บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

นิยามของปัจจัยที่ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บ

NIOSH (1981) ได้สรุปปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดอาการบาดเจ็บหรือไม่ ในการทำงานที่ต้องอาศัยมือเป็นหลัก โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 4 ปัจจัยได้แก่

1. ปัจจัยเกี่ยวกับตัวคนงาน (Worker Characteristic)
2. ปัจจัยเกี่ยวกับลักษณะตัวชิ้นงานที่ต้องเกี่ยวข้อง (Material/ Container features)
3. ปัจจัยเกี่ยวกับบทบาท หน้าที่การทำงานของสมาชิกในองค์กร (Work Practices Characteristic)
4. ปัจจัยเกี่ยวกับลักษณะของงานนั้นๆ (Task Characteristic)

โดยสามารถแจงรายละเอียดในแต่หัวข้อได้ดังต่อไปนี้

1. **ปัจจัยเกี่ยวกับตัวคนงาน** (Worker Characteristic)
   - ทางด้านร่างกาย (Physical) ได้แก่ อายุ เพศ ขนาดสัดส่วนของร่างกาย (Anthropometric Measurement) และลักษณะท่าทาง
   - ทางด้านประสาทสัมผัส (Sensory) หมายถึงความสามารถในการรับรู้โดยผ่านประสาทสัมผัสต่างๆ ได้แก่ การได้ยิน การมองเห็น การสัมผัส เป็นต้น
   - ทางด้านการเคลื่อนไหว (Motor) หมายถึงความสามารถในการเคลื่อนไหว โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางด้าน ความแข็งแรง (Strength) ความอดทน (Endurance) ขอบเขตในการเคลื่อนไหว (Range of Movement) เป็นต้น
   - ทางด้านส่วนบุคคล (Personality) หมายถึง ค่านิยม ทัศนคติต่องานที่ทำ ลักษณะภูมิหลัง
   - ทางด้านสุขภาพ (Health Status) ได้แก่ การมีสุขภาพพลานามัยสมบูรณ์แข็งแรง อารมณ์แจ่มใสเบิกบาน ปัญหาจากการใช้ยา การตั้งครรภ์ เป็นต้น
   - กิจกรรมในเวลาว่าง (Leisure time Activities) หมายถึง การเลือกทำกิจกรรมในเวลาว่างของตนเอง อาจเล่นกีฬา หรือ งานในลักษณะผ่อนคลายอื่นๆ

2. **ปัจจัยเกี่ยวกับลักษณะตัวชิ้นงานที่ต้องเกี่ยวข้อง** (Material/ Container featurs)
   - ภาระงาน (Load) วัดถึงความสามารถในการต้านการเคลื่อนที่ของมวลใดๆ
   - มิติ (Dimension) ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ความสูงในรูปทรงต่างๆ
   - ลักษณะการกระจายแรง (Distribution of Load) วัดถึงตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity) ของภาระงาน
   - เครื่องต่อ (Coupling) หมายถึง การอำนวยความสะดวกในการจับยึด จับถือ (Grasping) ในตัวภาระงานนั้นๆ เช่น การมีหูหิ้วช่วยจับ การมีผิวขรุขระเป็นต้น
   - ภาวะสมดุลของภาระงาน (Stability of Load) หมายถึงตัวจุดศูนย์ถ่วงนั้น มีตำแหน่งคงที่หรือไม่ เช่นของที่เป็นของแข็ง (Rigid Body) จะมีความแน่นอนของตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงมากกว่า ของที่เป็นของเหลว ซึ่งเคลื่อนไหวได้

3. **ปัจจัยเกี่ยวกับบทบาท หน้าที่ในการทำงานของสมาชิกในองค์กร** (Work Practices Characteristic)
   - ทางด้านตัวพนักงาน (Individual) ได้แก่การทดสอบทางด้านความเร็ว ความแม่นยำในการเคลื่อนย้ายวัตถุ ลักษณะเทคนิคพิเศษที่ใช้ในการทำงาน
   - ทางด้านตัวองค์กร (Organizational) ได้แก่ ขนาดของสถานที่ทำการ การจัดบุคลากรด้านการส่งเสริมสุขภาพ การจัดการทางด้านวิศวกรรม ความปลอดภัย และการจัดสรรพนักงานเข้ารับหน้าที่การงาน
   - ทางด้านการบริหาร (Administrative) ได้แก่ การทำงานด้วยความปลอดภัย ระบบการทำงานล่วงเวลา เงินประกันสังคม เงินชดใช้ค่าเสียหาย การฝึกอบรมทางด้านความปลอดภัย การตรวจสอบความปลอดภัย การปฐมพยาบาลเบื้องต้น การเปลี่ยนงานหรือหมุนงาน และเครื่องป้องกันภัยส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment)

4. **ปัจจัยเกี่ยวกับลักษณะของงาน** (Task Characteristic)
   - มิติของสถานที่ทำงาน (Workplace Geometry) ได้แก่การวัดระยะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการเคลื่อนไหวในการทำงานหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวาง (Obstacle) ทิศทางในการเคลื่อนที่ (Direction and Exent of Path) เป็นต้น
   - ความถี่ รอบเวลาในการทำงาน (Frequency/ Duration/ Pace)

- ความยากง่าย (Complexity) คือรายละเอียดปลีกย่อยที่มีผลต่อการทำงาน เช่นการวัดระยะเผื่อ (Tolerance)
- ทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environment) ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ระดับความเข้มแสง เสียง ระดับการสั่นสะเทือน เป็นต้น

นิยามความหมายที่เกี่ยวกับสรีรวิทยาในการทำงาน

1. ***สรีรวิทยา*** คือวิทยาศาสตร์ที่ว่าด้วยการวิเคราะห์เพื่ออธิบายถึงการทำงานและหน้าที่ที่เกิดต่อเนื่องกันในระบบร่างกายขณะดำรงชีวิต (จรวยพร, 2521) และทาง Devries (1986) ได้กล่าวถึงสรีรวิทยาไว้คือ วิชาเกี่ยวกับหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย ทำงานเพื่อให้ร่างกายดำรงชีวิตอยู่ และการศึกษาทางด้านสรีรวิทยานี้ เป็นการศึกษาถึงผลตอบสนอง (Response) ของร่างกายที่มีต่อการทำงานในกิจกรรมใดๆ ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) อัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption, ($\dot{V}O_2$)) การไหลเวียนของโลหิต (Pulmonary Ventilation Volume) อัตราการหายใจ (Respiration Rate) ความเข้มข้นของกรดแล็คติกสะสม (Lactic Acid Concentration) อุณหภูมิของร่างกาย (Body Temperature) ชีพจร (Pulse Pressure) แต่ผลตอบสนองที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการใช้ออกซิเจน

2. ***อัตราการเต้นของหัวใจ*** (Heart Rate) คือ การเต้นของหัวใจนับเป็นครั้งต่อนาที โดยปกติชายมีอัตราเต้นของหัวใจ 70 ครั้งต่อนาที หญิง 75 ครั้งต่อนาทีโดยเฉลี่ย (จรวยพร, 1979) ซึ่งการศึกษาในเรื่องของอัตราการเต้นของหัวใจในการทำงานเริ่มขึ้นเมื่อประมาณ 50 ปีก่อน Lucien Brouha (1960) ได้เป็นผู้ริเริ่มให้ใช้อัตราการเต้นของหัวใจเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการทำงานใดๆ นั้นหรือไม่ ซึ่งในสมัยนั้นเทคโนโลยีในการวัดอัตราการเต้นของหัวใจยังไม่ทันสมัยเท่ากับในปัจจุบัน จึงมีข้อจำกัดในเรื่องของการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจได้อย่างครบถ้วนภายในช่วงเวลาที่กำหนด แต่สำหรับในปัจจุบันแล้วเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Sport-testor, Polar: Finland) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการวัด ซึ่งการวัดอัตราการเต้นของหัวใจนี้มีเหตุผล 2 ประการ คือ

   - เนื่องจากอัตราการเต้นของหัวใจเกี่ยวข้องโดยตรงกับงานที่กระทำเมื่อปราศจากอิทธิพลของความร้อน

- อัตราการเต้นของหัวใจมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับพลังงานที่ใช้ในการทำงานใดๆ ดังนั้นจึงมีข้อเสนอให้วัดพลังงานที่ใช้จากอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งการใช้การคำนวณในลักษณะเช่นนี้มีข้อผิดพลาดหลายประการ ได้แก่ ความบกพร่องในเรื่อง การไม่สามารถระบุถึงกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ อิทธิพลในเรื่องของความร้อน ความสูง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดี การใช้อัตราการเต้นของหัวใจเป็นตัวช่วยในการคำนวณถึงการใช้พลังงานจะมีประโยชน์ก็ต่อเมื่อ ใช้เพื่อเปรียบเทียบกันในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันหรือโดยใช้วิธีที่แตกต่างกัน แต่จะไม่สามารถนำค่าพลังงานที่ได้จากการคำนวณด้วยอัตราการเต้นของหัวใจ ซึ่งเป็นตัวเลขนี้ไปใช้ในการคำนวณต่อได้

Devries(1986) กล่าวถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Heart Rate at Rest) นั้นมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละบุคคลและในการวัดอัตราการเต้นของหัวใจในแต่ละครั้งของคนๆ เดียวกันนั้น ยังมีความแตกต่างกันออกไปอีกภายใต้สิ่งแวดล้อมหนึ่งๆ โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักนี้ได้แก่

- **อายุ** (Age) อัตราการเต้นของหัวใจเมื่อแรกเกิดจะประมาณ 130 ครั้งต่อนาที และจะมีค่าน้อยลงอย่างเป็นลำดับจนเมื่อเข้าสู่ช่วงวัยรุ่น อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ยสำหรับผู้ชายวัยทำงาน ในท่ายืนตรงจะประมาณ 78 ครั้งต่อนาที และอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดที่จะไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต โดยมีค่าน้อยลงเมื่อมีอายุมากขึ้น
- **เพศ** (Sex) อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักในผู้หญิงจะเร็วกว่าของผู้ชาย ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันอยู่ประมาณ 5 - 10 ครั้งต่อนาที
- **ขนาดร่างกาย** (Size) โดยทั่วๆ ไปสัตว์ต่างๆ ในโลกนี้ ถ้าเทียบกันกับสัตว์ในตระกูล (species) เดียวกันแล้ว อัตราการเต้นของหัวใจจะมีค่าน้อยลง ถ้ามีขนาดร่างกายใหญ่ขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ในนกขมิ้นจะมีเป็น 1,000 ครั้งต่อนาที แต่ในขณะเดียวกัน สำหรับช้างจะอยู่ที่ 25 ครั้งต่อนาทีเท่านั้น อย่างไรก็ดี ในขณะนี้ยังไม่มีการแสดงความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างขนาดของร่างกาย กับอัตราการเต้นของหัวใจในมนุษย์
- **ลักษณะท่าทาง** (Posture) ลักษณะท่าทางส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจอย่างชัดเจน เช่นจากการนอนปกติกลายเป็นลุกขึ้นยืน อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 10-12 ครั้ง/นาที
- **การย่อยอาหาร** (Ingestion of Food) อัตราการเต้นของหัวใจจะมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่มีการย่อยอาหารเกิดขึ้น

- **อารมณ์** (Emotion) ยกตัวอย่างเช่นอัตราการเต้นของหัวใจของนักศึกษาชายที่รอการสอบทำการทดลอง (lab) นั้น มีค่าโดยเฉลี่ยสูงขึ้นประมาณ 19 ครั้งต่อนาที อิทธิพลของปัจจัยนี้ส่งผลกระทบอย่างมากในขณะระหว่างพัก และยังปรากฏว่าในขณะทำกิจกรรมใดๆ ก็ตามนั้น ถ้ามีอาการประเภท วิตกจริต กลัว กังวล หรือมีความเครียดเกิดขึ้นแล้ว จะส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าสูงขึ้นไปกว่าเมื่อไม่มีอารมณ์ดังกล่าวข้างต้น
- **อุณหภูมิร่างกาย** (Body Temperature) ถ้าอุณหภูมิของร่างกายมีค่าสูงขึ้นกว่าปกติแล้ว อัตราการเต้นของหัวใจจะมีค่าสูงขึ้น
- **ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม** (Environment Factors) อุณหภูมิอากาศรอบ (Ambient Temperature) เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบอย่างมากต่ออัตราการเต้นของหัวใจ โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำกิจกรรมจะสูงขึ้นถึงประมาณ 10-40 ครั้งต่อนาที ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่สำหรับในขณะพักแล้ว การที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นนั้น ไม่ส่งผลให้เห็นอย่างชัดเจนต่ออัตราการเต้นของหัวใจ แต่อย่างไรก็ดี ความชื้นและการเคลื่อนที่ของอากาศโดยรอบ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งเช่นกัน โดยถ้าในงานอย่างเดียวกัน ที่อยู่ภายใต้อุณหภูมิเดียวกันแล้ว อัตราการเต้นของหัวใจจะมากขึ้น ถ้ามีความชื้นสูงหรือไม่มีการเคลื่อนไหวของอากาศ
- **อิทธิพลจากการสูบบุหรี่** (Effects of Smoking) มีการรายงานว่า การสูบบุหรี่เพียงมวนเดียว จะส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจขณะพักให้สูงขึ้นอย่างมีระดับนัยสำคัญ ไม่ว่าจะอยู่ในท่านั่ง หรือท่ายืนตัวตรง

นอกจากนั้นทาง Brouha (1970); Lehmann (1962); Sternbach (1966) ยังได้รายงานถึงปัจจัยที่ส่งผลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเปลี่ยนแปลงได้แก่

- ปัจจัยทางด้านร่างกาย (Physical Effect)
- ปัจจัยทางด้านความร้อนและความชื้น (Heat and Humidity)
- ปัจจัยทางด้านความกดดันทางจิตใจ (Psychic Stress and/or Time Pressure)
- การตัดสินใจบางอย่าง
- สิ่งแวดล้อมอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น สารเคมีบางประเภท เสียง
- ปัจจัยต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วรวมกัน

3. *อัตราการใช้ออกซิเจน และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด*

(Oxygen Consumption and Maximum Aerobic Capacity)

อัตราการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption) ถือเป็นดัชนีอีกค่าหนึ่งที่ใช้ร่วมกับอัตราการเต้นของหัวใจในการวัดประสิทธิภาพในการทำงาน เพื่อที่จะวัดถึงระดับความหนักของภาระงานใดๆ (V.M. Salokhe, D.V. Mamansari, 1995) ซึ่งในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนมีความสำคัญ (N. Adiputra, P. Alex, D.P. Sutjana, K. Tirtayasa, และ A. Manuaba 1996) กล่าวโดยสรุปคือ

- ค่าสัดส่วนร้อยละของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดสามารถนำมาใช้ทำนายค่าความสามารถสูงสุดในการทำงานได้
- ความสามารถสูงสุดในการทำงานเป็นสิ่งจำเป็น เพราะมีบทบาทสำคัญในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดีเยี่ยม

ตารางที่ 2-1 แสดงถึงค่าสัดส่วนร้อยละของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของเพศหญิงแยกตามอายุ (American Heart Association-Exercise Testing and Training of Apparently Healthy Individuals: A hand book for physicians, 1972)

WOMEN

AGE (Years)	Maximum Oxygen Uptake (ML/ KG/ MIN)				
	Low	Fair	Average	Good	High
20-29	<24	24-30	31-37	38-48	49+
30-39	<20	20-27	25-33	34-44	45+
40-49	<17	17-23	24-30	31-41	42+
50-59	<15	15-20	21-27	28-37	38+
60-69	<13	13-17	18-23	24-34	35+

ตารางที่ 2-2 แสดงถึงค่าสัดส่วนร้อยละของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ของเพศชายแยกตามอายุ (American Heart Association-Exercise Testing and Training of Apparently Healthy Individuals: A hand book for physicians 1972)

MEN

AGE (Years)	Maximum Oxygen Uptake (ML/ KG/ MIN)				
	Low	Fair	Average	Good	High
20-29	<25	25-33	34-42	43-52	53+
30-39	<23	23-30	31-33	39-49	49+
40-49	<20	20-26	27-35	36-44	45+
50-59	<18	18-24	25-33	34-42	43+
60-69	<16	16-22	23-30	31-40	41+

ระดับความสามารถสูงสุดของอัตราการใช้ออกซิเจนจะมีค่าสูงสุดจนถึงอายุ 20 ปี หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง (Morehouse และ Miller, 1976) ผู้ที่มีค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดมากกว่า จะสามารถทำงานได้นานกว่า ซึ่งเป็นสิ่งชี้ให้เห็นถึงความสมบูรณ์ของหัวใจในการฉีดเลือดไปเลี้ยงร่างกายอย่างมีประสิทธิภาพ ความจุของปอดสามารถรับอากาศได้มาก เซลล์ในกล้ามเนื้อสามารถนำเอาออกซิเจนไปสร้างพลังงาน กระบวนการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นอย่างดี

นักวิจัยนิยมใช้ค่าอัตราการใช้ออกซิเจนเทียบกันกับค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือ $\dot{V}O_2/\dot{V}O_2\,max.$, $\%\dot{V}O_2\,max$ ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยถ้าค่าที่ได้มีค่าน้อยหมายถึงงานใดๆ นั้นจะสามารถทำได้ยาวนานกว่า งานใดๆ ที่มีอัตราส่วนสูงกว่า (E. Kamon และ M. Ayoub, 1973)

4. ผลตอบสนองของร่างกายต่อการออกกำลัง

กลไกของร่างกายในการออกกำลัง (อนรรฆพล และกิตติ, 1998)

ในภาวะขณะพักปกติ ร่างกายยังจำเป็นที่จะต้องใช้ออกซิเจนเพื่อการเผาผลาญสารอาหาร ให้ได้มาซึ่งพลังงาน ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการเผาผลาญสารอาหารนี้ มีอย่าง

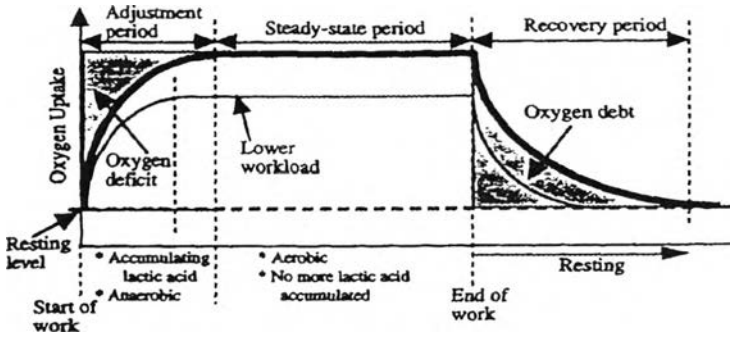
เพียงพอและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาผลาญสารอาหารที่สำคัญได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ส่วนปริมาณกรดแล็กติกจะไม่มีการสะสมหรือมีแต่น้อยมาก และได้มีการนิยามกระบวนการสร้างพลังงานในลักษณะนี้ว่า เป็นกระบวนการแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Process)

สมมติให้คนงานทำงานได้ในรอบๆ หนึ่ง จะเกิดห้วงเวลาของการเปลี่ยนแปลงอยู่ใน 2 ลักษณะ ซึ่งห้วงเวลาแรกได้แก่ ช่วงที่เริ่มทำงานใดๆ นั้นอาจเรียกได้ว่าเป็นห้วงเวลาแห่งการปรับตัว ร่างกายยังไม่สามารถที่จะผลิตพลังงานได้จากกระบวนการที่ใช้ออกซิเจน จึงจำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานจากกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Process) หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ในช่วงแรกๆ ของการทำงานงานใดๆ นั้น เป็นการทำงานที่อาศัยกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจน มีความจำเป็นที่จะต้องดึงพลังงานจากแหล่งที่สะสมอยู่ในร่างกายได้แก่ ที่กล้ามเนื้อต่างๆ และไกลโคเจน จนเมื่อร่างกายของคนนั้นมีการนำออกซิเจนได้ในปริมาณมากขึ้น ซึ่งอาจจะมาจากการหายใจถี่ขึ้น ปริมาณออกซิเจนจะเริ่มพอเพียงสำหรับกระบวนการแบบใช้ออกซิเจน เรียกช่วงเวลาของกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจนในช่วงแรกๆ นี้ว่า ออกซิเจนพร่อง (Oxygen deficit) และการที่มีปริมาณออกซิเจนไปหล่อเลี้ยงเซลล์ต่างๆ อย่างไม่เพียงพอ ทันเวลานี้เองจะเป็นเหตุทำให้เกิดการสะสมของปริมาณกรดแล็กติกเกิดขึ้นได้ จึงเป็นสาเหตุสำคัญให้เกิดอาการเมื่อยล้าขึ้นได้อย่างไม่มีทางหลีกเลี่ยง

ถ้าเมื่อใด ที่หยุดทำงานนั้นๆ แล้ว ร่างกายจะเริ่มเข้าสู่ภาวะปกติ หรือจากเหนื่อยมากกลายเป็นการเหนื่อยน้อยลง จำนวนครั้งของการหายใจต่อนาที มีค่าน้อยลงกว่าแต่ก่อน มีกระบวนการแบบใช้ออกซิเจน เราจะเรียกห้วงเวลาดังกล่าวนี้ว่า หนี้ออกซิเจน (Oxygen debt) เวลาดังกล่าวนี้ จะเรียกได้ว่ามีการเกิดการสมดุลกันขึ้นของพลังงาน (Energy Balance) ที่ถูกใช้ไปในช่วงแรกของการทำงานนั้น เพราะเนื่องจากการทำงานในช่วงต้นๆ นั้น มีการใช้แหล่งพลังงานจากส่วนต่างๆ ของร่างกาย ดังนั้นออกซิเจนจึงต้องถูกใช้เข้าไปเพื่อไปเสริมสร้างพลังงานที่หายไปในช่วงแรกนี้

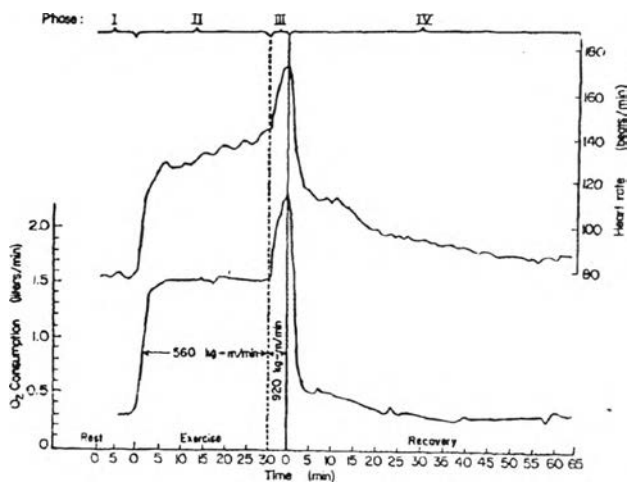
ในห้วงเวลาจุดต่อระหว่าง Oxygen deficit และ Oxygen debt นี้ จะเรียกว่า ระยะคงตัว หรือสถานะคงตัว (Steady State) หรือเป็นระยะเวลาที่มีการหายใจโดยการใช้ออกซิเจน

ร่างกายมีความสามารถที่จะทำงานนั้นไปได้อย่างต่อเนื่อง มีอัตราการเต้นของหัวใจคงที่ โดยอัตราการใช้ออกซิเจนคงที่ดังแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 แสดงอัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกายที่เวลาต่างๆ (Tayyari และ Smith,1997, p95)

อนึ่งภาวะคงตัวมีได้หลายระดับขึ้นอยู่กับความหนักของภาระงานใดๆ ซึ่งเมื่อมีระดับของภาระงานที่หนักหน่วงมากขึ้นแล้ว ปริมาณของกรดแล็กติกที่สะสมในเส้นเลือดจะมีปริมาณมากขึ้นตามลำดับ และเมื่อทำการหยุดจากการทำงานนั้นแล้ว อัตราการใช้ออกซิเจนจะกลับเข้าสู่ในภาวะปกติได้เหมือนก่อนการทำงาน แต่สำหรับอัตราการเต้นของหัวใจแล้ว พบว่าบางรายจำเป็นที่จะต้องใช้เวลานานนับชั่วโมง ในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจนี้เข้าสู่สภาวะปกติเหมือนอัตราการเต้นหัวใจขณะพักก่อนการทำงานได้ (Brouha, 1960) ดังในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 แสดงระดับของภาระงานที่สูงขึ้น ที่ส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ ที่ต้องอาศัยเวลาพักนานขึ้น กว่าจะเข้าสู่ภาวะปกติ (Brouha, 1960 p. 6)

5. การวัดอัตราการใช้ออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจเนื่องจากการทำงาน

5.1 วิธีในการวัดและเปรียบเทียบระดับของภาระงานมีอยู่ 3 วิธีได้แก่

5.1.1 การยกของขึ้นลง (Bench-Stepping) ผู้ถูกทดลองจะต้องทำการแบกน้ำหนักกระสอบที่ระดับความสูงที่แน่นอนตายตัวค่าหนึ่ง ด้วยความถี่ที่แตกต่างกันออกไป ถือได้ว่าเป็นกิจกรรมที่ใช้ทักษะน้อยที่สุด คนส่วนใหญ่สามารถปฏิบัติได้ ข้อเสียของวิธีการวัดนี้คือความผิดพลาดทางตัวผู้ถูกทดลองเอง ดังเช่น ถ้าผู้ถูกทดลองเกิดอาการเหนื่อย จนไม่สามารถที่จะยกได้อย่างเต็มที่แล้ว หรือในอีกนัยหนึ่ง ระยะทางที่จุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity) ของกล่องนั้นเดินทางไม่เท่ากันนั่นเอง ข้อผิดพลาดอีกประการหนึ่งสำหรับการวัดแบบนี้คือ การยกของขึ้นนั้นก่อให้เกิดงานเป็นบวก แต่ในขณะเดียวกัน การยกของลงจะก่อให้เกิดงานเป็นลบ ซึ่งในการยกของลงนี้ มีความต้องการการใช้พลังงานน้อยกว่า การยกของขึ้น

5.1.2 ลู่วิ่ง (Treadmill) เป็นลู่วิ่งจำลองที่สามารถปรับความเร็วของสายพาน และ ปรับระดับความเอียงของลู่วิ่งได้ ซึ่งข้อดีของลู่วิ่งคือ ใช้ทักษะพื้นฐาน ซึ่งได้แก่ การเดินและการวิ่ง นอกจากนั้น ยังเป็นการวัดที่ต้องใช้กล้ามเนื้อมากกว่าวิธีอื่นๆ และมีข้อเสียอยู่ 2 ประการได้แก่ การเคลื่อนไหวของตัวผู้ถูกทดลองเองนั้น บางครั้งก่อให้เกิดปัญหาความยุ่งยากเกิดขึ้น และหน่วยของการวัดด้วยวิธีนี้ไม่อยู่ในหน่วยของงาน เช่น ฟุต-ปอนด์ กิโลกรัม-เมตร หรือ วัตต์ แต่จะอยู่ในรูปของ ความเร็ว กับ ความลาดเอียงของพื้นเองนั้น เช่น 7 ไมล์ต่อชั่วโมง บนพื้นเอียง 10% เนื่องจากงานส่วนใหญ่กระทำในแนวราบนั่นเอง

5.1.3 จักรยาน (Cycle Ergometer) เป็นจักรยานที่อยู่กับที่ ซึ่งมีราคาไม่แพงนัก สามารถสร้างได้เอง และ ในระหว่างขี่จักรยานอยู่นั้น ร่างกายท่อนบน เกือบจะไม่เกิดการเคลื่อนไหว สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้ากล้ามเนื้อหัวใจ (Electrocardiograph) และการวัดในลักษณะอื่นๆ เพิ่มเติมได้อีก และประการสุดท้ายหน่วยของงานนี้เป็นหน่วยของงานได้แก่ ฟุต-ปอนด์ กิโลกรัม-เมตร หรือ วัตต์ ดังนั้นจึงสามารถที่จะเปรียบเทียบกันให้ทราบถึงระดับความหนักของงานที่แตกต่างกัน มากกว่าการบรรยายความหนักของงานด้วยความเร็ว และความเอียง ที่ได้จากการใช้ลู่วิ่ง

5.2 วิธีในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจน

วิธีในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนนี้ได้จากทั้งทางตรง (Direct Method) และทางอ้อม (Indirect Method) (Tayyari และ Smith, 1997) ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสียอยู่ในแต่ละแบบนั้น กล่าวคือ

5.2.1 วิธีทางตรง (Direct Method) นั้น เป็นการหาค่า Aerobic Capacity หรือที่เรียก ($\dot{V}O_2max$ ของคนนั้นจริงๆ โดยกำหนดให้ทำกิจกรรมหนึ่งๆ อาจจะเป็นการปั่นจักรยาน จนถึงระดับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 220-อายุ (Tayyari and Smith, 1997) ซึ่ง ณ ตำแหน่งนั้น จากความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการใช้ออกซิเจน (Brouha, 1967; Astrand and Rodahl, 1977) จะสามารถหาค่า Aerobic Capacity นี้ได้ ซึ่งถือเป็นค่าจริงสำหรับคนๆ นั้นแต่วิธีนี้ เป็นการเสี่ยงต่ออันตรายที่จะเกิดขึ้นกับตัวผู้ถูกทดลอง เนื่องจากว่าหากปราศจากการฝึกฝนมาเป็นอย่างดีแล้ว วิธีนี้จะเสี่ยงอันตรายถึงชีวิตได้

5.2.2 วิธีทางอ้อม (Indirect Method) หรือที่เรียกว่าเป็นหาค่า Aerobic Capacity ในระดับ Submaximal หรือระดับที่ต่ำกว่าระดับสูงสุด เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากหรือ เนื่องจากมีความผิดพลาดไปจากค่าจริงอยู่ในช่วงประมาณ 10-15% สามารถหาได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว อีกทั้งยังไม่เป็นอันตรายต่อตัวผู้ถูกทดลองอีกด้วย (Khalil et al., 1985) โดยมีหลักการ 2 ประการคือ 1) ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและ อัตราการใช้ออกซิเจน ที่สภาวะคงตัวแต่ละระดับภาระของงาน และ 2) อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ขึ้นอยู่กับอายุ การหาค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีนี้ทำได้โดยให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงาน 2-3 ระดับแล้ววัดค่าอัตราการเต้นหัวใจและอัตราการใช้ออกซิเจนที่สภาวะคงตัวของแต่ละระดับความหนักของงาน เพื่อนำไปสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง อัตราการใช้ออกซิเจนกับอัตราการเต้นของหัวใจที่สูงสุดหาได้จาก 220 – อายุ (ปี) (Tayyari and Smith, 1997)

อย่างไรก็ดี วิธีในการวัดอัตราการใช้ออกซิเจน รวมไปถึงการวัดอัตราการเต้นของหัวใจนี้ถือได้ว่าเป็นการออกกำลังกายอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องให้ความระมัดระวังถึงในเรื่องข้อห้ามในการทดสอบการออกกำลังกาย (จรวยพร, 2521) โดย

- แพทย์ไม่อนุญาตให้ออกกำลังกายมากเกินไป
- อุณหภูมิของร่างกายเกิน 37.5 องศาเซลเซียส

- อัตราการเต้นของหัวใจมากกว่า 100 ครั้งต่อนาทีหลังจากที่ได้รับการพักผ่อนที่เพียงพอ
- มีอาการที่ส่อว่าหัวใจทำงานผิดปกติ (ล้ม)
- กล้ามเนื้อหัวในเสื่อม หรือเป็นโรคหัวใจภายในระยะ 3 เดือนที่ผ่านมา หรืออาการที่สังเกตได้จากการวัดคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ ซึ่งแสดงว่าอาการเหล่านี้ยังมีอาการเสียดที่หน้าอก
- ในระยะที่มีการติดเชื้อ รวมทั้งการเป็นไข้หวัด

นอกจากนี้ ในขณะออกกำลังนั้นถ้าพบอาการใดอาการหนึ่งดังต่อไปนี้ ให้สามารถหยุด (Terminate) การออกกำลังนั้นได้ทันที ได้แก่

- ชีพจรเต้นช้าลงแทนที่จะเพิ่มเมื่อทำงานเพิ่ม
- ความดันโลหิตขณะที่หัวใจบีบ มีอัตรา 240-250 มิลลิเมตร ปรอท
- ความดันโลหิตขณะที่หัวใจคลายตัว มากกว่า 125 มิลลิเมตร ปรอท
- มีอาการปวดหน้าอกเพิ่มขึ้น หายใจติดขัด
- มีการตรวจพบว่า หน้าซีด มึนงง หรือไม่มีความรู้สึกต่อสิ่งรอบตัว
- มีอาการที่ตรวจคลื่นไฟฟ้าของหัวใจพบว่า กราฟหัวใจที่แสดงอาการเต้นของหัวใจผิดจังหวะ

6. *ข้อเสนอถึงขีดจำกัดในการทำงานในงานอุตสาหกรรมภายใน 1 วัน (8 ชั่วโมง)*

6.1 ใช้อัตราการเต้นของหัวใจเป็นเกณฑ์

อัตราการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจ สามารถมาได้จากหลายสาเหตุ ได้แก่ ผลของระดับภาระงานที่เปลี่ยนแปลงไป ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม และงานที่ต้องอาศัยความคิดเป็นสำคัญ (Intaranont and Srithongchai, 1992) โดยทั่วไปแล้ว การใช้อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้น (Heart Rate Elevation) เพื่ออธิบายถึงผลกระทบของงานใดๆ ต่ออัตราการเต้นของหัวใจต่อบุคคลใดๆ แล้ว จะเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้อย่างถูกต้องกว่า อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) ที่ระดับงานใดๆ ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้น สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Percent Maximum Heart Rate Range} = \frac{\text{Hr(at Work)} - \text{Hr at rest}}{\text{Hr max} - \text{Hr at rest}} \times 100$$

ซึ่งถ้าค่าที่ได้จากการคำนวณนี้ มีค่ามากกว่า 33% แล้ว คนโดยทั่วไปจะมีความล้าเกิดขึ้น นอกจากนี้ทาง Broha (1960) ยังได้กำหนดให้อัตราการเต้นของหัวใจที่ 110 ครั้งต่อนาที เป็นขีดจำกัดบนของการทำงานใน 8 ชั่วโมง และอาชีพดังต่อไปนี้มีแนวโน้มที่ Percent Maximum HR Range จะเกิน 33% ได้แก่

- คนงานขนของโดยไม่มีอุปกรณ์ช่วย (Manual Material Handler)
- คนดูแลคลังสินค้า (Stockeeper)
- คนที่ต้องซ่อมอุปกรณ์ขนาดใหญ่ (Heavy-equipment repair operator)
- ช่างไม้ (Carpenter)
- ช่างทาสี (Painter)
- ช่างฉาบปูน (Plasterer)
- ช่างวางอิฐ (Bricklayer)

Snook และ Irvine (1969) และ Brouha (1967) ได้พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ยไม่ควรเกิน 115 ครั้งต่อนาที ซึ่งสนับสนุนกับข้อสรุปของ Suggs และ Splinter (1961) และ Snook และ Irvine (1969) ซึ่งได้ทำการประมาณค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจ พบว่าค่าอัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ยไม่ควรเกิน 112 ครั้งต่อนาที สำหรับการทำงานที่ใช้ส่วนขา และ 99 ครั้งต่อนาที สำหรับการทำงานที่ใช้แขนเป็นส่วนใหญ่

6.2 <u>อัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนต่ออัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นเกณฑ์</u>

ได้มีความพยายามที่จะศึกษาและพิจารณาถึงขีดจำกัดในการทำงานได้ภายใน 8 ชั่วโมง สำหรับในงานอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดมา เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงจากการเกิดความล้าสะสม (Passmore และ Durnin, 1955; Snook และ Irvine, 1969; Brouha, 1960; DeVries et al. 1969) ซึ่งสำหรับในงานอุตสาหกรรมหนักแล้ว มักจะใช้จำนวนพลังงานต่อวันประมาณไม่เกิน 2500 กิโลแคลอรี่ ตลอดเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง หรือ เฉลี่ย 5.2 กิโลแคลอรี่ต่อชั่วโมง แต่ในความเป็นจริงแล้ว ในการทำงานจริงมีทั้งงานที่ต้องอาศัยกำลังร่างกายมากและน้อยผสมกันไป แต่ถัวเฉลี่ยแล้วจะเกิดการสมดุลการใช้พลังงานเกิดขึ้น ซึ่งค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานไม่ควรจะเกิน 5.2 กิโลแคลอรี่ต่อชั่วโมง ซึ่งขีดจำกัดนี้มีข้อผิดพลาดคือไม่ได้คำนึงถึงความล้าที่จะเกิดขึ้นในการทำงาน Body (1945) และ Astrand (1960) สรุปว่าความล้าจะก่อตัวขึ้นถ้าความ

หนักหน่วงของงาน (Work Rate) สูงเกินกว่า 50% ของค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาถึงขีดจำกัดในการทำงานอย่างต่อเนื่องกันของ Das et al (1974) ซึ่งรายงานว่าบุคคลไม่ควรทำงานต่อเนื่องกันเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยทำงานมากเกินกว่า 50% ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ถ้าถึง 60% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด บุคคลนั้นจะเกิดความล้า มีอัตราการการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้น ความดันโลหิต และอุณหภูมิในร่างกายและค่าอัตราการใช้ออกซิเจน ซึ่งแสดงว่าที่ระดับ 60% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด นี้จะทำให้เกิดผลของความเครียด (Strain) สูงขึ้นมากในระบบเมทาบอลิซึม การไหลเวียนโลหิตและระบบการถ่ายเทความร้อนในร่างกาย ซึ่งเป็นบ่อเกิดของความล้าเมื่อระยะเวลาในการทำงานประมาณ 8 ชั่วโมงต่อเนื่องตลอดวัน แสดงให้เห็นว่าขีดจำกัดสูงสุดของการทำงานที่ต่อเนื่องควรเป็น 50% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ขีดจำกัดสำหรับการทำงานภายใน 8 ชั่วโมง มีค่าตั้งแต่ที่ 33% ของ อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Lehmann, 1962; Bink 1962) ถึงที่ค่า 50% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Christensen, 1955) ซึ่งการศึกษาของ Astrand และ Rodahl (1956) กำหนดให้อยู่ระหว่าง 30-40% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคน ส่วนทาง Bink (1962) ใช้ขีดจำกัดที่ระดับ 40% ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดไว้สำหรับในการคำนวณเวลาที่สามารถทำงานได้สูงสุดในการส่งพัสดุไปรษณีย์ ซึ่งในสภาพการทำงานจริงนั้น พบว่ามีคนงานมีความประสงค์ที่จะทำงานหนักเกินกว่าที่ขีดจำกัด 33% ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 40% (T.L. Dolittle, Parten Darriel, 1989)

นอกจากนี้ K. Intaranont, M.M. Ayoub, W.M. Bobo, และ J.L. Smith (1986) ได้ให้ข้อสรุปเกี่ยวกับขีดจำกัดในการทำงานในหนึ่งวัน หรือ 8 ชั่วโมงนั้นพบว่ามีเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

1) 35 และ 50% of $\dot{V}O_2max$ ซึ่งได้จากการปั่นจักรยาน (Michael, Hutton และ Horvath (1961))
2) ค่าพลังงานที่ใช้ประมาณ 5 kcal/min หรือ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้เป็น 1 ลิตร/นาที (muller, (1953))
3) อัตราการเต้นของหัวใจไม่เกินกว่า 110-115 ครั้งต่อนาที ซึ่งได้จากการยกของขึ้นลงนั้น (Snook และ Irvine (1969))

การที่จะพิสูจน์ถึงขีดจำกัดดังกล่าวทั้งหมดนี้ จะต้องทำขึ้นในห้องทดลองเท่านั้น จึงไม่เป็นการสะดวกที่จะพิสูจน์ได้ในการทำงานจริงมากนัก อย่างไรก็ตาม แนวทางในการกำหนดขีดจำกัดในการทำงานได้ภายใน 1 วัน หรือ 8 ชั่วโมงนี้ ยังขึ้นอยู่กับธรรมชาติหรือลักษณะของแต่ละงานด้วย การที่จะยอมรับการที่จะยอมรับเกณฑ์ใดเกณฑ์หนึ่งตายตัวลงไป อาจไม่เหมาะสม ดังนั้น จึงขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของแต่ละคนในการพิจารณาถึงเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมกันในแต่ละงาน (Richardson, 1953) เพื่อที่จะลดลักษณะอันตรายให้น้อยลงไปได้มากที่สุด

Petrofsky และ Lind (1978) ได้ให้ข้อเสนอที่ตรงกันว่า ขีดจำกัดในการทำงานใดๆ ภายใน 8 ชั่วโมงนั้นมีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละชนิดของงาน เนื่องจากงานในแต่ละงานจะมีการใช้ปริมาณกล้ามเนื้อที่ต้องทำงานในจำนวนที่ไม่เท่ากันและกล้ามเนื้อที่ใช้อาจจะเป็นคนละชุดกันได้

ตารางที่ 2-3 ตารางสรุปเกี่ยวกับขีดจำกัดในการทำงานภายในเวลา 8 ชั่วโมง

Source	$\%\dot{V}O_2$ max	Comments
Lehmann (1953)	30 (estimate)	5 kcal/min for industrial workers
Muller(1953)	30 (estimate)	5 kcal/min for industrial workers
Astrand(1960)	50	Treadmill. Not attainable by all subjects
Michael et al. (1961)	35	Treadmill และ cycle ergometer
Bink (1962)	30	Cycle ergometer. Predicted from equations
Astrand (1967)	40	Construction workers-spontaneously chosen workload. % $\dot{V}O_2$ max predicted from heart rate/$\dot{V}O_2$ relationship for cycling
Astrand and Rodahl (1970)	22 (estimate)	Untrained men. Read from graph
Petrofsky and Lind (1978b)	25 (estimate)	Three well trained male students lifting light boxes. 25% $\dot{V}O_2$ max for cycle ergometry, corresponding to about 50% $\dot{V}O_2$ max for lifting boxes
Felder (1979)	40	Arm and leg ergometry
Garg and Saxena (1979)	27(estimate)	Untrained students (age26) (psychophysical method). Freestyle lifting. Assuming RQ=0.8 and $\dot{V}O_2$ of 0.8 l/min or 27% $\dot{V}O_2$ max

ที่มา: S.J. Legg, W.S. Myles, Ergonomics, Vol. 24, No12, 1981, p. 907-916.

7. ประเภทของกิจกรรม

NIOSH (1981) ได้กล่าวถึงประเภทของกิจกรรมว่า สามารถแบ่งออกได้เป็น

7.1 Dynamic Exercise : ได้แก่การเดิน (walking) การวิ่ง (jogging) การขี่จักรยาน (bicycling) : ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานในการเคลื่อนไหวจำนวนหนึ่ง

7.2 Isometric Exercise : ได้แก่การแบกหาม (carrying) หรือการถือของ (holding packages): ซึ่งจะก่อให้เกิดความล้าตามมา

7.1 Dynamic Exercise

ถ้ากล้ามเนื้อใด มีการเคลื่อนไหว กล้ามเนื้อส่วนนั้นจะมีเมตาโบลิซึ่มสูงขึ้น ซึ่งนั่นหมายความว่า กล้ามเนื้อนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการเคลื่อนไหวนั้น โดยพลังงานจะได้มาจากกระบวนในการสันดาประหว่างออกซิเจน และสารอาหารนั้น ผลตอบสนองในลักษณะนี้ จะส่งผลให้ระบบการหายใจ (Respiratory System) ทำงานหนักขึ้น ระบบการจ่ายเลือดเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายต้องฉีดเลือดแรงขึ้น ซึ่งทั้งระบบในการหายใจและระบบการจ่ายเลือดนี้เอง ที่มีความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับปริมาณออกซิเจนที่ใช้โดยกล้ามเนื้อนั้น และในขณะเดียวกันปริมาณของออกซิเจนที่กล้ามเนื้อใช้นี้ ยังมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณงานภายนอกที่ต้องทำจากกล้ามเนื้อนั้นอีกด้วย ดังนั้นเราจึงสามารถกำหนดความหนักหนาของภาระงานจากค่าอัตราการใช้ออกซิเจนตัวนี้ได้ แต่ถึงอย่างไรก็ดี การทำงานของกล้ามเนื้อนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่มาจ่ายให้ด้วย ซึ่งถ้าเมื่อใดก็ตามที่พบว่ากล้ามเนื้อนั้นมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ และก่อให้เกิดกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจน เราจะพบว่ากล้ามเนื้อนั้นจะเกิดความล้า (Fatigue) เกิดขึ้น จนไม่อาจที่จะสามารถทำงานนั้นๆ ต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

7.2 Isometric Exercise

เป็นลักษณะกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดการเคลื่อนไหวเหมือนกับ Dynamic Exercise โดยจะเชื่อมโยงโดยตรงกับปริมาณความล้าที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อ มีตัววัดที่สำคัญได้แก่ MVC

(Maximum Voluntary Contraction) หรือการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุด ที่กระทำโดย MVE (Maximum Voluntary Exertion) หรือแรงที่ใช้ในการก่อให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อสูงสุดนี้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ห้วงเวลาในการทำงานจนเกิดความล้าที่กล้ามเนื้อใดๆ นั้น มีความสัมพันธ์กับค่า MVE และ MVC นั้น โดยถ้ากล้ามเนื้อมีการหดตัว 100% หรือที่ 100% MVC นั้น กล้ามเนื้อส่วนนั้นจะทนทานต่อปริมาณกรดแล็กติกสะสม ซึ่งจะก่อให้เกิดความล้านั้น ได้ในเวลาที่น้อยกว่า การหดตัวของกล้ามเนื้อที่มีจำนวนเปอร์เซ็นต์ของการหดตัวน้อยกว่า ซึ่งในการทำงานในรูปแบบทั้ง Dynamic หรือ Isometric Exercise ก็ตาม ถือเอาความล้าเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาของตัวผู้ปฏิบัติเป็นจุดในการบ่งชี้ถึง สภาวะของความไม่ปลอดภัยเกิดขึ้น ซึ่งในทางสรีรวิทยาแล้ว สามารถที่จะกำหนดลักษณะของการเกิดความล้าได้ทั้งจากทาง อัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการใช้ออกซิเจน (Brouha, 1967)