บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การใช้พลังงานของกล้ามเนื้อในการทำงาน

ในการทำงานต้องอาศัยความแข็งแรงของหัวใจ ประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนโลหิต และความอดทนของกล้ามเนื้อ บุคคลซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานของระบบดังกล่าวดี ย่อมเป็นผู้ได้เปรียบ โดยเฉพาะถ้าการทำงานนั้นเป็นชนิดที่ต้องใช้การทำงานหนักติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เป็นผู้ที่ทำงานได้นานกว่า (Mayers & Blesh, 1962) ได้กล่าวว่าสภาพร่างกายที่มีความสามารถในการทำงานที่ดีได้นั้น แสดงถึงหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิต ต้องทำหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการวัดสมรรถภาพทางกายควรวัดได้จากการทำงานของหัวใจ และระบบไหลเวียนโลหิต เพราะในขณะที่กล้ามเนื้อทำงานหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิตมีหน้าที่จัดหาพลังงานให้แก่กล้ามเนื้อ และนำของเสียที่เกิดจากการทำงานออกไปจากบริเวณที่กล้ามเนื้อทำงาน

เมื่อกล้ามเนื้อเริ่มทำงานก็จะมีการเพิ่มกระบวนการเมแทบอลิซึม และการเพิ่มการใช้ออกซิเจนและแหล่งพลังงาน โดยการทำงานอย่างต่อเนื่องจะทำให้เกิดการทำงานเพิ่มขึ้นของระบบการหายใจและเพิ่มปริมาณการไหลของเลือดเข้าสู่กล้ามเนื้อ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อต้องใช้ (Astrand & Rodahl, 1977) และปริมาณออกซิเจนของการทำงานแบบแอโรบิคนี้ (Aerobic Activity) มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับปริมาณของงานภายนอก (External Work)

อัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานในกระบวนการเมแทบอลิซึม และอัตราการเต้นของหัวใจเป็นตัววัดผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่นิยมใช้กันมาก ในการวิเคราะห์ระดับความหนักของงานที่สูงที่สุดที่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่องโดยปราศจากความล้าสะสม ซึ่งควรที่จะถูกนำมาพิจารณาและนำไปปฏิบัติในงานอุตสาหกรรมทุกวันนี้ (NIOSH, 1981)

ปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption; VO_2) คือ ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายรับไปให้เซลล์ต่อนาที มีหน่วยเป็น ลิตร/นาที หรือมิลลิลิตร/กิโลกรัม-นาที (เนื่องจากน้ำหนักของบุคคลต่างกัน คนที่มีน้ำหนักมากหรือมวลสารมากกว่า ย่อมต้องใช้พลังงานในการเคลื่อน

ไหวมากกว่าคนที่น้ำหนักน้อย) ในขณะทำงานปริมาณการใช้ออกซิเจนจะแปรตามความหนักเบาของการทำงานเช่นเดียวกับปริมาณความต้องการพลังงาน ปริมาณการใช้ออกซิเจนขณะออกกำลังขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้าน อายุ เพศ และสภาพร่างกาย อัตราการใช้ออกซิเจนเป็นเครื่องชี้บอกขีดความสามารถสูงสุดของบุคคลในการสร้างพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (พีระพงศ์ บุญศิริ, 1987)

การวัดอัตราการใช้ออกซิเจนนั้น เป็นสิ่งที่แสดงถึงความต้องการใช้พลังงาน (Energy Demands) ของร่างกายด้วย ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจน และความต้องการใช้พลังงาน โดย 1 ลิตรของออกซิเจนโดยประมาณเท่ากับพลังงาน 5 กิโลแคลอรี (Kilocalories) ดังนั้นอัตราการใช้ออกซิเจนสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยของกิโลแคลอรีได้ การวัดอัตราการใช้ออกซิเจนของแต่ละบุคคลในขณะที่ทำงานเป็นเรื่องค่อนข้างลำบาก แต่ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกับการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Sanders & McCormick, 1987) ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถรับเข้าไปได้มากที่สุดขึ้นอยู่กับ ช่วงเวลาในการทำงานและชนิดของงาน กล้ามเนื้อที่ใช้ในการทำงาน ความเมื่อยล้าของร่างกาย และสภาพบรรยากาศทั่วๆ ไป (จรวยพร ธรณินทร์, 1978)

<u>การวัดค่าความสามารถสูงสุดในการทำงาน</u>

การวัดค่าความสามารถสูงสุดในการทำงาน (PWC)ก็คือ การวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดหรือความสามารถในการทำงานแบบแอโรบิค ซึ่งพลังงานได้มาจากการใช้ออกซิเจนในการสันดาปอาหาร (Fox & Mathews, 1981) ความสามารถสูงสุดในการทำงานของแต่ละคนจะแตกต่างกัน โดยคนที่มีความสามารถในการทำงานสูงมากๆ จะมีค่า PWC สูงมากด้วย (Saltin & Astrand, 1967) คนที่มีความสามารถในการทำงานต่ำจะมีค่า PWC ต่ำ เพราะว่าเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อไม่มีความสามารถรับออกซิเจนได้มากพอ จึงไม่สามารถใช้พลังงานได้มาก (Buskirk & Taylor, 1957) ดังนั้นการทำงานที่เกินความสามารถสูงสุดในการทำงาน ก็จะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้

ระดับความสามารถสูงสุดของการใช้ออกซิเจนจะมีค่าสูงสุดจนถึงอายุ 20 ปี หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลง (Morehouse & Miller, 1976) ผู้ที่มีค่าความสามารถใช้ออกซิเจนสูงสุดมากกว่าจะสามารถทำงานได้นานกว่า ซึ่งเป็นสิ่งชี้ให้เห็นถึงความสมบูรณ์ของหัวใจในการฉีดเลือดไปเลี้ยงร่างกายอย่างมีประสิทธิภาพ ความจุของปอดสามารถรับอากาศได้มาก เซลล์ในกล้ามเนื้อ

สามารถนำเอาออกซิเจนไปสร้างพลังงานได้ดี และสุดท้ายกระบวนการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์เป็นไปอย่างดีด้วย (Tamer, 1982)

จรวยพร ธรณินทร์ (2521) กล่าวถึงความสามารถที่จะทำงานได้มากที่สุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้ง 3 อย่างต่อไปนี้

1. การใช้พลังงานที่ต้องการออกซิเจน (Aerobic Activity) รู้ได้จากจำนวนสูงสุดของออกซิเจนที่สามารถรับเข้าไปได้ ซึ่งจะแสดงถึงปริมาณของงานที่สามารถทำได้ในช่วงเวลาประมาณ 15-30 นาที โดยอาศัยวงจรโลหิตและการหายใจเพื่อที่จะส่งออกซิเจนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อ

2. การใช้พลังงานที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic Activity) รู้ได้จากความสามารถสูงสุดของการเป็นหนี้ออกซิเจน แสดงถึงปริมาณของงานที่ใช้เป็นเวลาประมาณ 45 วินาที ตลอดจนพลังงานที่ไม่ต้องการออกซิเจน

3. สมรรถภาพในการเผาผลาญ (Metabolism Capability) แสดงถึงจำนวนพลังงานที่ได้รับมากที่สุดที่สะสมไว้ในร่างกาย ในระหว่างที่ร่างกายต้องการออกซิเจนมากที่สุดเป็นเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง

ระดับภาระงานมีความสำคัญมากในการที่จะทำให้ร่างกายมีสมรรถภาพดี เมื่อทำงานจะต้องมีการทำงานที่ไม่เกินขีดจำกัดของแต่ละบุคคล ตัวแปรที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอัตราการใช้พลังงานของร่างกายและสามารถวัดได้ง่ายและถูกต้องคือ อัตราการใช้ออกซิเจน และอัตราการเต้นของหัวใจ (Sanders & McCormick, 1987)

Grandjean (1981) ได้เสนอว่าภาระงานทางกายภาพและปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ไม่ดีก่อให้เกิดความเครียดทางกายภาพต่อบุคคลในขณะทำงาน จึงควรทำการวิเคราะห์ถึงภาระงานที่ร่างกายต้องได้รับ โดยภาระงานมีผลต่อการทำงานดังนี้คือ ความเครียดเกิดขึ้นมากกับงานที่มีภาระสถิตมากกว่างานที่มีการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ และความเครียดจะเกิดขึ้นมากด้วยหากใช้กล้ามเนื้อเพียงส่วนเดียวในการทำงานมากกว่าการใช้กล้ามเนื้อหลายส่วน นอกจากนี้ยังพบว่าการทำงานในที่มีอุณหภูมิสูงก็เป็นการเพิ่มภาระงานอันเนื่องมาจากความร้อนด้วย และดัชนีที่มักจะใช้ในการวัดภาระงานซึ่งก่อให้เกิดความเครียด คือ การวัดออกมาในรูปของพลังงานที่ใช้ในการทำงาน (Kcal/hr) และอัตราการเต้นของหัวใจ (bpm)

กล้ามเนื้อส่วนที่ใช้ในขณะทำงานเพื่อออกแรงนั้นจะหดตัว การหดตัวของกล้ามเนื้อจะมีผลต่อการเคลื่อนไหวของร่างกายและกล้ามเนื้อส่วนอื่นๆ ด้วย โดยการทำงานที่มีการเคลื่อนไหว

ของร่างกาย (Dynamic Activity) จะมีการใช้พลังงานมากกว่าการทำงานอยู่กับที่ (Static Activity) (NIOSH, 1981) พลังงานสำหรับใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อได้มาจากกระบวนการทางเคมี 2 ประเภทคือ แอโรบิค (ใช้ออกซิเจนในการสันดาปอาหารเพื่อทำให้เกิดพลังงาน) และอะแนโรบิค (พลังงานที่ได้มาโดยไม่ใช้ออกซิเจน) แต่จะใช้พลังงานแบบอะแนโรบิคน้อยเมื่อทำงานอย่างเต็มที่นาน 40 วินาที (Fox & Mathews, 1981) ดังนั้นการวัดค่าความสามารถสูงสุดในการทำงาน (PWC) ก็คือ การวัดอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดหรือความสามารถสูงสุดในการทำงานแบบแอโรบิค

ขีดจำกัดของเมแทบอลิซึมแบบแอโรบิค ซึ่งเรียกว่า ความสามารถสูงสุดแบบแอโรบิค (VO_2max) จะแตกต่างกันไปแต่ละบุคคลและขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ปกติเมแทบอลิซึมแบบอะแนโรบิคของกล้ามเนื้อจะถูกนำมาใช้เมื่อมีความต้องการใช้ในการทำงานที่ระดับมากกว่า 50 % ของความสามารถสูงสุดของ VO_2max การทำงานที่เหนือระดับดังกล่าว ยิ่งมีการใช้เมแทบอลิซึมแบบอะแนโรบิคสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อ แต่ปริมาณการใช้เมแทบอลิซึมแบบอะแนโรบิคมีขีดจำกัด ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องทราบว่า VO_2max ของแต่ละบุคคลหรือกลุ่มของบุคคลนั้นเป็นเท่าใดและต้องหลีกเลี่ยงการทำงานที่ยาวนานที่ระดับมากกว่า 50 % ของ VO_2max (รายงานวิจัยบางฉบับก็ใช้ที่ระดับต่ำกว่านี้) ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการใช้ออกซิเจนคือ ระดับความสามารถของการใช้ออกซิเจนสูงสุด อายุ เพศ น้ำหนักร่างกายและปริมาณไขมัน ชนิดของการทำงาน (NIOSH, 1981)

ความสามารถสูงสุดในการทำงานแบบแอโรบิค จะถูกจำกัดโดยความสามารถในการหายใจและระบบการทำงานของหัวใจ ปอดและหลอดเลือด เพื่อส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อที่ทำงาน ดังนั้นเกณฑ์ที่บอกถึงความสามารถสูงสุดของร่างกายในการทำงานแบบแอโรบิคก็คือ อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดซึ่งจะขึ้นอยู่กับ อายุ เพศ ขนาดของร่างกาย ลักษณะทางพันธุกรรม การฝึกฝน วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ โดยส่วนมากแล้วแต่ละบุคคลจะมีความสามารถทำงานแบบแอโรบิคเพิ่มขึ้นเมื่ออายุระหว่าง 15-17 ปี และเริ่มลดลงเมื่ออายุประมาณ 30 ปี (Astrand & Rodahl, 1977)

กิตติ อินทรานนท์ (2531) ได้สรุปงานวิจัยของ Robinson (1938) ซึ่งได้ทำการทดสอบชายอายุ 6 ถึง 75 ปี จำนวน 81 คน พบว่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะเพิ่มอย่างรวดเร็วในวัยเด็กซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วเด็กชายอายุ 6.1 ปี จะมีอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดประมาณ 0.98 ลิตร/นาที เมื่อเปรียบเทียบกับ 2.63 ลิตร/นาที ของกลุ่มเด็กชายอายุ 14.1 ปี ความ

สามารถสูงสุดในการทำงานหรืออัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดนี้จะเพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่ออายุเฉลี่ยได้ประมาณ 17.4 ปี และค่อยๆ ลดลงเมื่ออายุประมาณ 30 ปี แต่หลังอายุ 50 ปีไปแล้ว อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดจะลดลงมากขึ้น

ความสามารถสูงสุดในการทำงานของหญิงจะน้อยกว่าชายประมาณ 10 % ถึง 25 % (Drinkwater และคณะ, 1979) ได้ทำงานวิจัยพบว่าความสามารถสูงสุดในการทำงานของชายและหญิงจะไม่แตกต่างกันเลยในช่วงเป็นเด็ก และจะแตกต่างกันมากเมื่อเป็นหนุ่มสาวจนถึงอายุกลางคน ความสัมพันธ์เหล่านี้มาจากความจริงที่ว่า ขนาดร่างกายของชายและหญิงแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเป็นเด็กและจะแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเป็นผู้ใหญ่ (Davies และคณะ, 1972) คนที่มีความสามารถในการทำงานสูงมากๆ มักจะมีค่า PWC สูงมากด้วย (Saltin & Astrand, 1967) คนที่ความสามารถในการทำงานต่ำจะมีค่า PWC ต่ำเพราะว่าเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อไม่มีความสามารถรับออกซิเจนได้มากพอจึงไม่สามารถใช้พลังงานได้มาก (Buskirk & Taylor, 1957)

เมื่อกล้ามเนื้อถูกกระตุ้นให้ทำงานก็จะมีความต้องการในการเพิ่มเมแทบอลิซึม เพื่อดึงเอาออกซิเจนและสารอาหารเข้าสู่เนื้อเยื่อเมื่อมีการทำงานอย่างต่อเนื่อง อัตราการใช้ออกซิเจน การใช้พลังงานและอัตราการเต้นของหัวใจเป็นตัววัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาของเมแทบอลิซึมในการทำงานที่มีการเคลื่อนไหว (Snook & Irvine, 1969) สำหรับการทำงานที่ต้องใช้กำลังของร่างกายในทำงานนั้นจะมีขีดจำกัดของการใช้พลังงานของบุคคลทั่วไป ให้สามารถทำงานได้เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวันโดยปราศจากความล้าสะสม

Muller (1953) ได้ชี้ให้เห็นว่าปัจจัยที่เป็นสิ่งสำคัญในการรักษาท่าทาง หรือการใช้ส่วนเกินของกล้ามเนื้อสามารถจำกัดความสามารถรับภาระงานได้ที่อัตราขั้นต่ำของการใช้พลังงาน โดยชี้ว่า 5 kcal/min เป็นขีดจำกัดของการใช้พลังงานสำหรับการทำงาน 8 ชั่งโมงต่อวัน

คณะกรรมการนานาชาติได้ประชุม เพื่อจัดมาตรฐานของการทดสอบสมรรถภาพทางกาย (The International Committee for Standardization of Physical Fitness Test) ที่กรุงเม็กซิโก เมื่อเดือนตุลาคม 2511 ได้ลงมติว่า เออร์โกเมตรีย์ (Ergometry) ซึ่งเป็นวิธีการวัดสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตที่ดีวิธีหนึ่งสามารถใช้เครื่องมือได้ 3 แบบคือ

1. จักรยานทดสอบ (Bicycle Ergometry) ปริมาณของงานกำหนดด้วยความฝืดของการถีบและอัตรารอบของการถีบ

2. แท่นวิ่ง (Treadmill Ergometry) ปริมาณของงานกำหนดด้วยความเร็วและความชันของแท่นวิ่ง

3. บันไดก้าวขึ้น-ลงปรับระดับได้ (Step Ergometer) ปริมาณของงานกำหนดด้วยความสูงของขั้นบันไดและจังหวะการก้าวขึ้น-ลง

เครื่องมือที่ใช้ทดสอบทั้ง 3 แบบนี้ใช้วิธีการวัดคล้ายกันคือ วัดในระหว่างที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของร่างกายขณะทำงานหรือหลังจากทำงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การทดสอบ

Kamon & Ayoub (1976) ได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนและเวลาพบว่า สภาวะคงตัวจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราการใช้ออกซิเจนมีค่าเท่ากับความต้องการออกซิเจนของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อที่กำลังทำงาน ที่สภาวะคงตัวนี้จะมีการเต้นของหัวใจและการถ่ายเทอากาศของปอด (Pulmonary Ventilation) ในระดับประมาณคงที่ตลอดเวลาที่ยังทำงานนั้นอยู่ ดังนั้นจึงควรวัดค่า VO_2 ในการทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่งๆ เมื่ออยู่ในสภาวะคงตัว

Kamon & Ayoub (1976) ได้แบ่งวิธีการหาค่า VO_2max ออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีโดยตรงและโดยอ้อม วิธีโดยตรงนั้นจะหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจน และระดับความหนักของงานโดยดำเนินการได้ 2 แบบ คือ การดำเนินการงานแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Procedure) และการดำเนินงานแบบต่อเนื่อง (Continuous or Progressive Procedure) การดำเนินงานแบบไม่ต่อเนื่องจะให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่งๆ เป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าค่า VO_2 จะเป็นช่วงเวลาพักของผู้ทดสอบ จากนั้นให้ผู้ทดสอบทำงานที่มีระดับความหนักของงานที่สูงขึ้นเป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที แล้ววัดค่า VO_2 ทำเช่นนั้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่า VO_2 ที่วัดได้ครั้งหลังสุดมีค่ามากกว่า VO_2 ครั้งก่อนหน้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ซม^3/กก-นาที จะถือว่าค่า VO_2 ที่วัดได้เป็นค่า VO_2max ส่วนการดำเนินงานแบบต่อเนื่องจะเพิ่มระดับความหนักของงานแบบต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ผู้ถูกทดสอบยังสามารถทำงานได้ และเมื่อผู้ถูกทดสอบไม่สามารถทำงานได้ ค่า VO_2 ที่วัดได้ครั้งสุดท้ายจะเป็นค่า VO_2max

สำหรับวิธีโดยอ้อมจะใช้หลักการ 2 อย่างคือ 1) ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างการเต้นของหัวใจ และ VO_2 ที่สภาวะคงตัวแต่ละระดับความหนักของงาน และ 2) ค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่สูงสุด จะขึ้นอยู่กับ อายุ การหาค่า VO_2max ด้วยวิธีนี้ทำได้โดยให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงาน 2-3 ระดับแล้ววัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจและ VO_2 ที่สภาวะคงตัวของแต่ละระดับความหนักของงาน เพื่อนำไปสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง VO_2 กับอัตราการเต้นของหัวใจที่สูงสุดหาได้จาก 220-อายุ(ปี) การหาค่า VO_2max ด้วยวิธีนี้ก่อนการทดสอบจะให้ผู้ถูกทดสอบทำการออกกำลังกายเบา ๆ ประมาณ 10 นาที และช่วง

ระยะเวลาพักหลังจากทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่งๆ จะต้องนานพอที่จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจ หรือการตอบสนองด้านสรีระอยู่สภาพปกติก่อนที่จะให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงานที่มากขึ้น

Von Dobeln และคณะ (1967) ได้เลือกสุ่มตัวอย่างพนักงานชายที่ทำงานก่อสร้าง 84 คน ซึ่งมีอายุระหว่าง 30-70 ปี มาทดสอบความสามารถในการทำงานด้วยวิธีปั่นจักรยานทดสอบที่ระดับความหนักของงานหนึ่งๆ จนถึงสภาวะคงตัว (Steady state) จะพบได้ว่า อัตราการหายใจต่อนาทีมีความสม่ำเสมอ อัตราการเต้นของหัวใจต่อนาทีคงที่ ออกซิเจนที่นำเข้าจะพอดีกับที่ถูกใช้ไป กรดแลคติกเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แล้ววัดค่าการเต้นของหัวใจและ VO_2 เพื่อนำมาสร้างสมการหา VO_2max ที่มี อายุ ระดับความหนักของงาน (มีหน่วยเป็น กิโลปอนด์-เมตร/นาที) และอัตราการเต้นของหัวใจที่สภาวะคงตัวเป็นตัวแปรอิสระ

Michael และคณะ (1961) ได้ทำการทดลองปั่นจักรยาน และวิ่งบนแท่นวิ่งที่ระดับภาระงานและความเร็วที่แตกต่างๆ กันเป็นเวลาต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง โดยไม่มีการหยุดพักและได้พบว่า 35 % ของความสามารถสูงสุดแบบแอโรบิค (VO_2max) เป็นขีดจำกัดของการทำงาน โดยปราศจากความล้าสะสม นอกจากนี้ Astrand (1967) ก็ได้ทำการศึกษาและสรุปว่า 50 % ของ VO_2max โดยการปั่นจักรยานเป็นขีดจำกัดสูงสุดของการทำงานใน 8 ชั่วโมงต่อวัน และพบว่าที่ระดับนี้อาจไม่สามารถทำได้กับผู้ทดสอบที่เป็นพนักงานก่อสร้างได้ทุกคน แต่ก็พบว่าจะอยู่ในช่วงระหว่าง 25-55 % ของ VO_2max

ได้มีผู้วิจัยหลายท่านได้ให้คำจำกัดความสามารถในการทำงานอย่างต่อเนื่อง ในรูปของอัตราการเต้นของหัวใจ ข้อสรุปอยู่ในช่วงระหว่าง 110-130 ครั้ง/นาที เช่นเดียวกับ Snook & Irvine (1969) และ Brouha (1967) ได้พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ยไม่ควรเกิน 115 ครั้ง/นาที ซึ่งสนับสนุนกับข้อสรุปของ Suggs & Splinter (1961) และ Snook & Irvine (1969) ซึ่งได้ทำการประมาณค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจ พบว่าค่าอัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ยไม่ควรเกิน 112 ครั้ง/นาที สำหรับการทำงานที่ใช้ส่วนขา และ 99 ครั้ง/นาที สำหรับการทำงานที่ใช้แขนเป็นส่วนใหญ่

Das และคณะ (1974) ได้ทำการศึกษาขีดจำกัดในการทำงานที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งในปัจจุบันมีการรายงานว่าบุคคลไม่ควรทำงานต่อเนื่องกันเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยทำงานมากเกินกว่า 50 % ของความสามารถสูงสุด (VO_2max) ถ้าถึง 60 % ของ VO_2max บุคคลนั้นจะเกิดความล้า มีการเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และอุณหภูมิภายในร่างกาย และ

ค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน ซึ่งแสดงว่าที่ระดับ 60% ของ VO_2max นี้จะทำให้เกิดผลของความเครียด (Strain) สูงขึ้นมากในระบบเมแทบอลิซึม การไหลเวียนโลหิตและระบบการถ่ายเทความร้อนในร่างกาย ซึ่งเป็นบ่อเกิดของความล้าเมื่อระยะเวลาในการทำงานประมาณ 8 ชั่วโมงต่อเนื่องตลอดวัน แสดงให้เห็นว่าขีดจำกัดของการทำงานที่ต่อเนื่องควรเป็น 50 % ของ VO_2max

Chakraborty และคณะ (1974) ได้ทำการสุ่มตัวอย่างพนักงานเหมืองแร่ 132 คน เพื่อศึกษาถึงพลังงานที่พนักงานทำงานในหน้าที่ต่างๆ ต้องใช้พลังงานในการทำงานรวมทั้งเวลาในการพักของพนักงานทุกหน้าที่ประมาณจาก ปริมาณการใช้ออกซิเจนในขณะทำงาน ความต้องการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยทั้งหมดของงานหน้าที่ต่างๆ อยู่ระหว่าง 2,379-3,309 กิโลแคลอรีต่อวัน

Sen & Sarkar (1974) ได้ทำการประเมินภาระของงานที่เหมาะสมกับพนักงานโรงงานอุตสาหกรรม ในสภาวะของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ โดยทำการศึกษาผลการตอบสนองทางสรีรวิทยา เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิภายในร่างกาย ปริมาณการใช้ออกซิเจน และการสูญเสียเหงื่อ เป็นต้น ทำการศึกษาโดยการปั่นจักรยานในห้องทดลองที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส) และได้สังเกตพบว่าในระหว่างการทำงานที่ยาวนานนั้น อัตราการเต้นของหัวใจจะยังคงอยู่ที่ระดับสภาวะคงตัวที่ระดับภาระงานต่ำและอุณหภูมิต่ำ แต่เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมและระดับภาระของงานสูงขึ้น อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มสูงขึ้นไม่อยู่ในสภาวะคงตัว นอกจากนี้อัตราการเต้นของหัวใจและระดับภาระของงานมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ความต้องการใช้พลังงานในขณะพักและที่ระดับต่ำกว่าระดับสูงสุดพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

Bobo และคณะ (1983) ได้ทำการศึกษาผลตอบสนองทางสรีรวิทยาของพนักงานเหมืองแร่ชายหน้าที่ต่างๆ 56 คน ค่าความสามารถสูงสุดแบบแอโรบิคถูกประมาณจากการวัดอากาศที่หายใจออกและอัตราการเต้นของหัวใจในขณะที่ผู้ถูกทดสอบปั่นจักรยาน และทำการวัดอัตราการระบายอากาศในขณะทำงานทั้งหมด เพื่อประมาณหาค่าความต้องการใช้ออกซิเจน นำมาประเมินความต้องการใช้พลังงาน และปริมาณการใช้ออกซิเจนของพนักงานหน้าที่ต่างๆ และได้พบว่า พนักงานเหมืองแร่ไม่ได้มีค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดแตกต่างไปจากกลุ่มประชากรอื่นๆ ที่ไม่ใช่พนักงานเหมืองแร่

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ได้พิจารณาความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์การวัดที่มีอยู่ตลอดจนการวัดบันทึกกิจกรรมในโรงงานขณะปฏิบัติงานจริง การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้ดำเนินการทดสอบภายในขอบเขตของการวิจัยดังได้เสนอแล้วในบทที่ 1 และวิธีการในบทต่อไป