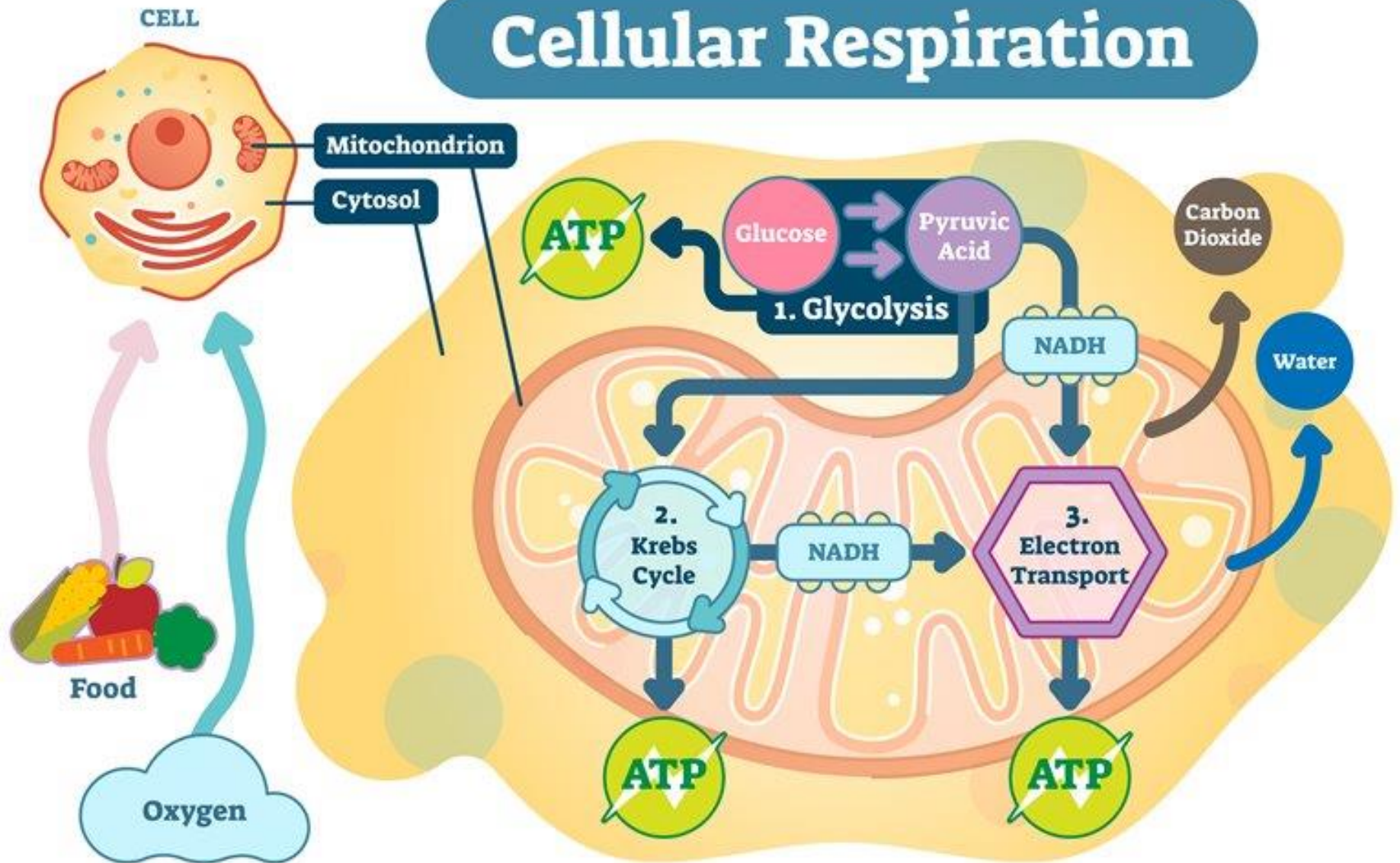
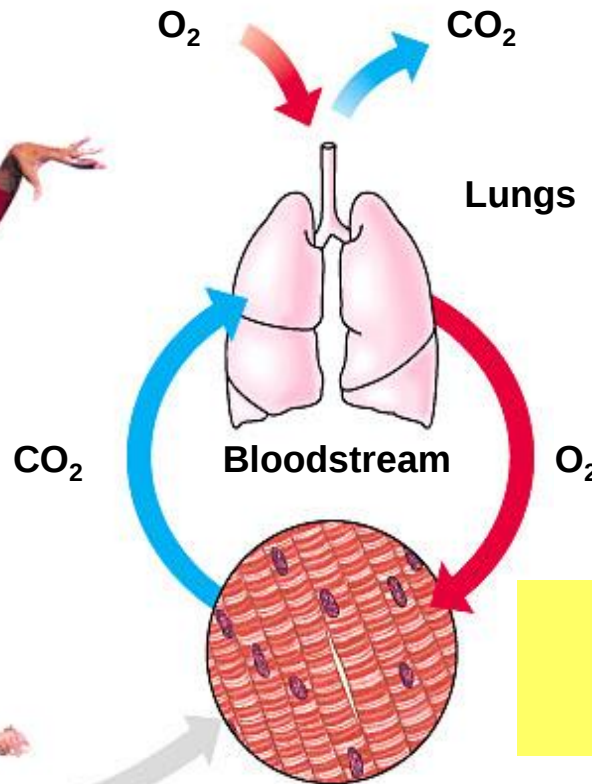
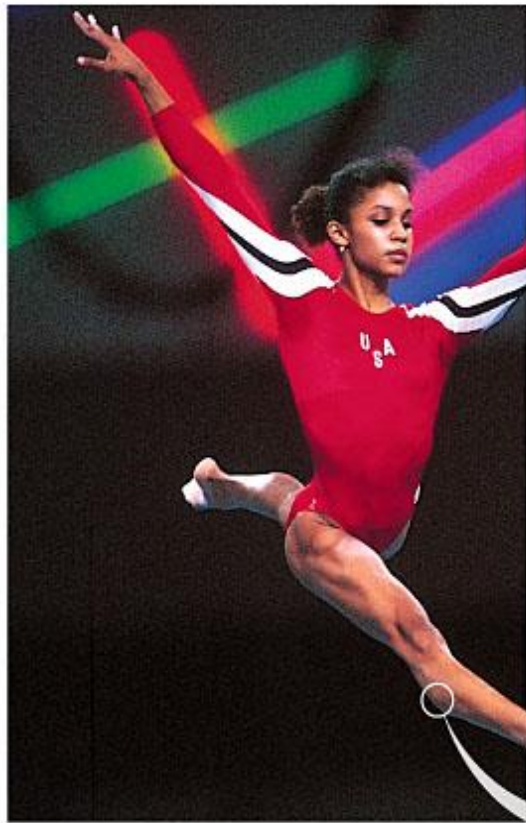


Cellular Respiration



การหายใจระดับเซลล์



BREATHING

**Muscle cells
carrying out**

**CELLULAR
RESPIRATION**



ความหมายของการหายใจระดับเซลล์ (Cellular respiration)

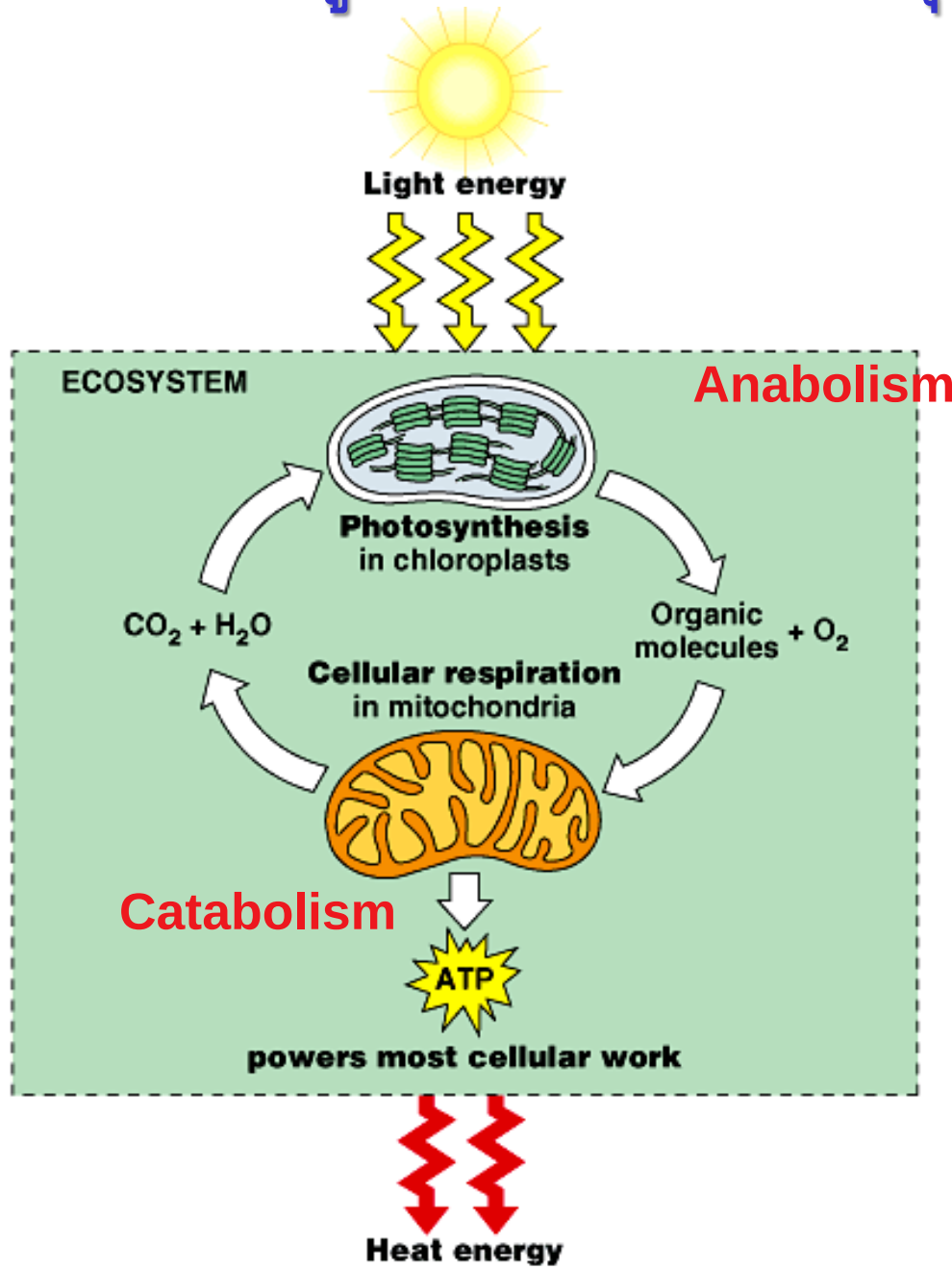
หมายถึง กระบวนการสร้างพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์

สารประกอบพลังงานสูง เรียกว่า “**ATP** (Adenosine **tr**iphosphate)”

การสลายสารอาหาร เช่น carbohydrate , protein และ lipid



การเปลี่ยนรูปพลังงานและการหมุนเวียนสารเคมีในระบบนิเวศ



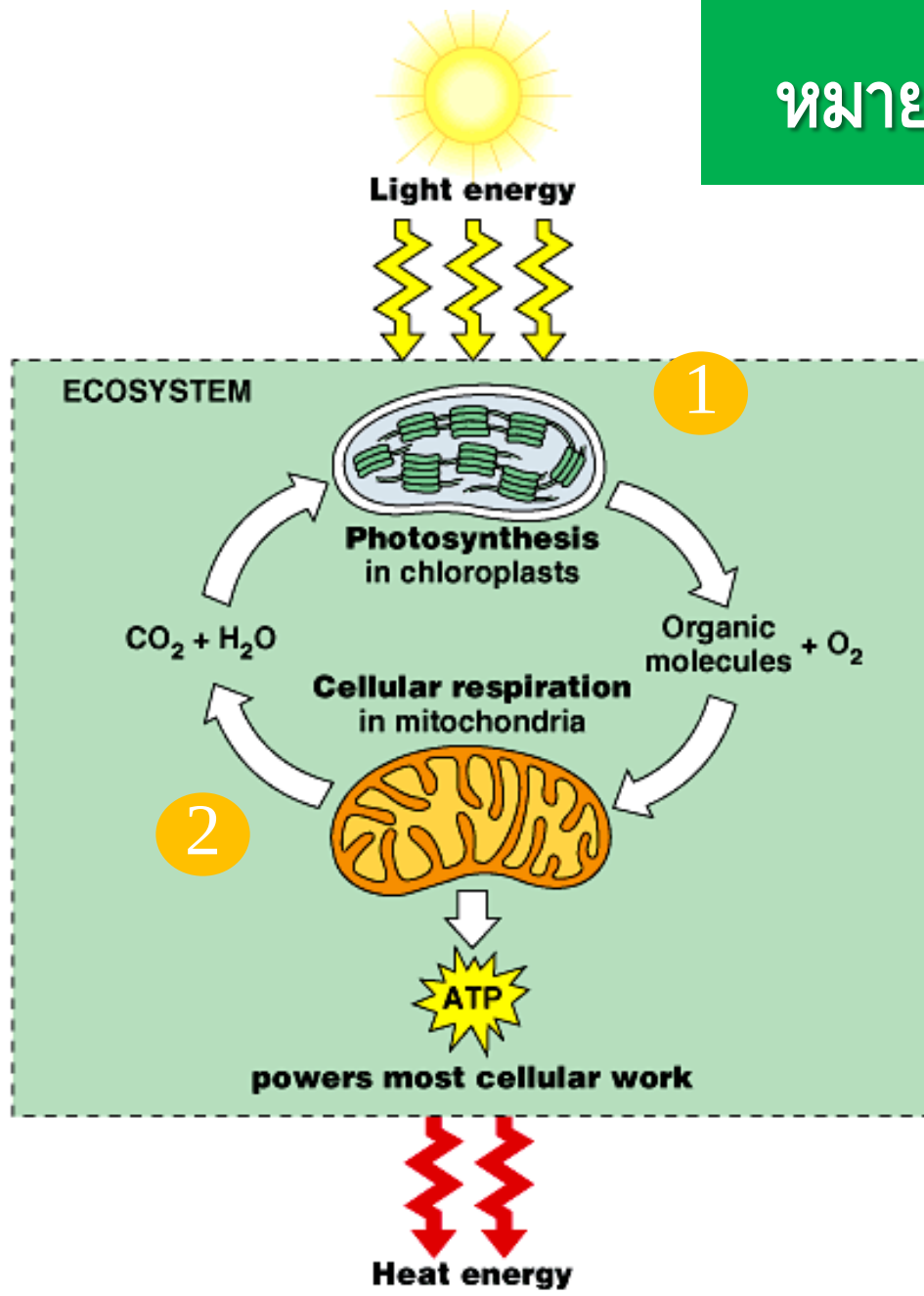
➤ chloroplast และ mitochondria เป็น organelles ที่เปลี่ยนพลังงานรูปหนึ่งไปอีกรูปหนึ่ง

➤ ใน chloroplast เกิดกระบวนการ **photosynthesis** ซึ่งพลังงานแสงเปลี่ยนเป็นพลังงานสะสมในรูปคาร์โบไฮเดรต

➤ ที่ mitochondria เกิดกระบวนการ **cellular respiration** พลังงานที่เก็บไว้ในรูปคาร์โบไฮเดรตจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูป **ATP** ซึ่งสิ่งมีชีวิตจะนำไปใช้ในเซลล์ต่อไป

➤ มีพลังงานบางส่วนสูญเสียไปกับความร้อน

จากภาพ กระบวนการเมแทบอลิซึม
หมายเลข 1,2 ตามลำดับ คือ ข้อใด

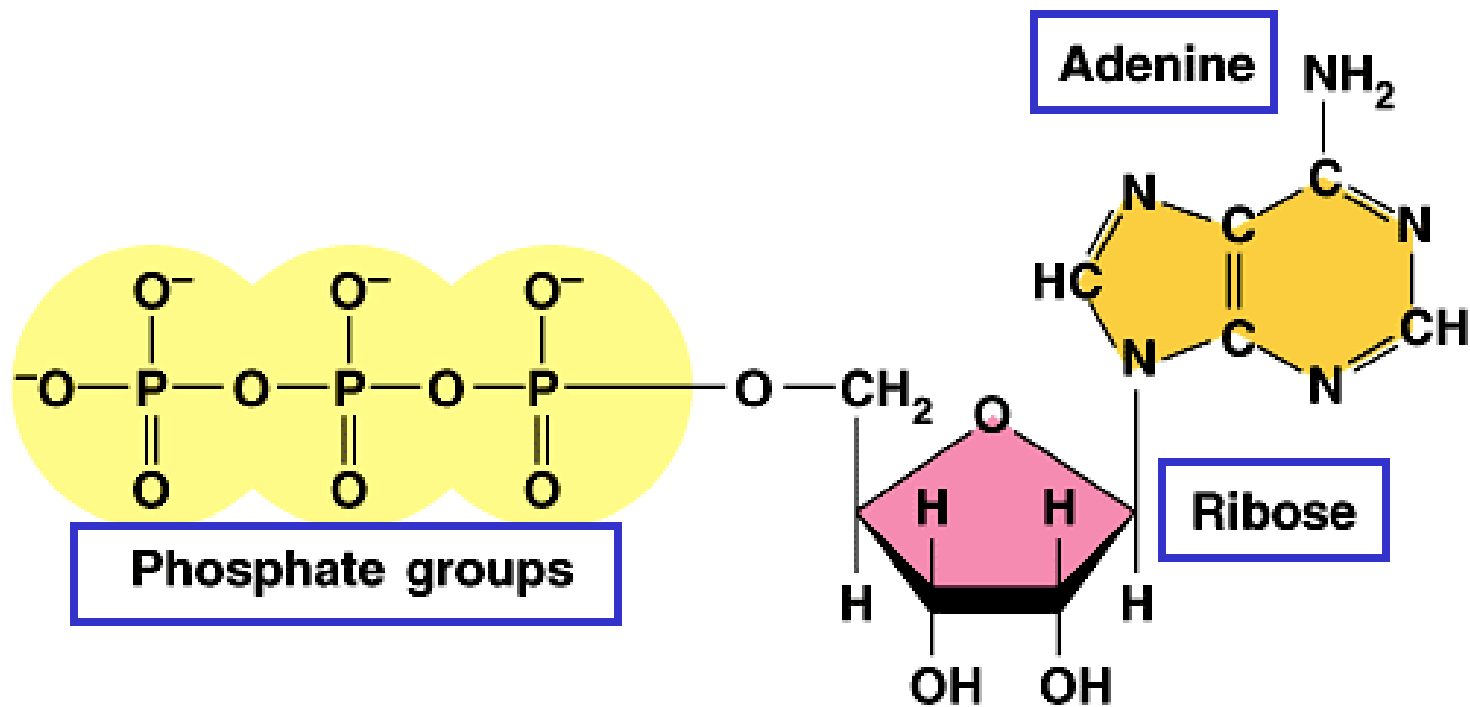


A. Anabolism, Catabolism

B. Catabolism, Anabolism

ATP (Adenosine triphosphate)

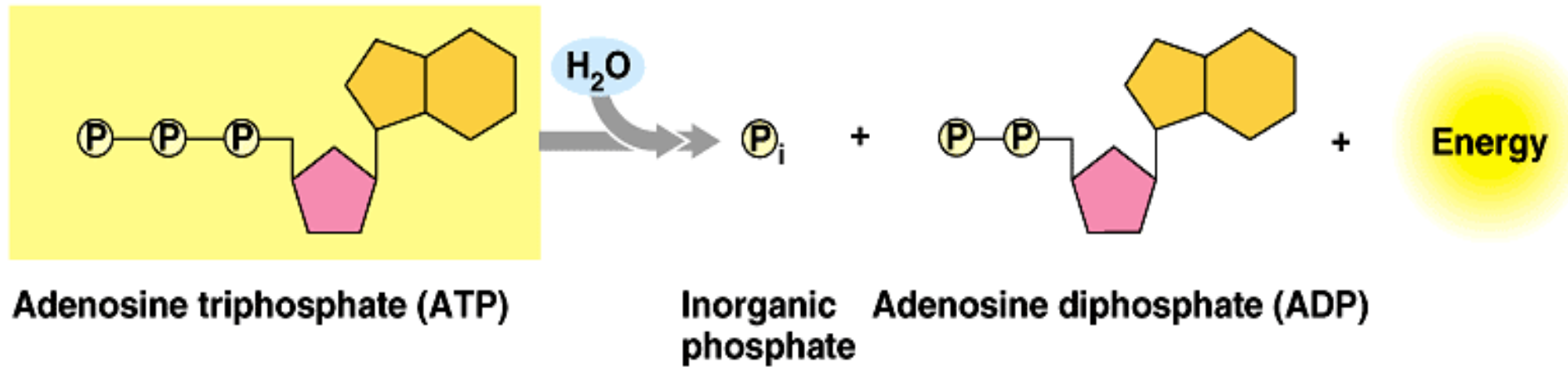
เป็นสารเคมีที่มีพลังงานสูง พร้อมที่จะแตกตัวปล่อยให้พลังงานออกมาใช้



(a) Structure of adenosine triphosphate

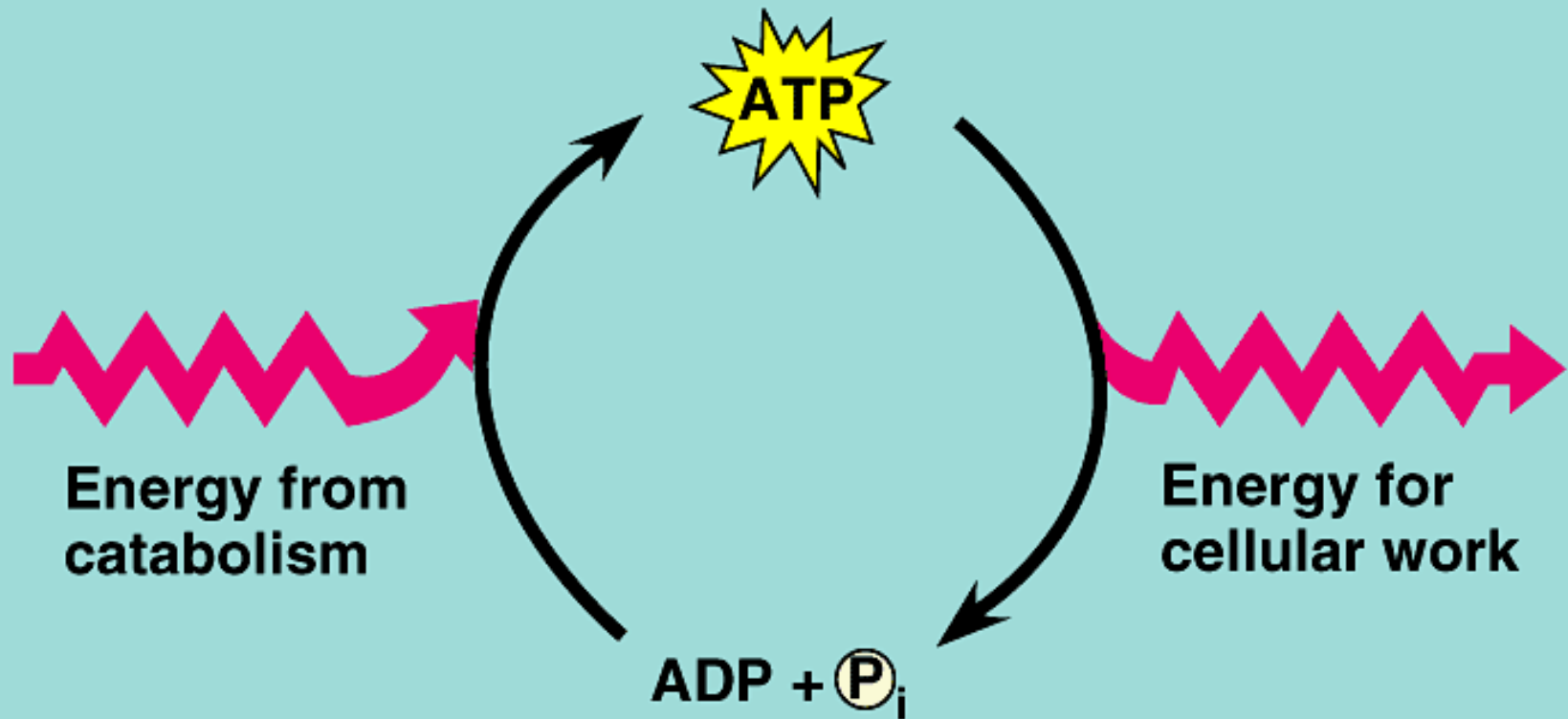


ภายในเซลล์มีกระบวนการสลาย ATP ตลอดเวลา ซึ่งจะได้
อะดีโนซีนไดฟอสเฟต (Adenosine **d**iphosphate ; ADP) , หมู่ฟอสเฟต
และพลังงาน 7.3 กิโลแคลอรีต่อโมล ดังสมการ

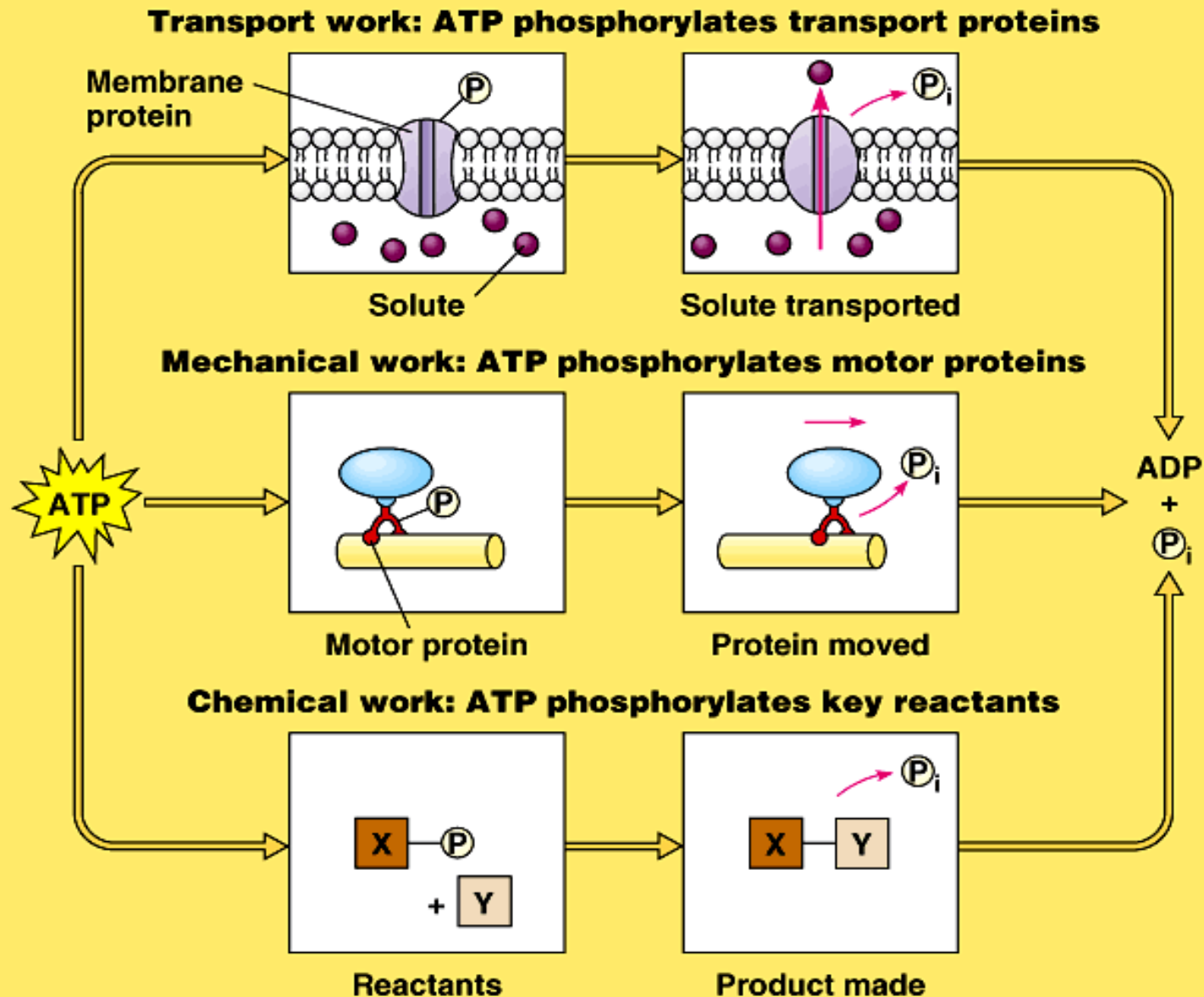


(b) Hydrolysis of ATP

ATP เมื่อถูกใช้แล้วสามารถสร้างกลับมาใหม่ได้

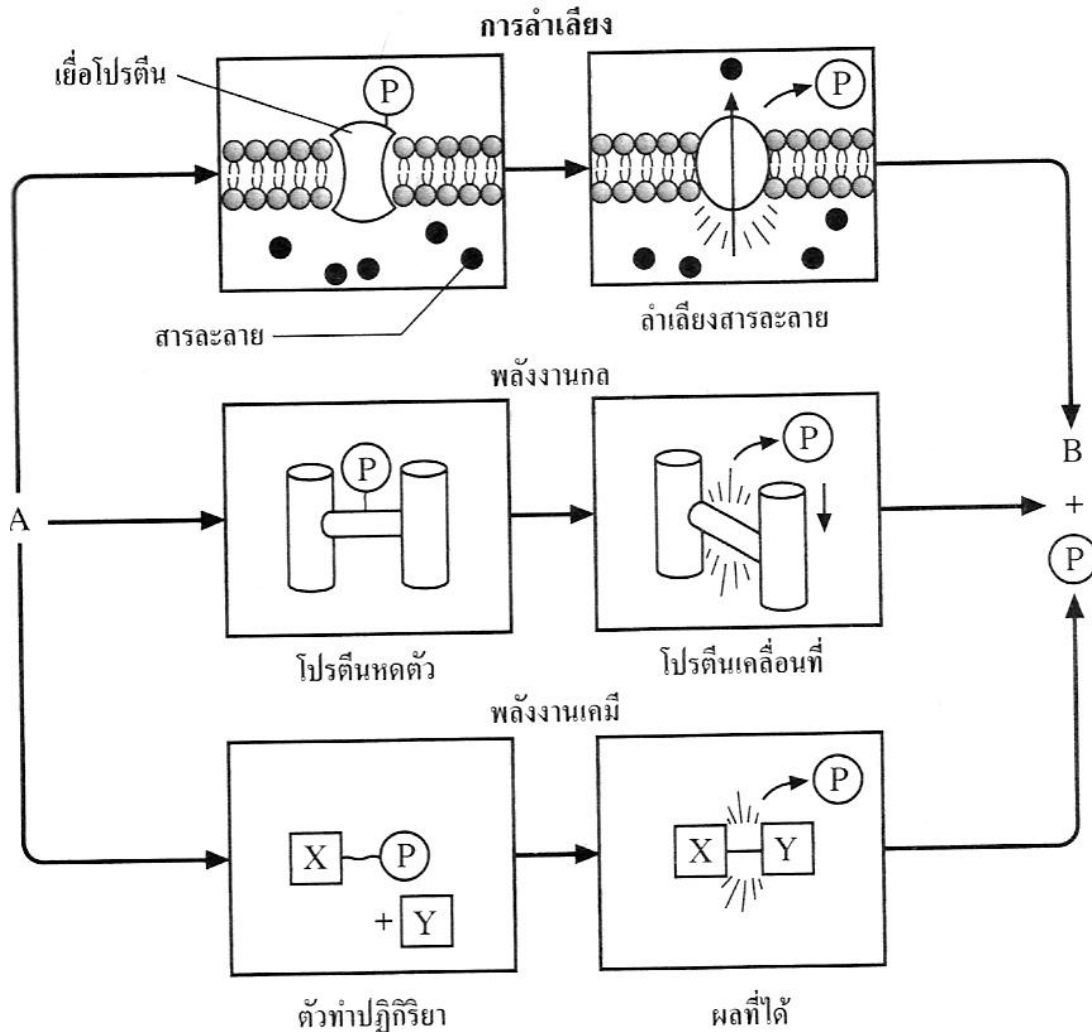


พลังงานในรูป ATP ถูกนำไปใช้ทำงานต่างๆ ภายในเซลล์



จากแผนภาพ แสดงการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ

A คือ อะไร B คือ อะไร



1. A คือ O_2 B คือ CO_2

2. A คือ CO_2 B คือ O_2

3. A คือ ATP B คือ ADP

4. A คือ ADP B คือ ATP

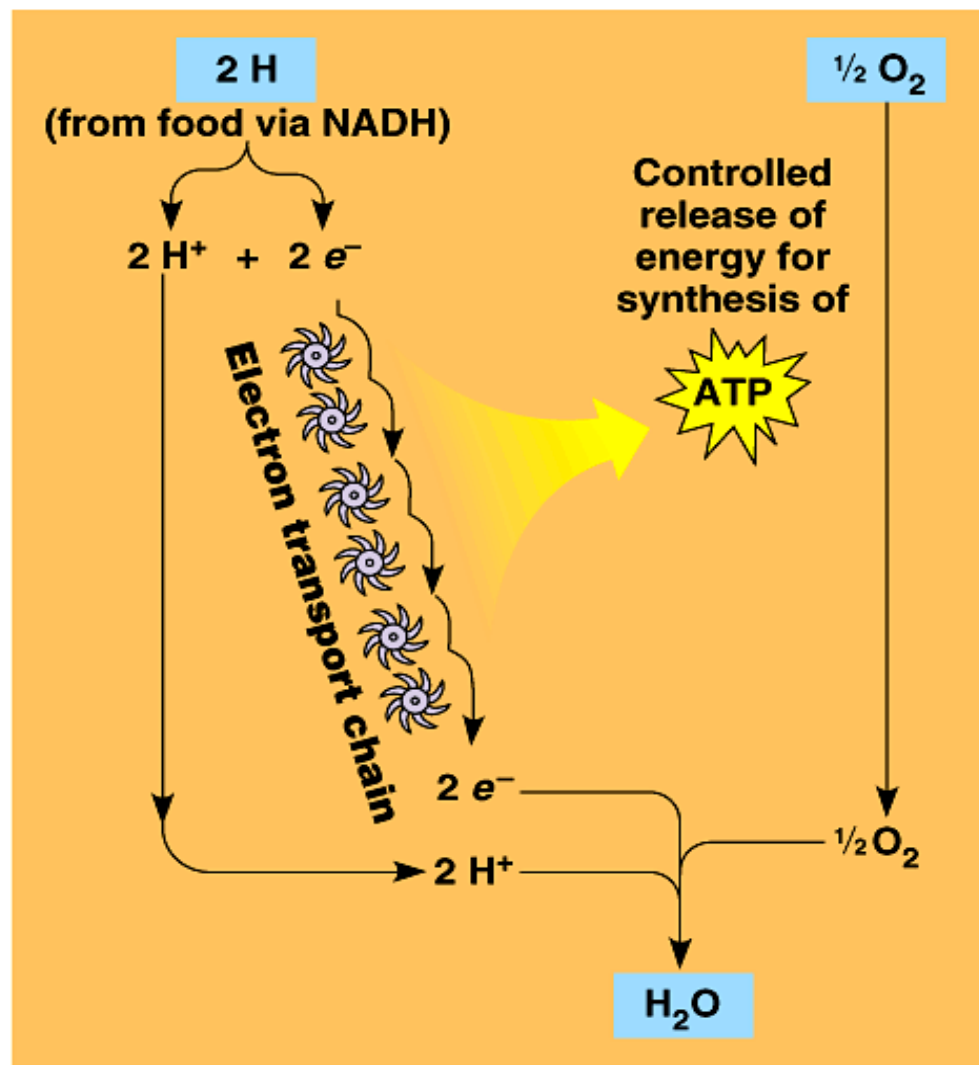
ATP สร้างขึ้นมาอย่างไร ??

เรียกกระบวนการสร้าง ATP ว่า “**Phosphorylation**”
มีวิธีการสร้างหลายแบบ ได้แก่

1. Oxidative phosphorylation
2. Substrate phosphorylation
3. Photophosphorylation

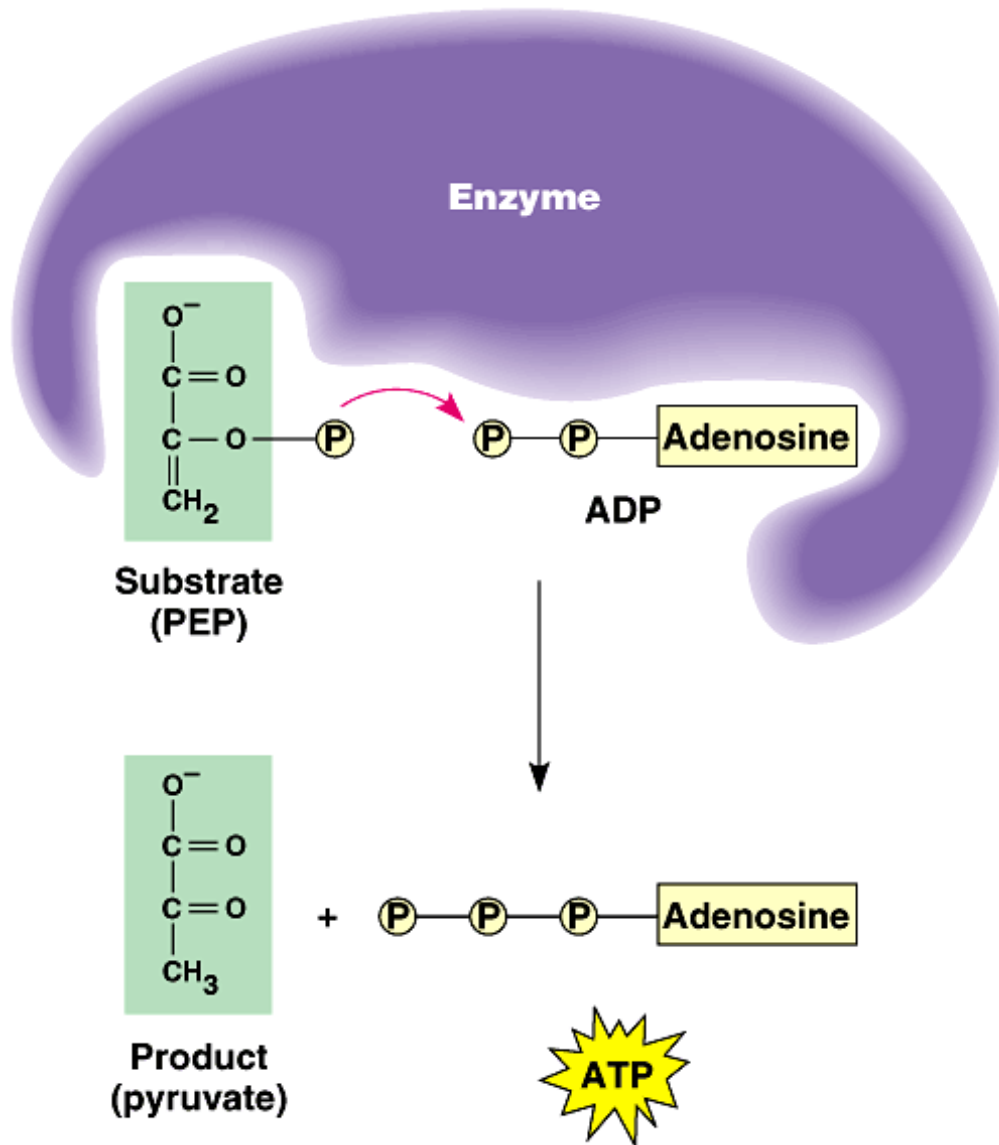
1. Oxidative phosphorylation

การสร้าง ATP จาก **การ**
ถ่ายทอด e^- ผ่านสารตัวนำ
 e^- เช่น NADH, FADH_2
ใน e^- transport chain ที่
mitochondria และมี O_2
เป็นตัวรับ e^- ตัวสุดท้าย



(b) Cellular respiration

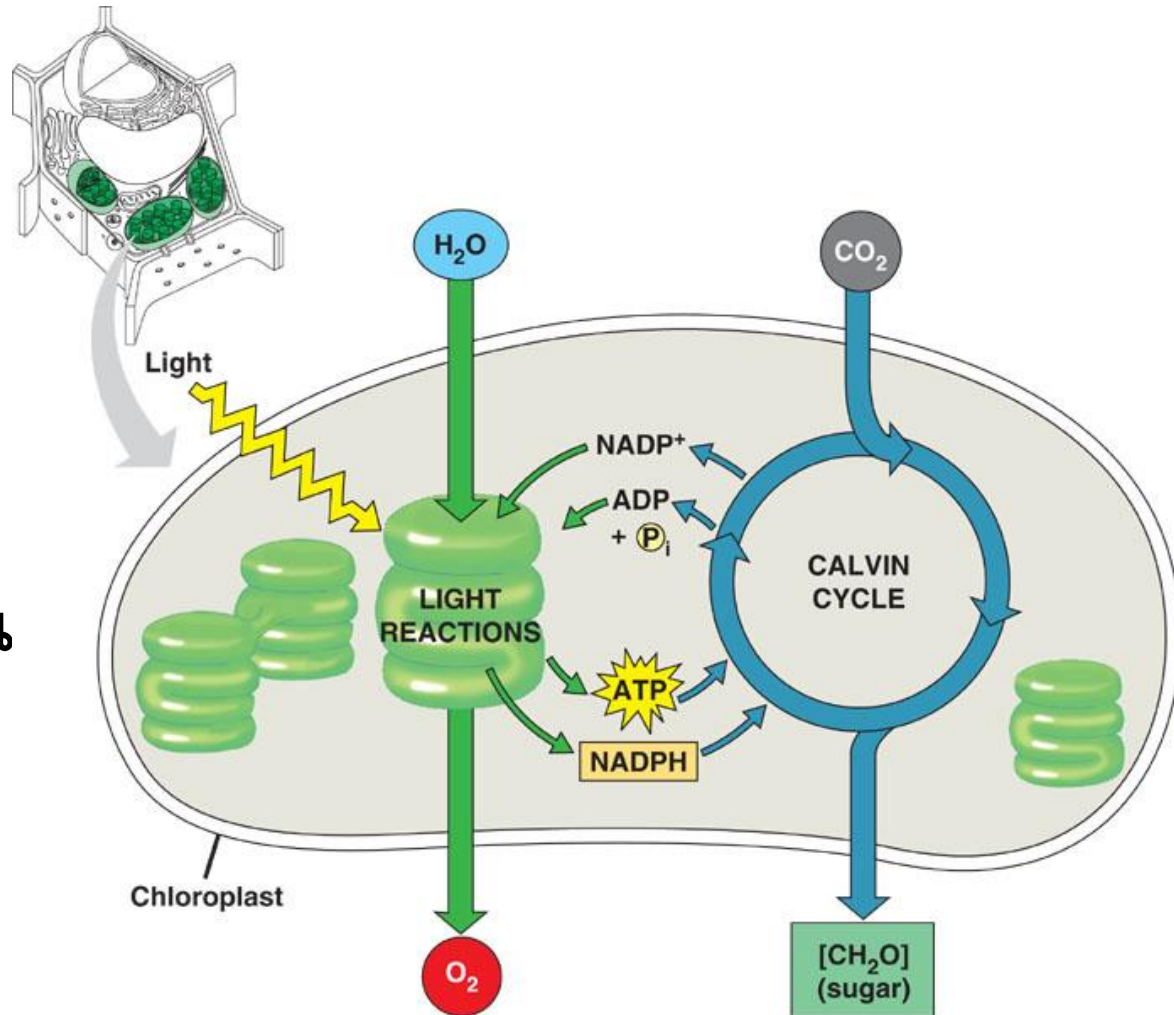
2. Substrate phosphorylation



ATP ถูกสร้างโดย
การถ่ายทอด $\sim\text{P}$ จากสาร
ที่มีพันธะเคมีพลังงานสูง
กว่ามายัง ADP โดยตรง
โดยมี enzyme กระตุ้น

3. Photophosphorylation

แสงทำให้ e^- จากน้ำ
ถูกถ่ายทอดไปตาม
 e^- transport chain ใน
chloroplast ได้พลังงานใน
รูป ATP



กระบวนการใดในสิ่งมีชีวิตไม่สามารถสร้าง ATP ได้

1. Oxidative phosphorylation

2. Substrate phosphorylation

3. Photophosphorylation

4. Hydrolysis

การสร้าง ATP จากการถ่ายทอด e^- ผ่านสารตัวนำ คือข้อใด

**1.Oxidative
phosphorylation**

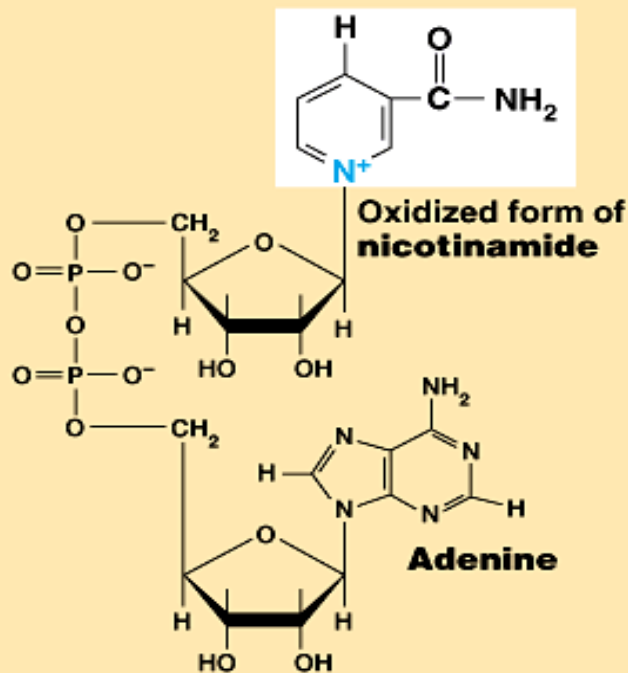
**2. Substrate
phosphorylation**

3. Photophosphorylation

4. Photosynthesis

NAD⁺ = Nicotinamide adenine dinucleotide

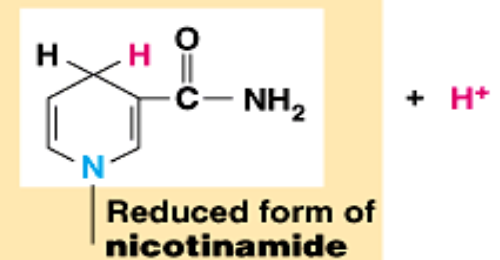
NAD⁺



+ 2[H]
(from food)

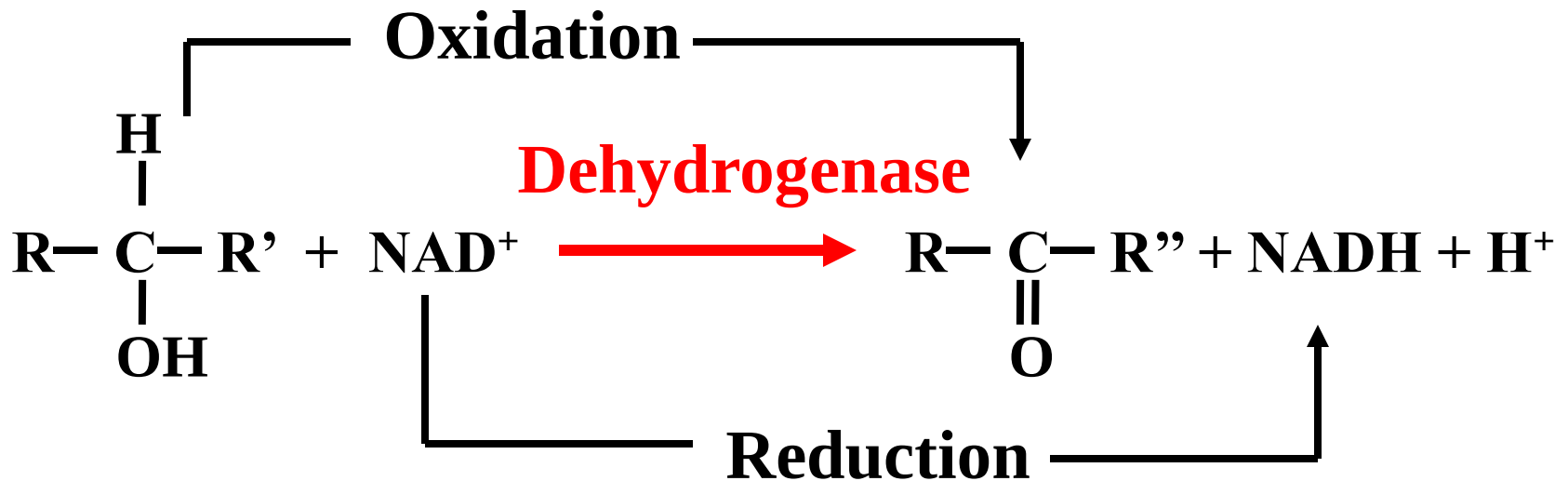
Dehydrogenase
Reduction
Oxidation

NADH



➤ พบในเซลล์

➤ ทำงานร่วมกับ enzyme โดยเป็นตัวรับ e^- ในปฏิกิริยา oxidation-reduction



NAD^+ = oxidized coenzyme

NADH = reduced coenzyme

รู้หรือไม่

NAD (nicotinamide adenine dinucleotide) เป็นสารตัวนำอิเล็กตรอน พร้อมด้วยโปรตอน และเนื่องจากอะตอมของไนโตรเจนที่เป็นองค์ประกอบของ NAD มีประจุบวกจึงเขียนว่า NAD^+ มีวิตามิน B_5 เป็นองค์ประกอบ

FAD (flavin adenine dinucleotide) เป็นสารตัวนำอิเล็กตรอน พร้อมด้วยโปรตอน FAD 1 โมเลกุลรับอิเล็กตรอนและโปรตอนจะได้ **FADH_2** ดังสมการ



FADH_2 มีสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน พลังงานที่สะสมอยู่จะถูกนำมาใช้ในการสร้าง ATP FAD มีวิตามิน B_2 เป็นองค์ประกอบ

Cellular respiration



Anaerobic respiration / Fermentation

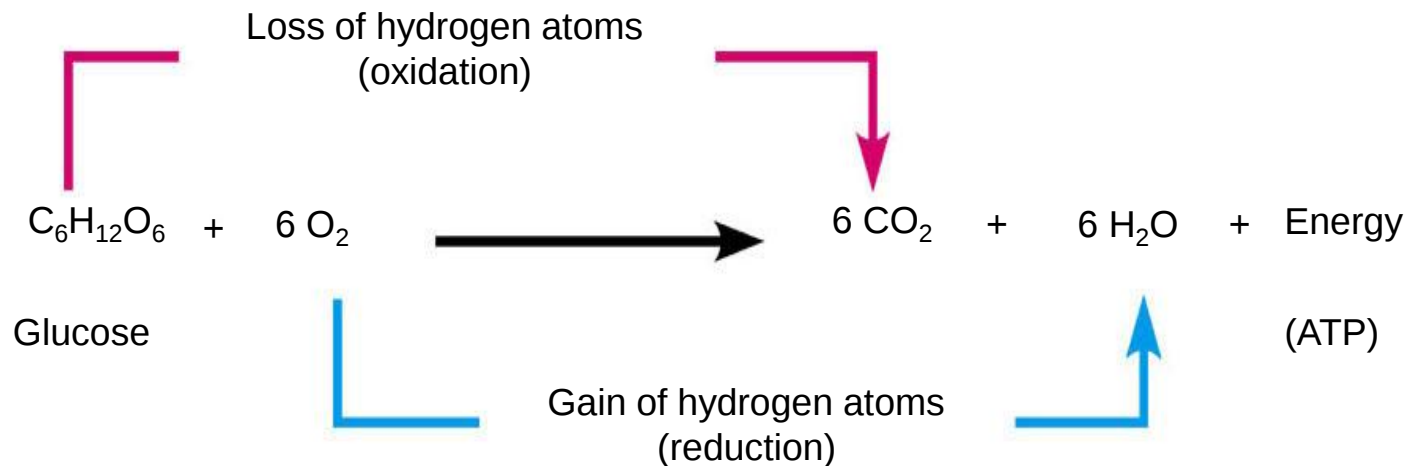
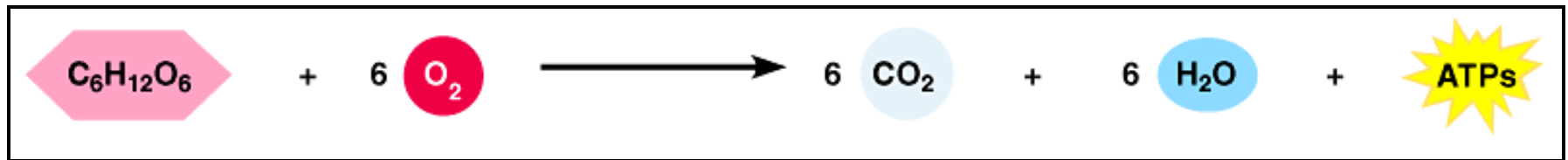
กระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน/การหมัก

Aerobic respiration

กระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน

1. Aerobic cellular respiration

เป็นกระบวนการย่อยสลายสารอาหาร เพื่อให้ได้ ATP และมี O_2
เป็นตัวรับ e^- ตัวสุดท้าย



การหายใจระดับเซลล์แบบใช้ออกซิเจน

ประกอบด้วย

- ไกลโคไลซิส (Glycolysis)
- การสร้างแอสิติลโคเอนไซม์ เอ (acetyl coenzyme A) และวัฏจักรเครบส์ (Krebs cycle)
- กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport chain (ETC))

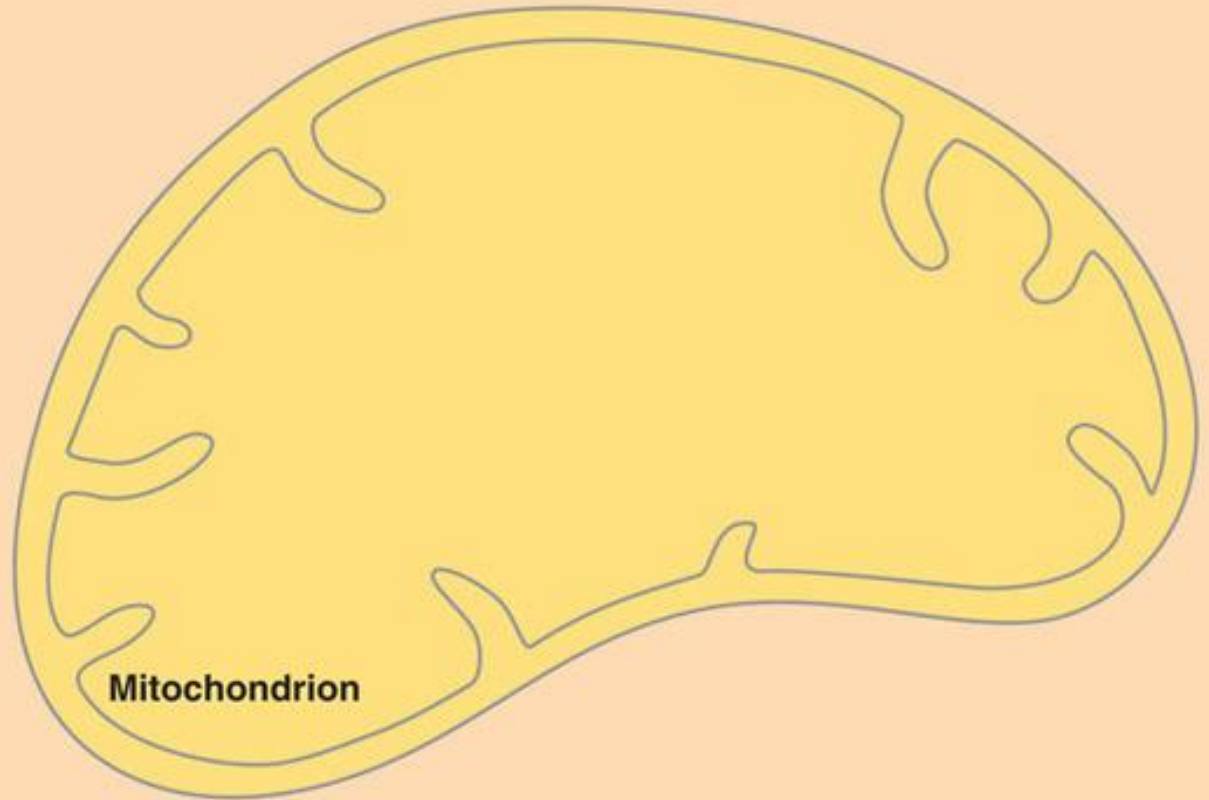
1. ไกลโคไลซิส (Glycolysis)



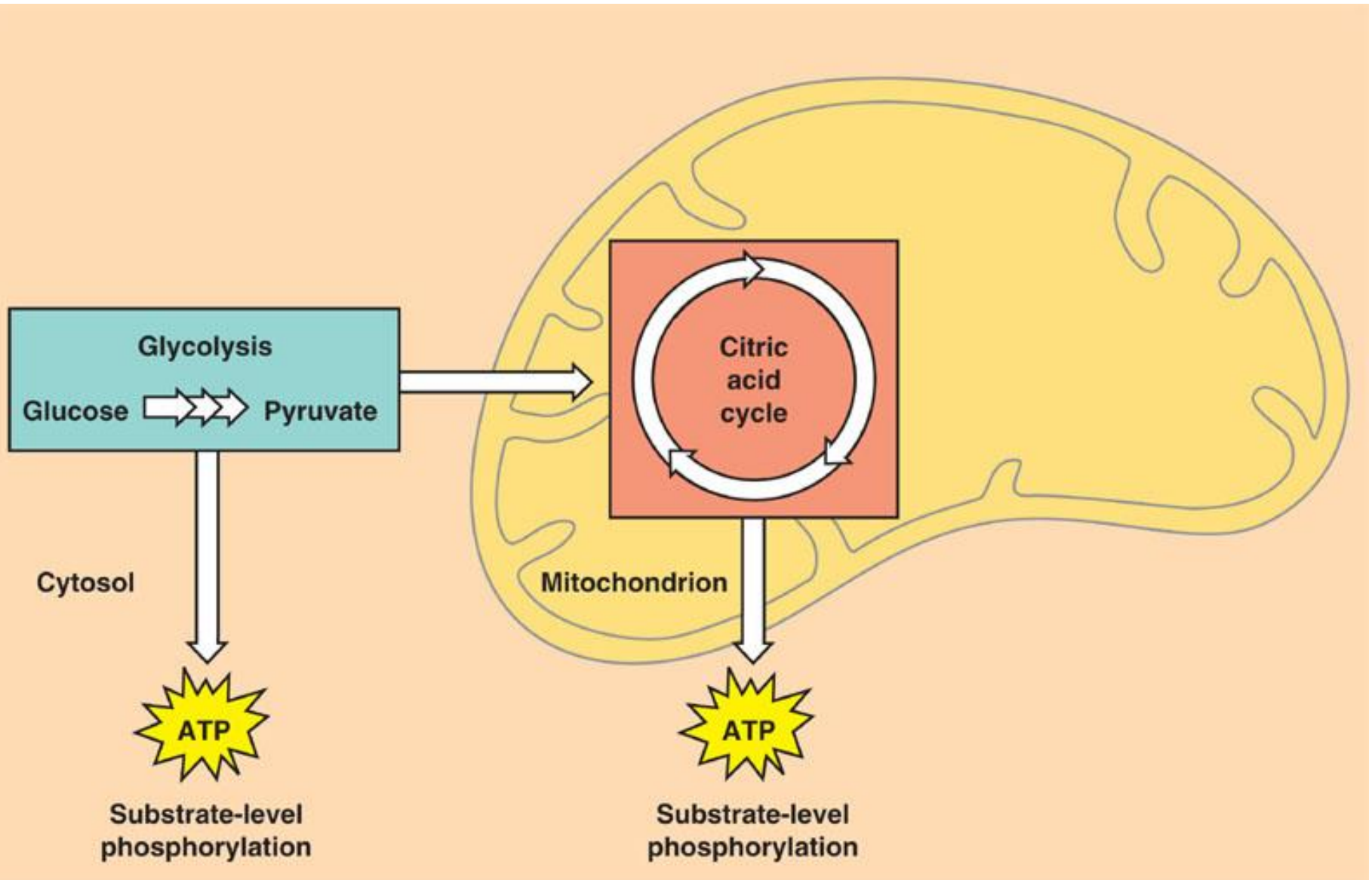
Cytosol



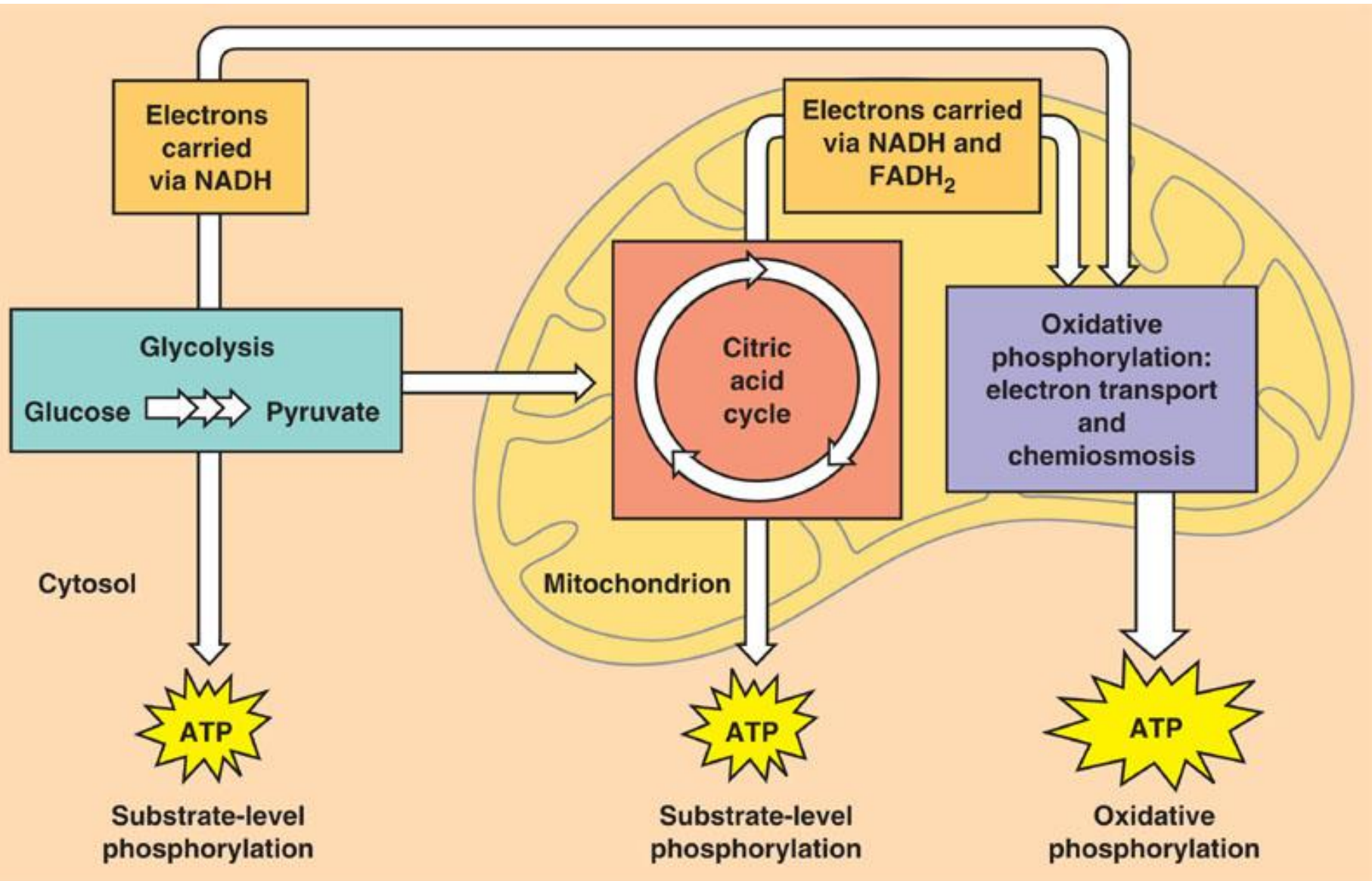
Substrate-level
phosphorylation



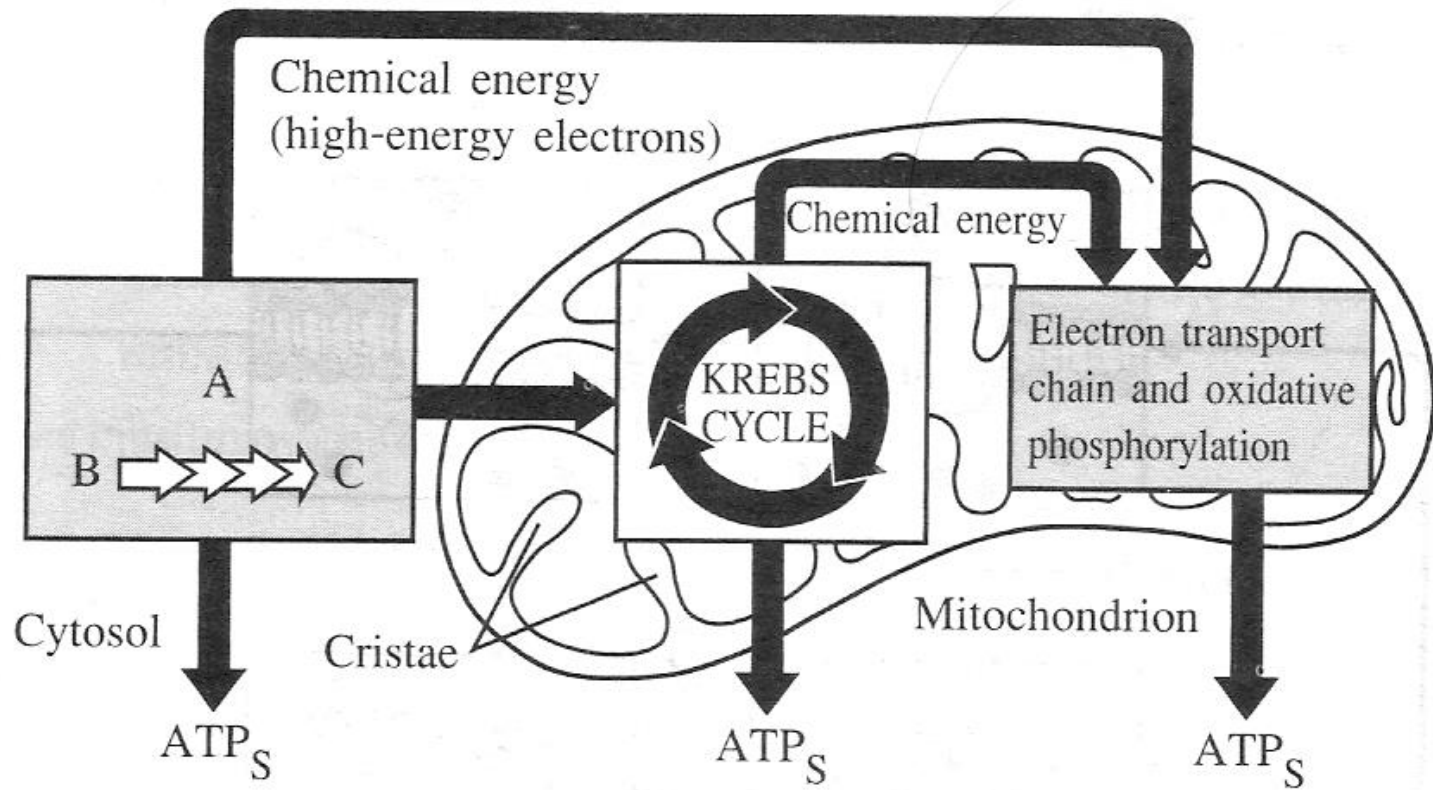
2. วัฏจักรเครบส์ (Krebs Cycle หรือ Citric acid cycle)



3. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport chain (ETC))



จากแผนภาพ A คือ ข้อใด



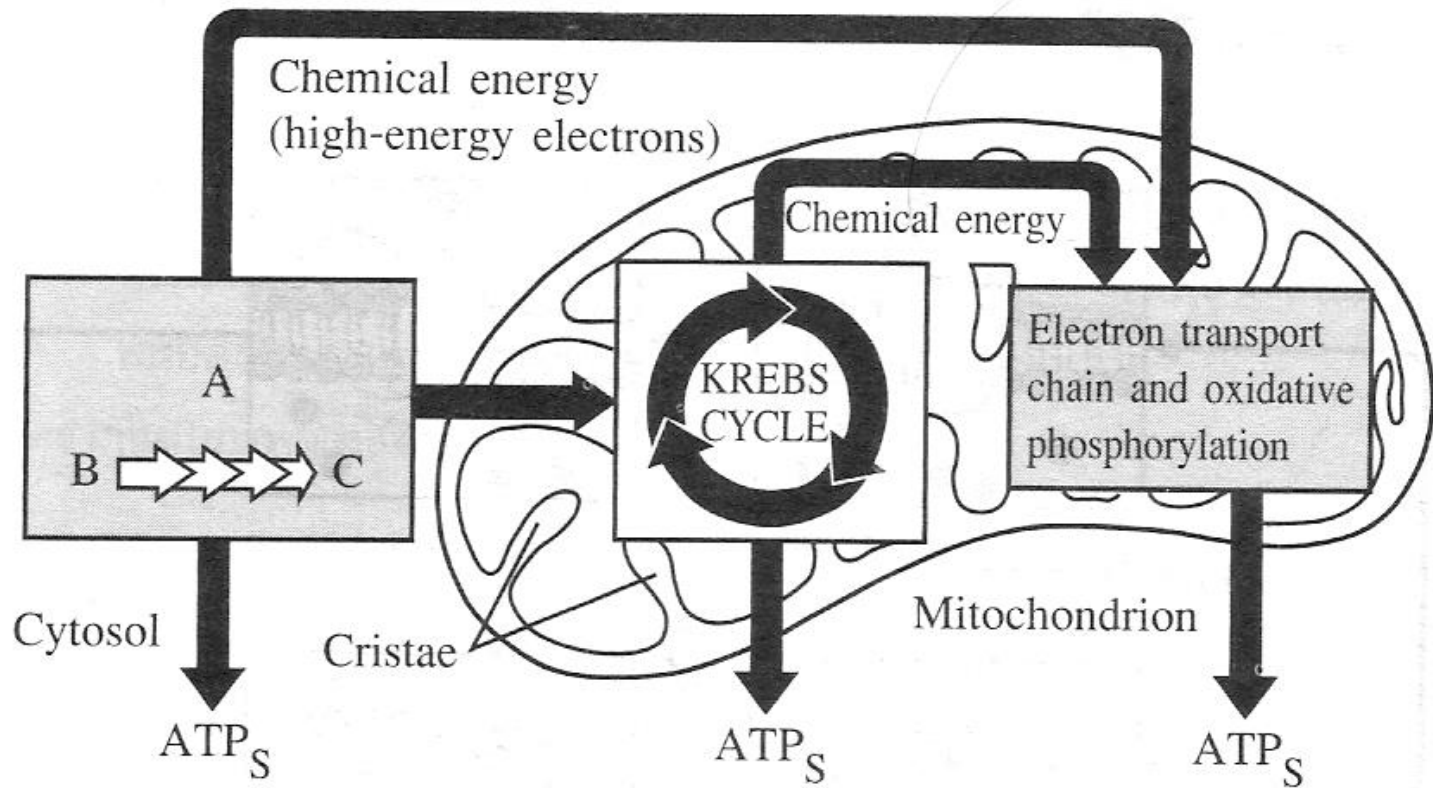
1. การสังเคราะห์ด้วยแสง

2. การสังเคราะห์ไขมัน

3. การสังเคราะห์โปรตีน

4. ไกลโคไลซิส

จากแผนภาพ B และ C คือ อะไร



1. B คือ กลูโคส C คือ กรดไพรูวิก

2. B คือ คาร์โบไฮเดรต C คือ กรดไพรูวิก

3. B คือ กลูโคส C คือ กรดแลกติก

4. B คือ โปรตีน C คือ กรดแลกติก

เมื่อร่างกายเกิดการสลาย glucose ในเซลล์แล้ว ได้ product ร่างกายทำอะไร ???????

- คนเราหายใจนำ O_2 เข้าไปในปอด และรับประทานอาหาร (glucose) ซึ่ง O_2 และ **glucose** เข้าไปในกระแสเลือด แล้วเข้าไปในเซลล์
- Glycolysis เกิดขึ้นที่ **cytoplasm** ได้ pyruvic acid
- Pyruvic acid เข้าไปใน **mitochondria** และถูกสลายต่อไป จนได้ $CO_2 + H_2O$ + พลังงานในรูปของ ATP
- CO_2 , H_2O และ **ATP** ที่ได้จะแพร่ออกจาก mitochondria ไปยัง cytoplasm
- ATP และ H_2O ถูกนำไปใช้ประโยชน์ภายในเซลล์ ส่วน CO_2 แพร่ออกจาก **เซลล์** เข้าไปในกระแสเลือด และหายใจออกไป

ขั้นตอนที่ 1

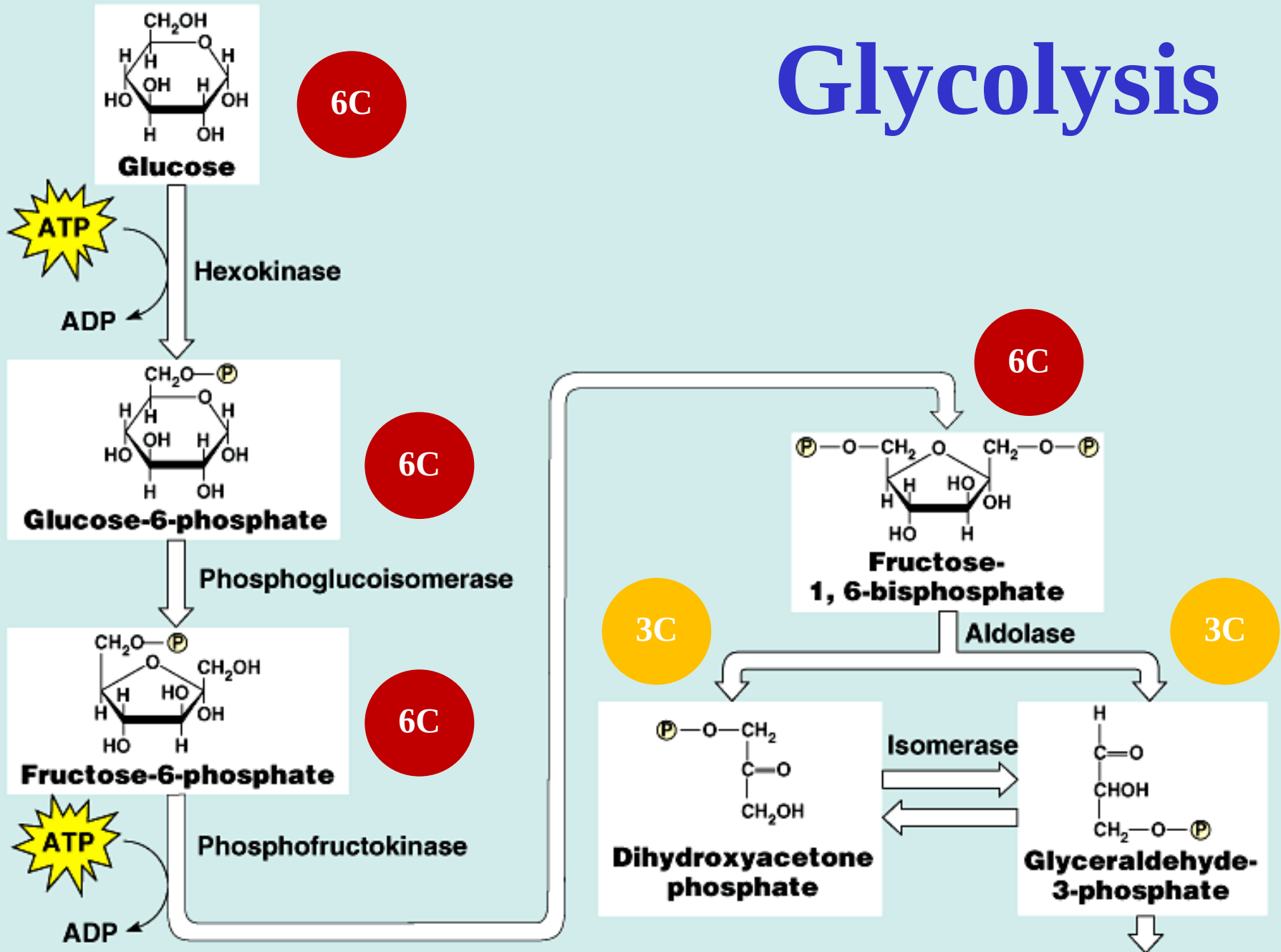
GLYCOLYSIS

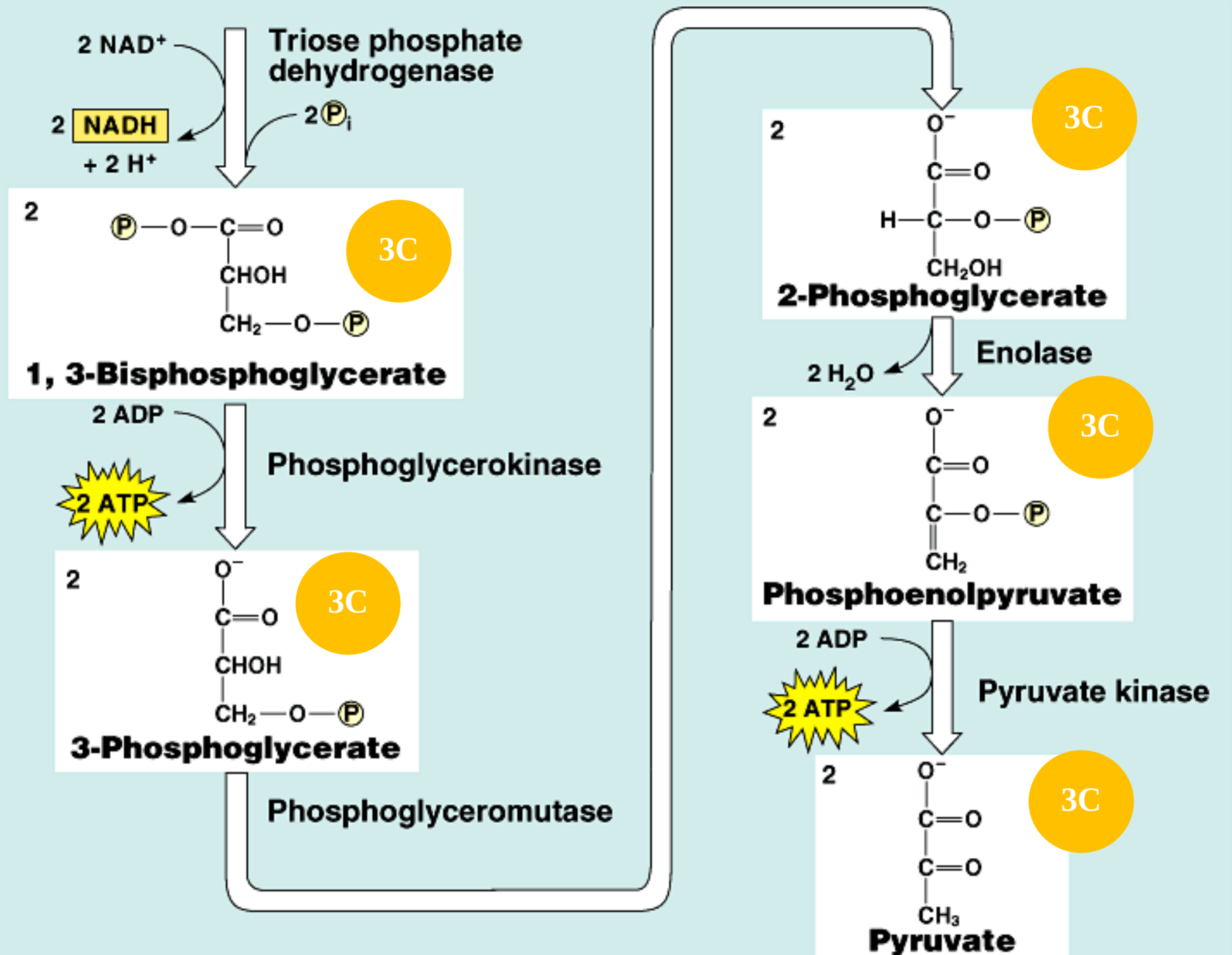
Glycolysis

- เกิดใน Cytosol ของเซลล์เกือบทุกชนิด
- เรียกอีกชื่อว่า Embden Meyerhof pathway
- เซลล์สมอง เม็ดเลือดแดง สเปิร์ม ใช้ Glycolysis เป็นวิธีหลักในการสร้างพลังงาน

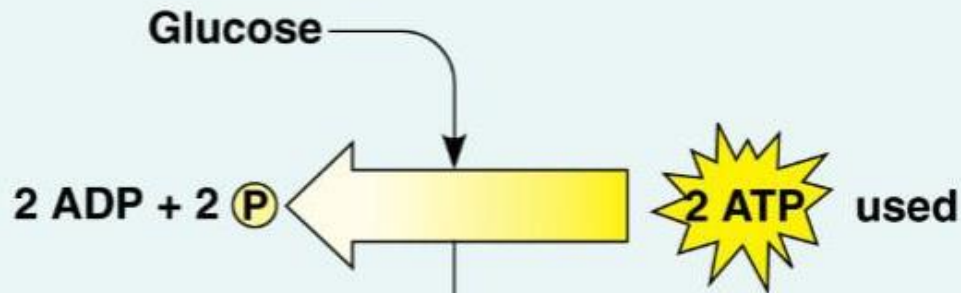


Glycolysis

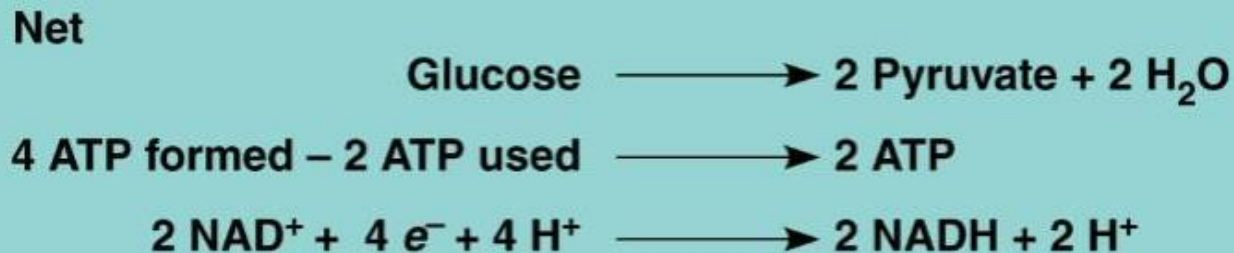
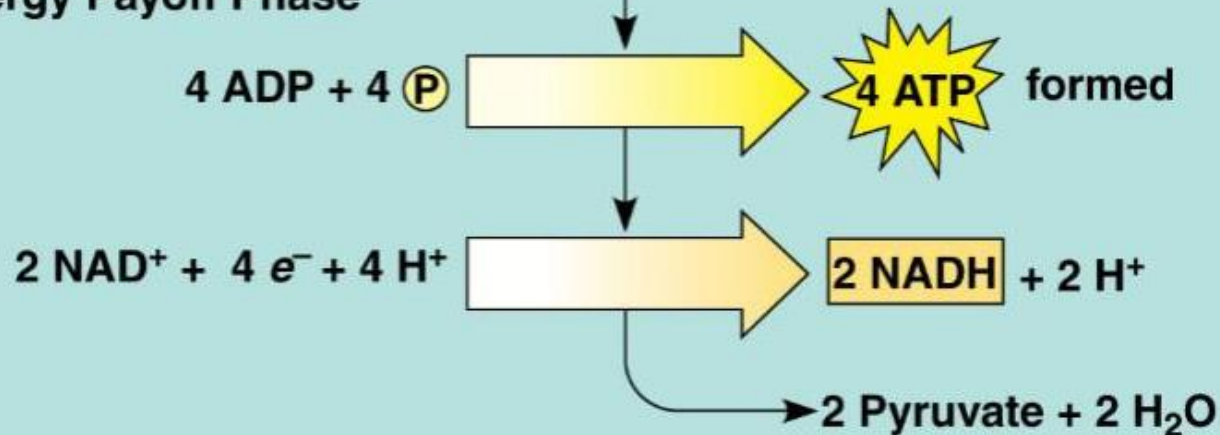




Energy Investment Phase



Energy Payoff Phase



สรุป

Glycolysis

สารตั้งต้น = กลูโคส (C_6) 1

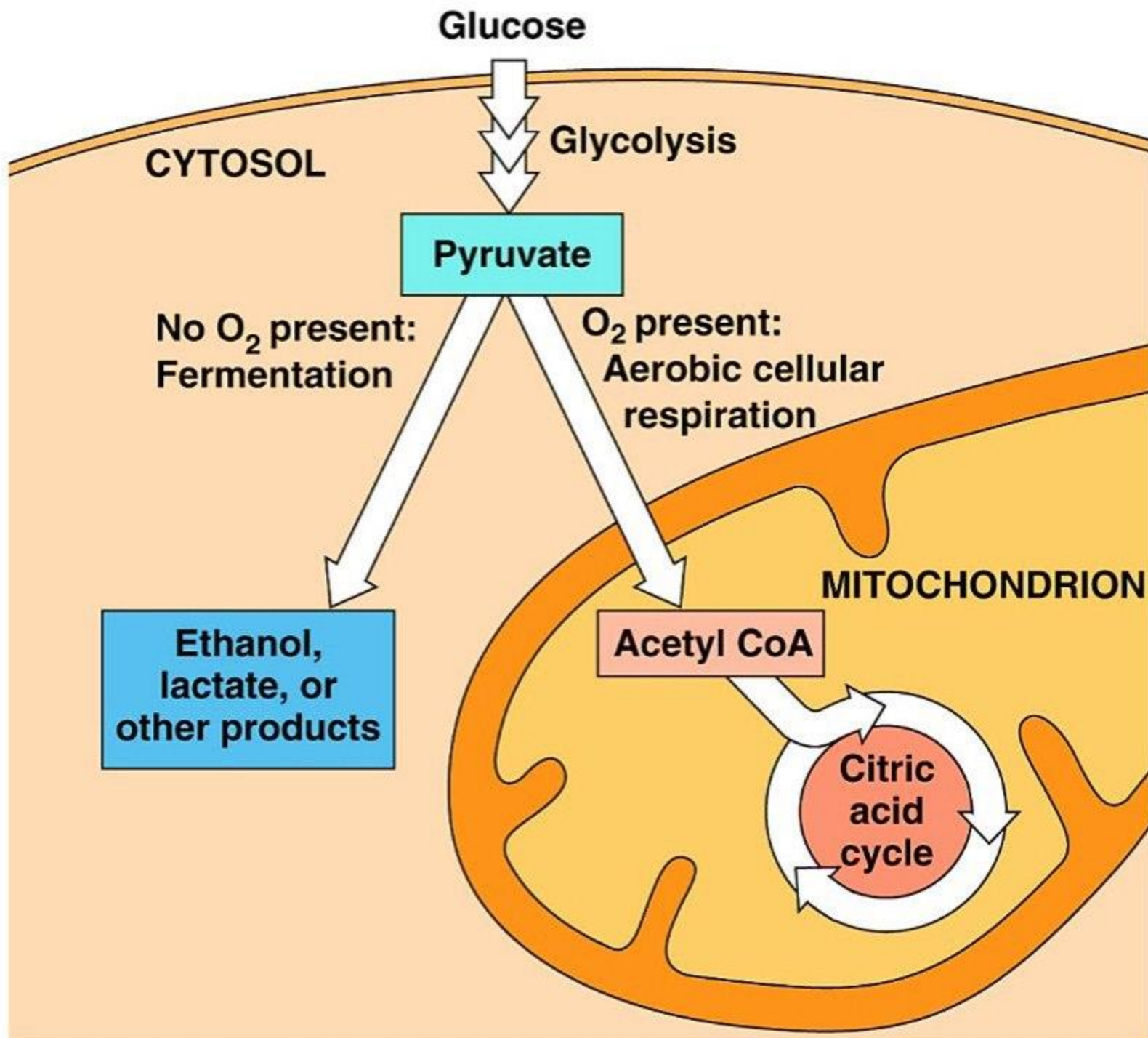
ผลผลิต = กรดไพรูวิก (C_3) 2

= **NADH 2**

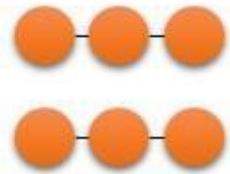
พลังงานที่ใช้ไป = 2 ATP

พลังงานที่ปลดปล่อย = 4 ATP

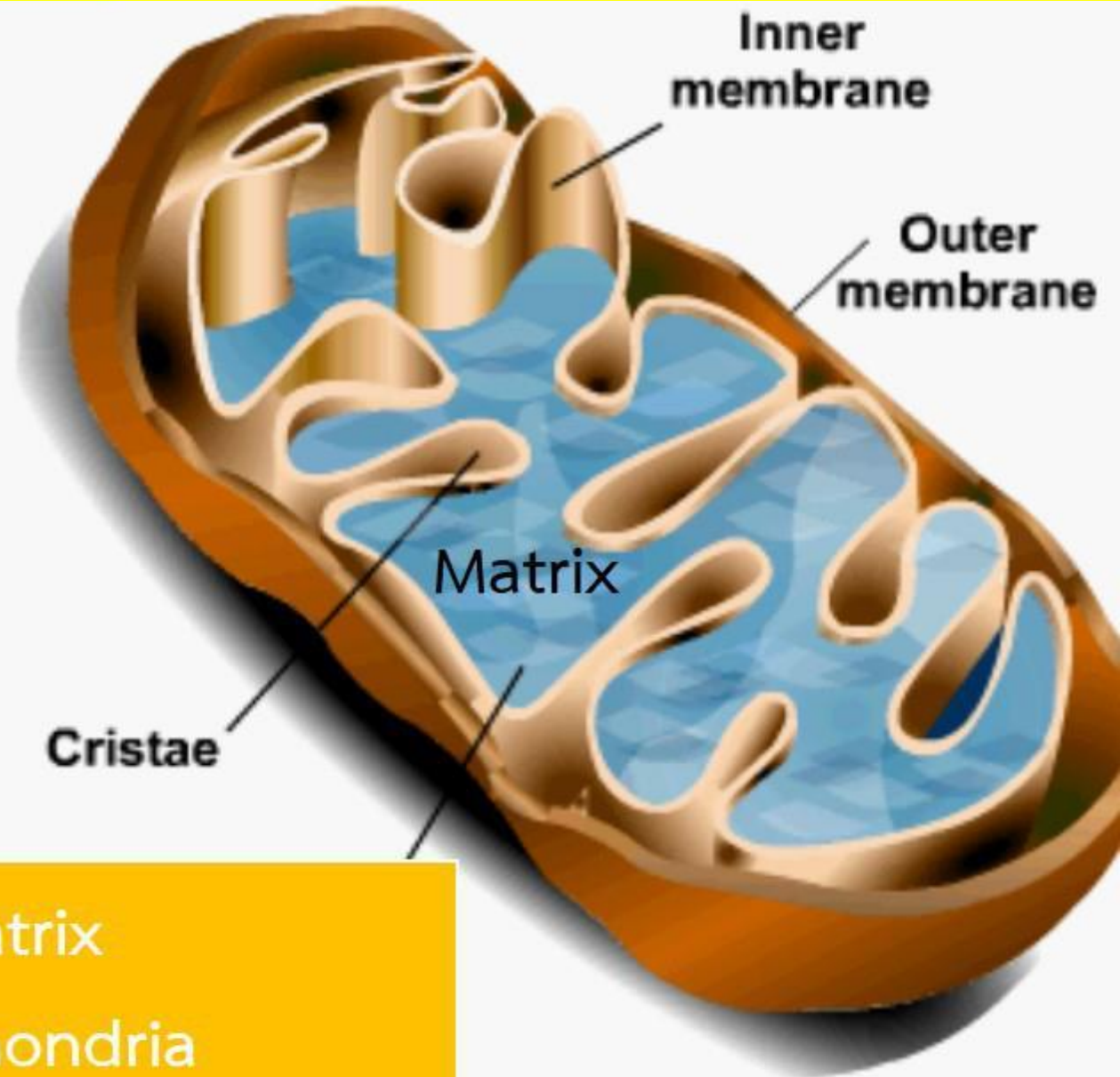
พลังงานสุทธิ = **2 ATP**



ขั้นตอนที่ 2 การสร้าง Acetyl Co A

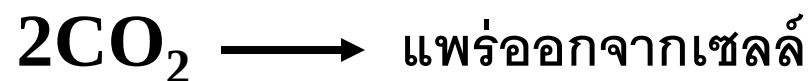
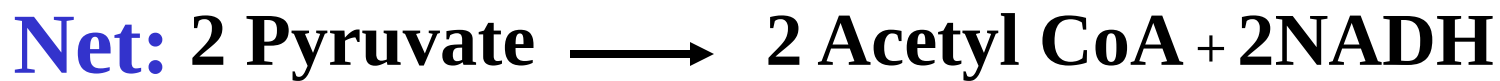
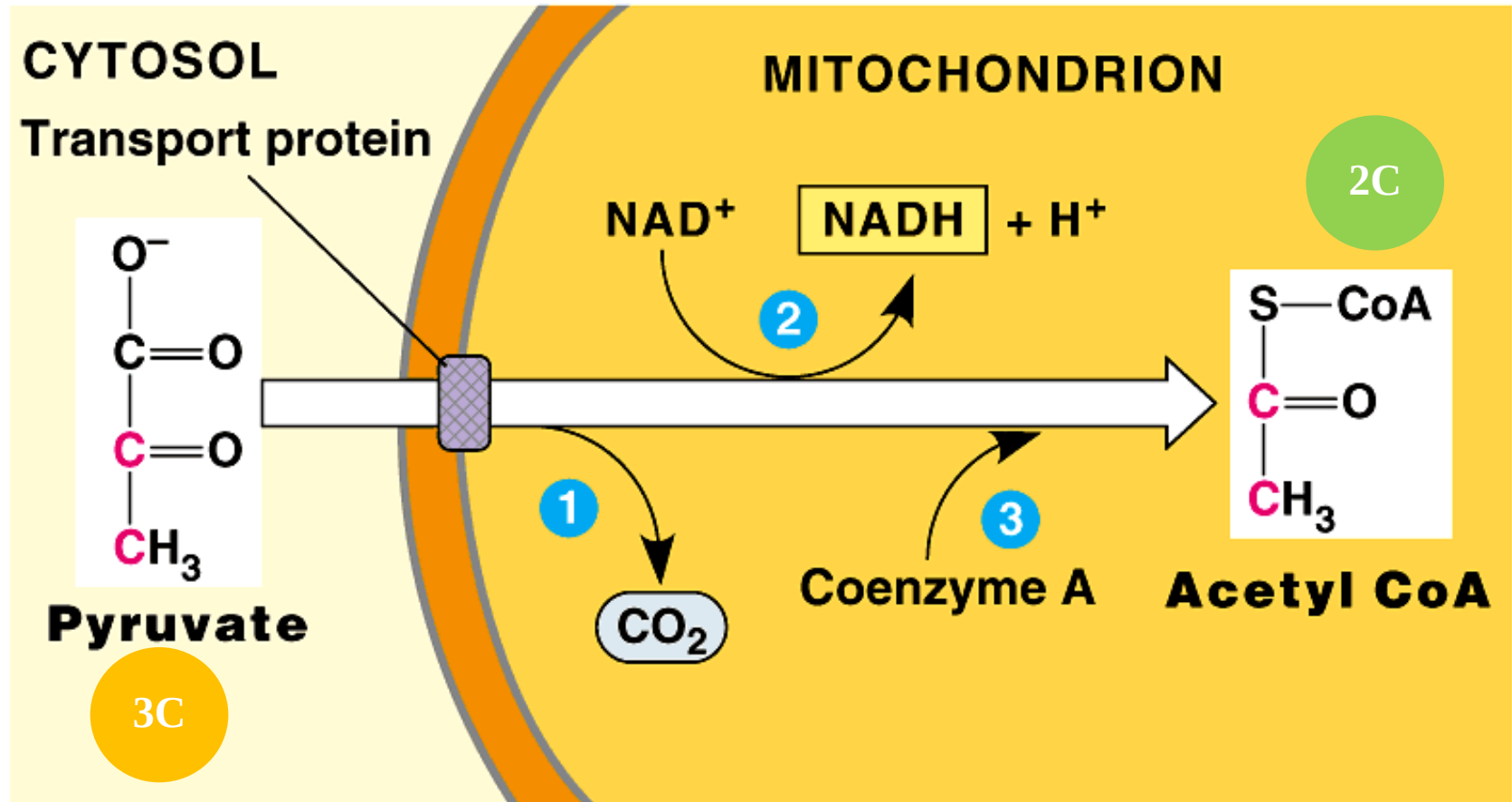


Pyruvate



เกิดที่ Matrix
ของ mitochondria

โปรตีนที่อยู่ผิวของ mitochondria จะขนส่ง **pyruvate** เข้าไปใน mitochondria



สรุป

กรดไพรูวิกเปลี่ยนเป็น แอซิติลโคเอนไซม์ เอ

สารตั้งต้น = กรดไพรูวิก (C_3) 2 โมเลกุล

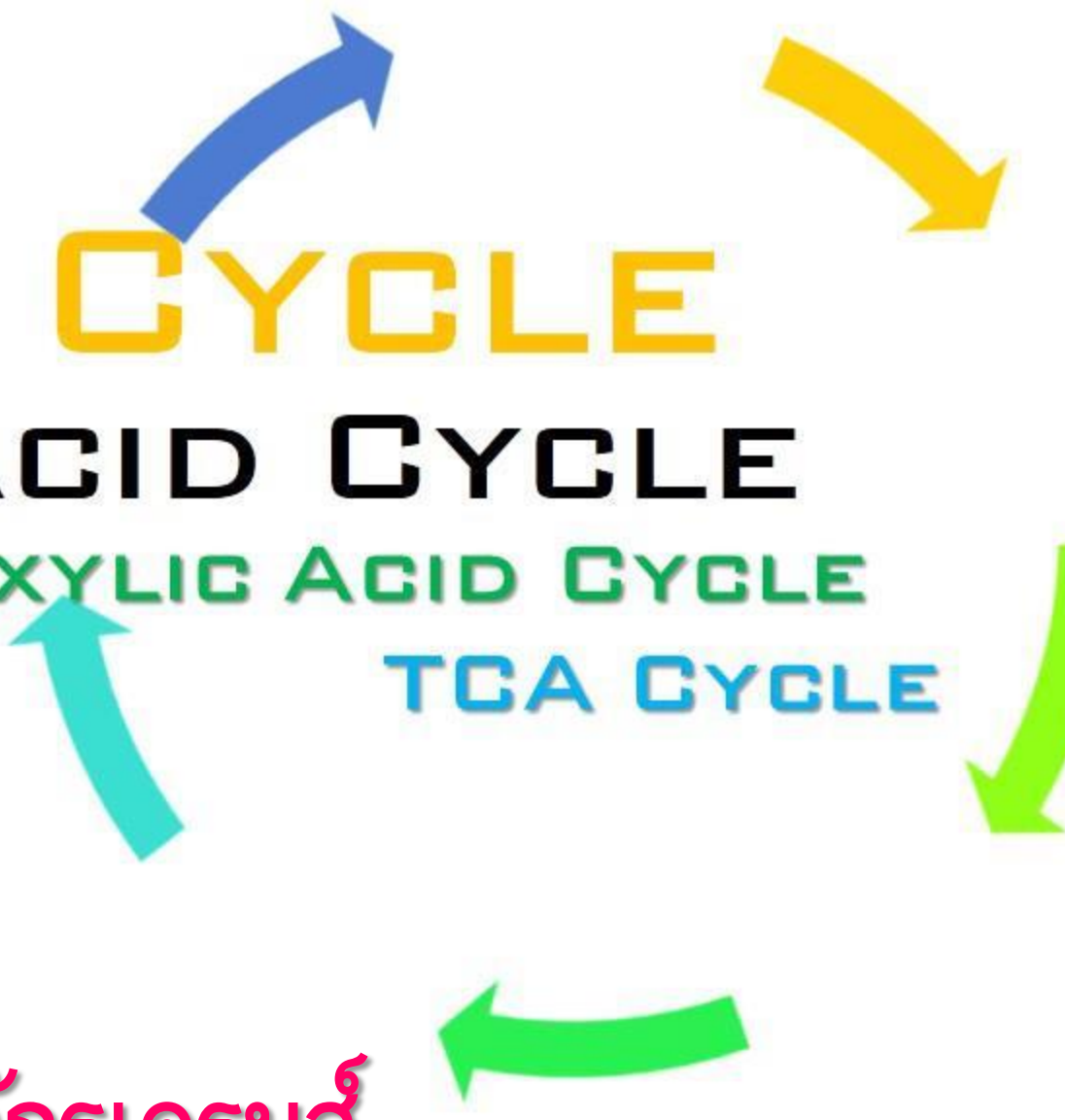
= โคเอนไซม์ เอ (Co A) 2 โมเลกุล

ผลผลิต = แอซิติลโคเอนไซม์ เอ (C_2) 2 โมเลกุล

= CO_2 2 โมเลกุล

= NADH 2 โมเลกุล

พลังงานที่ปลดปล่อย = 2 ATP



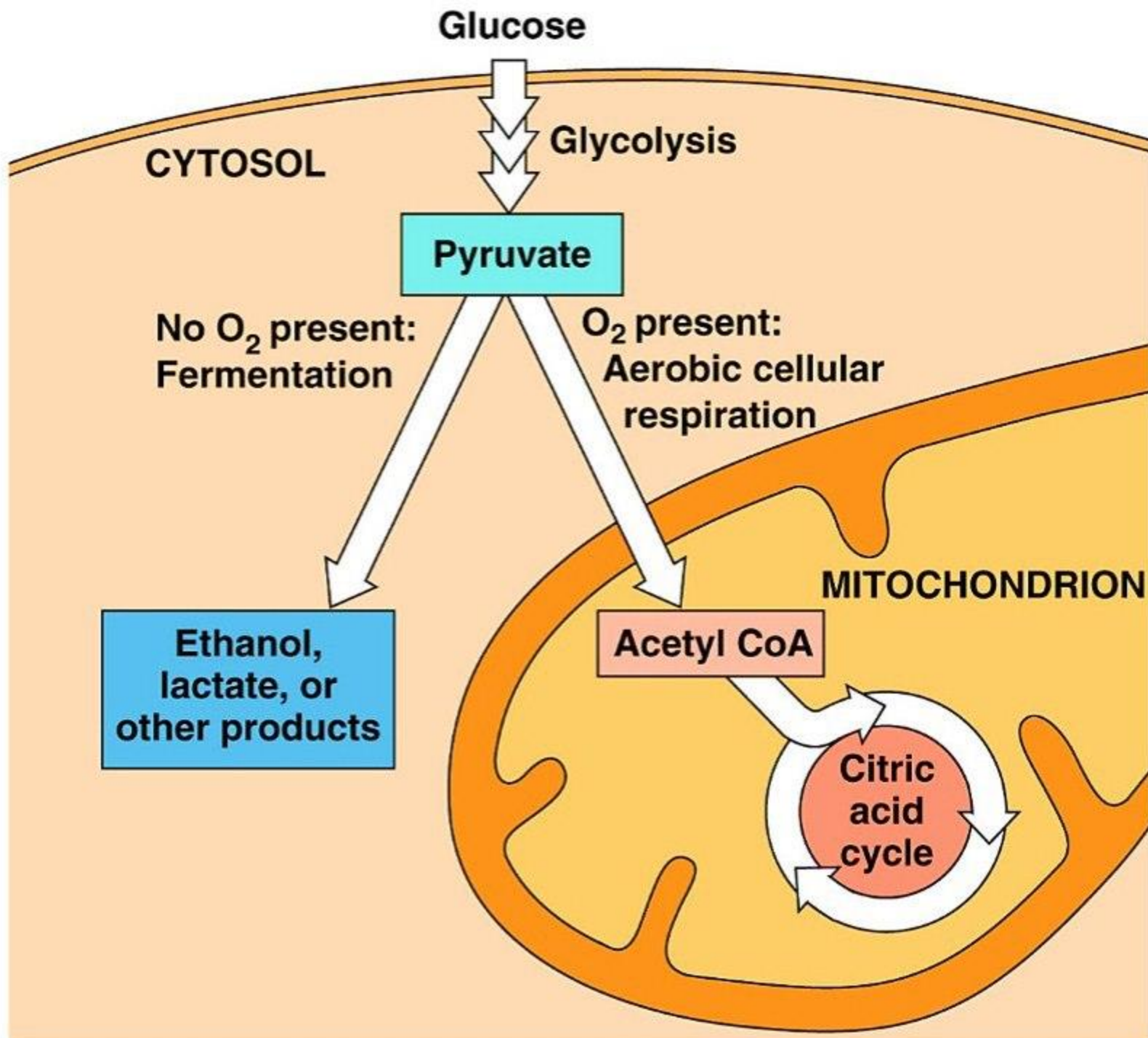
KREBS CYCLE

CITRIC ACID CYCLE

TRICARBOXYLIC ACID CYCLE

TCA CYCLE

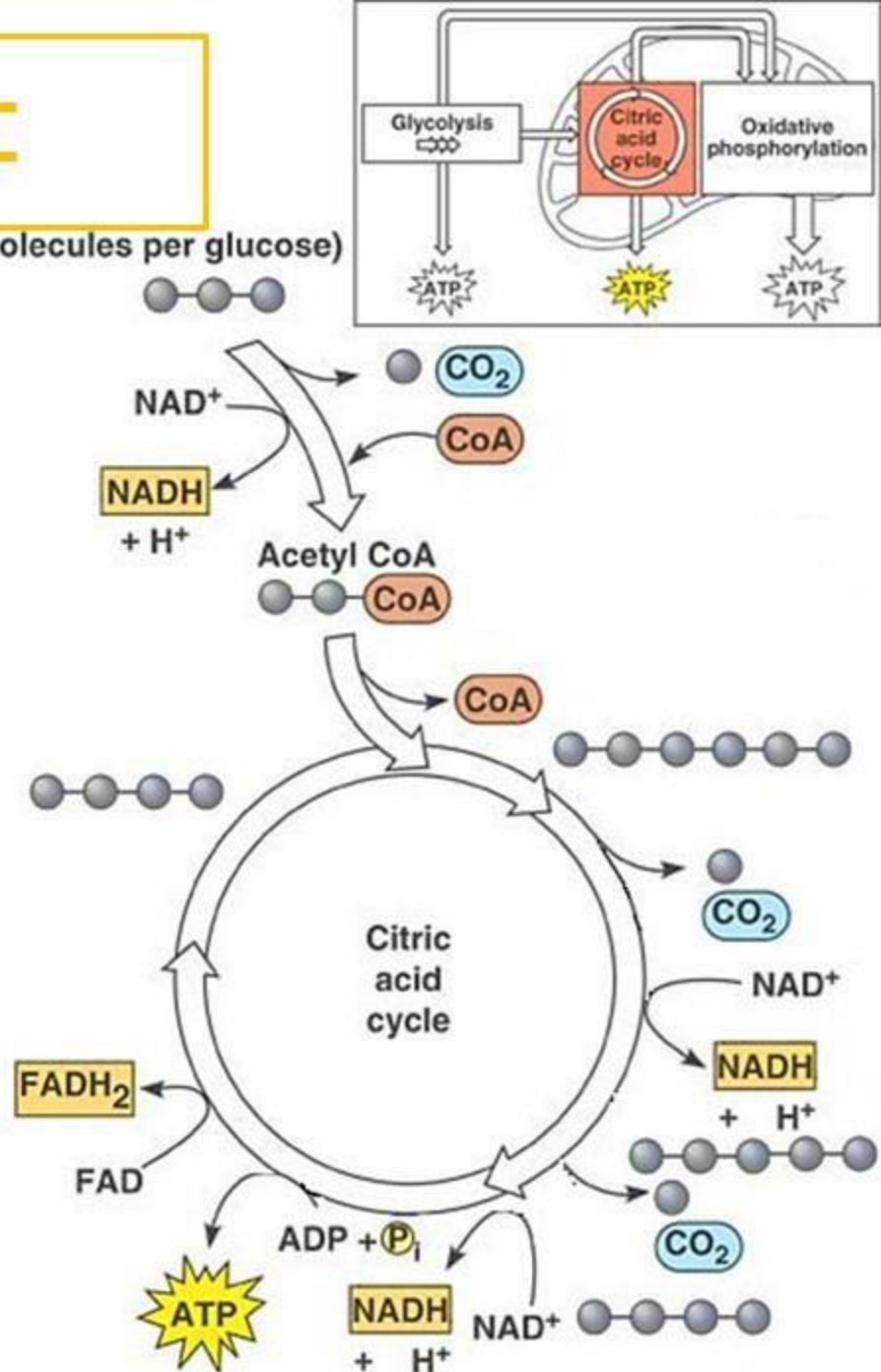
ขั้นตอนที่ 3 วัฏจักรเครบส์



KREBS CYCLE

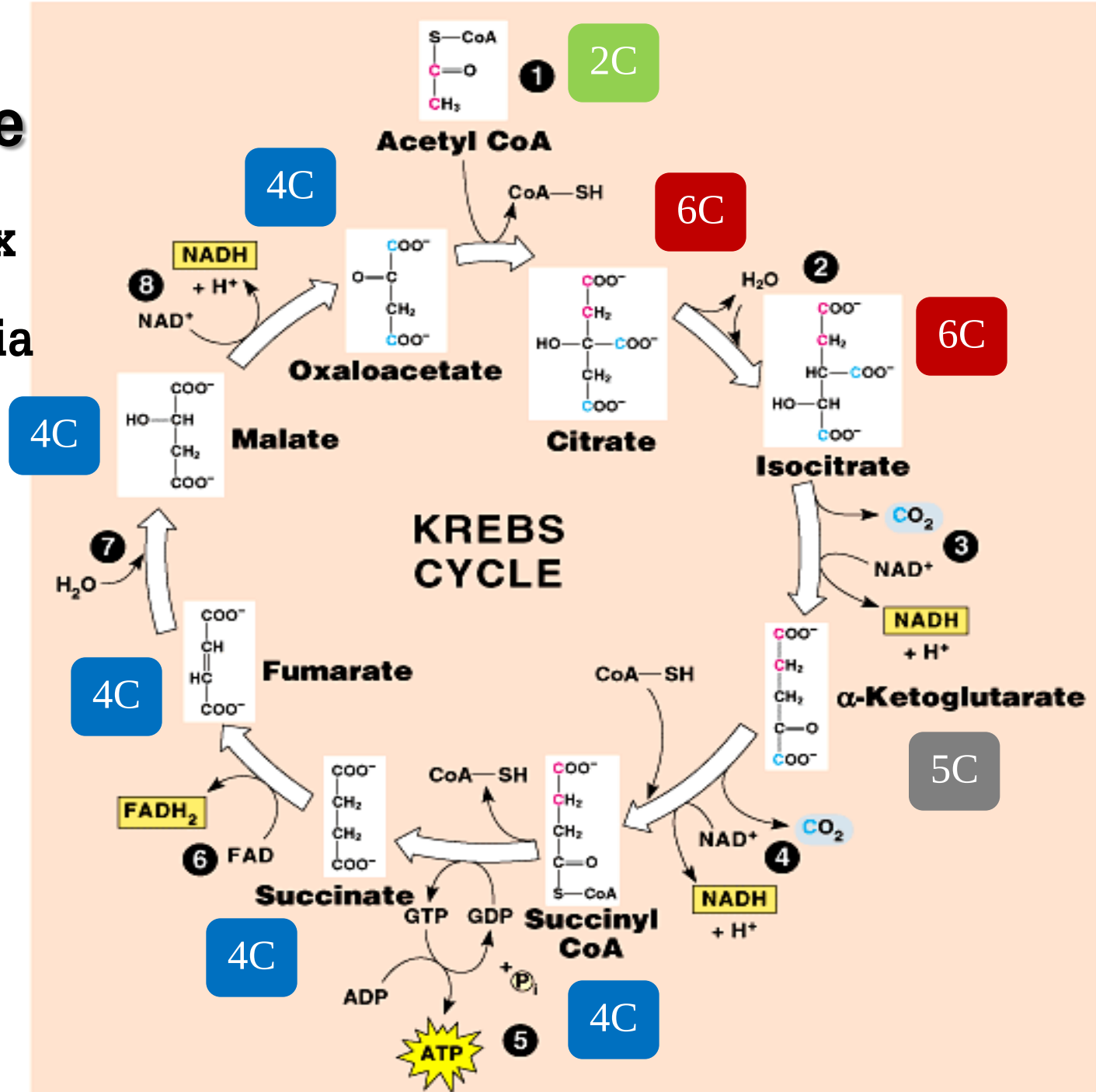
- เกิดในเกิดใน matrix ของ mitochondria
- C ทุกอะตอมกลายเป็น CO_2
- สารต่างๆที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน สามารถนำไปสร้างสารอื่นๆได้

2 molecules per glucose)

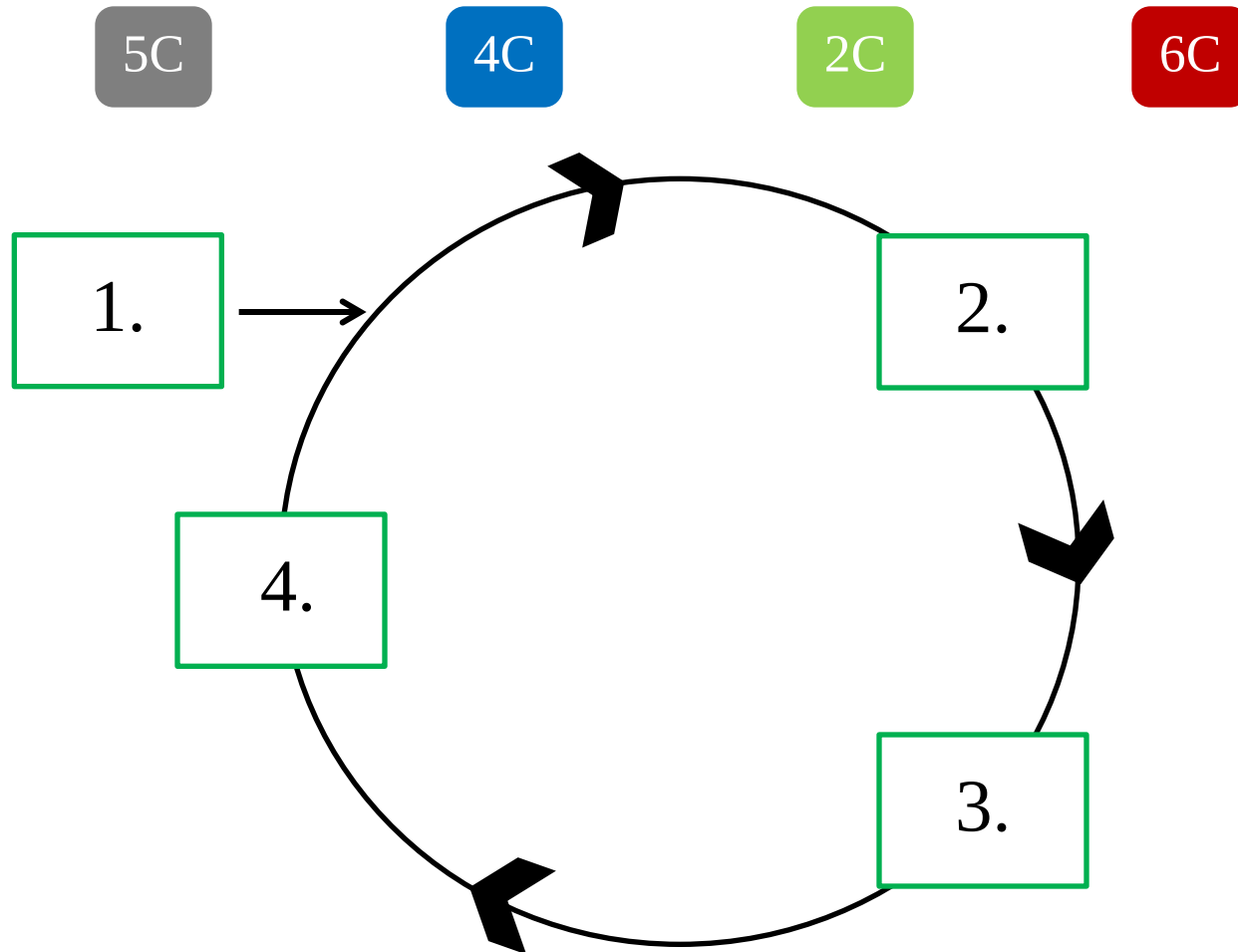


Krebs cycle

เกิดขึ้นที่ matrix
ใน mitochondria



ให้นักเรียนจัดเรียงจำนวน C อะตอมที่เกิดขึ้นใน Krebs Cycle



สรุป Krebs Cycle

สารตั้งต้น = แอซิติลโคเอนไซม์ เอ (C_2) 2 โมเลกุล

= กรดออกซาโลแอสिटิก (C_4) 2 โมเลกุล

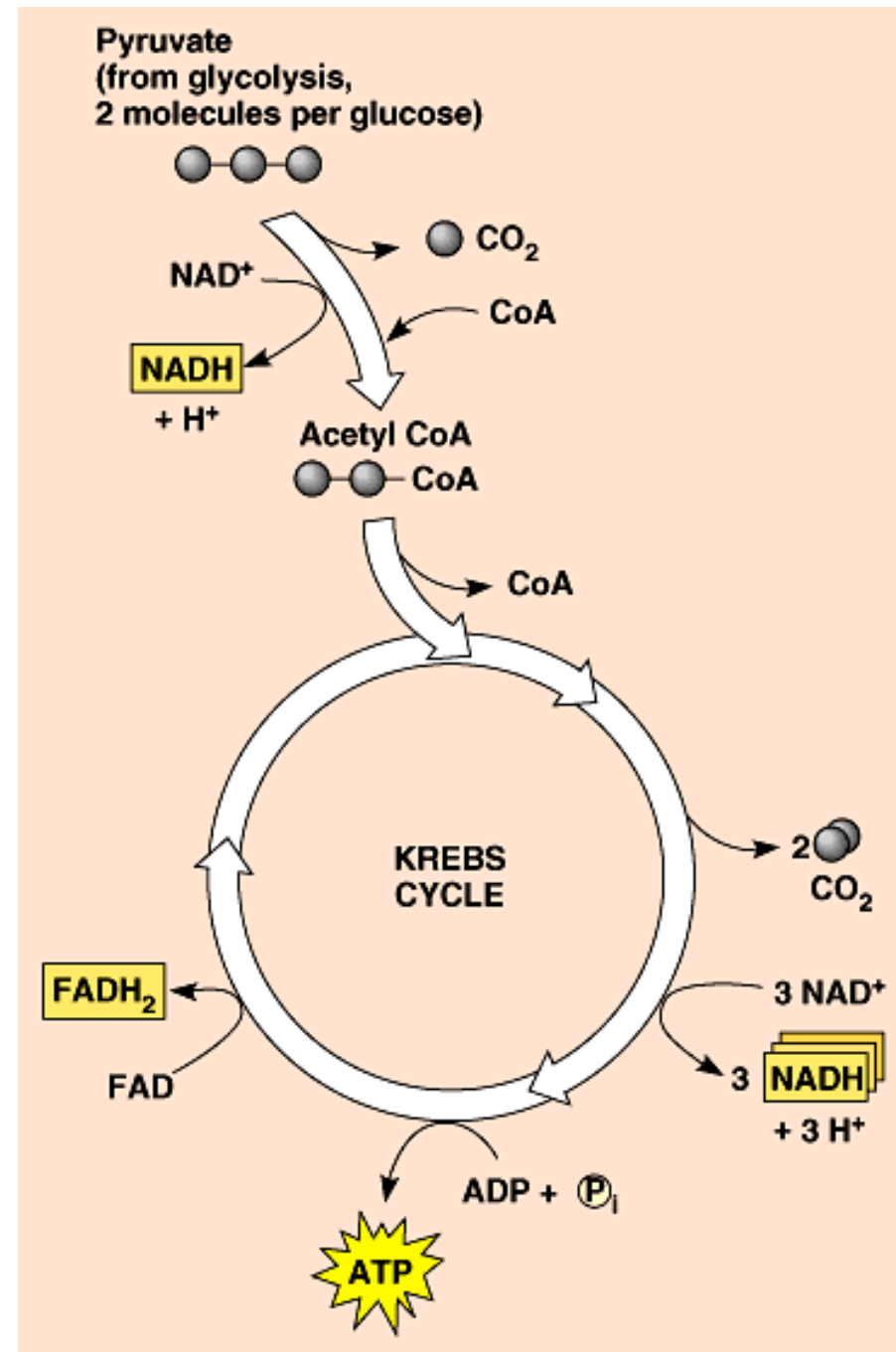
= น้ำ (H_2O) 6 โมเลกุล

ผลผลิต = CO_2 4 โมเลกุล

= $NADH$ 6 โมเลกุล

= $FADH_2$ 2 โมเลกุล

พลังงานที่ปลดปล่อย = 2 ATP



ในวัฏจักรเครบส์มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นไปตามข้อใด

1. $2C \rightarrow 4C \rightarrow 6C$

2. $4C \rightarrow 5C \rightarrow 6C \rightarrow 2C$

3. $4C \rightarrow 6C \rightarrow 5C \rightarrow 2C$

4. $2C \rightarrow 6C \rightarrow 5C \rightarrow 4C$

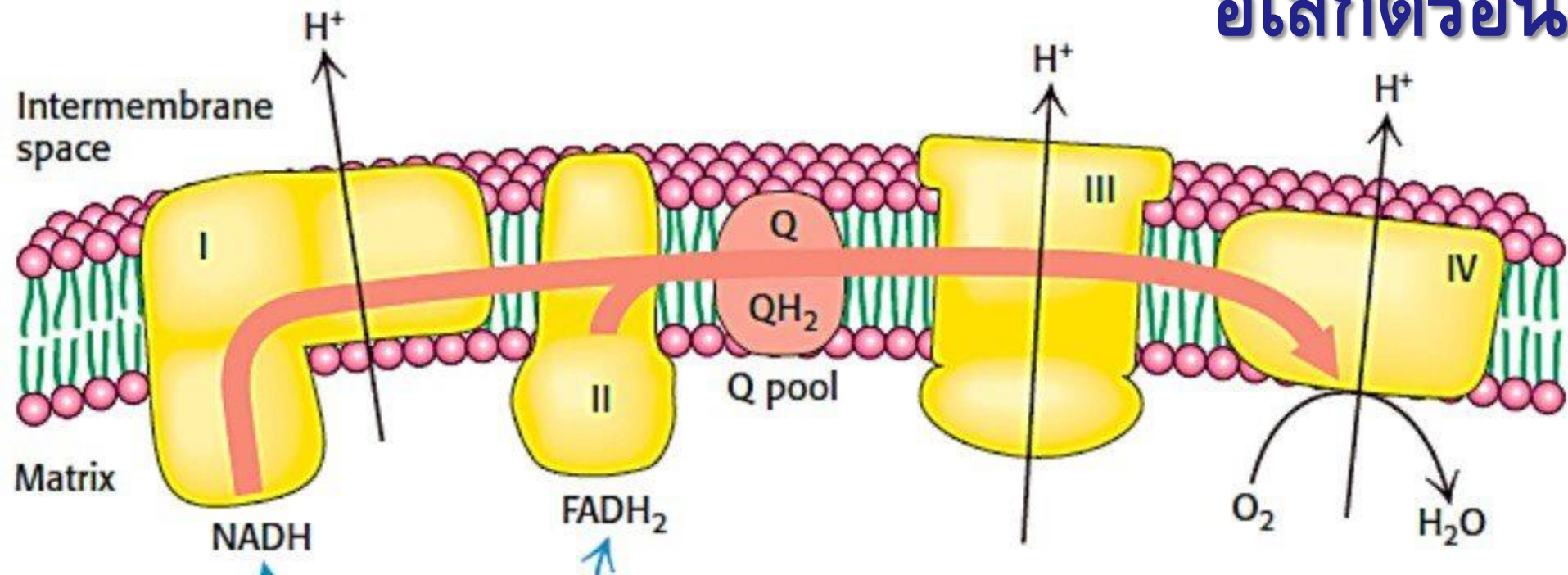
Electron transport chain

ขั้นตอนที่ 4

- Oxidative Phosphorylation
- เกิดที่ Inner membrane ของ Mitochondria
- เป็นปฏิกิริยาของ NADH และ FADH_2

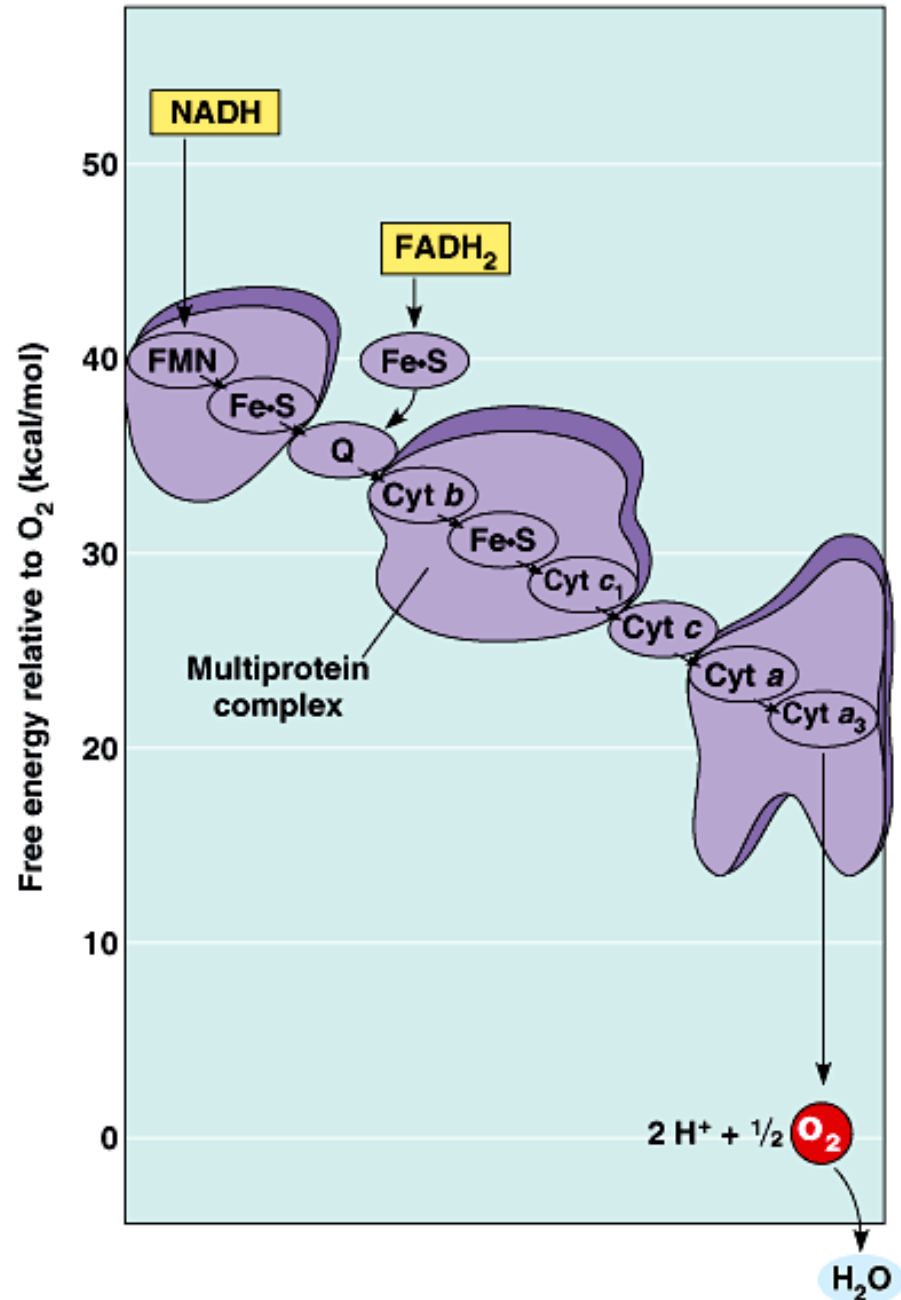
การถ่ายทอด

อิเล็กตรอน

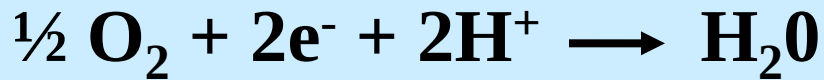


The pathway of electron transport

- ETC ประกอบด้วย ตัวรับ e^- ที่อยู่ใน inner mitochondrial membrane
- ตัวรับ e^- จะรับเฉพาะ e^-
- H^+ จะถูกปล่อยออกมาและถูกส่งออกไปที่ intermembrane space

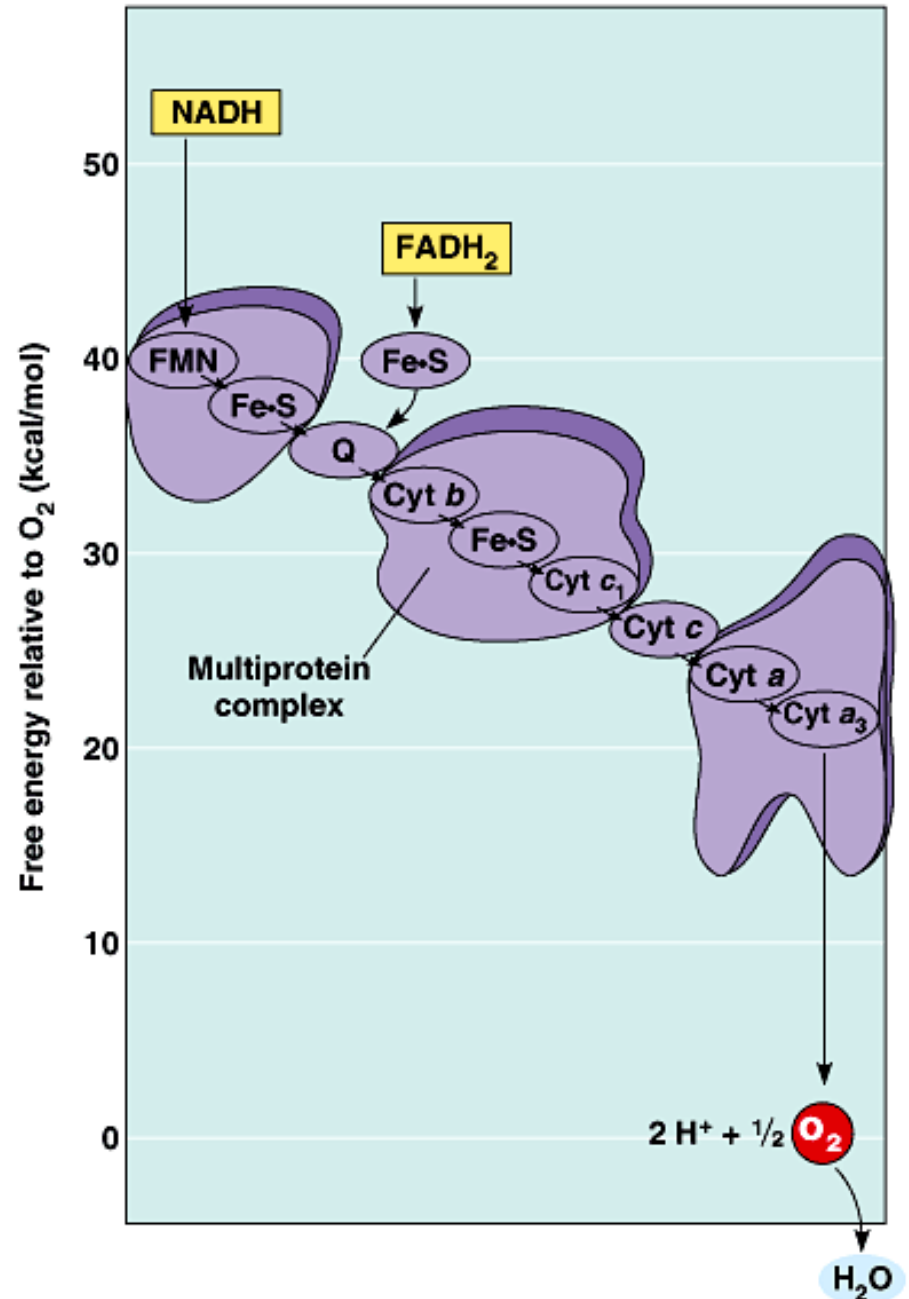


➤ O_2 จะเป็นตัวรับ e^- ตัวสุดท้าย
แล้วรวมกับ H^+ กลายเป็น H_2O



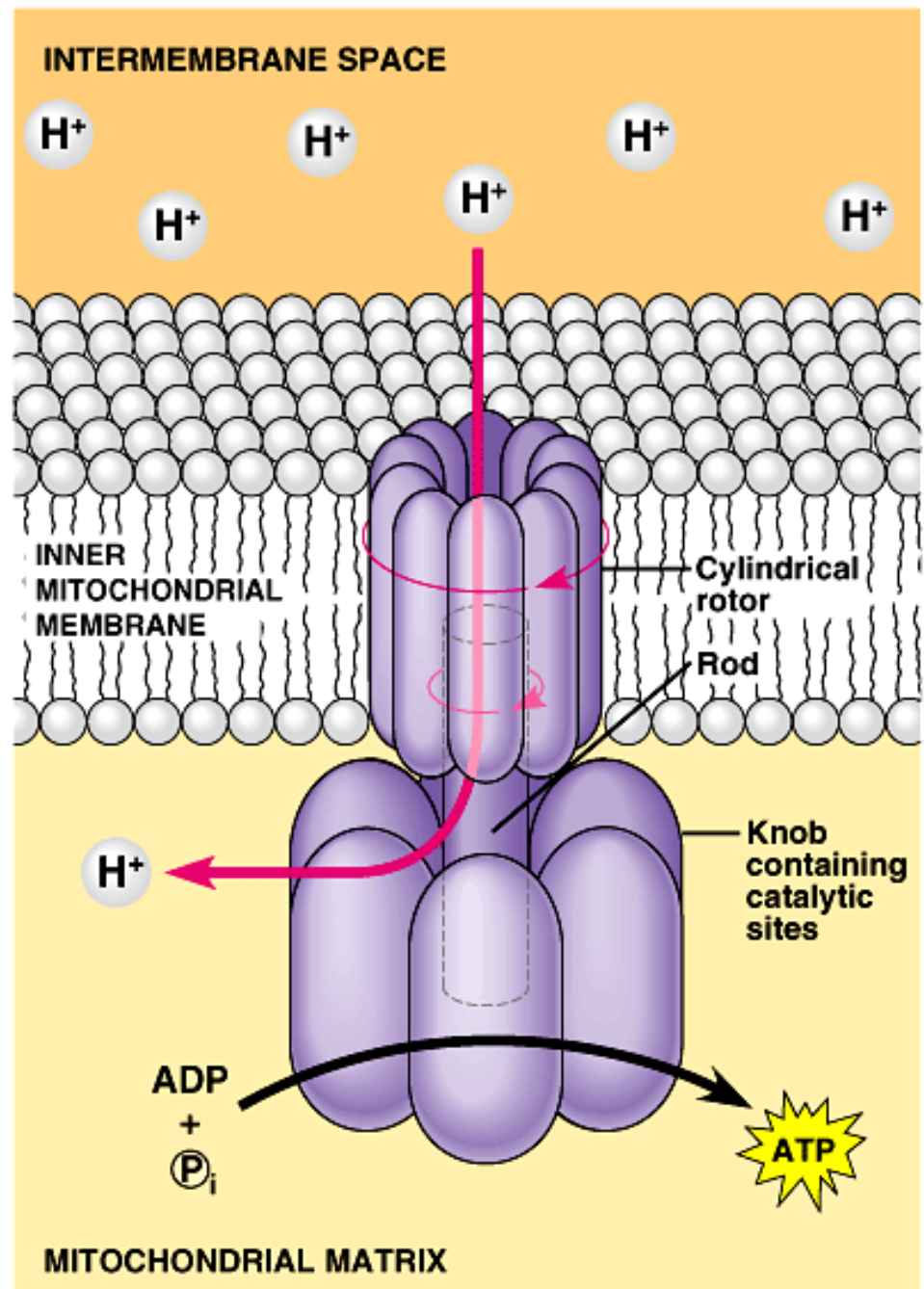
สรุปว่า

➤ ETC ไม่ทำให้สร้าง ATP
โดยตรง แต่ทำให้เกิด H^+
gradient ที่ผนังด้านในของ
mitochondria ซึ่งทำให้สะสม
พลังงานมากพอที่จะทำให้เกิด
ATP

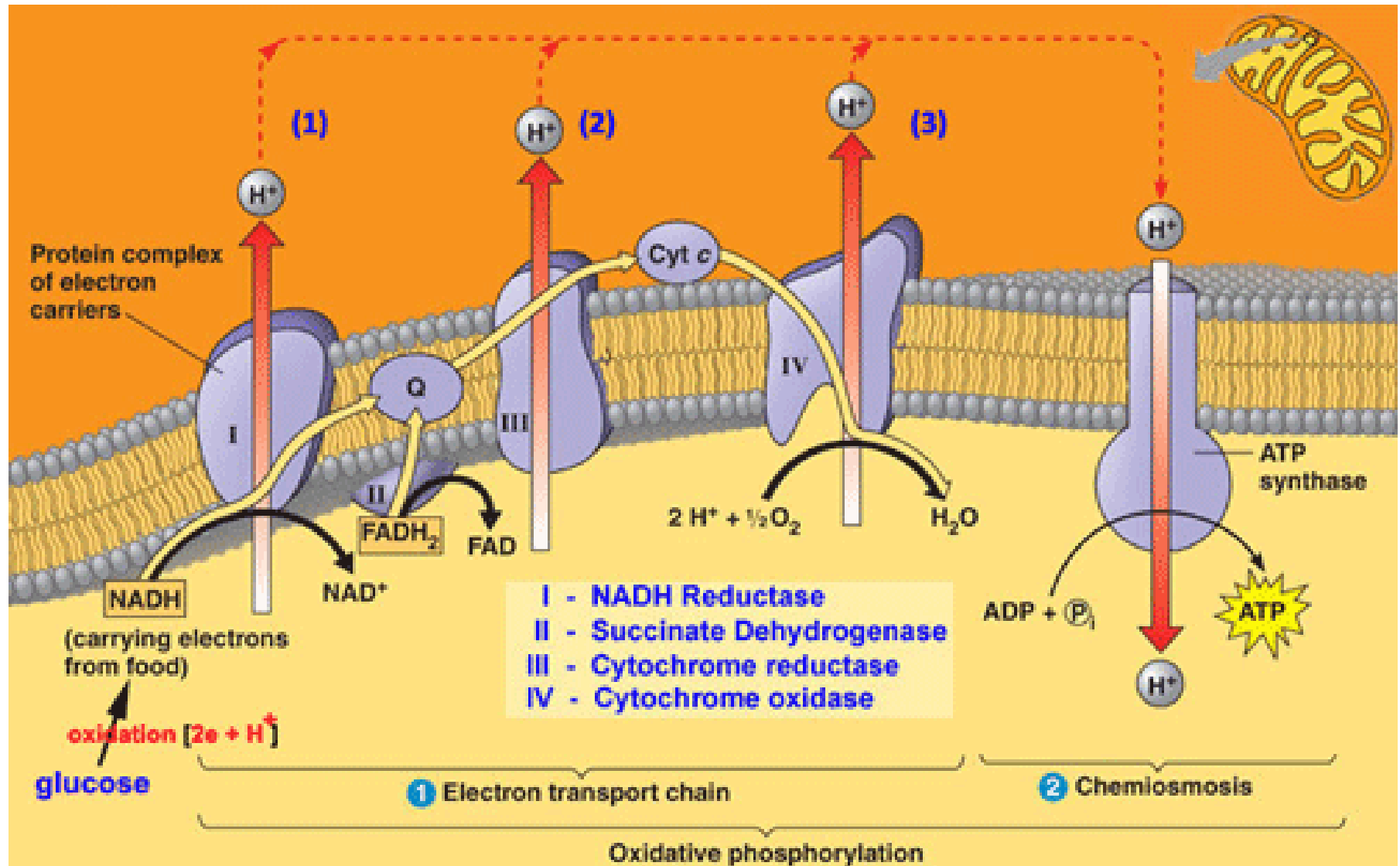


➤ **ATP synthase** เป็น
protein complex
ทำหน้าที่สังเคราะห์ **ATP** ซึ่งจะ
ทำงานได้โดยการไหลผ่านของ
H⁺

➤ การสร้าง **ATP** แบบนี้
เรียกว่า **Chemiosmotic**
ATP synthesis

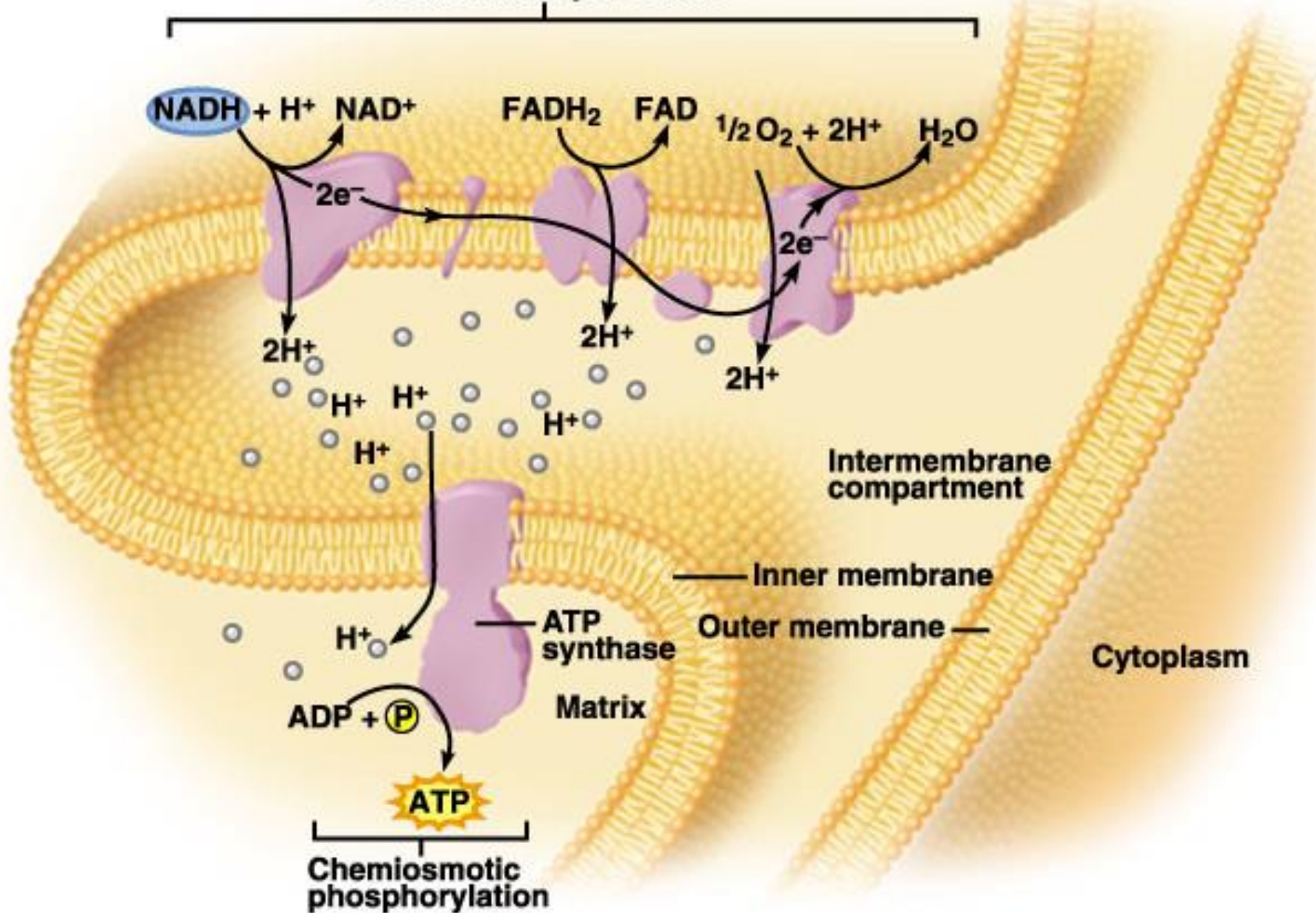


Electron transport chain and oxidative phosphorylation



Electron transport chain

Electron transport chain



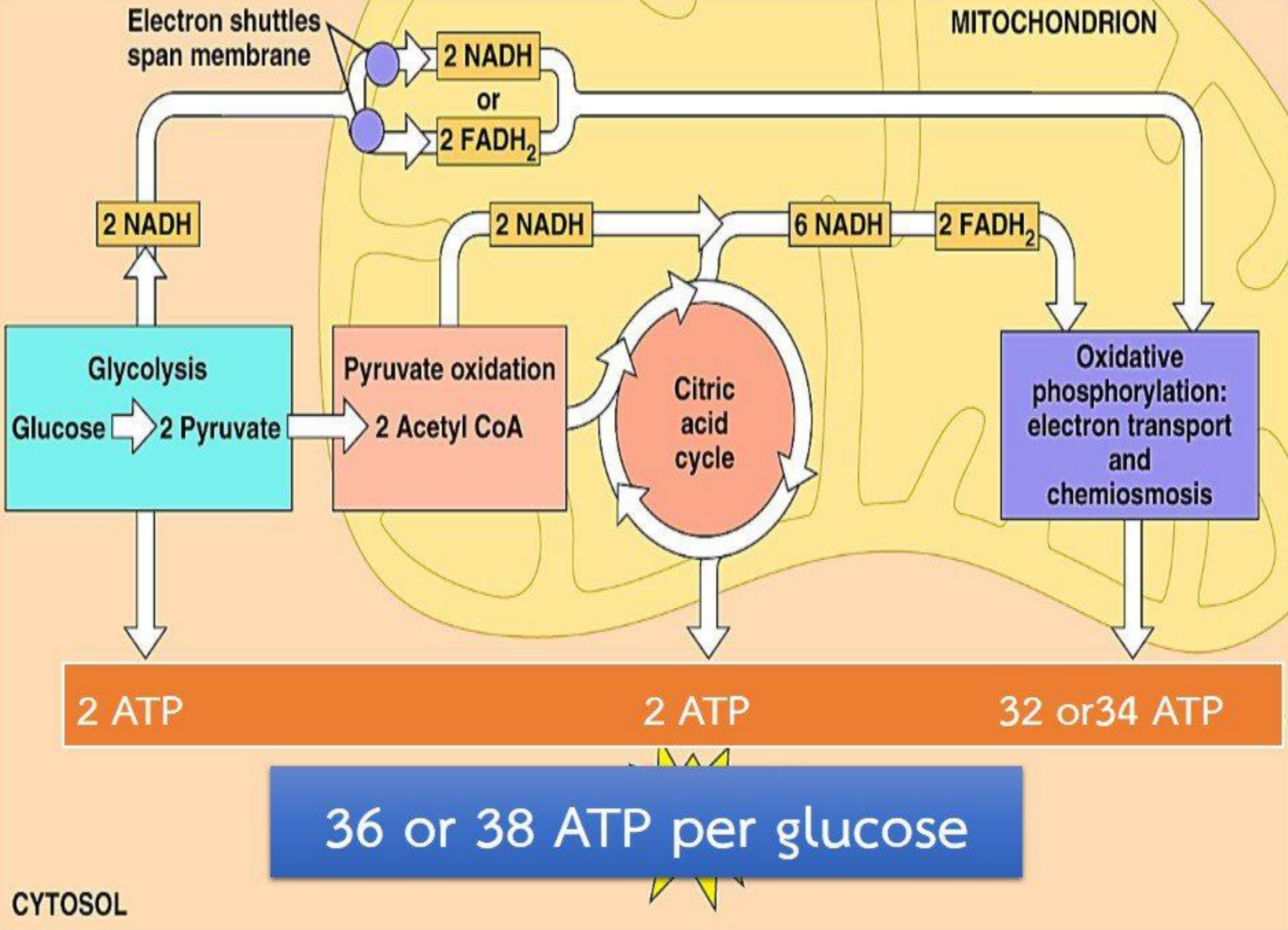
สรุป cell respiration



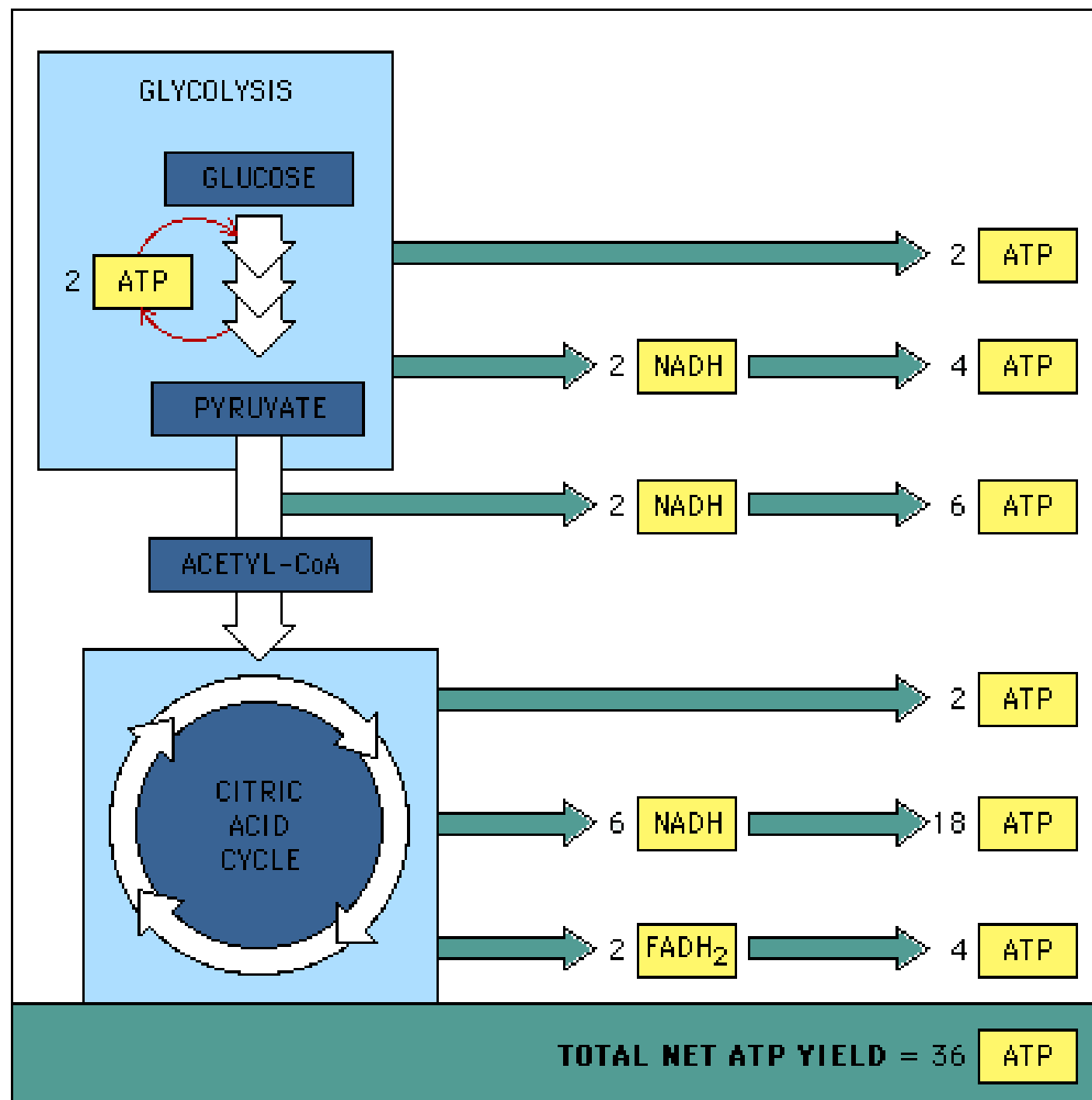
- ได้ 36 – 38 ATP
 - 263 kcals
- 36 ATP = เซลล์กล้ามเนื้อลาย
สมอง
 - 38 ATP = เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ
เซลล์ตับ

Electron shuttles span membrane

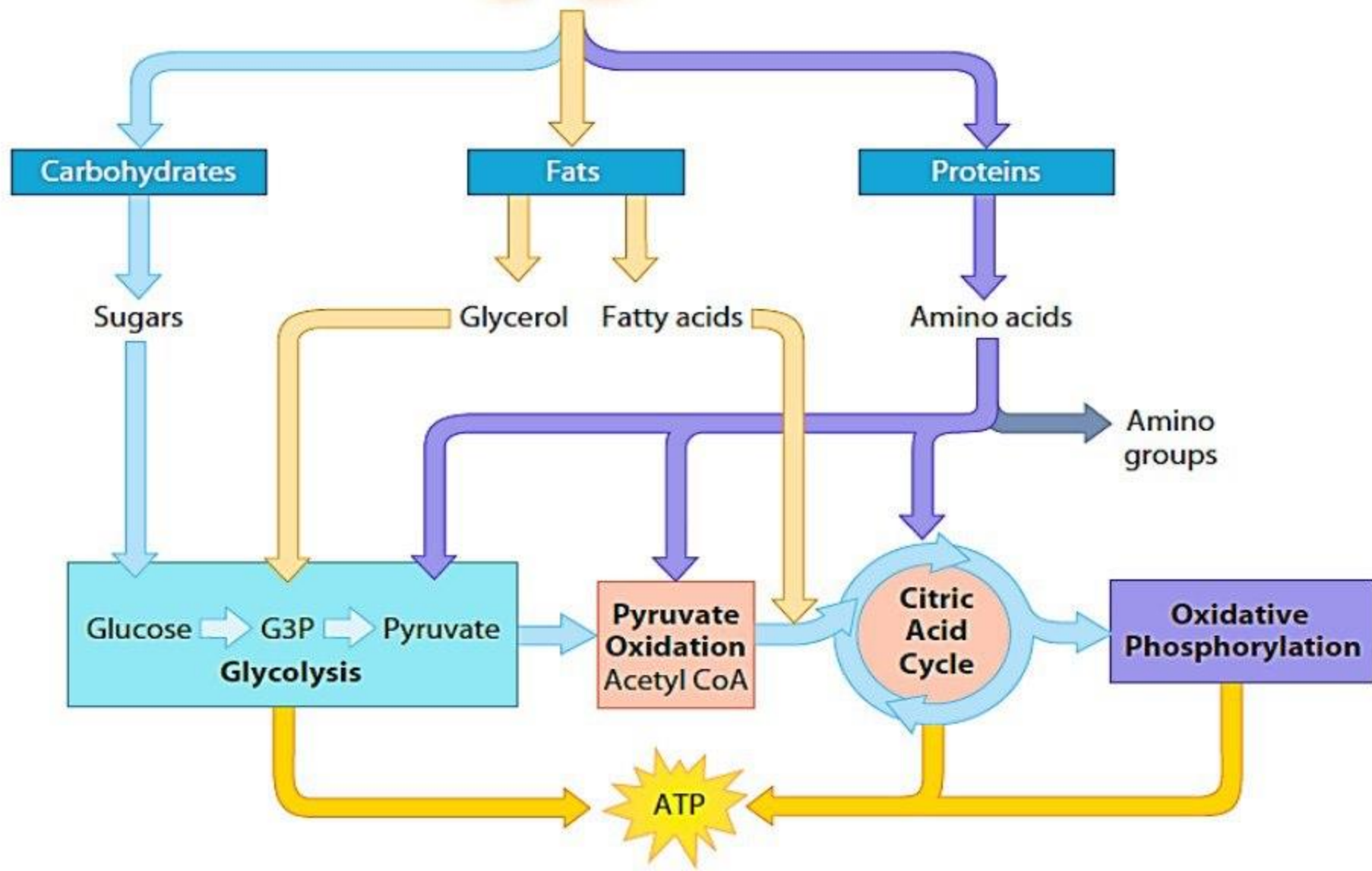
MITOCHONDRION



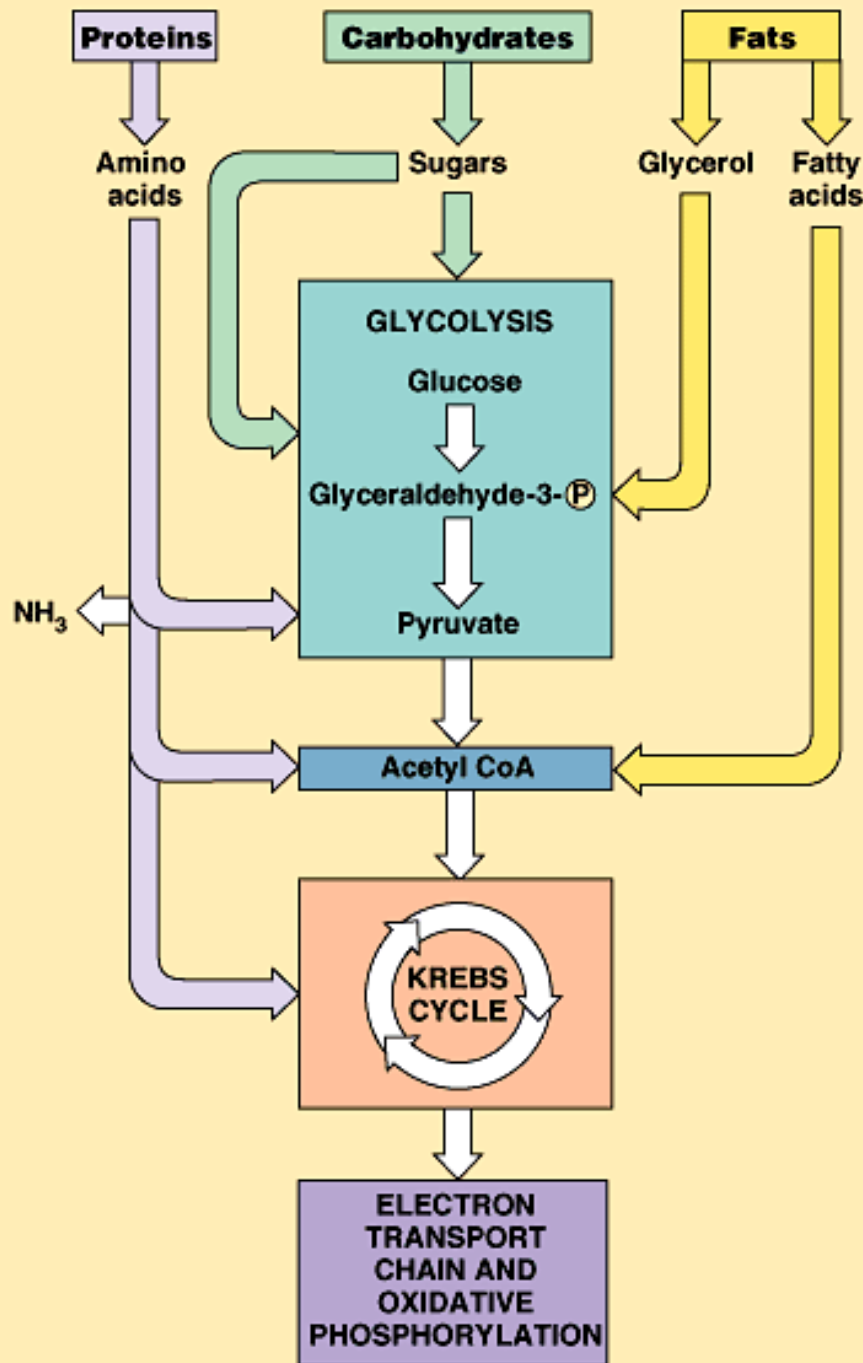
CYTOSOL



Food, such as
peanuts

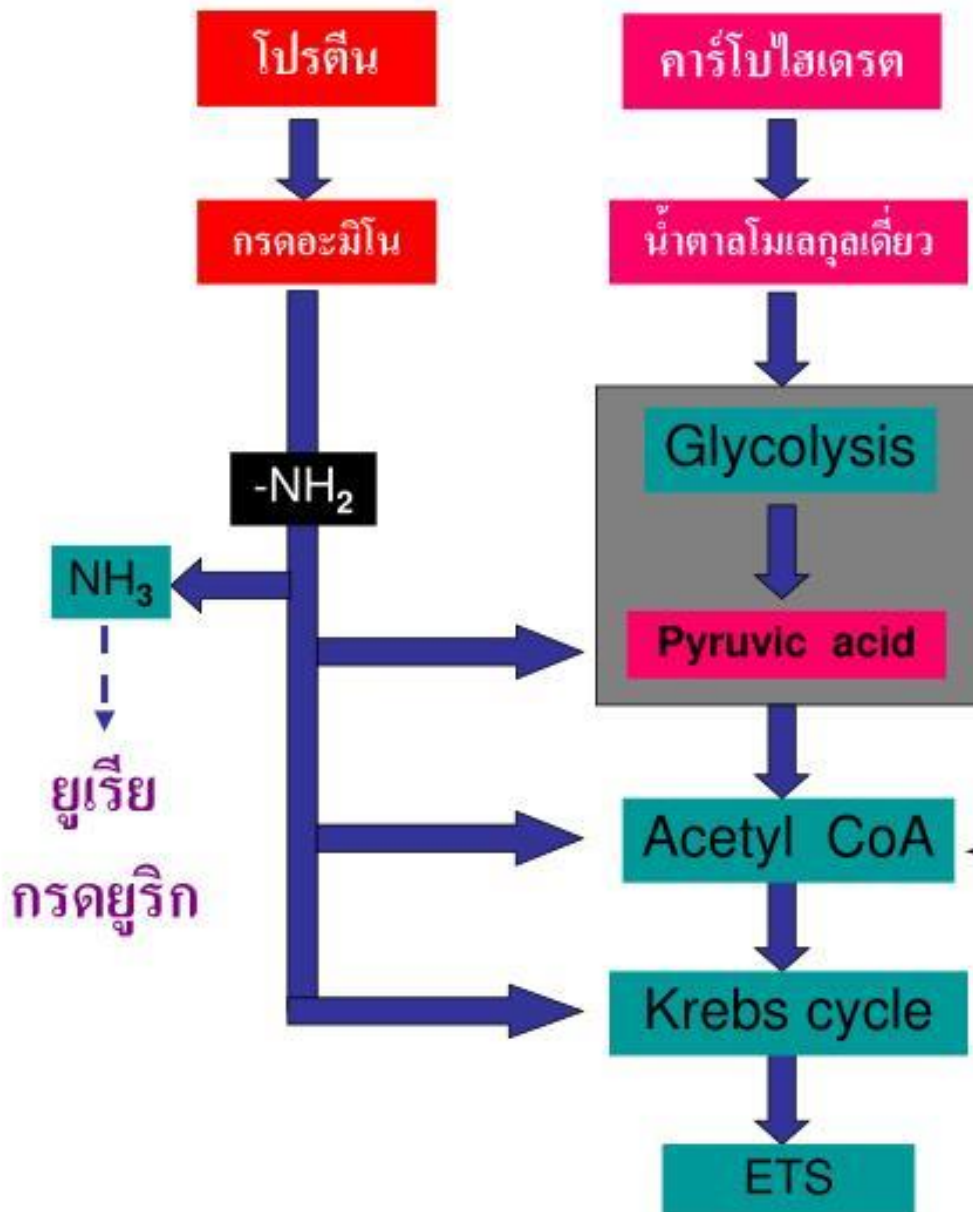


The catabolism of various food molecules



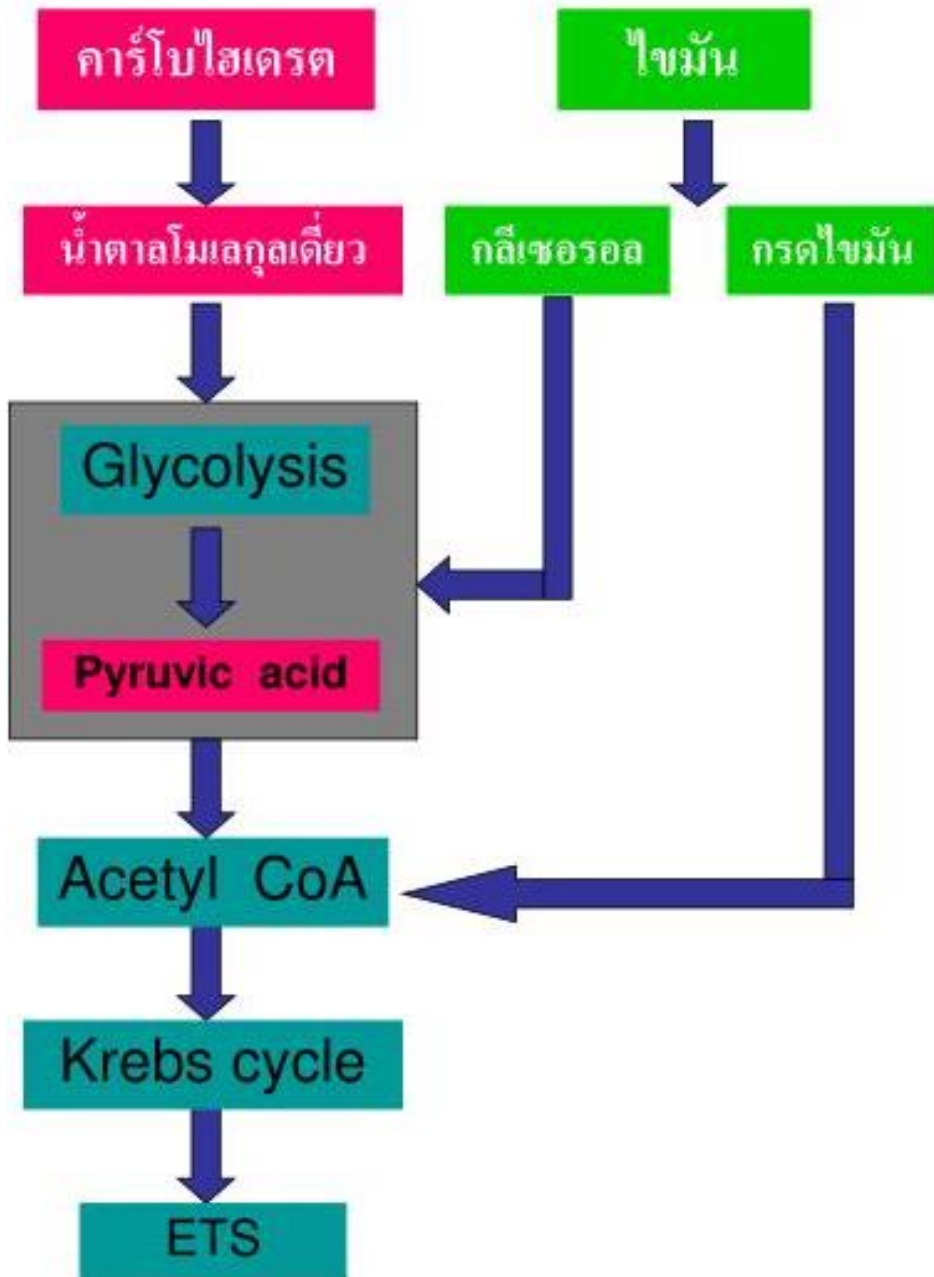
ร่างกายของเราได้พลังงาน
ส่วนใหญ่จาก fats,
proteins, disaccharides
และ polysaccharides ที่กิน
เข้าไป โมเลกุลเหล่านี้ถูกย่อย
ให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลงด้วย
enzymes ซึ่งสามารถจะเข้า
ไปในกระบวนการ
glycolysis หรือ Kreb's
cycle ได้

การสลายโปรตีน



Amino acid ถูกดึง หมู่อะมิโน ($-\text{NH}_2$) รวมกับ H ได้เป็นแอมโมเนีย (NH_3) ร่างกายกำจัดทิ้งในรูปของ **ยูเรีย / กรดยูริก** ส่วนที่เหลือของ กรดอะมิโนจะเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก / แอซิติลโคเอนไซม์ เอ แล้วเข้าสู่

Krebs cycle



การสลายลิพิด

➤ **กลีเซอรอล** เปลี่ยนไปเป็น

ฟอสโฟกลีเซอรอลดีไฮด์ (PGAL) ใช้ 1 ATP ได้ 1 NADH แล้วเข้าสู่ ไกลโคลิซิส

➤ **กรดไขมัน** ในไซโทซอลเข้าสู่

ไมโทคอนเดรีย มีการตัดโมเลกุลของกรดไขมันออกครึ่งละ 2 C เกิดเป็นแอซิทิลโคเอนไซม์ เอ , NADH, FADH_2 อย่างละ 1 โมเลกุล แล้วเข้าสู่

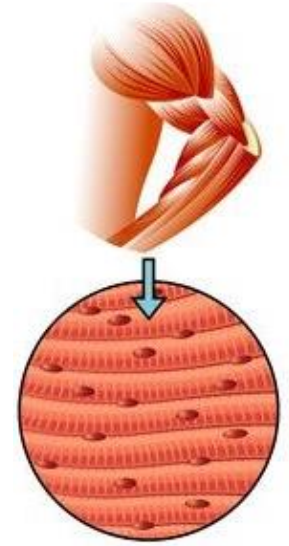
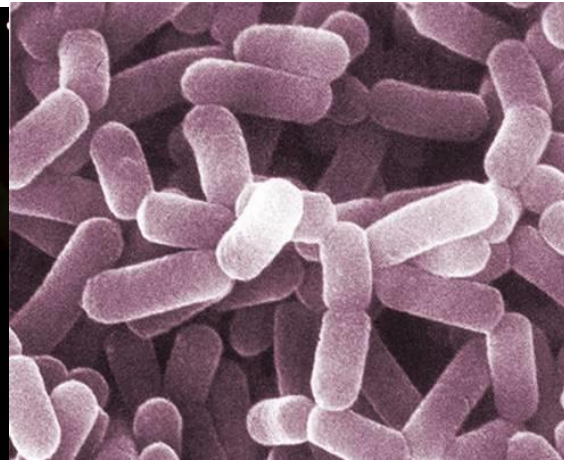
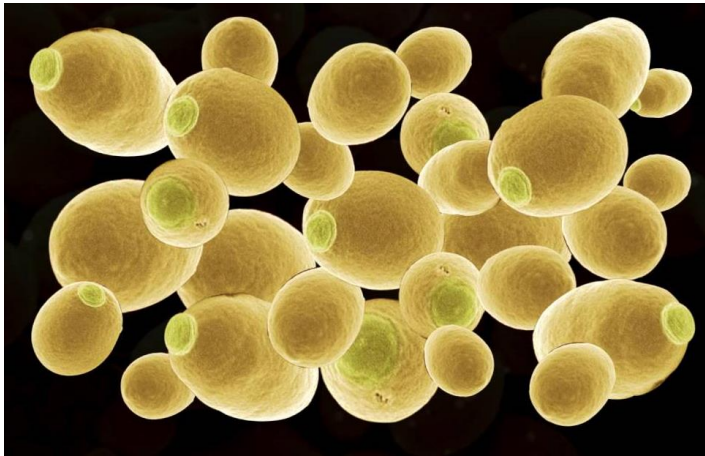
Krebs cycle

การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน

Anaerobic Respiration



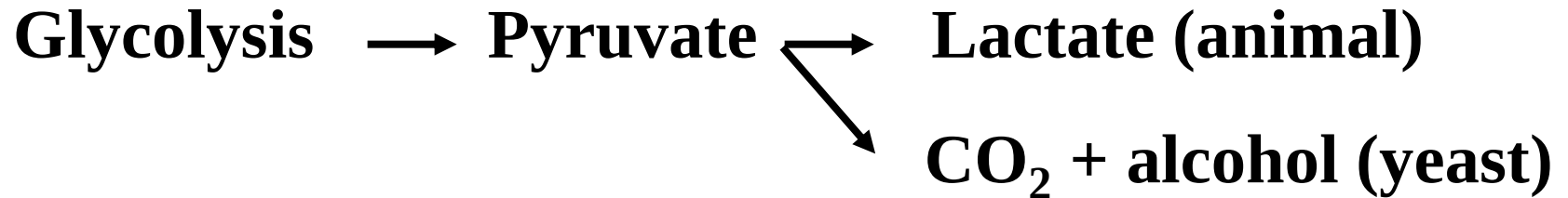
- แบคทีเรียบางชนิด , ยีสต์ , เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อลาย ได้พลังงาน
จาก**การสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน**



- NADH และ FADH_2 ไม่สามารถถ่ายทอด e^- ได้ จึงมีการสะสม
NADH และ FADH_2 มากขึ้น **เซลล์ขาดแคลน ATP**
- เซลล์มีการสร้าง ATP โดยทำให้ NADH เปลี่ยนไปเป็น NAD^+
เรียกกระบวนการนี้ว่า **“กระบวนการหมัก” (Fermentation)**

Fermentation

(Backup ATP production)

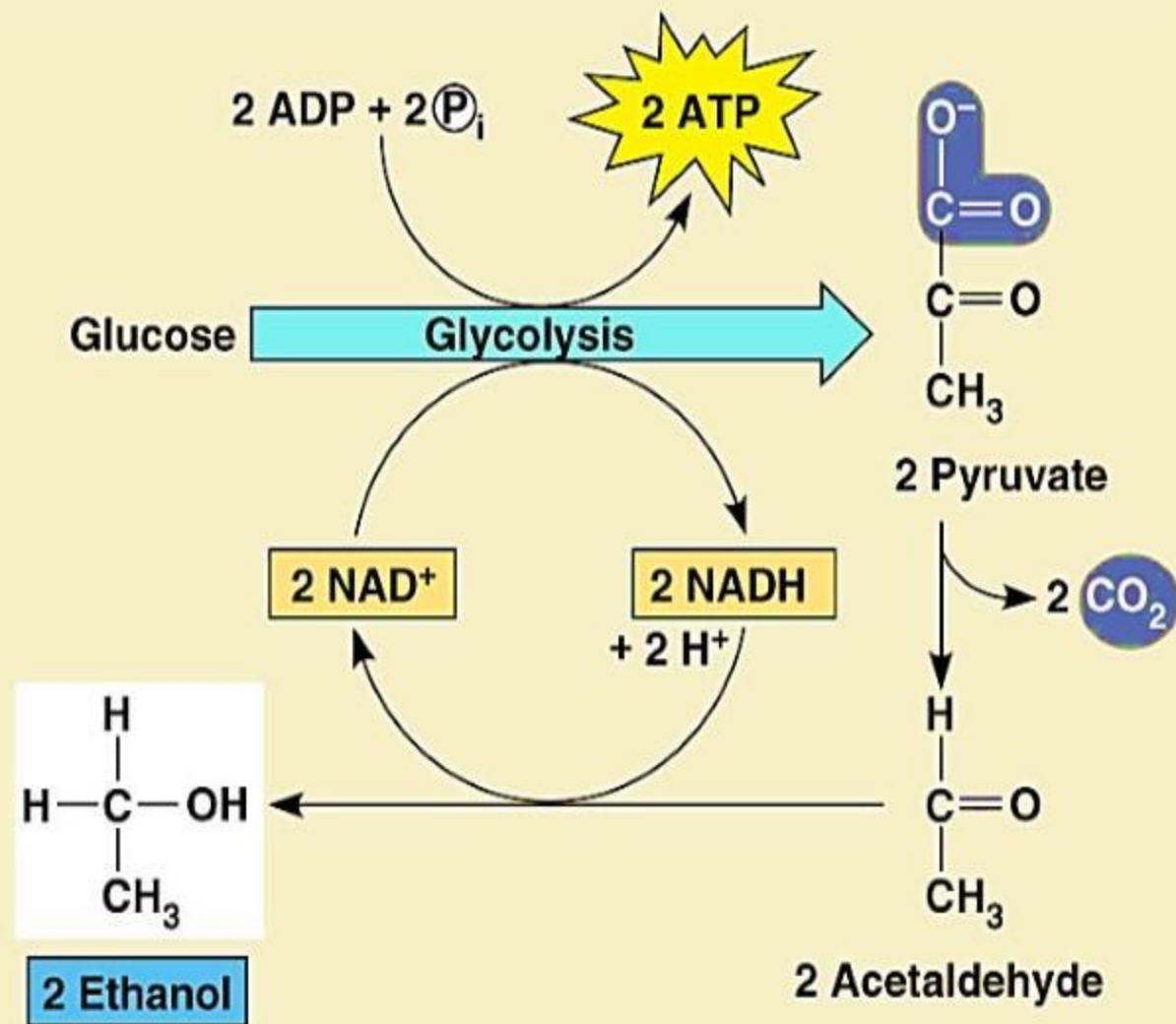


1. กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ (Alcoholic fermentation)

- พบได้ในเซลล์ของ **ยีสต์ (Yest)**
- กรดไพรูวิกเปลี่ยนเป็น **แอซิทัลดีไฮด์** โดยรับ e^- จาก NADH กลายเป็น **เอทิลแอลกอฮอล์ / เอทานอล**
- ผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ เช่น เบียร์ สุรา และไวน์ , ผลิตภัณฑ์ขนมปัง และข้าวหมาก เป็นต้น



Fermentation or Anaerobic glycolysis



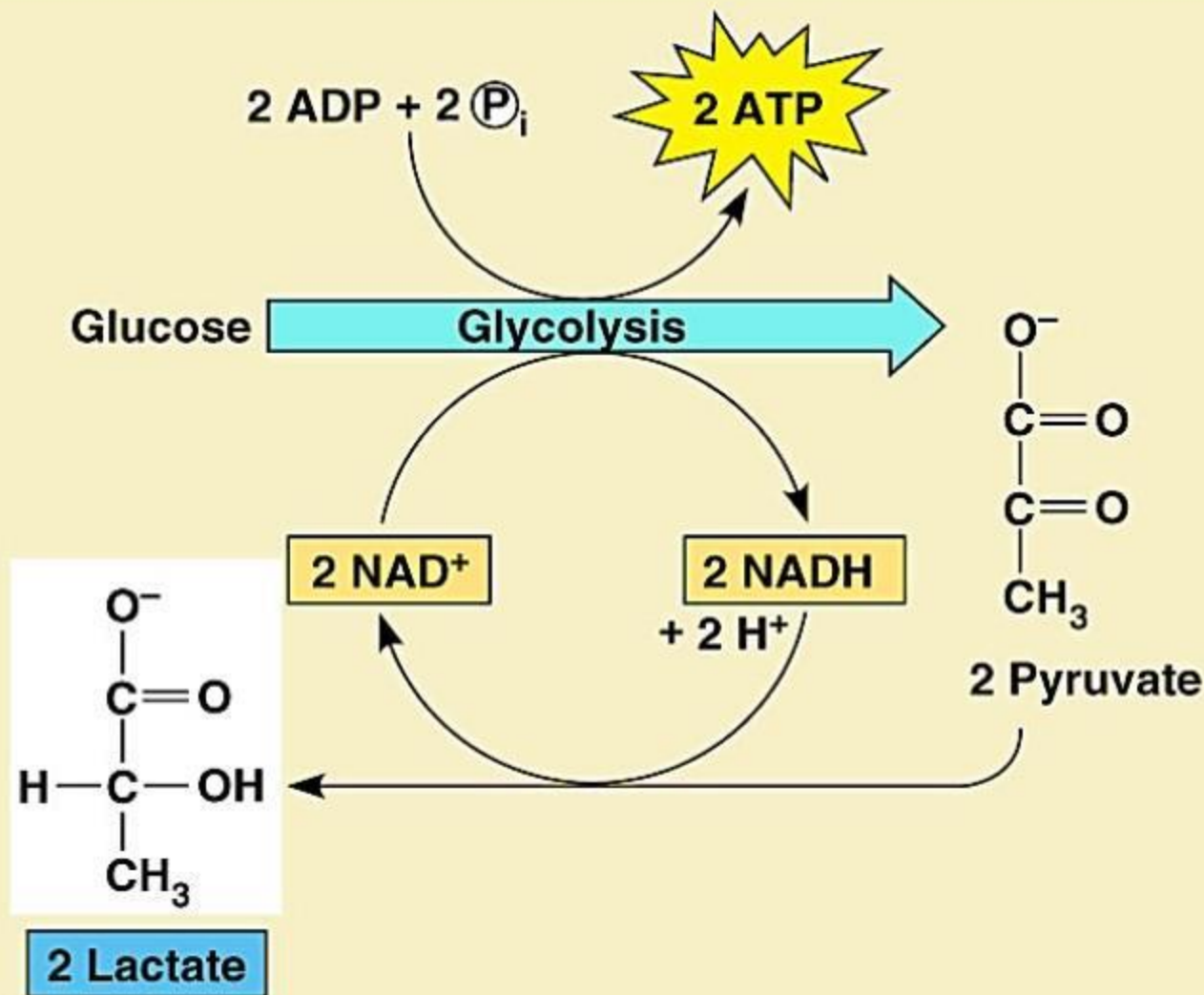
(a) Alcohol fermentation

2. กระบวนการหมักกรดแลคติก (Lactic acid fermentation)

- พบได้ใน**เซลล์กล้ามเนื้อลาย** พยาธิตัวตืด และแบคทีเรียบางชนิด
- กรดไพรูวิกเปลี่ยนเป็น**กรดแลคติก (lactic acid)** ลำเลียงออกจากเซลล์กล้ามเนื้อไปยังตับ เพื่อกลับไปเป็นกลูโคส
- ถ้ามีกรดแลคติกสะสมในกล้ามเนื้อปริมาณ**มาก** ทำให้**กล้ามเนื้อล้าและอ่อนแรง**



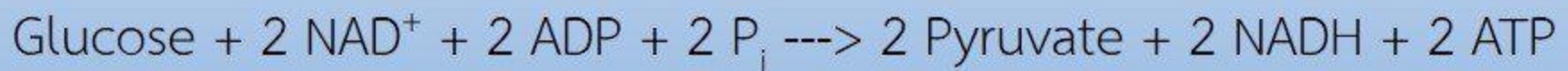
Fermentation or Anaerobic glycolysis



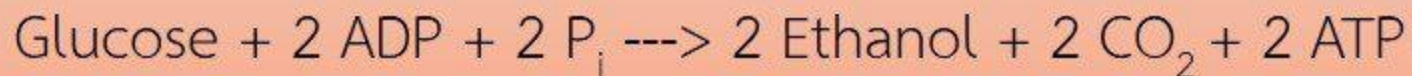
(b) Lactic acid fermentation

Fermentation or Anaerobic glycolysis

- **Glycolysis**



- **Alcohol fermentation**



- **Lactate fermentation**

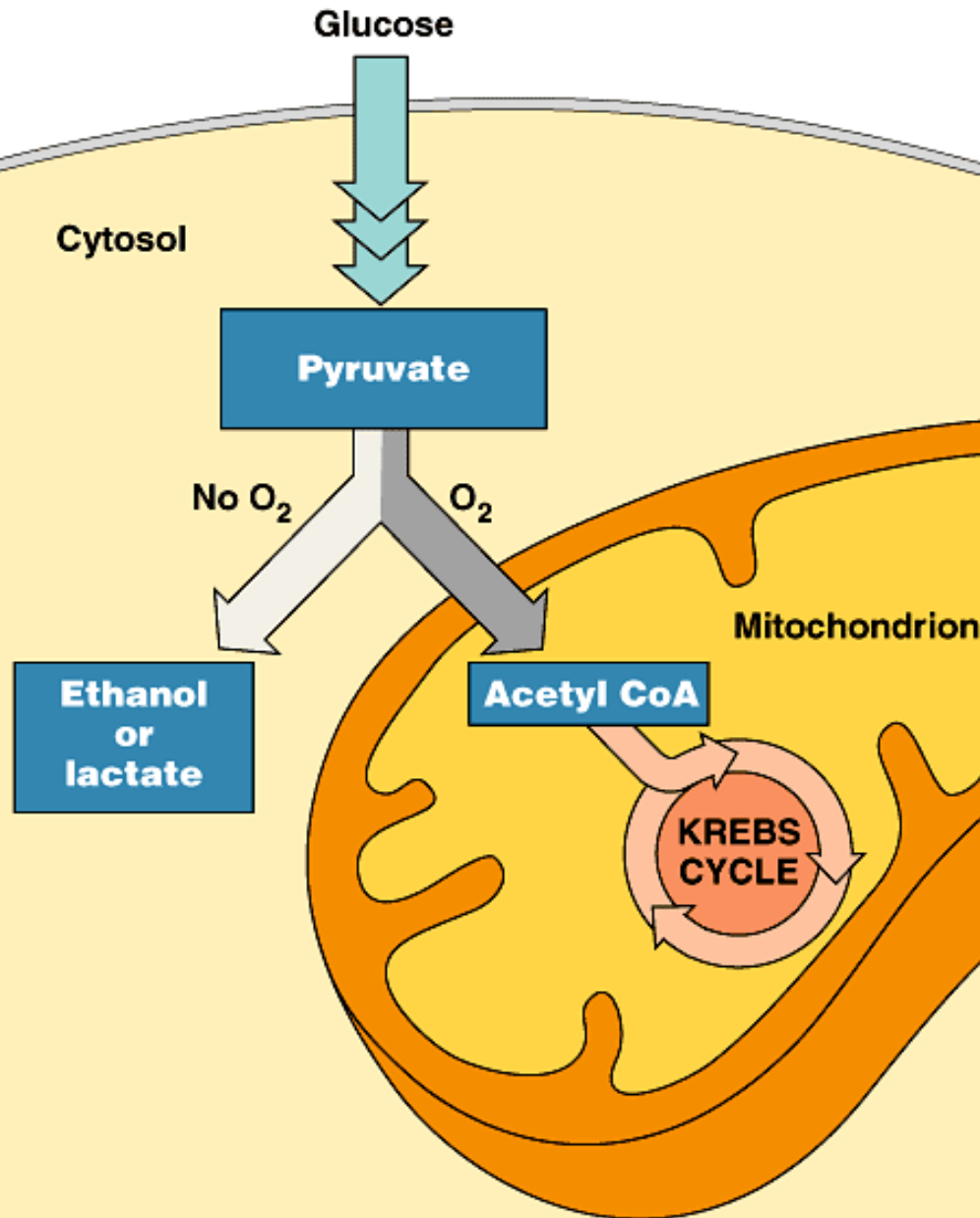


➤ ผลของ fermentation จะได้ 2 ATP

➤ NADH ที่ได้จาก fermentation จะถูกเปลี่ยนเป็น NAD^+ เพื่อใช้ใน glycolysis ได้



Pyruvate as a key junction in catabolism



ผลของ Glycolysis คือ **pyruvate** ซึ่งจะถูกเผาผลาญต่อไปด้วย fermentation หรือ aerobic cellular respiration ขึ้นกับว่าจะอยู่ในภาวะที่มี O_2 หรือไม่????

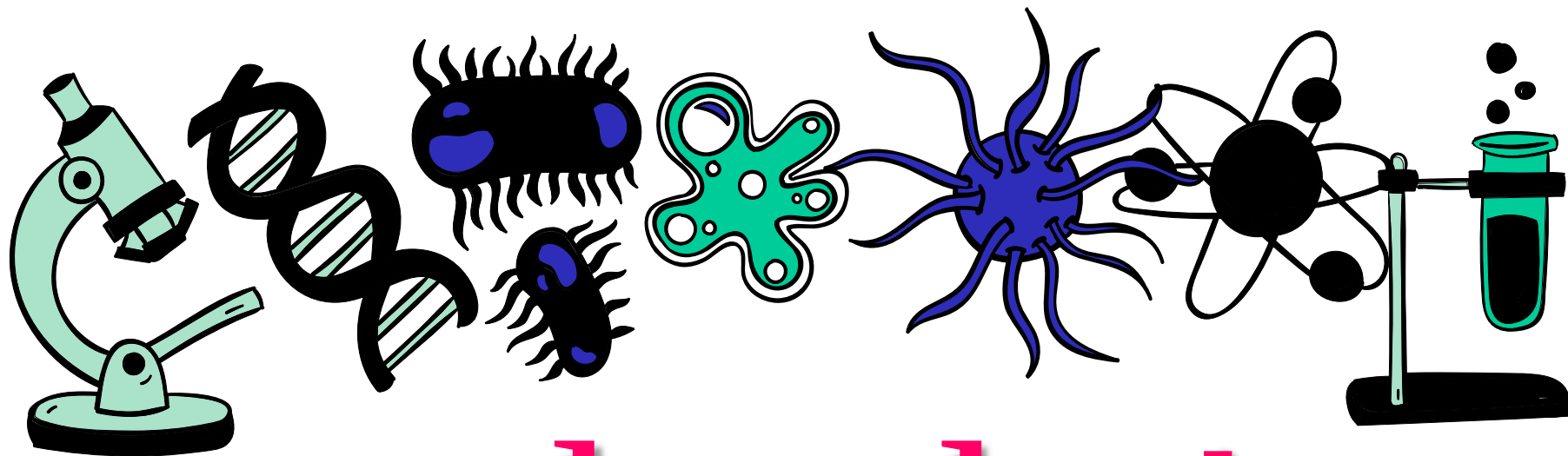
➤ แม้ว่า *fermentation* จะได้พลังงานน้อย แต่มีความสำคัญ เพราะทำให้ได้ *ATP* อย่างรวดเร็ว ในร่างกายของเรา *muscle cell* จะเกิด *fermentation* มาก ในขณะที่ร่างกายทำงานหนักในระยะเวลาสั้น เช่น การวิ่ง

➤ *fermentation* เป็นกระบวนการให้เกิด *ATP* และ *lactate* ใน *muscle cell* ในตอนแรก เมื่อมีจำนวนมากขึ้นทำให้เกิดอาการเมื่อยล้า เนื่องจากมีสภาพเป็นกรดมาก เมื่อหยุดวิ่ง ร่างกายหายใจแรงนำ O_2 มาใช้เพิ่มมากขึ้น *lactate* จะถูกส่งไปที่ตับเปลี่ยนเป็น *pyruvate*



สรุป Fermentation

- เป็นกระบวนการย่อยสลายอาหารเพื่อให้ได้ ATP โดยมีสารประกอบอินทรีย์ (organic compounds) เป็นตัวรับ e^-
- เป็น anaerobic process
- เป็นการย่อยสลาย glucose เพียงบางส่วน ผลที่ได้ คือ *lactate* (animal cell) หรือ $CO_2 + alcohol$ (yeast)
- ได้ *2 ATP*



Thanks!

