

栄養管理と生命科学シリーズ

生化学

山田一哉 編著

理工図書

栄養管理と生命科学シリーズ

生化学

山田一哉 編著

編集者

山田 一哉 松本大学大学院健康科学研究科 教授

執筆者 (五十音順)

江頭祐嘉合 千葉大学大学院 園芸学研究院 教授 (7章)

黒川 優 松本大学大学院健康科学研究科 准教授 (3章)

小林 謙一 ノートルダム清心女子大学 人間生活学部
食物栄養学科 教授 (8章、10章)

小林 直木 摂南大学 農学部 食品栄養学科 講師 (14章)

近藤 貴子 名古屋女子大学 健康科学部 健康栄養学科 講師 (6章)

竹中 優 神戸女子大学 家政学部 管理栄養士養成課程 教授 (13章)

棚橋 浩 九州女子大学 家政学部 栄養学科 教授 (1章)

田村 典子 新潟医療福祉大学 健康科学部 健康栄養学科 教授 (5章)

原 博 藤女子大学 非常勤講師 北海道大学名誉教授 (2章、9章)

堀江 信之 名古屋女子大学 健康科学部 健康栄養学科 教授
(4章、11章)

山田 一哉 松本大学大学院健康科学研究科 教授 (15章、16章)

山田 徳広 摂南大学 農学部 食品栄養学科 教授 (12章)

はじめに

本書は、前著「化学・生化学」の発刊以来、13年ぶりに改訂したものである。今回の改訂では、限られたページ数の中で「生化学」をより理解しやすくするために、基礎的内容の「化学」の部分を削除した。装丁も二色刷りからカラー版になり、とても見やすくなった。

管理栄養士養成課程のカリキュラムである「人体の構造と機能及び疾病の成り立ち」の分野は専門基礎科目であるものの、いわゆる基礎医学に関する領域を含んでいることから、多くの学生が苦手としている分野である。その中でも、特に「生化学」は、酵素名や物質名にカタカナやアルファベットが多いため、覚えにくいというところで評判は芳しくない。しかし、「生化学」は、私たちが日々食する栄養素が体内でどのように代謝されているのか、その代謝がどのようにして調節されているのか、その調節が破綻した場合にどのような疾病を招くのかを理解するための基盤となる知識を提供する重要な科目である。これらを正確に理解することで、臨床や実践に関わる栄養学等の専門分野への応用力をより高めることができ、管理栄養士として人々の健康の維持・増進に寄与できるのである。例えば、肥満や糖尿病、心血管疾患などの慢性疾患を予防するためにはどうするのか、逆に、罹患した場合にはどのように栄養管理をするべきか等は生化学的なメカニズムを理解することが不可欠といえよう。

本書の作成に当たっては、「生化学」をより平易に理解できるように、個々の物質代謝、その関係性、調節のメカニズムについて、生体で何がどう変化すれば、どう影響するのかなどストーリー性をもたせることを心がけた。本文中で学んだ知識をすぐに定着できるように例題を、1章を学んだあとに知識を確認できるように、実際の国家試験問題を章末問題としてあげた。学生諸君には、一つ一つ丁寧に理解しながら、物質代謝とその調節についての全体像を自分の頭の中で映像として構築し、内容を他人に説明できることで、「生化学」をマスターしてもらいたいと思っている。

本書が管理栄養士養成課程の学生にとって、「生化学」が好きな科目、得意な科目になる機会を提供できたとすれば、編者としてこの上ない喜びである。

2024年7月

澄み切った空気と透明な水と自然豊かな北アルプスの山並みを眺めて
山田一哉

目次

第1章 細胞の構造と機能 / 1

1 細胞の構造 / 2

1.1 ヒトの細胞数と種類 / 2

1.2 細胞内小器官とそのはたらき / 4

2 生体膜の構造と機能 / 7

2.1 生体膜の構造 / 7

2.2 物質輸送 / 8

3 ヒトの生体成分 / 10

章末問題 / 11

第2章 糖質 / 15

1 糖質とは / 16

2 単糖 / 16

2.1 単糖とは / 16

2.2 アルドースとケトース / 17

2.3 光学異性体 (D型とL型) / 18

2.4 アノマー (α 型と β 型) / 19

2.5 エピマーとは / 20

2.6 主な単糖類 / 21

2.7 誘導糖 / 21

3 少糖類 / 23

3.1 少糖類とは / 23

3.2 主な二糖類 / 23

4 多糖類 / 26

4.1 多糖類とは / 26

4.2 ホモ多糖 / 26

4.3 ヘテロ多糖 / 28

4.4 複合糖質／28

章末問題／29

第3章 脂質／31

1 脂質とは／32

2 単純脂質／32

2.1 グリセリド／32

2.2 ステロールエステル／33

3 複合脂質／34

3.1 リン脂質／34

3.2 糖脂質／36

4 誘導脂質／37

4.1 脂肪酸／37

4.2 ステロイド／40

4.3 エイコサノイド／43

章末問題／45

第4章 たんぱく質・アミノ酸／47

1 はじめに／48

2 アミノ酸／48

2.1 アミノ酸の基本構造／48

2.2 アミノ酸の分類／50

3 ペプチド／52

3.1 ペプチド結合／52

3.2 生理活性を持つペプチド／53

4 たんぱく質／53

4.1 たんぱく質の構造／53

4.2 たんぱく質の分類／57

4.3 水溶液中でのたんぱく質／63

章末問題／64

第5章 核酸・ヌクレオチド／67

1 核酸とは／68

2 ヌクレオチドとは／68

- 2.1 リボースとデオキシリボース／68
- 2.2 プリン塩基とピリミジン塩基／69
- 2.3 ヌクレオシドとヌクレオチドの種類／70
- 2.4 サイクリック AMP (cAMP) /71

3 DNA と RNA／71

- 3.1 DNA (デオキシリボ核酸) /71
- 3.2 RNA (リボ核酸) /73

章末問題／76

第6章 ビタミン・ミネラル／78

1 ビタミン／79

- 1.1 脂溶性ビタミン／80
- 1.2 水溶性ビタミン／85

2 ミネラル／93

- 2.1 多量ミネラル／93
- 2.2 微量ミネラル／97

章末問題／100

第7章 酵素／105

1 酵素とは／106

- 1.1 酵素のはたらき (一般的性質 活性化エネルギー) /107
- 1.2 酵素の分類／107
- 1.3 酵素の性質／108
- 1.4 反応速度論／110

2 アイソザイム／113

- 2.1 ヘキソキナーゼとグルコキナーゼ／113
- 2.2 サブユニット／113

2.3 逸脱酵素・アイソザイムと診断への応用／114

3 酵素活性の調節／115

3.1 酵素活性の阻害／115

3.2 アロステリック調節／116

3.3 修飾による調節／117

3.4 限定分解による調節／118

3.5 酵素活性の単位／118

章末問題／119

第8章 生体エネルギー学／123

1 生物とは／124

2 自由エネルギー／124

2.1 生体エネルギー学／124

2.2 熱力学の法則／125

2.3 自由エネルギー／126

2.4 標準自由エネルギー変化／127

2.5 共役反応／128

2.6 独立栄養と従属栄養／128

2.7 同化と異化／128

2.8 高エネルギーリン酸結合／130

2.9 生体酸化 生体内での電子とエネルギーのやりとり／132

2.10 活性酸素と酸化ストレス／135

2.11 呼吸鎖と酸化的リン酸化／138

章末問題／141

第9章 糖質の代謝／145

1 糖質とは／146

1.1 糖質の消化と吸収／146

1.2 糖の組織への取り込み／146

2 糖質代謝の全体像／147

3 解糖系／149

- 3.1 解糖系の概要／149
- 3.2 解糖系の反応／149
- 3.3 解糖系で生産された $\text{NADH} + \text{H}^+$ の行方／151
- 4 クエン酸回路／153**
 - 4.1 クエン酸回路の概要／153
 - 4.2 クエン酸回路の反応／153
- 5 グルコースの完全酸化／156**
- 6 グリコーゲンの合成と分解／157**
 - 6.1 グリコーゲンの役割／157
 - 6.2 グリコーゲンの合成／157
 - 6.3 グリコーゲンの分解／157
- 7 糖新生／158**
 - 7.1 糖新生とは／158
 - 7.2 糖新生の反応／158
 - 7.3 糖新生における臓器連関／161
- 8 その他のグルコースの代謝経路／162**
 - 8.1 ペントース（五炭糖）リン酸回路／162
 - 8.2 グルクロン酸経路（ウロン酸経路）／164
- 9 フルクトース・ガラクトースの代謝／164**
 - 9.1 フルクトースの代謝／164
 - 9.2 ガラクトースの代謝／166
- 10 血糖値の調節／166**
 - 10.1 グリコーゲン合成と分解の調節／167
 - 10.2 解糖と糖新生の調節／170
- 11 糖質代謝異常症／173**
 - 11.1 糖尿病／173
 - 11.2 先天性糖質代謝異常症／174
- 章末問題／176**

第10章 脂質の代謝／181

- 1 脂質の機能／182**
 - 1.1 脂質の消化と吸収／182

- 1.2 リポたんぱく質／182
- 1.3 リポたんぱく質による脂質の輸送／184
- 1.4 脂肪組織でのトリグリセリドの貯蔵と分解／186
- 1.5 脂肪酸の分解／187
- 1.6 脂肪酸の合成／190
- 1.7 脂肪酸の鎖長の伸長と不飽和化／193
- 1.8 トリグリセリドの合成／195
- 1.9 ケトン体代謝／197
- 1.10 コレステロールの代謝／199
- 1.11 胆汁酸の合成／201
- 1.12 ビタミンD₃の生合成／202
- 1.13 ステロイドホルモンの生合成／202
- 1.14 エイコサノイド／203
- 1.15 脂質異常症／203

章末問題／204

第11章 たんぱく質・アミノ酸の代謝／209

- 1 アミノ酸とたんぱく質／210
- 2 体たんぱく質の合成と分解／210
 - 2.1 体たんぱく質の合成と分解／210
 - 2.2 たんぱく質の代謝回転／213
- 3 アミノ酸の異化（炭素骨格の代謝と窒素代謝）／215
 - 3.1 アミノ酸窒素の代謝／215
 - 3.2 アミノ酸の炭素骨格の代謝／220
 - 3.3 アミノ酸の生理活性物質への変換／224
 - 3.4 クレアチンの生成と代謝／226
- 4 非必須アミノ酸の合成／228
 - 4.1 ピルビン酸、オキサロ酢酸、 α -ケトグルタル酸から合成されるアミノ酸／228
 - 4.2 3-ホスホグリセリンから合成されるアミノ酸／229
 - 4.3 チロシンの生合成／229
- 5 アミノ酸の代謝異常症／230
 - 5.1 フェニルケトン尿症／231

5.2 メープルシロップ尿症／231

5.3 ホモシスチン尿症／231

章末問題／232

第12章 ヌクレオチド代謝／237

1 ヌクレオチドの代謝／238

1.1 プリンヌクレオチドのデノボ合成／238

1.2 ピリミジンヌクレオチドのデノボ合成／240

1.3 デオキシリボヌクレオチド合成／242

1.4 チミンを持つヌクレオチドの合成／242

1.5 ヌクレオチドの分解とサルベージ経路によるヌクレオチドの再合成／243

1.6 プリンヌクレオチドの分解／244

1.7 ピリミジンヌクレオチドの分解／245

1.8 サルベージ経路によるヌクレオチドの合成／246

2 ヌクレオチド代謝異常症／247

2.1 巨赤芽球性貧血／247

2.2 痛風／248

2.3 レッシュ・ナイハン症候群／248

2.4 アデノシンデアミナーゼ欠損症／249

章末問題／249

第13章 代謝の統合／253

1 はじめに／254

2 摂食時の代謝／256

2.1 肝臓／256

2.2 筋肉／257

2.3 脂肪組織／258

2.4 インスリンの作用／258

3 空腹時の代謝／259

3.1 肝臓／260

3.2 筋肉／261

- 3.3 脂肪組織／261
- 4 運動時の代謝／262
- 5 栄養素の相互変換／263
- 章末問題／265

第14章 情報伝達の機構と恒常性／271

- 1 細胞間情報伝達／272
 - 1.1 細胞間情報伝達による恒常性の維持／272
 - 1.2 細胞間情報伝達の経路／272
 - 1.3 情報伝達物質／273
- 2 受容体による情報伝達／285
 - 2.1 細胞膜受容体／285
 - 2.2 核内受容体／288
- 3 細胞内情報伝達／289
 - 3.1 Gたんぱく質共役型受容体（GPCR）を介した細胞内情報伝達／289
 - 3.2 酵素共役型受容体を介した細胞内情報伝達／290
 - 3.3 グアニル酸シクラーゼを介した細胞内情報伝達／291
- 4 ホルモン分泌の調節／291
 - 4.1 各器官によるホルモン調節機構／292
- 章末問題／295

第15章 遺伝情報の発現と制御／301

- 1 遺伝子とは／302
- 2 染色体と遺伝子／302
- 3 遺伝情報の流れ／304
- 4 遺伝子の複製／305
- 5 たんぱく質合成／308
 - 5.1 転写／308
 - 5.2 RNA プロセッシング／311
 - 5.3 翻訳のルールとアミノアシル tRNA／312
 - 5.4 翻訳の過程／313

5.5 たんぱく質の局在と修飾／316

6 遺伝子発現の制御／316

6.1 転写レベルでの調節／316

6.2 転写後レベルでの調節／320

7 DNA の修復機構／321

章末問題／324

第16章 遺伝子変異・遺伝子組み換え技術／327

1 遺伝子変異と先天性代謝異常／328

2 一塩基多型／329

3 エピジェネティクス／331

4 遺伝子組み換え技術／332

4.1 遺伝子組み換え技術／332

4.2 ポリメラーゼ連鎖反応／333

4.3 塩基配列の決定／335

4.4 DNA マイクロアレ／337

4.5 遺伝子改変生物／338

章末問題／340

第1章

細胞の構造と 機能

達成目標

- 生体を構成する細胞の種類の特徴、基本構造を理解する。
- 細胞内小器官（核、小胞体、リボソーム、ゴルジ体、ミトコンドリア、リソソーム、ペルオキシソーム、中心体）や細胞骨格（アクチンフィラメント、中間径フィラメント、微小管フィラメント）の構造と機能について理解する。
- 細胞膜の構造と機能、細胞膜を介した輸送（受動輸送、能動輸送、膜動輸送）について理解する。
- 食事による栄養素の摂取量と栄養素が生体で占める割合について理解する。

1 細胞の構造

1.1 ヒトの細胞数と種類

ヒトの体を構成する細胞の数は、さまざまな細胞の体積と細胞数から推計して 37 兆 2 千億個といわれている。そのうち約 80%は、赤血球である。

ヒトの細胞は約 270 種類あると考えられ、それぞれ特殊な形態を有する (図 1.1)。1 つの受精卵が分裂して多数の細胞になり個体になる。発生したばかりの細胞は形態・機能的に同一であるが、幹細胞を経て特有の形態・機能を有する細胞に変化してさまざまな生命活動を支える組織 (上皮細胞、支持組織 [結合組織、軟骨組織、骨組織、血液・リンパ]、筋組織、神経組織) になり、組織が組み合わさって特定の機能を営む器官系 (神経系、骨格系、筋系、感覚器系、内分泌系、循環器系、呼吸器系、消化器系、泌尿器系、生殖器系) となり、個体となる。この細胞の変化を分化という。細胞には核のない赤血球、血小板や多数の核がある多核細胞もある。多核細胞には、骨格筋細胞、破骨細胞、肝細胞、移行上皮細胞の表層にある細胞、合胞体栄養細胞などがある。

細胞は基本的に共通の構造である細胞膜、細胞質 (細胞膜と核膜の間の領域)、細胞内小器官 (細胞内部の分化した形態や機能を持つ構造体)、細胞質ゾル (細胞内小器官を囲む細胞質の液状部分)、細胞の形状や運動にかかわる細胞骨格を持っている (図 1.2)。細胞質ゾルには栄養素、酵素、電解質が含まれ、多くの代謝反応が行わ

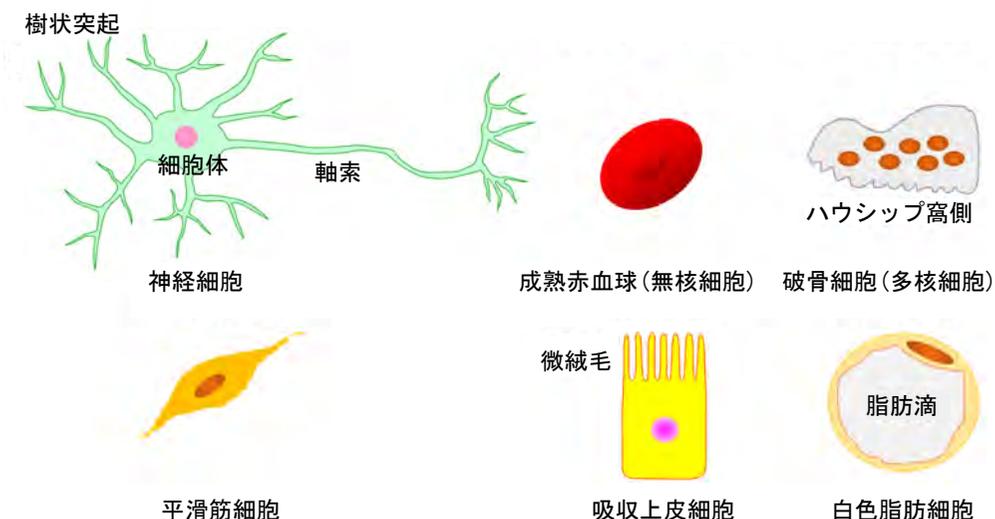


図 1.1 細胞の多様な形態

れている。これらにはグルコースをピルビン酸や乳酸まで分解する解糖系、ペントースリン酸経路、グルクロン酸経路、グリコーゲンの合成・分解系や飽和脂肪酸であるパルミチン酸の合成系などが含まれる。

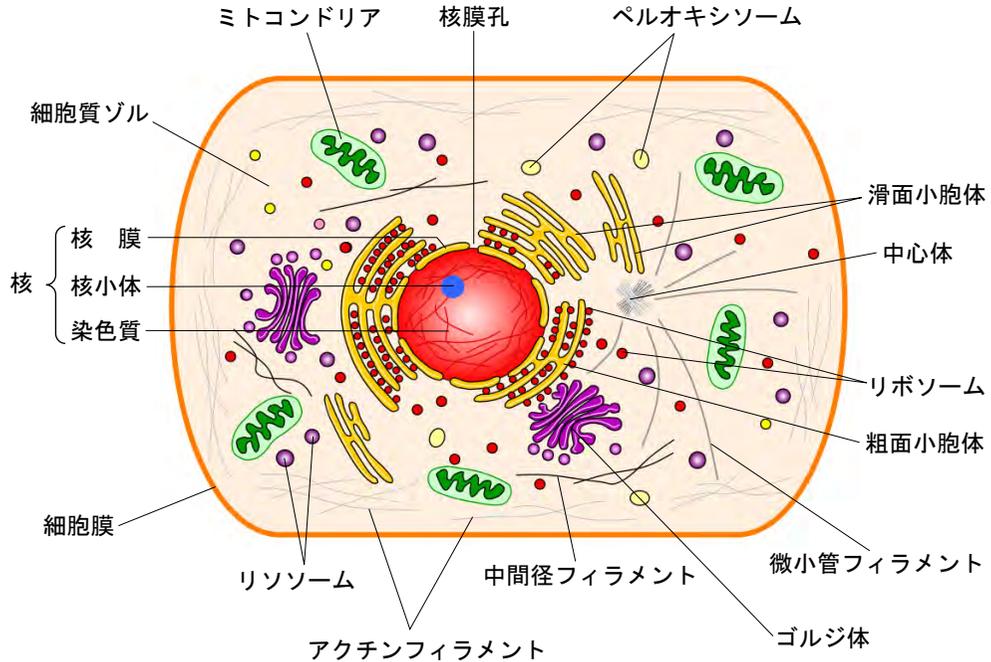


図 1.2 細胞の基本構造と細胞内小器官

例題 1 細胞に関する記述である。正しいものの組み合わせはどれか。1つ選べ。

1. すべての細胞には、核がある。
2. 核は、細胞質の中にある。
3. 細胞質の中に細胞内小器官がある。
4. 多分化能を持つ幹細胞が特有の形態・機能を有する細胞に変化することを分化という。
5. 解糖系の反応は、核で行われる。

(1) 1と2 (2) 2と3 (3) 1と3 (4) 3と4 (5) 4と5

解説 1. 赤血球や血小板には核はない。 2. 細胞質は、細胞膜と核膜の間の領域である。 5. 解糖系の反応は細胞質ゾルで行われる。

解答 (4)

1.2 細胞内小器官とそのはたらき

(1) 核

内膜と外膜からなる二重の脂質二重層構造からなる**核膜**で覆われ、体細胞では遺伝情報を支配する DNA が 60 億塩基対含まれている。DNA はヒストンたんぱく質と結合して折り畳まれて染色質（クロマチン）という複合体を形成している（第 15 章）。DNA から転写された mRNA（メッセンジャー RNA）は核膜にある**核膜孔**とよばれる小孔を通して細胞質に移動する。核内にある**核小体**は、rRNA（リボソーム RNA）の転写や 4 種類の rRNA と 79 種類のリボソームたんぱく質からなるたんぱく質合成装置であるリボソームの構築が行われているところで**仁**ともいわれる。核膜の外膜は小胞体と連結している。

(2) 小胞体

小胞体は細胞内に張り巡らされたチューブ状の網目構造を持ち、たんぱく質合成を行うリボソームが表面に付着している粗面小胞体と結合していない滑面小胞体がある。

粗面小胞体では、①核膜孔から出てきた mRNA の情報をもとに膜表面のリボソームで分泌たんぱく質や膜たんぱく質の合成が行われる。②リボソームで合成されたたんぱく質は、小胞体内で糖鎖の付加などの化学修飾が行われる。③リボソームで合成されたたんぱく質を正しく折り畳んで立体構造の形成を行う。ジスルフィド結合の形成も行われる。正しく折り畳めなかったたんぱく質に**シャペロンたんぱく質**が結合して小胞体内に留め、正しい構造がとれるようにする。できなければそのたんぱく質は分解される。④多くのたんぱく質は輸送小胞に包まれ、ゴルジ体へ運搬される。

滑面小胞体では、ステロイドホルモンや脂質の合成、細胞質ゾルで合成された脂肪酸パルミチン酸の鎖長の延長や二重結合の付加、薬物の水酸化（-OH）やグルクロン酸抱合（結合することで親水性にして体外に排出させやすくする）などの解毒反応が行われる。またシグナル伝達に重要な細胞内 Ca^{2+} の貯蔵・放出を行う。

(3) ゴルジ体

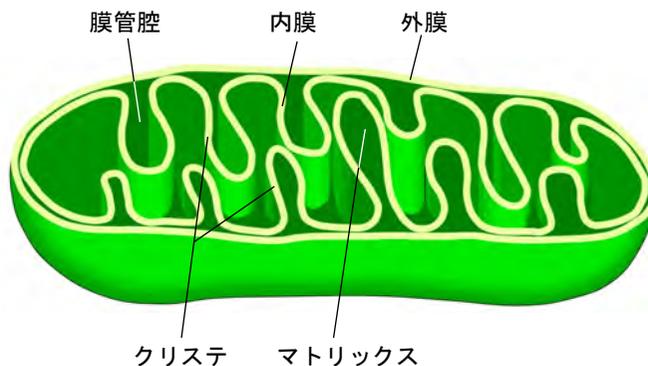
円形の扁平な袋が重なった構造をしている。粗面小胞体で作られたたんぱく質にさらに高度な糖鎖や脂質の付加、リン酸化修飾をする。たんぱく質を濃縮し、袋の端がちぎれてゴルジ小胞を形成しゴルジ体から放出され（**出芽**）、細胞膜、細胞内小器官などそれぞれの目的地へ輸送する。物質を膜に包み込んでゴルジ小胞となり細胞外に放出する仕組みを**エキソサイトーシス**という。例えばホルモンなどを含んだ分泌小胞が細胞膜と融合してホルモンが細胞外に分泌される。

(4) 遊離リボソーム

小胞体に結合せず、細胞質ゾルに浮かんでいるリボソームで、主に細胞質ゾルで働くたんぱく質を合成している。

(5) ミトコンドリア

二種類の膜（外膜と内膜）に覆われており、好氣的な（酸素を用いた）反応により、栄養素のエネルギーを ATP のエネルギーに変換する場所で、1つの細胞内に数百～数千個のミトコンドリアが存在する。外膜はポリリンという脂質二重膜を貫通する輸送たんぱく質が多数含まれており、5 kDa 以下の分子を通過させるふるいとして働く。これより大きな分子は、特異的な膜輸送たんぱく質により膜間腔に通過させる。内膜は呼吸鎖（電子伝達系）反応が行われる場で ATP 合成酵素が含まれる。内膜はクリステとよばれるひだ状構造をしているので表面積は非常に大きくなり、ここに多くの呼吸鎖反応にかかわる分子を配置することができる。内膜内側の空間をマトリックスとよび、数百種類の酵素が濃縮されて混在しており、クエン酸回路、脂肪酸の β 酸化、グルタミン酸の酸化的脱アミノ反応（アンモニアの生成）にかかわる酵素などが含まれている（[図 1.3](#)）。ミトコンドリアは、遊離リボソームや粗面小胞体のリボソームとは異なる独自のリボソームを持ち、たんぱく質合成が行われている。また自己複製できる独自の環状 DNA を持ち、約 16,000 塩基対に 37 個の遺伝子がコードされている。受精の際には、父親由来のミトコンドリアは卵に持ち込まれないため、ミトコンドリアは母親由来である。



内膜は呼吸鎖反応が行われる場で ATP 合成酵素が含まれる。クリステは内膜のひだ状構造のことをいう。マトリックスではクエン酸回路、脂肪酸の β 酸化などが行われる。膜管腔は H^+ 濃度が高く H^+ の電気化学ポテンシャルエネルギーを用いて物質輸送が行われる。

図 1.3 ミトコンドリア

(6) リソソーム

リソソームは、膜で囲まれた小胞で酸性 (pH5.0) の内部にはたんぱく質、糖質、脂質、核酸などを加水分解する40種類以上の酵素を含み、エンドサイトーシスで細胞に取り込まれた小胞と融合して分解する。また不要となった細胞内小器官を隔離膜小胞で取り囲んだオートファゴソームと融合して分解(自食作用オートファジー)を行う。

(7) ペルオキシソーム

膜に包まれた球状の構造で内部には多様な物質の酸化反応を行う酸化酵素が含まれている。酸化反応の際に生じる有害な過酸化水素を即座にカタラーゼによって分解し、無毒な水と酸素にする。通常、ミトコンドリアで脂肪酸の β 酸化(脂肪酸を分解してエネルギー源となるアセチル CoA を生成)が行われるが、ペルオキシソームでは、ミトコンドリアでは分解されない極長鎖脂肪酸(炭素数22以上)の β 酸化も行っている。また肝臓や腎臓では、ペルオキシソームでアミノ酸オキシダーゼによるアミノ酸の酸化的脱アミノ反応も行われている。この際に生じる有毒な過酸化水素もカタラーゼで水に変える。

(8) 細胞骨格

細胞質に広がるたんぱく質からなる線維で複雑な網目構造をしている。細胞が構成成分を細胞内に秩序正しく配置したり、多様な形をとったり、外部環境と機械的に相互作用して細胞を所定の位置に固定したり、調和のとれた運動をしたりするのに必要である。太さの異なる3種類の細胞骨格が存在する。

アクチンフィラメント(直径約5~9 nm)は球状たんぱく質のアクチン(G-アクチン)が重合して線維状(F-アクチン)になり、この2本の線維が螺旋状の線維を形成している。細胞全体やその一部の運動(筋収縮、細胞分裂)を助けるとともに、細胞の形を決定し安定させている。**中間径フィラメント**(直径約10 nm)は、3種類の細胞骨格のうち、最も丈夫で耐久力が強い。少なくとも50種類の細胞特異性のある中間径フィラメントが存在している(ケラチンフィラメント、ニューロフィラメント、デスミン、ビメンチン、神経膠細胞線維性酸性たんぱく質[GFAP]など)。**微小管フィラメント**(直径約25 nm)は、2種類のチューブリンというたんぱく質から構成され、長い中空のシリンダー構造をしている。微小管の短縮により染色体が動く。また微小管は小胞の物質輸送に関与している。

(9) 中心体

植物細胞には認められない。中心体は、核の近くに配置し、細胞周期のDNA合成期(S期)頃より複製されて有糸分裂期(M期)には核の両片側に分かれる。中心体

から微小管が外側に向かって放線状に伸びており、成長したり、退縮あるいは消失したりする。紡錘糸形成に重要な役割をする。

例題 2 細胞小器官とそれらの機能の組み合わせである。正しいのはどれか。

1. 中心体 — 細胞質の異物を分解処理する。
2. ゴルジ装置 — 細胞分裂の際に染色体を移動させる。
3. ミトコンドリア — ATP を合成する。
4. 粗面小胞体 — 細胞骨格を構成する。
5. リソソーム — たんぱく質合成の場となる。

解説 1. 紡錘糸の形成に重要な役割を果たす。 2. たんぱく質の高度な糖鎖修飾や部分的分解、たんぱく質を濃縮して小胞に詰めてそれぞれが働く場所に輸送される。 4. たんぱく質の合成が行われる。 5. 細胞内の不要なものや細胞に取り込んだものを加水分解する。

解答 3

2 生体膜の構造と機能

細胞表面の細胞膜（原形質膜）や細胞内小器官の膜を含めて生体膜という。生体膜の95%は細胞内小器官を取り巻く膜である。生体膜は共通の構造を持っていて内部環境を外界から隔てる役割を果たしながら、物質の出入りの調節、膜にある酵素による物質代謝、膜にある受容体を介した細胞内や細胞内小器官内への情報伝達を行っている。

2.1 生体膜の構造

細胞膜は主として脂質とたんぱく質からなるが、外界と隔てる役割を果たしているのは主として二重層を形成したリン脂質で疎水性の炭化水素を互いに向けあい、親水性の極性を持つリン酸基を外側に配置した5~10 nmの膜構造を持つ（[図 1.4](#)）。このリン脂質の隙間を埋めて生体膜の強度を保つのがコレステロールで生体膜にはコレステロールが必須である。物質の出入りの調節にはたんぱく質が関与している。生体膜のリン脂質は側方拡散する為、生体膜は流動性を持ち、膜に浮かんだ膜たんぱく質も移動し得る（流動モザイクモデル）。

生体膜におけるたんぱく質の占める割合は細胞種や細胞内小器官により異なり、重量比で平均して約50%を占めるが、ミトコンドリア内膜では75%にも達する。し

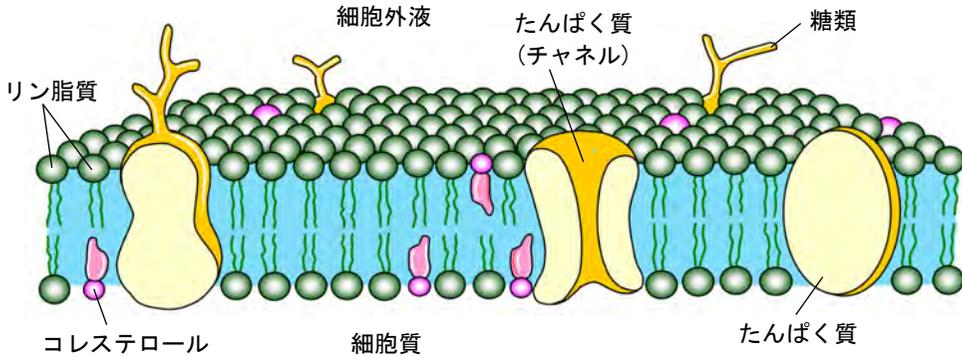


図 1.4 生体膜の構造

しかし、リン脂質は分子量が小さいため、数にすると生体膜には平均してリン脂質 50 分子当たりたんぱく質が約 1 分子存在することになる。また生体膜の全脂質に対するコレステロールの重量比は小胞体で約 6%、ミトコンドリアで約 3%であるが、赤血球では約 20%と高い。また細胞膜は糖質を含んでいる。糖質は膜の外側に位置して他の細胞や分子に対する認識部位として機能する。

2.2 物質輸送

酸素、窒素、二酸化炭素などの気体や脂溶性ビタミン、ステロイドホルモンなどの脂溶性分子は生体膜の疎水性領域を直接通って**単純拡散**する。また水や尿素のような小型で電荷のない極性分子はかなり遅い速度だが脂質二重層を越えて拡散することができる。しかし、細胞に必要なイオン、アミノ酸、糖やこれより大きい分子は通さない。これらの分子の取り込みには特別な機構が存在する。

(1) 受動輸送と能動輸送

生体膜を介した輸送には、単純拡散する分子より大きかったり、脂溶性を示さない物質を膜たんぱく質の働きを介して濃度勾配に従って輸送する方法がある。これを**促進拡散**という。単純拡散も促進拡散もエネルギーを利用する輸送方法であり**受動輸送**という。特定のイオンを濃度勾配に従って通過させる膜たんぱく質を**チャネル**という。肝臓では、グルコースは特異的な輸送体(トランスポーター)である GLUT2 を膜内に持ち、摂食後は、血中から GLUT2 を用いてグルコースを選択的に肝細胞に取り込む。

濃度勾配に逆らってエネルギーを利用して輸送する方法を**能動輸送**という。利用するエネルギーには ATP、電気化学ポテンシャルなどがある。細胞は、細胞内の Na^+ 濃度 (10 mM) を低く、 K^+ 濃度 (140 mM) を高く、細胞外の Na^+ 濃度 (145 mM) を高く、 K^+ 濃度 (5 mM) を低く保っている。細胞膜では Na^+ の電気化学ポテンシャルを利用し

て物質の輸送をしている。Na⁺が電気化学的勾配に従って移動することで別の分子を濃度勾配に逆らって移動させることができる。このような輸送を**共役輸送**という。2つの分子が膜を同じ方向に輸送される場合を**共輸送 (symport)**、逆の方向に輸送される場合を**対向輸送 (antiport)**という (図 1.5)。

物質輸送で細胞内に取り込まれたNa⁺を細胞外に吐き出すために細胞は、ATPのエネルギーを利用して**Na⁺/K⁺-ATPase (Na⁺ポンプ)**で汲み出している (図 1.5)。

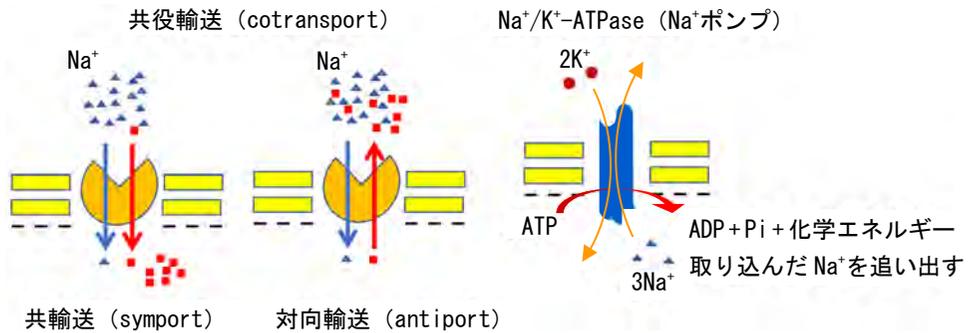


図 1.5 共役輸送体と Na⁺ポンプ

(2) 膜動輸送

ホルモンや分泌たんぱく質などを膜に包み込んで細胞外に放出する仕組みをエキソサイトーシスというが、反対に物質を膜に包み込んで細胞内に取り込む仕組みをエンドサイトーシスという。また、白血球やマクロファージ等が細菌を取り込むことを食作用 (ファゴサイトーシス)、一般の細胞に見られる比較的小さな粒子や液体を取り込むことを飲作用 (ピノサイトーシス) という。これらの小胞の形成による**膜動輸送**は、ATPの加水分解エネルギーを必要とする能動輸送である (図 1.6、詳しくは図 11.1 (A) 参照)

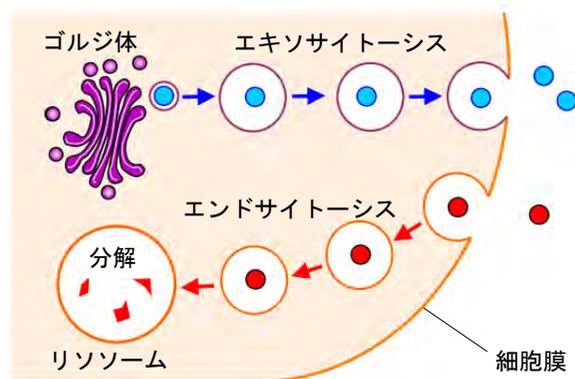


図 1.6 エキソサイトーシスとエンドサイトーシス

例題 3 生体膜の構造や機能に関する記述である。正しいのはどれか。

1. 生体膜の基本構造は、トリアシルグリセロールの二重層である。
2. 生体膜の強度を保つために、コレステロールは必要である。
3. 水溶性の情報伝達物質は、細胞膜に存在する受容体には結合しない。
4. 細胞膜には、 Na^+ イオンを細胞外に能動輸送する酵素が存在する。
5. 分泌たんぱく質は、エンドサイトーシスによって細胞外に放出される。

解説 1. リン脂質の二重層である。 3. インスリンやグルカゴンなどの多くの水溶性ホルモンの受容体が細胞膜に存在する。 5. エキソサイトーシスによって細胞外に放出される。 解答 2、4

3 ヒトの生体成分

ヒトの生体成分で重量比が最も多いのは水で、年齢、性、肥満度によって異なるが、新生児の約80%、乳児の約70%、男子成人の約60%、女子成人の約50%、高齢男性の約50%、高齢女性の約45%を占める。女性は体脂肪率が高いので男性より水分量が少なくなっている。成人では生体の水分の2/3（体重の約40%）は細胞内液で、1/3（体重の約20%）は組織の間に存在する組織液、消化液、血漿、リンパ液、脳脊髄液などの細胞外液である。水以外の生体成分の多くは有機物で乾燥重量の96%を占め、残りの約4%は無機物である。

有機成分にはたんぱく質、脂質、炭水化物（糖質と食物繊維）、核酸などがあり、たんぱく質が約20%、脂質が約15%を占めるが、炭水化物は1%にも満たない。一方、令和元年国民健康・栄養調査結果の概要によると、調査した全男女年齢層のたんぱく質、脂質、炭水化物、ミネラルの摂取割合は、たんぱく質18%、脂質15%、炭水化物65%（糖質61%）、ミネラル2%であった。炭水化物が栄養摂取量としては最も多いが、主要なエネルギー源として利用され、肝臓、筋肉にグリコーゲンとしてわずかに貯蔵されるに過ぎない。肝臓にはその重量の5%の約100g、筋肉には同様に1%の約250gが貯蔵されている。

糖質は水酸基（-OH）を多く持ち、この水酸基が、水分子と水素結合して水和するので体積が増し、貯蔵には向いていない。過剰に摂取された糖質は中性脂肪に変換されて脂肪細胞に貯蔵される。また最も摂取量の多いミネラルはナトリウムであるが、生体含量の最も多いのはカルシウムで1.4%を占める。その99%は骨と歯にヒドロキシアパタイトとして存在している。

例題 4 人体を構成する成分についての記述である。正しいのはどれか。

1. 最も含量の多い人体構成成分は水である。
2. 糖質は2番目に多い人体構成成分である。
3. 人体に含まれるミネラルの割合は、食事として摂取したミネラルの割合とほぼ等しい。
4. 体内のカルシウムの90%以上が、細胞内に存在している。
5. 過剰な糖質を摂取している場合、体内のグリコーゲン量は体重の30%を超える。

解説 2. 1番多いのはたんぱく質で次は脂質である。 3. 人体で最も多いミネラルはカルシウムだが、最も摂取するのはナトリウムである。 4. 骨に存在している。
5. 過剰な糖質は中性脂肪として貯蔵される。体内のグリコーゲン量は体重の1%にも満たない。

解答 1

章末問題

1 ミトコンドリアに関する記述である。正しいものの組み合わせはどれか。

1. 自己複製することができる。
 2. 成熟赤血球は、ミトコンドリアを持つ。
 3. 外膜は、クリステを形成している。
 4. ミトコンドリア DNA は、母親由来である。
- (a) 1と2 (b) 1と3 (c) 1と4 (d) 2と3 (e) 3と4 (第24回国家試験21問)

解説 1. 正しい。ミトコンドリアは、独自の環状DNAを持つ。 2. 成熟赤血球は、核、ミトコンドリア、リボゾーム、ゴルジ体、小胞体を持たない酸素の輸送に特化した細胞。 3. クリステは内膜の襞状構造のこと。 4. 正しい。受精の際、父親由来のミトコンドリアは消失する。

解答 (c)

2 リソソームの機能に関する記述である。正しいのはどれか。

1. ATPの産生
 2. 紡錘系の形成
 3. たんぱく質の合成
 4. 細胞内異物の処理
 5. ステロイドホルモンの合成
- (第25回国家試験21問)

解説 1. ATPの産生は、細胞質ゾルとミトコンドリア内膜である。 2. 紡錘系の形成は、中心体が重要な役割を果たす。 3. たんぱく質の合成は、リソソームで行われる。 5. ステロイドホルモンの合成は滑面小胞体で行われる。

解答 4

3 ヒトの細胞に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. リソソームでは、ATPの合成が行われる。
2. 細胞膜のリン脂質は、親水性部分が向き合って二重層をつくる。
3. ゴルジ体では、遺伝情報の転写が行われる。
4. 滑面小胞体では、脂質の代謝が行われる。
5. 細胞内液のNa⁺濃度は、細胞外液より高い。

(第26回国家試験 21問)

解説 1. 取り込んだ物質の分解が行われる。ATPの合成が行われるのは、細胞質ゾルとミトコンドリア内膜。 2. 疎水性部分が向き合って二重層をつくる。 3. たんぱく質の高度な糖鎖修飾や濃縮が行われる。遺伝情報の転写が行われるのは核である。 5. 細胞外液より低い。 解答 4

4 ヒトの細胞の構造と機能に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 細胞膜は、リン脂質の二重層からなる。
2. 赤血球には、ミトコンドリアが存在する。
3. リソソームでは、たんぱく質の合成が行われる。
4. 滑面小胞体では、グリコーゲン合成が行われる。
5. iPS細胞（人工多能性幹細胞）は、受精卵を使用する。

(第28回国家試験 21問)

解説 2. 成熟赤血球は核、ミトコンドリア、リポソーム、ゴルジ体、小胞体を持たない酸素の輸送に特化した細胞である。 3. リソソームでは、不要物の処理が行われる。 4. 脂質の合成が行われる。グリコーゲン合成が行われるのは細胞質ゾルである。 5. iPS細胞は体細胞を使用し、受精卵を使用するのはES細胞（胚性幹細胞）である。 解答 1

5 ヒトの細胞の構造と機能に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. ミトコンドリアでは、解糖系の反応が進行する。
2. 粗面小胞体では、ステロイドホルモンの合成が行われる。
3. ゴルジ体では、脂肪酸の分解が行われる。
4. リソソームでは、糖新生が行われる。
5. iPS細胞（人工多能性幹細胞）は、神経細胞に分化できる。

(第29回国家試験 21問)

解説 1. クエン酸回路、電子伝達系、β酸化などの反応が進行する。解糖系の反応は細胞質ゾルで進行する。 2. たんぱく質の合成が行われる。ステロイドホルモンの合成が行われるのは滑面小胞体である。 3. たんぱく質の高度な糖鎖修飾や濃縮が行われる。脂肪酸の分解（β酸化）が行われるのはミトコンドリアのマトリックスである。 4. 細胞内物質や細胞外から取り込んだ物質を分解する。糖新生が行われるのは細胞質ゾルとミトコンドリアである。 解答 5

6 細胞内での代謝とそれが行われる部位の組み合わせである。正しいのはどれか。1つ選べ。

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1. クエン酸回路 — 細胞質ゾル | 4. 電子伝達系 — ミトコンドリア |
| 2. β酸化 — リポソーム | 5. 解糖 — ゴルジ体 |
| 3. たんぱく質合成 — プロテアソーム | |

(第32回国家試験 18問)

解説 1. クエン酸回路は、ミトコンドリア内で行われる。 2. β 酸化は、ミトコンドリア内で行われる。 3. たんぱく質合成は粗面小胞体に付着したリボソームや遊離リボソームで行われる。 5. 解糖は細胞質ゾルで行われる。 解答 4

7 ヒトの細胞の構造と機能に関する記述である。最も適当なのはどれか。1つ選べ。

1. 細胞膜には、コレステロールが含まれる。
2. 核では、遺伝情報の翻訳が行われる。
3. プロテアソームでは、たんぱく質の合成が行われる。
4. リボソームでは、グリコーゲンの合成が行われる。
5. ゴルジ体では、酸化的リン酸化が行われる。

(第 35 回国家試験 17 回)

解説 2. mRNA 前駆体 (hnRNA) を合成する転写が行われ、スプライシングにより成熟 mRNA になる。翻訳が行われるのはリボソームである。 3. たんぱく質の分解が行われる。 4. たんぱく質の合成が行われる。グリコーゲンの合成が行われるのは細胞質ゾルである。 5. たんぱく質の高度な糖鎖修飾や濃縮が行われる。酸化的リン酸化が行われるのはミトコンドリアである。 解答 1

8 生体膜の構造や機能に関する記述である。正しいのはどれか。

1. 生体膜の基本構造は、ジアシルグリセロールの二重層である。
2. 水素イオンの濃度勾配を利用して、ATP を合成する酵素は、ミトコンドリア内膜に存在する。
3. ATP のエネルギーを利用して、 Na^+ イオンを細胞内に能動輸送する酵素は、細胞膜に存在する。
4. 不飽和脂肪酸は、生体膜を構成する脂質には含まれていない。
5. コレステロールは、正常な細胞膜には含まれていない。

(第 18 回国家試験 106 問)

解説 1. リン脂質の二重層である。 3. Na^+ イオンを細胞外に能動輸送する酵素 (ナトリウム-カリウム ATPase またはナトリウム-カリウムポンプ) は、細胞膜に存在する。 4. 不飽和脂肪酸は、生体膜を構成する脂質に含まれている。 5. 含まれている。 解答 2

第2章

糖質

達成目標

- 単糖の基本的な化学構造、およびアルドースとケトースの違いを理解する。
- 三炭糖、五炭糖、六炭糖の代表的な例を覚える。
- 単糖同士の結合であるグリコシド結合とはどのようなものであるかを理解する。
- 少糖類の代表的な例とそれらの構成単糖を覚える。
- ホモ多糖とヘテロ多糖の違いを理解する。
- 多糖であるでんぶんの基本構造と種類、セルロースとの違いを理解する。

1 糖質とは

糖質は、生物に広く存在する有機化合物である。食事として摂取した糖質には消化されるものと消化されないものがある。消化される糖はヒトの主要なエネルギー源となり、消化できないものは**食物繊維**といわれる。糖質は、基本的に組成式 $C_xH_{2y}O_y$ で表せるが、 $C_x(H_2O)_y$ とも書けるため、水が付加した炭素という意味で**炭水化物**という馴染みのある名前でもよばれてきた。

糖質の基本単位はD-グルコースなどの**単糖類**であり、この単糖が2個から10個程度結合（重合）した**少糖類**、さらに多数の単糖が結合した**多糖類**がある。食品において消化される主要な少糖類は、ショ糖（砂糖）や乳糖などの二糖類であり、多糖類としてはでんぷんである。

例題 1 糖質に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 食事として摂取されたすべての糖質（炭水化物）は、消化される。
2. 糖質の基本単位は、単糖である。
3. 糖質は、その分子内のアルデヒド基やケトン基に基づく強い酸化作用を持つ。
4. 単糖が2個以上結合したものを多糖類とよぶ。
5. でんぷんは、少糖類である。

解説 1. 食事中の多くの種類の多糖は、消化されない食物繊維である。 3. アルデヒド基やケトン基は、強い還元性を持つ。 4. 単糖が数個結合したものは、少糖類である。 5. でんぷんは、多糖類である。 **解答 2**

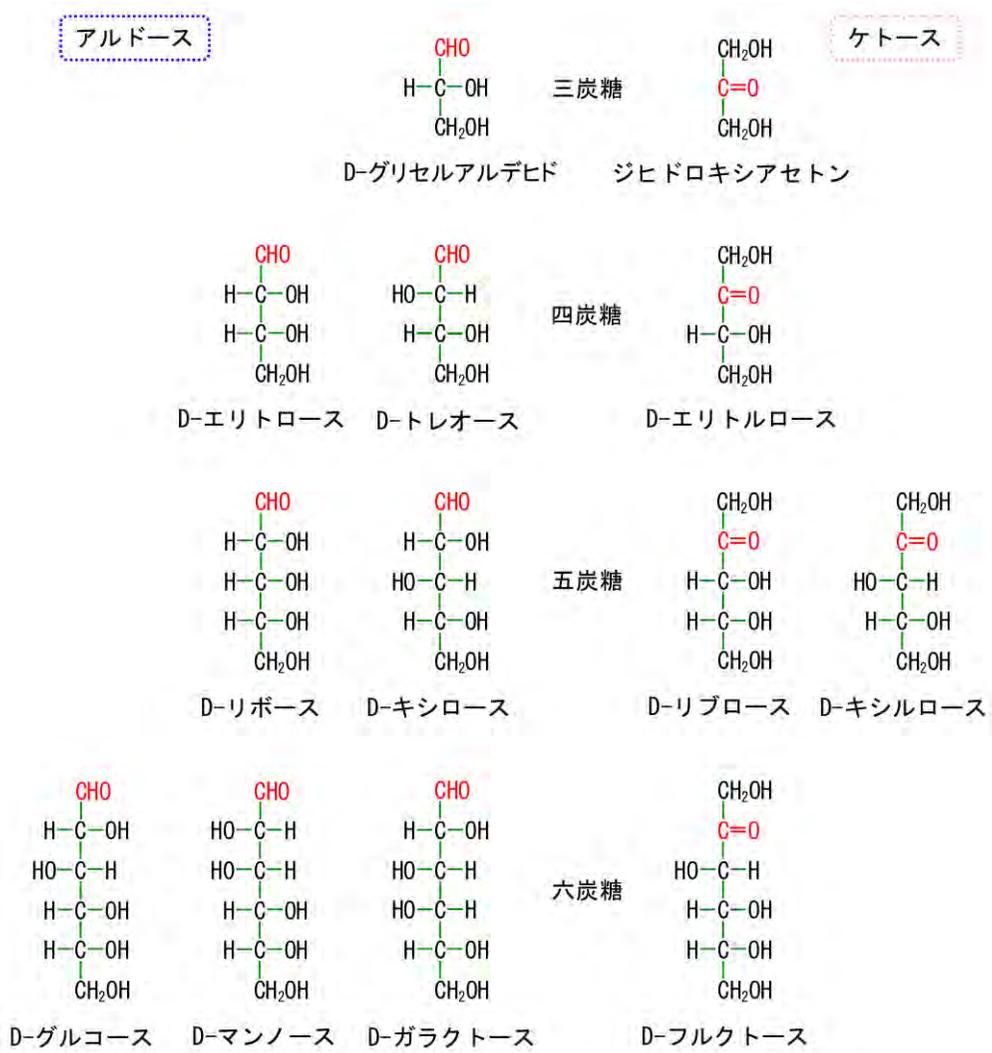
2 単糖

2.1 単糖とは

単糖は、これ以上は加水分解されない糖質の最小単位である。単糖は、含まれる炭素数により三炭糖（トリオース）、四炭糖（テトロース）、五炭糖（ペントース）、六炭糖（ヘキソース）、七炭糖（ヘプトース）に分類される。三炭糖以外の単糖は、結合している原子団が4つともすべて異なっている炭素原子（**不斉炭素原子**という）を持っている。糖を化合物名でよぶ場合、三炭糖以外の単糖の場合、語尾に「オース（ose）」がつく。

2.2 アルドースとケトース

単糖は、複数の水酸基 (-OH) と強い還元性を持つアルデヒド基 (-CHO) ないしケトン基 (-C=O) を有しており、これらの官能基が糖質の基本的な化学的性質を特徴づけている。アルデヒド基を持つ単糖をアルドース、ケトン基を持つ単糖をケトースという。三炭糖のアルドースはグリセルアルデヒドで、三炭糖のケトースはジヒドロキシアセトンである (図 2.1)。



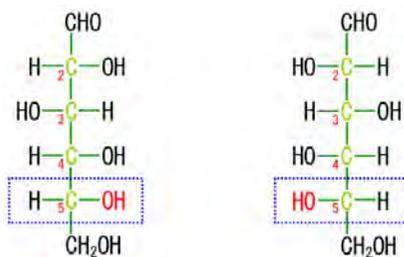
アルドースは1番炭素にアルデヒド基 (-CHO) を有する糖であり、ケトースは2番炭素にケトン基 (-C=O) を有する糖である。

図 2.1 アルドースとケトース

2.3 光学異性体 (D型とL型)

単糖を直鎖式で表したとき、アルデヒド基ないしケトン基から最も遠い不斉炭素原子に結合した水酸基 (-OH) が右にある場合を **D型**、左にある場合を **L型** という (図 2.2)。このように、右手と左手のような関係の構造体を **光学異性体** という。天然の糖は基本的には D型 である。

D型の三炭糖から六炭糖までの主なアルドースとケトースを直鎖式で示した (図 2.1)。三炭糖のグリセルアルデヒドとジヒドロキシアセトンでは、グリセルアルデヒドのみ D型 と L型 が存在する。



D-グルコース

L-グルコース

D型とL型を決定している部分を破線で囲っている。

緑字で示された炭素は不斉炭素を示す。

図 2.2 D型グルコースとL型グルコース

例題 2 単糖の分類に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 単糖には含まれる炭素数により、二炭糖から七炭糖まで存在する。
2. 単糖には、アルデヒド基を持つアルドースとケトン基を持つケトースがある。
3. D-グルコースはケトースで、D-フルクトースはアルドースである。
4. 核酸の成分である D-リボースは、六炭糖の代表的な例である。
5. 同じ炭素数のケトースでは、アルドースに比べてその種類が多い。

解説 1. 最も小さな単糖は三炭糖で、グリセルアルデヒドなどがある。 3. D-グルコースはアルドース、D-フルクトースはケトースである。 4. D-リボースは五炭糖である。 5. 六炭糖アルドースは D型 で 8 種類 (2³ 個) あるのに対し、六炭糖ケトースの D型 は 4 種類 (2² 個) である。

解答 2

例題 3 単糖の光学異性体に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 単糖には不斉炭素が必ず 2 つ以上存在する。
2. 六炭糖には必ず不斉炭素が 4 個以上ある。
3. 糖の D型 か L型 かは、アルデヒド基ないしケトン基から最も遠い不斉炭素の立体配置で決定する。
4. 糖には D型 と L型 があるが、生体内の糖の大部分は L型 である。
5. D-グルコースと L-グルコースは、一箇所の不斉炭素で水酸基と水素の位置が異なっている。

解説 1. 最も小さな糖である三炭糖アルドースの不斉炭素は1つである。 2. 六炭糖ケトースの不斉炭素は3個である。 4. 生体内の糖の大部分はD型である。
5. D-グルコースとL-グルコースは、すべての不斉炭素で水酸基と水素の位置が逆になる鏡像体である。

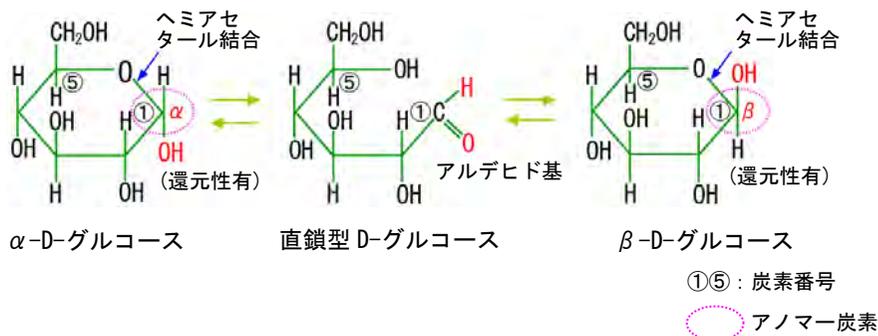
解答 3

2.4 アノマー (α 型と β 型)

前項では単糖を直鎖状分子として扱ってきたが、五炭糖以上ではアルデヒド基ないしケトン基が、同一分子内の水酸基と反応して共有結合を形成して環状構造をとる。D-グルコースの環状構造をハース投影式で示した(図2.3)。

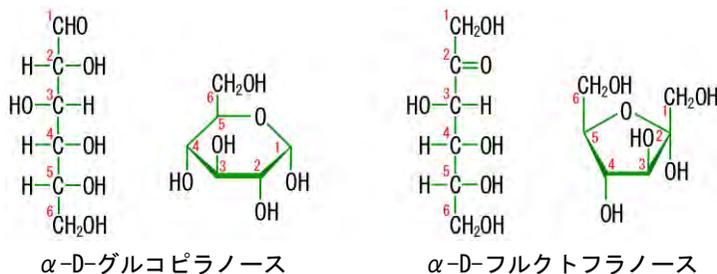
直鎖構造が環状構造になる際に、新たに形成される結合を**ヘミアセタール結合**といい、D-グルコースの1番炭素には新たな水酸基が形成され不斉炭素になる。この1番炭素に形成された立体異性体を**アノマー**という。新たに形成されたアルデヒド基由来の水酸基が、下に来た場合 α 型(α アノマー)、上に来た場合 β 型(β アノマー)として区別する。ヘミアセタール結合は断裂を繰り返すため α 型と β 型は相互変換している。

糖分子は大半が環状構造で存在しており、D-グルコースなど六炭糖アルドースの場合六員環構造をとり、**ピラノース**とよばれ、D-リボースなど五炭糖アルドースは五員環構造をとり、**フラノース**とよばれる(六角形の有機化合物「ピラン」と五角形の「フラン」が語源)(図2.4)。D-フルクトースなど六炭糖ケトースの場合、2番炭素がケトン基となっているため、五員環のフラノース構造をとることが多い。



アルデヒド基(-CHO)は強い還元性を持ち反応性が高いため、D-グルコースの場合⑤番の炭素の水酸基(-OH)と分子内縮合(ヘミアセタール結合という)して環状構造をとる。このとき、新しく水酸基(-OH)ができ、水酸基が下の場合を α 型、上の場合を β 型とよぶ。

図 2.3 D-グルコースのアノマー

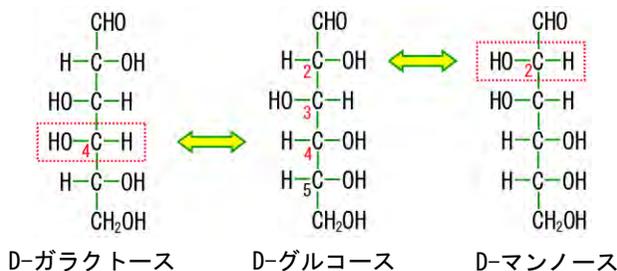


D-グルコースに六角形の構造を持つ糖の総称である「ピラノース」をつけた α -D-グルコピラノースとD-フルクトースに五角形の構造を持つ糖の総称である「フラノース」をつけた α -D-フルクトフラノースを示している。

図 2.4 ピラノースとフラノース

2.5 エピマーとは

単糖のD型とL型を決定している不斉炭素原子以外の不斉炭素原子において、一箇所だけ水酸基の立体配置が異なる単糖を**エピマー**とよぶ。D-グルコースの場合、4番炭素の立体配置が異なるD-ガラクトースや2番炭素の立体配置が異なるD-マンノースがD-グルコースのエピマーとなる(図 2.5)。アノマーである α -D-グルコースと β -D-グルコースは一番炭素の立体配置のみが異なるため、エピマーの一種である。



D-グルコースの水酸基(-OH)と水素(-H)が、不斉炭素原子のうち4番炭素のみで入れ替わったものがD-ガラクトース、2番炭素のみで入れ替わったものがD-マンノースである。

図 2.5 エピマー

例題 4 単糖の構造に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. アノマーとは単糖が環状構造をとる際に、新たに形成される立体異性体のことである。
2. 単糖は直鎖状と環状の構造があり、これらは相互変換するが大部分は直鎖構造をとっている。
3. D-グルコース1番炭素の水酸基が上に来た場合を α 、下を β として区別する。
4. 二糖ではすべての場合で、アノマーである α 型か β 型が両方の糖において固定されている。
5. D-マンノースとD-ガラクトースは、不斉炭素の立体配置が2箇所異なるエピマーである。

解説 2. 単糖の大部分は環状構造をとっている。 3. 水酸基が下にきた場合が α 、上にきた場合が β である。 4. 二糖では、片方ないし両方の単糖のアノマー (α 型か β 型) が固定される。 5. 1箇所のみ不斉炭素の立体配置が異なる糖がエピマーである。

解答 1

2.6 主な単糖類

ヒトや動物のエネルギー源としては、六炭糖であるD-グルコース (アルドース)、D-ガラクトース (アルドース)、D-フルクトース (ケトース) が重要である。五炭糖としては、核酸の成分であるD-リボースやD-デオキシリボースが重要である。また、五炭糖のキシロースや七炭糖のセトヘプツロースのリン酸エステルはペントースリン酸経路の中間体である。

2.7 誘導糖

単糖類の一部の構造が変化したものを**誘導糖**という。

(1) 糖アルコール

単糖のアルデヒド基 (-CHO) が還元され水酸基 (-OH) になったものを、**糖アルコール**という。単糖由来の糖アルコールは反応性の高いカルボニル基を持たないため、環状構造をとらない。五炭糖のD-キシロースが還元されたものが、キシリトールである (図 2.6)。単糖および二糖由来の代表的な糖アルコールを、その原料の糖とともに表 2.1 に示した。



D-キシロース D-キシリトール

D-キシリトールはD-キシロースを還元して生成される。

図 2.6 糖アルコール (D-キシリトール) の生成

表 2.1 いろいろな糖アルコールとその原料

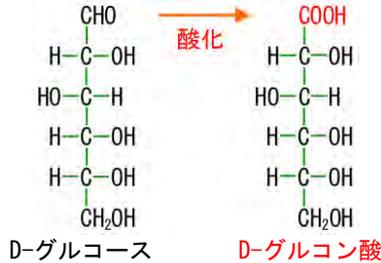
原料の糖	糖アルコール
D-グルコース	→ ソルビトール
D-エリトース (四炭糖)	→ エリスリトール
D-キシロース (五炭糖)	→ キシリトール
マルトース (麦芽糖: 二糖類)	→ マルチトール
ラクトース (乳糖: 二糖類)	→ ラクチトール

これらは主に、甘味料として用いられている

(2) アルドン酸とウロン酸

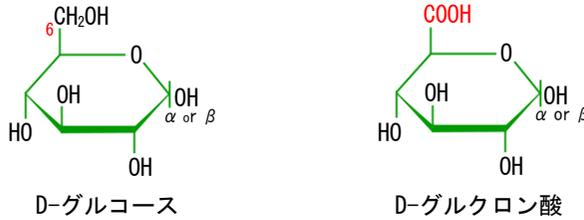
アルドースの1番炭素を含むアルデヒド基 (-CHO) が酸化され、カルボキシ基 (-COOH) になったものを**アルドン酸**とよぶ。D-グルコースの場合はD-グルコン酸と

なる (図 2.7)。一方、単糖末端の炭素 (六炭糖の場合 6 番炭素) を含むヒドロキシメチル基 (-CH₂OH) が酸化され、カルボキシ基 (-COOH) になったものはウロン酸とよぶ。D-グルコースの場合は D-グルクロン酸となる (図 2.8)。



D-グルコースのアルデヒド基 (-CHO) が酸化されてカルボキシ基 (-COOH) となり、D-グルコン酸となる。

図 2.7 D-グルコースの酸化反応による D-グルコン酸 (アルドン酸) の生成

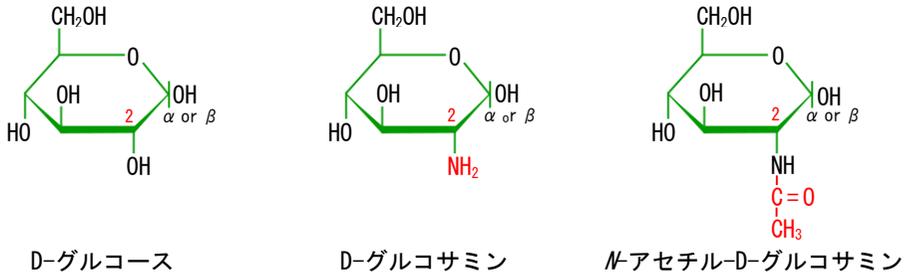


D-グルコース末端の 6 番炭素を含むヒドロキシメチル基 (-CH₂OH) が酸化されてカルボキシ基 (-COOH) となり、D-グルクロン酸となる。

図 2.8 D-グルコースからの D-グルクロン酸 (ウロン酸) 生成

(3) アミノ糖

六炭糖の 2 番炭素の水酸基 (-OH) がアミノ基 (-NH₂) に置換したものをアミノ糖とよぶ。例えば、D-グルコースは D-グルコサミン、D-ガラクトースでは D-ガラクトサミンとなる (図 2.9)。さらに、D-グルコサミンや D-ガラクトサミンのアミノ基にアセチル基 (酢酸) が結合すると、*N*-アセチル-D-グルコサミンや *N*-アセチル-D-ガラクトサミンとなる。



D-グルコース 2 番炭素の水酸基が、アミノ基に置換した糖が D-グルコサミンとなり、D-グルコサミンのアミノ基にアセチル基 (酢酸) がアミド結合したものが、*N*-アセチル-D-グルコサミンとなる。

図 2.9 アミノ糖

例題 5 誘導糖に関する記述である。正しいはどれか。1つ選べ。

1. 糖アルコールとは、アルデヒド基ないしケトン基が酸化されたものである。
2. D-グルクロン酸とは、D-グルコースの1番炭素が酸化されたウロン酸である。
3. アミノ糖の一種であるD-グルコサミンは、D-グルコースの水酸基がニトロ基で置換されている。
4. ソルビトールは、D-グルコースから作られる糖アルコールである。
5. 単糖同士の結合をペプチド結合という。

解説 1. アルデヒド基ないしケトン基が還元されたものである。 2. D-グルクロン酸は、D-グルコースの6番炭素が酸化されたもの。D-グルクロン酸とD-グルコン酸は、酸化される炭素の位置が異なる。 3. D-グルコサミンは、ニトロ基ではなくアミノ基を持つ。 5. 単糖同士の結合は、グリコシド結合という。 **解答 4**

3 少糖類

3.1 少糖類とは

単糖において、ヘミアセタール結合を形成するアルデヒド基、ないしケトン基由来のアノマー炭素と水酸基は反応性が高い。単糖同士の間で、これらが互いに共有結合を形成して**二糖類**となる。単糖が、2~10個結合した分子を**少糖類**（オリゴ糖）という。この共有結合を**グリコシド結合**といい、これが繰り返されることで少糖類や多糖類を形成する。単糖同士が、 α アノマー炭素の水酸基と他の糖の4番炭素の水酸基の間で形成されたグリコシド結合は、 α -1,4結合、また、 α アノマー炭素の水酸基と他の糖の6番炭素の水酸基の間で形成されたグリコシド結合は、 α -1,6結合と表記される。同様に、 β アノマーの場合は β -1,4結合となる。

3.2 主な二糖類

栄養素成分として重要な消化・吸収される二糖類は、マルトース（麦芽糖）、スクロース（ショ糖）、ラクトース（乳糖）である。ヒトにおいては、それぞれの二糖に対応する小腸刷子縁膜上の消化酵素により単糖に消化された後、吸収されてエネルギー源となる。

(1) マルトース（麦芽糖）

D-グルコース1番炭素の α アノマー水酸基（カルボニル基由来の水酸基）と他のD-グルコース4番炭素の水酸基が α -1,4結合した二糖が**マルトース**（麦芽糖）である

(図 2.10)。麦の発芽時にでんぷんが分解されて生じる。小腸上皮細胞でマルターゼにより膜消化され、グルコースとなり吸収される。D-グルコースのみからなる二糖類には他にイソマルトースがあり、D-グルコース 1 番炭素の α アノマー水酸基と他の D-グルコース 6 番炭素の水酸基が結合 (α -1,6 結合) した二糖類である (図 2.10)。

(2) スクロース (ショ糖)

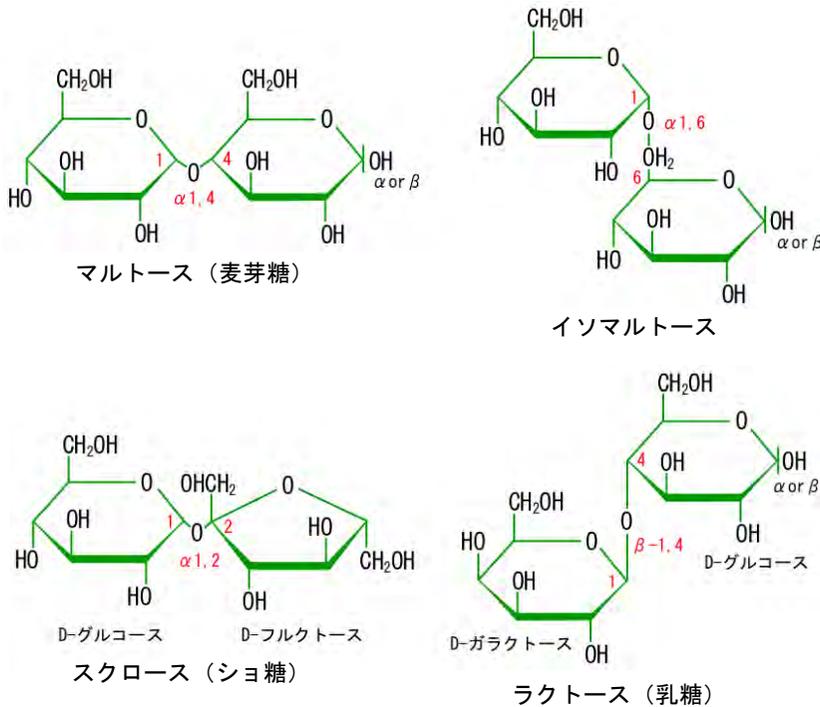
D-グルコースと D-フルクトースが α -1,2 結合した二糖類である (図 2.10)。ショ糖は、カルボニル基由来の水酸基同士が結合しているため還元性を持たない。水溶性に優れた、代表的な甘味料である。

小腸上皮細胞でスクラーゼにより膜消化され、構成糖となり吸収される。

(3) ラクトース (乳糖)

D-ガラクトースと D-グルコースが β -1,4 結合した二糖類である (図 2.10)。牛乳や母乳に含まれる糖質である。

小腸上皮細胞でラクターゼにより膜消化され、構成糖となり吸収される。乳糖不耐症では、ラクターゼ活性が低いために牛乳など乳製品を多く摂取すると下痢を引き起こす。



D-グルコース同士が α -1,4 結合したものがマルトース、 α -1,6 結合したものがイソマルトースである。スクロースは、D-グルコースと D-フルクトースが α -1,2 結合したもので、ラクトースは D-グルコースと D-ガラクトースが β -1,4 結合したものである。

図 2.10 主な二糖類の構造

(4) 二糖類由来の糖アルコール

麦芽糖（マルトース）を還元したマルチトールや、乳糖（ラクトース）を還元したラクチトールが知られている（表 2.1）。これら二糖類由来の糖アルコールはヒトの消化酵素では消化されない。

例題 6 少糖類に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 少糖類は、数個の単糖が結合した糖であるが、二糖類は少糖類には含まれない。
2. 少糖は、オリゴ糖より単糖の重合度が低い。
3. すべての少糖は、ヒトの消化酵素で消化される。
4. マルトースとイソマルトースは、すべてD-グルコースのみで構成される二糖類である。
5. すべての二糖類は、還元性を持つ。

解説 1. 二糖類は少糖類に含まれる。 2. 少糖とオリゴ糖は同義語である。
3. 多くの少糖は消化されず、これらを難消化性オリゴ糖とよぶ。 5. 還元性を持たない二糖にスクロースがある。スクロースは、両方の単糖のカルボニル基由来の水酸基がグリコシド結合に使われるためである。一方、マルトースやラクトースは、片方の単糖のカルボニル基由来の水酸基しか結合に使われないため、還元性を維持している。

解答 4

例題 7 少糖類に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. スクロースは、D-グルコースとD-フルクトースが結合した二糖で還元性を持つ。
2. ラクトースは、D-ガラクトースとD-グルコースで構成される二糖類で消化されない。
3. マルトースは、D-グルコース同士が β -1,4結合した二糖である。
4. 多くの難消化性オリゴ糖は、腸内で病原菌の増殖を促進するため、プレバイオティクスである。
5. マルチトールは、麦芽糖を水素還元した糖アルコールで、甘味料として用いられている。

解説 1. スクロースは、還元性を持たない。 2. ラクトースは、牛乳に多く含まれる可消化性の二糖である。 3. α -1,4 結合である。 4. プレバイオティクスとしての難消化性オリゴ糖は、ビフィズス菌や乳酸菌などヒトの健康に有用な腸内菌を増やす作用がある。

解答 5

4 多糖類

4.1 多糖類とは

単糖が10個以上グリコシド結合した分子を多糖類という。また、単一の単糖のみで構成された多糖を**ホモ多糖**、2種類以上の単糖で構成されたものを**ヘテロ多糖**という。D-グルコースで構成されたホモ多糖には、でんぷんやグリコーゲン、セルロースが含まれる。生物界には非常に多くの種類の多糖が存在するが、でんぷんやグリコーゲン以外のホモ多糖やヘテロ多糖はヒトの消化酵素では消化できず、食品中ではすべて食物繊維となる。

4.2 ホモ多糖

(1) でんぷん

でんぷんは、 α アノマーのD-グルコースが主に α -1,4結合で重合した多糖で、消化されヒトの主要なエネルギー源となる。植物にとっては、エネルギー貯蔵体としての貯蔵多糖である。 α -1,4結合のみで直鎖状に重合したでんぷんを**アミロース**とよび、 α -1,4結合のD-グルコース鎖上に α -1,6結合による分岐構造を持つでんぷん分子を**アミロペクチン**とよぶ (図 2.11)。

穀類や豆類など、でんぷんを多く含む食物では、アミロースとアミロペクチンは部分的に結晶構造をとって共存し、でんぷん粒を形成している。また、でんぷんを形成するD-グルコース間の α 1 \rightarrow 4結合は少し傾いているため、これが連なるとらせん構造をとる。

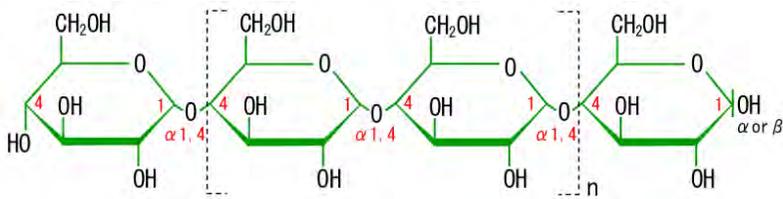
(2) グリコーゲン

グリコーゲンは、動物の肝臓や骨格筋に存在する**貯蔵多糖**である。グリコーゲンも、 α -1,4結合と α -1,6結合からなるD-グルコース重合体であるが、同様の構造を持つアミロペクチンより、分岐構造が多く直鎖部分が短い。

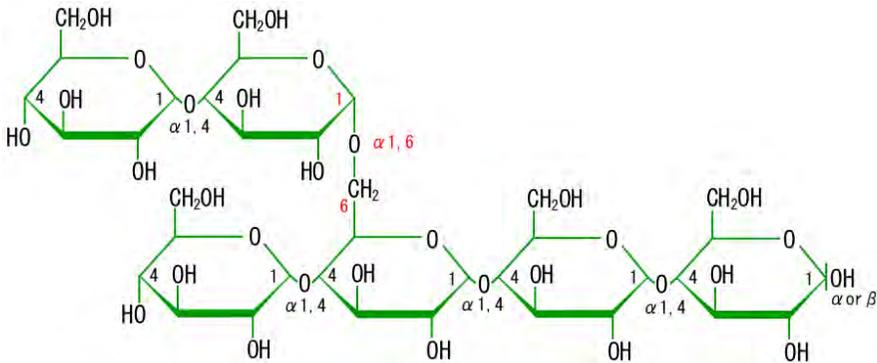
(3) セルロース

セルロースは β アノマーのD-グルコースが重合した**ホモ多糖**で、植物体を構成する主要な成分である。でんぷんが貯蔵多糖であるのに対して、セルロースは**構造多**

アミロース



アミロペクチン



アミロースは α -1,4結合のみからなる直鎖状のグルコース重合体であり、アミロペクチンは α -1,4結合からなる直鎖上に分岐構造（ α -1,6結合）を持つものである。

図 2.11 アミロースとアミロペクチンの構造

糖とよばれる。セルロースを構成する、D-グルコース間の β -1,4結合はヒトの消化酵素では加水分解されず、食品中では主要な食物繊維源となる。セルロースのD-グルコース間 β -1,4結合には、アミロースを構成する α -1,4結合のような傾きはないため、らせん構造はとらずに繊維を形成する。

例題 8 多糖とその代表例であるでんぷんとセルロースに関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

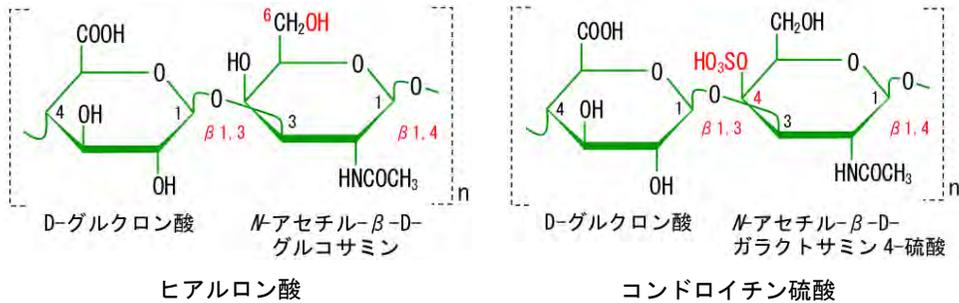
1. 多糖は、単糖が多数重合したもので、その重合度は多糖の種類が異なってもほぼ一定である。
2. すべての多糖は、一種類の単糖が重合したものである。
3. でんぷんは、D-グルコース重合体で、直鎖構造のアミロペクチンと分岐を持つアミロースがある。
4. アミロペクチンは、D-グルコースが α 1 \rightarrow 6結合で重合した主鎖上に、 α 1 \rightarrow 4結合による分岐を持つ。
5. セルロースは、でんぷん同様D-グルコースの重合体であるが、結合様式が異なるため消化されない。

解説 1. 多糖類の重合度には、種類により大きな違いがある。 2. 多糖の中には、2種類以上の単糖が重合したものがあり、ヘテロ多糖とよぶ。 3. アミロースは、直鎖状でアミロペクチンが分岐構造を持つ。 4. アミロペクチンの分岐構造は、 α 1 \rightarrow 6 結合で形成される。 α 1 \rightarrow 4 結合は、直鎖部の結合様式である。 **解答 5**

4.3 ヘテロ多糖

(1) ヒアルロン酸・コンドロイチン・コンドロイチン硫酸

ヒアルロン酸やコンドロイチン硫酸は、動物の軟骨に含まれている。ヒアルロン酸は、D-グルクロン酸と *N*-アセチル-D-グルコサミンが β -1,3 結合した二糖を単位として、それが交互に多数 β -1,4 結合した直鎖状分子である (図 2.12)。コンドロイチンは、D-グルクロン酸と *N*-アセチル-D-ガラクトサミンが β -1,3 結合した二糖を単位として、それが交互に多数 β -1,4 結合した直鎖状分子である。コンドロイチン硫酸は、コンドロイチンの硫酸エステルである (図 2.12)。



ヒアルロン酸は、D-グルクロン酸と *N*-アセチル-D-グルコサミンの二糖を、コンドロイチン硫酸は、D-グルクロン酸と *N*-アセチル-D-ガラクトサミンの二糖に硫酸基が結合したものを単位とし、それらが β -1,4 結合している。

図 2.12 ヒアルロン酸とコンドロイチン硫酸の部分構造

(2) グルコマンナン

D-グルコースと D-マンノースで構成される代表的なヘテロ多糖で、主鎖は β -1,4 結合で形成され、分岐は少ない。グルコマンナンはこんにやくに含まれる食物繊維として知られており、コンニャクマンナンともよばれる。

4.4 複合糖質

(1) 糖たんぱく質

たんぱく質に糖鎖がグリコシド結合したものを糖たんぱく質という。グリコシド結合には、単糖同士の結合と同様、糖鎖がたんぱく質の水酸基に結合した *O*-グリコ

シド結合と、窒素に結合した *N*-グリコシド結合がある。グルコサミン、ガラクトサミン、ガラクトース、マンノース、フコース、シアル酸などの単糖からなる糖鎖がたんぱく質結合している。

(2) プロテオグリカン

コンドロイチン硫酸などのヘテロ多糖が、コアタンパク質に多数の刷毛状に結合したものをプロテオグリカンとよぶ。軟骨は、プロテオグリカンがヒアルロン酸にリンクタンパク質を介して多数結合した、巨大な複合体で形成されている。

例題 9 多糖類に関する記述である。正しいのはどれか。1つ選べ。

1. 食品中には多種類の多糖が存在するが、でんぷん以外にも多くの消化できる多糖がある。
2. ヒアルロン酸やコンドロイチン硫酸は、植物体の成分である。
3. 複合多糖であるプロテオグリカンは、たんぱく質を中心にしてコンドロイチンが多数結合している。
4. こんにやくを構成する多糖は、D-グルコースとD-マンノースからなるヘテロ多糖である。
5. 食品中の多糖類である食物繊維の構成単糖は、すべて六炭糖である。

解説 1. 消化できる多糖はでんぷんのみである。ただし、食肉や貝類など動物性食品には少量のグリコーゲンが含まれている場合があり、でんぷん同様消化される。
2. ヒアルロン酸やコンドロイチン硫酸は、動物の軟骨の成分である。 3. コンドロイチン硫酸である。 5. 食物繊維の構成糖には五炭糖 (D-キシロースやL-アラビノースなど) も含まれる。

解答 4

章末問題

1 糖質に関する記述である。最も適当なのはどれか。1つ選べ。

1. ガラクトースは、非還元糖である。
2. フルクトースは、ケトン基を持つ。
3. スクロースは、グルコース 2 分子からなる。
4. アミロースは、分枝状構造を持つ。
5. グリコーゲンは、ヘテロ多糖である。

(第 36 回国家試験 18 問)

解説 1. ガラクトースは、還元糖である。 3. D-グルコースと D-フルクトースの 2 分子からなる。
4. アミロースは、直鎖状構造を持つ。 5. グリコーゲンは、ホモ多糖である。 解答 2

2 糖質と脂質に関する記述である。正しいのはどれか。1 つ選べ。

1. フルクトースは、アルドースである。
 2. フルクトースは、五炭糖である。
 3. グルコースは、ケトースである。
 4. リボースは、RNA の構成糖である。
 5. イノシトール 1,4,5-三リン酸は、糖脂質である。
- (第 29 回国家試験 22 問)

解説 1. ケトースである。 2. 六炭糖である。 3. アルドースである。 5. リン脂質である。解答 4

参考文献

- 1) Kennelly PJ, Botham KM, McGuinness O, *et al.* “Harper’s Illustrated Biochemistry, 32nd ed” McGraw-Hill Education, 2023.



索引

ギリシャ文字

 α

- α -1,4 結合 …… 23, 24
 α -1,6 結合 …… 23, 24
 α β γ サブユニット …… 287
 α アノマー …… 19
 α アノマー炭素 …… 23
 α -アミノ酸 …… 48
 α -アミラーゼ …… 58
 α -カロテン …… 80
 α -ケトグルタル酸 …… 86, 215
 α -ケトグルタル酸デヒドロゲナーゼ …… 86, 155
 α -ケト酸 …… 215
 α サブユニット …… 56, 287
 α -トコフェロール …… 83
 α -ヘリックス …… 54, 56
 α -リノレン酸 …… 39, 194

 β

- β 3- アドレナリン受容体 …… 330
 β アノマー …… 19, 23
 β -カロテン …… 80
 β -クリプトキサンチン …… 80
 β サブユニット …… 56
 β 酸化 …… 138, 170, 188
 β -シート …… 54, 55
 β -シトステロール …… 40
 β -ターン …… 54, 55
 β -ヒドロキシ酪酸 …… 197, 198

 γ

- γ -アミノ酪酸 …… 226
 γ サブユニット …… 287
 γ -リノレン酸 …… 43, 194

数字

1

- 1, 2- ジアシルグリセロール …… 196
 1, 25- ジヒドロキシビタミン D3 …… 202
 1 α , 25- ジヒドロキシビタミン D …… 82
 1 型糖尿病 …… 173

2

- 2 型糖尿病 …… 173
 2 重らせん …… 305
 2- デオキシ-D- リボース …… 68, 69

2-モノアシルグリセロール

…………… 182, 195

2-モノアシルグリセロール経路

…………… 195

2-モノグリセリド

…………… 182

3

3', 5'-ホスホジエステル結合

…………… 71

3-ヒドロキシ酪酸

…………… 197

5

5, 6, 7, 8-テトラヒドロ葉酸

…………… 247

7

7-デヒドロコレステロール

…………… 82, 202

和文

あ

- アイソザイム …… 113
 亜鉛 …… 98
 亜鉛フィンガー …… 319
 悪性貧血 …… 247
 アクチン …… 59, 61
 アクチンフィラメント …… 6
 アシドーシス …… 198
 アシルカルニチン …… 187
 アシルキヤリアたんぱく質 …… 90, 191
 アシル CoA …… 187, 188
 アスコルビン酸 …… 164
 アスパラギン酸 …… 52, 151, 215, 238, 240
 アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ …… 114
 アセチルコリン …… 283, 287
 アセチル CoA …… 153, 156, 170, 191, 197, 220, 261
 アセトアセチル CoA …… 198, 199, 220
 アセト酢酸 …… 197

- アセトン …… 197
 アディポカイン …… 283
 アディポサイトカイン …… 283
 アディポネクチン …… 283
 アデニル酸シクラーゼ …… 168, 289, 330
 アデニン …… 69, 70, 71, 73, 246
 アデノシルコバラミン …… 88, 89
 アデノシンーリン酸 …… 239
 アデノシン三リン酸 …… 70, 87, 130
 アデノシンデアミナーゼ …… 249
 アデノシン二リン酸 …… 131
 アドレナリン …… 140, 167, 187, 224, 277
 アニューリング …… 333
 アノマー …… 19
 アビジン …… 91
 アボB-100 …… 184
 アボ酵素 …… 109, 110
 アポリポたんぱく質 …… 183, 184
 アミドホスホリボシルトランスフェラーゼ …… 238
 アミノ基 …… 48, 49, 52, 53
 アミノ基転移反応 …… 215
 アミノ酸 …… 48, 49, 52
 アミノ酸残基 …… 52
 アミノ酸トランスポーター …… 94
 アミノ酸プール …… 210
 アミノ末端 …… 53
 アミロース …… 26
 アミロペクチン …… 26
 アミン …… 224
 アラキドン酸 …… 39, 43, 203
 アラニン …… 52, 161, 215, 217, 259, 264
 アラニンアミノトランスフェラーゼ …… 114, 158
 亜硫酸オキシダーゼ …… 99
 アルカリホスファターゼ …… 58, 98
 アルギナーゼ …… 98
 アルギニコハク酸 …… 218
 アルギニン …… 218, 226
 アルコール型 …… 80
 アルコールデヒドロゲナーゼ …… 330
 アルデヒドオキシダーゼ …… 99

- アルデヒド型……………80
アルデヒド基……………17
アルデヒドデヒドロゲナーゼ
……………99, 330
アルドース……………17
アルドステロン……………41, 276
アルドン酸……………21
アルブミン……………98, 186
アレルギー反応……………281
アロステリックアクチベーター
……………170
アロステリックインヒビター
……………170
アロステリック酵素……………116
アロステリック調節
……………115, 116, 118
アロステリック部位……………116
アンギオテンシノーゲン……………283
アンギオテンシン I ……281
アンギオテンシン II ……281, 292
暗順応……………80
アンチコドン ……312
アンチセンス鎖……………310
アンドロゲン……………277
アンドロステンジオン……………203
アンモニア……………217
- い**
イオンチャネル型受容体……………285
異化反応……………128
異性化酵素……………108
イソクエン酸デヒドロゲナーゼ
……………155
イソメラーゼ……………108
イソロイシン……………222, 228
一塩基多型……………329
一次構造……………54
一次胆汁酸……………42
一価不飽和脂肪酸……………37
一酸化窒素……………226, 281
逸脱酵素……………114
一炭素代謝……………90
遺伝子……………302
遺伝子 (DNA) クローニング
……………332
遺伝子改変生物……………338
遺伝子組み換え……………332
遺伝子発現……………305
遺伝性フルクトース不耐症
……………174
イノシトール 1, 4, 5-三リン酸
……………289
- イノシン酸……………238
陰イオンチャネル……………287
インクレチン……………277
飲作用……………9
インスリン
……………62, 167, 173, 186, 258, 287, 293
インスリン感受性……………173, 257
インスリンシグナル系……………168
インスリン抵抗性……………173
インターフェロン……………282
インターロイキン……………282
イントロン……………311
- う**
ウラシル……………69, 73, 241, 242, 245
ウリジン……………245
ウリジナーリン酸……………241
ウロン酸……………22
運搬 RNA ……309
- え**
エイコサノイド
……………32, 37, 43, 203, 280
エイコサペンタエン酸
……………43, 194, 203
エキソサイトーシス……………4, 316
エキソン……………311
エステル……………32
エストラジオール……………41
エストロゲン
……………203, 248, 293, 316
エネルギー産生工場……………138
エビジェネティクス……………331
エピネフリン……………140, 167, 187
エピマー……………20
エピメラーゼ……………166
エライジン酸……………39
エラスチン……………59
エルゴカルシフェロール 41, 82
エルゴステロール……………40
エロンガーゼ……………193
塩化ナトリウム……………93
塩基性アミノ酸……………50
塩析……………64
エンタルピー……………125
エンドサイトーシス……………6, 9, 211
エントロピー……………125, 126
エンハンサー……………309
- お**
黄体形成ホルモン……………275, 293
黄体ホルモン……………41, 293
オータコイド……………280
オートクリン型……………273
オートファゴソーム……………6, 211
オートファジー……………211
岡崎フラグメント……………308
オキサロ酢酸
……………154, 170, 191, 197, 215
オキシトシン……………53, 275, 294
オキシドレダクターゼ……………107
オステオカルシン……………84
オリゴ糖……………23
オリゴペプチド……………52
オルニチン……………218
オレイン酸……………39
オロト酸……………240
- か**
壊血病……………59, 93
開始コドン……………312, 313
解糖系……………149, 158, 160, 166
解裂反応……………188
カイロミクロン……………182
化学浸透圧説……………138
核……………4
核小体……………4
核内受容体……………273
核膜……………4
角膜乾燥症……………80
核膜孔……………4
可欠アミノ酸……………228
過酸化脂質……………137
過酸化水素……………135
下垂体前葉……………291
加水反応……………188
加水分解酵素……………107
ガストリン……………277
カゼイン……………58, 63
カタラーゼ……………58, 97, 137
褐色脂肪細胞……………140
活性型ビタミンD₃ ……82, 83
活性酸素……………136
活性酸素種……………136
活性部位……………115
活動電位……………273, 284
滑面小胞体……………4
カテコールアミン……………93, 277
過分極……………284
ガラクトース……………166
ガラクトース血症……………175
ガラクトキナーゼ……………166
ガラクトセレブロシド……………36
カリウム……………95
加リン酸分解……………157

カルシウム……………95
 カルジオリピン……………34
 カルシトニン……………276, 294
 カルニチン-アシルカルニチンシ
 ステム……………187
 カルニチンパルミトイルトランス
 フェラーゼ I……………187
 カルニチンパルミトイルトランス
 フェラーゼ II……………188
 カルバモイルリン酸……………218, 240
 カルボキシ基……………48, 52, 53, 91
 カルボキシペプチダーゼ……………98
 カルボキシ末端……………53
 カルボキシラーゼ……………91
 カルボン酸型……………80
 カルモジュリン……………58
 カロテノイド……………80
 ガングリオシド……………36
 還元……………132
 還元型チオレドキシン……………242
 還元型ビタミン E……………83
 還元当量……………132
 肝門脈……………256
 含硫アミノ酸……………223

き

キサンチン……………244, 246
 キサンチンオキシダーゼ……………99
 基質……………106
 基質特異性……………109
 基質レベルのリン酸化……………149
 キナーゼ……………117
 機能鉄……………97
 ギブスの自由エネルギー変化
 ………………127
 キモトリプシノーゲン……………118
 キモトリプシン……………118
 逆転写……………305
 逆転写酵素……………337
 キャッピング……………311
 吸エルゴン反応……………127, 128, 131
 球状たんぱく質……………58
 共役反応……………128
 共役輸送……………9
 胸管……………258
 競合阻害……………115
 鏡像異性体……………48, 49
 共輸送……………9, 146
 巨赤芽球形貧血……………88, 238, 247,
 キロミクロン……………57, 182, 184, 258
 キロミクロンレムナント……………184

く

グアニル酸シクラーゼ……………274
 グアニン……………69, 70, 71, 73, 246
 グアニンデアミナーゼ……………244
 グアノシン……………70
 グアノシナーリン酸……………239
 クエン酸回路
 ………………138, 147, 156, 159, 170, 189, 220
 クエン酸シクラーゼ……………155
 グリコーゲン
 ………………26, 157, 167, 175, 255
 グリコーゲンシクラーゼ
 ………………117, 157, 167, 168
 グリコーゲンホスホリラーゼ
 ………………117, 157, 167, 168
 ナーゼ……………168
 グリコシド結合……………23, 57
 グリシン……………224, 238
 クリステ……………5
 グリセリド……………32
 グリセルアルデヒド 3-リン酸
 ………………151, 162
 グリセロール……………32, 162, 258, 261
 グリセロール 3-リン酸経路
 ………………152, 195
 グリセロールリン酸シャトル
 ………………151, 152, 156
 グリセロ糖脂質……………36
 グリセロリン脂質……………34
 クリック……………71
 グルカゴン
 ………………167, 168, 187, 259, 276, 294
 グルカゴン受容体……………168
 グルカゴン様ペプチド-1 ……277
 グルクロン酸……………164
 グルクロン酸経路……………147
 グルクロン酸抱合……………4
 グルコース……………146, 255
 グルコース 6-ホスファターゼ
 ………………261
 グルコース 6-リン酸
 ………………149, 256, 261
 グルコース-アラニン回路……………161
 グルコース依存性インスリン分泌
 刺激ポリペプチド……………277
 グルコース代謝……………190
 グルコキナーゼ
 ………………113, 149, 158, 256
 グルココルチコイド……………167, 187
 グルコマンナン……………28
 グルタチオン……………226

グルタチオンペルオキシダーゼ
 ………………99, 137
 グルタミナーゼ……………217
 グルタミン
 ………………217, 218, 238, 240, 241
 グルタミン酸……………52, 215, 217, 224
 グルタミン酸デヒドロゲナーゼ
 ………………217
 くる病……………83
 クレアチニン……………227
 クレアチン……………226
 クレアチンキナーゼ……………96
 クレアチンリン酸……………226
 グレリン……………277
 クローン……………332
 グロノラクトンオキシゲナーゼ
 ………………164
 クロマチン……………4, 58, 303
 クロム……………99
 グロン酸……………164

け

軽鎖……………61
 形質細胞……………61
 形質転換……………332
 血液凝固カスケード……………95
 血清アルブミン……………60
 血糖値……………166, 170
 ケトース……………198
 ケトース……………17
 ケト原性アミノ酸……………220
 ケトン基……………17
 ケトン血症……………198
 ケトン体……………197, 220, 259
 ケノデオキシコール酸……………42, 201
 ゲノム……………302
 ゲノム編集……………338
 ケファリン……………34
 ケモカイン……………282
 ケラチン……………59
 ケラチンフィラメント……………6
 嫌気的解糖……………262
 嫌気的代謝……………151
 俟約遺伝子……………331

こ

高エネルギーリン酸結合
 ………………70, 129, 130, 131
 光学異性体……………18
 硬化油……………40
 好気的代謝……………262, 263
 抗酸化作用……………83, 92
 鈣質コルチコイド……………41

- 恒常性……………272
 甲状腺刺激ホルモン…………275, 292
 甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン……………275, 292
 甲状腺ホルモン…………167, 274, 288
 校正……………321
 合成酵素……………108
 酵素……………106
 構造遺伝子……………309
 構造多糖……………26
 酵素活性……………118
 酵素基質複合体……………115
 酵素共役型受容体……………285
 高尿酸血症……………238, 249
 高密度リポたんぱく質…………58, 182
 コエンザイム A……………90
 コール酸……………42, 201
 呼吸鎖……………138, 147
 国際純正応用化学連合……………37
 骨軟化症……………83
 コドン……………312
 コバルト……………88
 コファクター……………316
 コラーゲン……………59, 92
 コリ回路……………162, 262
 ゴルジ体……………4
 ゴルジ小胞……………4
 コルチゾール……………41, 93, 276
 コレカルシフェロール…………82, 202
 コレシストキニン……………277
 コレステリル-エステル転送たんぱく質……………185
 コレステロール……………7, 33, 40, 42, 183, 199, 201
 コレステロール・ステロイド……………37
 コレステロールエステル……………33
 コンドロイチン……………28
 コンドロイチン硫酸……………28, 29
 コンニャクマンナン……………28
- さ**
- サーモニゲン……………140
 サイクリック AMP……………71, 289, 291
 サイクリックアデノシンーリン酸……………71
 サイトカイン……………273, 282, 287
 細胞間情報伝達……………272
 細胞骨格……………2, 6
 細胞質……………2
 細胞質ゾル……………2, 167
 細胞内小器官……………2
- 細胞内情報伝達系……………168
 細胞膜……………2
 細胞膜受容体……………273
 再利用経路……………238
 サイレンサー……………309
 サイレント変異……………330
 サブユニット……………56, 113
 サルコベニア……………255
 サルベージ経路……………238, 248
 酸化……………132
 酸化型ビタミン E……………83
 酸化還元酵素……………107
 酸化還元電位……………133
 酸化還元補酵素……………133, 134
 酸化ストレス……………136, 137
 酸化的経路……………162
 酸化的リン酸化……………138
 酸血症……………198
 三次構造……………55, 113
 酸性アミノ酸……………50
 酸素……………136
 三大栄養素……………210
 三量体 G たんぱく質……………168
- し**
- 次亜塩素酸……………136
 ジアシルグリセロール……………289
 シアノコバラミン……………88
 シークエンサー……………335
 ジガラクトシルジグリセリド……………36
 色素性乾皮症……………321
 シグナルペプチド……………62
 シグモイド曲線……………116
 ジグリセリド……………32
 シクロオキシゲナーゼ……………43
 脂質……………32
 脂質異常症……………203
 脂質ペルオキシド……………136
 視床下部……………291
 自食作用……………211
 自食作用オートファジー……………6
 シス型……………39
 シス作動性エレメント……………316
 シス体……………39
 シスタチオンin β 合成酵素……………223
 システイン……………223
 シストロン……………309
 ジスルフィド結合……………62
 ジデオキシリボヌクレオチド……………335
 至適温度……………109
 自動塩基配列解析装置……………335
- シトクロム……………58, 97
 シトクロム P450……………93, 136
 シトクロムオキシダーゼ……………98
 シトシン……………69, 71, 73
 シトルリン……………218
 シナプス……………273
 シナプス型……………273
 ジヒドロキシアセトンリン酸……………152
 視物質……………80
 ジペプチド……………52
 脂肪肝……………255
 脂肪細胞……………283
 脂肪酸……………32, 37, 182, 187, 190
 ジホスファチジルグリセロール……………34
 シャペロンたんぱく質……………4
 自由エネルギー……………126
 自由エネルギー変化……………126
 重鎖……………61
 終止コドン……………312, 313
 収縮たんぱく質……………61
 重症複合免疫不全症……………249
 従属栄養生物……………128
 出芽……………4
 受動輸送……………8
 腫瘍壊死因子……………282
 松果体ホルモン……………275
 脂溶性ビタミン……………79
 常染色体……………302
 少糖類……………16, 23
 小胞体……………4
 情報伝達物質……………273
 食作用……………9
 触媒作用……………106
 植物ステロール……………40
 食物繊維……………16
 ショ糖……………24
 仁……………4
 真核生物……………302
 新型コロナウイルス……………74
 神経伝達物質……………273
 親水性アミノ酸……………50
 新生児代謝異常マスキリーニング……………175
 新生児マスキリーニング……………230, 231, 232, 329
 心房性ナトリウム利尿ペプチド……………276
- す**
- 水酸基……………17

- 水素結合受容体……………53
 水溶性ビタミン……………79
 水和……………64
 スーパーオキシドアニオンラジカル……………98, 135, 136
 スーパーオキシドジスムターゼ……………58, 98, 136
 スーパーファミリー……………317
 スクニシル CoA……………86
 スクラーゼ……………24
 スクロース……………24, 164
 スクワレン……………199
 スタチン……………199
 スチグマステロール……………40
 ステロイド……………32, 40
 ステロイドホルモン……………41, 62, 202, 274, 276, 288, 316
 ステロール……………40
 ステロールエステル……………33
 スピナステロール……………40
 スフィンゴシン……………35
 スフィンゴ糖脂質……………36
 スフィンゴミエリン……………35
 スフィンゴリン脂質……………34, 35
 スプライシング……………311
 スルファチド……………36
- せ**
 制限酵素……………332
 性腺刺激ホルモン放出ホルモン……………275, 293
 性染色体……………302
 生体エネルギー学……………124
 生体酸化……………131
 生体膜……………7
 成長ホルモン……………167, 275
 成長ホルモン放出ホルモン……………275
 静的栄養評価指標……………213
 正の窒素平衡……………211
 性ホルモン……………41
 生理活性物質……………37, 274
 セカンドメッセンジャー……………71, 95, 274, 290
 セクレチン……………277
 赤筋……………262, 263
 セファリン……………34
 セラミド……………35
 セルロース……………26
 セルロプラスミン……………98
 セレン……………99
 セロトニン……………224, 281
- 繊維状たんぱく質……………59
 染色体……………302
 善玉コレステロール……………185
 先天性代謝異常症……………174, 175, 328
 セントラルドグマ……………305
- そ**
 臓器連関……………161
 相補的な DNA……………337
 阻害剤……………115
 促進拡散……………8
 組織特異的遺伝子……………302
 疎水性アミノ酸……………50
 速筋……………262
 ソマトスタチン……………276, 294
 粗面小胞体……………4
- た**
 ターミネーター……………309
 対向輸送……………9
 代謝回転……………210
 体たんぱく質……………210
 ダイレクトリピート型配列……………319
 タウリン……………226
 多価脂肪酸……………37
 多価不飽和脂肪酸……………39
 脱共役剤……………140
 脱共役たんぱく質……………140
 脱水素反応……………188
 脱炭酸反応……………215
 脱分極……………284
 脱離酵素……………107
 脱リン酸化……………117, 168, 170
 多糖類……………16
 多量ミネラル……………93
 短鎖脂肪酸……………37, 182
 短鎖縦列反復配列……………339
 炭酸固定反応……………191
 胆汁酸……………42, 201
 単純拡散……………8
 単純脂質……………32
 炭水化物……………16
 炭素骨格……………220
 単糖……………16
 単糖類……………16
 たんぱく質の半減期……………213
- ち**
 チアミン……………85
 チアミンニリン酸……………154
 チアミンピロリン酸……………85, 110, 154
- 遅筋……………262
 窒素平衡……………211
 チミジル酸シターゼ……………70, 242
 チミン……………69, 71, 243, 245
 チモーゲン……………118
 チャネル……………8
 中間径フィラメント……………6
 中間密度リポたんぱく……………58, 182
 中鎖脂肪酸……………37, 182
 中心体……………6
 中性アミノ酸……………50
 中性脂肪……………33
 腸肝循環……………201
 長鎖脂肪酸……………37
 超低密度リポたんぱく質……………57, 182
 腸内細菌……………42
 貯蔵多糖……………26, 157
 貯蔵たんぱく質……………60
 貯蔵鉄……………97
 チロキシン……………98, 276
 チロシナーゼ……………110
 チロシン……………229
 チロシンキナーゼ……………287
- つ**
 痛風……………238, 249
- て**
 低血糖症……………174, 175
 低分子核内 RNA……………74
 低分子量クロム結合物質……………99
 低密度リポたんぱく質……………58, 82, 83, 182
 デオキシアデノシン……………70, 244
 デオキシイノシン……………244
 デオキシウリジン……………245
 デオキシグアニン……………244
 デオキシグアノシン……………244
 デオキシグアノシンーリン酸……………70
 デオキシコール酸……………42
 デオキシシチジン……………245
 デオキシチミジン……………245
 デオキシリボース……………71, 242
 デオキシリボ核酸……………68, 71, 302
 デオキシリボヌクレオチド……………70
 デサチュラーゼ……………193
 テストステロン……………41, 203, 277, 293, 316
 デスミン……………6
 鉄……………97
 鉄応答性エレメント……………320
 テトラヒドロ葉酸……………90, 238
 デノボ合成……………238

テロメア…………… 303
 転移酵素…………… 107
 電気化学ポテンシャル…………… 8
 電子伝達系…………… 138, 147, 189
 転写…………… 305
 転写開始部位…………… 309
 転写共役因子…………… 316
 転写終了部位…………… 309
 伝令 RNA…………… 308

と

銅…………… 98
 銅 / 亜鉛スーパーオキシドジスムターゼ…………… 98
 糖アルコール…………… 21
 同化反応…………… 128
 糖原性アミノ酸…………… 220, 264
 糖原病…………… 175
 糖脂質…………… 32, 36
 糖質…………… 146
 糖質コルチコイド…………… 41
 糖質代謝異常症…………… 204
 糖新生…………… 158, 161, 170
 糖新生経路…………… 147
 糖たんぱく質…………… 28, 57
 動的栄養指標…………… 213
 等電点…………… 64
 糖尿病…………… 173
 動物ステロール…………… 40
 ドーパミン…………… 224
 ドーパミンβ-ヒドロキシラーゼ…………… 98
 独立栄養生物…………… 128
 ドコサヘキサエン酸…………… 194
 トコトリエノール…………… 83
 トランス型…………… 39
 トランス作動性因子…………… 316
 トランスジェニック生物…………… 338
 トランス脂肪酸…………… 40
 トランス体…………… 39
 トランスファー RNA…………… 74
 トランスフェラーゼ…………… 107
 トランスフェリン…………… 58, 60
 トランスフェリン受容体…………… 320
 トランスロカーゼ…………… 108
 トランスロケーション…………… 146
 トリアシルグリセロール…………… 32, 182
 トリグリセリド…………… 32, 162, 182, 195, 255, 264, 330
 トリプシノーゲン…………… 118
 トリプシン…………… 118

トリプトファン…………… 228
 トリプレット説…………… 312
 トリペプチド…………… 52
 トリヨードチロニン…………… 98, 276
 トレオニン…………… 228
 トロンボキサン…………… 43, 203, 280

な

ナイアシン…………… 87, 88, 226
 内分泌型…………… 273
 内分泌器官…………… 275
 ナトリウム…………… 93
 ナトリウム依存性グルコース輸送体…………… 146
 ナトリウム非依存性グルコース輸送体…………… 146
 ナンセンス変異…………… 330

に

二機能性酵素…………… 170
 ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド…………… 87
 ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリニン酸…………… 87
 ニコチンアミドモノヌクレオチド…………… 87
 二次構造…………… 54
 二次胆汁酸…………… 42
 二糖類…………… 23
 乳酸…………… 162
 乳酸デヒドロゲナーゼ…………… 113, 151, 158, 162
 乳汁分泌ホルモン…………… 275
 乳糖…………… 24, 25, 166
 ニューロフィラメント…………… 6
 ニューロペプチド Y…………… 53
 尿酸…………… 238, 244
 尿素…………… 217, 218
 尿素回路…………… 217, 218
 尿路結石…………… 248

ぬ

ヌクレオシド…………… 68, 70
 ヌクレオソーム構造…………… 303
 ヌクレオチド…………… 68, 69, 70, 71, 73

ね

ネガティブフィードバック調節…………… 292, 293
 熱ショックたんぱく質…………… 317
 熱力学第 1 法則…………… 125, 126
 熱力学第 2 法則…………… 125, 126

の

能動輸送…………… 8
 ノックアウト生物…………… 338
 ノルアドレナリン…………… 187, 224, 277, 283
 ノルエピネフリン…………… 187

は

バイオテクノロジー…………… 338
 ハイブリダイゼーション…………… 337
 ハウスキーピング遺伝子…………… 302
 麦芽糖…………… 23, 25
 バソプレシン…………… 53, 275
 発エルゴン反応…………… 127, 128, 131
 白筋…………… 262
 パラクリン型…………… 273
 パラトルモン…………… 276
 バリン…………… 222, 228
 パリンドローム型…………… 318
 パルミチン酸…………… 193
 パルミトイル ACP…………… 193
 パントテン酸…………… 90
 半保存的複製…………… 305

ひ

ヒアルロン酸…………… 28
 ビオシチン…………… 90
 ビオチニルリシン…………… 90
 ビオチン…………… 90, 91
 非競合阻害…………… 115
 非酸化的経路…………… 162
 微小管フィラメント…………… 6
 非振動型熱産生…………… 140
 ヒスタミン…………… 226, 281
 ヒスチジン…………… 228
 ヒストン…………… 58, 72, 303
 ビタミン A…………… 80
 ビタミン B₁…………… 85, 86, 154
 ビタミン B₁₂…………… 88, 247
 ビタミン B₂…………… 86, 87
 ビタミン B₆…………… 88, 215
 ビタミン C…………… 92
 ビタミン D…………… 82
 ビタミン D₃…………… 202
 ビタミン D 受容体…………… 83, 318
 ビタミン E…………… 83
 ビタミン E ラジカル…………… 83
 ビタミン K…………… 84
 ビタミン K₁…………… 84
 ビタミン K₂…………… 84
 必須アミノ酸…………… 210, 228
 必須脂肪酸…………… 39, 194
 ヒト血清アルブミン…………… 57

- ヒドロキシアパタイト
 ……10, 95, 96
 ヒドロキシ基……………69
 ヒドロキシラジカル……………136
 ヒドロラーゼ……………107
 ピノサイトーシス……………9
 非必須アミノ酸……………228
 非ヘム鉄……………92
 ヒポキサンチン……………238, 244, 246
 非翻訳領域……………313
 肥満細胞……………281
 ビメンチン……………6
 標準酸化還元電位……………133
 標準自由エネルギー変化
 ……127, 133
 ビラノース……………19
 ビリドキサールリン酸
 ……88, 110, 215
 ビリドキサミンリン酸……………88
 ビリミジン塩基……………69
 ビリミジン骨格……………240
 ビリミジンヌクレオチド……………238
 微量ミネラル……………93
 ビルビン酸
 ……149, 151, 158, 162, 170, 215, 220
 ビルビン酸カルボキシラーゼ
 ……98, 155, 170
 ビルビン酸キナーゼ……………158
 ビルビン酸デヒドロゲナーゼ
 ……86, 153
- ふ**
 ファージ……………332
 ファゴサイトーシス……………9
 フィードバック阻害……………116, 239
 フィードバック調節……………292
 フィードフォワード活性化……………239
 フィロキノン……………84
 フェニルアラニン……………228, 229
 フェニルケトン尿症
 ……229, 230, 231
 フェリチン……………58, 60, 97
 フェロオキシダーゼ活性……………98
 不可欠アミノ酸……………210, 228
 不活性前駆体……………118
 不競合阻害……………115
 複合脂質……………32
 副甲状腺ホルモン……………276, 294
 副腎皮質刺激ホルモン
 ……275, 292
 副腎皮質刺激ホルモン放出ホルモ
 ン……………275, 292
- 副腎皮質ホルモン……………41
 複製……………305
 複製開始点……………306
 複製フォーク……………306, 307
 フコステロール……………41
 不斉炭素原子……………16
 ブチリルACP……………193
 プテロイルポリグルタミン酸型
 ……90
 プテロイルモノグルタミン酸
 ……90
 負の窒素平衡……………210
 不飽和脂肪酸……………33, 37, 39
 プライマー……………333
 プライマーゼ……………308
 ブラジキニン……………281
 プラスミド……………332
 プラスミノゲン1……………283
 フラノース……………19
 フラビンアデニンジヌクレオチド
 ……86, 134
 フラビンモノヌクレオチド
 ……86, 134
 ブリン塩基……………69, 238
 ブリンヌクレオチド……………238
 フルクトース……………164, 166
 フルクトース1,6-ビスリン酸
 ……149
 フルクトース1,6-ビスリン酸ア
 ルドラーゼ……………174
 フルクトース2,6-ビスリン酸
 ……170
 フルクトース6-リン酸
 ……149, 162
 フレイル……………255
 プレグネロン……………202
 プレニル側鎖……………84
 プレプロインスリン……………62
 プロゲステロン
 ……41, 203, 293, 316
 プロスタグランジン
 ……43, 203, 280
 プロスタグランジン合成酵素
 ……43
 プロセシング……………308
 プロテアソーム……………211
 プロテオグリカン……………29
 プロトロンビン……………84
 プロトン受容体……………53
 プロピオン酸血症……………230
 プロビタミンA……………80, 81
 プロビタミンD₃……………82
- プロラクチン……………275, 294
 プロラクチン放出ホルモン
 ……275
 分化……………2
 分岐鎖アミノ酸……………222
- へ**
 ヘキサノイルACP……………193
 ヘキソキナーゼ
 ……96, 113, 149, 158, 164
 ベクター……………332
 ヘテロ多糖……………26, 28
 ヘテロファゴソーム……………211
 ペプシノーゲン……………118
 ペプシン……………118
 ペプチド……………53
 ペプチド結合……………52, 54
 ヘミアセタール結合……………19
 ヘムたんぱく質……………58
 ヘム鉄……………97
 ヘモグロビン……………56, 58, 60, 97
 ヘモクロマトーシス……………97
 ヘモジデリン……………60, 97
 ペラグラ……………226
 ペルオキシソーム……………6
 ペルオキシダーゼ……………97
 変異……………321
 変性……………56, 333
 ペントースリン酸回路
 ……69, 86, 147, 162, 164, 199, 238
- ほ**
 補因子……………109
 抱合胆汁酸……………201
 飽和脂肪酸……………33, 37
 補酵素……………85, 109, 110
 補酵素A……………90
 ホスビチン……………58, 63
 ホスファターゼ……………117
 ホスファチジルイノシトール 34
 ホスファチジルエタノールアミン
 ……34, 196
 ホスファチジルグリセロール 34
 ホスファチジルコリン
 ……34, 196, 201
 ホスファチジルセリン……………34, 196
 ホスファチジン酸……………34
 ホスホエノールビルビン酸
 ……151, 159
 ホスホフルクトキナーゼ
 ……158, 170
 ホスホリパーゼC……………289
 ホスホリボシル二リン酸……………238

ホメオスタシス…………… 272, 302
 ホモシスチン尿症… 223, 230, 231
 ホモ多糖…………… 26
 ポリアデニル化 …………… 311
 ポリソーム…………… 315
 ポリヌクレオチド…… 71, 73, 238
 ポリペプチド…………… 252
 ポリメラーゼ連鎖反応法…… 333
 ポルフィリン環…………… 58
 ポルフィリン鉄錯体…………… 97
 ポルフィリン分子…………… 56
 ホルミルテトラヒドロ葉酸…… 90
 ホルモン応答性エレメント
 …………… 317
 ホルモン感受性リパーゼ
 …………… 186, 261, 330
 ホロ酵素…………… 109
 翻訳…………… 305
 翻訳領域…………… 313

ま

マイクロ RNA …………… 74
 膜動輸送…………… 9
 マグネシウム…………… 96
 マクロファージ…………… 282
 マトリックス…………… 5, 153, 189
 マルトース…………… 23, 25
 マロニル ACP …………… 193
 マロニル CoA …………… 193
 マンガン…………… 98
 マンガンスーパーオキシドジスム
 ターゼ…………… 98

み

ミエリン鞘…………… 35
 ミエロベルオキシダーゼ…… 136
 ミオグロビン…………… 58, 60
 ミオシン…………… 59, 61
 ミカエリス・メンテンの式
 …………… 112
 ミカエリス定数…………… 111
 ミスセンス変異…………… 330
 ミスマッチ修復…………… 321
 ミトコンドリア
 …………… 5, 72, 138, 147, 156, 189, 197
 ミトコンドリア DNA …………… 72
 ミネラル…………… 93
 ミネラルコルチコイド…… 203

む

無機リン酸イオン…………… 131

め

メープルシロップ尿症
 …………… 230, 231
 メタボリックシンドローム
 …………… 204
 メチオニン…………… 223, 228, 232
 メチル基…………… 243
 メチルコバラミン…………… 88
 メチルマロン酸血症…………… 230
 メッセンジャー RNA …………… 4, 74
 メナキノン…………… 84
 メナキノン-4 …………… 84
 メナキノン-7 …………… 84
 メナキノン-10 …………… 84
 メナキノン-11 …………… 84
 メバロン酸…………… 199
 メラトニン…………… 226, 275
 免疫グロブリン…………… 61

も

モノガラクトシルジグリセリド
 …………… 36
 モノカルボン酸…………… 37
 モノグリセリド…………… 32
 モリブデン…………… 99
 門脈…………… 166

や

夜盲症…………… 80

ゆ

誘導脂質…………… 32, 37, 40
 誘導糖…………… 21
 遊離脂肪酸…………… 258, 261
 遊離リポソーム…………… 5
 輸送酵素…………… 108
 輸送たんぱく質…………… 60
 ユビキチン…………… 211
 ユビキチン-プロテアソーム系
 …………… 211

よ

陽イオンチャネル…………… 287
 葉酸…………… 90
 ヨウ素…………… 98
 ヨウ素価…………… 40
 四次構造…………… 113

ら

ラインウィーバ・パークの式
 …………… 112
 ラギング鎖…………… 308
 ラクターゼ…………… 24, 174

ラクチトール…………… 25
 ラクトース…………… 24, 25, 174, 175
 ラクトース不耐症…………… 174
 ラジカル補足能…………… 137
 ラジカル連鎖反応…………… 39
 ランゲルハンス島β細胞…… 173
 卵胞刺激ホルモン…………… 275, 293
 卵胞ホルモン…………… 41

り

リアーゼ…………… 107
 リアルタイム PCR 法…………… 334
 リーディング鎖…………… 307
 リガーゼ…………… 108
 リガンド…………… 285
 リシルオキシダーゼ…………… 98
 リシン…………… 220, 228
 リソソーム…………… 6, 211
 リソソーム系…………… 211
 律速酵素…………… 107
 リトコール酸…………… 42
 リノール酸…………… 39
 リプロース 5-リン酸 …………… 162
 リボース 5'-リン酸 …………… 69
 リボ核酸…………… 68
 リボキシゲナーゼ…………… 43
 リポソーム…………… 211
 リポソーム RNA …………… 4, 74
 リポたんぱく質…………… 57, 60, 184
 リポたんぱく質リパーゼ
 …………… 184, 258
 リボヌクレオシドニリン酸 242
 リボヌクレオチドレダクターゼ
 …………… 70, 242
 リボビテリン…………… 63
 リボフラビン…………… 86, 134
 流動モザイクモデル…………… 7
 両性イオン…………… 49
 リン…………… 96
 リンゴ酸-アスパラギン酸シャ
 ル…………… 151, 156
 リンゴ酸デヒドロゲナーゼ 159
 リン酸エステル結合…………… 68
 リン酸化…………… 117, 118, 168, 170
 リン酸基…………… 241
 リン酸ジエステル結合 …… 307
 リン酸マグネシウム…………… 96
 リン脂質…………… 32, 34
 リンたんぱく質…………… 58

れ

レシチン…………… 34
 レチナール…………… 80

- レチノイドX受容体……80, 318
 レチノイン酸……80
 レチノイン酸受容体……80, 318
 レチノール……80
 レッシュ・ナイハン症候群……248
 レニン……277
 レプチン……283
- ろ**
 ロイコトリエン……43, 203, 280
 ロイシン……220, 222, 228
 ロドプシン……80
- わ**
 ワトソン……71
- 英文**
- A**
 ACP……90, 193
 ACTH……275, 292
 acyl carrier protein……90
 adenosine triphosphate……87
 adenylate cyclase……330
 ADP……131, 138, 239, 242
 alcohol dehydrogenase……330
 aldehyde dehydrogenase……330
 ALDH……330
 ALT……114
 AMP……134, 239, 246, 276
 anticodon……312
 antiport……9
 antisense strand……310
 apoenzyme……109
 AST……114
 ATP……70, 87, 94, 130, 140, 155, 238
- B**
 BCAA……222
 branched-chain amino acids
 ……222
 B細胞……61
- C**
 cAMP……71, 168, 289, 330
 capping……311
 CDP……241, 242
 central dogma……305
 CETP……185
 cGMP……71, 291
 chromatin……303
 chromosome……302
 cis-acting element……316
 cistron……309
- CoA-SH……90
 coding sequence……313
 codon……312
 coenzyme……109
 cofactor……109
 competitive inhibition……115
 COVID-19……74
 COX……43
 CPT- I……187
 CPT- II……188
 CRH……275, 292
 Cu/Zn SOD……98
 C末端……53
- D**
 de novo 合成……238
 denaturation……56
 deoxyribonucleic acid……68
 deoxyribose……68
 dGMP……70
 DHA……194
 direct repeat……319
 DNA……68, 71, 72, 74, 243, 302, 305
 DNAヘリカーゼ……305
 DNAポリメラーゼ……307
 DNAマイクロアレイ……337
 DNAリガーゼ……308
 double helix……305
 dTDP……243
 dTMP……70, 243
 dTTP……243
 dUMP……70, 242
 D型……18, 20
 D-グルクロン酸……22
 D-リボース……68, 69
- flavin mononucleotide……86
 FMN……86, 134
 FSH……275, 293
- G**
 GABA……226
 GDP……239, 242
 gene……302
 gene expression……305
 genetically modified organism
 ……338
 genome……302
 genome editing……338
 GH……275
 GHRH……275
 GIP……277
 GLP-1……277
 GLUT……146
 GLUT1……167
 GLUT2……146, 167, 256
 GLUT3……146, 167
 GLUT4……146, 167, 257, 258
 GLUT5……146
 GMO……338
 GMP……239, 246
 GnRH……275, 293
 GPCR……285, 287, 289
 GTP……155, 239
 Gたんぱく質……287
 Gたんぱく質共役型受容体
 ……285, 287
- H**
 HDL……58, 182, 185
 heat shock protein 90……317
 heavy chain……61
 helicase……305
 heterogeneous nuclear RNA
 ……309
 HGPRT遺伝子……248
 high density-lipoprotein……58
 histone……303
 HMG-CoA……197
 HMG-CoAレダクターゼ……115, 200
 hnRNA……309, 311
 HOC1……136
 holoenzyme……109
 homeostasis……302
 hormone response element……317
 hormone-sensitive lipase……330
 housekeeping gene……302
 HRE……317
 HSL……186
- F**
 F2, 6-Pase……170
 FAD……86, 110, 134, 138, 155
 FADH₂……138
 FADH₂……189
 flavin adenine dinucleotide……86

- HSP90 317
 hydrolase 107
- I**
- IDL 58, 182, 184
 IgG 61
 IMP 238, 239, 246
 inhibitor 115
 initiation codon 312
 Intermediate-density
 lipoprotein 58
 intron 311
 IP₃ 289
 IRE 320
 iron response element 320
 iron response element-binding
 protein1 320
 IRP1 320
 isomerase 108
 isozyme 113
 IU 118
 IUPAC 37
- K**
- Km 値 111, 115, 146, 149
- L**
- lactate dehydrogenase 113
 lagging strand 308
 LDH 113, 114
 LDL 58, 83, 182, 184, 185
 leading strand 307
 LH 275, 293
 LH サージ 293
 ligase 108
 light chain 61
 LMWCr 99
 low density-lipoprotein 58
 LPL 184, 258, 259
 lyase 107
 L- α -アミノ酸 48, 50
 L-アスコルビン酸 92
 L 型 18, 20
 L-デヒドロアスコルビン酸 92
- M**
- messenger RNA 308
 miRNA 74
 mismatch repair 320
 Mn-SOD 98
 mRNA 4, 74, 309, 312, 315
 mutation 320
- N**
- N¹⁰-ホルミル-THF 247
 n-3 系 39
 N⁶,N¹⁰-メチレン-THF 243, 247
 N⁶,N¹⁰-メチレン-テトラヒドロ葉
 酸 242
 N⁶,N¹⁰-メチル-THF 247
 N⁶-メチル-テトラヒドロ葉酸
 247
 n-6 系 39
 n-7 系 39
 n-9 系 39
 Na 93
 Na⁺/K⁺ATP アーゼ 94
 Na⁺/K⁺ポンプ 94
 Na⁺/アミノ酸共輸送体 94
 Na⁺/ブドウ糖共輸送体 94
 Na⁺Na⁺/K⁺-ATPase 9
 Na⁺ポンプ 9
 NAD 87, 88, 110, 155
 NAD⁺ 134
 NADH 88, 108, 134, 138, 189
 NADP 87, 88, 110
 NADP⁺ 134
 NADPH 88, 134, 147
 NADPH+H⁺ 162
 NADPH オキシダーゼ 136
 NEFA 258
 neutral fat 33
 nicotinamide adenine
 dinucleotide phosphate 87
 nicotinamide adenine
 dinucleotide 87
 nicotinamide ribonucleotide
 87
 NMN 87
 NO 226, 281, 291
 noncoding sequence 313
 noncompetitive inhibition
 115
 nucleoside 68
 nucleosome 303
 N-グリコシド結合 68
 N 末端 53, 54
- O**
- oxidoreductase 107
- P**
- PAI-1 283
 palindrome 318
 PCR 333
 PFK-2 170
 pH 110, 115
 phosphodiester bond 307
 Pi 131
 PKA 168
 plasma cell 61
 PLP 88, 110
 PMP 88
 poly adenylation 311
 polymerase 307
 polymerase chain reaction
 333
 polysome 315
 PRH 275
 PRL 275
 processing 308
 promoter 309
 proofreading 320
 PRPP 238, 239, 240, 246
 pyridoxal phosphate 88
 pyridoxamine phosphate 88
- R**
- rapid turnover protein 213
 RAR 80, 318
 Ras 291
 replication 305
 replication fork 306
 restriction endonuclease 332
 retinoic acid receptor 80, 318
 retinoid X receptor 80, 318
 reverse transcription 305
 ribonucleic acid 68
 ribonucleotide reductase 70
 ribose 68
 RNA 68, 69, 71, 73, 74, 131, 238
 RNA プライマー 308
 ROS 136, 137
 rRNA 4, 74
 RTP 213
 RXR 80, 318
- S**
- SCID 249
 semi-conservative replication
 305
 SGLT 94
 SGLT1 146
 short tandem repeat 339
 silencer 309
 single nucleotide polymorphism
 329
 SNP 329
 SOD 98, 136, 137

sodium/glucose cotransporter	X	
.....94	xeroderma pigmentosum	320
splicing..... 311	XMP	246
stop codon..... 312	XP	320
STR		
..... 339	Z	
structural gene	Zn finger	319
..... 309		
substrate		
..... 106		
superfamily		
..... 317		
Superoxide Dismutase		
.....98		
symport		
..... 9		

T

TATA ボックス	310
telomere	303
terminator	309
THF	238
thiamine pyrophosphate	85
thymidylate synthase	70
tissuespecific gene	302
TNF α	282, 283
TPP	85, 110, 154
trans-acting factor	316
transcription	305
transcription initiation site	309
transfer RNA	309
transferase	107
transferrin receptor	320
transgenic organism	338
translation	305
translocase	108
TRH	275, 292
tRNA	74, 309, 312, 315
TSH	275, 292

U

UCP	140
UDP	241, 242
UDP- グルクロン酸	164
UDP- グルコース	164, 166
UDP- グルコースデヒドロゲナーゼ	164
UMP	241
uncompetitive inhibition	115
uncoupling protein	140
UTP	241

V

VDR	83, 318
very low-density lipoprotein	57
vitamin D receptor	83, 318
VLDL	57, 182, 184, 185

「栄養管理と生命科学シリーズ」
生化学

2024年7月17日 初版第1刷発行



編著者 山田一哉

発行者 柴山斐呂子

発行所 理工図書株式会社

〒102-0082 東京都千代田区一番町27-2
電話 03 (3230) 0221 (代表)
FAX 03 (3262) 8247
振替口座 00180-3-36087 番
<http://www.rikohtosho.co.jp>

© 山田一哉 2024 Printed in Japan ISBN978-4-8446-0940-7

印刷・製本 丸井工文社

〈日本複製権センター委託出版物〉

*本書を無断で複写複製（コピー）することは、著作権法上の例外を除き、禁じられています。本書をコピーされる場合は、事前に日本複製権センター（電話：03-3401-2382）の許諾を受けてください。

*本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製は著作権法上の例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内の利用でも著作権法違反です。

★自然科学書協会会員★工学書協会会員★土木・建築書協会会員