บทความวิชาการ

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกกับระดับสารต้านอนุมูลอิสระ

ปรียาลักษณ์ โคหนองบัว
อาจารย์ประจำ ภาควิชาชีววิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

1. บทนำ

องค์การอนามัยโลก (World Health Organization) ได้ให้ความหมายของการมีสุขภาพที่ดี คือภาวะที่มีความสมบูรณ์ของร่างกาย จิตใจ และสังคม รวมทั้งการปราศจากโรคภัยไข้เจ็บ ดังนั้น การมีสุขภาพที่ดีจึงเป็นสิ่งที่มนุษย์ทุกคนปรารถนา การออกกำลังกายเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ปัจจุบัน เนื่องจากความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มนุษย์มีการนำเครื่องจักรมาใช้แทนแรงกาย เพื่ออำนวยความสะดวกให้ตนเองเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คนเราเคลื่อนไหวน้อยลง จึงต้องชดเชยด้วยการออกกำลังกายเพื่อให้ชีวิตสมดุล การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอจนเป็นนิสัย ทำให้ร่างกายมีการปรับตัวในการทำงานของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือด กล้ามเนื้อและระบบการทำงานของอวัยวะต่างๆ ทำงานประสานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มีสุขภาพร่างกายที่สมบูรณ์แข็งแรง สามารถประกอบภารกิจการทำงานโดยมีความอดทนและทำงานได้นานขึ้น มีความคล่องแคล่วว่องไว กระฉับกระเฉง และส่งเสริมบุคลิกภาพให้ดีขึ้น นอกจากนั้นการออกกำลังกายยังช่วยให้ภูมิต้านทานต่อโรคดีขึ้น และมีอายุที่ยืนนานขึ้น [1]

2. หลักการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นที่ยอมรับในวงการการแพทย์ และวิทยาศาสตร์การกีฬาว่าเป็นการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพอย่างแท้จริง การออกกำลังกายแบบนี้ เป็นการออกกำลังกายที่มีผลดีต่อสมรรถภาพหัวใจและหลอดเลือด ก่อให้เกิดการปรับตัวทางสรีรวิทยาหลายประการเช่น การเพิ่มขึ้นของสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุด, ความสามารถในการจับระหว่างออกซิเจนกับฮีโมโกลบิน, ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหัวใจ และทำให้อัตราชีพจรขณะพักลดลง เป็นต้น สำหรับรูปแบบในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นควรเป็นรูปแบบที่มีการเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อมัดใหญ่ เช่น การเดิน การวิ่งเหยาะๆ การปั่นจักรยาน การว่ายน้ำ และการเต้นแอโรบิก เป็นต้น[2] หลักพื้นฐานของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการ คือการฝึก

หนักกว่าปกติ (overload), ความหนักในการออกกำลังกาย (intensity), ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (duration), และความถี่ในการออกกำลังกาย (frequency)

2.1 ฝึกหนักกว่าปกติ (overload)

ในการออกกำลังกาย ร่างกายควรได้รับความหนักมากกว่าในระดับปกติ จึงสามารถเพิ่มระดับสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนได้ ซึ่งในการจัดโปรแกรมนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะร่างกายของแต่ละบุคคล เช่นในบุคคลที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย สามารถพัฒนาสมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนโดยการเดินธรรมดา 30 นาที เพราะว่าการออกกำลังกายระดับนี้มีความหนักมากกว่าระดับปกติของเขาจึงส่งผลต่อการพัฒนา ในทางตรงข้ามกัน บุคคลที่สามารถวิ่งได้ระยะทาง 8 ไมล์ต่อชั่วโมงภายในระยะเวลา 30 นาที แต่ได้รับโปรแกรมในการเดินในการออกกำลังกาย ซึ่งเป็นระดับความหนักที่น้อยไปสำหรับบุคคลนั้น ก็ส่งผลให้สมรรถภาพในการใช้ออกซิเจนลดลง [3]

2.2 ความหนักในการออกกำลังกาย (intensity)

ก่อนที่จะกำหนดความหนักสำหรับการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นควรที่จะประเมินระดับของความแข็งแรงของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดก่อนเพื่อกำหนดเป้าหมายของโปรแกรมความหนักในการออกกำลังกาย และป้องกันการเกิดการบาดเจ็บ อาจกำหนดให้มีการพัฒนาระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดโดยกำหนดความหนักต่ำ ๆ ระยะเวลาออกกำลังกายนานในช่วงแรกก่อนแล้วจึงพัฒนาความก้าวหน้าโดยให้ระดับความหนักสูงขึ้นในเวลาต่อมา การพัฒนาของระบบหัวใจและไหลเวียนเลือดควรอยู่ที่ระหว่าง 50-85% อัตราสำรองการเต้นหัวใจสูงสุด ซึ่งค่าสัมพันธ์กับ 40-85% ของสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด ถ้าเป็นบุคคลที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกายควรเริ่มต้นที่การฝึกที่ 50% อัตราสำรองการเต้นหัวใจสูงสุด ในช่วง 4-6 สัปดาห์แรกของโปรแกรม และเพิ่มขึ้นเป็น 70-85% ในสัปดาห์ต่อมา [4]

2.3 ระยะเวลาในการออกกำลังกาย (duration)

สำหรับรูปแบบการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (continuous aerobic exercise) ในระดับความหนักปานกลาง ควรมีระยะเวลาติดต่อกัน 20-60 นาที สำหรับคนที่มีสมรรถภาพทางร่างกายต่ำ ควรแบ่งการออกกำลังกายเป็นช่วงสั้นๆ วันละหลายครั้ง เช่น ออกกำลังกายครั้งละ 10 นาที วันละ 3 ครั้ง เป็นต้น

2.4 ความถี่ในการออกกำลังกาย

ความถี่ในการออกกำลังกายขึ้นอยู่กับความหนักในการออกกำลังกาย และระยะเวลาในการออกกำลังกาย การออกกำลังกายที่น้อยกว่า 2 วันต่อสัปดาห์ เกิดประโยชน์ต่อร่างกายน้อยกว่าการออกกำลังกาย 3-5 วันต่อสัปดาห์ ดังนั้นสำหรับผู้ที่มีสมรรถภาพทางกายอยู่ในเกณฑ์ดี จึงควรจัดให้มีการออกกำลังกาย 3-5 วันต่อสัปดาห์ [5]

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก ในแต่ละช่วงของโปรแกรมการออกกำลังกาย ควรประกอบด้วยระยะต่าง ๆ 3 ระยะคือ

(1) อบอุ่นร่างกาย (Warm up) เป็นช่วงที่อุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อเตรียมพร้อมร่างกายสำหรับการออกกำลังกายที่หนักขึ้น ช่วงของการอบอุ่นร่างกาย ควรจะมีระยะเวลาประมาณ 5-10 นาที ซึ่งเป็นการออกกำลังกายยืดเหยียดกล้ามเนื้อ (Stretching Exercise) และออกกำลังกายส่วนต่าง ๆ ของร่างกายอย่างเบา ๆ เช่น ขา หลังส่วนล่าง ท้อง สะโพก ขาหนีบ และหัวไหล่

(2) ความทนทาน (Endurance) ระยะทนทาน ของช่วงการออกกำลังกายตาม ข้อแนะนำในการออกกำลังกาย ควรมีช่วงเวลา 20-60 นาที ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนักของการออกกำลังกาย

(3) คลายอุ่น (Cool down) ระยะคลายอุ่น จะทำทันทีหลังช่วงระยะความทนทาน มีประโยชน์ในการช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดผลแทรกซ้อนทางระบบหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งเกิดจากการที่หยุดออกกำลังกายทันทีทันใด ระยะนี้ควรออกกำลังกายต่อเนื่องที่ระดับความหนักต่ำ (เดิน วิ่ง หรือขี่จักรยาน) นาน 5-10 นาที การออกกำลังกายต่อไปอย่างเบา ๆ จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจ และความดันโลหิต กลับเข้าสู่ระดับปรกติ ซึ่งเป็นการป้องกันการคั่งของเลือดส่วนปลายของร่างกาย และลดอาการวิงเวียน หรือเป็นลม นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มปริมาณเลือดกลับสู่หัวใจ และทำให้การฟื้นตัวของกล้ามเนื้อเร็วขึ้น การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ อาจทำซ้ำในช่วงนี้ เพื่อลดโอกาสเกิดตะคริวที่กล้ามเนื้อ หรือกล้ามเนื้อระบม (Soreness) [2]

3. อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (Free radical) หมายถึง โมเลกุลมีที่มีอิเลคตรอนซึ่งไม่ได้เข้าคู่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งในวงโคจรของโมเลกุล ซึ่งไม่เสถียร จึงมีความว่องไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นที่อยู่ข้างเคียง เพื่อให้โมเลกุลของมันเสถียรขึ้น โดยการรับเอาอิเลคตรอนมาจากโมเลกุลข้างเคียง ทำให้โมเลกุลนั้นเกิดเป็นอนุมูลอิสระ และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆต่อไป เรียกว่า

ปฏิกิริยาลูกโซ่ ในการเขียนสัญลักษณ์ของอนุมูลอิสระจะใช้สัญลักษณ์ R แสดงถึงอนุมูลอิสระที่ไม่เฉพาะเจาะจง และจุด (˙) ที่ตำแหน่งขวาบนของสูตรโมเลกุลเดิม เพื่อแสดงถึงอิเลคตรอนที่ไม่ได้จับคู่ อนุมูลประจุบวกเรียกว่า อนุมูลแคทไอออน (cation radical) ใช้สัญลักษณ์ $(R)^{+\cdot}$ ส่วนอนุมูลประจุลบเรียกว่า อนุมูลแอนไอออน (anion radical) ใช้สัญลักษณ์ $(R)^{-\cdot}$ หรืออนุมูลที่มีประจุเป็นกลาง (neutral radical) ใช้สัญลักษณ์ $(R)^{\cdot}$ โดยทั่วไปในร่างกายมนุษย์ กระบวนการใช้พลังงานของเซลล์แบบใช้ออกซิเจน พบว่าประมาณ 2-5% ของออกซิเจนจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระในระหว่างมีการถ่ายทอดอิเลคตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำในกระบวนการลูกโซ่ขนส่งอิเลคตรอน ซึ่งในระหว่างกระบวนการขนส่งอิเลคตรอนนี้ จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งได้แก่ อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O^{\cdot}2$) อนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) และอนุพันธ์ของออกซิเจนบางชนิดคือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งไม่ใช่อนุมูลอิสระแต่เป็นอันตรายแก่ร่างกายถ้ามีปริมาณมาก อนุมูลอิสระ และอนุพันธ์ของออกซิเจน รวมเรียกว่า reactive oxygen species การเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นของออกซิเจนทำให้เกิด อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O^{\cdot}_2$) (สมการที่ 1) จากนั้นอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O^{\cdot}2$) จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และ ออกซิเจน(O_2) (สมการที่ 2) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้

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

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

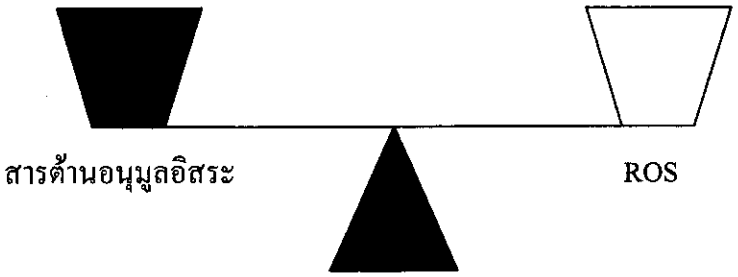
นอกจากนี้ความเป็นพิษของอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์ ($O^{\cdot}_2$) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในสิ่งมีชีวิตยังเกี่ยวข้องกับเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\cdot}$) เมื่อมีการเข้าทำปฏิกิริยากับพวกธาตุเหล็ก เช่น ferrous iron ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Haber-Weiss reaction (สมการที่ 3- 5)

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

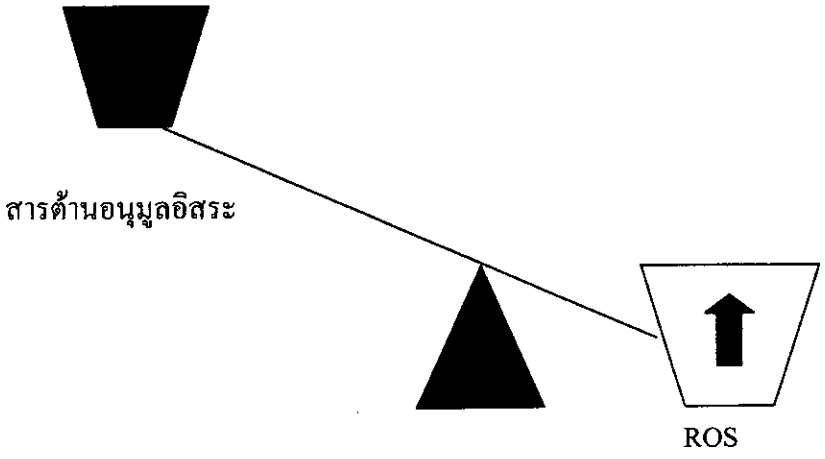
$$Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow OH^- + OH^{\cdot} + Fe^{3+} \qquad (4)$$

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

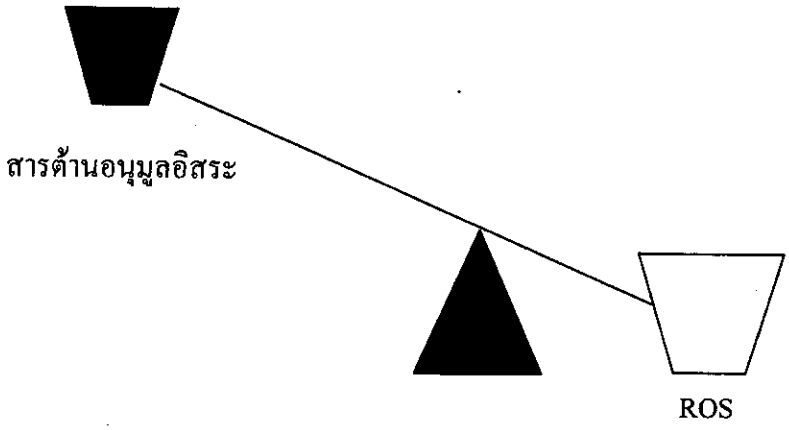
ในสภาวะพักของคนปกติ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะสมดุลกับการทำงานของสารต้านการเกิดอนุมูลอิสระ (รูปที่ 1) พบว่าเมื่อใดเกิดความไม่สมดุลระหว่างระดับของอนุมูลอิสระ และการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จะส่งผลให้เกิดภาวะเครียดออกซิเดชั่น ที่เรียกว่า oxidative stress (รูปที่ 2-4) มีผลต่อความสามารถทางกาย การล้าของกล้ามเนื้อ และการทำลายของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดพยาธิสภาพในโรคสำคัญต่างๆ มากมายในระยะยาว เช่น โรคหลอดเลือดแข็งตัว โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกัน โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท เช่น พาร์คินสัน และ อัลไซม์เมอร์ และ โรคมะเร็งบางชนิดเป็นต้น [5-8]



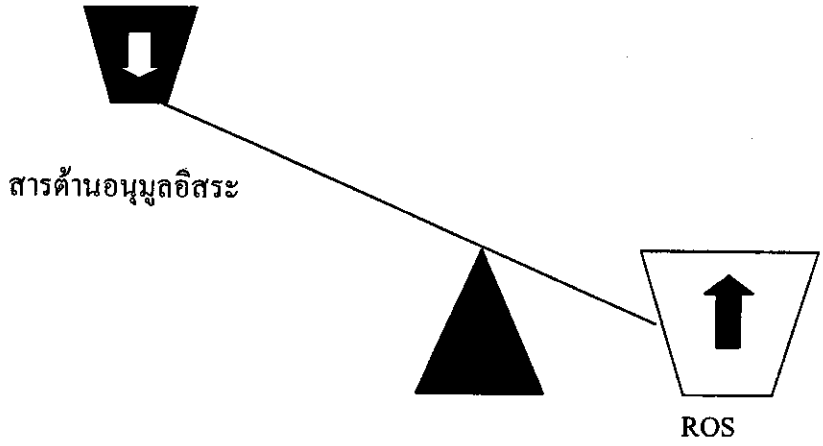
รูปที่ 1 แสดงในสภาวะพัก ของบุคคลที่มีสุขภาพดี มีความสมดุลระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระ และ ROS ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2 แสดงในสภาวะที่ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีเพียงพอ แต่ ROS ที่เกิดขึ้นมีมากกว่าปกติ จึงก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress



รูปที่ 3 แสดงในสภาวะที่ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีน้อย แม้ว่า ROS ที่เกิดขึ้นมีอยู่ในระดับปกติ จึงก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress



รูปที่ 4 แสดงในสภาวะที่ประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระมีน้อย และ ROS ที่เกิดขึ้นมีมากกว่าปกติ จึงก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress ที่รุนแรง

4. สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants)

เมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะ oxidative stress ซึ่งเป็นสภาวะที่ร่างกายไม่สามารถควบคุมและป้องกันปริมาณของอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่จะไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ได้ ร่างกายจึงมีระบบป้องกันอนุมูลอิสระ ที่เรียกว่า antioxidant defense system ซึ่งได้แก่ สารกลุ่มของเอนไซม์ โปรตีน และสารอาหารต่างๆ สารต้านอนุมูลอิสระหรือ แอนตี้ออกซิแดนซ์ คือสารเคมีที่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชั่น สารต้านอนุมูลอิสระช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้มีการทำลายของเซลล์ซึ่งได้แก่

1. สารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากอาหาร เช่น วิตามินซี วิตามินอี และคาร์โรตินอยด์
2. โมเลกุลภายในร่างกาย เช่น กลูตาไทโอน อัลบลูมิน บิริรูบิน และกรดยูริค
3. สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มของเอนไซม์

3.1 เอนไซม์ superoxide dismutase (SOD)

เป็นกลุ่มเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกับการต้านอนุมูลอิสระของเซลล์ โดยทำหน้าที่เปลี่ยนอนุมูลอิสระ superoxide ไปเป็น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ดังสมการ

$$2O^{\cdot}_2 + 2H^+ \xrightarrow{\text{SOD}} H_2O_2 + O_2$$

3.2 Catalase (CAT)

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

3.3 เอนไซม์ Glutathione peroxidase (GPX)

GPX พบในตับตับและปอดของสัตว์ และ เซลล์เม็ดเลือดแดง ซึ่งมีการทำงานสูงในตับ การทำงานปานกลางในหัวใจ ปอด และสมอง และการทำงานต่ำในกล้ามเนื้อ เอนไซม์นี้มีบทบาทในการสลายโมเลกุลของ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไปเป็นน้ำ 2 โมเลกุล และยังสามารถสลายโมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไปเป็นน้ำและอัลกอฮอล์อีกด้วย [5]

5. การออกกำลังกายแบบแอโรบิกกับสารต้านอนุมูลอิสระ

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก เป็นการออกกำลังกายที่ต่อเนื่อง จึงทำให้มีการเพิ่มของอัตราการใช้ออกซิเจนในร่างกายสูงมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของกล้ามเนื้อลาย ออกซิเจนเกือบทั้งหมดจะถูกใช้ในการสร้าง ATP ในไมโตคอนเดรีย โดยออกซิเจนส่วนหนึ่งจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระในระหว่างมีการถ่ายทอดอิเลคตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนไปยังโมเลกุลของน้ำในกระบวนการลูกโซ่ขนส่งอิเลคตรอน (electron transport chain) ดังนั้นยิ่งมีการใช้ออกซิเจนในไมโตคอนเดรียมากขึ้นเท่าใด ก็จะส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น นอกจากนั้นพบว่า catecholamines ที่หลั่งออกมาในปริมาณมากขณะมีการออกกำลังกายก็ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระเช่นเดียวกัน

ถึงแม้มนุษย์จะเรามีระบบการต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถควบคุมการเกิดขึ้นของอนุมูลอิสระเพื่อลดการทำลายเซลล์ในร่างกายได้ ซึ่งได้แก่ superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) และ glutathione peroxidase (GPx) รวมถึงอาหารที่รับประทานก็เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี วิตามินซี วิตามินเอ และ คาร์โรตินอยด์ เป็นต้น แต่พบว่าการออกกำลังกายอาจจะทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างระดับของอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกายได้ และเมื่อร่างกายไม่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด จะส่งผลให้เกิดภาวะ oxidative stress และนำไปสู่การทำลายสมดุลของระบบต่างๆภายในร่างกาย

การออกกำลังกายแบบฉับพลัน (acute) มีความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะ oxidative stress ดังเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของตัวบ่งชี้ของระดับสารต้านอนุมูลอิสระ Meijer et al. (2001) [9] ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อภาวะ oxidative stress ในผู้สูงอายุ โดยการปั่นจักรยานที่ความหนักต่ำกว่าสูงสุด (submaximal exercise) เป็นเวลา 45 นาที พบว่าก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress ขึ้นทั้งในระหว่างการออกกำลังกายและภายหลังการออกกำลังกายทันที สอดคล้องกับ Aguilo et al. (2005) [10] ที่พบว่าการออกกำลังกาย โดยการปั่นจักรยานเสือภูเขาอย่างหนักจนอ่อนล้า ทำการปั่นระยะทาง 171 กิโลเมตรก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress หลังการออกกำลังกาย นอกจากนั้น Leelarugrayup et al. (2005) [11] ได้ทำการทดสอบการออกกำลังกายโดยการวิ่งบนลู่กลจนอ่อนล้า พบว่ามีผลต่อการเกิดภาวะ oxidative stress เช่นเดียวกัน และจากการศึกษาที่ผ่านมามีงานวิจัยจำนวนมากที่รายงานถึงการออกกำลังกายแบบฉับพลัน ที่ก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress [12-14] เช่นเดียวกัน

ถึงแม้การออกกำลังกายแบบฉับพลันก่อให้เกิดภาวะ oxidative stress แต่อย่างไรก็ตาม การออกกำลังกายที่มีความสม่ำเสมอ หรือโปรแกรมการฝึกการออกกำลังกาย (training) อาจมีผลให้ร่างกายมีการปรับตัวสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นต่อเซลล์ซึ่งส่งผลดีต่อร่างกาย ดังการศึกษาของ Robertson et al. (1991) [15] พบว่านักวิ่งที่มีการฝึกซ้อมแบบทนทานทั้งการฝึกซ้อมในระดับต่ำ (16-43 กิโลเมตรต่อสัปดาห์) และระดับสูง (80-147 กิโลเมตรต่อสัปดาห์) มีระดับ glutathione ในเม็ดเลือดแดงสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกันกับ Brites et al. (1999) [16] พบว่านักกีฬาฟุตบอลที่เข้าร่วมโปรแกรมฝึกซ้อมอย่างสม่ำเสมอสัปดาห์ละ 20 ชั่วโมง อย่างน้อย 1 ปี ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระในพลาสมาเพิ่มขึ้น

หทัยกาญจน์ (2543) [17] ศึกษาผลของการออกกำลังกายโดยเล่นฟุตบอล เต้นแอโรบิก แบดมินตัน และวิ่ง สัปดาห์ละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่ามีค่า TAC (total antioxidant capacity) ซึ่งบ่งชี้ระดับสารต้านอนุมูลในพลาสมาร่างกายเพิ่มสูงขึ้นและค่าMDA (Malondial-dehyde) ซึ่งบ่งชี้การเกิดกระบวนการลิปิดเปอร์ออกซิเดชันลดลง สอดคล้องกับ Sukontachaya (2001) [18] ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในผู้สูงอายุ โดยให้ทำการออกกำลังกายด้วยการปั่นจักรยานที่ระดับความหนัก 70% ของอัตราสำรองการเต้นหัวใจสูงสุด เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ซึ่งพบว่าค่า TAC เพิ่มสูงขึ้น และค่า MDA ลดลงเช่นเดียวกัน ในขณะที่ Miyazaki et al. (2001) [19] ที่รายงานว่าผลของโปรแกรมการออกกำลังกายแบบทนทานในระดับความหนักสูง เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยการวิ่งที่ 80% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดเป็นเวลา 60 นาที พบว่ามีผลเพิ่มระดับ superoxide dismutase และ glutathione peroxidase ในทางตรงข้าม Tiidus et al. (1996) [20] พบว่าโปรแกรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการปั่นจักรยาน ที่ระดับความหนักปานกลางคือ 70% ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 35 นาที 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระในกล้ามเนื้อ รวมทั้ง Dernbach et al. (1993) [21] พบว่าการฝึกซ้อมกีฬาพายเรือที่ความหนักสูงคือ 70% ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 65 นาที และ มากกว่าหรือเท่ากับ 90% ของอัตราการจับออกซิเจนสูงสุด เป็นเวลา 38 นาที รวมระยะเวลา 4 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อการเกิดภาวะ oxidative stress

จากโปรแกรมการออกกำลังกายซึ่งส่งผลให้ร่างกายมีการปรับตัวในการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้นนั้น ถึงแม้ยังมีข้อขัดแย้งกันอยู่บ้าง อันเนื่องมาจากรูปแบบการออกกำลังกาย ความหนัก และระยะเวลาในการออกกำลังกาย รวมถึงตัวบ่งชี้ถึงระดับสารต้านอนุมูลอิสระใน

ร่างกายที่แตกต่างกัน และยังไม่มีข้อแน่ชัดว่า ระดับความหนักในโปรแกรมการออกกำลังกายควรอยู่ในระดับใดจึงจะเหมาะสม แต่สิ่งที่แน่ชัดคือ การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ ย่อมส่งผลดีต่อร่างกายอย่างแน่นอน แต่อย่างไรก็ตาม รูปแบบการออกกำลังกาย ความหนัก และระยะเวลาในการออกกำลังกายนั้นจะต้องเหมาะสมกับสภาพร่างกายของตนเอง เนื่องจากคนเรามีความแตกต่างกันทั้ง ความสมบูรณ์และความแข็งแรงระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบหายใจ, ระบบกล้ามเนื้อ, เพศ, อายุ รวมทั้งโรคภัยไข้เจ็บต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

(1) Alessio, H.M. and Blasi, ER. 1997. Physical activity as a natural antioxidant bootster and its effect on a healthy life span. Res. *Quar. Exer Sport.*, 108: 292-302.

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

(3) MacMurray, R.G. 1999. *Concepts In Fitness Programming.* CRC Press. Washington D.C.

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

(5) Moller, P., Wallin, H. and Knudsen, L.E. 1996. Oxidative stress associated with exercise psychological stress and life-style factors. *Chem. Bio. Interact.*, 102:17-36.

(6) Urso, M.L. and Clarkson, P.M. 2003. Oxidative stress, exercise and antioxidant supplement. *Toxicology.* 189: 41-54.

(7) Bunker, V.W. 1992. Free radicals, antioxidants and aging. *Med. Lab. Science.*, 49: 299- 312.

(8) Deaton, C.M. and Martin, D. J. 2003. Exercise-Associated Oxidative Stress. Clin. Tech. in Equine Prac., 3: 287-291.

(9) Meijer, E.P., Coolen, S.A.J. and Westerterp, K.R. 2001. Exercise induced oxidative stress in older adults as measured by antipyrine oxidation. *Metabolism.*, 50: 1484-1488.

(10) Auguilo, A., Tauler, P., Fuentespina, E., Tur, J.A., Cordova, A. and Pons, A. 2005. Antioxidant response to oxidative stress induced by exhaustive exercise. *Physiol. Behav.*, 84: 1-7.

(11) Leeuwenburgh, C., Fiebig, R., Chandwaney, R. and Ji, L.L. 1994. Aging and exercise training in skeletal muscle: responses of glutathione and antioxidant enzyme systems. *Am. J. Physiol.*, 267: R439-R445.

(12) Ilhan, N., Kamanli, A., Ozmerdivenli, R. and Ilhan N. 2004. Variable effects of exercise intensity on reduced glutathione, thiobarbituric acid reactive substance levels and glucose concentration. *Archives. Med. Res.*, 35: 294-300.

(13) Wilson, R., Mansour, M.R., Stewart, A.D., Nimmo, I.A., Shepherd, M.J. and Riemersma, R.A. 2001. Lipid peroxidation in vivo is induced by exercise on bicycle ergometer. *Eur. J. Lipid Sci. Tech.*, 103: 350-354.

(14) Bonina, F.P., Puglia, C., Cimino, F., Trombetta, D., Tringali, G., Roccazello, A.M., Insirello, E., Rapisada, P. and Saija, A. 2005. Oxidative stress in Handball player. *Nutr. Res.*, 25: 917-924.

(15) Robertson, J.D., Maughan, R.J. Duthie, G.G andMorrice, P.C. 1991. Increased blood antioxidant systems of runners in response to training load. *Clin. Sci.*, 80: 611-618.

(16) Brites, F.D., Evelson, P.A., Christiansen, M.G., Nicol, M.F., Basilico, M.J., Wikinski, R.W. and Llesuy, S.F. 1999. Soccer players under regular training show oxdative stress but an improved plasma antioxidant status. *Clin. Sci.*, 96: 381-385.

(17) หทัยกาญกาญจน์ ก่อกอง. 2543. *ผลของการออกกำลังกายต่อระดับสารต้านอนุมูลอิสระและระดับไขมันในเลือด*. ภาคนิพนธ์ระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

(18) 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. Chiang Mai University.

(19) Miyazaki,H., Oh-ishi, S., Ji, L.L. and Kizaki, T. 2001. Strenuous endurance training in human reduces oxidative stress following exhausting exercise. *Eur. J. Appl. physiol.*, 84:1-6.

(20) Tiidus, P.M., Pushkarenko,J. and Houston, M.E. 1996. Lack of antioxidant adaption to short term aerobic training in human muscle. *Am J. Appl. Physiol.*, 271:R832-R836.

(21) Dernbach, A.R., Sherman, W.M., Simonsen, J.C., Flower, K.M. and Lamb, D.R. 1993. No evidence of oxidant stress during high intensity rowing training. *J. Appl. Physiol.*, 45: 927-932.