# วิทยานิพนธ์

## ผลของความหนักในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ

## THE EFFECT OF AEROBIC EXERCISE INTENSITIES ON ANTIOXIDANTS CAPACITY

นางปรียาลักษณ์ โคหนองบัว

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๑

# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)

**ปริญญา**

วิทยาศาสตร์การกีฬา — **สาขา**

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา — **ภาควิชา**

**เรื่อง** ผลของความหนักในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ

The Effect of Aerobic Exercise Intensities on Antioxidants Capacity

**นามผู้วิจัย** นางปรียาลักษณ์ โคหนองบัว

**ได้พิจารณาเห็นชอบโดย**

**ประธานกรรมการ** .....

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิลักษณ์ เทียนทอง, วท.ม. )

**กรรมการ** .....

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย, Ed.D. )

**กรรมการ** .....

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิลมณี ศรีบุญ, Ph.D. )

**ประธานสาขาวิชา** .....

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริพร ศศิมณฑลกุล, Ph.D. )

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว**

.....

( รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr. )

**คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

**วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

# ผลของความหนักในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ

The Effect of Aerobic Exercise Intensities on Antioxidants Capacity


โดย

นางปรียาลักษณ์ โคหนองบัว


เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)
พ.ศ. 2551

ปรียาลักษณ์ โคหนองบัว 2551: ผลของความหนักในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิลักษณ์ เทียนทอง, วท.ม. 115 หน้า

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับปานกลาง และความหนักสูงที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ และการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันโดยใช้ระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์เป็นตัวบ่งชี้ กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนิสิตหญิงจากมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง จำนวน 30 คน สุขภาพแข็งแรง และไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำมาก่อน แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 10 คน คือ 1) กลุ่มควบคุม ปฏิบัติกิจวัตรประจำวันปกติ 2) กลุ่มทดลองที่ 1 ฝึกโปรแกรมออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง และ 3) กลุ่มทดลองที่ 2 ฝึกโปรแกรมออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง ทั้งนี้กลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ จากนั้นทำการทดสอบหาระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) และมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ในเลือด

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า กลุ่มทดลองที่ 2 มีระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) เพิ่มขึ้นและมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่อย่างไรก็ตาม กลุ่มทดลองที่ 1 มีแนวโน้มของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) เพิ่มขึ้น และมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม

ผลการทดลองพบว่า โปรแกรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์มีประโยชน์ในการป้องกันการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันโดยการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมออาจจะกระตุ้นให้มีการเพิ่มขึ้นของระดับสารต้านอนุมูลอิสระในเลือด

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Preeyalak Konongbua 2008: The Effect of Aerobic Exercise Intensities on Antioxidants Capacity. Master of Science (Sports Science), Major Field: Sports Science, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Apilak Teantong, MSc. 115 pages.

This study was undertaken to investigate the effect of moderate intensity aerobic exercise and high intensity aerobic exercise on total antioxidant capacity (TAC) and the level of lipid peroxidation using a malondialdehyde (MDA) level as an indicator. Studied subjects included 30 healthy women from Thaksin University, Phattalung Campus, who had not been engaged in regular aerobic exercise. Subjects were divided into 3 groups: 1) the control group (n = 10) was assigned to perform regular activities; 2) the experimental group I (n = 10) was trained with a moderate intensity exercise program; and 3) the experimental group II (n = 10) was trained with a high intensity exercise program. The training regime for both experimental groups I and II was conducted 3 days per week for a period of 10 weeks. The blood levels of TAC and MDA were then measured at the end of the training period.

Results showed that there were a significant increase of the TCA level and a significant decrease of the MDA level among subjects from the experimental group II when compared to the control group (both $p < 0.05$). Subjects from the experimental group I also tended to have an increased level of TAC and a decreased level of MDA when compared to the control group.

The present study demonstrates that a regular aerobic exercise over the 10 week period can prevent the lipid peroxidation by increasing the TAC level. This study provides evidence supporting the importance of the aerobic exercise.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการแนะนำ ตรวจสอบความถูกต้อง และปรับปรุงแก้ไขจาก ผศ. อภิลักษณ์ เทียนทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. ราตรี เรืองไทย และผศ. ดร. นิลมณี ศรีบุญ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้ง รศ. ดร. เรณุมาศ มาอุ่น ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณ มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.นัฏฐกาล ลีลารุ่งระยับ ผู้เชี่ยวชาญทางด้านสารต้านอนุมูลอิสระ กลุ่มวิจัยเคมีคลินิกและวิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาสอนเทคนิคการตรวจสอบระดับสารต้านอนุมูลอิสระ จนมีความเชี่ยวชาญ รวมถึงให้คำปรึกษาในการวิเคราะห์ค่าสารต้านอนุมูลอิสระ ตลอดการทำงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณผกาพร ธนปริสุทธิ นักวิทยาศาสตร์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ช่วยดูแลให้คำปรึกษาในการเตรียมสารเคมี และการใช้เครื่องมือ เพื่อให้การวิจัยมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น และขอขอบคุณ อ.ดร.นพ. พลวัฒน์ ติ่งเพชร ที่ช่วยแนะนำและแก้ไขในการเขียนบทคัดย่อ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาสาสมัครทั้ง 30 คน ที่อุทิศตัวเข้าร่วมโปรแกรมอย่างสม่ำเสมอ ขอขอบคุณคณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือในการทดลอง ตลอดระยะเวลา 3 เดือน ตั้งแต่ทดลองก่อนเริ่มงานวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ คุณกิตติกร ธรรมวิริยะศิริ และคุณนคร ชูสอนสาย ที่ช่วยประสานงาน ในการดำเนินงานวิจัยอย่างดีเสมอมา

ปรียาลักษณ์ โคหนองบัว

เมษายน 2551

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (2) |
| สารบัญภาพ | (7) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | (8) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 5 |
| การตรวจเอกสาร | 8 |
| อุปกรณ์และวิธีการ | 24 |
| อุปกรณ์ | 24 |
| วิธีการ | 24 |
| ผลและวิจารณ์ | 31 |
| สรุปและข้อเสนอแนะ | 51 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 55 |
| ภาคผนวก | 60 |
| ภาคผนวก ก การทดสอบการกระจายของข้อมูล | 61 |
| ภาคผนวก ข ค่าสถิติของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC), มาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) | 66 |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลผู้เข้าร่วมวิจัย และใบยินยอมด้วยความสมัครใจ | 89 |
| ภาคผนวก ง การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ | 92 |
| ภาคผนวก จ การทดสอบ | 100 |
| ภาคผนวก ฉ ใบบันทึกการฝึก | 107 |
| ภาคผนวก ช การวิเคราะห์ค่าสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) และมาลอนอัลดีไฮล์ (MDA) | 110 |
| ประวัติการศึกษาและการทำงาน | 115 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ลักษณะทางกายของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มก่อนการทดลอง | 32 |
| 2 | แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) ของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม | 34 |
| 3 | แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) ของระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม | 40 |
| 4 | แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม | 46 |

**ตารางผนวกที่**

| | | |
|---|---|---|
| ก1 | การทดสอบการกระจายข้อมูลของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) | 62 |
| ก2 | การทดสอบการกระจายข้อมูลของระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) | 63 |
| ก3 | การทดสอบการกระจายข้อมูลของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) | 64 |

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางผนวกที่** **หน้า**


ข1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกทั้ง 3 วิธี กับระยะเวลาในการฝึกที่มีต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง 65

ข2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง 66

ข3 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey 67

ข4 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey 68

ข5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ภายในกลุ่มตัวอย่าง 69

ข6 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 2 70

ข7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกทั้ง 3 วิธี กับระยะเวลาในการฝึกที่มีต่อระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง 71

ข8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของต่อระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง 72

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางผนวกที่** **หน้า**


ข9 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey 73

ข10 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey 74

ข11 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ภายในกลุ่มตัวอย่าง 75

ข12 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 1 76

ข13 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 2 77

ข14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกทั้ง 3 วิธี กับระยะเวลาในการฝึกที่มีต่ออัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง 78

ข15 การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ภายหลังเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกกับระยะเวลาในการฝึกโดยวิธีของ Tukey 79

ข16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง 80

# สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| ข17 | การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey | 81 |
| ข18 | การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของมีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey | 82 |
| ข19 | วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ภายในกลุ่มตัวอย่าง | 83 |
| ข20 | การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มควบคุม | 84 |
| ข21 | การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 1 | 85 |
| ข22 | การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 2 | 86 |
| จ1 | ตารางประมาณค่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) สำหรับวิธีของแอสทรานด์-ไรท์มิง (หญิง) | 102 |
| จ2 | ตารางปรับค่ากับอายุผู้ทดสอบ | 103 |
| จ3 | เกณฑ์ในการตัดสินอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทยในเพศหญิง (มล./กก./นาที) | 104 |
| จ4 | เกณฑ์ในการตัดสินอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดในเพศหญิง (มล./กก./นาที) | 104 |

# สารบัญตาราง (ต่อ)


| ตารางผนวกที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| จ5 | เกณฑ์ในการตัดสินดัชนีมวลกาย (BMI) (กิโลกรัม/เมตร$^2$) | 105 |
| จ6 | เกณฑ์ในการตัดสินเปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกายของประชาชนไทย เพศหญิง (%BF) | 106 |
| ช1 | แสดงการเตรียม standard curve จาก Stock MDA | 114 |

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | แสดงในสภาวะพัก ของบุคคลที่มีสุขภาพดี มีความสมดุลระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระ และ ROS ที่เกิดขึ้น | 13 |
| 2 | แสดงในสภาวะที่ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีเพียงพอ แต่ ROS ที่เกิดขึ้นมีมากกว่าปกติ จึงก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress | 13 |
| 3 | แสดงในสภาวะที่ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีน้อย แม้ว่า ROS ที่เกิดขึ้นมีอยู่ในระดับปกติ จึงก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress | 14 |
| 4 | แสดงในสภาวะที่ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีน้อย และ ROS ที่เกิดขึ้นมีมากกว่าปกติ จึงก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress ที่รุนแรง | 14 |
| 5 | แสดงค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) ของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม | 35 |
| 6 | แสดงค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) ของระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม | 41 |
| 7 | แสดงค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม | 47 |

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | | |
|---|---|---|
| กก. | = | กิโลกรัม |
| ซม. | = | เซนติเมตร |
| มล. | = | มิลลิลิตร |
| ABTS | = | 2-2' azino-bis (3- ethtbenzothaizoline-6 sulphonic acid) |
| ATP | = | adenosine triphosphate |
| BP | = | blood pressure |
| bpm | = | beat per minute |
| CAT | = | catalase |
| DNA | = | deoxyribonucleic acid |
| FW | = | formula weight |
| GPx | = | glutathione peroxidase |
| HR | = | heart rate |
| HRR | = | heart rate reserve |
| kpm | = | kilopound per minute |
| MDA | = | malondialdehyde |
| METS | = | metabolic equivalent total |
| MHR | = | maximal heart rate |
| ml | = | milliliter |
| mm | = | millimeter |
| mM | = | millimolar |
| MW | = | molecular weight |
| nM | = | nanomole |
| NSS | = | normal saline |
| RPE | = | rate of perceived exertion |
| RHR | = | resting heart rate |
| SD | = | standard deviation |
| TAC | = | total antioxidants capacity |

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | | |
|---|---|---|
| TCA | = | trichloroacetic acid |
| TBA | = | thiobarbituric acid |
| TMP | = | trimethylpropane |
| Trolox | = | 6-hydroxy-2,5,7,8 – tetramethylchroman-2-carboxylic acid |
| µl | = | microliter |
| $\bar{X}$ | = | mean |

# ผลของความหนักในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ

# The Effect of Aerobic Exercise Intensities on Antioxidants Capacity

## คำนำ

การออกกำลังกายมีความสำคัญในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ส่งผลต่อทั้งสุขภาพทางกายและจิต ทำให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี และมีอายุยืนนานขึ้น (Alessio and Blasi, 1997) การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอทำให้มีการปรับตัวในการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด กล้ามเนื้อและระบบการทำงานของอวัยวะต่างๆ ทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรง สามารถประกอบภารกิจการทำงานได้มากขึ้น มีความอดทนและทำงานได้นานขึ้น มีความคล่องแคล่วว่องไว กระฉับกระเฉง และส่งเสริมบุคลิกภาพให้ดีขึ้น นอกจากนั้นการออกกำลังกายยังทำให้ภูมิต้านทานต่อโรคดีขึ้น (Hoeger and Hoeger, 1997)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นการออกกำลังกาย ที่มีผลต่อการพัฒนาของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดและป้องกันอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบหัวใจและหลอดเลือดได้ ซึ่งการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนี้ ทำให้มีการเพิ่มของอัตราการใช้ออกซิเจนในร่างกายสูงมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของกล้ามเนื้อลาย ออกซิเจนเกือบทั้งหมดจะถูกใช้ในการสร้าง ATP ในไมโตคอนเดรีย โดยออกซิเจนส่วนหนึ่งจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระในระหว่างมีการถ่ายทอดอิเลคตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำในกระบวนการลูกโซ่ขนส่งอิเลคตรอน (electron transport chain) ดังนั้นยิ่งมีการใช้ออกซิเจนในไมโตคอนเดรียมากขึ้นเท่าใด ก็จะส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น นอกจากนั้นพบว่า catecholamines ที่หลั่งออกมาในปริมาณมากขณะมีการออกกำลังกายก็ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระเช่นเดียวกัน (Ji,1995; Urso and Clarkson, 2003) อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเป็นโมเลกุลที่มีอิเลคตรอนซึ่งไม่ได้เข้าคู่ จึงมีความไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นที่อยู่ข้างเคียง เพื่อให้โมเลกุลของมันเสถียรขึ้น โดยการรับเอาอิเลคตรอนมาจากโมเลกุลข้างเคียง ทำให้โมเลกุลนั้นเกิดเป็นอนุมูลอิสระ และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆต่อไป เรียกว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ซึ่งจะก่อให้เกิด reactive oxygen species (ROS) เช่น อนุมูลซุปเปอร์

ออกไซด์ ($O^{\cdot}_2$) อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) และ อนุมูลเปอร์ออกซิล ($LOO^{\cdot}$) เป็นต้น (Bunger, 1992; Moller *et al.*, 1996)

ถึงแม้มนุษย์เราจะมีระบบการต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถควบคุมการเกิดขึ้นของอนุมูลอิสระเพื่อลดการทำลายเซลล์ในร่างกายได้ ซึ่งได้แก่ superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) และ glutathione peroxidase (GPx) รวมถึงอาหารที่รับประทานก็เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี วิตามินซี วิตามินเอ และ คาร์โรตินอยด์ เป็นต้น (Urso and Clarkson, 2003) แต่พบว่าการออกกำลังกายทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างระดับของอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายได้ และเมื่อร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จะส่งผลให้เกิดภาวะ oxidative stress และนำไปสู่การทำลายสมดุลของระบบต่างๆภายในร่างกาย โดยการทำลายองค์ประกอบหลักของเซลล์ เช่น การทำลายหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์อันนำไปสู่การตายของเซลล์ การทำลายดีเอ็นเอ และการทำลายโปรตีน ทำให้โปรตีนไม่สามารถประกอบหน้าที่ได้ตามปกติ (Moller *et al.*, 1996) ซึ่งส่งผลต่อความสามารถทางกาย การล้าของกล้ามเนื้อ และการทำลายของกล้ามเนื้อ (Urso, 2003; Bonina *et al.*, 2005) นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดพยาธิสภาพในโรคสำคัญต่างๆ มากมายในระยะยาว เช่น โรคหลอดเลือดแข็งตัว (Atherosclerosis) โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน (autoimmune diseases) โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท เช่น พาร์คินสัน (Pakinson's disease) และอัลไซม์เมอร์ (Alzhemer's disease) รวมถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (carcinogenesis) เป็นต้น (Moller *et al.*, 1996)

Meijer *et al.* (2001) ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อภาวะ oxidative stress ในผู้สูงอายุ โดยการปั่นจักรยาน ที่ความหนักต่ำกว่าสูงสุด (submaximal exercise) เป็นเวลา 45 นาที พบว่าก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress ขึ้นทั้งในระหว่างการออกกำลังกายและภายหลังการออกกำลังกายทันที สอดคล้องกับ Aguilo *et al.* (2005) ที่พบว่าการออกกำลังกาย โดยการปั่นจักรยานเสือภูเขาอย่างหนักจนอ่อนล้า ทำการปั่นระยะทาง 171 กิโลเมตรก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress หลังการออกกำลังกาย นอกจากนั้น Leelarungrayup *et al.* (2005) ได้ทำการทดสอบการออกกำลังกายโดยการวิ่งบนลู่กลจนอ่อนล้า พบว่ามีผลต่อการเกิดภาวะ oxidative stress เช่นเดียวกัน และจากการศึกษาที่ผ่านมามีงานวิจัยจำนวนมากที่รายงานถึงการออกกำลังกายในรูปแบบต่างๆ แบบฉับพลันที่ก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress (Kelle *et al.*, 1998; Wilson *et al.*, 2001; Ilhan *et al.*, 2004) เช่นเดียวกัน

แต่อย่างไรก็ตามการออกกำลังกายที่มีความสม่ำเสมอ หรือโปรแกรมการฝึกการออกกำลังกาย (training) อาจมีผลให้ร่างกายมีการปรับตัวสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นต่อเซลล์ซึ่งส่งผลดีต่อร่างกาย ดังการศึกษาของ Robertson *et al.* (1991) พบว่านักวิ่งที่มีการฝึกซ้อมแบบทนทานทั้งการฝึกซ้อมในระดับต่ำ (16-43 กิโลเมตรต่อสัปดาห์) และระดับสูง (80-147 กิโลเมตรต่อสัปดาห์) มีระดับ glutathione ในเม็ดเลือดแดงสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกันกับ Brites *et al.* (1999) พบว่านักกีฬาฟุตบอลที่เข้าร่วมโปรแกรมฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอสัปดาห์ละ 20 ชั่วโมง อย่างน้อย 1 ปี ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมาเพิ่มขึ้น

หทัยกาญจน์ (2543) ศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยเล่นฟุตบอล เต้นแอโรบิก แบดมินตัน และวิ่ง สัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ามีค่า TAC (total antioxidant capacity) ซึ่งบ่งชี้ระดับสารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมาเพิ่มสูงขึ้น และค่า MDA (Malondialdehyde) ซึ่งบ่งชี้การเกิดกระบวนการลิปิดเปอร์ออกซิเดชันลดลง สอดคล้องกับ Sukontachaya (2001) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในผู้สูงอายุ โดยให้ทำการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 70% ของอัตราสำรองการเต้นหัวใจสูงสุด เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ซึ่งพบว่าค่า TAC เพิ่มสูงขึ้น และค่า MDA ลดลงเช่นเดียวกัน ในขณะที่ Miyazaki *et al.* (2001) ที่รายงานว่าผลของโปรแกรมการออกกำลังกายแบบทนทานในระดับความหนักสูง เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยการวิ่งที่ 80% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 60 นาที พบว่ามีผลเพิ่มระดับ superoxide dismutase และ glutathione peroxidase ในทางตรงข้าม Tiidus *et al.* (1996) พบว่าโปรแกรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการปั่นจักรยาน ที่ระดับความหนักปานกลางคือ 70% ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 35 นาที 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระในกล้ามเนื้อ รวมทั้ง Dernbach *et al.* (1993) พบว่าการฝึกซ้อมกีฬาพายเรือที่ความหนักสูงคือ 70% ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 65 นาที และ มากกว่าหรือเท่ากับ 90% ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 38 นาที รวมระยะเวลา 4 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อการเกิดภาวะ oxidative stress

จากโปรแกรมการออกกำลังกายซึ่งส่งผลให้ร่างกายมีการปรับตัวในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นนั้นยังมีข้อขัดแย้งกันอยู่บ้าง อันเนื่องมาจากรูปแบบการออกกำลังกาย ความหนัก และระยะเวลาในการออกกำลังกาย รวมถึงตัวบ่งชี้ถึงระดับสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย และยังไม่มีข้อแน่ชัดว่า ระดับความหนักในโปรแกรมการออกกำลังกายควรอยู่ในระดับใดจึงจะ

เหมาะสม และส่งผลดีต่อร่างกายมากที่สุด ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของความหนักในการออกกำลังกายที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายที่ความหนักระดับความหนักปานกลาง และความหนักสูงที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ

2. เพื่อหาค่าความแตกต่างของความหนักในการออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลางและความหนักสูงที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ

## สมมุติฐาน

การออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลางและความหนักสูง มีผลต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกัน

## ขอบเขตของการวิจัย

1. กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนิสิตปริญญาตรี เพศหญิง ที่มีอายุ 19-21 ปี ของมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ในปีการศึกษา 2550

2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

2.1 ตัวแปรอิสระ (independent variable) คือโปรแกรมออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง และความหนักสูง

2.2 ตัวแปรตาม (dependent variable) คือ ระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$)

## ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ผู้เข้าร่วมวิจัยต้องบันทึกรายการอาหารที่รับประทานก่อนเริ่มการทดลอง 1 สัปดาห์ และระหว่างการการทดลอง 2 สัปดาห์ และแจ้งให้ผู้วิจัยทราบ ถ้ารับประทานอาหารที่แตกต่างไปจากเดิม โดยกลุ่มตัวอย่างถูกกำหนดให้รับประทานอาหารในโรงอาหารกลาง และโรงอาหารหอพักภายในมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุงในร้านที่กำหนดตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

2. กลุ่มตัวอย่าง มีความเต็มใจเข้าร่วมการวิจัย โดยเซ็นต์ชื่อในใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย และรับทราบขั้นตอนการดำเนินการ รวมทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถถอนตัวออกจากการวิจัยได้ตลอดเวลาถ้ามีเหตุอันควร

## นิยามศัพท์

อนุมูลอิสระ (free radical) หมายถึง โมเลกุลใดๆ ที่มีอิเลคตรอนไม่เข้าคู่ (single or unpaired electrons) มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งในวงโคจรของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลนั้นมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นในการไปรับหรือให้อิเลคตรอน

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) หมายถึง สารชีวโมเลกุลอันดับแรกที่ช่วยป้องกันความเสียหายของเซลล์หรือเนื้อเยื่อที่เกิดจากอนุมูลอิสระ โดยมีฤทธิ์ทำลายหรือต้านอนุมูลอิสระให้เป็นสารที่ไม่มีอันตราย

oxidative stress หมายถึงภาวะที่ร่างกายมีระดับสารต้านอนุมูลอิสระไม่สมดุลกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดความเครียด หรือความกดดันของเซลล์ เนื่องมาจากการถูกเติมออกซิเจนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยมีโมเลกุลเป้าหมายที่สำคัญคือ ดีเอ็นเอ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และลิปิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณผนังเซลล์ และเนื้อเยื่อ

มาลอนไดอัลดีไฮล์ (malondialdehyde) หมายถึงสารในกลุ่มอัลดีไฮล์ ที่ถูกปล่อยออกมาภายในร่างกาย เมื่ออนุมูลอิสระเข้าทำลายกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีลูกโซ่ที่เรียกว่า ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน

ลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) หมายถึงกระบวนการที่พบได้ในลิปิดซึ่งเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งพบมากทั่วไปในเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นสาเหตุให้เกิดสารไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอน เช่น pentane และสารประกอบอัลดีไฮล์ คือมาลอนไดอัลดีไฮล์ (malondialdehyde)

# การตรวจเอกสาร

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีหัวข้อต่างๆ ดังนี้

หลักการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

อนุมูลอิสระ

การเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน

สารต้านอนุมูลอิสระ

การออกกำลังกายต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระและการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน

การวัดสารต้านฤทธิ์ออกซิเดชัน

## หลักการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นการออกกำลังกายที่มีผลดีต่อสมรรถภาพหัวใจและหลอดเลือด ก่อให้เกิดการปรับตัวทางสรีรวิทยาหลายประการเช่น การเพิ่มขึ้นของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการจับระหว่างออกซิเจนกับฮีโมโกลบิน เพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวใจ และอัตราชีพจรขณะพักลดลง เป็นต้น (Hoeger and Hoeger, 1997) สำหรับรูปแบบในการออกกำลังกายนั้นควรเป็นรูปแบบที่มีการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อมัดใหญ่ เช่น การเดิน การวิ่งเหยาะๆ การปั่นจักรยาน การว่ายน้ำ และการเต้นแอโรบิกเป็นต้น

หลักการพื้นฐานของโปรแกรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ในการพัฒนาสมรรถภาพระบบหัวใจและหายใจ ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 5 ประการคือ ชนิด (mode) ความหนักในการออกกำลังกาย (intensity) ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (duration) ความถี่ในการออกกำลังกาย (frequency) และความก้าวหน้า (progression)

1. ชนิด (mode)

เป้าหมายหลักของโปรแกรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิก คือการพัฒนาและคงสภาพสมรรถภาพของระบบหัวใจและหายใจ ในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกมีการใช้กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่อย่างต่อเนื่อง และเป็นจังหวะอย่างสม่ำเสมอ ในขั้นเริ่มต้นและขั้นก้าวหน้า (initial conditioning and improvement stage) สำหรับโปรแกรมการออกกำลังกาย ความหนักในการออกกำลังกายมีบทบาทสำคัญเป็นอันมาก ในโปรแกรมฝึก ดังนั้นจึงควรเลือกชนิดของการออกกำลังกายให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล เพื่อสามารถรักษาระดับความหนักในการออกกำลังกายที่คงที่ในขณะการออกกำลังกายได้ กิจกรรมการออกกำลังกายที่ไม่ต้องอาศัยทักษะมาก เช่น การเดินออกกำลังกาย การปั่นจักรยาน (ในห้องออกกำลังกาย) และการวิ่ง จึงมีความเหมาะสมกับขั้นเริ่มต้นและพัฒนานี้ ส่วนกิจกรรมการออกกำลังกาย ที่ต้องอาศัยทักษะที่สูงขึ้น เช่น การว่ายน้ำ การเต้นแอโรบิก การปั่นจักรยาน และการว่ายน้ำ ยังคงสามารถแนะนำให้ใช้ได้ในขั้นเริ่มต้นและขั้นก้าวหน้า ในโปรแกรมการออกกำลังกายได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทักษะของผู้ออกกำลังกายแต่ละคน ว่าสามารถรักษาระดับความคงที่ของความหนักในการออกกำลังกายในกิจกรรมนั้นได้หรือไม่ สำหรับขั้นรักษาให้คงสภาพ (maintenance stage) ของโปรแกรมการออกกำลังกาย ควรเป็นกิจกรรมที่มีความสนุกสนาน มีความหลากหลายของทักษะและความหนักในการออกกำลังกายสูง เช่น บาสเกตบอล วอลเลย์บอล แฮนด์บอล และเทนนิส เป็นต้น (Heyward, 2002)

2. ความหนักในการออกกำลังกาย (intensity)

ก่อนที่จะกำหนดความหนักสำหรับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นควรที่จะประเมินระดับของความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดก่อนเพื่อกำหนดเป้าหมายของโปรแกรมความหนักในการออกกำลังกาย และป้องกันการเกิดการบาดเจ็บ อาจกำหนดให้มีการพัฒนาระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดโดยกำหนดความหนักต่ำ ๆ ระยะเวลาออกกำลังกายนานหรือความหนักสูง การพัฒนาของระบบหัวใจและหลอดเลือดควรอยู่ที่ระหว่าง 50-85% อัตราสำรองการเต้นหัวใจ (HRR) ซึ่งค่าสัมพันธ์กับ 40-85% ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ถ้าเป็นบุคคลที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกายควรเริ่มต้นการฝึกที่ 50% อัตราสำรองการเต้นหัวใจ ในช่วง 4-6 สัปดาห์แรกของโปรแกรม และเพิ่มขึ้นเป็น 70-85% ในสัปดาห์ต่อมา (Hoeger and Hoeger,1997)

3. ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (duration)

เมื่อสมรรถภาพทางกายพัฒนาเพิ่มขึ้น ก็สามารถกำหนดระยะเวลาในการออกกำลังกายนานขึ้นสำหรับรูปแบบการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (continuous aerobic exercise) ในระดับความหนักปานกลาง ควรมีระยะเวลาติดต่อกัน 20-60 นาที สำหรับคนที่มีสมรรถภาพทางร่างกายต่ำไม่สามารถออกกำลังกายต่อเนื่องตามระยะเวลาดังกล่าว ควรแบ่งการออกกำลังกายเป็นช่วงสั้นๆ วันละหลายครั้ง และเมื่อสมรรถภาพดีขึ้น ก็เพิ่มระยะเวลาในการออกกำลังกายมากขึ้น

4. ความถี่ในการออกกำลังกาย

ความถี่ในการออกกำลังกายขึ้นอยู่กับความหนักในการออกกำลังกาย และระยะเวลาในการออกกำลังกายด้วย สำหรับผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายมากกว่า 5 METS (metabolic equivalent total) ควรจัดให้มีการออกกำลังกาย 3-5 วันต่อสัปดาห์ (ACSM, 1995)

Heyward (2002) กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิก ในแต่ละช่วงของโปรแกรมการออกกำลังกาย ควรประกอบด้วยระยะต่าง ๆ 3 ระยะคือ

1) อบอุ่นร่างกาย (warm up)

เป็นช่วงที่อุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อเตรียมพร้อมของร่างกายสำหรับการออกกำลังกายที่หนักขึ้น ช่วงของการอบอุ่นร่างกาย ควรจะมีระยะเวลาประมาณ 5-10 นาที ซึ่งเป็นการออกกำลังกายยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (stretching exercise) และออกกำลังกายส่วนต่าง ๆ ของร่างกายอย่างเบา ๆ เช่น ขา หลังส่วนล่าง ท้อง สะโพก ขาหนีบ และหัวไหล่

2) ความทนทาน (endurance)

ระยะทนทานของช่วงการออกกำลังกายแบบแอโรบิกตามข้อแนะนำในการออกกำลังกาย ควรมีช่วงเวลา 20-60 นาที ขึ้นอยู่กับความหนักของการออกกำลังกาย

3) คลายอุ่น (cool down)

ระยะคลายอุ่น จะทำทันทีหลังช่วงระยะความทนทาน มีประโยชน์ในการช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดผลแทรกซ้อนทางระบบหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งเกิดจากการที่หยุดออกกำลังกายทันทีทันใด ระยะนี้ควรออกกำลังกายต่อเนื่องที่ระดับความหนักต่ำ (เดิน วิ่ง หรือขี่จักรยาน) นาน 5-10 นาที การออกกำลังกายต่อไปอย่างเบา ๆ จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจ และความดันโลหิตกลับเข้าสู่ระดับปกติ ซึ่งเป็นการป้องกันการคั่งของเลือดส่วนปลายของร่างกาย และลดอาการวิงเวียน หรือเป็นลม นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มปริมาณเลือดกลับสู่หัวใจ และทำให้การฟื้นตัวของกล้ามเนื้อเร็วขึ้น การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ อาจทำซ้ำในช่วงนี้ เพื่อลดโอกาสเกิดตะคริวที่กล้ามเนื้อหรือกล้ามเนื้อระบม (soreness)

5. ความก้าวหน้า (progression)

ความก้าวหน้าของโปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาสมรรถภาพชองระบบหัวใจและหายใจแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ (ACSM, 2000) ขั้นเริ่มต้น (initial conditioning stage) ขั้นก้าวหน้า (improvement stage) และขั้นรักษาให้คงสภาพ (maintenance stage)

1) ขั้นเริ่มต้น (initial conditioning stage)

ขั้นเริ่มต้นนี้โดยทั่วไปใช้ระยะเวลาประมาณ 4 สัปดาห์ เนื่องจากขั้นนี้เป็นระยะเริ่มต้นของโปรแกรมการออกกำลังกาย ดังนั้นความหนักในการออกกำลังกายควรอยู่ที่ 40-60% ของชีพจรสำรอง และระยะเวลาในการออกกังกายอย่างน้อย 15-20 นาที แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 30 นาทีภายใน 4 สัปดาห์ ในคนที่เริ่มต้นออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง ควรออกกำลังกายอย่างน้อย 3-4 ครั้งต่อสัปดาห์ ส่วนในบุคคลที่สมรรถภาพของระบบหัวใจและหายใจดีเยี่ยมนั้น อาจจะข้ามขั้นตอนนี้ของโปรแกรม

2) ขั้นก้าวหน้า (improvement stage)

ในระหว่างขั้นตอนนี้ อัตราความก้าวหน้าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปใช้ระยะเวลา 16-20 สัปดาห์ โดยโปรแกรมสามารถกำหนดความหนัก ระยะเวลา และความถี่ในการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นได้อย่างอิสระ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพทางกายในแต่ละระยะของผู้ออก

กำลังกาย เมื่อผู้ออกกำลังกายสามารถรักษาการออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลางถึงสูง ได้นาน 20-30 นาที ควรเพิ่มระยะเวลาในการออกกำลังกายในทุกๆ 2-3 สัปดาห์ ความหนักในการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นจาก 50 ไปจนถึง 85 เปอร์เซ็นต์ชีพจรสำรอง และความถี่ในการออกกำลังกายเพิ่มขึ้นจาก 3 สัปดาห์เป็น 5 สัปดาห์ต่ออาทิตย์ เป็นต้น

3) ขั้นรักษาให้คงสภาพ (maintenance stage)

โดยปกติขั้นตอนนี้เริ่มต้นหลังจากโปรแกรมออกกำลังกายผ่านไปแล้ว 6 เดือน โดยขั้นตอนนี้เป็นการออกกำลังกายเพื่อรักษาสมรรถภาพทางกายให้คงที่ โดยมีการพัฒนาสมรรถภาพทางกายเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นโปรแกรมการออกกำลังกาย จะมีความหลากหลายของกิจกรรมและมีความสนุกสนานเพิ่มมากขึ้น (Heyward, 2002 อ้างถึง ACSM, 2000)

## อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (Free radical) หมายถึง โมเลกุลมีที่มีอิเลคตรอนซึ่งไม่ได้เข้าคู่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งในวงโคจรของโมเลกุล ซึ่งไม่เสถียร จึงมีความว่องไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นที่อยู่ข้างเคียง เพื่อให้โมเลกุลของมันเสถียรขึ้น โดยการรับเอาอิเลคตรอนมาจากโมเลกุลข้างเคียง ทำให้โมเลกุลนั้นเกิดเป็นอนุมูลอิสระ และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆต่อไป เรียกว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (Bunger, 1992; Moller *et al.*, 1996) ในการเขียนสัญลักษณ์ของอนุมูลอิสระจะใช้สัญลักษณ์ R แสดงถึงอนุมูลอิสระที่ไม่เฉพาะเจาะจง และจุด (˙) ที่ตำแหน่งขวาบนของสูตรโมเลกุลเดิม เพื่อแสดงถึงอิเลคตรอนที่ไม่ได้จับคู่ อนุมูลประจุบวกเรียกว่า อนุมูลแคทไอออน (cation radical) ใช้สัญลักษณ์ $(R)^{+\cdot}$ ส่วนอนุมูลประจุลบเรียกว่า อนุมูลแอนไอออน (anion radical) ใช้สัญลักษณ์ $(R)^{-\cdot}$ หรืออนุมูลที่มีประจุเป็นกลาง (neutral radical) ใช้สัญลักษณ์ $(R)^{\cdot}$ (อัญชนา, 2544) โดยทั่วไปในร่างกายมนุษย์ กระบวนการใช้พลังงานของเซลล์แบบใช้ออกซิเจน พบว่าประมาณ 2-5% ของออกซิเจนจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระในระหว่างมีการถ่ายทอดอิเลคตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำในกระบวนการลูกโซ่ขนส่งอิเลคตรอน (Ji, 1995; Urso and Clarkson, 2003) ซึ่งในระหว่างกระบวนการขนส่งอิเลคตรอนนี้ จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งได้แก่ อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O^{\cdot}2$) อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) และอนุพันธ์ของออกซิเจนบางชนิดคือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ซึ่งไม่ใช่อนุมูลอิสระแต่เป็นอันตรายแก่ร่างกายถ้ามีปริมาณมาก อนุมูลอิสระ และอนุพันธ์ของออกซิเจน รวมเรียกว่า reactive oxygen species การเกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน

ทำให้เกิด อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O^{\cdot}_2$) (สมการที่ 1) จากนั้นอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O^{\cdot}2$) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) และ ออกซิเจน($O_2$) (สมการที่ 2) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้

$$O_2 + e^- \longrightarrow O_2^{\cdot-} \qquad (1)$$

$$2O_2 + e^- + 2H^+ \longrightarrow O_2 + H_2O_2 \qquad (2)$$

นอกจากนี้ความเป็นพิษของอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O^{\cdot}_2$) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ในสิ่งมีชีวิตยังเกี่ยวข้องกับเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) เมื่อมีการเข้าทำปฏิกิริยากับพวกธาตุเหล็ก เช่น ferrous iron ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Haber-Weiss reaction (สมการที่ 3,4 และ 5)

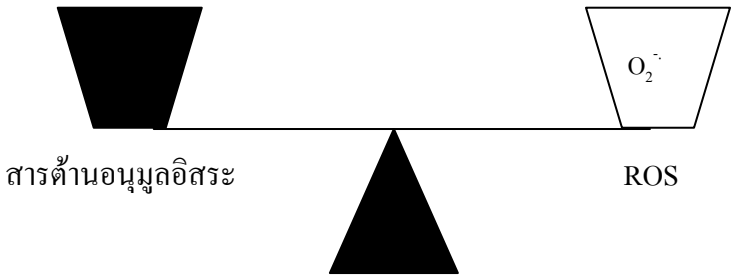
$$Fe^{3+} + O_2^{\cdot-} \longrightarrow Fe^{2+} + O_2 \qquad (3)$$

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow OH^{\cdot} + OH^- + Fe^{3+} \qquad (4)$$

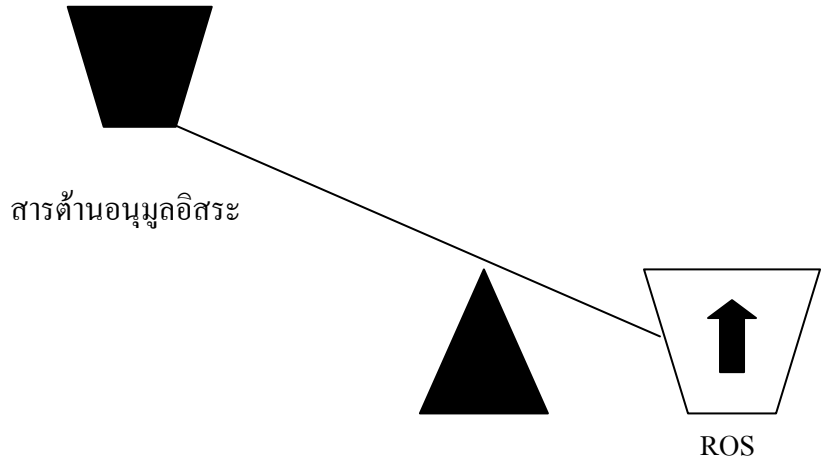
$$O_2^{\cdot-} + H_2O_2 \longrightarrow OH^{\cdot} + OH^- + O_2 \qquad (5)$$

แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้มนุษย์เรามีระบบการต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถควบคุมการเกิดขึ้นของอนุมูลอิสระเพื่อลดการทำลายเซลล์ในร่างกายได้ ซึ่งได้แก่ superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) และ glutathione peroxidase (GPx) รวมถึงอาหารที่รับประทานก็เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี วิตามินซี วิตามินเอ และ คาร์โรตินอยด์ เป็นต้น (Urso and Clarkson, 2003) ในสภาวะพักของคนปกติ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะสมดุลกับการทำงานของสารต้านการเกิดอนุมูลอิสระ (ภาพที่ 1) แต่พบว่าเมื่อใดเกิดความไม่สมดุลระหว่างระดับของอนุมูลอิสระและการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จะส่งผลให้เกิดความเครียดที่เรียกว่า oxidative stress เช่นในการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงเป็นต้น (ภาพที่ 2 -4) (Christopher and Martin, 2003) มีผลต่อความสามารถทางกาย การล้าของกล้ามเนื้อ และการทำลายของกล้ามเนื้อ (Urso, 2003; Bonina *et al.*, 2005) นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดพยาธิสภาพในโรคสำคัญต่างๆ มากมายในระยะยาว เช่น โรคหลอดเลือดแข็งตัว โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท เช่น พาร์คินสัน (Pakinson's disease)

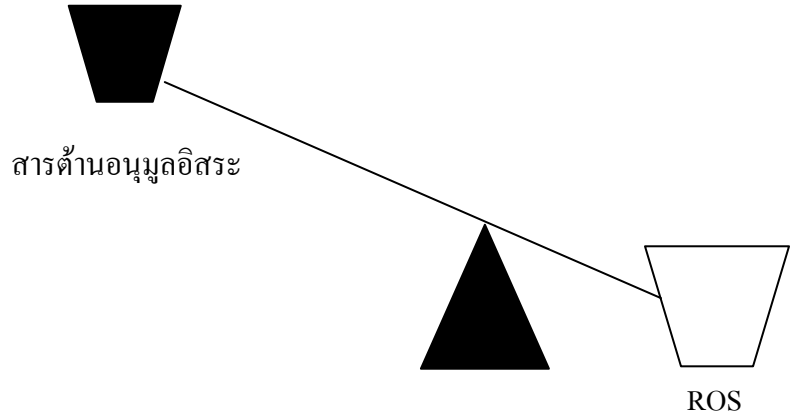
และ อัลไซม์เมอร์ (Alzhemer's disease) รวมถึงกระบวนการที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง (carcinogenesis) เป็นต้น (Moller *et al.*, 1996) (ภาพที่ 5)



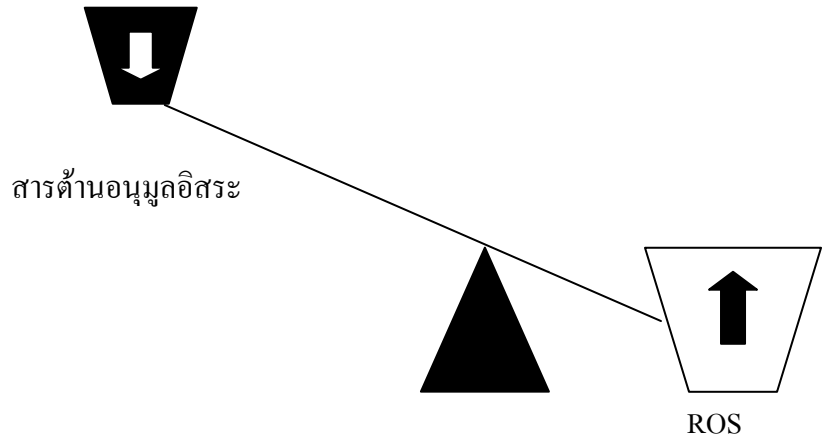

**ภาพที่ 1** แสดงในสภาวะพัก ของบุคคลที่มีสุขภาพดี มีความสมดุลระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระและ ROS ที่เกิดขึ้น




**ภาพที่ 2** แสดงในสภาวะที่ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีเพียงพอ แต่ ROS ที่เกิดขึ้นมีมากกว่าปกติ จึงก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress




**ภาพที่ 3** แสดงในสภาวะที่ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีน้อย แม้ว่า ROS ที่เกิดขึ้นมีอยู่ในระดับปกติ จึงก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress




**ภาพที่ 4** แสดงในสภาวะที่ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีน้อย และ ROS ที่เกิดขึ้นมีมากกว่าปกติ จึงก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress ที่รุนแรง

**การเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน**

เยื่อหุ้มเซลล์ในมนุษย์มีเป็นกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid) เป็นองค์ประกอบอยู่มาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวกับตัวออกซิแดนซ์เกิดเป็นอนุมูลอิสระและสารประกอบต่างๆ และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวตัวอื่นๆ ต่อไป ซึ่งกระบวนการมีดังต่อไปนี้

2.1 สมการ 1 ขั้นต้น (Initiation step)

เกิดจากโมเลกุลกรดไขมันไม่อิ่มตัว สูญเสียไอโดรเจนอะตอมใน โมเลกุลของกรดไขมัน เนื่องจากถูกออกซิไดซ์ด้วยตัวออกซิแดนซ์ ทำให้เกิดอนุมูลลิปิด (Lipid radical, $L^{\cdot}$)

$$LH + R^{\cdot} \longrightarrow L^{\cdot} + RH$$

2.2 สมการ 2 ขั้นกระจาย (Propagation)

อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกซิล ($LOO^{\cdot}$) และ $LOO^{\cdot}$ จะเข้าทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ข้างเคียง เกิดเป็น ลิปิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (lipid hydroperoxide, LOOH)

$$L^{\cdot} + O_2 \longrightarrow LOO^{\cdot}$$

$$LOO^{\cdot} + LH \longrightarrow LOOH + L^{\cdot}$$

2.3 สมการ 3 ขั้นสุดท้าย (Termination)

ปฏิกิริยาลูกโซ่สิ้นสุดโดยอนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ (AH)

$$LOO^{\cdot} + AH \longrightarrow LOOH + A^{\cdot}$$

$$LOO^{\cdot} + L. \longrightarrow LOOL$$

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำให้เกิดสาร ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และเปลี่ยนเป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอน เช่น pentane และสารประกอบอัลดีไฮล์ คือมาลอนไดอัลดีไฮล์

(MDA)โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ มีการทำลายตัวรับที่อยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งเป็นผลเสียที่เกิดจากอนุมูลอิสระ (Halliwell and Gutteridge, 1989)

## สารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะ oxidative stress ซึ่งเป็นสภาวะที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมและป้องกันปริมาณของอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่จะไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ได้ ร่างกายจึงมีระบบป้องกันอนุมูลอิสระ ที่เรียกว่า antioxidant defense system ซึ่งได้แก่ สารกลุ่มของเอนไซม์ โปรตีน และสารอาหารต่างๆ สารต้านอนุมูลอิสระหรือ แอนตี้ออกซิแดนซ์ คือสารเคมีที่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารต้านอนุมูลอิสระช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้มีการทำลายของเซลล์ ซึ่งได้แก่

1. สารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากอาหาร เช่น วิตามินซี วิตามินอี ซีลีเนียม และเบต้าแคโรทีน เป็นต้น

2. โมเลกุลภายในร่างกาย เช่น กลูตาไทโอน อัลบลูมิน บิริรูบิน และกรดยูริค เป็นต้น

3. สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของเอนไซม์

สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มเอนไซม์ สามารถพบได้ในพลาสมา เม็ดเลือดแดง และในกล้ามเนื้อ เช่น superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), glutathione reductase, glutathione transferase เป็นต้น

3.1 เอนไซม์ superoxide dismutase (SOD)

เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกับการต้านอนุมูลอิสระของเซลล์ โดยทำหน้าที่เปลี่ยนอนุมูลอิสระ superoxide ไปเป็น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ดังสมการ

$$2O^{-}_{2}+2H^{+} \xrightarrow{\text{SOD}} H_2O_2+O_2$$

3.2 Catalase (CAT)

เอนไซม์ CAT พบในเซลล์ที่มีการใช้พลังงานแบบแอโรบิก โดยพบในอวัยวะที่สำคัญในร่างกาย โดยเฉพาะพบมากที่ตับ และเซลล์เม็ดเลือดแดง หน้าที่หลักของ CAT คือสลายโมเลกุลของของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ไปเป็นน้ำและออกซิเจน

3.3 เอนไซม์ Glutathione peroxidase (GPx)

GPx พบในตับและปอดของสัตว์ และ เซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมีการทำงานสูงในตับ การทำงานปานกลางในหัวใจ ปอด และสมอง และการทำงานต่ำในกล้ามเนื้อ เอนไซม์นี้มีบทบาทในการสลายโมเลกุลของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ไปเป็นน้ำ 2 โมเลกุลและยังสามารถสลายโมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ไปเป็นน้ำและอัลกอฮอล์อีกด้วย (Moller *et al.*, 1996)

**การออกกำลังกายต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระและการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน**

การออกกำลังกายมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงในวิถีชีวิตของคนเรา มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ทำให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีและมีชีวิตยืนยาวขึ้น การออกกำลังกายที่สม่ำเสมอ สามารถชะลอความชราที่สัมพันธ์กับอายุที่มากขึ้น และอาจทำให้ชีวิตยืนยาวขึ้น 2-7 ปี (Paffenbarger *et al.*, 1978) การออกกำลังกาย มีความสัมพันธ์กับ ภาวะ oxidative stress 2 ทาง คือ ทางแรกการออกกำลังกายทำให้กระบวนการใช้พลังงานของเซลล์แบบใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress แต่ในทางกลับกันการออกกำลังกายที่สม่ำเสมอมีผลให้เกิดการปรับตัวของร่างกายและสร้างสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น ดังการศึกษาของ Maijer *et al.* (2001) ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อภาวะ oxidative stress ในผู้สูงอายุ พบว่าการออกกำลังกายในระดับต่ำกว่าสูงสุดเป็นเวลา 45 นาที ทำให้ระดับของ ผลผลิตที่เกิดจาก antipyrine และ มาลอนไดอะดีไฮล์ (MDA) ซึ่งบ่งชี้ภาวะ oxidative stress เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างการออกกำลังกายและหลังการออกกำลังกายทันที สอดคล้องกับ Ilhan *et al.* (2004) พบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิคโดยการวิ่งบนลู่กล ที่ความชัน 4 % ความเร็ว 8.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีผลให้ระดับสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายลดลง ที่ 4, 24 และ 48 ชั่วโมงภายหลังการออกกำลังกาย และ Agulilo *et al.* (2005) ทำการศึกษาผลของการตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการกระตุ้นให้เกิดภาวะ oxidative stress จากการปั่นจักรยานเสือภูเขาจนหมดแรง พบว่าการปั่นจักรยานจนหมดแรงสามารถ

กระตุ้นให้เกิดภาวะ oxidative stress ได้ โดยพบว่าระดับของ glutathione peroxidase ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลงระหว่างและหลังการออกกำลังกาย ซึ่งผลของการออกกำลังกายแบบฉับพลันจะมีผลให้เกิดภาวะ oxidative stress ภายหลังการออกกำลังกาย ซึ่งขึ้นอยู่กับ รูปแบบ ความหนัก และระยะเวลาในการออกกำลังกาย

แต่การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ หรือโปรแกรมการออกกำลังกาย กลับส่งผลให้ร่างกายมีการปรับตัวสร้างสารต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น และลดกระบวนการทำลายของเยื่อหุ้มเซลล์ ดังการศึกษาของ Kim *et al.* (1995) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายและการจำกัดอาหารในหนูซึ่งพบว่ากลุ่มที่มีการออกกำลังกายเพียงอย่างเดียวในระยะเวลา 18.5 เดือน มีผลต่อการปรับตัวของสารต้านอนุมูลอิสระโดยมีระดับ superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase เพิ่มขึ้น ในขณะที่ระดับ MDA ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Avellini *et al.* (1999) ทำการศึกษาผลของโปรแกรมการออกกำลังกาย ซีลีเนียม และวิตามินอี ต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในม้า โดยมีการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นเวลา 30 นาที สัปดาห์ละ 6 วัน เป็นเวลา 70 วัน พบว่าการออกกำลังกายมีผลเพิ่มของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ และทำให้ระดับ MDA ลดลง สำหรับการศึกษาในมนุษย์ Sukontachaya (2001) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในผู้สูงอายุ โดยให้ทำการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 70% ของอัตราสำรองของการเต้นหัวใจ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าทำให้ระดับของสารต้านอนุมูลอิสระคือ total antioxidant capacity (TAC) เพิ่มขึ้น และระดับ MDA ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังสิ้นสุดการออกกำลังกายในสัปดาห์ที่ 6 และสัปดาห์ที่ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนออกกำลังกาย สอดคล้องกับ Tauler *et al.* (2005) พบว่าการปรับตัวหลังจากสิ้นสุดโปรแกรมการฝึกการออกกำลังกายมีผลต่อการเพิ่มของระดับสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ซึ่งมีความขัดแย้งในบางรายงานวิจัย โดยพบว่าโปรแกรมการออกกำลังกาย ไม่ได้ทำให้ระดับสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น หรือกระบวนการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ลดลงเสมอไป โดย Dernbach *et al.* (1993) พบว่าการออกกำลังกายโดยการพายเรือที่ระดับความหนักสูง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ MDA ส่วน Tessier *et al.* (1995) พบว่าโปรแกรมการออกกำลังกายแบบทนทาน ในระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีผลให้ระดับสารต้านอนุมูลอิสระลดลง นอกจากนี้ Tiidus *et al.* (1996) มีรายงานว่าโปรแกรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการปั่นจักรยาน ที่ระดับความหนักปานกลาง เป็นเวลา 35 นาที 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อระดับ glutathione, catalase และ superoxide dismutase ในกล้ามเนื้อ และ Bonina *et al.* (2005) ซึ่งศึกษาภาวะ oxidative stress ในนักกีฬาแฮนบอลด์ พบว่าโปรแกรมการออกกำลังกายตามปกติในช่วงฤดูกาลแข่งขัน มีผลให้เกิดภาวะ oxidative stress โดยพบว่าขณะพักมี

ระดับ MDA สูงกว่ากลุ่มควบคุม ข้อขัดแย้งจากงานวิจัยที่เกิดขึ้น อาจเนื่องมาจาก รูปแบบ ระดับความหนัก ระยะเวลาของการออกกำลังกาย และตัวบ่งชี้ระดับของการเกิด oxidative stress

## การวัดสารต้านฤทธิ์ออกซิเดชัน

การศึกษาระดับของการเกิดออกซิเดชันในร่างกาย หรือการเกิดภาวะ oxidative stress ในการตอบสนองจากการออกกำลังกาย นักวิจัยส่วนใหญ่จะทำการตรวจวัดตัวบ่งชี้การเกิด oxidative stress ในเลือดและปัสสาวะ มีงานวิจัยเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ทำการตรวจวัดในเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อ ในการวัดส่วนใหญ่จะทำการศึกษาสารที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชัน จากกระบวนการออกซิไดซ์ไขมัน โปรตีน และ ดีเอ็นเอ การหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ หรือการหาในรูปความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยรวม ปัจจุบันการวัดสามารถทำได้หลายวิธีได้แก่

1. การหาปริมาณผลผลิตของการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation)

การวัดการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน สามารถหาได้จากหลายค่า เช่น เพนเทน (pentane), มาลอนไดอัลดีไฮล์ (Malondialdehydes), ไอโซโพรสเทนส์ (isoprostanes), ลิปิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (lipid hydroperoxide), และ คอนจูเกต ไดอีนส์ (conjugated dienes) แต่พบว่าการศึกษาการเกิด oxidative stress ที่เกิดขึ้นจากการออกกำลังกายส่วนใหญ่ จะนิยมวัดค่ามาลอนไดอัลดีไฮล์

1.1 Expired pentane

Pentane สามารถทำการวัดได้ทางลมหายใจออก (Mendis *et al.*, 1994) โดยเทคนิคโครมาโตกราฟก๊าซ (gas chromatographic technique) แต่พบว่าในการวิจัยมีการใช้ Pentane เป็นตัวบ่งชี้ oxidative stress น้อยมาก เนื่องจากวิธีการวัดมีความยุ่งยาก และ Pentane จะผลิตออกมาสูงสุดเมื่อออกกำลังกายแบบแอโรบิก ในระหว่าง และหลังออกกำลังกายในทันทีทันใดเท่านั้น (Pincemail *et al.*, 1990: Leaf *et al.*, 1997, 1999) ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการวิจัยบางรูปแบบ จึงไม่เป็นที่นิยม

1.2 Malondialdehyde

Malondialdehyde (MDA) เป็นค่าที่นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ภาวะ oxidative stress ในการตอบสนองต่อการออกกำลังกายมากอีกวิธีหนึ่ง การวัดการเปลี่ยนแปลงของ MDA ที่นิยมใช้คือ Thaiobarbituric acid assay (TBAR) โดย MDA จะทำปฏิกิริยากับ TBA (Thiobarbituric acid) ในภาวะที่ เป็นกรดและมีความร้อน เกิดเป็น MDA-TBA complex ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีชมพู จากนั้นนำไปวัดปริมาณ MDA-TBA ที่ค่าการดูดกลืนแสง 532 nm (นันทยา และ ทวีศักดิ์, 2549)

1.3 F2-isoprostane

F2-isoprostane เป็นสารที่เกิดจากการออกซิไดซ์กรด arachidonic acid ข้อดีของสารชนิดนี้คือเป็นตัวบ่งชี้การเกิด lipid peroxidation ที่จำเพาะเจาะจง และมีปริมาณค่อนข้างสูงในร่างกาย สามารถตรวจวัดได้ทั้งในพลาสมา เนื้อเยื่อ และในปัสสาวะ โดยใช้เครื่อง gas chromatography mass spectroscopy (GC) หรือ HPLC แต่อย่างไรก็ตามการบ่งชี้ภาวะ oxidative stress ซึ่งเกิดจากการออกกำลังกาย ยังมีงานวิจัยที่ใช้วิธีการนี้ไม่มากนัก

2. การหาปริมาณของผลผลิตของโปรตีนออกซิเดชั่น (protein oxidation)

กระบวนการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นกับโปรตีน สามารถทำการวัดปริมาณของ protein carbonyl group โดยหลักการทำให้เกิดสี โดยที่ carbonyl group จะทำปฏิกิริยากับ 2,4 – Dinitrophenylhydrazine (DNPH) จะเกิดสาร Hydrazone แล้ววัดการดูดกลืนแสงที่ 380 นาโนเมตร

3. การหาปริมาณของผลผลิตของดีเอนเอออกซิเดชัน (DNA oxidation)

สามารถศึกษาการทำลายของดีเอ็นเอ โดยการวิเคราะห์กรดนิวคลีอิกในเซลล์เดี่ยว (single cell electroporesis) เมื่อสลายนิวเคลียร์เมมเบรนของเซลล์ และทำให้ดีเอ็นเอคลายเกลียวแล้ว จึงนำไปแยกชิ้นส่วนดีเอ็นเอ หรืออาร์เอ็นเอตามขนาดและรูปร่าง โดยการ run gel electroporesis และย้อมดีเอ็นเอสายคู่ด้วย ethidium bromide จะเกิดการเรืองแสงภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต (นันทยา, 2549)

4. การหา Total antioxidant capacity (TAC)

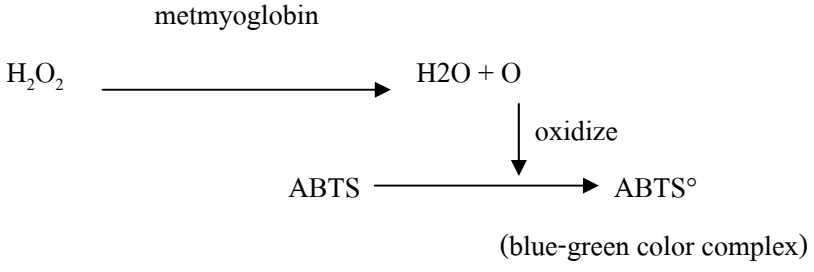
เป็นการหาความสามารถโดยรวมในการเป็นแอนตี้ออกซิแดนซ์ ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยม ซึ่งมีการทดสอบหลายวิธีคือ

4.1 Total (peroxyl) radical-trapping antioxidant potential (TRAP) (Goode *et al.*, 1995)

ใช้หลักการ โดยการนำขั้ววัดออกซิเจน (oxygen electrode) วัดออกซิเจนที่เหลือจากการไปออกซิไดส์กรดไลโนเลอิก (linoleic acid) ในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมาก สารต้านอนุมูลอิสระจะไปจับกับอนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radical) ซึ่งเป็นอนุมูลที่ได้จากการสลายตัวของ ABAP[2,2'-azobis (2-aminopropane) hydrochloride] ซึ่งจะไปทำให้กระบวนการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของ กรดไลโนเลอิกช้าลง ทำให้วัดปริมาณออกซิเจนที่เหลือได้มาก แต่ในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระน้อย สารต้านอนุมูลอิสระจะไปจับกับอนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radical) จนเกือบหมด ซึ่งจะไปทำให้กระบวนการเกิดเปอร์ออกซิเดชันของกรดไลโนเลอิกเร็วขึ้น ทำให้วัดปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการไปออกซิไดส์ได้น้อยลง

4.2 ABTS methods (Nicholas *et al.*, 1993)

เป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารที่ทำให้เกิดสีคือ ABTS [2,2' – azinobis-(3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt] โดยที่ metmyoglobin จะไปเปลี่ยน hydrogen peroxide ไปเป็นน้ำ และออกซิเจนที่ว่องไว (active oxygen) ซึ่งมันจะไปออกซิไดส์ ABTS ให้เป็น ABTS° ซึ่งจะเกิดเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 nm ในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันก่อนการเกิดสีจะนานขึ้น และถ้ามีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระน้อย จะทำให้เวลาก่อนการเกิดสีสั้นลง



4.3 ABTS radical cation decolorization assay (ABTS assay)

เป็นวิธีการอาศัยสารที่มีสีน้ำเงินคือ $ABTS^{\circ+}$ [2,2' –azinobis-(3-ethyl benzothiazoline-6-sulfonic acid) radical cation] ในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ $ABTS^{\circ+}$ จะถูกสลายตัวทำให้สีน้ำเงินจางลง (Re *et al.*, 1999)

4.4 Enhanced chemiluminescence (ECL)

หลักการคือ luminol ซึ่งเป็นสารเรืองแสง จะปล่อยแสงมาในรูปของ photon เมื่อ luminal ถูกย่อยด้วย Horseradish peroxidase conjugated sheep anti-mouse IgG ซึ่งปฏิกิริยาจะมี enhancer เป็นตัวช่วย ในกรณีที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมาก จะทำให้ antibody มาจับ ทำให้มีปริมาณเอนไซม์ไปย่อย luminal ได้น้อยลง จึงมีการเปล่งแสงออกมาได้น้อย แต่ถ้ามีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระน้อย ก็จะมีปริมาณเอนไซม์มาก ไปทำการย่อย luminol จึงมีการเปล่งแสงออกมาได้มาก (Goode *et al.*, 1995)

# อุปกรณ์และวิธีการ

## อุปกรณ์

### วัสดุอุปกรณ์

1. จักรยานวัดงาน (ergometer) ยี่ห้อ Cateye รุ่น EC-C400 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา
2. นาฬิกาจับเวลายี่ห้อ Casio รุ่น HS10w ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น
3. เครื่องวัดความดันโลหิตยี่ห้อ Omron รุ่น SEM-1 ผลิตจากประเทศเยอรมัน
4. เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (Tanita) รุ่น BF 679W ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา
5. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ยี่ห้อ Polar ผลิตจากประเทศฟินแลนด์
6. เครื่องชั่งละเอียด 5 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LIBROR AEG-458M ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น
7. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo รุ่น E-300 ผลิตจากประเทศอังกฤษ
8. เครื่องเหวี่ยงสาร (centrifuge) ยี่ห้อ Sorvall รุ่น Biofuge Stratos ผลิตจากประเทศเยอรมัน
9. อ่างน้ำร้อน (warm water bath) ยี่ห้อ Deligent รุ่น WB-10-DS ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา
10. เครื่องเขย่าผสมสารให้เข้ากัน (vortex) ยี่ห้อ ETL รุ่น Vortex Genie 1 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา
11. Microcuvette path Length 1 cm ชนิด polysterene ขนาดความจุ 1.2 ml
12. Micropipette variable volume ขนาด 5-50 µl, 50-200 µl และ 200-1000 µl ยี่ห้อ Eppendorf ผลิตจากประเทศเยอรมัน
13. Eppendorf ยี่ห้อ Eppendorf ผลิตจากประเทศเยอรมัน
14. บีกเกอร์ (beaker) ยี่ห้อ Pyrex ผลิตจากประเทศ สหรัฐอเมริกา
15. flask ยี่ห้อ E-MIL boro ผลิตจากประเทศ อังกฤษ

**สารเคมี**

1. Trichloroacetic acid
2. Thiobarbituric acid
3. Hydrochloric acid
4. Tris บริษัท Sigma
5. Sodium chloride
6. Trimethylpropane
7. ABTS บริษัท Sigma
8. Potassium persulfate
9. Trolox
10. Ethanol
11. Heparin

## วิธีการ

**กลุ่มประชากร**

กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนิสิตระดับปริญญาตรี เพศหญิง มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ในปีการศึกษา 2550 ที่มีอายุ 19-21 ปี

**กลุ่มตัวอย่าง**

เกณฑ์คัดเข้า

1. นิสิตที่มีอายุ 19-21 ปี มีสุขภาพแข็งแรง
2. ในช่วงระยะเวลา 2 เดือนก่อนเข้าร่วมงานวิจัย ไม่ได้เข้าร่วมโปรแกรมการออกกำลังกายเป็นประจำสม่ำเสมอ คือมากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ครั้งละไม่ต่ำกว่า 30 นาที
3. ในช่วงระยะเวลา 2 เดือนก่อนเข้าร่วมงานวิจัย ไม่ได้รับอาหารเสริม หรือวิตามินใดๆ ที่อยู่ในกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ และไม่มีพฤติกรรมสูบบุหรี่ หรือ ดื่มเหล้าต่อเนื่อง

4. อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของการกีฬาแห่งประเทศไทย โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 35.6-41.8 มล./นาที/กก. (ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย, 2543)

เกณฑ์คัดออก

1. มีประวัติความเจ็บป่วยของระบบหายใจ และไหลเวียนเลือด ระบบกล้ามเนื้อ รวมทั้งโรคใดๆ ก่อนหน้าการทดลองในระยะเวลา 6 เดือน และมีความผิดปกติเรื้อรัง เช่น โรคไต หวัด ไอ เป็นต้น

2. มีความผิดปกติ เช่นใจสั่น หน้ามืด เป็นลมก่อน และขณะทำการวิจัย หรืออัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มออกกำลังกาย

3. ในระหว่างการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับอาหารเสริม หรือวิตามินใดๆ ที่อยู่ในกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระ มีพฤติกรรมสูบบุหรี่ หรือ ดื่มเหล้า

4. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีความประสงค์ขอยกเลิกการวิจัยด้วยตนเอง

การวิจัยมีขั้นตอนการได้มาของกลุ่มตัวอย่างดังนี้

1. นัดประชุมนิสิตระดับปริญญาตรี เพศหญิง ในมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ชี้แจงโครงการวิจัย และประกาศรับสมัคร นิสิตที่มีคุณสมบัติตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

2. นำอาสาสมัครที่มีคุณสมบัติตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้มาสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) โดยวิธีการจับสลากเพื่อคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน เข้าร่วมดำเนินการวิจัย

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

โปรแกรมออกกำลังกายที่มีความหนักปานกลาง และโปรแกรมการออกกำลังกายที่มีความหนักสูง ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยศึกษาหลักการของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Heyward, 2002 อ้างถึง Pollock *et al*, 1998; Marra *et al.*, 2005)

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

การวิจัยนี้ ได้ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมในมนุษย์ กระทรวงสาธารณสุข โดยมีขั้นตอนการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

1. อธิบายแผนการวิจัย ข้อตกลงในการเข้าร่วมโครงการวิจัย และเซ็นต์ใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

1.1 ทำการชั่งน้ำหนัก ส่วนสูง เปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกาย วัดความดันโลหิต และ ชีพจรในขณะพัก ของกลุ่มตัวอย่าง

1.2 ทำการเจาะเลือดทดสอบค่าระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) และระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ในพลาสมา รวมทั้งวัดค่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มตัวอย่าง

1.3 นำค่าระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมา (TAC) มาแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 คน โดยวิธีจัดเข้ากลุ่ม (randomly assignment) คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมประกอบกิจวัตรประจำวันตามปกติไม่ได้รับโปรแกรมการฝึกใดๆ

กลุ่มที่ 2 ได้รับโปรแกรมการออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง

กลุ่มที่ 3 ได้รับโปรแกรมการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง

2. เข้าโปรแกรมการฝึกโดยทำการฝึก 3 วันต่อสัปดาห์ คือวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ หรือ อังคาร พฤหัสบดี และเสาร์ ช่วงเวลา 15.30 – 19.00 น เป็นเวลา 10 สัปดาห์

กลุ่มที่ 1 ให้ประกอบกิจวัตรประจำวันตามปกติไม่ได้รับโปรแกรมการฝึกใดๆ

กลุ่มที่ 2 ได้รับโปรแกรมการออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง โดยวิธีการปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องตลอดช่วงการฝึก วิธีการฝึกมีดังนี้

การอบอุ่นร่างกาย เริ่มต้นปั่นจักรยานที่ความหนักของงานระดับต่ำก่อน แล้วจะค่อยๆ เพิ่มความหนักมากขึ้น จนกระทั่งความหนักในการออกกำลังกายถึงที่ระดับ 65-70% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เมื่อความหนักของงานถึงที่ระดับ 65-70% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด นับเป็นเวลาเริ่มต้น หรือนาทีที่ 0 หลังจากนั้นปั่นจักรยานต่อไปจนกระทั่งครบ 30 นาที

การคลายอุ่น ปรับความหนักของจักรยานลง ให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงต่ำกว่า 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ในช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที

กลุ่มที่ 3 กลุ่มฝึกโปรแกรมออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง โดยวิธีการปั่นจักรยานแบบต่อเนื่องตลอดช่วงการฝึก วิธีการฝึกมีดังนี้

การอบอุ่นร่างกาย เริ่มต้นปั่นจักรยานที่ความหนักของงานระดับต่ำก่อน แล้วจะค่อยๆ เพิ่มความหนักมากขึ้น จนกระทั่งความหนักในการออกกำลังกายถึงที่ระดับ 80-85% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เมื่อความหนักของงานถึงที่ระดับ 80-85% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด นับเป็นเวลาเริ่มต้น หรือนาทีที่ 0 หลังจากนั้นปั่นจักรยานต่อไปจนกระทั่งครบ 30 นาที

การคลายอุ่น ปรับความหนักของจักรยานลง ให้อัตราการเต้นของหัวใจลดลงต่ำกว่า 50% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ในช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที

โดยโปรแกรมการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยาน กลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่ม จะทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อก่อนและหลังการออกกำลังกาย ประมาณ 10-12 นาที (ตารางผนวก ง)

3. ทำการเจาะเลือดทดสอบค่าระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) และระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA)ในพลาสมา และวัดค่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) โดยวิธีของ

แอสทรานด์-ไรท์มิง (ภาคผนวก จ) ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 5 และภายหลังสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง

4. นำผลระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมา (TAC) ระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ

**การวิเคราะห์ผลเลือด**

ทำการเจาะเลือดก่อนการทดลอง และภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 5 และภายหลังสัปดาห์ที่ 10 โดยการเจาะเลือดที่ antecubital vein ในช่วงเวลา 7.00 - 9.00 น. โดยที่ต้องงดอาหาร และสิ้นสุดการออกกำลังกายไม่ต่ำกว่า 48 ชั่วโมง โดยเลือดจะนำไปปั่นที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อหาระดับของค่าสารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมา (TAC) โดยวิธี ABTS assay (Re *et al.*, 1999) และ มาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) โดยวิธี Thaiobarbituric acid assay (TBAR) (นันทยา และ ทวีศักดิ์, 2549 อ้างถึง Santos, 1980) จากนั้นนำส่วนพลาสมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20$^{o}$C จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ค่าสารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมา (TAC) และค่ามาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) (ภาคผนวก ช )

**การใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล**

1. คำนวณค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย ระดับไขมันในร่างกาย ระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

2. ทดสอบการแจกแจงแบบโค้งปกติของข้อมูลโดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov Test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางผนวก ก)

3. วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way analysis of variance with repeated measure) เพื่อทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฝึกกับระยะเวลาฝึก โดยกำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<.05$

4.วิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (two-way analysis of variance with repeated measure) เพื่อทดสอบความแตกต่างของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายในกลุ่ม ก่อนการทดลอง ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 5 และภายหลังสัปดาห์ที่ 10 โดยกำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<.05$ และทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีของ Tukey

5. วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way analysis of variance: ANOVA) เพื่อทดสอบความแตกต่างของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ระหว่างกลุ่ม ก่อนการทดลอง ภายหลังการทดลองสัปดาห์ที่ 5 และภายหลังสัปดาห์ที่ 10 โดยกำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<.05$ และทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้วิธีของ Tukey

# ผลและวิจารณ์

## ผล

การวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองในกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนิสิตหญิงในมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง จำนวน 30 คน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการออกกำลังกายที่ความหนักระดับปานกลาง และความหนักสูงที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมประกอบกิจวัตรประจำวันตามปกติไม่ได้รับโปรแกรมการฝึกใดๆ จำนวน 10 คน กลุ่มที่ 2 ได้รับโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง จำนวน 10 คน และกลุ่มที่ 3 ได้รับโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง จำนวน 10 คน ทำการเจาะเลือดกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม เพื่อทดสอบค่าระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) และระดับการเกิดลิปิดเปอร์ออกซิเดชันโดยใช้มาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) เป็นตัวบ่งชี้ รวมทั้งอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

<u>ตอนที่ 1</u> ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

<u>ตอนที่ 2</u> ระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) มาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$)

**ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม**

แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย (BMI) เปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกาย และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2$ max) ก่อนการฝึกของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

**ตารางที่ 1** ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มก่อนการทดลอง

| กลุ่มตัวอย่าง | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|
| อายุ (ปี) | 19.90 ±0.32 $^{NS}$ | 20.30 ± 0.67 $^{NS}$ | 20.20 ± 0.57 $^{NS}$ |
| น้ำหนัก (กก.) | 49.95 ± 6.21 $^{NS}$ | 50.76 ± 7.98 $^{NS}$ | 50.98 ± 8.18 $^{NS}$ |
| ส่วนสูง (ซม.) | 157.30 ± 4.76 $^{NS}$ | 157.60 ± 4.53 $^{NS}$ | 157.43 ± 4.32 $^{NS}$ |
| ดัชนีมวลกาย (กก./ม.$^2$) | 20.12 ±2.42 $^{NS}$ | 20.10 ± 2.56 $^{NS}$ | 19.73 ± 2.57 $^{NS}$ |
| เปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกาย | 26.63 ± 4.99 $^{NS}$ | 26.50 ± 6.43 $^{NS}$ | 25.18 ± 5.22 $^{NS}$ |
| อัตราการจับออกซิเจนสูงสุด (มล./กก./นาที) | 38.41 ± 5.32 $^{NS}$ | 38.10 ± 4.96 $^{NS}$ | 36.67 ± 4.60 $^{NS}$ |

**หมายเหตุ** แสดงข้อมูลเป็น $\overline{X}$ ±S.D.

NS ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้ ไม่เคยออกกำลังกายเป็นประจำมาก่อน รวมถึงไม่เคยได้รับอาหารเสริม หรือวิตามิน ที่มีผลต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย ในช่วงระยะ 2 เดือนที่ผ่านมา โดยทุกคนมีสุขภาพแข็งแรง สมบูรณ์ ไม่มีโรคประจำตัว และได้บันทึกรายการรับประทานอาหารก่อนเริ่มการทดลอง 1 สัปดาห์ และระหว่างการการทดลอง 2 สัปดาห์ และแจ้งให้ผู้วิจัยทราบ ถ้ารับประทานอาหารที่แตกต่างไปจากเดิม โดยกลุ่มตัวอย่างถูกกำหนดให้รับประทานอาหารในโรงอาหารกลาง และโรงอาหารหอพัก ภายในมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุงในร้านที่กำหนดตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

จากตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม ได้แก่ อายุ น้ำหนักและส่วนสูง ดัชนีมวลกาย (BMI) เปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกาย และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2$ max) ระหว่าง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างในการวิจัยนี้ มีค่าพื้นฐานทางกายภาพใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์ปกติ (ตารางผนวก จ) โดยพบว่า กลุ่มควบคุม มีอายุเฉลี่ย 19.90 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.32 น้ำหนักเฉลี่ย 49.95 กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6.21 ส่วนสูงเฉลี่ย 157.30 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.76 ดัชนีมวลกายเฉลี่ย 20.12 กิโลกรัม/เมตร$^2$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.42 เปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกาย 26.63 ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย 4.99 และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดเฉลี่ย 38.41 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.32

กลุ่มทดลองที่ 1 มีอายุเฉลี่ย 20.30 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.67 น้ำหนักเฉลี่ย 50.76 กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 7.98 ส่วนสูงเฉลี่ย 157.60 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.53 ดัชนีมวลกายเฉลี่ย 20.10 กิโลกรัม/เมตร$^2$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.56 เปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกาย 26.50 ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย 6.43 และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดเฉลี่ย 38.10 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.96

กลุ่มทดลองที่ 2 มีอายุเฉลี่ย 20.20 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.57 น้ำหนักเฉลี่ย 50.98 กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 8.18 ส่วนสูงเฉลี่ย 157.43 เซนติเมตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.32 ดัชนีมวลกายเฉลี่ย 19.73 กิโลกรัม/เมตร$^2$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.57 เปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกาย 25.18 ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย 5.22 และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดเฉลี่ย 36.67 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.60

**ตอนที่ 2 ระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) มาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) และ อัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2$ max)**

**ตารางที่ 2** ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated) ของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

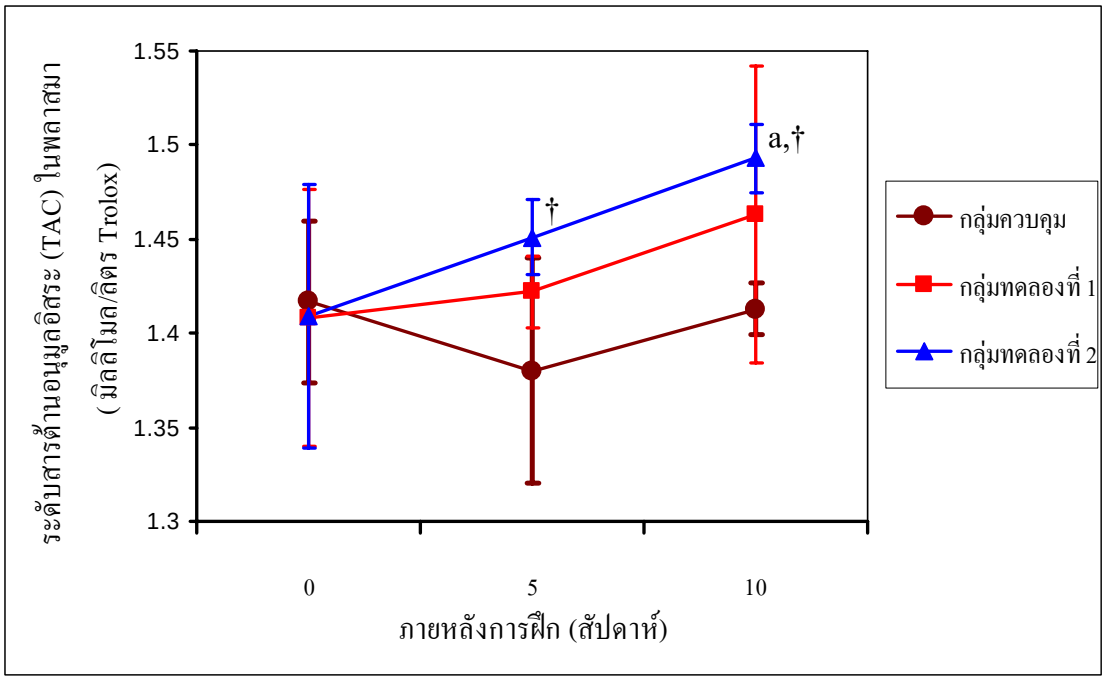
(หน่วย: มิลลิโมล/ลิตร Trolox)

| ระยะเวลา | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|
| ก่อนการฝึก | 1.417 ± .043 | 1.408 ± .068 | 1.409 ± .007 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 1.380 ± .060 | 1.422 ± .019 | 1.451 ± .020† |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 1.413 ± .014 | 1.463 ±.079 | 1.493 ± .018 a† |

**หมายเหตุ** แสดงข้อมูลเป็น $\overline{X}$ ±S.D.

a แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05




หมายเหตุ a แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ภาพที่ 5** แสดงค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated) ของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ผู้วิจัยทำการทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฝึกและระยะเวลาการฝึก พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฝึกและระยะเวลาในการฝึก ที่ส่งผลต่อกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ TAC ดังนั้นระดับ TAC ที่เปลี่ยนแปลงเกิดจากวิธีการฝึก และระยะเวลาในการฝึก (ตารางผนวกที่ ข1) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าก่อนการฝึก กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) 1.417 1.408 และ 1.409 มิลลิโมล/ลิตร Trolox ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน .043, .068 และ.007 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) 1.380 1.422 และ1.451 มิลลิโมล/ลิตร Trolox ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน .060 .019 และ .020 ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ของกลุ่มทดลองที่ 1 ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ยระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1

ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) 1.413 1.463 และ 1.493 มิลลิโมล/ลิตร Trolox ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน .014, .079 และ .018 ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ของกลุ่มทดลองที่ 1 ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ยระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1

ซึ่งระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นการออกกำลังกายที่ต่อเนื่อง มีผลต่อการใช้ออกซิเจนในเซลล์ของร่างกายเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 10-200 เท่าเมื่อเทียบกับขณะพัก (JMC, 1988) โดยเฉพาะในส่วนของกล้ามเนื้อลาย ออกซิเจนเกือบทั้งหมดจะถูกใช้ในการสร้าง ATP ในไมโตคอนเดรีย โดยออกซิเจนส่วนหนึ่งจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระ

ในระหว่างมีการถ่ายทอดอิเลคตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำในกระบวนการลูกโซ่ขนส่งอิเลคตรอน (electron transport chain) ดังนั้นยิ่งมีการใช้ออกซิเจนในไมโตคอนเดรียมากขึ้นเท่าใด ก็จะส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น นอกจากนั้นพบว่า catecholamines ที่หลั่งออกมาในปริมาณมากขณะมีการออกกำลังกายก็ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระเช่นเดียวกัน (Ji, 1995; Urso and Clarkson, 2003) ซึ่งเมื่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายไม่เพียงพอในการกำจัดอนุมูลอิสระ จึงส่งผลให้เกิดภาวะ oxidative stress ขึ้น ภาวะนี้มีผลต่อสารชีวโมเลกุลสำคัญในร่างกาย เช่น โปรตีน ลิปิด และDNA ทำให้เซลล์ได้รับบาดเจ็บ (Urso *et al.*, 2003) แต่การฝึกออกกำลังกาย (training) ในระยะเวลาหนึ่งอย่างต่อเนื่อง อาจมีผลต่อการปรับตัวต่อระบบปกป้องเซลล์จากอนุมูลอิสระ โดยการเพิ่มระดับสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อกำจัดอนุมูลอิสระไม่ให้ทำอันตรายต่อเซลล์ในร่างกาย (Moller *et al.*, 1996) โดยสารต้านอนุมูลอิสระ ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นกลุ่มเอนไซม์ในร่างกายที่สร้างขึ้น (endogenous enzyme) ได้แก่ catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) และ glutathione peroxidase (GPx) และโมเลกุลที่ไม่ใช่เอนไซม์ซึ่งได้แก่ glutathione, albumin, bilirubin, ascorbic acid และ alpha-tocopherol เป็นต้น โดยในการศึกษานี้ได้ทำการวัดสารต้านอนุมูลอิสระโดยรวม (TAC) ซึ่งเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดระดับสารต้านอนุมูลที่นิยมใช้ในการประเมินสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจวัดระดับในพลาสมา จากการศึกษาของหทัยกาญจน์ (2543) ซึ่งได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายชนิดต่างๆ ได้แก่ ฟุตบอล เต้นแอโรบิก แบดมินตัน และวิ่ง โดยให้กลุ่มตัวอย่างออกกำลังกายสัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ามีผลเพิ่มระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ในพลาสมาในทุกชนิดกีฬา ในทำนองเดียวกันนักกีฬาฟุตบอลที่เข้าร่วมโปรแกรมการฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 1 ปี มีระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ในพลาสมาเพิ่มขึ้น 25% เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Brites *et al.*, 1999)

นอกจากนี้ Sukontachaya (2001) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในผู้สูงอายุ โดยให้กลุ่มทดลองทำการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 70% ของอัตราสำรองการเต้นหัวใจ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าระดับ TAC ในซีรัมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนผลต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ Elosua *et al.* (2003) รายงานว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ระยะเวลา 16 สัปดาห์ มีผลให้ระดับ SOD GPx และ glutathione reductase เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีข้อขัดแย้งในงานวิจัยของ Tiidus *et al.* (1996) ซึ่งพบว่า การออกกำลังกายแบบแอโรบิกในระยะเวลาสั้นๆ ทำให้ไม่มีการปรับตัวในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ โดยทำการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยาน 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ครั้งละ 35 นาที เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับสารต้านอนุมูลอิสระในกล้ามเนื้อ

ซึ่งการศึกษาดังกล่าวข้างต้น ล้วนเป็นโปรแกรมในการออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง แต่ในการวิจัยนี้ ยังพบว่าการออกกำลังกายในระดับความหนักสูงมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับ TAC เช่นเดียวกัน และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง ร่างกายมีอัตราการใช้ออกซิเจนมากกว่าในระดับความหนักปานกลาง ทำให้ร่างกายเกิดอนุมูลอิสระในปริมาณที่มากขึ้น และก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress ได้มากกว่ากลุ่มที่ออกกำลังกายในระดับความหนักปานกลาง นอกจากนั้นการออกกำลังกายที่มีความหนักสูง มักก่อให้เกิดการระบมของกล้ามเนื้อ และบาดเจ็บได้มากกว่าในระดับปานกลาง รวมถึงการทำหน้าที่ของ macrophages ในการระดมพลเพื่อซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่เสียหาย ซึ่งกระบวนการอักเสบจากการออกกำลังกายนี้ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น (Urso and Clarkson, 2003 อ้างถึง Jackson, 2000) ดังนั้นร่างกายจึงต้องมีการปรับตัวต่อระบบปกป้องเซลล์จากอนุมูลอิสระมากกว่าเดิม เนื่องจากระดับสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายมีปริมาณลดลงจากการใช้กำจัดอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้น จึงมีผลต่อการปรับตัวของร่างกายโดยการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายเพิ่มขึ้น (Moller *et al.*, 1996) สอดคล้องกับ Miyazaki *et al.* (2001) ที่รายงานว่าผลของโปรแกรมการออกกำลังกายแบบทนทานในระดับความหนักระดับสูง โดยการวิ่งที่ความหนัก 80% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 60 นาที ระยะเวลานาน 12 สัปดาห์ พบว่ามีผลเพิ่มระดับ SOD และ GPx นอกจากนั้นการศึกษาของ Roberton *et al.* (1991) ยังพบว่านักกรีฑาซึ่งมีการฝึกซ้อมแบบทนทานที่ระดับสูง คือฝึกซ้อม 80-147 กม. ต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในเลือด เช่น SOD และ GPx เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มนักกีฬาซึ่งมีการฝึกซ้อมที่ระดับต่ำคือ ฝึกซ้อม 16-43 กม.ต่อสัปดาห์ โดยเมื่อตรวจค่า creatine kinase ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อก็พบว่าในกลุ่มที่ออกกำลังกายในระดับความหนักสูงมีค่า creatine kinase สูงกว่าในกลุ่มที่ฝึกซ้อมระดับต่ำ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าภาวะ oxidative stress ที่เพิ่มขึ้นในกลุ่มฝึกซ้อมที่ระดับสูง มีผลต่อการปรับตัวของร่างกายเพื่อสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) เพื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มเดียวกัน พบว่าค่าเฉลี่ยระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ในกลุ่มควบคุม ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ มีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการฝึก อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก ช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูลอยู่ในช่วงเริ่มต้นการศึกษาภาคฤดูร้อน ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าฤดูกาล มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยพบว่าในเพศหญิงที่ไม่ออกกำลังกาย การทำงานของเอ็นไซม์ CAT จะลดลงต่ำสุดในช่วงฤดูร้อน เมื่อเทียบกับฤดูอื่น และ

เอ็นไซม์ SOD ในฤดูร้อน มีค่าลดลงต่ำกว่าในฤดูใบไม้ผลิ และฤดูหนาว นอกจากนั้นประกอบกับช่วงเริ่มต้นการศึกษาภาคฤดูร้อน เป็นช่วงที่มีกิจกรรมต่างๆ น้อยเมื่อเทียบกับภาคเรียนปกติ ทั้งกิจกรรมการเรียนการสอน กิจกรรมของคณะ และมหาวิทยาลัย อาจส่งผลให้ระดับสารต้านอนุมูลอิสระลดลงได้ (Balog *et al.,* 2006)

ในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่าก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ค่าเฉลี่ยระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ตามลำดับ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่าก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ค่าเฉลี่ยระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยที่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ค่าเฉลี่ยระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึก โดยมีแนวโน้มว่าระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากกว่าก่อนการฝึก

ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มทดลองที่ 2 ร่างกายมีการปรับตัวในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ออกกำลังกายในระดับความหนักสูงซึ่งมีการปรับตัวเพิ่มขึ้นของระดับ TAC สูงกว่าในกลุ่มทดลองที่ 1 ที่ออกกำลังกายในระดับความหนักปานกลาง ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการออกกำลังแบบแอโรบิก ในระดับความหนักปานกลาง และพัฒนาไปจนถึงระดับความหนักสูง อย่างน้อยติดต่อกัน 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที จึงมีผลดีต่อการปรับตัวของร่างกายในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC)

ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มทดลองที่ 2 ร่างกายมีการปรับตัวในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 สมรรถภาพทางกายมีการปรับตัวดีขึ้นดังเห็นได้จากอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ระดับความหนักในการออกกำลังกายยังคงได้รับในระดับเดิม ไม่ได้ปรับเปลี่ยนตามสมรรถภาพร่างกายที่ปรับตัวดีขึ้น ดังนั้นจึงควรเพิ่มความหนักในการออกกำลังกาย ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 เพื่อการปรับตัวของร่างกายในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ที่ดีขึ้น

**ตารางที่ 3** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) ของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

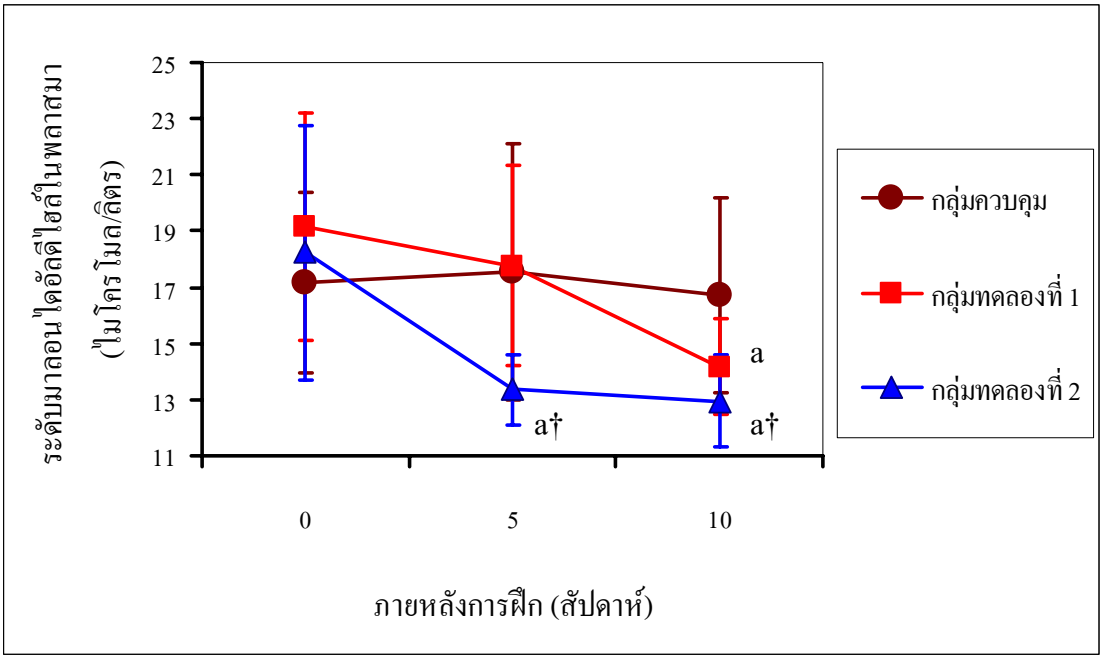
(หน่วย: ไมโครโมล/ลิตร)

| ระยะเวลา | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|
| ก่อนการฝึก | 17.170 ± 3.200 | 19.158 ±4.051 | 18.233 ± 4.521 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 17.558 ± 4.561 | 16.744 ±3.564 | 13.355 ± 1.255[a†] |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 16.710 ±3.442 | 14.160 ±1.689[a] | 12.942 ±1.651[a†] |

**หมายเหตุ** แสดงข้อมูลเป็น $\overline{X}$ ±S.D.

a แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05




หมายเหตุ a แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ภาพที่ 6** แสดงค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) ของระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ผู้วิจัยทำการทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฝึก และระยะเวลาการฝึก พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฝึกและระยะเวลาในการฝึก ที่ส่งผลต่อกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ MDA ดังนั้นระดับ MDA ที่เปลี่ยนแปลงเกิดจากวิธีการฝึก และ ระยะเวลาในการฝึก (ตารางผนวกที่ ข7) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าก่อนการฝึก กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) 17.170 19.158 และ 18.233 ไมโครโมล/ลิตรตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.200 1.051 และ 4.521 ตามลำดับ

ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) 17.558 16.744 และ 13.355 ไมโครโมล/ลิตรตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.561 3.564 และ 1.255 ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ของกลุ่มทดลองที่ 1 ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ยระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA)ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มลดลงมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1

ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) 16.710 14.160 และ 12.942 ไมโครโมล/ลิตรตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.442 1.689 และ 1.651 ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ของกลุ่มทดลองที่ 1 ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มลดลงมากกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่าค่าเฉลี่ยระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) แตกต่างกันไม่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มลดลงมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure)เพื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มเดียวกัน พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA)ในกลุ่มควบคุม ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่าก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยที่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึก โดยมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่าน้อยกว่าก่อนการฝึก ตามลำดับ

ในกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่าก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยที่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่5 และสัปดาห์ที่ 10 ค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึก โดยมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 มีค่าน้อยกว่าก่อนการฝึก ทั้งนี้เนื่องจากการออกกำลังกายทำให้มีการเพิ่มของอัตราการใช้ออกซิเจนในร่างกายสูงมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของกล้ามเนื้อลาย ยิ่งมีการใช้ออกซิเจนในไมโตคอนเดรียมากขึ้นเท่าใด ก็จะส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้นเท่านั้น นอกจากนั้นพบว่า catecholamines ที่หลั่งออกมาในปริมาณมากขณะมีการออกกำลังกายก็ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระเช่นเดียวกัน (Ji, 1995; Urso and Clarkson, 2003) เมื่ออนุมูลอิสระมากขึ้น ก่อให้เกิดการทำลาย ภาวะนี้มีผลต่อสารชีวโมเลกุลสำคัญในร่างกาย เช่น โปรตีน ลิปิด และDNA ทำให้เซลล์ได้รับบาดเจ็บ ส่งผลต่อภาวะ oxidative stress เนื่องจากความไม่สมดุลระหว่างอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นกับสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย แต่เมื่อออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอไประยะเวลาหนึ่ง ร่างกายจะมีการปรับตัวในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อปกป้องเซลล์ ซึ่งระดับสารต้านอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นในเลือด จะเป็นตัวรักษาสมดุล ไม่ให้เกิด หรือลดภาวะ oxidative stress ดังนั้นจึงส่งผลให้ระดับ MDA ที่ตรวจวัดในการศึกษานี้มีค่าลดลง โดยค่า MDA เป็นค่าที่นิยมใช้วัดระดับการเกิดภาวะ oxidative stress โดยเป็นตัวบ่งชี้กระบวนการเกิด lipid peroxidation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ทำให้เกิดการทำลายหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งมีลิปิด และโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก นำไปสู่การตายของเซลล์ (Moller *et al.*, 1996) ส่งผลต่อความสามารถทางกาย การล้าของกล้ามเนื้อ และการทำลายของกล้ามเนื้อ (Urso, 2003; Bonina *et al.*, 2005) ซึ่งการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Sukontachaya (2001) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในผู้สูงอายุ โดยให้ทำการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 70% ของอัตราสำรองของการเต้นหัวใจ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าทำให้ระดับ MDA ในซีรัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังสิ้นสุดการออกกำลังกายในสัปดาห์ที่ 6 และสัปดาห์ที่ 12 และ Sekeroglu *et al.* (1998) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบฉับพลัน และการออกกำลังกายที่สม่ำเสมอ ในระดับความหนักปานกลาง โดยการวิ่งวันละ 15-20 นาที เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่ามีผล

ให้ระดับ MDA ในพลาสมาลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบกับผลทดสอบในระยะฉับพลัน ซึ่งในการศึกษานี้บ่งชี้ว่าการฝึกออกกำลังกาย ในรูปแบบต่อเนื่อง ช่วยลดระดับ MDA และการทำลายเซลล์ซึ่งเกิดจากอนุมูลอิสระ

นอกจากนี้ ในการวิจัยนี้ยังพบว่าการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูงมีผลให้ระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ลดลงได้มากกว่าการออกกำลังกายในระดับความหนักปานกลาง อาจเป็นผลเนื่องจากการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง ก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress ได้มากกว่ากลุ่มการออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง โดยเฉพาะการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงมักก่อให้เกิดการระบมของกล้ามเนื้อ และบาดเจ็บ ได้มากกว่าในระดับปานกลาง รวมถึงการทำหน้าที่ของ macrophages ในการระดมพลเพื่อซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่เสียหาย ซึ่งกระบวนการอักเสบจากการออกกำลังกายนี้ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น (Urso and Clarkson, 2003 อ้างถึง Jackson, 2000) จึงมีผลต่อการปรับตัวของร่างกายในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นมากกว่า และช่วยสร้างสมดุลในร่างกาย โดยการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า ทำให้กระบวนการเกิด lipid peroxidation ลดลงมากกว่ากลุ่มออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง อีกทั้งเมื่อออกกำลังกายแบบแอโรบิกอย่างต่อเนื่องในระยะเวลาหนึ่ง มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยกล้ามเนื้อ ดังนั้นจึงทำให้การบาดเจ็บของเซลล์กล้ามเนื้อลดลง ทำให้อนุมูลอิสระลดลง

อย่างไรก็ตามในการศึกษาของ Niels *et al.* (1997) พบว่าการออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ มีผลต่อการเพิ่มระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ แต่ไม่มีผลต่อเปลี่ยนแปลงของระดับ MDA สอดคล้องกับ การศึกษาของ Roberton *et al.* (1991) พบว่านักกรีฑาซึ่งมีการฝึกซ้อมแบบทนทานที่ระดับสูง เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ มีระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในเลือดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มนักกีฬาซึ่งมีการฝึกซ้อมที่ระดับต่ำคือ แต่ระดับ MDA พบว่าไม่แตกต่างกันในระหว่างสองกลุ่มการทดลอง

นอกจากนี้ ระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ที่ลดลงภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มทดลองที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการออกกำลังกายในระดับความหนักปานกลางและระดับความหนักสูง ร่างกายเริ่มมีระดับ MDA ลดลง โดยเฉพาะการออกกำลังกายในระดับความหนักสูงมีระดับ MDA ต่ำกว่าในการออกกำลังกายระดับความหนักปานกลาง ดังนั้นจึงควรส่งเสริมให้มีการออกกำลังแบบแอโรบิก ในระดับความหนักปานกลาง และพัฒนาไปจนถึงระดับความหนักสูง อย่างน้อยติดต่อกัน 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที จึงมีผลดีต่อการลดลงของระดับ MDA

ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มทดลองที่ 2 ร่างกายมีระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ลดลง แต่ไม่แตกต่างจากภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 สมรรถภาพทางกายมีการปรับตัวดีขึ้น แต่ระดับความหนักในการออกกำลังกายยังคงได้รับในระดับเดิม ไม่ได้ปรับเปลี่ยนตามสมรรถภาพร่างกายที่ปรับตัวดีขึ้น ดังนั้น oxidative stress ที่ได้รับจึงน้อยลง ดังนั้นจึงควรเพิ่มความหนักในการออกกำลังกาย ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 เพื่อการปรับตัวของร่างกายในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ที่ดีขึ้น และระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ลดลง

ซึ่งการตอบสนองต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระ มีผลเกิดขึ้นค่อนข้างหลากหลาย เนื่องจากในแต่ละงานวิจัย มีโปรแกรมของการออกกำลังกายที่แตกต่างกัน ทั้งในแง่ ความหนักในการออกกำลังกาย วิธีการฝึก และระยะเวลาในการออกกำลังกาย นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น อายุ การใช้ออกซิเจนในร่างกาย ความไวในการตอบสนองต่ออนุมูลอิสระในร่างกาย และระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายแต่ละคนที่แตกต่างกัน

**ตารางที่ 4** แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated) ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

(หน่วย มล./กก./นาที)

| ระยะเวลา | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|
| ก่อนการฝึก | 38.410 ±5.323 | 38.099 ± 4.962 | 36.667 ±4.603 |
| ภายหลังการฝึก สัปดาห์ที่ 5 | 34.542 ±4.893 [a] | 40.984 ± 3.802 [†] | 42.934 ±4.742 [a†] |
| ภายหลังการฝึก สัปดาห์ที่ 10 | 34.712 ± 4.822 [a] | 44.585 ±5.179 [ab†] | 48.737 ±4.218 [ab†‡] |

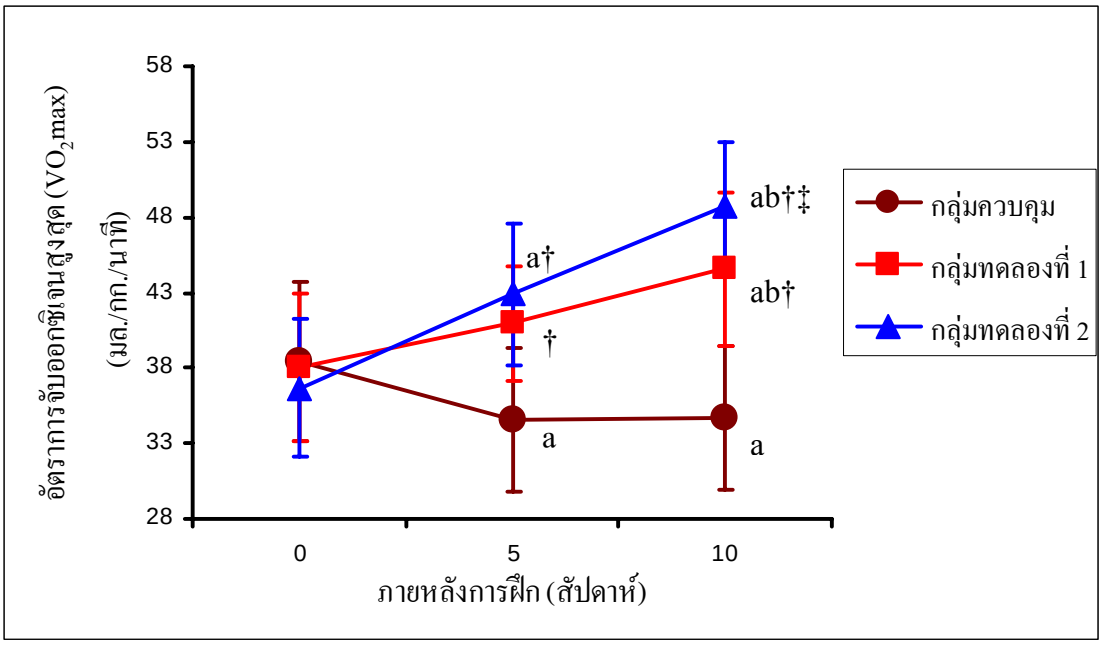
**หมายเหตุ** แสดงข้อมูลเป็น $\overline{X}$ ± S.D.

a แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

b แตกต่างจากภายหลังสัปดาห์ที่ 5 อย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

‡ แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05




หมายเหตุ a แตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

b แตกต่างจากภายหลังสัปดาห์ที่ 5 อย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

† แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

‡ แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ภาพที่ 7** แสดงค่าเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) ของอัตรา การจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2$max) และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม

ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ผู้วิจัยทำการทดสอบผลกระทบที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฝึกและระยะเวลาการฝึก พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฝึกและระยะเวลาในการฝึก ที่ส่งผลต่อกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ดังนั้นค่าความแตกต่างของวิธีฝึกขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการฝึก (ตารางผนวกที่ ข14)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม พบว่าก่อนการฝึก กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) 38.410 38.099 และ 36.667 มล./กก./นาที ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.323 4.962 และ 4.603 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) 34.542 40.984 และ 42.934 มล./กก./นาที ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.893 3.802 และ 4.742 ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง พบว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1

ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) 34.712 44.585 และ 48.737 มล./กก./นาที ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.822 5.179 และ 4.218 ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มทดลองที่ 1 และ กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (one-way ANOVA with repeated measure) เพื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มเดียวกัน พบว่าในกลุ่มควบคุม ค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มควบคุม มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 มีค่าน้อยกว่าก่อนการฝึก

ในกลุ่มทดลองที่ 1 พบว่าพบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มควบคุม ส่วนภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึก และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากกว่ากว่าก่อนการฝึกและภายหลังสัปดาห์ที่ 5

ในกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากกว่าก่อนการฝึก และค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 มีค่าแตกต่างจากภายหลังสัปดาห์ที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากกว่าภายหลังสัปดาห์ที่ 5 ซึ่งผลที่ได้เนื่องจากการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนักปานกลาง และความหนักสูง เป็นเวลา 30 นาที อย่างต่อเนื่อง 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ เป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการทำงานของระบบหัวใจและการไหลเวียนเลือด เมื่อออกกำลังกาย cathecholamines จากเส้นประสาทซิมพาธิติก จะกระตุ้นให้อัตราการเต้นของหัวใจเร็วขึ้น และเต้นแรงขึ้น ส่งผลให้มีการไหลเวียนของเลือดไปเลี้ยงร่างกายเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกยังทำให้ประสิทธิภาพการขยายตัวของปอดดีขึ้นอีกด้วย ซึ่งการทำงานของระบบไหลเวียนเลือดและระบบหายใจ จะสัมพันธ์กับอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ซึ่งอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดนี้มีความสัมพันธ์กับ อายุ เพศ ชนิดของการออกกำลังกาย โดยกิจกรรมที่ทำให้มีการพัฒนาสมรรถภาพดังกล่าว เป็นกิจกรรมที่มีความต่อเนื่อง มีความถี่ 3-5 สัปดาห์ ช่วงเวลาในการฝึก 20-60 นาที และฝึกด้วยความหนัก 50-85 % ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ACSM, 1995)

มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการออกกำลังกายแบบแอโรบิก และได้ผลเหมือนกันคือ อัตราการจับออกซิเจนสูงสุดของกลุ่มตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (หทัยรัตน์, 2543; Robertson *et al.*, 1991; Elosua et al, 2003; Kemi *et al.*, 2005) และจากการวิจัยนี้มีระยะเวลาต่อเนื่องถึง 10 สัปดาห์ มีผลให้ร่างกายมีการปรับตัว โดยกล้ามเนื้อหัวใจจะมีการสร้าง contractile protein ไมโตคอนเดรียเพิ่มขึ้น และเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น ทำให้การขนส่งของออกซิเจนไปยังเนื่อเยื่อเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมรรถภาพในการจับออกซิเจนของร่างกายมีมากขึ้น การสอดคล้องกับการศึกษาของ Kemi *et al.* (2005) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ในระดับความหนักปานกลาง และระดับความหนักสูงที่มีต่อความสามารถของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจในการหดตัว และการทำงานของเซลล์บุผิวที่หลอดเลือด พบว่าการออกกำลังกายที่มีระดับความหนักสูงมีผลต่อความสามารถของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจในการหดตัว และมีอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ดีกว่ากลุ่มที่ออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง ส่วนความสามารถของเซลล์บุผิวที่หลอดเลือดพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจในการหดตัว และการจับออกซิเจนสูงสุดขึ้นอยู่กับความหนักในการออกกำลังกาย

นอกจากนี้ พบว่าระดับความหนักในการออกกำลังกายที่เพิ่มขึ้น ไม่เพียงแต่ทำให้อัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) เพิ่มขึ้น ยังมีความสัมพันธ์กับระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ที่เพิ่มขึ้น และระดับ MDA ที่ลดลง ซึ่งอธิบายได้ว่า การปรับตัวของเมตาบอลิสม จากความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของเอมไซม์สำคัญที่สูงขึ้น พบว่ามีการปรับตัวโดยเพิ่มปริมาณของไมโตคอนเดรีย โดยที่องค์ประกอบของเอนไซม์แต่ละไมโตคอนเดรียยังคงเท่าเดิม (Moller *et al.,* 1996 อ้างถึง Davies *et al.*, 1981) ดังนั้นการปรับตัวของเมตาบอลิสมนอกจากส่งผลต่อการเพิ่มของ $VO_2max$ แล้ว ไมโตคอนเดรียที่เพิ่มขึ้นยังทำให้แต่ละไมโตคอนเดรียมีกระบวนการออกซิเดชันลง ส่งผลให้ระดับสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

# สรุปและข้อเสนอแนะ

## สรุป

จากการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่ความหนักระดับปานกลาง และความหนักสูงที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ ในกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนิสิตหญิงในมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง จำนวน 30 คน โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมประกอบกิจวัตรประจำวันตามปกติไม่ได้รับโปรแกรมการฝึกใดๆ จำนวน 10 คน กลุ่มที่ 2 ได้รับโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่ระดับความหนักปานกลาง จำนวน 10 คน และกลุ่มที่ 3 ได้รับโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่ระดับความหนักสูง จำนวน 10 คน และให้ทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่างทำการเจาะเลือด เพื่อนำเลือดไปวิเคราะห์ระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) และมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) รวมทั้งทดสอบอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ของทั้ง 3 กลุ่ม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ของทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ(TAC) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 โดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ภายในกลุ่มตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ภายในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ในกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ

(TAC) โดยวิธีของ Tukey ของกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่าภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากกว่าก่อนการฝึก

3. การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว พบว่าค่าเฉลี่ยระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ของทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 พบว่าค่าเฉลี่ยระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ของทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 โดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ในกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าน้อยกว่ากลุ่มควบคุม

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ภายในกลุ่มตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายในกลุ่มควบคุม มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ในกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ในกลุ่มทดลองที่ 1 โดยวิธีของ Tukey พบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่10 มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่า ระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่10 มีค่าน้อยกว่าก่อนการฝึก และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ในกลุ่มทดลองที่ 2 โดยวิธีของ Tukey พบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่า ระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 มีค่าน้อยกว่าก่อนการฝึก

5. การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว พบว่าก่อนการฝึก ค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของทั้ง 3 กลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 โดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 โดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มทดลองที่ 2 มีค่ามากกว่ากลุ่มควบคุม และค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากกลุ่มทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ของกลุ่มทดลองที่ 2 ค่ามากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1

6. จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ภายในกลุ่มตัวอย่าง พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ในกลุ่มควบคุม ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 โดยวิธีของ Tukey พบว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 มีค่าน้อยกว่าก่อนการฝึก

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ ของค่าเฉลี่ยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ในกลุ่มทดลองที่ 1 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 โดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากกว่ากว่าก่อนการฝึก

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ ของค่าเฉลี่ยอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ในกลุ่มทดลองที่ 2 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 โดยวิธีของ Tukey พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากก่อนการฝึกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากกว่าก่อนการฝึก และ ค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าแตกต่างจากภายหลังสัปดาห์ที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีแนวโน้มว่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 มีค่ามากกว่าภายหลังสัปดาห์ที่ 5

## ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการตรวจการเปลี่ยนแปลงระดับของสารต้านอนุมูลอิสระค่าอื่นๆ นอกเหนือจากระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) และมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA)

2. ควรทำการศึกษาต่อไปถึงผลการเปลี่ยนแปลงของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ ภายหลังการหยุดออกกำลังกาย

3. ควรปรับเปลี่ยนวิธีการกำหนดระดับความหนักในการออกกำลังกาย ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 จากอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (maximal heart rate) เป็นอัตราการเต้นหัวใจสำรอง (heart rate reserve) เพื่อให้เหมาะสมกับสมรรถภาพทางกายที่พัฒนามากขึ้น

4. ควรมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการออกกำลังกาย ให้มีความหลายหลาย ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 เพื่อเป็นแรงจูงใจกระตุ้นผู้เข้าร่วมวิจัยในการออกกำลังกายต่อไป

# เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย. 2543. **ค่ามาตรฐานเปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกายของประชาชนไทย.** วิธีทำการทดสอบสมรรถภาพทางกาย. แหล่งที่มา: http://www.ksn2.obec.go.th/webdata/www/static/testman/test09.htm, 29 พฤษภาคม 2551.

_____. 2543. **ค่ามาตรฐานปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทย.** วิธีทำการทดสอบสมรรถภาพทางกาย. แหล่งที่มา: http://www.ksn2.obec.go.th/webdata/www/static/testman/test12.htm, 29 พฤษภาคม 2551.

นันทยา ชนะรัตน์. 2549. **Biomarkers of Oxidative Stress,** น 25-35. ในการประชุมเชิงปฏิบัติการ Free Radicals and Antioxidant Workshop ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

นันทยา ชนะรัตน์ และ ทวีศักดิ์. 2549. **Biomarkers of Oxidative Stress,** น ป-13-14. ในการประชุมเชิงปฏิบัติการ Free Radicals and Antioxidant Workshop ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

หทัยกาญจน์ ก่อกอง. 2543. **ผลของการออกกำลังกายต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระและระดับไขมันในเลือด.** ภคนิพนธ์ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

หทัยรัตน์ ราชนาวี. 2543. **ผลของการฝึกโปรแกรมออกกำลังกายแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องที่มีต่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัญชนา เจนวิถีสุข. 2544. **การตรวจหาและบ่งชี้ชนิดสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านและสมุนไพรไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

American College of Sport Medicine. 1995. **ACSM'S Guideline for Exercise Testing and Prescription.** 5 th ed. Williams and Winlkins, Philadelphia.

Anderson, B. 1999. **Cycling Stretches Before riding.** Bike source for the ride of your life. Available Source: Andersonhttp://bikesourceonline.com/page.cfm?PageID=317, April 10, 2008.

Alessio, H.M. and E.R. Blasi.1997. Physical Activity as a Natural Antioxidant Bootster and Its Effect on a Healthy Life Span. Res. **Quar. Exer. Sport.** 108: 292-302.

Auguilo, A., P. Tauler, E. Fuentespina, J.A. Tur., A. Cordova. and A. Pons. 2005. Antioxidant Response to Oxidative Stress Induced by Exhaustive Exercise. **Physiology Behavior.** 84:1-7.

Balog, T., S. Sobocanec., V. Sverko., I. Krolo., B. Rocic., M. Marotti and T. Marotti. 2006. The Influence of Season on Oxidant–Antioxidant Status in Trained and Sedentary Subjects. **Life Science.** 78: 1141-1147.

Bonina, F.P. C. Puglia, F. Cimino, D. Trombetta, G. Tringali, A.M. Roccazello, E. Insirello, P. Rapisada and A. Saija. 2005. Oxidative Stress in Handball Player. **Nutrition Research.** 25: 917-924.

Brites, F.D., P.A. Evelson, M.G. Christiansen, M.F. Nicol., M.J. Basilico, R.W. WiKinski and S.F. Liesuy. 1999. Soccer players under regular training show oxdative stress but an improved plasma antioxidant status. **Clinical Science.** 96: 381-385.

Bunker, V.W. 1992. Free Radicals, Antioxidants and Aging**. Med. Lab. Science.** 49: 299- 312.

Deaton, C.M. and D.J. Martin. 2003. Exercise-Associated Oxidative Stress. **Clinical Techniques in Equine Practice.** 3: 278-291.

Dernbach, A.R., W.M. Sherman, J.C. Simonsen, J.C., K.M. Flower. and D.R. Lamb.1993. No Evidence of Oxidant Stress During High Intensity Rowing Training**. Journal of Applied Physiology**. 74 (5):2140-2145.

Elosua, R., M. Molina, A. Fito and J. Marrugat. 2003. Response of Oxidative Stress Biomarker to a 16 Week Aerobic Physical Activity Program and to Acute Physical Activity in Healthy Young Men. **Atherosclerosis.** 167: 327-334.

Goode, H.F., N. Richardson and D. Mayer. 1995. The Effect of Anticoagulant Choice on Apparent Total Antioxidant Capacity Using Three Different Methods. **Annual Clinical Biochemistry.** 32: 413-416.

Halliwell, R and J.M.C. Gutteridge. 1989. **Free Radicals in Biology and Medicine.** 2nd ed. Clarendon Press, New York.

Heyward, V.H. 2002. **Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription.** Human Kinetic, Champaign, Illinois.

Hoeger, W.W.K. and S.A. Hoeger 1997. **Principles and Labs for Physical Fitness.** Morton Publishing Company, Colorado.

Ilhan, N., A. Kamanli, R. Ozmerdivenli and N. Ilhan. 2004. Variable Effects of Exercise Intensity on Reduced Glutathione, Thiobarbituric Acid Reactive Substance Levels and Glucose Concentration. **Archive Medicine Research.** 35: 294-300.

Ji, L.L. 1995. Oxidative stress during exercise: Implication of antioxidant nutrients. **Free Radical Biological Medicine.** 18: 1079-1086.

Kemi, O.J., P.M. Haram and J.P. Leoennechen. 2005. Moderate VS High Exercise Intensity: Differential Effects on Aerobic Fitness Cardiomyocytes Contractility and Endothelial Function. **Cardiovascular Research.** 67: 161-172.

Leaf, D.A., M.T. Kleinman, M. Hamilton and T.J. Barstow. 1999. The Exercise Induced Oxidative Stress Paradox: The Effects of Physical Exercise Training. **American Journal of Medical Science.** 317 (5): 295-300.

Leeuwenburgh, C., R. Fiebig, R. Chandwaney and L.L. Ji. 1994. Aging and Exercise Training in Skeletal Muscle: Responses of Glutathione and Antioxidant Enzyme Systems. **American Journal of Physiology.** 267: R439-R445.

Marra, C., M. Bottaro., R. J. Olivera and J.S. Novaes. Effect of Moderate and High Intensity Aerobic Exercise on the Body Composition of Overweight Men. **Journal of exercise physiology.** 8 (2): 39-45.

Meijer, E.P., S.A.J. Coolen and K.R. Westerterp. 2001. Exercise Induced Oxidative Stress in Older Adults as Measured by Antipyrine Oxidation. **Metabolism.** 50: 1484-1488.

Mendis, S., P.A. Sobotka and D.E. Euler. 1994. Pentane and Isoprene in Expired Air from Humans:Gas Chromatographic Analysis of Single Breath. **Clinical Chemistry.** 40 (8): 1485- 1488.

Miyazaki, H., S. Oh-ishi, T. Ookawara, T. Kizaki, K. Toshinai, S. Ha, S. Haga, L.L. Ji and H. Ohno. 2001. Strenuous Endurance Training In Humans Reduce Oxidative Stress Following Exhausting Exercise. **European Journal of Applied Physiology.** 84(1-2): 1-6.

Moller, P., H. Wallin and L.E. Knudsen. 1996. Oxidative Stress Associated with Exercise Psychological Stress and Life-Style Factors. **Chemico-Biological Interactions.** 102:17-36.

Nicholas, J.M., R.E. Catherine and J.D. Michael. 1993. A Novel Methods for Measuring Antioxidant Capacity and Its Application to Monitoring the Antioxidant Status in Premature Neonate. **Clinical Science.** 84: 407-412.

Paffenberger, R.S., A.L. Wing and R.T. Hyde. 1978. Physical Activity as an Index of Heart Attach Risk of College Alumini. **American Journal of Epidermol.** 108: 161-175.

Pincemail, J., G. Camus, A. Roesgen, E. dreezen, Y. Berstrand, M. Lismonde, G. Deby- Dupont and C. Deby. 1990. Exercise Induces Pentane Production and Neutrophil Activation in Humans. **European Journal pf Applied Physiology Occupational Physiology.** 61(3-4): 319-322

Re, R., N., Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and Rice-evans. 1999. Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. **Free Radical Biology Medicine.** 26: 1231-1237.

Robertson, J.D., R.J. Maughan, G.G. Duthie and P.C. Morrice. 1991. Increased Blood Antioxidants Systems of Runners in Response to Training Load. **Clinical Science.** 80: 611-618.

Sekeroglu, M.R., M. Tarakcloglu, F. Bayiroglu and I. Merae. 1998. Effect of Acute and Regular Exercise on Antioxidative Enzymes, Tissue Damage Markers and Membran Lipid Peroxidation of Erythrocytes in Sedentary Students. **Tr. J. of Medical Sciences.** 28: 411-414.

Sukontachaya, C. 2001. **Effect of Exercise and Vitamin E Supplement on Antioxidants Capacity and Lipid Profile in Thai Elderly Men.** Thesis for Master of Science, Chiangmai University.

Tauler, P., A. Agulio, P. Guix, F. Jimenez, J.A. Tur, A.Cordova and A. Pons. 2005. Preexercise Antioxidant Enzyme Activities Determine the Antioxidant Enzyme Erythrocyte Response to Exercise. **Journal of Sport Science**. 23: 5-13.

Tiidus, P.M., J. Pushkarenko and M.E. Houston. 1996. Lack of Antioxidant Adaption to Short Term Aerobic Training in Human Muscle. **American Journal of Physiology.** 271:R832-R836.

Urso, M.L. and P.M. Clarkson. 2003. Oxidative Stress Exercise and Antioxidant Supplementation. **Toxicology.** 189: 41-54.

WHO. 1998. **Prevent and Managing a Global Epideric.** Report of a WHO Consultation an Obesity. Geneva: World Health Organization.

Wilson, R., M.R. Mansour, A.D. Stewart, I.A. Nimmo, M.J. Shepherd and. R.A. Riemersma 2001. Lipid Peroxidation in vivo is Induced by Exercise on Bicycle Ergometer. **European Journal of Lipid Science Technology.** 103: 350-354.

# ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

การทดสอบการกระจายของข้อมูล

**ตารางผนวก ที่ ก1** การทดสอบการกระจายของข้อมูลของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC)

| แหล่งความแปรปรวน | N | $\overline{X}$ | SD | Kolmogorov-Smirnov Z |
|---|---|---|---|---|
| <u>กลุ่มควบคุม</u> | | | | |
| ก่อนการฝึก | 10 | 1.417 | .043 | .497 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 10 | 1.380 | .060 | .680 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 10 | 1.413 | .014 | .632 |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 1</u> | | | | |
| ก่อนการฝึก | 10 | 1.408 | .068 | .910 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 10 | 1.422 | .019 | .663 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 10 | 1.463 | .079 | 1.217 |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 2</u> | | | | |
| ก่อนการฝึก | 10 | 1.409 | .076 | .548 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 10 | 1.451 | .020 | .722 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 10 | 1.493 | .018 | .635 |

* $p < .05$

**ตารางผนวกที่ ก2** การทดสอบการกระจายของข้อมูลของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA)

| แหล่งความแปรปรวน | N | $\overline{X}$ | SD | Kolmogorov-Smirnov Z |
|---|---|---|---|---|
| <u>กลุ่มควบคุม</u> | | | | |
| ก่อนการฝึก | 10 | 17.170 | 3.200 | .376 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 10 | 17.558 | 4.561 | .415 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 10 | 16.710 | 3.442 | .632 |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 1</u> | | | | |
| ก่อนการฝึก | 10 | 19.158 | 4.051 | .329 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 10 | 16.744 | 3.564 | .440 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 10 | 14.160 | 1.689 | .475 |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 2</u> | | | | |
| ก่อนการฝึก | 10 | 18.233 | 4.521 | .663 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 10 | 13.355 | 1.255 | .511 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 10 | 12.942 | 1.651 | .388 |

* $p < .05$

**ตารางผนวกที่ ก3** การทดสอบการกระจายของข้อมูลของระดับอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$)

| แหล่งความแปรปรวน | N | $\overline{X}$ | SD | Kolmogorov-Smirnov Z |
|---|---|---|---|---|
| <u>กลุ่มควบคุม</u> | | | | |
| ก่อนการฝึก | 10 | 38.410 | 5.323 | .428 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 10 | 34.542 | 4.893 | .806 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 10 | 34.712 | 4.822 | .592 |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 1</u> | | | | |
| ก่อนการฝึก | 10 | 38.099 | 4.962 | .752 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 10 | 40.984 | 3.802 | .537 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 10 | 44.585 | 5.179 | .494 |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 2</u> | | | | |
| ก่อนการฝึก | 10 | 36.667 | 4.603 | .543 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 | 10 | 42.934 | 4.742 | .408 |
| ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 | 10 | 48.737 | 4.218 | .536 |

* $p < .05$

**ภาคผนวก ข**

ค่าสถิติของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) มาลอนไดอัลดีไฮส์ (MDA) และอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$)

**ตารางผนวกที่ ข1** การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกทั้ง 3 วิธี กับระยะเวลาในการฝึกที่มีต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| ระหว่างกลุ่มสมาชิก | | | | | |
| วิธีการฝึก | .34 | 2 | .017 | 7.721 | .002* |
| สมาชิก | .060 | 27 | .002 | | |
| ภายในกลุ่มสมาชิก | | | | | |
| ระยะเวลาการฝึก | .036 | 2 | .018 | 6.391 | .003 * |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกและระยะเวลาการฝึก | .024 | 4 | .006 | 2.182 | .083 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการฝึก | .150 | 54 | .003 | | |
| รวม | .61 | 89 | | | |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข2** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| ก่อนการฝึก | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | .000 | 2 | .000 | .057 | .945 |
| ภายในกลุ่ม | .110 | 27 | .004 | | |
| รวม | .110 | 29 | | | |
| ภายหลังการฝึก 5 สัปดาห์ | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | .025 | 2 | .013 | 8.644 | .001* |
| ภายในกลุ่ม | .039 | 27 | .004 | | |
| รวม | .064 | 29 | | | |
| ภายหลังการฝึก 10 สัปดาห์ | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | .033 | 2 | .017 | 7.251 | .003* |
| ภายในกลุ่ม | .110 | 27 | .004 | | |
| รวม | .095 | 29 | | | |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข3** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey

(หน่วย: มิลลิโมล/ลิตร Trolox)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| | | 1.380 | 1.422 | 1.451 |
| กลุ่มควบคุม | 1.380 | - | -.0419 | -.0704* |
| กลุ่มทดลองที่ 1 | 1.422 | - | - | -.0285 |
| กลุ่มทดลองที่ 2 | 1.451 | - | - | - |

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข4** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey

(หน่วย: มิลลิโมล/ลิตร Trolox)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| | | 1.380 | 1.422 | 1.451 |
| กลุ่มควบคุม | 1.380 | - | -.0508 | -.0806* |
| กลุ่มทดลองที่ 1 | 1.422 | - | - | -.0299 |
| กลุ่มทดลองที่ 2 | 1.451 | - | - | - |

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข5** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ภายในกลุ่มตัวอย่าง

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>กลุ่มควบคุม</u> | | | | | |
| ระยะเวลา | .008 | 2 | .004 | 2.543 | .107 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกกับระยะเวลา | .028 | 18 | .002 | | |
| รวม | .036 | 20 | .006 | | |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 1</u> | | | | | |
| ระยะเวลา | .016 | 2 | .008 | 1.772 | .198 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกกับระยะเวลา | .083 | 18 | .005 | | |
| รวม | .099 | 20 | | | |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 2</u> | | | | | |
| ระยะเวลา | .035 | 2 | .018 | 8.298 | .003* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกกับระยะเวลา | .038 | 18 | .002 | | |
| รวม | .073 | 20 | | | |

* $p<.05$ ($F_{(2,18)} = 3.55$)

**ตารางผนวกที่ ข6** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 2

(หน่วย: มิลลิโมล/ลิตร Trolox)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | ก่อนการฝึก | ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 |
|---|---|---|---|---|
| | | 1.413 | 1.463 | 1.493 |
| ก่อนการฝึก | 1.413 | - | -.05 | -.08* |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | 1.463 | - | - | -.03 |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 | 1.493 | - | - | - |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข7** การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกทั้ง 3 วิธี กับระยะเวลาในการฝึกที่มีต่อระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) การฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| ระหว่างกลุ่มสมาชิก | | | | | |
| วิธีการฝึก | 89.129 | 2 | 44.564 | 4.678 | .000* |
| สมาชิก | 257.233 | 27 | 9.527 | | |
| ภายในกลุ่มสมาชิก | | | | | |
| ระยะเวลาการฝึก | 197.783 | 2 | 98.892 | 8.346 | .001 * |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกและระยะเวลาการฝึก | 103.943 | 4 | 25.986 | 2.193 | .082 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการฝึก | 693.846 | 54 | 11.849 | | |
| รวม | 1341.934 | 89 | | | |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข8** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของต่อระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| ก่อนการฝึก | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 19.772 | 2 | 9.886 | .629 | .541 |
| ภายในกลุ่ม | 424.340 | 27 | 15.716 | | |
| รวม | 444.112 | 29 | | | |
| ภายหลังการฝึก 5 สัปดาห์ | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 99.377 | 2 | 49.689 | 4.248 | .025* |
| ภายในกลุ่ม | 315.811 | 27 | 11.697 | | |
| รวม | 415.188 | 29 | | | |
| ภายหลังการฝึก 10 สัปดาห์ | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 73.923 | 2 | 36.961 | 6.359 | .005* |
| ภายในกลุ่ม | 156.927 | 27 | 5.812 | | |
| รวม | 230.85 | 29 | | | |

* $p<.05$ ($F_{(2,27)} = 3.35$)

**ตารางผนวกที่ ข9** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey

(หน่วย: ไมโครโมล/ลิตร)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| | | 17.558 | 16.744 | 13.355 |
| กลุ่มควบคุม | 17.558 | - | .8140 | 4.203* |
| กลุ่มทดลองที่ 1 | 16.7444 | - | - | 3.389 |
| กลุ่มทดลองที่ 2 | 13.355 | - | | |

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข10** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยวิธีของ Tukey

(หน่วย: ไมโครโมล/ลิตร)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\bar{X}$ | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| | | 16.710 | 14.160 | 12.942 |
| กลุ่มควบคุม | 16.710 | - | 2.550 | 3.767* |
| กลุ่มทดลองที่ 1 | 14.160 | - | - | 1.217 |
| กลุ่มทดลองที่ 2 | 12.942 | - | - | - |

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข11** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ภายในกลุ่มตัวอย่าง

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>กลุ่มควบคุม</u> | | | | | |
| ระยะเวลา | 3.605 | 2 | 1.802 | .118 | .899 |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกกับระยะเวลา | 274.603 | 18 | 15.256 | | |
| รวม | 278.208 | 20 | 17.058 | | |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 1</u> | | | | | |
| ระยะเวลา | 196.357 | 2 | 98.178 | 7.151 | .005* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกกับระยะเวลา | 247.134 | 18 | 13.730 | | |
| รวม | 443.491 | 20 | 111.908 | | |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 2</u> | | | | | |
| ระยะเวลา | 173.173 | 2 | 86.587 | 10.188 | .001* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกกับระยะเวลา | 152.976 | 18 | 8.499 | | |
| รวม | 326.149 | 20 | 95.086 | | |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข12** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 1

(หน่วย: ไมโครโมล/ลิตร)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | ก่อนการฝึก | ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 |
|---|---|---|---|---|
| | | 19.158 | 16.744 | 14.160 |
| ก่อนการฝึก | 19.158 | - | 2.414 | 4.998* |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | 16.744 | - | - | 2.584 |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 | 14.160 | - | - | - |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข13** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของระดับมาลอนไดอัลดีไฮล์ (MDA) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 2

(หน่วย: ไมโครโมล/ลิตร)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | ก่อนการฝึก | ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 |
|---|---|---|---|---|
| | | 18.233 | 13.355 | 12.942 |
| ก่อนการฝึก | 18.233 | - | 4.878* | 5.291* |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | 13.355 | - | - | 0.413 |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 | 12.942 | - | - | - |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ก14** การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกทั้ง 3 วิธี กับช่วงเวลาในการวัดที่มีต่ออัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| ระหว่างกลุ่มสมาชิก | | | | | |
| วิธีการฝึก | 783.724 | 2 | 391.862 | 3499.196 | .001* |
| สมาชิก | 1109.076 | 27 | 41.077 | | |
| ภายในกลุ่มสมาชิก | | | | | |
| ระยะเวลาการฝึก | 378.158 | 2 | 189.079 | 14.237 | .000 * |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกและระยะเวลาการฝึก | 657.372 | 4 | 164.343 | 12.374 | 000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกและระยะเวลาการฝึก | 717.171 | 54 | 13.281 | | |
| รวม | 3645.501 | 89 | | | |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข15** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ภายหลังเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีฝึกกับระยะเวลาในการฝึกโดยวิธีของ Tukey

(หน่วย: มล./กก./นาที)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| | | 37.725 | 39.487 | 42.678 |
| กลุ่มควบคุม | 37.725 | - | -1.762 | -4.953 * |
| กลุ่มทดลองที่ 1 | 39.487 | - | - | 3.191 |
| กลุ่มทดลองที่ 2 | 42.678 | - | - | - |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข16** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึก สัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่าง

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| ก่อนการฝึก | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 17.285 | 2 | 8.642 | .350 | .708 |
| ภายในกลุ่ม | 667.357 | 27 | 24.717 | | |
| รวม | 684.642 | 29 | | | |
| ภายหลังการฝึก 5 สัปดาห์ | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 35.758 | 2 | 192.879 | 9.502 | .001* |
| ภายในกลุ่ม | 548.075 | 27 | 20.299 | | |
| รวม | 993.834 | 29 | | | |
| ภายหลังการฝึก 10 สัปดาห์ | | | | | |
| ระหว่างสมาชิก | 1038.053 | 2 | 519.026 | 22.943 | .000* |
| ภายในกลุ่ม | 610.815 | 27 | 22.623 | | |
| รวม | 1648.868 | 29 | | | |

* $p<.05$ ($F_{(2,27)} = 3.35$)

**ตารางผนวกที่ ข17** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey

(หน่วย: มล./กก./นาที)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| | | 34.542 | 40.984 | 42.934 |
| กลุ่มควบคุม | 34.542 | - | -6.442* | -8.392 * |
| กลุ่มทดลองที่ 1 | 40.984 | - | - | -1.95 |
| กลุ่มทดลองที่ 2 | 42.934 | - | - | - |

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข18** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของมีค่าแตกต่างจากกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มโดยวิธีของ Tukey

(หน่วย: มล./กก./นาที)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | กลุ่มควบคุม | กลุ่มทดลองที่ 1 | กลุ่มทดลองที่ 2 |
|---|---|---|---|---|
| | | 34.712 | 44.585 | 48.737 |
| กลุ่มควบคุม | 34.712 | - | -9.873* | -14.025 * |
| กลุ่มทดลองที่ 1 | 44.585 | - | - | -4.152* |
| กลุ่มทดลองที่ 2 | 48.737 | - | - | - |

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข19** การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ภายในกลุ่มตัวอย่าง

| แหล่งความแปรปรวน | SS | df | MS | F | p |
|---|---|---|---|---|---|
| <u>กลุ่มควบคุม</u> | | | | | |
| ระยะเวลา | 95.552 | 2 | 47.776 | 5.914 | .011* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกกับระยะเวลา | 145.422 | 18 | 8.079 | | |
| รวม | 110.974 | 20 | 55.855 | | |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 1</u> | | | | | |
| ระยะเวลา | 211.195 | 2 | 105.598 | 9.393 | .002* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกกับระยะเวลา | 202.353 | 18 | 11.242 | | |
| รวม | 413.548 | 20 | 116.84 | | |
| <u>กลุ่มทดลองที่ 2</u> | | | | | |
| ระยะเวลา | 728.783 | 2 | 364.392 | 17.756 | .000* |
| ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกกับระยะเวลา | 369.396 | 18 | 20.522 | | |
| รวม | 1098.179 | 20 | 384.914 | | |

* $p<.05$ ($F_{(2,18)} = 3.55$)

**ตารางผนวกที่ ข20** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มควบคุม

(หน่วย: มล./กก./นาที)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | ก่อนการฝึก | ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 |
|---|---|---|---|---|
| | | 38.419 | 34.542 | 34.712 |
| ก่อนการฝึก | 38.410 | - | 3.877* | 3.707* |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | 34.542 | - | - | -0.17 |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 | 34.712 | - | - | - |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข21** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 1

(หน่วย: มล./กก./นาที)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | ก่อนการฝึก | ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 |
|---|---|---|---|---|
| | | 38.099 | 40.984 | 44.585 |
| ก่อนการฝึก | 38.099 | - | -2.855 | -6.486* |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | 40.984 | - | - | -3.601 |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 | 44.585 | - | - | - |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ตารางผนวกที่ ข22** การเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) ก่อนการฝึก ภายหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 5 และสัปดาห์ที่ 10 ของกลุ่มทดลองที่ 2

(หน่วย: มล./กก./นาที)

| กลุ่มตัวอย่าง | $\overline{X}$ | ก่อนการฝึก | ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 |
|---|---|---|---|---|
| | | 36.667 | 42.934 | 48.737 |
| ก่อนการฝึก | 36.667 | - | -6.267* | -12.07* |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 5 | 42.934 | - | - | -5.803* |
| ภายหลังสัปดาห์ที่ 10 | 48.737 | - | - | - |

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ภาคผนวก ค**

ข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัย

**ข้อมูลสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัย**

**ชื่อโครงการ**

ภาษาไทย ผลของความหนักในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ

ภาษาอังกฤษ Effect of Aerobic Exercise Intensities on Antioxidants capacity

ผู้วิจัย นางปรียาลักษณ์ โคหนองบัว
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

**การวิจัยนี้เกี่ยวกับอะไร**

การออกกำลังกายได้ ถือว่าเป็นพฤติกรรมสุขภาพที่มีประโยชน์ต่อร่างกายสามารถชะลอความเสื่อมต่างๆ ของร่างกาย การออกกำลังกายมีความสำคัญในการในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ส่งผลต่อทั้งสภาพทางกายและจิตใจ ทำให้คุณภาพชีวิตดีขึ้นและยืนนาน การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอทำให้มีการปรับตัวในการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด กล้ามเนื้อและระบบการทำงานของอวัยวะต่างๆทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของความหนักในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการส่งเสริมการออกกำลังกายในวัยรุ่น

**นิสิตจะได้ประโยชน์อะไรจากการวิจัยนี้**

นิสิตไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ ในการตรวจสอบต่างๆ ตามการวิจัยนี้ และได้รับการทดสอบสมรรถภาพร่างกาย และผลประโยชน์จากการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อื่นในอนาคต

**นิสิตจะต้องปฏิบัติตัวอย่างไร**

นิสิตจะต้องเซ็นชื่อลงในใบยินยอมเพื่อแสดงว่า นิสิตตกลงเข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ด้วยความสมัครใจ นิสิตจะต้องบันทึกการรับประทานอาหารประจำวันของนิสิตก่อนเริ่มงานวิจัย 1 สัปดาห์ และขณะเข้าร่วมการวิจัย 2 สัปดาห์ และแจ้งให้ผู้วิจัยทราบ หากมีการรับประทานอาหารที่

แตกต่างไปจากเดิม งานวิจัยนี้ใช้ระยะเวลา 10 สัปดาห์ โดยก่อนเริ่มต้นโครงการวิจัย นิสิตจะได้รับการตรวจร่างกายและเจาะเลือดดำบริเวณข้อพับแขน จากนั้นผู้วิจัยจะทำการสุ่มโดยการจับสลากเพื่อแบ่งกลุ่มการศึกษาเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งนิสิตอาจได้อยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมประกอบกิจวัตรประจำวันตามปกติไม่ได้รับโปรแกรมการฝึกใดๆ

กลุ่มที่ 2 ได้รับโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่ระดับความหนัก 65-70% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ซึ่งใช้เวลาครั้งละ 30นาที เป็นเวลา 3 ครั้งต่อสัปดาห์

กลุ่มที่ 3 ได้รับโปรแกรมการฝึกออกกำลังกายที่ระดับความหนักที่ระดับความหนัก 80-85% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ซึ่งใช้เวลาครั้งละ 30นาที เป็นเวลา 3 ครั้งต่อสัปดาห์

**นิสิตทำอย่างไรหากไม่ต้องการเข้าร่วมการวิจัยนี้ หรือหากเปลี่ยนใจระหว่างเข้าร่วมการวิจัย**

นิสิตไม่จำเป็นต้องเข้าร่วมการวิจัยนี้หากไม่สมัครใจ และหลังจากตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยแล้ว นิสิตสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลา

**การปกป้องและรักษาข้อมูล**

ข้อมูลของนิสิตจะถูกบันทึกระหว่างการวิจัย ซึ่งจะเก็บเป็นความลับตลอดเวลา และนำข้อมูลมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการวิจัยเท่านั้น

**หากนิสิตมีคำถามเกี่ยวกับการวิจัยนี้สามารถติดต่อได้ที่ใคร**

หากนิสิตมีคำถามหรือความวิตกกังวลสามารถติดต่อได้ที่

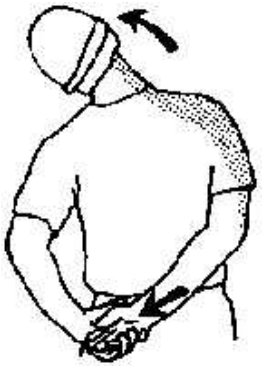
นางปรียาลักษณ์ โคหนองบัว
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ม.ทักษิณ
โทรศัพท์ภายใน …… โทรศัพท์มือถือ……..

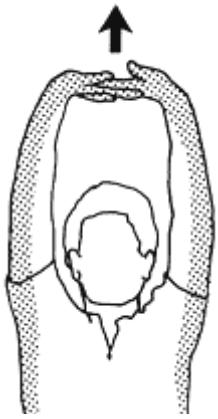
**ภาคผนวก ง**

การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ

**การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ**

เพื่อเตรียมความพร้อมของร่างกายก่อนการออกกำลังกายด้วยการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และเคลื่อนไหวข้อต่อ และเพื่อผ่อนคลายการทำงานของกล้ามเนื้อหลังการออกกำลังกาย

| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 1. ยืดกล้ามเนื้อคอและไหล่ | คอและไหล่  | ข้างละ 15 วินาที (รวม 60 วินาที) |

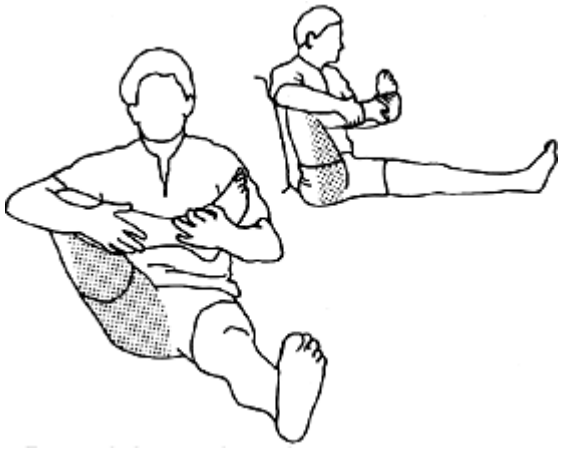
| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 2. ประสานมือเหนือศีรษะเอียงลำตัวไปด้านซ้ายและขวา | แขน ไหล่ หลังส่วนบน ด้านข้างลำตัว  | ข้างละ 15 วินาที (รวม 45 วินาที) |

| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 3. ยืดกล้ามเนื้อต้นแขนและไหล่ | แขนและไหล่ | ข้างละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |

| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 4. ยืดกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหลัง | แขนและไหล่ | ข้างละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |

| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 5. ยืดกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหลัง | แขนและไหล่ | ข้างละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |

| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 6. นั่งยืดกล้ามเนื้อตะโพกและบิดข้อเท้า | ต้นขาด้านหลัง ตะโพก และข้อเท้า | ข้างละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |



| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 7. นั่งยืดกล้ามเนื้อต้นขา | ต้นขาด้านหน้า และหัวเข่า | ข้างละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |

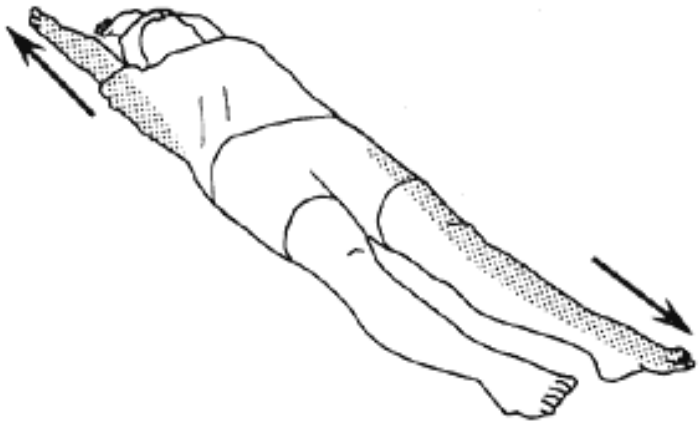
| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 8. นั่งยืดกล้ามเนื้อต้นขา และบิดตะโพก | ต้นขาด้านหน้า ตะโพก และหัวเข่า | ข้างละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |

| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 9. นั่งยืดขา | ตะโพกและด้านข้างของขา | ข้างละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |

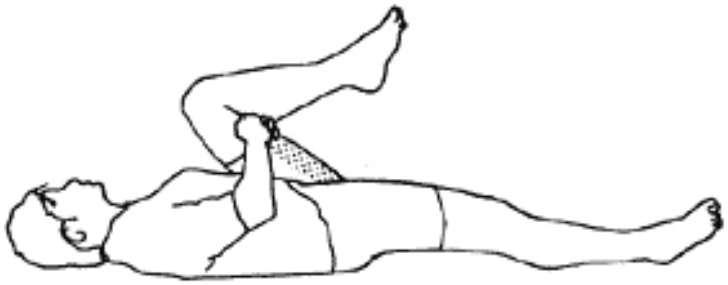
| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 10. นั่งกดขาและโน้มตัวไปด้านหน้า | ต้นขาด้านใน และหลัง | 2 ครั้ง ๆ ละ 20 วินาที วม 40 วินาที) |

| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 11. นั่งเหยียดขาเอามือแตะปลายเท้า | ต้นขาด้านหลัง และน่อง | ข้างละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |

| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 12. นอนหงายเหยียดลำตัว | ไหล่ ลำตัว เข่า เท้า | 2 ครั้ง ๆ ละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |



| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 13. ดึงขาชิดลำตัว | ตะโพก ต้นขาด้านหลัง | ข้าง ละ 15 วินาที (รวม 30 วินาที) |



| กิจกรรม | กล้ามเนื้อและข้อต่อที่ยืดเหยียด | เวลาที่ใช้ |
|---|---|---|
| 14. นอนหงายดึงขาไปด้านข้างลำตัว | ลำตัว ตะโพก | ข้างละ 30 กับวินาที (รวม 60 วินาที) |

ที่มา: Anderson (1999)

**ภาคผนวก จ**

การทดสอบ

**การวัดอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) โดยวิธีของแอสทรานด์-ไรท์มิ่ง**

**วิธีการทดสอบ**

1. ทำการปรับอานและที่จับให้เหมาะสม เมื่อผู้รับการทดสอบนั่งบนอานจักรยานแล้ว หัวเข่าเหยียดเกือบสุดในขณะที่ขาอีกข้างหนึ่งถีบจักรยานลงส่วนล่างของรอบหมุนจักรยาน
2. ในระหว่างทำการทดสอบ ให้ผู้ทดสอบรักษาอัตราความเร็วที่ 50 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการทดสอบ 6 นาที
3. กำหนดน้ำหนักถ่วงเริ่มต้น ในการทดสอบเป็น 1 กิโลปอนด์ (300 kpm) ถ้าปั่นจักรยานผ่านไปแล้ว 2 นาที อัตราการเต้นของหัวใจยังต่ำกว่า 120 ครั้งต่อนาที ให้เพิ่มน้ำหนักถ่วงเป็น 1.5 กิโลปอนด์ (450 kpm)
4. ปั่นจักรยานเป็นเวลา 6 นาที และทดสอบอัตราการเต้นของหัวใจทุกๆ นาที ใน 10 วินาทีสุดท้ายของในแต่ละนาที
5. นำค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจในนาทีที่ 5 และ 6 ถ้าอัตราการเต้นของหัวใจแตกต่างกันเกิน 5 ครั้งต่อนาที ให้ทดสอบต่ออีก 2-3 นาที จนกว่าจะถึงอัตราการเต้นของหัวใจในสภาวะคงที่
6. นำค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจ 2 นาทีสุดท้าย และความหนักของงานที่ใช้ไปเปิดตารางหาค่า $VO_2max$ (ตารางผนวกที่ จ1)
7. นำค่า $VO_2max$ ที่ได้มาปรับแก้ โดยมาคูณกับ correction factors ตามอายุ (ตารางผนวกที่ จ2)
8. นำค่าที่ได้มาคูณด้วย 1000 แล้วหารด้วยน้ำหนักตัว ค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็นมิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที

**ตารางผนวกที่ จ1** ตารางประมาณค่าอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด ($VO_2max$) สำหรับวิธีของแอสทรานด์-ไรท์มิง (หญิง)

| Heart | Maximal oxygen uptake | | | | | | Maximal oxygen uptake | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| rate | 300 | 450 | 600 | 750 | 900 | | 300 | 450 | 600 | 750 | 900 |
| 120 | 2.6 | 3.4 | 4.1 | 4.8 | | 146 | 1.6 | 2.2 | 2.6 | 3.2 | 3.7 |
| 121 | 2.5 | 3.3 | 4.0 | 4.8 | | 147 | 1.6 | 2.1 | 2.6 | 3.1 | 3.6 |
| 122 | 2.5 | 3.2 | 3.9 | 4.7 | | 148 | 1.6 | 2.1 | 2.6 | 3.1 | 3.6 |
| 123 | 2.4 | 3.1 | 3.9 | 4.6 | | 149 | | 2.1 | 2.6 | 3.0 | 3.5 |
| 124 | 2.4 | 3.1 | 3.8 | 4.5 | | 150 | | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 125 | 2.3 | 3.0 | 3.7 | 4.4 | | 151 | | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
| 126 | 2.3 | 3.0 | 3.6 | 4.3 | | 152 | | 2.0 | 2.5 | 2.9 | 3.5 |
| 127 | 2.2 | 2.9 | 3.5 | 4.2 | | 153 | | 2.0 | 2.4 | 2.9 | 3.4 |
| 128 | 2.2 | 2.8 | 3.5 | 4.2 | | 154 | | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.3 |
| 129 | 2.2 | 2.8 | 3.4 | 4.1 | 4.8 | 155 | | 1.9 | 2.4 | 2.8 | 3.3 |
| 130 | 2.1 | 2.7 | 3.4 | 4.0 | 4.8 | 156 | | 1.9 | 2.3 | 2.8 | 3.2 |
| 131 | 2.1 | 2.7 | 3.4 | 4.0 | 4.7 | 157 | | 1.9 | 2.3 | 2.7 | 3.2 |
| 132 | 2.0 | 2.7 | 3.3 | 3.9 | 4.6 | 158 | | 1.8 | 2.3 | 2.7 | 3.1 |
| 133 | 2.0 | 2.7 | 3.2 | 3.8 | 4.5 | 159 | | 1.8 | 2.2 | 2.7 | 3.1 |
| 134 | 2.0 | 2.6 | 3.2 | 3.7 | 4.4 | 160 | | 1.8 | 2.2 | 2.7 | 3.0 |
| 135 | 2.0 | 2.6 | 3.1 | 3.6 | 4.3 | 161 | | 1.8 | 2.2 | 2.6 | 3.0 |
| 136 | 1.9 | 2.5 | 3.1 | 3.6 | 4.2 | 162 | | 1.8 | 2.2 | 2.6 | 3.0 |
| 137 | 1.9 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.2 | 163 | | 1.7 | 2.2 | 2.6 | 2.9 |
| 138 | 1.8 | 2.4 | 3.0 | 3.5 | 4.1 | 164 | | 1.7 | 2.1 | 2.5 | 2.9 |
| 139 | 1.8 | 2.4 | 2.9 | 3.4 | 4.0 | 165 | | 1.7 | 2.1 | 2.5 | 2.9 |
| 140 | 1.8 | 2.4 | 2.8 | 3.3 | 4.0 | 166 | | 1.7 | 2.1 | 2.5 | 2.8 |
| 141 | 1.7 | 2.3 | 2.8 | 3.3 | 3.9 | 167 | | 1.6 | 2.1 | 2.4 | 2.8 |
| 142 | 1.7 | 2.3 | 2.8 | 3.3 | 3.9 | 168 | | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 |
| 143 | 1.7 | 2.2 | 2.7 | 3.2 | 3.8 | 169 | | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.7 |
| 144 | 1.7 | 2.2 | 2.7 | 3.2 | 3.8 | 170 | | 1.6 | 2.0 | 2.3 | 2.7 |
| 145 | 1.6 | 2.2 | 2.7 | 3.2 | 3.7 | | | | | | |

ที่มา: Hoeger and Hoeger (1997) อ้างถึง Astrand (1960)

**ตารางผนวกที่ จ2** ตารางปรับค่ากับอายุผู้ทดสอบ

| Age | Correction Factor | Age | Correction Factor | Age | Correction Factor |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 1.11 | 32 | .909 | 50 | .750 |
| 15 | 1.10 | 33 | .896 | 51 | .742 |
| 16 | 1.09 | 34 | .883 | 52 | .734 |
| 17 | 1.08 | 35 | .870 | 53 | .726 |
| 18 | 1.07 | 36 | .862 | 54 | .718 |
| 19 | 1.06 | 37 | .854 | 55 | .710 |
| 20 | 1.05 | 38 | .846 | 56 | .704 |
| 21 | 1.04 | 39 | .838 | 57 | .698 |
| 22 | 1.03 | 40 | .830 | 58 | .692 |
| 23 | 1.02 | 41 | .820 | 59 | .686 |
| 24 | 1.01 | 42 | .810 | 60 | .680 |
| 25 | 1.00 | 43 | .800 | 61 | .674 |
| 26 | .8997 | 44 | .790 | 62 | .668 |
| 27 | .974 | 45 | .780 | 63 | .662 |
| 28 | .961 | 46 | .774 | 64 | .656 |
| 29 | .948 | 47 | .768 | 65 | .650 |
| 30 | .935 | 48 | .762 | | |
| 31 | .922 | 49 | .756 | | |

ที่มา: Hoeger and Hoeger (1997) อ้างถึง Astrand (1960)

**ตารางผนวกที่ จ3** เกณฑ์ในการตัดสินอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดของประชาชนไทยในเพศหญิง (มล./กก./นาที)

| อายุ (ปี) | ดีมาก | ดี | ปานกลาง | ต่ำ | ต่ำมาก |
|---|---|---|---|---|---|
| 17-19 | ≥48.0 | 43.9-47.9 | 35.6-43.8 | 31.5-.3.5 | ≤31.4 |
| 20-29 | ≥45.8 | 41.9-45.7 | 34.0-41.8 | 30.1-.3.5 | ≤33.9 |
| 30-39 | ≥40.2 | 36.9-40.1 | 28.7-36.8 | 24.9-28.6 | ≤24.8 |
| 40-49 | ≥35.8 | 32.4-35.7 | 25.5-32.3 | 22.1-25.4 | ≤22.0 |
| 50-59 | ≥30.9 | 28.3-30.8 | 23.0-28.2 | 20.4-22.9 | ≤20.3 |
| 60-72 | ≥30.8 | 27.8-30.7 | 21.7-27.7 | 18.7-21.6 | ≤18.6 |

ที่มา: ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย (2543)

**ตารางผนวกที่ จ4** เกณฑ์ในการตัดสินอัตราการจับออกซิเจนสูงสุดในเพศหญิง (มล./กก./นาที)

| อายุ (ปี) | ดีเลิศ | ดีมาก | ดี | ปานกลาง | พอใช้ |
|---|---|---|---|---|---|
| 20-29 | 42+ | 38-41 | 35-37 | 32-34 | ≤31 |
| 30-39 | 40+ | 36.39 | 33-35 | 30-32 | ≤29 |
| 40-49 | 37+ | 33-36 | 31-32 | 28-30 | ≤27 |
| 50-59 | 33+ | 30-32 | 28-29 | 25-27 | ≤24 |
| 60 + | 32+ | 28-31 | 26-27 | 24-25 | ≤23 |

ที่มา**:** Heyward (2002) อ้างถึง Dallas (1997)

**ตารางผนวกที่ จ5** เกณฑ์ในการตัดสินดัชนีมวลกาย (BMI) (กิโลกรัม/เมตร$^2$)

| ดัชนีมวลกาย (BMI) | ความหมาย |
|---|---|
| <18 | ผอม (under weight) |
| 18.5-24.9 | ปกติ (normal weight) |
| 25.0-29.9 | น้ำหนักเกิน (over weight) |
| | อ้วน (obesity) |
| 30.0-34.9 | ระดับ 1 |
| 35.0-39.9 | ระดับ 2 |
| $\geq$ 40.0 | ระดับ 3 |

ที่มา: WHO (1998)

**ตารางผนวกที่ จ6** เกณฑ์ในการตัดสินเปอร์เซ็นต์ไขมันร่างกายของประชาชนไทย เพศหญิง (%BF)

| อายุ (ปี) | ดีมาก | ดี | ปานกลาง | ต่ำ | ต่ำมาก |
|---|---|---|---|---|---|
| 17-19 | 20.3-22.3 | 22.4-24.4 | 24.5-28.7 | 28.8-30.8 | ≤30.9 |
| 20-29 | 20.4-22.6 | 22.7-24.9 | 25.0-29.6 | 29.7-31.5 | ≤31.6 |
| 30-39 | 24.4-26.5 | 26.6-28.7 | 28.8-33.2 | 33.3-35.4 | ≤35.5 |
| 40-49 | 29.8-31.6 | 31.7-33.5 | 33.6-37.4 | 37.5-39.3 | ≤39.4 |
| 50-59 | 32.6-34.5 | 34.6-36.5 | 36.6-40.6 | 40.7-42.6 | ≤42.7 |
| 60-72 | 27.5-30.3 | 30.4-33.2 | 33.3-39.1 | 39.2-42.0 | ≤42.1 |

ที่มา: ฝ่ายวิทยาศาสตร์การกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทย (2543)

**ภาคผนวก ฉ**

ใบบันทึกการฝึก

**ใบบันทึกการฝึก**

วันเดือนปีที่ทดสอบ ……./……/…….

ชื่อผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ……. อายุ……..ปี

เป็นการฝึกสัปดาห์ที่…….ครั้งที่ …….

☐ ระดับความหนัก 65-70% HRmax (20 ปี = 130-140 bpm; 21ปี = 129-139 bpm)

☐ ระดับความหนัก 80-85% HRmax (20 ปี = 160-170 bpm; 21ปี = 159-169 bpm)

ช่วงเวลาที่ทดสอบ ☐ 15.00-16.00น. ☐ 16.00-17.00 น. ☐ 17.00-18.00น. ☐18.00-19.00น.

| ระยะ | นาทีที่ | Load | RPM | HR (bpm) | RPE (scale 1-10) | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Warm up | 1<br>2<br>3<br>4<br>5 | | | | | ใช้เวลา ……..นาที ถึง Target HR |
| Exercise | 1<br>5<br>10<br>15<br>20<br>25<br>30 | | | | | |
| Cool down | 1-5 | | | | | HR ต่ำกว่า 40-45% ของ MHR (~80-90 bpm) |

**ใบบันทึกผลการทดสอบความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO2max)**
**จากจักรยานวัดงาน โดยวิธีของ แอสทรานด์-ไรท์มิง**

วันเดือนปีที่ทดสอบ ……./……/…….

ชื่อผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย ……. อายุ……..ปี

เป็นการทดสอบครั้งที่ …….RHR…….bpm BP……..mm.Hg.

☐ กลุ่มควบคุม

☐ กลุ่มทดลองที่ 1

☐ กลุ่มทดลองที่ 2

ช่วงเวลาที่ทดสอบ ☐ 15.00-16.00น. ☐ 16.00-17.00 น. ☐ 17.00-18.00น. ☐18.00-19.00น.

| นาทีที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HR (bpm) | | | | | | | | |

น้ำหนักถ่วง ……

ชีพจรเฉลี่ย 2 นาทีสุดท้าย……bpm

ค่า $VO_2$max = ……..L/min (1) Correction factor = …….. (2)

Correct $VO_2$max = (1)*(2) = …….L/min (3)

$VO_2$max (ml/kg/min) = (3)* 1000/ น้ำหนักตัว (kg)

= ……ml/kg/min

**ภาคผนวก ช**

การวิเคราะห์ค่าสารต้านอนุมูลอิสระ (TAC) และมาลอนไดอัลดีไฮด์ (MDA)

## การวิเคราะห์ค่าสารต้านอนุมูลอิสระ

**การเตรียมสารละลาย**

1. ABTS radical cation (7.0 mM)

| | |
|---|---|
| ABTS | 0.385 g ละลายใน d H2O 5 ml (14 mM) |
| Potassium persulfate | 0.0066 g ละลายใน d H2O 5 ml (4.9mM) |

นำมาผสมกัน บรรจุในขวดสีชา แล้วตั้งไว้ 16 ชั่วโมงก่อนนำมาใช้งาน เก็บไว้ในตู้เย็น อุณหภูมิ 4 $^{0}$C สารนี้จะคงตัวประมาณ 1 สัปดาห์

2. Working ABTS radical cation

เจือจาง Stock ABTS radical cation ที่เตรียมได้ในข้อ 1 ด้วยน้ำปราศจากอิออนให้ได้ค่าดูดกลืนแสงที่ 734 nm เท่ากับ 0.70 ($\pm$ 0.02)

วิธีทำ

1. เตรียม trolox ที่ความเข้มข้น 0-16 µM

2 . ตั้งค่าเครื่อง Spectrophotometer ใช้ความยาวคลื่นเท่ากับ 734 nm ใช้เวลาในการตรวจวัด 3 นาที โดยอ่านค่าดูดกลืนแสงทุก 1 นาที

3. ดูด trolox ที่เตรียมไว้ 10 µl ใส่ลงใน cuvette แล้วจึงเติม สารละลาย ABTS ลงไป 990 µl แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงทันที ทำจนครบความเข้มข้น

จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น

## การวิเคราะห์ค่ามาลอนไดอัลดีไฮล์

**การเตรียมสารละลาย**

1. TCA reagent (Trichloroacetic acid)

ละลาย TCA 100 กรัมด้วย 0.6 M HCl 100 ml เก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง

2 .TBA reagent (Thiobarbituric acid)

ชั่ง TBA 0.12 M มา 17.298 กรัม ละลายด้วย 0.26 M 2-amino-2-hydroxymethul-1,3 propanediol (Tris)1000 มล.

3. NSS

ชั่ง NaCl 0.85 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มล

4. TMP (mw. 164.2)

4.1 Stock TMP

เตรียมความเข้มข้น 10 mM โดยใช้ TMP 20.8 µl เติม HCl เข้มข้นลงไปประมาณ 5-8 หยด เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 10 ml

4.2 Stock MDA

เตรียม standard MDA โดยเอา Stock TMP มาจำนวน 25 µl จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนครบ 25 ml (เก็บในที่มืด อุณหภูมิ $4^0$ C)

วิธีทำ

1. เตรียมหลอดทดลองขนาด 13 X100 มม

2. เติม NSS 0.45 มล.
TBA reagent 0.2 มล.
TCA 1.0 มล.
ผสมให้เข้ากัน

3. นำไปต้มในน้ำเดือด 100 $^{0}$ C เป็นเวลา 30 นาที

4. จากนั้นนำมาแช่ในน้ำเย็น 3-5 นาที

5. เติมน้ำกลั่น 2.0 มล. ผสมให้เข้ากัน

6. นำไปปั่นที่ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

7. นำส่วนใสไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 nm. โดยใช้น้ำกลั่นปรับศูนย์ Stock MDA นำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง เพื่อให้มีความเข้มข้นดังนี้ (ตารางผนวก ช1)

**ตารางผนวกที่ ช1** แสดงการเตรียม standard curve จาก Stock MDA

| ความเข้มข้น µmol/L | standard µmol/L (µl) | น้ำกลั่น ml (µl) |
|---|---|---|
| 0 | - | 100 |
| 10 | 10 | 90 |
| 20 | 20 | 80 |
| 30 | 30 | 70 |
| 40 | 40 | 60 |
| 50 | 50 | 50 |

นำ standard ที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปหาค่า MDA ดังวิธีที่กล่าวข้างต้น จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น

# ประวัติการศึกษา และการทำงาน

| | |
|---|---|
| ชื่อ –นามสกุล | นางปรียาลักษณ์ โคหนองบัว |
| วัน เดือน ปี ที่เกิด | 10 กุมภาพันธ์ 2515 |
| สถานที่เกิด | ต. ร่อนพิบูลย์ อ. ร่อนพิบูลย์ จ. นครศรีธรรมราช |
| ประวัติการศึกษา | ปี พ.ศ. 2533 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช จ. นครศรีธรรมราช |
| | ปี พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (กิจกรรมบำบัด) จากคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| | ปี พ.ศ. 2544 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สรีรวิทยา) จากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน | อาจารย์สาขาชีววิทยา |
| สถานที่ทำงานปัจจุบัน | ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ |
| ทุนการศึกษาที่ได้รับ | ปีพ.ศ. 2541-2542 ทุนเรียนดี จากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| | ปีพ.ศ. 2542 ทุนเรียนดี จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |