การตรวจเอกสาร

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. การใช้พลังงานในขณะออกกำลังกาย

2. การเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ

3. การฟื้นตัวจากการออกกำลังกาย

4. สมรรถภาพอนากาศนิยม

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้พลังงานในขณะออกกำลังกาย

พลังงานมีความจำเป็นมากสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งการออกกำลังกายและการแข่งขันกีฬานั้นร่างกายต้องอาศัยขบวนการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีที่ได้จากอาหารให้เป็นพลังงานเพื่อใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยร่างกายจะต้องเปลี่ยนอาหารให้เป็นพลังงาน adenosine triphosphate (ATP) ก่อน สารนี้จะสังเคราะห์กลับคืนใหม่ได้โดยใช้พลังงานที่ได้จากการเผาผลาญอาหาร (Jack and David, 2000) ร่างกายมีระบบพลังงาน 3 ระบบในการเปลี่ยนสารอาหารให้เป็นเอทีพี (วิทยา, 2546) คือ

1. ระบบฟอสเฟตหรือฟอสฟาเจน (phosphate or phosphagen)

ระบบนี้ได้พลังงานมาจากเอทีพี (adenosine triphosphate) และ PC (phosphocreatine) ระบบฟอสฟาเจนนี้เป็นระบบหนึ่งในสองของระบบแอนแอโรบิค (anaerobic system) ของร่างกายมีสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ เป็นสารให้พลังงานสูง (MacDougall *et al*., 1991) ร่างกายสามารถนำพลังงานชนิดนี้มาใช้ ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งไม่ต้องการออกซิเจนมาช่วยในการผลิตพลังงานให้กับกล้ามเนื้อ ระบบนี้มีอยู่อย่างจำกัดแต่มีการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่อย่างรวดเร็วในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ พลังงาน

ระบบนี้ถูกนำมาใช้ในกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วและมีความหนักสูง ในช่วงระยะเวลาประมาณ 10 วินาที (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536)

2. ระบบไกลโคไลติก (glycolytic system)

เป็นระบบพลังงานที่มีขีดความสามารถในการทำงานในระดับสูงสามารถทำงานที่ระดับความหนักมาก ๆ ได้ เป็นระบบพลังงานในร่างกายที่ได้จากการสลายไกลโคเจนในระบบแอนแอโรบิค ซึ่งไม่ต้องใช้ออกซิเจน เมื่อนักกีฬามีการเคลื่อนไหวโดยใช้กำลังความเร็วสูงสุด หรือออกแรงกระทำด้วยความหนักสูงสุดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 10 วินาทีหรือมากกว่า ระบบพลังงานจะเริ่มเปลี่ยนเป็นระบบไกลโคไลติก (glycolytic system) ซึ่งผลจากการทำงานในระบบนี้ก่อให้เกิดกรดแลคติค (lactic acid) อันเป็นของเสีย (waste product) สะสมอยู่ในเซลล์กล้ามเนื้อและเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของอาการเมื่อยล้า (fatigue) ขึ้น เนื่องจากออกซิเจนไม่สามารถนำไปใช้ได้ทัน อัตราการสะสมของกรดแลคติคจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความหนักหรือความเร็วในการทำงานเพิ่มมากขึ้น อาการเมื่อยล้าก็จะยิ่งปรากฏเร็วขึ้น เรียกอีกอย่างว่า anaerobic lactic system ระบบนี้มีระยะเวลาในการทำงานประมาณ 2-3 นาที (Jack and David, 2000)

3. ระบบแอโรบิค (aerobic system)

ระบบนี้ร่างกายใช้พลังงานมาจากสารอาหาร 3 อย่าง คือ คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีน โดยเป็นขบวนการที่ใช้ออกซิเจนเข้าร่วมในการสร้างพลังงาน ให้พลังงานสูง สามารถทำงานได้เป็นระยะเวลานาน เพราะพลังงานระบบนี้สร้างเอทีพีได้มาก ร่างกายจะเริ่มใช้พลังงานระบบนี้เมื่อมีการทำงานที่ยาวนานประมาณ 3-5 นาที ขึ้นไป (MacDougall *et al*., 1991) ระบบพลังงานชนิดนี้ไม่ก่อให้เกิดกรดแลคติค แต่การสร้างพลังงานของระบบนี้จะช้ากว่าระบบอื่น การทำงานของระบบนี้ความหนักของกิจกรรมจะไม่สูงมากหากร่างกายทำงานที่ระดับความหนักสูง ร่างกายจะเปลี่ยนมาใช้ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนแทน โดยแหล่งพลังงานที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรตและไขมัน โดยระยะแรกของการออกกำลังกาย พลังงานที่สำคัญได้จากไกลโคเจน แต่ในช่วง 20-25 นาทีขึ้นไปของการออกกำลังกาย ร่างกายจะใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานหลักแทน

ในการวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาถึงแหล่งพลังงานแบบ anaerobic system พลังงานที่ได้มาแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ จะใช้ในช่วงเริ่มต้นของการออกกำลังกายก่อนที่ระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิตจะมีการปรับตัว เป็นพลังงานที่มีสะสมในกล้ามเนื้ออยู่อย่างจำกัด หลังจากนั้นจะเป็นการใช้พลังงานที่ได้มาจากการทำงานแบบใช้ออกซิเจน นิกร (2542) กล่าวว่า พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานในการเคลื่อนไหวกีฬาทุกประเภท และส่งเสริมให้นักกีฬามีความสามารถมากยิ่งขึ้น กีฬาแต่ละประเภทจะมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ฟุตบอลเป็นกีฬาที่มีการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดซ้ำ ๆ กันอยู่ตลอดเวลา จึงมีรูปแบบการใช้พลังงานที่หลากหลายตลอดระยะเวลาการแข่งขัน เจริญ (2538) ได้กล่าวไว้ว่า อาการเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นกับกล้ามเนื้อ มาจากการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการจำกัดความเร็วหรือทำให้ความเร็วลดลง กีฬาหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นฟุตบอล บาสเกตบอล วอลเลย์บอล ส่วนใหญ่เกือบร้อยละ 80 ของพลังงานที่ถูกนำมาใช้ในการเคลื่อนไหวทั้งหมด ได้มาจากการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจนทั้งสิ้น ดังนั้น นักกีฬาคนใดที่มีสมรรถภาพการทำงานของกล้ามเนื้อแบบไม่ใช้ออกซิเจนดี จะสามารถทนต่อความเมื่อยล้าได้ดี และสามารถส่งเสริมการเล่นหรือปฏิบัติทักษะต่าง ๆ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

<u>การเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ</u>

ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (muscle fatigue) คือ การที่กล้ามเนื้อไม่สามารถทำงานให้มีสมรรถภาพหรือกำลังได้ตามที่คาดหมายไว้ (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) สอดคล้องกับ ประทุม (2527) ที่กล่าวไว้ว่า ความเมื่อย (fatigue) หมายถึง การที่ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง อันเป็นผลเนื่องจากงานที่ทำ เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้ความสามารถทางกายลดลง (อนันต์, 2527) เกิดจากความเมื่อยล้าของระบบประสาทส่วนปลาย(peripheral fatigue) หรือจากความเมื่อยล้าของระบบประสาทส่วนกลาง (central fatigue) ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับระดับความหนักของงานและระยะเวลาที่กำหนดให้ Karpovich (1953) กล่าวว่า ความเมื่อยล้ามีอยู่ 2 ชนิด คือ ทางด้านร่างกายจะเกี่ยวข้องการทำงานของกล้ามเนื้อและทางด้านจิตใจโดยระดับของการล้าเป็นผลมาจากการทำงานของจิตใจ

ประทุม (2527) และ Karpovich (1953) กล่าวว่าอาการเมื่อยล้าอาจสังเกตได้จากสิ่งต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการทำงานลดน้อยลง ความรู้สึกอ่อนเพลียโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณกล้ามเนื้อที่ถูกใช้ให้ทำงาน ความรู้สึกง่วงนอนขณะออกกำลังกาย ความรู้สึกมึนศรีษะและเจ็บบริเวณท้ายทอยความรู้สึกไม่คล่องแคล่วตามบริเวณข้อต่อต่าง ๆ ส่วนอาการที่แสดงว่ากำลังจะถึงจุดแห่งการล้านั้นอาจสังเกต

ได้โดยดูที่ ความดันโลหิตตอนบีบตัว (systolic pressure) ลดต่ำลง อัตราการหายใจถี่ เร็วขึ้น อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้น เนื่องจากการระบายความร้อนของร่างกายขาดประสิทธิภาพ อัตราการเต้นของหัวใจสูง ขาดความละเอียดอ่อนและความแม่นยำ เป็นต้น

สาเหตุของความเมื่อยล้ามีอยู่หลายสาเหตุ เช่น เอทีพีลดน้อยลงจนกระทั่งกล้ามเนื้อไม่สามารถจะทำงานได้ การขาดออกซิเจนของระบบประสาทและระดับน้ำตาลในเลือดต่ำเกินกว่าที่ระบบประสาทจะทำงานได้ (อนันต์, 2527) สอดคล้องกับ Jack and David (2000) ที่กล่าวว่า การล้าอาจจะมีผลมาจากการลดลงของ PC หรือ ไกลโคเจน (glycogen) และความล้มเหลวของสารสื่อประสาท (neural transmission) ส่วนสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ คือ ปริมาณกรดแลคติคในกล้ามเนื้อมีมาก (Karpovich, 1953) ซึ่งเป็นของเสียจากระบบไกลโคไลติก (glycolytic system) สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) ที่กล่าวว่า ตำแหน่งที่เป็นสาเหตุของอาการล้า คือ

1. Neuromuscular Junction พบว่า บริเวณรอยต่อของประสาทและกล้ามเนื้อเป็นต้นตอที่ก่อให้เกิดอาการล้า การล้าชนิดนี้พบได้บ่อยในหน่วยยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว ส่วนกลไกนั้นเชื่อว่า เกิดจากสารสื่อประสาท คือ อะเซติลโคลีน (acetylcholine) ลดน้อยลง

2. Contractile Mechanism เกิดจากกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ พบว่าการสะสมของกรดแลคติค ทำให้ peak tension ลดลง ทำให้เกิดความเป็นกรดภายในเซลล์มากขึ้น จึงทำให้การปล่อยแคลเซียมจาก sarcoplasmic reticulum ลดน้อยลง รวมถึงการหมดไปของ ATP-PC และไกลโคเจนที่สะสมไว้ด้วย

3. ระบบประสาท พบว่าเป็นต้นตออย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดอาการล้า สาเหตุมาจากมี sensory feed back จากกล้ามเนื้อที่หดตัวในเรื่องแรง หรือความตึง ความปวดกลับไปยังสมองหรือไขสันหลังไปยับยั้งมอเตอร์นิวรอนให้ลดการทำงานลง เป็นผลให้ลดการหดตัวของกล้ามเนื้อมัดนั้น

McArdle *et al.* (2001) กล่าวว่า เมื่อความหนักของการออกกำลังกายเพิ่มสูงขึ้นอัตราการสลายและการเคลื่อนย้ายกรดแลคติคจะน้อยกว่าการผลิตกรดแลคติคทำให้เกิดการสะสมกรดแลคติคในกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น กรดแลคติคเป็นของเสียที่ถูกสร้างจากระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic system) เมื่อร่างกายมีกรดแลคติคในกล้ามเนื้อสูงจะทำให้เกิดการขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อเกิดการเคลื่อนไหวลำบาก เคลื่อนไหวช้าทำงานได้ไม่เต็มที่ การที่มีกรดแลคติค

สะสมในกล้ามเนื้อมาก การทำงานสูงสุดในช่วงสั้น ๆ อัตราของกรดแลคติคจะเพิ่มขึ้น ยิ่งความหนักของงานเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของกรดแลคติคก็เกิดเร็วขึ้นจนถึงระดับที่ไม่สามารถทำงานได้ต่อไป ซึ่งทำให้สมรรถภาพลดลง ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) และ ประทุม (2527) ได้กล่าวถึง การสร้างกรดแลคติคไว้ว่า

1. ขณะออกกำลังกายเบา ๆ (light exercise) เป็นการออกกำลังกายที่ความหนัก 40-49 เปอร์เซ็นต์ของ VO_2max การออกกำลังกายชนิดนี้ระบบการหายใจและระบบไหลเวียนโลหิตสามารถจะนำออกซิเจนไปส่งยังกล้ามเนื้อได้อย่างเพียงพอกับความต้องการ กรดแลคติคจึงถูกสร้างขึ้นน้อยมาก

2. ขณะออกกำลังกายที่ความเข้มข้นปานกลาง (exercise of moderate intensity) เป็นการออกกำลังกายที่ความหนัก 50-74 เปอร์เซ็นต์ของ VO_2max ร่างกายจะสร้างพลังงานแบบแอนแอโรบิค กรดแลคติคที่ถูกสร้างขึ้นมาในช่วงแรกของการออกกำลังกาย จะแพร่กระจายเข้าสู่กระแสเลือด เมื่อการออกกำลังกายดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ ปริมาณของกรดแลคติคจะลดน้อยลงจนถึงระดับปกติ การออกกำลังกายสามารถดำเนินต่อไปได้หลายชั่วโมง

3. ขณะออกกำลังกายอย่างหนัก (heavy exercise) เป็นการออกกำลังกายที่ความหนัก 75-84 เปอร์เซ็นต์ของ VO_2max การออกกำลังกายในระดับนี้ออกซิเจนเริ่มที่จะไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ทำให้กรดแลคติคถูกสร้างขึ้นมามากและมีปริมาณสูงในกระแสเลือด และจะคงอยู่ตลอดระยะของการออกกำลังกาย สามารถออกกำลังกายได้ถึง 30 นาทีหรือมากกว่านี้

4. ขณะออกกำลังกายที่หนักมาก (severe exercise) เป็นการออกกำลังกายที่ความหนักมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ของ VO_2max การออกกำลังกายเช่นนี้ปริมาณของออกซิเจนจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย กรดแลคติคจะถูกสร้างเพิ่มขึ้นมากและรวดเร็ว การออกกำลังกายเช่นนี้มักดำเนินต่อไปได้ไม่เกิน 2-3 นาที

การฟื้นตัวจากการออกกำลังกาย

การฟื้นตัวจากการออกกำลังกายมีความสำคัญเช่นเดียวกับการใช้พลังงานในการออกกำลังกาย หากนักกีฬาสามารถฟื้นตัวได้รวดเร็วประสิทธิภาพในการทำงานก็จะดีขึ้นตามมา สอดคล้องกับ วิทยา (2546) กล่าวว่า หลังการออกกำลังกายอย่างหนัก สิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง คือจะต้องฟื้นฟูสภาพร่างกายโดยเร็ว ยิ่งการฟื้นฟูมีประสิทธิภาพมากเท่าไหร่ ความเมื่อยล้าก็จะมีโอกาสลดลงเท่านั้น เอทีพีและพีซีที่สำรองไว้จะต้องได้รับการเติมทันที ออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นในการเติมเอทีพีระหว่างการทำงานหนัก ถ้าออกซิเจนในกล้ามเนื้อมีมากจะทำให้เอทีพีมีมากด้วย ดังนั้นนักกีฬาจะทำงานได้ยาวนานขึ้นหรือเข้มข้นขึ้น เวลาฟื้นฟูสภาพร่างกายหลังการทำงานหนักก็จะสั้น

การฟื้นตัวของกล้ามเนื้อหลังจากการออกกำลังกาย ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนย้ายของเสีย คือ กรดแลคติค ไฮโดรเจนอิออน (H^+) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) รวมไปถึงการชดเชยพลังงานที่สะสมไว้ใช้ในระหว่างการออกกำลังกาย ถ้าระบบออกซิเจนดี หนี้ของออกซิเจน (oxygen debt) ก็สามารถจ่ายคืนได้เร็วและระบบฟอสเฟตก็จะคืนมาเหมือนเดิม (วิทยา, 2546) Karpovich (1953) และ Shephard (1994) กล่าวว่า การชดเชยออกซิเจนที่เป็นหนี้ (oxygen debt) แบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ การฟื้นตัวใน 2-3 นาทีแรกอัตราการใช้ออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็ว เรียกว่า alactacid component หลังจากนั้นจะลดลงอย่างช้า ๆ เรียกว่า lactacid component ในช่วงนี้จะใช้ออกซิเจนเพื่อการขนย้ายกรดแลคติคที่อยู่ในกล้ามเนื้อและเลือดออกมา ส่วนในช่วงแรกนั้นจะใช้ออกซิเจนเพื่อเพิ่ม myoglobin และ hemoglobin ที่สูญเสียไปให้กลับมา ใช้ในกระบวนการหายใจและกล้ามเนื้อหัวใจและใช้ในขบวนการสร้างเอทีพี, พีซี และไกลโคเจนกลับมา

การชดเชยพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในระยะการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อ

1. เอทีพีและพีซีจะถูกสร้างขึ้นใหม่ 75 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 60 วินาที และ ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 5 นาที สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) ที่กล่าวว่า ระยะเวลาพัก 4 นาที ชดเชยพลังงานเอทีพีได้ 90 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อมีการพักมากกว่า 5 นาที ร่างกายจะชดเชยพลังงานเอทีพีครบ 100 เปอร์เซ็นต์

2. การสร้างไกลโคเจนขึ้นใหม่ในกล้ามเนื้อ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) กล่าวว่า การออกกำลังกายตลอดเวลาแต่ไม่หนัก ไกลโคเจนจะถูกใช้ไปมากกว่า 2 เท่าของที่ใช้ในการออกกำลังกายเป็นช่วง ๆ

ดังนั้น การออกกำลังกายเป็นช่วง ๆ จึงต้องการเวลาน้อยกว่าการออกกำลังกายตลอดเวลา ในการสร้างไกลโคเจนขึ้นใหม่ สารอาหารที่เป็นต้นตอต่าง ๆ ในการสร้างไกลโคเจน เช่น กลูโคส, กรดแลคติค, พัยรูวิค มีจำนวนน้อย เพราะถูกใช้มากจากการออกกำลังกาย ส่วนการออกกำลังกายแบบเป็นช่วงนั้น สารต่าง ๆ เหล่านี้จะไม่ลดลง ดังนั้นการสร้างไกลโคเจนจึงสามารถเริ่มได้เร็วกว่า การสังเคราะห์ไกลโคเจนในเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วนั้น จะทำได้เร็วกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อที่หดตัวช้า ในการออกกำลังกายเป็นช่วง ๆ จะใช้กล้ามเนื้อที่หดตัวเร็วมากกว่า ดังนั้นจึงสังเคราะห์ไกลโคเจนได้เร็วกว่า

ประทุม (2527) กล่าวว่า ปริมาณของกรดแลคติคจะลดลงเร็วยิ่งขึ้นหากนักกีฬาออกกำลังกายเบา ๆ ภายหลังการออกกำลังกายหนักได้สิ้นสุดลง ขณะออกกำลังกายเบา ๆ ซึ่งร่างกายไม่สร้างกรดแลคติคเพิ่มขึ้น เลือดจะไหลเวียนเร็วกว่าอยู่เฉย ๆ จึงมีออกซิเจนไปช่วยเผาผลาญกรดแลคติคมากขึ้น และจะทำให้กรดแลคติคถูกขนส่งไปยังตับ ไต หัวใจ ได้เร็วขึ้น ทำให้ปริมาณของกรดแลคติคในร่างกายลดลงสู่ปริมาณปกติได้เร็วขึ้น ดังที่ McArdle *et al.* (2001) กล่าวว่า การส่งเสริมการเคลื่อนย้ายกรดแลคติคโดยใช้การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว จะเป็นการเพิ่มการกระจายของเลือดเป็นการใช้กรดแลคติคโดย ตับและหัวใจ จากการเผาผลาญผ่านกระบวนการ citric acid cycle ซึ่งสอดคล้องกับ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) ที่กล่าวว่า ในช่วงระหว่างการออกกำลังกายถ้าให้ออกกำลังกายเบา ๆ แทนที่จะให้พักอยู่เฉย ๆ จะทำให้การเคลื่อนย้ายกรดแลคติคจากเลือดและกล้ามเนื้อเกิดได้รวดเร็วขึ้น ระยะการฟื้นตัวที่มีการออกกำลังเบา ๆ นี้ เรียกว่า การฟื้นตัวโดยการออกกำลังกาย (exercise recovery) หรือการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (active recovery) การออกกำลังกายเบา ๆ ที่ความหนัก 30–45 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด จะทำให้มีการเคลื่อนย้ายกรดแลคติคจากเลือดได้เร็วที่สุด ซึ่งเทียบได้กับอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุดที่ 35–59 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของชีพจรสูงสุด (American College of Sports and Medicine, 2000) ในผู้ที่มีสุขภาพดีได้รับการฝึกกีฬาและออกกำลังกายสม่ำเสมอ จะใช้ความหนักที่ 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ชูศักดิ์ และ กันยา, 2536) ซึ่งจะเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (ACSM, 2000) แต่ถ้าความหนักของการออกกำลังกายในระยะฟื้นตัว ต่ำกว่าหรือสูงกว่าความหนักที่เหมาะสมจะทำให้การเคลื่อนย้ายกรดแลคติคช้าลง ถ้าความหนักในการฟื้นตัวมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด จะทำให้มีการเคลื่อนย้ายกรดแลคติคจากเลือด ได้น้อยกว่าการพักเฉย ๆ (rest recovery) โดยที่ McArdle *et al.* (2001) กล่าวว่า การฟื้นตัวที่มีระยะเวลายาวนานระหว่างการออกกำลังกายที่มีรูปแบบเป็นช่วง ๆ เช่น ฟุตบอล บาสเก็ตบอล เทนนิสและแบดมินตัน การแสดงออกทางด้านสมรรถภาพจะลดลง

วิทยา (2546) กล่าวว่า ระบบออกซิเจนมีบทบาทที่สำคัญในการช่วยให้นักกีฬาฟื้นฟูสภาพร่างกายหลังการแข่งขันหรือหลังการฝึกซ้อม สอดคล้องกับ ชูศักดิ์ และ กันยา (2536) ที่กล่าวไว้ว่า ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการเคลื่อนย้ายกรดแลคติคออกจากเลือด และกล้ามเนื้อ ดังนั้น ระบบไหลเวียนเลือดจึงมีความสำคัญในการช่วยให้กล้ามเนื้อฟื้นตัวได้เร็วขึ้น โดยเลือดมีหน้าที่เป็นตัวนำพาออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และยังนำของเสียออกจากร่างกาย ร่างกายสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติคได้หลายกระบวนการ ดังนี้

1. ขับถ่ายออกทางปัสสาวะและเหงื่อ ซึ่งเป็นไปได้น้อยมาก

2. การเปลี่ยนไปเป็นกลูโคส หรือไกลโคเจน เนื่องจากกรดแลคติคเป็นผลิตผลจากการสลายคาร์โบไฮเดรต ดังนั้น จึงสามารถเปลี่ยนไปเป็นไกลโคเจนและกลูโคส ในกล้ามเนื้อ และตับได้ แต่การสร้างไกลโคเจนในกล้ามเนื้อและตับนั้นเป็นไปได้ช้ามาก

3. การเปลี่ยนไปเป็นโปรตีน ซึ่งจะเกิดเพียงเล็กน้อยในทันทีของระยะฟื้นตัว

4. การออกซิเดชั่นเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ กรดแลคติคสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เมื่อมีออกซิเจน โดยเปลี่ยนไปเป็นกรดพลัยรูวิคก่อนแล้วเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในกระบวนการของวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) และระบบขนส่งอิเล็คตรอน (electron transport) ปฏิกิริยาทางเคมีของการออกซิเดชั่นของกรดแลคติคมีดังต่อไปนี้

$C_3H_6O_3$ ⇨ $C_3H_4O_3 + 3O_2$ ⇨ $3CO_2 + 3H_2O$ + พลังงาน

(กรดแลคติค) (กรดพลัยรูวิค)

พลังงาน + 16 ADP + 16 Pi ⇨ 16 ATP

การนำกรดแลคติคมาใช้เป็นพลังงานในการออกกำลังกายแบบแอโรบิคนั้น อวัยวะที่สำคัญที่มีบทบาทในการออกซิไดซ์กรดแลคติคในระยะฟื้นตัวของร่างกายหลังการออกกำลังกาย คือ กล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle) เพราะเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวช้าจะสามารถออกซิไดซ์ กรดแลคติคได้ดีกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อชนิดหดตัวเร็ว จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่อธิบายว่า การให้มีการออกกำลังกายเบา ๆ ในระยะของการฟื้นตัวจะสามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติคได้ดีกว่า

สมรรถภาพอนากาศนิยม

สมรรถภาพอนากาศนิยม (anaerobic capacity) หมายถึง ความสามารถของกล้ามเนื้อในการทำงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เป็นค่ากำลังเฉลี่ย โดยที่กล้ามเนื้อจะทำงานต่อเนื่องกัน เป็นการใช้พลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อได้แก่ ระบบฟอสฟาเจน และระบบไกลโคไลติกหรือระบบแลคติค สอดคล้องกับ Elliott (1998) ที่ว่า สมรรถภาพอนากาศนิยม คือ การผลิตพลังงานของร่างกายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้สูงสุดในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เป็นการแสดงออกทางด้านการทำงานของกล้ามเนื้อเฉพาะบุคคล สมรรถภาพอนากาศนิยม เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการสร้างเอทีพีขึ้นมาใหม่จากแหล่งพลังงานที่ไม่ใช่ไมโตครอนเดรีย (Robergs and Scott, 1997) และ McArdle *et al.* (2001) กล่าวว่า สมรรถภาพอนากาศนิยมหรือกำลังเฉลี่ยนั้นเป็นการแสดงถึงความสามารถในการใช้พลังงานแบบไกลโคไลติกซึ่งสมรรถภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งในกีฬาหลาย ๆ ประเภท โดยเฉพาะกีฬาที่มีการแข่งขันที่ใช้ความสามารถสูงสุดหรือกำลังความเร็วสูงสุดมีการทำงานซ้ำหลาย ๆ เที่ยวเป็นระยะเวลานาน เช่น ฟุตบอล บาสเกตบอล รักบี้ฟุตบอล หรือ สควอท เป็นต้น ดังนั้น สมรรถภาพอนากาศนิยมจึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับนักกีฬาฟุตบอล เนื่องจากแข่งขันฟุตบอลนั้นมีการใช้กำลังความเร็วสูงสุดตลอดระยะเวลาการแข่งขัน และมีการเคลื่อนไหวที่หลากหลายรูปแบบและหลายทิศทาง เช่น การกระโดด การโหม่ง การพุ่ง การวิ่งเร็วด้วยความเร็วสูงสุด (sprint) การวิ่งเข้ารับลูก และการกลับตัว เป็นต้น

Edwards (1997) กล่าวว่า กีฬาฟุตบอลเป็นเกมส์ที่มีความต้องการสมรรถภาพทางด้านการใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนในขณะแข่งขัน ผู้เล่นจะต้องใช้สมรรถภาพด้านไม่ใช้ออกซิเจนมาก เช่น การวิ่งเข้ารับลูก การวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ซึ่งจะก่อให้เกิดการขาดออกซิเจนและกรดแลคติคในกล้ามเนื้อ ร่างกายของนักกีฬาจึงต้องมีการปรับตัวสำหรับการออกกำลังกายที่มีความหนักสูง นักกีฬาฟุตบอลควรได้รับช่วงเวลาในการฟื้นตัวที่เพียงพอระหว่างการแข่งขันหรือออกกำลังกายที่มีความหนักสูง เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำงานออกไป

Jack and David (1993) กล่าวว่า ในบางครั้งนักฟุตบอลจะต้องทำงานหนักเกินกว่า 30 วินาที ระบบฟอสฟาเจนไม่สามารถทำงานต่อได้ ระบบไกลโคไลติก จึงต้องรับหน้าที่แทนในฐานะระบบพลังงานหลัก ทำให้เกิดผลเสีย คือ เกิดกรดแลคติคในกล้ามเนื้อ เป็นสาเหตุทำให้นักกีฬาเมื่อยล้า ดังนั้น สมรรถภาพอนากานิยมจึงเป็นตัวกำหนดขีดความสามารถการทำงานของกล้ามเนื้อ

วิทยา (2546) กล่าวว่า ฟุตบอลสมัยใหม่ผู้เล่นจะต้องเหนื่อยเพิ่มขึ้นเพราะเกมการแข่งขันจะเร็วขึ้นเรื่อย ๆ และมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ผู้เล่นจึงต้องมีกำลัง ความเร็วและความอดทนเพิ่มขึ้น ผู้เล่นที่มีสภาพร่างกายที่ดีจะเล่นได้อย่างมีประสิทธิภาพจนถึงปลายเกมการแข่งขัน การฟื้นตัวที่ดีจะส่งผลให้ผู้เล่นสามารถทำการแข่งขันได้นานขึ้น การวิ่งเร็วด้วยความเร็วสูงสุดของนักฟุตบอลนั้นเป็นการเคลื่อนที่ในระยะสั้น ๆ แต่ในบางครั้งการวิ่งเร็วด้วยความเร็วสูงสุดระยะสั้นจะกลายเป็นระยะยาวได้ ดังนั้น ผู้เล่นจึงต้องการความทนทานในการวิ่งเร็วด้วยความเร็วสูงสุดด้วย ดังนั้นนักกีฬาฟุตบอลจึงต้องการสมรรถภาพการทำงานแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจนไปพร้อม ๆ กัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริพร (2530) ทำการศึกษาเรื่องอัตราชีพจรและปริมาณแลคเตทในเลือดในช่วงฟื้นตัวโดยวิธีพักเฉย ๆ กับการพักแบบไม่หยุดนิ่ง ในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 15 คน โดยให้ทำการฟื้นตัวภายหลังการออกกำลังกายโดยการพักเฉย ๆ กับการพักแบบไม่หยุดนิ่งด้วยการ ปั่นจักรยานเบา ๆ และการก้มเงย โดยให้กลุ่มตัวอย่างปั่นจักรยานวัดงานติดต่อกันนาน 6 นาที แล้วให้หยุดพัก ดูระยะเวลาในการฟื้นตัวจากการทดลอง 3 วิธี คือ การพักเฉย ๆ การพักโดยถีบจักรยานเบา ๆ และการพักโดยการก้มเงย พบว่า ระยะเวลาในการฟื้นตัวทั้ง 3 วิธี มีความแตกต่างกัน ระยะเวลาในการฟื้นตัวโดยวิธีการถีบจักรยานเบา ๆ น้อยที่สุด รองลงมาเป็นของวิธีการก้มเงย และวิธีการนั่งพักเฉย ๆ ใช้เวลามากที่สุด โดยปริมาณของกรดแลคติคในเลือดของการฟื้นตัวทั้ง 3 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อนุรัต (2539) ได้ศึกษาผลของการนวดแบบลึกที่มีต่อการเคลื่อนย้ายกรดแลคติคและการฟื้นตัว กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครเพศชาย 60 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 30 คน ทำการปั่นจักรยานที่ความหนัก 85 % ของอัตราการเต้นของชีพจรสำรอง แล้วฟื้นตัวด้วยการนวดแบบลึกและให้นั่งพักเฉย ๆ พบว่า ผลของการนวดแบบลึกทำให้การเคลื่อนย้ายกรดแลคติคในโลหิต การฟื้นตัว และความสามารถในการทำงานของร่างกายภายหลังจากการฟื้นตัวดีขึ้น อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

อำพร (2544) ได้ศึกษาเรื่องผลของการพัก การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่และการซาวน่าที่มีต่อระดับกรดแลคติคในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจ ในกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาเพศชาย ของวิทยาลัยพลศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี อายุระหว่าง 17–19 ปี จำนวน 15 คน ให้กลุ่มตัวอย่างออกกำลังกายโดยการวิ่งบนลู่กล จนกระทั่งถึงระดับ anaerobic threshold ให้หยุดวิ่ง แล้วทำการเจาะเลือดและ

บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจทันที ต่อจากนั้นให้กลุ่มตัวอย่างพัก 10 นาที จึงเจาะเลือดและบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจอีกครั้ง ทำการทดลองตามลำดับขั้นตอนเดียวกัน โดยในการทดลองครั้งที่ 2 และ 3 กลุ่มตัวอย่างจะทำการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ และการซาวน่า ครั้งละ 10 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้ให้กลุ่มตัวอย่างพักระหว่างการทดลองแต่ละครั้งเป็นเวลา 1 วัน โดยทำการทดลองซ้ำวิธีละ 3 ครั้ง ผลการทดลอง พบว่า ระดับกรดแลคติคในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกายแล้วทำให้เย็นลง ด้วยการพัก การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ และการซาวน่า มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยที่ค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติคในเลือดและอัตราการเต้นของหัวใจที่ลดลงหลังการทำให้เย็นลงด้วยการพัก มีค่าเฉลี่ยของการลดลงน้อยที่สุด รองลงมา คือ การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ และการซาวน่า มีค่าเฉลี่ยของการลดลงมากที่สุด

พรพล (2547) ทำการศึกษาเรื่องผลของการพัก การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ และการเดินบนลู่กลระหว่างเซต ที่มีต่อระดับกรดแลคติคในเลือดระหว่างการฝึกด้วยแรงต้านกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬา เพศชายจำนวน 15 คน ให้กลุ่มตัวอย่างฝึกโดยใช้น้ำหนักเป็นแรงต้าน ในท่า knee extension ที่ความหนัก 10 RM จำนวน 10 ครั้ง 3 เซต พักระหว่างเซต 4 นาที ช่วงเวลาพักระหว่างเซตทำให้ร่างกายฟื้นตัวด้วยการพัก การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ และการเดินบนลู่กล ตามลำดับ ทั้งนี้ให้กลุ่มตัวอย่างพักระหว่างการทดลองแต่ละครั้งเป็นเวลา 2 วัน ทำการเจาะเลือดในขณะพัก หลังการฝึกเซตที่ 1 เซตที่ 2 และเซตที่ 3 และหลังการทำให้ร่างกายฟื้นตัวเซตที่ 1 เซตที่ 2 และเซตที่ 3 และหาผลต่างของระดับ ความเข้มข้นของกรดแลคติคในเลือดหลังการฝึกและหลังการฟื้นตัวของเซตที่ 1 เซตที่ 2 และเซตที่ 3 ของการทดลอง 3 วิธี พบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับกรดแลคติคในเลือดที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการฝึกด้วยแรงต้าน โดยการทำให้ร่างกายฟื้นตัว ในช่วงเวลาพักของเซตที่ 1 พบว่า การพักไม่แตกต่างกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ไม่แตกต่างกับการเดินบนลู่กล และการพักแตกต่างกับการเดินบนลู่กล ค่าเฉลี่ยของระดับแลคติคในเลือดที่เปลี่ยนแปลง ในช่วงเวลาพักของเซตที่ 2 และเซตที่ 3 พบว่า การพักแตกต่างกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่และการเดินบนลู่กล การเดินบนลู่กลไม่แตกต่างกับการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยที่อัตราการลดลงของระดับแลคติคในเลือดของการทำให้ร่างกายฟื้นตัวด้วยการเดินบนลู่กล มีการลดลงมากที่สุด

Bogdanis *et al.* (1995) ได้ทำการศึกษาเรื่องการฟื้นตัวของกำลังและการเผาผลาญพลังงานของกล้ามเนื้อจากการปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุด 30 วินาที ทำการศึกษาในเพศชายจำนวน 14 คน ทดสอบด้วยการปั่นจักรยาน 30 วินาที 2 ครั้ง ห่างกันด้วยการฟื้นตัว 1.5 นาที 3 นาที และ 6 นาที

ผลปรากฏว่า ระหว่างการฟื้นตัวค่า phosphocreatine เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ 65 เปอร์เซ็นต์ของขณะพักหลังจาก 1.5 นาที แต่จะมีค่าเพียง 85 เปอร์เซ็นต์ของขณะพักหลังจาก 6 นาที เปอร์เซ็นต์การสังเคราะห์ใหม่ของ phosphocreatine มีความสัมพันธ์ในระดับสูงที่ระดับนัยสำคัญ .05 กับค่ากำลังสูงสุดหลังจากการฟื้นตัวในนาทีที่ 1.5 และ 3 จากการวิจัยพบว่าการสังเคราะห์ใหม่ของ phosphocreatine นั้นมีความสำคัญสำหรับการฟื้นตัวของกำลังระหว่างการออกกำลังกายที่มีการเร่งความเร็วซ้ำ ๆ กันหลาย ๆ ครั้ง

Bogdanis *et al.* (1996) ได้ทำการศึกษาผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่มีต่อค่ากำลังระหว่างการปั่นจักรยานด้วยความเร็วสูงสุดซ้ำ ๆ กัน โดยให้ผู้เข้าร่วมการศึกษา เพศชาย จำนวน 13 คน ทดสอบด้วยการปั่นจักรยานเร่งความเร็วสูงสุด 30 วินาที จำนวน 2 ครั้ง ห่างกัน 4 นาที ในช่วง 4 นาทีจะทำการฟื้นตัวโดยการพักเฉย ๆ หรือการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (ปั่นจักรยานที่ 40 % ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด) โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างการฟื้นตัวโดยการพักเฉย ๆ กับการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวโดยการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวจะให้ผลของค่าเฉลี่ยกำลังระหว่างการเร่งความเร็วสูงสุดครั้งที่ 2 สูงกว่า อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ และอัตราการเต้นของหัวใจระหว่างการเร่งความเร็วสูงสุดครั้งที่ 2 ของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวมีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ ที่ระดับ .01 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการฟื้นตัวของกำลังระหว่างการออกกำลังกายจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการออกกำลังกายเบา ๆ ด้วยความหนักต่ำในระหว่างการออกกำลังกาย ซึ่งผลดีของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวนั้นจะช่วยเพิ่มการไหลเวียนของเลือดหลังจากการออกกำลังของกล้ามเนื้อ

Ahmaidi *et al.* (1996) ได้ทำการศึกษาเรื่องผลของการฟื้นตัวแบบการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่มีต่อ plasma lactate และพลังอนากาศนิยมจากการออกกำลังกายแบบซ้ำ ๆ โดยมีผู้เข้าร่วมการศึกษาเป็นชายจำนวน 10 คน ทำการออกกำลังกายแบบ intensive 6 วินาที ซ้ำ ๆ กัน กลุ่มตัวอย่างจะถูกสุ่มให้ทำการทดสอบด้วยการออกกำลังกายวิธีใดวิธีหนึ่ง คือ หลังการออกกำลังกายจะให้ฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ นาน 5 นาที และฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวนาน 5 นาที ที่ระดับ 32 % ของ maximal aerobic power ผลการศึกษาพบว่า ระดับ plasma lactate หลังการออกกำลังกายในแต่ละช่วงและนาทีที่ 5 ของการฟื้นตัว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ แต่ระดับ plasma lactate มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 หลังจากการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว สำหรับ

ค่ากำลังที่ระดับ 6 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ แล้วการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวจะทำให้ค่ากำลังที่ระดับ 6 กิโลกรัม และค่า peak anaerobic power มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวระหว่างการออกกำลังกายแบบซ้ำ ๆ จะลดความเข้มข้นของกรดแลคติคในเลือดขณะที่ใช้แรงต้านสูง และจะส่งผลให้ค่า anaerobic power ที่ออกมามีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

McMahon and Wenger (1998) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพด้านแอโรบิคกับกำลังและการฟื้นตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการออกกำลังวัตถุประสงค์ในการศึกษา คือ การแสดงความเชื่อมโยงระหว่างการปรับตัวด้านแอโรบิคและการฟื้นตัวกายแบบ maximal intermittent จากการออกกำลังกายระยะสั้นแบบ maximal และความสามารถในการคงค่ากำลังในระหว่างการแข่งขัน กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ คือ นักกีฬารักบี้และนักกีฬาฟุตบอลมหาวิทยาลัย จำนวน 20 คน กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดสอบโดยการปั่นจักรยานด้วยการเร่งความเร็วที่มีความหนักสูงสุด 15 วินาที จำนวน 6 ครั้ง พักระหว่างครั้งจะใช้การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว 90 วินาที ผลการศึกษาแสดงถึงความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การลดลงในค่ากำลังเฉลี่ย (mean power) จากการทดสอบครั้งที่ 5 และ 6 เปรียบเทียบกับการทดสอบครั้งที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .03 และมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การลดลงในค่ากำลังสูงสุด (peak power) จากการทดสอบครั้งที่ 5 และ 6 เปรียบเทียบกับการทดสอบครั้งที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .002 และมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .02 ระหว่างการลดลงในค่ากำลังเฉลี่ย และความแตกต่างของออกซิเจนใน arterial กับ venous จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดเป็นตัวกำหนดที่สำคัญของความสามารถในการออกกำลังกายแบบ intermittent และการฟื้นตัวระหว่างการทดสอบหรือการออกกำลังกายแบบ intermitten

Corder *et al.* (2000) ได้ทำการศึกษาผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวและการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ ที่มีต่อระดับกรดแลคติคในเลือด ระดับของการรับรู้ความเหนื่อย (RPE) และสมรรถภาพระหว่างการออกกำลังกายด้วยแรงต้าน ผู้เข้าร่วมการศึกษาเป็นเพศชาย จำนวน 15 คน ทำการทดสอบ 3 การทดสอบ แต่ละการทดสอบประกอบด้วยการฝึกโดยใช้ท่าสควอต (Squat) จำนวน 6 เซต ที่ความหนัก 85 % ของ 10 RM แต่ละเซตพัก 4 นาที โดยแต่ละเซตที่พักจะทำให้ร่างกายฟื้นตัวโดยการนั่งพัก และการปั่นจักรยานที่ความหนัก 25 % ของ OBLA และที่ 50 % ของ OBLA โดยใช้จักรยานวัดงาน ปั่นที่ความเร็ว 70 รอบต่อนาที ความสามารถวัดโดยหลังจากฝึก

ท่าสควอตในเซตสุดท้าย ให้กลุ่มตัวอย่างใช้ความหนัก 65 % ของ 10 RM ในการยกให้ได้จำนวนครั้งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ การเจาะเลือด จะเจาะตอนก่อนอบอุ่นร่างกาย หลังฝึกเซตที่ 2, 4 และ 6 และหลังวิธีการทำให้ฟื้นตัวเซตที่ 2, 4 และ 6 และหลังการยกให้ได้จำนวนครั้งสูงสุด ผลการทดลองพบว่า ระดับกรดแลคติคในเลือดและระดับของการรับรู้ความเหนื่อย (RPE) ระหว่างวิธีการทำให้ร่างกายฟื้นตัว โดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 25 % ของ OBLA ต่ำกว่า การนั่งพักเฉย ๆ และการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 % ของ OBLA และจำนวนครั้ง ที่สามารถยกได้มากที่สุด โดยที่การปั่นจักรยานที่ความหนัก 25 % ของ OBLA สามารถยกได้มากกว่าการนั่งพักเฉยๆ และการปั่นจักรยานที่ความหนัก 50 % ของ OBLA การศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่า วิธีการทำให้ฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวโดยการปั่นจักรยานที่ความหนัก 25 % ของ OBLA แสดงให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยที่มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อการลดระดับกรดแลคติคในเลือดระหว่างการฟื้นตัวและเพิ่มความสามารถในการแสดงออกของท่าสควอต

Tomlin and Wenger (2001) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพด้านแอโรบิค (aerobic fitness) และการฟื้นตัวจากการออกกำลังกาย การศึกษาครั้งนี้พบว่าการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงและมีการแข่งขันซ้ำ ๆ สมรรถภาพด้านแอโรบิคมีความสำคัญในการเพิ่มการใช้ออกซิเจนในการออกกำลังกาย และการทำให้การสังเคราะห์ phosphocreatine ขึ้นมาใหม่สมบูรณ์นั้นขึ้นกับ fast EPOC และ power recovery ความสัมพันธ์ระหว่าง power recovery และสมรรถภาพด้านแอโรบิค มีความสัมพันธ์อย่างมากวัดโดยใช้เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสมรรถภาพด้านแอโรบิคจะช่วยเพิ่มการฟื้นตัว จากการออกกำลังกายที่มีความหนักสูงเป็นครั้งคราว (intermittent exercise) ทั้งยังช่วยในการกำจัดกรดแลคติคออกและการสังเคราะห์ phosphocreatine เพิ่มขึ้นด้วย

Dupont *et al*. (2003) ได้ทำการศึกษาเรื่องสมรรถภาพสำหรับการวิ่งระยะสั้นแบบ intermittent ต่อการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวและการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ วัตถุประสงค์ในการศึกษาคือ เพื่อเปรียบเทียบผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวและการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ ต่อเวลาที่ใช้ในการวิ่งแบบ intermittent 15 วินาที จนเหนื่อย ที่ความเร็วระดับ supramaximal (120 % ของ maximal aerobic speed) ผู้เข้าร่วมการทดลองเป็นเพศชายจำนวน 12 คน จะได้รับการทดสอบคือ การวิ่งแบบ intermittent จนกระทั่งเหนื่อยพร้อมกับการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ 50 % ของ maximal aerobic speed และ การวิ่งแบบ intermittent จนกระทั่งเหนื่อยพร้อมกับการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ ผลการศึกษาพบว่าการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ จะทำให้วิ่งได้ยาวนานกว่าการฟื้นตัว

แบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .001 แสดงให้เห็นว่าการวิ่งแบบ intermittent พร้อมกับการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว มีความต้องการพลังงานสูงกว่าการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .001 และ ในปี ค.ศ. 2004 Dupont *et al.* ได้ทำการศึกษาเรื่องการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวและการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ ระหว่างการออกกำลังกายแบบ high intensity intermittent ในเพศชายจำนวน 12 คน ทำการทดสอบโดยการออกกำลังกายแบบ intermittent 15 วินาที และหมุนเวียนด้วยการฟื้นตัว 15 วินาที การฟื้นตัวจะเป็นแบบการพักเฉย ๆ หรือการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว ที่ 40 % ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด การทดสอบจะทำจนเหนื่อย 2 ครั้ง ผลการศึกษาพบว่า เวลาที่ใช้ในการออกกำลังกายแบบ intermittent หมุนเวียนด้วยการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ จะยาวนานกว่าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .001 เมื่อเทียบกับการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และค่า mean metabolic power ของการฟื้นตัวแบบการพักเฉย ๆ จะมีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .001 เมื่อเทียบกับการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวซึ่งสอดคล้องกับระยะเวลาในการออกกำลังกายที่ยาวนานขึ้น

Dorado *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาเรื่องผลของรูปแบบการฟื้นตัวที่มีต่อสมรรถภาพ อัตราการใช้ออกซิเจนและการขาดออกซิเจน (O_2deficit) ระหว่างการออกกำลังกายแบบ high intensity intermittent ผู้เข้าร่วมการศึกษาเป็นนักเรียนพลศึกษาจำนวน 10 คน ทำการทดสอบ high intensity intermittent ที่แตกต่างกัน 3 แบบ แต่ละแบบประกอบด้วยการปั่นจักรยาน 4 รอบ จนกระทั่งเหนื่อยที่ 110 % ของ maximal power output ช่วงการฟื้นตัวระหว่างรอบคือ 5 นาที รูปแบบการฟื้นตัวจะแตกต่างกันในแต่ละแบบการทดสอบ คือ การปั่นจักรยานที่ 20 % ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และการนอนหงาย ผลการศึกษาพบว่าการฟื้นตัวด้วยการปั่นจักรยานที่ 20 % ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีสมรรถภาพการแสดงออก 3-4 % และให้พลังงานแบบแอโรบิค 6-8 % ที่ระดับนัยสำคัญ .05 มีค่าสูงกว่าการฟื้นตัวทั้ง 2 แบบที่ได้รับในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวจะสนับสนุนการแสดงออกทางสมรรถภาพโดยการเพิ่มการสนับสนุนด้านแอโรบิคต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ได้รับทั้งหมดระหว่างการออกกำลังกายแบบ high intensity intermittent

Tessitore *et al.* (2004) ทำการศึกษาเรื่องผลของการฟื้นตัวที่แตกต่างกันจากการฝึกฟุตบอล โดยมีวัตถุประสงค์ คือ การหาวิธีการฟื้นตัวที่เหมาะสมที่สุดจากการฝึกฝนฟุตบอลในช่วงก่อนฤดูการแข่งขัน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักฟุตบอลเยาวชนจำนวน 12 คน กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการฝึกฟุตบอลทุกวัน วันละ 2 รอบ รอบละ 2 ชั่วโมง มีช่วงพัก 5 ชั่วโมง เก็บข้อมูล 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เป็นเวลา 2

สัปดาห์ รูปแบบการฝึกแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกของการฝึกจะเป็นรูปแบบการฝึก 100 นาที ประกอบด้วยการอบอุ่นร่างกาย 15 นาที การฝึกเทคนิคเฉพาะบุคคล 20 นาที การฝึกเทคนิคเป็นกลุ่ม 20 นาที การฝึกเทคนิคเป็นทีม 20 นาที และการฝึกเป็นวงจร 20 นาที หลังการฝึกในช่วงแรกกลุ่มตัวอย่างจะถูกสุ่มให้ได้รับรูปแบบการฟื้นตัว 1 วิธี จาก 4 วิธี คือ การนั่งพักผ่อน การออกกำลังกายที่ความหนักต่ำแบบ dry aerobic การออกกำลังกายที่ความหนักต่ำแบบ water aerobic และ การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า ก่อนการฝึกและหลังการฟื้นตัวในแต่ละรอบ กลุ่มตัวอย่างจะได้รับการทดสอบ counter movement jump, squat jump, stiffness และ การวิ่ง 10 เมตร ผลการศึกษาพบว่า วิธีการฟื้นตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับ squat jump คือ การออกกำลังกายที่ความหนักต่ำแบบ water aerobic มีการฟื้นตัว 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ counter movement jump คือ การออกกำลังกายที่ความหนักต่ำแบบ dry aerobic การออกกำลังกายที่ความหนักต่ำแบบ water aerobic และ การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า มีการฟื้นตัว 93 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับ stiffness คือ การนั่งพักผ่อน และ การกระตุ้นด้วยไฟฟ้า มีการฟื้นตัว 83 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการวิ่ง 10 เมตร ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าการทำให้ร่างกายฟื้นตัวด้วยการมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวสามารถทำให้ร่างกายเกิดการฟื้นตัวได้ดีกว่าการนั่งพัก แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าการฟื้นตัวที่ระดับความหนักเท่าใดจึงจะดีต่อการฟื้นตัวที่สุด ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลจากงานวิจัยเหล่านี้ เป็นกรอบแนวความคิดและการปฏิบัติของงานวิจัย รวมถึงการนำไปใช้ในการสนับสนุนผลการวิจัยครั้งนี้ต่อไป