7. 糖質の代謝

小腸から吸収されたグルコースは、門脈系により全身へ運ばれる。血液中のグルコースを血糖といい、血糖は細胞内に取り込まれ利用される。

グルコースは、**解糖系→クエン酸回路→電子伝達系**で代謝され、ATP 合成に利用されるほか、貯蔵型であるグリコーゲンとなる。

グルコース以外の単糖（フルクトースやガラクトース）は、肝臓においてグルコースの代謝経路に合流し、利用される。

血糖は各細胞の重要なエネルギー源であるため、常に一定量を確保する必要がある。そのため、空腹時など血糖値が低下したときには、貯蔵型であるグリコーゲンを分解する、または、たんぱく質や脂質から新たにグルコースをつくり出す**糖新生**が行われる。

糖質のエネルギー化

細胞に取り込まれたグルコースは、解糖系→クエン酸回路→電子伝達系で代謝され ATP が生成される。

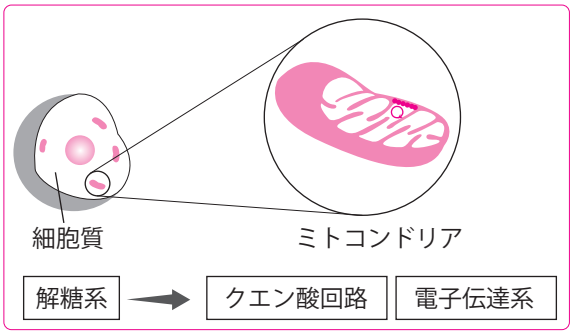


図　糖質の代謝過程

① 解糖系

解糖系とは**細胞質**内において、**グルコースが**ヘキソキナーゼ**により**グルコース -6- リン酸**となり、**ピルビン酸**または**乳酸**を生じる過程**をいう。解糖系の反応には酸素が必要ないため、**嫌気的条件下**でも反応が進む。

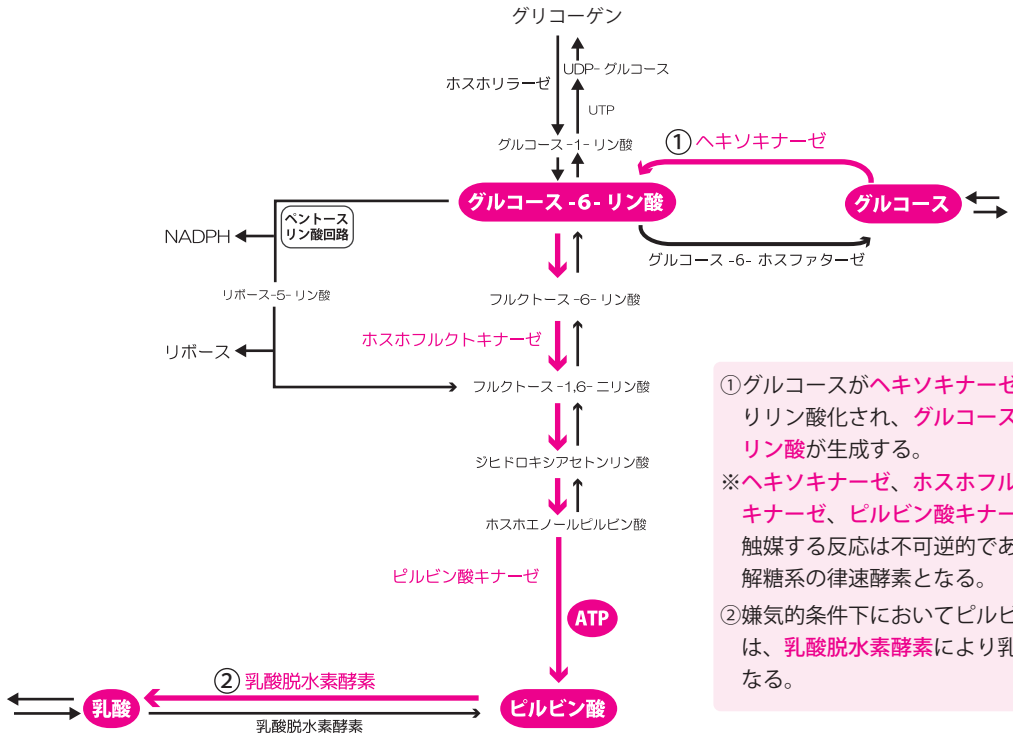
解糖系では**基質レベルのリン酸化**により、グルコース 1 分子あたり **2ATP** が生成される。

嫌気的条件下と好気的条件下

『嫌気的条件下』とは酸素がない状態、『好気的条件下』とは酸素がある状態です。グルコースからピルビン酸が生成する反応は、酸素の有無に関わらず進みます。ピルビン酸は『嫌気的条件下』では乳酸となり、『好気的条件下』ではアセチル CoA を経て、クエン酸回路へと進みます。

赤血球のエネルギー産生

赤血球はミトコンドリアをもちません。したがって、エネルギー産生は細胞質内で起こる解糖系に依存します。

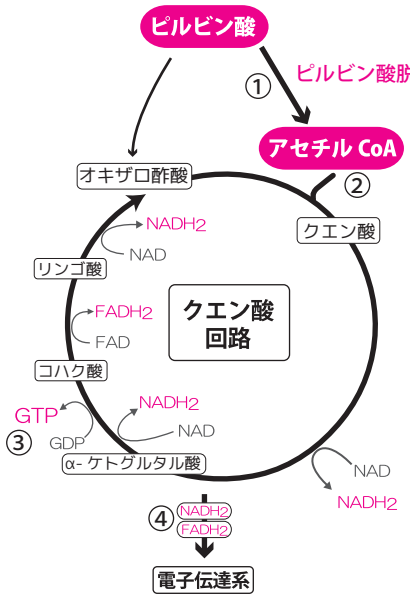


①グルコースがヘキソキナーゼによりリン酸化され、グルコース -6- リン酸が生成する。
※ヘキソキナーゼ、ホスホフルクトキナーゼ、ピルビン酸キナーゼが触媒する反応は不可逆的であり、解糖系の律速酵素となる。
②嫌気的条件下においてピルビン酸は、乳酸脱水素酵素により乳酸となる。

図　解糖系

2 クエン酸回路（TCA 回路、トリカルボン酸回路、クレブス回路）

解糖系で生成したピルビン酸は、**好気的条件下**おいて**ミトコンドリア**に入りアセチル CoA となる。ピルビン酸からアセチル CoA を生成する反応を触媒する酵素は、**ピルビン酸脱水素酵素**である。この反応には、チアミンピロリン酸（**ビタミン B_1** の活性型）が補酵素として働く。アセチル CoA は、**クエン酸回路**を経て、最終的に $NADH_2$、$FADH_2$、炭酸ガス（CO_2）となる。



①**好気的条件下**においてピルビン酸は、**ピルビン酸脱水素酵素**によりアセチル CoA となる。この反応は、チアミンピロリン酸（**ビタミン B_1** の活性型）が補酵素となり進む。

②アセチル CoA はオキザロ酢酸と縮合してクエン酸となる。

③**基質レベルのリン酸化**により GTP が生成する。

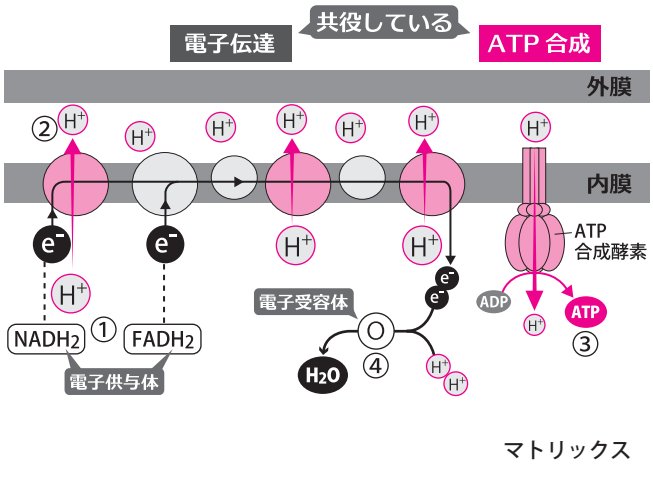
④クエン酸回路で生成した $NADH_2$、$FADH_2$ は、**電子伝達系**に移行する。

図　クエン酸回路

3 電子伝達系

クエン酸回路で生成した $NADH_2$、$FADH_2$ の水素は、ミトコンドリアのマトリックスで**電子**（e^-）と**水素イオン**（H^+）に分かれる。電子がミトコンドリア**内膜**にある**電子伝達系**を通る間に、水素イオンがマトリックスから内膜と外膜の間に運ばれ、**水素イオン**の濃度勾配が生じる。**水素イオンの濃度勾配を利用し、酸化的リン酸化が起こることで、ATP が生成する。**

酸化的リン酸化により、最大でグルコース 1 分子あたり **36ATP** が生成される。



①クエン酸回路で生成した $NADH_2$、$FADH_2$ の水素はマトリックスで電子（e^-）と水素イオン（H^+）に分かれる。

②電子がミトコンドリア**内膜**にある電子伝達系を通過すると、水素イオンがマトリックスから内膜と外膜間に運ばれ、**水素イオンの濃度勾配**が生じる。

③ATP 合成酵素は水素イオンの濃度勾配を利用して、ADP にリン酸を結合させ **ATP** を生成する。（**酸化的リン酸化**）

④最終的に水素（水素イオンと電子）は、酸素と結合し、**代謝水**となる。したがって、水素を**電子供与体**、酸素を**電子受容体**と呼ぶ。

図　電子伝達系

電子伝達系

電子伝達系は、水力発電により電気を生み出すシステムと似ています。水力発電（電子伝達系）は、ダムに貯めた水（水素イオン）を高い所から低い所へ落とすときの力を利用して、発電機（ATP 合成酵素）を回して電気（ATP）をつくります。

ミトコンドリア

ミトコンドリアは外膜と内膜の二重の膜をもちます。外膜は滑らかですが、内膜はひだ状でありクリステを形成します。内膜に囲まれた内側をマトリックスといいます。

酸化と還元

『酸化』とは、「酸素と結合すること」、「電子や水素を失うこと」を意味し、
『還元』とは、「酸素を失うこと」、「電子や水素と結合すること」を意味します。

基質レベルのリン酸化と酸化的リン酸化

生体エネルギーとなる ATP や GTP の生成様式が異なります。『基質レベルのリン酸化』は、高エネルギーリン酸化合物が ADP をリン酸化し、ATP や GTP を生成します。『酸化的リン酸化』は、ミトコンドリア内膜における電子の伝達により、ATP を生成します。