บทความพิเศษ

พลังงานสำหรับการออกกำลังกาย

เสก อักษรานุเคราะห์*

Aksaranugkaha S. Fuels for exercise. Chula Med J 1987 Apr; 31(4) : 271-286

The energy needed to synthesize ATP comes from energy released during the break down of food and other chemical substances in the body. The coupling of energy released and energy charged - a system called "coupled reactions" is the fundamental principle involved in the metabolic production of ATP. Aerobic metabolism refers to a series of chemical reactions requiring oxygen. Anaerobic metabolism refers to a series of reactions without the need of oxygen. The ATP-PC or phosphagen system and the lactic acid system are anaerobic, resynthesizing ATP from energy released during the break down of phosphocreatine and glycogen respectively. These systems are used predominantly during the performence of high-power, short-duration activities (1-3 minutes). The oxygen system ulilizes both glycogen and fats as fuels for ATP resynthesis, by chemical reactions that take place in the mitochondria; this system yields large amounts of ATP without fatiguing by-products. The aerobic system is used predominantly during endurance tasks or low-power out-put activities.

The energy continuum of performance times can be divided into four distinctive areas. Area one includes activities requiring less than 30 seconds to perform and the major energy system is the stored phosphagens (ATP and PC). Area two includes activities requiring 30 to 90 seconds to perform and the major energy systems are the ATP-PC and lactic acid systems. Area three includes activities requiring between $1\frac{1}{2}$ to 3 minutes to perform and the major energy systems are the lactic acid and aerobic systems. Area four includes activitives requiring performance greater than 3 minutes and the major energy system is the aerobic or oxygen system.

* ภาควิชาออร์โทปิดิกส์และเวชศาสตร์ฟื้นฟู คณะแพทยศาสตร์ จุฬาฯ ลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก่อนที่จะกล่าวถึงพลังงานกล้ามเนื้อ จะต้องกล่าวถึงชนิดของใยกล้ามเนื้อเสียก่อน เพราะมีความสัมพันธ์กันอย่างยิ่งในฐานะเป็นผู้ใช้พลังงาน โดยที่ใยกล้ามเนื้อแต่ละชนิด จะใช้พลังงานที่แตกต่างกันออกไป

ใยกล้ามเนื้อ เดิมทีเราแบ่งใยกล้ามเนื้อเป็นใย A,B,C หรือใยขาวกับใยแดง หรือใยหดตัวเร็วกับใยหดตัวช้า เป็นต้น แต่ในปัจจุบันจะนำลักษณะและคุณสมบัติต่าง ๆ มาประกอบกันเข้าเพื่อแบ่งใยกล้ามเนื้อออกเป็น 3 แบบ

1. Type I (Slow twitching m.f., slow oxidation m.f.)
2. Type IIA (Fast oxidation glycolytic m.f.)
3. Type IIB (Fast glycolytic m.f.)

ทั้ง 3 แบบมีคุณสมบัติแตกต่างดังเช่น ตารางข้างล่างนี้ จาก Sports Medicine and physiology by Strauss, R.H., 1984[1]

	Type I	Type II A	Type II B
General characters			
Natural color	Dark	Dark	Pale
* Capillary density	High	High	Low
Histochem activity			
Myofibrill as AT Pase pH 9.4	Low	High	High
Myotibrill as AT Pase pH 4.3	High	Low	Low
Succinic dehydroginase	High	High	Low
Amylophosphorylase	Low	High	High
* Glycogen	Low	High	High
* Myoglobin	High	High	Low
Lipid droplets	High	High	Low
Electronmicroscopic features			
* Mitochondria	Many, Small	Many, Large	Few, Small
Z discs	Intermediate	Wider	Narrow
Physiologic features			
* Twitching Speed	Slow	Fast	Fast
* Fatigability	Resistant	Resistant	Sensitive
Other Nomenclatures			
Stein 1962	B	C	A
Padykula 1966	Intermediate	Red	White
Yellin 1970	S	FR	FF
Burke 1971	SO	FOG	FG
Peter 1972			

ตามคุณสมบัติในตารางพอจะสรุปได้ว่า Type I เลือดมาเลี้ยงมาก มี Mitochondria มากและตัวเล็กมี Myoglobin มาก มี Glycogen ต่ำ มีอัตราการหดตัวช้า และมีการเมื่อยล้ายาก ซึ่งทั้งหมดเป็นคุณสมบัติของการใช้พลังงานแบบ Aerobic. Type II A มีเลือดมาเลี้ยงมาก มี Mitochondria มาก และตัวโต มี Myoglobin มาก มี Glycogen สูง มีอัตราการหดตัวเร็ว และมีการเมื่อยล้ายาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติของการใช้พลังงานทั้ง Aerobic และ Anaerobic ร่วมกัน ส่วน Type II B มีเลือดมาเลี้ยงน้อย มี Mitochondria น้อย มี Glycogen มาก มี Myoglobin น้อย มีอัตราการหดตัวเร็ว และมีการเมื่อยล้าได้ง่าย ซึ่งทั้งหมดเป็นคุณสมบัติของการใช้พลังงานแบบ Anaerobic แต่อย่างเดียว

พลังงานกล้ามเนื้อ ATP (Adenosine triphosphate) เป็นพลังงานที่ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวได้

$$\text{Adenosine - P - P - P} \xrightarrow{\text{Break down}} \text{Adenosine - P - P + Pi + Energy}$$

(Adenosine diphosphate)

$$\text{ATP} \longrightarrow \text{ADP + Pi + Energy}$$

ATP ที่ให้พลังงานนี้จะหมดไปภายใน 1 วินาที

แต่ Glycogen และ Free fatty acid ในกล้ามเนื้อสามารถจะให้พลังงานอิสระ ซึ่งกล้ามเนื้อจะใช้พลังงานนี้ในการหัดตัวไม่ได้ แต่พลังงานนี้จะทำให้ ADP รวมตัวกับ

Pi กลับสร้าง ATP ขึ้นมาใหม่ได้อีก พลังงานที่แฝงอยู่นี้เรียกว่า Reserved energy

$$ADP + Pi \xrightarrow{\text{Reserved energy}} ATP$$

ATP ที่สร้างใหม่นี้ กล้ามเนื้อจะใช้หมดไปภายใน 1 วินาทีเช่นกัน ซึ่งรวมแล้วในขั้นต้นของการหดตัวของกล้ามเนื้อจะมีพลังงานในการหดตัวใช้ได้นานเพียง 2 วินาที

ถ้าการหดตัวของกล้ามเนื้อยังคงมีต่อไป จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาพลังงานอื่นมาทำให้ ADP + Pi ——→ATP ใหม่อีก (ปฏิกริยาที่สารบางอย่างแตกตัวให้พลังงาน เพื่อไปทำให้เกิดการสร้าง ATP ใหม่ จะได้เป็นพลังงานให้กล้ามเนื้อต่อไปอีกต่อหนึ่ง เรียกว่า "Coupled Reaction")(2)

สารตัวแรกที่จะแตกตัวให้พลังงานนี้คือ Phosphocreatine (PC) เรียกว่า Phosphogen system หรือ ATP-PC system.

$$PC \xrightarrow{\text{Break down}} Creatine + P + ENERGY$$

$$ADP + Pi \longrightarrow ATP$$

Phosphogen system นี้ กระทำใน sarcoplasm ของใยกล้ามเนื้อ ระบบนี้จะสามารถสร้าง ATP ได้ อยู่นานไม่เกิน 90วินาที

สารตัวต่อไปที่จะให้พลังงานเพื่อไปสร้าง ATP คือ Glycogen เรียกว่า Anaerobic Glycolysis หรือ Lactic Acid System (LA system) ทั้งนี้เพราะการแตกตัวของ Glycogen นั้น จะมีของเสียเกิดขึ้นคือ Lactic acid.

$$Glycogen \xrightarrow{\text{Break down}} Lactic\ acid + ENERGY$$

$$ADP + Pi \longrightarrow ATP$$

เช่นเดียวกัน Lactic acid system กระทำที่ Sarcoplasm ของใยกล้ามเนื้อระบบนี้สามารถสร้าง ATP ได้ระหว่าง 30-90 วินาที

ถ้าการหดตัวของกล้ามเนื้อยังดำเนินต่อไปเกิน 90 วินาทีขึ้นไปแล้ว ATP ที่จะสร้างใหม่จะต้องอาศัย Aerobic system หรือ Oxygen System ซึ่งทำได้โดยอาศัย Oxygen + Carbohydrate หรือ Oxygen + Fats หรือ Oxygen + Protein ที่มากับเลือด โดยจะแตกตัวให้พลังงานใน Mitochondria แล้วพลังงานนั้นจะถูกนำไปสร้าง ATP ใหม่ได้

Carbohydrate
Fats
Protein
Lung ——→ O_2

——→ CO_2 H_2O + ENERGY

ADP + Pi ——→ATP

การแตกตัวของ Carbohydrate, Fats และ Proteins โดยอาศัย Oxygen เพื่อให้พลังงานนำไปสร้าง ATP ใหม่นี้ จำเป็นต้องอาศัย Kreb's cycle และ Electron Transport system (ETS) หรือ Phosphorylation system(1) ดังนี้

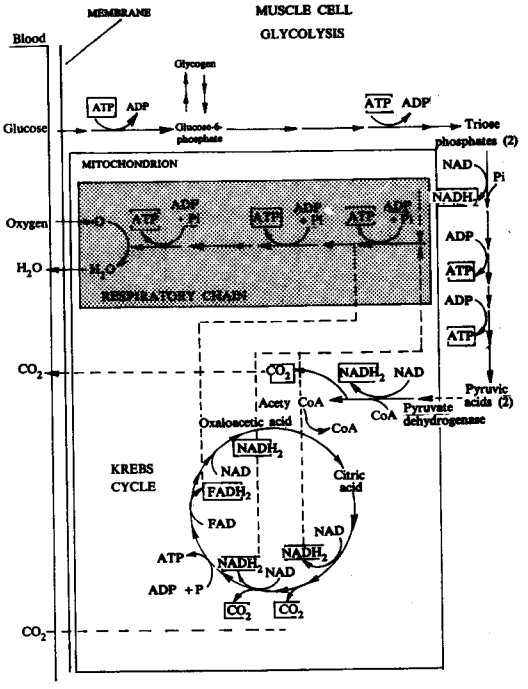

Figure 1 Resynthesis of ATP through glycolysis, kreb's cycle and electron trasport system.

Glucose จากเลือด เข้ามาใน Sarcoplasem ของใยกล้ามเนื้อ หรือ Glycogen ที่มีอยู่ในใยกล้ามเนื้อเดิมอยู่แล้ว จะถูกเปลี่ยนโดย Glycolysis ให้เป็น Glucose-6-phosphate ก่อน จากนั้นจะต้องใช้พลังงาน จาก ATP 1 ตัว เปลี่ยนให้เป็น Triose phosphates 2 ตัว ซึ่งจะถูกเปลี่ยนต่อไปเรื่อย จนกลายเป็น Pyruvic acids 2 ตัว แต่ในระหว่างทางจะได้ $NADH_2$ 2 ตัว และ ATP 4 ตัว

$NADH_2$ จะเข้าสู่ Respiratory chain หรือ Electron transport' system (ETS) ใน Mitochondria ซึ่งต้องอาศัย Oxygen จึงจะทำให้เกิด ATP 3 ตัว ฉะนั้น $NADH_2$ 2 ตัว จะให้ ATP 6 ตัวใน system นี้

ส่วน Pyruvic acids 2 ตัว จะเข้าสู่ Krebs Cycle ใน Mitochondria เช่นกัน ซึ่งจะให้ :-

1. $NADH_2$ 8 ตัว ซึ่งจะผ่านเข้าสู่ (ETS) เพื่อทำให้เกิด ATP อีก 24 ตัว
2. $FADH_2$ 2 ตัว ซึ่งจะผ่านเข้าสู่ ETS เพื่อทำให้เกิด ATP อีก 4 ตัว
3. ใน Krebs Cycle เองจะสร้าง ATP ได้ 2 ตัว จาก Pyruvic acids 2 ตัว

สรุปรวมแล้ว

จาก Glycolysis
- ETS ของ $NADH_2$ 2 ตัว → ทำให้เกิด ATP 6 ตัว
- Phosphorylation → ทำให้เกิด ATP 4 ตัว
- ต้องใช้พลังงานจาก ATP 1 ตัว → ATP - 1 ตัว

จาก Krebs Cycle
- ให้ $NADH_2$ 8 ตัว → ทำให้เกิด ATP 24 ตัว
- ให้ $FADH_2$ 2 ตัว → ทำให้เกิด ATP 4 ตัว
- Phosphorylation → ทำให้เกิด ATP 2 ตัว

รวมเกิด ATP 39 ตัว

แต่ถ้าจาก blood glucose จะให้ ATP เพียง 38 ตัว เพราะต้องเสีย ATP เพื่อเป็นพลังงานในระยะแรกอีก 1 ตัวต่างหาก

Electron Transport System (ETS) or Phosphorylation System[3]

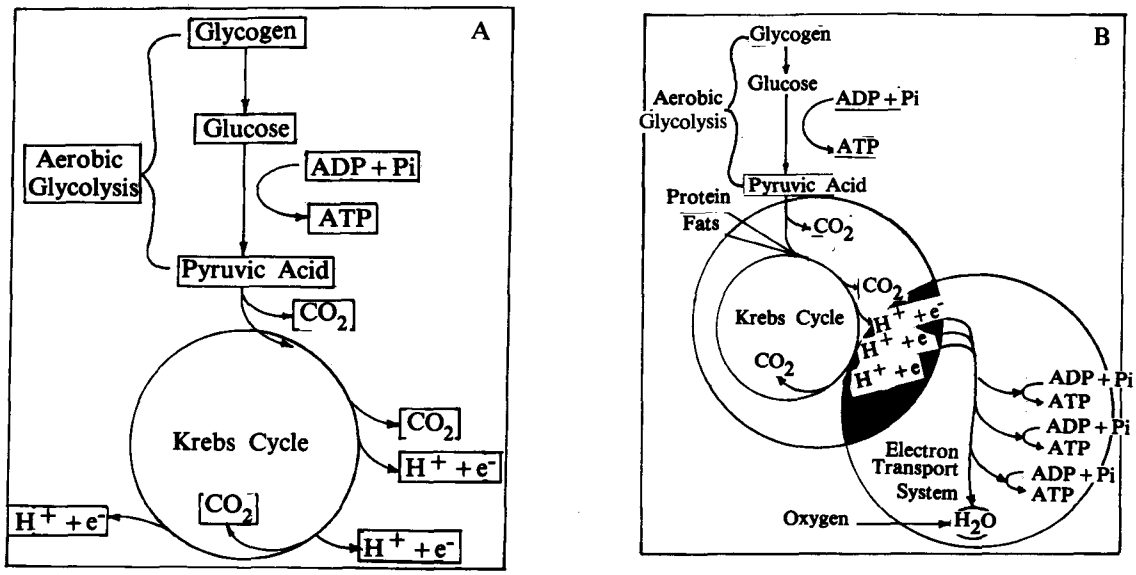

Figure 2 A. Pyruvic acid, the end product of aerobic glycolysis, enters the kreb's cycle.

B. Summary of the aerobic system from kreb's cycle (A) to electron transport system and ATP resynthesis.

ในขณะที่ $NADH_2$ 3 ตัว ใน Krebs cycle พร้อมกับ $NADH_2$ อีก 1 ตัวก่อน เข้า Krebs cycle (ในรูปที่ 1) เข้าสู่ **ETS** หรือ **Respiratory Chain** นั้น จะแตกตัวให้ $4H^+ + 4e^-$ และเมื่อรวมกับ O_2 แล้ว

$$4H^+ + 4e^- + 0_2 \longrightarrow 2H_2O + \textbf{ENERGY}.$$

ENERGY ที่ได้นี้เองจะไปสร้าง ATP ขึ้นมาใหม่จาก ADP + Pi.

เปรียบเทียบคุณสมบัติของพลังงานกล้ามเนื้อแต่ละชนิด[4] :-

ATP-PC System	**LA System**	**O_2 System**
Anaerobic	Anaerobic	Aerobic
Very rapid	Rapid	Slow
Chemical fuel : PC	Food fuel : Glycogen	Food fuels : glycogen, fats and protein
Very limited ATP production	Limited ATP production	Unlimited ATP production
Muscular stores limited	By product, Lactic acid, caused m. fatigue	No fatiguing by products
Used with sprint or any high-power short duration	Used with activities of 1-3 minutes	Used with eudurance or long duration activities.

สรุป

1. Stored ATP ⟶ ADP + Pi + Energy (1 second)
   Free energy ↓
   ATP (1 second)
2. Phosphagen system PC ⟶ Creatine + P + Energy (30 seconds)
   ADP + Pi ⟶ ATP
3. LA system. Glycogen 1 mol ⟶ glucose 2 mol + L.A. + Energy
   ADP + Pi ⟶ ATP (30-90 seconds)
4. Aerobic ATP
   1 mol. glucose ⟶ 38 ATP
   1 mol. FFA ⟶ 147 ATP
   Amino acid ⟶ Pyruvic acid ⟶ ATP

การใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง

พลังงานที่จะนำมาใช้ออกกำลังอย่างต่อเนื่องนั้น จะขึ้นกับว่าการสร้าง ATP ใหม่อย่างไร และชนิดของการออกกำลังว่าเป็นชนิดไหน ฉะนั้นอยากจะกำหนดเอาการวิ่งออกกำลังเป็นหลักก่อน จะได้ดูว่ากล้ามเนื้อจะสร้าง ATP ใหม่ได้ด้วยวิธีใด

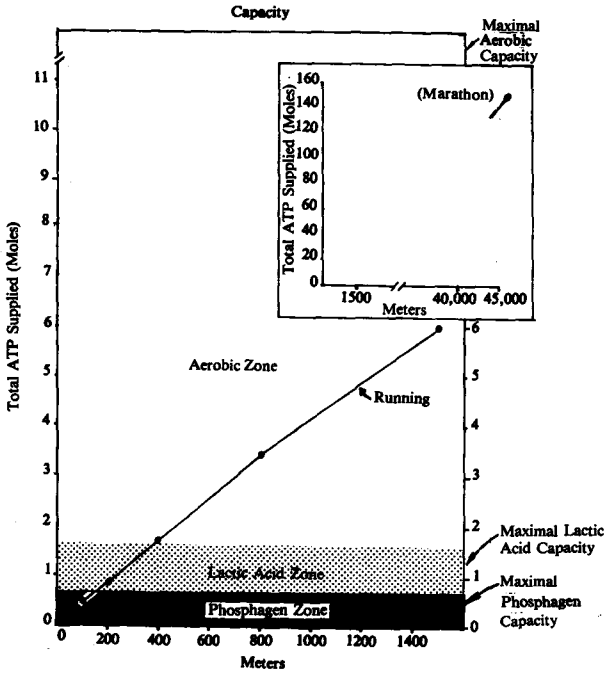

Figure 3 Energetics of track events in relation to the three energy systems. - Total amount of ATP required during performance of the various events. (Based on data from Fox, 1984).

จากรูปที่ 3 พิจารณาได้ 2 อย่างคือ เปรียบเทียบระหว่างทางที่วิ่งแข่งกับปริมาณของ ATP ที่ต้องการใช้ทั้งหมด และเปรียบเทียบว่าวิ่งแข่งระยะทางเท่าใดจะใช้ ATP ที่สร้างขึ้นด้วยวิธีใด

วิ่งแข่ง 100 เมตร ต้องการ ATP เพียง 0.5 moles และใช้ ATP ที่สร้างด้วย Phosphagen system เท่านั้น

วิ่งแข่ง 400 เมตร ต้องการ ATP 1.8 moles และใช้ ATP ที่สร้างด้วย Phosphagen system ร่วมกับ Lactic acid system

วิ่งแข่ง 800 เมตร ต้องการ ATP ประมาณ 3.2 moles และใช้ ATP ที่สร้างด้วย Phosphagen system กับ Lactic acid system และ Aerobic system จากระยะ 600 เมตรขึ้นไป จะใช้แต่ Aerobic system เท่านั้น

สำหรับวิ่ง Marathon ต้องการใช้ ATP ทั้งหมดถึง 160

Zone ของ Phosphagen อยู่ที่ระดับ 0.8 moles ของ ATP และ ATP ที่จะถูกสร้างขึ้นมาได้ใน Zone นี้ก็ได้เท่ากันคือ 0.8 moles

Zone ของ Lactic acid system อยู่ที่ระดับ 1.8 moles แต่ ATP ที่จะถูกสร้างขึ้นมากที่สุด ทำได้เพียง 1.2 moles เท่านั้น

ส่วนปริมาณ ATP ที่สร้างได้มากที่สุดใน Aerobic zone นั้นจะสร้างได้ถึง 12 moles[2]

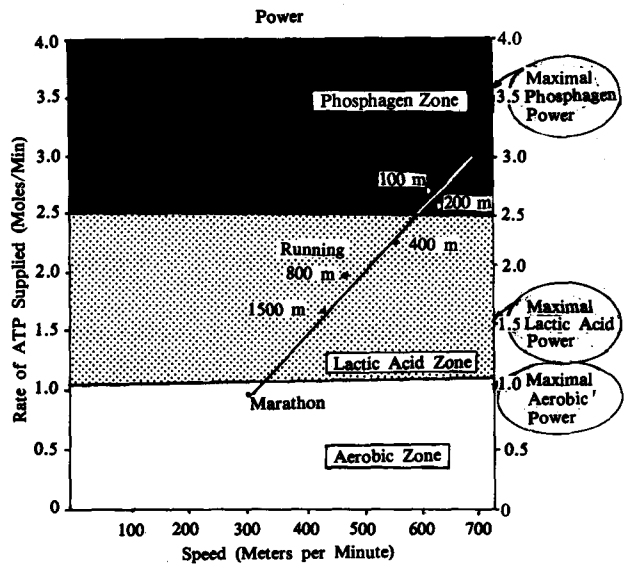

Figure 4 The power or rate at which ATP is supplied during performance. (Based on data from Fox, 1984).

จากรูปที่ 4 นี้ ถ้าวิ่ง 100 เมตร จะต้องใช้ ATP ถึง 2.7 moles ต่อนาที อัตราความเร็วประมาณ 630 เมตรต่อนาที หรืออาจจะกล่าวได้ว่าถ้าวิ่งด้วยความเร็ว 630 ม./นาที จะต้องใช้ ATP 2.7 moles ซึ่งทั้งหมดอยู่ใน Phosphagen zone เท่านั้น

วิ่ง 400 เมตร ต้องการใช้ ATP ประมาณ 2.3 moles ต่อนาที อัตราความเร็วประมาณ 550 ม./นาที หรืออาจกล่าวได้ว่าการวิ่งด้วยอัตรา 550 ม./นาที จะต้องใช้ ATP 2.3 moles ซึ่งอยู่ใน Lactic acid zone.

ถ้าวิ่ง Marathon ต้องการใช้ ATP ประมาณ 1 moles ต่อนาที อัตราความเร็วที่วิ่งประมาณ 300 ม.ต่อนาที หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราความเร็ว 300 ม./นาทีนั้น จะต้องใช้ ATP 1 moles : ต่อนาที ซึ่งจะอยู่ใน Aerobic zone

สำหรับ

Max. Phosphagen power	= 3.6	moles/นาที
Max. Lactic acid power	= 1.6	moles/นาที
Max. Aerobic power	= 1	moles/นาที

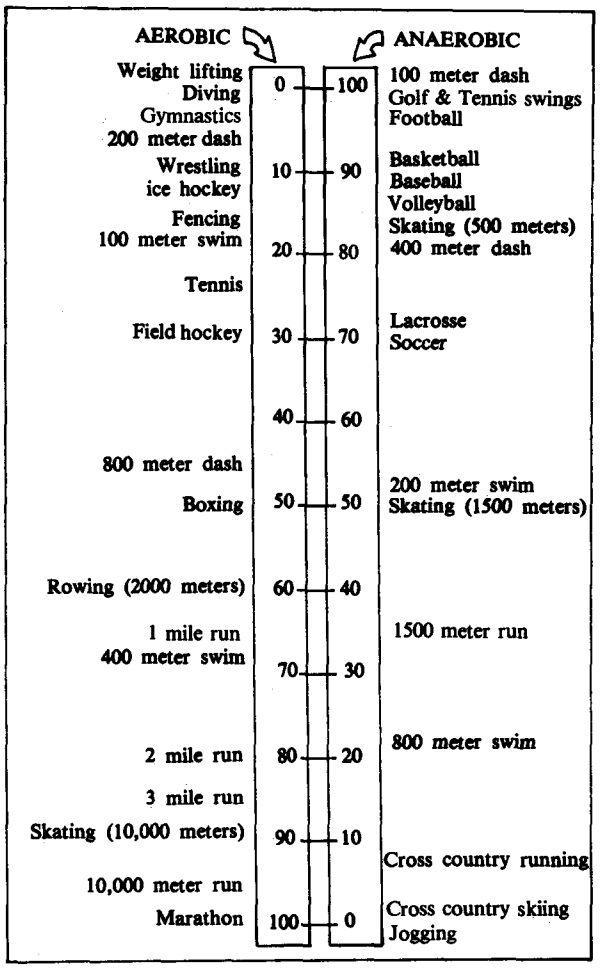

Figure 5 The energy continum and various sports activities.

จากรูป 5 แสดงถึงปริมาณของพลังงาน ชนิด Aerobic กับชนิด Anaerobic คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ที่ใช้ในการออกกำลังหรือเล่นกีฬาชนิดต่าง ๆ[4]

ยกน้ำหนัก และวิ่ง 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 เมตร ใช้พลังงาน Aerobic 64% ใช้พลังงาน Anaerobic 36%

วิ่งมาราธอน ใช้พลังงาน Aerobic 100% ใช้พลังงาน Anaerobic 0%

การฝึกออกกำลังแต่ละแบบ เมื่อคำนึงถึงความหนัก ความเบา และเวลาที่จะต้องใช้ในการออกกำลังแต่ละอย่างแล้ว จะเห็นได้ว่า จะใช้พลังงานและชนิดของใยกล้ามเนื้อ ที่แตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น

ยกน้ำหนัก เป็นการฝึกเพื่อเพิ่มกำลังอย่างเดียว จึงต้องฝึกใช้ใยกล้ามเนื้อชนิด II B และใช้พลังงานชนิด ATP-PC เท่านั้น เช่นเดียวกับวิ่ง 100 เมตรเป็นการฝึกเพื่อความเร็วอย่างเดียวในระยะเวลาสั้น ๆ 10 กว่าวินาที จึงต้องฝึกใช้ใยกล้ามเนื้อชนิด II B และใช้พลังงานชนิด ATP-PC. พวกนี้เวลาฝึกต้องออกแรงมากกว่า 90% ของ Max. Strenght.

วิ่ง 200 เมตร - 400 เมตร เป็นการฝึกทั้งความเร็ว แต่เวลายาวขึ้นกว่าวิ่ง 100 เมตร คืออยู่ระหว่าง 30 วินาที-90 วินาที จึงต้องฝึกใยกล้ามเนื้อชนิด II A และ II B และใช้พลังงาน ATP-PC + LA system พวกนี้เวลาฝึกต้องออกแรงระหว่าง 80-90% ของ Max. strength.

วิ่ง 800 เมตร เป็นการฝึกทั้งความเร็วและความทนทาน แต่ใช้ความเร็วมากกว่า เวลาที่ใช้อยู่ อยู่ระหว่าง 1.5-3 นาที ฉะนั้นจึงต้องฝึกใช้ใยกล้ามเนื้อชนิด II A และ I และใช้พลังงาน LA system + O_2 พวกนี้เวลาฝึกต้องออกแรงระหว่าง 70-80% ของ Max. Strength.

วิ่ง 1500 เมตร เป็นการฝึกความทนทาน + ความเร็วพอสมควร ฝึกทนทานมากกว่าเวลาที่ใช้เกิน 3 นาที ฉะนั้นจึงต้องฝึกใช้ใยกล้ามเนื้อชนิด I และ II A และใช้พลังงาน LA system + O_2 พวกนี้เวลาฝึกต้องออกแรงระหว่าง 50-70% ของ Max. Strength.

วิ่งมาราธอน เป็นการฝึกความอดทนอย่างเดียว ฉะนั้นจึงต้องฝึกใช้ใยกล้ามเนื้อชนิด I เท่านั้น และพลังงานที่ใช้ก็เป็นชนิด Aerobic อย่างเดียว เวลาฝึกต้องออกแรงน้อยกว่า 50%

ทีนี้ลองดูเฉพาะ Aerobic exercise เท่านั้นว่าพลังงานที่ได้สร้างมาจากไหนบ้าง ดังในรูปที่ 6 ขี่จักรยาน 1 ช.ม. เต็ม ปรากฏว่า

พลังงานที่ได้จากไขมันมี 43% แบ่งเป็นจาก Free Fatty Acid ในเลือด 11% และจาก Triglycrides ในกล้ามเนื้ออีก 32%

พลังงานที่ได้จาก Carbohydrate มี 57% แบ่งเป็นจากน้ำตาลในเลือด 13% และจาก Glycogen ในกล้ามเนื้อ 44%[5]

ฉะนั้นถ้าพิจารณาตามนี้แล้วจะเห็นว่าเมื่อขี่จักรยาน 1 ชม. เราจะใช้พลังงานส่วนใหญ่ซึ่ง 76% ที่มาจากกล้ามเนื้อเอง ส่วนที่เหลือ 24% มาจากเลือด และตัวที่ให้พลังงานมากที่สุดคือ Glycogen ในกล้ามเนื้อ พวกที่แข่งกีฬาประเภททนทาน เช่น วิ่งมาราธอน จึงต้องอาศัยสารอาหารพวก Carbohydrates มากกว่าสารอาหารประเภทอื่น อีกประ-

การหนึ่งประสาทส่วนกลางยังใช้พลังงานที่มาจาก Carbohydrate ได้เท่านั้น ใช้พวก fat ไม่ได้เลย จึงเพิ่มความสำคัญของ Carbohydrate ยิ่งขึ้น

วิธีการที่จะเสริมสร้าง Muscle Glycogen อาจทำได้ดังนี้ 1 อาทิตย์ก่อนแข่งขันให้รับประทานอาหารพวกผักและโปรตีนเท่านั้น ห้ามรับประทานพวกน้ำตาลหรือแป้งเลย เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นให้รับประทาน high carbohydrate diet อีก 3 วัน ในช่วง 4 วันแรก ยังซ้อมหนักอยู่ ฉะนั้นกล้ามเนื้อจะใช้ Muscle glycogen หมดไป โดยไม่มีการทดแทน ทำให้ร่างกายเพิ่มความต้องการ Glycogen อย่างมาก ใน 3 วันสุดท้ายรับประทาน High carbohydrate diet ร่างกายจึงนำไปสร้าง แต่ glycogen เป็นส่วนใหญ่ ส่วนน้อยจึงจะนำไปสร้างอย่างอื่น เช่น Triglycerides ทำให้ร่างกายมีการสะสม muscle glycogen ไว้มากกว่าปกติ ในวันแข่งขันจึงทำให้มีพลังงานมากกว่าสภาพปกติ โอกาสชนะจึงมีมากกว่า วิธีการนี้ห้ามทำบ่อย ๆ ให้ทำได้ไม่เกินปีละ 2 ครั้ง เพราะถ้าทำบ่อย ๆ จะทำให้ผู้นั้นกลายเป็นเบาหวานได้ในภายหลัง

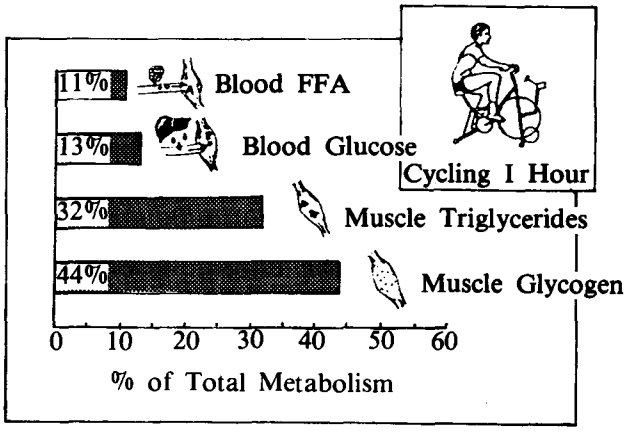

Figure 6 During 1 hr. of cycling, the muscular stores of triglycerids and glycogen supply 76% of the fuel, whereas the blood-borne fuels (FFA + Glucose), account for the remaining 24% (Based on data from Essen and Co-workers, 1977).

ถ้าพิจารณาว่าในช่วงเวลาใดของการออกกำลังกายแบบ Aerobic ใช้พลังงานจากอะไรมากกว่ากัน ให้ดูในรูปที่ 7 จะเห็นว่า เมื่อเริ่มเดินใหม่ ๆ นั้น พลังงานที่ได้จะมาจาก Carbohydrate 60 กว่า % จากไขมันเพียง 30 กว่า % ถ้าเดินติดต่อกันไปเรื่อย ๆ จากที่ประมาณ 20 นาที พลังงานที่ได้จากทั้งไขมันและแป้งจะพอ ๆ กัน แต่จากนั้นเป็นต้นไปจะกลับตรงข้ามกับตอนเริ่มต้น คือใช้ไขมันมากขึ้น ๆ ส่วนการใช้แป้ง จะค่อย ๆ ลดลงไปเรื่อย ๆ ฉะนั้นถ้าผู้ใดต้องการออกกำลังเพื่อลดความอ้วน จึงจำเป็นที่จะต้องออกกำลังติดต่อกันไม่ต่ำกว่า 20 นาที จึงจะได้ผล

อีกประการหนึ่ง จากการทดลองของ Dehm ปรากฏว่า ผลของการออกกำลังกายกว่าจะได้ผลเต็มที่ต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด ก็จะต้องรอ 20 นาที เช่นกัน

เมื่อได้พิจารณาประเภทอาหารแล้วว่า Carbohydrate เป็นสารอาหารที่สำคัญที่สุดในแง่การสร้างพลังงาน ทีนี้ลองมาดูในมุมกลับว่ากล้ามเนื้อจะถึงขั้นอ่อนเปลี้ยเมื่อออกกำลังกายเท่าใดโดยเปรียบเทียบในกลุ่มที่รับประทานอาหารต่างชนิดกัน ดังรูปที่ 8[6]

กลุ่มที่รับประทานอาหารไขมันสูง จะวิ่งได้เพียงประมาณ 1 ชม. 20 นาที ก็จะเกิดอ่อนเปลี้ย

กลุ่มที่รับประทานอาหารปกติ จะวิ่งได้ 2 ชม. จึงจะเกิดอ่อนเปลี้ย

ส่วนกลุ่มที่รับประทาน High cabohydrate diet จะวิ่งได้นานถึง 4 ชม. จึงจะเกิดอ่อนเปลี้ย

จึงสรุปได้ว่าสารอาหารจำพวก Carbohydrate สำคัญที่สุดสำหรับพวกแข่งในชนิดทนทานสำคัญทั้งในแง่การสร้างพลังงาน และสำคัญในแง่ป้องกันมิให้เกิดอ่อนเปลี้ยได้ง่าย

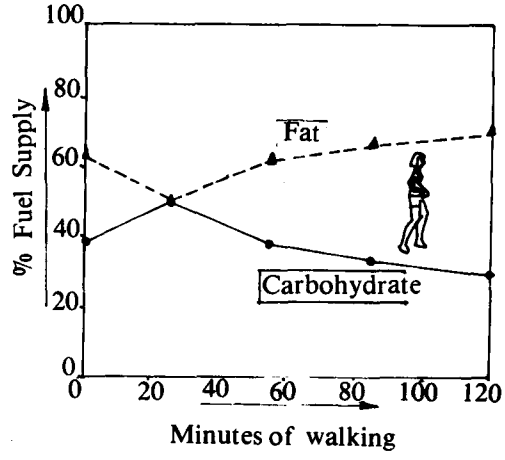

Figure 7 During prolonged exercise, the u e of carbohydrate is at first greater n that of fat : Fat usage slowly bec es predominant as prerformance cont s. (Based on data from Christense nd Hansen, 1939).

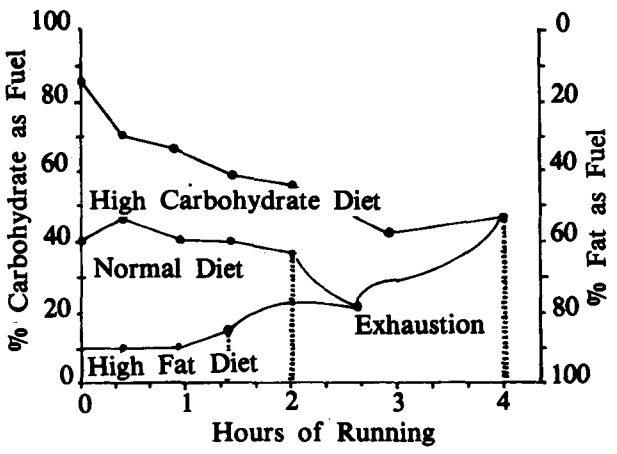

Figure 8 The kind of food we eat affects which fuel-carbohydrate or fat-will be more or less available during subsequent exercise. (Based on data from Christensen and Hansen, 1939).

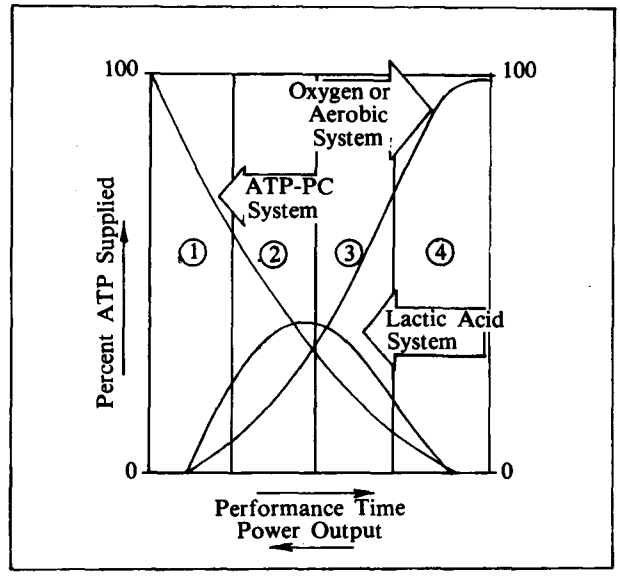

Figure 9 Recation between amount and type of energy during the energy continum. (Based on data from Fox, 1969).

ลำดับการใช้พลังงานชนิดต่าง ๆ

จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าได้แบ่งออกเป็น 4 area :-[4]

Area ที่ 1 เป็นการออกกำลังกายที่ใช้เวลาไม่ถึง 30 วินาที พลังงานหลักของ area นี้ คือ Phosphogen (ATP-PC) system ตัวอย่าง เช่น ทุ่มน้ำหนัก วิ่งแข่ง 100 ม. ตีกอล์ฟ ตีเทนนิส เป็นต้น

Area ที่ 2 เป็นการออกกำลังกายที่ใช้เวลาระหว่าง 30-90 วินาที พลังงานหลักคือ ATP-PC + Lactic acid (LA) systems. เช่น ว่ายน้ำแข่ง 100 ม. วิ่งแข่ง 200-400 ม. และแข่งสเก็ตเร็ว 500 ม. เป็นต้น

Area ที่ 3 เป็นการออกกำลังกายที่ใช้เวลาระหว่าง 1.5 นาที ถึง 3 นาที พลังงานหนักคือ LA + O_2 systems เช่นวิ่งแข่ง 800 ม.-1,500 ม. ว่ายน้ำแข่ง 200-400 ม. แข่ง Gymnastic ต่อยมวยยกละ 3 นาที มวยปล้ำยกละ 2 นาที เป็นต้น

Area ที่ 4 เป็นการออกกำลังติดต่อกันนานเกิน 3 นาทีขึ้นไป พลังงานหลักคือ O_2 system หรือ Aerobic system เช่น แข่งสกีข้ามประเทศ วิ่งมาราธอน จ๊อกกิ้ง ว่ายน้ำระยะทางตั้งแต่ 1,500 ม.ขึ้นไป และขี่จักรยาน

FATIGUE

Fatigue เกิดขึ้นกับ Endurance exercise โดยปกติ Lactic acid ในเลือด อยู่ระหว่าง 5-15 mgm % ถ้าจะให้เกิด Muscular fatigue จะต้องขึ้นถึง 100 mgm % ขึ้นไป แต่ในการวิ่งมาราธอน ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยของ Lactic acid ในเลือดประมาณ 19.3 mgm % เท่านั้น ซึ่งตามเป็นจริงการวิ่งอาจจะทำให้ fatigue ได้ ฉะนั้นจึงไม่อาจสรุปได้ว่าการสะสม Lactic acid แต่อย่างเดียว เป็นสาเหตุของ fatigue ได้[7]

สาเหตุจริง ๆ ของ fatigue ที่พอจะรวบรวมได้มีดังนี้

A. Local muscular fatigue

1. ขาด Glycogen ในกล้ามเนื้อ
2. อัตราส่วนของ Lactic acid ในใยกล้ามเนื้อ FT/ST เพิ่มขึ้น
3. เพิ่ม Anaerobic glycloysis ทำให้มี Lactic acid สะสม
4. Tension ในกล้ามเนื้อ (วัดเป็น Torgue) ลดลง

B. Total body fatigue

1. local muscular fatigue.
2. น้ำตาลในเลือดต่ำ
3. ขาด glycogen ในตับ และกล้ามเนื้อ
4. ร่างกายขาดน้ำ

5. ร่างกายขาด electrolytes

6. อุณหภูมิร่างกายขึ้นสูงเกินขนาด

7. ความเบื่อหน่าย

พวกนักกีฬาที่มีการฝึกฝนเป็นประจำ จะทำให้ร่างกายปรับตัวทำให้ :-

1. ลดการผลิต Lactic acid

2. ประหยัดการใช้ Glycogen

3. ร่างกายจะใช้พลังงานที่ได้จากไขมันมากกว่าจาก Glycogen

4. การปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม เช่น ภูมิอากาศดีขึ้น

ฉะนั้นพวกนี้จะเกิด Fatigue ยากกว่าพวกที่มิได้มีการฝึกฝน

Second Wind คือ สภาพที่นักกีฬา รู้สึกเปลี่ยนแปลงจากอาการเหนื่อยอ่อน หอบคล้ายหมดแรงในระยะแรกของการออกกำลังกายชนิดทนทาน ไปสู่ความรู้สึกสบายขึ้น หายเหนื่อย สดชื่นทันที[1,2]

สาเหตุของ Second Wind :-

1. การปรับการหายใจให้ช้าลง ทำให้ลดอาการเหนื่อยหอบ

2. สามารถกำจัด Lactic acid ที่สะสมจากการใช้พลังงานชนิด Anaerobic ในระยะแรกของการออกกำลังกาย โดยอาศัย Oxidation

3. Warm - up เพียงพอ

4. สามารถลดการอ่อนเปลี้ยของกล้ามเนื้อลงได้ โดยเฉพาะกระบังลม

5. สาเหตุทางด้านจิตใจ เช่น ความรู้สึกมั่นใจ หึกเหิม เป็นต้น

ฉะนั้นนักกีฬาที่เตรียมตัวมาดี ฟิตซ้อมอยู่เสมอ Second Wind จะเกิดได้รวดเร็ว อาการเหนื่อยอ่อนในระยะเริ่มแรกของการออกกำลังกาย จะสั้นลงเรื่อย ๆ และถ้าได้ warm-up ดีพอก่อนแข่งขัน จะทำให้นักกีฬาที่ผ่านพ้นระยะของ Second Wind ไปได้เลย

Stitch in the Side คืออาการจุดเสียดบริเวณชายโครงเกิดขึ้น ระหว่างเริ่มออกกำลังใหม่ ๆ โดยเฉพาะวิ่งหรือว่ายน้ำ แต่อาการจะค่อย ๆ หายไป ถ้าออกกำลังต่อไปอีก นอกจากบางรายจะจุกเสียดมากจนต้องวิ่งช้าลง หรือต้องหยุดวิ่งไปเลยได้ สาเหตุยังไม่ทราบแน่ชัด แต่สันนิษฐานว่าเกิดจากการขาดออกซิเจนของกล้ามเนื้อ กระบังลม และ intescostal muscles เพราะเลือดมาเลี้ยงไม่เพียงพอ

RECOVERY PROCESS

เมื่อหยุดการออกกำลังกาย กล้ามเนื้อและอวัยวะระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายจะฟื้นตัว ซึ่งจะกระทำได้ 4 วิธี

1. Restoration of muscle phosphagen.
2. Replenishment of myoglobin with oxygen.
3. Restoration of muscle glycogen
4. Removal of lactic acid from muscle and blood.

ก่อนที่จะกล่าวรายละเอียดของแต่ละวิธีจะต้องทำความเข้าใจกับคำ "Oxygen Debt" เสียก่อน

Oxygen Debt คือ (ปริมาณ O_2 ที่ร่างกายต้องการใช้ในขณะพักฟื้นหลังจากการออกกำลังกาย) – (ปริมาณ O_2 ที่ร่างกายต้องการใช้ในระยะพักอยู่เฉย ๆ)

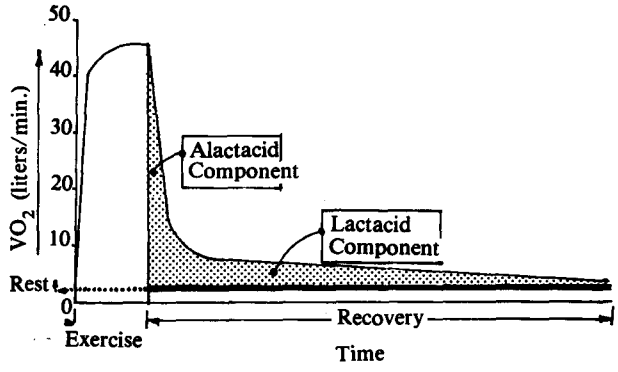

Figure 10 Components of oxygen DEBT. (Based on data from Fox, 1984).

O_2 Debt แบ่งเป็น 2 components

1. Fast component หรือ Alactacid O_2 Debt ตามชื่อบ่งชัดว่าไม่เกี่ยวข้องกับการกำจัด lactic acid ความจริง O_2 ที่ต้องการเพิ่มระยะนี้จะถูกนำไปเสริมสร้าง Phosphagen ในกล้ามเนื้อ[8]

2. Slow component หรือ Lactacid O_2 Debt เช่นกัน ตามชื่อบ่งว่าการใช้ O_2 ในระยะนี้เพื่อกำจัด lactic acid จากกล้ามเนื้อและเลือด แต่ความจริงนำไปใช้เสริมสร้างอย่างอื่นด้วย เช่น Oxymyoglobin และ muscle glycogen เป็นต้น

Restoration of muscle phosphagen

พลังงานที่จะใช้สร้าง ATP - PC ขึ้นใหม่ในขณะพักฟื้น

นั้น ส่วนใหญ่ได้จาก Oxygen system โดยผ่านทาง Carbohydrate & fat metabolism ดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ส่วนน้อยได้พลังงานจาก Lactic acid system ในลักษณะซึ่งเป็นการสร้างโดยตรง ATP ที่สร้างขึ้นใหม่นี้จะถูกเก็บเอาไว้ในกล้ามเนื้อ แต่บางส่วนของ ATP ที่สร้างใหม่นี้จะกลับแตกตัวให้พลังงานเพื่อนำไปสร้าง PC ใหม่ แล้วจึงถูกเก็บไว้ในกล้ามเนื้อ การสร้างแบบนี้จึงเป็นการสร้างโดยทางอ้อม[9] ดังแสดงในรูปที่ 11

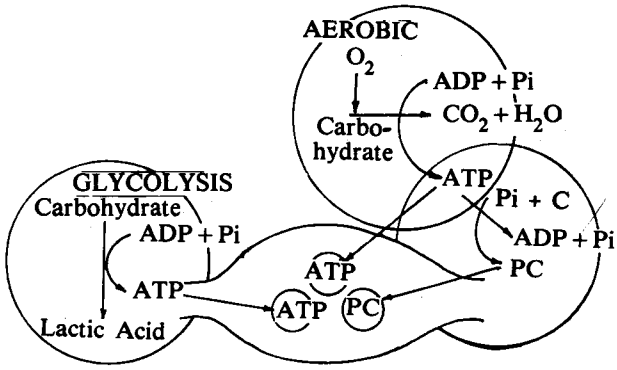

Figure 11 Energetics of phosphagen replenishment. (Based on data from Fox, 1984).

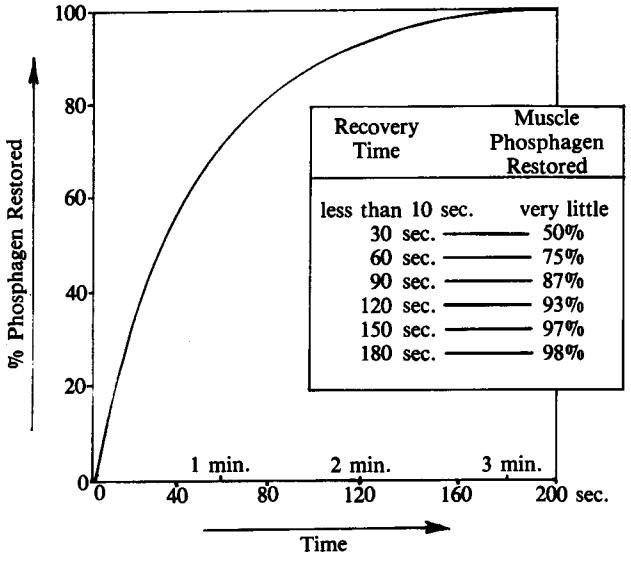

Figure 12 Recovery time of phosphagen storage. (Based on data from Hultman, 1967).

การเสริมสร้าง Phosphagen stores นี้ กระทำได้รวดเร็วมาก จากการวิจัยพบว่า จะเก็บสะสมในกล้ามเนื้อได้ใน 2 นาที แล้วจะสะสมเต็มที่ได้ใน 3 นาที แต่พบว่า ใน 20-30 วินาที แรกที่พักฟื้นจากการออกกำลังกาย Phosphagen จะถูกสร้างขึ้นและเก็บในกล้ามเนื้อได้ถึงครึ่งหนึ่งของที่ใช้ไปในการออกกำลังกาย เรียกว่า "Half time for phosphagen replenishment".[9] ดังรูปที่ 12

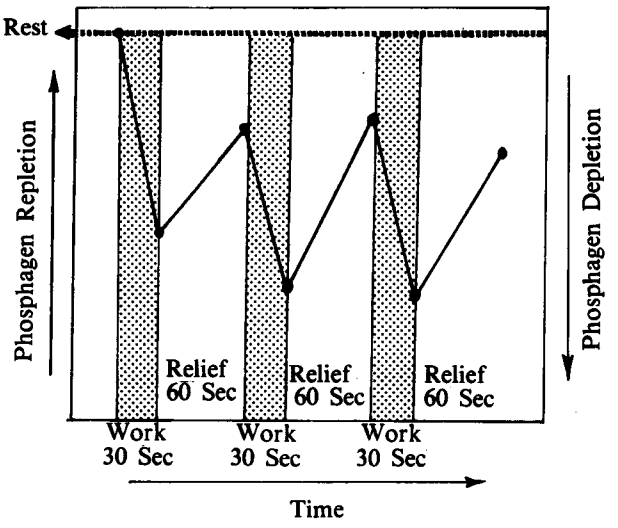

Figure 13 The pattern of phosphagen depletion and repletion. During intermittent exercise. (Based on data from Saltin and Essen, 1971).

ในกรณีที่การออกกำลังกายเป็นแบบ Intermittent exercise ช่วงที่พักนั้น PC จะถูกสร้างขึ้นมาได้เกินครึ่ง ถ้าพักเกิน 30 วินาที[10] ฉะนั้นจึงมีความสำคัญอย่างมากในเรื่องความอ่อนเปลี้ย เพราะ intermittent exercise สามารถจะลดหรือกำจัดเรื่อง Fatigue ได้

ดังได้กล่าวไว้แต่แรกแล้วว่า การสร้าง PC มาสะสมไว้ใหม่ในกล้ามเนื้อนี้ต้องการ O_2 มากกว่าภาวะปกติ (Alactacid Oxygen Debt) ปริมาณ O_2 Debt นี้ขึ้นกันปริมาณของ PC ที่สะสมไว้เดิม เช่นในกลุ่มผู้ชายที่ไม่เคยฝึกออกกำลังกายมาก่อน จะมี PC สะสมในกล้ามเนื้อประมาณ 0.6 mole ในขณะเดียวกัน ถ้าเป็นผู้หญิงจะมี PC สะสมในกล้ามเนื้อ 0.3 mole ถ้าปริมาณ PC นี้ถูกใช้ไปหมดขณะพักฟื้น จะต้องการ O_2 น้อยกว่า 4 ลิตร เพื่อสร้าง PC ขึ้นมาสะสมใหม่ในกล้ามเนื้อ นั่นคือปริมาณ Alactacid O_2 Debt อยู่ระหว่าง 2.0 ถึง 3.5 ลิตร ส่วนกลุ่มนักกีฬาที่มีการฝึกออกกำลังกายเป็นประจำปริมาณ PC สะสมจะมากกว่ากลุ่มแรก ฉะนั้น Alactacid O_2 Debt จึงมีปริมาณมากกว่ากลุ่มแรก

Replenishment of myoglobin with oxygen.

1 ก.ก. ของกล้ามเนื้อ จะมี O_2 ใน myoglobin

11 ml.

คนหนัก 70 ก.ก. มีกล้ามเนื้อ 30 ก.ก. เพราะฉะนั้นจะมี O_2 เก็บไว้ใน myoglobin = 11 × 30 = 330 ml.

แต่นักกีฬามักมีปริมาณกล้ามเนื้อมากกว่าคนปกติ ฉะนั้นปริมาณ O_2 นี้เก็บไว้ใน Myoglobin จึงมีปริมาณ 500 Mole หรือ 0.5 ลิตร ซึ่งจะมีความสำคัญในระหว่างการออกกำลัง โดยเฉพาะประเภท intermittent exercise

หน้าที่ของ Myoglobin ขณะออกกำลังกาย

1. ช่วยทำให้การสะสม lactic acid ในกล้ามเนื้อและเลือดช้าลง โดยเฉพาะถ้าเป็น Intermittent ex. เพราะ O_2 จะรวมตัวกับ Myoglobin ได้รวดเร็วมาก ในระยะพักและสามารถนำไปใช้ได้ทันทีที่เริ่มออกกำลังใหม่

2. กระตุ้นให้ O_2 จากเส้นเลือดฝอยซึมผ่านเข้าไปใน Mitochondria ได้ เป็นหน้าที่ที่สำคัญที่สุด ขณะนี้ยังไม่ทราบวิธีการที่แน่ชัด แต่สันนิษฐานว่าใช้วิธีส่ง O_2 จาก Molecule ของ myoglobin หนึ่งไปสู่อีก molecule หนึ่ง ต่อ ๆ กันไป จนถึง Mitochondria.

การสร้างสะสม O_2-myoglobin นี้ กระทำได้เร็วมาก เร็วกว่าของ Phosphagen เสียอีก ทั้งนี้เพราะมิได้พึ่งพาพลังงานจาก ATP เพื่อสร้างกลับ O_2-Myoglobin แต่เป็นการรวมโดยตรงคล้ายกับ O_2 กับ Hemoglobin ฉะนั้นจึงขึ้นกับปริมาณ O_2 ในเลือดว่ามีมากน้อยเท่าใด ซึ่งก็คือ Partial pressure of O_2[2]

พบว่าถ้า O_2 partial pressure ต่ำ การรวมตัวจะช้าและน้อย พบได้ในขณะออกกำลัง แต่เมื่อถึงช่วงพัก O_2 partial pressure จะสูงขึ้น การรวมตัวก็จะกระทำได้เร็วขึ้นและมากขึ้นด้วย ความต้องการ O_2 เพิ่มขึ้นเพื่อสร้าง O_2 - Myoglobin นี้ จัดเป็นส่วนหนึ่งของ Alactacid O_2 Debt ด้วย

Restoration of muscle glycogen.

การสร้างสะสมขึ้นใหม่ของ Muscle glycogen จะเร็วช้าแค่ไหนขึ้นกับอาหาร ความรุนแรง และระยะเวลาของการออกกำลัง

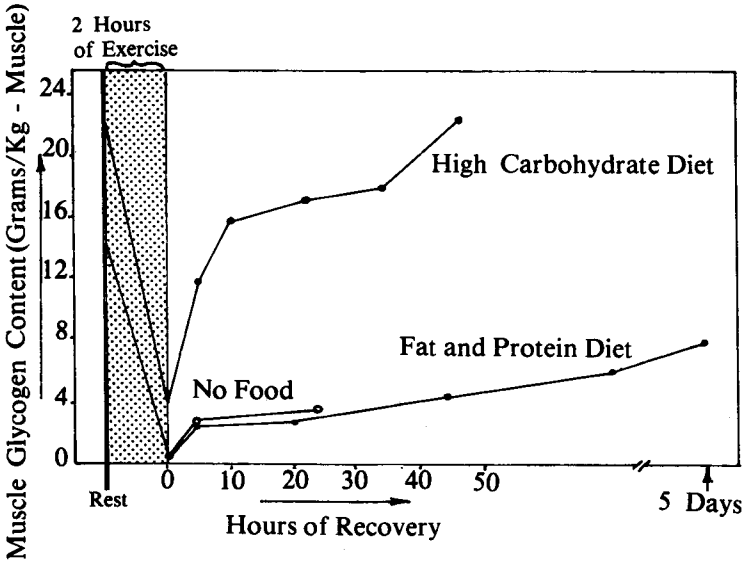

Figure 14 The effect of diet on the rate of muscle glycogen replenishment following prolonged exercise. (Based on data from Hultman and Bergstran, 1967, and Piehl, 1974).

รูปที่ 14 จากการทดลองให้ออกกำลังแบบทนทานชนิดCircuit exercise เป็นเวลา 2 ชม. ติดต่อกัน นักกีฬาแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ไม่ให้รับประทานอาหารเลยหลังจากเสร็จสิ้นการออกกำลังกาย กลุ่มที่ 2 รับประทานแต่ Fat และ Protein กลุ่มที่ 3 รับประทานแต่ High Carbohydrate พบว่า :-

1. การสร้างสะสมขึ้นใหม่ของ muscle glycogen จะเกิดขึ้นได้ต้องรับประทานอาหารประเภท High carbohydrate

2. ถ้าไม่รับประทาน Carbohydrate เลย ทั้ง ๆ ที่รับประทาน Fat และ Protein จะพบมีปริมาณ muscle glycogen สร้างสะสมขึ้นใหม่เพียงเล็กน้อยไม่เพียงพอถึง

แม้จะพักนานถึง 5 วัน

3. ถึงแม้จะรับประทานอาหาร High-carbohydrate ยังจะต้องรอถึง 46 ชม. จึงจะมีการสร้างสะสม muscle glycogen ขึ้นใหม่ได้เต็มที่ ฉะนั้นการฝึกติดต่อกันทุกวันจึงไม่ดี

4. การสร้างสะสม muscle glycogen ใหม่ กระทำได้รวดเร็วที่สุด ในระยะเวลา 10 ชม แรกหลังจากการพักฟื้น จากนั้นค่อย ๆ สร้างสะสมต่อไป[11,12]

ในกรณีออกกำลังกายชนิดระยะเวลาสั้น ๆ ออกแรงมาก ๆ แต่มีการพักเป็นระยะ ๆ และหลังจากหยุดออกกำลัง 2 ชม. แรก (รูปที่ 15 และ 16) พบว่า :-

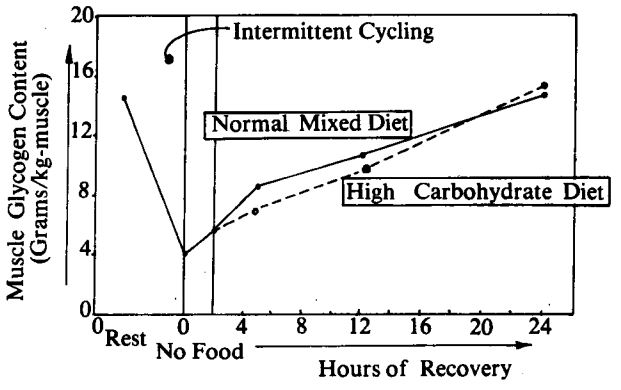

Figure 15 The effect of diet on the rate of muscle glycogen replenishment following short term, high - intensity, intermittent exercise. (Based on data from Mac Dougall, et al, 1977).

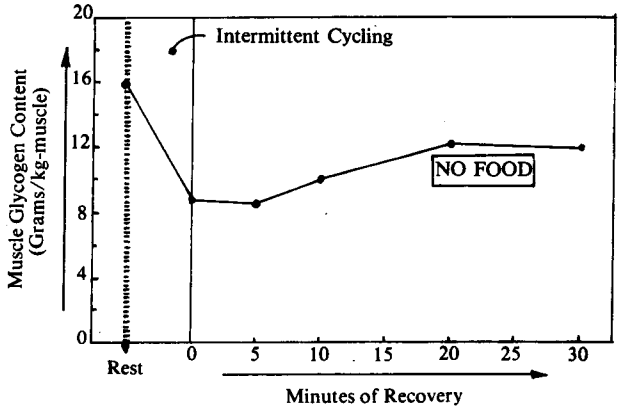

Figure 16 The extent of muscle glycogen restoration immediately after exercise. (Based on data from Hermansen & Vaage, 1977).

1. ใน 2 ชม. แรก หลังจากพักฟื้น ถึงแม้นักกีฬาจะมิได้รับประทานอาหารพวก Carbohydrate เลย ก็ปรากฏว่ามีการสร้าง glycogen ได้ในปริมาณพอควรอย่างมีนัยสำคัญ

2. ถึงแม้จะออกกำลัง Intermittent exercise จะใช้ muscle glycogen ไปหมด ก็ไม่จำเป็นจะต้องให้นักกีฬารับประทานอาหาร high carbohydrate ให้รับประทานอาหารที่มีปริมาณของ carbohydrate ธรรมดาก็เพียงพอ

3. ไม่ว่าจะให้รับประทานอาหาร normal หรือ high carbohydrate พบว่าจะมีการสร้างสะสม muscle glycogen ได้เต็มที่ใน 24 ชม.

4. การสร้างสะสม Muscle glycogen ใหม่ กระทำได้รวดเร็วที่สุดในระยะเวลา 5 ชม. แรก

5. ถ้าไม่ให้อาหารรับประทานเลย หลังทำ Intermittent exercise พบว่ายังมีการสร้างสะสม muscle glycogen ได้ปริมาณพอสมควรอย่างมีนัยสำคัญ ภายใน 30 นาที หลังจากพักฟื้นได้

Removal of Lactic Acid from Muscle & Blood.

การกำจัด LA ออกจากกล้ามเนื้อและเลือด จำเป็นต้องอาศัยพลังงานที่มาจาก Aerobic system. LA จะถูกเปลี่ยนไปเป็นอะไรได้บ้าง :- (รูปที่ 17)

1. ถูกเปลี่ยนกลับไปเป็น muscle glycogen & liver glycogen ประมาณ 18%

2. ถูกเปลี่ยนไปเป็น blood glucose ประมาณ 2%

3. ถูกเปลี่ยนไปเป็น protein ประมาณ 8%

4. ถูกเปลี่ยนไปเป็น CO_2 และ H_2O ในกรณีนี้ LA จะถูกใช้เป็นพลังงานในการสร้าง ATP ได้ โดยอาศัย O_2 ประมาณ 63% (กล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อหัวใจ ตับ และไต สามารถจะใช้ LA เป็นพลังงานได้)[13]

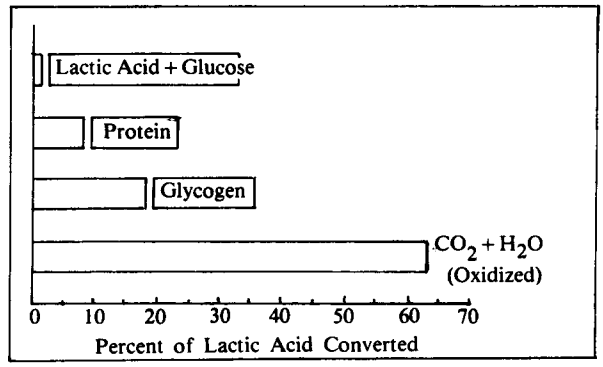

Figure 17 The fate of lactic acid (removed from blood and muscle during recovery period)- (Based on data from Brooks & Gaesser 1980).

สำหรับ Lactic Acid Removal นี้ เป็นส่วนของ Lactacid Oxygen Debt Component ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันได้มาก อาจจะมากจนถึง 8 ลิตรได้ สำหรับ Half-time ของ LA O_2 Debt หลังจากออกกำลังจนอ่อนเปลี้ย ประมาณ 15 นาที และ 75% ใน 30 นาที กับ 95% ใน 1 ชม. ฉะนั้น สำหรับนักกีฬาที่ต้องแข่งขันหลายครั้งติด ๆ กัน ควรจะได้พักระหว่างการแข่งแต่ละครั้งต่ำสุด 30 นาที และมากที่สุด 60 นาที

การกำจัด LA นี้ จะเร็วช้าขึ้นกับ :-

1. การออกกำลังนั้นเป็นแบบติดต่อกันหรือเว้นเป็นช่วง ๆ ทั้ง 2 แบบ นี้ให้ออกกำลังจนอ่อนเปลี้ยแล้วจึงพัก พบว่าพวกออกกำลังเว้นเป็นช่วง ๆ จะกำจัด LA ได้เร็วกว่าพวกที่ออกกำลังติดต่อกัน

2. แบบของการพัก - หลังจากออกกำลังจนเปลี้ยแล้ว พวกหนึ่งให้พักเฉย ๆ อีกพวกหนึ่งยังให้ออกกำลังเบา ๆ ต่อไป พบว่าพวกที่ยังออกกำลังเบา ๆ สามารถกำจัด LA ได้เร็วกว่าพวกพักเฉย ๆ ยิ่งกว่านั้นในกลุ่มที่ออกกำลังกายแบบทนทานขณะพัก ถ้าออกกำลังเบา ๆ ติดต่อกันไปโดยไม่หยุด จะสามารถกำจัด LA ได้เร็วกว่าพวกที่ออกกำลังเบา ๆ แต่เว้นระยะเป็นช่วง ๆ ฉะนั้นขณะพักฟื้นหลังจากออกกำลังกายมาอ่อนเปลี้ยแล้วควรจะพักในลักษณะออกกำลังกายเบา ๆ ติดต่อกันไปจึงจะกำจัด LA ได้เร็วและมากที่สุด ในด้านปฏิบัติอาจจะใช้การ Warm down เป็นการกำจัด LA ด้วยวิธีออกกำลังกายแบบเดิมแต่ลดความแรงและความเร็วลง ไม่ต่ำกว่า 50% และให้ทำติดต่อกันไป 5 นาที หรือมากกว่านั้นจะให้ผลดีที่สุด

Recommended Recovery Times after Exhaustive Exercise

Recovery Process	Min	Max
Restotation of m. phosphagen (ATP-PC)	2 min.	3 min.
Repayment of the alactacid O_2 Debt	3 min.	5 min.
Restoration of O_2 myoblobin	1 min.	2 min.
Restoration of m. glycogen	10 hr.	46 hr. (after prologned ex.)
	5 hr.	24 hr. (after intermittent ex.)
Removal of LA from m. & bl.	30 min.	1 hr. (ex.-recovery)
	1 hr.	1 hr. (rest-recovery)
Repayment of the lactacid O_2 Debt	30 min.	1 hr.

WARM-UP

การอุ่นเครื่องก่อนการฝึกออกกำลังกายหรือการแข่งขันถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุผลหลายประการ

1. เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของร่างกายและกล้ามเนื้อ ซึ่งจะเป็นผลทำให้

– กระตุ้น enzyme activity ทำให้ การเผาผลาญเพิ่มตามไปด้วย

– เร่งให้เพิ่มเลือด และ Oxygen ที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อ

– เพิ่มความแรงของการหดตัวของกล้ามเนื้อ

– เพิ่มความไวของปฏิกิริยาตอบโต้

2. ลดอุบัติการเกี่ยวกับเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจไม่เพียงพอในขณะออกกำลังกายอย่างรุนแรงและรวดเร็ว

3. ลดการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อ เอ็น และข้อกระดูก โดยเฉพาะในพวกใช้แรงมาก ๆ หรือความเร็วสูง ๆ

4. มีผลทางด้านจิตใจ หายตื่นเต้น เกิดความมั่นใจ เป็นต้น

ขั้นตอนของการอุ่นเครื่อง[2]

1. Passive warm-up จะไม่มีการบริหารร่างกายในช่วงนี้เลยส่วนใหญ่จะเป็นการอบตัวด้วยความร้อน เช่น ให้ diathermy ตามส่วนต่าง ๆ ที่จะใช้ในการแข่งขัน หรือใช้ธาราบำบัด หรือแม้แต่อาบน้ำฝักบัวร้อน ๆ ก็ใช้ได้

2. Active warm-up ประกอบด้วย 2 ช่วง

2.1 Informal warm-up ประกอบด้วย

– Stretching activities พวกกล้ามเนื้อใหญ่ ๆ ข้อกระดูก เช่น คอ หลัง กล้ามเนื้อ gastrocnemius เอ็นร้อยหวาย หน้าอก สะโพก ก้นย้อย กระดูกสันหลัง กล้ามเนื้อ Quadriceps ไหล่ แขน ข้อเท้า กล้ามเนื้อหน้าท้อง เข่า และนิ้วเท้า ให้ทำประมาณ 20-30 นาที

– Calisthenics เป็น active exercise ของกล้ามเนื้อมัดใหญ่ ๆ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อที่จะต้องใช้ใน

การแข่งขัน ให้ทำ 5-10 นาที (ให้ทำหลัง stretching ex.) เช่น

คอให้ทำ Bridge

ไหล่ และสะโพก - jumping jacks

ข้อเท้า นิ้วเท้าและ Gastrocnemius เขย่งวิ่งอยู่กับที่

กล้ามเนื้อ Quads ย่อตัวแบบนั่งยอง ๆ แต่ทำแค่ครึ่งเดียว

Shoulder, arm, chest-push-ups

Abdominals-Bent knees sit-up, leg raising.

2.2 Formal warm-up

คือการทำ Active ex. โดยการทำท่าทางเหมือนกับที่จะแข่งขัน เช่น วิ่งแข่งให้วิ่งเหยาะ ต่อยมวยให้เต้นพร้อมกับต่อยลม เล่นฟุตบอลให้ลงวิ่งเลี้ยงลูก เตะลูกในสนาม เป็นต้น เพื่อให้ร่างกายปรับเข้าสู่ Aerobic state ผ่านพ้นระยะ Second wind เพื่อเพิ่มการทำงานที่สัมพันธ์กันของระบบกล้ามเนื้อประสาทต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น มือ-สายตา ขา-สายตา เป็นต้น

Warm-Down

การผ่อนคลายมีความจำเป็นอย่างมากดังเหตุผล

1. สามารถลดระดับ LA ในเลือด และกล้ามเนื้อได้เร็วขึ้น จึงมีผลดีในระยะ Recovery (exercise-recovery)

2. มีปริมาณเลือดกักเก็บอยู่ในกล้ามเนื้อที่ออกกำลังไปแล้วมาก (20 เท่าของเลือดที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อนั้นตามปกติ) ถ้าหยุดออกกำลังกายทันทีความดันโลหิตจะต่ำได้ทันที ทำให้เกิดเลือดไปเลี้ยงสมองหรือหัวใจขาดแคลนได้ - ตายทันทีได้ แต่การ warm down จะทำให้กล้ามเนื้อยังบีบตัวอยู่ จึงบีบเลือดที่ถูกกักเก็บไว้ให้ออกมาจากกล้ามเนื้อได้ ทำให้ Venous return เพิ่มขึ้นความดันโลหิตก็จะไม่ตก

วิธีการยังไม่แน่นอน ในแต่ละชนิดของการแข่งขัน แต่ส่วนใหญ่ Warm-up ทำอย่างไร Warm-down ก็ทำสวนทางกันก็ใช้ได้

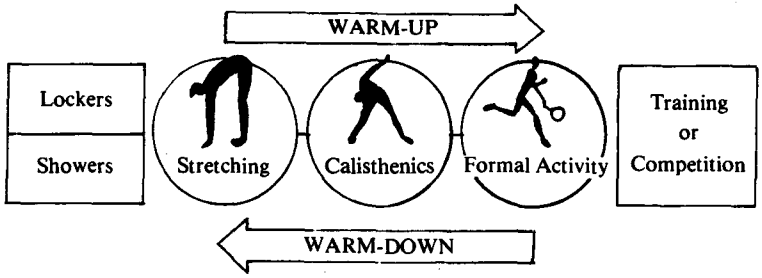

Figure 18 Warm-up and warm-down.

อ้างอิง

1. Struss RH. Sports Medicine and Physiology. Philadelphia : W.B. Saunders, 1984.
2. Fox EL. Sports Physiology. 2 ed. Philadelphia : W.B. Saunders, 1984.
3. Fox EL. Energy sources during rest and exercise. In : Stull GA, ed. Encyclopedia of Physical Education, Fitness, and Sports. Salt Lake City : Brighton, 1980.
4. Fox EL, Mathews DK. The Physiological Basis of Physical Education and Athletics. 3 ed., Philadelphia : W.B. Saunders, 1981.
5. Essen B. Intra muscular substrate utilization during prolonged exercise. Ann NY Acad Sci 1977; 301 : 30-44
6. Christensen EH, Hansen O. Arbeitsfahigkeit und Ehrnabrung Skand. Arch Physiol 1939; 81 : 160-175
7. Tesch P, Sjodin B, Karlsson J, Thorstensson A. Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man. Acta Physiol Scand 1978 Aug; 103(4) : 413-420
8. Di Prampero PE, Peeters L, Margaria R. Alactic O_2 debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. J Appl Physiol 1973 May; 34(5) : 628-632
9. Hultman E. Bergstrom J, Anderson NM. Breakdown and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosine triphosphate in connection

with muscular work in man. Scand J Clin Lab Invest 1967; 19: 56-66
10. Saltin B, Essen B. Muscle glycogen, lactate, ATP. and CP in intermittent exercise. In : Pernow B, Saltin B, eds. Muscle Metabolism During Exercise. New York : Plenum Press, 1971. 419-424
11. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. Acta Physiol Scand 1967 Oct-Nov; 71 : 140-150
12. Piehl K. Time course for refilling of glycogen stores in human muscle fibers following exercise-induced glycogen depletion. Acts Physiol Scand 1974 Feb; 90 : 297-302
13. Brooks GA, Gaesser GA. End points of lactate and glucose metabolism after exhausting exercise. J Appl Phydiol 1980 Dec; 49(6) : 1057-1069

จุฬาลงกรณ์เวชสารได้รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 1 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2530