脳傷害後の機能回復と運動学習

Functional Recovery and Motor Learning after Brain Injury

潮見 泰藏¹⁾

TAIZO SHIOMI, PT, PhD¹⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, School of Health Science, International University of Health and Welfare: 2600-1 Kitakane-maru, Otawara-city, Tochigi 324-8501, Japan. TEL & Fax +81 287-24-3123

Rigakuryoho Kagaku 21(1): 87-91, 2006. Received Jan. 6, 2006.

ABSTRACT: This report describes the relationship between functional recovery and motor learning of stroke patients based on the motor learning model devised by Carr and Shepherd. In order to set stroke patients on the path to independent activities of daily living, it is important to generalize the acquired movements and to support learning under a variety of circumstances. In order to acquire higher ability, it is of key importance that we consider the task specificity of each individual case on the process of motor learning, and try to set the appropriate environmental conditions.

Key words: motor learning, task, environment

要旨: 本稿では, CarrとShepherdによって考案された運動学習モデルに基づいて, 脳卒中患者の機能回復と運動学習の関係について論じた。脳卒中患者が自立した日常生活を送るためには, 多様な条件下での学習を支援し, 獲得した動作を汎化させることが重要である。より高い技能を獲得するには, 運動学習の過程で課題の特異性を考慮し, 適切な環境条件を設定することが重要な鍵となる。

キーワード: 運動学習, 課題, 環境

¹⁾ 国際医療福祉大学 保健学部理学療法学科: 栃木県大田原市北金丸2600-1 (〒324-8501) TEL 0287-24-3123

I. はじめに

1990年代後半から2000年前半かけて、脳科学の進歩により脳傷害後の機能回復と大脳皮質可塑性の関係について多くの研究成果が得られている。理学療法の分野にもこうした新しい研究成果が徐々に取り入れられつつある。

APTA(米国理学療法協会)の主催によるII step conferenceが1990年に開催され、この会議で生態学理論やシステム理論が提唱され、中枢神経系機能の理論体系が著しく変化することとなった。これを機に米国では神経生理学のアプローチを主体とした中枢神経障害患者に対する理学療法は大きな転換期を迎えたといえよう。特に、1932年にBernsteinが提唱したシステム理論が注目されることになった。この理論は、人間の運動や行動は何らかの課題を遂行している状態であって、その課題の達成のためにいくつかのシステムが動員されたり、組織化されたりした結果、ある行動パターンが生じるとするものである。これはある課題を遂行する際に、そこで行われるパフォーマンスの制御を説明するには合理的である。中枢神経障害による機能障害の多くは不可逆であることから、動作に関連する能力低下に対する介入が重要となる。このため、パフォーマンスを対象とした治療理論やモデルが必要であり、実際の環境における意味のある具体的課題を示しながら理学療法を進めていくことが求められる。

1990年にII step conferenceが開催されて以来、15年ぶりにIII step conferenceが昨年7月15日から21日までユタ州ソルトレイクシティで開催された。その発表テーマは小児から成人まで非常に多岐にわたっており、発表内容も豊富である。APTAによると、この会議における討議内容は前回と同様、冊子となって2007年に発刊される予定である。

CarrとShepherdによって提案された運動学習モデル^{2,3)}は、運動技能の獲得に心理学的諸理論を応用し、より効果的な練習方法を考案したもので、その中にもダイナミカル・システムズ理論による新しい知見が取り入れられている。

本稿では、Carr and Shepherdによって1982年に出版された『Motor Relearning Program』のコンセプトと、さらに2003年に出版された『機能回復トレーニングのガイドライン』に基づいて、脳傷害後の機能回復と運動学習の関係について述べることにする。

II. 運動制御と学習の関連

ヒトの運動は意識的であれ無意識的であれ、周囲の環境に合わせて実に巧みにコントロールされている。「歩行」を例にとってみると、歩行の開始や停止、移動の目標場所などは意識するが、歩行そのものはほとんど無意識に行われる。また、歩行する際の周囲の環境は実に多様で、舗装してある道もあれば砂利道や坂道、岩だらけの山道もあれば、滑りやすい雪道や凍結路の上を、ヒトは実にうまく歩くことができる。このようなことを可能にするには、脳内で作られた実行指令にもとづく運動だけでは困難で、時々刻々と変化する環境に関する情報を、様々な感覚受容器を通して中枢神経系に送り込み、その感覚情報を常に勘案しながら運動の実行指令を練り直すことで、合目的で意味のある運動を可能にしていると考えられる。このような複雑な過程を脳は瞬時に処理している。さらに、反復練習することによって運動は学習・記憶され、無意識でスムーズな運動が獲得されている。ところが、疾患や障害によって運動制御システムがうまく働かない場合には、随意的な運動・動作が困難となるため、機能回復(運動制御能力の向上)のためのトレーニング(リハビリテーション)が必要となる。

Carrらは脳卒中患者の運動制御に関する仮説として、以下の点を挙げている²⁾。

- ① 歩く、手を伸ばす、立ち上がるといった運動課題の遂行能力を再獲得することには「学習」の過程が含まれる。さらに、障害者は健常者とまったく同様に学習しなければならない。すなわち、障害者は練習し、フィードバックを受け、学習の目標を理解する必要がある。
- ② 運動制御を予測的調節と同時進行的調節の両面でトレーニングする。すなわち、姿勢調節と問題としている上下肢の動きは相互に関連している。
- ③ ある特定の課題を遂行する上でのコントロールを獲得するには、その特定の課題で行うことが最善である。さらに、そのような課題はさまざまな環境を設定し、その中で練習する必要がある。
- ④ 運動課題に関係した感覚入力、行動を調整するのに役立つ。

III. 学習と回復を促すための環境設定

ラットを用いた実験では、脳傷害後にリッチな環境(rich environment)におくことによって、大脳皮質の厚さ、タンパク質濃度、シナプスの分岐化およびシナプス接合

部のサイズの増加が起こり、パフォーマンスの向上が認められる^{4,6)}。

欧米の脳卒中ユニット (stroke unit) における多角的なチームアプローチによるリハビリテーション環境の有効性については、無作為化比較対照試験の結果により証明され、国際的にもコンセンサスが得られている。なお、脳卒中ユニットの有効性は、歩行能力、日常生活活動、自宅復帰率、在院日数、医療費、生存率について認められている。この脳卒中ユニットは理学療法室におけるADLと病棟とのADLに差が無いこと、家族への指導・教育が積極的に行われること、等の特徴をもつが、これはまさにヒトにおけるrich environmentといえる。その根拠は運動・練習の効果は介入量に応じてその介入した課題に特異的に認められることが示唆されている。

この点について、Carrらはグループトレーニングエクササイズを提案している³⁾。すなわち、セラピストが1日に一人の患者に割ける時間は限られているため、トレーニングや練習の量を増すために、1対1の個別のセラピーから、セラピストの直接の監視から少し離れたグループセラピーへと患者自身がプログラムをこなしていくモデルに移行していくことである。

IV. 運動再学習プログラムのねらい

運動再学習プログラム (Motor Relearning Program) とは、1982年にCarrとShepherdによって考案され、その仮説によると、長く運動療法の拠り所となっていた「神経発達学の原理」に基づいて運動行動をトレーニングするのではなく、運動技能はある機能的順序にしたがって獲得されるというのである。

運動技能の学習には4つの必須項目がある。プログラムはこれらの項目に基づいて作られている (表)。これらは脳卒中後の運動コントロールを再学習する場合にも必須のものと考えられる。この4つの必須項目とは、1) 不必要な筋活動を取り除くこと、2) フィードバック、3) 練習、4) 姿勢調節と運動の相互関係である。なお、運動技能とは、「練習の結果、より洗練され効果的に目標を達成しうようになったすべての動作」と定義される。日常生活の諸動作は、椅子から立ち上がるような一見単純な動作であっても運動技能を要するのである。

そして、Carr and ShepherdはMRPでは環境とのやりとりのある具体的な課題を取り上げている。第二版のA Motor Relearning Program for Strokeによると、1) 上肢機能、2) 口腔顔面機能、3) ベッドからの起き上がり、4) バランスのとれた座位バランス、5) 立ち上がりと着座、

表 運動再学習のためのプログラム (MRP) の4つのステップ

ステップ 1	課題の分析 観察 比較 分析
ステップ 2	欠けている要素の練習 練習目標の説明と明確化 練習+聴覚と視覚によるフィードバック +徒手誘導
ステップ 3	課題の練習 練習目標の説明と明確化 口頭指示 練習+聴覚と視覚によるフィードバック +徒手誘導 再評価 動作の複雑性の拡大
ステップ 4	課題の日常生活への転移 様々な環境下でトレーニングを行う機会 練習の一貫性 自己管理下での練習の設定 学習環境の整備 家族とスタッフの積極的参加

6) バランスのとれた立位、7) 歩行について、それぞれ具体的手順を解説している。

各課題に共通して、セラピストが計画して行うべき内容は表に示すとおり4つのステップから成っている。このプログラムを進める上で考慮すべきこととして、以下の3点が挙げられる。

- ① 運動課題を一連の全体動作として練習すること
各要素を別々に練習した後、ただちに全体を通した動作の練習を行う。
- ② 患者に対する教示内容に関連したテクニックの利用
目標設定の方法と、どのようにその目標に到達するかということを指導することであり、その具体的方法として、視覚と聴覚によるフィードバックと徒手誘導が用いられる。
- ③ 運動学習の進め方

より複雑な運動を可能とするには、徒手誘導やフィードバックを減らし、速度を変え、多様性を付加することが必要となる。患者は動作の中で技能を再獲得していくので、異なった環境条件下におくことが重要である。こうした過程を通じて患者のパフォーマンスは改善し、開かれた環境下での課題遂行に要求される動作の幅 (自由度) を広げることが

可能となる。

このプログラムを通して強調することは、1) 患者が特定の運動課題を意識して練習すること、2) 筋活動を引き出し、運動をコントロールできる能力を自覚させること、3)課題を学習し技術を獲得できるように練習をより自動的に行える水準まで高めることである。

V. 運動課題の特異性ならびに環境条件の設定

ある特定の運動課題の練習、コントロールされた筋活動のトレーニング、そしてこれらの課題の運動要素全体をコントロールするトレーニングを特に強調している。運動トレーニングのねらいは、主に筋のコントロールである。すなわち、セラピストは特定の運動課題に結びつかないモーター・ユニットの活動まですべて引き出すのではなく、再学習しつつある特定の課題に応じた適当な数のモーター・ユニットの活動をコントロールするよう援助する。

リハビリテーションとは、患者にとって意味のある実際の日常生活活動を再学習することであり、それは実際の生活活動に結びつかない練習をしたり、促進したりするものではない。患者が特定の運動課題を意識して練習すること、それに課題を学習し技術を獲得できるように練習をより自動的に行える水準まで高めることである。

歩行練習を例にとると、歩行補助具を使用する場合、ある器具からの介助量を軽減して別の器具を用いて進められることが多い。この場合、介助量の多寡によって、その患者の進歩の程度を判定する基準として用いられる。しかし、これでは、平行棒や手すりを使って歩行練習した患者は四脚杖を使って歩行練習する時に、まったく別の課題を新たに学習し直さなくてはならない点が軽視されてしまっている。四脚杖による歩行練習では、介助なしでの歩行とまったく異なった運動学ならびに運動力学的条件に基づく方略を用いて運動学習が行われているはずである。これは患者がある課題を達成できたら、その次の課題も学習可能となるはずであるという仮説に基づいている。しかし、実際には必ずしもそのようになるとは限らないのである。

患者に学習能力があれば、リハビリテーションの環境によって学習過程は助長される。しかし、重要なことは、立ち上がり動作のような課題が正確に行えても、セラピストがなんらかの援助をしたならば、それは立ち上がる方法の学習を完了したことにはならないということである。患者が様々な環境や動作の流れの中で、効果的にしかも意識（注意）することなく課題が遂行できてはじ

て学習が完了したといえる。このことをセラピストがよく理解しておくことが重要である。患者が課題を学習できるためには、かなり変化に富んだ練習が必要となる。このため、学習に適した環境を設定しなくてはならない。運動行動が転移、あるいは汎化するかどうかは、その時の環境条件に大きく依存している⁷⁾。

脳血管障害の多くは機能障害をもたらし、筋が張力を発生する能力や運動の制御、さらにある範囲の異なった動作のパフォーマンスに影響を及ぼす。これまでの研究から、ある程度満足いくレベルのスキルは、下肢に対する機能的かつ特異的な筋力強化トレーニングと、通常環境における動作のトレーニングによってのみ再獲得されることがわかっている。その具体的な例として、椅子からの起立と着座運動、歩行や階段昇降時の立脚期の運動、床から物を拾う運動、などは下肢が上体を持ち上げたり降ろしたりするために、求心性および遠心性の筋収縮が行われるという点で共通している。これらの運動に共通する練習として、踏み台昇降を行うことは有効と思われる。実際、踏み台昇降の反復回数をできるだけ多くするという単純な練習方法を採用することが多い。しかし、このトレーニングのねらいは踏み台昇降練習の効果をベッドや椅子からの起立、歩行、階段昇降などの運動に転移することである⁸⁾。

歩行練習を例にとりて説明してみる。室内歩行では、障害物のない、平らな床の上を、常にセラピストの介助下で患者がうまく歩けたとして、そうした条件でいくら練習を繰り返しても、実用性の面からはほとんど役に立たない。安全性が優先されるのは当然であるが、できるだけ早期に監視下で歩行が可能となるように促すことが重要で、その上で次のような課題を機能に応じて試みる。

- 1) 歩行中に急に停止する
 - 2) 歩行中に呼び止め、その方向に振り返させる
 - 3) 異なる速度（できるだけ早く、通常の速さで、できるだけゆっくりと）で歩く
 - 4) 障害物をよける（スラローム歩行）、またぐ
 - 5) 目の前を人が横切る
 - 6) 柔らかな床材の上を歩く
 - 7) 可能であれば片手に物を持って歩く
 - 8) 人の往来の激しい場所を（人を避けながら）歩く
- さらに、これらの条件を複数組み合わせで行ってみる。

なお、各課題の遂行過程でパフォーマンスに関する情報（knowledge of performance ; KP）を供与することが重要となる。ただし、KPの与え方として、初期の段階で「左足（麻痺側）にしっかりと体重を移して！」、「左足（麻痺側）をもっと大きく振り出して！」、「顔を上げて、背

筋を伸ばして!」, というように同時に複数の指示を与えるのは情報過多となり, パフォーマンスはむしろ低下することになる。

VI. おわりに

脳卒中をはじめとする脳傷害患者の理学療法では, 現実的な環境条件を前提として, 具体的な課題に対する処理能力を高めることが重要である。すなわち, 患者は正常な運動パターンを反復して練習することよりも, 一つの日常的な機能的課題に特有の問題の解決を試みて, 課題の遂行を学習することが必要である。さらに環境の変化への適応が, 機能回復の重要な要素となる。なお, 誤解のないように付言しておくが, パフォーマンスを最適化するにはそのスキルの習熟過程で「反復すること」が必要となることはいうまでもない。大切なことは, 理学療法士は単に介助を与えるのではなく, 患者の学習を支援するという点である。本稿で紹介した運動学習モデルは, その一つの具体的方法を示唆しているものといえる。

引用文献

- 1) Neurology Section and Section on Pediatrics of APTA: III STEP Conference. <http://www.iiistep.org/IIISTEP/>, APRA, 2005.
- 2) Carr JH, Shepherd RB: A Motor Relearning Programme for Stroke, 2nd ed. Heinemann, 1987.
- 3) Carr JH, Shepherd RB: Stroke Rehabilitation-Guidelines for exercise and Training to Optimaizing Motor Skill. Elsevier, Amsterdam, 2003. (潮見泰蔵, 齋藤明彦 (訳): 脳卒中の運動療法. 医学書院, 東京, 2004).
- 4) Kolb B, Gibb R: Environmental enrichment and cortical injury: behavioral and anatomical consequences of frontal cortex lesions. *Cerebral Cortex*, 1991, **1**: 189-198.
- 5) Pritzel M, Huston JP: Unilateral ablation of telencephalon induces appearance of contralateral cortical and subcortical projection to thalamic nuclei. *Behave Brain Res*, 1991, **3**: 43-54.
- 6) Will B, Kelche C: Environmental approaches to recovery of function from brain damage: animal studies. In *Recovery from Brain Damage: Reflections and Directions*, Plenum Press, New York, 1992, pp79-104.
- 7) 潮見泰蔵: 脳卒中患者に対する運動スキルの最適化を図るための介入方略. *理学療法科学*, 2004, **19**(1): 1-5.
- 8) 大橋ゆかり: セラピストのための運動学習ABC. 文光堂, 東京, 2004.