บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการออกกำลังกายและการกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกาย (Basic knowledge of exercise and Prescription of exercise)
2. การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic exercise)
3. การออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการเต้นแอโรบิก (Aerobic dancing)
4. ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen uptake)
5. ภาวะออกซิเดทีฟสเตรส (Oxidative stress)
6. ภาวะอักเสบจากการออกกำลังกาย กับ อินเตอร์ลิวคินทู (Inflammation of exercise and interleukin 2)

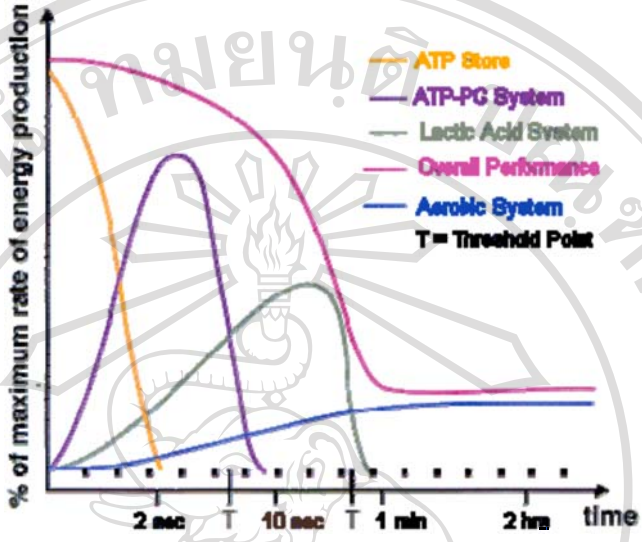
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการออกกำลังกาย (Basic knowledge of exercise)

“การออกกำลังกาย” (Exercise) หมายถึง กิจกรรมทางกาย (Physical activity) ชนิดหนึ่ง ที่มีการวางแผนการทำกิจกรรมไว้ก่อนล่วงหน้า โดยมีโครงสร้างและองค์ประกอบในการเคลื่อนไหวของร่างกายซ้ำๆ เพื่อให้มีการเพิ่มขึ้น หรือคงไว้ซึ่งความแข็งแรงเฉพาะส่วนใดส่วนหนึ่ง หรือเพื่อให้เกิดความแข็งแรงในทุกๆส่วนของร่างกาย (ชูศักดิ์ เวชแพทย์, 2519)

แหล่งพลังงานขณะออกกำลังกาย (McArdle และคณะ, 2000)

ขณะออกกำลังกายร่างกาย จะมีการเคลื่อนไหวโดยอาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อต่างๆ พลังงานที่กล้ามเนื้อนำมาใช้ในการหดตัวจะนำมาใช้ในรูปของ ATP ซึ่งการสร้าง ATP จำเป็นต้องอาศัยสารอาหารต่างๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยสามารถแบ่งกระบวนการสร้างพลังงานตามลำดับของการนำมาใช้ออกเป็น 3 ระบบ ดังนี้ (รูปที่ 1)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 1 แสดงแหล่งพลังงานของร่างกาย (McArdle และคณะ, 2000)

1. ระบบ ATP-PCr หรือ Immediate energy เป็นการสร้างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic System) โดยการสลายสารครีเอตีนฟอตเฟต (Creatine phosphate; Pcr) ซึ่งเป็นสารเคมีที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ พลังงานจากระบบนี้ถูกใช้เป็นลำดับแรกเมื่อกล้ามเนื้อทำงานเนื่องจากสามารถนำออกมาใช้ทันที จึงเป็นแหล่งพลังงานหลักในช่วง 30 วินาทีแรกของการออกกำลังกายเทียบเท่ากับการว่ายน้ำระยะสั้นประมาณ 10-25 เมตร แต่มีข้อจำกัดด้านระยะเวลาการใช้เนื่องจาก Pcr มีปริมาณจำกัด หากออกกำลังกายหนักๆจะไม่สามารถใช้ได้ถึง 10 วินาที

2. ระบบไกลโคไลซิส หรือ Short term energy system เป็นการสร้างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic system) โดยการสลายไกลโคเจน (Glycogen) ในกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดกรดไพรูวิค (Pyruvic acid) ซึ่งหากไม่มีออกซิเจนที่เพียงพอ กรดไพรูวิคจะรวมตัวกับไฮโดรเจนเกิดเป็นกรดแลคติค (Lactic acid) กรดไพรูวิคนี้เป็นสารตั้งต้นของระบบพลังงานที่ใช้ออกซิเจนต่อไป ระบบพลังงานนี้จะถูกนำมาใช้เมื่อพลังงานจากระบบแรกเริ่มหมดไป โดยเฉลี่ยจะเป็นช่วง 30-90 วินาทีแรกของการทำงาน ใช้ในการออกกำลังกายระดับปานกลาง ที่ใช้ระยะเวลาน้อยกว่า 2 นาที เช่นวิ่งแข่งระยะ 200-400 เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ระบบแอโรบิก หรือ Long term energy system เป็นการสร้างพลังงานจากกลูโคส กรด ไขมัน และกรดอะมิโน ผ่านกระบวนการที่ใช้ออกซิเจน ต้องอาศัยเวลาทำงานประมาณ 2-3 นาที ระบบนี้จะสามารถผลิตพลังงานได้จำนวนมาก ไม่จำกัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการใช้พลังงานของแต่ละบุคคล กรณีที่ออกกำลังกายอย่างหนักเกินความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ร่างกายจะเปลี่ยนมาสร้างพลังงานด้วยวิธีไกลโคไลซิสอีกครั้ง

การกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกาย (ACSM, 2005: Frontera, 2001)

การกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกายควรพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพร่างกาย เพศ วัย และวัตถุประสงค์ที่ต้องการในแต่ละบุคคล ซึ่งหลักการโดยทั่วไปในการกำหนดโปรแกรมการออกกำลังกาย ประกอบด้วย

1. ชนิดของการออกกำลังกาย (Type) จะเลือกให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล สอดคล้องกับความสนใจ ความต้องการ และสมรรถภาพร่างกาย ชนิดของการออกกำลังกายแบ่งเป็นประเภทต่างๆตามวัตถุประสงค์หรือเป้าหมาย ดังนี้

1.1 การบริหารข้อเพื่อคง หรือเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อ (Range of motion exercise; ROM exercise) เมื่อแขนขาส่วนใดส่วนหนึ่งไม่ได้เคลื่อนไหวมักจะมีการติดของข้อเกิดขึ้น จากการหดสั้นของกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อรอบๆข้อ มีการเพิ่มของcollagen และ reticulin ในเนื้อเยื่อบริเวณนั้น ร่วมกับการหล่อลื่นของข้อลดลง มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดของข้อ ซึ่งการยึดติดนี้สามารถป้องกันและรักษาได้ด้วยการออกกำลัง

การออกกำลังเพื่อวัตถุประสงค์นี้ แบ่งได้เป็น 4 วิธี คือ

1.1.1 Active exercise คือให้ผู้ป่วยเป็นผู้ออกกำลังเคลื่อนไหวข้อด้วยตนเอง

1.1.2 Active assistive exercise ให้ผู้ป่วยออกกำลังด้วยตัวเองให้มากที่สุดแล้วจึงช่วยให้เคลื่อนไหวจนสุดพิสัยของข้อ

1.1.3 Passive exercise กรณีผู้ป่วยไม่มีกำลังเคลื่อนไหวข้อ ให้ผู้อื่นเป็นผู้ขยับเคลื่อนไหวข้อให้

1.1.4 Passive stretching exercise ให้ผู้อื่นช่วยยืดเพื่อเพิ่มพิสัยการเคลื่อนไหว

1.2 การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรง (Strengthening exercise) เป็นการออกกำลังกายเฉพาะส่วน พัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนที่ออกกำลังกาย โดยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ(Muscle strength) หมายถึงแรงตึงตัว (tension) สูงสุดที่กล้ามเนื้อทำได้ในการหด โดยถ้าต้องการเพิ่มความแข็งแรงต้องออกกำลังโดยให้กล้ามเนื้อหดตัวด้วยแรงสูงสุด หรือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกือบสูงสุด ในขณะที่จำนวนครั้งอาจไม่มากนัก ที่นิยมฝึกได้แก่การฝึกด้วยน้ำหนัก (Weight training)

1.3 การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความทนทาน (Endurance exercise) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1.3.1 ความคงทนของกล้ามเนื้อ (Muscular endurance) เป็นการฝึกให้กล้ามเนื้อสามารถหดตัวทำงานได้เป็นเวลานาน โดยให้กล้ามเนื้อทำงานต้านแรงเบาๆซ้ำกันเป็นระยะเวลานาน

1.3.2 ความคงทนของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular endurance) มักเป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกซึ่งเป็นการออกกำลังกายที่ต่อเนื่อง ใช้กล้ามเนื้อหลายกลุ่มทำงานซ้ำๆกัน เช่น วิ่ง ว่ายน้ำ หรือเต้นแอโรบิก เป็นต้น

1.4 การออกกำลังกายเพื่อการผ่อนคลาย (Relaxation exercise) คือการบริหารร่างกายเพื่อให้รับรู้ถึงความรู้สึกของการหดตัวของกล้ามเนื้อ ทำให้สามารถบังคับให้กล้ามเนื้อผ่อนคลายได้ เช่น โยคะ ไทเก๊ก เป็นต้น เหมาะสำหรับผู้ที่มีอารมณ์ตึงเครียด หรือมีการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อเพื่อลดอาการปวด หลักการต้องจัดให้อยู่ในภาวะที่สบายและผ่อนคลายที่สุด จัดสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมกับการพัก ไม่มีสิ่งรบกวนหรือกระตุ้น เป็นการฝึกให้รับรู้การผ่อนคลายกล้ามเนื้อที่ตึงแข็ง และให้ทราบความรู้สึกที่แตกต่างกันระหว่าง ความตึงเครียดกับการผ่อนคลาย ทำซ้ำหลายๆ ครั้ง จนสามารถผ่อนคลายกล้ามเนื้อได้เต็มที่ และสามารถบังคับได้แม้ในภาวะแวดล้อมที่ต่างกันออกไป หรืออาจใช้เครื่องมือทางไฟฟ้ามาช่วยในการฝึกก็ได้ ได้แก่ Biofeedback

1.5 การออกกำลังกายเพื่อฝึกการประสานงาน และทักษะ (Coordination and skill training) เป็นความสามารถในการใช้กลุ่มกล้ามเนื้ออย่างถูกต้อง เพื่อให้ทำงานประสานกันได้อย่างราบเรียบ และมีประสิทธิภาพ การที่กล้ามเนื้อจะทำงานประสานกันได้ดีราบรื่น ต้องอาศัยการทำงานประสานกัน 3 ระดับ คือ ระดับสมองและระบบประสาท ระดับกลุ่มของกล้ามเนื้อ และระดับหน่วยประสาทยนต์ (motor unit)

2. ความหนักในการออกกำลังกาย (Intensity) ควรกำหนดความหนักเพิ่มจากกิจกรรมปกติในชีวิตประจำวัน ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดหรือวัตถุประสงค์ของการออกกำลังกาย สำหรับผู้ที่ไม่เคยออกกำลังกายมาก่อนควรเริ่มออกกำลังกายในระดับต่ำ แล้วค่อยๆเพิ่มความหนัก โดยพิจารณาจากความพร้อมและช่วงเวลาของการฝึก

3. ระยะเวลาการออกกำลังกาย (Duration) อาจจะกำหนดเป็นระยะเวลา เป็นจำนวนครั้ง หรือเป็นจำนวนรอบของการออกกำลังกายตามความเหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ความถี่ของการออกกำลังกาย (Frequency) กำหนดเป็นจำนวนครั้งต่อวัน หรือต่อสัปดาห์ การออกกำลังกายควรมีเวลาพักให้ร่างกายได้ฟื้นตัว ทั้งในด้านการสะสมพลังงาน และการซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่ทำงานหนักระหว่างออกกำลังกาย โดยร่างกายต้องการระยะเวลาในการฟื้นตัวประมาณ 24 ชั่วโมง จึงนิยมแนะนำให้ออกกำลังกายวันเว้นวัน

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก (ACSM, 2005 :Frontera, 2001: ชูศักดิ์ เวชแพทย์, 2519)

การออกกำลังกายแบบแอโรบิก หมายถึง การออกกำลังกายชนิดใดก็ได้ที่มีการเคลื่อนไหวร่างกายโดยใช้กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ เกิดการเผาผลาญพลังงานแบบใช้ออกซิเจนซึ่งมีผลกระตุ้นการทำงานของระบบหายใจ ระบบหมุนเวียนโลหิต และระบบโครงร่างกล้ามเนื้อ ช่วยทำให้เพิ่มความทนทานของระบบหลอดเลือดหัวใจ (Endurance performance) การออกกำลังกายแบบแอโรบิกนี้ระบบหายใจและระบบหมุนเวียนโลหิตต้องทำงานในความหนัก ระยะเวลา และความถี่ที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ดังนี้

1. อัตราการหายใจต้องเร็วและแรงขึ้น เพื่อนำออกซิเจนเข้าสู่ร่างกายให้มากขึ้น
2. อัตราการเต้นของหัวใจต้องเร็วและแรงขึ้น เพื่อสามารถสูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกายได้เพียงพอ
3. หลอดเลือดทั้งใหญ่และเล็กจะต้องนำเลือดเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

American College of Sports Medicine (1998) ได้แนะนำความหนักที่เหมาะสมอยู่ที่ 40% หรือ 50% ถึง 80% VO_2max และควรออกกำลังกายติดต่อกัน 20-60 นาทีและควรออกกำลังกายสม่ำเสมออย่างน้อย 3 วันต่อสัปดาห์จึงจะได้ผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

ประโยชน์ของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (ACSM, 2005: ชูศักดิ์ เวชแพทย์, 2519)

1. ทำให้ค่าความดันโลหิตและอัตราการเต้นของชีพจรเลือดขณะพักลดลง
2. เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหายใจและระบบหมุนเวียนโลหิต
3. ช่วยควบคุมน้ำหนักตัวให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
4. ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว เนื่องจากทำให้ระดับไขมันในเลือดชนิดที่เป็นประโยชน์(High density lipoprotein; HDL) เพิ่มขึ้น และทำให้ระดับไขมันในเลือดชนิดที่เป็นโทษ (Low density lipoprotein; LDL) ลดลง
5. ช่วยเสริมสร้างภูมิต้านทานแก่ร่างกาย
6. กระตุ้นระบบต่อมไร้ท่อและการหลั่งฮอร์โมนต่าง ๆ
7. ช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ไปเลี้ยงสมอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

8. ช่วยสร้างความมั่นใจและความพึงพอใจให้กับตนเอง
9. ช่วยบรรเทาความเศร้าและลดความตึงเครียด จากสารเบต้า – เอนโดรฟิน (Beta - endorphin) ที่จะหลั่งออกมาขณะออกกำลังกาย
10. เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน หรือการทำกิจกรรมต่างๆ เนื่องจากกล้ามเนื้อมีความแข็งแรงและทนทานมากขึ้น

หลักการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (ACSM, 2005)

1. ระยะอบอุ่นร่างกาย (Warm up) ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที เป็นช่วงที่เตรียมความพร้อมของกล้ามเนื้อ ข้อต่อ และอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายก่อนออกกำลังกาย ด้วยการออกกำลังกายเบาๆและยืดกล้ามเนื้อกลุ่มใหญ่ๆ เช่น แขน ขา และลำตัว แล้วค่อยๆ เพิ่มความหนักของการออกกำลังกายให้แรงและเร็วขึ้น จนกระทั่งการไหลเวียนโลหิตบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardial blood flow) และกล้ามเนื้อมัดลึกมีอุณหภูมิที่เหมาะสมพร้อมแก่การออกกำลังกาย ซึ่งช่วยลดการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายได้
2. ระยะฝึกฝนร่างกาย (Aerobic phase) ใช้เวลาประมาณ 15 - 30 นาที เป็นการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายให้เร็วและแรงขึ้นเพื่อที่จะทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายโดยใช้ออกซิเจนในอากาศ ทำติดต่อกันไม่หยุด จนกว่าร่างกายรู้สึกเหนื่อยเหงื่อออก เพื่อให้เกิดผลด้านความทนทานของระบบหายใจและระบบหมุนเวียนโลหิต
3. ระยะผ่อนคลาย (Cool down) ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ควรผ่อนการออกกำลังกายลงทีละน้อย ไม่ควรหยุดออกกำลังกายทันที เพื่อให้เลือดที่คั่งอยู่ตามกล้ามเนื้อได้ไหลกลับเข้าสู่หัวใจ ป้องกันการเกิดภาวะหัวใจวายเฉียบพลันที่อาจเกิดจากการหยุดออกกำลังกายอย่างฉับพลันได้

ความหนักของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (ACSM, 2005)

การวัดระดับความหนักของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกนั้นสามารถแบ่งได้หลายรูปแบบ แต่ที่นิยมมากและมีความแม่นยำสูง คือการแบ่งระดับความหนักการออกกำลังกายโดยการเทียบกับอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (%Maximal heart rate; %MHR) ซึ่งหาค่าอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดได้จากการคำนวณด้วยสูตร MHR = 220 – อายุ (ACSM, 2005)

การวัดระดับความหนักการออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยเทียบกับปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (%Maximal oxygen consumption; %VO_2max) แม้มีความแม่นยำกว่า แต่การหาค่า VO_2max ต้องอาศัยเครื่องมือ และบุคลากรเฉพาะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ยังมีวิธีวัดระดับความหนักของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกด้วยวิธีอื่นๆอีก เช่น การใช้ Borg scale คือ การเทียบระดับความเหนื่อยในการทำกิจกรรม(Rating of perceived exertion; RPE) ออกมาเป็นตัวเลขมีค่าตั้งแต่ 6 (ไม่รู้สึกเหนื่อย) – 20 (เหนื่อยมากที่สุด) ระดับความหนักของการออกกำลังกายสามารถแบ่งได้ ดังตาราง

ตาราง 1 แสดงระดับความหนักของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

ระดับความหนัก (Intensity)	แบ่งตาม		
	% MHR	%VO_2max	RPE
เบามาก (Very light)	<50	<20	<10
เบา (Light)	50-63	20-39	10-11
ปานกลาง (Moderate)	64-76	40-59	12-13
หนัก (Heavy)	77-93	60-84	14-16
หนักมาก (Very heavy)	≥94	≥85	≥17-19
หนักที่สุด (Maximal)	100	100	20

(ดัดแปลงจาก American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005)

ความหนักของการออกกำลังกายที่เหมาะสมที่ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบหายใจและหมุนเวียนโลหิต ควรเริ่มจากระดับความหนักปานกลาง (64-76% MHR) และค่อยๆเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายขึ้นจนถึงระดับความหนัก 70-80%MHR เพื่อให้ได้ผลของการเพิ่ม VO_2max (ACSM, 2005)

ความถี่และระยะเวลาการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (ACSM, 2005)

ความถี่และระยะเวลาการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่เหมาะสมควรออกกำลังกายสม่ำเสมออย่างน้อย 3-5 วันต่อสัปดาห์ เนื่องจากเป็นความถี่ที่เหมาะสมต่อการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย และทำให้ VO_2max เพิ่มขึ้น และควรออกกำลังกายสม่ำเสมอติดต่อกันเป็นเวลา 6 สัปดาห์ขึ้นไป เพื่อให้ได้ผลของการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของระบบหายใจ ระบบหมุนเวียนโลหิต และระบบโครงร่างกล้ามเนื้อโดยจำนวนครั้งของการออกกำลังกายในแต่ละสัปดาห์อาจปรับเปลี่ยนไป ขึ้นอยู่กับเป้าหมายของการเผาผลาญพลังงาน หรือลักษณะการใช้ชีวิตของแต่ละบุคคล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดของการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (ชูศักดิ์ เวชแพทย์, 2519)

การออกกำลังกายที่มีผลเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหายใจและระบบหมุนเวียนโลหิต ควรเป็นการออกกำลังกายที่มีการใช้กลุ่มกล้ามเนื้อมัดใหญ่ ในลักษณะที่ต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และที่ความหนักที่เหมาะสม โดยการเลือกชนิดการออกกำลังกายนั้นควรเลือกให้เหมาะสมกับสภาพร่างกาย เพศ วัย และสภาพแวดล้อมของแต่ละคน ตัวอย่างกิจกรรมการออกกำลังกายแบบแอโรบิก ได้แก่

1. เดินเร็ว (Fast walking) เหมาะสำหรับคนทุกเพศ ทุกวัย การเดินที่ดี ควรเดินก้าวเท้ายาว ๆและมีการแกว่งแขนร่วมด้วย ระยะแรกควรใช้เวลาในการเดินประมาณ 15 – 30 นาที เมื่อร่างกายแข็งแรงขึ้นแล้ว จึงเพิ่มเวลาเดินให้มากขึ้นเป็น 1 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้น

2. วิ่งเหยาะ (Jogging) เป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิกชนิดหนึ่งที่ทำได้ง่าย ไม่ต้องอาศัยเทคนิคที่ซับซ้อน ท่าวิ่งควรเป็นธรรมชาติ ไม่เกร็งเวลาลงเท้า ใช้ส้นเท้าสัมผัสพื้นก่อนจึงวางเท้าเต็มแล้วยกส้นเท้าขึ้น เข่าไม่ยกสูงมาก ศีรษะตั้งตรง กำมือหลวม ๆ การวิ่งแตกต่างจากการเดินคือ การเดินจะมีเท้าใดเท้าหนึ่งสัมผัสพื้นตลอดเวลา ส่วนการวิ่งจะมีช่วงหนึ่งที่เท้าทั้งสองข้างพ้นจากพื้น

3. ถีบจักรยาน (Biking) เหมาะสำหรับผู้มีปัญหาเรื่องเข่า ข้อเท้าและผู้มีน้ำหนักตัวมาก เพราะลดแรงกระแทกจากน้ำหนักตัว

4. ว่ายน้ำ (Swimming) เหมาะสำหรับผู้ที่มีน้ำหนักตัวมากและผู้มีปัญหาของข้อต่อ

5. เต้นแอโรบิก (Aerobic dance) เป็นการผสมผสานของท่ากายบริหาร การเคลื่อนไหวเบื้องต้น และจังหวะการเต้นรำมาประกอบกับเสียงดนตรี

การออกกำลังกายแบบแอโรบิกโดยการเต้นแอโรบิก (Lynn, 2000)

การเต้นแอโรบิก (Aerobic dance) หมายถึง กิจกรรมการออกกำลังกายวิธีหนึ่งที่นำเอาท่าทางกายบริหารแขน ขา และลำตัวมาผสมผสานกับทักษะการเคลื่อนไหวเบื้องต้น และจังหวะการเต้นรำที่จะกระตุ้นการทำงานของระบบหายใจและหมุนเวียนโลหิต ด้วยระยะเวลาที่นานเพียงพอ เป็นวิธีการออกกำลังกายที่ทำให้ผู้ออกกำลังกายมีความสนุกสนานรื่นเริง จึงเป็นหนึ่งในวิธีที่ประชาชนนิยมใช้ออกกำลังกายเป็นกาย แบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1. การเต้นแอโรบิกแบบไม่มีแรงกระแทก เป็นการเต้นแอโรบิกในลักษณะที่เท้าทั้งสองต้องติดพื้น เช่นท่ายืน ท่านั่ง หรือท่านอน เหมาะสำหรับทุกเพศทุกวัย ผู้สูงอายุและผู้มีน้ำหนักตัวมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. การเต้นแอโรบิกแบบมีแรงกระแทกต่ำ เป็นการเต้นแอโรบิกในลักษณะที่เท้าข้างหนึ่งติดพื้น อีกข้างลอยพื้น เหมาะสำหรับทุกเพศ ทุกวัย ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีน้ำหนักตัวมาก

3. การเต้นแอโรบิกที่มีแรงกระแทกสูง เป็นการเต้นแอโรบิกในลักษณะที่มีช่วงที่เท้าทั้งสองลอยจากพื้น มีความเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บของข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้าสูง เนื่องจากมีแรงกระแทกมากกว่าสามเท่าของน้ำหนักตัวกระแทกลงมาเมื่อเท้าลงมาสัมผัสพื้น การเต้นชนิดนี้ไม่เหมาะสมสำหรับผู้ที่มีปัญหาของข้อสะโพก ข้อเข่า ข้อเท้า ผู้ที่มีน้ำหนักตัวมาก ผู้สูงอายุและผู้มีร่างกายไม่แข็งแรง

ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; VO_2max) (Ardle และคณะ, 2000)

การใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption; VO_2) หมายถึง อัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนของร่างกายในขณะใดขณะหนึ่ง โดยก๊าซออกซิเจนจะถูกนำไปสันดาปกับกลูโคส ไขมัน โปรตีน เพื่อให้ได้พลังงานเอ ที พี(Adenosin triphosphate; ATP) ซึ่งถูกเซลล์นำไปใช้ ดังนั้น ถ้าเซลล์มีเมตาบอลิซึมสูง อัตราการใช้ออกซิเจนก็จะสูงขึ้นด้วย หน่วยที่ใช้แสดงอัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนมี 2 หน่วย ได้แก่ หน่วยสัมบูรณ์ (Absolute unit) แสดงเป็นลิตรต่อนาที (L/min) หรือ มิลลิลิตรต่อนาที (ml/min) และหน่วยสัมพัทธ์ (Relative unit) แสดงเป็นลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว (L/min/kg)หรือมิลลิลิตรต่อนาทีต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว(ml/min/kg)

ร่างกายใช้ออกซิเจนในระยะพักประมาณ 250 ml/min/kg โดยที่อัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนของร่างกายจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับการทำงานของระบบต่างในร่างกายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

1. การบีบตัวของระบบหัวใจ (Pump generator) เพื่อนำก๊าซและสารอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย

2. การแลกเปลี่ยนก๊าซของระบบหายใจ (Gas exchange) อย่างเพียงพอสำหรับความต้องการของเซลล์

3. ระบบเลือดที่มีหน้าที่จับรวมตัวกับนำก๊าซออกซิเจนและนำไปสู่เซลล์ (Oxygen carrying capacity or oxygen transportation)

4. ระบบกล้ามเนื้อ ที่เป็นระบบปลายทาง และสกัดเอาก๊าซออกซิเจนไปใช้ (Oxygen extraction capacity) เซลล์ทุกเซลล์ในร่างกายไม่ว่าจะเป็นกล้ามเนื้อหรือไม่ ต้องมี Metabolism ทั้งสิ้น ทุกเซลล์จึงมีส่วนต่ออัตราการใช้ออกซิเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal oxygen consumption; VO_2max) หมายถึง ปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงสุดที่ร่างกายใช้ไปในเวลา 1 นาที เกิดขึ้นเมื่อชีพจรถึงจุดสูงสุด ไม่สามารถเพิ่มได้อีกไม่ว่าจะเพิ่มงาน (Workload) โดยทุกระบบไม่สามารถให้ออกซิเจนตอบสนองความต้องการของร่างกายได้มากกว่านี้แล้ว เนื่องจากเกิดภาวะที่ร่างกายออกกำลังจนถึงจุดที่อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด 4 ภาวะ ดังนี้

1. ภาวะที่กล้ามเนื้อหัวใจทำหน้าที่บีบตัวด้วยแรงสูงสุดและอัตราการเต้นสูงสุด (Maximal contraction and rate) แล้ว ไม่สามารถเพิ่มการบีบตัวและการเต้นได้อีก
2. ภาวะที่อัตราการหายใจและการขยายของปอดถึงจุดสูงสุด ถุงลมทุกถุงเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซด้วยอัตราที่สูงสุด (Maximal gas exchange)
3. ภาวะที่เม็ดเลือดแดงทุกเม็ดมีโมเลกุลของออกซิเจนมาเกาะอยู่อย่างเต็มที่ครบหมดแล้ว
4. ภาวะที่เซลล์กล้ามเนื้อทุกเซลล์สามารถแลกเปลี่ยนออกซิเจนได้เต็มที่แล้ว

ดังนั้นค่า VO_2max จึงเป็นดัชนีหลักที่ใช้ในการบ่งบอกสมรรถภาพของร่างกายของ แต่ละคนที่ใช้บ่งชี้ความทนทานของระบบหายใจและระบบหมุนเวียนโลหิต อีกทั้งยังช่วยบ่งชี้ความสามารถในการออกกำลังกายอีกด้วย โดยวิธีการหาค่า VO_2max แบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

1. การหาแบบทางอ้อม (Indirect method) เป็นการหาค่า VO_2max โดยใช้การสร้างขั้นตอนของการทดสอบขึ้นมา เช่น การทำ Astrand test การใช้ Bruce protocol เป็นต้น
2. การหาแบบทางตรง (Direct method) เป็นการหาค่า VO_2max โดยอาศัยเครื่องวิเคราะห์แก๊สทดสอบด้วยการให้ทำงานจนถึงระดับที่หมดแรงวิธีการหาค่า VO_2max แบบทางตรงนั้นต้องทำในห้องทดลอง ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะจำนวนมาก

Bruce treadmill protocol (ACSM, 2005)

Bruce treadmill protocol เป็น Maximal exercise testing ที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบหายใจและระบบหมุนเวียนโลหิต (Cardiopulmonary fitness) ซึ่งเป็นการทดสอบที่ใช้การออกกำลังกายระดับหนัก คือให้ผู้ถูกทดสอบออกกำลังเต็มความสามารถ เป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับตรวจวินิจฉัยหรือทำนายโรคหลอดเลือดแดงหัวใจ (Coronary artery disease; CAD) ซึ่งถูกคิดค้นคิดค้นโดยแพทย์ทางโรคหัวใจชื่อ Dr. Robert Bruce ในช่วง ปี ค.ศ. 1960-1970

การวัดค่า Maximal treadmill test โดยใช้ Bruce treadmill protocol เป็นวิธีที่ใช้วัดประมาณค่าหาปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_2max) ทางอ้อม เป็นการทดสอบที่ช่วยบ่งบอกถึงสมรรถนะของการออกกำลังกายจากการใช้ออกซิเจน ผู้ทดสอบจะวิ่งบนสายพานเลื่อนไฟฟ้า (Treadmill) จนหมดแรง โดยการทดสอบจะเริ่มให้วิ่งโดยกำหนดความเร็วอยู่ที่ 2.74 กิโลเมตร/

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชั่วโมง ที่ความชัน 10% และค่อยๆเพิ่มความหนักของการวิ่ง โดยการเพิ่มความชันและความเร็วในทุก ๆ 3 นาทีโดยจะใช้ค่าตัวเลขบอกระดับความเหนื่อย (Borg Scale) เพื่อเป็นการบอกระดับความเหนื่อยของผู้ถูกทดสอบ การวัดค่า Maximal treadmill test โดยใช้ Bruce treadmill protocol นี้เป็นวิธีที่มีค่าสหสัมพันธ์ใกล้เคียงกับการวัดโดยตรงมาก (r = 0.97) โดยพบว่า Bruce treadmill protocol มีค่าสหสัมพันธ์ใกล้เคียงกับการวัดโดยตรงสูงกว่าการวัดด้วยวิธี Balke Treadmill Test (r = 0.88) (Baumgartner และ Jackson, 1999)

การใช้อุปกรณ์ในการวัด Maximal test อาจใช้จักรยานวัดงาน (Cycle ergometer) หรือสายพานเลื่อนไฟฟ้า (Treadmill) แต่การใช้จักรยานวัดงานมักจะทำให้กล้ามเนื้อเมื่อย ล้าก่อนถึงค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด ดังนั้นการวัด Maximal Test โดยใช้สายพานเลื่อนไฟฟ้า น่าจะได้ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดได้ใกล้เคียงกับการวัดโดยตรง มากกว่า

ตาราง 2 แสดงรายละเอียดของ Bruce Treadmill Protocol (ACSM, 2005)

ระดับ	เวลา (นาที)	ความเร็ว (กม./ชม.)	ความชัน
1	0	2.74	10%
2	3	4.02	12%
3	6	5.47	14%
4	9	6.76	16%
5	12	8.05	18%
6	15	8.85	20%
7	18	9.65	22%
8	21	10.46	24%
9	24	11.26	26%
10	27	12.07	28%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อการทดสอบสิ้นสุดให้บันทึกเวลาที่ทำได้ นำมาคำนวณปริมาณ VO_2 max ทางอ้อมด้วยสูตร

ชาย $VO_2 \text{ max} = 14.8 - (1.379 \times T) + (0.451 \times T^2) - (0.012 \times T^3)$

หญิง $VO_2 \text{ max} = 4.38 \times T - 3.9$

โดย T = เวลาสูงสุดที่ทำได้, T^2 = เวลาสูงสุดที่ทำได้ยกกำลัง 2, T^3 = เวลาสูงสุดที่ทำได้ยกกำลัง 3

นอกจากนี้ระยะเวลาที่ใช้วิ่งจนรู้สึกเหนื่อย (Maximal exhaustive running time) จนอัตราความรู้สึกเหนื่อย หรือ Rate perceived exertion (RPE) มีค่าถึง 15 หรือที่ 85% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด(Maximal heart rate; MHR)ยังแสดงถึงระดับพลังงานในร่างกายที่ถูกใช้จนหมดและสร้างใหม่ไม่ทัน โดยในระยะแรกของการออกกำลังกายจะพบว่าระดับครีเอทีนฟอสเฟต (Creatine Phosphate; CP) ในกล้ามเนื้อจะลดลงอย่างมาก ส่วนในระยะท้ายของการออกกำลังกายที่ต้องใช้ระยะเวลานานมากขึ้นจนร่างกายหมดแรงระดับพลังงานเอ ที พี(Adenosin Triphosphate; ATP) ในกล้ามเนื้อจะลดลงอย่างมาก (Norman และคณะ, 1987)

ภาวะออกซิเดทีฟสเตรส (Oxidative stress) (Helmut, 1991 : โอภา วัชระคุปต์, 2549)

Oxidative stress คือ ภาวะที่เกิดความไม่สมดุลกัน มีการเกิดอนุมูลอิสระที่มากเกินไป ทำให้กระบวนการป้องกันโดยสารต้านอนุมูลอิสระ และเอนไซม์ไม่สามารถต้านทานอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นไว้ได้ สาเหตุเกิดจาก

1. กระบวนการป้องกันการเกิดออกซิเดชันมีความบกพร่อง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียสารต้านออกซิเดชันที่อยู่ในกระบวนการป้องกันอนุมูลอิสระ หรือสารต้านอนุมูลอิสระหมดไปด้วยสาเหตุต่างๆ หรือการขาดสารอาหาร แร่ธาตุ และสารต้านออกซิเดชันในธรรมชาติ
2. อนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้องที่เป็นผลิตผลของอนุมูลอิสระมีการเพิ่มมากขึ้น เช่น ในภาวะอักเสบแบบเรื้อรัง ออกกำลังกายหักโหม เป็นต้น

วิธีการวัดดัชนีชีวภาพที่ใช้บ่งบอกถึงภาวะ Oxidative stress คือ

ก. วัดปริมาณอนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้องมีความไวสูงโดยตรง

ข. วัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในร่างกายตามธรรมชาติ

ค. วัดปริมาณเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้อง

ง. วัดปริมาณสารที่เป็นอนุมูลอิสระผลิตผลจากการที่ลิพิด โปรตีน และดีเอ็นเอ ถูกออกซิไดซ์โดยอนุมูลอิสระหรือผลิตผลจากอนุมูลอิสระ

จ. วัดประสิทธิภาพหรือความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวม(Total antioxidant capacity ;TAC)

ลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (Lipid peroxidation) (Yagi,1992: Yu, 1994)

Lipid peroxidation เป็นกระบวนการที่กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้เกิดลิพิดไฮเปอร์ออกไซด์ขึ้นที่เซลล์เมมเบรนและในของเหลวในร่างกาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการของ Lipid peroxidation สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนเริ่มต้น (Initiation step) ปฏิกิริยาลูกโซ่เริ่มต้นด้วยการมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้น และอนุมูลอิสระ ($R^{\cdot}$) เข้าทำปฏิกิริยากับลิพิด (LH) และทำให้เกิดอนุมูลลิพิด ($L^{\cdot}$) ดังสมการ

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

2. ขั้นตอนการถ่ายทอด (Propagation step)

การถ่ายทอดของไลปิดเปอร์ออกซิเดชัน อาศัยการทำปฏิกิริยาของโมเลกุลออกซิเจน และอนุมูลลิพิด ($L^{\cdot}$) แล้วรวมตัวเป็นอนุมูลอีกตัวหนึ่ง คือ Lipid Peroxy Radical ($LOO^{\cdot}$) โดยอนุมูลนี้จะเป็นตัวรับไฮโดรเจนอะตอม จากโมเลกุลไขมันอีกตัวหนึ่งได้เป็น Lipid hydroperoxide (LOOH) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระเช่นกัน ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

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

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

3. ขั้นตอนสุดท้าย (Termination step)

ปฏิกิริยาลูกโซ่สามารถสิ้นสุดโดยสารต้านอนุมูลอิสระ (AH) ซึ่งจะเข้าไปขัดขวางการทำงานของอนุมูลอิสระ ทำให้กระบวนการสร้างอนุมูลอิสระหยุดลง ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

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

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

การเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันเป็นสาเหตุให้เกิด Hydroperoxide ซึ่งสามารถแปลงสภาพเป็นไฮโดรคาร์บอน รวมถึงคีโตนและอัลดีไฮด์ด้วย อัลดีไฮด์ที่เป็นผลผลิตจากการเสื่อมสลายที่สำคัญคือ มาลอนไดออลดีไฮด์(Malondialdehyde; MDA) โดย MDA ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความเสียหายต่อสารพันธุกรรม (DNA) จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมและเกิดโรคมะเร็งได้ นอกจากนี้ยังพบว่า MDA มีผลทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลาย เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคหลอดเลือดแข็งตัว (Atheroscrerosis) โรคอักเสบ (Inflammatory disease) และแก่ก่อนวัย (Aging) ได้ (Halliwell และ Gutteridge, 1989)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดัชนีวัดความเสียหายจากการลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (โอภา วัชระคุปต์, 2549)

จากการศึกษาวิจัยที่ยืนยันแล้วว่าลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน และภาวะถูกออกซิไดซ์มีบทบาทสำคัญในการเกิดโรคและพัฒนาการของโรค เช่น โรคหลอดเลือดแข็งตัว (Atheroscrerosis) โรคอักเสบ (Inflammatory disease) และแก่ก่อนวัย (Aging) เป็นต้น (Halliwell และ Gutteridge, 1989) ดังนั้นสารที่ได้จากการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันจึงเป็นดัชนีที่แสดงถึงภาวะที่ร่างกายถูกออกซิไดซ์และเกิดการบาดเจ็บของเซลล์

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณลิพิดเปอร์ออกซิเดชันที่นิยมใช้ คือ การหาปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์(Malondialdehyde; MDA) เพราะเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก และไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาสูง การหาปริมาณ MDA ที่เกิดขึ้น ทำได้โดยการเติมกรดไทโอบาร์บิทูอิกในภาวะกรด MDA จะทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูอิกได้เป็นสารมีสีเรียกว่า TBARS (Thiobarbituric acid reactive substances)

โปรตีนเปอร์ออกซิเดชัน (Protein peroxidation) (Beratan และ คณะ, 1992)

Protein peroxidation เกิดจากกระบวนการที่โปรตีนถูกออกซิไดซ์ จากอนุมูลของไฮดรอกซิล (HO°) ดังปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

$$PrH + OX \longrightarrow Pr^{\circ} + \text{reduced Dx}$$

$$Pr^{\circ} + O_2 \longrightarrow PrOO^{\circ}$$

$$Pr^{\circ} + e^{-} \longrightarrow PrOOH$$

$$PrOO^{\circ} + PrH \longrightarrow PrOOH + Pr^{\circ}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

PrH เป็นโมเลกุลของโปรตีน กับไฮโดรเจนอะตอมในตอนต้นของปฏิกิริยา ร่วมกับตัวรับอิเล็คตรอน (Ox) เมื่อ Ox คือ อนุมูลของไฮโดรเจนทุกตัว (ยกเว้นอะตอมในวงที่ไม่คงที่) หลุดออกไป ส่วน Pr° คือ อนุมูลอิสระคาร์บอนตัวกลาง (Carbon centered free radical) ซึ่งมีอายุนานพอที่จะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนก่อนที่จะได้รับสารเคมีตัวอื่น อิเล็กตรอนสามารถเปลี่ยนตำแหน่งได้อย่างอิสระในโปรตีน และพร้อมที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็น Hydrogen peroxide (H_2O_2) หรือสลายตัวไป

วิธีการตรวจวัดปริมาณโปรตีนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในเลือดด้วยวิธีเคมีพื้นฐาน (Ferrous Oxidation – Xylenol Orange ; FOX)

FOX เป็นวิธีวัดปริมาณ Hydrogenperoxides ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่ถูกกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาด้วยโลหะไอออน โดยเปลี่ยน Hydrogen peroxide (H_2O_2) ให้เป็นสารประกอบที่มีสีด้วยการทำปฏิกิริยากับ Xylenol orange [O - cresolsulfonphthalein -3, 3′ - bis (methyliminodiacetic acid) sodium salt] สารประกอบที่เกิดขึ้นมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

อนุมูลอิสระ (Free radical) (Steven และคณะ, 1997: โอภา วัชระคุปต์, 2549)

อนุมูลอิสระ(Free radical) เป็นโมเลกุลหรือ อิออนที่มีอิเลคตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอก และมีอายุสั้นมาก จัดเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร มีความไวสูงในการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ อนุมูลอิสระที่มีความสำคัญทางชีวภาพ ได้แก่ อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออน ($O_2^{\cdot-}$) อนุมูลไฮดรอกซี ($OH^{\cdot}$) อนุมูลอัลคอกซี ($RO^{\cdot}$) และอนุมูลเปอร์ไฮดรอกซี ($HO_2^{\cdot}$) ส่วนอนุมูลอิสระที่มีความไวในการเกิดปฏิกิริยารองลงมาได้แก่ไนตริกออกไซด์ (NO) หรืออนุมูลไนตริกออกไซด์ ($NO^{\cdot}$)อนุมูลวิตามินอี และอนุมูลวิตามินซี นอกจากนี้มีการศึกษาและวิจัยพบว่า มีสารหลายชนิดที่ไม่อยู่ในสภาวะอนุมูล แต่มีความเกี่ยวข้องกับอนุมูล และมีความไวต่อปฏิกิริยาสูง สารเหล่านี้มีทั้งที่เป็นสารที่ให้กำเนิดอนุมูล เนื่องจากมีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่าย เช่น โอโซน(O_3) หรือสารที่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นเกิดเป็นอนุมูล เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) รวมถึงสารที่เป็นผลผลิตของอนุมูลที่มีอันตรายสูง ได้แก่ เปอร์ออกซีไนเตรท ซึ่งเรียกโดยรวมว่าสารไวต่อปฏิกิริยา (Reactive species; RS) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (Reactive oxygen species; ROS) กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (Reactive nitrogen species; RNS) และกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (Reactive chlorine species; RCS)

การเกิดอนุมูลอิสระ (Steven และคณะ, 1997: โอภา วัชระคุปต์, 2549: นัฏฐกาล ลีลารุ่งระยับและคณะ, 2548)

อนุมูลอิสระในระบบของสิ่งมีชีวิต เป็นผลิตผลจากการเผาผลาญของเซลล์โดยการใช้ออกซิเจน อนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออน ($O_2^{\cdot-}$) และอนุมูลไฮดรอกซี ($OH^{\cdot}$) เป็นอนุมูลที่พบในเซลล์มากกว่าอนุมูลอื่นๆ ส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(H_2O_2) และเปอร์ออกซีไนเตรท ($ONOO^-$) แม้ไม่เป็นอนุมูลอิสระ แต่จัดเป็นสารเกี่ยวข้องที่ความไวสูง (Reactive species; RS) มีบทบาทในปฏิกิริยารีด็อกซ์ที่เกิดขึ้นในเซลล์เป็นอย่างมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

RS เกิดขึ้นได้จากการเผาผลาญภายในไมโตคอนเดรียโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน เริ่มต้นด้วยอนุมูลซุปเปอร์ออกไซด์แอนอิออนซึ่งเกิดขึ้นจากการรั่วไหลของอิเลคตรอนที่มีพลังงานสูงจากกระบวนการส่งผ่านอิเลคตรอนในไมโตคอนเดรีย (Electron transport chain) ซึ่งอิเลคตรอนจะถูกรีดักชันโดยออกซิเจน ตามปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

$$O_2 + 4H + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$$

ในท้ายที่สุด กระบวนการรีดักชั่นที่เกิดขึ้น จะทำให้ได้พลังงานที่เรียกว่าอะดีโนซีนไตรฟอตเฟต (Adenosine triphosphate ; ATP) ซึ่งออกซิเจนจะรับอิเลคตรอนแล้วเกิดพลังงานสูงสุด กระบวนการรีดักชันของออกซิเจนที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิด ROS ในที่สุด ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$O_2 + e^- \longrightarrow O_2^{-\circ}$$

$$O_2^{-\circ} + e^- + 2H^+ \longrightarrow H_2O_2$$

$$H_2O_2 + e^- + 2H^+ \longrightarrow HO^\circ + H_2O$$

$$HO^\circ + e^- + 2H^+ \longrightarrow H_2O$$

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิดกระบวนการเผาผลาญโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะไปทำความเสียหายให้แก่โมโตคอนเดรีย ดีเอ็นเอ โดยเฉพาะ mDNA จะผิดปกติเสียหาย ซึ่งจะทำให้โปรตีนที่สร้างขึ้นจากการถอดรหัสผิดปกติไปด้วย ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ กรณีที่โปรตีนที่บกพร่องอยู่ในโมโตคอนเดรีย จะทำให้กระบวนการส่งอิเลคตรอนในไมโตคอนเดรียทำงานได้ลดลง มีผลทำให้เกิดอนุมูลอิสระ $O_2^{-\circ}$ เพิ่มขึ้นมากเกินกว่าสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติที่มีอยู่ในเซลล์จะขจัดได้ ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติในเซลล์ เช่น กลูตาไทโอน วิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินอี มีปริมาณลดลงหรือหมดไป ทำให้ภาวะออกซิเดสในเซลล์ไม่สมดุล มีอนุมูลอิสระมากเกินไป ดังนั้นเซลล์จึงตกอยู่ในสภาวะเครียดจากการถูกออกซิไดซ์ (Oxidative stress)

อนุมูลอิสระสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายกลไกและสามารถเสริมฤทธิ์กันในร่างกาย เช่น การเกิดอนุมูลอิสระจากกระบวนการกระตุ้นด้วยกรดอะมิโนเซลล์ประสาทและระบบสื่อประสาทจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของสารสื่อประสาท หรือจากสารพิษทำลายเซลล์ประสาท เป็นต้น นอกจากนี้อนุมูลอิสระสามารถเกิดจากปัจจัยภายนอกร่างกายได้ เช่น การติดเชื้อทั้งจากแบคทีเรีย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และไวรัส การอักเสบชนิดไม่ทราบสาเหตุ รังสี สิ่งแวดล้อมที่เป็นมลพิษ และการออกกำลังกายอย่างหักโหม เป็นต้น

อันตรายของอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระจะทำลาย ดี เอน เอ โปรตีน เอนไซม์ และผนังเซลล์ ซึ่งจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับระดับของสารต้านอนุมูลอิสระที่จะต้านทานได้ สารอนุมูลอิสระเป็นสารที่ขาดอิเล็กตรอนไปหนึ่งตัวจึงไม่เสถียร และสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่องทำลายผนังเซลล์ ทำให้เกิดการแข็งตัวของเส้นเลือดนำไปสู่ภาวะโรคหัวใจขาดเลือดและอัมพาต สารอนุมูลอิสระทำให้เกิดการ Cross-linking ของโปรตีน ทำให้เกิดการแข็งตัวของเนื้อเยื่อรวมไปถึงรังสีจากแสงแดดสามารถทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กับผิวหนังทำให้ผิวหนังเหี่ยวย่นและเกิดริ้วรอย

ภาวะ ROS หรือ RNS ทำให้เกิดอันตรายต่อไมโตคอนเดรีย (Jai และคณะ, 2006) เกิดการทำลายโครงสร้างต่างๆ เช่น Lipid ทำให้เกิด Peroxidation เมื่อผนังชั้นในของไมโตคอนเดรียถูกทำลาย ส่งผลทำให้ Cytochrome oxidase ทำงานมากขึ้น ถ้าระดับ Lipid peroxidation (LP) ในร่างกายสูงขึ้นในอวัยวะที่สำคัญเช่น สมอง ไต หัวใจ ก็จะส่งผลทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับความเสื่อม (Degenerative diseases) ส่วน Protein oxidation ในภาวะที่เกิดออกซิเดทีฟสเตรส จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของเอนไซม์ในระบบทางเดินหายใจ และถ้ามีการทำลาย β-cells ที่ตับอ่อน ก็จะส่งผลทำให้เกิดโรคเบาหวานทั้งชนิดที่หนึ่งและสอง (Diabetes type I&II) นอกจากนี้ยังทำให้ไมโตคอนเดรียทำงานผิดปกติหรือไม่ทำงาน ซึ่งส่งผลทำให้เกิดโรคทางระบบประสาทที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของเซลล์ (Katrin และคณะ, 2006) เช่น โรคพากินสัน (Parkinson's diseases) โรคความจำเสื่อม (Alzheimer's diseases) โรคของระบบประสาทยนต์ เช่น Multiple scerosis (MS) และยังทำให้เกิดโรคในระบบอื่นๆ อีก เช่น Cardiomyopathy หรือ Multi-organ system failure in sepsis เป็นต้น

การสร้างสารอนุมูลอิสระในไมโตคอนเดรีย ส่งผลทำให้การทำงานของเซลล์ลดลง ซึ่งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับอายุของคน เมื่ออายุเพิ่มมากขึ้นภาวะออกซิเดทีฟสเตรส ก็จะทำให้เกิดการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงหรือกลายพันธุ์ของ Mitochondrial DNA (mtDNA) เพิ่มขึ้น เช่น การกลายพันธุ์ของ mtDNA-encoded respiratory enzyme ทำให้เกิดความบกพร่องของระบบหายใจ เช่น โรคหอบหืด (Asthma), โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive disease; COPD), โรคมะเร็งปอด (Lung cancer) เป็นต้น(Rosario และคณะ, 2006) ผลของภาวะออกซิเดทีฟสเตรสต่อระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย คือทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกัน (Autoimmune diseases) ซึ่งพบบ่อยได้แก่ โรคภูมิคุ้มกันทำลายเนื้อเยื่อตัวเอง(Systemic lupus erythematosus; SLE) และโรคข้ออักเสบเรื้อรัง (Rheumatoid arthritis; RA) ซึ่งเกิดจากการทำลายและการเปลี่ยนแปลงของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนประกอบของเซลล์ (Jun และคณะ, 2006) ผลของภาวะออกซิเดทีฟสเตรสต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด คือมีการเพิ่มของสารอนุมูลอิสระและมีการทำลาย DNA โปรตีนและโมเลกุลใหญ่อื่นๆ ถ้ามีการเพิ่มขึ้นในระดับสูงอาจทำให้เซลล์และเนื้อเยื่อเสียหายมากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดโรคของระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular disease; CVD) หรือกล้ามเนื้อหัวใจตาย (Myocardial infarction) (Sofian และคณะ,2006)นอกจากนี้ยังพบว่าภาวะออกซิเดทีฟสเตรสยังส่งผลทำให้ระบบต่างๆ ในร่างกายเกิดพยาธิได้อีก เช่น โรคทางพันธุกรรม โรคมะเร็ง อัมพาต และโรคอื่นๆ

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) (Davies, 1995: Giuliani and Cestaro, 1997:โอภา วัชระคุปต์, 2549)

สารต้านอนุมูลอิสระ หรือสารแอนตีออกซีแดนท์ เป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระโดยตรง เพื่อกำจัดอนุมูลให้หมดไป หรือหยุดยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ไม่ให้ดำเนินต่อ สารต้านอนุมูลอิสระที่มีตามธรรมชาติ เช่น กรดยูริค บิลิรูบิน จะทำหน้าที่ในการกำจัดอนุมูล ส่วนวิตามินซี วิตามินอี กลูตาไทโอน เบตาแคโรทีน และยูบิควิโนน จะหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูล ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระประเภทหลังมีบทบาทสำคัญในการทำให้ลิพิดเปอร์ออกซิเดชันสิ้นสุดลง

ภายในร่างกายมีสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ 3 กลุ่ม ด้วยกัน ได้แก่

1. กลุ่มที่เป็นเอนไซม์ (Enzyme antioxidant) เอนไซม์ที่อยู่ในพลาสมาในเลือดที่ทำหน้าที่นี้ประกอบด้วย Superoxide dismutase (SOD), Catalase, Glutathione peroxidase (GSH – Px), Glutathione reductase, Glutathione S – Transferase, Ascorbate peroxidase หรือ Cytochrome C peroxidase เป็นต้น
2. กลุ่มที่เป็นโปรตีน
   2.1 โปรตีนที่จับโลหะหรือธาตุให้อยู่ในโครงสร้าง เช่น Ceruloplasmin
   2.2 โปรตีนที่มีกลุ่มซัลไฟด์เป็นส่วนประกอบ เช่น อัลบูมินในเลือด
3. กลุ่มที่เป็นสารโมเลกุลขนาดเล็ก
   3.1 ชนิดที่ละลายน้ำ (Water soluble antioxidant) ได้แก่ วิตามินซี น้ำตาล กรดยูริค กลูตาไทโอน
   3.2 ชนิดที่ละลายไขมัน (Lipid Soluble Antioxidant) ได้แก่ วิตามินอี แคโรทีนอยด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวัดความสามารถรวมในการต้านออกซิเจน (Total antioxidant capacity; TAC)

(โอภา วัชระคุปต์, 2535)

จากการที่ร่างกายและเซลล์มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้หลายชนิด จึงมีระบบควบคุมป้องกันไม่ให้มีอนุมูลอิสระเกินสมดุลจนทำให้เกิดอันตรายด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ และเอนไซม์ขจัดอนุมูลอิสระ การหาปริมาณสารต้านออกซิเดชันเดี่ยวๆ หรือการวัดปริมาณการเกิดชีวโมเลกุลที่ถูกอนุมูลอิสระทำให้เสียหายเป็นดัชนีวัดภาวะถูกออกซิไดซ์เกินสมดุลว่ามีระดับมากน้อยเพียงใดนั้นอาจไม่เป็นค่าที่สะท้อนถึงภาพรวมของภาวะออกซิเดชันของร่างกาย ดังนั้นจึงมีการหาความสามารถรวมในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งเป็นการรวมองค์ประกอบทั้งหมดของภาวะรีดอกซ์และใช้เป็นดัชนีวัดภาวะออกซิเดชันของร่างกายโดยตรวจจากเลือด พลาสมา และของเหลวที่ได้จากร่างกาย

โดยทำการสร้างอนุมูลจากสารประกอบ ABTS โดยโปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต เกิดเป็นอนุมูลที่มีประจุบวกหรือ $ABTS^{\circ+}$ มีสีเขียวอมฟ้า สามารถวัดการดูดกลืนได้ที่ช่วงความยาว 734 นาโนเมตรได้ อนุมูล $ABTS^{\circ+}$ จะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในเลือดหรือสารต่างๆ ภายในเวลา 30 นาที (ปกติจะใช้เวลาประมาณ 5 นาที) ทำให้สีของอนุมูลดังกล่าวมีการลดลง ผลการวิเคราะห์จะคำนวณเป็นค่าที่สัมพันธ์กับสารต้านอนุมูลมาตรฐาน Trolox จึงมีชื่อว่า Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC)

ภาวะอักเสบจากการออกกำลังกาย กับ อินเตอร์ลิวคินทู (Inflammation and Interleukin 2)

(Zhendong, 2007)

Interleukin 2(IL-2) เป็นไกลโคโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 15,000 dalton เป็นสารที่มีผลกระตุ้นต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของ T-cell ซึ่ง IL-2 นี้ผลิตจาก CD4+ และ CD8+ ซึ่งจะควบคุมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน เมื่อร่างกายถูกกระตุ้นด้วย Antigen หรือ T-Lymphocytes (โดยเฉพาะ CD4+) จะตอบสนองโดยการสร้าง IL-2 ออกมาซึ่งจะส่งผลให้ร่างกายสามารถกำจัดเชื้อโรคและหายจากโรคได้ โดย IL-2 สามารถทำให้ Lymphocytes แบ่งตัวเพิ่มจำนวนและเกิดพัฒนาการเจริญเติบโตจนถึงขั้นสุดท้าย ซึ่งระบบคุ้มกันจะเกิดการตอบสนองอย่างจำเพาะเจาะจงต่อสิ่งแปลกปลอมและเชื้อโรคนั้นๆ

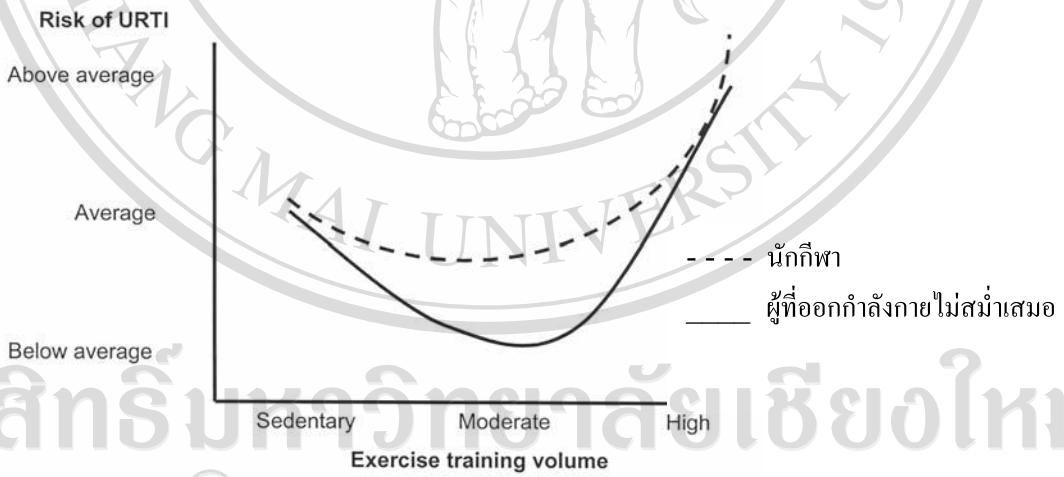
การออกกำลังกายหนักเกินไป อาจทำให้เกิดอันตรายเกิดกระบวนการอักเสบและการติดเชื้อขึ้นในร่างกายได้ โดยการอักเสบที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อเกิดการบาดเจ็บได้จากการที่ Sarcolemma (Cell membrane) อาจเกิดการฉีกขาดขณะออกกำลังกาย โดยมักเกิดที่ Z-line ของ Contractile filament พบ Myoglobin ในเลือดและปัสสาวะ โดยจะพบเอนไซม์ Lactate

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

dehydrogenase (LDH)และ Creatine phosphokinase (CPK) จำนวนมากกว่าปกติออกมาในกระแสเลือด (Armstrong และคณะ, 1991)เมื่อร่างกายมีอาการผิดปกติระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายจะกระตุ้นให้ T-cell เพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยจะหลั่งไซโทไคน์ และกระตุ้น B-cell ให้ผลิตโปรตีน Interleukin 1, 2 เพื่อช่วยระงับสารกระตุ้นการอักเสบที่เกิดขึ้น

ผลของการออกกำลังกายที่มีผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน (Gleeson, 2007)

ผลของการออกกำลังกายที่มีต่อระบบภูมิคุ้มกันมีทั้งผลทางบวกและทางลบ โดยอาจเป็นสาเหตุของการเจ็บป่วยเพียงเล็กน้อยและภาวะการอักเสบได้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างการออกกำลังกายและภาวะที่ง่ายต่อการติดเชื้อและภาวะอักเสบนั้นสามารถอธิบายได้จาก J-shape curve model (ดังภาพ) ซึ่งอธิบายสัมพันธ์กับความหนักในการออกกำลังกายได้ว่าการออกกำลังกายระดับปานกลางมีผลกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายมากกว่าการออกกำลังกายระดับเบาหรือไม่ได้ออกกำลังกายเลย แต่พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การออกกำลังกายระดับหนักมีผลลดการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันลง



ภาพ 2 แสดง J-shape curve model (Neiman, 1994)

ซึ่งอธิบายสัมพันธ์ระหว่างความหนักในการออกกำลังกายกับการทำงานของระบบมิคุ้มกันกับอัตราเสี่ยงในการติดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจส่วนบน (upper respiratory tract infection; URTI)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การออกกำลังกายจะส่งผลต่อการลดลงของการทำหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันชั่วคราว เช่น Neutrophiloxidative burst, Lymphocyte proliferation, Monocyte MHC class II expression และ Natural killer cell cytotoxic activity เป็นต้น ซึ่งกลไกการลดลงของหน้าที่ดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาการออกกำลังกายและความหนักของการออกกำลังกาย ซึ่งอาจจะใช้เวลาประมาณ 3 – 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามภายหลังการออกกำลังกาย การลดลงหน้าที่ดังกล่าว จะส่งผลต่อเนื่องเมื่อมีการออกกำลังกายต่อ ซึ่งอาจใช้เวลาต่อไปอีก อาจมากกว่า 1.5 ชั่วโมง สำหรับการออกกำลังกายอย่างหนักและระดับปานกลาง (55-75% VO_2max) ทั้งนี้ยังพบว่าช่วงระยะเวลาของการเพิ่มการฝึกฝนนั้นจะส่งผลต่อการลดลงของการทำหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายอีกด้วย ซึ่งพบว่ามีความเกี่ยวเนื่องกับการเพิ่มระยะเวลาในการฝึกฝนซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการติดเชื้อและอักเสบได้ง่ายขึ้นได้

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า นักกีฬาที่เข้ารับโปรแกรมการฝึกความทนทานต่างๆ มีโอกาสในการติดเชื้อและเกิดการอักเสบได้มาก จากผลการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอาการ หวัดและเจ็บคอ พบว่าเกิดในนักกีฬามากกว่าในคนทั่วไป และยังพบว่าระยะของการเจ็บป่วยยังยาวนานกว่าคนทั่วไปอีกด้วย(Nieman และคณะ,1990)โดยการลดลงของหน้าที่การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันนั้นมีผลต่อการติดเชื้อดังกล่าว ซึ่งพบว่าจะมีการลดการทำงานของลิวโคไซต์จากการเพิ่มความหนักของการออกกำลังกายซ้ำๆซึ่งสาเหตุอีกประการที่มีความเป็นไปได้และสัมพันธ์กันก็คือ การเพิ่มขึ้นของระดับฮอร์โมนที่เกิดจากแรงเครียด (Stress hormone) ได้แก่ ฮอร์โมน Cortisol ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของลิวโคไซต์ และนิวโทรฟิวส์ นอกจากนั้นในระหว่างที่มีการฝึกฝนอย่างหนักระดับความเข้มข้นของ กลูตามีนในระบบหมุนเวียนโลหิตที่เพิ่มสูงขึ้นอาจมีผลต่อการลดลงของระบบภูมิคุ้มกัน อย่างไรก็ดีระดับของกลูตามีนก็ไม่ได้เป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดผลดังกล่าว การอักเสบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการที่กล้ามเนื้อได้รับบาดเจ็บจากปัจจัยอื่น ๆ มากกว่า ในระหว่างการออกกำลังกายจะพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระ(Reactive oxygen species; ROS) และยังพบว่าสารที่ทำหน้าที่ควบคุมหน้าที่การทำงานของระบบภูมิคุ้มกันบางตัวถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระดังกล่าว ทั้งนี้ยังพบอีกว่า Airborne pathogens นั้นจะเกิดขึ้นมากเมื่อมีการเพิ่มระดับของการหายใจลึก ๆ ซึ่งอาการดังกล่าวทำให้ง่ายในการรับเชื้อต่าง ๆเข้าสู่ระบบหายใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งร่วมกับภาวะการออกกำลังกายในที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ ซึ่งสาเหตุของการติดเชื้อและการอักเสบที่เพิ่มมากขึ้นในนักกีฬานั้นจึงอาจเนื่องมาจากหลาย ๆ ปัจจัยร่วมกัน เช่น ภาวะที่มีแรงเครียด สมรรถภาพทั้งทางร่างกายและจิตใจ สภาพแวดล้อม ภาวะโภชนาการ ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันทั้งสิ้น และปัจจัยดังกล่าวนี้ยังเป็นเหตุให้นักกีฬาติดเชื้อได้ง่ายกว่าคนทั่วไปอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษาเชิงเดี่ยวพบว่าการลดลงของระบบภูมิคุ้มกันชั่วคราว สัมพันธ์ต่อการติดเชื้อ โดยพบรายงานของนักวิ่งระยะไกลที่วิ่งจนจบการแข่งขัน กับนักวิ่งที่ไม่วิ่งต่อจนจบพบว่านักวิ่งดังกล่าวนั้นมีการติดเชื้อทางระบบทางเดินหายใจส่วนต้นที่สูงกว่า (Nieman, 1990) ซึ่งพบอีกว่าการติดเชื้อดังกล่าวนั้นมีความเกี่ยวพันกับภาวะติดเชื้อ(Sepsis) หรือ เกิดการบาดเจ็บ(Trauma) นอกจากนั้นยังพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของลิวโคไซต์(ลิมโฟไซต์ และ นิวโทรฟิลส์) ซึ่งอัตราที่เพิ่มนั้นมีความสัมพันธ์กับความหนัก และระยะเวลาในการออกกำลังกาย นอกจากนั้นยังมีการเพิ่มขึ้นของสารคัดหลั่งต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของลิวโคไซต์ รวมถึงสารที่ทำหน้าที่ในภาวะอักเสบและต้านอักเสบ(Inflammatory and anti-inflammatory cytokines) เช่น Tumour necrosis factor-a, Interleukin (IL)-1b, IL-6, IL-10, IL-2,Macrophage inflammatory protein-1 and IL-1-receptor antagonist(IL-1ra), Proteins like C-reactive protein และ Activated complement fragment. และพบอีกว่า การเพิ่มขึ้นของ IL-6 อย่างมากในระหว่างการออกกำลังกายนั้น อาจเนื่องมากจากการปล่อยของไซโทไคน์ จากกล้ามเนื้อระหว่างที่มีการหดตัว อย่างไรก็ดี เราพบว่า IL-6 ผลิตโดย Monocytes (Starkie และคณะ, 2001) และ IL-2 ซึ่งผลิตจาก T lymphocytes จะถูกจำกัดในระหว่างการออกกำลังกายในระยะยาว โดยพบว่าหลังการออกกำลังกายอย่างหนักเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เม็ดเลือดขาว Lymphocyte และ IL-2 ลดลง ในขณะที่การออกกำลังกายปานกลาง(ระดับความหนัก 50%VO2max) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของระดับ IL-2 (ดังรูปที่ 3)

การเปลี่ยนแปลงของระบบฮอร์โมนจากการออกกำลังกายก็มีผลเช่นกัน เช่นการเพิ่มขึ้นของฮอร์โมน Adrenaline, Cortisol, Growth hormone และ Prolactin ซึ่งต่างก็มีผลต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันทั้งสิ้น พบว่า IL-6 มีผลต่อการหลั่งของ Cortisol ขณะที่มีการออกกำลังกายติดต่อกัน ซึ่งพบว่าในคนทั่วไปก็จะให้ผลเช่นเดียวกันทั้งในภาวะที่มีการออกกำลังกาย และภาวะที่มีการพัก แต่ IL-6 นั้นจะไม่มีผลต่อการหลั่ง Adrenaline, Noradrenaline หรือ Insulin ในกลุ่มตัวอย่างที่มีสุขภาพดีในภาวะพักซึ่งอาจกล่าวได้ว่า Muscle-derived IL-6 นั้นมีผลต่อการหลั่งของฮอร์โมน Cortisol ในขณะที่มีการออกกำลังกาย (Steensberg และคณะ, 2003)ซึ่งผลดังกล่าวนั้นจะส่งผลต่อกรทำงานของไฮโปธาลามัส ซึ่งควบคุมการหลั่งของ Adrenocorticotrophic hormone จากต่อมพิทูอิทารีส่วนหน้า หรืออาจส่งผลโดยตรงต่อการปล่อยคอติโซลจากต่อมอะดีนัล ซึ่งจะมีผลต่อ IL-6 โดยตรง ซึ่งทั้งสองระบบมีความสัมพันธ์กัน แต่พบว่ามีเพียงส่วนน้อยที่แสดงให้เห็นว่าระดับของ IL-6 เพิ่มสารต้านการอักเสบ IL-1และ IL-10

นอกจากนี้ยังพบว่า ฮอร์โมน AdrenalineและCortisol มีผลต่อ T cells (Type1)ในขณะที่ IL-6 มีผลต่อ T cell (Type 2) ซึ่ง T cells(Type1)จะควบคุมระบบภูมิคุ้มกันภายในร่างกายโดยตรงโดยเฉพาะการต้านไวรัสต่าง ๆ ทั้งนี้ในขณะที่มีการออกกำลังกาย กลับมีการเพิ่มขึ้นของ Muscle-

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

derived IL-6 แทน จึงเป็นผลทำให้ระบบภูมิคุ้มกันทำงานลดลง และส่งผลให้เกิดการติดเชื้อทางระบบทางเดินหายใจส่วนต้นได้มากขึ้น อย่างไรก็ดีข้อดีของการเพิ่มขึ้นของ Type 2 T cell ก็คือ การลดการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อลง

อย่างไรก็ดียังมีข้อโต้แย้งที่ว่าผลของ IL-6 นั้น ส่งผลต่อกลไกต่าง ๆ ระหว่างที่มีเมตาโบลิคในขณะที่มีการออกกำลังกาย ต่อระบบภูมิคุ้มกัน และในขณะเดียวกันกลไกดังกล่าวก็มีความซับซ้อน ที่จะก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้น และการบกพร่องของระบบภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ IL-6 ยังมีผลต่อการจำกัดของการสังเคราะห์ไขมัน ซึ่งมีผลต่อการลดลงของ Anti-inflammatory effects จากการออกกำลังกายอีกด้วย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Aguilo และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาการตอบสนองของสารต้านอนุมูลอิสระต่อภาวะ Oxidative stress ที่เพิ่มขึ้นจากการออกกำลังกายอย่างหนักในนักกีฬาปั่นจักรยานชายจำนวน 8 คน และทำการวัดเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant enzymes) กลูตาโทโอน วิตามิน และแคโรทีนอยด์ ผลการทดลองพบว่าเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและกลูตาโทโอนเพิ่มขึ้นหลังการออกกำลังกาย เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนออกกำลังกาย

Demirbag และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาผลของ Treadmill exercise test ที่มีผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระ และความเสียหายของ DNAในคนสุขภาพดีจำนวน 113 คน โดยวัดค่าอนุมูลอิสระชนิด Total peroxide สารต้านอนุมูลอิสระ และวิตามินซีในเลือด ก่อนและหลังการออกกำลังกาย พบว่าหลังการออกกำลังกาย Total peroxide เพิ่มขึ้น ขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระและวิตามินซีลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความเสียหายต่อ DNA เพิ่มขึ้น อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

Cazzola และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่ถูกระบุว่าเป็นสาเหตุให้มีการเพิ่มการใช้ออกซิเจนทั่วร่างกาย ซึ่งทำให้ระดับของสารต้านอนุมูลอิสระลดลงและส่งเสริมให้ Lipoprotein เพิ่มขึ้น มีการทำลายต่อเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดง ในนักกีฬาฟุตบอลอาชีพ 20 คน และกลุ่มควบคุมที่ออกกำลังกายไม่สม่ำเสมอ 20 คน โดยวัด Plasma Lipidperoxides และการเปลี่ยนแปลงของ Cu-Stimulated Plasma Peroxidation ร่วมกับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายน้ำได้ (อัลบลูมิน กรดยูริก และวิตามินซี) ที่ละลายในไขมันได้ (วิตามินอี และบิริลูบิน) และที่เป็นเอนไซม์ในน้ำเลือด (Superoxide dismutase และ Glutathione peroxidase) ส่วนของแข็งในเยื่อหุ้มเซลล์ของเม็ดเลือดแดง ผลการทดลองพบว่านักกีฬามีระดับของสารต้านอนุมูลอิสระในเลือดมากกว่ากลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่า ระดับ Lipidperoxide ของนักกีฬายังมีค่าสูงกว่ากลุ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ควบคุมอีกด้วย จึงสรุปได้ว่านักกีฬาที่มีการฝึกฝนอย่างสม่ำเสมอ และมากเพียงพอจะแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาภาวะต้านอนุมูลอิสระร่วมกับมีของเหลวในเยื่อหุ้มเซลล์มากขึ้น ซึ่งส่งผลถึงการเพิ่มทั้งแรงต้านทานส่วนปลายต่อ Insulin และการเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิกในการทำงานซึ่งกันและกันภายในเยื่อหุ้มเซลล์

Mastaloudis และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความทนทานอย่างหนัก (Extreme endurance exercise) ว่าเป็นสาเหตุของการส่งเสริมให้เกิดภาวะ Lipid Peoxidation โดยทำการศึกษาในนักกีฬา 11 คน (ชาย 8 คน หญิง 3 คน) โดยวัด Plasma Lipoperoxides ร่วมกับสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายน้ำได้ (วิตามินอี) ระหว่างและหลังการออกกำลังกาย ผลการทดลองพบว่าการออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความทนทานอย่างหนักมีผลกระตุ้นให้เกิดภาวะ Lipidperoxidation แต่ไม่พบการเพิ่มขึ้นของวิตามินอี

Kemal และคณะ (2001) ได้ศึกษาถึง Oxidative Stress ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเม็ดเลือดแดง ที่พบได้ระหว่างและหลังการออกกำลังกาย หลังจากการวิ่งบนสายพานเลื่อน (Treadmill) อย่างหนักต่อความเสียหายของเม็ดเลือดแดง ในหนูที่ออกกำลังกายไม่สม่ำเสมอกับหนูที่ได้รับการฝึกฝน ทั้งที่ได้รับและไม่ได้รับการให้สารอนุมูลอิสระ คือ วิตามินอี และวิตามินซี พบว่าการออกกำลังกายทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของระดับ Lipid peroxidation ด้วยวิธี Thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) และ H_2O_2 ในกลุ่มควบคุมและมีผลในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและหน้าที่ของเม็ดเลือดแดง การให้วิตามินซี และอีเป็นเวลา 1 เดือนก่อนออกกำลังกายจะช่วยป้องกันการเกิด Lipid peroxidation ในหนูที่ไม่ได้รับการฝึก โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและหน้าที่ของเม็ดเลือดแดง นอกจากนั้นยังพบว่าตัววัดที่บ่งชี้ถึงภาวะ Lipid peroxidation และ การเสื่อมลงของเม็ดเลือดแดงหลังการออกกำลังกายอย่างหนักบนสายพานเลื่อนในหนูที่ได้รับการฝึกฝนเป็นประจำเป็นเวลา 1 เดือน จะไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึกฝน แต่ Lipid peroxidation จะเพิ่มขึ้นในหนูที่ได้รับการฝึกฝน และออกกำลังกายอย่างหนัก มากกว่ากลุ่มควบคุมที่ได้รับการฝึกฝนเพียงอย่างเดียว จึงสรุปได้ว่า Oxidative stress จะนำไปสู่การเสื่อมของเม็ดเลือดแดงจากการออกกำลังกาย ซึ่งพบได้ในหนูที่ไม่ได้ออกกำลังกายเป็นประจำ

Brites และคณะ (1996) ได้ศึกษาข้อมูลของ Lipoprotein และภาวะ Oxidative Stressในเลือดของกลุ่มนักกีฬาฟุตบอล 30 คน ที่เข้าร่วมโปรแกรมการฝึก 20 ชั่วโมง และมีการแข่งขัน 6 นัด ต่อสัปดาห์ เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ออกกำลังกายไม่สม่ำเสมอ 12 คน ผลการทดสอบที่ได้พบว่า การออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic exercise) อย่างสม่ำเสมอจะทำให้มีการ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของระดับ Lipoprotein- Cholesterol (HDL-C)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ HDL_3-C ในนักกีฬา($P < 0.05$) Total Plasma Antioxident Capacity ในนักกีฬาสูงกว่ากลุ่มควบคุม 25% ($P < 0.005$) และพบว่าระดับสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถละลายน้ำได้ (กรด Ascorbic และ กรด Uric) มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในนักกีฬาฟุตบอล ($P < 0.005$) นอกจากนี้ความเข้มข้นของ -Tocopherol ในน้ำเลือดยังมีค่าสูงขึ้นด้วยเมื่อ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ($P < 0.005$) และยังมีการเพิ่มขึ้นของการทำงาน Plasma Superoxide Dismutase จากการออกกำลังกายด้วย ($P < 0.01$) สรุปได้ว่านักกีฬาฟุตบอลภายใต้การฝึกที่สม่ำเสมอจะแสดงการเพิ่มขึ้นของภาวะต้านอนุมูลอิสระเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่ไม่ออกกำลังกาย

Tharp และคณะ (1995) ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบแอโรบิกที่มีต่อระดับ MDA ในปัสสาวะในนักศึกษาผู้ที่ไม่ออกกำลังกายสม่ำเสมอ อายุระหว่าง 19-26 ปี พบว่าหลังจากเข้าโปรแกรมปั่นจักรยานมือที่ระดับความหนัก 80%MHR เป็นเวลา 30 นาที ความถี่ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ระดับ MDA มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Aslan และคณะ (1998) ทำการศึกษาผลของการออกกำลังกายที่มีต่อกระบวนการออกซิเดชั่นของไขมัน โดยทำการศึกษาในชายสุขภาพดีที่มีการเคลื่อนไหวน้อย(Sedentary life style) อายุระหว่าง 19-25 ปีออกกำลังกายโดยวิ่งระดับความหนักปานกลางเป็นเวลา 15-20 นาที ที่ความถี่ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าระดับ MDA ในเลือดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาของ Esperson (1990) ที่ศึกษาผลของการออกกำลังกายระดับความหนักอย่างหนักที่มีต่อ IL-2 ซึ่งทำการศึกษาในนักวิ่ง 11 ราย ทำการทดสอบโดยให้วิ่งแข่งขันระยะทาง 5 กิโลเมตร (75%MHR) ผลการทดลองพบว่าปริมาณ IL-2 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P < 0.01$) ทันทีหลังจากการออกกำลังกาย 24 ชั่วโมง และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P < 0.05$) ในขณะที่การศึกษาของ Bagby GJ และคณะ(1994) ซึ่งทำการศึกษาในหนู โดยให้วิ่งบนสายพานพบว่าหลังการออกกำลังกายระดับ IL-2ในกระแสเลือดและปัสสาวะเพิ่มขึ้นหลังจากการออกกำลังกาย นอกจากนี้ Smith J(1995) พบว่าระดับของ IL-2 ลดลงหลังจากออกกำลังกายแบบฉับพลัน แต่จากการศึกษาของ Feng และคณะ(1992) พบว่า IL-2 เพิ่มขึ้นหลังจากการออกกำลังกายโดยแตกต่างกันไปตามระดับความหนักของการออกกำลังกาย สำหรับผลของการฝึกระยะยาวจากการศึกษาในหนูของ Feng และคณะ(1992) พบว่า IL-2 มีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังออกกำลังกาย 120 นาที และจากการศึกษาของ Goldfarb (1999) พบว่าการที่ปริมาณ B-endrophine เพิ่มขึ้น จะมีผลกระตุ้น NK cell ให้ผลิต Interferon(IFN) เพิ่มขึ้น มีผลทำให้ IL-2 เพิ่มขึ้นด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved