

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

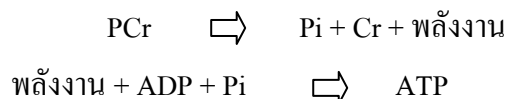
1. พลังงานสำหรับการออกกำลังกาย
2. กรดแลคติก
3. ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ
4. การรับรู้ความเจ็บปวด
5. อัตราการเต้นของหัวใจ
6. การฟื้นตัวจากการออกกำลังกาย

พลังงานสำหรับการออกกำลังกาย

Wilmore, Costill and Kenney (2008) กล่าวว่า ในการออกกำลังกายนั้น กล้ามเนื้อจะใช้พลังงานจากสารชนิดหนึ่ง คือ ATP (Adenosine triphosphate) ซึ่งเป็นสารให้พลังงานสำหรับกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะในกล้ามเนื้อเองนั้นมีปริมาณ ATP อยู่เล็กน้อยเพียงพอที่จะใช้ได้ประมาณ 3 ถึง 15 วินาที ดังนั้นถ้าต้องการให้กล้ามเนื้อทำงานต่อไปเรื่อย ๆ จึงต้องมีการสร้าง ATP ขึ้นมาใหม่ โดยอาศัยสารพลังงานและปฏิกิริยาอื่น ๆ ดังที่ (พิชิต ภูติจันทร์, 2535) ได้สรุปและเสนอแนะไว้ดังนี้

ระบบเอทีพี-พีซี (ATP-PCr system)

ในระบบเอทีพี-พีซีนี้ ได้พลังงานมาจาก ATP ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของสารประกอบ PCr (Phosphocreatine) โดยผลผลิตที่ได้ก็คือ ฟอสเฟตอินทรีย์ (Pi) และครีเอทีน (Cr) ซึ่งให้พลังงานในทันที และพลังงานที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เอทีพีขึ้นมาใหม่ ดังสมการ

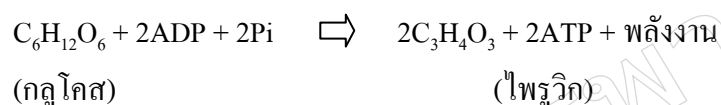


แต่ Phosphocreatine ในกล้ามเนื้อมีจำนวนจำกัด ถ้าใช้ติดต่อกันจะหมดไป ภายในช่วงเวลาไม่เกิน 30 วินาที ซึ่งกีฬาที่อยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้ คือ วิ่ง 100 เมตร ยกน้ำหนัก กระโดดสูง และว่ายน้ำ 50 เมตร เป็นต้น

ระบบกรดแลคติก (Lactic acid system)

ระบบนี้อาจเรียกอีกอย่างว่า “แอนแอโรบิกไกลิโคลไรซิส” (Anaerobic glycolysis)

ระบบนี้เป็นการสลายกลูโคสโดยไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งเป็นการเผาผลาญกลูโคสที่ไม่สมบูรณ์ โดยกลูโคส 1 โมเลกุล (มีคาร์บอน 6 อะตอม) จะเปลี่ยนเป็นไพรูวิก 2 โมเลกุล ซึ่งมีคาร์บอน 3 อะตอม ดังสมการ



เมื่อกลูโคสเปลี่ยนเป็นไพรูวิกแล้ว ไพรูวิกจะเปลี่ยนเป็นแลคติก ซึ่งในกระบวนการนี้จะก่อให้เกิดพลังงานและของเสีย คือ กรดแลคติก และคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับกีฬาที่อยู่ในกลุ่มของการใช้พลังงานรูปแบบนี้คือ วิ่ง 400-800 เมตร ว่ายน้ำ 100-300 เมตร และยิมนาสติก เป็นต้น ซึ่งพลังงานระบบนี้มีขีดความสามารถในการทำงานภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 นาที

ระบบแอโรบิก (Aerobic system)

ระบบนี้อาจเรียกอีกอย่างว่า “แอโรบิกไกลิโคลไรซิส” (Aerobic glycolysis) เป็นการสลายกลูโคสโดยการใช้ออกซิเจน ในระบบแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกันดังนี้

3.1 การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน การสลายกลูโคสจนได้กรดไพรูวิกนั้นเกิดขึ้นในซาร์โคพลาสซึมของเซลล์กล้ามเนื้อในทุกสภาวะและยังไม่ใช้ออกซิเจนผลิตที่ได้ คือ

3.1.1 ได้กรดไพรูวิก 2 โมเลกุล

3.1.2 ได้พลังงานเอทีพีสุทธิ 2 โมเลกุล

3.1.3 เกิดไฮโดรเจน 4 อะตอม โดยมี NAD^+ (Nicotinamide adenine dinucleotide)

มารับไปกลายเป็น NADH_2 จำนวน 2 โมเลกุล สำหรับกรดไพรูวิก 2 โมเลกุลที่เกิดขึ้นจะถูก

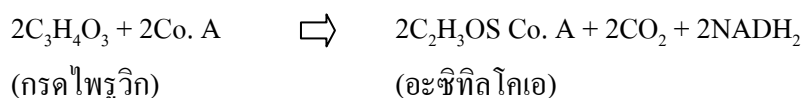
เปลี่ยนเป็น อะซิติลโคเอนไซม์เอ (Acetyl coenzyme A) เพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) ซึ่งเกิดในไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ต่อไป

3.2 การสังเคราะห์อะซิติลโคเอนไซม์เอ (Acetyl coenzyme A synthesis) โดยกรดไพรูวิกแต่ละโมเลกุลจะถูกเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอนไซม์เอ หรือเรียกว่า อะซิติลโคเอ (Acetyl Co. A) โดยกลุ่มเอนไซม์หลายชนิดได้ผลิต คือ

3.2.1 เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมเลกุล แต่จากกลูโคส 1 โมเลกุล ทำให้เกิดกรดไพรูวิก 2 โมเลกุล ดังนั้นจึงได้คาร์บอนไดออกไซด์รวม 2 โมเลกุลต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส

3.2.2 เกิดไฮโดรเจนขึ้น 4 อะตอม ซึ่งรวมกับ NAD^+ กลายเป็น NADH_2 1 โมเลกุล
ดังนั้นจึงได้ NADH , จำนวน 2 โมเลกุล

3.2.3 สมการของปฏิกิริยาในขั้นตอนนี้ คือ



3.2.4 อะซิทิลโคเอน หากไม่เข้าสู่วัฏจักรเครบส์ อาจเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน ไกลโคเจน หรือโปรตีนก็ได้

3.3 วัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) โดยกรดไพรูวิกที่ได้จากการสลายกลูโคสโดยใช้ ออกซิเจน จะเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอ และแตกตัวต่อไปในอนุกรมของปฏิกิริยาที่เรียกว่า เครบส์ ไซเคิล หรือ วัฏจักรเครบส์ ในวัฏจักรเครบส์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขึ้น 2 ประการ คือ การ ผลิตรับอนไดออกไซด์และออกซิเดชั่น เช่น การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของกรดไพรูวิกที่ได้จาก การสลายกลูโคสมิได้เข้าไปในวัฏจักรเครบส์ แต่จะเปลี่ยนเป็นอะซิติลโคเอก่อนจึงจะเข้าสู่ วัฏจักรเครบส์ จะมีอนุกรมปฏิกิริยา ดังนี้

3.3.1 ปฏิกริยา A กรดไพรูวิก ถูกออกซิไดซ์โดยคาร์บอนไดออกไซด์ และอะซิติลโคเอนเอ และมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH_2 ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป โดยอะซิติลโคเอนทำปฏิกิริยากับกรดออกซาลิโคแอซิด ได้เป็นกรดซิตริกส่วนโคเอนไซม์เอ จะแยกตัวออกไปเพื่อรวมกับกรดไพรูวิก โมเลกุลใหม่ของกรดซิตริกปรับโครงสร้างเป็นกรดซิต-อะโคนิก แล้วจึงปรับโครงสร้างใหม่อีกครั้งได้เป็นกรดไอโซซิตริก

3.3.2 ปฏิกิริยา B กรดไอโซซิเตรริกเปลี่ยนเป็นออกซาโลซินิก และมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH , ซึ่งจะเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป

3.3.3 ปฏิกริยา C กรดออกซาลอซัลโฟนิก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดซัลโฟนิกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีก 1 โมเลกุล และเปลี่ยนเป็นกรดแอลฟา-คีโตนกลูตาริก

3.3.4 ปฏิกิริยา D กรดแอลฟา-คีโตนกลูตาริก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดซักซินิก

คาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอีก 1 โมเลกุล และมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH_2 เข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป ในกระบวนการนี้ จะได้พลังงานออกมามากพอที่จะรวมเอาหมู่ฟอสเฟตอนินทรีย์เข้ากับเอดีพีจะได้เป็นเอทีพี

3.3.5 ปฏิกิริยา E กรดซักซินิก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดฟูมาริก โดย FAD (Flavin adenine dinucleotide) มารับ H^+ เป็น FADH, เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป แล้วกรด

ฟูมาริก จะเปลี่ยนเป็นกรดมาลิก

3.3.6 ปฏิกริยา F กรดมาลิก ถูกออกซิไดซ์เป็นกรดออกซาโลเอซีติก โดยมี NAD^+ มารับ H^+ ได้เป็น NADH_2 เพื่อเข้าสู่ระบบขนส่งอิเล็กตรอนต่อไป แล้วกรดออกซาโลเอซีติก จะไปรวมกับอะซิetyl โคเอ โมเลกุลกลายเป็นกรดซิตริกได้อีกเพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์รอบใหม่

ดังนั้น อะซิetyl โคเอ 2 โมเลกุล (จากกลูโคส 1 โมเลกุล) จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์ปลดปล่อยออกมา 4 โมเลกุล เมื่อรวมกับ 2 โมเลกุล ของคาร์บอนไดออกไซด์ จากการสร้างอะซิetyl โคเอ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ 6 โมเลกุล อาจกล่าวได้ว่า คาร์บอนทั้ง 6 ตัว ในกลูโคสถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด และจะถูกขนส่งออกนอกเซลล์ต่อไป

ในวัฏจักรเครบส์ จะมีปฏิกริยาที่ปลดปล่อยไฮโดรเจนออกมา 4 ปฏิกริยาในจำนวนนี้ จะมี 3 ปฏิกริยาที่มี NAD^+ มาเป็นตัวรับ H^+ และอีก 1 ปฏิกริยาที่มี FAD มารับ H^+ จะเห็นได้ว่าในวัฏจักรเครบส์ยังไม่มีการใช้ออกซิเจน สรุปสมการรวมในวัฏจักรเครบส์ ดังนี้



3.4 ระบบขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport system) โดยระบบขนส่งอิเล็กตรอนในช่วงนี้เรียกว่า โซ่การหายใจ (Respiratory chain) ในระบบขนส่งอิเล็กตรอนทั้งอิเล็กตรอน และไฮโดรเจนไอออนจะถูกถ่ายทอดจากสารประกอบหนึ่งไปยังสารประกอบถัดไป พลังงานที่ใช้ในการขนส่งอิเล็กตรอนได้จาก 3 ปฏิกริยา คือ ปฏิกริยา A, D และ G ในวัฏจักรเครบส์ พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์ ATP จาก ADP และใช้ในการสังเคราะห์แสง

จากข้อมูลที่ปรากฏสรุปว่าในระบบออกซิเจนทั้ง 4 ขั้นตอน คือ การสลายกลูโคสโดยใช้ออกซิเจน การสร้างอะซิetyl โคเอ วัฏจักรเครบส์ และการขนส่งอิเล็กตรอน เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและสัมพันธ์กัน จะเห็นได้ว่าออกซิเจนจะเข้าไปรวมกับปฏิกริยาในขบวนการขนส่งอิเล็กตรอนเป็นส่วนใหญ่ และในขบวนการอื่น ๆ ออกซิเจนไม่เข้าร่วมในปฏิกริยาเลย ดังนั้นก็พาทึจัดอยู่ในระบบการใช้พลังงานรูปแบบนี้ คือ วิ่ง 5,000 เมตร วิ่งมาราธอน ฟุตบอล และบาสเกตบอล เป็นต้น ซึ่งระบบการสร้างพลังงานนี้ ไม่มีขีดจำกัดในเรื่องของเวลาหากมีสารตั้งต้น (Substrate) ที่ เป็นแหล่งของพลังงานและออกซิเจนเพียงพอ

ตารางที่ 2-1 การสร้างพลังงานในร่างกายขณะออกกำลังกาย (ประทุม ม่วงมี, 2527)

สิ่งเปรียบเทียบ	Anaerobic		Aerobic
	ATP-PCr system	Lactic acid system	Oxygen system
1. ตัวอย่างการออกกำลังกายที่อาศัยระบบการสร้างพลังงานนั้น ๆ เป็นหลัก	วิ่ง 100 เมตร ยกน้ำหนัก	วิ่ง 400-800 เมตร	วิ่งมาราธอน
2. Substrate หลัก	ATP และ Phosphocreatine	Glucose และ Glycogen	Glycogen, Fats และ Proteins
3. ชีตจำกัดเวลา	ประมาณ 3-15 วินาที	ประมาณ 2 นาที	ไม่มีชีตจำกัดระยะเวลา หากมี Substrate และ ออกซิเจนเพียงพอ

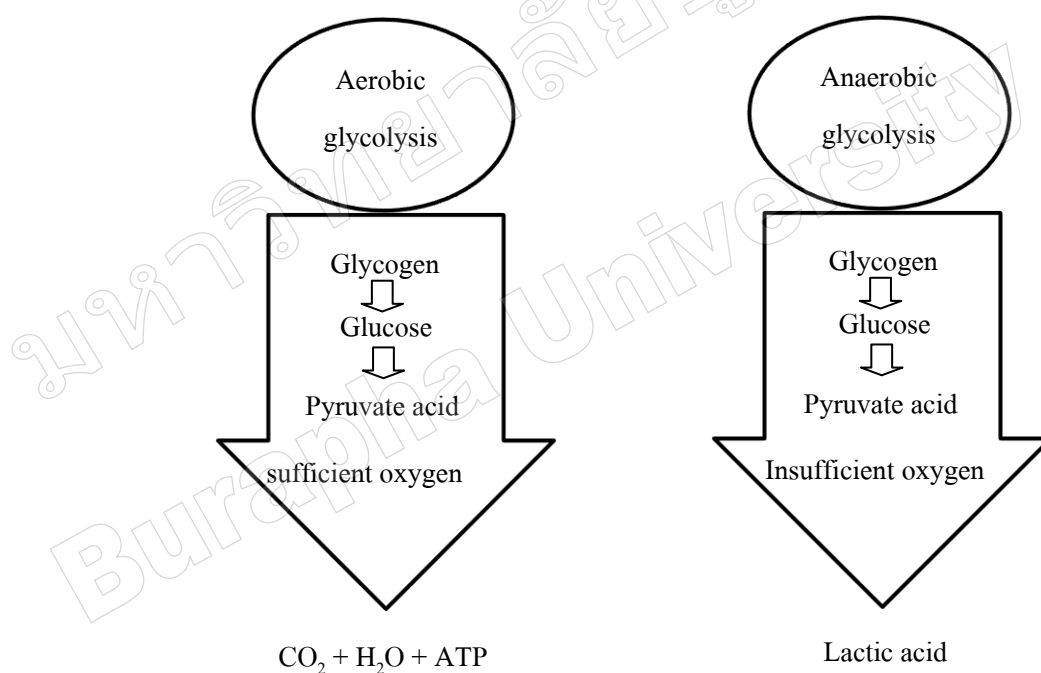
ธีระศักดิ์ อาภาวัฒนาสกุล (2552) กล่าวว่า ในการฝึกซ้อมหรือการแข่งขันกีฬาแต่ละประเภทนั้น มีความต้องการพลังงานที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของการออกกำลังกายหรือการแข่งขันกีฬา ซึ่งการออกกำลังกายและกีฬางานประเภทอาจต้องใช้ระบบพลังงานทั้ง 3 ระบบ ตามกิจกรรมการเคลื่อนไหว ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. การออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิก ได้แก่ วิ่งระยะสั้น ระยะกลาง และกีฬาประเภทพุ่ง ทูม ขว้าง เป็นต้น แหล่งพลังงานที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต รองลงมา คือ ไขมัน ส่วนโปรตีนนั้นเกี่ยวข้องน้อยมาก ดังนั้นการสร้างพลังงานในระบบ ATP-PCr และ Lactic acid จึงปราศจากการใช้ออกซิเจนตลอดช่วงของการออกกำลังกาย ทำให้มีกรดแลคติกสะสมมาก

2. การออกกำลังกายแบบเอโรบิก ได้แก่ วิ่งระยะไกล ฟุตบอล บาสเกตบอล เป็นต้น แหล่งพลังงานที่สำคัญ คือ คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ในระยะแรกของการออกกำลังกายพลังงานที่สำคัญได้มาจากการสลายไกลโคเจน แต่ในตอนที่ร่างกายจะใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานหลัก เนื่องจากไกลโคเจนที่เก็บสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและตับถูกใช้หมดไป ดังนั้นในการออกกำลังกายประเภทนี้ ATP-PCr ส่วนใหญ่จะได้มาจากการในระบบ Oxygen และการสร้างในระบบ ATP-PCr และ Lactic acid จะเกี่ยวข้องเพียงในระยะเริ่มต้นออกกำลังกายเท่านั้น ทำให้กรดแลคติกไม่มีการสะสมและเพิ่มปริมาณสูงขึ้น

กรดแลคติก

Katch et al. (2011) กล่าวว่า การสลายกลูโคสเพื่อให้ได้พลังงานโดยกระบวนการ Glycolysis ผลสุดท้ายที่ได้เป็น Pyruvate, ATP และ NADH โดย NADH จะต้องส่งอิเล็กตรอนผ่าน Mitochondrial membrane เข้าไปใน Mitochondrial matrix เพื่อให้ได้พลังงาน ส่วน Pyruvate จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) เพื่อให้ได้พลังงานออกมาในรูปของ ATP, NADH และ FADH หลังจากนั้น NADH และ FADH ที่ได้จาก Mitochondrial รวมทั้ง NADH ที่ได้จากกระบวนการ Glycolysis จะผ่านเข้าสู่ขบวนการ Oxidative phosphorylation เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่มีพลังงานสูง คือ ATP (Adenosine triphosphate)

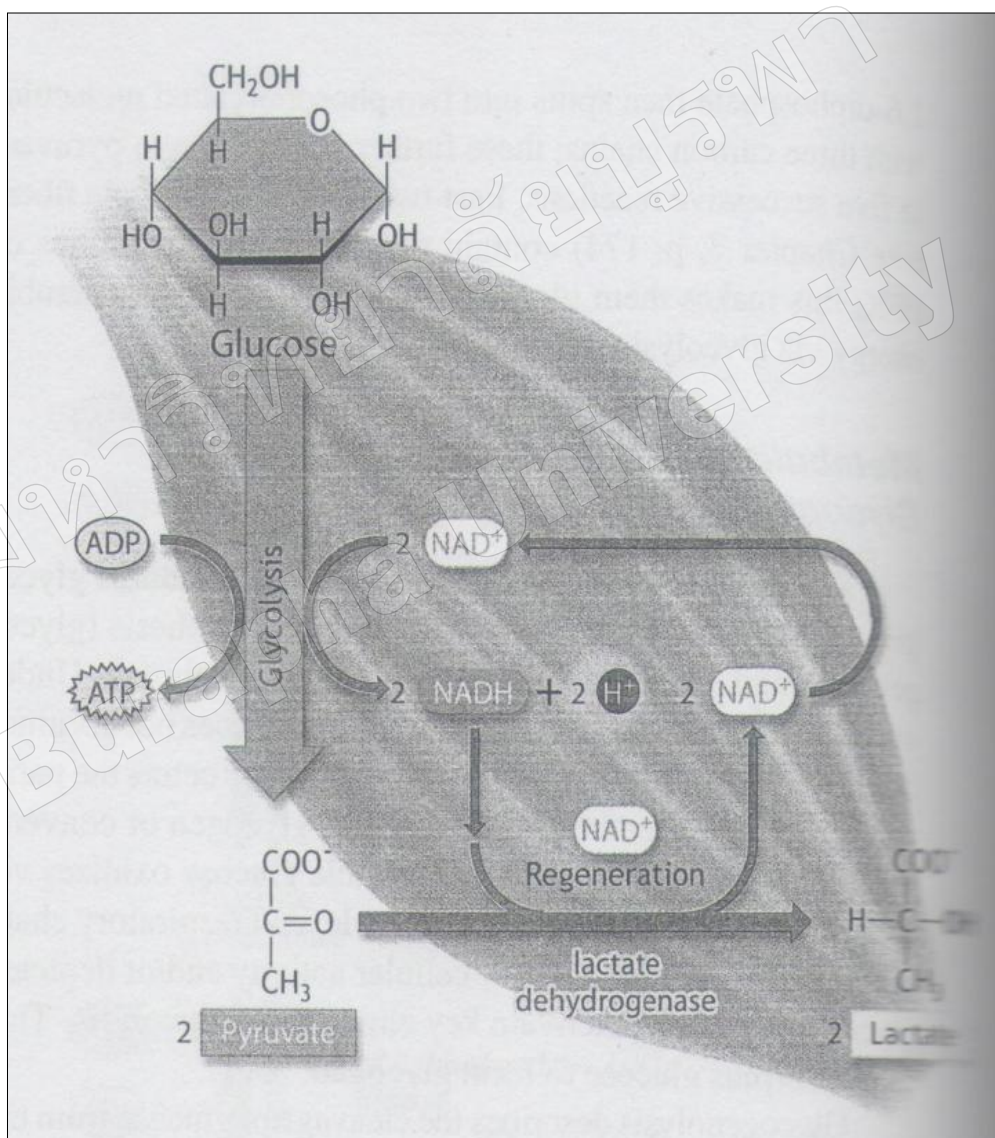
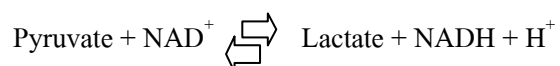


ภาพที่ 2-1 เส้นทางการสร้างพลังงานแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก (Fox & Mathews, 1981)

ขบวนการ Oxidative phosphorylation จะเกิดขึ้นได้สมบูรณ์ต้องมีออกซิเจนเป็นตัวรับส่งอิเล็กตรอนในขั้นตอนสุดท้ายของขบวนการ ดังนั้นในภาวะที่ร่างกายขาดออกซิเจน ไม่ว่าจะด้วยสาเหตุใดก็ตามจะทำให้ขบวนการ Oxidative phosphorylation หยุดลง และมีสาร NADH และ FADH คั่งอยู่ภายใน Mitochondrial matrix ซึ่งมีผลทำให้ Kreb's cycle หยุดลง Pyruvate ไม่สามารถเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ได้ จึงถูกเปลี่ยนเป็น Lactate โดยเอนไซม์ Lactate dehydrogenase และสามารถ

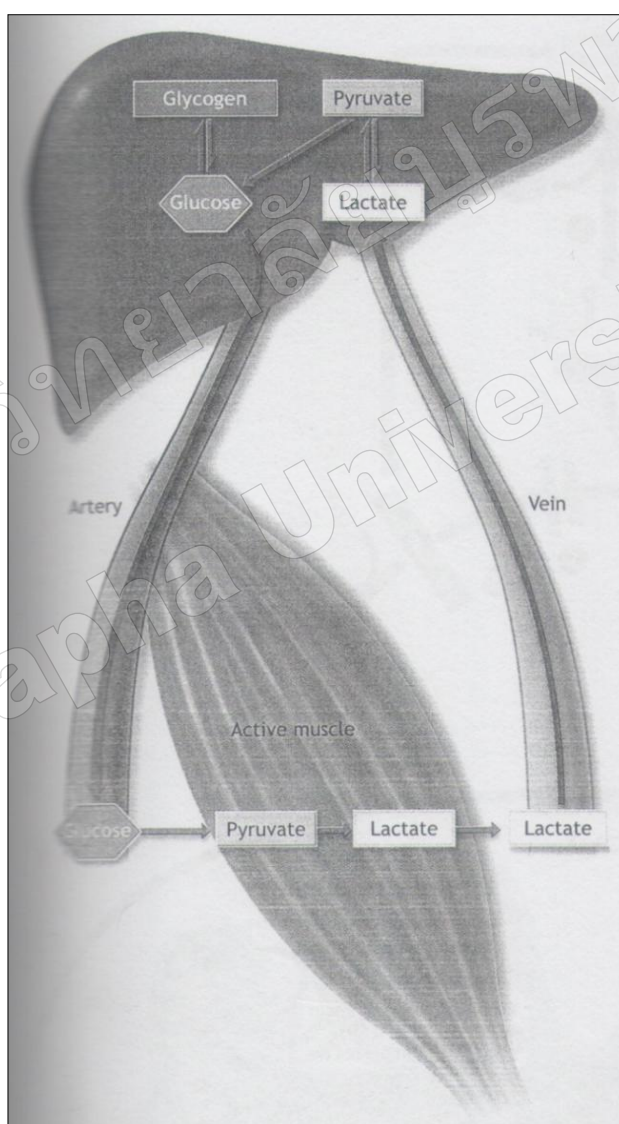
เปลี่ยนกลับไปเป็นกลูโคสได้โดยเข้าสู่กระบวนการ Gluconeogenesis ซึ่ง Lactate จะเปลี่ยนเป็น Pyruvate โดยเอนไซม์ Lactate dehydrogenase เช่น ดังสมการ

(Lactate dehydrogenase)



ภาพที่ 2-2 การเกิด Lactate ในกล้ามเนื้อ ซึ่งเปลี่ยนจาก Pyruvate เป็น Lactate โดยเอนไซม์ Lactate dehydrogenase (McArdle et al., 2007)

ในร่างกายแหล่งที่เกิด Lactate คือ กล้ามเนื้อและเม็ดเลือดแดง ซึ่งกล้ามเนื้อและเม็ดเลือดแดงนั้น ไม่สามารถเปลี่ยน Lactate เป็น Pyruvate ได้เองจึงต้องส่ง Lactate เข้าสู่กระแสโลหิตไปยังตับ ด้วยเหตุนี้ตับจึงทำหน้าที่เปลี่ยนเป็นกลูโคสโดยผ่านขบวนการ Gluconeogenesis แล้วจึงส่งกลูโคสกลับเข้าสู่กระแสโลหิตไปให้กล้ามเนื้อและเม็ดเลือดแดงใช้ต่อไปและสามารถเก็บสะสมให้อยู่ในรูปของกลูโคสในตับและไกลโคเจนในกล้ามเนื้อได้ วัฏจักรดังกล่าวเรียกว่า Cori cycle



ภาพที่ 2-3 วัฏจักร Cori cycle โดยตับจะทำหน้าที่เปลี่ยนจาก Lactate ไปเป็นกลูโคสหรือไกลโคเจน เพื่อให้กล้ามเนื้อและตับได้ใช้ในการทำงานต่อไป (McArdle et al., 2007)

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติทางกายภาพและชีวเคมีของกรดแลคติก (Robergs, Ghiasvand & Parker, 2004)

Property	Value
Chemical formula	CH ₃ -CHOH-COOH
Molecular wt (g/mol)	89.0
Solubility	Water, ethnol and ethyl ether
pKa (37 C°)	3.87
Heat of combustion	321 Kcal/ mol

หมายเหตุ: The pKa varies with temperature and the ionic strength of the solution.

Hogan, Gladden, Kurdak and Poole (1995) แนะนำว่า การเจาะเลือดภายหลังสิ้นสุดการออกกำลังกายจะต้องดำเนินการให้เร็วที่สุด ซึ่งจะต้องทำการเจาะทันทีหรือไม่เกิน 5 นาที เพื่อให้ค่าของกรดแลคติกที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด (Hermansen & Stensvold, 1972) สอดคล้องกับ Bonen and Belcastro (1976) พบว่า ค่าครึ่งชีวิต หรือเรียกว่า Half-life ของกรดแลคติก จะมีค่าเท่ากับ 15-25 นาที และกรดแลคติกจะกลับสู่ภาวะเกือบปกติใน 60 นาที หลังจากการออกกำลังกาย และ Kruse and Carlson (1987) อธิบายว่า ปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 50 จะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสโดยผ่านกระบวนการ Gluconeogenesis และอีกร้อยละ 50 จะถูกย่อยสลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในขั้นตอน Cori cycle โดยจะมีเพียงตับและไตเท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนกรดแลคติกไปเป็นกลูโคสได้ เนื่องจากมีเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ดังกล่าว

Coats, Smith, Lockey and Russell (2002) กล่าวว่า การวิเคราะห์กรดแลคติกในเลือดด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบพกพา (Accusport) และแผ่นทดสอบสำเร็จรูปเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ค่าใช้จ่ายค่อนข้างถูก และมีความน่าเชื่อถือเทียบเท่ากับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) เช่นเดียวกับ Pattharanitima et al. (2011) พบว่า การวิเคราะห์หาระดับกรดแลคติกด้วยเครื่องตรวจแบบพกพา จากหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดแดงฝอยบริเวณปลายนิ้ว มีความสัมพันธ์กันในระดับที่ดีและมีความเป็นไปได้ด้วยกัน (Brinkert, Rommes & Bakker, 1999; Buckley, Bourdon & Woolford, 2002; Pyne, Boston, Martin & Logan, 2000)

ในปัจจุบันพบว่า การวิเคราะห์หาระดับของกรดแลคติกในเลือดเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่ามาใช้ประเมินความสามารถของนักกีฬา โดยอาศัยการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบพกพาและแผ่นทดสอบสำเร็จรูป ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบพกพาและแผ่นทดสอบสำเร็จรูป ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ระดับกรดแลคติกในเลือดด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบพกพาและแผ่นทดสอบสำเร็จรูป จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ระดับกรดแลคติกที่เกิดขึ้นทั่วทั้งร่างกายได้เช่นกัน

บทบาทของกรดแลคติกในการออกกำลังกาย

Astrand and Radahl (1970) ได้เสนอแนะว่า การสร้างกรดแลคติกจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนและความเข้มข้นของการออกกำลังกาย ซึ่งได้สรุปไว้ ดังนี้

1. ภาวะออกกำลังกายเบา ๆ (Light exercise) ร่างกายมักไม่มีปัญหาในเรื่องปริมาณของออกซิเจน เพราะออกซิเจนที่มีสะสมอยู่บางส่วนเล็กน้อยบวกกับออกซิเจนที่ระบบหายใจ และระบบไหลเวียนโลหิต สามารถที่จะขนส่งไปยังกล้ามเนื้อในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการได้ ดังนั้นกรดแลคติกจึงถูกสร้างขึ้นน้อยมาก
2. ภาวะออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นปานกลาง (Exercise of moderate intensity) ร่างกายจะสร้างพลังงานแบบ Anaerobic ในระยะเริ่มต้นของการออกกำลังกายจนกระทั่งการสร้างพลังงานแบบ Aerobic เข้ามามีบทบาทในการสร้างพลังงานแทนเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ซึ่งกรดแลคติกที่ถูกสร้างขึ้นมาจะฟุ้งกระจายเข้าสู่เส้นเลือด และเมื่อการออกกำลังกายในลักษณะนี้ดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ ปริมาณกรดแลคติกจะลดน้อยลงจนถึงระดับที่เท่ากับสภาวะปกติ
3. ภาวะออกกำลังกายที่หนัก (Heavy exercise) ร่างกายเริ่มจะมีปัญหาเกี่ยวกับปริมาณของออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการที่จะนำไปใช้ในการสร้างพลังงาน ทำให้กรดแลคติกถูกสร้างมากขึ้น และพบกรดแลคติกสะสมในกล้ามเนื้อและเลือดในปริมาณที่สูง
4. ภาวะออกกำลังกายที่หนักมาก (Severe exercise) ร่างกายจะมีปัญหามากขึ้น โดยที่ปริมาณของออกซิเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการหรือปริมาณที่ขาดหายไป (Oxygen deficit) มีจำนวนมากขึ้น การออกกำลังกายในลักษณะนี้นักดำเนินต่อไปได้ไม่เกิน 2-3 นาที เพราะกล้ามเนื้อไม่สามารถทำหน้าที่ต่อไปได้ สอดคล้องกับ Powers and Howley (2009) กล่าวว่า เมื่อมีกรดแลคติกเกิดขึ้นในเซลล์กล้ามเนื้อ ภายในเซลล์จะมีสภาวะเป็นกรดมากขึ้น ทำให้การปล่อยแคลเซียม (Ca^{++}) จาก Sarcoplasmic reticulum ลดลง และจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Phosphofructokinase ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญของกระบวนการ Anaerobic glycolysis ควบคุมการจับของแคลเซียม (Ca^{++} Troponin binding) ขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งทำให้ Actin กับ Myosin จับตัวกันได้ยากและกล้ามเนื้อหดตัวได้ช้า ก่อให้เกิดการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ กรดแลคติกที่สะสมปริมาณมากยังส่งผลให้เลือดมีค่า pH ลดต่ำลง มีสภาพของความเป็นกรดมากขึ้น ทำให้มีสภาวะการหายใจที่ตื้นและถี่ผิดปกติ และผลสุดท้ายทำให้หายใจลำบาก ซึ่งเป็นผลมาจากการมีออกซิเจนต่ำ ทำให้มี

ปริมาณการระบายอากาศหายใจต่อนาที (Minute ventilation) เพิ่มขึ้น เนื่องจากศูนย์ควบคุมการหายใจที่สมองส่วนของพอนส์ (Pons) ถูกกระตุ้น ส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจ และความดันโลหิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการออกกำลังกาย

ในปัจจุบันพบว่าได้มีการรายงานค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกรดแลคติกในเลือดอยู่มากมายหลายค่า ซึ่งวัดได้จากปริมาณกรดแลคติกในเลือด โดยค่าต่าง ๆ เหล่านี้มีชื่อเรียกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับการเกิดกรดแลคติกในเลือด และสามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ระดับการเกิดของค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกรดแลคติกในเลือด ซึ่งวัดได้จากปริมาณกรดแลคติกในเลือด (Billat, 1996)

ปริมาณกรดแลคติกในเลือด (mmol/ L ⁻¹)	คำจำกัดความ	หมายเหตุ
Baseline +1	Onset of plasma lactate accumulate	มีการเกิดกรดแลคติกในร่างกาย แต่สามารถขจัดได้
2.2	Maximal steady state	
3.5-5	Lactate threshold	จุดเริ่มต้นของการสะสมกรดแลคติก
4	Anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulate	ส่วนเกินในร่างกายมักใช้อ้างอิงเป็นจุดเดียวกับ Anaerobic threshold

จากรายงานการศึกษาของ Neungton, Titthasiri, Shumnumsirivath and Mooltichai (1976) พบว่า ค่าปกติของระดับกรดแลคติกในเลือดของคนไทย มีค่าเท่ากับ 1.49 ± 0.6 มิลลิโมล/ลิตร สอดคล้องกับประทุม ม่วงมี (2527) ได้กล่าวว่า ระดับกรดแลคติกในเลือดของคนปกติเท่ากับ 1 มิลลิโมล/ลิตร หรือ 9 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร ซึ่งภาวะปกติในเลือดจะมีความเข้มข้นของกรดแลคติกประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตร หรือ 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ หากมีกรดแลคติกเพียงแค่ 0.3 ถึง 0.4 กรัมเปอร์เซ็นต์ในกล้ามเนื้อ หรือ 0.03-0.1 กรัมเปอร์เซ็นต์ในเลือด จะไปขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อ ทำให้ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง และทำให้การออกกำลังกายไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

กรมพลศึกษา (2548 อ้างถึงใน วิกรม พันธุ์เล่ง 2553) ได้ให้ความหมายของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle strength) ไว้ว่า เป็นความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือกล้ามเนื้อในร่างกายหลายส่วนทำงานร่วมกัน เช่น ความสามารถในการบีบมือ ความสามารถในการยกน้ำหนัก และความสามารถในการดึงไดนาโมมิเตอร์ เป็นต้น การกีฬาแห่งประเทศไทย (2550) ได้ให้ความหมายของความแข็งแรง (Strength) ไว้ว่า เป็นความสามารถในการหดตัวหรือการทำงานของกล้ามเนื้อที่จะทำอย่างใดอย่างหนึ่ง ได้สูงสุดในแต่ละครั้ง เช่น ความสามารถในการยกของหนัก ๆ ได้ มีพลังบีบมือได้เหนียวแน่น และสามารถออกแรงผลักดันของหนัก ๆ ให้เคลื่อนที่ได้ เป็นต้น

ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ จึงเป็นพื้นฐานและองค์ประกอบสำคัญของสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวกับสุขภาพ (Health-related physical fitness) และสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวกับทักษะ (Skill-related physical fitness) อาทิเช่น กำลัง (Power) โดยกำลังที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลมาจากความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้น และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเพิ่มความเร็ว (Speed) เนื่องจากร่างกายมีความต้องการแรงที่มากพอ เพื่อมาเร่งให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง (อนันต์ อัดชู, 2538) สอดคล้องกับเจริญ กระบวนรัตน์ (2544) กล่าวว่า การเคลื่อนไหวร่างกายในทุกอิริยาบถจะสัมพันธ์กับการทำงานของระบบกล้ามเนื้อเสมอ และ Fleck and Kraemer (2004) กล่าวว่า ตัวแปรที่นำมาพิจารณาการทำงานของกล้ามเนื้อ ได้แก่ เวลาในการหดตัว (Contraction time) เวลาในการคลายตัว (Relaxation time) ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเร็วในการหดตัว (Velocity of contraction) การเปลี่ยนแปลงความยาว (Length change or displacement) และแรงในการหดตัว (Force production) โดยแบ่งการหดตัวของกล้ามเนื้อได้ 3 แบบ ดังนี้

1. การหดตัวแบบไอโซเมตริก (Isometric or static contraction) หมายถึง กล้ามเนื้อเมื่อหดตัวแล้วความยาวของกล้ามเนื้อไม่เปลี่ยนแปลงโดยที่ความตึงตัวและความยาวของกล้ามเนื้อคงที่ เมื่อมีการงอข้อศอกเพื่อใช้มือยกน้ำหนักขึ้น ในระยะแรกที่กล้ามเนื้อเริ่มหดตัวเพื่อออกแรงทำงาน แต่มือยังไม่สามารถยกน้ำหนักขึ้นมาได้ จึงเรียกการหดตัวนี้ว่า Isometric หรือ Static เพราะกล้ามเนื้อไม่มีการเคลื่อนที่

2. การหดตัวแบบไอโซโทนิค (Isotonic or dynamic contraction) หมายถึง กล้ามเนื้อเมื่อหดตัวแล้วความยาวของกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงโดยที่ความตึงตัวในกล้ามเนื้อคงที่และความยาวของกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไป เมื่อแรงของกล้ามเนื้อสามารถเอาชนะน้ำหนักของวัตถุได้ จนข้อศอกงอมากขึ้น และยกน้ำหนักขึ้นมาได้ จึงเรียกการหดตัวของกล้ามเนื้อนี้ว่า Isotonic หรือ Dynamic เพราะ

กล้ามเนื้อมีการเคลื่อนที่และความยาวเปลี่ยนแปลงไป พร้อมทั้งมีการหดสั้นเข้า (Concentric contraction) และเหยียดยาวออกของกล้ามเนื้อ (Eccentric contraction)

3. การหดตัวแบบไอโซคิเนตริก Isokinetic contraction หมายถึง การหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยที่ความเร็วในการหดตัวคงที่ตลอดช่วงของการเคลื่อนไหว โดยการทำให้อาสมอเตอร์ (motor) ของกล้ามเนื้อหดตัวในลักษณะนี้จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือที่สามารถปรับแรงต้านทานในขณะที่เกิดการเคลื่อนไหวเพื่อให้กล้ามเนื้อทำงานด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งมักเป็นการเคลื่อนไหวเชิงมุมและต้องอาศัยเครื่องมือที่ออกแบบมาเป็นพิเศษ (Isokinetic machine)

หลักการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ

Kraemer, Fleck and Deschenes (2012) ได้อธิบายว่า วิธีการฝึกเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อนั้นมีหลักการเดียวกัน คือ จะต้องทำให้กล้ามเนื้อต่อสู้กับแรงต้านทานหรือน้ำหนักที่ค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้น เป็นเวลานานพอสมควร ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นในการฝึก โดยยึดหลักการฝึกที่เรียกว่า “Overload principle” ซึ่งการฝึกในลักษณะนี้เป็นวิธีการฝึกที่ทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรงขึ้น โดยใช้น้ำหนักหรือแรงต้านที่มากกว่าปกติจนเกินความสามารถที่ทำได้ เพื่อกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาตอบสนองและเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในกล้ามเนื้อขึ้น เช่นเดียวกับ Heyward (2010) ที่กล่าวว่า เมื่อกล้ามเนื้อมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นก็ควรที่จะต้องมีการปรับความก้าวหน้าในการฝึกหรือเรียกว่า “Progressive principle” โดยหลักและวิธีการฝึกดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มความต้านทานในการฝึกให้กับกล้ามเนื้อ เช่น เพิ่มจำนวนครั้งในการปฏิบัติให้มากขึ้น เพิ่มความเร็วในการฝึกปฏิบัติให้เร็วขึ้น และลดช่วงเวลาพักให้น้อยลง เป็นต้น สำหรับการฝึกในนักกีฬานั้น ควรมุ่งเน้นการฝึกกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่จะใช้ในการแข่งขันจริงจึงจะเกิดประโยชน์สูงสุด และการฝึกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับสูงจึงควรต้องมีความเฉพาะเจาะจงมากเป็นพิเศษ ซึ่งหลักการฝึกนี้เรียกว่า “Specificity principle” ดังนั้นหลักและวิธีการฝึกเหล่านี้ล้วนช่วยกระตุ้นหรือเพิ่มความต้านทานในการฝึกให้กับกล้ามเนื้อมากขึ้น อันเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยพัฒนาและเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อได้เป็นอย่างดี และเป็นไปในทิศทางเดียวกับ Willmore, Costill and Kenney (2008) ได้กล่าวถึง กลไกสำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เมื่อกล้ามเนื้อได้รับการกระตุ้นสมองและไขสันหลังจะส่งสัญญาณประสาทมายังหน่วยประสาทยนต์ (Motor unit) ไปสู่เส้นใยกล้ามเนื้อให้เกิดการหดตัวซ้ำ ๆ กัน ทำให้ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นและกล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น (Muscle hypertrophy) อันเนื่องมาจากการฝึกด้วยแรงต้าน และในขณะที่ทำการฝึกด้วยแรงต้านนั้น กล้ามเนื้อจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเพียงชั่วคราว (Transient hypertrophy) จากการเพิ่มขึ้นของของเหลวภายในเซลล์กล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตามของเหลวเหล่านี้จะกลับเข้าสู่เลือดอีกครั้งภายใน 60 นาที ภายหลังจากการออกกำลังกายสิ้นสุดลง และเมื่อได้รับการฝึกด้วยแรงต้านเป็นเวลานาน

ติดต่อกันหลายสัปดาห์ กล้ามเนื้อจะมีการเพิ่มขนาดขึ้น (Chronic hypertrophy) ซึ่งมีผลต่อโครงสร้างของกล้ามเนื้อทั้งขนาดของเซลล์กล้ามเนื้อ (Fiber hypertrophy) และจำนวนของเซลล์กล้ามเนื้อ (Fiber hyperplasia) และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง Myofibrils, Actin filament, Myosin filament, Sarcoplasm และ Connective tissue เป็นต้น สามารถเปลี่ยนเส้นใยกล้ามเนื้อแบบ Slow-twitch fiber ให้เป็น Fast-twitch fiber นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นเลือดและกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยเส้นเลือดฝอย และ Mitochondria จะมีขนาดใหญ่และหนาแน่นขึ้น และเพิ่มความสามารถในการสร้างพลังงานแบบ Anaerobic

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการฝึกด้วยแรงต้านมีผลต่อระบบกล้ามเนื้อ ระบบประสาท กระบวนการทางชีวเคมีในร่างกาย และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม การจัดทำโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ จะต้องกำหนดรูปแบบและวิธีการฝึกให้สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการฝึก ซึ่งรูปแบบและวิธีการฝึกที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อการพัฒนากล้ามเนื้อแตกต่างกันออกไป

รูปแบบและวิธีการฝึกด้วยแรงต้าน

ปัจจุบันการฝึกโดยใช้น้ำหนักเป็นแรงต้าน ถูกนำมาเป็นส่วนหนึ่งของการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ และการฝึกซ้อมกีฬาเพื่อความเป็นเลิศ ดังนั้นการจัดโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้าน จะต้องกำหนดรูปแบบและวิธีการฝึกให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการฝึก (Ratamess et al., 2009) ดังเช่น Heyward (2010) ได้แบ่งพื้นฐานโปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้านออกเป็น 4 แบบ เพื่อเป็นแนวทางในการฝึก ดังนี้

โปรแกรมการฝึกแบบที่ 1 เน้นการพัฒนาความอดทนและความตึงตัวของกล้ามเนื้อ (Muscle endurance or muscle tone) ช่วยรักษาทรวดทรง และทำให้กล้ามเนื้อกระชับได้รูปร่างสัดส่วนสวยงาม โดยไม่ทำให้กล้ามเนื้อมีขนาดเปลี่ยนแปลง หรือใหญ่ขึ้นมากนัก

โปรแกรมการฝึกแบบที่ 2 เน้นการพัฒนาความแข็งแรงหรือเสริมสร้างกล้ามเนื้อให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (Muscle strength or hypertrophy) เป็นการฝึกที่จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคและวิธีหลายขั้นตอน เพื่อให้ได้มาซึ่งความแข็งแรงสูงสุด

โปรแกรมการฝึกแบบที่ 3 เน้นการพัฒนากำลังของกล้ามเนื้อ เพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านกิจกรรมกีฬา และเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายให้ได้คุณสมบัติเหมาะสมกับชนิดกีฬาและประเภทกีฬา การฝึกโปรแกรมนี้จะช่วยเพิ่มขนาดกล้ามเนื้อและความเร็วในการเคลื่อนไหว

โปรแกรมการฝึกแบบที่ 4 เน้นการพัฒนาระบบการทำงานของกล้ามเนื้อแบบใช้ออกซิเจนหรือพัฒนาระบบไหลเวียนเลือดตลอดจนเสริมสร้างความอดทนของกล้ามเนื้อ เหมาะสำหรับผู้เข้ารับการออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจนแบบต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 2-4 โปรแกรมการฝึกด้วยแรงต้าน (Bompa, 1993 อ้างถึงใน วิกรม พันธุ์เล่ง, 2553)

เป้าหมายของการฝึก	ความหนัก (% ของ 1RM)	จำนวนครั้ง เป้าหมาย	จำนวนเซต
พัฒนาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ	ตั้งแต่ 85% ขึ้นไป	ไม่เกิน 6 ครั้ง	2-6
กีฬาที่ต้องใช้ความพยายามครั้งเดียว	85-90%	1-2 ครั้ง	3-5
กีฬาที่ต้องใช้ความพยายามซ้ำ ๆ กัน	75-85%	3-5 ครั้ง	3-5
พัฒนาเส้นใยของกล้ามเนื้อ	65-85%	6-12 ครั้ง	3-6
พัฒนาความอดทนของกล้ามเนื้อ	ตั้งแต่ 65% ลงมา	ตั้งแต่ 12 ครั้งขึ้นไป	2-3

Kraemer and Ratamess (2004) กล่าวว่า ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะพัฒนาเพิ่มขึ้นในช่วง 4-8 สัปดาห์แรกของการฝึกด้วยแรงต้าน ร่างกายจะมีการปรับตัวของระบบประสาทมากกว่ากล้ามเนื้อ หลังจากนั้นจะเป็นการปรับตัวของกล้ามเนื้อมากกว่าระบบประสาท จึงทำให้กล้ามเนื้อมีขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับ Plowman and Smith (2011) กล่าวว่า การฝึกกล้ามเนื้อให้มีขนาดใหญ่ขึ้น (Muscular hypertrophy) จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเส้นใยกล้ามเนื้อ โดยจะไปกระตุ้นหน่วยประสาทยนต์ของกล้ามเนื้อ ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อแบบหดตัวเร็ว (Fast-twitch fiber) ถูกกระตุ้น ทำให้มีการสะสมของ ATP-CPr และ Glycogen ในเซลล์กล้ามเนื้อมากขึ้น ผลที่ได้ทำให้พื้นที่หน้าตัด (Cross sectional) ของกล้ามเนื้อเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตาม Fleck and Kraemer (2004) กล่าวว่า ในการฝึกด้วยแรงต้านเพื่อพัฒนาความแข็งแรงและขนาดของกล้ามเนื้อนั้น กล้ามเนื้อต้องออกแรงเต็มที่ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ก่อให้เกิดของเสียที่สำคัญ คือ กรดแลคติกที่ถูกขับออกมาสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและเลือดระหว่างฝึกด้วยแรงต้าน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการล้า เมื่อมีกรดแลคติกสะสมในปริมาณมากจะไปขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อ ทำให้ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง

ความเมื่อย ความล้า และความระบมของกล้ามเนื้อ

ประทุม ม่วงมี (2527) กล่าวว่า ความเมื่อย (Fatigue) หมายถึง การที่ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ (กำลังในการทำงานเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า) ลดลงอันเป็นผลเนื่องมาจากการที่ท่า และความล้า (Exhaustion) เป็นภาวะที่เมื่อยอย่างถึงที่สุด (Complete fatigue) โดยที่กล้ามเนื้อไม่ยอมตอบสนองต่อสิ่งเร้าใด ๆ ภาวะเช่นนี้หากคนที่กำลังวิ่งอยู่ก็จะต้องหยุดวิ่งหรือคนที่กำลังปั่นจักรยานอยู่ก็ต้องหยุดปั่นจักรยาน เป็นต้น สอดคล้องกับ Powers and Howley (2009) กล่าวว่า

ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อ (Muscle fatigue) แบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ ความเมื่อยล้าของระบบประสาทส่วนกลาง (Central fatigue) ได้แก่ Motor neurons ที่สมองและไขสันหลัง เป็นต้น และความเมื่อยล้าของระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral fatigue) ได้แก่ Peripheral nerves, Motor endplates และ Muscle fibers เป็นต้น โดยความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้ออาจมีสาเหตุการเกิดได้ตั้งแต่สมองที่สั่งการไปจนถึงตัวกล้ามเนื้อ รวมทั้งระบบที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงาน นอกจากนี้ยังรวมถึงระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจด้วย ดังนั้นความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้ออาจเกิดได้ในตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

1. Neuromuscular junction จะเกิดขึ้นในหน่วยประสาทยนต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อแบบ Fast-twitch fiber เนื่องจากการสร้างและปล่อยสาร Acetylcholine
2. General physical fatigue จะเกิดขึ้นทั่วร่างกาย และมีสาเหตุจากการลดลงของระดับน้ำตาลในเลือด การสะสมของสารบางอย่าง เช่น กรดแลคติก คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น
3. Contraction mechanism จะเกิดขึ้นเมื่อมีการสลาย ATP-PCr มากกว่าการสังเคราะห์ ATP-PCr ซึ่งถ้ายังมีการหดตัวของกล้ามเนื้อต่อไปจะทำให้ความเข้มข้นของ ATP-PCr ลดลงจนถึงจุดที่ Cross bridge ไม่หลุดออกจาก Actin ทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อค้าง ดังนั้นการเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อจึงเป็นขบวนการป้องกันการหดตัวค้างของกล้ามเนื้อ
4. Central command fatigue จะเกิดขึ้นเมื่อ Cerebral cortex มีความล้าในการส่งสัญญาณกระตุ้นไปตามเส้นประสาทสั่งการทำให้กล้ามเนื้อไม่เกิดการหดตัว ซึ่งเป็นสาเหตุให้กล้ามเนื้อหยุดทำงานทั้ง ๆ ที่ยังไม่เกิดการเมื่อยล้า

Plowman and Smith (2011) ได้สรุปสมมุติฐานของความเมื่อยล้าไว้ ดังนี้

สมมุติฐานที่ 1 การพร่องของสารบางอย่าง (Depletion hypothesis) คือ ภาวะที่ร่างกายขาดสารบางอย่าง เช่น ATP-PCr และ Glycogen ในขณะที่ออกกำลังกายโดยที่กล้ามเนื้อทำงานหนักหรือมีการทำงานซ้ำ ๆ เป็นระยะเวลานาน ทำให้ความสามารถในการหดตัวของกล้ามเนื้อลดลง

สมมุติฐานที่ 2 การสะสมของสารบางอย่าง (Accumulation hypothesis) คือ ภาวะที่ร่างกายมีการสะสมสารบางอย่างมากเกินไป เช่น กรดแลคติก ไฮโดรเจนไอออน แอมโมเนีย และฟอสเฟต เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะไปขัดขวางการทำงานของกล้ามเนื้อ และทำให้การออกกำลังกายไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ สอดคล้องกับ Wilmore et al. (2008) ได้กล่าวถึง ช่วงเวลาที่ร่างกายมีอาการต่าง ๆ หลังจากที่ย่างกายเกิดการเมื่อยล้า เช่น อ่อนเพลีย ปวดบวม และเจ็บระบมบริเวณกล้ามเนื้อและข้อต่อ ในบางครั้งอาจเกิดขึ้นทั่วร่างกาย ซึ่งอาการเหล่านี้เรียกว่า ความระบม (Soreness) และความระบมของกล้ามเนื้อ (Muscle soreness) อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. ความระบมของกล้ามเนื้อแบบเฉียบพลัน (Acute muscle soreness) สามารถเกิดขึ้นได้ทันทีขณะออกกำลังกาย เนื่องจากร่างกายไม่สามารถขจัดผลลัพท์ของกระบวนการ Metabolism เช่น กรดแลคติก โปแตสเซียม และไฮโดรเจนไอออน ได้ทันเวลา จึงทำให้สารเหล่านี้ไปกระตุ้นปลายประสาทรับรู้ความเจ็บปวดในกล้ามเนื้อ (Pain receptor) ทำให้เกิดความเจ็บปวด

2. ความระบมของกล้ามเนื้อหลังจากออกกำลังกาย (Delayed onset muscle soreness) หรืออาจเรียกว่า DOMS ซึ่ง Newham (1988) ได้รายงานว่าเป็นอาการปวด บวม และเจ็บระบมบริเวณกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เกิดขึ้นภายใน 8-24 ชั่วโมง หลังจากออกกำลังกาย และจะเพิ่มระดับความรุนแรงขึ้นภายใน 24-72 ชั่วโมง ซึ่งความระบมของกล้ามเนื้ออย่างรุนแรงนั้น มีความสัมพันธ์กับการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Eccentric contraction (Clarkson & Sayers, 1999; Chleboun et al., 1995) สอดคล้องกับ Fedorko (2007) ที่กล่าวว่า ลักษณะและอาการแสดงที่เกิดจากความระบมของกล้ามเนื้อ สามารถประเมินได้จากอาการปวด บวม ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อต่อ เอนไซม์ และกรดแลคติก เป็นต้น

ตารางที่ 2-5 วิธีการต่าง ๆ ในการประเมินลักษณะและอาการแสดงที่เกิดจากความระบมของกล้ามเนื้อหลังจากออกกำลังกาย (Connolly, Sayers & McHugh, 2003)

Index	Damage Information	Cost	Difficulty of measure	Reliability
1. Biopsy	Local	High	High	High
2. Strength	Local	Low	Low	Medium
3. Pain	Central	Low	Low	Medium-high
4. Tenderness	Local	Low	Low	Medium
5. Stiffness	Local	Low	Low	Medium-high
6. Swelling	Local	Low	Low	Medium-high
7. Creatine kinase	Central	Low	Low	Low
8. Lactate dehydrogenase	Central	Low	Low	Low
9. Glutamic oxaloacetic transaminase	Central	Low	Low	Low

การรับรู้ความเจ็บปวด

เจ็ทกุล อโนธารมณ (2547) กล่าวว่า ความเจ็บปวดเป็นอาการแสดงอย่างหนึ่งที่เตือนว่าร่างกายอยู่ในภาวะอันตรายหรืออาจก่อให้เกิดอันตราย ดังนั้นสัญชาตญาณการป้องกันตัวเองมนุษย์จึงต้องหาวิธีสื่อสารเพื่อขอความช่วยเหลือ หรือแสดงให้ผู้อื่นรับรู้ว่าตนเองกำลังประสบภาวะทุกข์ทรมาน สอดคล้องกับ Anand and Craig (1996) ได้ให้คำจำกัดความของความเจ็บปวด (Pain) ว่าเป็นสัญญาณบ่งบอกว่ามีการทำลายของเนื้อเยื่อ สัญณาดังกล่าว ได้แก่ การตอบสนองทางพฤติกรรม (Behavioral response) และทางสรีรวิทยา (Physiological response) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเจ็บปวดที่ผู้อื่นสามารถรับรู้ได้ สามารถอาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ความเจ็บปวดแบบเฉียบพลัน (Acute pain) เป็นความเจ็บปวดที่เกิดขึ้นทันที เมื่อเนื้อเยื่อหรือเส้นประสาทถูกทำลาย และความเจ็บปวดแบบเรื้อรัง (Chronic pain) เป็นความเจ็บปวดเมื่อไม่ได้รับการรักษานานมากกว่า 12 สัปดาห์ จึงพัฒนากลายเป็นความเจ็บปวดแบบเรื้อรัง อย่างไรก็ตาม ความเจ็บปวดนั้นเกิดจากประสบการณ์ที่ซับซ้อนของแต่ละบุคคล ซึ่งประกอบขึ้นมาจาก กายวิภาคศาสตร์ สารเคมีในร่างกาย ประสบการณ์ที่เคยได้รับ สภาพจิตใจ และสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งก่อให้เกิดเป็นความรู้สึกเฉพาะของแต่ละบุคคล ดังนั้น ความรุนแรงของความเจ็บปวดของแต่ละบุคคล อาจแสดงออกมาน้อยต่างกัน จึงจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินความเจ็บปวด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุของความเจ็บปวด สังเกตความรุนแรง และใช้สำหรับติดตามผลการรักษา โดยการประเมินความเจ็บปวด สามารถทำได้ 4 วิธี ดังนี้ (วิมลรัตน์ กฤษณะประกรกิจ, 2544)

1. การประเมินทางสรีรวิทยา (Physiological assessment) เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาจากการตอบสนองของร่างกายต่อความเจ็บปวด เช่น ความดันโลหิต, อัตราการเต้นของหัวใจ, การหายใจ แต่เนื่องจากมีปัจจัยอื่น ๆ อีกมากที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ เช่น ความกลัว ความกังวล ความเครียด เป็นต้น

2. การประเมินทางพฤติกรรม (Behavioral assessment) เป็นการสังเกตพฤติกรรม และกำหนดระดับหรือวัดเป็นตัวเลข เพื่อประเมินระดับความรุนแรง พฤติกรรมที่สังเกต ได้แก่ การแสดงสีหน้า (Facial expression) การส่งเสียง (Vocalization) การเคลื่อนไหวร่างกาย (Body movement) และพฤติกรรมต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ความอยากอาหาร เป็นต้น วิธีการนี้จะใช้เมื่อผู้ป่วยไม่สามารถบอกความเจ็บปวดของตัวเองได้

3. การประเมินจากคำบอกเล่าของผู้ป่วย (Self-report assessment) เป็นวิธีที่ดีที่สุด เนื่องจากความปวดเป็นความรู้สึกเฉพาะของแต่ละบุคคล วิธีนี้จะใช้ได้ผลดีในผู้ที่เข้าใจลำดับขั้นหรือตัวเลขเท่านั้น จึงจะสามารถบอกระดับความเจ็บปวดได้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

3.1 ไม่ต้องใช้เครื่องมือในการวัด

3.1.1 Simple descriptive scale เป็นการบอกความรู้สึกด้วยคำง่าย ๆ โดยการถามว่าปวดหรือไม่ ถ้าตอบว่าปวด จะถามต่อว่า ปวดน้อย ปวดพอทน ปวดมาก หรือมากที่สุด ไม่ควรแบ่งลำดับขั้นให้ละเอียดมากเพราะอาจจะเลือกไม่ถูก

3.1.2 Numerical rating scale เป็นการถามระดับความปวดเป็นตัวเลข โดยเลข 0 หมายถึง ไม่ปวดเลย ตัวเลขจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น 1-2-3 แปลว่า เริ่มมีความปวดมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงเลข 10 หมายถึง ปวดจนทนไม่ไหวหรือปวดมากที่สุด

3.2 ใช้เครื่องมือในการวัด

3.2.1 Visual numerical rating scale (VNRS) เป็นเครื่องมือที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงยาว 10 เซนติเมตร โดยแบ่งเป็น 10 ช่อง ๆ ละ 1 เซนติเมตร มีตัวเลขกำกับแต่ละช่อง ปลายข้างหนึ่งแทนด้วยเลข 0 หมายถึง ไม่ปวดเลย ส่วนปลายอีกข้างแทนด้วยเลข 10 หมายถึง ปวดมากที่สุด โดยให้ชี้หรือทำเครื่องหมายตรงตัวเลขที่คิดว่าปวด ซึ่งหมายถึงระดับความรุนแรงของความเจ็บปวดขณะนั้น



ภาพที่ 2-4 เครื่องมือทดสอบความเจ็บปวดแบบ Visual numerical rating scale

3.2.2 Visual analogue scale (VAS) เป็นการวัดโดยใช้เส้นตรงยาว 10 เซนติเมตร ปลายข้างหนึ่งแทนค่าด้วยเลข 0 หมายถึง ไม่ปวด ปลายอีกข้างหนึ่งแทนค่าด้วยเลข 10 หมายถึง ปวดมาก วิธีการวัดกระทำโดยการทำเครื่องหมายบนเส้นตรงนี้ เพื่อแสดงความรุนแรงของความปวด แล้วนำค่าที่ได้มาวัดเป็นเซนติเมตร



ภาพที่ 2-5 เครื่องมือทดสอบความเจ็บปวดแบบ Visual analogue scale

โดยการแทนค่าความเจ็บปวดจะเหมือนการให้คะแนนความเจ็บปวด (Pain score) ซึ่งมีคะแนน ตั้งแต่ 0 ถึง 10 ดังนี้

คะแนน	0	แทนความรู้สึก	ไม่ปวดเลย
คะแนน	1-4	แทนความรู้สึก	ปวดเล็กน้อย
คะแนน	5-6	แทนความรู้สึก	ปวดปานกลาง
คะแนน	7-10	แทนความรู้สึก	ปวดมาก

3.2.3 Colored analogue scale เหมาะสำหรับเด็กอายุ 5 ขวบขึ้นไป มีลักษณะเป็นแถบสีซึ่งไล่ระดับตั้งแต่สีอ่อน หมายถึง ไม่ปวดเลย ไปจนถึงสีเข้ม หมายถึง ปวดมากที่สุด (นิยมใช้สีชมพูชิดถึงสีแดงเข้ม)



ภาพที่ 2-6 เครื่องมือทดสอบความเจ็บปวดแบบ Colored analogue scale

3.2.4 Wong-baker faces pain rating scale เหมาะสำหรับเด็กอายุ 3 ขวบขึ้นไป ประกอบด้วยใบหน้าที่แสดงอาการต่าง ๆ 6 หน้า เริ่มจากหน้าที่ยิ้มอย่างมีความสุข แทน ความรู้สึก ไม่ปวดเลย จนถึงหน้าร้องไห้ แสดงว่า ปวดมากที่สุด แทนค่าความเจ็บปวด ตั้งแต่ 0 ถึง 5 ดังนี้

หมายเลข 0 หมายถึง ไม่มีอาการปวด

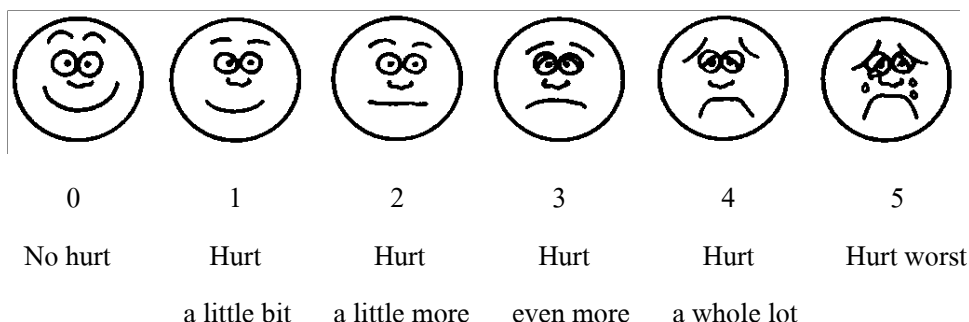
หมายเลข 1 หมายถึง มีอาการปวดเล็กน้อย ไม่มีความรู้สึกทุกข์ ทรมานแต่อย่างใด

หมายเลข 2 หมายถึง มีอาการปวดเล็กน้อย แต่เริ่มรู้สึกทุกข์ ทรมานจากอาการปวดพอสมควร มีความรู้สึกกังวลไม่มากนัก ยังมีความรู้สึกที่สามารถทนได้

หมายเลข 3 หมายถึง มีอาการปวดปานกลาง รู้สึกทุกข์ ทรมานจากอาการปวดพอสมควร มีความกังวลมากขึ้น พักผ่อนได้ไม่เพียงพอ เริ่มมีความรู้สึกที่ไม่สามารถทนได้

หมายเลข 4 หมายถึง มีอาการปวดมาก รู้สึกทุกข์ ทรมาน จากอาการปวดมาก ทำให้เกิดความกังวลมากและไม่สามารถนอนหลับพักผ่อนได้

หมายเลข 5 หมายถึง มีอาการปวดรุนแรงจนไม่สามารถทนได้



ภาพที่ 2-7 เครื่องมือทดสอบความเจ็บปวดแบบ Wong-baker faces pain rating scale

4. การประเมินโดยใช้หลายวิธีร่วมกัน (Multidimensional pain assessment) จะให้ผลแม่นยำกว่าการใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น ในเด็กจะใช้การประเมินทางสรีรวิทยา ร่วมกับการประเมินทางพฤติกรรม ส่วนผู้ใหญ่นิยมใช้การประเมินแบบบอกเล่า ร่วมกับการประเมินทางพฤติกรรม อย่างไรก็ตาม การประเมินโดยใช้หลายวิธีร่วมกัน ไม่นิยมใช้ในทางปฏิบัติเนื่องจากใช้เวลามาก

จากการศึกษาของพรพิมล เหมือนใจ (2553) พบว่า ได้มีการนำแบบทดสอบระดับการรับรู้ความเจ็บปวด (Soreness sensation) โดยใช้เครื่องมือในการวัดความเจ็บปวดแบบ Visual analogue scale (VAS) เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งสามารถประเมินความเจ็บปวดได้ง่าย สะดวกรวดเร็ว มีความน่าเชื่อถือและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cleary, Kimura, Sitler and Kendrick (2002) และ Zainuddin, Newton, Sacco and Nosaka (2005) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเครื่องมือวัดระดับการรับรู้ความเจ็บปวดแบบ Visual analogue scale เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเช่นกัน

อัตราการเต้นของหัวใจ

Wilmore et al. (2008) กล่าวว่า อัตราการเต้นของหัวใจ เป็นการแสดงถึงสมรรถภาพของระบบหัวใจและหลอดเลือดที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยความสามารถในการสูบน้ำเลือดเป็นจำนวนมากไปเลี้ยงร่างกายอย่างทั่วถึง โดยอัตราการเต้นหัวใจขณะพักของคนทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 60-80 ครั้ง/ นาที ในนักกีฬาที่ทำการฝึกความอดทน อัตราการเต้นหัวใจขณะพักอาจลดลงเหลือ 28-40 ครั้ง/ นาที ในคนที่มีการฝึกออกกำลังกายเป็นประจำ จะมีผลให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักต่ำกว่าคนทั่วไป แสดงว่าการทำงานของหัวใจในผู้ที่มีการออกกำลังกายอยู่เป็นประจำนั้น ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นอัตราการเต้นหัวใจขณะออกกำลังกายจึงเป็นตัวบ่งชี้ที่

สำคัญของการเพิ่มและลดงานที่กระทำในขณะออกกำลังกาย และอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เป็นตัวเลขที่วัดได้ของแต่ละบุคคลในขณะออกกำลังกาย โดยอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด หมายถึงจำนวนครั้งที่หัวใจสามารถบีบตัวใน 1 นาที โดยมีอายุเป็นตัวแปรที่สำคัญ การนำอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดมาใช้ในการจัดความหนักหรือความเข้มข้นในการออกกำลังกายและการฝึกซ้อมสามารถคำนวณได้ 2 วิธีดังนี้

วิธีที่ 1 การหาอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate) จากสูตรอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximum heart rate) = $220 - \text{อายุ}$ หน่วยที่ได้เป็นครั้ง/ นาที (Beats per minute)

วิธีที่ 2 การหาช่วงอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart rate reserve) เพื่อใช้ในการกำหนดอัตราการเต้นของหัวใจในออกกำลังกาย/ ฝึกซ้อมกีฬา เรียกว่า ชีพจรเป้าหมาย (Target heart rate) ซึ่งเมื่อชีพจรเป้าหมายที่ถือว่า “หนักพอ” ขณะออกกำลังกายจะกระตุ้นให้ร่างกายเปลี่ยนแปลงอันจะนำไปสู่การพัฒนาสมรรถภาพทางกาย โดยมีสูตรการหาชีพจรเป้าหมาย ดังนี้ (Kavonen, n.d. cited in McArdle et al., 2007)

Target heart rate = (Maximum heart rate - Resting heart rate) x (%Intensity) + Resting heart rate

โดยอัตราการเต้นหัวใจที่เพิ่มขึ้นจากการออกกำลังกายนั้น มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการขนส่งออกซิเจนของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้น หรือที่เรียกว่าเป็นการเพิ่ม Oxygen consumption ($V^{\circ}O_2$) ซึ่งเป็นการเพิ่มสมรรถภาพทางกายในการสร้างพลังงานแบบ Aerobic

ตารางที่ 2-6 การเทียบค่าระดับความหนักของการออกกำลังกายจากร้อยละของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ช่วงอัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด และการรับรู้ความหนักของงาน (Burke, 1998)

Percent of maximum heart rate	Heart rate reserve or percent of $V^{\circ}O_2$ max	Rating of perceived exertion	Classification of intensity
< 35%	< 30%	< 9	Very light
35-59%	30-49%	10-11	Light
60-79%	50-74%	12-13	Moderate
80-89%	75-84%	14-16	Heavy
>90%	>85%	>16	Very heavy

Hannie et al. (1995) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวที่มีต่อกรดแลคติกในเลือด และความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ ระหว่างเซตและภายหลังการฝึกด้วยแรงต้าน กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 15 คน ให้ทำการฝึกด้วยแรงต้าน ในท่า Bench press จำนวน 4 เซต ที่ความหนักร้อยละ 65 ของความสามารถสูงสุดในการยกได้ 1 ครั้ง โดยทำการยกให้ได้จำนวนครั้งมากที่สุด พักระหว่างเซต 2 นาที ช่วงพักระหว่างเซตทำการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และการนั่งพัก ผลการศึกษาค้นพบว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว โดยการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 45 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีผลต่อการฟื้นตัวของกล้ามเนื้อดีกว่าการนั่งพัก

Corder, Potteiger, Nau, Figoni and Hershberger (2000) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และการนั่งพัก ที่มีต่อกรดแลคติกในเลือด ระดับการรับรู้ความเหนื่อย และความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ ระหว่างเซตและภายหลังการฝึกด้วยแรงต้าน กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 15 คน ให้ทำการฝึกด้วยแรงต้าน ในท่า Squat ที่ระดับความหนักร้อยละ 85 ของความสามารถสูงสุดในการยกได้ 1 ครั้ง ทำการฝึกจำนวน 6 เซต โดยยกให้ได้จำนวนครั้งมากที่สุด พักระหว่างเซต 4 นาที ช่วงพักระหว่างเซตให้ทำการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว โดยการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 25 และ 50 ของค่าบ่งชี้การเกิดกรดแลคติก (Onset of blood lactate accumulation) ผลการศึกษาค้นพบว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว โดยการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 25 ของค่าบ่งชี้การเกิดกรดแลคติก มีผลต่อระดับกรดแลคติกในเลือด ระดับของการรับรู้ความเหนื่อย และความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อดีกว่าการนั่งพัก

พรพล พิมพาพร (2547) ได้ศึกษาผลของการพัก การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ และการเดินบนลู่วิ่งกลระหว่างเซตที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือดระหว่างการฝึกด้วยแรงต้าน กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 15 คน ให้ทำการฝึกด้วยแรงต้าน ในท่า Leg extension ที่ความหนักร้อยละ 75 ของน้ำหนักสูงสุดที่สามารถยกได้ 1 ครั้ง ทำการฝึกจำนวน 3 เซต เซตละ 10 ครั้ง พักระหว่างเซต 4 นาที ช่วงพักระหว่างเซตให้ทำการฟื้นตัวด้วยการพัก การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ และการเดินบนลู่วิ่งกลที่ระดับความหนักร้อยละ 30 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดตามลำดับ ผลการศึกษาค้นพบว่า การเดินบนลู่วิ่งกล และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ สามารถเคลื่อนย้ายกรดแลคติกในเลือดได้ดีกว่าการนั่งพัก

กวิน พิภูลงาม (2550) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนักต่างกัน ที่มีต่อสมรรถภาพเชิงแอโรบิก กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 15 คน ให้ทำการปั่นจักรยานวัดงานเต็มความสามารถ 30 วินาที (Wingate anaerobic test) หลังจากนั้นให้ทำ

การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว โดยการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 40, 50 และ 60 ของช่วงอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นเวลา 4 นาที ผลการศึกษาพบว่า การฟื้นแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนักร้อยละ 50 ของช่วงอัตราการเต้นของหัวใจ มีอัตราการฟื้นตัวเร็วที่สุด สอดคล้องกับธีรวัฒน์ ยัวยิ้ม (2547) พบว่า มีการกำหนดระดับความหนักของกิจกรรมการเคลื่อนไหว โดยใช้การเดินที่ระดับความหนักร้อยละ 50 ของช่วงอัตราการเต้นของหัวใจ มาเป็นตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเช่นกัน

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการกำหนดวิธีการและระดับความหนักของการทำให้ร่างกายฟื้นตัวมีมากมายหลายวิธี ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะเลือกใช้อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด มาเป็นตัวกำหนดระดับความหนักในการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว ระหว่างเซตและภายหลังการฝึกด้วยแรงต้าน

การฟื้นตัวจากการออกกำลังกาย

Robergs and Kateyian (2003) กล่าวว่า การฟื้นตัวของกล้ามเนื้อหลังจากออกกำลังกายขึ้นอยู่กับกระบวนการเคลื่อนย้ายของของเสีย คือ กรดแลคติก (Lactic acid) ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) รวมไปถึงการชดเชยพลังงานที่สะสมไว้ใช้ในระหว่างออกกำลังกาย ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาและความหนักในการออกกำลังกาย ซึ่ง Fox and Mathews (1981) ได้กล่าวถึงการชดเชยพลังงานที่สะสมไว้ใช้ในระหว่างฟื้นตัวของกล้ามเนื้อระหว่างออกกำลังกายไว้ดังนี้

1. การสร้าง ATP-PCr ขึ้นมาใหม่ในกล้ามเนื้อ โดย ATP-PCr ที่ถูกใช้ไปในการออกกำลังกายนั้น จะถูกสร้างขึ้นใหม่ในกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็วภายใน 2-3 นาที ในช่วงพักระหว่างออกกำลังกาย ATP-PCr จะถูกสร้างขึ้นใหม่ถึงร้อยละ 90 ใน 4 นาที และเมื่อมีการพักมากกว่า 5 นาที ร่างกายจะสร้าง ATP ได้ถึงร้อยละ 100

2. การสร้างไกลโคเจนขึ้นมาใหม่ในกล้ามเนื้อ โดยการออกกำลังกายที่มีระยะเวลายาวนานต่อเนื่องและมีระดับความหนักต่ำ ไกลโคเจนจะถูกใช้ไปมากกว่า 2 เท่า ของการออกกำลังกายเป็นช่วง ๆ ทำให้สารอาหารที่เป็นต้นตอต่าง ๆ เช่น กลูโคส กรดแลคติก และกรดไพรูวิก ถูกใช้เป็นจำนวนมากจึงมีปริมาณลดลง ส่วนการออกกำลังกายเป็นช่วง ๆ นั้น สารต่าง ๆ ที่เป็นต้นตอจะไม่ลดลง หรือลดลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการออกกำลังกายเป็นช่วง ๆ จึงต้องการเวลาน้อยกว่าในการสร้างไกลโคเจนขึ้นมาใหม่ และเริ่มการสร้างไกลโคเจนขึ้นมาใหม่ได้เร็วกว่า

Katch et al. (2011) กล่าวว่า ในช่วงพักระหว่างการออกกำลังกาย ถ้ามีการออกกำลังกายเบา ๆ แทนที่จะให้พักอยู่เฉย ๆ จะทำให้การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกจากเลือด และกล้ามเนื้อเกิดได้

เร็วขึ้น และช่วยให้ร่างกายฟื้นตัวได้เร็วขึ้น ซึ่งวิธีที่ใช้ในการฟื้นตัวนี้เรียกว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว (Active recovery) และระดับความหนักที่เหมาะสมที่ใช้ในการฟื้นตัวนั้น อยู่ระหว่างร้อยละ 35-65 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด

Bogdanis, Nevill, Boobis, Lakomy and Nevill (1995) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวที่มีต่อ กำลังสูงสุดและการเผาผลาญพลังงานของกล้ามเนื้อหลังจากการปั่นจักรยานวัดงานด้วยความเร็ว สูงสุด 30 วินาที กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 14 คน ให้ทำการปั่นจักรยานวัดงานด้วยความเร็ว สูงสุด 30 วินาที และเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อ (Muscle biopsy) ในนาทิตั้งแต่ 1.5, 3 และ 6 ผลการศึกษาพบว่า การสังเคราะห์ PCr มีความสัมพันธ์กับกำลังสูงสุด และปริมาณของ PCr เพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็วที่ร้อยละ 65 ขณะทำการฟื้นตัวที่ 1.5 นาที และจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 85 ขณะทำการฟื้น ตัวที่ 6 นาที ดังนั้นการฟื้นตัวจึงมีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ PCr ขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้ในการ ออกกำลังกาย/ การแข่งขันกีฬาที่ต้องใช้กำลังสูงสุด

Bogdanis et al. (1996) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่มีต่อ กำลังสูงสุดระหว่างการปั่นจักรยานวัดงานด้วยความเร็วสูงสุดกลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 13 คน ให้ทำการปั่นจักรยานวัดงานด้วยความเร็วสูงสุด 30 วินาที พัก 4 นาที ในช่วงพักให้ทำการฟื้น ตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และการนั่งพัก ผลการศึกษาพบว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการ เคลื่อนไหว โดยการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 40 ของอัตราการใช้ออกซิเจน สูงสุด มีค่าของกำลังสูงสุดดีกว่าการนั่งพัก

Dorado, Sanchis-Moysi and Calbet (2004) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวที่มีต่อสมรรถภาพ ทางกาย อัตราการใช้ออกซิเจน และการเป็นหนี้ออกซิเจน กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 10 คน ให้ทำการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 110 ของอัตราการใช้กำลังสูงสุด (Maximal power output) 2 นาที ทำการปั่นจำนวน 4 เซต พักระหว่างเซต 5 นาที ช่วงพักระหว่างเซตให้ทำการ ฟื้นตัวด้วยการนั่งพัก การยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่ และการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความ หนักร้อยละ 20 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ผลการศึกษาพบว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการ เคลื่อนไหว โดยการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 20 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีสมรรถภาพทางกาย อัตราการใช้ออกซิเจน และการเป็นหนี้ออกซิเจนดีกว่าการนั่งพัก และการยืด เหยียดกล้ามเนื้อแบบอยู่กับที่

Spencer, Dawson, Goodman, Dascombe and Bishop (2008) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผล ของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ระดับความหนักต่างกันที่มีต่อสมรรถภาพทางกาย และการเผาผลาญพลังงานของกล้ามเนื้อ ระหว่างการปั่นจักรยานวัดงานด้วยความเร็วสูงสุด กลุ่ม ตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 9 คน ให้ทำการปั่นจักรยานวัดงานด้วยความเร็วสูงสุด 4 วินาที

โดยทำการปั่นจำนวน 6 เซต พักระหว่างเซต 21 วินาที ช่วงพักระหว่างเซตให้ทำการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว โดยการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 20 และ 35 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด และการนั่งพัก ผลการศึกษาพบว่า การฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว โดยการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 20 และ 35 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด มีค่าของกำลังสูงสุดดีกว่าการนั่งพัก

Lau, Berg, Latin and Noble (2004) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และการนั่งพักที่มีต่อระดับกรดแลคติกในเลือด และความสามารถของกล้ามเนื้อ ภายหลังการฝึกแบบเป็นช่วง กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 18 คน ให้กลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบ Skating test จำนวน 7 เซต ใช้เวลาเซตละ 40 วินาที พักระหว่างเซต 90 วินาที และทำการฟื้นตัว 15 นาที โดยการปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักต่ำ และการนั่งพัก ผลการการศึกษาพบว่า ระยะทางในการสเกต อัตราการเต้นของหัวใจ และกรดแลคติกที่เกิดขึ้น ไม่แตกต่างกัน

Dupont, Moalla, Guinhouya, Ahmaidi and Berthoin (2004) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และการนั่งพัก ที่มีต่อการวิ่งระยะสั้น กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 12 คน ให้ทำการวิ่งที่ความเร็วร้อยละ 120 และ 150 ของความเร็วสูงสุดแบบแอโรบิก (Maximal aerobic speed) 15 วินาที และทำการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว โดยการวิ่งที่ความเร็วร้อยละ 40 ของความเร็วสูงสุดแบบแอโรบิก 15 วินาที และการนั่งพัก ผลการศึกษาพบว่า การนั่งพักทำให้การวิ่งระยะสั้นดีกว่าการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว

Castagna et al. (2008) ได้ศึกษาผลของการฟื้นตัวที่มีต่อสมรรถภาพทางกายหลังจากการปั่นจักรยานวัดงาน 24 ชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชาย จำนวน 10 คน ให้ทำการปั่นจักรยานวัดงานแบบเป็นช่วง ๆ หนักสลับเบา 18 นาที และทำการฟื้นตัว 4 วิธี คือ การนั่งพัก การปั่นจักรยานวัดงานที่ระดับความหนักร้อยละ 30 ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด การนั่งแช่ในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 15 องศา และการนวด ผลการศึกษาพบว่า หลังจากทำการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว และการนั่งพัก 3 นาที มีผลต่อระดับกรดแลคติกไม่แตกต่างกัน และการนั่งพักมีเวลาเฉลี่ยของความเร็วในการวิ่งดีกว่าการฟื้นตัวแบบมีกิจกรรมการเคลื่อนไหว

จากข้อมูลที่ปรากฏจะเห็นได้ว่าการทำให้ร่างกายฟื้นตัวโดยมีกิจกรรมการเคลื่อนไหวนั้น มีระดับความหนักมากมายหลายระดับที่สามารถลดระดับกรดแลคติกในกล้ามเนื้อและเลือด ระหว่างและภายหลังออกกำลังกายได้ แต่ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าระดับความหนักเท่าใดจึงจะดีต่อการฟื้นตัวที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำข้อมูลจากงานวิจัยเหล่านี้ เป็นกรอบแนวความคิด และการปฏิบัติของงานวิจัย รวมถึงการนำไปใช้ในการสนับสนุนผลการวิจัยครั้งนี้ต่อไป