



運動学習理論と理学療法の接点*

大橋ゆかり**

【要旨】

本稿では、理学療法の近接領域—心理学、生理学、力学—における知見や着想のいくつかを概観しながら、理学療法と運動学習の接点を検討する。

技能獲得の方法論に“KR”という概念を与えたのは行動主義心理学である。一方、スキーマ理論は認知心理学の情報処理理論を利用しながら独自の概念を作り上げて行き、技能獲得の方法論を改定した。また、ダイナミカル・システムズ理論は、生理学領域の反射理論や階層理論を批判し、心理学領域からはエコロジカル・アプローチを取り入れ、さらに力学領域の理論も応用して構築された。ダイナミカル・システムズ理論の臨床応用が課題指向型アプローチである。

運動学習は理論的にも臨床応用的にも“直ぐ使える”ようでありながら、なかなか理学療法の領域に浸透してこない。その理由は何か、運動学習理論を理学療法に取り込むには何が必要かを提言し、本稿の結びとする。

キーワード：結果の知識・スキーマ理論・ダイナミカル・システムズ理論

はじめに

理学療法士の仕事には「患者様に運動の仕方を教える」という側面が含まれていると思う。従って、理学療法と運動学習理論に接点があるのは自明のことと思われるのだが、理学療法のために考え出された運動学習理論というものは見当たらない。そこで、理学療法に関連のありそうな知見を近接領域から拾い集めて、私なりにまとめたのが図1である。

本稿では図1を大まかに「情報処理理論と技能

獲得の方法論」「スキーマ理論」「ダイナミカル・システムズ理論」という3つの部分に分けて概観し、最後に理学療法にこれらの理論を導入する際の問題点を指摘する。

1. 言語学習と運動学習の違い

『〇×△』という言葉覚えて下さい。覚えたかどうか後でテストをします。」このように指示して、数分後に「先ほどの言葉は何でしたか？」と聞く。ここで、もし正しく答えられない人がいるとすれば、それは正しく覚えていなかったからだと判断できる。

ところが運動学習では事情が異なる。患者様に30%部分荷重の練習をしていただく場面では、まずは体重計の上で体重表示を見せながら練習する。数回練習した後に、今度は体重表示を見ずにやってもらう。そこで、患者様が28%の荷重をしたとしたら、PTはどういうフィードバックをするだろうか。

「大体それで良いですよ。もう少しだけ(体重を)かけても良いです。」

“30%”を“28%”と(言葉で)言えば、これは誤りだが、パフォーマンスとして示す場合には、「大

* The common ground between motor learning theories and physical therapy

** 茨城県立医療大学 保健医療学部理学療法学科
Ibaraki Prefectural University of Health
Sciences Department of Physical Therapy, School
of Medical Health
Yukari Ohashi, RPT, PhD.
〒300-0394 茨城県稲敷郡阿見町阿見4669-2
TEL 029-840-2143 FAX 029-840-2243
E-mail ohashi@ipu.ac.jp

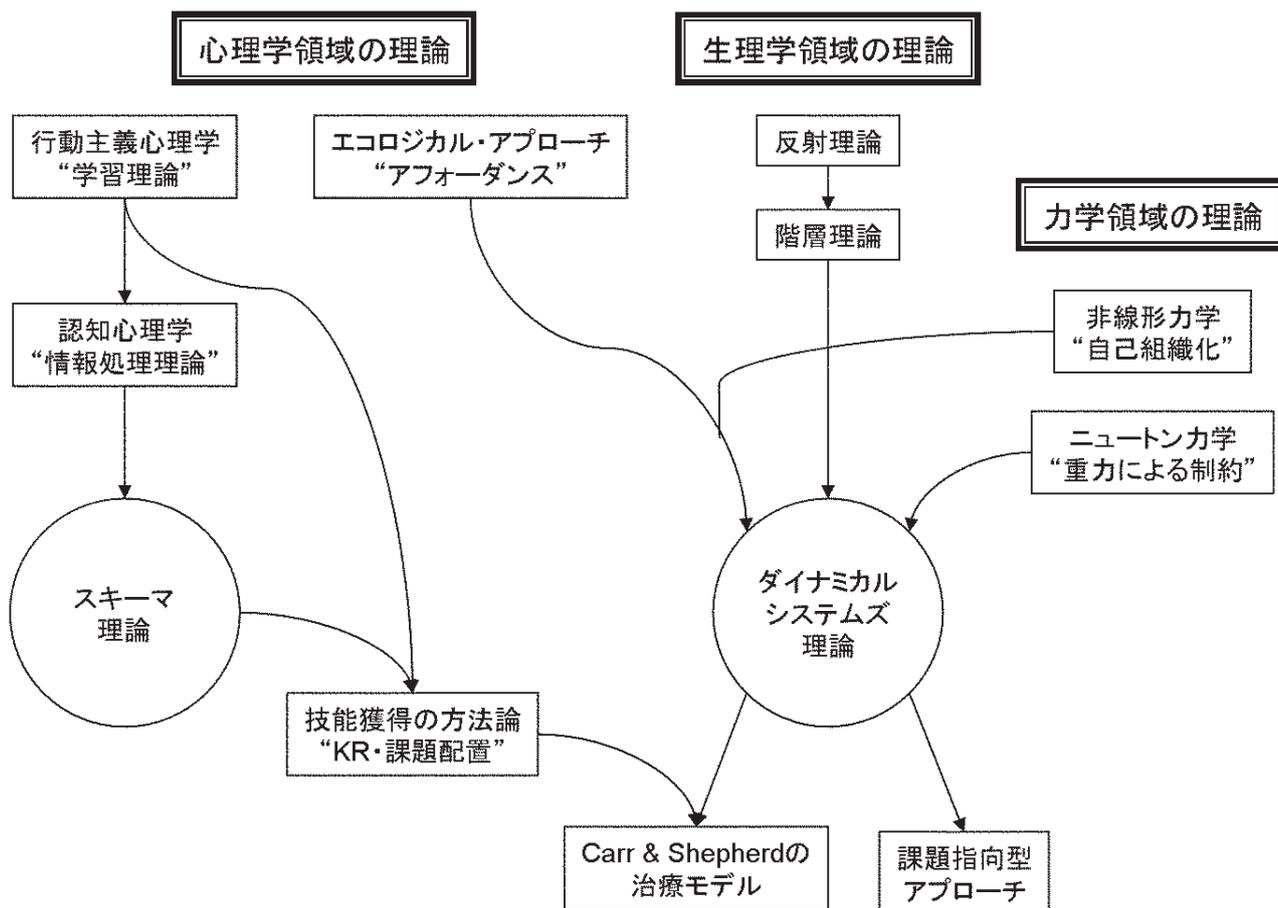


図1 運動学習理論の背景から臨床応用までの流れ 文献1) より一部改変して引用.

体それぐらいで正解」ということになる。なぜ、このような違いが生じるのかと言えば、“運動”はいくら正しく覚えた(学習した)と思っても、常に正しく遂行できる(制御できる)とは限らないからだ。つまり“運動”は、運動の仕方を覚える過程(運動学習過程)と、それを正しく遂行する過程(運動制御過程)の両方がある初めて成立する。言語は学習しさえすれば制御に気を使う必要はないということと比べれば、運動学習の複雑さ、それゆえの面白さがある。

2. 効率の良い技能獲得の方法

“肘を90°に屈曲し、上腕二頭筋の最大等尺性収縮をする。一旦力を抜いて、次は最大収縮の40%(40%MVC)と思われる力を入れる。”

このようなことをしてみると、筋収縮のイメージというものが如何に漠然とした頼りないものかが分かる。またこの時、主観的な40%MVCとして発揮された力の強さは人によって異なる。運動学習とは、このような主観的基準を客観的基準に合わせていく過程に他ならない。

主観的基準を客観的基準に合わせていくために

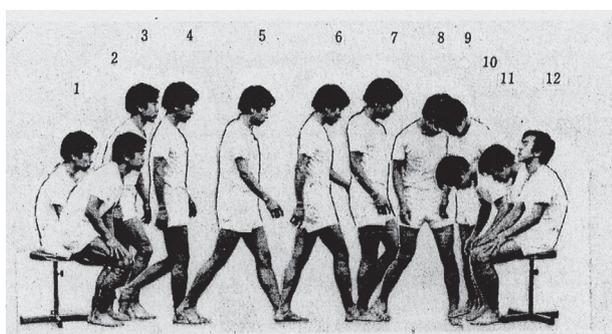
は、指導者が測定値を見て「今の力は(実際には)50%MVCでした」というようなフィードバック(FB)または結果の知識(Knowledge of Results; KR)を与える必要があるのだが、学習を促進するFBの与え方は次のように言われている。

- ①FBは前試行終了直後ではなく少し時間をおいてから与え、次試行はFB付与直後ではなく少し時間をおいてから始める
- ②FBは細かすぎず、大雑把すぎず、適切な精度で与える
- ③FBは全ての試行に対して与えるのではなく、数試行に1回与える

一般に、運動課題を練習中の学習者が行う情報処理は図2のような内容であると考えられる。外から見れば、各試行とFB付与との間は“空白の時間”だが、学習者の内面では認知的な過程が進行しているはずだ。そこで、このような認知的過程を妨害しないために、指導者は学習者に時間的な余裕を与えなければならない。これが上記①の理由である。また、FBとして与えられた情報が細かすぎれば処理に時間がかかるし、大雑把過ぎれば客観的基準を修正するには不十分ということに

課題呈示	⇒ ① 課題を言語的に理解する ② ①を運動のイメージに変換する <これが内的基準になる>
第1試行	⇒ ③ 内的基準に沿って取り敢えずやってみる ④ 第1試行遂行中に生じた運動感覚を認識する ⑤ ④の運動感覚を保持する
FB付与	⇒ ⑥ FBを認識する ⑦ FBと第1試行の運動感覚(④)を照合する ⑧ 誤差を知る ⑨ 内的基準を修正する ⑩ 第2試行の運動プログラムを作成する
第2試行	⇒ ⑪ ⑩をやってみる

図2 運動課題の練習中に学習者が行う情報処理

図3 動作分析に用いるコマ撮り写真
文献2) より一部改変して引用.

なる。これが上記②の理由である。

上記③は本項の冒頭で取り上げた例に関連する。上腕二頭筋に自分なりの40%MVCの力を入れた時に、その感覚が頼りないと感じれば「もう一度やって確かめたい」と思うだろう。第1試行後にFBをもらわずに第2試行を行うということは、第1試行の感覚を「もう一度確かめる」ことに他ならない。すなわち、学習者の捉えた運動感覚を明確にしてもらってから、それに対する評価(FB)を与えることにすれば、FB頻度は減少する。

3. 運動制御の2つの考え方

動作分析をする時に図3のようなコマ撮り写真を使うことがある。ところが図3の12コマの写真を繋ぎ合わせて元の動作を再生することは容易ではない。“12コマの写真を繋ぎ合わせる”とは『1コマ目はこれこれの肢位、2コマ目はこれこれの肢位…』というように、1コマごとに肢位を確認しながら動作を繋げるという意味なのだが、このような方法では動作のスピードが遅すぎて間に合

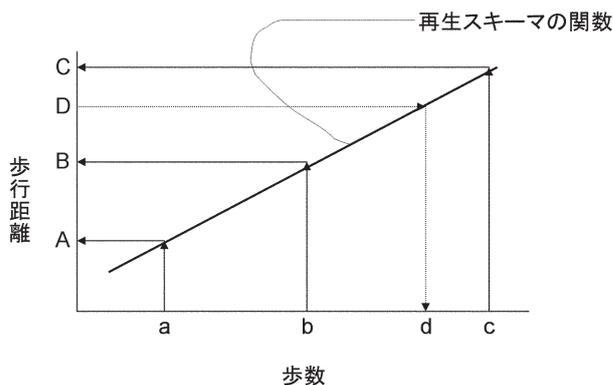


図4 再生スキーマの概念

わない。

なぜこのようなことが起こるのかと言えば、これには“Bernsteinの自由度問題”と呼ばれる運動制御の根源的な問題が関係しているのだが、本稿では詳細は割愛する。

では、図3の動作を現実的に再生するためにはどうすれば良いかとなると、これには2つのアプローチがある。1つは、図3を「立ち上がり、数歩進んで、振り向いて椅子に座る」動作として行ってしまうという考え方である。この方法なら、細部に拘る必要がないので、かなり速く動作を再生することができる。この場合、動作を指示しているのは“脳”だが、指示の内容は“～のような動作”といった大雑把な枠組み、すなわち「一般的化された運動プログラム(GMP)」である。

もう1つは、「数歩先に座れる場所があったので、無意識に、そこまで歩いて行って座った」結果として図3のような動作が起こったという考え方である。この方法では、脳が意識的に運動を制御しているわけではなく、動作を要請しているのは“環境の持つ意味”すなわち「アフォーダンス」である。

前者はスキーマ理論³⁾の立場、後者はダイナミカル・システムズ理論⁴⁾の立場である。

4. GMPとスキーマ

スキーマ理論では、動作を制御する司令塔は“脳”であるという考え方をとるので、動作の大枠だけでなく細部まで人間が決めてやる必要がある。そこで「スキーマ」という概念が使われる。

スキーマには、運動を遂行するため使われる「再生スキーマ」と、遂行された運動を評価するために使われる「再認スキーマ」の2種類がある。「再生スキーマ」とは、過去に行った運動の結果と、その運動のパラメータ(歩幅や歩数などの詳細)の関係であり、「再認スキーマ」とは、過去に行っ

た運動の結果と、その運動を行った時に生じた感覚の関係である。

「再生スキーマ」の概念を図示すれば、図4のようなグラフになる。図4に示した関数を利用すれば、図3の状況では、直線部分を何歩で歩けば良いかが分る。また、図4の縦軸を“回転角度”に置き換えた別の関数を用いて、図3では、何歩で回れば良いかが分る。

「再認スキーマ」については、次のような例を考えると理解しやすい。プロ野球のゲームで、ホームランを打った選手が試合後のインタビューで、『(手応えは充分で)打った瞬間ホームランだと思いました』などと言うことがある。これは、この選手が過去に“ホームランという結果”を出した時の“手応え(運動感覚)”を「再認スキーマ」として記憶していて、今回の“手応え”がそれと同じだったのでホームランだと予測できた、ということなのだ。

5. スキーマ理論の弱点

GMPによって決められる動作の大枠とは、具体的に言えば、動作の「相対的タイミング」と「相対的強度」である。歩行動作では、速度が変わっても、立脚中期や足先離地が歩行周期全体の何%の時期に起こるかという相対的タイミングは変わらない。従って、“歩行動作”というGMPが存在すると認めることができる。

同様に、正座した人が『床に置かれたコップを取り上げて水を飲む』という動作を行った時に身体各部がどのようなタイミングで動くかということも、動作速度が変わっても変化しない。この動作を矢状面から観察し、身体各部の上下動を時間軸に沿ってグラフ化しておけば、速度に応じて時間軸だけを拡大・縮小するだけでグラフを重ねることができる。

ところが、『…コップを取り上げて水を飲む』動作の相対的タイミングは簡単に崩すことができる。例えば、コップに入っている水の量をほぼいっぱいにしてやるだけで、動作の相対的タイミングは変わってくる。常識的に考えれば、“水をこぼさないように”慎重にコップを持ち上げるということなのだが、スキーマ理論はこのように環境の側の変化によって、動作が変化することを上手く説明できない。

6. 様々なシステムを利用する運動制御理論

一方、ダイナミカル・システムズ理論は、環境の側の変化に強い理論である。ダイナミカル・システムズ理論は、アフォーダンス、ニュートン力

学の法則、非線形力学における自己組織化の現象などを利用して、環境の変化への対応を説明する。

PTは“重力に抗して立つ、歩く”というように、重力を敵に回す考え方には慣れているが、人間は重力によって“今、あるように”歩かされているとも言える。例えば、ボストン大学の理学療法士であるHoltは、歩行時の下肢の運動を“バネ付き振り子”に見立てたモデルを考案した。このモデルは“Hybrid mass-spring pendulum model”と命名され、健常者が最もエネルギー効率良く歩いている時の歩行率を予測する⁵⁾。Hybrid modelにおける歩行率の予測式は下肢長と下肢の質量、および重力加速度から成り立っている。つまり月面や宇宙空間のように、地球上とは重力加速度が異なる空間では、健常者の歩行パターンも変化するということだ。

また、固体ごとに異なる周波数で明滅するホタルも、集団になると同じ周波数で明滅するようになる。このような現象は、非線形振動子の引き込み現象と呼ばれ、古くから知られていたものだが、近年では、このような現象が運動制御理論にも応用されている。

例えば、身長異なる2人の人が並んで歩いているとする。本来、身長の高い人は下肢長も長いので、下肢を振り子に見立てれば、この人の歩行率は低いはずだ。一方、身長低い人の下肢の振り子は速い周期で揺れようとするので、歩行率は高くなる。しかし、この2人が並んで歩くと、自然に歩行率が揃ってくる。この場合、どちらかが、どちらかに合わせるというような調整のされ方ではなく、2人の歩行率の中間あたりに、お互いに歩み寄る。しかも、2人の歩行率が揃った時に、実際にどの程度の歩行率になるかということは、物理学の法則に則って決まる⁶⁾。

7. 運動学習理論を理学療法に取り込むために

スキーマ理論は、運動制御の理論であると同時に、運動学習の理論でもある。GMPもスキーマも学習によって精緻化されるものである。スキーマ理論は環境の側の変化に弱いとはいえ、固定された環境で、決まった課題を練習する上では優れた理論であり、理学療法にとっても有用な方法を提供してくれる。

一方、ダイナミカル・システムズ理論は運動制御理論の色彩が強く、運動学習理論にはあまり比重が置かれていない。ダイナミカル・システム理論では、行為者が現実的な運動遂行場面に立てば、様々なシステムが相互作用的に機能して、その結

果として合理的な運動が生み出されると考える。極言すれば、運動制御に“過去の経験”や“練習”の積み重ねは不要ということになるのかもしれない。

これをそのまま理学療法に適用しようとすれば、そもそもPTは不要、PTが介入してもしなくても患者様はそれなりの運動をする(それなりの運動しかできない)ということになりかねない。確かに、障害を負えばそれに応じた“最適の行動”があるに違いない。しかし、これを患者様が独力で選択できるとは限らない。ここにPTが介入する余地が生まれる。

障害が残存することを避けられない時、何を目標に理学療法を行えば良いのか。例えば、片麻痺歩行をどこまで許すのが妥当なのか。このような問題に答えるために、ダイナミカル・システムズ理論を応用できる可能性は高く、それを見出していくことは理学療法士に課せられた責務である。

謝辞

本稿は「理学療法科学 第21巻1号」に掲載された論文を理学療法科学編集部の許可を得て再掲載させていただいたものです。

末尾になりましたが、平成18年1月の愛知県理学療法士会研修会での講演および本誌への論文発表の機会を下さいました愛知県士会執行部の皆様に心より感謝いたします。

【文献】

- 1) 大橋ゆかり：セラピストのための運動学習ABC. 文光堂, 2004, p251.
- 2) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩：基礎運動学, 第6版. 医歯薬出版, 2003, p301.
- 3) Schmidt RA(著), 調枝孝治(監訳)：運動学習とパフォーマンス 理論から実践へ. 大修館書店, 1994.
- 4) Shumway-Cook A, Woollacott MH(著), 田中繁, 高橋明(監訳)：モーターコントロール運動制御の理論と臨床応用, 原著第2版. 医歯薬出版, 2004.
- 5) Holt KG, Obusek JP, Fonseca ST: Constraints on disordered locomotion. A dynamical systems perspective on spastic cerebral palsy. Human Movement Science 15: 177-202, 1996.
- 6) 三嶋博之：エコロジカル・マインド 知性と環境をつなぐ心理学. 日本放送出版協会, 2000, pp45-57.

Abstract

In this article, I will discuss some kind of common ground between physical therapy and motor learning with reviewing some findings and ideas in psychology, physiology and/or dynamics that are adjacent domains of physical therapy.

The concept of “KR” in the methodology of skill acquisition has been created by behaviorism in psychology. Meanwhile, the schema theory established its own concept with utilizing a theory of information processing in the cognitive psychology, and revised the methodology of the skill acquisition. Furthermore, the dynamical systems approach has founded its own theory with denying the reflex theory and the hierarchical theory in the field of physiology, incorporating the ecological approach from the field of psychology, and applying some findings from the field of dynamics.

It seems that the motor learning theories are immediately available in the clinical setting; however, it has yet to be familiar in physical therapy. At the end of this article, I will discuss conceivable reasons why the motor learning theories have not been widely used in clinical setting in physical therapy and suggest what is required for physical therapists to incorporate the motor learning into their clinical practice.

key words: knowledge of results, schema theory, dynamical systems theory