บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แรงจูงใจ ที่ทำให้ผู้คนทั้งหลายเข้าร่วมกิจกรรมทางการกีฬาและการออกกำลังกาย เกิดจากผลประโยชน์สำคัญของกีฬาและการออกกำลังกายที่ผู้นั้นจะได้รับ มี 2 ประการ คือ ผลประโยชน์ภายในหรือผลประโยชน์ที่แท้จริง ได้แก่ การเกิดความรู้สึกพึงพอใจ สนุกสนานในการที่ได้ร่วมกิจกรรมทางการกีฬา แล้วยังเกิดผลดีต่อร่างกาย ทำให้ร่างกายแข็งแรงมีสุขภาพดี อีกประการหนึ่ง ผลประโยชน์ภายนอก ได้แก่ การเป็นที่ยอมรับยกย่องจากสังคม โดยเฉพาะผู้ชนะเลิศในกีฬาประเภทต่างๆ ผลประโยชน์ภายนอกนี้รวมถึง การได้รับรางวัลในฐานะผู้ชนะเลิศ ในกีฬาประเภทสมัครเล่น หรือเงินรางวัลจำนวนมากจากการเล่นกีฬาเป็นอาชีพ[1] ผลประโยชน์ภายในดังกล่าวที่ส่งผลประโยชน์ต่อร่างกายโดยตรงนั้น ดร.อนันต์ อัตชู ได้ให้ความเห็นว่า

> การออกกำลังกายเป็นแรงกดดันอย่างหนึ่ง ที่รบกวนความสมดุลย์ของสิ่งแวดล้อมภายในของร่างกายให้เปลี่ยนไป ถ้าเราออกกำลังอยู่เสมอก็เป็นการรบกวนสิ่งแวดล้อมภายในร่างกายอยู่เสมอ ทำให้ร่างกายปรับสิ่งแวดล้อมต่างๆให้เข้ากับแรงกดดันนั้นๆ เพื่อให้โครงสร้างและการทำงานของร่างกายสามารถรับงานและความกดดันนั้นๆได้ การเปลี่ยนแปลงนั้น นอกจากจะเกิดกับกล้ามเนื้อซึ่งเราเห็นได้ชัดแล้ว การเปลี่ยนแปลงยังเกิดกับกระดูกอ่อน กระดูก และเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกายอีกด้วย นอกจากนั้นฮอร์โมนเกี่ยวกับการควบคุมการเจริญเติบโตที่หลั่งออกมาจากต่อมใต้สมอง (Pituitary Gland) จะเพิ่มขึ้นในขณะที่ออกกำลังกาย เป็นการช่วยเร่งให้ร่างกายเจริญเติบโตเร็วขึ้น การปรุงโปรตีนเพิ่มมากขึ้น[2]

---

[1] Jay J. Coaklet, Sport in Society: Issues and Controversies, (Saint Louis: The C.V. Mosby Company, 1978), P. 12.

[2] อนันต์ อัตชู, สรีรวิทยาการออกกำลังกาย (คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521), หน้า 96. (อัดสำเนา).

จากข้อความข้างต้น มีความหมายสอดคล้องกับความเห็นของ ดร. จรวยพร ธรณินทร์ ซึ่งกล่าวว่า การฝึกซ้อมออกกำลังกายอยู่เสมอ มีผลต่อระบบไหลเวียนของโลหิต โดยทำให้หัวใจมีกล้ามเนื้อที่แข็งแรงขึ้น สามารถส่งโลหิตไปเลี้ยงร่างกายดีขึ้น อัตราชีพจรปกติช้าลง ภายหลังการออกกำลังกายแล้ว อัตราชีพจรของผู้ได้รับการฝึกจะกลับสู่ภาวะปกติได้เร็วกว่าผู้ไม่ได้รับการฝึก กล่าวคือผู้ได้รับการฝึกจะหายเหนื่อยเร็วกว่า ผู้ได้รับการฝึกกล้ามเนื้อจะมีประสิทธิภาพดีขึ้น กล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจจะแข็งแรงขึ้น ผู้ได้รับการฝึก การทำงานของกล้ามเนื้อและประสาทมีความสัมพันธ์กันดีกว่าผู้ไม่ได้รับการฝึก นอกจากนั้น ผลของการฝึกซ้อมยังมีประโยชน์ต่อระบบอื่นๆอีก เช่น ระบบการย่อย ระบบการดูดซึม และระบบขับถ่าย ล้วนแล้วแต่มีประโยชน์ต่อการทำงานของระบบต่างๆในร่างกายทั้งสิ้น [1] ส่วนผลประโยชน์ภายนอกนั้น เป็นที่ทราบกันว่า วงการกีฬาต่างๆทั่วโลกต่างก็เพียรพยายามค้นคว้าหาวิธีการและหลักการใหม่ๆอยู่เสมอเพื่อที่จะเพิ่มสมรรถภาพให้แก่นักกีฬาของตน เพื่อความเป็นยอดของนักกีฬาในแต่ละประเภท โดยนำความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี่ ตลอดจนศาสตร์สาขาต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการกีฬา เช่น กีฬาเวชศาสตร์ (Sports Medicine) สรีรวิทยาการออกกำลังกาย (Physiology of Exercise) วิทยาศาสตร์การเคลื่อนไหว (Kinesiology) และวิทยาศาสตร์การกีฬา (Sport Sciences) โดยนำเอาเครื่องมือและวิธีการใหม่ๆ มาช่วยการศึกษา แล้วนำหลักทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ เหล่านั้นมาประยุกต์ เพื่อช่วยปรับปรุงกลไกการฝึกซ้อมให้พัฒนาขึ้นโดยไม่หยุดยั้ง ด้วยเหตุนี้วิชาพลศึกษาและการกีฬาจึงเจริญก้าวหน้าขึ้นเป็นลำดับ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณของกรดแล็คติค (Lactic Acid) ในร่างกาย ซึ่งเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

---

[1] จรวยพร ธรณินทร์, กายวิภาคและสรีรวิทยาการออกกำลัง (กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พลศึกษา, 2519), หน้า 326-331.

ซึ่งการที่กล้ามเนื้อจะทำงานได้ต้องได้รับคำสั่งมาจากระบบประสาทกลาง และเพื่อให้การแพร่คำสั่งไปได้กว้างขวางและรวดเร็วจะต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง และจึงตามด้วยการเปลี่ยนแปลงเชิงกล อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงต่างๆไม่ได้เป็นไปตามลำดับขั้นที่เดียว มีการเหลื่อมล้ำกันบ้าง...ตัวการที่สำคัญคือการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวกับการให้พลังงาน ได้แก่

1. อะดีโนสีน ไตรฟอสเฟต (Adenosine Triphosphate) หรือ เอทีพี (ATP) เป็นสารที่จำเป็นสำหรับการหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อ และให้พลังมาก แต่มีเก็บไว้ในกล้ามเนื้อน้อยมาก มีเพียง 3 มิลลิโมลต่อกล้ามเนื้อ 1 กิโลกรัม และใช้สำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อได้เพียง 8 ครั้ง เท่านั้น

2. ครีเอตีนฟอสเฟต (Creatine Phosphate หรือ CP) เป็นแหล่งสะสมพลังงานในกล้ามเนื้อที่สามารถนำออกมาใช้ได้ทันที ครีเอตีนฟอสเฟต มีอยู่ในกล้ามเนื้อ 20 มิลลิโมลต่อกล้ามเนื้อ 1 กิโลกรัม ซึ่งทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้ประมาณ 100 ครั้ง

ครีเอตีนฟอสเฟต $\xrightarrow{\text{สลาย}}$ ครีเอตีน + ฟอสเฟต (ชนิดพลังสูง)

อะดีโนสีน ไดฟอสเฟต $\longrightarrow$ อะดีโนสีน ไตรฟอสเฟต

3. กลัยโคเจนในกล้ามเนื้อ เป็นต้นตอที่สำคัญของพลังงานที่กล้ามเนื้อใช้ มีอยู่ถึง 100 มิลลิโมล ต่อ 1 กิโลกรัมของน้ำตาลเฮ็กโซส ซึ่งกล้ามเนื้อสามารถใช้หดตัวได้ถึง 20,000 ครั้ง [1]

ปฏิกริยาพื้นฐานทางเคมี เกี่ยวกับการผลิตพลังงานในร่างกายของคนเรานั้น มีอยู่ 3 ทาง คือ

1. การสลายตัวของฟอสฟาเจน (GP = ATP + CP) เกิดกรดฟอสฟอริค (Pi) กลูโคส (G) และพลังงาน $GP \rightleftharpoons G + Pi + E_p$

2. การสันดาปอาหาร ได้ คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน

$$Food + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + E_o$$

---

[1] ชูศักดิ์ เวชแพศย์, สรีรวิทยา (คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล, 2520), หน้า 17-18.

3. การสลายกลัยโคเจน โดยไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Glycolysis) ได้กรดแล็กติค และพลังงาน

$$\text{Glycogen} \rightleftharpoons \text{Lactate acid} + E_L$$ [1]

แหล่งพลังงานที่เกิดขึ้นทันทีทันใดในการหดตัวของกล้ามเนื้อ คือ การแตกตัวของ เอทีพี (ATP) [เมื่อ ATP ลดจำนวนเหลือน้อยลง]. ซึ่งสามารถจะถูกสังเคราะห์ขึ้นใหม่โดยทันทีจาก ครีเอตีนฟอสเฟต (CP) [ดูปฏิกริยาเคมีที่แสดงไว้ในหน้า 3 ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้] แหล่งพลังงานของกระบวนการนี้รวมเรียกว่า ฟอสฟาเจน (GP = ATP + CP)[2]

แต่กระบวนการที่ผลิตพลังงานให้กับการหดตัวของกล้ามเนื้อได้มากที่สุดคือ กระบวนการของเมตาบอลิซึมของกล้ามเนื้อ (Muscle Metabolism) " กระบวนการเมตาบอลิซึมในร่างกายของเราที่สำคัญก็มีกระบวนการเมตาบอลิซึมของ คาร์โบไฮเดรท ไขมัน และโปรตีน ...แต่ในการออกกำลังกาย กระบวนการเมตาบอลิซึมของโปรตีนแทบไม่มีส่วนเกี่ยวข้องเลย "[3]

กระบวนการเมตาบอลิซึมที่มีอยู่ในร่างกายที่สามารถสังเคราะห์ เอทีพี ให้แก่กล้ามเนื้อ มี 2 ทาง คือ

1. โดยไม่ใช้ออกซิเจน เรียกว่า อะนาโรบิคเมตาบอลิซึม หรือ กลัยโคลิสีส (Anaerobic Metabolism or Glycolysis) กลูโคส (Glucose) ภายในเซลล์ของกล้ามเนื้อจะถูกสลายทำให้เกิด เอทีพี มาใช้อย่างรวดเร็ว และผลที่ได้จากการผลิต เอทีพี

---

[1] Rodolfo Margaria, Biomechnics and Energetics of Muscular Exercise, (Oxford: Clarendon Press, 1976), pp. 7-8.

[2] P.E. di Prampero, "The Alactic Oxygen Debt: Its Power, Capacity and Efficiency", in Advance in Experimental Medicine and Biology, Vol.11, ed. Bengt Pernow and Bengt Saltin (New York: Plenum Press Co., 1971), p. 371.

[3] อนันต์ อัตชู, สรีรวิทยาการออกกำลังกาย หน้า 15-24.

วิธีนี้ ก็คือ กรดแล็คติค (Lactic Acid) (ดังสมการ)

$$\text{Glucose} + 2\ \text{Phosphate} + \text{ADP} \longrightarrow 2\ \text{Lactate} + 2\ \text{ATP}$$ [1]

2. โดยการใช้ออกซิเจน เรียกว่า แอโรบิคเมตาบอลิซึม (Aerobic metabolism) กระบวนการในข้อ 1. จะถูกสลายต่อไปตามกระบวนการเคมี เกิด คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ทำให้ได้พลังงานมากมาย (ดังสมการ)

$$\text{Glucose} + 38\ \text{Phosphate} + 38\ \text{ADP} + 6\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 44\ H_2O + 38\ \text{ATP}$$ [2]

ส่วนกระบวนการเมตาบอลิซึมของไขมันนั้นจะเข้าไปร่วมกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของกลูโคส โดยไขมันจะแตกตัวเป็น กลัยเซอรอล(Glycerol) และกรดไขมัน(Fatty Acid) เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น เอทีพี ขึ้นมากมาย [3]

ขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานของเซลล์กล้ามเนื้อ อาจจะเขียนให้ง่ายและสะดวกต่อการเข้าใจใหม่ได้ดังนี้ คือ

Anaerobic
(1) $\text{ATP} \rightleftharpoons \text{ADP} + \text{P} + \text{free energy}$
(2) $\text{Creatine phosphate} + \text{ADP} \rightleftharpoons \text{creatine} + \text{ATP}$
(3) $\text{Glycogen or glucose} + \text{P} + \text{ADP} \longrightarrow \text{lactate} + \text{ATP}$

Aerobic
(4) $\text{Glycogen and free fatty acids} + \text{P} + \text{ADP} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{ATP}$ [4]

กระบวนการเมตาบอลิซึม ทั้ง แอโรบิค(Aerobic) และ อะนาโรบิค (Anaerobic)

---

[1] Per-Olof Astrand, and Kaare Rodahl, Textbook of Work Physiology (New York: McGraw-Hill Book Company, 1970), p. 16.

[2] Ibid., p. 17.

[3] อนันต์ อัตชู, สรีรวิทยาการออกกำลังกาย หน้า 21-22.

[4] Per-Olof Astrand, and Kaare Rodahl, Textbook of Work Physiology p. 16.

นั้น ดร. อนันต์ อัตฐ กล่าวว่า

คำว่า Aerobic และ Anaerobic Metabolic Pathway นั้นผู้เขียนเข้าใจว่าทั้งสอง Pathways จะทำงานไปพร้อมๆกันในทุกๆขณะแต่วาอย่างหนึ่งอย่างใดจะทำงานมากในขณะใดเท่านั้น นั่นคือขึ้นอยู่กับความหนักเบาของงาน ซึ่งมีอยู่ 3 ระดับด้วยกัน คือ

1. งานในระดับที่ 1 (Level I) งานชนิดนี้เป็นงานที่ เร็ว แรง และหนัก ซึ่งร่างกายทำงานได้อย่างมากไม่เกิน 20 วินาที ถึง 25 วินาที เช่นการวิ่งแข่งขันระยะทาง 100 เมตร และ 200 เมตร พลังงานในการทำงานของกล้ามเนื้อได้จาก เอทีพี ที่สะสมไว้ในกล้ามเนื้อ ซึ่งสามารถทำงานได้เพียง 5 วินาที แต่ ครีเอตีนฟอสเฟต สามารถสังเคราะห์ เอทีพี ขึ้นใหม่อีก จนกระทั่ง ฟอสฟาเจน ลดลงในระดับที่ไม่สามารถทำให้งานในระดับนี้ดำเนินต่อไปได้ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 15 วินาที ถึง 20 วินาที จะเห็นว่าการทำงานในระดับนี้ กลัยโคลิสีส และ แอโรบิคเมตาบอลิซึม ยังไม่ได้ทำงาน ฉะนั้นปริมาณของกรดแล็คติค ที่เพิ่มขึ้นในร่างกาย จึงมีไม่มากนัก

2. งานในระดับที่ 2 (Level II) ใช้เวลาประมาณ 25 วินาที ถึง 8 นาที งานในระดับนี้ แบ่งเป็น 2 ขั้น (Phase)

ขั้นที่ 1 (Phase 1) ใช้เวลาประมาณ 25 วินาที ถึง 4 นาที เอทีพี ที่ใช้ในงานนี้ได้จาก กลัยโคลิสีส ทำให้กรดแล็คติคเกิดขึ้นมาก และมากกว่างานในทุกระดับ

ขั้นที่ 2 (Phase 2) ใช้เวลาประมาณ 4 นาที ถึง 8 นาที เอทีพี ที่ใช้ในขั้นนี้จะได้จาก แอโรบิคเมตาบอลิซึม มากขึ้น และ กลัยโคลิสีส น้อยลง ดังนั้นปริมาณของกรดแล็คติคในร่างกายจึงน้อยกว่า ขั้นที่ 1 (Phase1)แต่มากกว่างานในระดับที่ 1(Level I) เพราะเวลาในการทำงานนานกว่ามาก

3. งานในระดับที่ 3 (Level III) การทำงานที่เกินกว่า 8 นาที เอทีพี จะได้จาก แอโรบิคเมตาบอลิซึม เกือบจะทั้งหมด โดยจะได้จาก กลัยโคลิสีส เล็กน้อย และออกซิเจนจะเข้าไป ออกซิไดซ์ ความเป็นกรดให้น้อยลง ทำให้กรดแล็คติคในร่างกายลดลง และน้อยกว่าความเป็นกรดในงานระดับที่ 2 (Level II) [1]

จากเหตุผลและหลักการที่กล่าวมาแล้ว ทำให้ผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาถึงระดับของกรดแล็คติคในกระแสเลือดที่เกิดขึ้น ระหว่างการทำงานในระดับต่างๆ โดยให้ผู้รับการทดลอง (Subject) ทำงานในระดับต่างๆด้วยการวิ่งต่างระยะทางกันนี้ คือ

---

[1] อนันต์ อัตฐ, สรีรวิทยาการออกกำลังกาย หน้า 40-46.

1. การวิ่งระยะทาง 100 เมตร และ 200 เมตร เทียบได้กับงานในระดับที่ 1 (Level I)

2. การวิ่งระยะทาง 400 เมตร และ 800 เมตร เทียบได้กับงานในระดับที่ 2 ขั้นที่ 1 (Phase 1)

3. การวิ่งระยะทาง 1,500 เมตร เทียบได้กับงานในระดับที่ 2 ขั้นที่ 2(Phase 2)

4. การวิ่งระยะทาง 5,000 เมตร เทียบได้กับงานในระดับที่ 3 (Level III)

<u>รายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง</u>

การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกรดแล็คติคและการออกกำลังกาย ทั้งหมดเป็นงานวิจัยที่ทำกันในต่างประเทศ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 1962 ออสตรานด์ (Astrand) และคณะได้ทำการวิจัยกรดแล็คติคในเลือดหลังจากการออกกำลังกายอย่างหนักเป็นเวลานาน โดยใช้ผู้รับการทดลองซึ่งเป็นทีมนักสกีวิบากทีมชาติ สวีเดน หญิง 6 คน ชาย 18 คน เจ้าของ 9 เหรียญทองและ 3 เหรียญเงิน จากการแข่งขันสกีชิงแชมป์โลกและโอลิมปิค ก่อนหน้านั้น 1 ปี รวมทั้งนักศึกษาชาย 4 คน อายุประมาณ 25 ปี ทำการสกีวิบากระยะทาง 85 กิโลเมตร ผู้รับการทดลองถูกเจาะเลือดที่ปลายนิ้วหลังจากการแข่งขันสกีระยะทาง 10-85 กิโลเมตร เสร็จสิ้นลง 1-3 นาที นำเลือดที่เจาะไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดแล็คติค พบว่าหลังจากการออกกำลังอย่างหนัก กรดแล็คติคกลับลดลงเมื่อเวลานานขึ้น คือ ในระยะ 10 กิโลเมตร ทำเวลาได้ 35-36 นาที ปริมาณกรดแล็คติคเฉลี่ยเกิดขึ้น 139 มิลลิกรัม ต่อ เลือด 100 มิลลิลิตร ในระยะ 30 กิโลเมตร ทำเวลาได้ 1 ชั่วโมง กับอีก 50 นาที–56 นาที กรดแล็คติคเฉลี่ย 68 มิลลิกรัม ต่อ เลือด 100 มิลลิลิตร ในระยะทาง 50 กิโลเมตร ทำเวลาได้ 3 ชั่วโมง กับอีก 6-18 นาที กรดแล็คติคเฉลี่ย 39 มิลลิกรัม ต่อ เลือด 100 มิลลิลิตร และในระยะทาง 85 กิโลเมตร ทำเวลาได้ 5 ชั่วโมง ถึง 8 ชั่วโมง 30 นาที กรดแล็คติคเฉลี่ย 23 มิลลิกรัม ต่อ เลือด 100 มิลลิลิตร ค่าปริมาณของกรดแล็คติคที่ต่างกัน แสดงถึงความเมื่อยล้าในหลายแบบ หลายลักษณะ ซึ่งสรุปไม่ได้กระ–

จ่างชัด ข้อมูลความต้องการออกซิเจนเฉลี่ย (Average VO_2) เท่ากับ 4.45 ลิตร/นาที [1]

ในปี ค.ศ. 1968 บี. ไดแมนท์, เจ. คาร์ลสัน และ บี. ซาลติน (B. Diamant, J. Karlsson, and B. Saltin) ได้ทำการศึกษาวิจัยกรดแล็คติคในกล้ามเนื้อของคน หลังจากการออกกำลังกายสูงสุด โดยใช้ผู้รับการทดลองเป็นนักศึกษาวิชาพลศึกษา 4 คน ทำการวัดกรดแล็คติคในกล้ามเนื้อขณะพัก และ 5 นาที หลังจากออกกำลังกายด้วยจักรยาน (Bicycle Ergometer) จนหมดแรงเป็นเวลา 3 นาที การหาความเข้มข้นของกรดแล็คติคกระทำโดยการตัดชิ้นเนื้อต้นขา (Quadricep Femoris) 15 - 30 มิลลิกรัม ไปตรวจ และการตรวจหากรดแล็คติคในเลือดจากปลายนิ้ว พบว่า ขณะพัก กรดแล็คติคในกล้ามเนื้อ (เฉลี่ยเท่ากับ 3.0 มิลลิโมล) สูงกว่ากรดแล็คติคในเลือด (เฉลี่ยเท่ากับ 1.4 มิลลิโมล) หลังจากออกกำลังสูงสุด ความเข้มข้นเฉลี่ยของกรดแล็คติคในกล้ามเนื้อ เท่ากับ 19.1 มิลลิโมล ส่วนในเลือด เท่ากับ 12.5 มิลลิโมล จากการทดสอบกับผู้รับการทดลองคนหนึ่ง พบว่าการลดลงของความเข้มข้นของกรดแล็คติคในกล้ามเนื้อ และในเลือดจะลดลงอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน เมื่อหลังจากออกกำลังกายแล้วประมาณตั้งแต่ 10 นาทีขึ้นไป นอกจากนั้นยังพบว่าความเข้มข้นของกรดแล็คติคในเซลล์กล้ามเนื้อสูงกว่าความเข้มข้นของกรดแล็คติคในของเหลวนอกเซลล์กล้ามเนื้อ 20 % [2]

ในปี ค.ศ. 1970 แอล. จอร์เฟลด์ท (L. Jorfeldt) ได้ทำการทดลองศึกษาเกี่ยวกับการสลายตัวของ ฟอสฟาเจน (ATP+CP) และการสะสมของกรดแล็คติคในกล้ามเนื้อ ในการออกกำลังกายสูงสุดและเกือบจะสูงสุด โดยให้ผู้รับการทดลองที่ได้รับการฝึกออก

---

[1] Per-Olof Astrand et al., "Blood Lactate after Prolonged Severe Exercise," Journal of Applied Physiology 18(3) (May 1963): 619-622.

[2] Bertil Diamant, Jan Karlsson and Bengt Saltin, "Muscle Tissue Lactate after Maximal Exercise in Man," Acta Physiologica Scandinavica 72 (March 1968): 383-384.

กำลังกาย 13 คน และผู้ไม่ได้รับการฝึก 15 คน พบว่ามีการสลายตัวของ ครีเอตีนฟอสเฟต ในการออกกำลังกายแบบเกือบจะสูงสุดทั้งสองกลุ่ม ในขณะเดียวกัน เอทีพี ที่สะสมอยู่ถูกใช้หมดไปในการออกกำลังกายอย่างหนัก การสะสมของกรดแล็คติคเริ่มเกิดขึ้นเมื่อการออกกำลังกายมีระดับ 50-60 % ของสมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคน ในกลุ่มผู้รับการทดลองทั้งสองกลุ่ม กรดแล็คติคขณะปกติจะไม่แตกต่างกัน แต่ในการออกกำลังกายตั้งแต่ 75 % ของสมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคน การสะสมกรดแล็คติคของทั้งสองกลุ่มจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) คือผู้ไม่ได้รับการฝึกการสะสมกรดแล็คติคจะสูงกว่า และพบว่า ฟอสฟาเจน ที่สะสมอยู่ในร่างกายถูกใช้หมดไป ในเวลาเดียวกันพลังงานจะถูกสร้างขึ้นทันทีจาก อะนาโรบิคเมตาบอลิซึม แล้วจึงเกิดกรดแล็คติคขึ้น และผู้วิจัยคนเดียวกันนี้ยังทำการศึกษาเกี่ยวกับการสะสมกรดแล็คติคในกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกายอย่างหมดแรง พบว่าการสะสมกรดแล็คติคในกล้ามเนื้อขณะหมดแรงภายในระยะเวลาออกกำลังกาย 2 นาที ถึง 7 นาที ไม่แตกต่างกัน แต่หลังการออกกำลังกายอย่างหมดแรงภายใน 10 นาที ถึง 20 นาที มีค่าน้อยกว่า[1]

ในปี ค.ศ. 1972 จูดิธ แอล. ฮับบาร์ด (Judith L. Hubbard) ได้ศึกษาผลของการออกกำลังกายกับเมตาบอลิซึมของกรดแล็คติค โดยใช้ผู้รับการทดลองอาสาสมัครเป็นชาย 4 คน อายุเฉลี่ย 53 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 74 กิโลกรัม ส่วนสูงเฉลี่ย 179 เซนติเมตร ทำการออกกำลังกายอย่างหนักประมาณ 62-72 % ของสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคน (VO_2 max.) เป็นเวลา 40-50 นาที ผู้รับการทดลองถูกฉีดสารกัมมันตภาพรังสีโดยเกลือโซเดี่ยมแล็คเตตจำนวน 5 ไมโครคูรี่ ($5\,\mu c\,[U\text{-}^{14}C]$ Sodium L(+) -Lactate) เข้าเส้นเลือดดำที่แขน (antecubital vein) ผลปรากฏว่าหลังการออกกำลังกาย คลูโคสในเลือดลดลงกว่าปกติ (ขณะพัก) และขณะออกกำลังกาย กรดแล็คติคจะเกิดขึ้นและถูก

---

[1] L. Jorfeldt, "Lactate Accumulation and Phosphagen Depletion with Submaximal and Maximal Exercise," Acta Physiologica Scandinavica Supplementum 338 (1970): 35-41.

เมตาบอไลซ์ โดยในขณะออกกำลังกาย เมตาบอลิซึมจะเกิดเร็วมาก ในขณะออกกำลังกายเกือบจะสูงสุด (30 นาที ที่ 35 - 68 % $VO_2max.$)ปรากฏว่า การผลิตกรดแล็คติคไม่ได้เกิดเฉพาะช่วง 2-3 นาทีแรก ของการออกกำลังกายเท่านั้น เพราะจะเกิดกรดแล็คติคตลอดเวลา แต่กรดแล็คติคถูกสลายโดยกระบวนการเมตาบอลิซึมไปด้วย ทำให้การผลิตและการสลายของกรดแล็คติคอยู่ในภาวะคงที่ตลอด[1]

ในปีเดียวกัน เฮอร์แมนเซน และ สเตนส์โวลด์ (Hermansen and Stensvold), ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผลิตและการสลายตัวของกรดแล็คติคระหว่างกายออกกำลังกาย โดยใช้ผู้รับการทดลองเป็นชาย 4 คน หญิง 3 คน โดยแต่ละคนผ่านการฝึกออกกำลังมาอย่างดี และวัดความเข้มข้นของกรดแล็คติคในเลือดขณะพักและระหว่างออกกำลังกาย ที่ระดับ 30 % 60 %, 70 % และ 80 % ของสมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคน ($VO_2max.$) โดยออกกำลังกายเป็นเวลาระดับละ 30 นาที ผู้รับการทดลองพักโดยนั่งเก้าอี้นวมและเมื่อลุกจากเก้าอี้ก็เริ่มออกกำลังกายทันที ปรากฏว่ากรดแล็คติคในเลือดจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่ 60 % - 80 %(VO_2max)ปริมาณกรดแล็คติคขณะนั้นประมาณ 130-220 มิลลิกรัม ต่อ เลือด 100 มิลลิลิตร หลังจากออกกำลัง 30 นาที หยุดนั่งพัก หรือ วิ่งเบาๆต่อไปเรื่อยๆกรดแล็คติคในเลือดจะลดลงสู่ระดับปกติ และปรากฏว่า อัตราการสลายตัวของกรดแล็คติคในเลือดต่อนาทีในขณะวิ่งไปเรื่อยๆ เร็วกว่าการนั่งพัก อัตราการสลายตัวของกรดแล็คติคสูงสุด เท่ากับ 8 มิลลิกรัม ต่อ เลือด 100 มิลลิลิตร ต่อ นาที ที่ 63 % ($VO_2 max.$) โดยเฉลี่ย และสรุปว่ากล้ามเนื้อสามารถ ออกซิไดซ์ กรดแล็คติค ได้ดีกว่าในตับ[2]

---

[1] Judith L. Hubbard, "The Effect of Exercise on Lactate Metabolism," Journal Physiology (London) 231 (May 1973): 1-18.

[2] Lars Hermansen and Inger Stensvold, "Production and Removal of Lactate During Exercise in Man," Acta Physiologica Scandinavica 86 (October 1972): 191-201.

ในปี ค.ศ. 1973 พี.อี. ไค พรามพีโร, แอล.ปีเตอร์ และ อาร์. มาร์กาเรีย (P.E. di Prampero, L. Peeters and R. Margaria) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการติดหนี้ออกซิเจน และ การผลิตกรดแล็คติคภายหลังการออกกำลังกายจนหมดแรง โดยใช้ผู้รับการทดลองที่มีสุขภาพดี 5 คน อายุระหว่าง 22-31 ปี น้ำหนักระหว่าง 65-80 กิโลกรัม สมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุด 45-52 มิลลิลิตร ต่อ กิโลกรัม ต่อ นาที การออกกำลังกระทำโดยวิ่งบนลู่กล (Treadmill) ด้วยความเร็ว 18 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง และเพิ่มขึ้น 10, 15 และ 20 % เพื่อให้เกิดความเหน็ดเหนื่อยในช่วงเวลา 50, 25 และ 15 วินาที ก่อนออกกำลังกาย ให้ผู้รับการทดลองเดินด้วยความเร็ว 3.5-5.5 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง เป็นเวลา 7 นาที เพื่อให้อยู่ใน Steady-State เท่ากับ 50 % ของสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด (50 % VO_2 max.) ผู้รับการทดลองถูกเจาะเลือดที่เส้นโลหิตดำที่แขนก่อนและหลังจากการวิ่ง 4-5 นาที เพื่อการวิเคราะห์กรดแล็คติค ปรากฏว่าหลังจากการออกกำลังกาย ปริมาณการติดหนี้ออกซิเจน เท่ากับ 32 มิลลิลิตร ต่อ กิโลกรัม และหลังจากการออกกำลังกายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic)สูงสุด พบว่าปริมาณของ ฟอสฟาเจน (ATP + CP) ใช้ไปประมาณ 26 มิลลิกรัม ต่อ หนึ่งกิโลกรัมของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการออกกำลัง ในการทำงานของกล้ามเนื้อช่วงสั้นๆ ฟอสฟาเจน บางส่วนจะถูกสังเคราะห์ขึ้นใหม่โดยกระบวนการผลิตกรดแล็คติค และการผลิตกรดแล็คติคจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วด้วยการออกกำลังกายอย่างเหน็ดเหนื่อย ผ่านไป 50 วินาที หรือมากกว่านั้น[1]

ในปี ค.ศ. 1973 ยอร์จ เอ.บรุคส์, เค อี.บราวเนอร์ และ โรเบิร์ต จี. คาสเซนส์ (George A. Brooks, Kay E. Brauner and Robert G. Cassens) ได้ทำการศึกษาวิจัย การสังเคราะห์ กลัยโคเจน และ เมตาบอลิซึม ของกรดแล็คติค หลังการ

P.E. di Prampero, L. Peeters, and R. Margaria, "Alactic O_2 Debt and Lactic Acid Production after Exhausting Exercise in Man," Journal of Applied Physiology 34(5) (May 1973): 628-632.

ออกกำลังกาย โดยทำการวิจัยกับหนูเพศเมียที่คัดเลือกแล้ว 83 ตัว น้ำหนักเฉลี่ยตัวละประมาณ 210 กรัม แบ่งเป็นกลุ่มต่างๆ คือ กลุ่มอดอาหาร 10 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง และ 36 ชั่วโมง กลุ่มไม่อดอาหาร กลุ่มไม่ออกกำลังกาย เป็นต้น การออกกำลังกายจะให้ออกกำลังจนเหนื่อย คือ ให้วิ่งบนลู่กล (Treadmill) ด้วยความเร็ว 18 เมตรต่อชั่วโมง และเร่งความเร็วเพิ่มขึ้น 2 เมตรต่อนาที ในทุกๆ 2.5 นาที จากการทดลองพบว่า

กรดแล็คติคในเลือดในกลุ่มอดอาหาร และ ไม่อดอาหาร ในขณะพัก(ไม่ออกกำลัง) ต่ำกว่าค่ากรดแล็คติคในรายผู้วิจัยอื่นๆที่ทำกับหนู และหลังการออกกำลังกาย กรดแล็คติคในเลือดสูงมาก และสูงที่สุด หลังจากออกกำลังกายสูงสุด 15 นาทีไปแล้ว ส่วนกรดแล็คติคในกล้ามเนื้อและในตับ ในกลุ่มอดอาหาร 12 ชั่วโมง ต่ำกว่า กลุ่มไม่อดอาหาร ความเข้มข้นของกรดแล็คติคภายหลังการออกกำลังจนหมดแรงพบว่า ความเข้มข้นของกรดแล็คติคในกล้ามเนื้อสูงที่สุด รองลงมาคือ ในตับ และในเลือดต่ำที่สุด

ส่วนเรื่องระดับกลัยโคเจนพบว่า การอดอาหารมีผลต่อการลดความเข้มข้นของกลัยโคเจนในตับ ทันทีหลังจากออกกำลังกายอย่างหมดแรงไม่พบการสังเคราะห์กลัยโคเจน หลังจากหยุดพัก 24 ชั่วโมงไปแล้ว ก็ไม่พบการสังเคราะห์กลัยโคเจนเช่นกัน และ ระดับกลัยโคเจน ในระยะนี้ยังน้อยกว่าในกลุ่มอดอาหาร 36 ชั่วโมงด้วย ส่วนระดับกลัยโคเจนในกล้ามเนื้อให้ผลเช่นเดียวกับในตับ

ส่วนเรื่องระดับน้ำตาลในเลือดหลังจากการหยุดออกกำลัง มีค่าลดลง แต่มีค่าสูงกว่าระดับน้ำตาลในเลือดหลังจากหยุดออกกำลัง 24 ชั่วโมง ($P < .05$) และให้ผลเหมือนกันกับกลุ่มอดอาหาร 36 ชั่วโมง (36 -hr fast = 24 -hr recovery)[1]

---

[1] George A. Brooks, Kay E. Brauner, and Robert G. Cassens, "Glycogen Synthesis and Metabolism of Lactic Acid after Exercise," American Journal of Physiology 224(5) (May 1973): 1162-1165.

ในปี ค.ศ. 1975 อนันต์ อัตชู ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกรดแล็คติคในเลือดกับการออกกำลังกายแบบสลับช่วงพัก และแบบต่อเนื่อง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชาย ที่มีสมรรถภาพสมบูรณ์ 16 คน ออกกำลังกายโดยการถีบจักรยาน (Bicycle Ergometer) การออกกำลังกายมี 4 อนุกรม อนุกรมที่ 1 เป็นงานต่อเนื่องใช้เวลา 10 นาที ความหนัก 85 % ของสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด อนุกรมที่ 2 เป็นงานสลับช่วงพัก มีอัตราการทำงานต่อการพักเป็น 1:1 คือ ทำงาน 15 วินาที พัก 15 วินาที อนุกรมที่ 3 มีอัตราการทำงานต่อการพักเป็น 1:2 คือ ทำงาน 15 วินาที พัก 30 วินาที อนุกรมที่ 4 มีอัตราการทำงานต่อการพักเป็น 1:1 คือ ทำงาน 30 วินาที พัก 30 วินาที ผลการวิจัยพบว่า การทำงานต่อเนื่อง 10 นาที มีกรดแล็คติคในเลือดมากกว่าขณะพักผ่อน ค่ามัชฌิมเลขคณิตของกรดแล็คติคในเลือดในการทำงานแบบสลับช่วงพักทุกอนุกรมมีมากกว่าขณะพักผ่อน การทำงาน 15 วินาที พัก 15วินาที กับการทำงาน 30 วินาที พัก 30 วินาที ความเข้มข้นของกรดแล็คติคในเลือดมีปริมาณพอกันเมื่อเทียบกับกรดแล็คติคของการทำงานแบบสลับช่วงพัก ทำให้คิดว่ากรดแล็คติคไม่ใช่องค์ประกอบของความเหน็ดเหนื่อย ความเข้มข้นของกรดแล็คติคในเลือดจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับ ความหนักเบาของงาน และ ระยะเวลาในการทำงาน ความเข้มข้นของกรดแล็คติคในการทำงานชนิดสลับช่วงพัก และ ชนิดต่อเนื่อง เป็นอิสระซึ่งกันและกัน [1]

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาปริมาณของกรดแล็คติคที่เกิดขึ้นในเลือด ระหว่างการวิ่งในระยะทางต่างๆ คือ 100 เมตร, 200 เมตร, 400 เมตร, 800 เมตร, 1,500 เมตร และ 5,000 เมตร

---

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

สมมุติฐานในการวิจัย

1. อัตราการผลิตกรดแล็คติคของการวิ่งระยะทาง 400 เมตร จะมากกว่าการวิ่งระยะทาง 800 เมตร

2. อัตราการผลิตกรดแล็คติคของการวิ่งระยะทาง 800 เมตร จะมากกว่าการวิ่งระยะทาง 1,500 เมตร

3. อัตราการผลิตกรดแล็คติคของการวิ่งระยะทาง 1,500 เมตร จะมากกว่าการวิ่งระยะทาง 5,000 เมตร

4. อัตราการผลิตกรดแล็คติคของการวิ่งระยะทาง 200 เมตร จะมากกว่าการวิ่งระยะทาง 100 เมตร

ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาความเข้มข้นของกรดแล็คติคที่เกิดขึ้นในเลือดระหว่างการวิ่ง (โดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดแล็คติคที่เพิ่มขึ้นในเลือดจากระดับปกติภายหลังจากการวิ่งต่อหน่วยเวลาเป็นนาทีในแต่ละระยะทาง) ระยะทางในการวิ่งได้แก่ 100 เมตร 200 เมตร, 400 เมตร, 800 เมตร, 1,500 เมตร และ 5,000 เมตร

2. การเก็บตัวอย่างเลือดใช้เวลาทั้งสิ้น 6 สัปดาห์ สัปดาห์แรก ต้นสัปดาห์เป็นการเก็บตัวอย่างเลือดของผู้รับการทดลองในระดับปกติ(ขณะพัก) ปลายสัปดาห์แรกเป็นการเก็บตัวอย่างเลือดหลังจากการวิ่งระยะทางแรกตามแต่ผู้รับการทดลองจะจับฉลากได้ สัปดาห์ที่ 2, 3,4,5, และ 6 เป็นการเก็บตัวอย่างเลือดตามวิธีการจับฉลากระยะทางวิ่ง เช่นเดิม การวิ่งจะเริ่มเวลา 7.00 - 8.00 น.(ก่อนที่ผู้รับการทดลองจะรับประทานอาหารเช้า)

3. การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดแล็คติคในเลือด ใช้วิธี เอ็นไซม์เมติค (Enzymatic Method) โดยนำตัวอย่างเลือดไปทำการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการเคมีของหน่วย ต่อมไร้ท่อและเมตาบอลิซึม แผนกวิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. ในการวิ่งทุกสัปดาห์ ผู้รับการทดลองอยู่ในสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน เช่น ช่วงเวลา สภาพภูมิอากาศ การงดอาหารเช้า ตลอดจนการวิ่งซึ่งจัดในลักษณะการแข่งขัน เพื่อกระตุ้นให้ผู้รับการทดลองทำการวิ่งอย่างเต็มความสามารถ

2. ผู้รับการทดลองทุกคนมีความตั้งใจที่จะวิ่งอย่างเต็มความสามารถ

3. การเจาะเลือดเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดแล็คติคกระทำได้เพียงครั้งเดียว ฉะนั้นเพื่อความเชื่อถือได้ จึงทำการตรวจความเข้มข้นของกรดแล็คติคในเลือดตัวอย่างจากการเจาะเพียงครั้งเดียวนั้น 2 ครั้ง แล้วเฉลี่ยเป็นความเข้มข้นของกรดแล็คติคในเลือด

4. เครื่องมือ เช่น นาฬิกาจับเวลา เครื่องชั่งน้ำหนัก และที่วัดส่วนสูง ทดสอบแล้วว่ามีความเชื่อถือได้

ความจำกัดของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้อาจจะมีความคลาดเคลื่อนและไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก

ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมเรื่องอาหาร และการพักผ่อนของผู้รับการทดลองได้ คงปล่อยให้ปฏิบัติตัวไปตามปกติ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้เลือกเวลาการวิ่งในเวลาที่ผู้รับการทดลองยังไม่ได้รับประทานอาหารเช้า ฉะนั้นการควบคุมอาหารจึงเป็นไปในลักษณะนี้

คำจำกัดความของการวิจัย

กรดแล็คติคในเลือด (Blood lactate) หมายถึง สารซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต เอทีพี จากกลูโคสเมื่อขาดออกซิเจน และกรดนี้จะแพร่เข้าสู่กระแสเลือดจนมีระดับความเข้มข้นเท่าๆกับในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ และจะทำการเจาะเลือดเพื่อวิเคราะห์กรดนี้ ในช่วงเวลานี้

มิลลิโมลา (mM) เท่ากับ 1×10^{-3} โมล/นาที

โมล หมายถึง ปริมาณของสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับจำนวนอะตอมที่มีอยู่ในคาร์บอน $^{-12}$ หนัก 0.012 กิโลกรัม คือ เท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาค

011715

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ความเข้มข้นของกรดแล็คติกในเลือดที่วิเคราะห์ได้จากการวิ่งในแต่ละระยะทาง จะทำให้ทราบว่า การวิ่งแต่ละระยะทางมีอัตราการผลิตกรดแล็คติคมากน้อยเพียงไร และการสร้าง เอทีพี เพื่อเป็นพลังงานให้กล้ามเนื้อนั้นใช้กระบวนการสร้างแบบไหน เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดการวางแผน และควบคุมการฝึกซ้อมนักกรีฑาประเภทลู่ให้เหมาะสมกับระดับของงานจากระยะทางในการวิ่ง

2. เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิจัยเกี่ยวกับกรดแล็คติคในกีฬาประเภทอื่นๆต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย