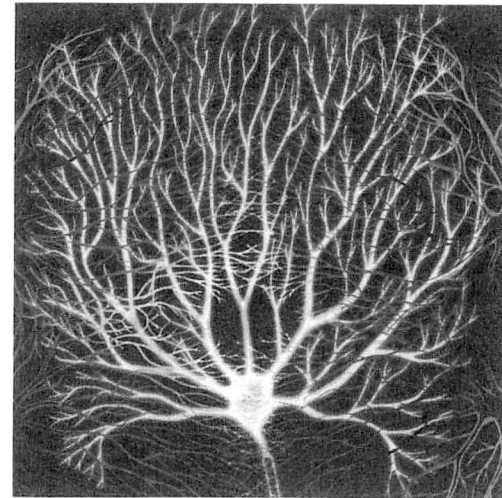


ヒトの動きの神経科学

The Neuroscience of Human Movement

Charles T. Leonard 著

松村 道一・森谷 敏夫・小田 伸午 監訳



CHI
市村出版

原著者序文

神経科学は、神経系や神経系を構成する1000億ものニューロンが、集合体としてどのように機能するのかということを明らかにする学問である。機能(function)はおそらくこの本におけるキーワードになるであろう。神経解剖学の教科書では、神経の構造や経路が通常長々と説明されているものである。また神経科学の教科書の多くは、分子生物学が強調されるようになってきている。本書は、これらの分野の知見とヒトの運動制御に関する最近の膨大な知見を統合する試みで書かれたものである。したがって本書の内容は、ヒトの運動における神経系の基礎に限定して記述することにした。ただし、神経経路・構造・神経生理学の原理に関しては、常にヒトの機能や運動と関連づけて記述するように心がけたつもりである。

本書は主に2種類の読者層に向けて書かれたものである。一方は運動制御あるいはリハビリテーションを学ぶ学生達である。私は過去10年間ほど、理学療法や医学・体育学を学ぶ学生に神経科学を教えた経験があるが、その当時印象に残ったことが2つある。1つは学生達の大半が神経学を生涯の学問として捉えずに、整形外科やスポーツ医学の領域に入っていくという事実である。彼らは神経科学の教科に多く出てくる細かな知識は、自分の将来にあまり関係がないと思う傾向がある。私は、授業や本書において、そのような認識が間違っていることを主張しようとしている。神経科学と運動の本質的な関係を理解して頂くために、スポーツ場面や日々の活動における実例や面白い逸話を随所に引用した。学生は、教わった種々の知識間の相互関係には気がつかないものである。そして基礎科学科目と、治療学の演習・スポーツ心理学・神経リハビリテーション・運動学習といった臨床科目は別個であると考えて、両者の統合にはなかなか目が向かないものである。本書が、学生や教師がこのような知的統合を行う際の手助けとなり、様々な教科科目間を繋ぐ教科書として使用されれば幸いである。

もう1つの読者層は臨床医の方々である。私は臨床医の方々から臨床医養成コースの担当や研究に関する講義を依頼されることがある。臨床医の方々は、入院患者や外来患者のリハビリテーションに直接関係する、最新の神経科学や運動制御の情報を渴望しているように見える。「神経科学の基礎を重点的に概説しているテキストとか、最新の知見が臨床の仕事にどのように関係しているのかを教えてくれるテキストはありませんか?」とよく尋ねられる。この5年間、ヒトの運動における神経系の基礎に関する知見が急増してきている。臨床医の方々もこの点は十分わかっているが、多忙な仕事のため、数多くの雑誌に分散して掲載されているこれらの情報を実際に手に入れることは難しい。この本は最新の情報と基礎的な神経科学の概説を統合しようとしている。したがって本書を読めば、臨床医の方々は基礎的な神経科学のテキストを読むという無味乾燥で単調な作業や、自分の仕事に関連する研究の探索に時間を費やす

The Neuroscience of Human Movement
by Charles T. Leonard
Original copyright © 1998 by Mosby-Year Book, Inc.

Japanese translation rights arranged with John Scott & Co.
through Ichimura Publishing Ltd., Tokyo.

必要はなくなる。

最近、リハビリテーションの手法が、現場の各所から批評を受けることが多い。実験結果に基づいた知見による新しい手法が開発されているのだが、臨床医には十分に行き渡っていない。この本は特定の手法を概説したものではないが、臨床医が自分の手法を客観的に評価するための科学的基礎を記述している。治療方法の科学的基礎を理解することは、臨床医にとって極めて重要なことである。

この本は最初から最後まで読むことを必要として書かれたものではなく、必要などころだけを読んで頂いても理解できるように構成されている。理学療法士を志望する学生に対して行う神経科学コースでは、以下のような章立てを行っている。

1章はまさに神経科学の紹介である。この章は用語と基礎的な神経系の構造を概説している。神経科学を学ぶ際には、往々にして恐怖心や嫌悪感を抱くものであるが、本書を少し読んで頂ければ、こうしたマイナスの感情は不必要であることが分かると思う。これまでに、このような基礎的な科学情報に触れたことのない人にとっては、この後の章を理解する際に、1章は是非とも読んで理解して頂きたい。

2章は運動と直接関連する基本的構造や神経結合を概説している。まず様々な名称を覚え、神経科学の土台を理解し、構造を機能と関連づけて理解して頂きたい。初年度の神経科学コースを学ぶ学生は、まず1~2章を読むことを薦める。なぜならば、神経科学コースを履修する学生が、何かにつけて2章を参照し直していることが多いからである。

3章は基礎的な神経生理学とヒトの運動制御の関係に重点を置いて記述した。例えば、屈曲反射の求心性線維は、ヒトの歩行や痙性の治療とどのような関係があるのか。運動学習における神経調節因子と長期増強の役割は何なのか。この章の一部は、私の神経科学の初年度コースに使われてきたものを基にしており、他の部分は、運動制御や神経科のリハビリテーションにおける2年目コースの最初の部分として用いられてきたものである。

4章は、運動に関連して絶えず変化する大脳皮質の魅力的な役割について紹介する。大脳皮質関係の学術用語はめまぐるしく変容しているが、その理由と新旧用語の統合例が紹介されている。脳画像の技術についても論じられている。しかしながらこの章の大半は、様々な運動中における大脳皮質活動、特定領域の損傷が及ぼす臨床学上の影響、そして左右大脳半球の機能における左右差にあてられている。また4章は、神経科学初年度コースと神経科のリハビリテーション、運動制御、高次認知機能の2年目コースとの間の橋渡しとしても役に立つものと思われる。

5章と6章は、ヒトの移動運動、目と手の協調、そして上肢の運動制御における神

経系の基礎を紹介している。前章で紹介された概念のうち重複している内容もあるが、より機能的あるいは実用的な記述スタイルをとっている。長年の教育活動のなかで分かってきたことであるが、ある内容の知見を深く理解して頂くには、その知見を異なる実験内容によってくり返し紹介するのがよい。これらの章は4章までに論じられた概念を基に記述されており、読者を確かな事実の世界から、より抽象的な仮説と推測の世界へと導いてくれる。ヒトの運動の重要な側面に関して論じられている最先端の研究成果に触れた読者は、基礎と臨床科学が融合される喜びを感じるであろう。

7章は運動学習の神経基礎について考究している。おそらくは、すべての章の中で最も理論的な章であり、この章を理解するには、6章までで論じられた神経科学の原理を正確に把握することが要求される。私の神経科学初年度コースでは5・6・7章のなかから典型的な内容を簡潔に紹介しているが、2年目の臨床コースではこれらの章の中からより詳しい内容を紹介している。

この種の本を書く場合、通常物事を極度に単純化しすぎるか、あるいは詳しく記述しすぎるかのいずれかになる傾向がある。本書において、神経系の結合関係について記述する伝統的なスタイルの記述形態を採るとすれば、それは過ちであると私は考える。神経系の構造と機能の関係を理解しようとするならば、初心者にとってはこのスタイルで記述されている方がよいことは認める。しかし、神経系における階層性結合を単純化して記述しても、ヒトの神経系の驚くべき機能を筋道立てて説明したことにはならない。それゆえ、的確で分かりやすいスタイルの記述を心がけ、神経系の分散処理系の統合が、ヒトの運動制御にいかにか重要な貢献をしているかが理解できるように務めた。

複雑なものを理解するのに、比較的複雑でない部分部分に分けて分析してからそれを加算しても、決してそれは全体を表すものとはならない。それゆえ私は、何かを学ぶためには全体を学ぶことから始めなければならないと思うのである。

R. Buckminster Fuller

Fullerの言葉は、まさに神経科学を教える者たちへの大いなる挑戦である。神経科学研究には、始まりもなければ終わりもない。バイオメカニクス・心理学・生物物理学と切り離して個別に神経構造を研究しても、実際の神経の機能を理解するにはほとんど至らない。しかし、個別の部分を理解せずに、全体を理解することは不可能である。

この本ではかなり砕けた表現を用い、愉快的エピソードをいくつも挟み込んだ。こ

目次

原著者序文

のやりかたは、個別の要素への興味をそぐ危険性をはらんでいる。確かに科学とはまじめな仕事である。しかし、神経科学を学習する上では、ユーモアのセンスはほかの5つの感覚と同じくらい欠くことができない。教育者として感じるのであるが、できる限り神経科学研究につきまとう威嚇や脅迫といったものを取り除く必要がある。この難しいテーマを、できるだけ愉快地楽しむ必要があり、私たちが神経科学に初めて引きつけられたときの驚きや魅力を、今度は今の学生たちに伝える役割があると考えられる。砕けた表現の中に私自身の感情を込め、この思いが少しでも達成されれば願うものである。

Robert Keganは「Over our head: The mental demands of modern life」の中で、書物に書いた内容は読者に理解されてはじめて完結されると述べているが、私も全く同感である。学生・教師・臨床医の方々から、この本が彼らの知りたいことに合っていたかどうか、欲しい情報があったかどうかについて満足した御意見を頂いて、はじめてこの本の目的は達成されたことになる。この本はこれから神経科学を学ぼうとする人々を対象に書いたものである。私はこの分野でかなり長い期間に渡って仕事をしてきたが、長年に渡る専門的な知識の積み重ねがなくとも、これまでに行ってきた研究や読みこなしてきた資料と同じだけの量を学習することを可能にしたいと感じてきた。神経系の振舞いに関する基礎研究に対する魅力と畏敬の念は、今もなお続いている。私のこの心の動きが読者に伝われば望外の喜びである。

Chuck Leonard, PT, PhD

1章 神経系の用語紹介	1
1. 用語入門	1
2. 末梢神経系	4
3. 中枢神経系の細胞	6
(1) 膠細胞	6
(2) 感覚ニューロン	6
(3) 運動ニューロン	7
(4) 介在ニューロン	8
4. 神経投射と神経組織	9
(1) 樹状突起と軸索	9
(2) シナプス	11
(3) 灰白質と白質	11
5. 氷山の一角	12
2章 形態と機能の概観	14
1. 自律運動と非自律運動：反射運動の話	15
2. 筋	18
3. 筋紡錘	19
4. ゴルジ臓器官とIb線維	25
5. 脊髄	29
6. 脳幹	33
(1) 網様体	33
(2) 前庭系	35
(3) 赤核	36
7. 大脳基底核	38
(1) 大脳基底核の用語体系	39
(2) 大脳基底核機能の検査方法	39
(3) 皮質線条体視床皮質ループ	42
(4) 運動に関連したニューロン活動	42
(5) 機能の理論的展望	44
(6) 基底核損傷患者から得る知見	46
(7) 基底核障害の治療	47
(8) 基底核と小脳の進化	48
8. 小脳—内部教師	48
(1) ミステリーへの招待	48
(2) 解剖学的分類と機能的分類	48
(3) 深部小脳核	49
(4) 小脳の機能	54

(5) 小脳の損傷	55
9. 視床	56
(1) 視床の進化	57
(2) 構造と機能	57
(3) 視床の障害	60
10. 大脳皮質	61
(1) 進化そしてアリストテレスの誤り	61
3章 反射作用と運動制御の原理	68
1. 神経伝達と信号処理の一般原理	68
2. 主働筋活動に関与する反射回路網	73
3. 拮抗筋抑制に関与する反射回路	75
(1) ニシナプス性のGIA抑制性介在ニューロン (介在性抑制)	76
(2) レンショウ細胞による反回抑制	78
(3) GIb線維を介した非相反性抑制 (自発性抑制)	81
(4) 抑制機構の割振り	81
4. 屈曲反射回路	83
(1) 定義と解説	83
(2) 痙攣における屈曲反射回路の関与	83
(3) 歩行運動における屈曲反射回路	83
5. 中枢パターン発生器	84
(1) 定義と解説	84
(2) CPGとヒトの歩行	85
6. 反射活動の調節	87
(1) シナプス前抑制	87
(2) シナプス前促進	88
(3) 神経修飾物質と神経調節	88
(4) 長期増強と長期促進	89
7. 超皮質反射	90
8. 脊髄回路に対する上位から下行制御	92
(1) 網様体脊髄路	93
(2) 前庭脊髄路	93
(3) 赤核脊髄路	93
9. 脊髄回路の意識性と無意識性	94
4章 運動における大脳皮質の役割	100
1. 専門用語と基本的構造原理	100
(1) 大脳の統計データ	100
(2) 脳の専門用語紹介	101
(3) 脳地図と脳スキャン技術	102
(4) 皮質領野の構成と機能モジュール	109
(5) 内在回路	119

2. 発育発達	122
(1) 未成熟段階の臨界期	122
(2) 細胞移動	122
(3) 幼児期の神経過増殖	123
(4) 退行現象	123
(5) 早期活動の重要性	124
(6) 神経系の淘汰説	125
3. 運動野と歩行運動	125
4. 上肢制御に対する大脳皮質の役割	128
(1) 視覚運動の変換	128
(2) 皮質細胞群と神経活動の集合ベクトル : 到達運動制御に対する役割	129
(3) 把握運動の皮質制御	130
5. 運動野周辺障害の臨床的兆候	131
(1) 一次運動野	131
(2) 運動前野	132
(3) 補足運動野	132
(4) 一次体性感覚野	132
(5) 二次体性感覚野	133
(6) 前頭前野	133
(7) 後頭頂野	133
6. 大脳半球の左右差: 運動制御との関わり	134
5章 ヒトの歩行の神経制御	143
1. 歩行の個体発生的進化	145
2. 歩行の神経学	150
(1) 収束	150
(2) 中枢パターン発生器	151
(3) 末梢受容器と求心性回路	153
(4) 屈曲反射回路	154
(5) 脳幹歩行中枢	154
(6) 小脳	155
(7) 大脳基底核	156
(8) 大脳皮質	156
3. 歩行の神経薬理学	157
(1) シナプス後膜受容体の生理学	157
(2) 神経伝達物質	158
4. 歩行運動の臨床的解析	159
(1) 歴史的考察	160
(2) コンピュータによる歩行解析	160
(3) バイオメカニクスの考察と神経生理学的考察の統合	168

6章 頭部・眼球・上肢協調の神経制御	173
1. 感覚と運動の協調	174
(1) 感覚認知	174
(2) 視覚運動反応	176
2. 頭部と眼球の協調	178
3. 手と眼球の協調	181
4. 到達運動と把握運動	182
5. 上肢運動の制御における感覚情報の役割	184
(1) 多関節制御	184
(2) 視覚と固有受容性感覚	185
(3) 動作速度と正確さ	185
(4) 平衡点仮説	186
6. 上肢の随意運動に対する姿勢調節	187
7. 両手の協調：右手は左手のことが分かる？	189
8. 子供の四肢運動制御の発達	191
7章 運動学習の神経科学	201
1. 運動学習の概念	201
(1) 定義	201
(2) 運動学習の理論	203
(3) 可塑性	203
2. 運動学習に関する神経機構	204
(1) 宣言記憶と手続き記憶	204
(2) 求心性情報の役割	205
(3) 運動学習に関連する脊髄の適応性	206
(4) 大脳皮質	206
(5) 小脳	209
(6) 大脳基底核と線条体経路	209
(7) 運動学習の諸段階に関わる脳領域の活動変化	210
(8) 記憶の並列処理と多重再現性	212
3. 運動学習の生理学	212
(1) シナプス変化	212
(2) 長期増強と長期抑圧	213
(3) 長期記憶：遺伝子とタンパク質	215
4. トレーニングによる神経系の変化	216
(1) 可塑的变化が起こる部位	216
(2) 経験依存性の変化	216
(3) 可塑性に寄与する機構	217
5. 発育段階の可塑性と成人の運動学習	218
(1) 発育発達段階における可塑性の過程	218
(2) 発育発達の可塑性と成人の可塑性の相違	218
(3) 成長発達と成人の学習との共通点	218
6. 運動学習に影響する要因	219

(1) 運動スキルの習得と保持	219
(2) 訓練スケジュールの違い	219
(3) トレーニングの特異性と練習環境 ：感覚フィードバック	220
(4) フィードバックの増強：結果に関する知識	222
(5) 部分的訓練と全体的訓練	222
(6) 疲労と運動学習	223
(7) 心的イメージ	223
(8) 音楽と運動学習	224
(9) ニコチン・グルタミン酸などの薬理的干渉	224
7. 脳損傷後の運動学習	225
(1) 運動機能回復の理論	226
(2) 特定の脳領域に関係した運動学習障害	226
(3) トレーニングとリハビリテーションの効果	227
索引	236
訳者あとがき	240