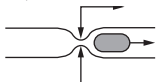


5章 消化・吸収と 栄養素の体内動態

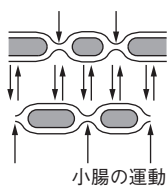
1) 消化管を生態的にみると、歯は食物を噛み砕き、表面積を広げて溶けやすく、消化されやすくする。唾液の粘りは口内を保護し、食物を飲み込みやすくする。その昔、不定期にしか獲物が得られなかった名残からか、胃は袋状に発達し、食物をしばらく蓄える。この間に起こりやすい細菌による腐敗は、濃い塩酸の分泌で防がれている。胃に蓄えられた食物は少しずつ送り出され、細長くつくられた小腸を充分時間をかけて移動し、豊富な消化液による消化が行われる。小腸壁に発達した無数の突起は、腸の表面積を数百倍に広げ、消化吸収の能率を上げている。外敵には無防備のうえ、生活の能率をおとす排便は、太い大腸内で小腸内容を固形化することで最小限に抑えられている。

2) 吸収しうる形とは、基本的には各栄養素の構成単位のこと、糖質では単糖、脂肪ではグリセロールと脂肪酸、たんぱく質ではアミノ酸。

3) 消化管に生じるくびれが移動して内容物を送る。



4) 小腸に一定の周期で生じるくびれが、内容物を混合する。



摂取された食物は、口腔、食道、胃、小腸、大腸の一連の消化管 (digestive tract) を通って肛門から糞便として排泄されるが、その間に消化吸収が行われる¹⁾。食物の消化 (digestion) は、神経やホルモンによる微妙な調整のもとで行われ、各消化管は相互の連絡のもとに円滑な消化の進行を助けている。消化を終えた成分は直ちに消化管の各部分から吸収 (absorption) されて全身に送られ、見事な動的調和が保たれている。

5・1 消化・吸収の基本概念

5・1・1 消化とは

消化とは、食物中の栄養素を吸収しうる形²⁾にまで分解する過程をいう。消化管の運動による物理的消化、消化液による化学的消化、腸内細菌による生物学的消化がある。

① 物理的消化

消化管の機械的運動による消化である。食物は舌や歯による咀嚼によって碎かれ、唾液と混ぜられる。さらに胃腸の蠕動運動³⁾、小腸の分節運動⁴⁾により、消化液と混合され、消化液の作用を受けやすくなる。また食物内容は次の消化管へと送られる。

② 化学的消化

消化液による消化である (表5-1)。消化酵素によって、栄養素は吸収しうる形にまで分解される。また、脂肪は胆汁によって乳化され、消化酵素の作用を受けやすくなる。

表 5-1 消化液の種類

消化液	pH	1日分泌量 (l)
唾 液	弱酸性 (6～7)	1～1.5
胃 液	酸性 (1～2)	2～2.5
胆 汁	弱アルカリ性 (7～8)	0.1～0.5
膵 液	弱アルカリ性 (7～8)	1～1.5
腸 液	弱アルカリ性 (8～9)	1.5～3

③ 生物学的消化

大腸の腸内細菌による消化である。食物繊維はヒトの消化酵素で消化されないが、一部は腸内細菌によって発酵を受け、短鎖脂肪酸となる。

5.1.2 吸収とは

吸収とは、消化された栄養素が腸管内腔から小腸吸収上皮細胞の細胞膜を透過して上皮細胞に入り、血液やリンパ液に移行して体内に取り込まれることである。膜の透過には、受動輸送と能動輸送がある。

① 受動輸送

これは濃度の高い方から低い方へと濃度勾配にしたがって拡散する現象で、エネルギーを必要としない。単純拡散と促進拡散の2種類がある。脂溶性物質、無機質、アルコールなど、多くの食物成分が自然現象である単純拡散によって吸収される。一方、促進拡散とは細胞膜に栄養素の輸送に携わる特異的な担体が存在し拡散を促進するもので、水溶性ビタミンやフルクトースなどにみられる吸収である (表 5-2)。

表 5-2 吸収の種類

	濃度	エネルギー	輸送担体	吸収される栄養素
①受動輸送	単純拡散	高→低	なし	脂溶性物質、無機質、アルコールなど 水溶性ビタミン、フルクトースなど
	促進拡散	高→低	あり	
②能動輸送	低→高	必要	あり	グルコース、ガラクトース、Na、 アミノ酸、ビタミン B ₁₂ など

② 能動輸送

濃度勾配に逆らうためエネルギーを必要とし、担体を介して積極的に栄養素を吸収する輸送である。グルコース、ガラクトース、Na、多くのアミノ酸などにみられる吸収である。グルコースは、Na⁺とともに小腸吸収上皮細胞膜に存在する Na⁺/グルコース共輸送担体に結合し、Na⁺の濃度勾配にしたがって上皮細胞内に共輸送される。細胞内の Na⁺は、細胞膜に存在する Na⁺-K⁺ポンプ (Na⁺-K⁺-ATPase) によって能動的に細胞外にくみ出され、細胞内外の Na⁺の濃度勾配が維持される (図 5-1)。

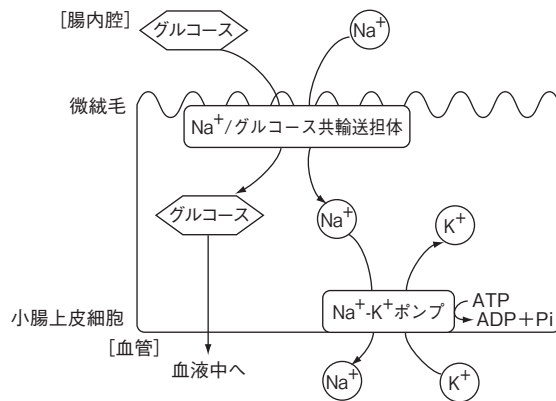


図 5-1 グルコースの能動輸送

5.1.3 消化吸収率

摂取した栄養素のうち、吸収された栄養素の割合を消化吸収率という。A 式の消化吸収率は、糞便中に含まれる内因性成分（食物の未消化成分以外の分泌物、腸粘膜表皮、腸内細菌など）を考慮していないため、見かけの消化吸収率といわれる。一方、B 式の消化吸収率は、内因性成分を内因性排泄量（被験物質の栄養素を食べない時に糞中に排泄されるその栄養素量）として考慮しているため、真の消化吸収率といわれる。

$$A. \text{見かけの消化吸収率}(\%) = (\text{見かけの吸収量} / \text{摂取量}) \times 100 \\ = [(\text{摂取量} - \text{糞中排泄量}) / \text{摂取量}] \times 100$$

$$B. \text{真の消化吸収率}(\%) = (\text{真の吸収量} / \text{摂取量}) \times 100 \\ = [(\text{摂取量} - (\text{糞中排泄量} - \text{内因性排泄量})) / \text{摂取量}] \times 100$$

5.2 消化器系の構造と機能

食物を送る消化管（口腔、咽頭、食道、胃、小腸、大腸、肛門）、及び消化液を分泌する消化腺（唾液腺、胃腺、肝臓、胆嚢、膵臓、腸腺）を合わせて消化器系という（図 5-2、表 5-3）。

5.2.1 消化管の構造と機能

消化管は内側から粘膜、筋層、漿膜（食道では外膜）の三層構造をもつ。粘膜には消化液と粘液を分泌する腺があり、筋層は消化管運動を行う平滑筋⁵⁾からなる。漿膜は消化管の外側の薄い膜である。

口腔内で咀嚼され、咽頭を通して嚥下される食物は、食道の蠕動運動によって胃（図 5-3）へ送られる。胃では蠕動運動によって、食塊が胃液と混ぜ合わされて次第に粥状になり、十二指腸へ送られる。

5) 筋繊維は構造面から、縞模様がある横紋筋と縞模様がな平滑筋に分類される。消化管のほとんどは細長い紡錘形の平滑筋からなるが、食道上部と肛門下部では横紋筋がみられる。

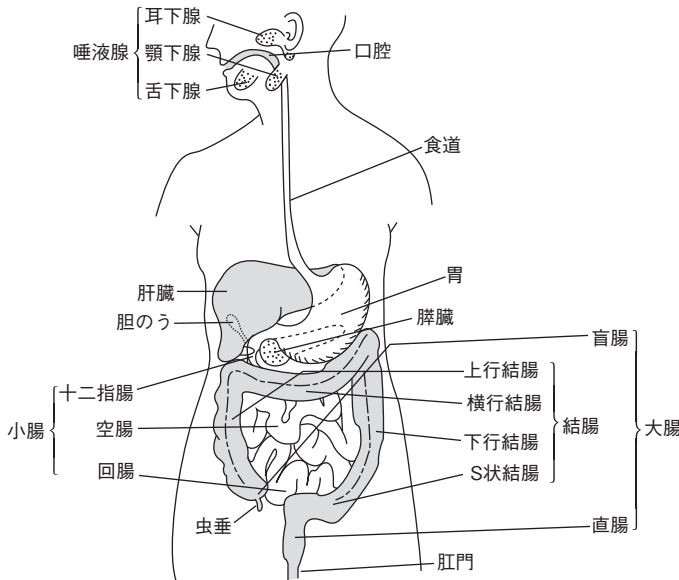


図5-2 ヒトの消化器系

表5-3 消化器系の概要

消化管と長さ	主な作用	消化腺と消化液
口 腔	咀嚼, 糖質の消化	唾液腺 (耳下腺, 顎下腺, 舌下腺) : 唾液
食 道	25cm 飲食物の運搬	
胃	(容積 約 1.5ℓ) たんぱく質の消化, アルコールの吸収	胃腺 : 胃液
小腸 { 十二指腸 空腸 回腸	30cm 2 ~ 3m 3 ~ 4m 糖質, 脂質, たんぱく質の消化, 吸収	肝臓・胆のう : 胆汁 膵臓 : 膵液 腸腺 : 腸液 / 膜消化酵素
大腸 { 盲腸 結腸 直腸	5cm 1.5 ~ 2m 15cm 腸内細菌による未消化物の発酵 水分の吸収 (糞便の形成)	
肛 門	排便	

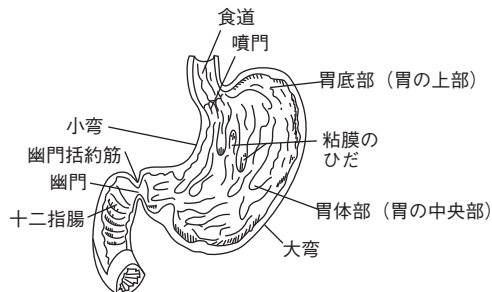


図5-3 胃の構造

小腸は十二指腸, 空腸, 回腸からなる約6mの長い管であり, 分節運動による内容物の攪拌や, 蠕動運動による内容物の移動が行われる。十二指腸には膵管と総胆管が合流して, 膵液と胆汁が分泌されるファータ

6章 炭水化物の栄養

1) 炭化水素の H を水酸基で置換したものをアルコール類といい、水酸基の数により 1 価、2 価、3 価……アルコールという。多価アルコールとは分子中に 2 個以上の水酸基 (-OH) をもつアルコールの総称。

覚えておきたい主な官能基

C_nH_{2n+1}	アルキル基
CH_3-	メチル基
C_2H_5-	エチル基
C_3H_7-	プロピル基
C_4H_9-	ブチル基
-OH	ヒドロキシル基 (水酸基)
-COOH	カルボキシル基
-CHO	アルデヒド基
>CO	ケトン基
-NH ₂	アミノ基
CH ₃ CO-	アセチル基

2) アミノ糖, 糖アルコール, アルドン酸, ウロン酸, デオキシ糖, 配糖体などがある。

炭水化物は、糖類と食物繊維に大別される。我々が日常摂取する糖質には、米飯、パン、麺、芋類などの主成分であるデンプンのほか、砂糖や果物の甘味であるショ糖や果糖などがある。糖質は消化吸収後、血糖として全身に運ばれ、筋肉や脳などのエネルギー源となる重要な熱量素である。余剰な糖質は脂肪に変換され、皮下や内臓周囲に蓄えられる。一方、ヒトの消化酵素で消化されない食物繊維は、様々な生理作用をもつ。

6.1 糖質の化学

6.1.1 糖質の定義

炭水化物のうち、ヒトの消化酵素により消化・吸収されエネルギー源となるものを消化性炭水化物（糖質）、そうでないものを難消化性炭水化物（食物繊維、糖アルコール、オリゴ糖など）と分けることがある。

糖質 (saccharide, sugar) とは、分子内にアルデヒド基 (-CHO)、またはケトン基 (=CO) をもつ多価アルコール¹⁾とその誘導体²⁾、及びそれらの縮合体である。

炭水化物は、炭素 (C)、水素 (H)、酸素 (O) の三元素から構成され、多くは $C_m(H_2O)_n$ の分子式で表すことができる。

6.1.2 糖質の分類

最小の単位は単糖 (monosaccharide) で、それが少数結合して少糖 (oligosaccharide)、多数結合して多糖 (polysaccharide) になる。

(1) 単糖類

アルデヒド基をもつ糖をアルドース、ケトン基をもつ糖をケトースという(図6-1)。これらは還元力をもつ還元糖である。また炭素数により、三炭糖(triose)、四炭糖(tetrose)五炭糖(pentose)、六炭糖(hexose)、七炭糖(heptose)などに分けられる³⁾。六炭糖は食物中に多く、栄養学上、特に重要である。三炭糖や四炭糖は糖の中間代謝産物として、五炭糖は核酸成分や糖の中間代謝産物として存在するものが多い。

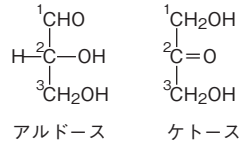


図6-1 アルドースとケトースの例(三炭糖)

3) 数を表す接頭語。

1 : mono	7 : hepta
2 : di	8 : octa
3 : tri	9 : nona
4 : tetra	10 : deca
5 : penta	少数の : oligo
6 : hexa	多数の : poly

① 六炭糖(図6-2)

a) グルコース(ブドウ糖:アルドース)

単糖として自然界に最も広く存在している。体内では血糖⁴⁾としてエネルギー源となる最も主要な糖である。少糖類や多糖類の構成成分としても重要である。

4) 健常者の空腹時血糖は70~110mg/dl前後。

b) フルクトース(果糖:ケトース)

果物、蜂蜜に多く含まれる。砂糖のスクロースやキクイモのイヌリンの構成成分でもある。

c) ガラクトース(アルドース)

単糖としては自然界に存在しないが、乳汁のラクトースの構成成分である。また、紅藻類の寒天にも含まれる。また生体膜や中枢神経に存在する糖脂質の成分である。

d) マンノース(アルドース)

コンニャクやユリ根のマンナンに含まれる

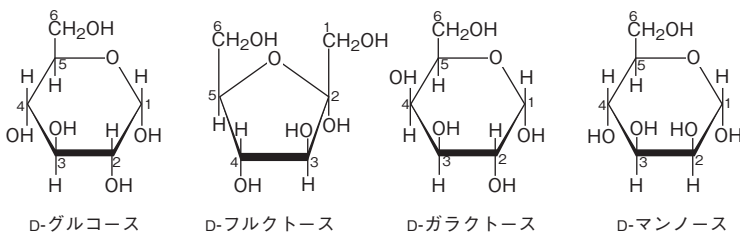


図6-2 六炭糖の構造

② 五炭糖(図6-3)

a) リボース(アルドース)

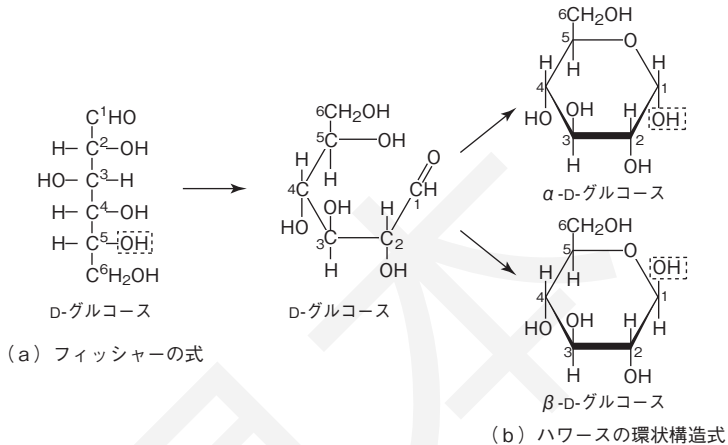
たんぱく質の生合成に関与するリボ核酸(RNA)の構成糖である。

単糖の化学構造(グルコースとフルクトースの例)

[グルコース：アルドース]

(a) は、グルコースをフィッシャーの投影法により鎖状構造で示し、アルデヒド基の炭素を1位として番号を付けたものである。単糖は1つ以上の不斉炭素原子^{a)}をもち、不斉炭素原子1原子につき1組の光学異性体^{b)}が存在する。アルデヒド基から1番離れた不斉炭素原子(5位の炭素)に結合する-OHが右側にあるものをD型、左側にあるものをL型という。天然に存在する単糖の多くはD型である。

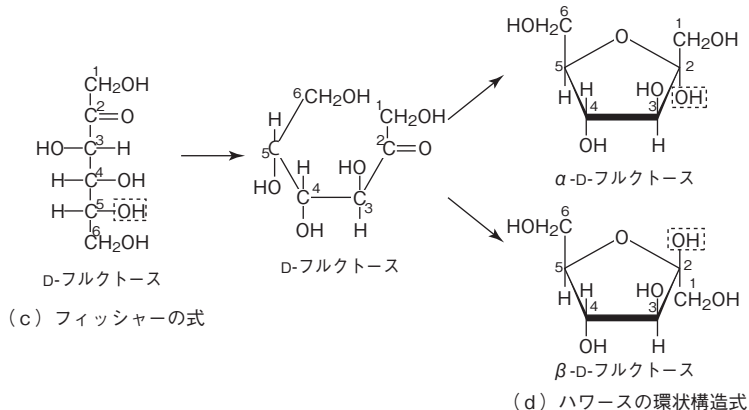
五炭糖以上の単糖類は、水溶液中で環状構造をとりやすい。D-グルコースは1位と5位の炭素間で酸素をはさんで六角形の環状となるが、この構造をピラノースという。環状構造をとったために生じる不斉炭素をアノマー炭素という。D-グルコースでは1位の炭素(アルデヒド基由来の炭素)がアノマー炭素となり、 α 型と β 型のアノマーを生じる。(b)のハワースの環状構造式でアノマー炭素に結合する-OH(グリコシド性水酸基)が下側にあるものを α 型、上側にあるものを β 型という。水溶液中のD-グルコースは α : β = 36 : 64の比で平衡状態となる。 α 型は β 型より約1.5倍甘い。この比は温度の影響を受けない。なお、グリコシド性水酸基は還元力をもつため、他の水酸基と区別される。



[フルクトース：ケトース]

(c) はフルクトースをフィッシャー投影法により鎖状構造で示したものである。ケトン基の炭素は2位となる。ケトン基から1番離れた不斉炭素原子(5位の炭素)に結合する-OHが右側にあるものをD型、左側にあるものをL型という。

D-フルクトースは2位と5位の炭素間で酸素をはさんで五角形の環状となるが、この構造をフラノースという。D-フルクトースでは2位の炭素(ケトン基由来の炭素)がアノマー炭素となり、 α 型と β 型の光学異性体を生じる。(d)のハワースの環状構造式でアノマー炭素に結合する-OH(グリコシド性水酸基)が下側にあるものを α 型、上側にあるものを β 型という。D-フルクトースでは、温度が下がると β 型の比が増加する。 β 型は α 型より約3倍甘いため、果物を冷やすと甘く感じる。



- a) 互いに異なる4個の原子、または原子団が結合している炭素のこと。
 b) 化学的な性質は同じだが、旋光性が異なる立体異性体のこと。

また、補酵素や ATP の成分となる。

b) デオキシリボース（アルドース）

遺伝情報を担うデオキシリボ核酸（DNA）の構成糖である。

c) キシロース（木糖：アルドース）

木材などの多糖類の構成糖である。

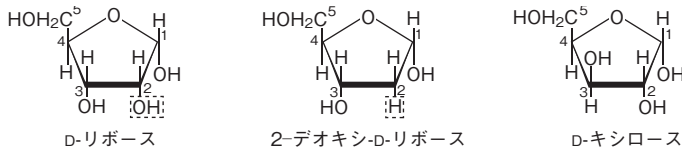


図 6-3 五炭糖の構造

③ 誘導糖

単糖の構造の一部が変化した誘導体で、アミノ糖、糖アルコール、アルドン酸、ウロン酸、デオキシ糖などがある。

a) アミノ糖（図 6-4）

単糖の水酸基がアミノ基に置換されたもので、グルコースからグルコサミン、ガラクトースからガラクトサミンが生じる。

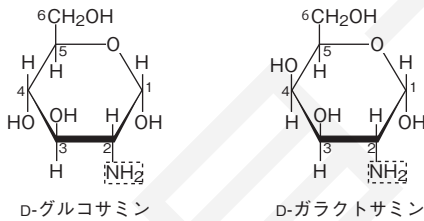


図 6-4 アミノ糖の構造

b) 糖アルコール（図 6-5）

単糖の還元基（アルドースのアルデヒド基、ケトースのケトン基）が還元されて水酸基になったものを糖アルコールという。グルコースやフルクトースからソルビトールが生じる。また、キシロースからはキシリトールが生じる。キシリトールやエリスリトール⁵⁾などの糖アルコールは「虫歯の原因になりにくい」特定保健用食品の素材として利用されており、難消化性糖質に分類される。

5) グルコースの糖アルコール

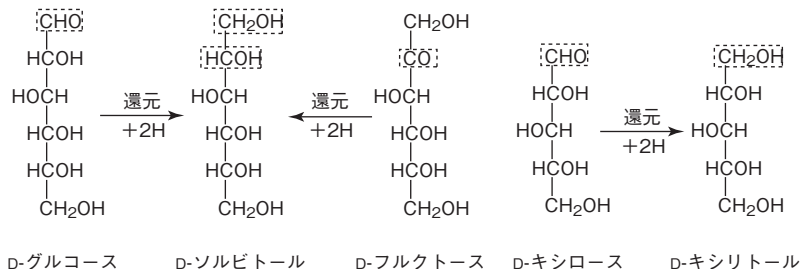


図 6-5 糖の還元