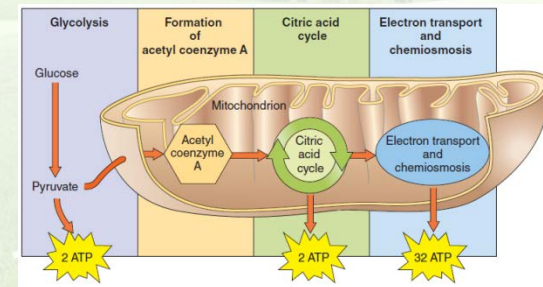


การหายใจระดับเซลล์ (Cellular Respiration)

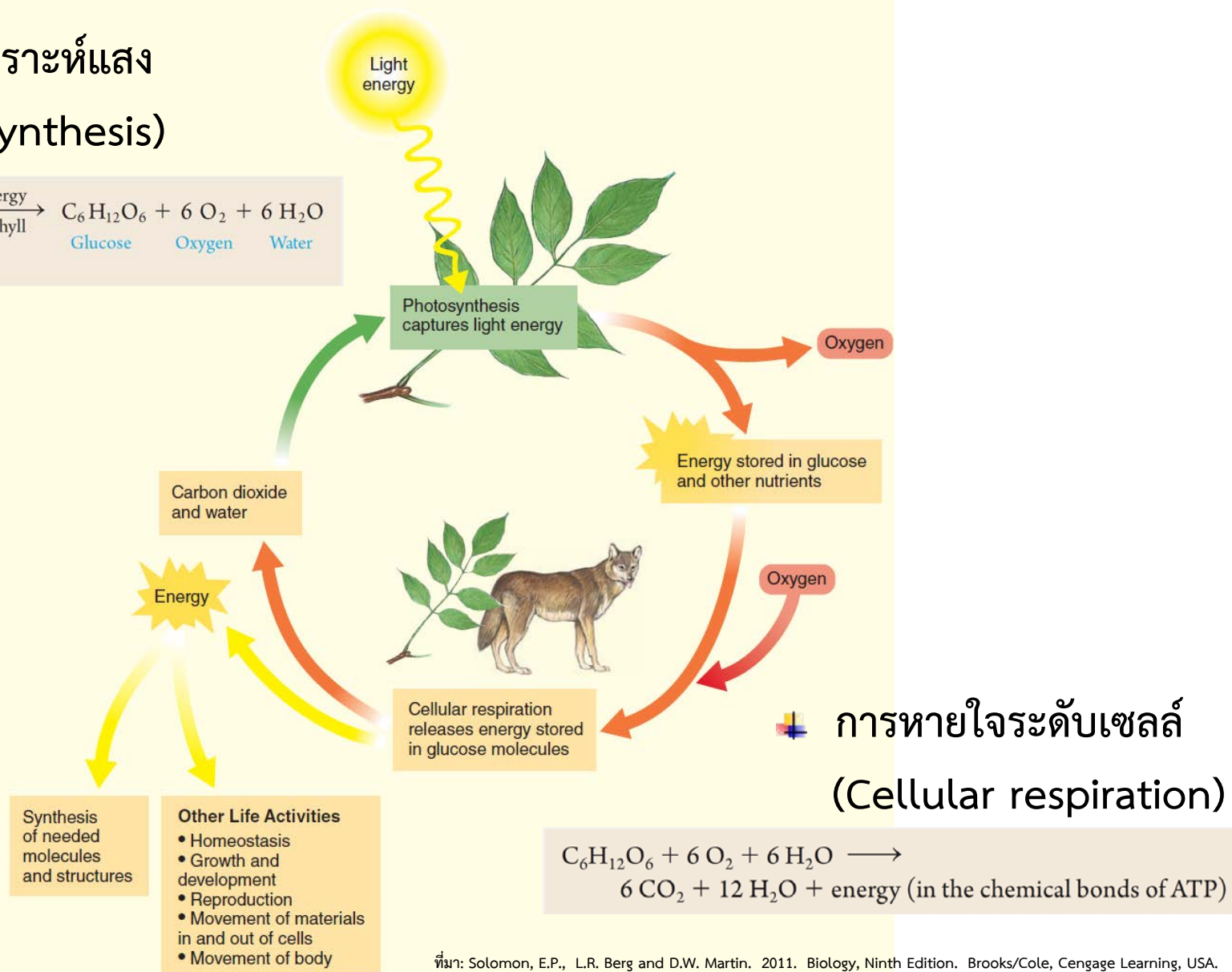
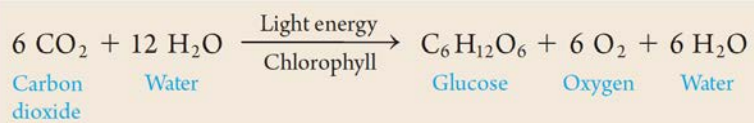
การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

- ✚ รายวิชา หลักชีววิทยา (Principle of Biology) : 01424111
- ✚ สอนโดย อ.ดร. ปิยะมาศ ศรีรัตน์



พลังงานในสิ่งมีชีวิต

การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)





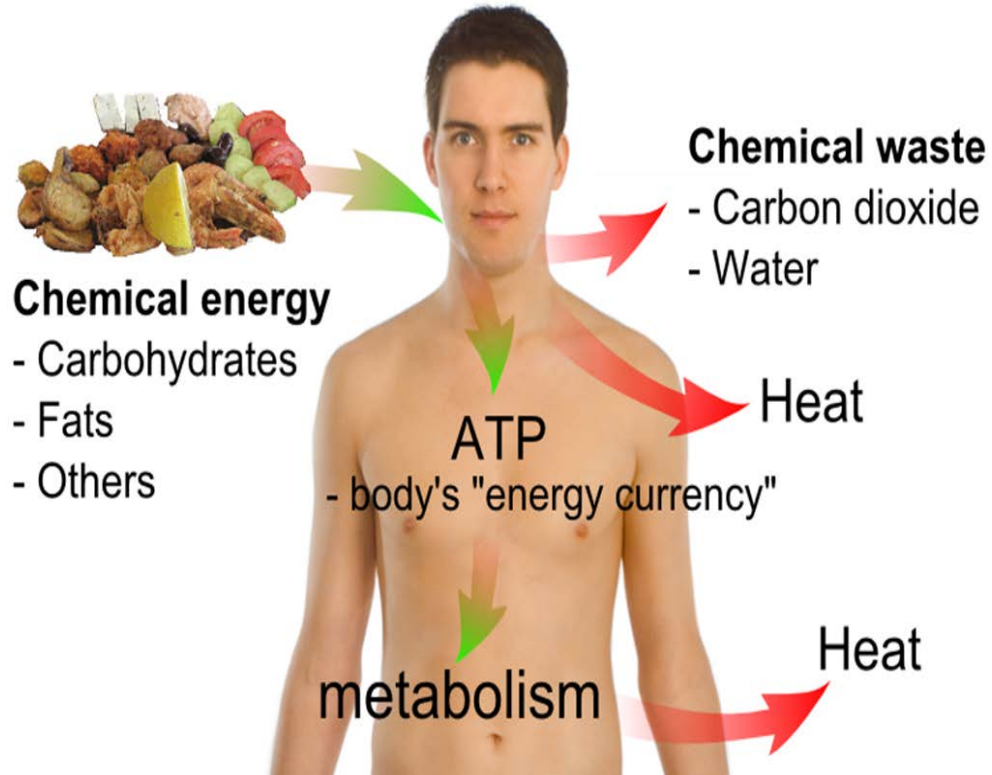
ใช้พลังงานทำอะไร ?



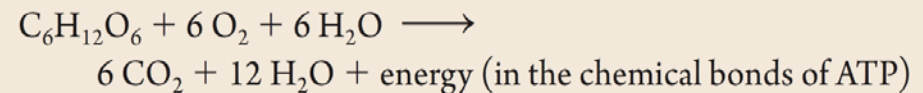
ได้พลังงานมาจากไหน ?



Basic overview of Energy and human life

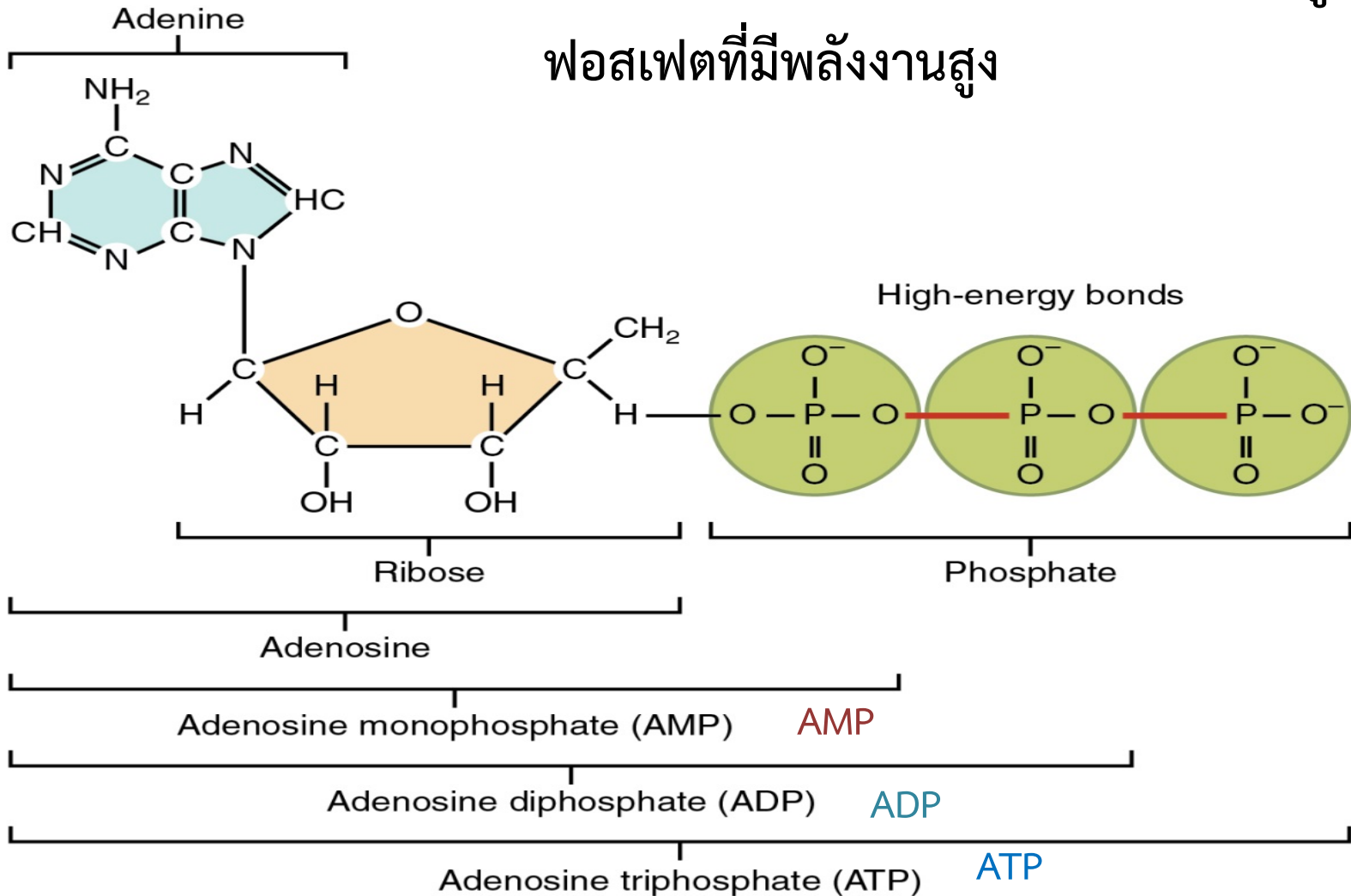


✚ การหายใจระดับเซลล์ (Cellular respiration)



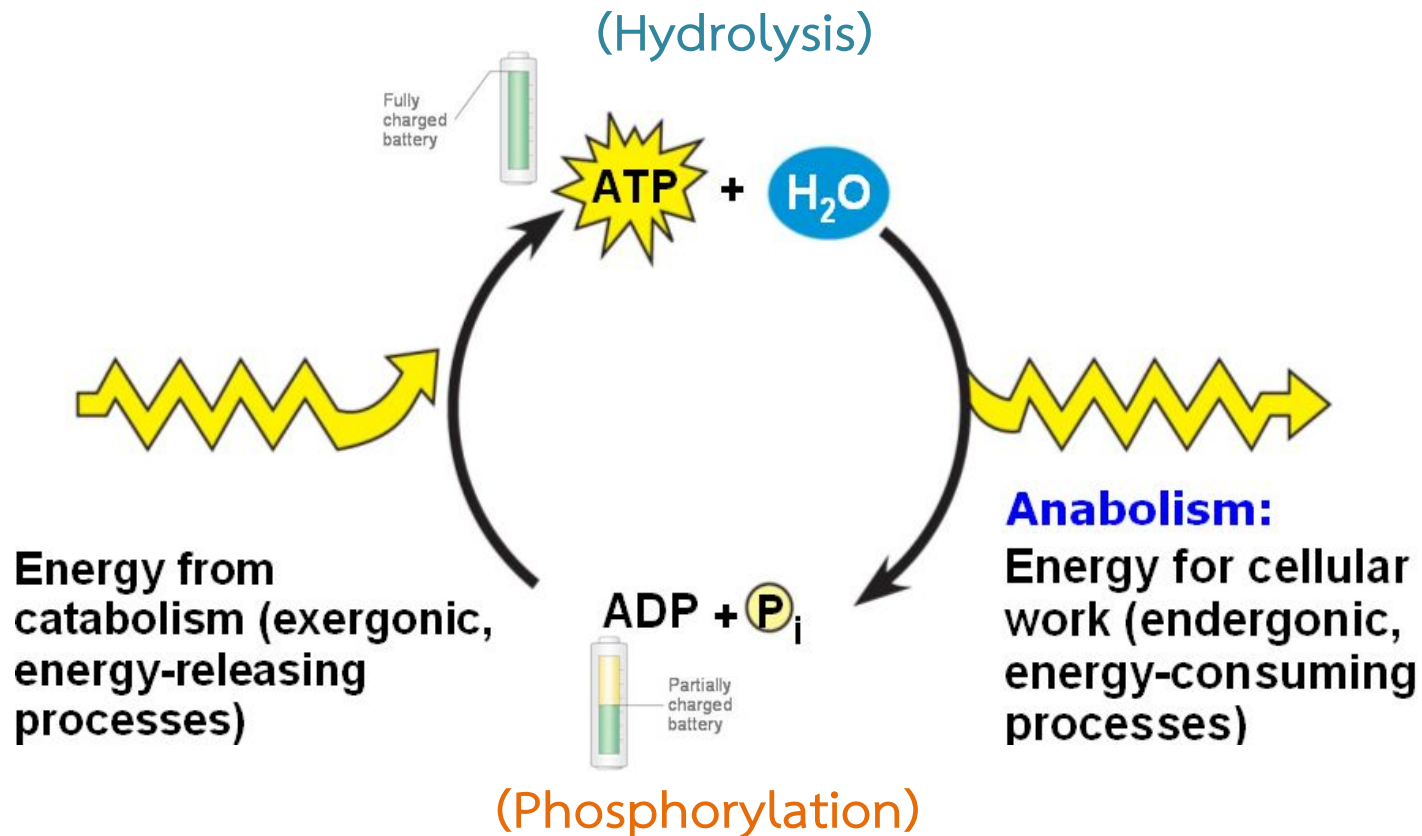
ATP : Adenosine triphosphate

✚ ATP เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยหมู่ฟอสเฟตที่มีพลังงานสูง



ATP = สารเก็บพลังงานหมุนเวียนของเซลล์

ATP - ADP cycle

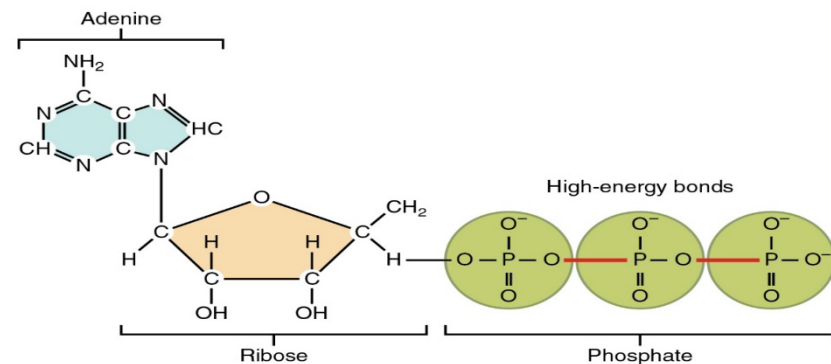


การสร้าง ATP

✚ การสร้าง ATP เกิดขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี ที่เรียกว่า **phosphorylation** ซึ่งเป็น การเติม Pi พลังงานสูงให้แก่ ADP โดยเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการพลังงาน (endergonic reaction)

✚ กระบวนการสร้าง ATP เกิดได้ 3 วิธี

1. Substrate level phosphorylation
2. Oxidative phosphorylation
3. Photophosphorylation

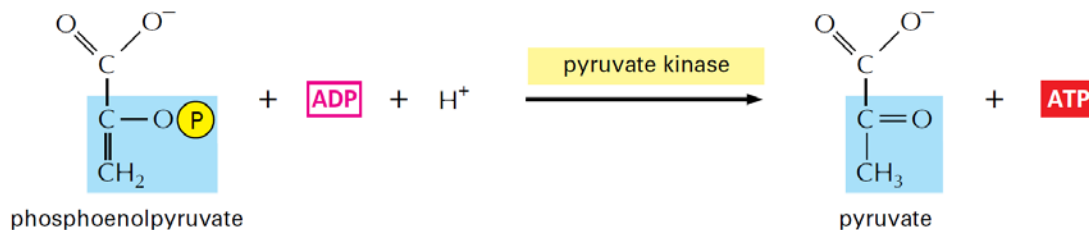


การสร้าง ATP

1. Substrate level phosphorylation

- ✓ เป็นการสร้าง ATP โดยการถ่ายโอนหมู่ฟอสเฟตจากโมเลกุลของสารตั้งต้น (substrate) มายังโมเลกุลของ ADP (adenosine diphosphate) โดยตรง มักเกิดปฏิกิริยานี้ควบคู่กันกับปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการตัดหมู่ฟอสเฟตออกจากสารตั้งต้น ซึ่งมักเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน (exergonic reaction)
- ✓ เช่น ปฏิกิริยาการเปลี่ยน Phosphoenol pyruvate ให้เป็น Pyruvate ที่เกิดคู่กับปฏิกิริยาการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ ADP เกิดเป็น ATP

Step 10 The transfer to ADP of the high-energy phosphate group that was generated in step 9 forms ATP, completing glycolysis.



การสร้าง ATP

2. Oxidative phosphorylation

✓ เป็นการสร้าง ATP โดยกระบวนการ oxidation กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพสูง สามารถสร้าง ATP เป็นจำนวนมาก และเป็นระบบหลักที่เซลล์เกือบทุกเซลล์ในร่างกายใช้ในการสร้าง ATP

Oxidative phosphorylation มีขั้นตอนหลักที่สำคัญ 3 ขั้นตอน

- 1). การสร้าง acetyl CoA
- 2). วัฏจักรกรดซิตริก
- 3). ห่วงโซ่การถ่ายทอดอิเล็กตรอน

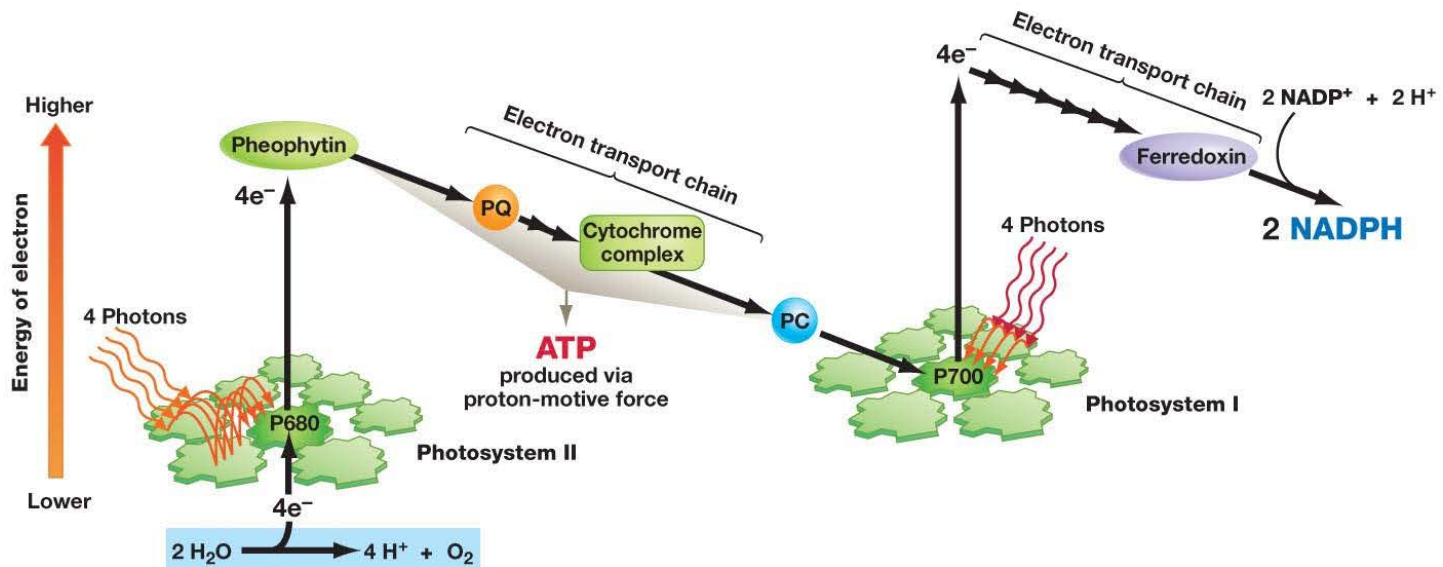


เซลล์เม็ดเลือดแดง ไม่มี mitochondria จึงไม่สามารถสร้าง ATP จากระบบ Oxidative phosphorylation

การสร้าง ATP

3. Photophosphorylation

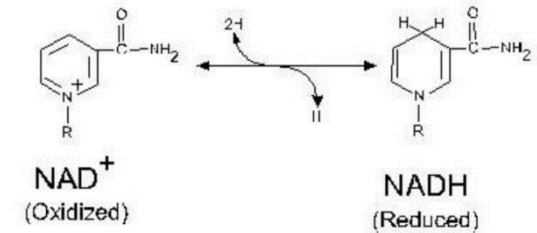
- ✓ เป็นการสร้าง ATP จาก ADP และหมู่ฟอสเฟต โดยอาศัยแรงขับเคลื่อนโปรตรอนที่เกิดโดยไทลาคอยด์ของคลอโรพลาสต์ ในปฏิกิริยาใช้แสงของการสังเคราะห์ด้วยแสง



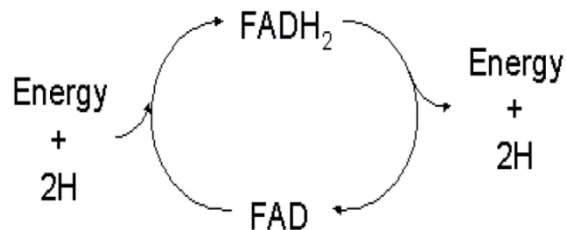
Electron carrier

- เป็นสารที่สามารถเก็บสะสมพลังงานจากสารอาหารในรูปของอิเล็กตรอน โดยจะสามารถปล่อยพลังงานที่สะสมไว้ออกมา เมื่อมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนอื่นๆ พลังงานเหล่านี้จะถูกนำไปใช้สังเคราะห์ ATP เพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไป

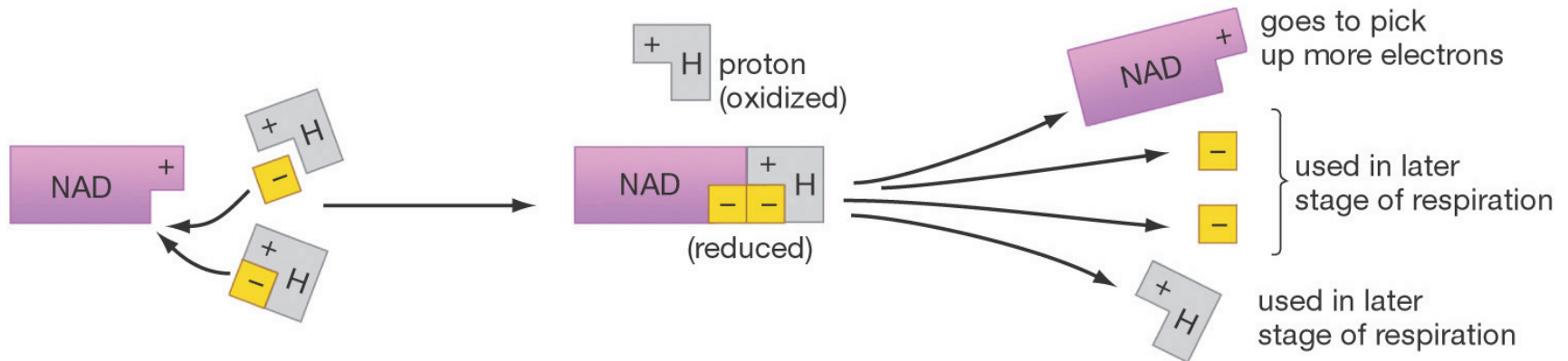
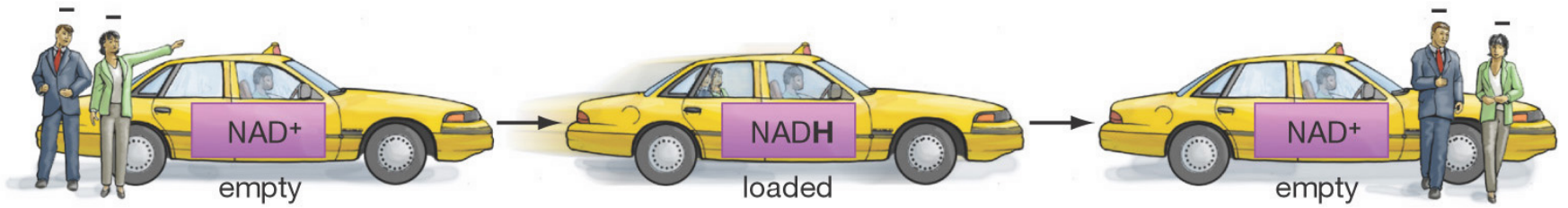
- **NAD⁺** (nicotinamide adenine dinucleotide)



- **FAD** (flavin adenine dinucleotide)



Electron carrier

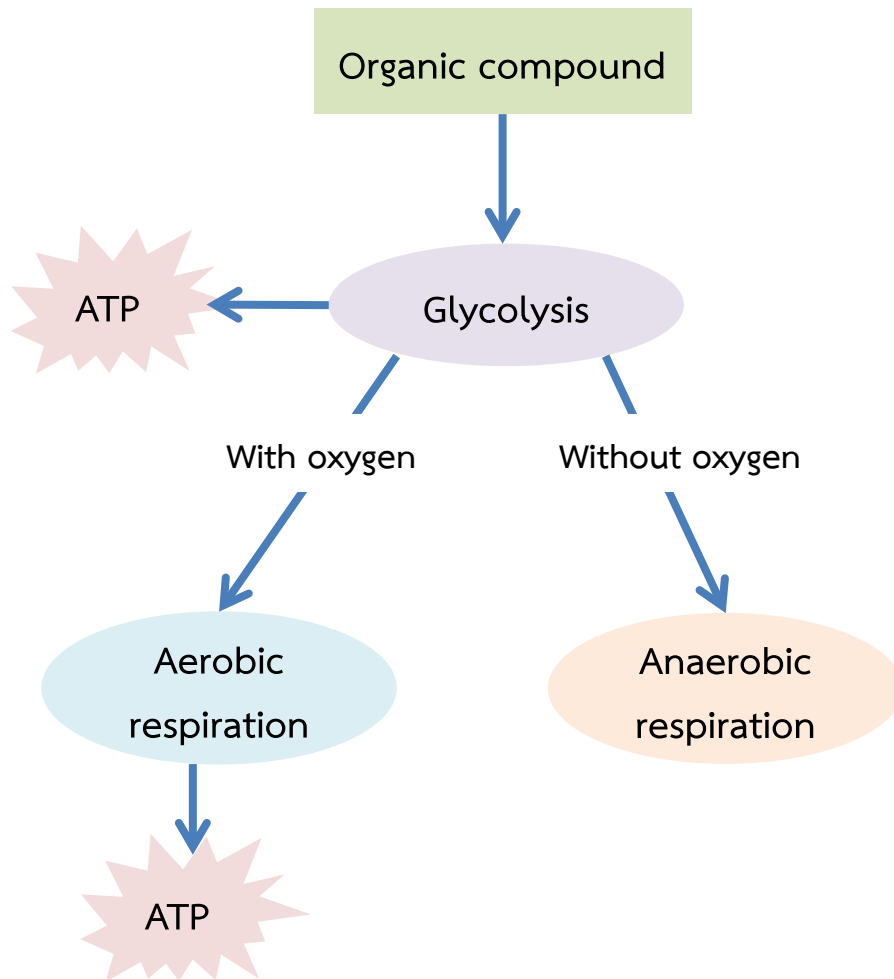


1. NAD^+ within a cell, along with two hydrogen atoms that are part of the food that is supplying energy for the body.

2. NAD^+ is reduced to NAD by accepting an electron from a hydrogen atom. It also picks up another hydrogen atom to become NADH.

3. NADH carries the electrons to a later stage of respiration then drops them off, becoming oxidized to its original form, NAD^+ .

การหายใจระดับเซลล์



✚ การหายใจระดับเซลล์ มี 2 แบบ

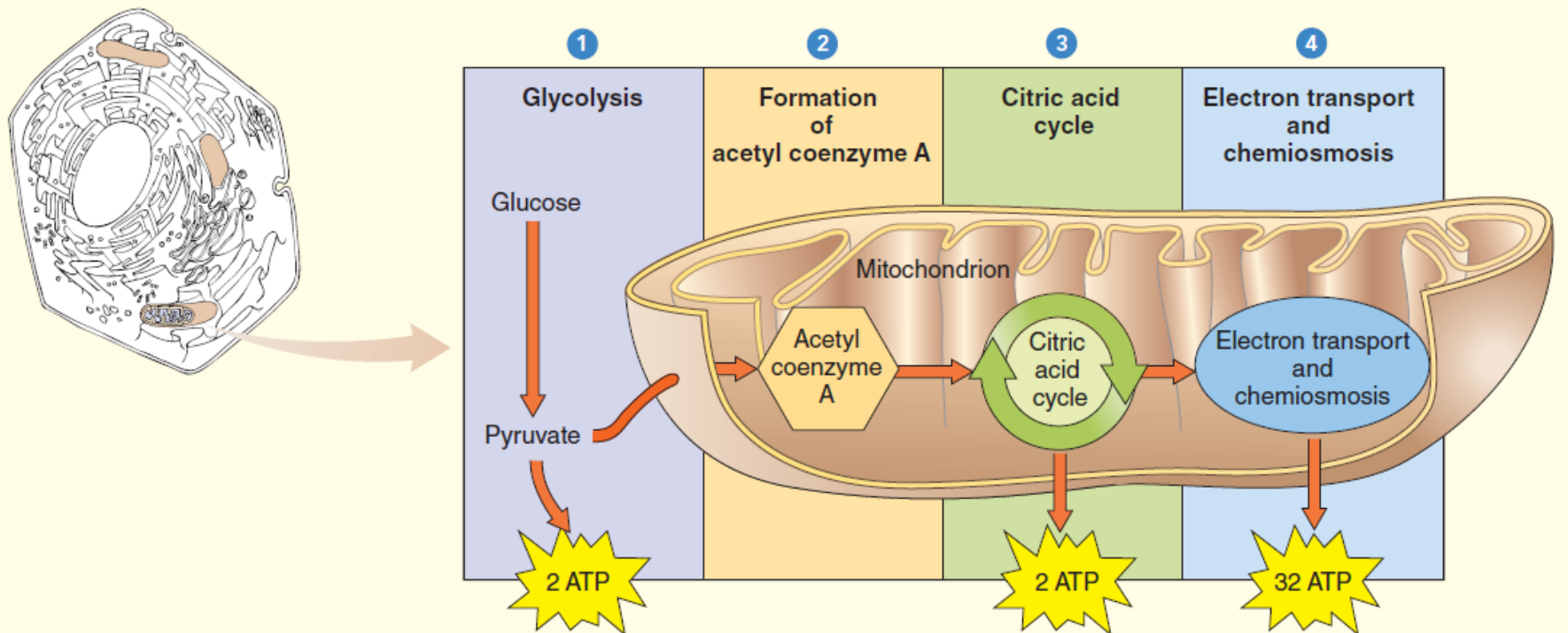
1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน
(Aerobic respiration)

2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน
(Anaerobic respiration,
Fermentation)

Aerobic respiration

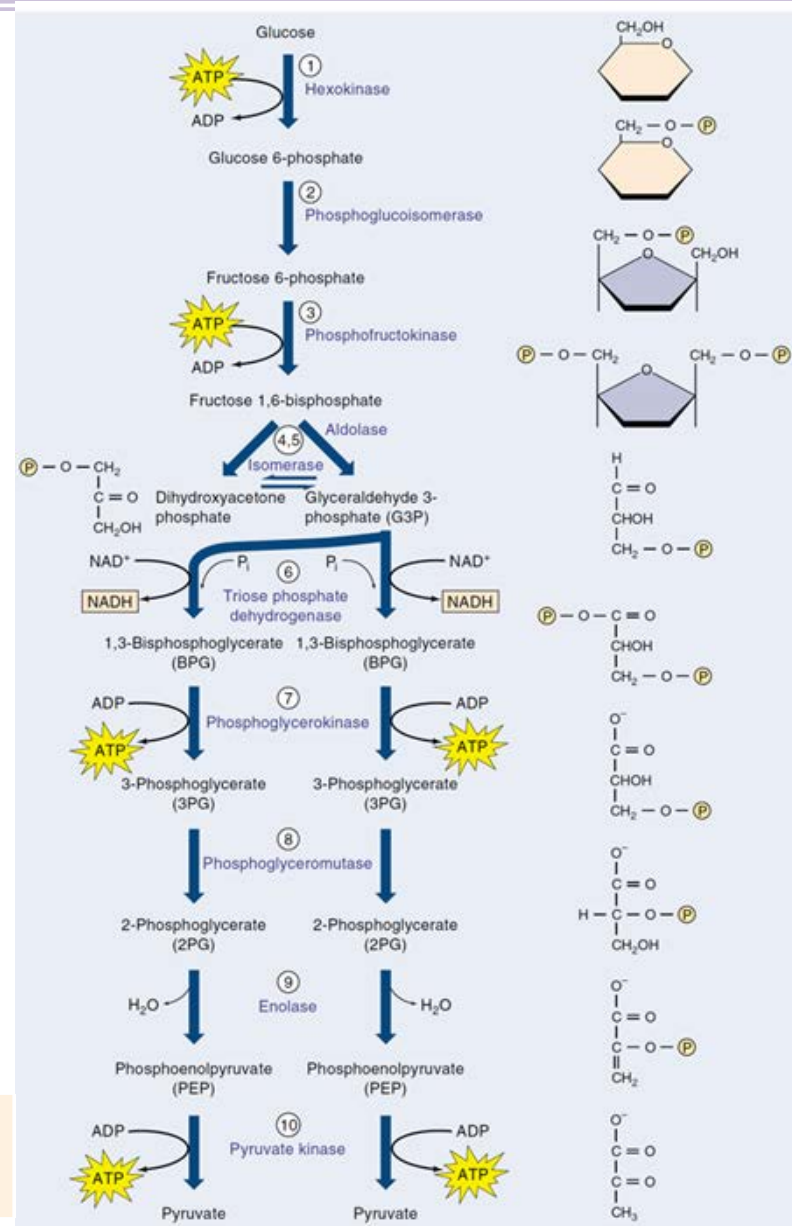
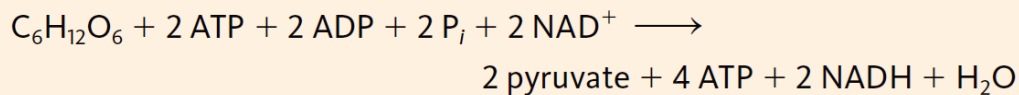
✚ Aerobic respiration ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

- 1 Glycolysis
- 2 Formation of acetyl CoA
- 3 Citric acid cycle
- 4 Electron transport and chemiosmosis

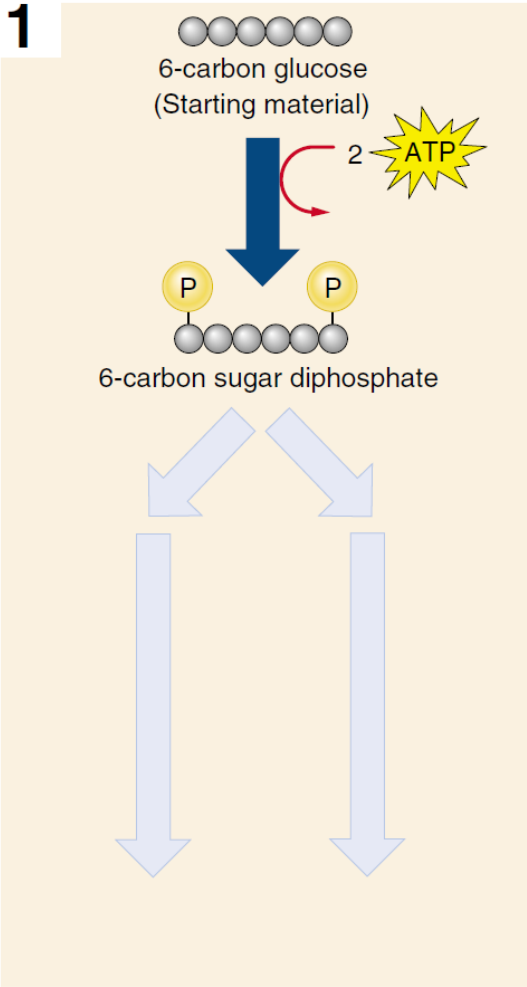


Glycolysis

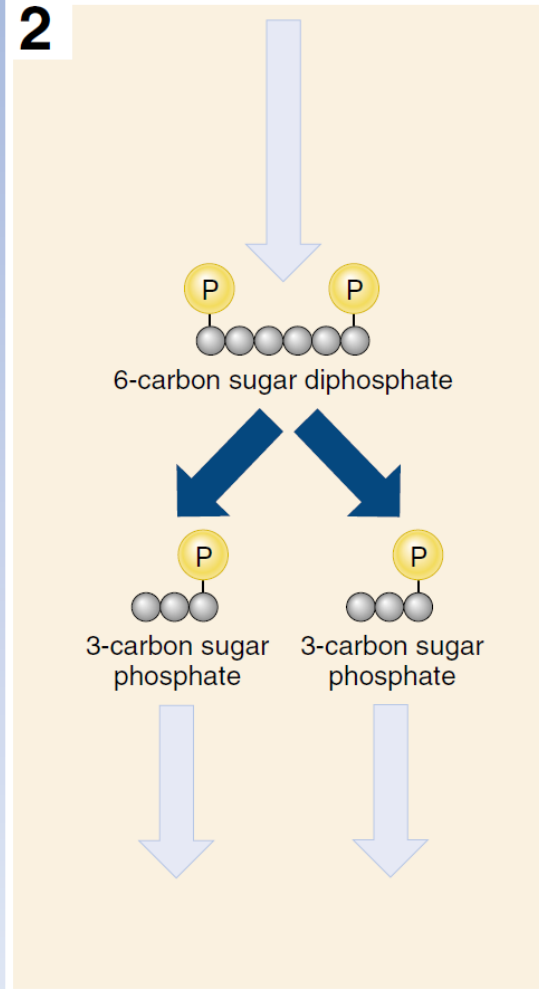
- เป็นกระบวนการสลายน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม ให้มาอยู่ในรูปสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม (pyruvate) จำนวน 2 โมเลกุล
- ในกระบวนการได้พลังงานในรูป ATP จำนวน สรุติ 2 โมเลกุล และมีการสร้าง NADH จำนวน 2 โมเลกุล
- Glycolysis ไม่จำเป็นต้องใช้ O_2 ในปฏิกิริยา ดังนั้นจึงเกิดได้ทั้งในสถานะที่มี O_2 หรือ ไม่มี O_2
- Glycolysis เกิดขึ้นที่ **cytosol**



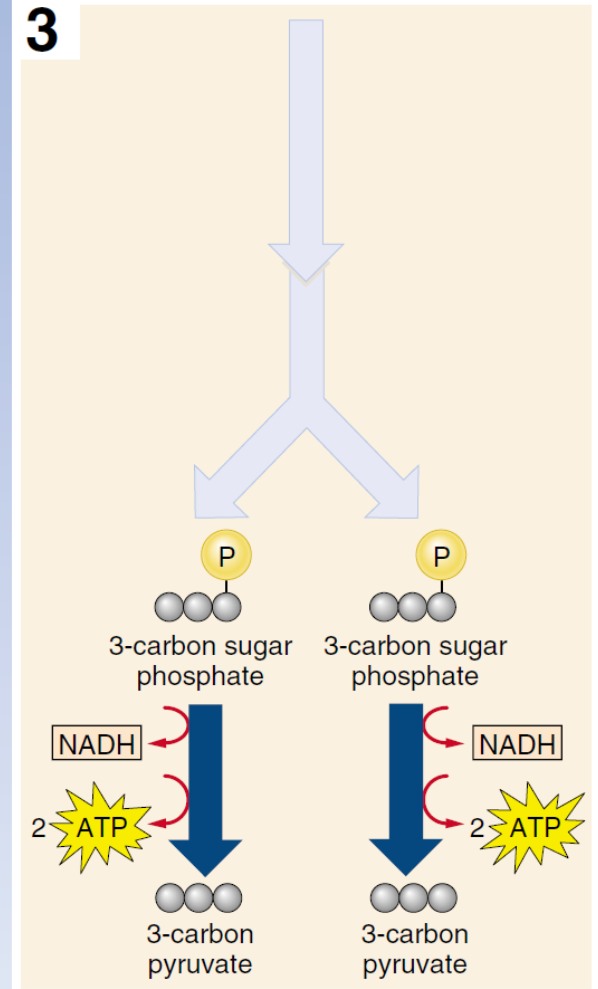
OVERVIEW OF GLYCOLYSIS



Priming reactions. Glycolysis begins with the addition of energy. Two high-energy phosphates from two molecules of ATP are added to the six-carbon molecule glucose, producing a six-carbon molecule with two phosphates.



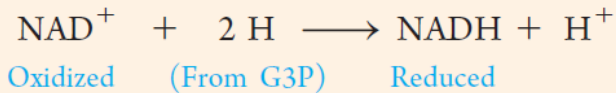
Cleavage reactions. Then, the six-carbon molecule with two phosphates is split in two, forming two three-carbon sugar phosphates.



Energy-harvesting reactions. Finally, in a series of reactions, each of the two three-carbon sugar phosphates is converted to pyruvate. In the process, an energy-rich hydrogen is harvested as NADH, and two ATP molecules are formed.

Glycolysis

Glycolysis ประกอบด้วย 10 ปฏิกิริยา



1. Phosphorylation of glucose by ATP.

2-3. Rearrangement, followed by a second ATP phosphorylation.

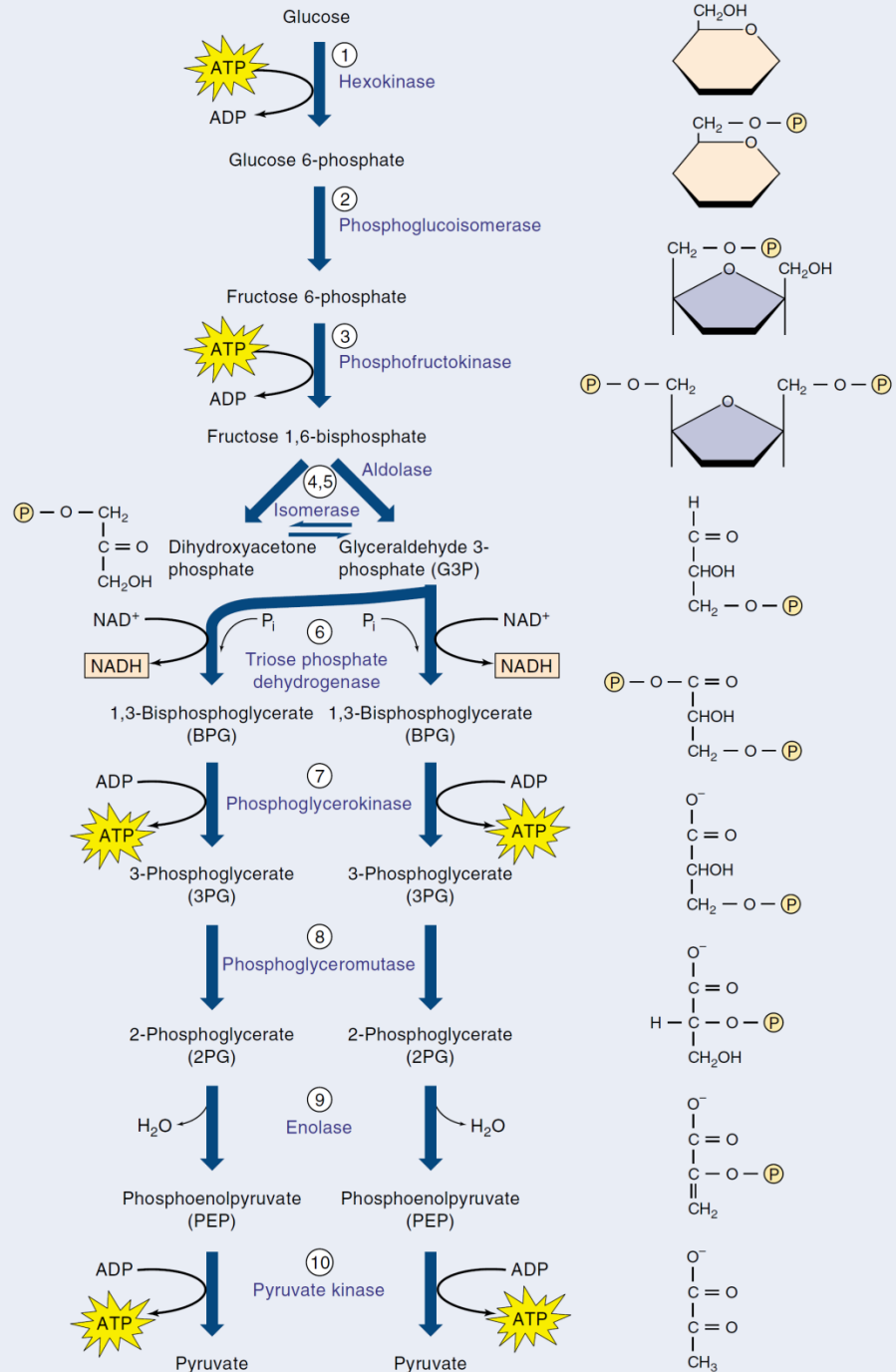
4-5. The six-carbon molecule is split into two three-carbon molecules—one G3P, another that is converted into G3P in another reaction.

6. Oxidation followed by phosphorylation produces two NADH molecules and two molecules of BPG, each with one high-energy phosphate bond.

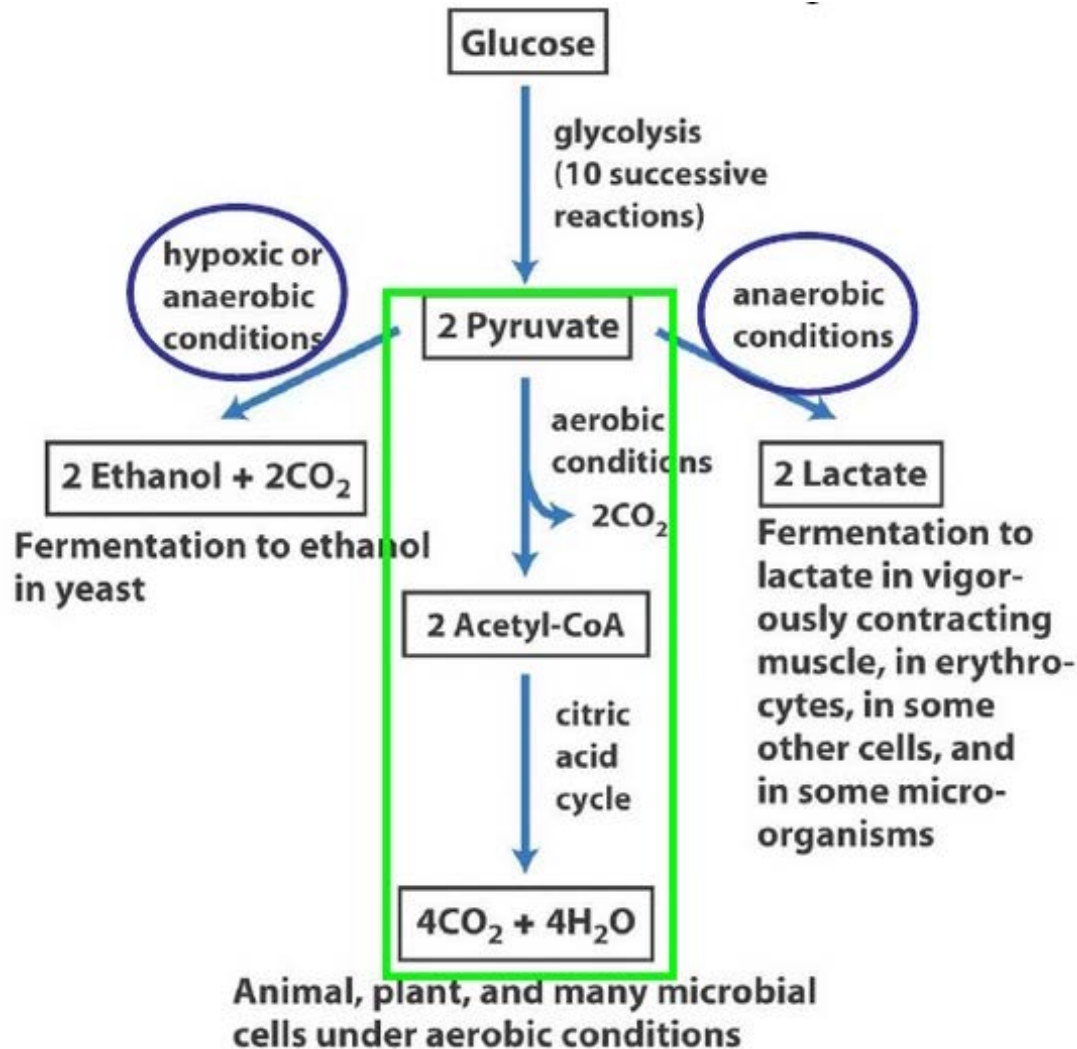
7. Removal of high-energy phosphate by two ADP molecules produces two ATP molecules and leaves two 3PG molecules.

8-9. Removal of water yields two PEP molecules, each with a high-energy phosphate bond.

10. Removal of high-energy phosphate by two ADP molecules produces two ATP molecules and two pyruvate molecules.



“Pyruvate” ผลิตภัณฑ์จาก Glycolysis



➤ Aerobic conditions

- conversion to acetyl CoA (pyruvate dehydrogenase) for use in TCA cycle and oxidative phosphorylation for ATP production

➤ Anaerobic conditions

- Lactate (animal muscles)
- Ethanol (plant, yeast, some bacteria)

Aerobic respiration

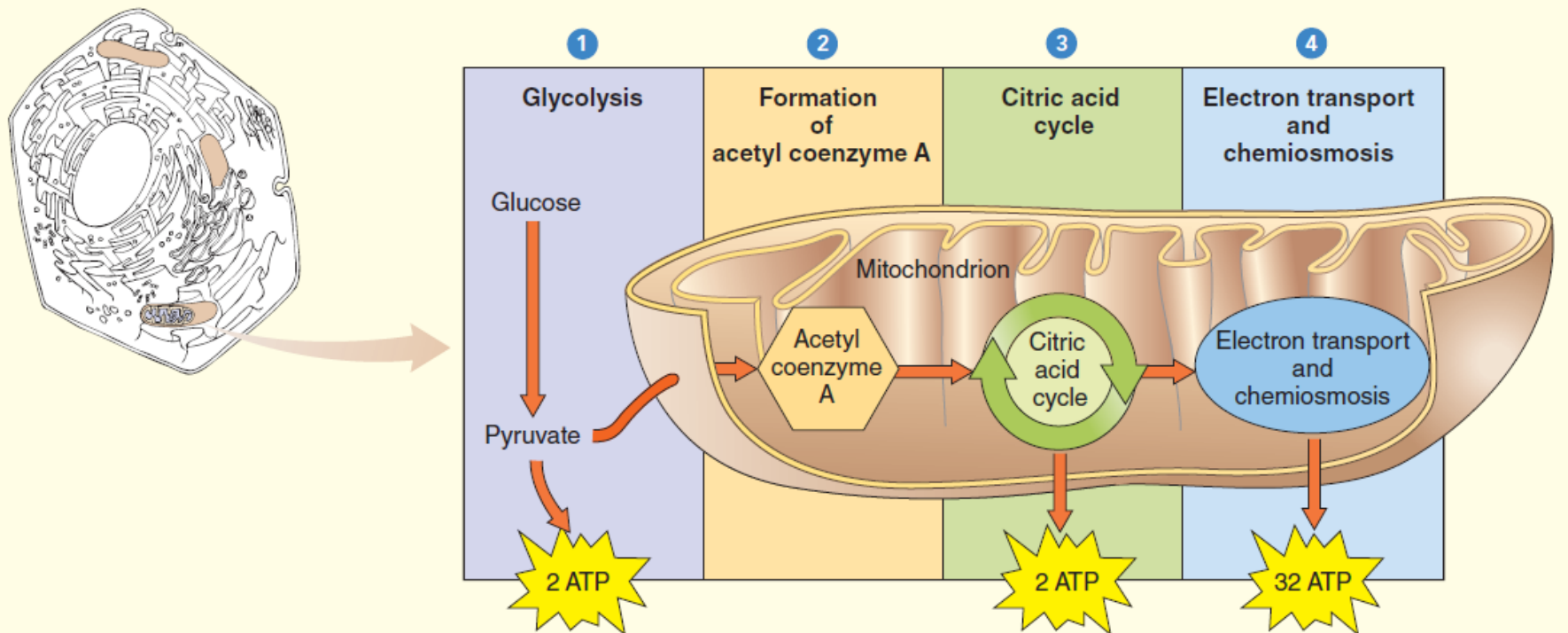
✚ Aerobic respiration ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

1 Glycolysis

2 Formation of acetyl CoA

3 Citric acid cycle

4 Electron transport and chemiosmosis



Formation of acetyl CoA

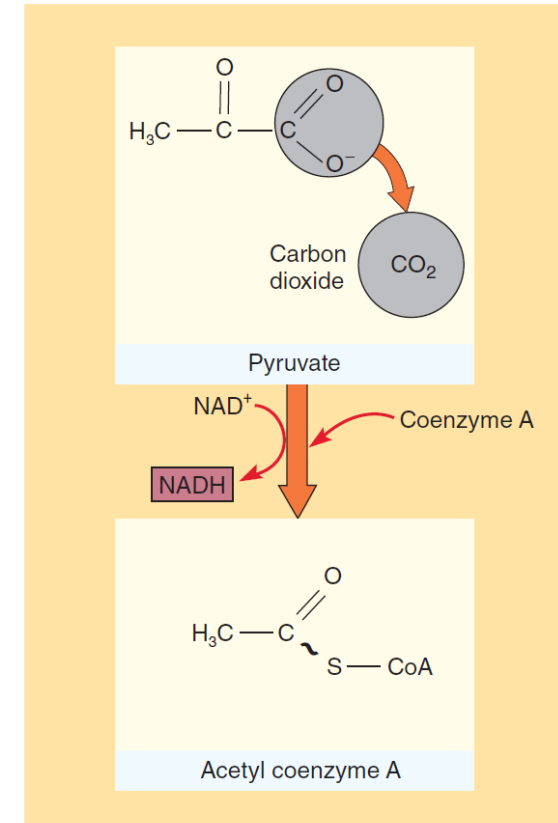
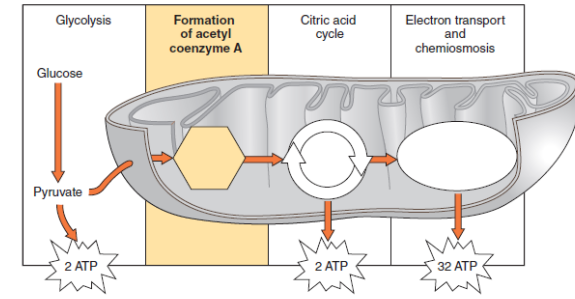
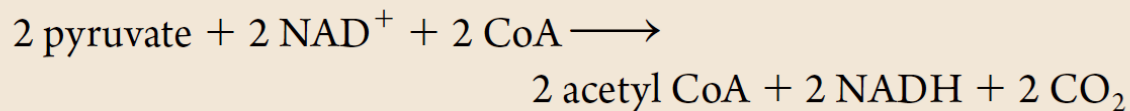
- การสร้าง acetyl coenzyme A

pyruvate (3C) ที่ได้จาก glycolysis ทำปฏิกิริยากับ coenzyme A โดยเอนไซม์ pyruvate dehydrogenase ทำให้ได้ Acetyl CoA (2C), H⁺ และ CO₂

- การสร้าง Acetyl CoA ไม่มีการสร้าง ATP

- ปฏิกิริยาเกิดที่ mitochondria

- สมการรวมของปฏิกิริยา

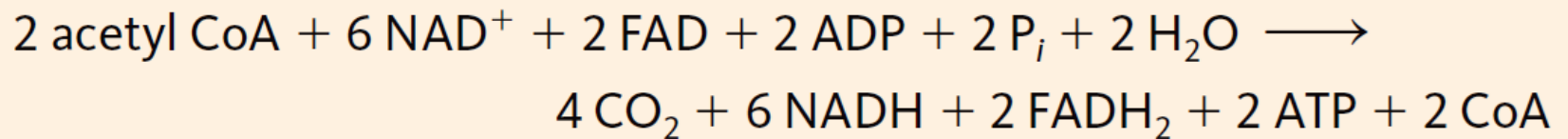


Citric acid cycle

- ◆ Citric acid cycle
- ◆ Krebs cycle
- ◆ Tricarboxylic acid cycle (TCA cycle)

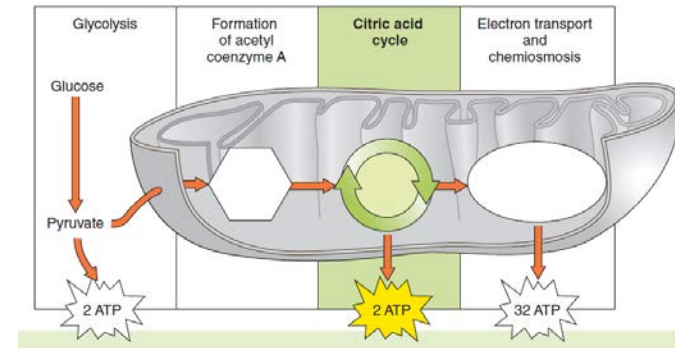
◆ ปฏิกิริยาเกิดที่ mitochondria

◆ สมการรวมของปฏิกิริยา

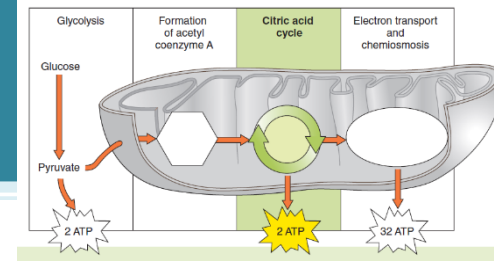


(ได้ H^+ 16 อะตอม โดย $12 \text{ H}^+ + \text{NAD}^+ \longrightarrow 6 \text{ NADH} + \text{H}^+$ (6 โหมดอกูล))

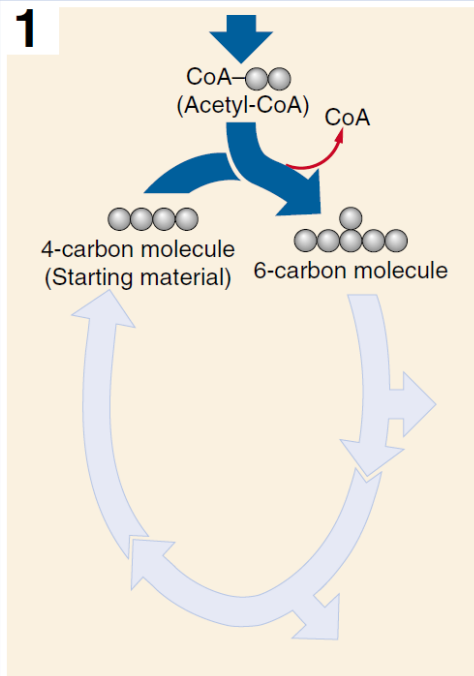
$4 \text{ H}^+ + \text{FAD}^+ \longrightarrow 2 \text{ FADH}_2$ (2 โหมดอกูล))



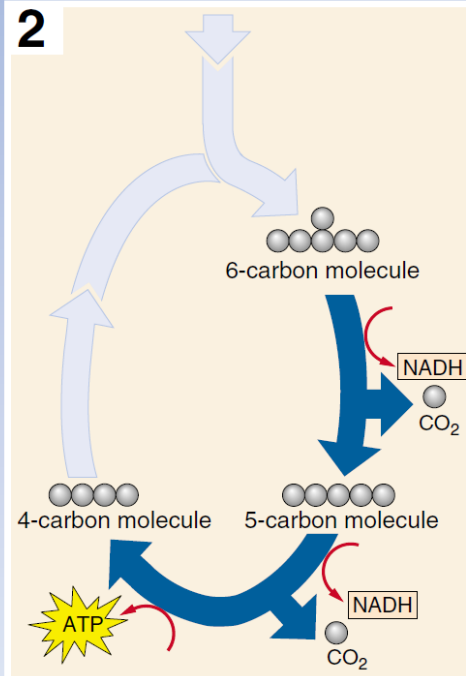
Citric acid cycle



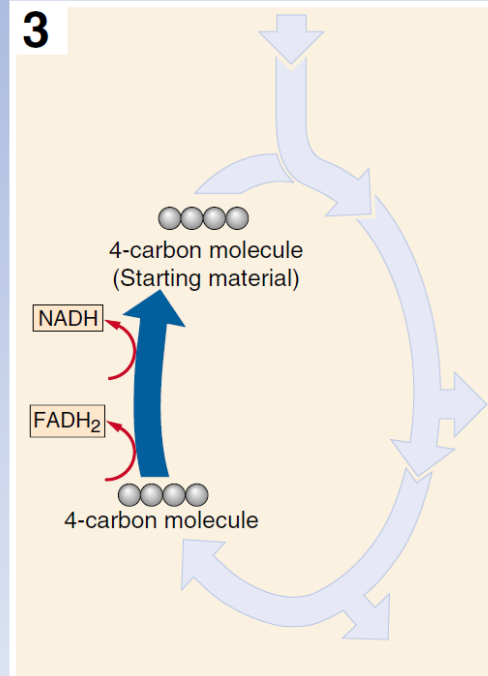
OVERVIEW OF THE KREBS CYCLE



The Krebs cycle begins when a two-carbon fragment is transferred from acetyl-CoA to a four-carbon molecule (the starting material).

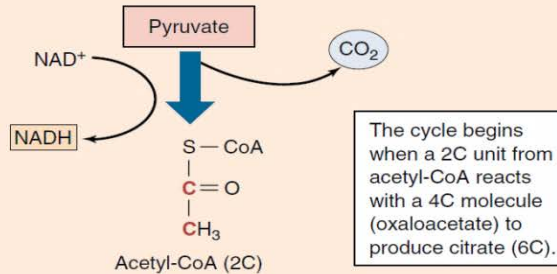


Then, the resulting six-carbon molecule is oxidized (a hydrogen removed to form NADH) and decarboxylated (a carbon removed to form CO₂). Next, the five-carbon molecule is oxidized and decarboxylated again, and a coupled reaction generates ATP.



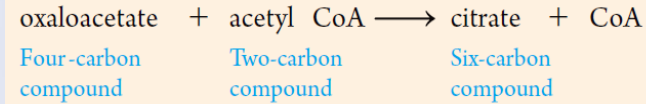
Finally, the resulting four-carbon molecule is further oxidized (hydrogens removed to form FADH₂ and NADH). This regenerates the four-carbon starting material, completing the cycle.

Oxidation of pyruvate

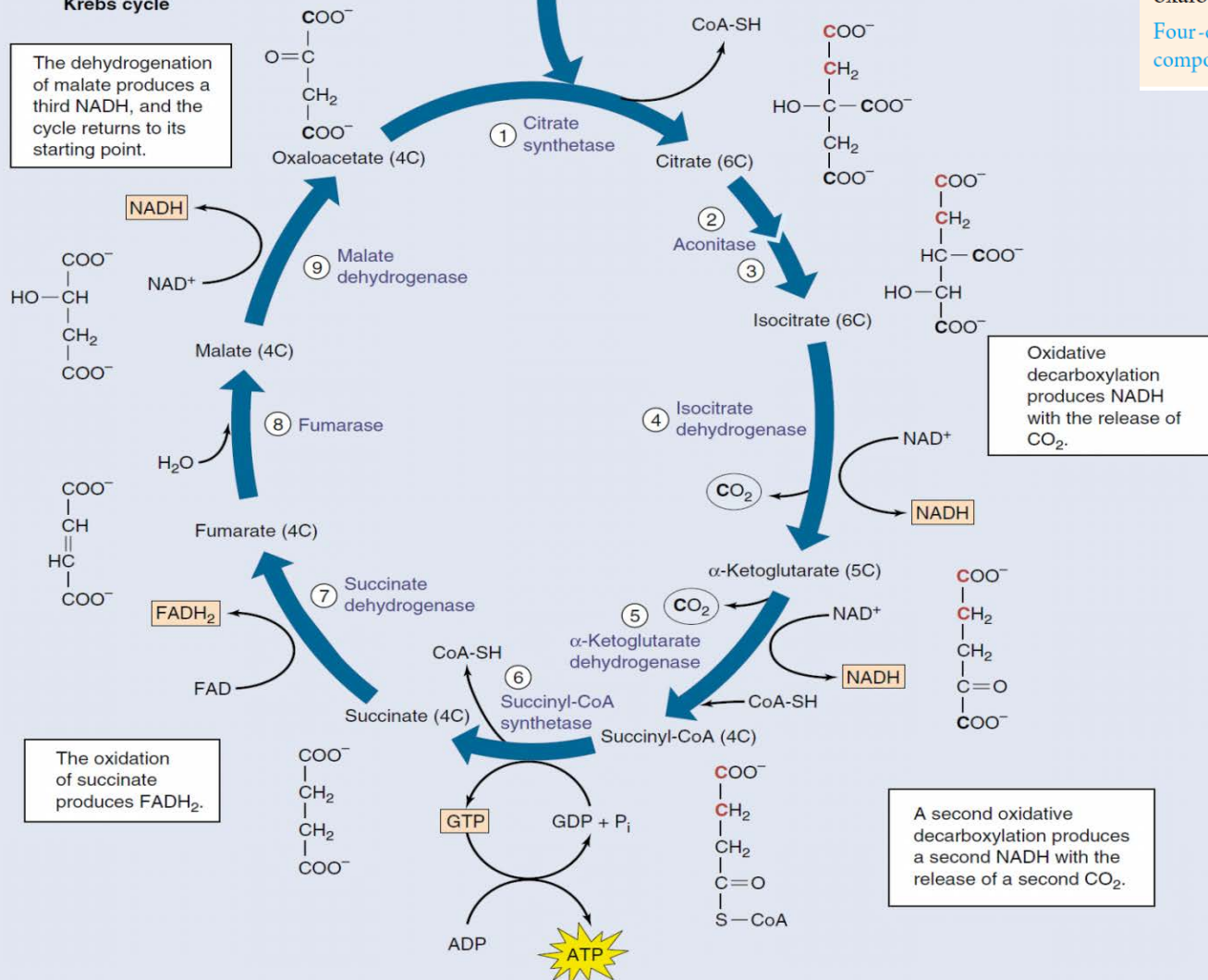


Citric acid cycle

* ปฏิกิริยาเริ่มต้น



Krebs cycle

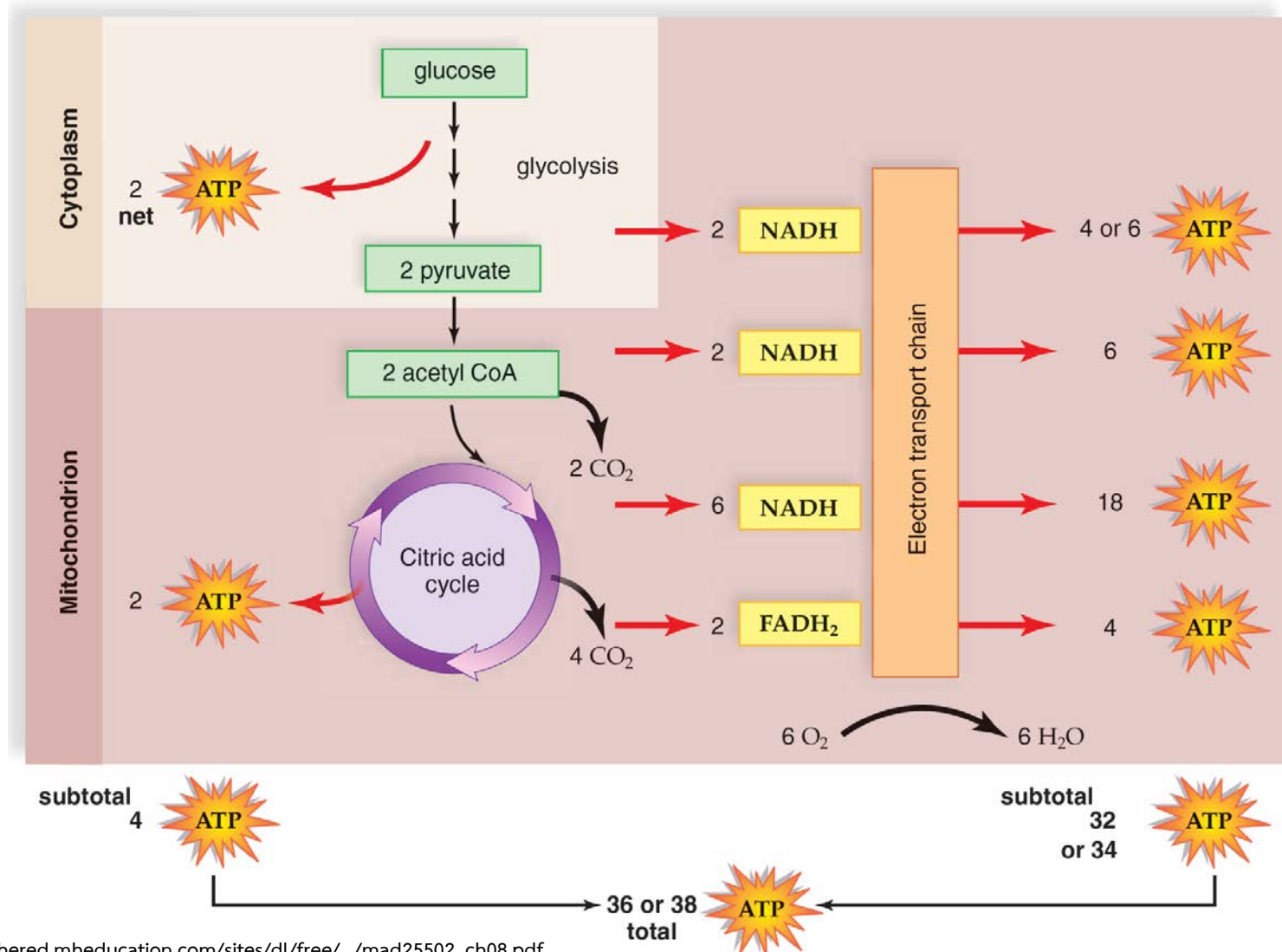


Mitochondrial membrane

- acetyl CoA (2C) รวมกับ oxaloacetate (4C) ได้เป็น citric acid (6) และปล่อย CoA เป็นอิสระ
- citric acid มีการเปลี่ยนแปลงไปหลายขั้นตอน โดยมีการลดจำนวนคาร์บอน จาก 6C -> 5C --> 4C ตามลำดับ ได้ oxaloacetate (4C) กลับคืนมาเป็นวัฏจักร
- ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงจะได้ H⁺ และ ATP

Aerobic respiration

พลังงานที่ได้จากการสลายน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล



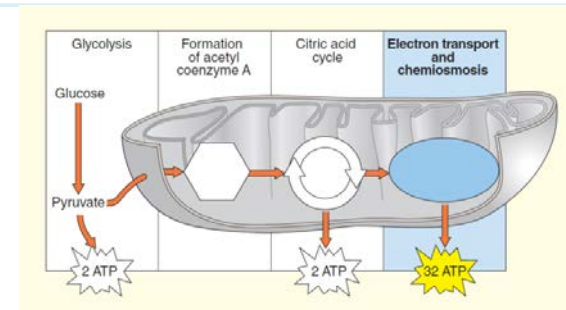
Electron transport and chemiosmosis

✚ การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport chain)

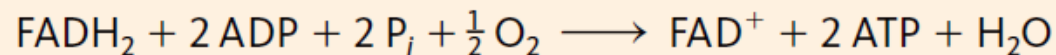
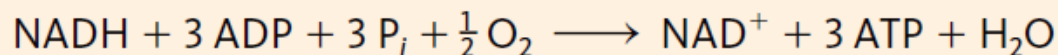
- ETC ประกอบด้วย electron carrier molecules (ตัวรับ e^-)

ที่อยู่ใน inner mitochondrial membrane

- ตัวรับ e^- จะรับเฉพาะ e^-
- H^+ จะถูกปล่อยออกมาและถูกส่งออกไปที่ intermembrane space



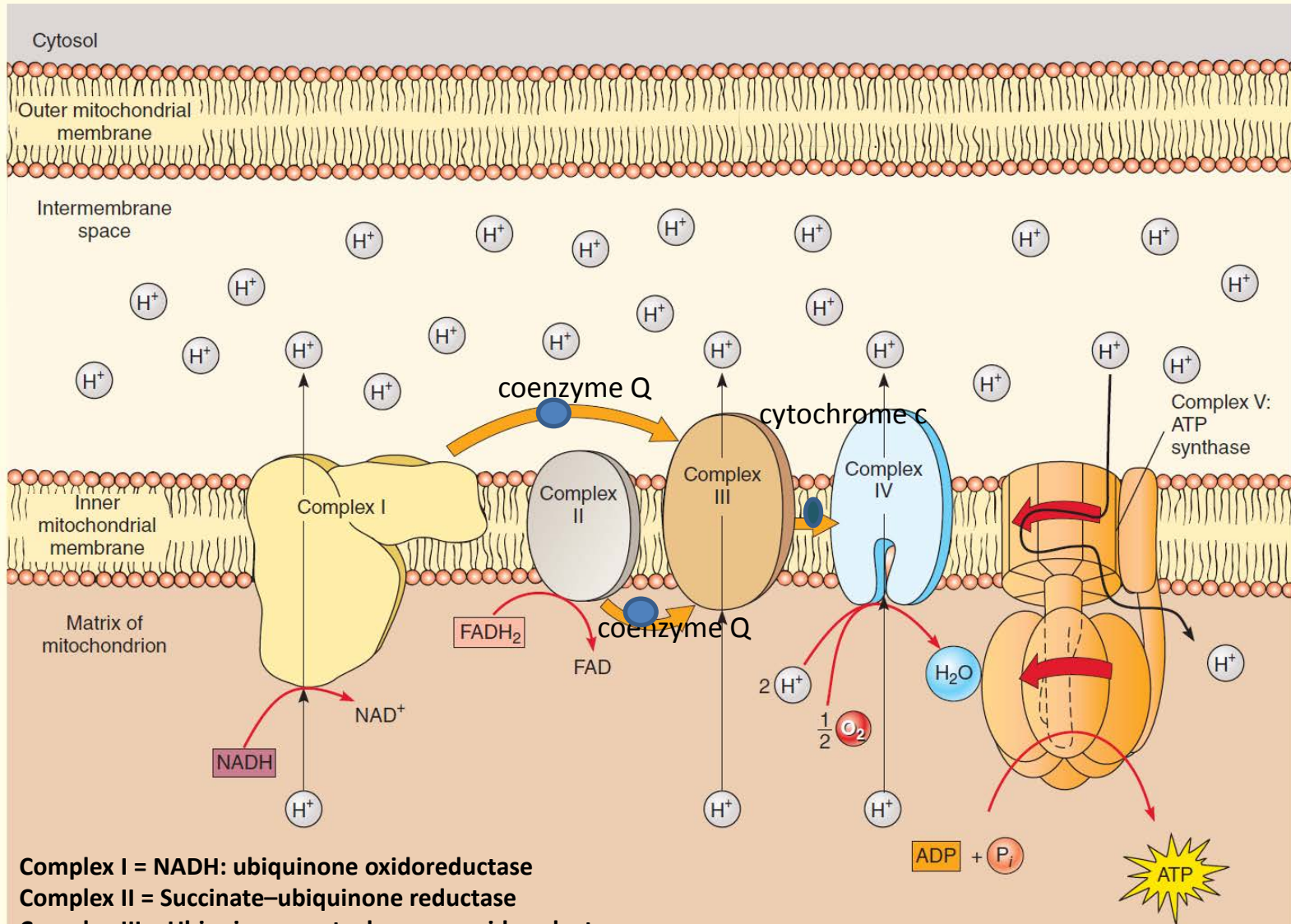
✚ ตัวรับ-ส่งอิเล็กตรอนที่สำคัญ ได้แก่ _____



✚ ปฏิกิริยาเกิดที่ mitochondria

✚ ตัวรับส่งอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย คือ O_2 โดยจะรวมตัวกับ H^+ ได้ H_2O

Electron transport and chemiosmosis



- Complex I = NADH: ubiquinone oxidoreductase
- Complex II = Succinate-ubiquinone reductase
- Complex III = Ubiquinone-cytochrome c oxidoreductase
- Complex IV = Cytochrome c oxidase

Electron transport and chemiosmosis

Complex I = NADH: ubiquinone oxidoreductase

Complex II = Succinate–ubiquinone reductase

Complex III = Ubiquinone–cytochrome c oxidoreductase

Complex IV = Cytochrome c oxidase

coenzyme Q = เป็นสารโมเลกุลเล็กที่มีสูตรโครงสร้างที่ทำให้ละลายในไขมันได้ดี ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน จาก NADH ผ่านทาง complex I และรับอิเล็กตรอนจาก FADH_2 ผ่านทาง complex II เพื่อส่งให้ complex III ต่อ

cytochrome c เป็นโปรตีนที่มีฮีม (heme) เป็นองค์ประกอบ เปรียบได้เหมือนกับฮีโมโกลบินที่เป็นโปรตีนในเม็ดเลือดแดง แต่ไซโตโครมนี้จะทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน ไม่ใช่รับ O_2 เหมือนฮีโมโกลบิน โดยที่ไซโตโครม c จะรับอิเล็กตรอนจาก complex III เพื่อส่งให้ complex IV

Complex V = ATP synthase เป็น protein complex ทำหน้าที่สังเคราะห์ ATP ซึ่งจะทำงานได้โดยการไหลผ่านของ H^+ การสร้าง ATP แบบนี้ เรียกว่า chemiosmosis

Aerobic respiration

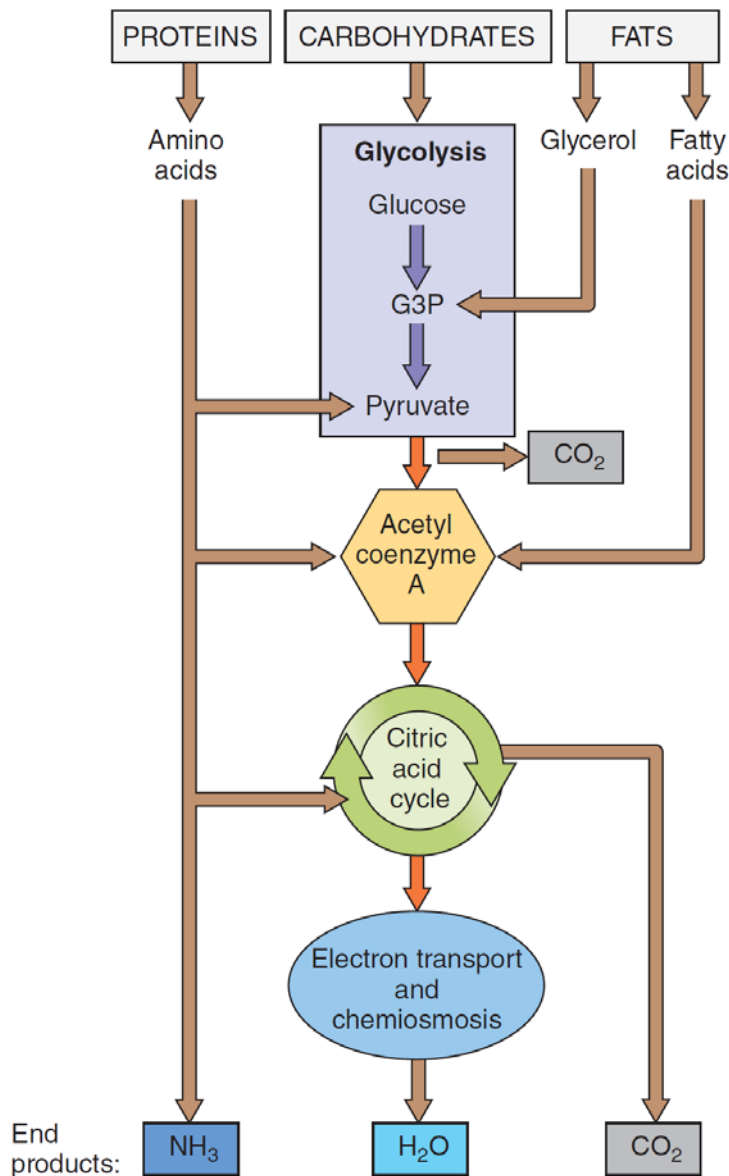
- ✚ การถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะเกิดในไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) เท่านั้น ดังนั้น NADH ที่เกิดจาก ไกลโคไลซิส ที่ไซโทพลาซึมของเซลล์ จึงต้องถูกนำเข้าสู่ไมโทคอนเดรียเพื่อถ่ายทอดอิเล็กตรอน
 - ในเนื้อเยื่อหัวใจ ตับ และไต --- NADH จะส่งโปรตอนและอิเล็กตรอนไปยัง NAD^+ ที่อยู่ในไมโทคอนเดรียด้วยกระบวนการที่ซับซ้อน -- NADH ที่เกิดขึ้นในไมโทคอนเดรีย จะถูกเปลี่ยนให้เป็น ATP โดยการถ่ายทอดอิเล็กตรอนผลลัพธ์ของการถ่ายเทอิเล็กตรอนจึงเท่ากับ 3 ATP ตามเดิม
 - ส่วนในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อลายสมอง และกล้ามเนื้อที่ใช้ในการบินของแมลง -- NADH จะส่งโปรตอนและอิเล็กตรอนไปยัง FAD^+ จึงได้พลังงานเพียง 2 ATP
- ✚ ผลรวมของการย่อยสลายกลูโคสในเนื้อเยื่อ หัวใจ ตับ และไต มีค่าเท่ากับ
$$6 \text{ ATP} - 2 \text{ ATP} + 3(10\text{ATP}) + 2(2\text{ATP}) = 38 \text{ ATP}$$
- ✚ ผลรวมของการย่อยสลายกลูโคส ในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อลาย สมอง และกล้ามเนื้อที่ใช้ในการบินของแมลงมีค่าเท่ากับ
$$6 \text{ ATP} - 2 \text{ ATP} + 2(2\text{ATP}) + 3(8\text{ATP}) + 2(2\text{ATP}) = 36 \text{ ATP}$$

พลังงานจากแหล่งอาหารอื่นๆ

❖ โปรตีน

เริ่มต้นโปรตีนถูกไฮโดรไลสเป็นกรดอะมิโน (amino acid) ในการย่อยสลายกรดอะมิโนเพื่อเข้าสู่กระบวนการย่อย การหายใจระดับเซลล์ จะต้อง ขจัดหมู่อะมิโน (NH_2) จาก โมเลกุลกรดอะมิโนออก เสียก่อน การกำจัด NH_2 มีวิธีการขจัด 2 วิธี คือ

1. Deamination
2. Transamination



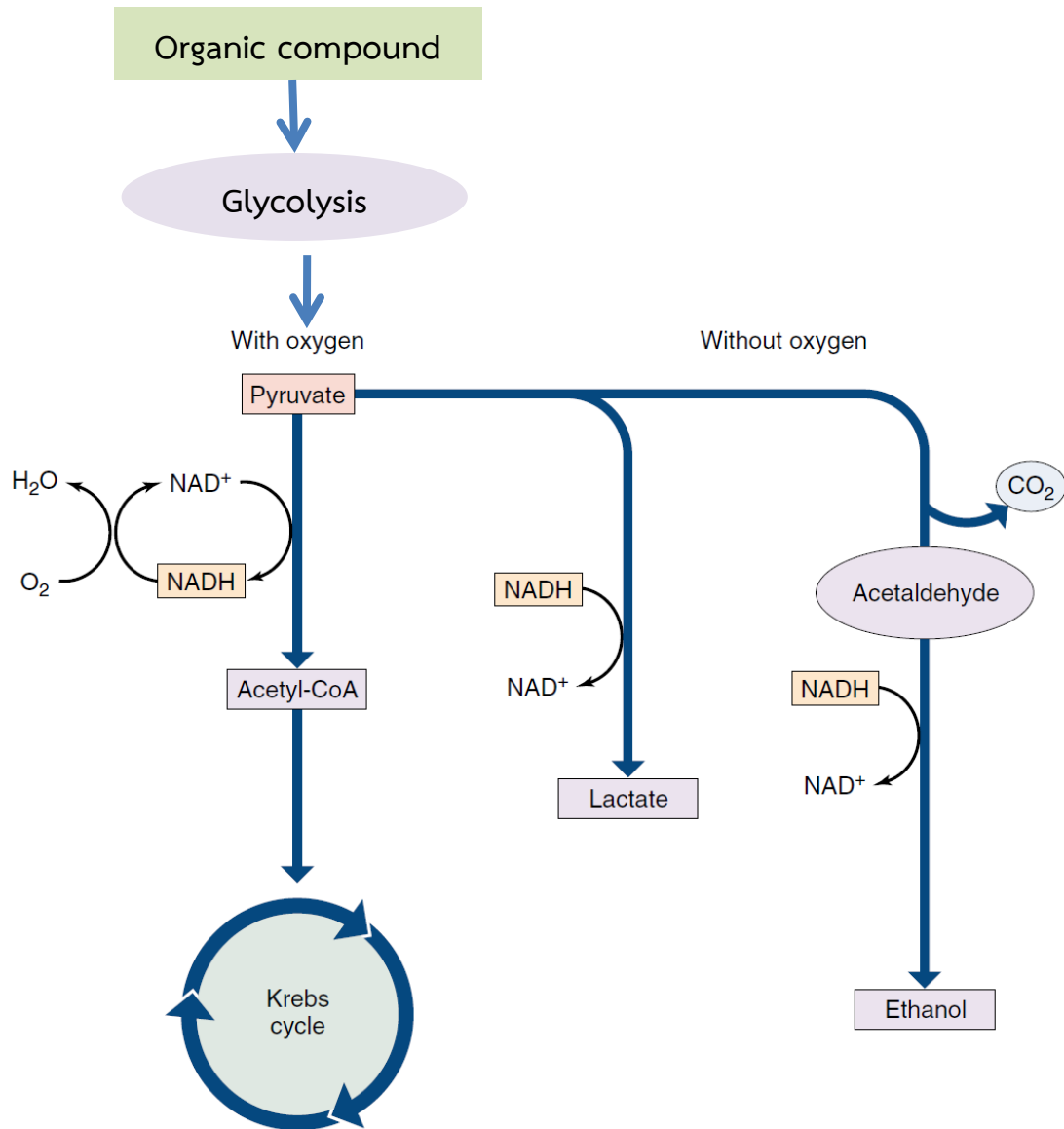
❖ ไขมัน

เริ่มต้นไขมันจะถูกไฮโดรไลสด้วย เอนไซม์ไลเปสได้ กลีเซอรอล (Glycerol) และ กรดไขมัน (Fatty acid)

- กลีเซอรอล จะถูกเปลี่ยนไปเป็น PGAL เข้าสู่ Glycolysis และ Krebs cycle ต่อไป

- กรดไขมัน จะถูกย่อยสลายโดย กระบวนการ β - oxidation ทำให้โมเลกุลกรดไขมันเล็กลง จากนั้นจะเข้าร่วมตัวกับ CoA เพื่อเปลี่ยนแปลงเป็น Acetyl CoA (2C) เข้าสู่ Krebs cycle ต่อไป

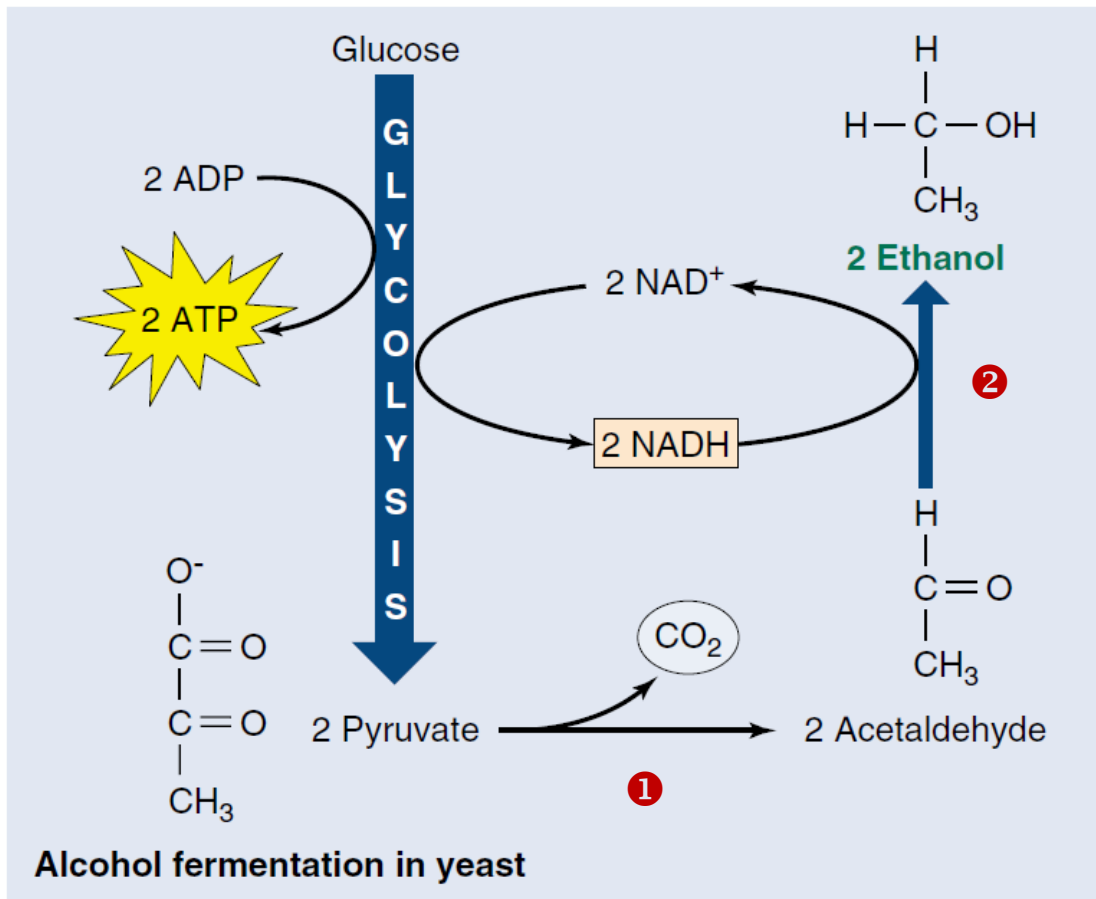
Anaerobic respiration



✚ การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน
(Anaerobic respiration, Fermentation)

- Lactate (animal muscles)
- Ethanol (plant, yeast, some bacteria)

Anaerobic respiration



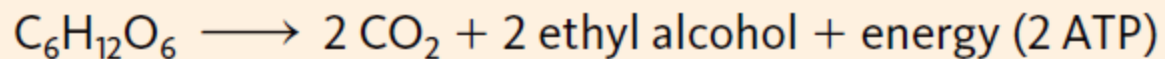
✚ Alcohol fermentation

① = Pyruvate decarboxylase

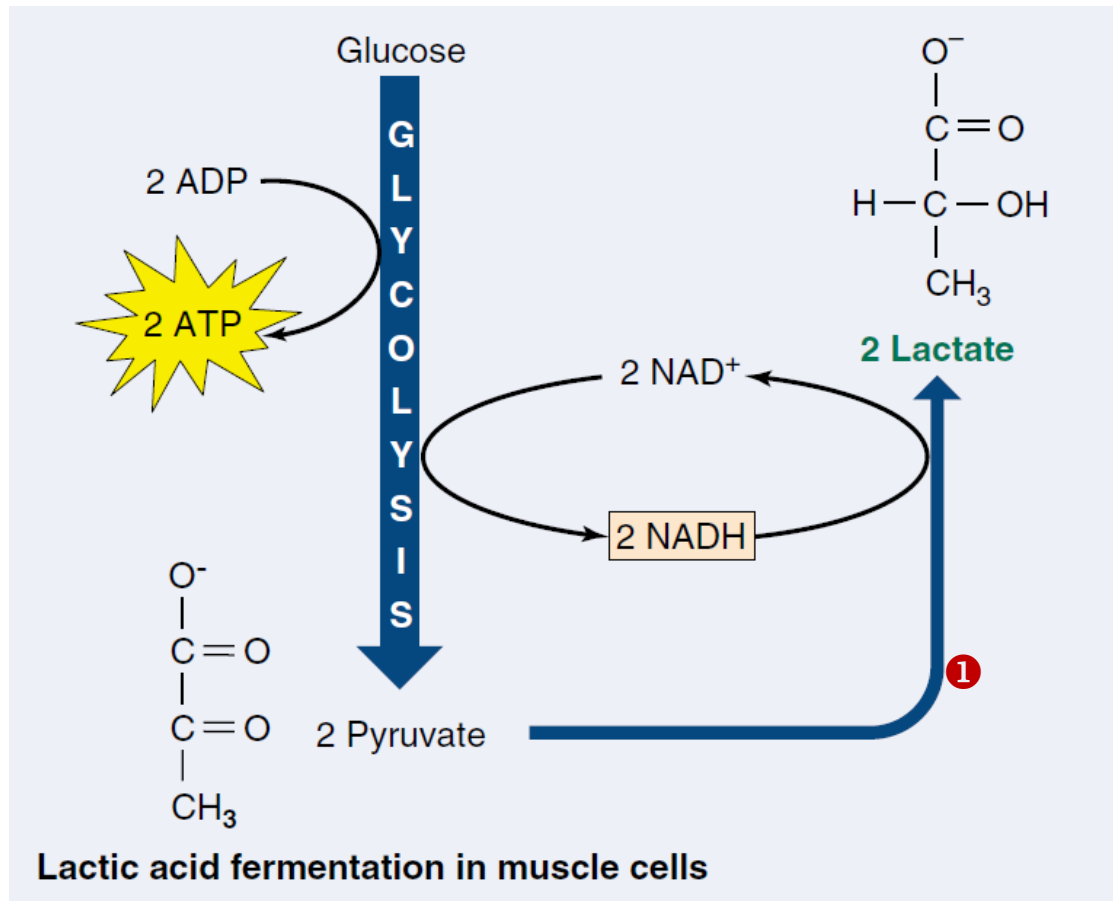
② = Alcohol dehydrogenase

ที่มา: http://www.mhhe.com/biosci/genbio/raven_6b/graphics/raven06b/other/reven06b.09.pdf

Summary reaction for alcohol fermentation:



Anaerobic respiration

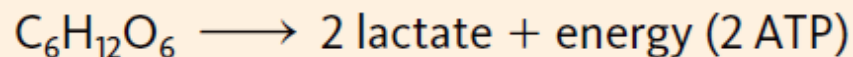


✚ Lactic acid fermentation

① = lactate dehydrogenase

ที่มา: http://www.mhhe.com/biosci/genbio/raven_6b/graphics/raven06b/other/reven06b.09.pdf

Summary reaction for lactate fermentation:



เอกสารอ้างอิง

Solomon, E.P., L.R. Berg and D.W. Martin. 2011. Biology, Ninth Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning, USA.

Purves, W.K., G.H. Orians, and H.C. Heller. 1995. Life: The Science of Biology, 4th Edition. Sinauer Associates, Sunderland.

[http:// highered.mheducation.com/sites/dl/free/.../mad25502_ch08.pdf](http://highered.mheducation.com/sites/dl/free/.../mad25502_ch08.pdf)

[http:// www.mhhe.com/biosci/genbio/raven_6b/graphics/raven06b/other/reven06b.09.pdf](http://www.mhhe.com/biosci/genbio/raven_6b/graphics/raven06b/other/reven06b.09.pdf)