

糖質の栄養

糖質とは

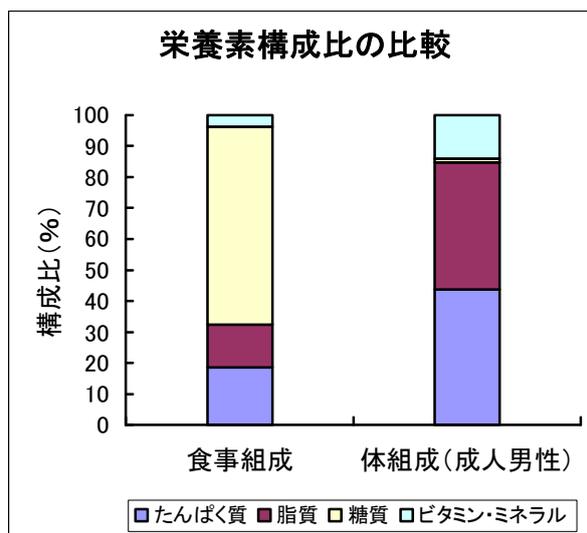
炭水化物のうち、消化管内で消化酵素によって加水分解を受けて吸収される物質、あるいはそのまま吸収を受ける物質を糖質という。また、消化・吸収を受けない炭水化物を食物繊維という。

糖質には、そのまま小腸で吸収を受けるグルコース（ブドウ糖）、フルクトース（果糖）、ガラクトースなどの単糖類、スクロース（ショ糖）、マルトース（麦芽糖）、ラクトース（乳糖）などの二糖類、デンプンやグリコーゲンなどの多糖類が存在する。

糖質の役割

右の図は、水分を除く食事組成としての一般的な栄養素の構成比と、成人男性における対組成としての栄養素の構成比である。

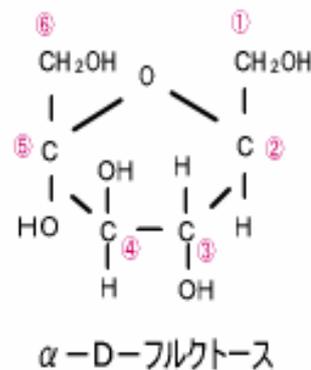
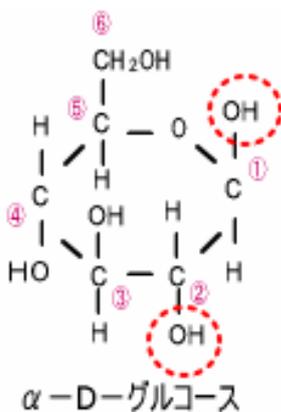
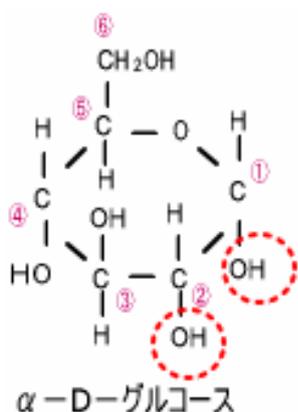
図に示すように、糖質は、食事組成で約60%を占めているが、体組成としては、わずか1%程度でしかない。このことから、糖質は毎日の食事では多く摂取しているものの、日々消費されていることを示している。この消費とは、エネルギー源としての利用（糖質1gあたり4kcal）である。



糖質の種類

(1) 単糖類

糖質の最小単位を単糖類といい、その骨格に炭素を6つ持つ六単糖と炭素を5つ持つ五単糖に大きく分類される。なお、六単糖には、グルコース、フルクトース、ガラクトース、マンノースなどがあり、五単糖にはリボースがある。次の図は単糖類（グルコースとフルクトース）の構造である。なお、赤い○数字は、炭素の位置的な番号である。また、グルコースの構造の部分の赤い点線の○で囲んだ部分について、D-グルコースは水溶液中で鎖状構造以外に環状構造（ピラノース型）をとって存在する。環状構造をとった場合、C1炭素は不斉炭素原子になり、新しい異性が生じる。これをアノマーといい、 α 型と β 型で表す（フルクトースの場合は①の位置の違いによる）。



糖質の栄養

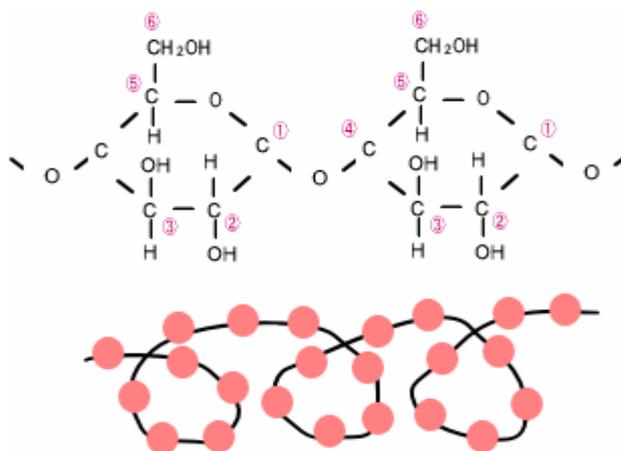
(2) 二糖類

二糖類は、単糖が2つグリコシド結合したものである。たとえば、マルトース（麦芽糖）は、グルコース+グルコース、スクロース（ショ糖）は、グルコース+フルクトース、ラクトース（乳糖）は、グルコース+ガラクトースのグリコシド結合によるものである。

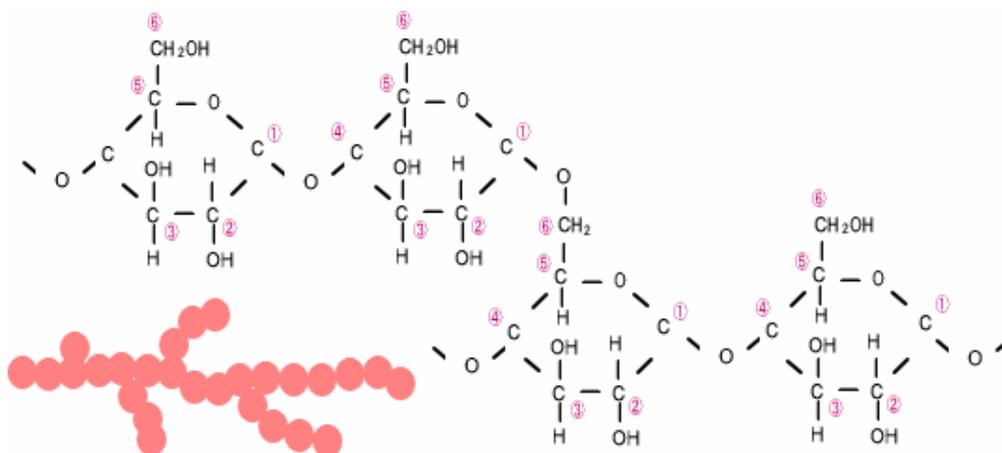
(3) 多糖類

多糖類は、さらに単糖類がグリコシド結合してできたもので、代表としてはデンプンとグリコーゲンがある。なお、デンプンは、多数のグルコースが連結したものであるが、結合の仕方によって、アミロースとアミロペクチンに分類される。

アミロースは、次の図のように多数の（ α -グルコース）が次々に（1位と4位）で縮合（ α -1, 4結合）して直鎖状に連結した構造を持ち、（らせん構造）をとる。普通のでんぷんの中に（20～25%）含まれる。ヨウ素でんぷん反応を示す。



一方、アミロペクチンは、次の図のように多数の α -グルコースが次々に1位と4位で縮合しているほか、（1位と6位）との縮合（ α -1, 6結合）も含まれ、（枝分かれした網状の構造）を持つ。普通のでんぷんの中に（75～80%）含まれる。もち米は100%アミロペクチンからできている。赤紫色のヨウ素でんぷん反応を示す。



糖質の栄養

糖質の消化吸収

(1) デンプンの消化

摂取された食物は、口腔で咀嚼されて唾液とよく混合される。この過程で、デンプンは唾液に含まれる加水分解酵素である**唾液アミラーゼ**によって分解され、一部はマルトース(麦芽糖)まで加水分解される。嚥下された後、唾液アミラーゼは胃酸によって失活し、一旦分解はストップする。その後、十二指腸に到達すると、胃酸によって酸性となった内容物が膵液によって中和され、膵液中に含まれる**膵アミラーゼ**の作用によってデキストリンとマルトースに分解される。

(2) 二糖類の消化

摂取された食物中のスクロース、マルトース、ラクトースなどの二糖類や、デンプンの消化過程で生成されたマルトースやイソマルトース（グルコースの $\alpha-1, 6$ 結合によるマルトース）は、小腸粘膜上皮細胞の膜組織からなる**微絨毛(刷子縁)**に存在する酵素によって加水分解されて単糖類となり、分解と同時に上皮細胞内に吸収される（消化の最終段階と吸収の開始に明確な区切りがない）。この過程を**膜消化**という。吸収された単糖類は、小腸上皮細胞内で毛細血管に入り、門脈を通じて肝臓に送られる。

この消化に関わる消化酵素として、**スクラーゼ**（スクロースをグルコースとフルクトースに分解）、**マルターゼ**（マルトースをグルコース2分子に分解）、**イソマルターゼ**（イソマルトースの $\alpha-1, 6$ グリコシド結合を切断してグルコース2分子に分解）、**ラクターゼ**（ラクトースをグルコースとガラクトースに分解）がある。なお、ラクターゼの活性は、一般に子どものうちは高いが、成長と共に低下する。そのため、子どものときに牛乳を飲んでもなんともなかったのが、大人になって牛乳を飲むとお腹がゴロゴロいたり、ひどい場合には下痢を起こす人もいる。このラクターゼ活性が極端に低下した状態を乳糖不耐症というが、これは、ラクターゼ活性の低下によって、乳糖を分解できず、消化不良を起こした状態である。

(3) 単糖類の吸収

膜消化を受けて作られた単糖類は、小腸粘膜上皮細胞へ吸収される。単糖類の吸収は、その種類によって吸収機構と度合いが異なる。吸収機構には、**能動輸送**、**受動輸送(単純拡散と促進拡散)**がある。能動輸送は、エネルギー(ATP:アデノシン3リン酸)を必要とする代わりに、膜の内外の濃度差に依存しないで吸収速度が速い。一方、受動輸送は、エネルギーを必要としないが、濃度差(濃度勾配)に依存するため、膜の内外で濃度が同じになると吸収できない。また、受動輸送のうち促進拡散は、能動輸送のように担体(運び屋)が存在するため、単純拡散に比べて吸収速度は速いが、基本的に受動輸送であるため、濃度勾配に逆らうことはできない。

グルコースやガラクトースの大多数は能動輸送によって効率的に吸収される。また、フルクトースなどの単糖類は単純拡散や促進拡散で吸収されるが、その種類によって吸収効率に差がある。

血糖値

血糖値とは、血液中のグルコース濃度である。なお、小腸での吸収後に門脈を通じて肝臓に送られた**フルクトースとガラクトースは、肝臓内でグルコースに転換**される。

血糖値は、組織(とくに脳神経などほとんどグルコースしかエネルギー源として利用できない組織)

糖質の栄養

へのエネルギー源供給の確保のために、ホルモンなどの内分泌系や自律神経系によって厳密に調節されており、健常人で空腹時には 60~100mg/dL の範囲である。この血糖値は食事摂取によって上昇するが、食後 30~1 時間で最大となり、食後 3 時間には空腹時レベルに低下する。

血糖値を低下させる作用を持つのは、インスリンのみである。インスリンは、膵臓のランゲルハンス島の β 細胞から分泌され、肝臓や筋肉に作用して血中のグルコースを取り込んでグリコーゲンに変換したり（グリコーゲン合成）、取り込んだグルコースを直接エネルギー代謝に利用するほか、脂肪細胞に働いて、取り込んだグルコースを材料として脂肪（中性脂肪）の合成を促進して皮下脂肪として貯蔵させることによって、結果として血糖値を低下させている。

一方、血糖値を上昇させる作用を示すホルモンは、次の表に示すように複数存在する。

ホルモン	分泌器官	血糖値への作用機序
グルカゴン	膵臓ランゲルハンス島 α 細胞	肝グリコーゲン分解促進 糖新生促進
糖質コルチコイド（コルチゾール）	副腎皮質	たんぱく質異化亢進（糖新生） 末梢組織の糖利用抑制
アドレナリン	副腎髄質	肝グリコーゲン分解促進 グルカゴン作用の増強
成長ホルモン	脳下垂体前葉	肝グリコーゲン分解促進 末梢組織の糖利用抑制
甲状腺ホルモン	甲状腺	消化管からの糖質吸収促進

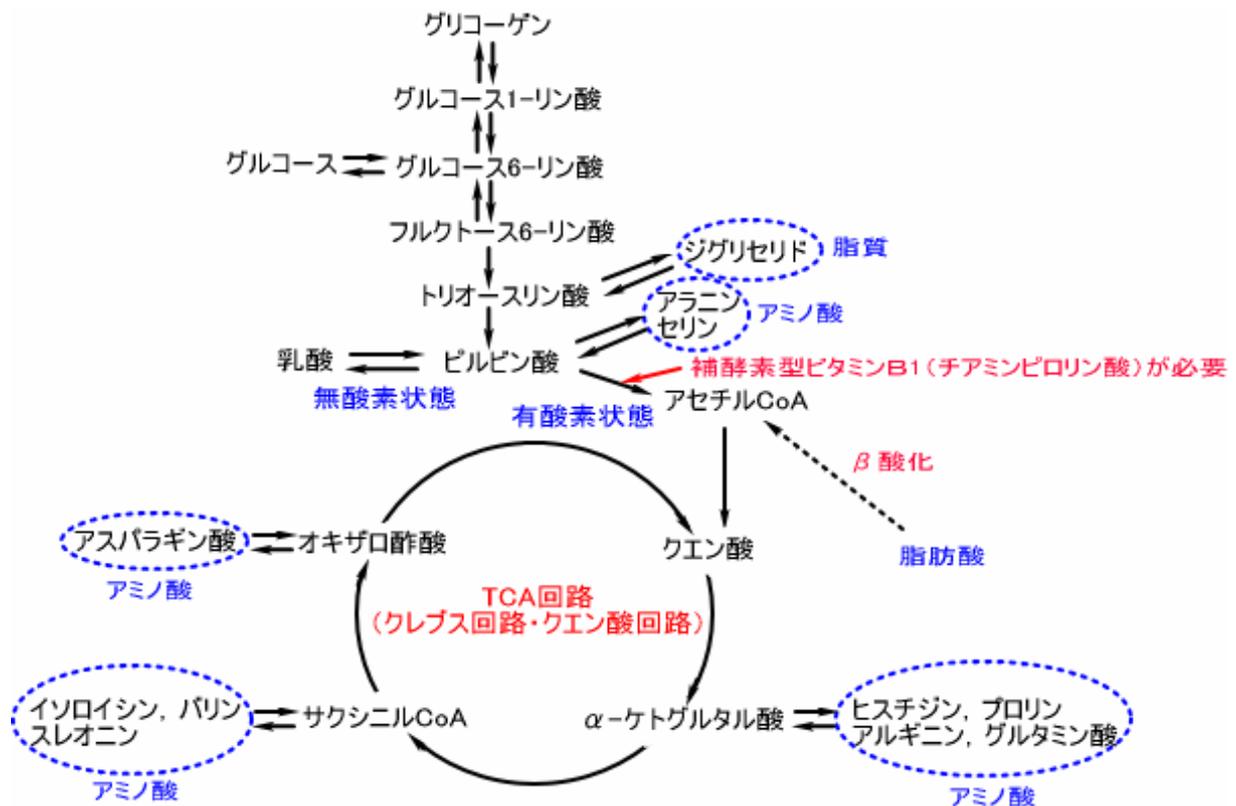
糖質のエネルギー代謝

糖質の主な代謝には次の表のような過程があり、もっとも基本となるのは、解糖系とクエン酸回路、グリコーゲン合成・分解などである。

解糖系	無酸素でエネルギー産生を行う、グルコースからピルビン酸、または乳酸までの過程。細胞質で行われる基質準位のリン酸化反応。なお、生成された乳酸は、肝臓へ送られてグルコースに変換される。
クエン酸回路	ミトコンドリアで行われ、酸素を使ってエネルギーを産生。基質準位のリン酸化反応と酸化的リン酸化（電子伝達系）があり、水と二酸化炭素を産出する。なお、このときにできる水を酸化水（代謝水）という。
ペントースリン酸回路	リボース 5 リン酸の生成→DNA, RNA の合成（ヌクレオチド生成） NADPH の生成→脂肪酸、コレステロール等の合成に関与 細胞質で行われるが、エネルギーは産生しない。
糖新生	糖質以外（乳酸、アミノ酸など）からグルコースを生成する。 脂肪について、グリセロールからは糖新生がおこるが、脂肪酸からは行われない。
ウロン酸回路	グルクロン酸抱合によって解毒や直接ビリルビンを合成

糖質の栄養

次の図は、グルコースを中心とした代謝経路の基本である（一部省略）。



解糖系は、単糖類の中でも代表的なグルコース（ブドウ糖）がピルビン酸または乳酸に酸化される過程である。なお、ピルビン酸は、無酸素状態では乳酸となり、有酸素状態では、アセチル CoA となるが、このときには**補酵素型ビタミンB₁**が必要である。

グリコーゲン合成は、肝臓や筋肉において、グルコースなどの単糖類からのグリコーゲンを合成し、貯蔵する過程であり、グリコーゲン分解は、グリコーゲンを分解してグルコースに戻したり、解糖系につなげる過程である。なお、肝臓のグリコーゲンは、活動のためのエネルギー生成として直接解糖系につなげることはできないが、グルコースとして血糖値の維持に役立つ。一方、**筋肉のグリコーゲンは、グルコースに変換して血糖値を維持する目的に利用することはできない**が、活動のための貯蔵エネルギーとして利用が可能である。

TCA 回路は、アセチル CoA が二酸化炭素と水に完全酸化される過程であり、解糖系から TCA 回路までの一連のこの代謝反応を化学式で示すと、 $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$ （ただし、グルコースのリン酸化とフルクトース 6 リン酸のリン酸化でそれぞれ 1ATP で合計 2ATP を利用することから ATP 産生量を 36ATP とする場合もある。）となる。したがって、糖質を 100%エネルギー源として利用した場合、呼吸商（酸性 CO_2 / 消費 O_2 ）は 6 / 6 で 1.0 となる。

なお、ATP（アデノシン 3 リン酸）は、アデニン、リボース、3 リン酸からなるヌクレオチドであり、とくに 3 リン酸の部分は、エネルギー担体として重要である。この 3 リン酸の部分が加水分解によって無機リン酸を生ずるときに熱（自由エネルギー）が発生し、これをエネルギーとして利用している（ $ATP \rightarrow ADP + P_i$ ）。

また、ATP の加水分解によって生じた ADP（アデノシン 2 リン酸）は、ニコチンアミドアデニンジ

糖質の栄養

ヌクレオチド (NADH) やフラビンアデニンジヌクレオチド (FADH₂) によって, ATP の再合成に利用することができる。この反応は, ミトコンドリア内の電子伝達系 (酸化リン酸化) によって行われる (下図参照)。

