

生 理 学

1

大阪大学医学部教授

岩 間 吉 也 著

第 3 版

G M 選 書



東京・金原出版株式会社・京都

創立明治8年

生 理 学

1

大阪大学教授
医学博士 岩 間 吉 也 著

第 3 版

G M 選 書



東京・金原出版株式会社・京都

創立明治8年

昭和30年11月30日 第 1 版 発 行
昭和32年 4 月30日 第 2 版 発 行
昭和35年 2 月20日 第 1 回増刷発行
昭和36年 3 月30日 第 2 回増刷発行
昭和37年 8 月30日 第 3 版 発 行
昭和40年 3 月20日 第 1 回増刷発行
昭和41年 1 月25日 第 2 回増刷印刷
昭和41年 1 月30日 第 2 回増刷発行

G M 選 書

生 理 学 (1)

定価 ¥ 950.00

第 5 種送料 ¥ 80

弊社は捺印又は貼付紙を以つて定価を変更せず

© 1955

著 者 岩 間 吉 也
発 行 者 金 原 秀 雄
東京都文京区湯島 2〜31〜14
印 刷 者 片 岡 義 郎
印 刷 所 共 立 印 刷 株 式 会 社
東京都中央区 越前堀 2〜22

東京都文京区湯島 2〜31〜14

発行所 金原出版株式会社

電話 東京 (811) 7161〜5 振替東京 151494

本郷局 私書箱第 1 号

京 都 支 社

京都市上京区河原町通り丸太町上ル

電話 (23) 9064 振替京都 25642

Printed in Japan

第 3 版 序

本書の第 1 版は 1955 年に出版され、1957 年には小訂正を加えて第 2 版とした。今回旧版の全面的な書きかえをして第 3 版とする。この版が旧版にくらべて著しく量をましているのは、近年における生理学の発展により、学生諸君のうける講義の量が自ずと増加しているのを反映しているのであつて、止むを得ないことであると思われる。なお、本版では G M 選書の建て前にできるだけ忠実に従うことを試みている。

1962 年 8 月

金 沢 に て

岩 間 吉 也

第2版 序

第1版は止むを得ざる事情から校正その他は遺漏があつた。
全面的な内容の改訂は次回にゆずる事とし、今回は最小限度の
訂正を加えるにとどめた。

1957年3月

金 沢 に て

岩 間 吉 也

第1版 序

本書は筆者が東北大学医学部在任中に依頼を受け、執筆を怠
るうち今年初頭金沢大学医学部に転任し、今回ようやく脱稿し
たものである。

本書が属する GM 叢書は、箇条書きを建前とするのである
が、本書では必ずしもこれを固執していない。生理学の如き学
科では箇条書きによる記載が困難な場合が少なくないこと及び
箇条書きによつてかえつて理解に困難を來たす場合があること
などの理由による。しかしながら本叢書の企画に出来るだけ沿
うため、繁をいわず章節を細かく限つた。要領の把握はこれ
によつて一応達せられよう。

1955年8月

金 沢 に て

岩 間 吉 也

目 次

第1章 興奮性組織の

一般生理……………1

第1節 刺激と興奮……………1

第2節 形質膜の性質……………2

1. 静止膜電位……………2

2. 細胞内外のイオン濃度と 形質膜のイオン透過性……………2

3. 静止電位に関するイオン説……………3

4. 損傷電位……………4

第3節 活動電位……………5

1. 興奮による膜電位の変化……………5

2. 局所反応……………6

3. 後電位……………6

4. 活動電位のイオン説……………7

第4節 電気刺激および

電気緊張……………8

1. 電気刺激の三要素……………8

2. 強さ-期間-曲線……………8

3. 漸増電流による刺激……………9

4. 交流電流による刺激……………10

5. 極興奮の法則……………10

6. 刺激による興奮性の変化……………10

7. 電気緊張……………11

第5節 興奮伝導……………11

1. 興奮伝導の機序……………11

2. 跳躍伝導……………12

3. 興奮伝導の三原則……………12

4. 興奮伝導に影響する要因……………13

5. 単相性および二相性活動電位……………14

6. 容積導体内の活動電位……………15

第2章 末梢神経の生理……………15

第1節 神経線維の種類……………15

1. 神経幹の合成活動電位……………15

2. 神経線維の種類……………16

第2節 神経線維の物質代謝……………17

1. 熱発性……………17

2. 酸素消費……………17

第3節 神経線維の変性と 再生……………17

第3章 筋収縮の生理……………18

第1節 横紋筋の構造……………18

1. 筋線維……………18

2. 横 紋……………18

第2節 静止筋の機械的 性質……………19

1. 伸展性および粘弾性……………19

2. 熱弾性の性質……………19

第3節 横紋筋の収縮現象……………19

1. 単収縮(攣縮)……………19

2. 攣縮の加重……………20

3. 張力-筋長-関係……………21

4. 筋の機械的仕事……………21

5. 筋の力学的模型……………22

第4節 収縮のエネルギー 代謝……………23

1. エネルギー源としての ATP……………23

2. 燐原質とATPの補充……………23

3. 筋の解糖作用と呼吸作用……………24

4. 筋の熱発性……………26

第5節 収縮に伴う物理 化学的变化……………27

1. 透光性の変化……………27

2. 複屈折性の変化……………27

3. 容積変化……………27

4. pH の変化……………27

第6節 収縮の化学的

基体……………28

1. ミオシン, アクチンおよび
 ビアクトミオシン……………28
2. アクトミオシン-ATP反応と
 筋収縮の本態……………28

第7節 異常収縮……………29

1. 特異性筋隆起……………29
2. 律動性収縮……………29
3. 拘縮……………29
4. 硬直……………29

第8節 平滑筋の生理……………30

1. 平滑筋の構造……………30
2. 平滑筋の機械的性質……………30
3. 興奮と興奮伝導……………30
4. 電気的現象……………31

第4章 興奮の伝達……………31

第1節 終板における興奮

伝達……………31

1. 終板の構造……………31
2. 終板伝達の特徴……………31
3. 終板電位……………32
4. 終板における化学伝達……………33

第2節 シナプスにおける

興奮伝達……………33

1. シナプス……………33
2. シナプス伝達……………34
3. ニューロン回路の型……………34
4. 減却と促進……………35
5. 後放電および強縮後増強……………36

第3節 脊髄における

シナプス伝達……………36

1. 運動ニューロン……………36
2. 運動ニューロンの電気活動……………37

第4節 交感性神経節におけ

るシナプス伝達……………39

1. 交感性神経節……………39

2. 神経節伝達の特徴……………39

第5章 脊髄反射……………39

第1節 反射活動……………39

第2節 脊髄反射の基礎……………40

1. 前根と後根……………40
2. 運動単位……………40
3. 脊髄動物の体性反射……………41

第3節 屈曲反射……………41

1. 屈曲反射……………41
2. 屈曲反射の反射経路……………42
3. 交叉性伸展反射……………42

第4節 伸展反射……………43

1. 伸展反射……………43
2. 腱反射……………44
3. 筋の伸展受容器……………44
4. 伸展反射の反射経路……………46

第5節 二種類の運動単位……………46

1. 敏速筋と緩徐筋……………46
2. 相動性ニューロンと緊張性
 ニューロン……………47

第6節 γ -系の機能……………47

1. γ -環……………47
2. γ ニューロンの反射活動……………47

第7節 長経路反射……………48

第8節 反射の統合……………48

1. 最終共通路の原理……………48
2. 相反神経支配……………49
3. 反射の統合……………49

第9節 筋電図……………50

第10節 脊髄の自律性反射……………50

第11節 脊髄の損傷……………51

1. 脊髄ショック……………51
2. Brown-Séquard 症状群……………51

第6章 脳幹の機能……………52

A. 脳神経支配領域の反射……………52

第1節 呼吸の調節	52
1. 呼吸中枢	52
2. 呼吸中枢に対する刺激	54
第2節 心臓血管中枢	54
第3節 消化器の反射	55
第4節 眼に対する保護と調節	56
B. 姿勢反射および迷路器官の機能	57
第1節 去脳固縮	57
1. 去脳固縮の現象	57
2. 去脳固縮の機序	58
第2節 姿勢反射	59
1. 姿勢反射一般	59
2. 支柱反射	59
3. 交叉性伸展反射	59
4. 構え反射	59
5. 立直り反射	60
6. 視床動物の姿勢反射	61
7. 踏直り反射および跳直り反射	61
第3節 迷路器官の機能	62
1. 迷路器官の構造	62
2. 迷路器官の刺激受容	63
3. 加速度反射	63
第7章 自律神経系の機能	64
第1節 形態的特徴	64
1. ニューロン交代	64
2. 自律神経系の分布	65
第2節 支配様式	67
1. 二重支配と拮抗性支配	67
2. 個々の器官に対する支配効果	67
第3節 自律神経系の化学伝達	68
第8章 間脳	69

第1節 視床下部の核と線維結合	69
1. 視床下部の区分	69
2. 視床下部の線維結合	70
第2節 視床下部の機能	71
1. 体温調節	71
2. 循環系の調節	72
3. 消化管に対する作用	72
4. 膀胱運動に対する作用	72
5. 瞳孔に対する作用	72
6. 食物摂取の調節	72
7. 水分代謝の調節	73
8. 下垂体前葉ホルモンの分泌調節	73
9. 情動表出	74
第3節 視床核と線維結合	75
1. 視床核の解剖的区分	75
2. 視床核の機能的区分	76
第9章 大脳	76
第1節 大脳皮質の細胞構築	76
第2節 運動性機能	78
1. 前中心運動領	78
2. 前運動領	79
3. その他の運動領	80
4. 皮質性運動に伴う自律性反応	80
5. 運動領の切除	80
第3節 皮質性運動経路	81
1. 錐体路	81
2. 皮質性錐体外路	82
3. 皮質性運動経路の損傷	82
第4節 感覚性機能	82
1. 体性感覚領(体知覚領)	82
2. 聴覚領	83
3. 視覚領	84
4. 味覚領	85

5. 嗅覚領……………85	5. 大脳小脳間の関係……………100
第5節 連合領の機能……………86	6. 小脳疾患の臨床症状……………101
1. 前頭連合領……………86	7. 運動における小脳の意義……………101
2. 頭頂側頭前部後頭連合領……………86	第3節 大脳基底核の解剖……………102
第6節 失行症, 失認症および失語症……………87	1. 大脳基底核……………102
1. 失行症……………87	2. 大脳基底核の線維結合……………102
2. 失認症……………87	第4節 大脳基底核の機能……………102
3. 失語症……………87	1. 線状体の刺激と切除……………102
第7節 大脳皮質の電気活動……………88	2. 淡蒼球の刺激と切除……………103
1. 脳電図……………88	3. その他の錐体外路運動核……………103
2. 誘発電位……………89	第5節 錐体外路運動系……………104
3. 皮質電気活動の調節……………90	1. 錐体外路運動系の概念……………104
第8節 大脳辺縁葉……………91	2. 錐体外路運動系の臨床症状……………104
1. 定義……………91	第11章 感覚生理一般……………105
2. 辺縁葉皮質部の機能……………92	第1節 感覚の特性……………105
3. 辺縁葉皮質下部の機能……………93	1. 受容, 感覚および投射……………105
第9節 条件反射……………93	2. 感覚の類と質……………105
1. 条件反射と無条件反射……………94	3. 刺激の強さと感覚の強さ……………106
2. 条件反射の形成……………94	第2節 感覚器の電気現象……………106
3. 汎化, 分化および消去……………94	1. 受容器電位……………106
4. 陽性条件反射と陰性条件反射……………95	2. 感覚器の情報伝達……………107
第10章 小脳, 大脳基底核および錐体外路運動系……………95	第12章 視覚の生理……………107
第1節 小脳の機能解剖……………95	第1節 眼の通光学……………107
1. 小脳の区分……………95	1. 眼の光学的常数……………107
2. 小脳皮質の組織構造……………97	2. 模型眼と省略眼……………109
3. 小脳求心路および小脳遠心路……………97	3. 眼の屈折力……………109
第2節 小脳の機能……………98	4. 調節……………109
1. 前葉および単小葉……………98	5. 屈折異常……………111
2. 虫部葉, 虫部隆起および係蹄小葉……………99	6. 検眼法……………111
3. 虫部錐体および正中旁小葉……………100	第2節 瞳孔運動……………112
4. 虫部垂および片葉小節葉……………100	1. 瞳孔運動の機序……………112
	2. 散瞳と縮瞳……………112
	第3節 網膜の機能……………113
	1. 網膜のニューロン結合……………113
	2. 網膜構造の部位的差……………113

3. 網膜電図	114	2. 鼓膜	129
4. 網膜の感覚単位	115	3. 耳小骨	129
5. 光化学反応	115	4. 耳小骨筋	130
第4節 明るさの感覚	116	5. 耳管	130
1. 光の波長と明るさ	116	第2節 内耳	130
2. 明暗順応	117	1. 内耳の構造	130
3. 顔光刺激	118	2. 受容機序	131
4. 残像と対比	119	3. 内耳の電気現象	133
第5節 色の感覚	119	第3節 音の感覚	134
1. 色調, 飽和度および明るさ	119	1. 調子	134
2. 色の混合	120	2. 大きさ	134
3. 色の残像と対比	121	3. 音色	135
4. 色盲と色弱	121	4. 音の局在	135
第6節 二元説および色覚の学説	122	第4節 聴覚の中樞経路	136
1. 二元説	122	第14章 化学感覚の生理	136
2. 三色説	122	第1節 嗅覚	136
3. 反対色説	123	1. 受容器	136
第7節 形と位置の感覚	123	2. 嗅覚の性質	136
1. 視野	123	3. 嗅覚系の電気現象	137
2. 視力	124	第2節 味覚	137
3. 単一視と複視	124	1. 受容器	137
4. 奥行き感覚	125	2. 味覚の性質	137
第8節 眼球の運動	126	3. 味覚神経および中樞経路	138
1. 外眼筋の働き	126	第15章 体性感覚の生理	138
2. 両眼の運動	126	第1節 皮膚感覚	138
3. 眼球の輪転運動	127	A. 触圧覚	138
第9節 眼の保護および栄養	127	1. 触圧覚の性質	138
1. 眼瞼	127	2. 触圧覚の受容器と神経	139
2. 涙液	128	B. 痛覚	139
3. 眼の栄養	128	1. 痛覚の性質	139
第10節 視覚の中樞経路	128	2. 痛覚の受容器と神経	140
第13章 聴覚の生理	129	C. 温度覚	140
第1節 外耳と中耳	129	1. 温度覚の性質	140
1. 外耳	129	2. 温度覚の受容器と神経	141
		D. 痒感	141
		E. 癢感	141

第2節 深部感覚 ……………141	第2節 臓器感覚 ……………145
1. 深部感覚(筋感覚)……………141	第17章 発声と声の性質 ……145
2. 深部痛 ………………142	第1節 発声器官と発声の 機序 ………………145
第3節 皮膚感覚および深部 感覚の伝導路 ……142	1. 発声器官 ………………145
1. 末梢の伝導路 ………………142	2. 発声の機序 ………………146
2. 脊髄および脳幹の伝導路 ……143	第2節 声の性質 ………………147
第16章 内臓痛および 臓器感覚 ………………143	1. 声の大きさ, 調子および音色…147
第1節 内臓痛 ………………143	2. 胸声と頭声 ………………147
1. 内臓痛の性質 ………………143	3. 声域と声がわり ………………147
2. 連関痛 ………………144	第3節 言語音 ………………148
3. 内臓痛の伝導路 ………………144	1. 母音 ………………148
	2. 子音 ………………148

動物性機能の生理学

本篇は、生理学のうち動物性機能に属するもの、すなわち筋、末梢神経、中枢神経、感覚の機能について記載する。

第1章 興奮性組織の一般生理

第1節 刺激と興奮

- 1) 生体、組織または細胞をとりこむ環境条件の変化を一般に刺激 (stimulus) という。特にそれらの働きを亢進させるものをさして刺激とよぶことが多い。
- 2) 刺激には機械的刺激、熱（輻射）的刺激、電気的刺激などがある。細胞の種類によつては、特定の型の刺激に特に応じやすいように分化していることがあつて、この場合の刺激を適当刺激 (adequate stimulus) といい、そうでない刺激を不適当刺激 (inadequate stimulus) という。
- 3) 刺激が充分強い時は、刺激されるものはそれに応じて反応し、独特の働きをあらわす。このことを興奮 (excitation) という。神経細胞や神経線維の活動電位、筋の収縮、腺の分泌などは興奮のよい標識である。
- 4) 刺激が辛うじて興奮をひきおこす強さをもつ時、これを閾刺激 (threshold stimulus, liminal s.) という。強さが閾以下の刺激を閾下刺激 (subthreshold stimulus, subliminal s.) といい、閾以上の刺激を閾上刺激 (suprathreshold stimulus, supraliminal s.) という。
- 5) 閾上刺激の範囲では、刺激の強さをませば、それに応じて興奮の強さもますます普通である。しかしある程度以上に刺激が強くなると、それ以上いかに強くしても興奮はまさない。この限界の強さの刺激を最大刺激 (maximal stimulus) といい、最大刺激以上の刺激を超最大刺激 (supramaximal stimulus) という。
- 6) 刺激が閾以上であつて、これによる興奮の強さが刺激の強さによらずにいつも一定である時、悉無律（全か無の法則）(all-or-none law) が成立するという。原則として、1本の筋線維、1箇の神経細胞の如き単一細胞についてこの法則が成立する。
- 7) 刺激をはじめてから興奮がおこるまでの時間を潜時 (latency, latent period) という。一般には刺激が強い程潜時は短縮する。
- 8) 刺激と興奮の関係、興奮生起の機序などをしらべるには、刺激に対する反応の明瞭なもの、例えば腺、筋、神経線維、神経細胞などが用いられる。これらの組

組織を興奮性組織 (excitable tissue) または興奮性形態 (erregbares Gebilde) という。

第2節 形質膜の性質

筋細胞（ことに横紋筋）および末梢神経は、興奮性組織の代表的なものである。ことにこれらの細胞の形質膜 (plasma membrane) におこる電気現象は、一般の細胞が示す電気活動ひいては興奮に関するいろいろな現象を理解するための基本になっている。

1. 静止膜電位

- 1) 筋、末梢神経（ことに無脊椎動物の巨大無髄神経）、神経細胞などについて、極めてほそい電極を細胞内にさしこみ、他方細胞をひたす外液にもう一つの電極をおいて、細胞の形質膜内外に存する電位差を測定することができる。この測定法を細胞内導出法 (intracellular leading) といい、測定された形質膜の電位差を膜電位 (membrane potential) という。

細胞内導出法で用いる導出電極は、先端が 1μ 以下に細くなつたガラス毛细管であつて、その中に高濃度の KCl をつめたものであることが多い。

- 2) 細胞が興奮せず静止の状態にある時、その膜電位を静止（膜）電位 (resting membrane potential) という。多くの細胞において、その大きさは $50\sim 90\text{ mV}$ 程度であつて、細胞内部が細胞外部より電位がひくいような方向である（第1表）。
- 3) 静止電位の大きさは、細胞外液のKイオンの濃度をかえると変化する。外液のKイオン濃度を正常の10倍にすると、静止電位は約 50 mV 小さくなる。また、せまい範囲の濃度変化では、濃度の上昇とともに膜電位は直線的に増加する。

第1表 各種細胞の静止電位と活動電位

細胞	動物	静止電位 (mV)	活動電位 (mV)
無髄神経線維	ヤリイカ	61	89
"	コウイカ	62	120
有髄神経線維	蛙	71	116
横紋筋線維	蛙	88	119
心室筋	犬	90	121
脊髄前角細胞	猫	75	110
	蛙	$50\sim 70$	$70\sim 100$

2. 細胞内外のイオン濃度と形質膜のイオン透過性

- 1) 細胞をとりかこむ組織液（細胞外液, extracellular fluid）と細胞内の原形質（細胞内液, intracellular fluid）とについて、Na, K, Clなどのイオン濃度をくらべると、一般に次のような関係がある（第2表参照）。

$$(K)_o < (K)_i, (Cl)_o > (Cl)_i, (Na)_o > (Na)_i$$

括弧はそれぞれのイオンの濃度をあらわし、添字 o, i は細胞外液および内液をあらわす。

- 2) K イオンと Cl イオンについては、多くの例で近似的に次の関係が成立している (第2表)。

$$\frac{(K)_i}{(K)_o} = \frac{(Cl)_o}{(Cl)_i} = 20 \sim 50$$

第2表 細胞内外のイオン濃度

細胞	動物	細胞内濃度 (mM/l)			細胞外濃度 (mM/l)		
		Na	K	Cl	Na	K	Cl
巨大神経線維	ヤリイカ	49	410	40	440	22	560
"	コウイカ	43	360	—	450	17	540
無髄神経線維	カニ	52	410	26	510	12	540
縫匠筋	蛙	15	125	1.2	110	2.6	77

- 3) 放射性同位元素を利用すれば、形質膜を通つて細胞に出入するイオンの移動量 (ionic flux) を測定することができる。細胞外から細胞内への移動量を内向き移動量 (influx), 細胞内から細胞外への移動量を外向き移動量 (outflux) という。コウイカの巨大神経線維, カニの無髄神経について実測されたところでは, K イオンの移動 (内向きおよび外向き) は, 形質膜内外のイオンの濃度差と電位差とによつて定まる勾配 (電気化学的勾配, electrochemical gradient) に沿つておこる拡散であるとして説明される。他方, Na イオンの外向き移動には, 拡散による成分以外に, 電気化学的勾配に反して能動的に排出される成分が存するという (能動輸送, 後述)。
- 4) K イオンおよび Na イオンの内向き移動が全部拡散によると仮定すれば, これら両イオンに対する膜の透過性 (permeability) の相対値を定めることができる。K イオン透過性 対 Na イオン透過性の比は, コウイカの神経線維で約 13 対 1, カエルの筋線維で約 20 対 1 である。

3. 静止電位に関するイオン説

形質膜内外におけるイオン濃度の大きなちがいと静止電位の現象を説明するために, Hodgkin はイオン説 (ionic theory) を提出した。

- 1) K イオンと Cl イオンとは容易に形質膜を透過することができ, 一方細胞内には形質膜を透過できない陰イオン (グルタミン酸, アスパラギン酸に由来する) がある。また Na イオンは透過性が低く, 形質膜は拡散によつて細胞内に移動した Na イオンを能動的に排出することができる。この条件のもとでは, K イオンと Cl イオンの形質膜内外における分配は, ドナン平衡 (Donnan's equilibrium) に従う。したがつて, $(K)_i/(K)_o = (Cl)_o/(Cl)_i$ の関係が成立する。
- 2) ドナン平衡においては, 膜内外に電位差が発生する (ドナン電位, Donnan's

potential)。筋線維、神経線維などにみられる静止膜電位はドナン電位に相当する。

- 3) 静止膜電位が K イオンと Cl イオンとによるドナン電位であるとすれば、その大きさは次式により与えられる。

$$E_r = \frac{RT}{F} \log_e \frac{(K)_i}{(K)_o} = \frac{RT}{F} \log_e \frac{(Cl)_o}{(Cl)_i}$$

E_r , 静止膜電位。R, 気体常数。T, 絶対温度。F, ファラデー常数。

上式に $(K)_i/(K)_o = (Cl)_o/(Cl)_i$ の実測値を代入すると、 E_r として 75~100 mV の値が得られるが、この値は静止膜電位の実測値に近似する。またこの式によれば、膜電位に対する細胞外液の K イオン濃度変化および温度変化の影響をほぼ定量的に説明することができる。

- 4) 上記の電位差が膜の内外に存するとすれば、その電位差の方向および大きさは濃度差による勾配をうちけすことになるから、K イオンおよび Cl イオンの夫々について内向き移動量と外向き移動量とは等しくなる。すなわち、この時の電位差は K イオンおよび Cl イオンの平衡電位 (equilibrium potential) をあらわす。しかし実際の静止膜電位は種々の事情のため K イオンの平衡電位より小さい値を示すのが普通である。
- 5) Na イオンの電気化学的勾配は内向き移動を促進する方向である。しかし、この勾配にさからつて Na イオンを細胞外に排出する作用があるとすれば、Na イオンの細胞内濃度は低く保たれる。Hodgkin は電気化学的勾配にさからつて Na イオンを能動的に細胞外に輸送する作用 (能動輸送, active transport) は形質膜に局在するものと考え、これを Na-ポンプ (sodium pump) とよんだ。

Na-ポンプの作用は、細胞の物質代謝によつて維持されるらしい。ジニトロフェノール (2,4-dinitrophenol, DNP), シアン化物 (cyanide), アジ化物 (azide) によつて Na-ポンプの作用が抑制される。

4. 損傷電位

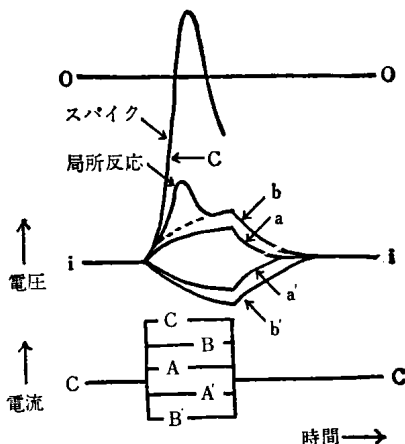
- 1) 筋、神経などが静止状態にある時は、その表面はいたるところ等電位である。もし表面の一部に損傷が生ずると、損傷部と正常部との間に電位差が発生する。これを損傷電位 (injury potential) という。
- 2) 損傷部と正常部に電極をおいてこの間を導体でつなぐと、外部回路を通り、正常部から損傷部に向かう電流が流れる。これを損傷電流 (injury current) という。この場合正常部は電氣的に陽性 (electropositive), 損傷面は電氣的に陰性 (electronegative) であるという。
- 3) 損傷電位の大きさは、被検細胞または測定法の如何によつてことなるけれども多くは数 mV 程度である。電極間の短絡を充分に小さくすると数 10 mV に達する。

- 4) 損傷電位は損傷後数秒かかつて発生する。多くは時間の経過とともに減少するが、損傷面を新しくすると再び大きくなる。
- 5) 形質膜に電位の座があつて、損傷面にはそれがないとすると、損傷電位は静止膜電位のあらわれに他ならない。しかし細胞表面における損傷電位の分布をくわしく測定してみると、損傷面にも電位の座を想定すべきであるという。したがつて、実際測定される損傷電位は、正常形質膜における既存の膜電位と、損傷面に新たに発生した電位とが合成されたものである。

第3節 活動電位

1. 興奮による膜電位の変化

- 1) 細胞の形質膜を通して、刺激電流を細胞内から細胞外へ（外向き電流）、または細胞外から細胞内へ（内向き電流）流す時は、電流の強さと膜の電気抵抗との積に等しい大きさだけ膜電位が減少または増加する。膜電位の減少を脱分極（depolarization）、増加を過分極（hyperpolarization）という。膜電位の変化分が小さい時には脱分極も過分極も方向がことなるだけで、大きさや時間的経過は殆ど同じである。
- 2) 脱分極がある一定の臨界値をこえる時は、形質膜は自ら進んで大きな脱分極性の電位変化をあらわす。形質膜の能動的な働きによる膜電位の変化分を活動電位（action potential）という（第1図）。
- 3) 活動電位のうちには、急速に経過する成分（スパイク電位、spike potential）と、これが終つてから比較的ゆつくりと経過する成分（後電位、afterpotential）とがある（第2図）。
- 4) スパイク電位に相当する膜電位変化では、まず膜電位の減少、続いてその消失があり、やがて膜電位の反転がおこつて細胞内の電位が細胞外の電位より高くなる時期に入る。その後細胞内電位が最も大きくなる時期（スパイク電位の頂点）をへて膜電位は旧に復する（再分極、repolarization）。
- 5) スパイク電位の大きさは、刺激が閾値以上であれば刺激の強さによら



第1図 電気刺激による膜電位の変化とスパイク電位発生

A, BまたはA', B'の刺激電流により脱分極(a, b)または過分極(a', b')がおこる。Bでは局所反応あらわれ、Cではスパイク電位があらわれた。

ない（悉無律）。筋細胞，神経細胞，その他多くの細胞を通じてその大きさは約 100 mV 程度であり，頂点の時期では細胞内部は細胞外部に比して約 30 mV 程度電位が高くなる（第1表）。

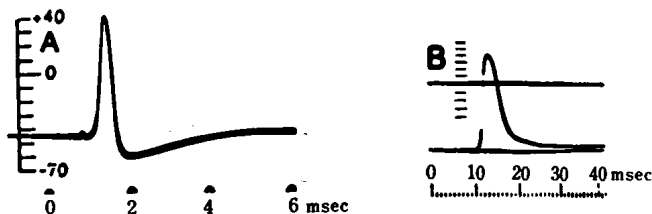
- 6) 細胞外液の Na イオン濃度を低くすると，スパイク電位の大きさも電位変化の速度も小さくなる。
- 7) 神経線維や筋細胞では，スパイク電位は伝導性の興奮をあらわしている（11 頁参照）。

2. 局所反応

- 1) 形質膜を通る刺激電流が閾値の約 1/2 以上の強さである時，これによる脱分極には受動的におこる電位変化に加えて，膜自身が能動的にあらわす電位成分が加わっている。後者は刺激電流が強くなるとともに増加し，臨界値に到達すればスパイク電位に成長する（第1図）。
- 2) 脱分極が臨界値以下である時の形質膜の能動的反応を局所応答（反応）（local response）という。スパイク電位とちがつて，その大きさは悉無律に従わず，非伝導性の興奮をあらわしている。

3. 後電位

- 1) スパイク電位について，ゆるやかに経過する膜電位の変化がある時，これを後電位（afterpotential）という。その大きさはスパイク電位にくらべて，甚だ小さい（第2図）。



第2図 細胞内導出法による活動電位の記録

細胞内電位を導出するには，細胞外電位を基準とする。基準電位はAでは縦目盛の零であらわし，Bでは上の水平線であらわす，A；ヤリイカ巨大神経。スパイク電位のあとに陽性後電位つく。B；蛙横紋筋線維。スパイク電位のあとに陰性後電位つく。Bの電圧目盛は 10 mV。

- 2) スパイク電位が頂点に達したあと一度急速に再分極するが，その後なお膜電位が脱分極の状態にあつて徐々に再分極している時，この成分を陰性後電位（negative afterpotential）という。
- 3) 陰性後電位の時期をへて，膜電位が旧に復したあとと反転して膜電位が静止状態より増加する時期がある。この電位成分を陽性後電位（positive afterpotential）という。