บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในขณะที่วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกำลังเจริญก้าวหน้าอย่างมากในปัจจุบัน ความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาก็ได้รับการพัฒนาไปด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มสมรรถภาพทางกายของมนุษย์ โดยมีการค้นคว้าถึงสาเหตุและปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของร่างกายและในขณะเดียวกันก็พยายามเพิ่มสมรรถพาพในการทำงานของร่างกายให้ดียิ่งขึ้น จึงได้มีการนำเอาความรู้ทางสรีรวิทยา การออกกำลังกายมาใช้ในทางพลศึกษาและการกีฬา เพื่อปรับปรุงและฝึกคนที่มีร่างกายปกติให้มีร่างกายแข็งแรงอันเป็นการเพิ่มสมรรถภาพทางกาย ถ้าเป็นการกีฬาเพื่อสุขภาพก็เป็นการฝึกออกกำลังกายโดยไม่มุ่งถึงการออกกำลังกายเต็มที่เพื่อให้มีสุขภาพสูงสุด แต่ถ้าเป็นการกีฬาเพื่อการแข่งขันจะเป็นการมุ่งฝึกฝนให้มีสมรรถภาพสูงสุด โดยมุ่งสร้างเสริมสมรรถภาพของคนที่ปกติอยู่แล้วให้มีสมรรถภาพเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นสมรรถภาพทั่วไป หรือสมรรถภาพเฉพาะอย่างทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกีฬาแต่ละชนิด[1] เพื่อให้ประสบผลสำเร็จในกีฬาชนิดนั้นในที่สุด

อุปสรรคที่สำคัญประการหนึ่งในการพัฒนาความสามารถทางการกีฬาก็คือ ความเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อ ซึ่งนักสรีรวิทยาพยายามค้นหาว่าอะไรที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดความเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อขึ้นและได้พบว่าสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่เชื่อกันว่าเป็นสาเหตุของความล้าของกล้ามเนื้อก็คือ การเกิดกรดแลคติคขึ้นในกล้ามเนื้อ

---

[1]ชูศักดิ์ เวชแพศย์, สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย (ภาควิชาสรีรวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, 2519) หน้า 1. (อัดสำเนา)

ในการออกกำลังกายซึ่งเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อนั้น คือการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีที่ได้จากอาหารให้เป็นพลังงานกล ซึ่งเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อ พลังงานอาจได้มาจากปฏิกิริยาทางเคมีที่มีต้นตอมาจากอาหาร ซึ่งเป็นสารเคมี นอกจากนั้นกล้ามเนื้อในร่างกายยังสามารถทำงานได้ทั้งชนิดใช้ออกซิเจน (aerobic) และชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic)[1]

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ อธิบายว่า

> พลังงานที่ใช้ในการทำงานได้จากอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตและไขมันต้องการสารเคมีหลายอย่างเพื่อเป็นพาหะของพลังงานภายในเซลล์เพื่อให้คาร์โบไฮเดรตหรือไขมันเปลี่ยนไปสู่จุดที่สามารถมีปฏิกิริยาในทางชีววิทยาได้ อดีโนซิน ไตรฟอสเฟต (adenosine triphosphate) หรือ เอทีพี (ATP) เป็นสารที่สำคัญในการแลกเปลี่ยนพลังงาน นอกจากนี้ก็มีครีอาติน ฟอสเฟต (creatine phosphate) หรือ ซีพี (CP) ทั้งเอทีพีและซีพีจะเป็นฟอสเฟตที่ให้พลังงานสูง จะพบได้ในเซลล์ทั่ว ๆ ไป แต่จะพบมากในเซลล์ของกล้ามเนื้อ[2]

เอทีพี (ATP) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่กล้ามเนื้อนำมาใช้ได้อย่างฉับพลันนั้นมีที่มาได้ 3 ทางกือ ทางแรกได้มาจากระบบ เอทีพี-ซีพี (ATP-CP System) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแตกตัวของครีอาตินฟอสเฟต (CP) อีกสองทางคือระบบแลคติคเอซิด (lactic acid System) เป็นการหมัก (fermentation) ซึ่งไม่ใช้ออกซิเจน ในกระบวนการหมักกลูโคสจะถูกทำลายให้กลายเป็นผลิตผลของการหมักหลายประเภทสุดแท้แต่ชนิดของสิ่งมีชีวิต แต่ในเซลล์กล้ามเนื้อเมื่อขาดออกซิเจนจะเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นกรดแลคติค

---

[1]Per - Olof Astrand and Kaare Rodahl. Textbook of Work Physiology (Tokyo: McGraw-Hill Kogakucha, 1970) p. 11.

[2]ชูศักดิ์ เวชแพศย์, สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย หน้า 50.

(lactic acid) โดยกระบวนการหมักที่เรียกว่า โฮโมแลคติคเฟอร์เมนเทชัน (homolactic fermentation) หรือไกลคอลิซิส (glycolysis) และวิธีสุดท้ายที่ทำให้ได้เอทีพีก็คือ ขบวนการที่ใช้ออกซิเจน (oxygen system) เมื่อมีออกซิเจนผลิตผลของการหมักจะถูกเผาผลาญต่อไปโดยขบวนการหายใจกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ขบวนการหายใจประกอบด้วยวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle) และออกซิเดตีฟ ฟอสฟอริเลชั่น (oxidative phosphoryration)[1]

เมื่อกล้ามเนื้อทำงานนั้นภายในเซลล์ของกล้ามเนื้อมีเมตาบอลิสมที่ก่อให้เกิดเอทีพี เช่นเดียวกับเซลล์อื่น ๆ เอทีพี ได้มาจากทั้งไกลคอลิซิส(glycolysis) ซึ่งเป็นขบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) และขบวนการลูกโซ่ของการหายใจ (respiratory chain) ซึ่งเป็นขบวนการที่ใช้ออกซิเจน (aerobic) และเกิดขึ้นภายในไมโตคอนเดรีย เมื่อกล้ามเนื้ออยู่ในสภาพพักขบวนการชนิดหลังนี้เป็นตัวผลิตเอทีพี เป็นส่วนใหญ่[2]

การทำงานที่มีระดับงานสูงกว่าการจับออกซิเจนสูงสุด (supramaxinal)นั้น พลังงานที่นำมาใช้ได้มาจากการแตกตัวของเอทีพีออกเป็นอดีโนซีนไดฟอสเฟต(adenosine diphosphate) หรือเอดีพี (ADP) และฟอสเฟตอิสระ(free phosphate) หรือ Pi[3] ขณะเดียวกันขบวนการเมตาบอลิสมที่ใช้ออกซิเจนก็เกิดขึ้นพร้อมกัน แต่เนื่องจากกล้ามเนื้อต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้นจนเอทีพี ที่ผลิตจากเมตาบอลิสมที่ใช้ออกซิเจน

---

[1]สรินทร์ วิโมกข์สันถวและคนอื่น ๆ, ชีวเคมี (กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมพงษ์, 2521), หน้า 223.

[2]เรื่องเดียวกัน, หน้า 453

[3]Rodolfo Margaria, et al, "Energy utilization in intermitten exercise of supramaximal intensity, Journal of Applies Physiology 26 (June 1969) pp. 752 - 756.

ไม่เพียงพอ ถึงแม้ว่าในขณะออกกำลังปอดจะทำงานหนักเพิ่มขึ้นเพื่อพยายามสนองความต้องการออกซิเจนของกล้ามเนื้อก็ตาม กล้ามเนื้อก็ยังจะต้องใช้เอทีพีเพิ่มอีกเป็นจำนวนมากอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงต้องมีกลไกสำหรับผลิตเอทีพีขึ้นมาใช้ชั่วคราวจากแหล่งพลังงานอื่น ซึ่งหลังจากทำงานเสร็จแล้วจะต้องนำมาใช้คืนดังเดิม[1]

ในกล้ามเนื้อจะมีครีอาทินฟอสเฟต (CP) ซึ่งเป็นสารพลังสูงและเป็นแหล่งพลังงานสำรองสะสมอยู่ มีอยู่ประมาณ 4-6 เท่าของเอทีพี ครีอาทินฟอสเฟต (CP) นี้เป็นแหล่งกำเนิดเอทีพี อย่างชั่วคราว ซีพีจะถ่ายทอดพลังงานให้กับเอดีพีเพื่อสร้างเอทีพีขึ้นใหม่[2]

ถึงแม้กล้ามเนื้อจะมีซีพีเป็นแหล่งพลังงานสำรองก็ตาม เมื่อต้องทำงานหนักติดต่อกัน สารนี้ก็จะหมดไป ดังนั้นจึงต้องมีการผลิตเอทีพีเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการหายใจสร้างเอทีพีขึ้นไม่ทันความต้องการ นอกจากนั้นแม้ขบวนการเมตาบอลิสมที่มีอยู่ในร่างกายสามารถสังเคราะห์เอทีพีจากอาหารได้ แต่ก็ต้องอาศัยเวลามาก ดังนั้น เอทีพีส่วนใหญ่จะได้มาจากไกลคอลิซิส (glycolysis)[3]

ไกลคอลิซิส เป็นขบวนการในการสลายน้ำตาลโดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจน อิสสระ[4] แต่ก็ได้พลังงานในรูปของ เอทีพีมาใช้ ฉะนั้นในระหว่างที่เซลล์ขาดออกซิเจน

---

[1]สิรินทร์ วิโมกข์สันถว์, หน้า 454.

[2]ชูศักดิ์ เวชแพศย์, สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย หน้า 52.

[3]อนันต์ อัตชู, สรีรวิทยาการออกกำลังกาย (กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช, 2521), หน้า 14.

[4]เชาว์ ชิโนรักษ์, และพรรณี ชิโนรักษ์, ชีววิทยา (กรุงเทพมหานคร: อักษรประเสริฐ, 2519), หน้า 219.

มันก็สามารถสร้างพลังงานได้ ขบวนการนี้เรียกว่า อแนโรบิค เอนเนอยี่เมตตาบอลิสม (Anaerobic energy metabolism)[1]

วิถีไกลคอลิซิสหรือเอ็มเด็นเมเยอรอฟ พาธเวย์ (Glycolysis or Emden Meyerhof Pathway) อาจแบ่งได้เป็น 2 ตอน

ตอนแรกเริ่มด้วยเอทีพี ไปกระตุ้น กลูโคส กลายเป็นกลูโคส -6- ฟอสเฟต (G6P) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 6 อะตอมให้มีพลังงานศักย์สูง ในการเปลี่ยนแปลงนี้ กลูโคสจะกลายเป็น ฟรัคโตส ซึ่งเป็นสาร C6 จะแยกออกเป็นสาร $3C_3$ จำนวน 2 โมเลกุล สารนี้ต่อไปจะกลายเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid)[2]

ตอนที่สองเป็นปฏิกิริยาออกซิโดรีดักชั่น (oxidoreduction) เปลี่ยนสาร C_3 ให้กลายเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid) หรือไพรูเวท (pyruvate) และไพรูเวทจะถูกรีดิวซ์ต่อไปให้กลายเป็นกรดแลคติคหรือแลคเตท (lactate) ในที่สุด

<u>บทบาทของกรดแลคติคในการออกกำลัง</u>

ได้มีผู้ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการเกิดกรดแลคติคในขณะพักและออกกำลัง พบว่าในขณะพักขบวนการไกลคอไลติค (glycolytic process) จะดำเนินไปอย่างช้า ๆ ระดับของแลคเตทในเลือดและกล้ามเนื้อจะมีอยู่เพียงเล็กน้อยแต่สม่ำเสมอ[3]

---

[1]อมรา มลิลา (บรรณาธิการ), <u>สรีรวิทยาเบื้องต้นเล่ม 1</u> (กรุงเทพมหานคร: อักษรสัมพันธ์, 2518), หน้า 323.

[2]สมจิต สมัตถพันธุ์, <u>พลังงานในสิ่งมีชีวิต</u> (กรุงเทพมหานคร: บูรพาสาส์น, 2520), หน้า 51.

[3]Lars Hermansen. "Lactate Production During Exercise," in <u>Musqular During Exercise</u> ed Bengt Pernow and Bengt Saltin (New York: Plenum Press, 1971), pp. 401 - 407.

บอคและคณะ (Bock et al) พบว่าในขณะพักจะมีกรดแลคติคสะสมอยู่ในเลือด 10.5 มิลลิกรัมเปอร์เซนต์ (mg %) เอ็ดวาร์ดส์ (Edwards) พบว่ามีอยู่ 9.4 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg %) ดิลและคณะ (Dill et al) พบว่ามีอยู่ 12.6 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg %) และริซซิ (Ricci) พบว่ามีอยู่ 7 ถึง 10.5 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg %)[1]

เจย์ การ์ลสัน (J.Karlsson) พบว่าในขณะพักความเข้มข้นของแลคเตท (lactate) ในกล้ามเนื้อเป็น 1.4 มิลลิโมล (mM)[2]

ขณะทำงานที่มีความหนักของงานระดับเบาและปานกลางนั้น พลังงานเกือบทั้งหมดได้มาจากขบวนการที่ใช้ออกซิเจน (aerobic process) โดยได้จากออกซิเจนที่เก็บไว้ในกล้ามเนื้อซึ่งอยู่ในรูปของมัยโอโกลบิน (myoglobin) รวมทั้งเลือดที่อยู่ในกล้ามเนื้อด้วย ซึ่งหมายถึงอัตราการใช้ออกซิเจนและอัตราการขนส่งออกซิเจนได้สัมพันธ์กัน ซึ่งเป็นผลให้ไม่มีกรดแลคติค (lactic acid) คั่งในร่างกาย[3] และความ

---

[1] J. Karlsson. "Muscle ATP, CP and Lactate in Submaximal and Maximal Exercise," in Muscular During Exercise, ed Bengt Pernow and Bengt Saltin (New York: Plenum Press, 1971), pp. 383 - 393.

[2] Benjamin Ricci, Physiological Basis of Human Performance, Philadelphia: Lea and Febiger, 1976), p. 185.

[3] ชูศักดิ์ เวชแพศย์, สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย หน้า 55.

เข้มข้นของแลคติคในเลือด ในระยะเริ่มต้นของการออกกำลังยังคงมีก่าเท่ากับขณะพัก[1]

เมื่อออกกำลังกรดแลคติคที่เกิดขึ้นจะสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและมีบางส่วนละลายไปกับเลือดไปสู่ตับ เมื่อหยุดออกกำลังและร่างกายได้รับออกซิเจน กรดแลคติคจะเปลี่ยนกลับไปเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid) ซึ่งอาจถูกออกซิไดส์ได้อย่างสมบูรณ์ หรือถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นไกลโคเจน (glycogen) และกลูโคส (glucose)[2] ซึ่งการไหลเวียนของแลคเตทนี้เรียกว่า วัฏจักรโครี (Cori cycle)

การออกกำลังกายอย่างหนัก ซึ่งมีการจับออกซิเจนระดับสูงมากกว่า 50 % ของการจับออกซิเจนสูงสุด และกระทำอยู่เป็นเวลานานหลายนาทีจะสามารถตรวจพบกรดแลคติคได้แม้ในเลือดแดง ยิ่งมีการออกกำลังหนักมากเท่าใดก็ยิ่งมีกรดแลคติคเกิดมากขึ้นเท่านั้น[3]

คริสเตนเสน (E. Hohwü Christensen) อธิบายว่า ในการทำงานที่มีความหนักไม่ถึง 50 % ของความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุดต่อนาที จะไม่ทำให้เกิดการรบกวนความสมดุลย์ภายในร่างกายแม้จะทำงานถึง 1 ชั่วโมงก็ตาม แต่ถ้าน้ำหนักของงานเพิ่มขึ้นกว่า 50% ของการจับออกซิเจนสูงสุด ความเข้มข้นของกรดแลคติคในเลือด

---

[1]Lars Hermansen, "Lactate Production During Exercise," in Muscular During Exercise, pp. 401 - 407.

[2]สมศักดิ์ วนิชาชีวะ, ชีวเคมีพื้นฐาน, (เชียงใหม่: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2520), หน้า 24 (อัดสำเนา)

[3]ชูศักดิ์ เวชย์แพทย์, สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย, หน้า 55.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเพิ่มขึ้น[1]

เจย์ คาร์ลสสัน (J. Karlsson) กล่าวว่า "เมื่อระดับความหนักของงานเพิ่มขึ้น 50 - 60 % ของการจับออกซิเจนสูงสุดจะมีแลคเตทสะสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว"[2]

เฮอร์แมนเสนและสเตนสโวลด์ (Lars Hermansen and Inger Stensvold) อธิบายว่า "ในการทำงานที่ระดับความหนักของงาน 60 - 70 % ของการจับออกซิเจนสูงสุดในการทำงาน 10 นาทีแรก จะไม่มีแลคติคเกิดขึ้นในเลือด แต่เมื่อทำงาน 10 นาทีแล้วความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดจะเพิ่มขึ้น"[3]

เมื่อน้ำหนักของงานเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งอาจจะเพิ่มขึ้นเกือบ 100 กรัม ภายใน 2 - 3 นาที[4] แต่ในการเปรียบเทียบปริมาณของแลคเตทที่เกิดขึ้นในการทำงานอย่างเดียวกันและมีน้ำหนักของงานเท่ากัน

---

[1]E. Hohwü Christensen "Muscular Work and Fatique," in Muscular as a Tissue, ed. Kaare Rodahl and Steven M. Hovath (New York: McGraw-Hill Book Co, 1962), pp. 176 - 189.

[2]J. Karlsson, "Muscle ATP, CP. and Lactate in Submaximal and Maximal Exercise," in Muscular During Exercise, pp. 383-393.

[3]Lars Hermansen, and Inger Stensvold, Production and Removal of Lactate During Exercise in Man" Acta Physiologica Scandinavica (1972), p. 191 - 201.

[4]Per-Olof Astrand, and Kaare Rodahl, Textbook of Work Physiology, p. 300.

ระหว่างผู้ที่ได้รับการฝึกมาอย่างดีกับผู้ที่ไม่ได้รับการฝึกเลยพบว่าในผู้ถูกทดลองทั้งสองกลุ่มจะมีกรดแลคติกเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ผู้ที่ได้รับการฝึกจะมีปริมาณของกรดแลคติกในเลือดต่ำกว่าผู้ที่ไม่ได้ฝึก[1]

ในการทำงานสูงสุดในช่วงสั้น ๆ เช่นในเวลาที่น้อยกว่า 10 นาทีอัตราของแลคเตทจะเพิ่มขึ้น ยิ่งความหนักของงานเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดก็เกิดเร็วขึ้นจนถึงระดับที่ไม่สามารถทำงานได้ต่อไป

จากการทดลองโดยให้ผู้ถูกทดลองคนเดียวกันวิ่งอย่างเต็มที่ 13 ครั้งในเวลาที่แตกต่างกันและในแต่ละครั้งให้วิ่งจนเหนื่อยสุด ผลจากการทดลองพบว่าในการวิ่งช่วงที่สั้นที่สุดและยาวที่สุดจะมีความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดค่อนข้างต่ำ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าระดับของแลคเตทในเลือดที่เกิดขึ้นในการวิ่งแต่ละครั้งในช่วงอื่น ๆ จะมีปริมาณของแลคเตทเกือบเท่ากันก็คือประมาณ 18 มิลลิโมล (mM.)[2]

อสตราน (Astrand) กล่าวว่า "จากการตรวจสอบตัวอย่างของกล้ามเนื้อและความเข้มข้นของกรดแลคติคในเลือดในช่วงแรก ๆ ของการพักหลังจากออกกำลัง จะพบว่าปริมาณความเข้มข้นของกรดแลคติคในกล้ามเนื้อที่ออกกำลังจะสูงกว่าในเลือด"[3]

ไดแมนท์และคณะ (Diamant et al) พบว่า "ในการออกกำลังอย่างหนักเป็นเวลา 3 นาที เมื่อสิ้นสุดออกกำลังทันทีความเข้มข้นของแลคเตทในกล้ามเนื้อจะสูงกว่าในเลือด แต่หลังจากหยุดออกกำลังแล้วชั่วครู่ ค่าของแลคเตทในเลือดจะขึ้นถึงระดับสูงสุด ทำให้ค่าของแลคเตททั้งในกล้ามเนื้อและในเลือดจะมีปริมาณใกล้เคียงกัน"[4]

---

[1] Hermansen and Stenvold. "Production and Removal of Lactate During Exercise in Man" Acta Physiologica 86 (January 1972), p. 191-201

[2] Lars Hermansen, "Lactate Production During Exercise," in Muscular During Exercise, ed, Bengt Pernow and Bengt Saltin (New York: Plenum Press, 1971), pp. 401 - 407.

[3] Per-Olof Astrand and Kaare Rodahl, Texbook of Work Physiology p. 300.

[4] Ibid.

อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่เป็นตัวแทนกรดแลคติคทั้งหมดที่เกิดขึ้นในร่างกายที่นำมาหาค่าความเข้มข้นของกรดแลคติคจะนำมาจากเลือดในร่างกายในช่วงพักหลังการออกกำลัง หลังจากที่กรดแลคติคได้แพร่ไปสู่ส่วนที่เป็นของเหลวในร่างกาย แต่กรดแลคติคมิได้เกิดขึ้นในขณะที่ออกกำลังอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังมีบางส่วนที่เกิดขึ้นในช่วงแรก ๆ ของการพักหลังการออกกำลังกายด้วย แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถแยกได้ว่าแลคเตทส่วนไหนเกิดขึ้นในขณะออกกำลัง และส่วนไหนเกิดขึ้นในช่วงต้น ๆ หลังจากออกกำลังแล้ว จึงต้องตั้งสมมุติฐานว่าแลคเตทที่ได้ทั้งหมดเกิดขึ้นในขณะออกกำลัง[1]

<u>กรดแลคติคกับหนี้ออกซิเจน</u>

เอ.วี.ฮิลล์ (A.V.Hill) อธิบายว่า "การแตกตัวของไกลโคเจน (glycogen) เป็นกรดแลคติค (lactic acid) นี้เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นในการทำงานของกล้ามเนื้อเท่านั้นเป็นกลไกฉุกเฉิน (emergency mechanism) ในการออกกำลังที่หนักซึ่งในสภาพเช่นนี้กรดแลคติคที่เกิดขึ้นจะมีผลสำคัญที่จะก่อให้เกิดหนี้ออกซิเจน (oxygen debt) ขึ้น[2]

มาร์กาเรียและคณะ (Margaria et al) พบว่า "การเกิดหนี้ออกซิเจนในการออกกำลังกายระดับต่ำนั้นไม่ได้เกิดจากขบวนการไกลคอลิซิส (glycolysis) แต่เกิดจากการแตกตัวของครีอาทินฟอสเฟต (CP) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ออกซิเจน ความแตกต่างของหนี้ออกซิเจนที่เกิดจากครีอาทินฟอสเฟตและที่เกิดจากขบวนการ

---

[1]Rodolfo Margaria, <u>Biomechanics and Energetics of Muscular Exercise</u>, (Oxford: Clarendon Press, 1976), p. 48.

[2]A.V. Hill, <u>Muscular movements in man: the factors governing speed and recovery from fatigue</u>, (New York: McGraw-Hill, 1972), pp. 27 - 66.

ไกลคอลิซิสก็คือ หนี้ออกซิเจนที่เกิดจากครีอาตินฟอสเฟตจะไม่มีกรดแลคติคสะสมอยู่ เรียกว่า อะแลคติก ออกซิเจน เดท (alactic oxygen debt) ซึ่งจะใช้คืนออกซิเจนอย่างรวดเร็วในขณะพักหลังกละออกกำลัง (recovery) ส่วนหนี้ออกซิเจนที่เกิดจากขบวนการไกลคอลิซิสเรียกว่า แลคตาซิท ออกซิเจน เดท (lactacid oxygen debt) จะได้รับออกซิเจนใช้คืนช้ากว่า ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการสลายตัวของกรดแลคติกในเลือด"[1]

เอฟ อาร์วินตัน และแอล อี เบย์ลิส (F.R. Winton and L.E. Bayliss) อธิบายว่า "หนี้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับกรดแลคติค ถ้าหนี้ออกซิเจนมีมากกว่า 4 ลิตร ความเข้มข้นของกรดแลคติคในเลือดจะสูงขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหนี้ออกซิเจน แต่ถ้าหนี้ออกซิเจนมีน้อยกว่า 3.5 ลิตร ความเข้มข้นของกรดแลคติคจะไม่สูงขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีครีอาตินฟอสเฟตสะสมอยู่โดยครีอาตินฟอสเฟตจะถูกนำมาใช้งานก่อน และเมื่อถูกใช้จนหมดแล้วจะทำให้เกิดกรดแลคติคขึ้น"[2]

อดีโนซิน ไตรฟอสเฟต (ATP) และครีอาตินฟอสเฟต (CP) ซึ่งสะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและได้สูญเสียไปในขณะออกกำลังจะได้รับชดใช้คืนภายใน 2 - 3 นาที ในช่วงพักหลังจากหยุดออกกำลัง (recovery)[3]

---

[1]R. Margaria, H.T. Edwards, and D.B. Dill, "The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction," American Journal of Physiology, 106 (1933), p. 689 - 715.

[2]F.R. Winton and L.E. Bayliss, Human Physiology, (Boston: Little, Brown and Compsany, 1962), p. 500 - 501.

[3]Donald K. Mathews and Edward L. Fox, The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, (Philadelphia: W.B. Suanders Company, 1976), p. 33.

ฟอสฟาเจน (ATP+CP) จะได้รับการใช้คืน 70 % ภายใน 30 วินาที และจะได้รับคืน 100 % ภายใน 3 นาที อะแลคติค ออกซิเจน เด็ท (alactic oxygen debt) จะจัดหาออกซิเจนและพลังงานที่จำเป็นมาทดแทนเพื่อสะสมในรูปของ ATP และ CP ต่อไป พลังงานดังกล่าวจะได้มาจากการแตกตัวของอาหารในขบวนการที่ใช้ออกซิเจน (และบางส่วนจากกรดแลคติค) ในวัฏจักรเครบส์ (Krebs eycle) กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ[1]

ส่วนไกลโคเจน (glycogen) จะได้รับการใช้คืนโดย

1. ปริมาณของไกลโคเจนในกล้ามเนื้อจะถูกสังเคราะห์ขึ้นใหม่ทันทีในช่วงของการพักฟื้นหลังจากออกกำลัง

2. การสังเคราะห์ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อขึ้นใหม่ที่สมบูรณ์ต้องการอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง โดยเสริมเข้าไปในร่างกายเป็นเวลากว่า 2 วัน ถ้าไม่มีอาหารในรูปคาร์โบไฮเดรตจะมีปริมาณของไกลโคเจนจำนวนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งจะต้องใช้เวลาสังเคราะห์กว่า 5 วัน[2]

หลังจากนี้พบว่าพลังงานในขบวนการที่ใช้ออกซิเจนจะได้พลังงานจากแลคตาซิด ออกซิเจน เด็ท (lactacid oxygen debt) ซึ่งไม่ได้สังเคราะห์จากกรดแลคติค ส่วนกรดแลคติคเมื่อไม่ได้เป็นตัวสังเคราะห์ไกลโคเจนในกล้ามเนื้อก็จะถูกเปลี่ยนกลับไปยัง

1. สังเคราะห์เป็นไกลโคเจนสะสมไว้ที่ตับ ซึ่งจะสามารถนำไปใช้งานได้ขณะออกกำลัง

2. เปลี่ยนไปเป็นกลูโคสในเลือด

3. ถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนให้กลายเป็นกรดไพรูวิคและเข้าสู่วัฏจักรเครบส์

---

[1] Ibid, p. 34.

[2] Ibid, p. 36.

กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานเอทีพี

ซึ่งพบว่ากรดแลคติคประมาณ 10 % จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสในเลือดทันที ในช่วงพักหลังการออกกำลัง และอีก 75 % จะถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนกรดแลคติคที่เหลืออีก 15 % นั้นยังไม่มีใครทราบว่าหายไปไหน ซึ่งเป็นปัญหาที่ควรทำการวิจัยต่อไป[1]

การใช้คืนหนี้ออกซิเจนของ แลคตาซิด ออกซิเจน เด็ท (lactacid oxygen debt) จะช้าเมื่อเทียบกับอะแลคตาซิด (alactacid) โดยที่ครึ่งปฏิกิริยา (half-reaction) ของแลคตาซิด (lactacid) จะใช้เวลา 15 นาที[2] ส่วนครึ่งปฏิกิริยาของอะแลคตาซิด (alactacid) ใช้เวลาเพียง 30 วินาที[3] ดังนั้นการใช้หนี้ออกซิเจนของแลคตาซิด ออกซิเจนเด็ท (lactacid oxygen debt) จึงช้ากว่าอะแลคตาซิด (alactacid) ประมาณ 30 เท่า ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนกรดแลคติคจะใช้เวลานานกว่าการสะสมฟอสฟาเจนอย่างไรก็ตาม กรดแลคติคจะสลายตัวเร็วขึ้นเมื่อหลังจากออกกำลังแล้วให้ผู้ออกกำลังทำงานเบา ๆ เช่นการเดินหรือวิ่งช้า ๆ (Jogging) ซึ่งมีเหตุผล 2 ประการคือ

1. ทำให้การแพร่ของกรดแลคติคไปสู่ตับเร็วขึ้นเพื่อจะทำการออกซิเดชั่นต่อไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ หรืออาจเปลี่ยนไปเป็นกลูโคสหรือทั้ง 2 ประการ

---

[1]Donald K. Mathews and Edward L. Fox, The Physiological Basis of Physical Education and Athletics, (Philadelphia: W.B. Suanders Company, 1976), p. 36.

[2]Ibid, P. 39.

[3]Rodolfo Margaria, Biomechanics and energetics of muscular exercise, (Oxford: Clarendon Press, 1976), p. 33.

2. นำเอากรดแลคติคมาใช้เป็นพลังงานในการทำงานของหัวใจและกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น[1]

ลาร์ส เฮอร์แมนเสน และอินเจอร์สเตนสโวลด์ (Lars Hermansen and Inger Stensvold) พบว่า "การสลายตัวของแลคเตทของผู้ถูกทดลองในระยะพักหลังออกกำลัง (recovery) โดยให้ออกกำลังเบา ๆ จะเร็วกว่าผู้ที่นั่งพักเฉย ๆ อัตราการสลายตัวของแลคเตทจะมีผลมาจากความหนักของงานด้วย

อัตราการสลายแลคเตทจะเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มน้ำหนักของงานถึงขั้นวิกฤติ (critical level) ที่ความหนักของงาน 60 - 70 % ของความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคนอัตราเฉลี่ยสูงสุดของการสลายแลคเตทคือ 8 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรต่อนาทีที่ระดับความหนักของงานเฉลี่ย 63 % ของความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคน ซึ่งในขณะพักโดยนั่งเฉย ๆ แลคเตทจะถูกกำจัดออกไป 1.0 - 1.5 กรัม/นาที และจะถูกกำจัดออกไป 4.0 - 4.5 กรัม/นาที เมื่อให้พักโดยการทำงานเบา ๆ"[2]

การค้นพบนี้มีประโยชน์อย่างมากต่อการฝึกนักกีฬา จะทำให้นักกีฬากลับคืนสู่สภาพเดิมได้เร็วขึ้น

---

[1]Donald K. Mathews and Edward L. Fox, The Physioloyical Basis of Physical Education and Athletics, (Philadelphia: W.B. Suanders Company, 1976), p. 33.

[2]Lars Hermansen and Inger Stensvold, "Production and Removal of Lactate During Exercise in Man," Acta Physiologica Scadinavica (1972), p. 191 - 201.

ความเห็นที่แตกต่างกันเกี่ยวกับกรดแลคติคเป็นสาเหตุของความเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อ

กรุงไกร เจนพาณิชย์ กล่าวว่า "ความเหนื่อยล้าของกล้ามเนื้อมีสาเหตุมาจากการเกิดภาวะหนี้ออกซิเจน (oxygen debt) นาน ๆ จนร่างกายไม่อาจทนต่อภาวะนี้ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากร่างกายมีความเป็นกรดมากขึ้นเนื่องจากมีการคั่งของกรดแลคติค"[1]

คริสเตนเสน (Christensen) พบว่า

> ความเหน็ดเหนื่อยนั้นเกิดจากความสมดุลย์ของความเป็นกรด-ด่าง (homeostasis) ของร่างกายถูกรบกวนจากงานและสภาพแวดล้อมของงาน ซึ่งในขณะทำงานความเป็นกรด-ด่าง ของร่างกายจะแตกต่างจากขณะพัก
>
> ในคนที่มีสมรรถภาพทางกายดีจะสามารถทำงานได้เป็นชั่วโมงโดยไม่เกิดการรบกวนความเป็นกรดด่างเลย ส่วนในคนที่ไม่สมบูรณ์จะเห็นได้ว่าเมื่อทำงานเพียง 2-3 นาที จะทำให้สมดุลย์ความเป็นกรด-ด่างของร่างกายเสียไปโดยไม่สามารถสร้างสมดุลย์ของการเผาผลาญของการทำงานของกล้ามเนื้อได้ และไม่มีออกซิเจนเพียงพอที่จะทำให้กลับคืนสู่สภาพปกติได้ ขณะที่ร่างกายมีการเผาผลาญในระดับสูง พลังงานที่ใช้จะได้จากแหล่งที่ไม่ใช่ออกซิเจน (anaerobic sources) เป็นผลทำให้กรดแลคติคเพิ่ม ทำให้ความสมดุลย์ในร่างกายถูกรบกวนอย่างหนัก[2]

---

[1]กรุงไกร เจนพาณิชย์, "สารเคมีและยาที่มีผลต่อการฝึกซ้อมและสมรรถภาพทางกาย," วารสารสุขภาพ 2(พฤศจิกายน 2520): 52.

[2]E. Hohwü Christensen, "Muscular Work and Fatique," in Muscular as a Tissue, ed Kaare Rodahl and Steven M. Hovath (New York: McGraw-Hill Book Co., 1962), pp. 176 - 189.

อาสตรานส์ (Astrand) เสนอว่า "ในการออกกำลังอย่างหนักเป็นเวลานานจะทำให้สมดุลย์ของน้ำในร่างกายเปลี่ยนไปรวมทั้งพลังงานที่สะสมไว้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไกลโคเจนจะลดต่ำลงมาก ระบบการขนส่งไปสู่กล้ามเนื้อคงจะไม่เป็นตัวจำกัดการออกกำลังกาย พบว่าระยะที่ผู้ถูกทดลองเมื่อยล้าขณะทำงานหนัก ตรงกับระยะที่กลูโกสในเลือดต่ำลง หรือไกลโคเจนในกล้ามเนื้อลดลงด้วย"[1]

การ์ลสันและซาลติน (Karlsson and Saltin) อธิบายว่า "แม้ว่าการทำงานของกล้ามเนื้อจะใช้เอทีพี และเอทีพีลดลงก็ตาม แต่ซีพียังเป็นตัวที่จะให้เอดีพีกลับมาเป็นเอทีพีได้อีก และซีพีจะคงยังมีอยู่ในระดับหนึ่ง หลังจากออกกำลังกาย 2-3 นาทีแรก และจะอยู่ระดับนั้นตลอดไปเมื่อออกกำลังจนกระทั่งเหนื่อยสุดอันนี้อาจชี้ให้เห็นว่าหลังจากการทำงาน 2-3 นาทีแรก เอทีพีจะมีอยู่ในกล้ามเนื้อจำนวนหนึ่งตลอดไปจึงทำให้คิดว่า เอทีพีลงไม่ใช่ตัวการที่ทำให้กล้ามเนื้อเหน็ดเหนื่อย"[2]

เทเลอร์และโร (Taylor and Rao) แนะว่า "ระดับของแลคเตทในเลือดไม่ได้มีผลมาจากความเหน็ดเหนื่อย แสดงว่าการที่ระดับของแลคแตทในกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นไม่ใช่องค์ประกอบประการเดียวที่เป็นสาเหตุของความล้าของกล้ามเนื้อ"[3]

---

[1]Per-Olof Astrand, and Kaare Rodahl. Textbook of Work Physiology (Tokyo: McGraw-Hill Kogakucha, 1970) p. 292.

[2]J. Karlson and B. Saltin. "Lactate ATP, and CP in Working Muscles During Exhaustive Exercise in Man," in Physiology and Physical Activity (New York: Harper and Row, Publishers, 1975)

[3]Taylor, A.W., and Rao, S., "Rat Blood and Muscle Lactate After Prolong Exercise," Can Jour Physiol Phymacol 51 (June 1972), p. 277 - 288.

อนันต์ อัศชู กล่าวว่า "เมื่อเปรียบเทียบแลคเตทขณะที่ร่างกายทำงานสูงสุดกับแลคเตทของการทำงานชนิดสลับช่วงพักทำให้คิดว่าแลคเตทไม่ใช่องค์ประกอบของความเหน็ดเหนื่อย ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนักของงานและระยะเวลาของการทำงาน"[1]

ชูศักดิ์ เวชแพศย์ อธิบายว่า "ไกลโคเจน เป็นต้นตอของพลังงานที่กล้ามเนื้อสะสมไว้ แต่ไกลโคเจนจะต้องสลายโดยผ่านขบวนการปฏิกิริยาเคมีหลายอย่างจึงจะได้พลังงานออกมา โดยในขั้นแรกไกลโคเจนจะสลายเป็นกรดไพรูวิค ขบวนการนี้ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) เมื่อกล้ามเนื้อขาดออกซิเจนเมตาบอลิสมชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนก็จะดำเนินต่อไป และกรดไพรูวิคก็จะเปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติค และตั้งอยู่ในกล้ามเนื้อ กรดแลคติคนี้เองเป็นตัวขัดขวางไม่ให้กล้ามเนื้อทำงานต่อไปได้"[2]

จากข้อคิดเห็นดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า ความคิดเห็นเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้เกิดความเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อนั้นมีความเห็นที่ขัดแย้งกันอยู่สองฝ่าย ฝ่ายหนึ่งเห็นว่ากรดแลคติคเป็นสาเหตุของความเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อ ส่วนอีกฝ่ายเชื่อว่ากรดแลคติคมิใช่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดความเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อ จากข้อขัดแย้งกันดังกล่าวนี้เองที่เป็นแรงจูงใจให้ผู้วิจัยศึกษาเรื่องกรดแลคติคกับการเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อ โดยมีสมมุติฐานว่ากรดแลคติคไม่ใช่องค์ประกอบที่สำคัญต่อการเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อ

---

[1] Attachoo Anan, Blood Lactate During Intermitten and Continuous Exercise, (Unpublished Doctor of Education dissertation, University of Northern Colorado, 1975).

[2] ชูศักดิ์ เวชแพศย์, สรีรวิทยาของการออกกำลังกาย หน้า 52.

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษากรดแลคติคในเลือดที่มีผลต่อการเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อ

สมมุติฐานในการวิจัย

กรดแลคติคมิใช่องค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดความเหน็ดเหนื่อยต่อกล้ามเนื้อ

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาปริมาณของกรดแลคติคที่เกิดขึ้นหลังการทำงานที่ระดับความหนักของงานต่าง ๆ กัน คือ 70 %, 90 %, 110 %, และ 130 % ของความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนที่มีผลต่อความเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อ

2. ผู้ถูกทดลองจะต้องออกกำลังโดยการถีบจักรยานที่มีความหนักของงานแตกต่างกัน 4 ชนิด คือ 70 %, 90 %, 110 % และ 130 % ของความสามารถสูงสุดในการจับออกซิเจนให้ทำสลับกันโดยการจับสลากเลือกว่าจะออกกำลังชนิดใดก่อน และให้ช่วงระยะเวลาการทำของแต่ละชนิดต่างกัน 1 สัปดาห์ ใช้เวลาทั้งสิ้น 5 สัปดาห์ สัปดาห์แรกเป็นการเก็บตัวอย่างเลือดของผู้เข้ารับการทดลองขณะพักสัปดาห์ที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็นการเก็บตัวอย่างเลือดหลังการออกกำลังที่ระดับความหนักตามที่ผู้เข้ารับการทดลองจับสลากได้

3. การเก็บตัวอย่างเลือดจะกระทำหลังจากผู้เข้ารับการทดลองได้ออกกำลังแล้ว 5 นาที โดยเจาะที่เส้นเลือดดำที่ข้อพับแขนเสร็จแล้วนำเลือดไปวิเคราะห์หากรดแลคติคในเลือดต่อไป

4. การวิเคราะห์หาปริมาณของกรดแลคติคในเลือดใช้วิธี Enzymatic Method โดยนำตัวอย่างเลือดไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการชีวเคมี ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ในการออกกำลังด้วยการถีบจักรยานทุกครั้งผู้เข้ารับการทดลองจะต้องออกกำลังกิดต่อกันไปจนเหนื่อยสุดจนถีบต่อไปไม่ไหว โดยดูจากอัตรารอบถีบที่กำหนดให้ตามจังหวะของเมโตรนอม ถ้าผู้เข้ารับการทดลองไม่สามารถรักษาอัตรารอบถีบได้ตามจังหวะของเมโตรนอมแสดงว่าผู้เข้ารับการทดลองมีความเหนื่อยจนไม่สามารถถีบจักรยานในอัตราและความถ่วงนั้นได้ต่อไป

2. ผู้เข้ารับการทดลองทุกคนจะต้องมีสมรรถภาพทางกายสมบูรณ์

ความจำกัดของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนและไม่สมบูรณ์เพราะ

1. ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมให้ผู้เข้ารับการทดลองทำงานจนเหนื่อยสุดได้อย่างแท้จริง

2. ผู้เข้ารับการทดลองอาจมีความเหน็ดเหนื่อย และมีความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อมาก่อนแล้วหลังจากการเรียนและการฝึกกิจกรรมพลศึกษาอื่น ๆ ซึ่งอาจมีผลทำให้ค่าของกรดแลคติกในเลือดเปลี่ยนแปลงไป

3. สภาพความตึงเครียดทางด้านจิตใจของผู้เข้ารับการทดลองเนื่องมาจากความกลัวต่อการเจาะเก็บตัวอย่างเลือดอาจเป็นผลต่อการทดลองได้

คำจำกัดความของการวิจัย

กรดแลคติกในเลือด (Blood lactate)

หมายถึงสารซึ่งเกิดจากขบวนการผลิต เอทีพีจากกลูโคสเมื่อขาดออกซิเจน (anaerobic) และกรดนี้จะแพร่เข้าสู่กระแสเลือดจนมีระดับความเข้มข้นเท่ากับที่มีในเนื้อเยื่อ

อะแลคตาซิด ออกซิเจน เด็ท (Alactacid oxygen debt)

หมายถึง ภาวะหนี้ออกซิเจนที่เกิดจากการใช้พลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) โดยได้พลังงานมาจากการแตกตัวของครีอาทินฟอสเฟต (CP) ที่สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อ ซึ่งหนี้ออกซิเจนที่เกิดจากซีพีนี้ จะไม่มีกรดแลคติคสะสมอยู่

แลคตาซิด ออกซิเจน เด็ท (Lactacid Oxygen Debt)

หมายถึง ภาวะหนี้ออกซิเจนที่เกิดจากการใช้พลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยได้พลังงานจากขบวนการไกลคอลิซิส หนี้ออกซิเจนนี้จะมีกรดแลคติคอยู่ด้วย

มิลลิโมล (Milli Mole, mM) = $\frac{1}{1000}$ Mole

โมล์ (Mole)

คือปริมาณของสารจำนวน 6.023×10^{23} อนุภาค

<u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย</u>

1. ผลจากการวิเคราะห์กรดแลคติกในเลือดหลังจากการทำงานที่ระดับความหนักของงานแตกต่างกันทำให้ทราบว่ากรดแลคติกในเลือดไม่มีผลต่อความเหน็ดเหนื่อยของกล้ามเนื้อ

2. สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ในการฝึกซ้อมกีฬาประเภทที่ต้องการสร้างกล้ามเนื้อให้มีความทนทานสามารถทำงานหนักได้ในระยะเวลานาน ๆ

3. การวิจัยครั้งนี้เป็นแนวทางในการวิจัยเกี่ยวกับกรดแลคติคและการออกกำลังชนิดอื่นต่อไป

4. ผลจากการวิจัยจะมีประโยชน์ต่อการพัฒนาวงการพลศึกษาและวิทยาศาสตร์การกีฬาเป็นอย่างมาก