



# 生化学講座

医学の生化学 I  
—生理化学—

7

# 生化学講座

# 7

編 纂

赤堀四郎  
伊勢村寿三  
市原 硬  
浮田忠之進  
内野仙治  
江上不二夫  
片桐英郎  
佐橋佳一  
島 蘭 順雄  
鈴木友二  
田中正三  
広畑 竜造  
牧野 堅  
森 高次郎

## 医学の生化学 I

—生理化学—



共立出版株式会社

第7卷 編集担当者

山口県立医科大学 廣畑龍造

執筆者

山口県立医科大学 廣畑龍造

日本医科大学 上代皓三

京都府立医科大学 吉村寿人

京都学芸大学体育学部 井上太郎

山口県立医科大学 中村正二郎

東京大学薬学部 伊藤四十二

北海道大学医学部 宇井理生

(執筆順)

## 序

この第7巻には消化、吸収、呼吸、血液、体液成分とその調節、尿、栄養、ホルモンと物質代謝の各章をおさめたが、それらはいずれも医学の研さん(鑽)に重要な事項ばかりであって動物または人類の生理現象をつまびらかにし、病理現象の究明に資することが大である。これを医学生化学の一部として「生理化学」の副題をつけるゆえんである。しかし「生理化学」の全部がこの巻に圧縮されているのではなく第1~6巻はむしろのこと、第8、10~14巻の内容もまた生理化学の一部として重要である。ただこの巻の内容は第4~6、8巻をはじめ部分的には他の巻にもいくばくかの基礎知識を提供することができるであろう。

元来「生理化学」なる学科名は今なおドイツでは医科の生化学に用いられてはいるが、それは「生化学」が生理学から発達して分離独立する過渡期に用いられたものであって悔性的に現在に至ったとみるべきである。そしてその古い時代には黎明期の医学の要求に応ずる必要から消化、吸収、尿、栄養、血液、組織化学などが好んでとりあげられていた。それがさらに進歩発達し、他の有機化学、農芸化学などからの力強い援助により、ついに現在の生化学の大をなしたものである。いふならばこの巻の内容は医科生化学の「正統派」に属する部分といつてよかる。

それだけに大部分は彼の中間代謝などにみるような「けんらん」さには乏しいかもしれぬ。かといって古典的と排し去るわけにはゆかぬ。この領域においても熱心真摯なる研究が国の内外において続行せられているので本巻にはそれをできるかぎり網羅することに努められている。したがって医科の人人に益するはもちろん、他科の人人にも他山の石となりうるものと信ずる。

およそ一学科の進歩は関連学科の進歩にまつと同様にその学科内でも多数の小さい専門分野が手をとり肩をならべて進むことが望ましい。いたずらに新をきそい奇をてらい流行に酔うことは警戒を要する。

この意味において筆者は第7巻が医学生、医学研究者、一般医家のみならず他の理、農科の学生、研究者または栄養学研究者などに利用せられて、わが国生化学の進歩に少しでも寄与されることを衷心から希うものである。

昭和34年5月

編集担当 広畑龍造

# 目 次

## 第 1 章 消化と吸収の生化学

1.1 はしがき	1
1.2 口腔内消化	1
A. 唾 液	1
B. 口腔内消化に対する唾液とそしゃくの意義	4
1.3 胃腔内消化	4
A. 胃の解剖学的事項	4
B. 胃の生化学	4
C. 胃 液	5
D. 胃液の性状と成分	8
E. 胃液の採取法	13
F. 食塊の胃内への入り方	14
G. 胃の運動	15
H. 化学的消化	15
I. 胃全副の影響	16
1.4 小腸内消化	17
A. 腸の解剖学的事項	17
B. 小腸の生化学	18
C. 小腸液	19
D. 小腸液の性質と成分	20
E. 脾 液	22
F. 胆 汁	25
G. 小腸内消化	26
1.5 大腸内消化, 腐敗と発酵	28
A. 大腸の解剖学的事項	28
B. 大腸の生化学	29

C. 大腸液	29
D. 大腸菌叢	29
E. 大腸内の菌叢による糖質の変化	29
F. 大腸菌叢による蛋白質の変化	30
G. 大腸菌叢による脂肪の変化	31
H. 大腸菌叢による他の変化	31
I. 大腸からの排泄	32
J. 大腸の運動	32
1.6 吸 収	33
A. はしがき	33
B. 糖質の吸収	33
C. 脂質の吸収	36
D. 類脂質の吸収	39
E. 蛋白質の吸収	39
F. 水, 塩類, 有機物の吸収	41
1.7 糞	43
A. 未消化, 未吸収物	43
B. 消化管から出るもの	43
C. 糞便内細菌	44
D. 糞便中の無機物	44
E. 糞便の色	44
F. においと pH	44
1.8 消化吸収率	44
参考文献	47

## 第 2 章 呼 吸

2.1 概 説	53
2.2 呼吸基質の脱水素反応 (TCA 回路)	56
2.3 電子伝達系と酸化的リン酸化反応	58

A. 電子伝達系	58
B. 酸化的リン酸化反応	60
C. 酸化的リン酸化反応の機構	61
2.4 電子伝達系とミトコンドリア	63
2.5 呼吸反応の酸素需要量	65
2.6 細胞呼吸の調節	66
2.7 肺呼吸	68
A. ヘモグロビンと酸素との結合およびヘム間相互作用	71
B. 酸素飽和度曲線の呼吸適合性	74
C. Bohr 効果	77
D. 血液の炭酸	81
E. 呼吸ガスの交換	83
F. ヘモグロビンの異常症	87
G. ヘモグロビン機能の比較生化学	96
参考文献	103

### 第3章 血液

3.1 概説	109
A. 呼吸	109
B. 栄養	109
C. 調節	110
D. 排泄	110
E. 保護	110
3.2 血液の形態的組成	110
3.3 血液の理学的性状	113
A. 血液の色, 比重	113
B. 血液の量	114
C. 血液の浸透圧	115
D. 血液の膠質浸透圧	116

E. 血液の水素イオン濃度	117
F. 血液の緩衝能	119
G. 酸性症, アリカリ性症	120
3.4 血液の化学的組成	121
A. 血漿の蛋白質	121
B. 含水炭素	136
C. 脂肪およびリポイド	139
D. N-化合物	140
E. 胆汁色素	141
F. 血液の無機物組成	141
3.5 血液の酵素	145
A. リパーゼ	145
B. コレステリンエステラーゼ	146
C. コリンエステラーゼ	146
D. ホスファターゼ	146
E. アミラーゼ	146
F. アミノ基転位酵素	147
G. 乳酸脱水素酵素	147
H. アルドラーゼ	147
I. リンゴ酸脱水素酵素	147
J. ヘキソースリン酸イソメラーゼ	147
K. グルコース-6-リン酸ホスファターゼ	148
3.6 血液の凝固	148
A. 血液凝固の機序	149
B. 血液凝固の主要因子の性質と作用	150
C. 凝固過程の調節	155
3.7 赤血球内の酵素系と酵素	157
A. 解糖系	158
B. 六炭糖リン酸経路	160

C. ポルフィリン合成系	168
D. その他の酵素	169
参考文献	172

#### 第4章 体液成分とその調節

4.1 体液とその水分塩分組成	182
A. 体液水分とその体内における分布	182
B. 体液の塩分組成	184
C. 水分塩分の臓器別配分	186
4.2 水分および塩分の出納	187
A. 水分出納	187
B. 塩分出納	189
4.3 体内における水分塩分の交流	190
A. 細胞内外の水分塩分の交流	192
B. 血漿と組織液との交流	196
4.4 水分塩分代謝の調節	196
A. 口渇による水分摂取の調節	198
B. 腎臓機能による水分塩分代謝の調節	201
4.5 体液酸塩基平衡とその調節	209
A. 体液の酸塩基平衡	209
B. 体液の酸塩基組成とその緩衝作用	211
C. 酸塩基代謝の調節	216
D. Acidosis と Alkalosis	225
参考文献	226

#### 第5章 尿の性状と成分

5.1 尿の一般性状と組成	229
A. 色	229
B. 透明度	230

C. におい, 味	230
D. 量, 比重, 浸透圧	230
E. pH および酸度	231
F. 尿の組成	231
5.2 無機成分	232
5.3 有機成分	233
A. 尿 素	233
B. アンモニア	234
C. 尿 酸	235
D. クレアチニンおよびクレアチン	236
E. アミノ酸	236
F. 馬 尿 酸	237
G. 尿インジカン	237
H. グルクロン酸	237
I. その他微量に排出される窒素含有物質	238
5.4 おもに病的にあらわれる成分	238
A. 蛋 白 質	238
B. 血尿, 血色素尿	239
C. 胆汁色素その他の色素	239
D. アミノ酸およびその中間代謝物	239
E. 糖 尿	240
F. ケトン尿	241
G. 脂肪尿 (乳糜尿)	241
5.5 尿 沈 渣	241
A. 生体組織に由来する沈渣	242
B. 生体組織に由来しない沈渣	242
5.6 尿 結 石	242
参 考 文 献	242

## 第6章 栄養の化学

6.1 はしがき	245
6.2 栄養の栄養化学	246
A. 蛋白質	246
B. 脂質	257
C. 糖質	261
6.3 代謝	262
A. 代謝量の測定法・物質代謝とエネルギー代謝	263
B. 基礎代謝	270
C. 日常生活のための代謝	274
D. 断食の代謝(飢餓代謝)	280
6.4 栄養の摂取	284
A. 代謝量と食物の栄養構成	284
B. 窒素平衡	285
C. 栄養摂取の三つの問題	286
参考文献	302

## 第7章 ホルモンと物質代謝

7.1 まえがき	307
7.2 insulin と血糖について	309
7.3 insulin と sugar transfer mechanism	320
7.4 insulin と hexokinase	331
7.5 glucose の分解と insulin	336
7.6 insulin と脂質代謝	351
7.7 insulin とリン酸代謝との関係	360
7.8 insulin と蛋白代謝	364
7.9 insulin と細胞との結合	366
7.10 脳下垂体ホルモンと副腎皮質ホルモンの作用	370

7-11 glucagon .....	379
7-12 甲状腺ホルモンと oxidative phosphorylation .....	388
7-13 あとがき .....	397
参考文献 .....	399
索 引 .....	1~11

# 第 1 章 消化\*と吸収\*\*の生化学

## 1.1 は し が き

消化とは消化管内に入った食物を機械的ならびに化学的に処理して簡単均等で、かつなるべく水溶性の化合物にすることで、次に行われる吸収の準備である。養素のうちでいわゆる熱量素（糖質、脂質、蛋白質のように動物体内でもっぱらエネルギーを発生する養素）はたいてい巨大分子で水に難溶のものが多し。また食物蛋白は種族異種でそのままでは細胞に毒性を示すので吸収前にぜひ消化することが必要である。

機械的消化は口腔内のそしゃくに始まるが胃腸の蠕動は消化を助けるほか、吸収にも役立ち同時に食塊を下方に送る。化学的消化をする酵素は、消化管の各所で消化液の成分として分泌されるが、生食する動物は食物がもっているものをも利用し、また腸内バクテリアの酵素の恩恵を受けるのは草食動物だけでなく人類もそうである。

調理は食物を柔らかく消化しやすくし、かつ味と香をよくして消化液の分泌を高める。

## 1.2 口 腔 内 消 化

機械的消化が主でおもに歯のそしゃく運動でひきさき、ひきちぎり、押しつぶし、またすりつぶす。

### A. 唾 液 (saliva, der Speichel)

口腔の消化液唾液は唾腺から分泌されるが唾腺は耳下腺、顎下腺、舌下腺が主であるけれども他に多数の小さい腺がある。その組織学的構造と分泌液の成分とから次のように分ける。

粘液腺：口蓋腺、後舌腺

\* digestion, die Verdauung    \*\* absorption, die Resorption.

漿液腺：耳下腺，舌腺

混合腺：顎下腺，口唇腺，舌尖腺，頬腺，臼後腺，舌下腺の大部分

a. 唾腺の生化学 他の動物組織と大同小異の成分をもつが粘素が特に多い。粘素をつくるのには顎下腺がよく用いられる。ウシ顎下腺 1 kg から粘素 17 g, 類粘素 0.7 g が得られる。ヒト，イヌ，ウマ，ブタの唾腺の酵素はアミラーゼ，プロテイナーゼ，ペプチダーゼが証明できるが分泌されるのはアミラーゼだけである。またヒト，ウシ，ネコの三つの大きな腺はカリクレイン (kallikrein) をもっていてヒトでは唾液中に分泌される<sup>2)</sup>。血液型物質の分泌量は舌下腺>顎下腺>耳下腺の順である。なお耳下腺からパロチン (ホルモン) が出ることには興味がある (第 2 巻 p. 359, ホルモンの項参照)。

b. 唾液の分泌 唾液の分泌量は摂食時に多いが平素は少ない。その分泌は条件反射 (ヒト，イヌ，ブタ) と非条件反射とによる。前者は過去の経験から視覚，嗅覚，聴覚，味覚などの刺激で反射的に分泌されるもので，後者は食物の機械的と化学的刺激によりヒトではその影響のほうが大きい。唾液は液体を飲む最中には分泌されないでその後分泌される (粘液をまじえる)。牛乳でも同様である。

c. 唾液の性状と成分 耳下腺は舌咽神経と交感神経とから支配されるが耳下腺管にカニウレを入れ分泌液を採取できる。希薄で粘素なく蛋白量も少ないがアミラーゼ，ロダンが多く尿素 23~45 mg %; 乳酸 4.5~7.5 mg %; pH 6.28~6.80。

顎下腺は鼓索神経中を走る顔面神経線維と舌神経とで支配され，顎下腺管にカニウレを入れて分泌液を採取できる。透明希薄でアミラーゼ，粘素，ロダンを含み牽縷性でかつアルカリ性である。

舌下腺の神経支配は前と同じで外観透明，粘素，アミラーゼ，ロダンを含み粘稠である。

口腔粘液は上の 3 腺以外の腺から分泌され，粘稠牽縷性で扁平上皮，唾液小体，粘液細胞などを含む。

混合唾液の性状は採取方法などで多少違うが無色，無臭，無味，わずかに蛋

白石濁を示し牽縷性があり発ぼうしやすい。顕微鏡では上皮、唾液小体、口腔粘膜上皮細胞、リンパ球、白血球などが見られる。空中に長く放置すると  $\text{CO}_2$  が飛散して  $\text{CaCO}_3$  と微量有機物との混合物の皮膜ができ、また  $\text{CaCO}_3$  と上皮細胞などで少し濁る。反応は中性かむしろ弱酸性であるが、リトマスに対しては常にアルカリ性、 $\text{pH } 5.9 \sim 8.2$  の間を上下し 8 割以上が  $\text{pH } 6.35 \sim 6.85$  くらいでおもに血液の  $\text{HCO}_3^- : \text{H}_2\text{CO}_3$  の比によって左右され、弱い緩衝作用がある。比重  $1.002 \sim 1.008$ ,  $d = 0.07 \sim 0.34^\circ$ , Na 13, K 18, Ca 9.8, Cl 101.2,  $\text{HCO}_3^- 60.1 \text{ meq/l}^{(3)}$  のほか微量の  $\text{SCN}^-$  がある。 $\text{SCN}^-$  は喫煙者には多い (20 ~ 400 mg %) が不喫煙者にも出る (5 ~ 20 mg %)。のみならず妊婦、褥婦にも出ることがある。イヌには証明できるがほかの動物にはできない。

混合唾液の有機成分は唾液乾燥物の 70% を占めその約半分は粘素、1/7 は蛋白質、型物質などで、1/20 は乳酸、コリン、フェノール、尿素、ブドウ糖、ビタミン C、酵素などである。なかんずくアミラーゼ (ptyalin) はヒト、サルにおいては重要な酵素で大部分は耳下腺から分泌される。ヒトでは新産児にすでに含まれるが、成長につれしだいに増加し老人には減る。また食欲とともに増減し、食事中は非食事中より多い。血漿中のアミラーゼと関係はない。

唾液アミラーゼは 0.1% NaCl 存在下で  $\text{pH } 6.9$ ,  $40^\circ\text{C}$  が至適である。その作用に NaCl を必要とするが他の  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{F}^-$  でも有効である。硫酸アンモニウムで分画するとグロブリンに来る<sup>4)</sup>。その等電点は  $\text{pH } 4.0$  で、分子中に糖質と Fe をもつので KCN または KSCN で不活性化され HCl またはペプシンで糖は除かれるが Fe はとれぬ。扁桃腺の分泌物がこのアミラーゼ作用を促進するから扁桃腺を剔出するとその作用が 20% も減るといふ<sup>5)</sup>。ペプシンでは破壊されるがトリプシンではこわれない。

そのほかマルターゼ、 $\alpha$ -グルコシダーゼ、ヒアルロニダーゼ、ホスファターゼ、リパーゼ、リゾチム、オキシダーゼ、ジペプチダーゼ、ウレアーゼ、レドクターゼ、カーボニックアンヒドラーゼ、型物質 (A, B, O) などを少量含む。なお前記カリクレインのほかゴナードトロピン、プロランを証明したという報告もある。

## B. 口腔内消化に対する唾液とそしゃくの意義

口腔内化学的消化に対してはアミラーゼ作用が最も有意義で、その作用は迅速かつ強力であるが、多くの場合食物が口腔内に滞留する時間が短いので、その働きに多く期待はできぬ。しかし後述のように食塊が胃内に入ってもすぐ塩酸ペプシンの作用を受けるものでないから、その侵襲まではアミラーゼ作用が継続する。そのほかに唾液中の粘液を食塊にまぜて食道を通過しやすくすることはたいせつな働きの一つである。

そしゃくは既述のとおり口腔内消化に重要であるが、それによって他の消化液の分泌を盛んにすることにさらに意味がある。Fletscher が提唱するそしゃく主義は有意義であって杜<sup>6)</sup>は玄米摂取に際し 15 min そしゃくと 35 min そしゃくとの間にカロリー利用率に 1~1.5% の差があったことを報告している。

## 1.3 胃 腔 内 消 化

### A. 胃の解剖学的事項

胃の解剖は動物により非常に違ふ。ヒトのように1胃をもつものは噴門部、胃底部、幽門部の三つに分けられる。組織学的には粘膜、粘膜下組織、筋層、漿膜の4層からなり筋層は外層の縦走筋、中層の輪走筋と内層の斜線維の三つからなっている。

胃液は2腺から分泌される。

a. 胃底腺または固有胃腺 これは長い単一管状腺で厚い粘膜固有層全層を貫き粘膜下組織に及ぶ。おもに主細胞 (chief cell, die Hauptzelle), 旁細胞 (parietal cell, die Belegzelle), 副細胞 (mucous neck cell, die Nebenzelle) の3種の細胞からなっている。

b. 幽門腺 これは単一管状ほう状腺で細胞は1種で胃底腺の主細胞に相当する。

### B. 胃の生化学

胃全体または粘膜についての分析はきわめて少ない。粘膜にはムコイチン硫酸、アセチルコリンが比較的多く証明され、エンテラミン (enteramine=5-オキ