

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

- * 炭水化物(糖)の化学と代謝の学習目標
- * A. 炭水化物(糖)の化学



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



学習目標

II. 「炭水化物(糖)の化学と代謝」では、

- 1) 炭水化物(糖)とはどのような構造と性質をもつのか？
- 2) 糖にはどのような種類があるか？
- 3) 糖の消化と吸収はどのように行われるか？
- 4) 糖代謝の概要はどのようなものか？
- 5) 解糖系のしくみ
- 6) クエン酸回路のしくみ
- 7) グリコーゲンの合成と分解
- 8) 糖新生のしくみ
- 9) ペントースリン酸経路とは？

などを学ぶ。

炭水化物(糖)のもつ細胞のエネルギー代謝の基本物質としての生理的機能を理解する。基本単位物質(単糖)のグルコースは、栄養素としてどのように取り込まれ、どのように生体内で代謝され、どのような機能を発揮するか理解する。また、二糖類、オリゴ糖、多糖類、複合糖類の種類と性質および生理的機能を理解する。



* これだけは知っておきたいね、生化学 (2)

II. 炭水化物(糖)の化学と代謝

A. 炭水化物(糖)の化学

1. 糖質の化学：

- 1) 炭水化物(糖)とは？、
- 2) 炭水化物の構造；もっとも単純な構造は？D形とL形とは？ α と β とは？
- 3) 炭水化物分子の特徴は？

2. 種類：

- 1) 単糖類の定義と構造、
- 2) 二糖類、オリゴ糖、多糖類(ポリマー)の定義と種類(構成する糖)は？
- 3) 複合多糖(複合糖質)とはどのようなものか？
- 4) 糖の植物(食物)と動物の貯蔵体は？

B. 炭水化物の消化と吸収

1. 炭水化物の消化と代謝

- 1) 炭水化物の消化の過程は？
- 2) 炭水化物の代謝の概要は？

2. 糖質の生物学的機能：

- 1) 糖質の生物学的機能とは？

C. 解糖(解糖系)とクエン酸回路

1. 解糖系

- 1) 解糖(解糖系)とは？
- 2) 解糖系の中間物質は？
- 3) 解糖系に関与する主な酵素は？
- 4) 解糖系で消費される物質と生成される物質は？
- 5) 解糖系の機能とは？



* これだけは知っておきたいね、生化学 (2)

2. クエン酸(TCA, クレブス)回路 :

- 1) 解糖系からクエン酸回路への生化学反応は？
- 2) クエン酸回路とは？
- 3) クエン酸回路の中間物質は？
- 4) クエン酸回路に関与する主な酵素は？
- 5) クエン酸回路で消費される物質と生成される物質は？
- 6) クエン酸回路の機能とは？

D. 糖新生／グリコーゲンの合成と分解／ペントースリン酸経路 :

- 1) 糖新生とは
- 2) グリコーゲンの合成と分解とは
- 3) ペントースリン酸経路とは



目次

- A. 糖質の化学
 - 1. 炭水化物(糖)とは？
 - 2. 糖の基本構造
 - 3. 立体配置 (D体、L体、 α と β)
 - 4. 種類 (単糖類、二糖類、オリゴ糖類, 多糖類)
(Tea time) 乳糖不耐症って何
 - 5. 種類 (ヘテロ多糖類)
 - 6. 糖質の生物学的機能
- B. 糖質の消化・吸収
 - 1. 炭水化物の消化
 - 2. 糖の吸収
 - 3. 糖の代謝の流れ
 - 4. ATP, NAD, FADって何？
- C. 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)回路へ
(Tea time) 乳酸と疲労
- D. クエン酸回路
 - 1. クエン酸(TCA)回路とは？
 - 2. クエン酸回路の特徴
 - 3. クエン酸回路の中間物質と酵素
 - 4. クエン酸回路図
 - 5. クエン酸回路の機能
- E. 糖の貯蔵と糖新生
 - 1. グリコーゲンとは？
 - 2. グリコーゲンの機能
 - 3. グリコーゲンの貯蔵と利用
 - 4. グリコーゲンの合成と分解
 - 5. 糖新生とは？
 - 6. 糖新生経路
 - 7. 解糖と糖新生：糖と乳酸の体内循環
- F. ペントースリン酸経路と血糖調整
 - 1. ペントースリン酸経路とは？
 - 2. ペントースリン酸経路図
 - 3. 血糖値の調整
 - 4. 血糖値の維持
 - 5. インスリンの働き
 - 6. 血糖代謝の異常(糖尿病：血糖、ケトン体)



II. 炭水化物(糖)の化学と代謝

A. 糖質の化学

Index (糖質の化学)

- 1 炭水化物(糖)とは？
- 2 糖の基本構造
- 3 立体配置 (D体、L体、 α と β)
- 4 種類 (単糖類、二糖類、オリゴ糖類)
- (Tea time) 乳糖不耐症って何
- 5 種類 (多糖類、複合多糖類)
- 6 糖質の生物学的機能



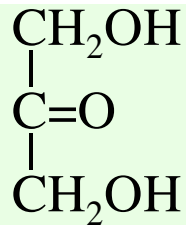
1. 炭水化物(糖)とは？

1) 炭水化物(糖)とはなにか？

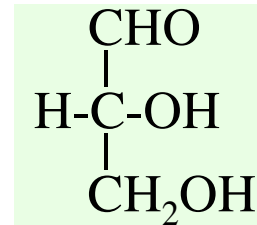
炭水化物(糖)とはアルデヒド基(-CHO)またはケトン基(>C=O)を含み、複数のヒドロキシル基(-OH)をもつ化合物

最も単純な炭水化物

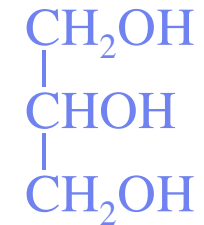
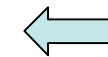
グリセロールの誘導体



Dihydroxyacetone



Glyceraldehyde



Glycerol

2) 糖の構造と機能

糖は、基本単位の単糖から単糖が2個、数個、多数結合した糖や、ペプチド、蛋白、脂質などと結合した複合糖質などその構造は多種であり、機能もエネルギー貯蔵から細胞-細胞間の複雑な認識課程に至るまでの多岐に渡っている。



2. 糖の基本構造

1) 糖の基本単位

- 糖の基本単位は単糖である。

2) 単糖の炭素数による分類と主な単糖

Triose(炭素数 3)

グリセルアルデヒド
ジヒドロキシアセトン

Tetrose (炭素数4)

エリスロース
スレオース

Pentose (炭素数5)

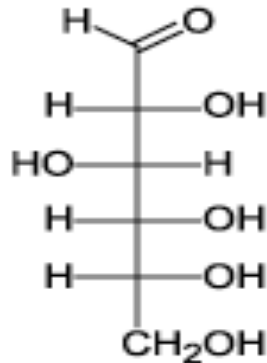
リボース
デオキシリボース
アラビノース
キシロース

Hexose(炭素数 6)

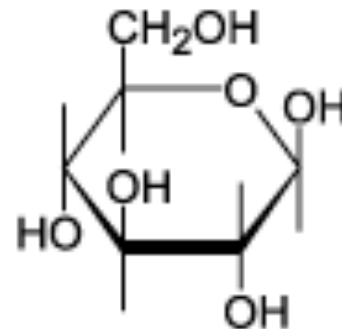
グルコース
フルクトース
マンノース
ガラクトース

3) 糖の表記法(例：グルコース)

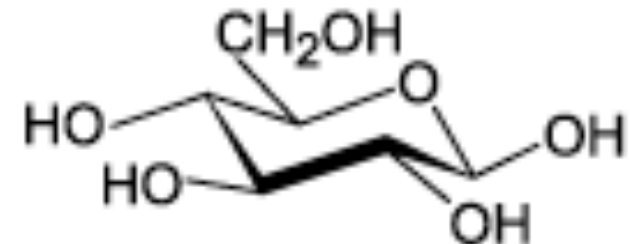
Fischer投影式
(フィッシャー投影式)



Haworth投影式
(ハース投影式)



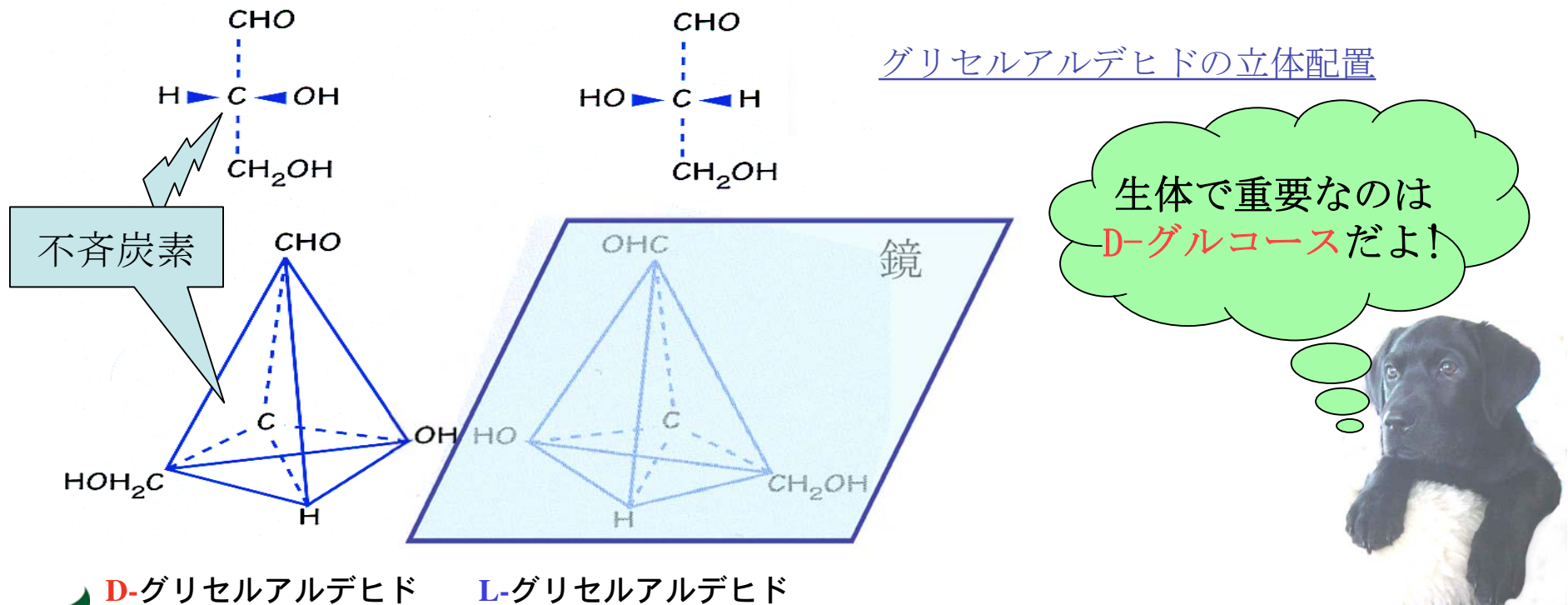
chair conformation
(イス形配座)



3. 立体配置 (D体とL体、 α と β)

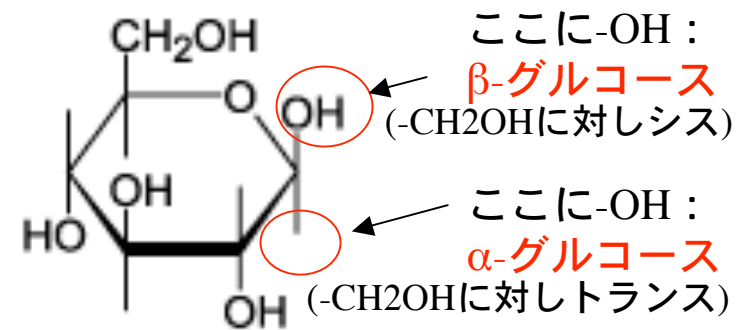
1) D体とL体

- 原子の結合の様子を立体的に配置することを立体配置という。
- 炭素原子が4つの異なる原子と結合する場合(このときの炭素原子を不斉炭素という)、立体構造が鏡像の関係のある化合物を光学異性体という。
- 不斉炭素を三角錐の中心において、CHO基を上置き、OH基が右側にあるとき**D体**、OH基が左側にあるときを**L体**という。



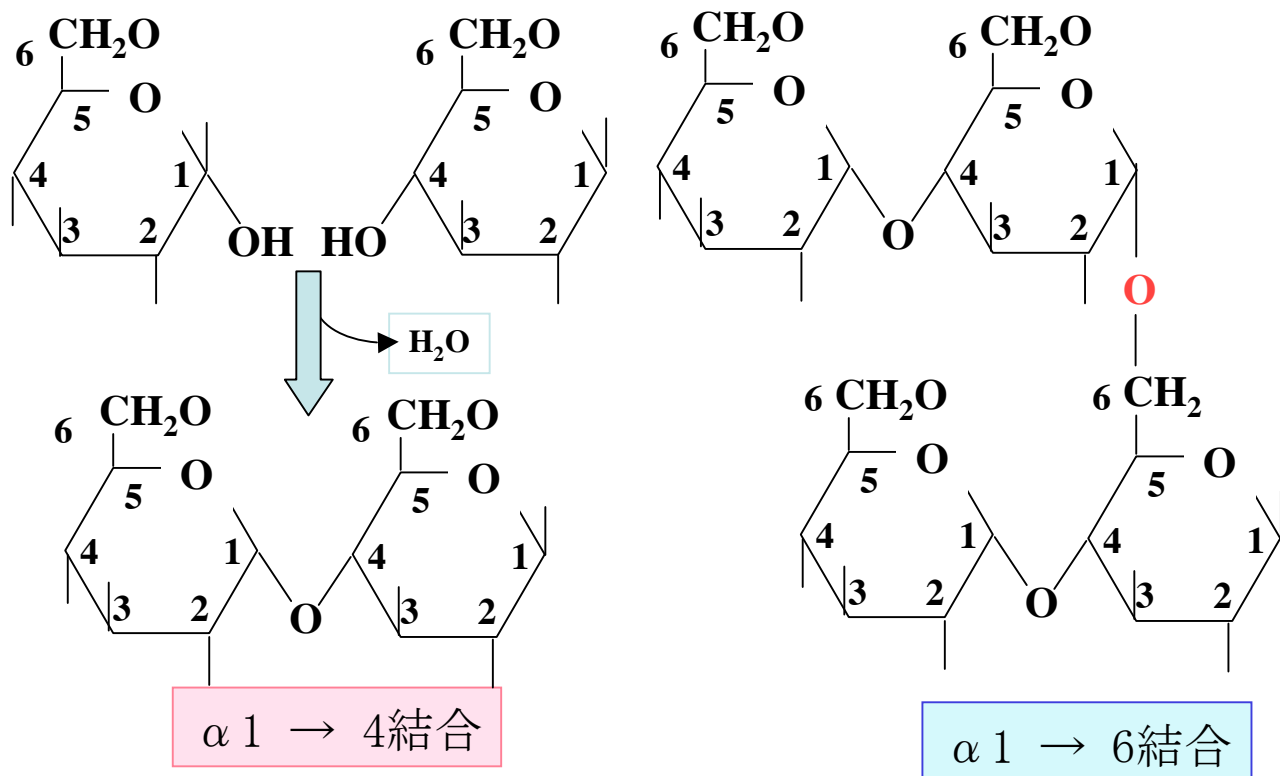
2) α 型と β 型

単糖を環状構造で表したとき、1位の炭素(C1)原子のOH基が下側(α 配座)にあるとき α 型、上側(β 配座)にあるとき β 型という。水溶液中のグルコースでは α 型と β 型は、36%と64%の比率で平衡に達している。



3) 糖の結合様式 (グリコシド結合)

2つの糖分子から水分子H₂Oが除去される反応(脱水反応)によって2つの糖分子が共有結合を形成する(このような反応を縮合という)。糖分子の炭素1位と4位、または1位と6位の水酸基OHからの脱水による結合を $\alpha 1 \rightarrow 4$ 結合または $\alpha 1 \rightarrow 6$ 結合という。



4. 種類 (単糖類、二糖類、オリゴ糖類、多糖類)

1) 単糖類

定義：それ以上小さな分子に加水分解する事が出来ない炭水化物。

炭素原子**3個以上**含む直鎖のポリヒドロキシアルデヒドまたはポリヒドロキシケトン。

• Pentose (炭素数5)

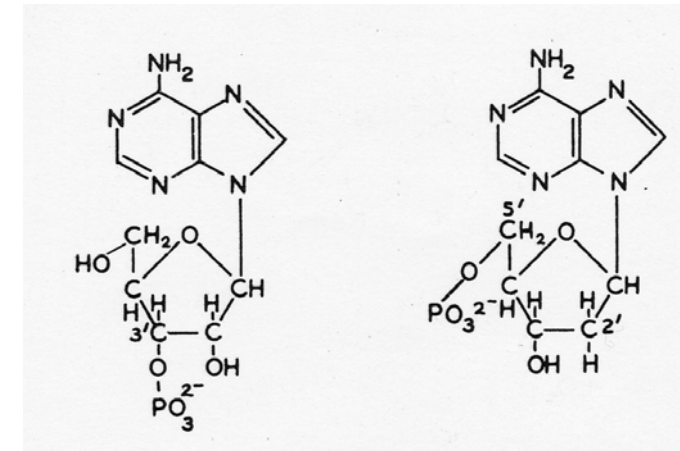
リボース
デオキシリボース
アラビノース
キシロース

核酸(DNA、RNA)や電子伝達体(ATP)やエネルギー物質(NAD、ATP)などの一部を構成

• Hexose(炭素数6)

グルコース
フルクトース
マンノース
ガラクトース

*エネルギーの供給
*二糖類、多糖類、各種の誘導体を構成



リボース
RNAの構成単位

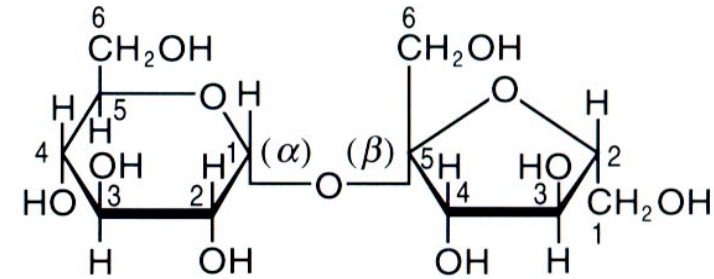
デオキシリボース
DNAの構成単位



2) ニ糖類：1つの糖のアノマー炭素と他の糖のどこかの位置の-OH基との間のグリコシドアセタール結合を持った化合物。

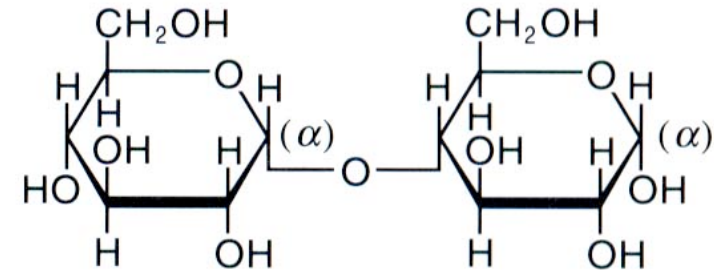
(スクロース、マルトース、ラクトース、など)

(1) Sucrose =(グルコース+フルクトース)
インベルターゼにより加水分解)



スクロース (ショ糖)

(2) Maltose =(グルコース+グルコース)
マルターゼにより加水分解)

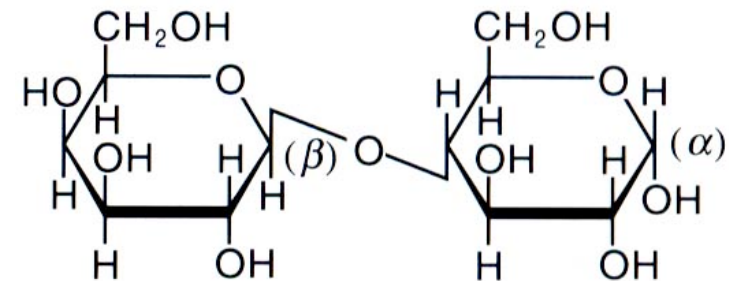


マルトース (麦芽糖)

(3) Lactose =(グルコース+ガラクトース)
ラクターゼにより加水分解)



乳糖不耐症って知ってる？



ラクトース (乳糖)



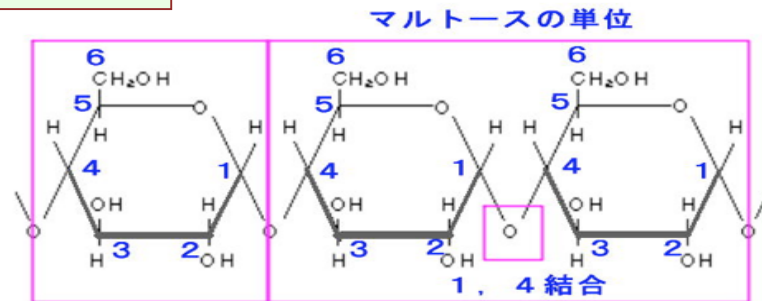
3) オリゴ糖：2～10個程度の糖がグリコシド結合したもの。

4) 多糖類：何十～何千もグリコシド結合によって結合。

(アミロース、アミロペクチン、デンプン、グリコーゲン、など)

(1) デンプン：植物の貯蔵多糖で、グルコースが直鎖状のアミロースと鎖構造の他に枝分かれ構造を含むアミロペクチンからなる。

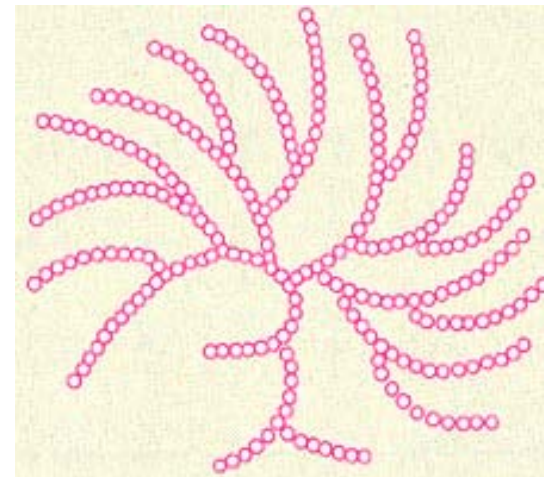
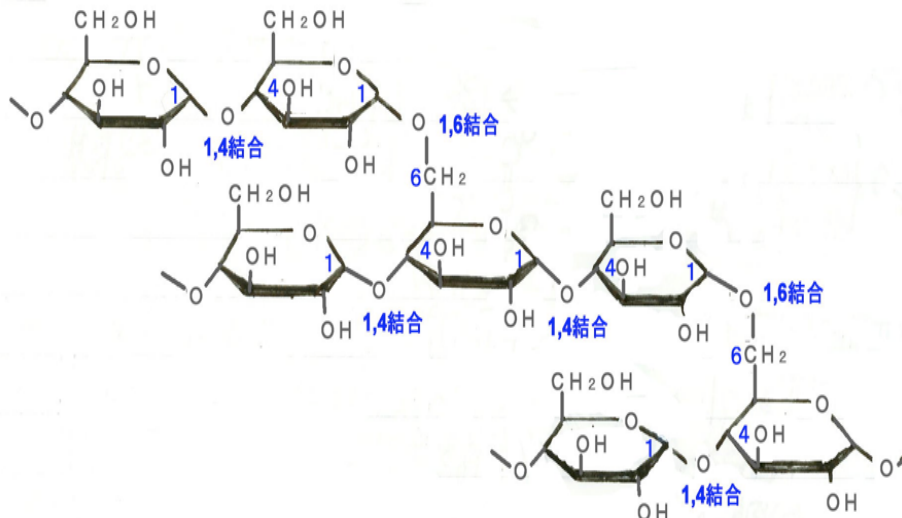
アミロース



α-グルコースの単位



アミロペクチン

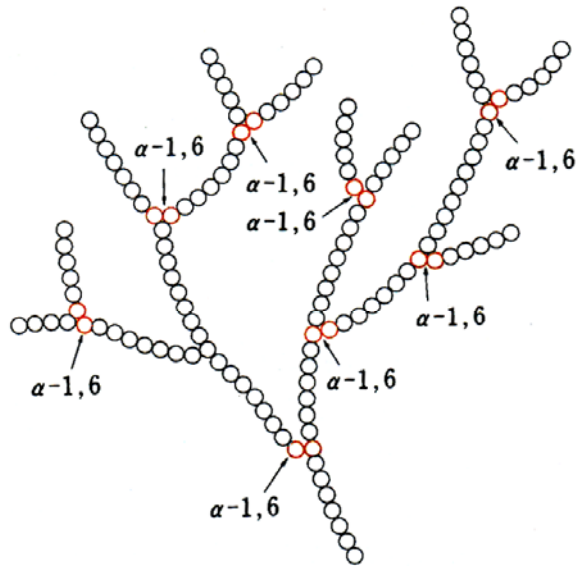


○：グルコース

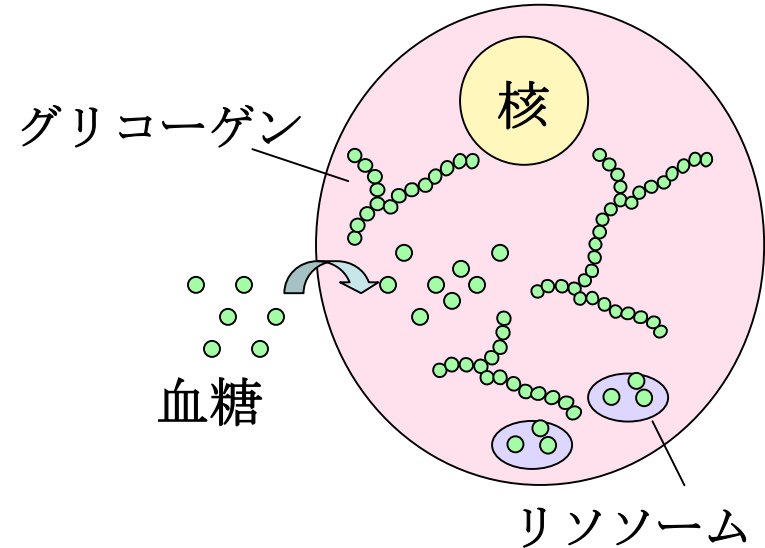


(2)グリコーゲン：肝臓や筋肉の細胞質に貯蔵される多糖類。

グルコースが直鎖状に結合し、8分子ごとに枝分かれする。

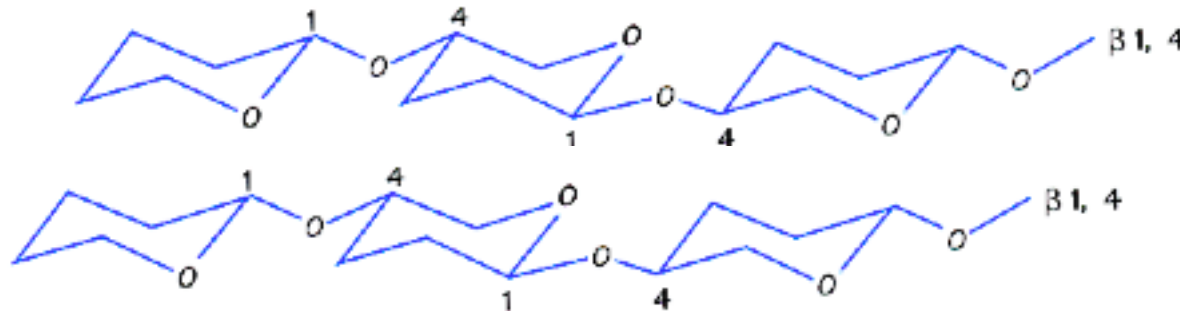


グリコーゲンの構造



グルコースとグリコーゲンの局在

(3)セルロース：植物の細胞壁、食物繊維の構成成分。グルコースが直鎖状に β 1 \rightarrow 4結合。直鎖が積み重なって分子間相互作用で安定する。





Tea time

乳糖不耐症って何？

- ・ 牛乳を飲んでお腹を壊したりする方はいませんか？
- ・ 牛乳に含まれる乳糖を分解する酵素がなく分解できずお腹を壊してしまう(乳糖不耐症)。乳糖は分解されてブドウ糖とガラクトースになり、ガラクトースは中枢神経系の完成に必要で、母乳には乳糖が多く含まれている。乳児期までは小腸の粘膜でラクターゼが作られるので母乳を飲んでも平気だが、乳糖不耐症素因があるとその酵素が少なくなってしまう。世界全体で8割の人はこの素因がある(北欧や西ヨーロッパでは1割)



5. 種類 (ヘテロ多糖類)

デンプン、アミロース、アミロペクチン、グリコーゲン、セルロースなどのように、グルコースだけが結合した多糖類(ホモ多糖類)ではなく、異なる単糖が結合した多糖類。

1) ヒアルロン酸

2) コンドロイチン硫酸

3) ヘパリン

・硫酸化多糖、2糖類の繰り返し構造、

[グルコサミン(2ヶ所が硫酸化) + 硫酸化グルクロン酸] n

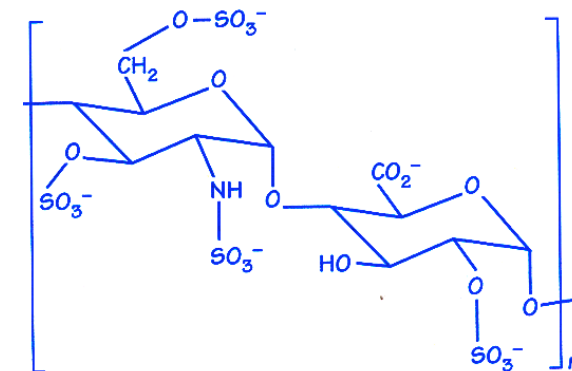
・血管周囲の肥満細胞内の顆粒中に貯蔵

・血液凝固防止機能、血流中血栓を防止、アンチトロンビンⅢ(抗トロンビン作用) と相互作用(増強)してトロンビンなどのセリンプロテアーゼ活性を阻害

・血液凝固阻害剤

4) キチン：甲殻類や節足動物の外骨格成分。

5) その他：ペクチン、寒天など



ヘパリン



6. 糖質の生物学的機能

- 1) 内呼吸：生体内エネルギー代謝の基本物質(グルコースなど)
- 2) エネルギー源：穀類などの含まれる食物栄養素 (デンプンなど)
- 3) 細胞・組織の構築成分や、生理活性物質(細胞膜表面で分子間認識など) (糖蛋白・糖脂質)
- 4) 核酸、アミノ酸、脂質の合成素材



理解度確認小テスト(II-A)

Q.1 : 炭水化物の構造の説明で間違っているのはどれか? 2つ選択しなさい。

- 1) カルボキシル基(-COOH)をもつ化合物である。
- 2) 2つの糖分子の結合をジスルフィド結合という。
- 3) アルデヒド基(-CHO)またはケトン基をもつ化合物である。
- 4) 複数のヒドロキシル基(-OH)をもつ化合物である。
- 5) 2つの糖分子の結合をグリコシド結合という。

Q.2 : 次のうち2糖類はどれか? 2つ選択しなさい。

- 1) マルトース
- 2) ラクトース
- 3) フルクトース
- 4) ガラクトース
- 5) グルコース

Q.3 : スクロースを構成している糖はどれか? 2つ選択しなさい (重複しても良い)。

- 1) グルコース
- 2) フルクトース
- 3) キシロース
- 4) マンノース
- 5) アミロース

Q.4 : 多糖類でないのはどれか? 1つ選択しなさい。

- 1) リボース
- 2) セルロース
- 3) グリコーゲン
- 4) アミロペクチン
- 5) デンプン

