

E-生化学 (保健学科版 Ver1.07)  
(Ⅱ) 炭水化物(糖)の化学と代謝  
C. 解糖系

信州大学医学部保健学科検査技術科学専攻  
准教授 日高 宏哉

E-mail: [hiroyan@hsp.md.shinshu-u.ac.jp](mailto:hiroyan@hsp.md.shinshu-u.ac.jp)



## II. 炭水化物(糖)の化学と代謝

### C. 解糖系

#### Index (解糖系)

1. 解糖系とは
2. 解糖系の流れ
3. 解糖系の機能
4. 発酵(ピルビン酸の嫌氣的代謝)
5. 解糖系からクエン酸(TCA)代謝へ  
(Tea time) 乳酸と疲労



## 1. 解糖系とは？

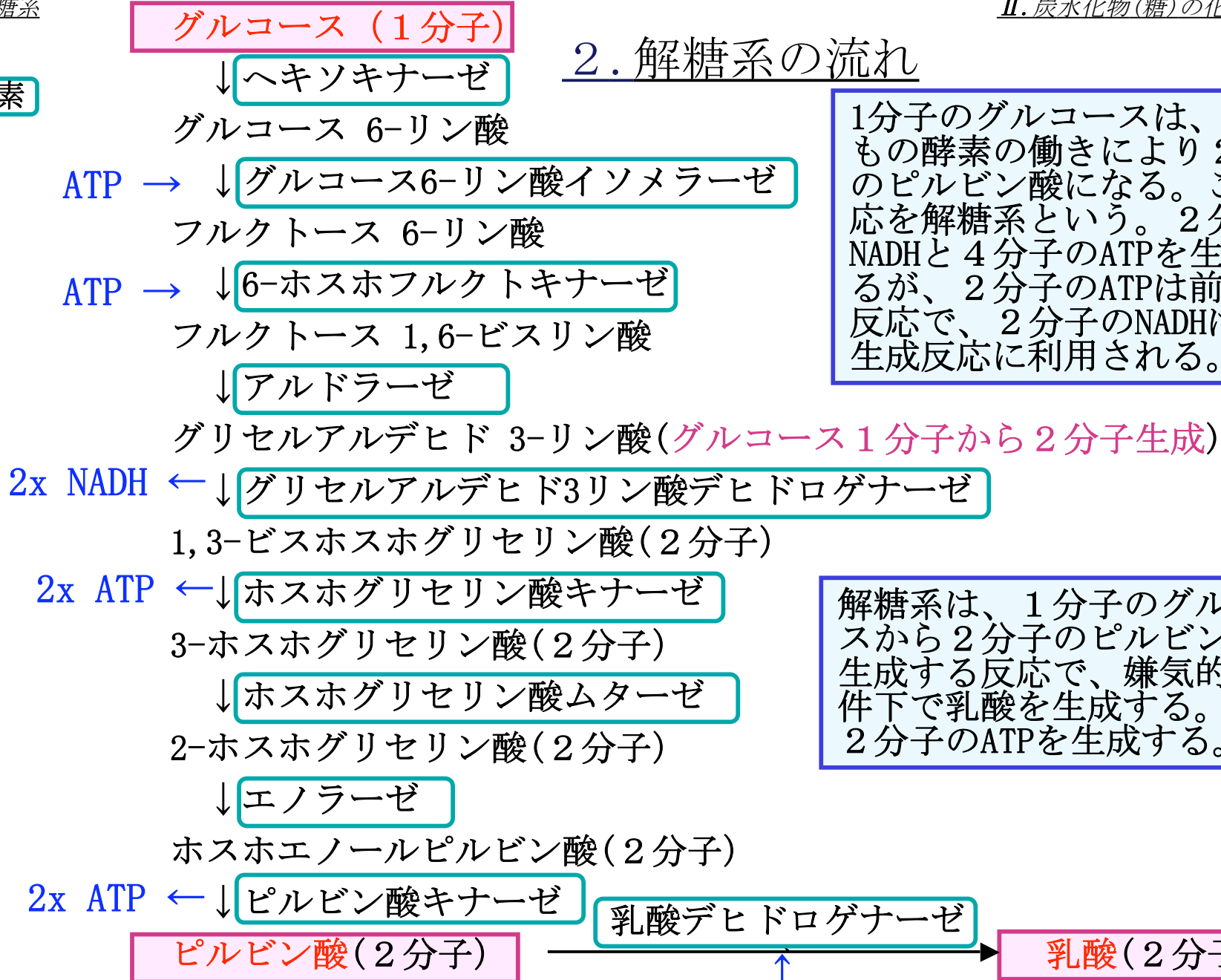
### 1) ・グルコースの分解経路

- ・グリコーゲンやデンプンなどの多糖類がグルコースなどの6炭糖(hexose)から3炭糖(triose)を経てピルビン酸(pyruvic acid)まで分解される過程。
- ・酸素が十分に供給されないとき(嫌氣的)は、ピルビン酸は乳酸に分解される。
- ・酸素が十分に供給されるときは(好氣的)は、ピルビン酸はTCA(クエン酸)回路に送られる。
- ・動物、微生物、植物とも共通。
- ・解糖系の反応に2分子のATPが利用されるが、4分子のATPと1分子のNADHを生成する。(エネルギー獲得)



## 2. 解糖系の流れ

酵素



1分子のグルコースは、幾つもの酵素の働きにより 2分子のピルビン酸になる。この反応を解糖系という。2分子のNADHと 4分子のATPを生成するが、2分子のATPは前半の反応で、2分子のNADHは乳酸生成反応に利用される。

解糖系は、1分子のグルコースから 2分子のピルビン酸を生成する反応で、嫌気的な条件下で乳酸を生成する。正味 2分子のATPを生成する。



### 3. 解糖系の機能

① エネルギーを産生する酸化代謝系である。

好气的条件下ではATP、NADH、ピルビン酸を生成し、嫌气的条件下ではATPと乳酸を産生。

② 糖質の最終酸化系であるクエン酸回路に基質としてのピルビン酸を供給。

③ 糖質の中心的代謝経路

#### 解糖系の反応式



## 4. 発酵(ピルビン酸の嫌氣的代謝)

- ・ 好気条件下：ピルビン酸はクエン酸回路を通過して完全に酸化されCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oになる。
- ・ 嫌気条件下：生じるNADHを再酸化しなければいけないのでピルビン酸は還元される(2経路有り)
  - 1. ホモ乳酸発酵(筋肉)
    - ・  $\text{ピルビン酸} + \text{NADH} \rightleftharpoons \text{L-乳酸} + \text{NAD}$   
乳酸デヒドロゲナーゼ(LDH)
  - 2. アルコール発酵(酵母)
    - ・ ①  $\text{ピルビン酸} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{アセトアルデヒド}$   
ピルビン酸デカルボキシラーゼ
    - ・ ②  $\text{アセトアルデヒド} + \text{NADH} \rightarrow \text{エタノール} + \text{NAD}$   
アルコールデヒドロゲナーゼ



酵母菌が食べてアルコールに変えられる物は葡萄糖、果糖、麦芽糖といった簡単な糖類だけで、牛乳に含まれる乳糖を食べる酵母もいて乳酒ができる。酵母菌にとりアルコール発酵は空気の少ない環境におかれた時のエネルギー獲得のための手段で、その時排泄されるアルコール分がたまって、アルコール分が12度(容量百分比で12%)位になると増殖が悪くなり、20度を超えると酵母菌は自分のつくったアルコールのため死んで行く。



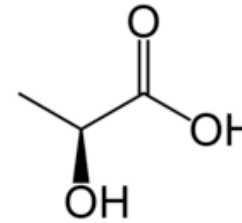
## 5. 解糖系からクエン酸(TCA)回路へ

- 解糖系は細胞の細胞質に存在。
- 好气的条件下では生成したピルビン酸はミトコンドリア膜を介してミトコンドリアに入りCoA (コエンザイムA)と結合してアセチルCoAを生成しTCA回路に導入される。
- 解糖系の調節はヘキソキナーゼ (Hexokinase)、ホスホフルクトキナーゼ、ピルビン酸キナーゼ (Pyruvatekinase) などの酵素により行なわれる(調節酵素・律速酵素)。不可逆的反応





## 乳酸と疲労



- 解糖系の最終生成物。急激な運動などでは筋肉の細胞内でエネルギー源として糖が分解され乳酸が蓄積する。疲労物質と呼ばれることもあるが、乳酸だけでは疲労を説明できない。むしろエネルギー供給源であり、筋機能を高める役割があると最近言われている。
- 運動を続けるとアセチルC○Aの需要が高まり、続けているうちに不足してしまう。アセチルC○Aは運動することによって糖が変化して得ることができるが、糖がアセチルC○Aに変化するとは別に、糖は乳酸に変化する。運動を続けることによってアセチルC○Aの供給が止まってしまうと、アセチルC○Aに変わって乳酸がアセチルC○Aの役目を果たす。乳酸はアセチルC○Aに変化し、オキサロ酢酸と結合してクエン酸となってエネルギーを作り出すクエン酸サイクルを維持する。
- 運動することによって乳酸が溜まり初めてしまうのは、アセチルC○A不足を補うための準備。乳酸は、体を動かすために必要なクエン酸サイクルを維持するために必要な成分。また、運動30分後に乳酸が減り始めるのは、乳酸がアセチルC○Aに変わってクエン酸サイクルに入り始めたためである。





## 理解度確認小テスト(II-C)

- Q. 1 : 好気条件下での解糖系の最終代謝産物はどれか? 1つ選択しなさい。
- 1) ピルビン酸
  - 2) 乳酸
  - 3) クエン酸
  - 4) アセチルCoA
  - 5) グリセルアルデヒド-3リン酸
- Q. 2 : 解糖系についての説明で間違っているのはどれか。1つ選択しなさい。
- 1) 解糖系の反応では2分子のATPが利用されるだけのATPの消費反応である
  - 2) グルコースなどの6炭糖から3炭糖を経てピルビン酸を生成する反応である
  - 3) 嫌氣的では、ピルビン酸は乳酸に分解される
  - 4) 好氣的では、ピルビン酸はTCA(クエン酸)回路に送られる
  - 5) 解糖系は細胞質で行われる
- Q. 3 : 解糖系についての説明で間違っているのはどれか。1つ選択しなさい。
- 1) 解糖系の反応は可逆的な反応である。
  - 2) エネルギーを産生する酸化的代謝系である
  - 3) ピルビン酸はミトコンドリア膜を介してミトコンドリアに入る
  - 4) 解糖系の調節はヘキソキナーゼによって行われる
  - 5) ピルビン酸はTCA(クエン酸)回路で完全に酸化され、二酸化炭素と水になる

