลังการ ทดลองทันที
Blomstrand &Newsholme. 1992	10	ชาย	วิ่งมาราธอน 30 กิโลเมตร	ก่อนและหลังการ ทดลองทันที	SD*	หลังการ ทดลองทันที
Geer. 2006	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	ก่อนและหลังการ ทดลองทันที	SD*	หลังการ ทดลองทันที
Greer et al. 2007	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	ก่อนและหลังการ ทดลองทันที	SD*	หลังการ ทดลองทันที
Greer et al. 2010	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	ก่อนและหลังการ ทดลองทันที	SD*	หลังการ ทดลองทันที
Koba et al. 2007	8	ชาย	วิ่งมาราธอน 25 กิโลเมตร	ก่อนและหลังการ ทดลองทันที	SD*	หลังการ ทดลองทันที
Shimomura et al. 2010	12	ชาย	ออกกำลังกายโดยใช้ แรงต้าน	ก่อนและหลังการ ทดลองทันที	SD*	หลังการ ทดลองทันที

SD* หมายถึง ก่อนและหลังการออกกำลังกาย ความเข้มข้นของบรานซ์เซโนมิโนแอซิดมีความแตกต่างกันอย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการได้รับเครื่องดื่มน้ำชานชาเลนอะมิโนแอซิดที่มีต่อการยับยั้งการเพิ่มความเข้มข้นครีเอทีนไคเนสภายหลังการออกกำลังกายเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง (คน)	เพศ	วิธีการทดลอง	ระยะเวลาการทดสอบ หลังการทดลอง	CK ระหว่างกลุ่มทดลอง	การเพิ่มขึ้นสูงสุดของ CK หลังการทดลอง
Ivy et al. 2003	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 45% และ 75% VO_{2max}	หลังจากทดลองเสร็จทันที	SD*	หลังทดลองเสร็จทันที
Suanders et al. 2004	15	ชาย	ปั่นจักรยาน 75% และ 85% VO_{2peak}	12-15 ชม.	SD*	หลังทดลอง 12-15 ชม.
Geer. 2006	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	4,24,48 ชม.	SD*	24
Greer et al. 2007	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	4,24,48 ชม.	SD*	24
Greer et al. 2010	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	4,24,48 ชม.	SD*	24
Koba et al. 2007	8	ชาย	วิ่งมาราธอน 25 กิโลเมตร	หลังจากทดลองเสร็จทันที	SD*	หลังทดลองเสร็จทันที
Matsumoto et al. 2009	6	หญิง	วิ่งมาราธอน 64	หลังจากทดลองเสร็จทันที	SD*	หลังทดลองเสร็จทันที
	6	ชาย	และ 86 กิโลเมตร			
Shimomura et al. 2010	12	ชาย	ออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน	ก่อนและหลังการทดลองทันที	SD*	หลังทดลองเสร็จทันที

SD* หมายถึง กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มน้ำชานชาเลนอะมิโนแอซิดมีค่าครีเอทีนไคเนสภายหลังออกกำลังกายเพิ่มขึ้นน้อยกว่ากลุ่มควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 6 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการได้รับเครื่องดื่มน้ำชานชาเลนอะมิโนแอซิดที่มีต่อการยับยั้ง
การเพิ่มขึ้นของค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย

ผู้วิจัย	กลุ่ม ตัวอย่าง (คน)	เพศ	วิธีการทดลอง	ระยะเวลาการ ทดสอบหลังการ ทดลอง	Soreness ระหว่าง กลุ่ม ทดลอง	การเพิ่มขึ้น สูงสุดของ Soreness หลังการ ทดลอง
Geer. 2006	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	4,24,48 ชม.	SD*	24
Greer et al. 2007	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	4,24,48 ชม.	SD*	24
Greer et al. 2010	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	4,24,48 ชม.	SD*	24
Mills Alaine et al. 2010	6	ชาย	ปั่นจักรยาน 80% VO_{2max}	หลังจากทดลอง เสร็จทันที	SD*	หลังจาก ทดลองเสร็จ ทันที
Matsumoto et al. 2009	6 6	หญิง ชาย	วิ่งมาราธอน 64 และ 86 กิโลเมตร	หลังจากทดลอง เสร็จทันที	SD*	หลังจาก ทดลองเสร็จ ทันที
Shimomura et al. 2010	12	ชาย	ออกกำลังกาย โดยใช้แรงต้าน	0,24,48,72 ชม.	SD*	48
White et al. 2008	27	ชาย	ออกกำลังกาย โดยใช้แรงต้าน	0,6,24,48,72, 96 ชม.	SD*	6

SD* หมายถึง กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มชานชาเลนอะมิโนแอซิดมีค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อภายหลัง
การออกกำลังกายเพิ่มขึ้นน้อยกว่ากลุ่มควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 7 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการได้รับเครื่องดื่มน้ำชานอโรมินแอซิดที่มีต่อ
การเพิ่มความอดทนในการออกกำลังกาย

ผู้วิจัย	กลุ่มตัวอย่าง (คน)	เพศ	วิธีการทดลอง	เปรียบเทียบกับ กลุ่มควบคุม
Ivy et al. 2003	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 45% VO_{2max} และ 75% VO_{2max}	SD*
Suanders et al. 2004	15	ชาย	ปั่นจักรยาน 75% VO_{2peak} และ 85% VO_{2peak}	SD*
Geer. 2006	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	SD*
Greer et al. 2007	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	SD*
Greer et al. 2010	9	ชาย	ปั่นจักรยาน 55% VO_{2max}	SD*
Mills Elaine et al. 2010	6	ชาย	ปั่นจักรยาน 80% VO_{2max}	SD*
Matsumoto et al. 2009	6	หญิง	วิ่งมาราธอน 64 และ 86 กิโลเมตร	SD*
Ludent Et al. 2007	23	ชาย	วิ่งมาราธอน 32 กิโลเมตร	SD*

SD* หมายถึง กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มน้ำชานอโรมินแอซิดมีความอดทนในการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นเมื่อ
เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากการศึกษาวิจัย ที่ผ่านมา พบว่า การได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดก่อนการออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน (Shimomura; et al. 2010) บลังมาธอน (Blomstrand & Newsholme. 1992) แซงชันสกี (Scifert et al. 2005) ส่งผลให้ความเข้มข้นของบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดในกระแสเลือดเพิ่มขึ้นระหว่างและหลังการออกกำลังกาย (Blomstrand & Newsholme. 1992; Koba et al. 2007; Shimomura et al. 2010) โดยบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดสามารถสลายให้พลังงานอย่างรวดเร็วในกล้ามเนื้อ (Fernstrom. 2005; Shimomura. 2006) ในขณะที่กล้ามเนื้อได้รับบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดเพียงพอ ส่งผลให้ลดการสลายกรดอะมิโนไทโรซีน (Tyrosine) กรดอะมิโนฟีนิลอลานีน (Phenylalanine) ที่สะสมในกล้ามเนื้อจึงส่งผลให้ลดการสลายเส้นใยกล้ามเนื้อ ลดการเสียหายฉีกขาดบาดเจ็บกล้ามเนื้อ ลดค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ (Blomstrand & Newsholme. 1992; Fernstrom. 2005; Shimomura et al. 2010) และยับยั้งการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นครีเอทีนไคเนสภายหลังการออกกำลังกาย (Greer et al. 2007; Nicholas et al. 2007; Mutsumoto et al. 2009) ในขณะเดียวกันการได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดก่อนและระหว่างการออกกำลังกาย ปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ระดับความหนัก 55% VO_{2max} (Greer. 2006; Greer et al. 2007) ปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องที่ระดับความหนัก 75% VO_{2max} (Saunders et al. 2004) ส่งผลให้มีความอดทนในการปั่นจักรยานเพิ่มขึ้น ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าการได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดก่อนและระหว่างการปั่นจักรยานแบบหนักสลับเบาอาจส่งผลต่อการลดความเสียหายของเส้นใยกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกาย

เครื่องดื่มในช่วงการออกกำลังกายมีความสำคัญ เนื่องมาจากเมื่อออกกำลังกายร่างกายมีการสูญเสียเหงื่อและเหงื่อออกมามากทำให้น้ำในร่างกายลดลง หากเสียน้ำไปถึงระดับหนึ่งอาจเกิดอาการช็อกได้ ดังนั้นจึงควรดื่มน้ำทดแทนเพื่อให้ปริมาณน้ำในร่างกายกลับสู่ปกติแต่จะกระทำทันทีไม่ได้ ต้องค่อยๆทำ ซึ่งอาจใช้เวลามากกว่า 1 วัน การที่ร่างกายจะฟื้นตัวกลับมาจึงต้องใช้เวลาระยะหนึ่ง เนื่องจากการดื่มน้ำเพื่อให้น้ำหนักร่างกายเท่าเดิมไม่ได้ช่วยแก้ปัญหาภาวะการขาดน้ำของร่างกาย เพราะน้ำในเซลล์มีระดับต่ำอยู่ ร่างกายมีการสูญเสียมากกว่าโซเดียมทำให้ความเข้มข้นโซเดียมในเลือดสูงดังนั้นจึงควรดื่มน้ำทดแทนการขาดน้ำ แต่การดื่มน้ำทดแทนควรทำอย่างค่อยเป็นค่อยไปและการสูญเสียเหงื่อส่วนใหญ่เป็นการสูญเสียเหงื่อ ในขณะที่ยังมีการสูญเสียโซเดียมไปน้อยมากในระหว่างการออกกำลังกาย อุณหภูมิของน้ำยังมีส่วนช่วยในการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย การดื่มเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตจะมีผลดีต่อนักกีฬาที่ออกกำลังกายระยะยาว แต่ความเข้มข้นของกลูโคส ต้องมีค่าประมาณ 4-8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความเข้มข้นของเครื่องดื่มมากจะเคลื่อนตัวจากกระเพาะอาหารเข้าสู่ลำไส้ได้ช้าจึงค้างอยู่ในกระเพาะนาน ทำให้รู้สึกอึดอัดและอืดอัด ทั้งยังทำให้การดูดซึมช้าจึงดูเหมือนจะเกิดผลเสียมากกว่าผลดี เครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตในนักกีฬาที่ชายในท้องตลาดมีความ

เข้มข้นของกลูโคสมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ดื่มเพื่อทดแทนการเสียเหงื่อและพลังงานและหลายครั้งที่นักกีฬามีความจำเป็นต้องชดเชยน้ำเกลือแร่ และพลังงานที่สูญเสียไประหว่างหรือหลังการแข่งขัน (Power. 2001; Victor. 2010) มีคำแนะนำจากวิทยาลัยเวชศาสตร์การกีฬาอเมริกา (American Collage of Sport Medicine; ACSM) ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการได้รับเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตในการออกกำลังกายมากกว่า 60 นาที ดังนี้ คือ นักกีฬาควรได้รับเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรต 30–60 กรัมต่อชั่วโมง ในปริมาณ 600-1200 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง หรือ ความเข้มข้น 4–8 เปอร์เซ็นต์ ทุก ๆ 15–20 นาที ของการออกกำลังกาย (Power. 2001; Victor. 2010)

เครื่องดื่มสำหรับนักกีฬาเพื่อทดแทนการสูญเสียน้ำและเกลือแร่ การได้รับเครื่องดื่มในปริมาณที่เพียงพอในช่วงก่อน ระหว่างและหลังการออกกำลังกาย เพื่อป้องกันการขาดน้ำที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการออกกำลังกาย โดยวิธีการดังต่อไปนี้ ก่อนการออกกำลังกาย โดยแบ่งจากระยะเวลาในการออกกำลังกาย คือ ออกกำลังกายน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ควรดื่มน้ำเย็นประมาณ 300–500 มิลลิลิตรผสมกลูโคส 30-50 กรัม ซึ่งการเติมกลูโคสจะเป็นการช่วยเพิ่มสมรรถภาพในการออกกำลังกาย ออกกำลังกายมากกว่า 1 ชั่วโมง ก่อนการออกกำลังกาย 30–60 นาที ควรดื่มน้ำเย็นประมาณ 300–500 มิลลิลิตร ซึ่งจะช่วยในการป้องกันการเกิดภาวะขาดน้ำระหว่างการออกกำลังกาย แต่ไม่ควรดื่มน้ำมาก ๆ ทันที ก่อนการออกกำลังกายเพราะร่างกายจะดูดซึมไม่ทันและมีปริมาณน้ำค้างในกระเพาะมากและเกิดอาการจุกและอึดอัดได้ทำให้ประสิทธิภาพการออกกำลังกายลดลง (Power. 2001; Victor. 2010)

ระหว่างออกกำลังกาย นักกีฬาที่ออกกำลังกายระยะยาว มักดื่มเครื่องดื่มที่มีคาร์โบไฮเดรตผสมอยู่เป็นที่ยอมรับว่าการดื่มเครื่องดื่มที่มีคาร์โบไฮเดรตผสมอยู่ในน้ำ ในขณะที่ออกกำลังกายระยะยาวจะช่วยให้มีไกลโคเจนสำรองอยู่ในกล้ามเนื้อ ทั้งช่วยป้องกันระดับน้ำตาลในเลือดไม่ให้ลดต่ำลง ช่วยเพิ่มระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด แล้วจะทำให้การเมื่อยล้าลดลงโดยเฉพาะช่วงท้ายของการแข่งขัน ถ้าการออกกำลังกายน้อยกว่า 30 นาที ไม่จำเป็นต้องดื่มน้ำระหว่างการออกกำลังกาย แต่ให้ดื่มทันทีหลังจากออกกำลังกายสิ้นสุดการออกกำลังกายทันที แต่ถ้าออกกำลังกายมากกว่า 30 นาที แต่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง ให้ดื่มน้ำเย็นประมาณ 500–1,000 มิลลิลิตร ทุก 15–20 นาที เพื่อทดแทนเหงื่อที่เสียไป การออกกำลังกายมากกว่า 1 ชั่วโมง ให้ดื่มน้ำเย็นประมาณ 500–1,000 มิลลิลิตร ที่ผสมกลูโคส 6–8 เปอร์เซ็นต์ โซเดียม 10–20 มิลลิกรัมวาล์วเลนท์ โดยแบ่งให้ 100–200 มิลลิลิตร ทุก 15–20 นาที (Power. 2001; Victor. 2010)

ชนิดของเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตในนักกีฬา (Sports drink) เครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตในนักกีฬาแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต น้ำ และ อิเล็กโทรไลต์ ที่แตกต่างกัน (Bean. 2010) ดังตาราง 8

ตาราง 8 ชนิด ส่วนประกอบ และออสโมลาลิตีของเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรต

ชนิด ของ เครื่องดื่ม	ส่วนประกอบ	ออสโมลาลิตี (มิลลิออสโมล ต่อกิโลกรัม)
ไฮโปโทนิก	คาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ น้ำ และอิเล็กโทรไลต์	น้อยกว่า 270
ไอโซโทนิก	คาร์โบไฮเดรต 6-8 เปอร์เซ็นต์ น้ำ และอิเล็กโทรไลต์	270-330
ไฮเปอร์โทนิก	คาร์โบไฮเดรตมากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ น้ำ และอิเล็กโทรไลต์	มากกว่า 330

ที่มา: [www. brianmac. co. uk/drinks. Htm](http://www.brianmac.co.uk/drinks.htm)

เครื่องดื่มไฮโปโทนิก (Hypotonic drinks) คือ เครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าออสโมลาลิตี น้อยกว่า 270 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม สามารถทดแทนน้ำที่สูญเสียไปแต่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบน้อยมาก จึงเหมาะกับนักกีฬาที่ต้องการน้ำทดแทนโดยไม่ต้องการแคลอรีเพิ่มเติม เช่นนักกีฬาจ็อกกี้ ยิมนาสติก และบัลเล่ย์ ซึ่งนักกีฬากลุ่มนี้ต้องการน้ำทดแทนเหงื่อที่เสียไป และต้องการที่จะควบคุมน้ำหนักของร่างกายด้วย เครื่องดื่มไอโซโทนิก (Isotonic drinks) คือ เครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต 6-8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าออสโมลาลิตีประมาณ 270-330 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เป็นเครื่องดื่มที่สามารถทดแทนน้ำที่สูญเสียไปกับเหงื่อและช่วยในการเพิ่มพลังงานให้กับกล้ามเนื้อ นักกีฬาส่วนใหญ่นิยมดื่มเครื่องดื่มชนิดนี้และเหมาะสมมากที่สุด สำหรับกีฬา ที่ต้องการน้ำและพลังงานทดแทนส่วนที่เสียไป เช่น กีฬาฟุตบอล อเมริกันฟุตบอล ฮอกกี้ วิ่งมาราธอน เครื่องดื่มไฮเปอร์โทนิก (Hypertonic drinks) คือ เครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต มากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ มีค่าออสโมลาลิตีมากกว่า 330 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เครื่องดื่มชนิดนี้โดยทั่วไปจะใช้ในการช่วยเพิ่มการจับเก็บไกลโคเจนไว้ในกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายเนื่องจากเครื่องดื่มชนิดนี้มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบมาก ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะใช้ระหว่างการออกกำลังกาย ยกเว้นในกีฬาที่ต้องแข่งขันเป็นระยะเวลาหลายวันติดต่อกัน ซึ่งต้องการคาร์โบไฮเดรตสูงจะใช้เครื่องดื่มชนิดนี้ร่วมกับเครื่องดื่มไอโซโทนิกเพื่อให้เพียงพอ

ต่อความต้องการพลังงานของร่างกาย ซึ่งออสโมลาลิตี้ของน้ำจะเป็นตัววัดจำนวนอนุภาคในสารละลาย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต อิเล็กโทรไลต์ สารให้ความหวาน และวัตถุ กันเสีย แต่ในพลาสมาจะประกอบด้วยอนุภาคต่างๆ ได้แก่ อิเล็กโทรไลต์ โปรตีน และกลูโคส ซึ่งพลาสมาจะมีออสโมลาลิตี้ประมาณ 280-300 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ดังนั้นเครื่องดื่มที่มีออสโมลาลิตี้เท่ากับพลาสมาถือว่าเป็นสมดุลกับปริมาณน้ำในร่างกายจะเรียกว่าไอโซโทนิก สำหรับเครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของ คาร์โบไฮเดรต น้ำ และ อิเล็กโทรไลต์ ที่มีความเข้มข้น 6-8เปอร์เซ็นต์ เป็นเครื่องดื่มที่สามารถผ่านกระเพาะอาหารได้ในอัตราที่เทียบเท่ากับน้ำเปล่า โดยมีค่าออสโมลาลิตี้ 270-330 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เท่ากับค่าออสโมลาลิตี้ของเลือด ความสามารถในการผ่านกระเพาะอาหารนี้จะส่งเสริมให้มีการดูดซึมจากลำไส้เล็ก เพื่อจ่ายเป็นพลังงานให้กล้ามเนื้อที่ทำงานได้อย่างเหมาะสมส่วนไฮโปโทนิกจะมีอนุภาคต่าง ๆ น้อยกว่าในเลือดในขณะที่ไฮเปอร์โทนิกจะมีอนุภาคต่าง ๆ มากกว่าเลือด และพบว่าในการดื่มเครื่องดื่มที่มีค่าออสโมลาลิตี้สูงมากกว่า 400 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัมจะค้างอยู่ในกระเพาะอาหารนานโดยมีผลต่อการดูดซึมไปใช้เป็นพลังงานที่นานขึ้นและส่งผลให้นักกีฬารู้สึกจุกเสียดแน่นเวลาออกกำลังกาย (Bean, 2010; Victor, 2010) ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

บอมสแตนด์ (Blomstrand, 1996) ได้ศึกษาผลของการได้รับบริบทรานซ์เซนอะมิโน แอซิดต่อระดับกรดอะมิโนในเลือดและกล้ามเนื้อระหว่างการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยาน ผู้ถูกทดลองเป็นนักกีฬาจักรยานชายจำนวน 7 คน ออกกำลังกายจนกระทั่งหมดแรงเพื่อลดปริมาณไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อ ระหว่างออกกำลังกายผู้ถูกทดลองถูกสุ่มตัวอย่างได้รับเครื่องดื่มบริบทรานซ์เซนอะมิโนแอซิด หรือน้ำเปล่า ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบริบทรานซ์เซนอะมิโนแอซิด มีระดับบริบทรานซ์เซนอะมิโนแอซิด ในเลือดเพิ่มขึ้น 135 เปอร์เซ็นต์ และในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 57 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กลุ่มควบคุมมีค่าลดลง ระดับกรดอะมิโนอะลานีนในเลือดเพิ่มขึ้น 48 เปอร์เซ็นต์ ในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น 70 เปอร์เซ็นต์ ระดับกรดอะมิโนอาร์จินีนในเลือดเพิ่มขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์ แต่ในกลุ่มควบคุมไม่เปลี่ยนแปลงระดับ กรดอะมิโนกลูตามีนในกล้ามเนื้อลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมความเข้มข้นของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อระหว่างการออกกำลังกายในกลุ่มควบคุมลดลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ไอวี่และคนอื่น ๆ (Ivy; et al. 2003) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการได้รับเครื่องดื่ม คาร์โบไฮเดรตและเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตผสมโปรตีนต่อความอดทนในการออกกำลังกาย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักปั่นจักรยาน 9 คน ทำการทดลอง 3 ครั้ง ทดลองโดยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 45 เปอร์เซ็นต์สลับกับและ 75 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุดจนกระทั่งหมดแรงไม่สามารถปั่นต่อไปได้อีก โดยกลุ่มตัวอย่างได้รับเครื่องดื่มที่แตกต่างกันในแต่ละครั้งของการ

ทดลอง ซึ่งเครื่องดัดประกอบด้วย เครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.75 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.3 เปอร์เซ็นต์ ผสมโปรตีน 1.94 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องดัดหุลอก กลุ่มตัวอย่างดัดในปริมาณ 200 มิลลิกรัม ทุกๆ 20 นาทีของการทดลอง ผลการทดลองพบว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.75 เปอร์เซ็นต์ ผสมโปรตีน 1.94 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเวลาในการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด มากกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.75 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดหุลอก มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีค่าเท่ากับ 26.9 ± 4.5 นาที, 19.7 ± 4.6 นาที และ 12.7 ± 3.1 นาที ตามลำดับ และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.75 เปอร์เซ็นต์ ผสมโปรตีน 1.94 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดหุลอก มีระดับน้ำตาลในเลือดและฮอร์โมนอินซูลินเพิ่มขึ้น โอวีและคนอื่น ๆ สรุปว่า การได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต ผสมโปรตีน ผสมเพิ่มความอดทนในการออกกำลังกายได้ระยะเวลานานกว่าการได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดัดหุลอก

สเวนเดอร์และคนอื่น ๆ (Saunders; et al. 2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต ผสมโปรตีนต่อประสิทธิภาพความทนทานในการปั่นจักรยานและความเสียหายของกล้ามเนื้อ (Muscle damage) นักปั่นจักรยาน 15 คน ถูกทำการทดลอง 2 ครั้ง โดยปั่นจักรยานครั้งแรกที่ระดับความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด จนกระทั่งหมดแรงไม่สามารถปั่นจักรยานต่อไปได้อีก หลังจากนั้นพักเป็นเวลา 12-15 ชั่วโมง และกลุ่มตัวอย่างกลับมาเพื่อปั่นจักรยานครั้งที่สองที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด จนกระทั่งหมดแรงไม่สามารถปั่นต่อไปได้อีก โดยกลุ่มตัวอย่างได้รับเครื่องดัดที่แตกต่างกันในแต่ละครั้งของการทดลอง ซึ่งเครื่องดัดประกอบด้วย เครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.3 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.3 เปอร์เซ็นต์ ผสมโปรตีน 1.8 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มตัวอย่างดัดในปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ต่อครั้ง ทุกๆ 15 นาทีของการทดลอง ผลการทดลองพบว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.3 เปอร์เซ็นต์ ผสมโปรตีน 1.8 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเวลาในการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด มากกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีค่าเท่ากับ 106.3 ± 45.2 นาที และ 82.3 ± 32.6 นาที ตามลำดับ และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.3 เปอร์เซ็นต์ ผสมโปรตีน 1.8 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเวลาในการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด มากกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีค่าเท่ากับ 43.6 ± 12.5 นาที และ 31.2 ± 8.7 นาที ตามลำดับ และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดัดคาร์โบไฮเดรต 7.3 เปอร์เซ็นต์ ผสมโปรตีน 1.8

เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีคาร์โบไฮเดรต มีค่าครีเอทีนไคเนสที่ช่วงเวลาก่อนการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด น้อยกว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีค่าเท่ากับ 216.3 ± 122.0 หน่วยต่อลิตร และ 1318.1 ± 1935.6 หน่วยต่อลิตร ตามลำดับ สวन्दอร์และคนอื่นๆ สรุปว่า การได้รับเครื่องตีคาร์โบไฮเดรตผสมโปรตีนช่วยเพิ่มความทนทานในการออกกำลังกาย ลดความเสียหายของกล้ามเนื้อ (Muscle damage) ได้ดีกว่าการได้รับเครื่องตีคาร์โบไฮเดรตเพียงอย่างเดียว

เจรีย (Greer. 2006) ได้วิจัยผลของการได้รับเครื่องตีบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดต่อตัวบ่งชี้ความเสียหายของกล้ามเนื้อและความทนทานในการออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 9 คน ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ทดลองโดยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 55 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที กลุ่มตัวอย่างได้รับเครื่องตีบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด เครื่องตีคาร์โบไฮเดรตในปริมาณ 100 แคลอรี 200 มิลลิลิตรต่อครั้ง เครื่องตีมหลอกที่ไม่ให้พลังงาน ที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาทีและที่ช่วงเวลาออกกำลังกายนาที่ที่ 60 ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่ได้รับเครื่องตีบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีมหลอกมีค่าครีเอทีนไคเนส ที่ช่วงเวลาดังกล่าวทั้งที่ ที่ช่วงเวลาดังกล่าวทั้งที่ 24 ชั่วโมงและที่ช่วงเวลาดังกล่าว 48 ชั่วโมง น้อยกว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กลุ่มที่ได้รับเครื่องตีบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีคาร์โบไฮเดรต มีค่า ครีเอทีนไคเนส ที่ช่วงเวลาดังกล่าวทั้งที่ ที่ช่วงเวลาดังกล่าวทั้งที่ 24 ชั่วโมงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีคาร์โบไฮเดรตและเครื่องตีมหลอกที่ช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง มีค่าการรับรู้ความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ (Rating of perceived damage) น้อยกว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด และกลุ่มที่ได้รับเครื่องตี คาร์โบไฮเดรตเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีมหลอกมีระยะเวลาในการปั่นจักรยานเพิ่มขึ้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เจรียและคนอื่นๆ (Greer; et al. 2007) ได้วิจัยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการได้รับเครื่องตีบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด เครื่องตีคาร์โบไฮเดรต และเครื่องตีมหลอกที่มีต่อตัวบ่งชี้ความเสียหายของกล้ามเนื้อหลังจากออกกำลังกายแบบทนทาน ผู้เข้าร่วมการทดลองจำนวน 9 คน ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ทดลองโดยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 55 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที กลุ่มตัวอย่างได้รับเครื่องตีบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด เครื่องตีคาร์โบไฮเดรตในปริมาณ 100 แคลอรี 200 มิลลิลิตรต่อครั้ง เครื่องตีมหลอกที่ไม่ให้พลังงาน ที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาทีและที่ช่วงเวลาออกกำลังกายนาที่ที่ 60 ผลการ

ทดลองพบว่า กลุ่มที่ได้รับเครื่องตีมบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีม
 หลอกมีค่า ครีเอทีนไคเนส ที่ช่วงเวลาหลังออกกำลังกายทันที ที่ช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง
 และที่ช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 48 ชั่วโมง น้อยกว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่
 ระดับ .05 กลุ่มที่ได้รับเครื่องตีมบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีม
 คาร์โบไฮเดรตมี ค่าครีเอทีนไคเนสที่ช่วงเวลาหลังออกกำลังกายทันที ที่ช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย 24
 ชั่วโมงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีมบรานซ์เซนอะมิ
 นโอแอซิด เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับเครื่องตีมคาร์โบไฮเดรตและเครื่องตีมหลอกที่ช่วงเวลาหลังออก
 กำลังกาย 24 ชั่วโมง มีค่าการรับรู้ความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ(Rating of perceived damage)น้อย
 กว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จิรพงษ์ ด้วงเพียร (2546) ได้ทำการศึกษาการได้รับกรดอะมิโนลูซีนที่มีต่อประสิทธิภาพ
 ความทนทาน กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 10 คน อายุระหว่าง 19-21 ปี ทำการทดลอง 3 ครั้ง
 แต่ละครั้งมีระยะเวลาพัก 1 สัปดาห์ ก่อนเริ่มการทดลอง 1 สัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างวัดค่าการใช้ออกซิเจน
 สูงสุดเพื่อเป็นค่าควบคุม ในวันทำการทดลอง กลุ่มตัวอย่างปั่นจักรยานที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที
 ที่ระดับความหนัก 70 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุดจนกระทั่งหมดแรง
 กลุ่มตัวอย่างสูดเครื่องตีม 3 ชนิด คือ เครื่องตีมหลอก เครื่องตีมคาร์โบไฮเดรต 6 เปอร์เซ็นต์ผสมกรด
 อะมิโนลูซีน และเครื่องตีมคาร์โบไฮเดรต 6 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเลือดถูกเก็บจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อ
 วิเคราะห์กรดแลคติกและกลูโคสทุก 10 นาทีของการทดลอง ผลการทดลองพบว่า กลุ่มที่ตีมเครื่องตีม
 คาร์โบไฮเดรต 6 เปอร์เซ็นต์ผสมกรดอะมิโนลูซีนและกลุ่มที่ตีมเครื่องตีมคาร์โบไฮเดรต 6
 เปอร์เซ็นต์ มีค่าระดับกรดแลคติกในเลือดเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าต่ำกว่า กลุ่มที่ตีมเครื่องตีมหลอก
 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 ผลของการได้รับเครื่องตีมคาร์โบไฮเดรต 6
 เปอร์เซ็นต์ผสมกรดอะมิโนลูซีน และตีมคาร์โบไฮเดรต 6 เปอร์เซ็นต์แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทาง
 สถิติ ระยะเวลาที่ใช้ในการปั่นจักรยานจนหมดแรงของกลุ่มตัวอย่างที่ตีมเครื่องตีมคาร์โบไฮเดรต 6
 เปอร์เซ็นต์ผสมกรดอะมิโนลูซีนและเครื่องตีมคาร์โบไฮเดรต 6 เปอร์เซ็นต์สูงขึ้นมีความแตกต่างกัน
 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างที่ตีมเครื่องตีมหลอก แต่ไม่พบ
 ความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผลของการได้รับเครื่องตีมคาร์โบไฮเดรต 6
 เปอร์เซ็นต์ผสมกรดอะมิโนลูซีนและเครื่องตีมคาร์โบไฮเดรต 6 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังไม่พบความ
 แตกต่างกันทางสถิติของอัตราการเต้นของหัวใจ ระดับน้ำตาลในเลือด และค่าความเหนื่อยหลังจาก
 ออกกำลังกายในกลุ่มตัวอย่างที่ตีมเครื่องตีมทั้ง 3 ชนิด จากผลการวิจัยนี้แสดงว่าการได้รับกรด
 อะมิโนลูซีน เสริมระหว่างการออกกำลังกายอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความทนทานได้ โดยพบว่า
 ระยะเวลาที่ใช้ในการปั่นจักรยาน จนหมดแรงมีค่าเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าการได้รับเครื่องตีมบรานซ์เซน

อะมิโนแอซิดก่อนหรือระหว่างการออกกำลังกาย ที่ใช้ความทนทานอาจจะช่วยป้องกันหรือลดการสลายของโปรตีน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ทางจิตใจและร่างกายและอาจช่วยลดการสลายไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ

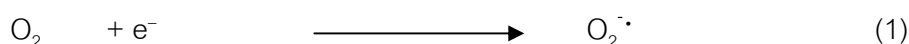
4. อนุมูลอิสระกับการออกกำลังกาย

การออกกำลังกายที่ยาวนานและต่อเนื่อง มีผลดีต่อการพัฒนาของระบบหัวใจและหลอดเลือดและป้องกันอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบหัวใจและหลอดเลือดได้ แต่การออกกำลังกายในลักษณะที่เส้นใยกล้ามเนื้อมีการหดตัวแบบยืดยาวออกมีผลเสียต่อการเกิดการบาดเจ็บ ฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ มีการเพิ่มปริมาณของครีเอทีนไคเนส ในกระแสเลือด และเกิดอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของการทำลายเซลล์กล้ามเนื้อ ระหว่างการออกกำลังกาย พบว่าร่างกายต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น 10-20 เท่า ส่วนในกล้ามเนื้อต้องการเพิ่มขึ้น 100-200 เท่า เมื่อมีการออกกำลังกายที่หนักและรุนแรง จึงส่งผลให้ไมโทคอนเดรียที่เป็นแหล่งผลิตพลังงานต้องทำงานหนักยิ่งขึ้นเพื่อผลิตและขนส่งพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการจึงส่งผลให้เกิด อนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นนั่นเอง จากการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระพบว่ามีผลเสียต่อการทำลายเซลล์กล้ามเนื้อ ทำลายดีเอ็นเอ และการทำลายโปรตีน ทำให้โปรตีนไม่สามารถประกอบหน้าที่ได้ตามปกติ ซึ่งส่งผลให้ร่างกายมีความสามารถทางกายลดลงนั่นเอง (ดร.ณรรณ จักรพันธุ์. 2541; ปรียาลักษณ์ ไคหนองบัว; ศราวุธ อินทราพงษ์; และ ผกาพร ธนปริสุทธิ. 2550; Mustallos; et al. 2006)

4.1 อนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระ หมายถึง โมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนซึ่งไม่ได้เข้าคู่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งในวงโคจรของโมเลกุล ซึ่งไม่เสถียรจึงมีความว่องไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นที่อยู่ข้างเคียงเพื่อให้โมเลกุลของตัวเองเสถียรขึ้น โดยการรับเอาอิเล็กตรอนมาจากโมเลกุลข้างเคียง ทำให้โมเลกุลนั้นเกิดเป็นอนุมูลอิสระ และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆต่อไป เรียกว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) ซึ่งจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระและอนุพันธ์ของออกซิเจน ในการเขียนสัญลักษณ์ของอนุมูลอิสระจะใช้สัญลักษณ์ R แสดงถึงอนุมูลอิสระที่ไม่เฉพาะเจาะจง และจุด (·) ที่ตำแหน่งขวาบนของโมเลกุลเดิม เพื่อแสดงถึงอิเล็กตรอนที่ไม่ได้จับคู่ อนุมูลประจุบวกเรียกว่า อนุมูลแคทไอออน (Cation radical) และใช้สัญลักษณ์ ($R^{+\cdot}$) ส่วนอนุมูลประจุลบ เรียกว่า อนุมูลแอนไอออน (Anion radical) ใช้สัญลักษณ์ ($R^{\cdot-}$) หรืออนุมูลที่มีประจุเป็นกลาง (Neutral radical) ใช้สัญลักษณ์ ($R^{\cdot}$) โดยทั่วไปในร่างกายมนุษย์ กระบวนการใช้พลังงานของเซลล์แบบใช้ออกซิเจน พบว่าประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระในระหว่างมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยัง

โมเลกุลของน้ำในกระบวนการลูกโซ่ขนส่งอิเล็กตรอนซึ่งในกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอนนี้ จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\cdot-}$) อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) และอนุพันธ์ของออกซิเจนบางชนิด คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งไม่ใช่อนุมูลอิสระแต่เป็นอันตรายแก่ร่างกายถ้ามีปริมาณมาก อนุมูลอิสระและอนุพันธ์ของออกซิเจน รวมเรียกว่า (Reactive Oxygen Species; ROS) การเกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนทำให้เกิดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\cdot-}$) สมการที่ 1 จากนั้นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\cdot-}$) จะถูกรีดิวส์ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และออกซิเจน (O_2) สมการที่ 2 โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังนี้ (Mustallodis et al. 2006)

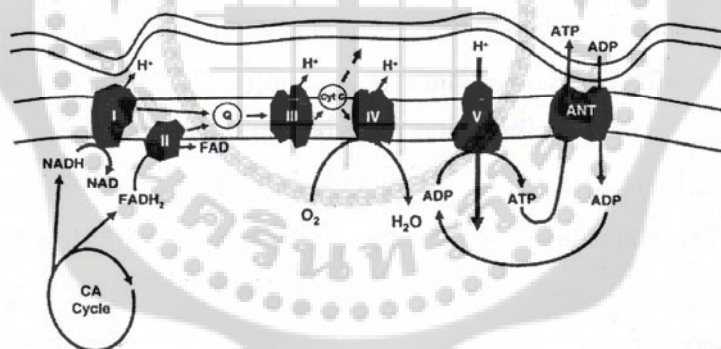


นอกจากนี้ความเป็นพิษของอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\cdot-}$) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในสิ่งมีชีวิตยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) เมื่อมีการเข้าทำปฏิกิริยากับพวกธาตุเหล็ก เช่น ferrous iron ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Haber- reaction (สมการที่ 3, 4 และ 5)



การออกกำลังกายแบบแอโรบิกนี้ ทำให้มีการเพิ่มอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อออกกำลังกายอย่างหนัก มีการเพิ่มการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อลาย ออกซิเจนเกือบทั้งหมดจะถูกใช้ในการสร้างพลังงานในไมโทคอนเดรีย โดยออกซิเจนส่วนหนึ่งจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระในระหว่างมีการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport chain) ดังนั้นยิ่งมีการใช้ออกซิเจนในไมโทคอนเดรียมากขึ้นมากเท่าใด ก็จะส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น (ปรียาลักษณ์ โคหนองบัว; ศราวุธ อินทราพงษ์; และ ผกาพร ธนบริสุทธิ์. 2550) ไมโทคอนเดรียในระดับโมเลกุลทำหน้าที่ใช้ออกซิเจนสันดาปหรือหายใจโดยใช้กระบวนการสังเคราะห์พลังงานซึ่งเรียกว่า ออกซิเดทีฟฟอสโฟริเลชัน (Oxidative phosphorylation) เพื่อให้เกิดพลังงาน ภาพประกอบ 11 ไมโทคอนเดรียประกอบด้วยโปรตีนคอมเพล็กซ์ 5 หน่วยย่อยฝังตัวอยู่ในเมมเบรนด้านใน การเกิดเมแทบอลิซึมของวัฏจักรเครบส์ภายในไมโทคอนเดรีย นับเป็นแหล่งกำเนิดของสารรีดิวซ์หรือตัวให้อิเล็กตรอนให้แก่คอมเพล็กซ์ 1 และ คอมเพล็กซ์ 2 ตามลำดับ คอมเพล็กซ์ทั้งสองจะส่งอิเล็กตรอนไปยังคอมเพล็กซ์ 3 คอมเพล็กซ์ 3 ขนส่งอิเล็กตรอนต่อไปยังคอมเพล็กซ์ 4 โดยใช้ไซโตโครมซีพร้อมกับการรีดิวซ์ออกซิเจนไปเป็นน้ำ ในการขนส่งอิเล็กตรอนผ่านคอมเพล็กซ์จะมีการปั๊มโปรตอนออกจากเมมเบรนชั้นในที่คอมเพล็กซ์ 1 คอมเพล็กซ์ 3 และคอมเพล็กซ์ 4 ทำให้เกิดความต่างศักย์ในการเติมหมู่ฟอสเฟตให้แก่เอดีพี ให้กลายเป็นเอทีพี โดยที่อะดีนีนนิวคลีโอไทด์ทรานสปอร์ตเตอร์ (Adenine nucleotide transporter ;

ANT) ทำหน้าที่ขนส่งเอทีพีออกจากไมโทคอนเดรียพร้อมทั้งขนส่งเอดีพีจากไซโตพลาซึม กลับเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย ในการขนส่งนี้ในภาวะปกติอิเล็กตรอนประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ จะหลุดออกมาเกิดเป็นอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน ($O_2^{\cdot-}$) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระเริ่มต้นที่เป็นอันตรายและพบมากที่สุด เซลล์ ซึ่งเกิดจากการรั่วไหลของอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงจากกระบวนการส่งผ่านอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรียที่ คอมเพล็กซ์ 1 ไปยังคอมเพล็กซ์ 3 ซึ่งอนุมูลที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาผลาญจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อไมโทคอนเดรีย โดยเฉพาะดีเอ็นเอ ชนิด mtDNA อนุมูลอิสระจะทำให้ mtDNA ผิดปกติเสียหาย ความเสียหายจะเพิ่มมากขึ้นตามเวลาหรืออายุโดยเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ เมื่อ mtDNA เสียหายจะทำให้มีรหัสที่ผิดไป ส่งผลให้โปรตีนที่สร้างขึ้นจากการถอดรหัสนั้นผิดปกติมีการทำงานบกพร่องไปด้วย หากโปรตีนที่ผิดปกตินั้นมีบทบาทและหน้าที่สำคัญจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ กรณีที่โปรตีนที่บกพร่องอยู่ในไมโทคอนเดรียจะทำให้กระบวนการส่งผ่านอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรียบกพร่องทำงานได้น้อยลง มีการรั่วไหลของอิเล็กตรอนมากกว่าปกติมีผลทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระ (โสภา วัชรคุปต์และคนอื่นๆ. 2550; Mustallodis et al. 2006)



ภาพประกอบ 11 กระบวนการสร้างเอทีพีที่ไมโทคอนเดรีย

ที่มา: โสภา วัชรคุปต์; และคนอื่นๆ. (2550). สารต้านอนุมูลอิสระ. หน้า 19.

4.2 สารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะออกซิเดทีฟสเตรส (Oxidative stress) ซึ่งเป็นสภาวะที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมและป้องกันปริมาณของอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่จะไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ได้ ร่างกายจึงมีระบบป้องกันอนุมูลอิสระที่เรียกว่าแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) ซึ่งได้แก่

สารกลุ่มของเอนไซม์ โปรตีน และสารอาหารต่างๆ สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารเคมีที่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารต้านอนุมูลอิสระช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้ทำลายเซลล์ (Mustallodis; et al. 2006) ซึ่งได้แก่

4.2.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากอาหาร เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน เป็นต้น (Mustallodis et al. 2006)

4.2.2 โมเลกุลภายในร่างกาย เช่น กลูตาไทโอน (Glutathione) อัลบูมิน (Albumin) บิลิรูบิน (Bilirubin) เป็นต้น (Mustallodis et al. 2006)

4.2.3 สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มเอนไซม์ สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มเอนไซม์สามารถพบได้ในพลาสมา เม็ดเลือดแดง และในกล้ามเนื้อ เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (Superoxide dismutase; SOD) แคตาเลส (Catalase; CAT) และกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase ;GPX) เป็นต้น (Mustallodis et al. 2006)

4.2.3.1 ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (Superoxide dismutase; SOD) เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระของเซลล์ โดยทำหน้าที่ เปลี่ยนอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ (Superoxide) ไปเป็น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ดังสมการ (Mustallodis; et al. 2006)



4.2.3.2 แคตาเลส (Catalase; CAT) พบในเซลล์ที่มีการใช้พลังงานแบบแอโรบิก โดยพบในอวัยวะที่สำคัญในร่างกาย โดยเฉพาะพบมากที่เซลล์ตับ และเซลล์เม็ดเลือดแดง หน้าที่หลักของแคตาเลส (CAT) คือสลายโมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไปเป็นน้ำและออกซิเจน (Mustallodis et al. 2006)

4.2.3.3 กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase ;GPX) กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส พบในตับและปอดของสัตว์และเซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมีการทำงานสูงในตับ การทำงานปานกลางในหัวใจ ปอดและสมอง และการทำงานที่ต่ำในกล้ามเนื้อ เอนไซม์นี้มีบทบาทสำคัญ ในการสลายโมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไปเป็นน้ำ (Mustallodis et al. 2006)

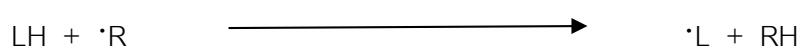
ถึงแม้ว่ามนุษย์เราจะมีระบบการต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถควบคุมการเกิดขึ้นของอนุมูลอิสระเพื่อลดการทำลายเซลล์ในร่างกายได้ ซึ่งได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (Superoxide dismutase; SOD) แคตาเลส (Catalase; CAT) และกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase; GPX) รวมถึงอาหารที่รับประทานก็เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินอี เป็นต้น แต่พบว่า การออกกำลังกายทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่าง

ระดับของอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายได้ และเมื่อร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จะส่งผลให้เกิดภาวะออกซิเดทีฟสเตรสและนำไปสู่การทำลายสมดุลของระบบต่างๆภายในร่างกาย โดยการทำลายองค์ประกอบหลักของร่างกาย เช่น การทำลายหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์อันนำไปสู่การตายของเซลล์ การทำลายดีเอ็นเอ และการทำลายโปรตีน ทำให้โปรตีนไม่สามารถประกอบหน้าที่ได้ตามปกติ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถทางกาย การลำตัวของกล้ามเนื้อ และการทำลายกล้ามเนื้อ (ปริยาลักษณ์ โคนองบัว; ศราวุธ อินทราพงษ์; และ ผกาพร ธนปริสุทธิ. 2550: 1-23) ซึ่งสอดคล้อง ภูมิร จินตามณี (2544: บทคัดย่อ) ที่พบว่า 1-5 เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนที่ร่างกายใช้นั้น จะนำไปสู่การเกิดอนุมูลอิสระและอนุพันธ์ของออกซิเจนได้ ระหว่างออกกำลังกายจะมีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น 10-15 เท่า หรือมากกว่า โดยจะนำไปสู่การทำลายเซลล์ ฉีกขาดของเนื้อเยื่อทำให้เพิ่มความเสียหายกล้ามเนื้อเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันซึ่งจะก่อให้เกิดสภาวะออกซิเดทีฟสเตรส

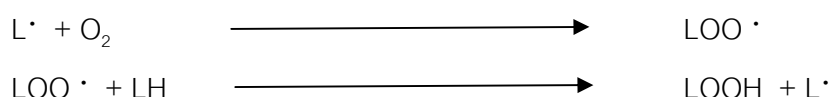
4.3 กลไกการเกิดความเสียหายของลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน

กรดไขมันไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญกับร่างกายเท่านั้น ยังรวมเป็นองค์ประกอบของเมมเบรนหรือเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น โพลีฟอสฟอไลด์ ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) และทำหน้าที่ควบคุมของเหลวในเมมเบรนในสิ่งมีชีวิต การที่ลิปิดถูกออกซิไดซ์โดยอนุมูลเรียกว่าลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดความเสื่อมสภาพหรือการเสียหายจากการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีผลต่อการเกิดความเสียหายต่อเยื่อหุ้มเซลล์และอาจทำให้เกิดการตายของเซลล์ ลิปิดเปอร์ออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่

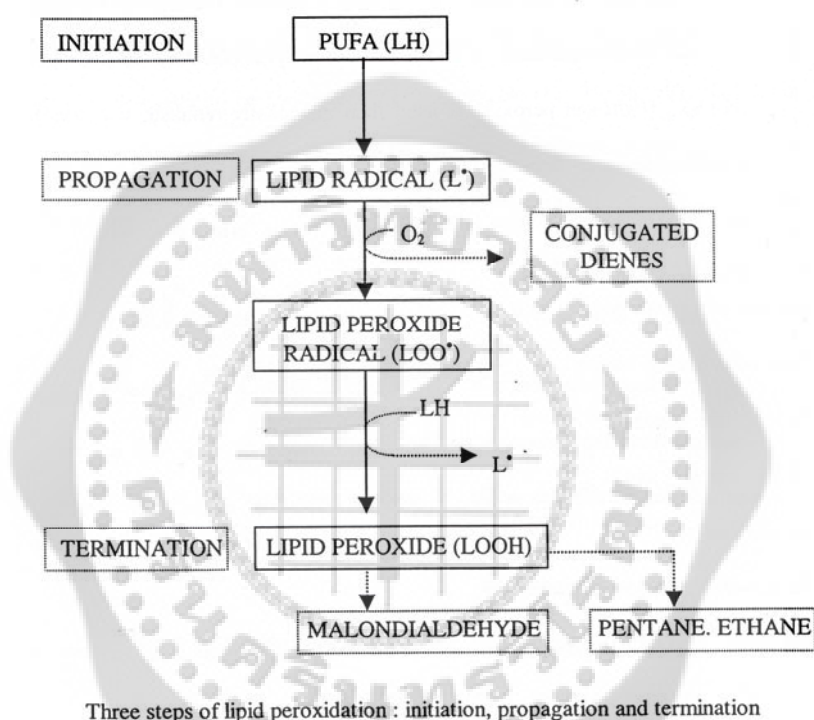
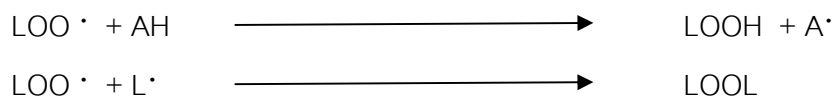
4.3.1 การเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น (Initiation step) เกิดจากโมเลกุลกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูญเสียไฮโดรเจนอะตอม โดยอนุมูลอิสระ ($R^\cdot$) หรือ อนุมูลของไฮดรอกซี ($\cdot OH$) และอนุมูลเปอร์ไฮดรอกซี ($HO_2^\cdot$) จะเข้าทำปฏิกิริยากับลิปิดโดยไปดึงอะตอมไฮโดรเจนที่จับกับคาร์บอนของลิปิดในโมเลกุลของกรดไขมัน ทำให้เกิดอนุมูลลิปิด (Lipid radical; $L^\cdot$)



6.3.2 ปฏิกิริยาเพิ่มทวีขึ้น (Propagation) โดยอนุมูลลิปิด ($L^\cdot$) ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลลิปิดเปอร์ออกซิล ($LOO^\cdot$) และอนุมูลลิปิดเปอร์ออกซิล ($LOO^\cdot$) นี้สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปกับลิปิดโมเลกุลอื่นเกิดเป็นลิปิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Lipid Hydroperoxide; $LOOH$) และเกิดอนุมูลลิปิดใหม่เพิ่มขึ้นเข้าสู่วงจรการเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่



4.3.3 ปฏิกิริยาขั้นสุดท้าย (Termination) เกิดโดยปฏิกิริยาถูกใช้สิ้นสุดลงเมื่ออนุมูลลิปิด ($L^\bullet$) หรืออนุมูลลิปิดเปอร์ออกซิล ($LOO^\bullet$) ถูกขจัดไปจากวงจรโดยทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ (AH) หรือสิ้นสุดลงเมื่ออนุมูล 2 อนุมูลทำปฏิกิริยากันเอง ทำให้อิเล็กทรอนิกส์เดี่ยวของแต่ละอนุมูลจับคู่ได้ผลผลิตที่ไม่เป็นอนุมูล



ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน

ที่มา: โอภา วัชรคุปต์; และคนอื่นๆ. (2550). สารต้านอนุมูลอิสระ. หน้า 97.

การเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันทำให้เกิดการเสื่อมสลายได้สารประกอบจำนวนมาก ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เช่น อีทีน (Ethene) อีเทน (Ethane) เพนเทน (pentane) รวมถึงอัลดีไฮด์ (Aldehyde) อัลดีไฮด์เป็นผลผลิตจากการเสื่อมสลายที่เกิดขึ้น มีความสำคัญ คือ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ที่เกิดขึ้นนำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดการเกิดปฏิกิริยา ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (โอภา วัชรคุปต์; และคนอื่นๆ. 2550)

4.4 ค่าบ่งชี้หรือดัชนีชีวภาพสำหรับชี้วัดภาวะถูกออกซิไดส์เกินสมดุล

ค่าบ่งชี้หรือดัชนีชีวภาพ (Biomarker) สำหรับชี้วัดภาวะถูกออกซิไดส์เกินสมดุล มีแนวทาง ในการวัดได้ 2 แนวทาง คือ การวัดอนุมูลอิสระโดยตรงและการวัดอนุมูลอิสระโดยอ้อม โดยวัดจากระดับความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้องที่เป็นผลผลิตของอนุมูลอิสระ การวัดโดยตรงทำได้ยากเพราะอนุมูลอิสระมีระยะครึ่งชีวิตสั้นมากอยู่ในระดับวินาทีทำการวัดได้ยาก นอกจากนี้การวัดอนุมูลอิสระโดยตรงต้องใช้เครื่องมือพิเศษ คือเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ทรานพาราแมกเนติกเรโซแนนซ์ สเปกโตรสโคปี (Electron paramagnetic resonance spectroscopy; EPR) หรือเครื่องอิเล็กทรอนิกส์สปิน เรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (Electron spin resonance spectroscopy; ESR) ดังนั้นการตรวจหาดัชนีชีวภาพที่ใช้วัดภาวะถูกออกซิไดส์ที่เกินสมดุลจึงเป็นวิธีโดยอ้อม นิยมวัดความบกพร่องเสียหายอันเกิดจากอนุมูลอิสระ และสารที่เกี่ยวข้องที่เป็นผลผลิตของอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถวัดได้จากปริมาณ ชีวโมเลกุลที่เปลี่ยนไปหรือถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระ ปัจจุบันการวัดทำได้หลายวิธี ซึ่งการออกกำลังกาย ทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างระดับของอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายได้ และเมื่อร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จะส่งผลให้เกิดภาวะออกซิเดทีฟสเตรสและนำไปสู่การทำลายสมดุลของระบบต่างๆภายในร่างกายโดยการทำลายองค์ประกอบหลักของร่างกาย เช่น การทำลายหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์อันนำไปสู่การตายของเซลล์ การทำลายดีเอ็นเอ และการทำลายโปรตีน ทำให้โปรตีนไม่สามารถประกอบหน้าที่ได้ตามปกติ ภาวะออกซิเดทีฟสเตรสเป็นภาวะที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างและหน้าที่การทำงานของเซลล์ที่ผิดปกติไปจากเดิม เกิดความไม่สมดุลระหว่างระดับของอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย (โสภา วัชรคุปต์; และคนอื่นๆ. 2550)

4.4.1 ดัชนีชี้วัดความเสียหายจากการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย วัดความเสียหายจาก การเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย ด้วยวิธี dROMs test (Determined the reactive oxygen metabolites; dROMs test) วัดการเกิดภาวะออกซิเดทีฟสเตรส เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงภาวะถูกออกซิไดส์ที่มากเกินไปเกินสมดุลของ ลิพิด คาร์โบไฮเดรต อะมิโนแอซิด โดยการทำงานของระบบเอนไซม์ต่างๆในร่างกาย (Enzymatic system) โดยอาศัยหลักการวัดปริมาณอนุมูลอิสระในร่างกายจากปริมาณ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide; ROOH) จากการทำปฏิกิริยา (Fenton reaction) ของสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กในร่างกายกับอนุมูลของไฮดรอกซิล ($\text{OH}^\cdot$) วิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก ในร่างกาย โดยการเปลี่ยนแปลง สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอรัส (Ferrous; Fe^{2+}) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก เฟอริก (Ferric; Fe^{3+}) และก่อให้เกิดอนุมูลอิสระไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide; ROOH) ที่เพิ่มขึ้น วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 505 นาโนเมตร (โสภา วัชรคุปต์; และคนอื่นๆ. 2550)

4.4.3 ดัชนีชี้วัดความเสียหายจากการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (Lipid peroxidation)

การวัดการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงภาวะถูกออกซิไดส์ที่มากเกินไปจนส่งผลให้เกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน เป็นดัชนีที่เหมาะสมเพราะลิปิดจะเป็นชีวโมเลกุลที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ไวต่อการเกิดออกซิเดชันโดยอนุมูลแล้วเมื่อลิปิดในเมมเบรนถูกออกซิไดส์ทำให้เมมเบรนมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปและส่งผลกระทบต่อเอนไซม์และรีเซปเตอร์ที่ฝังอยู่ในเมมเบรนทำให้การทำงานของเอนไซม์และรีเซปเตอร์เสียไปเป็นสาเหตุในการเกิดโรค ดังนั้นผลผลิตหรือสารที่ได้จากการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันจึงเป็นดัชนีที่แสดงถึงภาวะที่ร่างกายถูกออกซิไดส์และการเกิดการบาดเจ็บของเซลล์ ผลผลิตหรือสารที่เกิดขึ้นสามารถหาได้จากหลายค่า เช่น เพนเทน (Pentane) มอลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) ไอโซโพรอสเทนส์ (Isoprostanes) ไลปิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Lipid hydroperoxide) และคอนจูเกตไดเ็นส์ (Conjugated dienes) (โอภา วัชรคุปต์; และคนอื่นๆ. 2550)

4.4.4 การหาปริมาณของผลผลิตของโปรตีนออกซิเดชัน (Protein oxidation)

กระบวนการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นกับโปรตีน การวิเคราะห์หาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโปรตีนจะซับซ้อนกว่าดีเอ็นเอ เพราะโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนที่หลากหลายชนิดในขณะที่ดีเอ็นเอ ประกอบด้วย เบสเพียง 4 ชนิด อนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยาเกิดเป็นอนุมูลที่กรดอะมิโนของโปรตีนจะส่งผลให้เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างกรดอะมิโนในสายเปปไทด์ของโปรตีน หรืออนุมูลที่เกิดที่กรดอะมิโนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นอนุมูลเปอร์ออกซี การเกิดออกซิเดชันทำให้โปรตีนมีโครงสร้างที่เปลี่ยนไปจากเดิมได้แก่การเชื่อมต่อกันภายในสายเปปไทด์ การฉีกขาดของสายเปปไทด์ หรือการยืดออกของสายเปปไทด์ของโปรตีนที่เดิมหดพับเป็นรูปร่าง ทั้งหมดนี้ทำให้โปรตีนมีหน้าที่สำคัญทำหน้าที่บกพร่องไปจากเดิมหรือไม่สามารถทำหน้าที่ได้ การตรวจวัดสารที่ได้จากการออกซิเดชันของโปรตีนได้แก่การวิเคราะห์หาหมู่ของโปรตีนคาร์บอนิล (Protein carbonyl group) เพราะกรดอะมิโนในสายเปปไทด์ของโปรตีนถูก ออกซิไดส์ได้เป็นอนุมูลคาร์บอนิล การวิเคราะห์หมู่คาร์บอนิลที่โปรตีนทำโดยนำฟลาสมามาทำปฏิกิริยากับไดไนโตรฟีนิล ไฮดราซีน (Dinitrophenyl hydrazine; DNPH) ได้เป็นสารไฮดราซีน (Hydrazine) มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 360 นาโนเมตร (โอภา วัชรคุปต์; และคนอื่นๆ. 2550: 38)

4.4.5 การหาปริมาณผลผลิตของดีเอ็นเอออกซิเดชัน (DNA oxidation) สามารถศึกษา

การทำลายของดีเอ็นเอซึ่งมีความสัมพันธ์และความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง โดยการวิเคราะห์กรดนิวคลีอิกในเซลล์เดี่ยว (Single cell electrophoresis) เมื่อสลายนิวเคลียร์เมมเบรนของเซลล์ และทำให้ ดีเอ็นเอคลายเกลียวแล้วจึงนำไปแยกชิ้นส่วนดีเอ็นเอ หรืออาร์เอ็นเอตามขนาดและรูปร่าง โดยการ Run gel electrophoresis และย้อมดีเอ็นเอสายคู่ด้วย Ethidium bromide จะเกิดการเรืองแสงภายใต้ อัลตราไวโอเลต (โอภา วัชรคุปต์; และคนอื่นๆ. 2550)

4.5 ดัชนีชี้วัดความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (Total antioxidant capacity)

จากการที่ร่างกายและเซลล์มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้หลายชนิด จึงมีระบบควบคุมป้องกันไม่ให้มีอนุมูลอิสระเกินสมดุลทำให้เกิดอันตราย ระบบป้องกันอันตรายจากอนุมูลประกอบด้วยสารกำจัดอนุมูลอิสระหรือสารต้านออกซิเดชัน และเอนไซม์กำจัดอนุมูลอิสระที่มีหลายชนิดด้วยกัน การใช้ดัชนีหาปริมาณสารต้านออกซิเดชันเดี่ยว ๆ หรือการวัดปริมาณการเกิดชีวโมเลกุลที่ถูกอนุมูลอิสระทำให้เสียหายเป็นดัชนีวัดภาวะออกซิไดซ์เกินสมดุลว่ามีระดับมากน้อยเพียงใดนั้น อาจไม่เป็นค่าที่สะท้อนถึงภาพรวมของภาวะออกซิเดชันของร่างกาย ดังนั้นจึงมีการหาความสามารถในการต้านออกซิเดชันจากองค์ประกอบโดยรวมและใช้เป็นดัชนีชี้วัดภาวะออกซิเดชันของร่างกายซึ่งเป็นวิธีการที่นิยม ซึ่งมีการทดสอบหลายวิธี

4.5.1 ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (Biological antioxidant potential ; BAP) เป็นค่าความสามารถทางชีวภาพในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการให้อิเล็กตรอนโดยเปลี่ยนสีจากเฟอร์ริกไอออน (Ferric ions; Fe^{3+} ริดิวส์ ไปเป็นเฟอร์รัสไอออน (Ferrous ions; Fe^{2+}) การวิเคราะห์หาค่าการต้านออกซิเดชัน โดยมีหลักการว่าสารต้านออกซิเดชันในร่างกายทำหน้าที่ในการให้อิเล็กตรอนจึงจัดเป็นสารรีดิวส์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการต้านออกซิเดชันเป็นความสามารถรวมในการรีดิวส์ วิธีนี้ใช้สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก (Ferric ions) จากเฟอร์ริกคลอไรด์ (ferric chloride; $FeCl_3$) เป็นสารทดสอบทำปฏิกิริยากับสารไทโอไซยาเนต (Thiocyanate) โดยอะตอมเหล็กจะถูกรีดิวส์โดยเลือดซึ่งประกอบด้วยสารต้านออกซิเดชันหลายชนิดไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์รัส (Ferrous ions; Fe^{2+}) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดสีชมพูหรือสีแดง ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 505 นาโนเมตร

4.5.2 Total (peroxyl) radical –trapping antioxidant potential (TRAP)

ใช้หลักการ โดยการนำขั้ววัดออกซิเจน (Oxygen electrode) วัดออกซิเจนที่เหลือจากการไปออกซิไดซ์กรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) ในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมากสารต้านอนุมูลอิสระจะไปจับกับอนุมูลเปอร์ออกซิล (Peroxyl radical) ซึ่งเป็นอนุมูลที่ได้จากการสลายตัวของ ABAP [2,2'-azobis (2-aminopropane) hydrochloride] ซึ่งจะไปทำให้กระบวนการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของกรดไลโนเลอิกช้าลง ทำให้วัดปริมาณออกซิเจนที่เหลือได้มาก แต่ในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระน้อย สารต้านอนุมูลอิสระจะไปจับกับอนุมูลเปอร์ออกซิล (Peroxyl radical) จนเกือบหมด ซึ่งจะไปทำให้กระบวนการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของกรดไลโนเลอิกเร็วขึ้น ทำให้วัดปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการไปออกซิไดส์ได้น้อยลง

4.5.3 ABTS methods เป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารที่ทำให้เกิดสีคือ ABTS [2,2'-azinobis-(3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid) Diammonium salt] โดยที่ เมทไมโอโกลบิน (Metmyoglobin) จะไปเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) ไปเป็นน้ำ และออกซิเจนที่ว่องไว (Active oxygen) ซึ่งมันจะไปออกซิไดส์ ABTS ให้เป็น $ABTS^0$ ซึ่งจะเกิดเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตรในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันก่อนเกิดสีจะนานขึ้น และถ้ามีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระน้อยจะทำให้เวลาก่อนการเกิดสีสั้นลง

4.5.4 ABTS radical cation decolorization assay (ABTS assay)

เป็นวิธีที่อาศัยสารที่มีสีน้ำเงิน คือ $ABTS^{0+}$ [2,2'-azinobis-(3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid) radical cation] ในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ $ABTS^{0+}$ จะถูกสลายตัวทำให้เป็นสีน้ำเงินจางลง

4.5.5 Enhanced chemiluminescence (ECL) หลักการคือ ลูมินอล (Luminol) ซึ่ง

เป็นสารเรืองแสง จะปล่อยแสงออกมาในรูปของโฟตอน (Photon) เมื่อลูมินอลถูกย่อยด้วย Horseradish peroxidase conjugated sheep anti-mouse IgG ซึ่งปฏิกิริยาจะมี Enhance เป็นตัวช่วยในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมาก จะทำให้แอนติบอดี (Antibody) มาจับทำให้มีปริมาณเอนไซม์ไปย่อยลูมินอล ได้น้อยลง จึงมีการเปล่งแสงออกมาได้น้อย แต่ถ้ามีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระน้อย ก็จะมีปริมาณเอนไซม์มาก ไปทำการย่อยลูมินอล จึงมีการเปล่งแสงออกมาได้มาก

4.5.6 Oxygen radical absorbance capacity assay (ORAC) เป็นการวิเคราะห์จาก

การส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน (Hydrogen atom transfer; HAT) โดยการวัดความสามารถของเลือดในการยับยั้งอนุมูลเปอร์ออกซี ไม่ให้ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยหยุดปฏิกิริยาถูกใช้ด้วยกลไกการส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน การวิเคราะห์จะวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ โดยอนุมูลเปอร์ออกซีจะทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสารที่ให้แสงฟลูออเรสเซนซ์ไปเป็นสารที่ไม่ให้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ดังนั้นเมื่อเติมเลือดหรือสารต้านอนุมูลอิสระลงไปจะลดอนุมูลเปอร์ออกซี วิธีนี้จะใช้ เบต้าไฟโคเออร์ไทริน (β -phycoerythrin; β -PE) ซึ่งเบต้าไฟโคเออร์ไทริน มีคุณสมบัติให้แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่ 565 นาโนเมตร เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงหรือรังสีที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 540 นาโนเมตร เบต้าไฟโคเออร์ไทริน จะถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระทำให้คุณสมบัติในการให้แสงฟลูออเรสเซนซ์เสียไป ดังนั้นเมื่อผสมสารเอโซ [2,2'-azinobis-(2-amidinopropane) dihydrochloride; AAPH radical] ซึ่งจะสลายตัวให้อนุมูลเปอร์ออกซี อนุมูลเปอร์ออกซีจะทำให้แสงฟลูออเรสเซนซ์ของเบต้าไฟโคเออร์ไทริน ลดลง ดังนั้นการเติมซีรัมหรือสารต้านออกซิเดชันลงไปในสาร ละลายทดสอบจะยับยั้งการสูญเสียแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ เบต้าไฟโคเออร์ไทริน ค่าของ ORAC มีหน่วยเป็นไมโครโมล เทียบเท่าโทรร็อกต่อสารตัวอย่าง 1 ลิตร (μM) ของ TE/L

ไอเลียมและคนอื่นๆ (Ilham; et al. 2004) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก โดยการวิ่งบนลู่วิ่งที่มีต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ผลการทดลอง พบว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการวิ่งบนลู่วิ่งด้วยความเร็ว 8.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมงมีผลต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระลดลงที่ 4, 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังการออกกำลังกาย สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยของอะกิลูโอและคนอื่นๆ (Aguilo; et al. 2005) ที่ทำการศึกษาก่อนการตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระโดยการกระตุ้นให้เกิดภาวะออกซิเดทีฟสเตรส จากการปั่นจักรยานเสือภูเขาจนหมดแรง พบว่า การปั่นจักรยานจนหมดแรงสามารถกระตุ้นการเกิดภาวะออกซิเดทีฟสเตรส โดยพบว่าระดับเอนไซม์กลูตาไทโอนเปอร์ ออกซิเดส ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลงระหว่างและหลังการออกกำลังกาย ซึ่งผลของการ ออกกำลังกายแบบฉบับพลันจะมีผลให้เกิดภาวะออกซิเดทีฟสเตรส ภายหลังการออกกำลังกาย ซึ่งสอดคล้องกับ เคซและคนอื่นๆ (Knez; et al. 2007) ที่ศึกษาผลของการตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระประกอบด้วยเอนไซม์ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส แคตาเลส และกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส และการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันใช้มาลอนไดอัลดีไฮด์ เป็นตัวบ่งชี้โดยการกระตุ้นให้มีการเกิดภาวะออกซิเดทีฟสเตรส ภายหลังการออกกำลังกายไตรกีฬา 2 ระยะทาง กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย วายน้ำ 1.9 กิโลเมตร ปั่นจักรยาน 90 กิโลเมตรและวิ่ง 21.1 กิโลเมตร และกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย วายน้ำ 3.8 กิโลเมตร ปั่นจักรยาน 180 กิโลเมตรและวิ่ง 42.2 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยพบว่าการตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระก่อนออกกำลังกาย ไตรกีฬากลุ่มที่ 1และกลุ่มที่ 2 มีค่าเอนไซม์กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดสมากกว่ากลุ่มควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นักกีฬาไตรกีฬากลุ่มที่ 1 ภายหลังออกกำลังกายสารต้านอนุมูลอิสระประกอบด้วยเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส แคตาเลส และกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนออกกำลังกาย ส่วนการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05 ส่วนนักกีฬาไตรกีฬากลุ่มที่ 2 ภายหลังออกกำลังกายสารต้านอนุมูลอิสระประกอบด้วยเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส แคตาเลสและกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส ลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .001 เมื่อเทียบกับก่อนออกกำลังกาย ส่วนการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .001 สอดคล้องกับ วิเตอร์ และคนอื่นๆ (Vitor et al. 2009) ได้วิจัยเปรียบเทียบการเกิดอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระและความเสียหายของกล้ามเนื้อในนักกีฬาเรือพายกับบุคคลทั่วไป ผู้เข้าร่วมการทดลองเพศชาย จำนวน 34 คน เป็นนักกีฬาเรือพาย 17 คน และบุคคลทั่วไปที่เป็นกลุ่มควบคุม 17 คนที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น อายุ น้ำหนัก ส่วนสูงและดัชนีมวลกาย แตกต่างกันที่ระยะเวลาในการออกกำลังกาย ซึ่งกลุ่มควบคุมมีการออกกำลังกายน้อยกว่า 1 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ส่วนกลุ่มนักกีฬาเรือพายฝึกซ้อมตามโปรแกรมประมาณสัปดาห์ละ 15 ชั่วโมง การ

ศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาในวันพักของโปรแกรมการฝึกซ้อมช่วงท้ายฤดูการแข่งขัน โดยตรวจค่าความเสียหายของกล้ามเนื้อจากการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันโดยใช้มาลอนไดอัลดีไฮด์เป็นตัวบ่งชี้ เพื่อดูการเปลี่ยนสีของกรดไทโอบาร์บิทูริก ดัชนีชี้วัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยใช้วิธี ABTS radical cation decolorization assay (ABTS assay) ตรวจระดับของเอนไซม์ที่ช่วยทำลายอนุมูลอิสระ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส แคตาเลส และกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อโดยใช้เอนไซม์ครีเอทีนไคเนสเป็นตัวบ่งชี้ ผลการทดลองพบว่ากลุ่มนักกีฬามีค่าลิปิดเปอร์ออกซิเดชันมากกว่ากลุ่มควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดัชนีชี้วัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันน้อยกว่ากลุ่มควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่เอนไซม์ที่ช่วยทำลายอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส และค่าครีเอทีนไคเนสมากกว่าว่ากลุ่มควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนดัชนีชี้วัดอื่นมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ วิเตอร์และคนอื่นๆ ได้สรุปว่าการออกกำลังกายที่หนักและรุนแรงนี้ ส่งผลให้ร่างกายสร้างอนุมูลอิสระในร่างกายเพิ่มขึ้น แม้ร่างกายจะสร้างเอนไซม์ที่ช่วยทำลายอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส เพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่ระยะเวลา ความหนักในการฝึกกีฬาส่งผลให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อของรอบเส้นใยกล้ามเนื้อได้เช่นกัน ส่งผลให้เกิดการฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อและมีการเพิ่มขึ้นของครีเอทีนไคเนสในกระแสเลือดนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับไทเซราและคนอื่นๆ (Teixeira, V. H. et al. 2009) ได้ศึกษาผลของการให้สารต้านอนุมูลอิสระเป็นระยะเวลา 4 อาทิตย์ ในช่วงฝึกซ้อมเรือพายต่อการเกิดความสามารถในการต้านออกซิเดชันโดยใช้วิธี ABTS radical cation decolorization assay (ABTS assay) การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ใช้ครีเอทีนไคเนสเป็นตัวบ่งชี้ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬารือพาย จำนวน 20 คน ทำการสุ่มให้ได้รับสารหลอกและสารต้านอนุมูลอิสระ กลุ่มละ 10 คน เป็นเวลา 4 สัปดาห์หลังการฝึกซ้อมตามโปรแกรม ผลการทดลองพบว่าค่าดัชนีชี้วัดความสามารถในการต้านออกซิเดชัน หลังการออกกำลังกายเปรียบเทียบกับก่อนการออกกำลังกาย ของกลุ่มที่ได้รับสารต้านอนุมูลอิสระ และกลุ่มที่ได้รับสารหลอก ลดลงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่า ครีเอทีนไคเนสหลังการออกกำลังกายเปรียบเทียบกับก่อนการออกกำลังกาย กลุ่มที่ได้รับสารต้านอนุมูลอิสระและกลุ่มที่ได้รับสารหลอกเพิ่มขึ้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

มาทาร์ลลิและคนอื่นๆ (Martarelli; et al. 2009) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอนุมูลอิสระในร่างกายและค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันในร่างกายจากการปั่นจักรยานเสือภูเขา 24 ชั่วโมง โดยนักกีฬามีอาชีพซึ่งผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นเพศชาย จำนวน 6 คน ที่เข้าร่วมโครงการแข่งขันปั่นจักรยานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย (Determined the reactive oxygen metabolites; dROMs test) และหาความสามารถใน

การต้านออกซิเดชัน (Biological antioxidant potential ; BAP) ที่ช่วงเวลาก่อนการแข่งขัน ระหว่างการแข่งขันชั่วโมงที่ 8 หลังการแข่งขันเสร็จสิ้นทันที หลังการแข่งขัน 24 ชั่วโมง หลังการแข่งขัน 48 ชั่วโมง และ หลังการแข่งขัน 72 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย ที่ช่วงเวลา ชั่วโมงที่ 8 ของการแข่งขัน ที่ช่วงเวลาหลังจากการแข่งขันเสร็จสิ้นทันที ที่ช่วงเวลาหลังการแข่งขัน 24 ชั่วโมง ที่ช่วงเวลาหลังการแข่งขัน 48 ชั่วโมง และที่ช่วงเวลาหลังการแข่งขัน 72 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการแข่งขัน มีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนค่าความสามารถในการ ต้านออกซิเดชันที่ช่วงเวลาหลังการแข่งขัน 24 ชั่วโมง และที่ช่วงเวลาหลังการแข่งขัน 48 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการออกกำลังกายมีค่าเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

วิตอร์และคนอื่นๆ (Vitor et al. 2009) ได้วิจัยเปรียบเทียบ การเกิดอนุมูลอิสระสารต้านอนุมูลอิสระ และความเสียหายของกล้ามเนื้อในนักกีฬาเรือพายกับบุคคลทั่วไป ผู้เข้าร่วมการทดลองเพศชายจำนวน 34 คน เป็นนักกีฬาเรือพาย 17 คน และบุคคลทั่วไป 17 คน ที่มีคุณลักษณะใกล้เคียง กัน เช่น อายุ น้ำหนัก ส่วนสูงและดัชนีมวลกาย แตกต่างกันที่ระยะเวลาในการออกกำลังกายซึ่ง กลุ่มควบคุมมีการออกกำลังกายน้อยกว่า 1 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ส่วนกลุ่มนักกีฬาเรือพายฝึกซ้อมตามโปรแกรมประมาณสัปดาห์ละ 15 ชั่วโมง การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาในวันพักของโปรแกรมการฝึกซ้อมช่วงท้ายฤดูการแข่งขัน โดยตรวจค่าดัชนีชี้วัดความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยใช้วิธี ABTS radical cation decolorization assay (ABTS assay) ตรวจระดับของเอนไซม์ที่ช่วยทำลายอนุมูลอิสระ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส แคตาเลส และกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส ลิพิดเปอร์ออกซิเดชันโดยใช้มาลอนไดอัลดีไฮด์ เพื่อดูการเปลี่ยนสีของกรดไทโอบาร์บิทริก ระดับการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อโดยใช้ครีเอทีนไคเนส ผลการทดลองพบว่ากลุ่มนักกีฬามีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันน้อยกว่ากลุ่มควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนค่าเอนไซม์ที่ช่วยทำลายอนุมูลอิสระซูเปอร์ ออกไซด์ดิสมิวเทส ลิพิดเปอร์ออกซิเดชันและ ค่าครีเอทีนไคเนส มากกว่ากลุ่มควบคุมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้วิตอร์และคนอื่นๆ ได้สรุปว่าการออกกำลังกาย ที่หนักและรุนแรง ส่งผลให้ร่างกายสร้างอนุมูลอิสระในร่างกายเพิ่มขึ้นแม้ร่างกายจะสร้างเอนไซม์ที่ช่วยทำลายอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส เพิ่มขึ้นก็ตามแต่ระยะเวลาความหนักในการฝึกกีฬาส่งผลให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อรอบเส้นใยกล้ามเนื้อลายซึ่งแสดง โดยค่าลิพิดเปอร์ออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้เกิดการฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อและมีครีเอทีนไคเนสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น

ดร.ณรรณ จักรพันธุ์ (2541) ได้ทำการศึกษาลักษณะของการฝึกซ้อมกีฬา ต่อบลิทเปิดเปอร์ ออกซิเดชัน สคาเวนจ์เอนไซม์ และการทำลายเซลล์กล้ามเนื้อในนักกีฬาเยาวชนไทย การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของการฝึกซ้อมกีฬาระยะยาว 1 ปี ต่อบริเวณของเอนไซม์ที่ช่วยทำลายอนุมูลอิสระ (สคาเวนจ์เอนไซม์: ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส แคตาเลส และกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส) ทั้งในภาวะพักและในภาวะหลังการกระตุ้นด้วยการออกกำลังกายเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่ความหนัก 70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราชีพจรสูงสุด นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของการฝึกซ้อมกีฬา ต่อบริเวณและองค์ประกอบของร่างกาย สมรรถภาพร่างกายทั่วไป ระดับของการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันโดยใช้มาลอนไดอัลดีไฮด์เป็นตัวบ่งชี้ และการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ โดยใช้เอนไซม์แลคเตทดีไฮโดรจีเนส และครีเอทีนไคเนส เป็นตัวบ่งชี้ ผู้ถูกทดสอบเป็นเด็กชายจำนวน 32 คน อายุประมาณ 10-14 ปี แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ 1 กลุ่มที่ไม่ได้รับ การฝึกกีฬา 2 กลุ่มฝึกกีฬาว่ายน้ำ และ 3 กลุ่มฝึกกีฬาฟุตบอล หลังจากการฝึกซ้อมกีฬาอย่างสม่ำเสมอ 20 ชั่วโมงต่อ สัปดาห์เป็นระยะเวลา 1 ปี นอกจากจะพบว่ากลุ่มฝึกกีฬาทั้ง ว่ายน้ำและฟุตบอลมีอัตราการเต้นของหัวใจในภาวะพักลดลง และสมรรถภาพทางกายดีขึ้นแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ .05 แล้วยังพบว่า ระดับ มาลอนไดอัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ของการ เกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ไม่เพิ่มขึ้นในกลุ่มฝึกกีฬาทั้งในภาวะพักและภาวะหลังการออกกำลังกาย ผล นี้แตกต่างจาก กลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึกกีฬาซึ่งพบว่าระดับ มาลอนไดอัลดีไฮด์ เพิ่มขึ้นตามเวลา 1 ปีที่ ผ่านไปและเพิ่มขึ้นอีกแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หลัง การออกกำลังกาย สำหรับตัว บ่งชี้ของการเกิดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ภายหลังระยะเวลา 1 ปี พบว่า หลังการออกกำลังกาย ทั้ง แลคเตทดีไฮโดรจีเนสและ ครีเอทีนไคเนส ไม่เพิ่มขึ้นในกลุ่มฝึกกีฬา แต่พบเอนไซม์ดังกล่าวเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึก นอกจากนั้นยังพบความแตกต่าง ของ สคาเวนจ์เอนไซม์ ในกลุ่มที่ได้รับและไม่ได้รับการฝึกกีฬาด้วย โดยพบว่าระดับของเอนไซม์ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตสเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในกลุ่มฝึกกีฬา ฟุตบอลทั้งก่อนและหลังการออกกำลังกาย และระดับ กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดสเพิ่มขึ้นการออก กำลังกายเพิ่มขึ้นภายหลังระยะเวลา 1 ปี ในทุกกลุ่มของผู้ถูกทดสอบ จากผลการทดลองนี้ซึ่งพบว่า การฝึกกีฬาอย่างสม่ำเสมอเป็นระยะเวลานาน 1 ปี ไม่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ มาลอนไดอัลดีไฮด์ ทั้งในภาวะพักและในภาวะหลังการกระตุ้นด้วยการออกกำลังกาย

ภมร จินตามณี (2544) ได้ทำการศึกษาผลของเครื่องดื่มเสริมสารแอนติออกซิแดนท์ต่อการเกิดสคาเวนจิงเอนไซม์และลิปิด เพอร็อกซิเดชันในทหารไทย กลุ่มตัวอย่างเป็นพลทหารจำนวน 30 คน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มๆ ละ 10 คน โดยการสุ่มกลุ่มแรกได้รับเครื่องดื่มสูตรควบคุม กลุ่มที่ 2 ได้รับเครื่องดื่มสูตรที่มีสารแอนติออกซิแดนท์ระดับข้อกำหนดสารอาหารที่ควรจะได้รับ ประจำวันของคนไทย (กลุ่มอาร์ตีเอ มี วิตามินอี 15 หน่วยสากล วิตามินซี 60 มิลลิกรัม เบต้าแคโรทีน 6 มิลลิกรัม) กลุ่มที่ 3 ได้รับเครื่องดื่มสูตรที่มีสารแอนติออกซิแดนท์ ระดับที่สถาบันวิจัยคูเปอร์แนะนำ (กลุ่มคูเปอร์ มีวิตามินอี 400 หน่วยสากล วิตามินซี 1,000 มิลลิกรัม เบต้า แคโรทีน 30 มิลลิกรัม โดยกลุ่มตัวอย่างจะได้รับเครื่องดื่ม ปริมาณ 200 ซีซี หลังอาหารกลางวันทุกวันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ และทำการวิเคราะห์หาปริมาณสคาเวนจิงเอนไซม์ ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส แคตาเลส และกลูตาไทโอนเพอร็อกซิเดส และปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ สภาวะวิตามิน เอ ซี อี เบต้าแคโรทีน ในพลาสมา ที่ 0, 2, 4, 6 สัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า พลาสมาวิตามินเอไม่มีความแตกต่างในทั้ง 3 กลุ่ม สภาวะวิตามิน ซี อี เบต้าแคโรทีนของกลุ่มคูเปอร์เพิ่มขึ้น ตลอดการทดลอง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ในกลุ่ม อาร์ตีเอ พบว่าเฉพาะเบต้าแคโรทีนเท่านั้นที่เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .001 ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส แคตาเลส ของกลุ่มคูเปอร์ ลดลงที่ 2 สัปดาห์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 แคตาเลส ของกลุ่มอาร์ตีเอลดลงที่ 2 สัปดาห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และภายหลังจากหยุดดื่มเครื่องดื่ม เสริมสารแอนติออกซิแดนท์ ที่ แคตาเลส ของทั้ง 3 กลุ่มเพิ่มขึ้นที่ 6 สัปดาห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 กลูตาไทโอนเพอร็อกซิเดส ของกลุ่มคูเปอร์มีแนวโน้มลดลงที่ 2 สัปดาห์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเปลี่ยนแปลงของเอนไซม์เหล่านี้แสดงให้เห็นถึงการลดลงของ อนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังพบว่า มาลอนไดอัลดีไฮด์ ในพลาสมาของกลุ่มอาร์ตีเอและกลุ่มคูเปอร์ลดลงที่ 2 สัปดาห์ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ .001 มาลอนไดอัลดีไฮด์ของกลุ่มคูเปอร์ลดลง ที่ 4 สัปดาห์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ .05 ซึ่งการลดลงของมาลอนไดอัลดีไฮด์ ดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการลดลงของอนุมูลอิสระเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสคาเวนจิงเอนไซม์ การเสริมสารแอนติออกซิแดนท์ในปริมาณสูงนั้น น่าจะมี ประโยชน์อย่างน้อยก็มีผลถึง การเปลี่ยนแปลงของสคาเวนจิงเอนไซม์และลิปิดเพอร็อกซิเดชันทั้งในพลาสมาและในเม็ดเลือดแดงของคนที่ย่อยกำลังกาย

ปรียาลักษณ์ ไคหนองบัว ศราวุธ อินทรพงษ์และ ผกาพรณปรีสุทธิ. (2550) ได้ทำการศึกษาผลของความหนักในการออกกำลังกายที่มีต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมาและอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลางและระดับความหนักสูงที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ ลิพิดเปอร์ออกซิเดชันโดยใช้มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde; MDA) เป็นตัวบ่งชี้และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด กลุ่มตัวอย่างเป็นนิสิตหญิงมาจากมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง จำนวน 30 คน สุขภาพแข็งแรงและไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำมาก่อน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่มๆละ 10 คน คือ 1 กลุ่มควบคุม ปฏิบัติกิจวัตรประจำวันปกติ 2 กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกโปรแกรมออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลางและ 3 กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกโปรแกรมออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง ทั้งนี้กลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่ม ทำทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ จากนั้นทำการทดสอบหาระดับสารต้านอนุมูลอิสระ มาลอนไดอัลดีไฮด์ ในพลาสมา และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากลุ่ม ทดลองที่ 2 มีระดับสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น มาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลงและอัตราการจับออกซิเจน สูงสุดเพิ่มขึ้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่อย่างไรก็ตามกลุ่มทดลองที่ 1 มีแนวโน้มของระดับสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น มาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม และมีอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดเพิ่มขึ้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการทดลองพบว่า โปรแกรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์มีประโยชน์ในการป้องกันการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันโดยการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมออาจจะกระตุ้นให้มีการเพิ่มของระดับสารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมา

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

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

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นนักกีฬาฟุตบอล สังกัดทีมศูนย์ฝึกทหารใหม่ กรมยุทธศึกษาทหารเรือ กองทัพเรือ จังหวัดชลบุรี อายุระหว่าง 18-25 ปี จำนวน 9 คน ทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีแบบจำเพาะเจาะจง

การคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง

จากสูตรการคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง (Sample size for crossover design) อ้างอิงจากงานวิจัยของ เจริญ; และคนอื่นๆ (Kota et al. 2007) ที่พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย (mean) ของค่าครีเอทีนไคเนส (U/L) ก่อนและหลังการทดลองเท่ากับ 113.00 และ 305.10 ตามลำดับ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน standard deviation (S.D.) ก่อนและหลังการทดลองเท่ากับ 32.00 และ 86.40 ตามลำดับ การคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่างได้ดังนี้

$$\text{สูตร} \quad n = (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \delta / \Delta^2$$

$$\text{กำหนดให้ } \alpha = 0.05 \quad Z_{\alpha} = Z_{0.05/2} = 1.96 \text{ (two tail)}$$

$$\beta = 0.10 \quad Z_{\beta} = Z_{0.10} = 1.28$$

$$\delta = (SD_1)^2 + (SD_2)^2$$

$$\delta = (32.00)^2 + (86.40)^2 = 8488.96$$

$$\Delta = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)$$

$$\Delta^2 = (113.00 - 305.10)^2 = 36902.41$$

$$\text{จากสูตร} \quad n = ((Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \delta) / \Delta^2$$

$$\text{แทนค่า} \quad n = ((1.96 + 1.28)^2 8488.96) / 36902.41 = 3.41 \text{ ประมาณ 4 คน}$$

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงใช้กลุ่มตัวอย่าง 4 คน แต่เพื่อป้องกันการสูญหายของกลุ่มตัวอย่างจากการศึกษา และการหยุดการทดลองกลางคัน การวิจัยครั้งนี้จึงใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 9 คน

โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกอาสาสมัครเข้าร่วมโครงการ (Inclusion criteria) ดังนี้

1. อายุ 18 – 25 ปี
2. ผ่านการแข่งขันฟุตบอลกรมยุทธศึกษาทหารเรือในรอบปีที่ผ่านมา
3. มีการฝึกซ้อมเป็นประจำอย่างน้อยสัปดาห์ละ 3 วัน
4. สมัครใจยินยอมเข้าร่วมการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เกณฑ์การแยกอาสาสมัครออกจากโครงการ (Exclusion criteria)

1. อยู่ในภาวะที่เจ็บป่วยหรือมีการบาดเจ็บขณะฝึกซ้อมและเป็นอุปสรรคต่อการทดลองวิจัยในครั้งนี้
2. มีโรคประจำตัวและโรคเรื้อรัง ที่อาจมีผลกระทบต่อผลกระทบต่อการทดลองวิจัย ได้แก่ โรคเบาหวาน โรคตับ โรคหัวใจ และโรคระบบทางเดินหายใจ

เกณฑ์การให้เลิกจากการศึกษา (Discontinuation criteria)

1. ขณะทำการทดลองอาสาสมัครมีอาการข้างเคียงหรือแพ้เครื่องดื่มน้ำที่ได้รับ เช่น มีอาการท้องเสีย แต่การศึกษานี้ไม่น่าชนิดและปริมาณของเครื่องดื่ม ที่ได้ศึกษาก่อนแล้ว พบว่า ทั้งชนิดและปริมาณของเครื่องดื่มนี้ ไม่ก่อให้เกิดอาการข้างเคียงหรือเกิดผลเสียใดๆต่อร่างกาย (Adverse effect) (Greer, 2006; Greer et al. 2007)
2. อาสาสมัครไม่ได้ดำเนินการทดลองวิจัยตามข้อตกลงของการวิจัยที่ทำการตกลงร่วมกันระหว่างผู้วิจัยและอาสาสมัคร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. จักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer) ยี่ห้อ Monark รุ่น 828E ที่สามารถปรับค่าความหนักได้ตั้งแต่ 0-350 วัตต์ จากประเทศสวีเดน (ภาคผนวก ก ภาพประกอบ 30)
2. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) และสายวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Transmitter) ยี่ห้อ polar รุ่น s810 ที่สามารถถ่ายข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจลงคอมพิวเตอร์ได้จากประเทศฟินแลนด์ (ภาคผนวก ก ภาพประกอบ 31)
3. เครื่องชั่งน้ำหนักอัตโนมัติ (Automatic weighting scale) ยี่ห้อ Tanita รุ่น TBF – 531 ที่มีความละเอียด 100 กรัม รับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 0-100 กิโลกรัม จากประเทศญี่ปุ่น (ภาคผนวก ก ภาพประกอบ 32)

4. เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Portable cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อ Cortex รุ่น Metamax 3B ที่สามารถหาค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีหน่วยการวัดเป็นมิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อนาทีจากประเทศเยอรมนี (ภาคผนวก ก ภาพประกอบ 33)

5. แบบประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ (Rating of perceived damage form) หมายถึง ค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อจากการทำแบบประเมินที่มีความยาวเส้นตรง 10 เซนติเมตร โดยที่ปลายด้านหนึ่งของเส้นตรง 0 เซนติเมตรแทนคะแนนต่ำสุดมีคำว่าไม่มีความเจ็บปวดเลยและที่ปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นตรง 10 เซนติเมตร แทนคะแนนสูงสุดมีคำว่าเจ็บปวดมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ กลุ่มตัวอย่าง จะทำเครื่องหมายกากบาทลงบนเส้นตรง ณ จุดที่คิดว่าแทนระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อในขณะนั้น ความยาวของเส้นตรงที่วัดจากจุดเริ่มต้น 0 เซนติเมตร ถึงจุดกึ่งกลางเครื่องหมาย กากบาทที่ขีดไว้แทนคะแนนประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อในขณะนั้น (Greer. 2006; White. 2008) (ภาคผนวก ข)

6. แบบบันทึกการอาหารที่รับประทาน (Food record) เป็นใบบันทึกการอาหารที่บริโภคใน 1 วัน ที่ประกอบด้วย ชื่ออาหารและเวลาที่รับประทาน รายการอาหาร ส่วนประกอบของอาหาร และน้ำหนักหรือปริมาณอาหารที่รับประทานในแต่ละมื้อ (จිරนันท์ สุวรรณวารี. 2543) (ภาคผนวก ค) อาสาสมัครจะบันทึกการอาหารที่รับประทาน ก่อนการเข้าร่วมการทดลอง 3 วัน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ขั้นก่อนการทดลอง

แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นเตรียมการก่อนการทดลอง ขั้นเตรียมอาสาสมัคร และขั้นการเตรียมเครื่องมือ

1.1 ขั้นเตรียมการก่อนการทดลอง

1.1.1 ส่งโครงการวิจัยเพื่อขออนุญาตการทำวิจัยในมนุษย์ ซึ่งโครงการวิจัยนี้ผ่านการรับรองโดยคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์จากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และได้เอกสารรับรองโครงการวิจัย เลขที่หนังสือรับรอง SWUEC/EX 4/2554 ลงวันที่ 11 มกราคม 2554 (ภาคผนวก ง)

1.1.2 ผู้วิจัยดำเนินการขอหนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูลใช้อาสาสมัครเครื่องมืออุปกรณ์และสถานที่ จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒถึงผู้อำนวยการโรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ สุราษฎร์ธานี จังหวัดชลบุรี หนังสือเลขที่ศร 0519.12/1090 ลงวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554 เรื่อง ขอใช้สถานที่และขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยและได้การตอบรับให้สามารถดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลได้ (ภาคผนวก จ)

1.1.3 จัดเตรียมเอกสารที่ใช้ในการทดลอง สถานที่ และอุปกรณ์เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1.2 ขั้นตอนเตรียมอาสาสมัคร

1.2.1 ขอความอนุเคราะห์จากผู้ประสานงานซึ่งเป็นครูฝึกของนักกีฬาฟุตบอล สังกัดทีมศูนย์ฝึกทหารใหม่ กรมยุทธศึกษาทหารเรือ กำหนดนัดกลุ่มประชากรนักกีฬาฟุตบอลพบนักวิจัยเพื่อรับทราบถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการทดลอง และรับสมัครผู้สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย

1.2.2 รับสมัครผู้สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัยโดยพิจารณาจากเกณฑ์การคัดเลือกเข้าและเกณฑ์การแยกอาสาสมัครออกจากโครงการเป็นการเบื้องต้น และให้ผู้สมัครตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับสุขภาพ (ภาคผนวก ฉ) และได้ลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (ภาคผนวก ช)

1.2.3 นัดผู้สมัครที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกมาบันทึกข้อมูลส่วนตัว น้ำหนักตัว ส่วนสูง คำนวณหาค่าดัชนีมวลกายและประเมินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximum oxygen consumption, VO_{2max}) (ภาคผนวก ซ)

1.2.4 การประเมินค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดของแต่ละบุคคลด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Portable cardiopulmonary gas exchange system) ยี่ห้อ Cortex รุ่น Metamax 3B โดยใช้จักรยานวัดงานใช้จักรยาน (Monark; 828 E, Sweden) และเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Cortex; Metamax 3B, Germany) โดยให้อาสาสมัครปั่นจักรยานกำหนดความเร็วในการปั่นให้คงที่ 50 รอบ/นาที และเพิ่มน้ำหนักรถจักรยานเป็น 100 กิโลกรัม เป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นเพิ่มน้ำหนักรถจักรยาน 50 กิโลกรัมทุก ๆ 3 นาที จนกระทั่งอาสาสมัครมีอาการเหนื่อยหอบหรือถึงขีดสุดหรือจนกระทั่งอาสาสมัครไม่สามารถรักษารอบการปั่นจักรยาน ให้คงที่ได้ เกณฑ์ในการพิจารณาค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีดังนี้ (Greer, 2006; Greer et al. 2007; Sheldar et al. 2000)

1.2.4.1 ค่า Respiratory Exchange Ratio (RER) มากกว่า 1.15

1.2.4.2 เมื่อปรับเพิ่มน้ำหนักรถจักรยานค่าการใช้ออกซิเจน (Oxygen uptake) เพิ่มขึ้นน้อยกว่า 150 มิลลิลิตรต่อนาที

1.2.4.3 ระดับอัตราการเต้นของหัวใจมีค่าใกล้เคียงอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด โดยมีค่าความแตกต่าง $\pm 10\%$ ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ($HR_{max} = 220 - \text{อายุ}$)

1.2.4.4 ไม่สามารถรักษาความเร็วในการปั่นจักรยานที่ 50 รอบต่อนาที ค่าความแตกต่าง ± 5 รอบต่อนาทีได้

1.2.4.5 กลุ่มตัวอย่างปฏิบัติจนหมดแรงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า 65 เปอร์เซ็นต์ และ 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดเพื่อใช้กำหนดความ

หนักในการทดลอง อาสาสมัครงดกิจกรรมทางกายอย่างหนัก 72 ชั่วโมง และงดการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มทุกชนิดอย่างน้อย 10 ชั่วโมงก่อนเริ่มการทดลอง

1.2.5 อาสาสมัครได้รับการอธิบายเกี่ยวกับการบันทึกรายการอาหารที่รับประทาน และอาสาสมัครบันทึกรายการอาหารที่รับประทานก่อนการเข้าร่วมการทดลอง 3 วัน เพื่อบันทึกพลังงานและปริมาณสารอาหารที่บริโภคเฉลี่ยต่อวันก่อนการทดลองแต่ละครั้ง

1.2.6 ผู้วิจัยให้อาสาสมัครทำการสุ่มชนิดของเครื่องดื่มที่ได้รับในแต่ละครั้งของการทดลอง โดยอาสาสมัครไม่ทราบว่าในแต่ละครั้งของการทดลองนั้น อาสาสมัครได้รับเครื่องดื่มชนิดใด ซึ่งเครื่องดื่ม มี 3 ชนิด คือ เครื่องดื่มบรานเชอะมิโนแอซิด (BCAA) เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต (CHO) และเครื่องดื่มหลอก (PLA)

1.2.6 ในการทดลองครั้งนี้อาสาสมัครออกกำลังกาย 2 ช่วง ช่วงละ 45 นาที โดยมีระยะเวลาพักระหว่างช่วง 15 นาที อาสาสมัครปั่นจักรยานจนกระทั่งอาสาสมัครรู้สึกล้า ความหนักของการปั่นจักรยานอยู่ที่ 65 เปอร์เซ็นต์สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความ สามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด อาสาสมัครปั่นจักรยานความหนักที่ 65 เปอร์เซ็นต์ 2 นาที 30 วินาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 30 วินาที

1.2.7 อาสาสมัครมีเวลาพักระหว่างการทดลองแต่ละครั้ง อย่างน้อย 7 วัน

1.3 ขั้นตอนการเตรียมเครื่องดื่ม

1.3.1 ผู้วิจัยได้เตรียมเครื่องดื่มทั้ง 3 ชนิด คือ เครื่องดื่มบรานเชอะมิโนแอซิด (BCAA) เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต (CHO) และเครื่องดื่มหลอก (PLA) ดังตาราง 7 ซึ่งการจัดเตรียมเครื่องดื่มจัดเตรียมครั้งเดียวทั้ง 3 ชนิด ทุกละ 18 ขวด รวมเครื่องดื่มทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ 54 ขวด หลังจากจัดเตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้วได้แยกชนิดและจำนวนของเครื่องดื่มจัดวางไว้ในตู้เย็น ซึ่งการจัดเตรียมเครื่องดื่ม 54 ขวด จะเท่ากับจำนวนครั้งการดื่มเครื่องดื่มของอาสาสมัคร

1.3.2 ผู้วิจัยเป็นผู้จัดเตรียมเครื่องดื่มเพียงอย่างเดียว โดยได้อธิบายขั้นตอนการทดลองและการให้เครื่องดื่มกับกลุ่มอาสาสมัครแก่ผู้ช่วยวิจัยอย่างละเอียด ในแต่ละครั้งของการทดลองผู้ช่วยวิจัยเป็นผู้หยิบเครื่องดื่มให้กับอาสาสมัคร โดยผู้ช่วยวิจัยไม่มีผลเกี่ยวข้องกับข้อมูลการทดลองในครั้งนี้ แต่อย่างไร ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ เป็นการทดลองแบบแรนดอมไมซ์ดับเบิลบไลนด์ครอสโอเวอร์ดีไซน์ (Randomized, double-blind, crossover design) ผู้วิจัยและอาสาสมัครไม่ทราบว่าเครื่องดื่มที่ได้รับในแต่ละครั้งของการทดลองคือเครื่องดื่มชนิดใด

ตาราง 9 การเปรียบเทียบส่วนประกอบของเครื่องต้มแต่ละชนิด

ส่วนประกอบ	เครื่องต้ม เครื่องต้ม	เครื่องต้ม	
	บรานซ์เซนอะมิโนแอ ซิด	คาร์โบไฮเดรต	หลอก
บรานซ์เซนอะมิโนแอซิด (กรัม)			
ไอโซลูซีน	10	-	-
ลูซีน	25	-	-
วาลีน	15	-	-
กลูโคส (กรัม)	-	50	-
โซเดียมคลอไรด์ (มิลลิกรัม)	50	50	50
น้ำตาลเทียม (กรัม)	4	-	4
สารปรุงแต่งกลิ่นมะนาว (มิลลิลิตร)	2	2	2
ค่าออสโมลาลิตี (มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม)	320	300	293
ปริมาณน้ำ (มิลลิลิตร)	848	848	848
พลังงาน (แคลอรี)	200	200	-

ตาราง 9 เครื่องต้มแต่ละชนิดมีการปรับสี กลิ่น และผ่านการชิมรสชาติว่าไม่แตกต่างกัน และได้ทดสอบค่าออสโมลาลิตีของเครื่องต้ม ซึ่งเครื่องต้มแต่ละชนิดมีส่วนประกอบดังนี้ เครื่องต้มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดมีส่วนประกอบของไอโซลูซีน 10 กรัม ลูซีน 25 กรัม และวาลีน 15 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิกรัม น้ำตาลเทียม 4 กรัม สารปรุงแต่งกลิ่นมะนาว 2 มิลลิลิตร ค่าออสโมลาลิตี 320 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม ในปริมาณน้ำ 848 มิลลิลิตร เครื่องต้มคาร์โบไฮเดรตมีส่วนประกอบของกลูโคส 50 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิกรัม สารปรุงแต่งกลิ่นมะนาว 2 มิลลิลิตรและมีค่าออสโมลาลิตี 300 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม โดยที่เครื่องต้มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด และเครื่องต้มคาร์โบไฮเดรตให้มีพลังงานเท่ากันคือ 200 แคลอรี และเครื่องต้มหลอกมีส่วนประกอบของโซเดียมคลอไรด์ 50 มิลลิกรัม น้ำตาลเทียม 4 กรัม สารปรุงแต่งกลิ่นมะนาว 2 มิลลิลิตร ค่าออสโมลาลิตี 293 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม

2. ขั้นตอนการทดลอง

แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนเตรียมตัวของอาสาสมัคร ขั้นตอนการทดลอง ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล และขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเลือดและวิเคราะห์สารเคมีในเลือด

2.1 ขั้นตอนเตรียมตัวของอาสาสมัคร

2.1.1 อาสาสมัครต้องบันทึกการรับประทานอาหารที่รับประทานก่อนการทดลอง 3 วัน เพื่อบันทึกพลังงานและปริมาณสารอาหารที่บริโภคต่อวันก่อนการทดลองแต่ละครั้ง

2.1.2 ขอความร่วมมือกลุ่มตัวอย่างงดการออกกำลังกายอย่างหนัก เช่น วิ่งเร็ว ยกน้ำหนัก หรือ กิจกรรมอื่นที่ส่งผลต่อ ความเสียหายของกล้ามเนื้อ ก่อนการทดลอง 3 วัน

2.1.3 อาสาสมัครงดอาหาร และเครื่องดื่มทุกชนิด ยกเว้นน้ำเปล่า ก่อนการเข้าร่วมการทดลอง 10 ชั่วโมง

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองเริ่มด้วยอาสาสมัครงดกิจกรรมทางกายอย่างหนัก 72 ชั่วโมงและงดการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มทุกชนิดอย่างน้อย 10 ชั่วโมงก่อนเริ่มการทดลอง และบันทึกการรับประทานอาหารที่รับประทานก่อนการทดลอง 3 วัน โดยอาสาสมัครมารายงานตัวที่ห้องทดสอบสมรรถภาพ ทางกายเวลา 06.00 น. และอาสาสมัครดื่มเครื่องดื่ม 2 ครั้ง ครั้งละ 484 มิลลิลิตร ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาทีและภายหลังออกกำลังกายนาที่ที่ 45 ในการทดลองอาสาสมัครออกกำลังกาย 2 ช่วง ช่วงละ 45 นาที โดยมีระยะเวลาพักระหว่างช่วง 15 นาที อาสาสมัครปั่นจักรยานจนกระทั่งอาสาสมัครรู้สึกล้า ความหนักของการปั่นจักรยานอยู่ที่ 65 เปอร์เซ็นต์สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด อาสาสมัครปั่นจักรยานความหนักที่ 65 เปอร์เซ็นต์ 2 นาที 30 วินาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 30 วินาที โดยมีการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อนำไปวิเคราะห์สารเคมีในเลือดที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ดังภาพ ประกอบที่ 13

2.2.1 เวลา 06.00 น อาสาสมัครมาที่ห้องทดสอบสมรรถภาพทางกาย ผู้วิจัยสอบถามเกี่ยวกับสุขภาพ และรายละเอียดอาหารที่รับประทานจากแบบบันทึกการอาหารที่รับประทาน

2.2.2 เวลา 06.20 น. อาสาสมัครชั่งน้ำหนักตัว วัดอัตราการเต้นของหัวใจ และประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ

2.2.3 เวลา 06.30น.เก็บตัวอย่างเลือดก่อนการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์ครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย ระดับน้ำตาลในเลือด ฮอริโมนอินซูลิน ฮีมาโทคริต การเก็บตัวอย่างเลือดกระทำโดยผู้ช่วยวิจัยที่เป็นพยาบาลวิชาชีพ

จากโรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ สุสานทัพเรือสัตหีบ จังหวัดชลบุรี โดยนำเข็มเจาะทิ้งไว้ที่เส้นเลือดดำบาซิลลา (basilar vein) ก่อนการออกกำลังกาย และหลังจากเก็บตัวอย่างเลือดหลังการออกกำลังกายเสร็จจึงนำเข็มเจาะเลือดออก

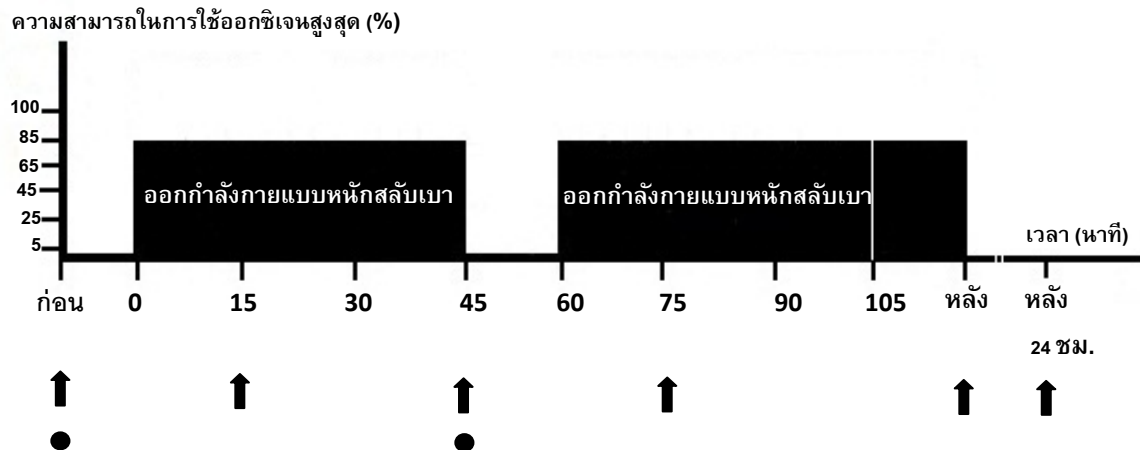
2.2.4 การเจาะเลือดคาเข็มใช้ชุดอุปกรณ์เจาะเลือดจากเส้นเลือดดำ เพื่อทำการคาเข็มโดยใช้เข็มชนิด (IV catheter) เบอร์ 22 ยี่ห้อ Nipro จากประเทศญี่ปุ่น เก็บเลือดในกระบอกฉีดยา (Syringe) ขนาด 10 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Nipro จากประเทศญี่ปุ่น การกั้นการแข็งตัวของเลือดในเข็มที่คาไว้โดยใส่น้ำเกลือที่มีเข้มข้น 0.9 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 มิลลิลิตรต่อครั้ง (0.9% normal saline solution)

2.2.5 เวลา 06.35น. อาสาสมัครตีเครื่องตีที่ได้จากการสุ่ม โดยผู้ช่วยวิจัยเป็นผู้หยิบเครื่องตีให้อาสาสมัครตี

2.2.6 เวลา 06.50 น. อาสาสมัครออกกำลังกาย 2 ช่วง ช่วงละ 45 นาที โดยมีระยะเวลาพักระหว่างช่วง 15 นาที อาสาสมัครปั่นจักรยานจนกระทั่งอาสาสมัครรู้สึกล้า ความหนักของการปั่นจักรยานอยู่ที่ 65 เปอร์เซ็นต์สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด อาสาสมัครปั่นจักรยานความหนักที่ 65 เปอร์เซ็นต์ 2 นาที 30 วินาที สลับกับการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 85 เปอร์เซ็นต์ของค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด 30 วินาที

2.2.7 การเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าระดับน้ำตาลในเลือด และฮีมาโทคริต 4 ครั้ง ที่เวลานาทีที่ 15 45 75 ของการออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกายทันที ฮีโมโกลินซูลิน จำนวน 2 ครั้ง ที่เวลานาทีที่ 45 ของการออกกำลังกายและหลังออกกำลังกายทันที ครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย จำนวน 2 ครั้ง ที่เวลานาทีที่ 15 ของการออกกำลังกาย และหลังการออกกำลังกายทันที

2.2.8 กลุ่มตัวอย่างพัก 24 ชั่วโมง หลังจากเสร็จสิ้นการออกกำลังกาย และกลับมายังห้องทดสอบสมรรถภาพทางกายอีกครั้ง ในวันรุ่งขึ้นเพื่อเก็บตัวอย่างเลือดไปวิเคราะห์ ครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย และประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ



ภาพประกอบ 13 ขั้นตอนการออกกำลังกายเพื่อทดสอบเครื่องดัดและการบันทึกตัวบ่งชี้ในช่วงเวลาต่างๆ

2.3 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.3.1 กลุ่มตัวอย่างจะถูกเก็บตัวอย่างเลือดแต่ละครั้งของการทดลอง ปริมาณเลือดทั้งหมด 37 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างเลือด จำนวน 6 ครั้ง ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที จำนวน 10 มิลลิลิตร หลังการออกกำลังกาย 15 นาที จำนวน 2 มิลลิลิตร หลังการออกกำลังกาย 45 นาที จำนวน 5 มิลลิลิตร หลังการออกกำลังกาย 75 นาที จำนวน 2 มิลลิลิตร หลังออกกำลังกายเสร็จสิ้นทันที จำนวน 10 มิลลิลิตร และหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง จำนวน 8 มิลลิลิตร

2.3.2 ประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อระหว่างการออกกำลังกาย จำนวน 5 ครั้ง ออกกำลังกายนาทีที่ 15 45 75 หลังออกกำลังกายทันที และหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง

2.3.3 บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจจำนวน 7 ครั้ง ทุกๆ 15 นาทีของการออกกำลังกาย

2.3.4 ผู้วิจัยจดบันทึกระยะเวลาในการปั่นจักรยานที่กลุ่มอาสาสมัครปั่นจักรยานจนกระทั่งอาสาสมัครรู้สึกล้า

2.3.5 ชั่งน้ำหนักตัวอาสาสมัครที่เวลาหลังการออกกำลังกายเสร็จสิ้นทันที

2.4. ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างเลือดและวิเคราะห์สารเคมีในเลือด

2.4.1 การเก็บตัวอย่างเลือดจะทำการแยกเก็บ 3 ชนิด คือ

2.4.1 การเก็บตัวอย่างเลือด ปริมาณครั้งละ 40 ไมโครลิตร ใส่หลอดแก้วขนาดเล็กที่ภายในหลอดมีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดเฮปาริน (Heparin) เพื่อนำไปวิเคราะห์ฮีมาโทคริต โดยผู้วิจัยเป็นผู้เก็บและวิเคราะห์ผลหลังเสร็จสิ้นการออกกำลังกายในแต่ละวัน

2.4.2 การเก็บตัวอย่างเลือดปริมาณครั้งละ 2 มิลลิลิตร เพื่อนำพลาสมาไปวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือด บรรจุเลือดในหลอดสุญญากาศ จุกสีเทาที่ภายในหลอดมีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดโซเดียมฟลูออไรด์ (Sodium fluoride)

2.4.3 การเก็บตัวอย่างเลือด ปริมาณครั้งละ 8 มิลลิลิตรบรรจุเลือดในหลอดสุญญากาศจุกสีแดง ที่ภายในหลอดไม่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดเพื่อนำซีรัมไปวิเคราะห์ครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย ฮอริโมนอินซูลิน การเก็บตัวอย่างเลือด ข้อ 2.4.2 และ 2.4.3 ถูกนำไปตรวจวิเคราะห์สารเคมีในเลือดภายใน 3 ชั่วโมง หลังจากสิ้นสุดการออกกำลังกายในแต่ละวัน ที่ห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยา โรงพยาบาลกรุงเทพ อยู่ภายใต้การควบคุมมาตรฐานของ International Federation of Clinical Chemistry (IFCC)

2.4.2 วิเคราะห์ฮีมาโทคริต โดยดูดเลือดให้เข้ามาในหลอดแก้วขนาดเล็ก (Capillary tube) ปริมาณ 40 ไมโครลิตร หรือดูดเลือดเข้าหลอดแก้วขนาดเล็กในปริมาณสามในสี่ส่วนของหลอด ซึ่งภายในหลอดมีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือดเฮปาริน (Heparin) หลังจากนั้นใช้ดินน้ำมันอุดปลายหลอดด้านหนึ่ง และนำไปวางในเครื่องปั่นเหวี่ยงฮีมาโทคริต (Microhematocrit centrifuge) ยี่ห้อ Boeco จากประเทศสหรัฐอเมริกา โดยวางหลอดด้านที่อุดดินน้ำมันอยู่ด้านนอกและปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 15,000 รอบต่อนาที จำนวน 5 นาที และนำหลอดมาอ่านค่าด้วยเครื่องอ่านค่าฮีมาโทคริต (Hematocrit reader) ยี่ห้อ Boeco จากประเทศสหรัฐอเมริกา

2.4.3 นำตัวอย่างเลือด บรรจุเลือดในหลอดสุญญากาศจุกสีเทานำส่งห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยาเพื่อนำเลือดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (ยี่ห้อ Hettlingen ประเทศเยอรมัน) ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที 10 นาที เพื่อนำพลาสมาไปวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือด

2.4.4 นำตัวอย่างเลือด ที่บรรจุเลือดในหลอดสุญญากาศจุกสีแดง นำส่งห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยาเพื่อนำเลือดเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (ยี่ห้อ Hettlingen ประเทศเยอรมัน) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที 20 นาที นำซีรัมไปวิเคราะห์ ครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน อนุมูลอิสระในร่างกาย ฮอริโมนอินซูลิน

2.4.5 วิเคราะห์ค่าระดับน้ำตาลในเลือดจาก ชุดตรวจกลูโคส (GLUC3) เครื่องโคบาส (Cobas; automate analyzer) ยี่ห้อ Roche จากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์เอนไซม์ (Ezymatic ; hexokinase method) จากการวัดปริมาณตัวรับอิเล็กตรอน (NADPH) ซึ่ง เป็นสัดส่วนโดยตรงระหว่างปริมาณกับความเข้มข้นของกลูโคสในร่างกายโดยวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700/340 นาโนเมตร

2.4.6 วิเคราะห์ครีเอทีนไคเนส จากชุดตรวจครีเอทีนไคเนส (CK) เครื่อง โคบาส (Cobas; automate analyzer) ยี่ห้อ Roche จากประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณตัวรับอิเล็กตรอน (NADPH) ที่เกิดจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยา (Catalyte) ของครีเอทีนไคเนส วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 546/340 นาโนเมตร

2.4.7 วิเคราะห์ ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยเครื่องไดอะครอน (DIACRON) ยี่ห้อ FRAS4 จากประเทศ อิตาลี โดยอาศัยหลักการวัดความสามารถรวมในการรีดิวซ์ของสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก (Ferric reducing ability) จากหลักการดังกล่าว สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก เฟอริก (Ferric; Fe^{3+}) ซึ่งเป็นสารทดสอบ จะถูกรีดิวซ์โดยสารต้านออกซิเดชันได้ สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอรัส (Ferrous; Fe^{2+}) ซึ่งมีสีน้ำเงิน ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 505 นาโนเมตร

2.4.8 วิเคราะห์ ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย โดยเครื่องไดอะครอน (DIACRON) ยี่ห้อ FRAS4 จากประเทศ อิตาลี โดยอาศัยหลักการวัดปริมาณอนุมูลอิสระในร่างกายจากปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide; $ROOH$) จาก การทำปฏิกิริยา (Fenton reaction) ของสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กในร่างกายกับอนุมูลของไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) วิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก ในร่างกาย โดยการเปลี่ยนแปลง สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอรัส (Ferrous; Fe^{2+}) เป็น สารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก เฟอริก (Ferric; Fe^{3+}) และก่อให้เกิดอนุมูลอิสระไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide; $ROOH$) ที่เพิ่มขึ้น วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 505 นาโนเมตร

2.4.9 วิเคราะห์ค่าฮอร์โมนอินซูลิน โดยใช้หลักการ Electro chemiluminescence immunoassay Sandwich ELISA จากชุดตรวจ Elecsys and cobas immunoassay analyzers เครื่องโคบาส (Cobas; automate analyzer) ยี่ห้อ Roche จากประเทศสหรัฐอเมริกา

การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลครบ ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูลในเบื้องต้น บันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์ ซึ่งแสดงผลด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; S.D.) โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของ ครีเอทีฟไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย ระดับน้ำตาลในเลือด ฮอร์โมนอินซูลิน ค่าฮีมาโทครีท อัตราการเต้นของหัวใจ ค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ ของแต่ละกลุ่มทดลองในช่วงเวลาต่างๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบสองมิติ (Two Way Repeated Measurement) และทดสอบความแตกต่างของ ระยะเวลาการปั่นจักรยาน น้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกาย พลังงานและปริมาณสารอาหารที่บริโภค โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบมิติเดียว (One Way Repeated Measurement) เปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ ด้วยวิธี Tukey กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ดังนี้

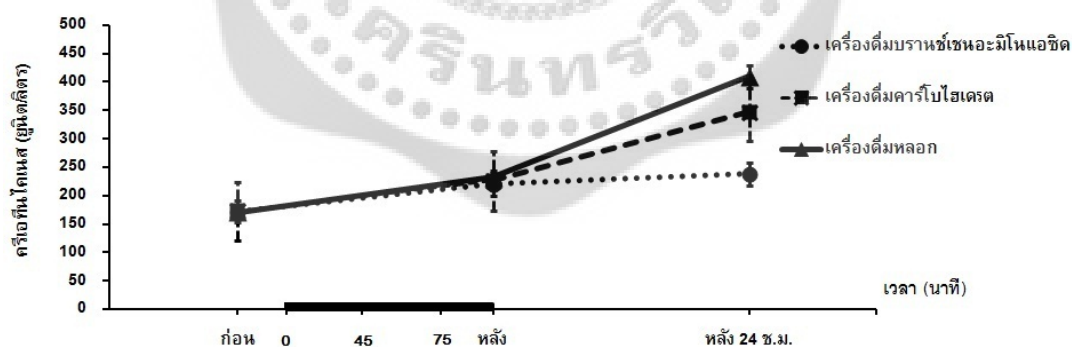
N	แทน	จำนวนคนในกลุ่มตัวอย่าง
Mean	แทน	ค่าเฉลี่ย
S.D.	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
t	แทน	ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณา t- test
F	แทน	ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณา F-test
df	แทน	ระดับขั้นของความเป็นอิสระ (Degree of Freedom)
SS	แทน	ผลรวมของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (Sum of Squares)
MS	แทน	ผลรวมของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (Mean Squares)
P	แทน	ความน่าจะเป็น (Probability)
*	แทน	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
**	แทน	มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01
ก่อน	แทน	ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที
0	แทน	เริ่มออกกำลังกาย
15	แทน	ออกกำลังกายนาที่ที่ 15
30	แทน	ออกกำลังกายนาที่ที่ 30
45	แทน	ออกกำลังกายนาที่ที่ 45
60	แทน	ออกกำลังกายนาที่ที่ 60
75	แทน	ออกกำลังกายนาที่ที่ 75
90	แทน	ออกกำลังกายนาที่ที่ 90
หลัง	แทน	หลังการออกกำลังกายทันที
หลัง 24 ชม.	แทน	หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

ตาราง 10 คุณลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร ประกอบด้วย อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย และค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (จำนวน 9 คน)

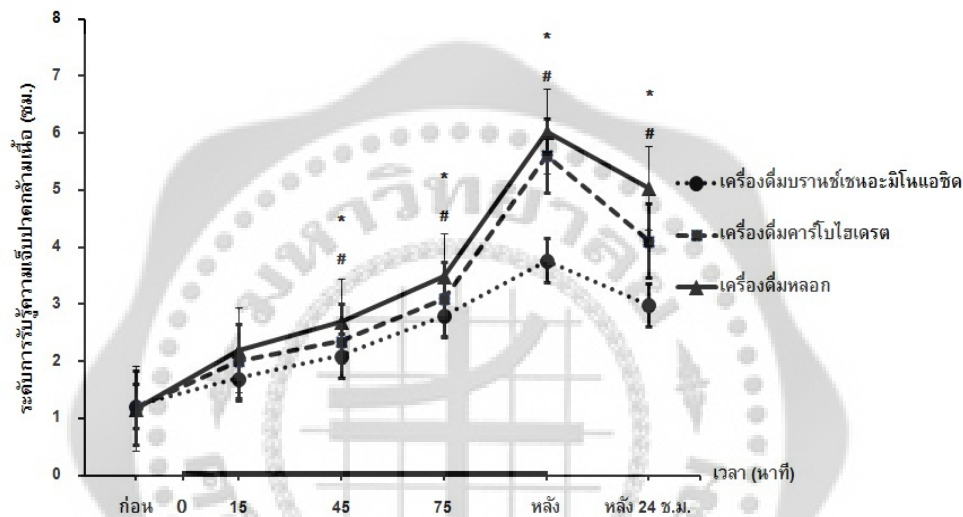
คุณลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อายุ (ปี)	22 $\pm$ 0.9
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	64.9 $\pm$ 1.9
ส่วนสูง(เซนติเมตร)	169 $\pm$ 4
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัมต่อเมตร ²)	22 $\pm$ 1
ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (มิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัม)	48 $\pm$ 2

ตาราง 10 แสดงลักษณะทั่วไปของอาสาสมัคร มีน้ำหนักตัวและส่วนสูงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ และมีค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ดี ข้อมูลจากแบบสอบถาม พบว่า อาสาสมัครออกกำลังกายเป็นประจำ 3 วันต่อสัปดาห์ และอาสาสมัครมีประสบการณ์ในการแข่งขันฟุตบอลกรมยุทธศึกษาทหารเรือในรอบปีที่ผ่านมา



ภาพประกอบ 14 แสดงความแตกต่างของครีเอทีนไคเนส (ยูนิต/ลิตร) ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม บรอนซ์เซโนมิโนแอซิด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก (จำนวน 9 คน)

ความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนส ก่อนการทดลอง ภายหลังจากออกกำลังกาย ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทั้งสามกลุ่มการทดลอง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่าความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนสเพิ่มขึ้นภายหลังออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการออกกำลังกาย เป็นที่น่าสนใจว่า ภายหลังการออกกำลังกาย กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มbranched chain amino acid มีความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนสเพิ่มขึ้นน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต 46 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลัก 72 เปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวก ญ ตาราง 12-14)



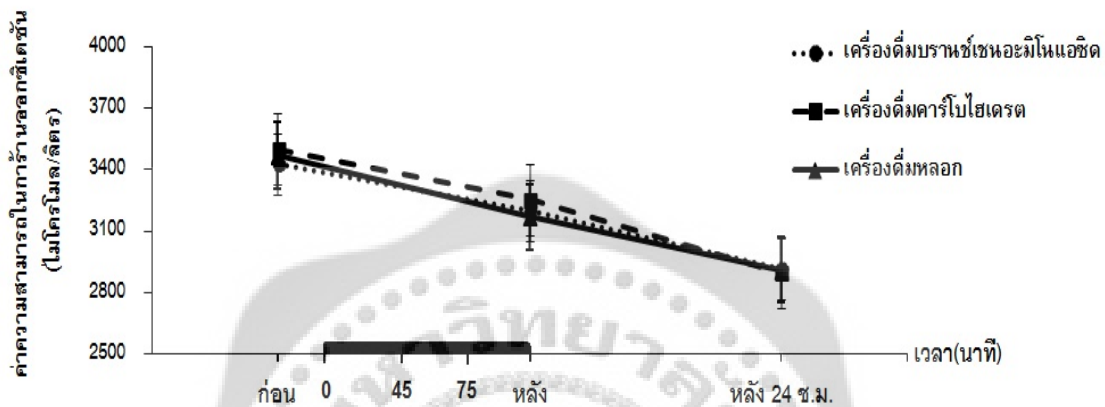
ภาพประกอบ 15 แสดงความแตกต่างของค่าการรับรู้ความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ (เซนติเมตร) ในกลุ่มที่ได้รับ เครื่องดื่มbranched chain amino acid กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับ เครื่องดื่มหลัก (จำนวน 9 คน)

*, กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มbranched chain amino acid แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดื่มหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

#, กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

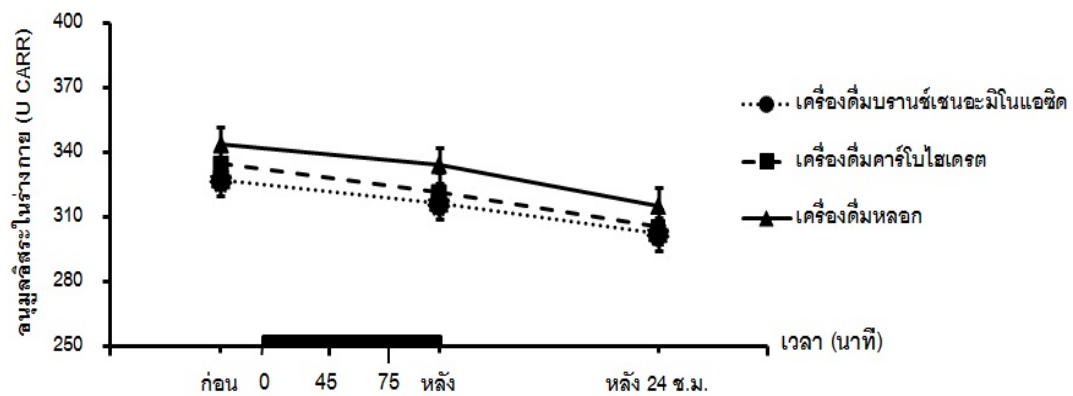
เมื่อเปรียบเทียบระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อก่อนออกกำลังกาย ทั้ง 3 กลุ่มทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ภายหลังการออกกำลังกาย พบว่า กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มbranched chain amino acid มีค่าระดับการรับรู้การเจ็บปวดของกล้ามเนื้อน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลัก ในนาทีที่ 45 75 ภายหลังออกกำลังกายทันที และภายหลัง

ออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง ($p < .05$) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อในกลุ่มที่รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีค่าน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอกในช่วงเวลาเดียวกัน ($p < .05$) อย่างไรก็ตาม พบว่า ภายหลังการออกกำลังกายทันทีที่ค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อเพิ่มสูงสุดในทั้ง 3 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ภาคผนวก ญ ตาราง 15-20)



ภาพประกอบ 16 แสดงความแตกต่างของค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (ไมโครโมลต่อลิตร) ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มเกลือแร่ และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก (จำนวน 9 คน)

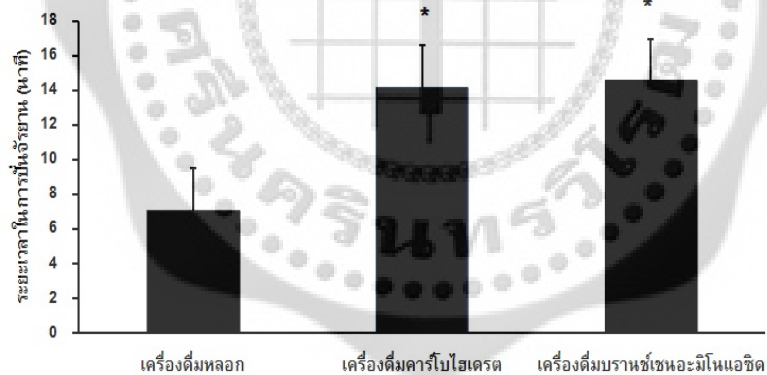
เมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันก่อนออกกำลังกาย ภายหลังการทดลอง ทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่า ความเข้มข้นของความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลงภายหลังออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการออกกำลังกาย (ภาคผนวก ญ ตาราง 21-23)



ภาพประกอบ 17 แสดงความแตกต่างของค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย (U CARR)

ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลัก (จำนวน 9 คน)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของอนุมูลอิสระในร่างกายก่อนการทดลอง ภายหลังจากออกกำลังกาย ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทั้งสามกลุ่มการทดลอง (ภาคผนวก ฎ ตาราง 24-25)

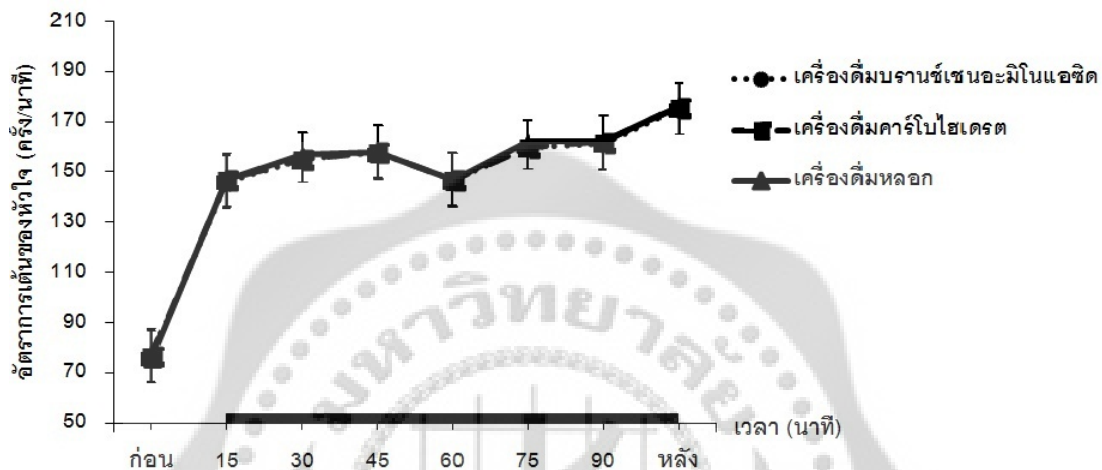


ภาพประกอบ 18 แสดงความแตกต่างของระยะเวลาในการปั่นจักรยาน (นาฬิกา)

ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลัก (จำนวน 9 คน)

*, กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิดและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

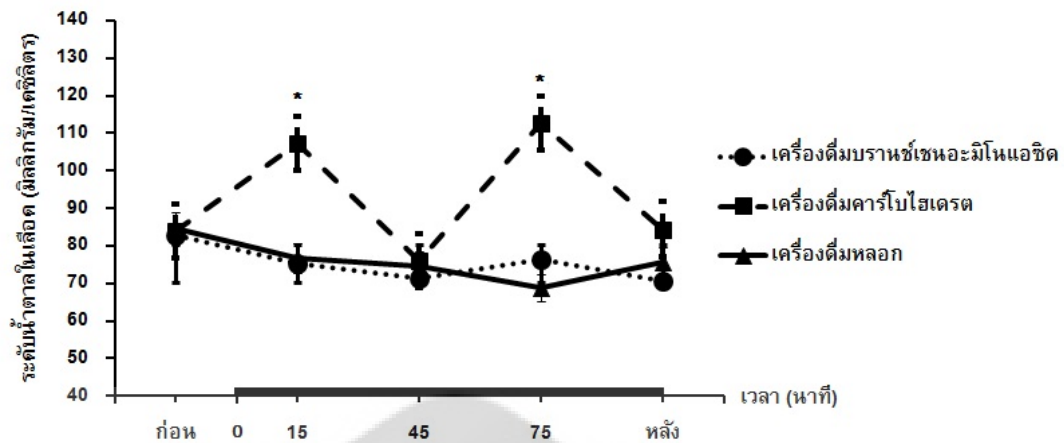
จากการทดลองครั้งนี้พบว่า ระยะเวลาในการปั่นจักรยานในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีความมากกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก โดยพบว่าระยะเวลาในการปั่นจักรยานมีค่าเพิ่มขึ้น 105 เปอร์เซ็นต์และ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 (ภาคผนวก ญ ตาราง 26-28)



ภาพประกอบ 19 แสดงความแตกต่างของอัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้ง/นาที)

ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก (จำนวน 9 คน)

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจก่อนการทดลอง ภายหลังออกกำลังกายไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทั้งสามกลุ่มทดลอง อย่างไรก็ตาม พบว่า ภายหลังการออกกำลังกายทันที อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มสูงสุดในทั้ง 3 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ภาคผนวก ญ ตาราง 29-31)

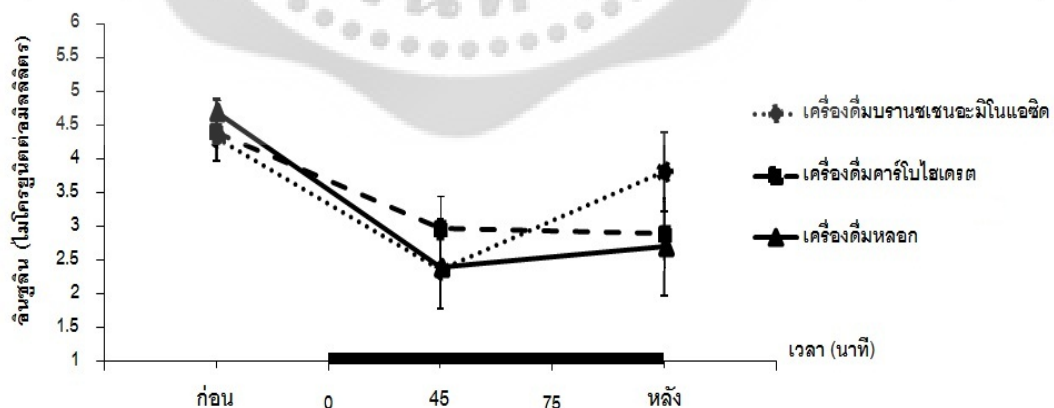


ภาพประกอบ 20 แสดงความแตกต่างของค่าระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัม/เดซิลิตร)

ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก (จำนวน 9 คน)

*, กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิด และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

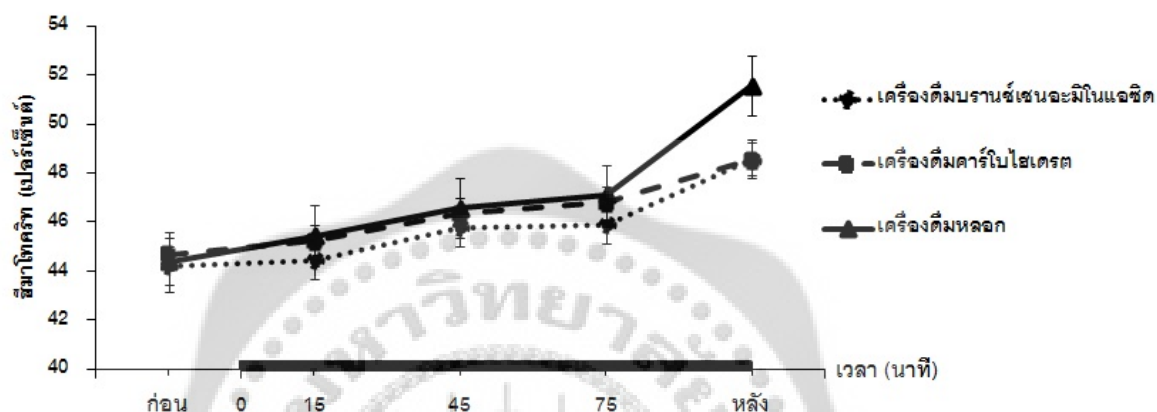
จากการทดลองนี้พบว่า ค่าระดับน้ำตาลในเลือดก่อนออกกำลังกายทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าระดับน้ำตาลในเลือดกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิดและเครื่องดื่มหลอกภายหลังการออกกำลังกาย ในนาทีที่ 15 และ 75 ($p < .05$) (ภาคผนวก ญ ตาราง 32-37)



ภาพประกอบ 21 แสดงความแตกต่างของอัตราการเต้นหัวใจ (ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร)

ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก (จำนวน 9 คน)

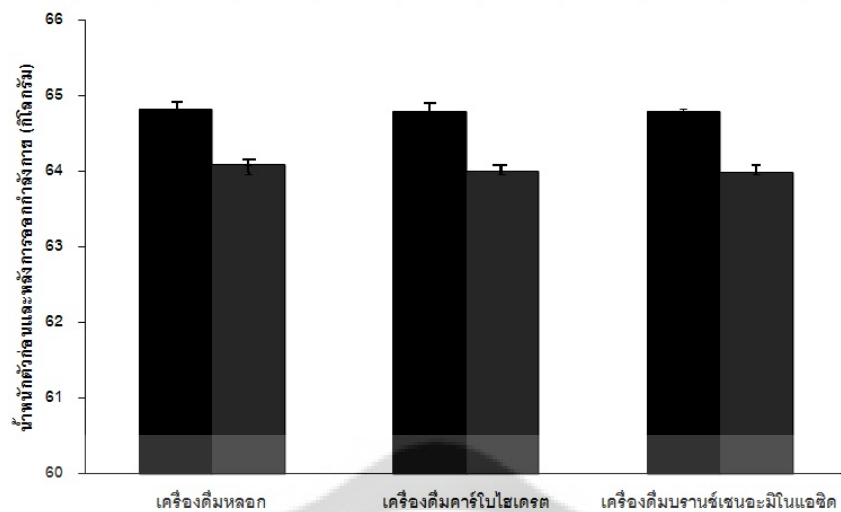
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฮอร์โมนอินซูลิน ก่อนออกกำลังกาย ภายหลังการทดลอง ทั้ง 3 กลุ่มทดลอง พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่า ความเข้มข้นของฮอร์โมนอินซูลินลดลงภายหลังออกกำลังกาย 45 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับ ก่อนการออกกำลังกาย (ภาคผนวก ญ ตาราง 38-40)



ภาพประกอบ 22 แสดงความแตกต่างของ ฮีมาโทคริต (เปอร์เซ็นต์)

ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มชานะมิโนแอซิด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มผลไม้ (จำนวน 9 คน)

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฮีมาโทคริตก่อนการทดลอง ภายหลังออกกำลังกาย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทั้งสามกลุ่มทดลอง อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่ม พบว่า ความเข้มข้นของฮีมาโทคริตภายหลังการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นสูงสุดในทั้ง 3 กลุ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการออกกำลังกาย (ภาคผนวก ญ ตาราง 41-43)



ภาพประกอบ 23 แสดงความแตกต่างของน้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกาย (กิโลกรัม) ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เชนอะมิโนแอซิด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก (จำนวน 9 คน)

เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักตัวก่อนการทดลอง ภายหลังออกกำลังกาย ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทั้งสามกลุ่มทดลอง อย่างไรก็ตาม พบว่า ภายหลังการออกกำลังกาย น้ำหนักตัวลดลง ในทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาคผนวก ญ ตาราง 44-45)

ตาราง 11 พลังงานและปริมาณสารอาหารหลักที่บริโภคต่อวันก่อนการทดลอง

สารอาหารบริโภค	กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม		
	บรานซ์เซนอะมิโนแอซิด	คาร์โบไฮเดรต	เครื่องดื่มหลัก
พลังงานที่ได้รับ (กิโลแคลอรี)			
ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน	1932.91±136.74	1955.13±108.73	1932.91±135.00
มาตรฐานค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	1706.47-125.43	1806.47-2006.74	1706.47-2205.91
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)			
ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	293.00±28.85	294.66±28.42	294.11±22.68
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	259.83-339.08	274.83-339.00	279.83-338.09
ไขมัน (กรัม)			
ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน	52.07±4.30	52.52±3.89	51.85±4.47
มาตรฐาน	45.73-55.27	44.62-55.27	44.12-55.47
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด			
โปรตีน (กรัม)			
ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบน	62.53±7.09	62.86±6.96	61.42±7.56
มาตรฐาน	48.12-69.45	47.13-69.06	46.12-68.15
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด			

ตาราง 11 แสดงพลังงานและปริมาณสารอาหารหลักที่บริโภคต่อวันก่อนการทดลองจากการเก็บข้อมูลด้วยวิธีบันทึกการอาหารที่บริโภค 3 วันก่อนการทดลอง พบว่า กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลักได้รับพลังงานจากอาหาร สารอาหารคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณสารอาหารจากวิตามินและเกลือแร่ที่บริโภคต่อวันก่อนการทดลองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาคผนวก ก ตาราง 46)

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จุดมุ่งหมายของการศึกษาคือ เพื่อศึกษาผลของการได้รับบรานซ์เซนอะมีโนแอซิดต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยกับกลุ่มอาสาสมัครอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดลองเป็นนักกีฬาฟุตบอลชาย จำนวน 9 คน มีอายุระหว่าง 18-25 ปี อาสาสมัครทำการทดลอง 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มต้องมีระยะเวลาห่างกันอย่างน้อย 1 สัปดาห์ ซึ่งในแต่ละกลุ่มของการทดลองอาสาสมัครปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์สลับกับ 85 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุดจนกระทั่งอาสาสมัครรู้สึกล้า โดยอาสาสมัครได้รับเครื่องดื่มที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ เครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมีโนแอซิด เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต และเครื่องดื่มหลอก ก่อนการปั่นจักรยาน 15 นาที และ 45 นาทีภายหลังการออกกำลังกาย ทำการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย ค่าน้ำตาลในเลือด ฮอริโมนอินซูลิน ค่าฮีมาโทคริต อัตราการเต้นของหัวใจ และวัดระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อในช่วงเวลาต่างๆ ดังภาพประกอบที่ 13 โดยวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย ค่าน้ำตาลในเลือด ฮอริโมนอินซูลิน ค่าฮีมาโทคริต อัตราการเต้นของหัวใจ และระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อของแต่ละกลุ่มทดลองในช่วงเวลาต่างๆ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ แบบสองมิติ (Two- Way Repeated Measure) และทดสอบความแตกต่างของระยะเวลาการ ปั่นจักรยาน น้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกาย พลังงานและปริมาณสารอาหารที่บริโภค โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบวัดซ้ำมิติเดียว (One- Way Repeated Measure) เปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วยวิธี Tukey กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมีโนแอซิดก่อนและระหว่างการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน อนุมูลอิสระในร่างกาย ระดับความเข้มข้นน้ำตาลในเลือด ฮอริโมนอินซูลิน ฮีมาโทคริต น้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจแต่มีผลต่อการลดค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อและเพิ่มระยะเวลาในการปั่นจักรยานให้ยาวนานขึ้น

อย่างไรก็ตาม พบว่า ความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนสภายหลังออกกำลังกายเพิ่มขึ้น ทั้ง 3 กลุ่มทดลอง กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดมีค่าครีเอทีนไคเนสเพิ่มขึ้นน้อยกว่า กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก การเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ ครีเอทีนไคเนสภายหลังการออกกำลังกายเป็นผลมาจากการออกกำลังกายที่ยาวนาน เมื่อกล้ามเนื้อ ทำงานแบบยืดยาวออก (Eccentric contraction) มีการหดตัวซ้ำๆ กัน ก่อให้เกิดความตึงตัวของเส้นใยกล้ามเนื้อมากเกินไปจึงส่งผลให้เกิดการฉีกขาดเกิดความเสียหาย บาดเจ็บของเส้นใยกล้ามเนื้อ ตามมา และมีครีเอทีนไคเนสออกมาสู่กระแสเลือดเพิ่มขึ้น (Greer. 2006; Greer et al. 2007; Matsumoto et al. 2009; Paola & Nicola. 2008) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัย ในกลุ่มที่ได้รับ เครื่องดื่มบรานซ์เซน อะมิโนแอซิดก่อนและระหว่างการวิ่งมาราธอน (Koba et al. 2007) การปั่นจักรยานทางไกล (Combers & Mcnaughton. 2000; Ivy et al. 2003; Greer. 2006; Greer et al. 2007; Suander et al. 2004) การแข่งขันสกี (Scifert et al. 2005) อาจเป็นไปได้ว่าภายหลังการ ออกกำลังกาย ที่มากกว่า 1 ชั่วโมง พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต และไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อเริ่ม ลดลง กล้ามเนื้อเกิดการสลายบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดที่ได้รับจากเครื่องดื่มให้เป็นพลังงานในปริมาณ 30 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ (Shimomura et al. 2010) และกรดอะมิโนลิซึนในบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดทำให้เกิดการกระตุ้นร่างกายมีการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งฮอร์โมนดังกล่าวนี้มีหน้าที่ลดการ เผาผลาญโปรตีน (Protein degradation) และเพิ่มการสังเคราะห์และสะสมโปรตีนในกล้ามเนื้อ (Protein synthesis) จึงมีผลต่อการลดการฉีกขาด บาดเจ็บของกล้ามเนื้อ (Reduce muscle pain) ภายหลังการออกกำลังกาย (Ivy; et al. 2003; Matsumoto et al. 2009; Shimomura et al. 2010)

การมีระดับความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนสเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันภายหลังการออกกำลังกาย ทั้ง 3 กลุ่มทดลอง มีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง คือ ขนาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ ปริมาณการฝึกซ้อม และ ความหนักในการออกกำลังกาย (Paola & Nicola. 2008) การออกกำลังกายหรือการฝึกซ้อมเป็นประจำสม่ำเสมอมีผลต่อการกระตุ้นให้ร่างกายตอบสนองหลังการฝึกซ้อม โดยมีการฟื้นฟูสภาพของ ระดับสมรรถภาพเพิ่มสูงขึ้นและกล้ามเนื้อมีการปรับตัวสร้างเส้นใยกล้ามเนื้อให้มีขนาดและจำนวน เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ภายหลังการออกกำลังกายมีความเสียหาย ฉีกขาด หรือการบาดเจ็บของเส้นใย กล้ามเนื้อลดลง (Flann et al. 2011; Paola & Nicola. 2008; Shimomura et al. 2010) และในการ ทดลองครั้งนี้ อาสาสมัครเป็นนักกีฬาทหารที่มีการฝึกร่างกายแบบบราชนาวี วิดพื้น ดึงข้อ กระโดดตบ ลูกนั่ง เป็นประจำร่วมกับการฝึกซ้อมกีฬาฟุตบอลสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการฝึกซ้อมที่มากกว่าการออก กำลังกายทั่ว ๆ ไปจึงน่าจะส่งผลให้เกิดการปรับตัวของกล้ามเนื้อหลังการฝึกซ้อมให้มีขนาดและเส้นใย กล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายทั้ง 3 กลุ่มทดลอง จึงมีระดับความเข้มข้นครีเอทีนไคเนส

เพิ่มขึ้น ไม่แตกต่างกัน จากการศึกษาครั้งนี้ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนส ในกลุ่มที่ได้รับ เครื่องดื่ม บรานซ์เซโนะมิโนแอซิดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต แต่การได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดส่งผลให้มีปริมาณครีเอทีนไคเนสภายหลังออกกำลังกาย น้อยกว่ากลุ่มอื่น ซึ่งการได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดก่อนและระหว่างการออกกำลังกาย น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดความเสียหายของกล้ามเนื้อ หรือฟื้นฟูกล้ามเนื้อภายหลังการ ออกกำลังกายให้กลับสู่สภาวะปกติได้รวดเร็วขึ้น

ผลของการดื่มเครื่องดื่มทั้ง 3 ชนิดต่อค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ พบว่ากลุ่มที่ ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนะมิโนแอซิด มีค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับ เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดื่มหลอก นอกจากนี้ยังพบว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต มีค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก จากศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายเป็นผลมาจากการ ขาดพลังงานของกล้ามเนื้อ (Greer. 2006; Greer et al. 2007; Miles & Clarkson. 1994) และ การบาดเจ็บ ฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยมีการแพร่ของของเหลวในเซลล์กล้ามเนื้อไปยังช่องว่าง ระหว่าง เซลล์ ส่งผลให้เกิดอาการบวมอักเสบและกระตุ้นตัวรับรู้ความรู้สึกปวด ชนิด เอเดลต้า ไฟเบอร์ (A delta- fiber) และชนิดซี ไฟเบอร์ (C fiber) เพิ่มขึ้น (Cheung; et al. 2003; Negro et al. 2008) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดก่อนการ ปั่นจักรยาน (Greer. 2006; Greer et al. 2007) วังมารารอน (Matsumoto et al. 2009; Nicholas et al. 2007; Saunders et al. 2009) ออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน (Shimomura et al. 2006) มีค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม คาร์โบไฮเดรต และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก อาจเนื่องมาจากกล้ามเนื้อสามารถนำบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดเข้าไปสลายเป็นพลังงานอย่างรวดเร็ว โดยส่งผลต่อการยับยั้งการสลายกรดอะมิโนไทโรซีน (Tyrosine) กรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ที่สะสมในกล้ามเนื้อจึงส่งผลให้ลดการ สลาย ลดการฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ และลดอาการปวดกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย (Greer. 2006; Greer et al. 2007; Nicholas et al. 2007; Matsumoto et al. 2009) ส่วนกลุ่มที่ ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตอาจเป็น ไปได้ว่าในขณะที่ออกกำลังกาย ร่างกายสลายคาร์โบไฮเดรต เป็นพลังงานโดยผ่านขบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) และสลายโดยวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) และขบวนการไกลโคจีนไลซิส (Glycogenolysis) ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการสลายเป็นพลังงานมากกว่า การสลายบรานซ์เซโนะมิโนแอซิดในกล้ามเนื้อ จึงพบความเสียหายฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อ เพิ่มขึ้น (Greer. 2006; Greer et al. 2007; Ivy et al. 2003) ส่วนกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอกมีค่า ระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อมากที่สุด เนื่องจากในเครื่องดื่มที่ได้รับไม่มีส่วนประกอบของ

สารอาหารที่ ให้พลังงานภายหลังการออกกำลังกาย ส่งผลให้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรต บรานซ์ เซนอะมิโนแอซิดที่สะสมในกล้ามเนื้อลดลง จึงส่งผลให้เพิ่มการสลายกรดอะมิโนไทโรซีน กรดอะมิโนเฟนิลอะลานีน ที่สะสมในกล้ามเนื้อ การฉีกขาดของเส้นใยกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น อาการเจ็บปวดกล้ามเนื้อจึงเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย (Greer. 2006; Shimomura et al. 2010) ดังนั้นการได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดอาจเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา เนื่องจากสามารถลดอาการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย แต่อย่างไรก็ตามก็ควรมีการศึกษา วิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ เชิงปริมาณที่บ่งบอกถึงการได้รับการบาดเจ็บเสียหายการอักเสบ ของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย เพื่อสนับสนุนผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

จากการทดลองนี้พบว่า ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันและค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย ภายหลังออกกำลังกายลดลงทั้ง 3 กลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า เมื่อมีการออกกำลังกายที่ระดับความหนัก 60-70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด เป็นประจำสม่ำเสมอสัปดาห์ละ 3 วัน ส่งผลให้เกิดการปรับตัวของร่างกายโดยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นเพื่อควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระไม่ให้สูงจนเกิดอันตราย จากการทำงานของ เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) เอนไซม์แคตาเลส (catalase; CAT) และเอนไซม์กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase; GPx) เพื่อป้องกันและลดความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระที่มีผลต่อการทำลายเซลล์ โดยเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระเริ่มต้นที่เกิดขึ้นในร่างกาย คือ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) โดยเปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) นี้ ถูกกำจัดต่อโดยเอนไซม์แคตาเลส (catalase; CAT) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไปเป็นน้ำ (H_2O) และออกซิเจน (O_2) และเอนไซม์กลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase; GPx) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไปเป็นน้ำ (H_2O) (ปริยาลักษณ์ โคหนองบัว ศราวุธ อินทราพงษ์; และ ผกาพร ธนปรีสุทธิ. 2550; โอภา วัชรคุปต์ และคนอื่นๆ. 2550) อย่างไรก็ตามการมีค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันและค่าอนุมูลอิสระในร่างกายไม่แตกต่างกันภายหลังการออกกำลังกายทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง น่าจะเป็นผลมาจากระดับความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนสเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันภายหลังการออกกำลังกายทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งส่งผลให้เกิดการฉีกขาด บาดเจ็บเสียหายของเส้นใยกล้ามเนื้อไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การว่ายน้ำ และฝึกซ้อมฟุตบอล สม่ำเสมอ 20 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 1 ปี โดย พบว่าก่อนและหลังการฝึกซ้อมทั้งว่ายน้ำและฟุตบอลมีค่าครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกายไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกล้ามเนื้อมีการปรับตัว (Adaptation of skeletal muscle) จากการฝึกซ้อมเป็นประจำทำให้มีขนาดและมีเส้นใยโปรตีนในกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้น และการ

สร้างสารต้านอนุมูลอิสระที่เพียงพอต่อการต้านอนุมูลอิสระที่จะทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ทำลายกล้ามเนื้อ (ดร.วรณ จักรพันธุ์ : 2541) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การฝึกซ้อมกีฬาบาสเก็ตบอล อาทิตย์ละ 24 ชั่วโมง ระยะเวลา 1 เดือน ต่อค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน จากเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส แคตาเลส และกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดส เพิ่มขึ้นแตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่เป็นคนทั่วไปสุขภาพดี (Healthy) (Melikoglu; et al. 2008) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การฝึกซ้อมกีฬาแฮนด์บอลวันละ 2 ชั่วโมง 3 วันต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 1 เดือน โดยพบว่า ก่อนและหลังการฝึกซ้อมกีฬาแฮนด์บอลค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันจากวิธี ABTS assay [2,2'-azinobis- (3-ethyl benzothiazoline -6-sulfonic acid) Diammonium salt] และอนุมูลอิสระในร่างกายจาก ไลปิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ลดลงไม่แตกต่างกัน (Recep Kurkcu. 2010) ซึ่งอาจเนื่องมาจากการฝึกซ้อมกีฬาเป็นประจำส่งผลต่อการปรับตัวของร่างกายโดยเพิ่มค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันก่อนการออกกำลังกาย จากเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส แคตาเลส และกลูตาไทโอนเปอร์ออกซิเดสเพิ่มขึ้น เพื่อให้เพียงพอต่อการต้านการทำลายของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกาย

เป็นที่น่าสนใจว่าในการทดลองครั้งนี้ พบว่าระยะเวลาในการปั่นจักรยาน ในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก ทั้งนี้เนื่องจากทั้ง 2 กลุ่มทดลอง ได้รับพลังงานเท่ากันคือ 200 แคลอรี โดยที่กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด มีส่วนประกอบของลูซีน 25 กรัม ไอโซลูซีน 10 กรัม และ วาลีน 15 กรัม ส่วนกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต มีส่วนประกอบของกลูโคส 50 กรัม ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอกที่ไม่มีส่วนประกอบของเครื่องดื่มที่ให้พลังงาน จึงส่งผลให้มีระยะเวลาในการปั่นจักรยานน้อยกว่ากลุ่มอื่น สอดคล้องกับการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดก่อนและระหว่างการปั่นจักรยานทางไกล กล้ามเนื้อสามารถนำบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดที่ได้รับเข้าไปสลายเป็นพลังงานได้อย่างรวดเร็ว และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตก่อนและระหว่างการปั่นจักรยานทางไกล ร่างกายสามารถนำน้ำตาลในกระแสเลือดเข้าสู่กล้ามเนื้อเพื่อไปใช้เป็นพลังงานได้เช่นกัน จึงส่งผลให้มีระยะเวลาในการปั่นจักรยานนานกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก (Gleeson. 2005; Greer. 2006; Greer et al. 2007; Ivy et al. 2003; Shimomura. 2006; Saunders et al. 2004) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งนี้ กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีระยะเวลาในการปั่นจักรยานไม่แตกต่างกัน น่าจะเป็นผลมาจากการได้รับเครื่องดื่มที่มีปริมาณพลังงานเท่ากัน เนื่องจากอาสาสมัครที่ทำการทดลองทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าฮีมาโทคริต น้ำหนักตัว อัตราการเต้นของหัวใจไม่แตกต่างกัน เพราะฉะนั้นกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม คาร์โบไฮเดรต

มีระยะเวลาในการปั่นจักรยานไม่แตกต่างกัน น่าจะเป็นผลมาจากการได้รับพลังงานจากเครื่องดื่มน้ำที่เท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาสาสมัครมีความอดทนในการออกกำลังกายแบบหนักสลับเบามากกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลอก

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจภายหลังออกกำลังกายเพิ่มขึ้นทั้ง 3 กลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การปั่นจักรยาน (จีรพงษ์ ด่วงเพียร: 2503; Greer. 2006; Ivy et al. 2003; Saunders et al. 2004; การวิงมาราธอน (Koba et al. 2007) พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นและสูงสุด หลังการออกกำลังกายทันที ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขณะออกกำลังกาย กล้ามเนื้อมีความมีความต้องการปริมาณเลือดเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้หัวใจต้องสูบฉีดเลือดเพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะให้มีปริมาณที่เพียงพอไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและอวัยวะสำคัญ ดังนั้นจึงพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และสูงสุดที่ช่วงเวลาหลังออกกำลังกาย ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลองครั้งนี้ อัตราการเต้นของหัวใจของอาสาสมัครหลังการออกกำลังกายทันทีที่มีค่าสูงสุดทั้ง 3 กลุ่มทดลอง ซึ่งเป็นการยืนยันว่ากลุ่มตัวอย่างปั่นจักรยานได้ระยะเวลานานที่สุด จนกระทั่งล้าและไม่สามารถปั่นจักรยาน ต่อไปได้อีก

จากการทดลองนี้พบว่า ภายหลังจากการออกกำลังกายกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต มีระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นแตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มbranched chain amino acid และเครื่องดื่มหลอกภายหลังการออกกำลังกายนานที่ 15 และ 75 การได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตก่อนการปั่นจักรยานทางไกล ส่งผลให้มีค่าระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้นหลังจากดื่มเครื่องดื่ม 30 นาที และหลังจาก ปั่นจักรยานทางไกล 1 ชั่วโมง ระดับน้ำตาลในเลือดลดลง เนื่องจาก ร่างกายมีการสลายกลูโคสเพื่อใช้เป็นพลังงาน (Ivy et al. 2003; Saunders et al. 2004) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า กลุ่มที่ดื่มเครื่องดื่มbranched chain amino acid และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม หลอกก่อนการปั่นจักรยานทางไกล มีค่าระดับน้ำตาลในเลือดไม่แตกต่างกัน ภายหลังจากการปั่นจักรยาน แต่กลุ่มที่ได้รับbranched chain amino acid มีค่าระดับน้ำตาลในเลือดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากร่างกายมีการสลายbranched chain amino acid และนำไปสร้างเป็นกลูโคส โดยวัฏจักรกลูโคส - อะลานีน (glucose-alanine cycle) (Gibala. 2001; Gleeson. 2005; Greer. 2006; Saunders et al. 2009) และ สอดคล้องกับ การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การได้รับเครื่องดื่มbranched chain amino acid และเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต ที่เพียงพอ นั้น ทำให้ร่างกายสามารถสลายเครื่องดื่มที่ได้รับมาใช้เป็นพลังงานในการทำงานของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้มีระยะเวลาการออกกำลังกายมีค่ามากขึ้น (Greer. 2006; Ivy et al. 2003; Luden et al. 2007; Saunders et al. 2004; Saunders et al. 2009) ถึงแม้ว่าในการทดลองครั้งนี้การได้รับเครื่องดื่มbranched chain amino acid ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าระดับ

น้ำตาลในเลือด ภายหลังออกกำลังกาย แต่การได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดก็ยังมีประโยชน์ในแง่ของการสลายและเปลี่ยนหมุนเวียนเป็นกลูโคสและนำกลับมาใช้เป็นพลังงานในกล้ามเนื้อได้

จากการทดลองครั้งนี้พบว่า ค่าฮอร์โมนอินซูลิน ภายหลังออกกำลังกายลดลงทั้ง 3 กลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับระดับน้ำตาลในเลือดภายหลังการออกกำลังกายลดลงทั้ง 3 กลุ่มทดลอง อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีค่าฮอร์โมนอินซูลินลดลงน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดและกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลัก อาจเนื่องมาจากการได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีส่วนประกอบของกลูโคส ซึ่งอาจสะสมครีตก่อนและระหว่างการทดลองจึงส่งผลให้มีปริมาณกลูโคสในเลือดเพิ่มขึ้นซึ่งแตกต่างจากการได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดและเครื่องดื่มหลัก สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตก่อนและระหว่างการปั่นจักรยานต่อเนื่องที่ระดับความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถการใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 90 นาที (Sugiura; et al. 1998) ปั่นจักรยานหนักสลับเบา 45 เปอร์เซ็นต์สลับกับ 75 เปอร์เซ็นต์และ 85 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 240 นาที (Ivy; et al. 2003) ปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 75 เปอร์เซ็นต์จนกระทั่งล้ม (Saunders et al. 2004) ออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน (Paul. 2007) พบว่า ภายหลังการออกกำลังกาย ค่าฮอร์โมนอินซูลินลดลงน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลัก ตามการลดลงของปริมาณน้ำตาลในเลือด ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากขณะที่ออกกำลังกาย มากกว่า 1 ชั่วโมง ร่างกายมีขบวนการสลายสารอาหาร (Degradation) มากกว่าขบวนการสังเคราะห์ สารอาหาร (synthesis) มีการสลายกลูโคสที่ได้รับจากเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตนำไปใช้เป็นพลังงานในระหว่างการออกกำลังกาย จึงส่งผลต่อการยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินและ ลดการนำน้ำตาลในกระแสเลือดเข้าไปสะสมในเซลล์กล้ามเนื้อ (Ivy; et al. 2003; Paul. 2007; Sugiura et al. 1998)

อย่างไรก็ตามค่าฮอร์โมนอินซูลินในกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดภายหลังการออกกำลังกายที่ลดลงน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดื่มหลักนั้น อาจเป็นไปได้ว่าในช่วงพักครั้งการทดลองอาจสะสมครีตเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด จึงส่งผลให้มีปริมาณ บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น โดยบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นกลูโคสภายหลังการออกกำลังกายได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดก่อนและระหว่างการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 55 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุด เป็นระยะเวลา 90 นาที (Greer. 2006; Greer et al. 2007) พบว่า บรานซ์เซนอะมิโนแอซิดสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นกลูโคสได้ในวัฏจักรกลูโคส อะลานีน (glucose- alanine cycle) ส่งผลให้มีระดับน้ำตาลในเลือดและฮอร์โมนอินซูลินเพิ่มขึ้น และอาจเป็นไปได้ว่ากรดอะมิโนลิซีนในบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดไปกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินเพิ่มขึ้น

(Paul. 2007) ซึ่งฮอร์โมนดังกล่าวมีหน้าที่กระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนในร่างกายและยับยั้งการสลายโปรตีน ในกล้ามเนื้อ (Protein degradation) โดยการทำงานในระดับยีนของฮอร์โมนอินซูลิน ซึ่งพบว่าเซลล์ในระดับยีนที่เกี่ยวข้องกับการคัดลอก (transcriptional) และแปลข้อมูลที่ได้รับ (Translational) มีการส่งสัญญาณผ่านทางหน่วยพันธุกรรมที่มีการถ่ายทอดทางโครโมโซมส่งสัญญาณ (mRNA) ของ mammalian target of rapamycin (mTOR) เพื่อคัดลอกและประมวลผลข้อมูลที่ได้รับ รวมถึงส่งข้อมูลต่อให้กับตัวกลางรับสัญญาณของฮอร์โมนอินซูลินและกระตุ้นตัวรับการตอบสนองของฮอร์โมนอินซูลินให้มีการหลั่งของฮอร์โมนอินซูลินเพิ่มมากขึ้น เพื่อเพิ่มขบวนการสังเคราะห์และสะสมโปรตีน (protein synthesis) และยับยั้งการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อ (muscle protein breakdown)

(Garlick. 2005; Greer. 2006; Greer; et al. 2007; McNaughton. 2000; Nair & Short. 2005; Paul. 2007) ถึงแม้ว่าในการทดลองครั้งนี้การได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าฮอร์โมนอินซูลินภายหลังออกกำลังกาย แต่การได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดน่าจะมีประโยชน์ในแง่ของการช่วยเพิ่มขบวนการสังเคราะห์และสะสมโปรตีนในร่างกายหลังการออกกำลังกาย หรือฟื้นฟูกล้ามเนื้อให้กลับคืนสภาวะปกติได้รวดเร็วขึ้น

การทดลองครั้งนี้ได้ศึกษาภาวะที่ร่างกายมีการสูญเสีย น้ำของร่างกาย จากตัวบ่งชี้ค่าฮีมาโทคริตและค่าน้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกายพบว่า ค่าฮีมาโทคริตเพิ่มขึ้นและน้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกายลดลงไม่แตกต่างกันทั้ง 3 กลุ่มการทดลอง ซึ่งเครื่องดื่มบรานซ์เซนอะมิโนแอซิด มีค่าออสโมลาลิตี้อยู่ระหว่าง 320 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีค่าออสโมลาลิตี 300 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม และเครื่องดื่มเกลือมีค่าออสโมลาลิตี 293 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าฮีมาโทคริตเพิ่มขึ้น และน้ำหนักตัวหลังการออกกำลังกายลดลง จากการทดลองปั่นจักรยาน 90 นาที (Greer. 2006; Greer et al. 2007) วังมารารอน (Bean. 2010; Koba; et al. 2007; Victor. 2010) ซึ่งเครื่องดื่มที่ใช้ในการทดลองมีค่าออสโมลาลิตีอยู่ระหว่าง 270-330 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เครื่องดื่มสามารถในการดูดซึมผ่านกระเพาะอาหารสู่ลำไส้ได้ในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อออกกำลังกายมากกว่า 1 ชั่วโมง ร่างกายมีการสูญเสียน้ำออกไปจากการหายใจและการหลั่งเหงื่อเพิ่มมากขึ้น ทำให้ร่างกายมีการสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ฮีมาโทคริตเพิ่มขึ้น ความหนืดของเลือดเพิ่มขึ้น น้ำหนักตัวลดลงถ้าน้ำหนักตัวลดลง (จีรพงษ์ ด่วงเพียร. 2546; Greer. 2006; Greer et al. 2007; Shelder et al. 2000; Victor. 2010) ซึ่งจะเห็นได้ว่าภายหลังการออกกำลังกายค่าฮีมาโทคริตเพิ่มขึ้น น้ำหนักตัวลดลงไม่แตกต่างกันน่าจะเป็นผลมาจากการได้รับเครื่องดื่มที่มีความเข้มข้นและปริมาณใกล้เคียงกันทุกกลุ่มทดลองนั้นเพียงพอที่จะทดแทนการสูญเสียน้ำระหว่างการออกกำลังกาย

จากการทดลองครั้งนี้ พบว่า พลังงานและปริมาณสารอาหารหลักที่บริโภคก่อนการทดลอง ทั้ง 3 กลุ่มทดลองไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ก่อนการทดลองโดยการปั่นจักรยาน (Greer. 2006; Greer; et al. 2007) วังมารธอน (Koba; et al. 2007) ออกกำลังกายโดยใช้แรงต้าน (Paul. 2007) ได้เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีบันทึกรายการอาหารที่บริโภค 3 วันก่อนการทดลอง เพื่อนำมาคำนวณพลังงานและปริมาณสารอาหารที่บริโภคต่อวันก่อนการทดลอง พบว่า ได้รับพลังงานจากสารอาหารจากคาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน วิตามินและเกลือแร่ที่บริโภคต่อวันก่อนการทดลองไม่แตกต่างกัน ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการควบคุมอาหารหลักที่บริโภคก่อนการทดลองทั้ง 3 กลุ่มทดลองมีปริมาณการได้รับใกล้เคียงกัน ค่าตัวบ่งชี้ความเสียหายของกล้ามเนื้อ ความอดทนในการออกกำลังกาย การสันดาปสารอาหารและการสูญเสียน้ำระหว่างการออกกำลังกาย น่าจะเป็นผลมาจากจากการได้รับเครื่องดื่มbranched chain amino acid เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตและเครื่องดื่มเกลือแร่ ก่อนและระหว่างการทดลอง

จากผลการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่าการได้รับเครื่องดื่มbranched chain amino acid ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย ระดับความเข้มข้นน้ำตาลในเลือด ฮอโมนอินซูลิน ค่าฮีมาโทคริต อัตราการเต้นของหัวใจ ภายหลังการออกกำลังกาย แต่มีผลต่อการลดค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อและเพิ่มระยะเวลาในการออกกำลังกายให้ยาวนานขึ้น ซึ่งผลจากการทดลองครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกกำลังกายอย่างหนักและยาวนาน หรือประยุกต์ใช้ในกีฬาที่อาศัยความทนทานในการออกกำลังกาย หรือเพื่อฟื้นฟูกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายให้กลับสู่สภาวะปกติได้อย่างรวดเร็วขึ้น แต่อย่างไรก็ตามข้อสรุปนี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในการวิจัยครั้งต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับตัวบ่งชี้อื่นที่แสดงถึงการได้รับบาดเจ็บ ฉีกขาด อักเสบของกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายเพิ่มเติม เช่น ค่าอินเตอร์ลิวคิน ๖ (IL- ๖) และควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลของการได้รับเครื่องดื่มbranched chain amino acid ที่มีต่อการออกกำลังกายรูปแบบต่างๆ เพื่อเป็นการสนับสนุนผลของการทดลองครั้งนี้



บรรณานุกรม

- กฤตกรณ์ ประทุมวงษ์. (2549). *โปรตีนกับการออกกำลังกายและกีฬา*. (เอกสารประกอบคำสอน).
กรุงเทพฯ: คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- กัลยพงษ์ จตุรพาณิษฐ์. (2545). *ระบบกล้ามเนื้อ*. (เอกสารประกอบการสอน). กรุงเทพฯ:
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- จิรนนท์ สุวรรณวารี. (2543). *ผลของเวลานี้นต่อการดูดซึมฟรุคโตสในภาวะการออกกำลังกายและต่อ
ประสิทธิภาพการออกกำลังกาย*. วิทยานิพนธ์ วท.ด. (โภชนาศาสตร์). กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- จีรพงษ์ ดั้วเพียร. (2546). *ผลของการได้รับกรดอะมิโนลิ่วขึ้นต่อประสิทธิภาพความทนทาน.
วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา)*. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- เจริญ กระบวนรัตน์. (2538). *เทคนิคการฝึกความเร็ว*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์
การกีฬา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เจริญ กระบวนรัตน์. (2545). *หลักการและเทคนิคการฝึกกรีฑา*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์
การกีฬา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชูศักดิ์ เวชแพศย์; และ กันยา ปาละวิวัฒน์. (2536). *สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย*. พิมพ์ครั้งที่ 4.
กรุงเทพฯ: ธรรมกมล.
- ดรณวรรณ จักรพันธุ์. (2541). *ผลของการฝึกซ้อมกีฬา ต่อลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน สคาเวนจ์เอนไซม์
และการทำลายเซลล์กล้ามเนื้อในนักกีฬาเยาวชนไทยนักกีฬา*. วิทยานิพนธ์ วท.ม.
(สรีรวิทยา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.
- ทัศนีย์ วรภัทรากุล. (2545). *แนวคิดในการปฐมพยาบาล: ผู้ป่วยเสียสมดุลน้ำและอิเล็กโทรไลต์*.
ชลบุรี: ภาควิชาการพยาบาลอายุศาสตร์และศัลยกรรม คณะพยาบาลศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ธาดา สืบหลินวงศ์; และ นวลทิพย์ กมลวารินทร์. (2537). *ชีวเคมีทางการแพทย์*. พิมพ์ครั้งที่ 3.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประดิษฐ์ มีสุข. (2537). *ชีวเคมีประยุกต์ด้านสุขภาพ*. กรุงเทพฯ: โครงการบริการวิชาการ มศว.
ภาคใต้ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์.

ปรียาลักษณ์ โคหนองบัว; ศราวุธ อิทราพงษ์; และ ผกาพร ธนบริสุทธิ์. (2550). ผลของความหนักในการออกกำลังกายที่มีต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมาและอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด. ชลบุรี :คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

นพพรณ จารุรักษ์. (2547). CK-MB activity และ CK- MB mass ในการวินิจฉัยโรคหัวใจตาย.

วารสารคณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 8 (8): 554-560.

นวัชรต์ อุตวรราชต์กิจ. (2551). ผลของการแช่น้ำร้อนสลับน้ำเย็นภายหลังการออกกำลังกายที่มีต่อการป้องกันและรักษาอาการปวดกล้ามเนื้อ. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา).

กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

นิโลบล เนื่องต้น. (2542). ชีวเคมี 1. กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.

นัยนา บุญทิววัฒน์. (2553). ชีวเคมีทางโภชนาการ. กรุงเทพฯ: เจริญดีมั่นคง.

พจน์ ศรีบุญลือ; และคนอื่นๆ. (2543). ตำราชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น: โรงพิมพ์วิทยาเขตขอนแก่น.

พัชรา วีระกะลัส. (2549). พลังงานและเมแทบอลิซึม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัชรีย์ วิทยานุกูวดี. (2550). เมตาบอลิซึมของกรดอะมิโน. กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาลมหาวิทยาลัยมหิดล.

พีระพงษ์ บุญศิริ. (2532). สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย (วิทยาศาสตร์การกีฬา). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ภมร จินตามณี. (2544). ผลของเครื่องดื่มน้ำเสริมสารแอนติออกซิแดนท์ต่อการเกิดสภาวะเนื้องอกไขมันและลิปิด เปอร์ออกซิเดชันในทหารไทย. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (สรีรวิทยา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.

วิทยา เลหากุล. (2545). การฝึกสมรรถภาพสำหรับนักกีฬา. กรุงเทพฯ: กิเลน.

ราตรี สุดทรง; และ วีระชัย สิงหนิยม. (2545). ประสาทสรีรวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โรม วงศ์ประเสริฐ. (2533). ผลของการดื่มน้ำมะนาว น้ำส้ม และเครื่องดื่มนักกีฬาที่มีผลต่อสมรรถภาพในการทำงานของร่างกาย. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (พลศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. ถ่ายเอกสาร.

ลักษณะ อินทร์กลับ. (2543). โภชนศาสตร์เชิงเคมี. กรุงเทพฯ: มีเดีย.

วรณัฐ ฉัตรสุทธิพงษ์. (2537). น้ำในร่างกายชนิดต่าง ๆ และการหาปริมาณของน้ำเหล่านั้น. (เอกสารประกอบการสอน). กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

- ศัลยา คงสมบูรณ์เวช. (2546). นักกีฬาควรกินอย่างไร. *สารวิทยาศาสตร์การกีฬา*. หน้า 6-9.
- สนธยา สีละมาด. (2551). *หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สยาม เพิ่มเพ็ชร. (2551). ผลของการนวดด้วยน้ำแข็ง การนวดด้วยน้ำแข็งร่วมกับการแช่น้ำและการนวดด้วยน้ำแข็งร่วมกับการออกกำลังภายในน้ำที่มีต่อการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อภายหลังระบมของกล้ามเนื้อจากการออกกำลังกาย. *วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา)*. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- โอภา วัชรคุปต์; และคนอื่นๆ. (2550). *สารต้านอนุมูลอิสระ*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: นิเวศมิตร.
- Armstrong, R. B. (1984). Mechanisms of Exercise Induced Delay Onset Muscle Soreness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 16(6): 529-538.
- Bangsbo, Jeans.; & Krstrup, Peter. (2001). Physiological Demand of Top Class Soccer Refereeing in Relation to Physical Capacity: Effect of Intense Intermittent Exercise Training. *Journal of Sports Science*. 19: 881-891.
- Bean, A. (2010). Sports Drink. Retrieved May 11, 2010 ,from <http://www.brianmac.co.uk/drinks.htm>
- Below, Pual. R.; et al. (1995). Fluid and Carbohydrate Ingestion Independently Improve Performance during 1 hr of Intense Exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise*. 27(2): 200–210.
- Blomstrand, A. P.; et al. (1991). Administration of Branched Chain Amino Acid during Sustain Exercise on Plasma Concentration of Some Amino Acid. *Euro Journal of Physiology*. 63: 83-88.
- Blomstrand, E.; & Newsholme, E. A. (1996). Influence of Ingesting a Solution of Branched Chain Amino Acids on Plasma and Muscle Concentrations of Amino Acids during Prolonged Submaximal Exercise. *Journal of Nutrition*. 12(7–8): 485–490.
- Blomstrand, Eva. (2006). A Role for Branched Chain Amino Acids in Reducing Central Fatigue. *American Society for Nutrition Science*. 135. 544s-547s.
- Blomstrand, John. J.; & Newsholme, E. A. (1992). Effect of Branched Chain Amino Acid Supplement on Exercise Induced Change in Aromatic Amino Acid Concentration in Human Muscle. *Aca Physiol Scand*. 146: 293-298.
- Bower, R. W.; & Fox, E. L. (2001). *Sports Physiology*. Wm. C: Brown.

- Braithwaite, K. (2003). *Hydration Status Crucial for Athletes*. Retrieved June 5, 2003, from [http:// www.usask.ca/sportmedsci/nutr/fluid.htm](http://www.usask.ca/sportmedsci/nutr/fluid.htm)
- Brosnan, John. T. (2005). The Fourth Workshop on the Assessment of Adequate Intake of Dietary Amino Acid: General Discussion of Sessions 1 and 2. *American Society for Nutrition Science*. 135. 1576s-1579s.
- Clark, M. J.; & Eston, R. G. (1992). Muscle Soreness, Swelling, Stiffness and Strength loss after Intense Eccentric Exercise. *British Journal of Sport Medicine*. 26: 267-272.
- Cheung, K.; et al. (2003). Delayed Onset Muscle Soreness: Treatment Strategies and Performance Factors. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 33: 145-164.
- Clarkson, P. M.; & Nosaka, K. (1992). Muscle Function after Exercise Induced Muscle Damage and Repair Adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 24: 512-520.
- Comber, J. S.; & McNaughton. (2000). Effects of Branched Chain Amino Acid Supplementation on Serum Creatine Kinase after Prolonged Exercise. *Journal of Sports Medicine Physical Fitness*. 40: 240-246.
- Crill, P. (2002). *Sports Drink*. Retrieved December 17, 2003, from [http:// www.ast – ss. Com/research/rib/research – reviews/rr – full – text. Asp](http://www.ast-ss.com/research/rib/research-reviews/rr-full-text.Asp)
- Fernstrom, John. D. (2005). Branched Chain Amino Acid and Brain Function. *American Society for Nutrition Science*. 135: 1539s-1546s.
- Flann, Kyle. L.; et al. (2011). Muscle Damage and Muscle Remodeling: No Plan, No Gain?. *The Journal of Experimental Biology*. 214: 674-679.
- Freyssenet, D.; et al. (1996). Effect of a 6 Week Endurance Training Programmed and Branched Chain Amino Acid Supplementation on Hismorphometric Characteristics of Aged Human Muscle. *Archive Physiology and Biochemistry*. 104(2): 157–162.
- Ganong, W. F. (1998). *Muscle Review of Medical Physiology*. 16 th ed. Appleton and Lange: East Norwalk.
- Gibala, M. J. (2001). Regulation of Skeletal Muscle Amino Acid Metabolism during Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 11 : 87 – 108.

- Gleeson, Michael. (2005). Interrelationship between Physical Activity and Branched Chain Amino acid. *American Society for Nutrition Science*. 135: 1553s-1556s.
- Greer, Beau. ; et al. (2007). Branched Chain Amino Acid Supplement and Indicator of Muscle Damage after Endurance Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 17: 595-607.
- Greer, Beau. ; et al. (2010). Branched Chain Amino Acid Supplementation Lowers Perceived Exertion but does not Affect Performance in Untrained Males. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 1:1-6.
- Greer, Beau Kjerulf. (2006). The Effects of Branched Chain Amino Acid Supplementation on Indicator of Muscle Damage and Performance: A Study of Student . Dissertation, Ph. D. (Food, and Exercise Science). Florida State University. Photocopied.
- Garlick, Peter. J. (2005). The Role of Leucine in the Regulation of Protein Metabolism. *American Society for Nutrition Science*. 135.1553s-1556s.
- Hargreaves, M. & Snow, R. (2001). Amino Acid and Endurance Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 11: 133-145.
- Harris, Robert. A.; et al. (2005). Overview of the Molecular and Biochemical Basic of Branched Chain Amino Acid Catabolism. *American Society for Nutrition Science*. 135. 1527s-1530s.
- Heyward, Vivian H. (2006). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. 5 th ed. Philadelphia USA: William & Wilkins.
- Ivy, John L.; et al. (2003). Effects of Carbohydrate Protein Supplement on Endurance Performance During Exercise of Varying Intensity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 13 : 382-395.
- Jentjens, R. L.; & et al. (2001). Addition of Protein and Amino Acid to Carbohydrates Does Not Enhance Post Exercise Muscle Glycogen Synthesis. *Journal of Apply Physiology*. 91(2): 839-846.
- Jose, Antonio.; & Jeffrey. R. Stout. (2001). Sports Supplement. Florida USA: William & Wilkins.

- Kirkendall, D. C. (2000). *Physiology of Soccer*. 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Knez, W. L.; Jenkins, D. G.; & Coombers, J. S. (2007). Oxidative Stress in Half and Full Ironman Triathlons. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 39(2): 283-288.
- Koba, T.; & et al. (2007). Branched Chain Amino Acids Supplementation Attenuates the Accumulation of Blood Lactate Dehydrogenase during Distance Running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 47: 316-22.
- Kreider, R. B. (1999). *Effect of Protein and Amino Acid Supplement on Athletic Performance*. Retrieved June 17, 2009, from <http://www.sportsci.org/jour/9901/rgk.html>
- Kuiper, S. (1994). Exercise Induced Muscle Damage. *International Journal of Sports Medicine*. 15: 132-134.
- Leucine. (2002). *Leucine*. Retrieved April 10, 2002, from <http://www.geocities.com/nutriflip/nutrients/leucine.html>
- Luden, N. D.; et al. (2007). Postexercise Carbohydrate Protein Antioxidant Ingestion Decrease Plasma Creatine Kinase and Muscle Soreness. *International Journal of Sport Nutrition and Metabolism*. 17: 109-123.
- Madsen, K.; et al. (1996). Effect of Glucose, Glucose Plus Branched – Chain Amino Acid, or Placebo on Bike Performance over 100 km. *Journal of Applied Physical*. 81(6): 2644–2650.
- Martarelli, D.; & Pompei. P. (2009). Oxidative Stress and Antioxidant Changes during a 24 Hours Mountain Bike Endurance Exercise in Master Athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 49: 122-127.
- Mastaloudis, A.; et al. (2006). Antioxidant did not Prevent Muscle Damage in Response to an Ultramarathon Run. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 38(1): 72-80.
- Mc Ardle, W. D.; Katch, F. I.; & Katch, V. L. (2000). *Essentials of Exercise Physiology*. 2nd ed. Philadelphia USA: William & Wilkins.

- McNaughton, F.; & Coomber, L. R. (2000). Effects of Branched Chain Amino Acid Supplementation on Serum Creatine Kinase and Lactate Dehydrogenase after Prolonged Exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 40: 240-246.
- Melikoglu, M. A.; & et al. (2008). The Effect of Regular Long Term Training on Antioxidant Enzymatic Activities. *Journal Sports Medicine Physical Fitness*. 8: 388–390.
- Mero, A. (2010). "Creatine Kinase enzyme"- Sport dietary supplements. Retrieved March 4, 2010, from <http://www.brookssidepress.com>.
- Milas, M. P.; & Clarkson, P.M. (1994). Exercise Induce Muscle Pain, Soreness and Cramp. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*. 34: 203-216.
- Mills, Alaine. (2012). The Effect of BCAA Supplement with and without on Performance in Recreationally Trained Cyclists. : A Study of Student . Dissertation, B.S.(Food, and Exercise Science). Georgia Southern University. Photocopied.
- Morgan, D.; & Allen, D. (1999). Early Events in Stretch Induced Muscle Damage. *Journal of Apply Physiology*. 87: 2007-2015.
- Mueller, Kim. (2009). *Nutrition Staving Off Muscle Soreness Nutritional Strategies that Work*. Retrieved February 5, 2009, from <http://www.peakrunningperformance.com>
- Mutumoto, T.; et al. (2009). Branched Chain Amino Acid Supplementation Attenuated Muscle Soreness, Muscle Damage and Inflammation during and Intensive Training Program. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 49: 424-431.
- Nair, K. Sreekumaran.; & Short, Kevin. R. (2005). Hormonal and Signaling Role of Branched Chain Amino Acid. *American Society for Nutrition Science*. 135. 1547s-1552s.
- Nassis, George. P.; Williams, C.; & Chiasm, All. P. (1998). Effect of a Carbohydrate Electrolyte Drink on Endurance Capacity during Prolong Intermittent High Intensity Running. *British Journal of Sports Medicine*. 32: 248–252.
- Negro, M.; et al. (2008). Branched-Chain Amino Acid Supplementation Does not Enhance Athletic Performance but Affects Muscle Recovery and the Immune system. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. 48 (3): 347- 351.

- Newsholme, Eric. A.; & Blomstrand, Eva. (2006). Branched Chain Amino Acid and Central Fatigue. *American Society for Nutrition Science*. 135. 274s-276s.
- Nicholas, C. (2002). *Physiological Demands & Match Performance Analysis*. Retrieved December 3, 2002, from [http:// www. Soccer performance. Org/player/sports soccer.htm](http://www.Soccerperformance.Org/player/sports/soccer.htm)
- Nicholas, D. Luden.; et. al. (2007). Postexercise Carbohydrate Protein Antioxidant Ingestion Decrease Plasma Creatine Kinase. *International Journal of Sport Nutrition and Metabolism*. 17: 109-123.
- Oguz, P. Byrnes.; et al. (1994). Investigation of serum creatine kinase variability after muscle damaging exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 24: 512-520.
- Paul, La. Bounty. (2007). The Effects of Heavy Resistance Exercise in Combination with Orally Administered Branched Chain Amino Acids or Leucine on Insulin Signaling and Akt/mTOR Pathway Activity in Active Males: A Study of Student . Dissertation, Ph. D. (Health, Human Performance, and Recreation). Baylor University. Photocopied.
- Paola, B. & Nicola, M. (2008). Creatine Kinase Monitoring in Sport Medicine. *Brithish Medical Buletin*. 82: 209-230.
- Power, S. K.; & Howley, W. T. (2001). *Exercise Physiology*. 4th ed. New York: Mc Graw-Hill.
- Quinn , Elizabeth. (2012). *Increase your lactate threshold to improve endurance performance*. Retrieved March 15, 2012, from [http:// www. Sportmedicine.about. com/ od/ anatomy and physiology/ LT_training.htm](http://www.Sportmedicine.about.com/od/anatomyandphysiology/LT_training.htm)
- Recep, Kurkcu. (2010). The Effects of Short Term Exercise on the Parameters of Oxidant and Antioxidant System in Handball Players. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 4(7): 448-452.
- Reilly, T. (1997). Energetics of High Intensity Exercise (Soccer) with Particular Reference to Fatigue. *Journal of Sports Sciences*. 15: 257-263.
- Reilly, T. (2010). Injury Risk Associated with Playing Actions during Competitive Soccer. *British Journal Sports Medicine*. 36: 354-359.

- Romano-Ely, B. C.; et. al. (2006). Effect of An Isocaloric Carbohydrate Protein Antioxidant Drink on Cycling Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 9: 1608-1616.
- Seifert, J. G.; et al. (2005). Muscle Damage, Fluid Ingestion, and Energy Supplementation during Recreational Alpine Skiing *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 15: 528-536. 15:528-36.
- Shelder, Lois. M.; et al. (2000). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 6th ed. New York: Wolters Kluwer.
- Shimomura, Yoshiharu.; et al. (2010). Branched Chain Amino Acid Supplementation before Squat Exercise and Delayed Onset Muscle Soreness. *International Journal of Sport Nutrition*. 20: 236-244.
- Shimomura, Yoshiharu.; et al. (2004). Exercise Promotes BCAA Catabolism: Effects of BCAA Supplementation on Skeletal Muscle during Exercise. *The journal of Nutrition*. 134: 1583s-1587s.
- Shimomura, Yoshiharu. (2006). Nutraceutical Effects of Branched Chain Amino Acid on Skeletal Muscle. *American Society for Nutrition Science*. 136: 529s-532s.
- Smith, L. L. (1991). Acute Inflammation: The Underlying Mechanism in Delays Onset Muscle Soreness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 23: 542-551.
- Stauber, W. T.; et. al. (1990). Extracellular Matrix Disruption and Pain after Eccentric Muscle Action. *Journal of Apply Physiology*. 69: 868-874.
- Suanders, Michael. J.; et al. (2004). Effect of Carbohydrate – Protein Supplement Beverage on Cycling Endurance and Muscle Damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 36(7): 1233-1238.
- Suanders, Michael. J.; et al. (2009). Carbohydrate and Protein Hydrolysate Coingestion's Improvement of Late Exercise Time- Trial Performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 19: 136-149.
- Sugiura, Katsumi. (1998). Effect of Carbohydrate Ingestion on Sprint Performance following Continuous and Intermittent Exercise. *Medicine and Science in Sport and Exercise*. 31: 1624-1630.

- The Importance of Carbohydrate Ingestion during High Intensity Intermittent Exercise.
2010. Retrieved July 5, 2010, from [http:// www. Edb.utexas.edu](http://www.Edb.utexas.edu).
- Teixeira, V. H.; et al. (2009). Antioxidants do Not Prevent Postexercise Peroxidation and May Delay Muscle Recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 41(9): 1752-1760.
- Valentine, J. Rudy.; et al. (2008). Influence of Carbohydrate Protein Beverage on Cycling Endurance and Indicator of Muscle Disruption. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 18: 363-378.
- Victor, A. Convertino.; et al. (2010). ACSM Position Stand – Exercise and Fluid Replacement. Retrieved May 11, 2010, from [http:// www. acsm-msse/1996/ACSM position stand exercise](http://www.acsm-msse/1996/ACSM_position_stand_exercise).
- Vitor, Teixeira.; et al. (2009). Antioxidant Status, Oxidative Stress and Muscle Damage in Elite Trained Kayakers and Canoeists and Sedentary Controls. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 19: 443-456.
- Vukovich, M. D.; et al. (1997). Effect of Low-Dose Amino Acid Supplement on Adaptation to Cycling Training in Untrained Individuals. *International Journal of Sport Nutrition*. 7(4): 298–309.
- White, P. James.; et al. (2008). Effects of Carbohydrate Protein Supplement Timing on Acute Exercise Induced Muscle Damage. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 5(5): 1-7.



ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย





ภาพประกอบ 24 จักรยานวัดงาน (Bicycle ergometer) ยี่ห้อ monark รุ่น 828E



ภาพประกอบ 25 เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate monitor) ยี่ห้อ polar รุ่น s810



ภาพประกอบ 26 เครื่องชั่งน้ำหนักอัตโนมัติ (Automatic weighting scale)
ยี่ห้อ Tanita รุ่น TBF – 531



ภาพประกอบ 27 เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Portable cardiopulmonary gas exchange system)
ยี่ห้อ Cortex รุ่น Metamax3B



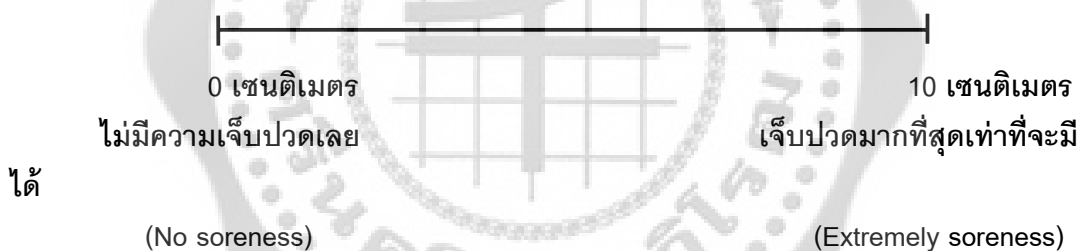
ภาคผนวก ข
แบบประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ

แบบประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ
(Rating of perceived damage)

วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้น

เครื่องมือ แบบประเมินค่าการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ
อ้างอิงจากการศึกษาวิจัยของเกรีย (Greer. 2006: online) และเกรีย; และคนอื่นๆ
(Greer; et al. 2007: 595-607); ไวท์ (White. 2008. 1-7);
นวรัตน์ (นวรัตน์. 2551. 1-2)

วิธีการ 1. วิธีการวัดประกอบด้วยเส้นตรงหนึ่งเส้นยาว 10 เซนติเมตร โดยที่ปลายด้านหนึ่งของเส้นตรง 0 เซนติเมตร แทนคะแนนต่ำสุดมีคำว่าไม่มีความเจ็บปวดเลย(No soreness) และที่ปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นตรง 10 เซนติเมตร แทนคะแนนสูงสุดมีคำว่าเจ็บปวดมากที่สุดเท่าที่จะมีได้ (Extremely soreness) ดังภาพ



2. ให้กลุ่มตัวอย่างประเมินค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ ทำเครื่องหมายกากบาทลงบนเส้นตรง ณ จุดที่คิดว่าแทนค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อในขณะนั้น

3. ความยาวของเส้นตรงที่วัดได้จากจุดเริ่มต้น 0 เซนติเมตร ถึงจุดกึ่งกลาง
เครื่องหมาย
กากบาทที่ขีดไว้ แทนคะแนนประเมินค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อในขณะนั้น มีหน่วย
เป็นเซนติเมตร

4. ให้กลุ่มตัวอย่างประเมินค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ 6 ครั้ง ที่ช่วงเวลา ก่อนออกกำลังกาย 15 นาที ออกกำลังกายนาทีที่ 15 ออกกำลังกายนาทีที่ 45 ออกกำลังกายนาทีที่ 75 หลังการออกกำลังกายทันที และหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง



ภาคผนวก ค
แบบบันทึกรายการอาหารที่รับประทาน

แบบบันทึกการอาหารที่รับประทาน

Code.....อายุ.....ปี

บันทึกการอาหารวันที่

.....

คำแนะนำการบันทึกการอาหาร

1. บันทึกการอาหารมื้อหลักและอาหารว่างที่รับประทานทุกรายการใน 1 วัน
2. กรณีรับประทานอาหารสำเร็จรูปเป็นจาน ให้บันทึกปริมาณของส่วนประกอบส่วนใหญ่ที่สังเกตเห็น เช่น ข้าวผัด ส่วนประกอบ คือ ข้าวสวย 1 ถ้วยตวง
 หมู 4 ช้อน
 ไข่ 1 ฟอง
 ผักคะน้า 2 ช้อนโต๊ะ
3. ขนมขบเคี้ยว ให้ระบุยี่ห้อ และปริมาณที่รับประทาน (ถ้าเป็นไปได้โปรดเก็บซองที่บรรจุให้คณะผู้วิจัย)
4. อาหารที่เป็นผลไม้ ให้ระบุจำนวนชิ้น จำนวนลูกและขนาด
5. บันทึกเครื่องดื่ม เช่น ชา กาแฟ น้ำหวาน น้ำอัดลม น้ำผลไม้ (ในปริมาณที่ไม่รวมน้ำแข็ง)



ภาคผนวก ง

เอกสารรับรองโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
รับรองโดยคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในมนุษย์
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



62 หมู่ 7 อำเภอองครักษ์
จังหวัดนครนายก 26120
โทร.0-3739-5085-6 ต่อ 81516

เอกสารรับรองโครงการวิจัย

โดย

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับการพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์แบบเร่งพิเศษ
(Expedited Review)

SWUEC/EX เลขที่หนังสือรับรอง 4/2554

ชื่อโครงการ	ผลของการได้รับรานซ์เชนอะมิโนแอซิดที่มีต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อ ภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา
	Effects of branched chain amino acid supplement on muscle damage after intermittent exercise
ชื่อหัวหน้าโครงการ / หน่วยงานที่สังกัด	น.ส.กรรณิพย์ ลิ้มนรรัตน์ / นิสิตปริญญาเอก สาขาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกาย และกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
SWUEC รหัสโครงการ	SWUEC/Ex 4-54
สถานที่ทำการวิจัย	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เอกสารรับรอง	- โครงการวิจัยฉบับแก้ไข วันที่ 30 ธันวาคม 2553 (13 หน้า) - หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย - แบบสอบถาม (หน้า 14- 21) - เอกสารชี้แจงข้อมูล/คำแนะนำแก่ผู้เข้าร่วมโครงการ (3 หน้า) - เอกสารตอบคำถามข้อสงสัย
รับรองโดย	คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับการพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ (Ex)
วันที่รับรอง	11 มกราคม 2554
วันหมดอายุ	10 มกราคม 2555

หนังสือรับรองฉบับนี้ออกโดยความเห็นชอบในการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับ
พิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตามประกาศเอลซิงกิ

ลงนาม.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานสิริ พันธุ์สุวรรณ)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรมฯ

ลงนาม.....
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์สมเกียรติ วัฒนศิริชัยกุล)
คณบดีคณะแพทยศาสตร์



ภาคผนวก จ

หนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูล

หนังสือเลขที่ ศธ 0519.12/1090 ลงวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2554

ควม.ศูนย์วิทยาการ พร.
เลขรับ ๒๒๒
วันที่ ๒๕ มิ.ย. ๕๕
เวลา ๑๑.๓๗

ที่ ศธ 0519.12/1090



รพ.อาภากรเกียรติวงศ์ จ.ชลบุรี
เลขรับ ๒๒๒
วันที่ ๒๕ มิ.ย. ๕๕
เวลา ๑๑.๓๗
กท-๕๕๕

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

// กุมภาพันธ์ 2554

เรื่อง ขอใช้สถานที่และขอความอนุเคราะห์เพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย

กรมแพทยการเรือ
เลขรับ ๒๒๒
วันที่ ๒๕ มิ.ย. ๕๕
เวลา ๑๑.๓๗

เรียน ผู้อำนวยการโรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ จ.นนทบุรีเรือสดหีบ

เนื่องด้วย นางสาวกรณทิพย์ ลิ่มนรรัตน์ นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิชาสรีรวิทยาการ ออกกำลังกายและกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “ผลของการ ได้รับบรานซ์เซนอะมิโนแอซิดที่มีต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อตายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา” โดยมี รองศาสตราจารย์ ดร.กฤตกรณ ประทุมวงษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรนนท์ แก้วกล้า และ อาจารย์ ดร.สุภาภรณ์ ศิลาเลิศเดชกุล เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือการวิจัย โดยขอใช้สถานที่ศูนย์ทดสอบสมรรถภาพทางกาย นักกีฬา กองทัพเรือภาคตะวันออก และ ห้องปฏิบัติการพยาธิวิทยาเพื่อวิเคราะห์ระดับน้ำตาลในเลือด โดยผู้วิจัยเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่าย ทั้งนี้เพื่อทดสอบสมรรถภาพทางกาย กับนักกีฬา นักเรียนพลพยาบาล กองนาวิกเวชกิจ โรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ จ.นนทบุรีเรือสดหีบ จำนวน 9 นาย และผู้วิจัยได้ประสานงาน กับนาวาตรีบัณฑิต สุวรรณเนตร ประจำฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา กองเวชกรรมป้องกันเบื้องต้นแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ ได้โปรดพิจารณาให้ นางสาวกรณทิพย์ ลิ่มนรรัตน์ ได้ใช้สถานที่เพื่อเก็บข้อมูลการวิจัย และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0-2649-5067

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 081-375-9199



แบบสอบถามเกี่ยวกับสุขภาพ

แบบสอบถามเกี่ยวกับสุขภาพและความเจ็บป่วย

Code.....

วันที่.....

1. ประวัติการเจ็บป่วยในครอบครัว

- ก. บิดา อายุ.....ปี
☐ มีชีวิต ☐ เสียชีวิต (ระบุสาเหตุ).....
☐ มีโรคประจำตัว หรือไม่มี (ระบุ)
- ข. มารดา อายุ.....ปี
☐ มีชีวิต ☐ เสียชีวิต (ระบุสาเหตุ).....
☐ มีโรคประจำตัว หรือไม่มี (ระบุ)
- ค. ท่านมีพี่น้องรวม (รวมตัวท่าน)
- ง. พี่/ น้องของท่าน (ไม่รวมตัวท่าน)
- คนที่ 1 ☐ มีชีวิต ☐ เสียชีวิต (ระบุสาเหตุ).....
☐ มีโรคประจำตัวหรือไม่ (ระบุ)
- คนที่ 2 ☐ มีชีวิต ☐ เสียชีวิต (ระบุสาเหตุ).....
☐ มีโรคประจำตัวหรือไม่ (ระบุ)
- คนที่ 3 ☐ มีชีวิต ☐ เสียชีวิต (ระบุสาเหตุ).....
☐ มีโรคประจำตัวหรือไม่ (ระบุ)

2. ท่านมีโรคประจำตัวต่อไปนี้หรือไม่ (ถ้ามี ระบุจำนวนปีที่ เป็น)

- ก. ☐ เบาหวาน ☐ ไม่มี ☐ มี.....ปี
- ข. ☐ โรคหัวใจ ☐ ไม่มี ☐ มี.....ปี
- ค. ☐ โรคความดันโลหิตสูง ☐ ไม่มี ☐ มี.....ปี
- ง. ☐ ความผิดปกติของเม็ดเลือด ☐ ไม่มี ☐ มี.....ปี
- จ. ☐ โรคโลหิตจาง ☐ ไม่มี ☐ มี.....ปี
- ฉ. ☐ โรคหอบ/หืด ☐ ไม่มี ☐ มี.....ปี
- ช. ☐ โรคกระเพาะอาหาร ☐ ไม่มี ☐ มี.....ปี

๗. ☐ ท้องเสียหรือท้องเดินเรื้อรัง ☐ ไม่มี ☐ มี.....ปี

๘. ☐ อื่นๆ (ระบุชนิดและระยะเวลาที่เป็น.....)

3. ปัจจุบันท่านรับประทานยาเป็นประจำหรือไม่ (ถ้ามี ระบุ)

.....

4. ท่านเคยได้รับการผ่าตัดหรือไม่ (ถ้ามี ระบุชนิด และปีที่ทำ)

.....

5. ท่านเคยได้รับอุบัติเหตุร้ายแรงใดๆหรือไม่ (ถ้ามี ระบุชนิด และปีที่ทำ)

.....

6. ในรอบปีที่ผ่านมา ท่านเคยบาดเจ็บด้วยโรคภัยใดๆหรือไม่ (ถ้ามี ระบุชนิด และปีที่ทำ)

.....

7. ในรอบหนึ่งเดือนที่ผ่านมา ท่านมีการเจ็บป่วยด้วยโรคใดๆหรือไม่ (ถ้ามี ระบุ)

.....

8. ในรอบหนึ่งเดือนที่ผ่านมา ท่านรับประทานยาหรือวิตามินใดเป็นประจำหรือไม่ (ถ้ามี ระบุ)

.....



ภาคผนวก ช
หนังสือยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

หนังสือยินยอม (Informed Consent Form)

ชื่อโครงการ ผลของการได้รับบรานซ์เชนอะมิโนแอซิดที่มีต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อ
ภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา

EFFECTS OF BRANCHED-CHAIN AMINO ACID SUPPLEMENT
ON MUSCLE DAMAGE AFTER INTERMITTANT EXERCISE

ชื่อและนามสกุลอาสาสมัคร.....อายุ.....ปี

คำยินยอมของอาสาสมัคร

ข้าพเจ้านาย.....ได้รับทราบรายละเอียด

ของโครงการศึกษาวิจัย ตลอดจนประโยชน์และข้อเสียที่จะเกิดขึ้นต่ออาสาสมัครแล้ว ได้แก่

1. รายละเอียดของโครงการศึกษาวิจัยและประโยชน์ที่ได้รับ

อาสาสมัครได้รับทราบรายละเอียดของโครงการศึกษาวิจัยที่เป็นลายลักษณ์อักษร ได้แก่ ชื่อโครงการศึกษาวิจัย ชื่อและที่ทำงานของผู้วิจัยหลัก วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการศึกษาวิจัย สถานที่ทำการศึกษ การวางแผนโครงการศึกษาวิจัย เกณฑ์การคัดเลือกเข้า เกณฑ์การคัดเลือกออก เกณฑ์การให้เลิกจากโครงการศึกษาวิจัย ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย ระยะเวลาการศึกษาวิจัย

2. ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้จากการโครงการศึกษาวิจัย

2.1 การออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 65 เปอร์เซ็นต์สลับ 85 เปอร์เซ็นต์ของความสามารถสูงสุดในการปั่นจักรยานจนกระทั่งรู้สึกล้าซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่ปฏิบัติเป็นปกติของนักกีฬาโดยทั่วไป โดยความหนักและระยะเวลาของการออกกำลังกายในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ไม่มีผลเสียต่อสุขภาพร่างกายของอาสาสมัครซึ่งเป็นนักกีฬาฟุตบอลที่เล่นกีฬาและออกกำลังกายเป็นประจำ แต่ทั้งนี้จะมีการทดสอบสมรรถภาพของอาสาสมัครก่อนเข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัย

2.2 เครื่องดื่มที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มี 3 ชนิดซึ่งเครื่องดื่มแต่ละชนิดถูกควบคุมปริมาณ โซเดียม คลอไรด์ สารปรุงแต่งกลิ่นมะนาว และปริมาณน้ำ เท่ากับ 50 มิลลิกรัม 2 มิลลิลิตร 848 มิลลิลิตร ตามลำดับ สำหรับเครื่องดื่มบรานซ์เชนอะมิโนแอซิด และเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตถูกควบคุมให้มีพลังงานเท่ากันคือ 200 แคลอรี เครื่องดื่มบรานซ์เชนอะมิโนแอซิดมีส่วนประกอบของไอโซลูซีน ลูซีน และวาลีน 10, 25 และ 15 กรัมตามลำดับ และมีค่าออสโมลาลิตี เท่ากับ 320 มิลลิออสโมลต่อกิโลกรัม เครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตมีส่วน ประกอบของกลูโคส 50 กรัม และมีค่าออสโมลาลิตี เท่ากับ

300 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม เครื่องดื่มหลอกมีค่าออกซิโมลิตี เท่ากับ 293 มิลลิลิตรต่อกิโลกรัม ซึ่งกลุ่มตัวอย่างได้รับเครื่องดื่ม 2 ครั้ง ครั้งละ 424 มิลลิลิตร ที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที และที่ช่วงเวลาออกกำลังกายนาทีที่ 45

2.3 โครงการศึกษาวิจัยเป็นการศึกษาผลของการได้รับบรานซ์เชนอะมิโนแอซิด ที่มีต่อความเสียหายของกล้ามเนื้อภายหลังออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งอาสาสมัครจะถูกเก็บตัวอย่างเลือดแต่ละครั้งของการทดลอง ปริมาณเลือดทั้งหมด 37 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างเลือดจำนวน 6 ครั้ง ที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที จำนวน 10 มิลลิลิตร ออกกำลังกายนาทีที่ 15 จำนวน 2 มิลลิลิตร ออกกำลังกายนาทีที่ 45 จำนวน 5 มิลลิลิตร ออกกำลังกายนาทีที่ 75 จำนวน 2 มิลลิลิตร หลังออกกำลังกายทันที จำนวน 10 มิลลิลิตร และหลังออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง จำนวน 8 มิลลิลิตรเพื่อวิเคราะห์ค่าฮีมาโทคริต ค่าระดับน้ำตาลในเลือด ค่าฮอร์โมนอินซูลิน ค่าครีเอทีนไคเนส ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย จากการเก็บตัวอย่างเลือดด้วยวิธีมาตรฐานโดยพยาบาลวิชาชีพ ที่ได้รับอนุญาตให้เจาะเลือดได้จากโรงพยาบาลอาภากรเกียรติวงศ์ สุสานทัพเรือสัตหีบจังหวัดชลบุรี

2.4 ในขณะที่เข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัย หากกลุ่มตัวอย่าง พบว่ามีผลข้างเคียงเกิดขึ้น สามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา โดยไม่มีข้อผูกมัดใดๆทั้งสิ้น

2.5 ข้อมูลส่วนตัวและข้อมูลจากการเข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัยจะถูกปิดเป็นความลับ และข้อมูลจะถูกนำเสนอในลักษณะของสถิติและการอภิปรายผลในงานวิจัยเท่านั้น

ข้าพเจ้านาย.....ยินยอมเข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัย และข้าพเจ้ารู้ว่าถ้ามีปัญหาหรือข้อสงสัยเกิดขึ้น ข้าพเจ้าสามารถถามผู้วิจัยได้ และข้าพเจ้าสามารถที่จะไม่เข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัยได้เมื่อใดก็ได้

ลงชื่อ.....ผู้เข้าร่วม

โครงการ

(.....)

.....พยาน

(.....)

วันที่.....

ข้าพเจ้าได้อธิบายรายละเอียดของโครงการ ตลอดจนประโยชน์ของการทดลองรวมทั้งข้อเสียที่อาจเกิดขึ้นแก่ผู้เข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัยแล้วตามรายละเอียดข้างต้น

ลงชื่อ.....ผู้วิจัย

วันที่.....



ภาคผนวก ซ
แบบบันทึกข้อมูลส่วนตัวและการตรวจร่างกายแรกเข้า
และการเตรียมตัวของผู้เข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัย

แบบบันทึกข้อมูลส่วนตัวและการตรวจร่างกายแรกเข้า

วันที่.....

Code.....อายุ.....ปี

1. ข้อมูลส่วนตัว

ที่อยู่ปัจจุบัน

บุคคลที่สามารถติดต่อได้กรณีฉุกเฉิน

เบอร์โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้กรณีฉุกเฉิน

2. ข้อมูลการตรวจร่างกายแรกเข้าก่อนทดสอบสมรรถภาพทางกาย

- ◇ น้ำหนักตัว.....กิโลกรัม
- ◇ ส่วนสูง.....เซนติเมตร
- ◇ ชีพจร.....ครั้งต่อนาที
- ◇ ระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ.....เซนติเมตร
- ◇ ค่าครีเอทีนไคเนส.....ยูนิตต่อลิตร
- ◇ ค่าระดับน้ำตาลในเลือด.....มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
- ◇ ค่าฮีมาโทคริต.....เปอร์เซ็นต์
- ◇ สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด.....มิลลิลิตรต่อกิโลกรัมต่อ

นาที่

การเตรียมตัวของผู้เข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัย

วันที่.....

Code.....อายุ.....ปี

เข้าร่วมโครงการวิจัยครั้งที่ ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3

- | | |
|-------------------------|---|
| 3 วันก่อนมา | <p>รับประทานอาหารและทำกิจวัตรตามปกติ</p> <p>จดบันทึกรายการอาหารทั้ง 3 วันในแบบฟอร์มที่แจก</p> |
| 1 วันก่อนมา | <p>งดการออกกำลังกาย หรือการใช้แรงงานที่หักโหม</p> <p>งดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีน</p> <p>(เช่น กาแฟ เครื่องดื่มชูกำลัง โค้ก เป๊ปซี่ เป็นต้น)</p> |
| อาหารมื้อเย็นก่อนมา | <p>ห้ามกินนมและผลิตภัณฑ์จากนมหรือไขมัน เช่น นมเนย</p> <p>โยเกิร์ต ครีม ไอศกรีม โอวัลติน ชอคโกแลต</p> <p>ไม่กินอาหารดองทุกชนิด</p> <p>ไม่กินถั่วทุกชนิด</p> |
| ก่อนนอน 2 ชั่วโมง | <p>ดื่มน้ำเปล่าจำนวน 500 ซีซี หรือ 2 แก้วปกติ</p> |
| เวลานอน | <p>ควรนอนตามปกติ และห้ามนอนดึกเกินกว่า 20.00น.</p> <p>งดอาหารทุกชนิดจนกระทั่งมารายงานตัวที่ห้องทดสอบสมรรถภาพ</p> <p>ทางกายในตอนเช้าและรับประทานอาหารได้เมื่อได้รับ</p> <p>อนุญาตจากผู้วิจัย</p> |
| วันเข้าร่วมโครงการวิจัย | <p>มาที่ห้องห้องทดสอบสมรรถภาพทางกายไม่เกิน 06.00 น.</p> |

แบบบันทึกการตรวจร่างกายในวันที่เข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัย

วันที่.....

Code.....อายุ.....ปี

เครื่องมือที่ได้รับ ☐ a ☐ b ☐ c

1. การตรวจร่างกายก่อนการเข้าร่วมโครงการศึกษาวิจัย

- ◇ น้ำหนักตัว.....กิโลกรัม
- ◇ ส่วนสูง.....เซนติเมตร
- ◇ ชีพจร.....ครั้งต่อนาที
- ◇ ค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ.....เซนติเมตร
- ◇ ค่าครีเอทีนไคเนส.....ยูนิตต่อลิตร
- ◇ ค่าระดับฮอร์โมนอินซูลิน.....ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร
- ◇ ค่าระดับน้ำตาลในเลือด.....มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร
- ◇ ค่าฮีมาโทคริต.....เปอร์เซ็นต์
- ◇ ค่าความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน.....ไมโครโมลต่อลิตร
- ◇ ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย..... U CARR

2. การซักประวัติ

- ◇ ในรอบ 1-2 อาทิตย์ที่ผ่านมาท่านมีความเจ็บป่วยหรือไม่ (ระบุชนิด/ เวลาที่เป็น)

.....

.....

- ◇ ในรอบ 1-2 อาทิตย์ที่ผ่านมาท่านได้รับประทานยาใดหรือไม่

(ระบุชนิด/ ปริมาณที่รับประทานใน 1 วัน)

.....

.....

แบบบันทึกผลการทดลอง

วันที่.....เครื่องดื่มที่ได้รับ ☐ a ☐ b ☐ c

Code.....อายุ.....ปี

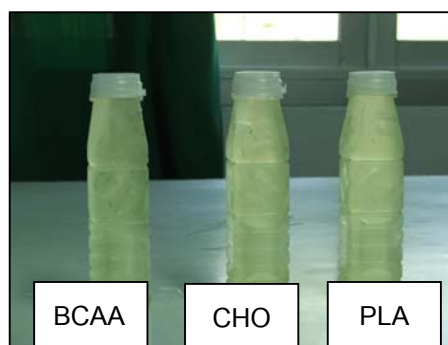
ตัวแปรที่ศึกษาวิจัย	Time									
	Pre-Ex	Ex-15min	Ex-30min	Ex-45min	Rest (15min)	Ex-60min	Ex-75min	Ex-90min	Post-Ex	Post-24hr
น้ำหนักตัว(กิโลกรัม)	✓								✓	
อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
ค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวด กล้ามเนื้อ (เซนติเมตร)	✓	✓		✓			✓		✓	
ฮีมาโทคริต (เปอร์เซ็นต์)	✓		✓	✓			✓		✓	
ระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)	✓		✓	✓			✓		✓	
ระดับฮอร์โมนอินซูลิน (ไมโครยูนิตต่อมิลลิลิตร)	✓			✓					✓	
ความเข้มข้นครีเอทีนไคเนส (ยูนิตต่อลิตร)	✓								✓	✓
ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (ไมโครโมลต่อลิตร)	✓								✓	✓
อนุมูลอิสระในร่างกาย (U CARR)	✓								✓	✓

ระยะเวลาที่สามารถปั่นจักรยานได้.....นาที

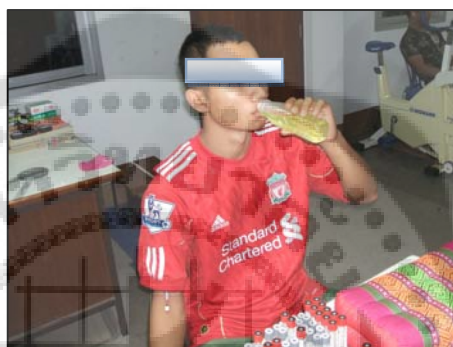
ผู้บันทึก.....



ภาคผนวก ฅ
ประมวลภาพการเก็บรวบรวมข้อมูล



ภาพประกอบ 28 เครื่องดื่มที่ใช้ในการวิจัยทั้ง 3 ชนิด



ภาพประกอบ 29 กลุ่มตัวอย่างดื่มเครื่องดื่มก่อนการทดลอง



ภาพประกอบ 30 กลุ่มตัวอย่างดื่มเครื่องดื่มระหว่างการทดลอง



ภาพประกอบ 31 กลุ่มตัวอย่าง



ภาพประกอบ 32 การเก็บตัวอย่างเลือดก่อนการทดลอง



ภาพประกอบ 33 การเก็บตัวอย่างเลือดที่ช่วงเวลาต่างๆ



ภาพประกอบ 34 การออกกำลังกายแบบหนักสลับเบา



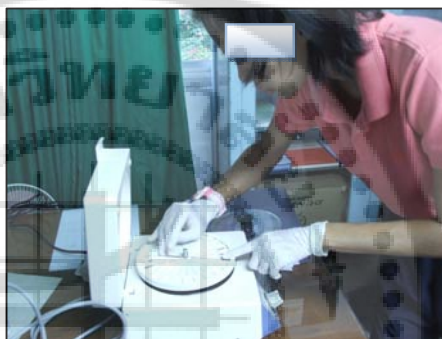
ภาพประกอบ 35 การบันทึกตัวบ่งชี้ต่างๆ ระหว่างการออกกำลังกาย



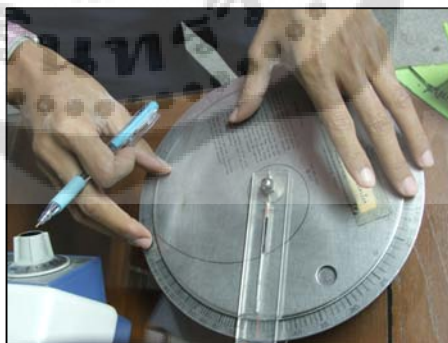
ภาพประกอบ 36 ปั่นจักรยานให้นานที่สุด



ภาพประกอบ 37 ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างเลือด



ภาพประกอบ 38 วิเคราะห์ค่าค่าฮีมาโทคริต



ภาพประกอบ 39 อ่านค่าฮีมาโทคริต



ตาราง 12 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบสองมิติเพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดเครื่องดื่มน้ำกับเวลาที่มีต่อค่าครีเอทีนไคเนส

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
เวลา	354755.728	2	177377.864	8.379	.037*
ชนิดของเครื่องดื่ม	50680.765	2	25340.383	1.197	.391
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเวลากับชนิดของเครื่องดื่ม	84678.568	4	21169.642	.444	.776

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 13 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าครีเอทีนไคเนสในช่วงเวลาต่างๆ จากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

ช่วงเวลา	ค่าครีเอทีนไคเนส (ยูนิตต่อลิตร)		
	BCAA	CHO	PLA
กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที	172.00±17.73	172.44±15.23	171.00±27.20
หลังการออกกำลังกายทันที	220.1 ±27.11	225.67±18.91	232.11± 31.55
หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง	238.22±33.62 ^a	346.89±16.70 ^a	409.33±56.99 ^a

a = แตกต่างจากก่อนออกกำลังกายในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 14 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของเวลาที่มีต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าครีเอทีนไคเนส ที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1) หลังการออกกำลังกายทันที (2) และหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง (3)

เวลา	M	S.D.	(1)	(2)	(3)
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1)	171.81	11.00	-	53.815	159.333**
หลังการออกกำลังกายทันที (2)	225.63	17.80		-	105.519
หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง (3)	331.14	16.96			-

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 15 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบสองมิติเพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดเครื่องดื่มน้ำกับเวลาที่มีต่อค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
เวลา	275.365	5	55.073	20.536	.000**
ชนิดของเครื่องดื่ม	21.949	2	10.975	4.092	.050*
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเวลากับชนิดของเครื่องดื่ม	26.818	10	2.682	37.293	.000**

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 16 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบมิติเดียวค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวด กล้ามเนื้อจากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p
ชนิดของเครื่องดื่มที่ได้รับ	2	21.949	10.975	35.02	.000**
ความคลาดเคลื่อน	106	33.218	0.313		

*** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 17 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เซโนอะมิโนแอซิด BCAA (1) กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต CHO (2) และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลัก PLA (3)

กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	M	S.D.	(1)	(2)	(3)
BCAA (1)	2.50	0.87	-	.598**	.883**
CHO (2)	3.10	0.48		-	.283**
PLA (3)	3.39	0.71			-

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 18 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวด
กล้ามเนื้อที่ช่วงเวลาต่างๆจากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	ค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ (เซนติเมตร)		
	BCAA	CHO	PLA
ช่วงเวลา	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที	1.12±0.13	1.19±0.15	1.17±0.16
ออกกำลังกายนานที่ 15	1.89±0.23 ^{α.β.a}	2.00±0.26 ^{α.β.a}	2.13±0.13 ^{α.β.a}
ออกกำลังกายนานที่ 45	2.10±0.14 ^{α.β.a,b}	2.35±0.32 ^{α.β.a,b}	2.70±0.19 ^{α.β.a,b}
ออกกำลังกายนานที่ 75	3.04±0.20 ^{α.β.a,b,c}	3.12±0.29 ^{α.β.a,b,c}	3.25±0.25 ^{α.β.a,b,c}
หลังออกกำลังกายทันที	3.77±0.37 ^{α.β.a,b,c,d}	5.61±0.24 ^{α.β.a,b,c,d}	6.03±0.32 ^{α.β.a,b,c,d}
หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง	2.93±0.36 ^{α.β.a,b,c,d,e}	4.11±0.18 ^{α.β.a,b,c,d,e}	5.04±0.50 ^{α.β.a,b,c,d,e}

α = BCAA แตกต่างจาก CHO และ PLA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

β = CHO แตกต่างจาก PLA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

a = แตกต่างจากก่อนออกกำลังกาย ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

b = แตกต่างจากออกกำลังกายนานที่ 15 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

c = แตกต่างจากออกกำลังกายนานที่ 45 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

d = แตกต่างจากออกกำลังกายนานที่ 75 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

e = แตกต่างจากหลังออกกำลังกายทันที ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 19 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบมิติเดียวค่าระดับการรับรู้
ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อที่ช่วงเวลาออกกำลังกายต่าง ๆ

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p
เวลา	5	275.365	55.073	201.244	.000**
ความคลาดเคลื่อน	130	35.576	0.274		

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 20 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของเวลาที่มีต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าระดับการรับรู้ความเจ็บปวดกล้ามเนื้อ ที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1) ออกกำลังกาย 15 นาที (2) ออกกำลังกาย 45 นาที (3) ออกกำลังกาย 75 นาที (4) หลังการออกกำลังกายทันที (5) และหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง (6)

เวลา	M	SD.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1)	1.19	0.14		0.84**	1.23**	1.99**	3.99**	2.84**
ออกกำลังกายนาที่ที่ 15 (2)	2.04	0.21		-	0.38**	1.15**	3.10**	1.99**
ออกกำลังกายนาที่ที่ 45 (3)	2.42	0.32			-	0.77**	2.71**	1.61**
ออกกำลังกายนาที่ที่ 75 (4)	3.19	0.29				-	1.95**	0.85**
หลังการออกกำลังกายทันที (5)	5.14	0.04					-	1.10**
หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง (6)	4.03	0.95						-

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 21 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบสองมิติเพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเครื่องดื่มน้ำกับเวลาที่มีต่อค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
เวลา	4540474.09	2	2270237.04	34.337	.003**
ชนิดของเครื่องดื่ม	385029.35	2	192514.67	2.912	.166
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเวลากับชนิดของเครื่องดื่ม	264468.64	4	66167.16	.459	.765

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ช่วงเวลาต่างๆจากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (ไมโครโมลต่อลิตร)		
	BCAA	CHO	PLA
ช่วงเวลา	Mean $\pm$ S.D.	Mean $\pm$ S.D.	Mean $\pm$ S.D.
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที	3372.89 $\pm$ 140.47	3634 .66 $\pm$ 138.87	3441.00 $\pm$ 116.31
หลังการออกกำลังกายทันที	3202 .78 $\pm$ 185.66 ^a	3413.78 $\pm$ 117.14 ^a	3169.67 $\pm$ 189.01 ^a
หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง	2915.33 $\pm$ 154.27 ^a	2896 .44 $\pm$ 192.23 ^a	2912.33 $\pm$ 140.41 ^a

a = แตกต่างจากก่อนออกกำลังกาย ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 23 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของเวลาที่มีต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1) หลังการออกกำลังกายทันที (2) และหลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง (3)

เวลา	M	S.D.	(1)	(2)	(3)
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1)	3482.85	159.13	-	220.77**	574.81**
หลังการออกกำลังกายทันที (2)	3262.07	104.54	-	-	354.03
หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง (3)	2908.03	121.62	-	-	-

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 24 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบสองมิติเพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดเครื่องดื่มกับเวลาที่มีต่อค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
เวลา	3057.95	2	1528.97	.759	.526
ชนิดของเครื่องดื่ม	9188.247	2	4594.12	2.279	.218
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ชนิดของเครื่องดื่ม	8062.42	4	2015.605	.532	.713

ตาราง 25 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าอนุมูลอิสระในร่างกายที่ช่วงเวลาต่างๆ จากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	ค่าอนุมูลอิสระในร่างกาย (U CARR)		
	BCAA	CHO	PLA
ช่วงเวลา	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที	318.56±80.75	335.00±53.00	353.67±54.57
หลังการออกกำลังกายทันที	316.33±57.33	319.89±62.01	339.22±49.21
หลังการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง	302.22±58.16	305.78±78.10	315.56±52.57

ตาราง 26 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบมิติเดียวระยะเวลาในการปั่นจักรยานจากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p
ชนิดเครื่องดื่มที่ได้รับ	2	318.320	159.160	171.523	.000**
ความคลาดเคลื่อน	16	14.847	.928		

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 27 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะเวลาในการปั่นจักรยาน จากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

ระยะเวลาในการปั่นจักรยาน(นาที)	กลุ่มทดลอง		
	BCAA	CHO	PLA
Mean±S.D.	14.54±2.05 ^α	14.18±2.33 ^α	7.09±1.47

^α = BCAA และ CHO แตกต่างจาก PLA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 28 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะเวลาในการปั่นจักรยาน กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มน้ำผลไม้เข้มข้น BCAA (1) กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต CHO (2) และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลัก PLA (3)

กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	M	S.D.	(1)	(2)	(3)
BCAA (1)	14.54	2.05	-	.357	7.456**
CHO (2)	14.18	2.33		-	7.099**
PLA (3)	7.09	1.47			-

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 29 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบสองมิติเพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดเครื่องดื่มกับเวลาที่มีต่อค่าอัตราการเต้นของหัวใจ

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
เวลา	171101.21	7	24443.031	10895.596	.000**
ชนิดของเครื่องดื่ม	9.33	2	4.667	2.080	.162
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเวลากับชนิดของเครื่องดื่ม	31.407	14	2.243	.211	.999

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 30 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราการเต้นของหัวใจที่ช่วงเวลาต่างๆ จากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	อัตราการเต้นของหัวใจ (ครั้งต่อนาที)		
	BCAA	CHO	PLA
ช่วงเวลา	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที	77±1.58	77±1.39	76±1.39
ออกกำลังกายนาทีที่ 15	146±2.65 ^a	147±4.33 ^a	147±3.31 ^a
ออกกำลังกายนาทีที่ 30	155±4.15 ^{a,b}	155±4.77 ^{a,b}	157±3.54 ^{a,b}
ออกกำลังกายนาทีที่ 45	158± 6.26 ^{a,b}	158±5.18 ^{a,b}	158±4.23 ^{a,b}
ออกกำลังกายนาทีที่ 60	147± 2.46 ^{a,c,d}	147±2.40 ^{a,c,d}	147±2.80 ^{a,c,d}
ออกกำลังกายนาทีที่ 75	160±3.33 ^{a,b,c,d,e}	160±2.50 ^{a,b,c,d,e}	160±2.30 ^{a,b,c,d,e}
ออกกำลังกายนาทีที่ 90	161±1.87 ^{a,b,c,d,e,f}	162±1.80 ^{a,b,c,d,e,f}	162±2.18 ^{a,b,c,d,e,f}
หลังการออกกำลังกายทันที	175±1.59 ^{a,b,c,d,e,f,g}	176±1.90 ^{a,b,c,d,e,f,g}	176±1.90 ^{a,b,c,d,e,f,g}

a = แตกต่างจากก่อนออกกำลังกาย ในกลุ่มเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

b = แตกต่างจากออกกำลังกายนาทีที่ 15 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

c = แตกต่างจากออกกำลังกายนาทีที่ 30 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

d = แตกต่างจากออกกำลังกายนาทีที่ 45 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

e = แตกต่างจากออกกำลังกายนาทีที่ 60 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

f = แตกต่างจากออกกำลังกายนาทีที่ 75 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

g = แตกต่างจากออกกำลังกายนาทีที่ 90 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 31 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของเวลาที่มีต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
มาตรฐานอัตราการเต้นของหัวใจ ที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1) ออกกำลังกาย 15
(2) ออกกำลังกาย 30 (3) ออกกำลังกาย 45 (4) ออกกำลังกาย 60 (5)
ออกกำลังกาย 75 (6) ออกกำลังกาย 90 (7) และหลังการออกกำลังกายทันที (8)

เวลา (นาที)	M	SD	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
ก่อนออก กำลังกาย(1)	77.22	1.45	-	69.62**	78.81**	81.40**	70.44**	83.44**	84.77**	98.92**
ออกกำลังกาย นาทีที่ 15 (2)	146.85	3.41	-	9.18**	11.77**	.814	13.81**	15.14**	29.29**	
ออกกำลังกาย นาทีที่ 30 (3)	156.03	4.08	-	2.59	8.37**	4.62**	5.96**	20.11**		
ออกกำลังกาย นาทีที่ 45 (4)	158.63	5.09	-	10.96**	2.03**	3.37**	17.51**			
ออกกำลังกาย นาทีที่ 60 (5)	147.67	2.46	-	13.00**	14.33**	28.481**				
ออกกำลังกาย นาทีที่ 75 (6)	160.67	3.29	-	1.33	15.48**					
ออกกำลังกาย นาทีที่ 90 (7)	162.00	1.90	-	14.14**						
หลังการ ออกกำลังกาย ทันที (8)	176.15	1.83	-							

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 32 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบสองมิติเพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดเครื่องดื่มน้ำกับเวลาที่มีย่อค่าระดับน้ำตาลในเลือด

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
เวลา	3386.62	4	846.656	8.47	.533
ชนิดของเครื่องดื่ม	8993.83	2	4496.91	4.498	.049*
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ ชนิดของเครื่องดื่ม	7998.53	8	999.81	6.466	.000**

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 33 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบมิติเดียวระดับน้ำตาลในเลือดจากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p
ชนิดของเครื่องดื่มที่ได้รับ	2	8993.837	4496.919	21.681	.000**
ความคลาดเคลื่อน	88	18252.163	207.411		

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 34 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับน้ำตาลในเลือด กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มบรานซ์เชนอะมิโนแอซิด BCAA (1) กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต CHO (2) และกลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่มหลัก PLA (3)

กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	M	S.D.	(1)	(2)	(3)
BCAA (1)	77.35	11.02	-	17.51**	.400
CHO (2)	92.86	11.48		-	17.11**
PLA (3)	75.75	9.86			-

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 35 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับน้ำตาลในเลือดที่ช่วงเวลาต่างๆ จากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	ค่าระดับน้ำตาลในเลือด (มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร)		
	BCAA	CHO	PLA
ช่วงเวลา	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที	82.88±4.20	82.77±4.78	82.66±4.48
ออกกำลังกายนาทีที่ 15	75.44±2.81 ^a	107.33±2.63 ^a	76.76±2.01 ^a
ออกกำลังกายนาทีที่ 45	71.22±4.97 ^{a,b}	76.11±2.04 ^{a,b}	74.66±4.07 ^{a,b}
ออกกำลังกายนาทีที่ 75	76.55±7.82 ^{a,c}	112.66±2.73 ^{a,c}	68.81±4.35 ^{a,c}
หลังการออกกำลังกายทันที	70.66±3.61 ^{a,b}	84.44±2.05 ^{a,b}	75.75±3.87 ^{a,b}

α = CHO แตกต่างจาก BCAA และ PLA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

a = แตกต่างจาก Pre-Ex ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

b = แตกต่างจาก Ex-15 min ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

c = แตกต่างจาก Ex-45 min ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 36 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบมิติเดียวของค่าระดับน้ำตาลในเลือด ที่ช่วงเวลาการออกกำลังกายต่างๆ

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p
เวลา	4	3386.622	846.656	4.538	.002**
ความคลาดเคลื่อน	104	19404.578	186.582		

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 37 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของเวลาที่มีต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับน้ำตาล ในเลือดที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1) ออกกำลังกายนาทีที่ 15 (2) ออกกำลังกายนาทีที่ 45 (3) ออกกำลังกายนาทีที่ 75 (4) และ หลังการออกกำลังกายทันที (5)

เวลา	M	S.D.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ก่อนการออกกำลังกาย15นาที (1)	83.66	7.33	-	2.70**	9.66**	2.14**	6.88**
ออกกำลังกายนาทีที่ 15 (2)	86.37	20.13		-	12.37**	.559	.59**
ออกกำลังกายนาทีที่ 45 (3)	74.00	12.78			-	11.81*	2.77
ออกกำลังกายนาทีที่ 75 (4)	85.81	15.13				-	9.03
หลังการออกกำลังกายทันที (5)	76.77	10.62					-

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 38 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบสองมิติเพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดเครื่องดื่มน้ำกับเวลาที่มีต่อค่าฮอร์โมนอินซูลิน

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
เวลา	53.464	2	26.732	34.337	.036*
ชนิดของเครื่องดื่ม	.854	2	192514.67	.427	.877
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ ชนิดของเครื่องดื่ม	12.613	4	66167.16	3.153	.742

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 39 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าฮอร์โมนอินซูลินที่ช่วงเวลาต่างๆ
จากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

ช่วงเวลา	กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	ค่าฮอร์โมนอินซูลิน (ไมโครยูนิตต่อลิตร)		
		BCAA	CHO	PLA
		Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที		4.31± 1.44	4.39±1.43	4.89±1.32
ออกกำลังกายนาที่ที่ 45		2.36±0.85 ^a	2.89±0.83 ^a	2.39±0.60 ^a
หลังการออกกำลังกายทันที		4.04±1.70	2.97± 0.61	2.70± 0.37

a = แตกต่างจากก่อนออกกำลังกาย ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 40 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของเวลาที่มีต่อค่าฮอร์โมนอินซูลินที่ช่วงเวลาก่อนการ
ออกกำลังกาย15 นาที (1) ออกกำลังกายนาที่ที่ 45 (2) และหลังการออกกำลังกายทันที (3)

เวลา	M	S.D.	(1)	(2)	(3)
ก่อนการออกกำลังกาย15 นาที (1)	4.52	0.35	-	1.95*	1.32
ออกกำลังกายนาที่ที่ 45 (2)	2.57	0.20		-	.64
หลังการออกกำลังกายทันที (3)	3.21	0.35			-

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตาราง 41 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบสองมิติเพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจาก ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดเครื่องดื่มนับกับเวลาที่มีต่อค่าฮีมาโทคริต

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	p
เวลา	431.822	4	107.956	22.915	.000**
ชนิดของเครื่องดื่ม	42.533	2	16.267	3.453	.083
ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ ชนิดของเครื่องดื่ม	37.689	8	4.711	1.376	.214

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 42 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าฮีมาโทคริตในช่วงเวลาต่างๆจากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม	ค่าฮีมาโทคริต (เปอร์เซ็นต์)		
	BCAA	CHO	PLA
ช่วงเวลา	Mean±S.D.	Mean±S.D.	Mean±S.D.
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที	44.22±2.11	44.67±2.00	44.37±1.30
ออกกำลังกายนาที่ที่ 15	44.44±2.01	45.22±1.72	45.44±1.33
ออกกำลังกายนาที่ที่ 45	45.78±1.64 ^a	46.33±1.32 ^a	46.56±0.88 ^a
ออกกำลังกายนาที่ที่ 75	45.89±1.62 ^{a,b}	46.78±1.39 ^{a,b}	47.11±0.93 ^{a,b}
หลังการออกกำลังกายทันที	48.56±1.01 ^{a,b,c,d}	48.56±0.88 ^{a,b,c,d}	51.56±1.48 ^{a,b,c,d}

a = แตกต่างจากก่อนออกกำลังกาย 15 นาที ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

b = แตกต่างจากออกกำลังกายนาที่ที่ 15 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

c = แตกต่างจากออกกำลังกายนาที่ที่ 45 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

d = แตกต่างจากออกกำลังกายนาที่ที่ 75 ในกลุ่มเดียวกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 43 เปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของเวลาที่มีต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบน

มาตรฐานค่าฮีมาโทครีท ที่ช่วงเวลาก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1) ออกกำลังกายนาทีที่ 15 (2) ออกกำลังกายนาทีที่ 45 (3) ออกกำลังกายนาทีที่ 75 (4) และหลังการออกกำลังกายทันที (5)

เวลา (นาที)	M	S.D.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ก่อนการออกกำลังกาย 15 นาที (1)	44.37	1.77	-	.66	1.85**	2.22**	5.18**
ออกกำลังกายนาทีที่ 15 (2)	45.04	1.69		-	15.18	1.55*	4.51*
ออกกำลังกายนาทีที่ 45 (3)	46.22	1.31			-	.37	3.33**
ออกกำลังกายนาทีที่ 75 (4)	46.60	1.39				-	2.96**
หลังการออกกำลังกายทันที (5)	49.56	2.96					-

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตาราง 44 วิเคราะห์ความแปรปรวนรูปแบบการทดลองวัดซ้ำแบบมิติเดียวค่าน้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกายจากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p
ชนิดของเครื่องดื่มที่ได้รับ	2	.021	.010	.125	.883
ความคลาดเคลื่อน	16	1.326	.083		

ตาราง 45 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าน้ำหนักตัวก่อนและหลังการออกกำลังกายจากการได้รับเครื่องดื่มต่างชนิดกัน

ค่าน้ำหนักตัวก่อนและหลัง การออกกำลังกาย (กิโลกรัม)	กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม		
	BCAA	CHO	PLA
Mean±S.D.	0.81±0.32	0.79±0.30	0.74±0.28

ตาราง 46 ปริมาณสารอาหารวิตามินและเกลือแร่ที่บริโภคต่อวันก่อนการทดลอง

สารอาหารบริโภค	กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม			p
	BCAA	CHO	PLA	
วิตามินเอ (RE)				
Mean±S.D.	191.379±2.76	194.82±0.56	194.07±0.66	.344
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	172.43-198.25	193.21-197.04	191.48-197.04	
วิตามินอี (RE)				
Mean±S.D.	0.35±0.01	0.34±0.01	0.35±0.01	.812
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	0.29-0.41	0.30-0.41	0.30-0.42	
วิตามินบีหนึ่ง (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	1.25±1.06	1.24±1.26	1.06±0.19	.242
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	1.03-1.90	1.02-1.91	1.03-1.20	
วิตามินบีสอง (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	0.80±0.31	0.85±0.08	0.82±0.24	.338
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	0.59-0.85	0.82-0.89	0.68-0.90	
วิตามินบีสาม (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	16.25±1.12	14.88±0.29	14.76±0.42	.318
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	14.14-16.58	14.13-16.46	13.18-16.58	
วิตามินบีหก (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	0.09±0.01	0.10±0.10	0.10±0.07	.213
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	0.05-0.12	0.07-0.16	0.08-0.14	

ตาราง 46 (ต่อ)

สารอาหารบริโภค	กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม			
	BCAA	CHO	PLA	<i>p</i>
วิตามินบีสิบสอง (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	0.09±0.01	0.09±0.01	0.10±0.00	.655
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	0.05-0.12	0.04-0.13	0.08-0.12	
วิตามินซี (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	24.60±1.48	24.60±1.48	24.60±1.48	.558
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	24.20-25.40	24.13-25.40	24.11-25.33	
เบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัม)				
Mean±S.D.	732.75±1.87	733.32±1.98	732.70±1.95	.255
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	728.01-743.43	729.78-744.11	728.01-743.43	
เรตินอล (ไมโครกรัม)				
Mean±S.D.	132.72±0.68	133.43±0.43	133.17±0.37	.278
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	130.13-136.16	132.33-135.35	132.23-135.10	
ไฟเตต (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	17.18±0.11	17.24±0.21	17.49±0.18	.367
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	16.47-17.52	16.29-18.25	16.43-18.25	
เหล็ก (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	11.68±0.14	11.83±1.87	11.80±0.20	.632
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	11.16-12.50	11.11-11.84	11.07-12.88	
ซีลีเนียม (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	0.12±0.01	0.12±0.01	0.12±0.01	.390
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	0.11-0.16	0.10-0.15	0.10-0.15	
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	23.47±0.52	23.49±0.58	23.48±0.54	.953
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	22.55-26.22	22.39-26.88	22.45-26.44	

ตาราง 46 (ต่อ)

สารอาหารบริโภค	กลุ่มที่ได้รับเครื่องดื่ม			
	BCAA	CHO	PLA	<i>p</i>
โปรแตสเซียม (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	1219.39±22.44	1221.15±22.27	1224.51±24.91	.363
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	1174.45-1352.22	1187.22-1354.14	1177.63-1357.14	
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	606.39±5.66	606.53±5.63	596.69±7.61	.145
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	597.02-636.45	597.55-636.45	546.06-636.45	
แคลเซียม (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	465.28±3.12	465.89±1.79	465.61±1.83	.975
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	452.48-485.10	462.32-475.10	461.32-475.10	
สังกะสี (มิลลิกรัม)				
Mean±S.D.	0.57±0.01	0.56±0.02	0.57±0.03	.233
ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	0.53-0.63	0.51-0.63	0.52-0.63	



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาวกรณิทิพย์ ลิ่มนรรัตน์
วันเดือนปีเกิด	29 มิถุนายน พ.ศ. 2518
สถานที่เกิด	จังหวัดสระบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	28/1 หมู่ 5 ตำบลสี่คลอง อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สถาบันการพลศึกษาวิทยาเขตชัยภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2541	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จาก มหาวิทยาลัยมหิดล
พ.ศ. 2547	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2555	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและกีฬา หมวดวิชาเอกสรีรวิทยาการออกกำลังกายและกีฬา จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ