หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเคลื่อนไหวของร่างกายในการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การเดิน การวิ่ง หรือการออกกำลังกาย เป็นต้น เกี่ยวพันกับกล้ามเนื้ออย่างใกล้ชิด และถ้ามองในระดับหน่วยย่อยก็คือเกิดจากการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อนั่นเองเพราะว่าเซลล์ของกล้ามเนื้อมีความไวต่อสิ่งเร้า (excitable cell) และสามารถส่งสัญญาณไฟฟ้า (action potential) ไปตามส่วนต่างๆของเซลล์ได้ เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจะทำให้เกิดแรงและการเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ของร่างกาย กล้ามเนื้อจึงเปรียบเสมือนอวัยวะที่ทำหน้าที่สำคัญในการเปลี่ยนพลังงานเคมี (chemical energy) ให้เป็นพลังงานกล (mechanical work) ซึ่งองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้กล้ามเนื้อมีคุณสมบัติในการทำงานแตกต่างกันคือ ชนิดของเซลล์กล้ามเนื้อและระบบพลังงานของกล้ามเนื้อ

ชนิดของเซลล์กล้ามเนื้อ (Muscle fiber types)

กล้ามเนื้อลายแต่ละแห่งมีความสามารถในการหดตัวได้แตกต่างกันและเซลล์กล้ามเนื้อมีการพัฒนาและปรับตัวให้เหมาะสมกับหน้าที่การทำงานและการใช้พลังงานของเซลล์ จากการพิจารณาคุณสมบัติพิเศษเกี่ยวกับความเร็วในการหดตัว เวลาที่ใช้ในการหดตัวและคุณสมบัติทางชีวเคมี แบ่งเซลล์กล้ามเนื้อเป็น 3 ชนิด (Jay, 1994) คือ

1. Type I (slow twitching muscle fiber , slow oxidation muscle fiber)
2. Type II A (fast oxidation glycolytic muscle fiber)
3. Type II B (fast glycolytic muscle fiber)

เซลล์กล้ามเนื้อทั้ง 3 ชนิด มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังที่แสดงใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 Motor unit characteristic (Jay , 1994)

Characteristic	Muscle fiber type		
	I	II A	II B
Nomenclature	S,SO,Red	Intermediate:FGO	Fast,FG,White
α- Motor neuron properties			
Cell body size	Small	Medium	Large
Axon diameter	Small	Medium	Large
Threshold for recruitment	Small	Moderate	High
Conduction velocity	Slow	Fast	Fast
Physiologic properties			
Shortening velocity	Slow	Moderate	Fast
Rate of force development	Slow	Moderate	Fast
Absolute force output	Low	Moderate	High
Resistance to fatigue	High	Moderate	Low
Structure			
Diameter	Small	Moderate	Large
Z-line thickness	Wide	Moderate	Narrow
T tubule surface area	Small	Large	Large
Myosin light-chain type	Slow	Fast	Fast
Terminal cristernae surface area	Small	Moderate	Large
Mitochondrial density	High	High	Low
Aerobic capacity	High	High	Low
Glycolytic capacity	Low	High	High
Glycolytic content	Low	High	High
Myoglobin content	High	High	Low
Capillary density	High	High	Low
Predominant energy	Aerobic	Combination	Anaerobic

จากตารางที่ 2.1 สรุปได้ว่า เซลล์กล้ามเนื้อชนิด Type I มีเลือดมาเลี้ยงมาก มีขนาดเล็ก มี mitochondria มาก มี myoglobin มาก มี glycogen ต่ำ อัตราการหดตัวช้าและเมื่อยล้ายาก ซึ่งทั้งหมดเป็นคุณสมบัติของการใช้พลังงานแบบ aerobic เซลล์กล้ามเนื้อชนิด Type II B มีเลือดมาเลี้ยงน้อย มี mitochondria และ myoglobin น้อย มี glycogen มาก อัตราการหดตัวเร็วและเมื่อยล้าได้ง่าย เป็นคุณสมบัติของการใช้พลังงานแบบ anaerobic

เซลล์กล้ามเนื้อชนิด Type II A มีเลือดมาเลี้ยงมาก มี mitochondria , myoglobin และglycogen สูง มีอัตราการหดตัวเร็วและมีการเมื่อยล้ายาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติของการใช้พลังงานทั้ง aerobic และ anaerobic ร่วมกัน

กล้ามเนื้อในแต่ละมัดจะมีลักษณะผสมของเซลล์กล้ามเนื้อทั้ง 3 ชนิด ถ้าเซลล์กล้ามเนื้อชนิดใดมีมาก กล้ามเนื้อก็จะมีคุณสมบัติของเซลล์กล้ามเนื้อชนิดนั้นๆ เด่นออกมา (Strauss , 1984)

แหล่งพลังงานของกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อเป็นอวัยวะที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานกล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย ในกระบวนการสร้างพลังงานของกล้ามเนื้อนั้น เซลล์ไม่สามารถใช้สารอาหารสร้างพลังงานในทันที แต่ตัวการสำคัญในการสร้างพลังงาน คือ ATP (adenosine triphosphate) ซึ่งได้จากกระบวนการสร้างพลังงาน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ระบบดังต่อไปนี้

1. กระบวนการสร้างพลังงานโดยไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism)

สารพลังงาน ATP ที่เก็บอยู่ในกล้ามเนื้อ สลายตัวให้พลังงานซึ่งกล้ามเนื้อนำไปใช้ในการหดตัว ภายใน 1 วินาที ส่วน ATP หลังสลายตัวเป็น ADP (adenosine diphosphate) ดังนั้นเมื่อ ATP ถูกใช้หมดไปกล้ามเนื้อมัดนั้นจะหมดสภาพการทำงานคือหมดแรงหดตัวต่อไปไม่ได้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสร้างสาร ATP ขึ้นมาใหม่ กล้ามเนื้อจึงจะสามารถทำงานได้ต่อไปอีก โดยสร้างจาก

1.1 ระบบ phosphagen ระบบนี้กระทำใน sarcoplasm ของใยกล้ามเนื้อ ใช้พลังงานจากสาร creatine phosphate (CP) ซึ่งปริมาณของ CP ในกล้ามเนื้อมีมากกว่า ATP ดังนั้น CP จึงเป็นแหล่งพลังงานสำรองต่อเนื่องจาก ATP พลังงานที่เกิดจากกระบวนการนี้ จะมีปฏิกริยา

เกิดขึ้นสองครั้งติดต่อกัน คือ CP แตกตัวก่อน ให้ phosphate แล้วจึงทำให้ ADP รวมตัวกับ phosphate กลายเป็น ATP เรียกว่า Coupled reaction (Fox, 1984) หดตัวได้ไม่เกิน 30 วินาที ดังแสดงในเส้นกราฟเส้นที่ 1 รูปที่ 2.1 การสร้าง ATP จาก CP แสดงสมการได้ดังนี้

Phosphagen system → Creatine + P + Energy

(CP) ↓

ADP + Pi → ATP (30 seconds)

1.2. Lactic Acid system (LA system) สารต้นตอคือ glycogen เกิดที่ sarcoplasm ของใยกล้ามเนื้อ ระบบนี้สามารถสร้าง ATP ได้ระหว่าง 30-90 วินาที แสดงในเส้นกราฟเส้นที่ 2 รูปที่ 2.1 และเมื่อพลังงานถูกใช้หมดไป เส้นกราฟจะลดต่ำลงทันที และมีผลผลิตเกิดขึ้นคือ Lactic acid แสดงสมการได้ดังนี้

Glycogen 1 mol. → Glucose 2 mols. + Lactic acid + Energy

↓

ADP + Pi → ATP 30-90 seconds

2. กระบวนการสร้างพลังงานโดยอาศัยออกซิเจน (aerobic metabolism) ถ้าการหดตัวของกล้ามเนื้อยังดำเนินต่อไปเกิน 90 วินาที ขึ้นไปแล้ว ATP ที่สร้างใหม่จะต้องอาศัย aerobic system ซึ่งทำโดยอาศัย Oxygen + Carbohydrate หรือ Oxygen + Fat หรือ Oxygen + Protein ที่มากับเลือด โดยจะแตกตัวให้พลังงาน ใน mitochondria แล้วพลังงานนั้นถูกนำไปสร้าง ATP ใหม่ และจำเป็นต้องอาศัย Kreb 's cycle และ electron transport system หรือ Phosphorylation system (Struss, 1984) แสดงในเส้นกราฟเส้นที่ 3 รูปที่ 2.1 ซึ่งเริ่มชันขึ้น ขณะที่การออกกำลังกายนานขึ้น แสดงถึงการส่งพลังงานให้กล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่องและเพียงพอ และแสดงสมการได้ดังนี้

Carbohydrate

Fat → $CO_2 + H_2O$ + Energy

Protein ADP + Pi → ATP

Lung → Oxygen

Aerobic ATP 1 mol. glucose → 38 ATP

2 mol. FFA → 147 ATP

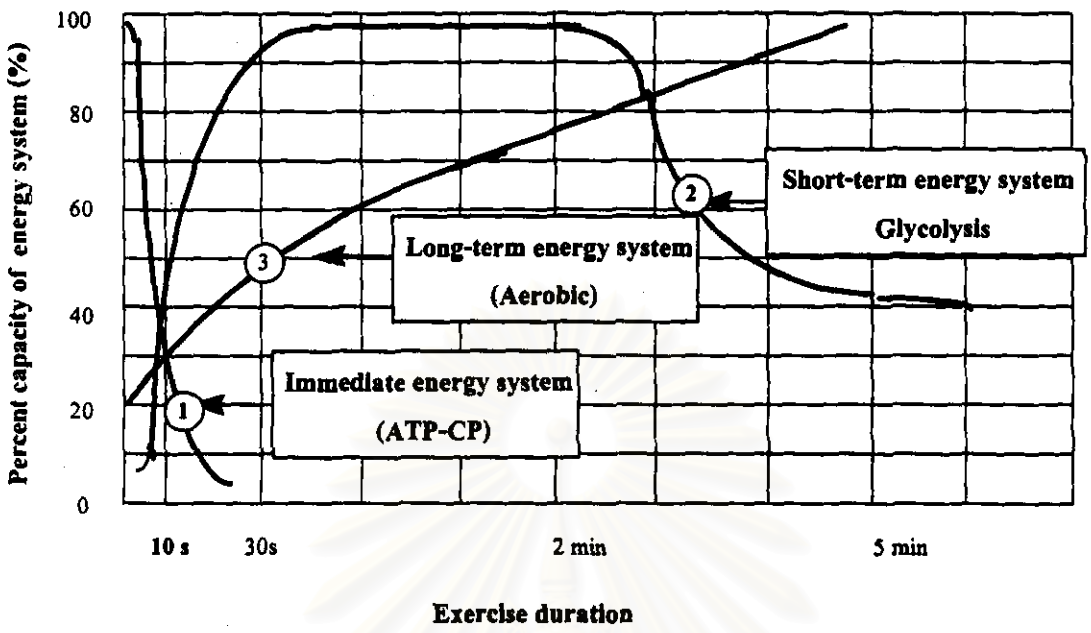
Amino acid → Pyruvic acid → ATP

ซึ่งสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของพลังงานกล้ามเนื้อแต่ละชนิดใน ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแหล่งพลังงานของกล้ามเนื้อแต่ละชนิด (Fox and Mathew, 1984)

ATP-PC System	LA System	Oxygen System
Anaerobic	Anaerobic	Aerobic
Very rapid	Rapid	Slow
Chemical fuel : PC	Food fuel : Glycogen	Food fuel :Glucose : Fat : Protein
Very limited ATP production	Limited ATP production	Unlimited ATP production
Muscular stores limited	By product, Lactic acid caused muscle fatigue	No fatigue by product
Used with sprint or any high power short duration	Used with activities of 1-3 minutes	Used with endurance or long duration

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1. แสดงพลังงานทั้ง 3 ระบบ ที่ใช้ระหว่างการออกกำลังกายอย่างหนักในช่วงเวลาต่างๆ (From Jay, 1994)

การใช้พลังงานและชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อในกลุ่มนักกีฬา

ในการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา แต่ละชนิดจะมีกิจกรรมเพื่อเป้าหมายที่แตกต่างกัน องค์ประกอบโครงสร้างในเส้นใยกล้ามเนื้อและระบบการใช้พลังงาน ย่อมต้องแตกต่างกันด้วย ดังรูปที่ 2.2 กระบวนการสร้างพลังงานในขณะออกกำลังกาย ต้องอาศัยทั้งแบบ aerobic และ anaerobic ผสมกัน ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันของแต่ละชนิดของกิจกรรม

จากรูปที่ 2.2 แสดงปริมาณพลังงาน ชนิด aerobic กับชนิด anaerobic คิดเป็นร้อยละ พลังงานที่ใช้ในการออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาชนิดต่างๆ (Mc.Ardle, Katch and Katch, 1996) เช่น

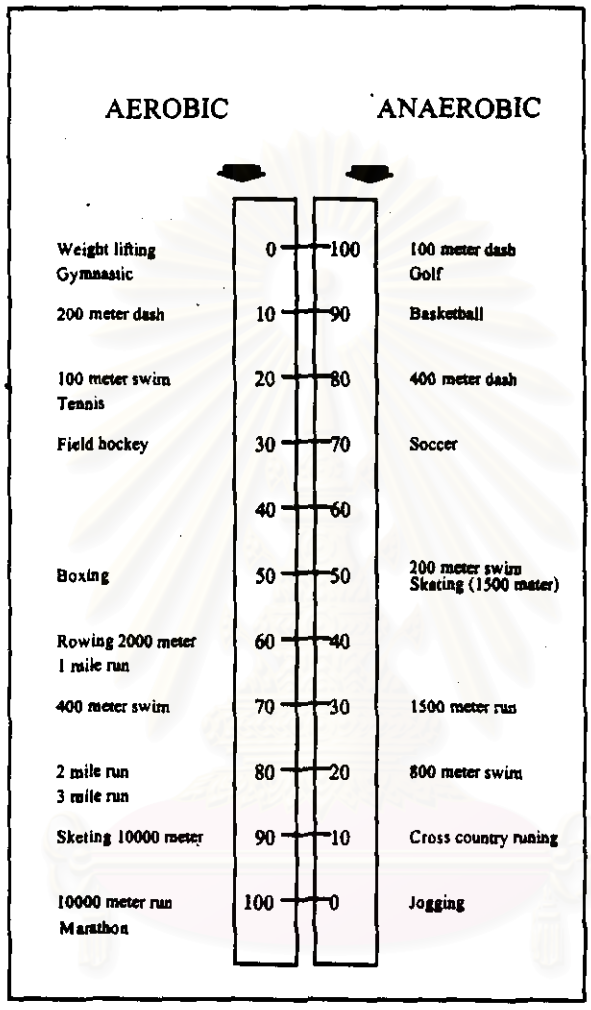
ยกน้ำหนักและวิ่ง 100 เมตร ใช้พลังงาน aerobic 0 % ใช้พลังงาน anaerobic 100 %

วิ่ง 200 เมตร ใช้พลังงาน aerobic 7 % ใช้พลังงาน anaerobic 93 %

วิ่ง 800 เมตร ใช้พลังงาน aerobic 43 % ใช้พลังงาน anaerobic 57 %

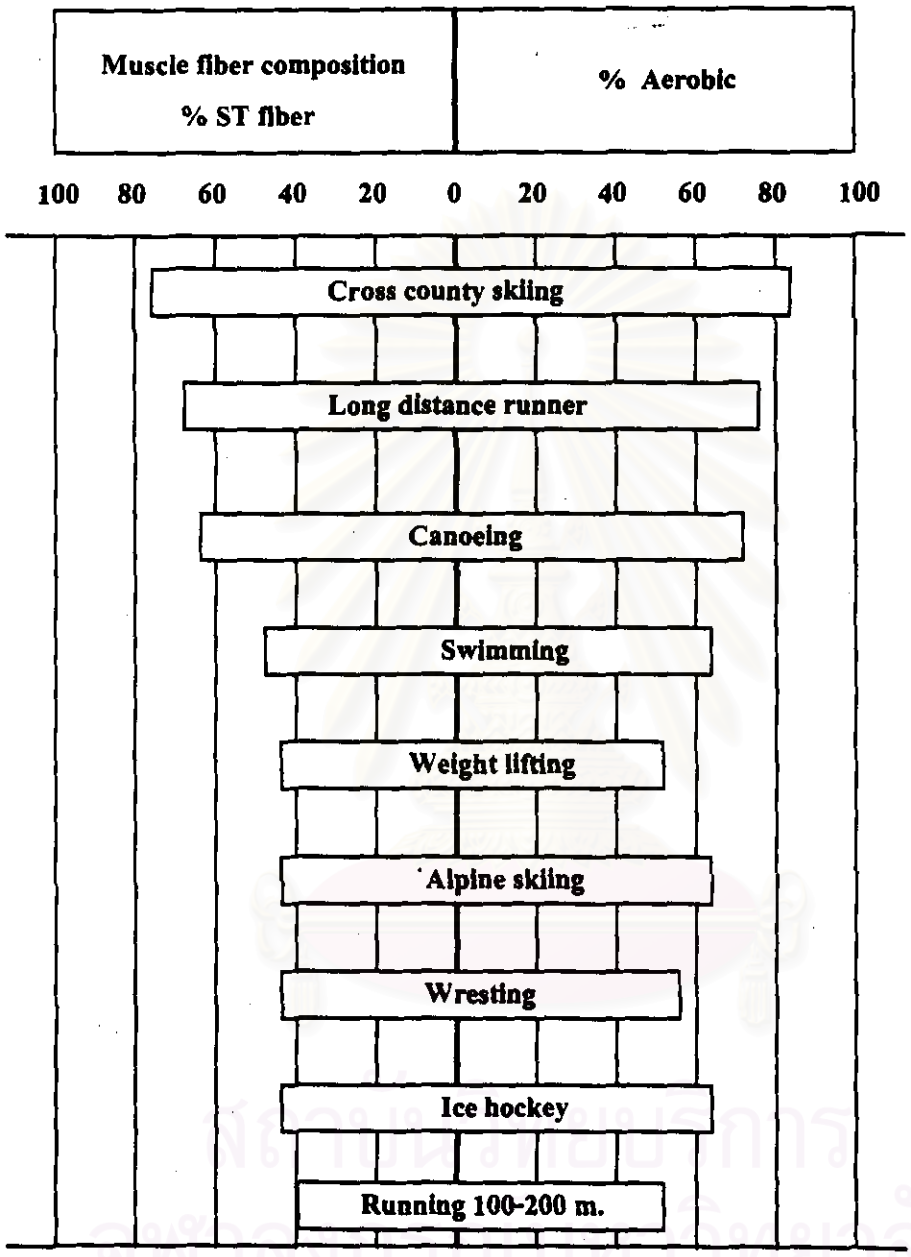
วิ่ง 1500 เมตรใช้พลังงาน aerobic 64 % ใช้พลังงาน anaerobic 36 %

วิ่งมาราธอน ใช้พลังงาน aerobic 100 % ใช้พลังงาน anaerobic 0 %



รูปที่ 2.2 แสดงพลังงานที่ใช้ในกลุ่มนักกีฬาประเภทต่างๆ (From Mc.Ardle, et al., 1996)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3. แสดงเปอร์เซ็นต์ของเส้นใยกล้ามเนื้อ (% slow-twitch fiber, left side) และเปอร์เซ็นต์ของ กระบวนการสร้างพลังงานแบบใช้ออกซิเจน (% aerobic processes,right side) (from Mc.Ardle, et al., 1996)

จากรูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของเส้นใยกล้ามเนื้อและระบบพลังงานในกลุ่มนักกีฬาของ Scandinavian ที่มีสมรรถภาพด้านความอดทนและใช้ระบบพลังงานออกซิเจนสูง เช่น Distance runner และ Cross-country skier จะมีปริมาณของ Slow-twitch fiber ที่ Gastrocnemius muscle ในเปอร์เซ็นต์ที่สูง ถึง 90-95 % ส่วนกลุ่มนักกีฬา Weight lifters และ Sprinters จะมีเส้นใยกล้ามเนื้อชนิด Fast-twitch fiber สูง (70-80 %) และใช้พลังงานในระบบออกซิเจนต่ำ (40 %) ส่วนกลุ่มกีฬาที่ใช้ระบบพลังงานทั้ง aerobic และ anaerobic เช่น Swimming ก็จะมีชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อทั้ง 2 ชนิดในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน (ประมาณ 50 %)

ดังนั้นการฝึกกีฬา หรือการออกกำลังแต่ละแบบ นอกจากต้องคำนึงถึงความหนักความ-เบา และเวลาที่จะต้องใช้ในการออกกำลังกาย แต่ละอย่างแล้ว จะเห็นได้ว่าต้องคำนึงถึงชนิดของเส้นใยกล้ามเนื้อและพลังงานที่แตกต่างกันออกไป ด้วย เช่น กลุ่มนักกีฬาที่ฝึกเพื่อเพิ่มกำลังและความเร็วในระยะสั้นๆ เช่น Weight lifting s, Sprinters จึงต้องฝึกใช้ใยกล้ามเนื้อชนิด II B และใช้พลังงานชนิด ATP-PC เท่านั้น เวลาฝึกต้องออกแรงมากกว่า 90% ของ Max. Strength. กลุ่มนักวิ่ง 400 เมตร เป็นการฝึกความเร็วและมีเวลาอยู่ระหว่าง 30- 90 วินาที จึงต้องฝึกเพื่อเพิ่มใยกล้ามเนื้อชนิด II A และII B และระบบพลังงาน ATP-PC และ LA. system พวกนี้เวลาฝึกต้องออกแรงระหว่าง 80-90% ของ max. strength.

ในกลุ่ม นักวิ่ง 800 เมตร, วิ่ง 1500 เมตรเป็นการฝึกทั้งความเร็วและความทนทาน ฉนั้นจึงต้องฝึกใช้ใยกล้ามเนื้อชนิด II A และ I และใช้พลังงาน LA system และ aerobic system พวกนี้เวลาฝึกต้องออกแรงระหว่าง 70-80% ของ max. Strength. ส่วนนักวิ่งมาราธอน เป็นการฝึกความอดทนอย่างเดียว ฉนั้นจึงต้องฝึกใช้ใยกล้ามเนื้อชนิด I และพลังงานที่ใช้ก็เป็นชนิด aerobic เวลาฝึกต้องออกแรงน้อยกว่า 50% ของ max. strength

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การออกกำลังกายสูงสุดที่ใช้เวลาตั้งแต่ 1 วินาทีจนถึง 90 วินาทีใช้พลังงานจากระบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ ATP-PC และ LA system และมีเส้นใยกล้ามเนื้อ Type IIB เป็นองค์ประกอบ ซึ่งความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อ ในการใช้พลังงานจากระบบไม่ใช้ออกซิเจนนี้ เรียกว่า สมรรถภาพอนากาศนิยม (anaerobic performance) ส่วนการออกกำลังกาย ที่ทำติดต่อกันนานเกิน 3 นาทีขึ้นไป เช่นการวิ่งมาราธอน ใช้พลังงาน Aerobic 100 % และมีเส้นใยกล้ามเนื้อ Type I เป็นองค์ประกอบ ทำให้ร่างกายสามารถรักษาความทนทาน ของการออกกำลังกายได้อย่างต่อเนื่องและยาวนาน ซึ่งความสามารถสูงสุดของกล้ามเนื้อในการใช้พลังงานในระบบใช้ออกซิเจนนี้ เรียกว่า สมรรถภาพด้านความอดทน (aerobic performance หรือ

endurance performance) (Astrand and Rodahl, 1970; Ayalon , Inbar and Bar-Or, 1974)

สมรรถภาพอนาคาศนิยม (Anaerobic performance)

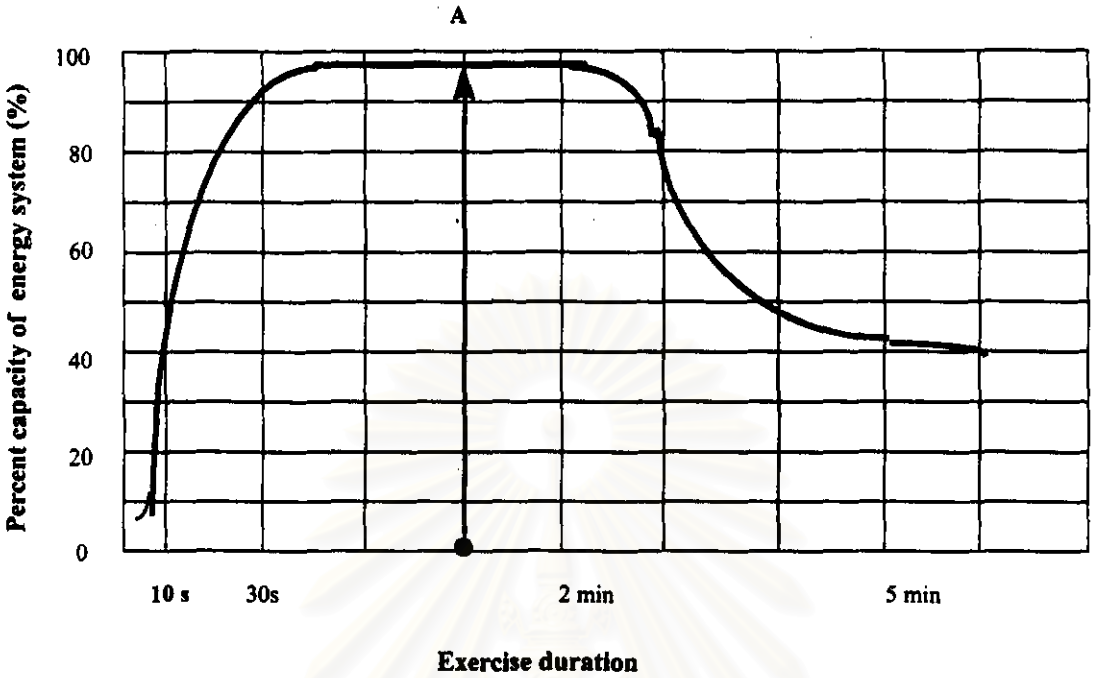
ความสามารถสูงสุดของร่างกายในการออกกำลังกายโดยใช้ระบบการสร้างพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน นั้นมีองค์ประกอบอยู่ 2 ส่วน คือ

1. พลังแบบแอนแอโรบิค (anaerobic power) หมายถึง ความสามารถสูงสุดที่กล้ามเนื้อทำงานโดยใช้พลังงานจาก ATP-PC และ LA system ขณะที่ปราศจากการใช้ออกซิเจน มีหน่วยวัดเป็น watts (Edgerton,1976; Karlesson, et al., 1981; Lamb,1984; Stone, et al.,1987)

2. สมรรถวิสัยแบบแอนแอโรบิค (anaerobic capacity) หมายถึง ความสามารถสูงสุดในการที่จะรักษาระดับการทำงานของกล้ามเนื้อให้คงอยู่ โดยใช้พลังงานจาก ATP-PC และ LA system ขณะที่ปราศจากการใช้ออกซิเจน มีหน่วยวัดเป็น watts (Costill, et al., 1968; Criel and Pirnay, 1981; Lamb, 1984; Stone and O'Bryant, 1987)

ในการออกกำลังกายแบบแอนแอโรบิค นั้น ในช่วงแรกร่างกายสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่เพราะใช้พลังงานที่สะสมอยู่ในร่างกาย (จุด A) แต่เมื่อพลังงานลดลงไปความสามารถในการทำงานก็จะลดลงตามไปด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 2.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แสดงความสามารถในการใช้พลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน ที่สะสมอยู่ในร่างกาย

การทดสอบวินเกต แอนแอโรบิค เทสต์ (Wingate Anaerobic Test = WAnT)

เป็นแบบทดสอบพลังและสมรรถวิสัยแบบแอนแอโรบิค ของสถาบันวิทยาศาสตร์วินเกต ในประเทศ อิสราเอล ที่ชื่อว่า " Wingate Anaerobic Test " ชื่อย่อว่า " WAnT "(Lamb, 1984 อ้างอิงมาจาก Wingate Institute, 1981) ซึ่งพัฒนามาจากแบบทดสอบการทำงานที่ระดับสูงสุด ในระยะเวลาสั้นๆ คือ โดยการทดสอบทำขณะที่ปั่นจักรยาน (pedelling หรือ arm cranking) เร่งเต็มที่ (All - Out) ในเวลา 30 วินาที โดยตั้งน้ำหนักถ่วงให้สัมพันธ์กับน้ำหนักตัวของผู้รับการทดสอบและวัดระยะทางจากจำนวนรอบถีบ ซึ่งบันทึก ทุกๆ 5 วินาที นำมาคำนวณ หาค่าสูงสุด (anaerobic power) และค่าเฉลี่ยของสมรรถวิสัยแบบแอนแอโรบิค (anaerobic capacity) การทดสอบ WAnT มีความเที่ยงตรง สามารถนำไปใช้ทำนาย พลังและสมรรถวิสัยแบบแอนแอโรบิค เพราะมีความสัมพันธ์กันระหว่าง power และ capacity ของ ATP-PC และ glycolysis system ในกล้ามเนื้อ (Bar-Or,Doton and Inbar , 1981; Bouley, 1985; Bar-Or, Doton and Inbar , 1987)

สมรรถภาพด้านความอดทน (Endurance performance)

หมายถึงสมรรถภาพในการออกกำลังกายได้อย่างหนักและเป็นเวลายาวนาน ซึ่งเป็นความสามารถของร่างกายในการใช้กระบวนการสร้างพลังงานแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งปัจจัยที่มีผลคือ

1. ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\dot{V}O_2$ max.) (Astrand and Rodahl, 1986; Jones, 1988)

2. แอนแอโรบิคเทรสโฮลด์ (Anaerobic threshold = AT) (Whipp, Davis,Torress and Wasserman, 1981; Shephard, 1982)

ความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($\dot{V}O_2$ max.)

คำว่า $\dot{V}O_2$ max. มาจาก maximal oxygen consumption, maximal oxygen intake หรือ maximal aerobic power หมายถึง ปริมาณออกซิเจนสูงสุดในร่างกายที่ถูกใช้โดยทุกๆเซลล์ของร่างกาย ในกระบวนการสร้างพลังงานระหว่างทำงานหนัก (exhausting work) (Jones, 1988; Astrand and Rodahl, 1986) หรือค่าที่แสดงความแตกต่างระหว่างปริมาณออกซิเจนขณะหายใจเข้ากับปริมาณออกซิเจนขณะหายใจออก ในขณะที่ทำงานหนักสูงสุด (Lamb, 1984)

การเพิ่มขึ้นของ $\dot{V}O_2$ max. มีความสัมพันธ์ทางบวกกับ frequency, intensity และ duration ของการออกกำลังกายหรือการฝึกแบบแอโรบิค (Franklis; Gordon and Timinis,1988) เพราะว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิค เป็นการออกกำลังกายที่กระตุ้นให้กล้ามเนื้อทำงานและมีการใช้ออกซิเจนจำนวนมากจึงเป็นการพัฒนาระบบการสร้างพลังงานแบบการใช้ออกซิเจน ผลของการฝึกจะเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของร่างกายให้ทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Morgan and Daniels ,1994) ภายหลังการฝึก 3 วัน/สัปดาห์ ประมาณ 8 สัปดาห์ (ACSM, 1994) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลให้ $\dot{V}O_2$ max. เพิ่มขึ้นคือ

1. การปรับตัวเพื่อเพิ่มการสร้างพลังงานในระบบ aerobic
   1.1 มีการเพิ่มจำนวนและขนาดของ mitochondria (Howald, 1985)
   1.2 มีการเพิ่มระดับของเอนไซม์ในระบบใช้ออกซิเจน ที่ควบคุม pyruvate และ free

fatty acid oxidation ผ่านทาง oxidative phosphorylation ใน oxidative fiber ต่อการสร้าง ATP (Holloszy,1988)

2. การปรับตัวทางระบบหัวใจและหลอดเลือดและระบบหายใจ เพราะทั้งสองระบบเกี่ยวข้องกับความสามารถในการส่งออกซิเจนให้แก่ร่างกาย ซึ่งการปรับตัวดังกล่าวที่ส่งผลให้ $\dot{V}O_2$ max. เพิ่มขึ้น คือ

2.1 เพิ่มขนาดของหัวใจ (Hichson, 1985; Mitchell, 1994)

2.2 ปริมาตรของเลือดเพิ่มขึ้น (Convertino, 1991; Luetkemeier, 1994)

2.3 อัตราการเต้นของหัวใจในระยะพักและขณะออกกำลังกายลดลง (Berger,1982; Yoshida, Suda and Takeuchi, 1982)

2.4 เพิ่ม Stroke volume (Spinna, 1992; Ehsam, 1991)

2.5 เพิ่ม Cardiac output (Astrand and Rodahl, 1986)

2.6 สมรรถภาพของปอดเพิ่มขึ้น (Shepherd,1987)

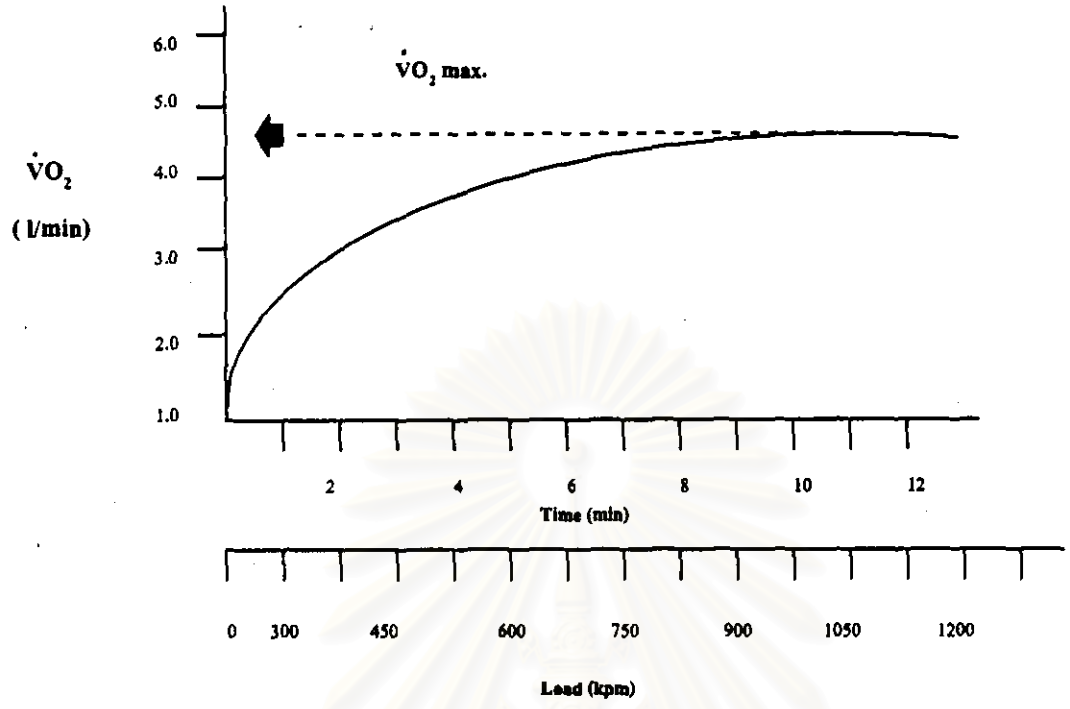
2.7 และเพิ่ม Oxygen extraction (Rowell, 1994) และ Arteriovenous oxygen (a-v O_2) เนื่องมาจากการเพิ่มของ micro circulation ในกล้ามเนื้อ (Lash,1995; Mithchell, 1994) มีปริมาณ myoglobin เพิ่มขึ้น (Lakatta,1993; Seal , 1994)

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาเป็นผลจากการฝึกแบบแอโรบิคดังกล่าวส่งผลให้ $\dot{V}O_2$ max. เพิ่มขึ้น ทำให้ร่างกายมีประสิทธิภาพที่จะส่งออกซิเจน ให้กล้ามเนื้อสร้างพลังงานได้อย่างเพียงพอ (Weltman, et al., 1987) ร่างกายจึงมีความสามารถที่จะออกกำลังกายได้ยาวนานโดยที่การสะสมของ lactic acid ลดต่ำลง (McArdle; Katch and Katch, 1996)

การตรวจหา $\dot{V}O_2$ max.

มี 2 วิธี คือ

1. วิเคราะห์ก๊าซโดยตรง (direct gas analysis) โดยทดสอบขณะที่ผู้รับการทดสอบออกกำลังกายบนอุปกรณ์ทดสอบเช่น graded treadmill walking หรือ jogging หรือ ergometer cycling ตั้งแต่เริ่มต้นถึงความหนักสูงสุดและอากาศที่หายใจเข้าและออก จะถูกเก็บและวิเคราะห์ด้วย gas analyzer ค่าของ $\dot{V}O_2$ max. ได้มาจากการวิเคราะห์กราฟที่แสดงจุดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ oxygen uptake ขณะที่ยังมีการเพิ่มขึ้นของ work load(Stanly;Gertz;Wisneski;Lynn; Neese and Brooks, 1985) แสดงรูปที่ 2.5



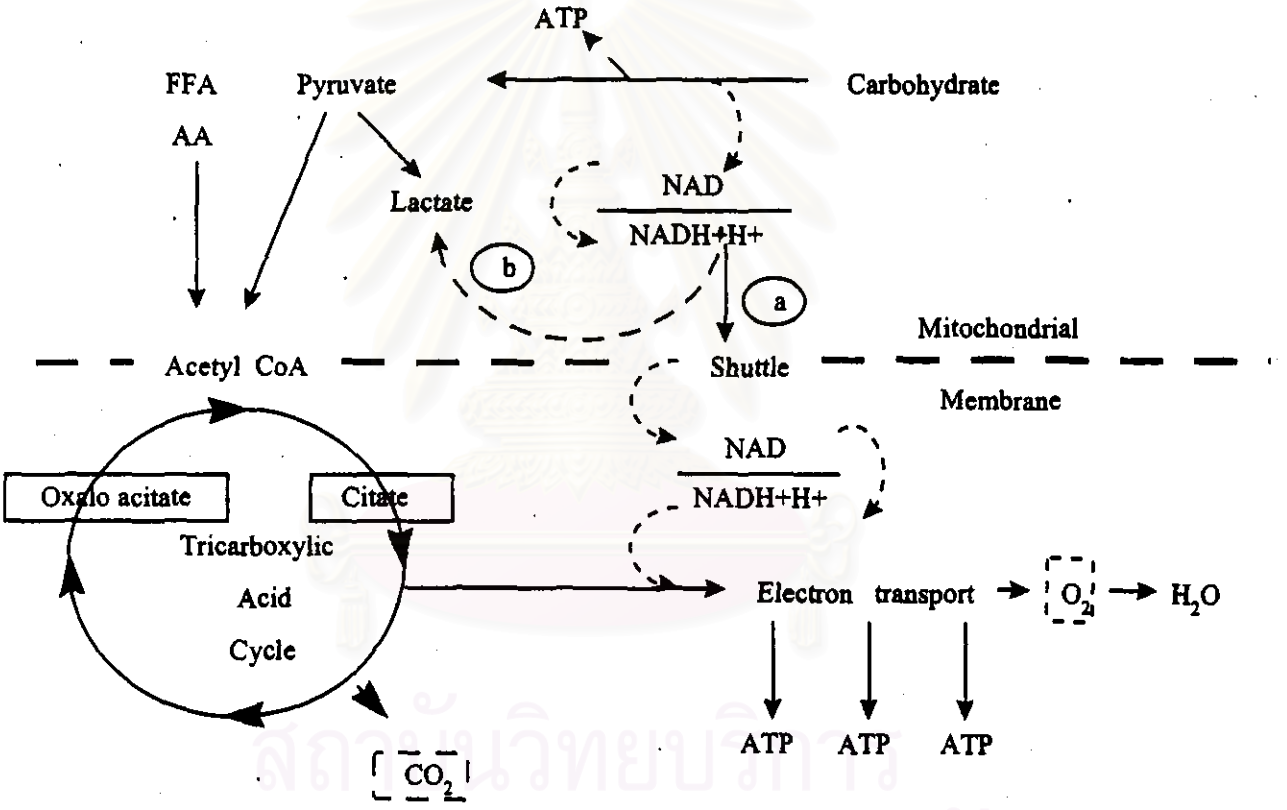
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าของ $\dot{V}O_2$ max. โดยการวัดวิธี gas analyzer $\dot{V}O_2$ max. คือจุดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของoxygen uptake ขณะที่ยังมีการเพิ่มขึ้นของ work load (Modified from Stanley; Gertz; Wisneski; Lynn; Neese and Brooks, 1985)

2. การทดสอบโดยวิธีอ้อม (indirect method) โดยวิเคราะห์จากอัตราการเต้นของหัวใจขณะที่ผู้รับการทดสอบออกกำลังกายที่ sub maximal ตามวิธีการของ Astrand และ Rodahl (1986)

แอนแอโรบิค เทรสโฮลด์ (Anaerobic threshold)

นับเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งปัจจัยหนึ่งของสมรรถภาพด้านความอดทน แอนแอโรบิคเทรสโฮลด์ ได้ถูกนิยามเป็นครั้งแรกโดย Wasserman และ Mellroy ในปี 1964 หมายถึง"ระดับความหนักของการออกกำลังกายที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของกรดแลคติคในเลือด" (Wassermam and Mellroy ,1964) และต่อมานิยามได้ถูกแก้ไขเพิ่มเติมว่า"....และมีการเปลี่ยนแปลงของระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซสืบเนื่องกันด้วย " (Wasserman ,Whipp, Koyal and Beaver, 1983)

ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7 เหตุเนื่องจากเมื่อร่างกายทำงานหนักขึ้น การหายใจเพื่อส่งออกซิเจนให้กล้ามเนื้อไม่เพียงพอกับความต้องการ พลังงานที่ได้จากระบบใช้ออกซิเจน จึงหยุดชะงัก วิถีทางปกติของการเผาผลาญ glucose ซึ่งต้องผ่าน mitochondria เพื่อเข้า Kreb's cycle ในขั้นตอน (A) รูปที่ 2.6 ไม่เกิดขึ้น กล้ามเนื้อจึงต้องจัดหาพลังงานเพิ่มเติมในกระบวนการอื่น โดยสร้างพลังงานที่ไม่ใช้ออกซิเจน รูปที่ 2.6 ขั้นตอน (B) และรูปที่ 2.7 ขั้นตอน (1) ทำให้ NADH ถูก reoxidized ผ่าน proton shunttle เกิด pyruvate reoxidized NADH ทำให้มีการผลิต lactate สะสมมากขึ้นในกล้ามเนื้อ กรดแลคติค ที่เกิดขึ้นจะถูกปล่อยเข้าสู่กระแสเลือด ทำให้เกิดกรดเกินในเลือด ณ. จุดที่ร่างกายเริ่มใช้กระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจนนี้หรือจุดที่กรดแลคติคปรากฏขึ้นในเลือด เรียกว่า anaerobic threshold (AT) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



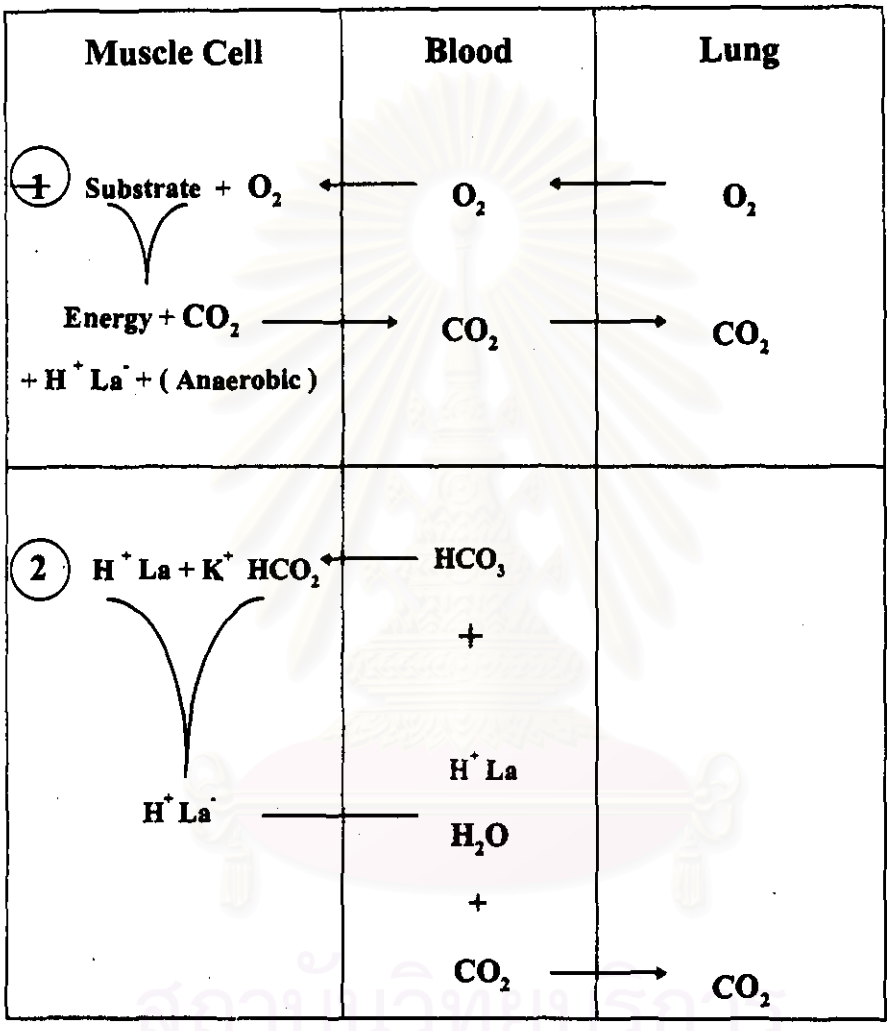
รูปที่ 2.6 แสดงวิถีทางการสร้าง ATP และการเพิ่มขึ้นของกรดแลคติคโดยกลไกของ reoxidation of cytosolic NADH (Modified from Wasserman, 1986)

ในระหว่างร่างกายมีกรดแลคติค เกิน ปอดต้องหายใจระบาย CO_2 ออกมาในปริมาณที่สูงขึ้น เพื่อปรับสภาพ pH ในเลือด โดย กรดแลคติค จะถูก บัฟเฟอร์ (buffer) โดย ไบคาร์บอเนต (HCO_3) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ขั้นตอนที่ (2) โดย กรดแลคติค เร่งปฏิกิริยาการสร้าง CO_2

จากสมการ

$$H^{+} + HCO^{-}_{3} = CO_2 + H_2O$$

ทำให้เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนเกินขึ้นเนื่องจากกระบวนการนี้และสามารถตรวจวัดได้ (Wasserman,1986)



รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนของการเกิดกรดแลคติคและกลไกการบัฟเฟอร์ของไบคาร์บอเนต เกิด CO_2 เกินจนกระทั่งถูกตรวจวัดได้ (Modified from Wasserman, 1986)

Anaerobic threshold สัมพันธ์กับ endurance performance เพราะว่า สามารถบ่งชี้ถึงปริมาณสูงสุดในการส่งออกซิเจนของร่างกายเพื่อสร้างพลังงานได้อย่างเพียงพอโดยไม่ต้องอาศัยการสร้างพลังงานในระบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้การสะสมของกรดแลคติคในเลือดไม่เกิน 4 mmols./l (Whipp, et al., 1981) จึงใช้ anaerobic threshold เป็น เกณฑ์ เพื่อประเมินสมรรถภาพของความอดทนได้ (Wasserman, 1986; Posner, et al., 1987)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจหา แอนแอโรบิคเทรสโฮลด์

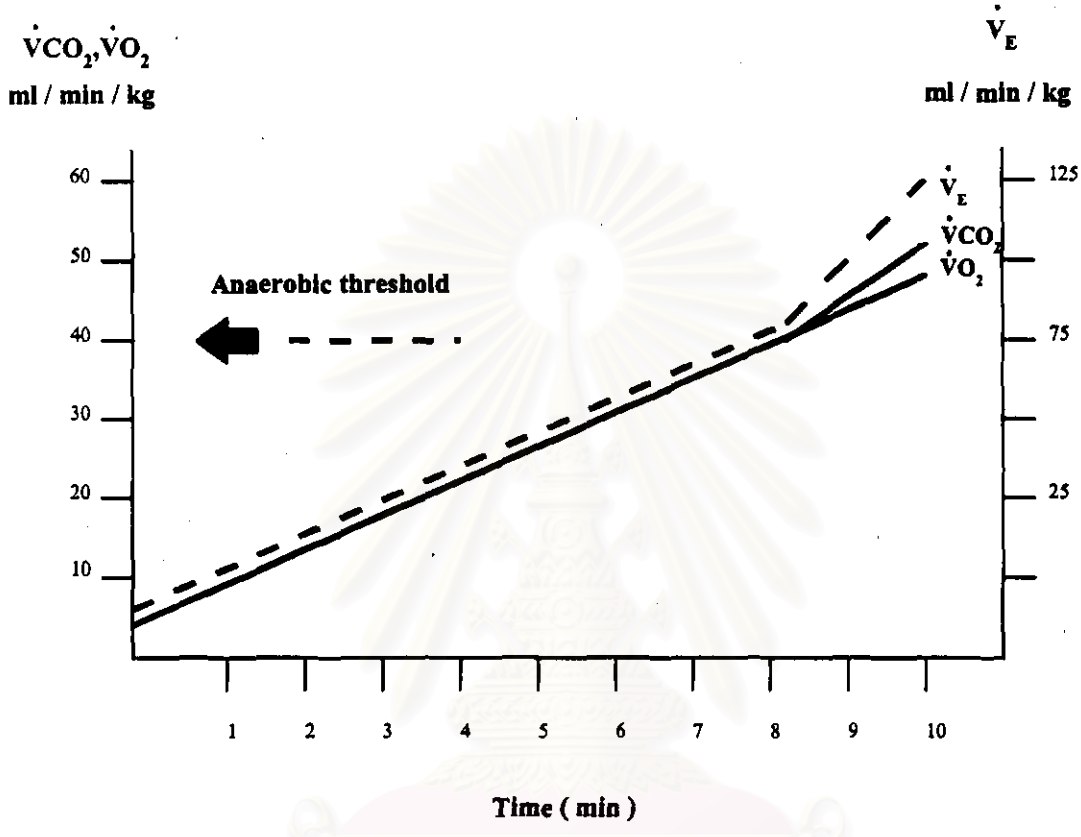
มี 2 วิธี คือ

1. การตรวจหาค่าของแลคติคในเลือดขณะออกกำลังกาย (invasive study) ค่าปกติไม่เกิน 0-4 mmole/L (Stanley ,et al ., 1985; Whipp, Ward and Wasserman, 1986; Heck, et al.., 1985)

2. โดยการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนก๊าซ (non-invasive study) เป็นวิธีวัดสมรรถภาพการออกกำลังของร่างกาย โดยใช้เครื่องออกกำลังกาย เช่นจักรยาน หรือ ลู่วิ่ง และวัดอากาศหายใจ (ลิตร/นาที) และวิเคราะห์ความเข้มข้นของ O_2 และ CO_2 ในขณะหายใจเข้าและออก จากนั้นหาค่าปริมาตรต่อนาที ของ O_2 ที่ร่างกายใช้ ($\dot{V}O_2$) และค่าของ CO_2 ที่ร่างกายสร้าง ($\dot{V}CO_2$) ขณะออกกำลังกาย $\dot{V}O_2$ จะเพิ่มขึ้นตามระดับของการออกกำลังกาย ทำให้สามารถใช้ $\dot{V}O_2$ เป็นดรรชนีความหนัก-เบาของการออกกำลัง ค่า $\dot{V}O_2$ ที่ร่างกาย ออกกำลังเต็มที่เรียกว่า $\dot{V}O_2$ max. ขณะเดียวกันปริมาตรการหายใจ ($\dot{V}_E$) ก็เพิ่มเป็นสัดส่วนกับการออกกำลังเช่นกัน

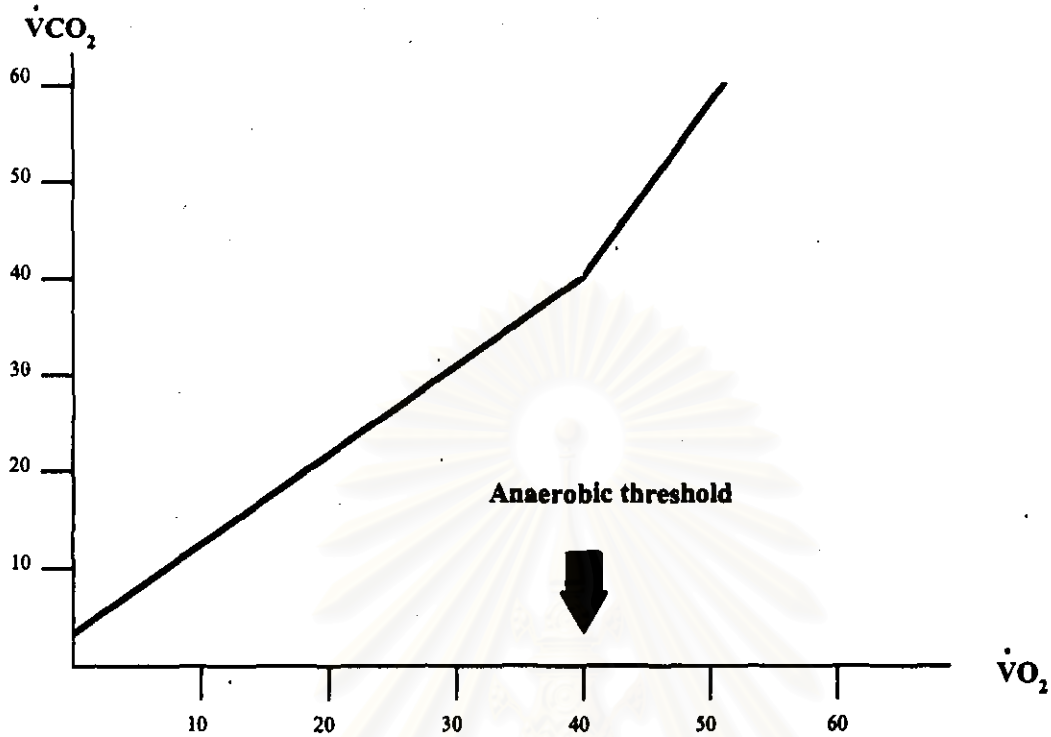
เมื่อร่างกายออกกำลังกายถึงจุด anaerobic threshold ที่กรดแลคติค เริ่มผลิตเข้าสู่เลือด pH ในเลือดจะลดลง มีผลกระตุ้นอัตราการหายใจและกรดแลคติค ยังช่วยเร่งการการผลิต CO_2 ซึ่งมีส่วนกระตุ้นตัวรับรู้เคมี ให้เพิ่มอัตราการหายใจให้สูงขึ้นอีก ค่า $\dot{V}_E$ และ $\dot{V}CO_2$ จึงสูงขึ้นในช่วงนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.9 ดังนั้นในการหาค่า anaerobic threshold นอกจากจะได้จากการเจาะเลือดเพื่อวัดความเข้มข้นของกรดแลคติค แล้วยังสามารถใช้วิธีการวิเคราะห์ค่า $\dot{V}_E$ หรือ $\dot{V}CO_2$ ได้เช่นเดียวกัน (Beaver, Wasserman and Whipp, 1986) ซึ่งการศึกษาครั้งใช้วิธีนี้หาค่า anaerobic threshold

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 กราฟแสดง anaerobic threshold คือจุดที่ $\dot{V}CO_2$ และ $\dot{V}_E$ เริ่มเพิ่มขึ้นไม่เป็นสัดส่วนกับ work load ในขณะที่กราฟของ $\dot{V}O_2$ ยังคงเพิ่มขึ้น(Modified from Coyle, 1988)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.9 แสดง anaerobic threshold โดยวิธี V-slope methord คือจุดที่ $\dot{V}CO_2$ เพิ่มขึ้นไม่เป็นสัดส่วนกับ $\dot{V}O_2$ (Modified from Beaver, Wasserman and Whipp, 1986)

การฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อด้วยน้ำหนัก (Weight training)

การฝึกกล้ามเนื้อ (Muscle training) เพื่อพัฒนาความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อให้มีสมรรถภาพร่างกาย (physical fitness) ที่สมบูรณ์และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการฝึก เพราะว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสมรรถภาพร่างกาย (Bucher, 1968) ความแข็งแรงสมบูรณ์ของกล้ามเนื้อจึงมีความสำคัญในบุคคลทั่วไปรวมทั้งในนักกีฬา เพราะกล้ามเนื้อที่แข็งแรงมีสมรรถภาพดีจะชักนำให้อวัยวะอื่นๆของร่างกายมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น เช่น กล้ามเนื้อที่แข็งแรงทำหน้าที่บีบเลือดกลับสู่หัวใจดีกว่ากล้ามเนื้อ ที่ไม่แข็งแรง ผลก็คือช่วยให้ระบบไหลเวียนเลือดมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น สำหรับนักกีฬาจะต้องมีความแข็งแรงมากกว่าคนทั่วไป ไม่ยกเว้นแม้แต่ในกีฬาประเภทที่ต้องอาศัยความทนทานมากๆ ความแข็งแรงโดยส่วนรวม ก็เป็นสิ่งสำคัญที่นักกีฬาประเภทนี้จะต้องมี การจัดโปรแกรมการฝึกร่างกายสำหรับบุคคลทั่วไปก็ดีหรือสำหรับนักกีฬาประเภทต่างๆก็ดี หากไม่บรรจุการฝึกเพื่อพัฒนาหรือเพื่อรักษาความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไว้ด้วย ก็ถือว่าเป็นโปรแกรมที่ขาดความสมบูรณ์ (Wilmore , 1982; Sander,1983)

ในปัจจุบันพบว่าวิธีการสร้างความแข็งแรงให้กล้ามเนื้อที่เป็นที่นิยม คือการฝึกด้วยน้ำหนัก (weight training) ซึ่งหมายถึงการฝึกให้ร่างกายหรือกล้ามเนื้อส่วนนั้นสามารถ รับความต้านทานเพิ่มขึ้นจากปกติ วิธีการนี้ถูกนำมาใช้ใน วงการกีฬาทั่วโลกมากขึ้น เพราะเป็นการฝึกที่ตรงตามหลักวิทยาศาสตร์ มีหลักการและเหตุผลที่พิสูจน์ได้ โดย ยึดหลักการฝึกด้วยวิธี ค่อยๆเพิ่มน้ำหนักหรือเพิ่มความต้านทาน จนกระทั่งกล้ามเนื้อสามารถต้านทานน้ำหนักได้มากขึ้น (overload principle) เพราะน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เป็นแรงต้านทำให้เซลล์กล้ามเนื้อทำงานมากกว่าสภาวะปกติและกระตุ้นให้กล้ามเนื้อนั้น เจริญเติบโตและแข็งแรงขึ้น (Wilmore , 1982; Thomas and Zebas , 1987; Thygerson ,1989)

โปรแกรมการฝึกกล้ามเนื้อด้วยน้ำหนักตามวิธีการของ เดอร์ลอร์ม

หมายถึงการฝึกกล้ามเนื้อด้วยน้ำหนักตามแบบของเดอร์ลอร์ม (De Lorm, 1951) ที่ใช้การฝึกเป็นชุดต่อวัน ๆ ละ 3 ชุด และเริ่มด้วยการฝึกจากน้ำหนักน้อย ค่อยๆเพิ่มน้ำหนักขึ้น เรื่อย ๆ จนกระทั่งสามารถฝึกด้วยน้ำหนักตามค่าความสามารถสูงสุดได้ (Sander, 1981) โดยกำหนดชุดที่ 1 กระทำ 10 ครั้งต่อน้ำหนักร้อยละ 50 ของความสามารถในการยกน้ำหนักสูงสุด (10 repettition maximum = 10-RM) ชุดที่ 2 กระทำ 10 ครั้งต่อน้ำหนักร้อยละ 75 ของความสามารถในการยกน้ำหนักสูงสุด (10RM) ชุดที่ 3 กระทำ 10 ครั้งต่อน้ำหนักร้อยละ 100 ของความสามารถในการยกน้ำหนักสูงสุด (10RM) และเมื่อบุคคลที่เข้ารับการฝึกสามารถยกน้ำหนักได้มากกว่า 10 ครั้ง ในชุดที่ 3 แล้วก็จะต้องทำการหาค่าแรงต้านทานสูงสุดในการยกน้ำหนักสูงสุด 10 ครั้งใหม่ รูปแบบการฝึกของเดอร์ลอร์มได้ถูกพิสูจน์ว่าเป็นรูปแบบการฝึกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในปัจจุบัน (Sander,1981; Shaver, 1981) และช่วงของการฝึก 6 สัปดาห์ ๆ ละ ประมาณ 3 วัน เป็นระยะเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในกล้ามเนื้อและมีการพัฒนาความแข็งแรงและกำลังได้ (Derlorme, 1951; Ross, 1970; Carpovich and Murray, 1977; Ikai, 1973; Sander, 1981; Shaver, 1981; ACSM ,1990; Macinik, 1991)

ผลของการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อต่อการเปลี่ยนแปลงของร่างกาย

ผลการฝึกประจำถ้ากล้ามเนื้อได้รับการฝึกต่อเนื่องอย่างเต็มที่ชั่วระยะหนึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกล้ามเนื้อเป็นสิ่งแรก คือทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อมีขนาดใหญ่ขึ้น กล้ามเนื้อมีขนาดโตขึ้นพบร่วมกับการเพิ่มขึ้นของเส้นรอบวงของกล้ามเนื้อและพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยกล้ามเนื้อ (Hypertrophy) (Mikenky, et al.,1991; Clancy, 1983; Stone, 1988) เนื่องจากมีการ

เพิ่มจำนวนและขนาดของมัยโอไฟบริล ต่อเส้นใยกล้ามเนื้อ 1 เซลล์ (Komi, 1986 ; Tesch, 1987; Mikenky, et al., 1991) มีการเพิ่มจำนวนของโปรตีนที่ใช้ในการหดตัวและมีการเปลี่ยนแปลงในเส้นใยของกล้ามเนื้อ โดยมีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนของใยกล้ามเนื้อ (Hather, Mason and Duley, 1991; Hather, Tesch, Buchanan and Duley, 1991) ภายหลังการฝึก 19 สัปดาห์ พบว่า Muscle type IIB fibers ลดลง ($P<0.05$) ในขณะที่ Muscle type IIA เพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ซึ่งผลการศึกษาตรงกับการศึกษาของ Staran, et.al . (1991) และ Gregory, et. al. (1993) สรุปผลการศึกษาในเรื่องเดียวกันนี้ โดยใช้เทคนิค SDS-PAGE พบว่า Type IIB Myosin heavy chain ลดลง ($P<0.05$) ในขณะที่ Type IIA Myosin heavy chain เพิ่มขึ้น ($P<0.05$) เช่นเดียวกัน

Macinik (1991) รายงานผลการศึกษาของการฝึกด้วยการใช้น้ำหนักที่มีต่อกำลัง ความแข็งแรง ความอดทนและความสัมพันธ์ของกรดแลคติค พบว่า ความอดทนในการปั่นจักรยานเพิ่มขึ้นและสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของ ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขาและการลดลงของระดับของกรดแลคติคในเลือด แต่ไม่มีผลต่อ $\dot{V}O_2$ max. สอดคล้องกับการศึกษาของ Jacobs (1987) และ Hickson, et al. (1988) รายงานผลการศึกษาของการเพิ่มโปรแกรมการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ พบว่ามีสมรรถภาพด้านความอดทนทั้งระยะสั้นและระยะยาวเพิ่มขึ้น โดยสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของกล้ามเนื้อขา ในขณะที่ค่า ของ $\dot{V}O_2$ max. ไม่เปลี่ยนแปลง

การศึกษาหลาย ๆ การศึกษา เช่น Sale, et al. (1990) ; Dudley and Djamil (1985) และ Hickson (1980) รายงานผลดีของการศึกษา โดยการนำการฝึกความอดทนร่วมกับการฝึกความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ สอดคล้องกับการศึกษาของ Wilmore, et al. (1995) ซึ่งพบว่าภายหลังการฝึกร่วมกันจะมีการปรับตัวใน โครงสร้างภายในของใยกล้ามเนื้อโดยเพิ่มทั้งขนาดและจำนวนของ muscle type IIA fiber และโปรตีนยึดหดตัว ส่งผลให้สมรรถภาพด้านความอดทนดีขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย