

STANDARD
TEXTBOOK

標準生理学

第4版

編集

本郷利憲 廣重 力 豊田順一 熊田 衛

医学書院

標準生理学

第4版

編集

本郷利憲 東京都神経科学総合研究所理事

廣重 力 北海道大学名誉教授
大学入試センター所長

執筆（目次順）

廣重 力 北海道大学名誉教授
大学入試センター所長

香川靖雄 自治医科大学教授・生化学

岡田泰伸 岡崎国立共同研究機構
生理学研究所教授

高橋國太郎 明治薬科大学教授・病態生理学

小原昭作 帝京大学教授

遠藤 實 埼玉医科大学教授・薬理学

飯野正光 東京大学教授・薬理学

久場健司 名古屋大学教授

小澤澪司 群馬大学教授

川口三郎 京都大学教授・脳科学

大野忠雄 筑波大学教授

石河延貞 宮崎医科大学名誉教授

小川 尚 熊本大学教授

岩村吉晃 東邦大学教授

松裏修四 大阪市立大学教授

豊田順一 聖マリアンナ医科大学教授

本郷利憲 東京都神経科学総合研究所理事

彦坂興秀 順天堂大学教授

岡 宏 福井医科大学教授

廣瀬 肇 北里大学教授・言語聴覚療法学

佐藤昭夫 東京都老人総合研究所副所長

小野武年 富山医科薬科大学教授

鈴木寿夫 弘前大学名誉教授

志賀 健 大阪大学名誉教授

松田 保 金沢大学教授・内科学

豊田順一 聖マリアンナ医科大学教授

熊田 衛 聖路加看護大学教授

熊田 衛 聖路加看護大学教授

瀬山一正 広島大学教授

菅 弘之 岡山大学教授

大橋俊夫 信州大学教授

照井直人 筑波大学助教授

福田康一郎 千葉大学教授

西野 卓 千葉大学教授・麻酔科

西山明德 東北大学名誉教授

猪又八郎 秋田大学医療技術短期大学部教授

鈴木裕一 静岡県立大学教授・食品栄養科学部

星 猛 静岡県立大学学長・東京大学名誉教授

今井 正 自治医科大学副学長

遠藤 仁 杏林大学教授・薬理学

小磯謙吉 茨城県立医療大学学長

永坂鉄夫 金沢大学教授

入来正躬 山梨県環境科学研究所所長

本間研一 北海道大学教授

松崎 茂 獨協医科大学教授・生化学

菅野富夫 北海道大学名誉教授・大学院獣医学研究科

有田 順 山梨医科大学教授

安田直毅 岩手医科大学教授

妹尾久雄 名古屋大学教授・環境医学研究所

貴邑富久子 横浜国立大学教授

黒島晨汎 旭川医科大学教授

歴代執筆者一覧

(お名前は各版ごとに項目順)

□第2版から執筆を交替された方

東 健彦〔元信州大学教授〕 第9章Ⅲ. 血液循環(初版執筆)
沼尾嘉信〔当時筑波大学講師〕 第9章Ⅳ. 循環系の調節(初版執筆)
日向正義〔当時国立栄養研究所室長〕 第11章Ⅲ. 腸管吸収(初版執筆)

□第3版から執筆を交替された方

前川杏二〔元自治医科大学教授〕 第3章. 神経系の機能／概説(初版～第2版執筆)

□第4版から執筆を交替された方(一部交替も含まれます)

本郷利憲〔東京都神経科学研究所理事〕 第5章Ⅲ. 脳幹(初版～第3版執筆)
本田良行〔千葉大学名誉教授〕 第8章G. 酸・塩基平衡, 第10章A. いとぐちと呼吸生理学で用いられる記号・略号, B. 呼吸系の機能的形態学, G. 血液ガスの一部(初版～第3版執筆)
廣重 力〔北海道大学名誉教授〕 第15章A. 内分泌総論, F. 視床下部ホルモンと神経ペプチド, G. 下垂体, J. ACTH-副腎皮質ホルモン, K. ギナドトロピン-性ホルモン, L. その他のホルモン(初版～第3版執筆)
鈴木光雄〔群馬大学名誉教授〕 第15章H. 成長ホルモン-ソマトメジン, I. 甲状腺刺激ホルモン TSHと甲状腺ホルモン(初版～第3版執筆)

標準生理学

1985年6月15日発行 第1版第1刷
1988年12月1日発行 第1版第4刷
1989年11月15日発行 第2版第1刷
1992年2月1日発行 第2版第3刷
1993年3月1日発行 第3版第1刷
1995年7月1日発行 第3版第4刷
1996年10月1日発行 第4版第1刷©
1998年4月1日発行 第4版第2刷

編 者 ほんごうとしのり ひろしげ つとむ
本郷利憲・廣重 力
とよ だじゆんいち くまだ まもる
豊田順一・熊田 衛

発行者 株式会社 医学書院
代表取締役 金原 優
〒113-8719 東京都文京区本郷5-24-3
電話 03-3817-5600(社内案内)

印刷・製本 大日本印刷

用紙 三菱製紙

本書の内容を無断で複写・複製・転載すると著作権・出版権の侵害となる場合がありますので御注意下さい。

ISBN 4-260-10131-5 Y12000

R <日本複写権センター委託出版物・特別扱い>

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き、禁じられています。本書は日本複写権センターへの特別委託出版物です。複写される場合は、そのつど事前に日本複写権センター(電話03-3401-2382)の許諾を得てください。

第4版 序

このたび、新しく加わった12人の執筆者のご協力を得て、『標準生理学』の第4版を出版する運びになった。本書は医学生向けの教科書としては相当の大冊であるが、第3版までの読者から「ていねいに読みこなしていけば大変理解しやすい本で、臨床に進んでから役立つ知識がしっかりと得られる」という評価をいただいている。とくに、生理学は広範囲な生命現象を対象としており、「細かいところまで理解すれば、知的好奇心を十分満足させてくれる」との医学生の評は、生理学が「覚える学問」でなく「思考する学問」であることの本質を表しているものと思われる。苦勞して本書の執筆に携わっている一同にとって執筆者冥利に尽きる思いである。

さて、この第4版では第1章Bの「細胞とその環境」を充実させ、第5章に「発声と構音」、第13章に「概日リズム」の新項目を設けたほか、全項目にわたって新知見による修正・追加が行われたので、全体として約40ページ増となった。さらに、“Molecular Biology of the Cell” など代表的な生命科学の教科書のように、一部ではあるが図版を4色刷にした。第3版の2色刷のものより直観的にわかりやすく、視覚情報量の多い図版になったと思う。内容的にも、プレゼンテーションの面でも新機軸を盛り込んだ新版をお届けできることになった。

教科書に関してとくに重要なことは読者の「信用」だと思う。初版が1985年に出版されて以来、版を改めることが3回に及ぶが、信用を維持し、これを増し加えるように心がけてきた。このような試みが10年以上も大過なく続けられたことは、この書をご愛読いただき、また貴重なご意見をよせていただいた多くの読者の皆様、「日本語で書かれた標準的な生理学教科書」の趣旨にご賛同いただいた歴代の執筆者の先生方、そして「文化事業」ともいえる学術書の出版を長年にわたりご支援くださった医学書院の方々のお蔭である。篤くお礼を申し上げたい。

今後とも各方面からの忌憚のないご意見、ご批判をいただいて改訂の努力を重ねていくつもりである。そしてこの第4版もまた、より多くの読者に読み継がれ、より一層役立つことを願ってやまない。

1996年8月

編集者一同

第3版序

ノーベル賞のうち医学や生命科学の業績にたいして与えられるものは、Nobel Prize for Physiology or Medicine（日本語訳ではノーベル医学生理学賞）と呼ばれる。このことから察せられるように、生理学は、医学の基幹となる学問領域である。実際、歴史的に、生化学、生物物理学などの基礎医学の学問分野は、生理学から分離・独立した。生理学はさらに、薬理学の主要な学問的基盤であり、現在でもこれらの近接分野と、しっかりと結ばれている。医学部の6年間において、生理学は前臨床過程 preclinical course の期間に学ばれるが、内科学など臨床医学各分野の基礎としての役割も大きい。

このように、医学諸分野のクロスロードに位置する生理学は、分子からシステム（器官系）にいたるまでの広範囲な生命現象を対象とする。進歩の激しい現代に生理学を学ぶためには、個々の事実についての up-to-date な知識と、生理学の明確な全体像がともに要求され、これらの条件を満たしている良い生理学教科書が強く求められる。

“日本語で書かれた標準的な生理学教科書”を目標としている本書は、1985年以来8年目にして、第3版が出版される運びとなった。執筆された各先生方、生理学学習の助けとしてこれを用いられた多数の読者諸氏にあらためて心から感謝する次第である。第3版の方針は、これまでと同様に、新しい進歩を盛り込むと同時に、適切な全体像を提供する、読みやすい生理学教科書を作ることである。本書は、すでにかなりの大部になっているので、内容を厳選し記述を吟味したこともこれまでと同様である。

第3版について、次の2点を指摘したい。まず、図をすべて2色刷とし、視覚的・直感的に理解できるようにした。次に、これまで同様に生理学を中心として、関連分野の専門家を含む方々が執筆しているが、初版以来ご協力を賜った前川杏二自治医科大学教授（当時）が、1990年に逝去された。この部分は新たに京都大学の川口三郎助教授と筑波大学の大野忠雄教授に担当していただくことになった。

第3版にたいしても、これまで同様、各方面からの忌憚のないご意見、ご批判をお願いするとともに、本書がこれまで以上に、読者諸氏に役立つことを願う次第である。終りに当たり、本書の刊行に力を尽くされた医学書院の編集部、制作部の関係者各位に心から御礼を申し上げる。本書は、これらの方々と、執筆者、編集者一同との合作である。

1992年12月 数え日に

編集者一同

第2版序

1985年に本書の初版を世に問うてから4年目に、改訂第2版を発行する運びとなった。当初、内外の多くの教科書に伍していくことに多少の危惧も抱いたが、幸いにして好評を博し、初版は第4刷まで重ねることができた。これも、執筆の先生方が“日本語で書かれた標準的な生理学教科書”の重要性を理解され、その作成に努力された賜物であるとともに、執筆者のその意気込みを読者諸氏が十分に評価し、受け入れて下さったお蔭である。我々にとって望外の喜びであり、心から感謝する次第である。

さて、本書初版は医学生向けの教科書としてはかなりの大冊であり、全体的にみて相当詳しく、ある部分はレベルの高い内容を含んでいた。これは、生理学の情報が近年急速に増え、教えるべき重要な事柄がきわめて多い現状を忠実に反映したものであり、この点で読者諸氏の理解を援けるのに少なからず役立ったことと信じている。しかし、その後の学問の進歩を無差別に取り入れるとさらにボリュームが大きくなるので、改訂にあたっては“内容やレベルを落とさずに、如何にして簡潔でわかりやすくするか”という点を基本的課題として検討した。その結果、内容を厳選して記述を吟味したことは勿論であるが、その他に、通読して全体の流れを理解する基本部分（これが大部分である）と、読み飛ばしても差しつかえない参考部分とを区別し、後者を小文字にして **Advanced studies** の印をつけ、一部を脚注にした。従って、通読するためには小文字部分は安心して読み飛ばしても構わないし、特定の内容や関連事項を少し詳しく知りたい時には、読み飛ばした部分に戻ってじっくりと読み、理解していただきたい。

ところで、改訂では当然、学問の進歩に伴う新知見を書き加える必要がある。この点は本書のすべての章で行われたが、とくに指摘したいのは、分子レベルでの理解が近年飛躍的に進歩した“細胞の受容体”について「細胞の一般生理」の章で補充したことである。他に、初版になかった“体液調節”などいくつかの項目を新設した。また、図表を見やすくし、本文との有機的関連をより密接にすることにも意を用いた。

基礎医学の中でも最近の進歩がとくに華々しいのは、生化学や免疫学など分子レベルの生体现象を扱った学問分野であろう。しかし、基礎医学の基幹科目である生理学に求められるのは、[分子—細胞レベル] から [器官—システムレベル] までの生体现象を相互に関連づけながら、統合的に理解することである。生理学が生理学たる所以（ゆえん）はまさにここにある。読者諸氏は本書を通して生理学を学ぶにあたり、この点をとくに意識しながら読んでいただきたい。それとともに、生化学や薬理学など生理学の近接分野や、臨床医学との関連に留意することも大切である。

本書の37名の執筆者は、生理学者を中心として生化学、薬理学、臨床医学の専門家に及び、いずれも教育、研究あるいは診療の第一線におられる方々である。これら多数の専門家による協同作業の成果である本書は、上に述べた生理学への多様な課題に対する一つの回答ともいえる。この第2版では、学問の動向と教育のありか

たを踏まえて、初版にまさるよう改善に心掛けたつもりであるが、まだ不備なところも少なくないと思われる。今後とも各方面からの忌憚のない御意見、御批判をいただいて改訂の努力を重ねていきたい。そしてこの第2版もまた、より一層読者諸氏に役立つことを願ってやまない。

終わりにあたり、初版同様に本書刊行に力を尽くされた医学書院の編集部、制作部の関係者各位に心から御礼申しあげる。

1989年9月 重陽の日に

編集者一同

初版 序

現代は「情報過多の時代」といわれる。これは医学においても例外ではない。医学の進歩とともに新しい知識が加速度的に増えるなかで、医学部の教育年限は固定されている。しかも、基礎医学の各科目に配分される時間は、減ることはあっても増えることはまずない。「生理学」について言えば、他科目との重複を避けたり、重点項目を厳選したり、さまざまな工夫がなされているが、それでも底の浅い教育に陥らないためには相当の努力が必要である。

本来、生理学は「理解する学問」である。本書の編集にあたって第1に心掛けたことは、上に述べた状況を考慮したうえで、「生理機能を理解するうえで鍵になる基本的な概念」や「生理学的なものの見方、考え方」を必要にして十分なだけ説明し、読者に“physiologically-minded”の姿勢を習得していただくとした点である。かなりの大冊となったが、執筆の各先生がこの点を理解されて書き込まれた結果であり、読者諸氏は執筆者の意気込みを受け止めて学習していただきたいと思う。

次に、医学の進歩は「生理学」の領域においても専門の細分化をもたらし、一人の教官が広い領域に精通することは次第に難しくなりつつある。本書の第2の方針は、最新の知識をわかりやすくまとめて説明するため、研究と教育の第一線で活躍しておられる先生方に、それぞれの専門分野について執筆していただいたことである。執筆者としては、生化学、薬理学をはじめ内科学、泌尿器科学など生理学関連分野の専門家にも御参画いただき、本書に学際的色彩を与えている。また、編集にあたっては臨床医学との関連も念頭に置き、将来臨床医学を学ぶ際にも役立つよう心掛けつつありである。

ここで、読者の便宜を考えて採用した編集上の特徴を3点あげる。

第1に、学習の理解を容易にするため各章の初めに「本章を学ぶ意義」の頁を設け、その章の位置づけと全体像を前もって把握できるように配慮した。

第2に、各章の終りに「学習のためのチェックポイント」をつけて、学習目標への到達度を学生諸君が自分でチェックできるようにした。ただ答えを求めるのではなく、編集方針の第1にあげた「生理学的な考え方」を幅広く理解するための一助にしていきたい。

第3には、次の事項を記述した部分は小活字とし、そのような性質の記述であることが区別できるようにした。すなわち、①本文を理解するうえで直接必要であるが、解剖学や生化学など他の科目で学ぶような事項、②正常な生体機能を学ぶという生理学本来の範囲からは多少はみ出るが、臨床医学的に重要と思われる事項、③生理学をより深く学ぶにあたって参考になる事項、である。

このようにして、各執筆者ができるだけ新しい内容を理解しやすいように、と精魂こめて執筆して上梓したので、本書が生理学の教科書として医学生諸君の勉学に少しでも役立つことを心から願っている。今後、読者や識者諸賢の御批判、御意見を十分に傾聴して、よりよい教科書へと改訂していきたいと念願している。

終わりに、貴重な時間と大変な労力をさいて執筆を分担して下さいました諸先生に深

甚の謝意を表するとともに、本書の出版に力を尽くされた医学書院の編集部，制作部の関係各位に心から御礼申しあげたい。

1985年4月 花信の日に

編集者一同

目次

序章

廣重 力

1. 生理学とは……………1
2. ホメオスターシスと生体情報……………1
3. 医学における生理学の立場……………4

1 細胞の一般生理

- 本章を学ぶ意義……………香川靖雄 7
- A. 細胞の微細構造と機能……………香川靖雄 8
1. 真核細胞と原核細胞……………9
 2. 細胞器官……………10
 3. 生体膜……………14
 4. 生体高分子……………18
 5. 細胞の生体エネルギー論……………22
 6. 細胞の生体情報論……………28
- B. 細胞とその環境……………岡田泰伸 30

1. 細胞内外の物理化学的環境……………31
2. 細胞と外環境との相互作用……………33
 - a. 細胞膜における物質輸送……………33
 - b. 細胞膜における情報伝達……………41
 - c. 細胞外マトリックスと細胞-間質
接着……………44
 - d. 細胞容積調節……………44
3. 細胞間相互作用……………45

●学習のためのチェックポイント……………47

2 神経と筋の生理学

●本章を学ぶ意義……………小原昭作 49

I. 興奮性膜……………高橋國太郎 50

1. 神経細胞の構造と機能……………50
 - a. 興奮性細胞の種類……………50
 - b. 神経細胞の形態……………50
 - c. 神経細胞の機能—活動電位……………52
2. 膜電位の発生と膜興奮の機序……………54
 - a. 膜説とイオン透過性……………54
 - b. 膜構造とイオンチャネル……………56
 - c. イオンの濃度勾配と膜電位……………56
 - d. 静止膜の電流……………57
 - e. 活動電位の発生と Na 説……………59
 - f. 興奮時の膜電流の解析……………59
3. イオンチャネルの透過機構と開閉機構 63
 - a. TTX と TEA ……63
 - b. 細胞内灌流法……………63
 - c. Na チャネル分子の密度と構造 ……64
 - d. Na チャネルの透過機構のイオン
選択特性……………66
 - e. ゲーティング機構……………66
4. イオンチャネルの種類と単一チャネル
電流……………68
 - a. パッチクランプ法……………68
 - b. 単一チャネル電流によるチャネルの
開閉機構の解析……………70
5. Ca イオンと興奮性……………73

- a. 細胞内 Ca イオンの制御……………73
- b. Ca 活動電位の発見と Ca チャネルの
性質……………74
- c. Ca チャネルの分子構造と Ca イオン選
択的透過性……………76
- d. Ca イオンの安定化効果……………76

II. 興奮と伝導……………小原昭作 79

- A. 刺激と興奮……………79
1. 電気緊張電位……………80
 2. ケーブル特性：電気緊張性波及……………81
 3. 刺激と閾値……………83
- B. 興奮伝導……………84
1. 興奮伝導の機構……………84
 2. 興奮伝導の三原則……………87
 3. 細胞外電極による記録……………88
 4. 末梢神経系……………89

III. 筋肉とその収縮……………遠藤 實, 飯野正光 91

1. 骨格筋の構造……………91
2. 骨格筋細胞膜の電氣的性質……………94
3. 興奮収縮連関……………96
4. 収縮の生理学……………99
 - a. 収縮の諸型……………99
 - b. 筋の力学的性質……………100
 - c. 収縮に伴うその他の物理的変化……………103
 - d. 筋のエネルギー発生……………103
 - e. 筋収縮のエネルギー源……………105

5. 筋収縮機構	105	a. 速いシナプス後電位の発生に関与する伝達物質の作用	久場健司 133
a. 筋収縮の滑り説	105	b. 遅いシナプス後電位の発生に関与する伝達物質の作用	久場健司 139
b. 収縮の分子機構	106	c. 神経伝達物質と受容体	139
6. 心筋収縮とその制御機構の特徴	108	①受容体分子の基本構造	小澤静司 139
7. 平滑筋細胞の生理	110	②アセチルコリン受容体イオンチャネルの構造と機能	久場健司 140
IV. 興奮の伝達	114	③神経伝達物質と受容体の種類	小澤静司 142
A. シナプス伝達序論	久場健司 114	④伝達物質の代謝	久場健司, 小澤静司 149
a. シナプスとは?	114	D. シナプス伝達の調節と統合	久場健司 149
b. 歴史的背景	114	a. シナプス伝達の調節	149
c. シナプス伝達の様式: 化学的伝達と電気的伝達	115	b. シナプスの機能と構造の維持	151
B. 電気的シナプス伝達	久場健司 117	E. 中枢神経系におけるシナプス伝達	151
C. 化学的シナプス伝達	118	①中枢神経シナプスの特徴	小澤静司 151
1. 化学的シナプスの構造	久場健司 118	②シナプス入力統合とその意義	久場健司 152
2. 化学的伝達の証拠	久場健司 119	③中枢神経シナプス伝達の可塑性	小澤静司 154
3. 速い興奮性シナプス伝達	久場健司 120	●学習のためのチェックポイント	157
4. 緩徐な興奮性シナプス後電位 (slow EPSP)	久場健司 124		
5. 抑制性シナプス後電位 (IPSP)	久場健司 125		
6. 伝達物質の放出機序	久場健司 126		
7. 伝達物質の作用機序	133		

3 神経系の機能／概説

●本章を学ぶ意義 本郷利憲 159

I. 総論 川口三郎 160

1. 神経細胞と支持細胞 161
2. 中枢神経細胞の外部環境 165
3. ニューロン・プールの機能 167
 - a. 神経回路網 167
 - b. 反射と反射弓 171
4. 神経系の発生と分化 172
5. 神経の変性, 再生, 側枝発芽 176
6. 細胞骨格と軸索流 179

II. 大脳皮質と機能局在 大野忠雄 181

- A. 大脳皮質の区分と構造 181
 1. 大脳皮質の区分 181
 2. 大脳皮質の層構造 182
 3. 大脳皮質の線維結合 183
 - a. 求心性線維 183

- b. 遠心性線維 184
- c. 連合線維 185
- d. 交連線維 185

4. 細胞構築に基づいた大脳皮質の区分 185

5. 大脳皮質の機能局在 187
6. 大脳皮質における柱状構成 190
7. 分離脳と半球優位性 191

B. 視床 191

1. 視床の区分 191
 - a. 解剖学的区分 191
 - b. 機能的区分 192
2. 視床の微細構造 195
3. 視床細胞の反応 197

●学習のためのチェックポイント 199

4 感覚機能

●本章を学ぶ意義 豊田順一 201

I. 総論 石河延貞, 小川 尚 202

1. 感覚 202
 - a. 感覚の一般的性質 202
 - b. 感覚の強さの計量: 心理物理学 204
 - c. 感覚の順応 205
2. 感覚の神経生理学 205
 - a. 感覚受容器 205

- b. 受容器の電気現象 207
- c. 求心性インパルスの発生 208
- d. 末梢性順応 209
- e. 感覚神経情報の調節 210

II. 体性感覚 岩村吉晃 212

1. 体性感覚の受容器 212
2. 体性感覚各論 214
3. 後根と皮膚分節 217

4. 脊髄後角	217	d. 網膜電図(ERG)	253
5. 脊髄伝導路	218	4. 視覚現象	254
6. 三叉神経系	219	a. 視野	254
7. 視床と体性感覚	220	b. 眼の分解能	254
8. 大脳皮質と体性感覚-体性感覚野	220	c. 明暗順応と視覚の二元説	256
III. 聴覚	松裏修四 224	d. 色覚と色覚異常	257
1. 耳の解剖と機能	225	e. 残像と対比	259
2. 内耳における電気現象	229	5. 視覚経路と視覚中枢	259
3. 聴覚路と上位中枢	233	6. 眼球運動	264
IV. 平衡感覚	松裏修四 237	VI. 味覚と嗅覚	石河延貞, 小川 尚 266
a. 前庭器官の構造	238	A. 味覚	266
b. 前庭器官の反応とその刺激	239	1. 味覚の一般的性質	266
c. 中枢経路とその機能	240	2. 味覚の神経生理学	268
d. 前庭機能障害	241	a. 味覚の末梢機序	268
V. 視覚	豊田順一 243	b. 味覚の中枢機序	272
1. 眼球およびその付属器官	243	B. 嗅覚	274
2. 通光学	245	1. 嗅覚の一般的性質	274
3. 網膜における光受容機序	248	2. 嗅覚の神経生理学	275
a. 網膜の構造	248	a. 嗅覚の末梢機序	275
b. 視物質と光化学反応	249	b. 嗅覚の中枢機序	277
c. 網膜内ニューロンの電気活動	250	●学習のためのチェックポイント	281

5 運動機能

●本章を学ぶ意義	本郷利憲 283
序説	本郷利憲 284
I. 筋と運動ニューロン	本郷利憲 286
a. 運動単位	286
b. 筋線維の分化	286
c. 運動単位の機能分化	287
d. 運動ニューロン・プールの活動	288
II. 脊髄	本郷利憲 290
a. 序論	290
b. 筋紡錘	292
c. 筋紡錘の反射	296
d. 腱受容器の反射	301
e. 屈曲反射と交差性伸展反射	303
f. その他の反射	304
g. 反回抑制	304
h. 走行運動と脊髄	305
i. 脊髄のシナプス前抑制	305
j. 運動性上・下行路の脊髄機序	306
k. 脊髄の切断	309
III. 脳幹	彦坂興秀 310
a. 脳幹とは	310
b. 脳幹運動系の特徴	310
c. 脳幹の機能	312
d. 姿勢調節	313
e. 歩行運動	315
f. 眼球と頭の運動	316
g. 顎の運動	321
h. 発声と情動運動	322

IV. 大脳皮質と大脳基底核	岡 宏 323
1. 運動性皮質の構造と入出力路	323
a. 神経細胞の構成と層の分布	323
b. 入力投射路	323
c. 入力投射の皮質層的支配	324
d. 出力投射路	325
e. 錐体路と錐体外路	327
2. 運動性皮質の区分と機能	327
a. 一次運動野	328
b. 運動前野	331
c. 補足運動野	331
d. その他の運動関連野	332
e. 錐体路細胞の特性	333
f. 運動性皮質への入力と運動発現	335
3. 大脳基底核の構成	339
4. 大脳基底核の入出力路と内部連絡	340
a. 入力投射路	340
b. 連絡投射路	341
c. 出力投射路	342
5. 大脳基底核の機能	343
V. 小脳	岡 宏 347
1. 小脳の構成と機能的区分	347
2. 小脳内の神経回路網	348
3. 小脳と他の中枢神経系との連絡	349
4. 小脳症状	352
VI. 発音と構音	廣瀬 肇 355
a. 発声	355
b. 構音	358

c. 言語機能	361
---------------	-----

6 自律機能と本能行動

●本章を学ぶ意義	佐藤昭夫 365
----------------	----------

I. 自律神経系

1. 末梢自律神経系	366
2. 自律神経-効果器伝達	370
a. 自律神経-効果器伝達	370
b. 自律神経系の化学伝達物質	371
c. 受容体	371
3. 自律神経節	375
4. 自律神経と液性調節の関連性	376
5. 自律神経系の中樞	376
a. 自律神経系の第一次中樞	376
b. 脳幹の自律神経中樞	378
c. 視床下部	379
d. 大脳辺縁系, 大脳皮質, 小脳	380

●学習のためのチェックポイント	363
-----------------------	-----

6. 自律機能の反射性調節	381
---------------------	-----

II. 視床下部と辺縁系

A. 視床下部と辺縁系の解剖	387
a. 視床下部の解剖	387
b. 大脳辺縁系の解剖	390
B. 本能行動	392
1. 摂食行動	392
a. 摂食の必要性	392
b. 視床下部の役割	392
c. 辺縁系の役割	397
d. 摂食行動の神経機構	397
2. 飲水行動	398
3. 性行動	400

●学習のためのチェックポイント	403
-----------------------	-----

7 総合機能

●本章を学ぶ意義	405
----------------	-----

1. 大脳皮質活動とその調節	406
a. 大脳皮質の自発電気活動-脳波	406
b. 大脳皮質の誘発電位	408
c. 意識レベルと網様体賦活系	411
d. 睡眠	412

鈴木寿夫

2. 動機づけ・情動	414
3. 高次神経機構・学習	417
a. 学習	417
b. 記憶	421
4. 連合野の機能	423

●学習のためのチェックポイント	428
-----------------------	-----

8 血液

●本章を学ぶ意義	志賀 健 429
----------------	----------

A. 組成と性状	志賀 健 430
a. 組成と量	430
b. 性状	431
c. 血漿蛋白	432
B. 赤血球	志賀 健 434
1. 形態と数量	434
2. 生成と崩壊	435
3. 構築と代謝	437
4. 流体力学的性質および溶血	439
a. 流体力学的性質	439
b. 溶血	440
5. ヘモグロビン	441
6. 赤血球数の異常	444
7. 脾臓	444

C. 鉄の代謝	志賀 健 445
D. 血液型と輸血	松田 保 446
a. 血液型	446
b. 輸血	448
c. 血液粘度	448
E. 白血球・免疫	松田 保 448
a. 白血球	448
b. 免疫	450
F. 血液凝固	松田 保 451
a. 血小板	451
b. 凝固因子	452
c. 線維素溶解(線溶)系	454
d. 血中の凝固・線溶阻止物質	454

●学習のためのチェックポイント	456
-----------------------	-----

9 循環

●本章を学ぶ意義	熊田 衛 457
----------------	----------

I. 循環系の基本的性質	熊田 衛 458
--------------------	----------

II. 心臓の働き 462

- A. 心臓の機能解剖学
 - ……熊田 衛, 瀬山一正 462
- B. 心臓の電氣的活動
 - ……熊田 衛, 瀬山一正 465
- C. 心電図
 - ……熊田 衛, 瀬山一正 472
 - 1. 正常心電図 472
 - 2. 異常心電図 480
- D. 心筋の機械的性質
 - ……熊田 衛, 菅 弘之 481
- E. 心臓の機械的活動
 - ……熊田 衛, 菅 弘之 487
 - 1. 心臓の周期的活動 487
 - a. 心房の周期的活動 487
 - b. 心室の周期的活動 488
 - c. 心音 489
 - 2. 内因性機構: Starling の心臓法則 489
 - 3. 外因性機構: 心臓収縮性の調節機構 491
 - 4. 心臓のエネルギー消費と仕事 494
 - 5. 心拍出量とその調節 496
 - 6. 心拍出量と静脈還流 497
 - 7. 心不全 500

III. 血液循環 大橋俊夫 502

- A. 末梢循環 502
 - 1. 血行力学の物理的基礎 502
 - a. 血流量と血流速度 502
 - b. 圧と速度の関係 503
 - c. 血液の粘性と血流抵抗 504
 - 2. 動脈血圧 505
 - 3. 脈波とその伝播 508
 - 4. 動脈血流 510
 - 5. 静脈圧, 静脈血流 512
 - a. 静脈の容量 512
 - b. 静脈圧 513
 - c. 体位変換と静脈圧 513

- d. 静脈還流の促進因子 514
- e. 静脈の圧平性と静脈還流 514
- 6. 静脈還流量の決定機序 515
- B. 微小循環 515
 - 1. 微小循環の形態 516
 - 2. 微小循環血流 517
 - a. 血流速度と血圧 517
 - b. 血液の粘性と微小循環 518
 - 3. 物質交換の機序 521
 - a. 濾過 521
 - b. 拡散 523
- C. リンパ循環 524
 - a. 組織間質 525
 - b. 毛細リンパ管の構造 526
 - c. リンパ産生機序 527
 - d. リンパの化学的組成と性状 527
- D. 局所循環 530
 - a. 冠状循環 530
 - b. 脳循環 532
 - c. 骨格筋の循環 534
 - d. 皮膚の循環 535

IV. 循環系の調節 熊田 衛, 照井直人 537

- 1. 循環系の調節と統合 537
- 2. 循環調節機構の分類 537
- 3. 中枢性調節機構(1): 血管の神経支配と心臓血管中枢 539
- 4. 中枢性調節機構(2): 循環反射 543
- 5. 中枢性調節機構(3): いくつかの循環反応 547
- 6. 内分泌性調節機構(1): 交感神経-副腎系およびバゾプレッシン系 548
- 7. 内分泌性調節機構(2): レニン-アンギオテンシン系による循環系の調節 549
- 8. 局所性調節機構(1): 短期的機構 551
- 9. 局所性調節機構(2): 長期的機構 554
- 10. 高血圧 556
- 11. ショック 557

●学習のためのチェックポイント 560

10

呼吸

●本章を学ぶ意義 福田康一郎 563

- A. 呼吸生理学の基礎 福田康一郎 564
- B. 呼吸系の機能的形態学と呼吸運動
 - ……福田康一郎 566
 - 1. 気道系の形態 566
 - 2. 呼吸運動 567
- C. 呼吸の神経性調節 569
 - 1. 呼吸運動発生の中枢神経機構
 - ……福田康一郎 569
 - 2. 呼吸反射 西野 卓 573
- D. 肺気量と換気力学 西野 卓 575
 - a. 肺気量分画 575

- b. 肺活量と努力肺活量 576
- c. 死腔と換気量 576
- d. コンプライアンス 577
- e. 呼吸抵抗 579
- f. 呼吸運動の仕事量 581
- g. 不均等換気 582
- E. 肺循環 福田康一郎 583
 - 1. 肺の血管系 583
 - 2. 血行力学 583
- F. 肺におけるガス交換 福田康一郎 585
 - 1. 肺におけるガスの拡散 585
 - 2. 換気と血流の適合 588

G. 血液ガス	591	応と酸塩基平衡	600
1. 酸素の運搬	志賀 健 591	4. 組織呼吸	福田康一郎 601
a. 血液の酸素運搬機能	591	H. 呼吸の化学調節	福田康一郎 604
b. ヘモグロビン機能の分子機構	593	a. 換気量, 代謝量と肺胞または血液	
c. 代謝の変動と酸素供給機能	594	ガスの関係	604
d. 毛細血管における酸素供給機能	594	b. 血液ガスの変化に対する換気反応	605
2. 血液による炭酸ガスの運搬		c. 化学受容器	607
	福田康一郎 595	I. 環境に対する呼吸の適応	西野 卓 608
3. 呼吸と酸塩基平衡の関連		J. ガスの基本法則, 呼吸生理学における	
	福田康一郎 597	呼吸気量の換算, 記号・略号	
a. 酸としての CO_2 の処理	598		福田康一郎 611
b. 炭酸・重炭酸緩衝系への関与	598	●学習のためのチェックポイント	614
c. $\text{pH}[(\text{H}^+)]$ の変化に対する換気反			

11 消化と吸収

●本書を学ぶ意義	西山明德 615	e. 胆嚢の機能	637
I. 消化液の分泌	西山明德 616	E. 腸液の分泌	鈴木裕一 638
A. 唾液の分泌	617	a. 電解質液分泌	638
1. 唾液腺の構成	617	b. HCO_3^- 分泌	639
2. 唾液	618	II. 消化管の運動	猪又八郎 640
3. 唾液腺の血流と分泌の調節	621	A. 消化管運動の一般的性質	640
B. 胃液の分泌	621	1. 消化管平滑筋の生理	640
1. 胃分泌腺の構成	621	a. 消化管壁の筋構造と神経支配	640
2. 胃液	623	b. 消化管平滑筋の電気現象	642
a. 胃液の化学的成分	623	c. 消化管平滑筋の収縮性	644
b. 胃酸の生理的機能	624	2. 消化管運動の調節機構	645
3. 胃酸分泌	624	B. 咀嚼く運動と嚥下運動	646
4. 胃液の分泌調節	625	C. 食道の運動	647
a. 胃酸分泌の調節	626	D. 胃の運動	649
b. ペプシノーゲンの分泌調節	628	E. 小腸の運動	654
c. 粘液の分泌調節	628	F. 大腸の運動	656
5. 胃粘膜障壁	628	III. 消化管の吸収	星 猛, 鈴木裕一 660
C. 膵液の分泌	629	1. 消化管における中間消化と終末消化	660
1. 膵外分泌腺の構成	629	2. 腸管吸収の概要	661
2. 膵液	629	a. 腸管粘膜構造の特徴	661
a. 膵液の化学的成分	629	b. 腸管吸収の機能的特徴	661
b. 電解質液の分泌機序	631	3. 糖質の消化と吸収	662
c. 腺房における有機物質(酵素原)の		4. 蛋白質の消化と吸収	665
分泌機序	631	5. 脂肪の消化と吸収	668
3. 膵液の分泌調節	632	6. ビタミンの吸収	669
D. 胆汁の分泌	633	7. 水の吸収	670
a. 胆汁分泌腺の構造	633	8. 電解質の吸収	671
b. 胆汁	634	9. 大腸における吸収	672
c. 腸肝循環	635	●学習のためのチェックポイント	675
d. 胆汁の分泌調節	636		

12 体液調節と尿の生成, 排泄

●本章を学ぶ意義	今井 正 677	2. 体液浸透圧の調節	今井 正 679
I. 体液調節	678	3. Na^+ バランスと細胞外液量の調節	
1. 体液の区分と組成	今井 正 678		今井 正 681

4. K^+ バランスの調節	今井 正	684	2. 各種物質の再吸収	717
5. 酸・塩基平衡の調節	遠藤 仁	685	a. ブドウ糖の再吸収	717
a. 体内代謝と酸・塩基平衡	685		b. アミノ酸の再吸収	719
b. 血中 pH 恒常性の維持機構	686		c. 中間代謝産物、ビタミン類の再吸収	721
c. 酸・塩基平衡障害と評価	691		d. 蛋白質、ポリペプチドの再吸収	722
6. Ca^{2+} , リンのバランス	今井 正	693	3. 代謝産物の再吸収と排泄	723
II. 尿の生成, 排泄	695		a. 尿素	723
A. 腎生理学総論	今井 正	695	b. 尿酸	724
a. 腎機能の概要	695		c. クレアチニン	725
b. ネフロン：腎の最小機能単位	695		4. 有機酸および有機塩基の分泌	726
c. 尿の生成とクリアランスの概念	696		a. 有機酸の分泌	726
d. 尿細管における物質輸送の基本過程	700		b. 有機強塩基の分泌	728
B. 腎循環	今井 正	702	F. 酸・塩基平衡の調節	今井 正
C. 糸球体濾過	今井 正	703	a. 呼吸性調節と代謝性調節	729
D. 尿細管における電解質輸送	今井 正	706	b. 腎の水素イオン (H^+) 排泄	729
1. $NaCl$ の輸送	706		G. 尿濃縮希釈機構	今井 正
a. 各ネフロン部位での Na^+ 輸送	706		a. 腎髄質の浸透圧勾配	731
b. Na^+ 輸送の調節	711		b. 腎髄質の対向流系	731
2. K^+ の輸送	712		c. 尿素の再循環と腎盂の役割	734
3. Ca^{2+} の輸送	714		d. バゾプレッシンの作用	734
4. リンの輸送	715		H. 排尿	小磯謙吉
E. 有機物質の尿細管再吸収と分泌	遠藤 仁	716	a. 排尿の概念	735
1. 有機物質に対する尿細管能動輸送系の概要	716		b. 膀胱の構造と神経支配	736
			c. 排尿機能検査法	737
			●学習のためのチェックポイント	738
13 環境と生体				
●本章を学ぶ意義	永坂鉄夫	741	B. 体温	763
I. エネルギー代謝	永坂鉄夫	742	C. 体温調節機構	765
A. エネルギー平衡	742		1. 温度受容	765
B. エネルギー摂取量の調節	743		a. 末梢温度受容器	765
a. 視床下部による調節	743		b. 中枢温度受容器(または温度受容組織)	767
b. 肥満と飢餓衰弱	744		c. 各温度受容器よりの温度情報の統合	769
C. エネルギー代謝	746		2. 体温調節反応	769
a. 生体内でのエネルギーの変移	746		3. 体温調節機構	771
b. エネルギー代謝の測定	748		a. 体温調節機構の概要	771
c. 基礎代謝量	750		b. 体温調節に関与する調節系	773
D. 代謝の調節	752		D. 体内温の異常	773
E. 運動と代謝	753		E. 気候馴化	776
II. 栄養	永坂鉄夫	756	IV. 概日リズムの生理学	本間研一
栄養素	756		a. 概日リズムの特性	778
III. 体温とその調節	いりき 入来正躬	760	b. 概日リズムの生理作用	779
A. 熱出納	761		c. 概日リズムの中枢機構	780
a. 熱産生	761		●学習のためのチェックポイント	782
b. 熱放散	761			
c. 体内より体表への熱伝達	763			

14 内分泌

●本章を学ぶ意義——本間研一 783

- A. 内分泌総論本間研一 784
 - a. 内分泌系の機能784
 - b. ホルモンの定義と分類784
 - c. ホルモンの合成786
 - d. ホルモンの分泌787
 - e. ホルモンの生物効果788
 - f. 内分泌系の調節機構789
- B. 上皮小体ホルモンとカルシトニン松崎 茂 791
- C. 膵島ホルモン菅野富夫 796
 - 1. インスリン797
 - 2. その他の膵島ホルモン801
 - 3. 糖質代謝803
- D. 胃腸ホルモン(消化管ホルモン)菅野富夫 804
- E. 副腎髄質ホルモン菅野富夫 807
- F. 視床下部ホルモン本間研一 811
 - 1. 神経内分泌系811
 - 2. 視床下部ホルモン812
 - 3. その他の神経ペプチド814
- G. 下垂体ホルモン有田 順 815
 - 1. 下垂体の構造と機能815
 - 2. 下垂体前葉ホルモン817
 - 3. 下垂体後葉ホルモン819
 - 4. 下垂体中葉ホルモン821
- H. 成長ホルモンとプロラクチン安田直毅 821
 - 1. 成長ホルモンとプロラクチンの化学、合成と作用822
 - a. 成長ホルモンとプロラクチンの化

- 学と合成822
- b. 成長ホルモンの作用823
- c. プロラクチンの作用826
- d. 成長ホルモンとプロラクチンの作用機構827
- 2. ソマトメジンと IGF828
- 3. 成長ホルモンとプロラクチンの分泌 829
 - a. 成長ホルモンの分泌調節829
 - b. プロラクチンの分泌調節830
 - c. 成長ホルモンとプロラクチンの分泌異常による疾患832
- I. 甲状腺刺激ホルモンと甲状腺ホルモン妹尾久雄 833
 - 1. TSH834
 - 2. 甲状腺ホルモン836
 - 3. 分子レベルでの甲状腺ホルモン作用 842
- J. ACTH—副腎皮質ホルモン 本間研一 844
 - 1. 副腎皮質刺激ホルモン—ACTH844
 - 2. 副腎皮質ホルモン845
 - 3. ACTH—コルチコイド系の分泌調節 851
 - 4. 電解質コルチコイド分泌調節852
- K. ギナドトロピン—性腺ホルモン貴呂富久子 853
 - 1. ギナドトロピン854
 - 2. ギナドトロピン放出ホルモン856
 - 3. 性腺ホルモン857
 - a. 性腺ステロイドホルモン857
 - b. 性腺ペプチドホルモン860
 - 4. 性腺ステロイドホルモンによるギナドトロピン分泌の調節860

●学習のためのチェックポイント——862

15 生殖

黒島晨汎

●本章を学ぶ意義——865

- A. 視床下部の生殖機能866
- B. 性の決定と分化867
- C. 性の発育—思春期869
 - a. 思春期にみられる身体的変化870
 - b. 思春期にみられる内分泌機能の変化870
 - c. 思春期発来 of 機序871
 - d. 思春期発来 of 誘因872
 - e. 中枢神経系と思春期発来872
- D. 男性の生殖機能873
 - 1. 精子形成873
 - 2. 男性の性反応875
- E. 女性の生殖機能876

- 1. 卵巣の機能876
 - a. 卵胞の発達876
 - b. 卵巣周期879
- 2. 子宮内膜周期881
- 3. 女性の性反応882
- F. 妊娠と分娩882
 - a. 精子の移送882
 - b. 受精883
 - c. 着床884
 - d. 妊娠の維持885
 - e. 分娩887
 - f. 授乳888
 - g. 更年期と閉経890

●学習のためのチェックポイント——891

本書で用いた略語・記号一覧——893

索引(和文・欧文)——903