



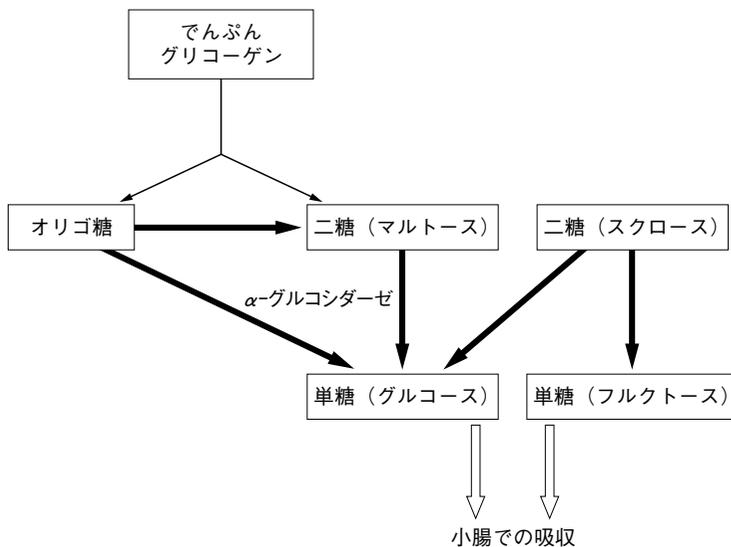
そもそも炭水化物って何？



炭水化物の分類

植物は太陽光線のエネルギーを利用して水と二酸化炭素から炭水化物を合成して同時に酸素を大気中に放出している。この過程で植物は炭素数3の単糖であるトリオースを産生する。次にトリオースはグルコース（ブドウ糖）とフルクトース（果糖）（各々炭素数6）に変換され、そこから二糖であるスクロースが合成される。スクロース（ショ糖）は水溶性であり、植物の組織（根、塊茎、種子）のすみずみまで行き渡る。そして細胞内に取り込まれてエネルギーとして用いられるか、でんぷんという多糖として分化した貯蔵小体に蓄積されるか、あるいは非でんぷん性多糖であるセルロースなどの繊維成分を形成することに使用される。動物の組織においては、肝臓や骨格筋は貯蔵性多糖としてグリコーゲンを含んでいる。食物中の非植物性炭水化物源は、グリコーゲンとミルクや乳製品に含まれるラクトースだけである。ヒトの食物には多種多様の炭水化物が含まれているが、ほとんどは植物に由来する。そして炭水化物の多様性、生理学的特性を理解するためには、これらの炭水化物を化学的に適切に分類することが重要である。

炭水化物は、①単糖、②二糖とオリゴ糖、③でんぷん、非でんぷん性多糖ならびにグリコーゲンなどの多糖に分類される。図1にそのなかでも食物として重要なでんぷんとグリコーゲンならびにスクロースの消化の過程を示した（図1）。



— : α -アミラーゼによる分解
— : α -グルコシダーゼによる分解

図1

でんぷんとグリコーゲン、スクロースの消化の過程

1 単糖

ヒトの食物として量的に重要であるのは、3種類の6炭糖（グルコース、ガラクトース、フルクトース）である。この3種類の分子式は同一だが化学構造、甘味、含まれる食物が異なる。グルコースは単糖の形で摂取される機会は少ないが、でんぷんやセルロースなどの多糖の構成成分、または二糖の成分として天然に広く存在している。フルクトースは果実に多く含まれている。またラクトース（二糖）が消化の段階で加水分解されるときに産生されるのが単糖であるガラクトースとグルコースである。

2 二糖とオリゴ糖

単糖では、活性炭素の水酸基は環の上（ β 位置）から環の下（ α 位置）に速やかに位置を変えることができる。しかし二糖のスクロース、ラクトース、マルトースでは2つの糖分子がグリコシド結合をとると、そのまま位置が固定する。グルコース2分子による最も一般的な配列は、 α 結合で結合したマルトースであり、さらにそれが多分子で重合したものがでんぷんである。グルコース2分子が β 結合で結合するとセロビオースであり（図2）、さらにそれが多分子で重合したものがセルロースである。膵臓と唾液腺から分泌される α -アミラーゼは、マルトースの α 結合を分解できるがセロビオースの β 結合を分解できない¹⁾。スクロースはグルコースとフルクトースが α 結合したもので、サトウキビやテンサイなどに含まれている。

オリゴ糖は糖分子が3個以上重合したもので、構成糖分子数の上限については6から20個以上と幅があり厳格な定義はない。オリゴ糖にはでんぷんが α -アミラーゼにより分解された中間消化産物であるマルトリオースが含まれる。天然のオリゴ糖としてはラフィノースやスタキオースがある。前者はガラクトース、グルコース、フルクトースからなる三糖であり、テンサイに含まれる。後者はガラクトース2分子とグルコース1分子、フルクトース1分子からなる四糖で、カボチャや豆類に含まれている。

3 多糖（でんぷん、非でんぷん性多糖ならびにグリコーゲン）

でんぷんは、ブドウ糖が多分子で重合したもので、穀粒、ポテト、バナナなどに多く含まれ、ヒトの食事における主な炭水化物源である。でんぷんはアミロースとアミロペクチンからできている。アミロースは小さい直鎖状の分子（ 10^5 から 10^6 ダルトン）で、枝分かれは1%未満である。アミロペクチンは枝分かれが多く分子量は（ 10^7 から 10^8 ダルトン）と非常に大きい。アミロースとアミロペクチンの含有比率は植物によって大きく異なる。例えば、

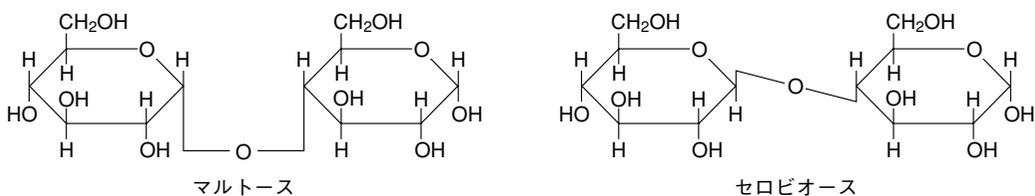


図2 マルトースとセロビオース

ワキシー種のトウモロコシでんぷんではアミロース含量は2%であるが、高アミローストウモロコシでんぷんでは80%に達する²⁾。植物細胞のなかでは、でんぷんは、不溶性の粒子として貯蔵されているが、その粒子中では、アミロースとアミロペクチンは半結晶構造をとっている。でんぷんの消化・吸収の速度は、いくつかの要因によって影響される。加熱調理した食パンにおいては、でんぷんがすでに粒形をもっておらず、非結晶性であり消化速度は速い。それに対して、消化酵素との接触が物理的に妨げられた状態のでんぷんである全粒穀物、粗挽きの穀物、種子に含まれるでんぷんは消化速度が遅い。またパスタのように非常に密度の高いでんぷん性加工食品も消化速度が遅い。グリコーゲンは、ブドウ糖が多分子重合したものでアミロペクチンに構造が似ているが、アミロペクチンよりさらに枝分かれが多い特徴をもっている。グリコーゲンは動物の筋肉に含まれているが食肉にはあまり含まれていない。食肉解体の際にエピネフリンなどのストレスホルモンが放出されるのに反応して貯蔵したグリコーゲンの多くが使い果たされるからである。

栄養成分表示について

市販されている食品には栄養成分表が添付されている。ここには炭水化物量が記載されており、カーボカウントをするにあたって有用である。

1996年、食品衛生法と栄養改善法（2003年からは健康増進法として施行）に基づき、「食品の栄養表示基準制度」が施行された³⁾。目的は食品の栄養成分に関する適切な情報を広く提供することにより、食を通じた健康づくりを推進することにある。様々な食品の販売に際して、栄養成分やエネルギーを表示する一定のルールが定められたのである。表示単位は100gまたは100ml、1食分、1包装などで表示される。1. エネルギー、2. たんぱく質、3. 脂質、4. 炭水化物、5. ナトリウムの5項目は必須表示項目であり、かつこの順番で表示することが義務付けられている。

炭水化物の量は「炭水化物量」と表示してあることも「糖質量」と表示してあることもある。定義上は炭水化物には食物繊維と糖質の両者が含まれているが、食物繊維は吸収されないため血糖を上昇させない。普通の1回分の食事には数グラムの食物繊維しか含まれていないので「炭水化物量」は「糖質量」と同等とみなしてよいが、食物繊維の多い食品の場合は「炭水化物量」から「食物繊維量」を差し引いた残りが糖質量となる。

おわりに

炭水化物の分類ならびに栄養成分表示について概説した。栄養成分表示は食品の栄養に関する情報の宝庫であり、有効に活用することによってカーボカウントのみならず、塩分管理、脂質管理ひいては食を通じたトータルヘルスケアにも役立つことが期待される。

〈細川雅也 稲垣暢也〉



三大栄養素の血糖に変わる速度と割合は？



炭水化物、たんぱく質、脂質の摂取は、すべて血糖値に影響するが、その影響の程度と、血糖に変わる割合、要する時間もさまざまである。また食物として実際に摂取する場合には、その食品の性状や栄養素それぞれの相互作用、さらにいつ食事をすることも影響する。

三大栄養素の胃液分泌と胃の運動に対する影響をみると、炭水化物は胃液の分泌、胃の運動を促進する。たんぱく質は胃液の分泌を促進するが、胃の運動は抑制する。一方、脂質は胃液の分泌、胃の運動のいずれも抑制する。したがって中華料理のような脂質の多い食事を摂ると、胃液の分泌が低下し食物の消化が遅れ、胃の運動も低下するために食物の十二指腸への移動も遅延するため血糖値の上昇が遅れる。

“歴史は夜つくられる”という言葉があるが、“脂肪は夜つくられる”。すなわち身体活動の低下した迷走神経優位な夜間は、過剰なエネルギー源からの肝での脂肪の合成と糖新生が活発となる。この夜間の糖新生は暁現象（Dawn 現象）とよばれている。夕食で脂質の多いこってりした中華料理を食べた後、家に帰ってきて血糖を測定するとあまり上がっておらず安心していても、翌朝、空腹時血糖値が高くなっていてビックリすることがあるのはそのためである。

炭水化物と脂肪の血糖値に与える影響は、“悪代官と悪徳商人”に例えることができる。悪代官の悪行のごとく、炭水化物は食後の血糖値を直接上昇させるが、脂肪は消化管の動きの抑制、インスリン抵抗性の増加によって食後高血糖の値の増加と持続時間の延長をもたらす。まさに悪代官の悪行を助ける悪徳商人のような働きをする。さらに脂肪酸は夜間肝糖新生を亢進させ、自ら密貿易で儲ける悪徳商人のような悪さもするわけである。さらに朝食を抜くと血中脂肪酸濃度が上昇しインスリン抵抗性が亢進して、昼食後の血糖値の上昇を著しくする。すなわち炭水化物はアップーカットのように作用するが、脂肪はボディブローのように働くともいえる。

炭水化物はすべてブドウ糖に変換される。炭水化物は単糖の形で小腸から吸収され、肝ですべてブドウ糖に変換され必要な組織に運ばれ ATP に変換される。なぜ糖質は血中を運ばれるときブドウ糖という形で運ばれるかということ、ブドウ糖は他の糖質と比べて酸化されにくいいため、進化の過程でヒトではブドウ糖が選択されたのかもしれない。

炭水化物はすべてブドウ糖に変換される。炭水化物は食後 2 時間以内にほとんど消化吸収される。液状のものやブドウ糖のような単糖、ショ糖のような 2 糖類では、口当たりが柔らかくよくかむ必要があるもの、食物繊維の多いもの、でんぷんのような複合糖質と比較して消化・吸収がより速やかである。

肥満の助長、糖尿病患者の血糖コントロールを乱す原因としてよく果物、菓子、清涼飲料の摂りすぎがあげられる。これらには果糖とショ糖が多く含まれている。

砂糖はブドウ糖と果糖よりなる二糖類であり、上部小腸でシュクラーゼという酵素によりブドウ糖と果糖に分解される。ブドウ糖はすみやかに吸収されるが、果糖は10%がブドウ糖に変換され、残りの90%が果糖のまま吸収される。吸収されたブドウ糖の60%が肝、25%が脳、10%が筋肉、残り5%が脂肪組織など他の組織に取り込まれる。一方、吸収された果糖はほとんどすべて肝に取り込まれる。肝に取り込まれたブドウ糖、果糖は解糖系、TCA サイクルを経て ATP 産生に消費されるか、余分なものはグリコーゲン、中性脂肪に変換される。

しかしブドウ糖と果糖との間には肝における代謝上大きな違いがある。ブドウ糖はインスリン依存性の糖代謝律速酵素のグルコキナーゼ、ホスホフルクトキナーゼ、グリコーゲン合成酵素などによって調節されているが、果糖の場合にはこれらの調節機構はうまく作動しない。果糖はその大部分がフルクトキナーゼによりリン酸化される。しかし果糖のリン酸化とその後の代謝を制御する機構が存在しない。そのため肝への過剰の果糖の流入は、肝のグリコーゲン蓄積には限りがあるため、ブドウ糖に変換され肝より放出されるか、中性脂肪の合成が亢進し、VLDL というかたちでの血中への中性脂肪の放出の増加を招き、高中性脂肪血症、血糖値の上昇をもたらす。砂糖の影響を調べる場合、第1に分解されやすく、すみやかに吸収されるという点と、第2にブドウ糖と果糖が同時に取り込まれるという点を考慮する必要があると考える。

よく噛まなければならない食品は血糖値の上昇が遅い。つぎによく噛むことの重要性について考えてみる。食事の際よく噛むと舌や歯の感覚センサーからの刺激が三叉神経中脳路核に伝わり、さらに視床下部にいたるルートを介してヒスタミン神経系が活性化される。活性化されたヒスタミンは脳の視床下部の食欲中枢に作用して食欲を抑制し、さらに交感神経系を刺激して褐色脂肪細胞のエネルギー消費を増大させる。これらを支持する成績として以下の報告がある。18名の医学生に食事前に10分間デンタルガムを噛ませた場合と噛ませなかった場合とで、そうめんを満腹になるまで噛まずに飲み込ませると、その摂取量は前者が後者より少なかったという。また20～30歳代の8名の男性に755kcalの食事を、チューブを用いて投与した場合と、よく噛んで食べさせた場合とでDIT (diet-induced thermogenesis, 食事誘発性熱産生) を比較すると、前者は後者の1/4にすぎなかったという結果が得られている。これらの成績から考えても、口当たりの良い軟らかいものを食べたり、早食いをしたりすると、食事量が増え、また同じ食事量を食べても熱として使われる部分が減少し、体に脂肪としてたまる部分が増え肥満しやすいことが理解できる。ファーストフード食と日本食とで、噛む回数と食事時間を比較すると、前者は後者のいずれも半分であったことが報告されている。どんなものを食べるかにも気を配る必要があるといえる。しかしよく噛んだほうがよいといってもマシュマロを何十回も噛むわけにはいかず、ある程度噛みがいがあるものでないといけないうけで、食物に含まれる食物繊維の量も十分に考量する必要がある。白米と玄米では明らかに血糖上昇作用に差がある。さらに食べる側の状態も問題になる。血糖コントロール不良の糖尿病患者では歯周炎の合併が多いことが報告されており、さらに人口の高齢化に伴い歯が悪い高齢者の糖尿病患者も増加している。このような患者ではいくら