

大阪保健医療大学

紀要

第1号

2018

大阪保健医療大学紀要

第1号 (2018)

目 次

総説

- 運動学習の定義、理論、神経メカニズムとリハビリテーションへの応用 1
吉田 修樹、石倉 隆

症例報告

- 在宅脳損傷者の立ち上がり動作障害を神経機能解剖学的に検討して、理学療法介入方法を考える –右被殻出血により左片麻痺を呈し STS 動作に監視から介助を要した症例–
..... 15
市田 修一、石倉 隆

運動学習の定義、理論、神経メカニズムとリハビリテーションへの応用

吉田 修樹 (大阪保健医療大学大学院) 石倉 隆(大阪保健医療大学大学院)

Definition, theory, neural mechanism of motor learning and application of these to rehabilitation

Shuki YOSHIDA (Graduate School of Osaka Health Science University)
Takashi ISHIKURA (Graduate School of Osaka Health Science University)

(2018年1月10日受付, 2018年3月5日受理)

Summary

The final goal is to make rehabilitation work independently in daily life. The most desired activities of daily living to be a target is aimed at a state in which the action can be carried out appropriately and smoothly and can be done unconsciously without requiring linguistic instructions. Therefore, motor learning is very important, and understanding of the theory is necessary. Motor learning is defined as a series of processes related to practice or experience that leads to skillful task execution ability to a relatively permanent change. Five of the three phase theory of motor skill learning, the closed loop theory, the schema theory, the perceptual motion cycle, and the active touch model have been proposed for the motion learning theory. For motor learning, cerebellar circuit, basal ganglia circuit, neural network at cerebral cortex level are important, and it is necessary to consider these circuits integrated.

キーワード : 運動学習, 運動学習理論, 大脳基底核回路, 小脳回路, ワーキングメモリ

Keywords : motor learning, motor learning theory, basal ganglia circuit, cerebellar circuit, working memory

1. 定義

運動学習課題を練習することで動作を学習し、その結果としてパフォーマンスの向上が見られる。これを一般的に運動学習と言う。運動学習について、シュミット¹⁾は「熟練パフォーマンスの能力に比較的永続的変化を導くような練習や経験に関連した一連の過程」と定義している。つまり、課題を遂行するための能力を永続的に定着させる実践や経験の過程と解釈できる。このように運動学習とは、最終的な帰結部分のみを指すのではなく、内部モデルを練習や訓練により脳内に獲得していくプロセスであり、その記憶を経験によってダイナミックに更新していくプロセス²⁾として捉えることができる。行動面から見た場合、運動学習は実践や練習を通して獲得されていく運動行動の変化であり、状況に適した感覚運動系の協応が向上していく過程であり、運動技能の獲得の過程とされている³⁾。また、課題遂行の過程は、その場の状況に応じて「何をすべきか」を判断する場合 (what) とあらかじめ決められている運動課題を効率よく遂行するために「どのようにすべきか」(How) を決定する場合に分けられる³⁾。学習初期は、外部や内部環境からのフィードバック情報を頼りにしており、動きは拙劣な場合が多い。学習が進むにつれ、フィードバック情報ばかりに頼ることなく、予測を働かせるフィードフォワード制御システムに変わる。これは、目的動作の実施前に脳内で模倣やシミュレーションを可能とする内部モデルを学習課題の練習を通じて脳内に獲得していくプロセスであり、記憶情報を経験とともにダイナミクスに変化させていくことこそが運動学習である。

2. 理論

2.1 運動技能学習の三相説

運動学習の過程は一連の段階で表現されることが多く、先行知見からも「運動技能学習の三相説」という3分割した段階について示されていることが多い。「運動技能学習の三相説」は、初期相（認知段階）、中間相（連合段階）、最終相（自動化段階）に区分している。初期相（認知段階）では、目標とする運動課題を理解するため、「達成する為にどのような運動が必要であるのか」、さらに「巧みに行うにはどうしたらよいのか」を知る必要がある³⁾。この段階では言語的に考え、運動が巧みになるようにいくつかの仕方を試みるため、言語・運動段階 (verbal motor stage) とも言われている³⁾。中間相（連合段階）は、学習初期の誤りを修正しながら、試行錯誤を繰り返すことで系列運動へと移行し、正確性や円滑性、速度が向上していく段階である。ここでは、感覚情報フィードバック (action feedback) と結果の知識 (knowledge of results ; 以下 KR)、パフォーマンスの知識 (knowledge of performance) が重要な働きを示す³⁾。特に KR は、付加的フィードバック (augmented feedback) であり、頻度やタイミングが運動学習効率に影響を及ぼすと報告されている。谷⁴⁾によると、「フィードバックは段階が進むにつれて、頻度を減少させるとともに、内在的フィードバックの依存を視覚から固有感覚に切り替えていくのが良い」と述べており、また、「患者の“気づき (awareness)” に焦点をあてるアプローチは、KR 頻度をコントロールする上でも有効な手段となる」と述べている。そのため、初期の誤りを修正し、系列運動へと移行していく中間相では、宣言的知識から手続き的知識に変換されていく過程で、KR が大きく関与している。最終相（自動化段階）では、運動は空間的および時間的に高度に結合され、無駄がなく、素早く円滑な運動を可能にする³⁾。自動化されていくことにより、動作に対する注意の減少及び言語が不要になり、完成形へと近づいていくことで無意識下の動作が可能となる。この理論という学習過程は、目標指向的であり、不可逆で不連続的な過程であり、ある段階から次の段階へと進むことを前提としている³⁾。その為、運動学習の進行度や成果の指標になるという利点がある。しかし、この一連の段階は理想型であり、また学習過程における段階の系列は概念的なモデルであり、そのものに不連続性があるわけではない³⁾。また、やや粗い枠組みのモデルを現実を重ね合わせたモデルであり、各相間に境界線がない為、主観的な要素が多いという欠点がある。

2.2 閉ループ説 (closed loop theory) (Figure 1)

1971年にAdamsにより発表されたもので、以前の運動学習理論はある刺激(S)に対して反応(R)が生じるという反応理論(S-R理論)⁵⁾であったが、そこに誤差検出・修正モデルを導入し、S-R理論の図式による学習プロセスの批判を展開した²⁾モデルとなる。閉ループ説とは、フィードバックや誤差検出・修正の基本的要素から成る自己調節系⁶⁾を指し、この理論は、フィードバックと比較される知覚痕跡と記憶痕跡を重要視している。知覚痕跡とは、運動行動により生じたフィードバック情報を照合するための内的基準²⁾のことを指す。この内的基準は、過去の運動行動の経験によって残された記憶に基づくものであり、新たなフィードバック情報と比較することで運動を再認する機能のこと²⁾である。また、記憶痕跡とは、フィードバック情報が生起する前に、それなしで作用し、運動を選択するといったものであり、知覚なしに記憶から運動を生成するもの²⁾を指す。まず、運動開始に当たり記憶痕跡に基づいて運動が再生され、次に実際の運動が正しく行われているかどうか、フィードバック情報を知覚痕跡に照らして再認する⁶⁾。こうして、運動のフィードバックと意図している運動の比較(誤差検出)により、逐次誤差修正され、次第に運動技能が獲得されていくといった理論である。利点として、痕跡の視点が導入され、記憶痕跡により生じた運動プランを知覚痕跡の内的基準と比較し、誤差の検出及び修正が行われることで運動学習が行われるという新たな理論が生じたことにある。欠点としては、痕跡という視点が非効率な学習様式であることである。樋口ら²⁾は、ペットボトルの水を飲むたびに重さが変わり必要な運動制御パターンが変化するが、それに対して運動制御パターンを変化させながら対応することが可能であるため、正常な脳と身体を持っていればいとも簡単に運動制御をその都度リアルタイムに変化させることが可能であると述べている。つまり、人間は経験したことの無いものであっても関連した記憶情報に基づいて予測的に導き出し、刻々と変化する場合においてもその都度予測的に変化させながら運動を導き出していると考えられる。これらのことから、閉ループ説での痕跡の視点だけでは上記で挙げた予測的な働きについて説明出来ないというところに欠点がある。

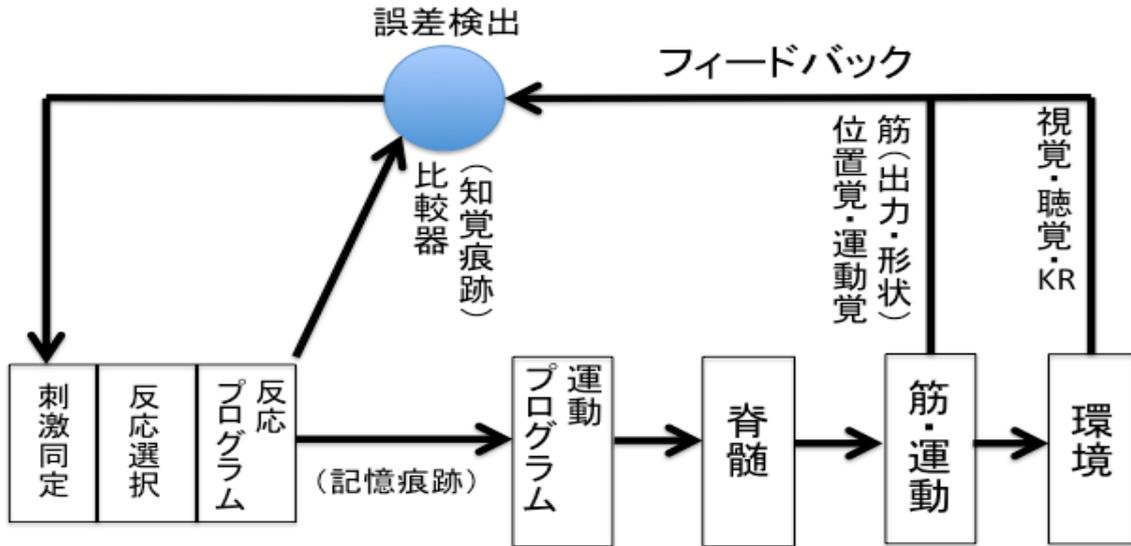


Figure 1. 閉ループ説

2.3 スキーマ説 (Figure 2)

閉ループ説で挙げられた問題点を乗り越える目的として、Schmidtによりスキーマ理論が1975年に発表された。スキーマ説には、一般化運動プログラム (generalized motor program) 仮説を用いている。千田²⁾は、「従来の運動プログラム理論は、特定の運動に対する特定の運動プログラムを考えたが、実際の運動は毎回少しずつ異なるため、無限の運動プログラムが必要になる」と述べている。また、千田²⁾はこの一般化運動プログラムは、過去の経験から構築されており、より一般化された形で貯蔵されるため、投球フォームなどの不変的かつ毎回少しずつ異なる動作も一般化運動プログラムによりわずかな修正で特定化できると述べている。そのため、スキーマ説では、この一般化運動プログラムに従って運動を産生する再生スキーマ、実際の運動の正確さを評価する再認スキーマを仮定³⁾して運動の特定化を図り、動作練習などを通してスキーマを発展させる規則を学習していく理論となっている。ヒトは、過去に一度も左手あるいは足で文字を書いたことがないにも関わらず書くことができる²⁾。これは、これまでに経験して記憶している運動プログラムをスキーマという基準あるいはルールとして形成することで、経験したことのない運動であっても、その基準をもとに予測的に導き出すことを可能としている。つまり、動作練習や経験の蓄積を必要とするが、スキーマ理論は一つの基準をもとに発展させていくという概念のため、類似性の転移に対応しており、この部分が利点であると思われる。スキーマ理論で述べられているように、得られたフィードバック情報をもとにスキーマを修正していくことは運動学習にとって非常に重要なシステムである。しかし、運動学習を行っていく上で、補足運動野や大脳基底核を中心とした筋出力の強さや動作の順番など順序に関わる情報の処理も行う必要がある。運動学習は、スキーマ理論で中心として働いていると予測される前頭前野や小脳での神経ネットワークだけでなく、大脳基底核や頭頂葉の働きも必要とし、これらが総合的に働くことで学習していくため、上記だけでは説明が不足しており、補足説明が必要ではないかと考えられる。

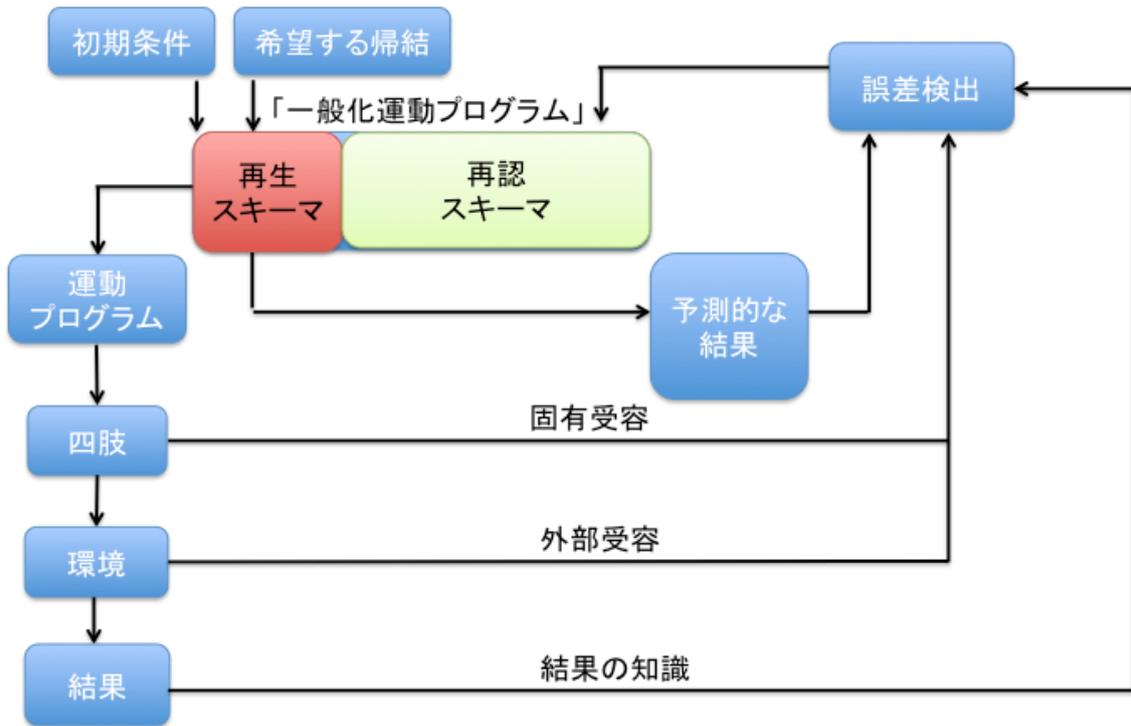


Figure 2. スキーマ説

2.4 知覚動作サイクル (Figure 3)

身体は運動する際に知覚と密接な関係にあり、環境が身体に働きかけるのと同時に、身体も環境に働きかける²⁾。つまり、動作自体も環境によって生み出される感覚フィードバックにより制御されているということになり、これを「知覚動作サイクル」と言う。この理論では運動を行うにあたって環境などから得られるフィードバックの重要性について述べられており、知覚と運動の円環性に重視した理論である。後にこの視点は、ゲシュタルトサイクルもしくはゲシュタルトクライスと呼ばれ、現在の学習理論にも用いられている²⁾。この循環機構は、一方方向性モデルと双方向性モデルがある。前者は、感覚受容器から効果器へと一方向に関係し合って円環が作られており²⁾、感覚による世界と動作の世界が一方向に円環を築いている。後者は効果器から感覚受容器の方向にも関係を持っており、双方向に関係し合って円環が作られている²⁾。「知覚動作サイクル」で示されている感覚受容器と効果器は、内的世界であることから脳の中の身体を意図している²⁾。後者の双方向性モデルでは、感覚受容器から効果器への一方方向性の情報だけでなく、効果器から感覚受容器への逆方向への情報連絡（遠心性コピー）を持っている²⁾。また、現在では中間に誤差を検出し、修正を行う器官（小脳や運動前野など）があると判明している²⁾。福居⁷⁾は、感覚及び運動階層という中心溝のそれぞれの側にある二つの階層に対応する領域は、双方向性の結合を持っており、また、体性感覚や視覚、聴覚の3つの感覚様態も前頭領域に投射しており、これらも双方向性の結合を持っていると述べている。運動学習では、運動プランのコピー情報（遠心性コピー）と実施後得られた感覚フィードバック情報（結果の情報）をもとに誤差修正が行われ、繰り返し目的動作を行うことで運動プランが書き換えられていく。そのため、知覚動作サイクルで述べられているように大脳皮質レベルでの双方向的な働きによる知覚と運動の円環性については、運動学習においても重要な点である。しかし、運動学習の神経メカニズムは複雑であり、大脳皮質レベルでの双方向的な結合だけでなく、大脳基底核や小脳との結合も必要である。これらとの結合があることにより目的動作の順序的な情報処理や誤差修正による内部モデルの形成が行われ、運動学習に繋がる。そのため、知覚動作サイクルを用いて運動学習について述べる場合、補足する必要があると考えられる。

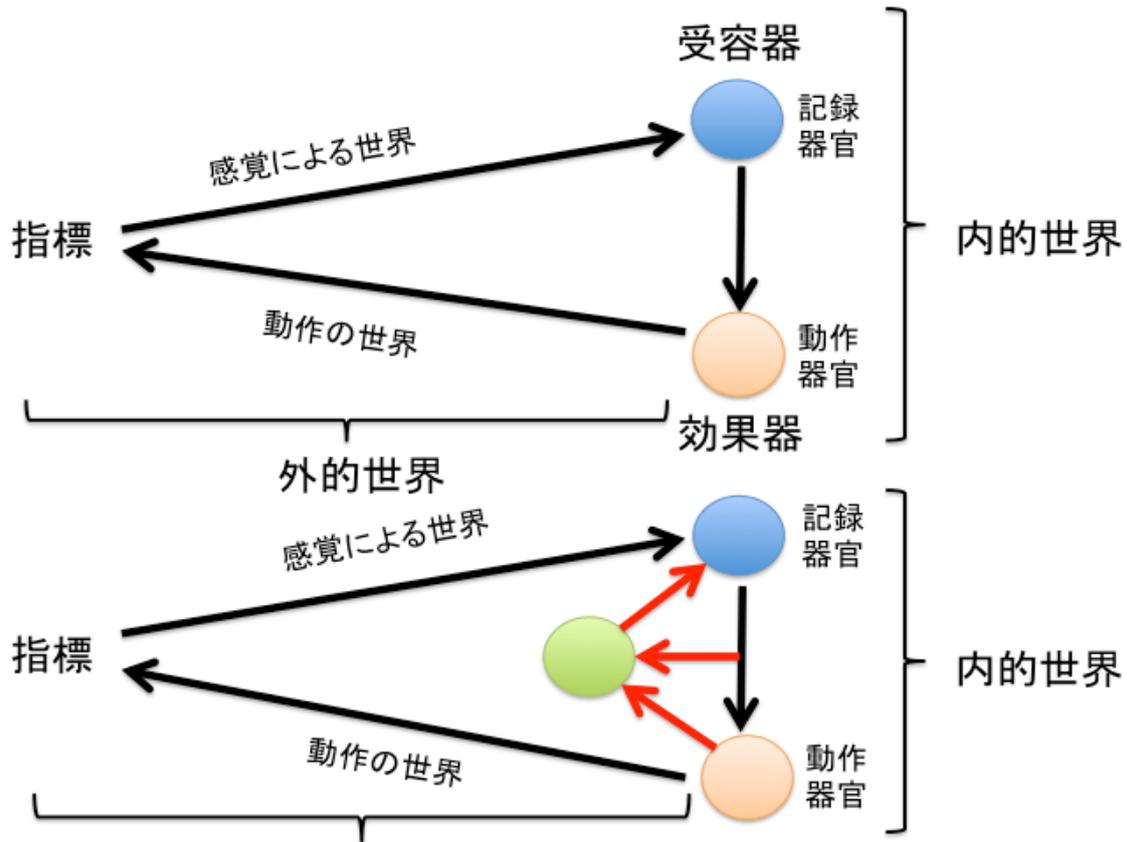
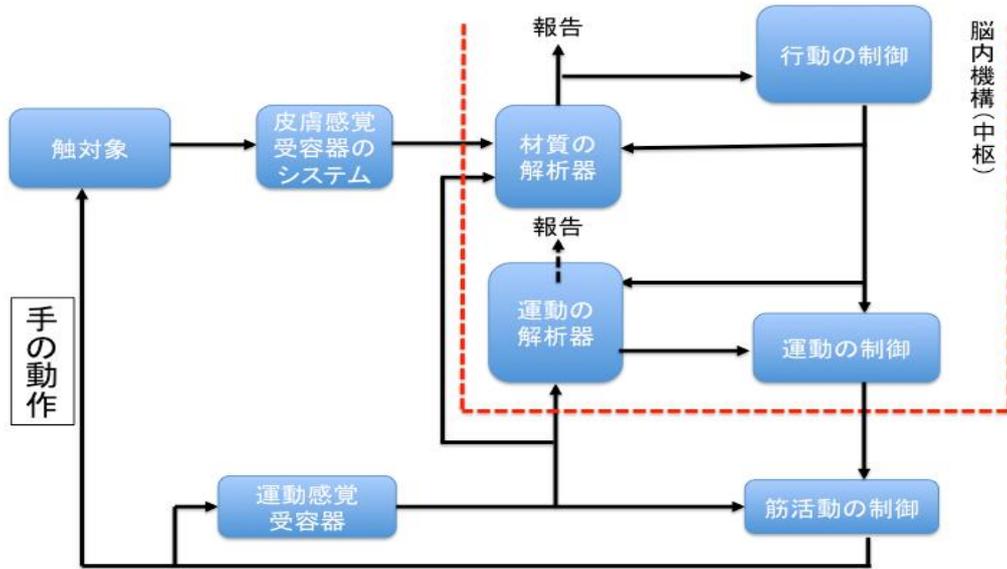


Figure 3. 知覚動作サイクル

2.5 アクティブタッチモデル (Figure 4)

脳は「閉ループ説」で問題視された日常生活における運動のレパートリーを全て記憶として保存しているわけではなく、その運動においてもっと細分化された物理的な法則性を知覚経験によって記憶し、図式として蓄えている可能性がある²⁾。この図式に基づいた考え方に生態的視点を融合したモデルが、「アクティブタッチモデル」である²⁾。つまり、環境情報の中に数ある対象物の中から運動行動の制御に必要なものを知覚し、あるいは脳内の図式から対応する情報のみを抽出する²⁾といったモデルである。例えば、机の上にあるコップをつかむ際に最適なストラテジーを使うためには、つかむ動作に関係しない情報は除外し、距離や方向、接触から得られる材質、重さなどの関係する情報のみを抽出し、接触的知覚の予測を作らないといけない²⁾。この能動的な探索には運動を伴うが、運動指令の遠心性コピーが出現する。また、対象物を探る際、対象物の性質のみならず、自己受容感覚の作動による自己の身体運動による知覚も同時に起こる²⁾。そして、その制御には必ず運動を伴うため、運動による自己受容感覚に基づく知覚も生じる²⁾。アクティブタッチ (active touch)、またはハプティクス (haptics) とは、能動的触覚とも言われ、手で自由に触ることによって対象物を知覚する手段である。岩村⁸⁾によると、アクティブタッチとは、能動的に手で外界を探索する際、皮膚表在性の触・圧・温度受容器だけでなく、手の動きにより深部にある筋肉、腱、関節の固有受容器も興奮することであると述べている。またアクティブタッチは、皮膚表在性の感覚だけでなく運動感覚も含み、視覚あるいは他の手がかりも役割を演じ、さらに運動系も関与する⁸⁾と述べている。つまり、知覚経験の記憶化や運動学習を行うためには、アクティブタッチによる皮膚の表在受容器からの情報入力だけでなく、筋や腱からの深部感覚や視覚からの物体についてのテクスチャー情報、物体との距離感についての視空間情報、経験により蓄積された記憶に基づいて重さなどの予測を行う必要がある。そのため、あくまでアクティブタッチは運動学習に必要な要素の一つに過ぎない。しかし、アクティブタッチにより得られる情報は、物体の再認識や運動プランの修正に繋がると考えられるため、運動学習初期の認知段階から中期～後期にかけての連合段階において必要な要素であると考えられる。



4. アクティブタッチによる材質判定の回路モデル (文献 8 から引用)

2.6 5つのモデルから想定される運動学習理論

ヒトは、経験や動作練習を繰り返し、その中で学習した動作をあらゆる環境下で求められることになる。そのためには、経験したことのない環境下での動作やそもそも経験したことのない動作の場合、記憶から関連する情報を予測的に導き出して運動が行われる。そして、実施後に得られたフィードバック情報を基にその都度修正を繰り返すことにより、新たに運動学習が進み、あらゆる環境下に適応した動作や行動をとることが可能となる。そこで、過去の経験から構築されたスキーマという概念をもとに誤差検出を行い、スキーマを修正することで運動学習が行われると述べているスキーマ理論のモデルを軸として考えていく。樋口ら²⁾によると、スキーマ理論では、初期条件や目的とする帰結から再生スキーマを形成して運動プランを構築する。そして運動出力により得られた四肢からの固有受容性のフィードバックや環境からの外部フィードバック情報と予測した結果の情報を照合し、再認スキーマをもとにその誤差を検出する。そして、これらを繰り返すことによりスキーマが修正され、運動学習が進んでいくといった理論になっていると述べている²⁾。しかし、先述したように運動学習を行うに当たって必要な機能は誤差検出機能だけではない。長谷⁹⁾は、運動学習における大脳基底核の大きな役割として、運動プラン遂行に必要な筋出力の調節や不必要な運動の抑制、動作順序の統合による運動プログラムの切り替えを行う機能があると述べており、この機能は連続的運動学習に関与するため重要な機能となる。また、森岡¹⁰⁾は、運動の修正や遂行を行う上で情報の一時的保持と情報の更新は必要不可欠であると述べている。つまり、前回の反省点を踏まえて新たな運動プランを形成するためには、運動出力により生じたフィードバック情報(視空間情報や聴覚情報、体性感覚情報など)を処理し、一時的に留めておく必要があると考えられる。また、これまでの経験により身体図式や身体イメージとして記憶されている身体情報と一時的に保持した情報なども踏まえて、再度新たな運動プランを形成するために情報を変換することが必要であると考えられる。これらの一連の運動学習工程を踏まえて考えると、運動学習を行うに当たって必要となる機能として、1つは誤差検出機能によるスキーマ及び運動プランの修正である。2つ目は、筋出力の調節による必要な運動の促進と不必要な運動の抑制、そしてそれらの情報を組み合わせて動作全体の順序の統合を図る機能である。3つ目は、得られた情報(外部フィードバック情報)や元々保持されている情報(身体座標系の情報や運動情報)を引き出して一時的に保持し、再度運動プランを形成するために、一時的に保持した情報を active な情報へと変換する機能である。そして、この3つの機能が総合的に働くことで運動学習を可能にしていると考えられる。

まず目的を達成するために必要な運動を、記憶(内部モデル)に基づいて情報を引き出し、身体座標系からの身体情報と組み合わせる。また、目的とする動作に必要な筋出力の調節や不必要な運動の抑制などの処理が行われる。これらの情報処理が行われ、運動プログラムが形成され、四肢や体幹へと運動情報が送られて、運動が出力される。次に、運動出力により得られた体性感覚フィードバックと運動プログラムのコピー情報(遠心性コピー)を照合し、誤差を検出する。また、運動出力した際に得られたフィードバック(視覚・聴覚・体性感覚)情

報を一時的に保持して、身体座標系の情報とリンクさせる。誤差検出した情報とフィードバック情報、運動のコピー情報、身体座標系の情報をもとにスキーマを修正し、再度運動プログラムの形成が行われる。そして、この一連の工程が繰り返し行われることで、運動学習を可能にするのではないかと考えられる。

3. 運動学習の神経メカニズム

様々な先行知見より研究結果が報告されている中、多く報告されている運動学習様式と脳機能の関連を示す 3 つの運動学習システムがある。1 つ目が大脳基底核を中心とした大脳基底核回路であり、これは連続的運動学習に関与する。2 つ目は、小脳を中心とした小脳回路で「教師あり学習」を中心とした学習スタイルで適応的運動学習や誤差学習に関与する。3 つ目が、大脳皮質レベルでの神経ネットワークを中心とし、ワーキングメモリに基づいた「教師なし学習」と呼ばれる学習スタイルである。そして、この 3 つのシステムが総合的に働くことにより、運動学習を可能にしていると考えられている。

3.1 大脳基底核回路

大脳基底核は、線条体（被殻と尾状核）及び淡蒼球、視床下核、黒質から構成されている。また、淡蒼球は内節と外節に、黒質は緻密部と網様部に区分されている。大脳基底核は、大脳皮質全域と神経回路を形成しており、大脳皮質から出力されるあらゆる指令を整理して、目的とする行動に必要な運動を機能的に選択する役割を果たしている⁹⁾。特に大脳基底核は補足運動野と情報連絡を持っており、両者が共に働くことにより、目的とする動作の順序的な情報が統合されているため、運動ループの場合、線条体への運動プランの情報は補足運動野から皮質線条体路を介して情報が送られていると考えられている。線条体は、ドーパミンによる修飾作用を受けており、黒質緻密部や中脳腹側被蓋野におけるドーパミン細胞は線条体の投射ニューロンである中型有棘細胞の細胞体に近接してシナプスを形成し、その出力を修飾している⁹⁾。修飾部である黒質緻密部から線条体へ興奮性 (D1 受容器) と抑制性 (D2 受容器) の入力があり、前者の修飾を受けた有棘細胞は出力部である淡蒼球内節/黒質網様部へ GABA 作動性の抑制性出力を送っており (direct pathway; 直接路)、また後者の修飾を受けた有棘細胞は、淡蒼球外節部、視床下核を介して、淡蒼球内節/黒質網様部を逆に促通する (indirect pathway; 間接路)¹¹⁾。淡蒼球内節/黒質網様部からの出力は、GABA 作動性で視床や脚橋被蓋核、上丘に抑制的に作用しており、その後出力された情報が前補足運動野や補足運動野へ入力する。前補足運動野では運動順序に関する時間的な型板 (テンプレート) を形成しており、補足運動野では、運動順序を統合している⁹⁾。つまり、補足運動野から線条体へ運動情報が送られ、線条体にて黒質緻密部からドーパミンによる修飾作用を受ける。その後、直接路を介して視床/皮質系が脱抑制されることで必要な運動の最終的な出力が供給されるとともに、視床下核を介した間接路によって、不必要な運動が抑制される。直接路と間接路により調節を受けた運動情報が前補足運動野や補足運動野に送られ、出力すべき順序に関する運動情報が統合されることにより、連続的運動学習 (順序学習) に関与していると考えられる。

また、大脳基底核は上述した学習スタイルだけでなくドーパミンを中心とした強化学習にも関与している。強化学習とは、環境において主体が現在の状態を観察し、とるべき行動を決定する機械学習の一種¹²⁾とされている。人は行動を選択して実行することにより、その結果から報酬を得るとその行動が強化されることから、報酬学習とも呼ばれている。この強化学習のメカニズムには、中脳ドーパミン系 (A9 細胞集団) とその修飾作用を受ける大脳基底核や前頭葉が関与している。また、強化学習は意欲や情動の喚起が大きく影響しており、腹側被蓋野を刺激するとドーパミンが放出され、このドーパミンの放出によって報酬系が作動し、側坐核を興奮させることによって、意欲が起こる²⁾。腹側被蓋野には、A10 細胞集団と呼ばれるドーパミン作動性ニューロンが多く存在し、中脳辺縁投射、中脳皮質投射を形成²⁾しており、前者は大脳辺縁系や側坐核に投射、後者は前頭前野や前帯状回に投射している¹²⁾。これらのニューロン活動が報酬予測に関与していると考えられている。ドーパミン細胞の神経活動は、予期していなかった時に報酬が与えられる場合や報酬が与えられるとわかっていた場合、報酬を得られるはずが得られなかった場合などに変化を示す。この強化学習に使用される評価信号が強化信号 (reinforcement signal) と呼ばれ、成功した時に報酬を受けると正の信号が、失敗した時に罰を受けると負の信号が強化される²⁾。強化学習に大きく関与するドーパミン細胞は、「報酬予測」と「実際の報酬と予測の差 (報酬予測誤差)」を脳はコード化するため、予期しない、あるいは予期した以上の報酬を得られた場合、強化学習を高めると考えられている¹²⁾。強化学習では、繰り返し報酬を得ると、その際に生じた感覚情報を手掛かりに報酬予測を行うようになる²⁾。つまり、外界から与えられる報酬に対しての運動行動の制御ではなく、その感覚手掛かりを得ることが報酬である方式へと変化する²⁾ということであり、これが強化学習の学習プロセスである。

3.2 小脳回路

小脳は、日常生活の中で運動の内部モデルを学習により獲得し、それを用いて予測に基づく運動の制御を行う場として考えられている。小脳皮質（脊髄小脳（虫部と小脳半球中間部）、皮質小脳（小脳半球外側部）、前庭小脳（片葉小節葉））と小脳核（室頂核、中位核、歯状核）に区分される。小脳の出力細胞であるプルキンエ細胞には、視覚・聴覚・深部感覚などの感覚情報の入力があり、それらの情報をもとに無意識下で円滑に動作が行われるように働いている。大脳皮質（前頭前野→運動前野・補足運動野→一次運動野）からの運動指令が錐体路を介して出力されると同時に皮質橋核小脳路（前頭橋路→橋核小脳路）を介して運動指令のコピー情報（遠心性コピー）が苔状線維として顆粒細胞を通じ、小脳皮質の平行線維に入り小脳半球に送られる。また、運動指令が実現されることで、得られるはずの感覚情報も脊髄小脳路や楔状束核小脳路を介して苔状線維として小脳半球に送られる。その後、小脳核赤核路を経て赤核オリブ路を下降し、下オリブ核を介して小脳半球外側部にフィードバックする⁹⁾。このフィードバック情報は下オリブ核からオリブ小脳路（登上線維）として直接小脳皮質の表面まで登り、プルキンエ細胞の樹状突起にまわりつくように接続する¹³⁾。プルキンエ細胞は、誤差信号を多く含む平行線維を長期的に抑圧し、最適化された運動プログラム情報のみを残す¹²⁾とされている。下オリブ核からの登上線維（オリブ小脳路）によるプルキンエ細胞への入力は強力であり、様々な感覚信号を供給している平行線維のシナプス伝達効率を持続的に抑制するのが、長期抑圧（long-term depression；以下LTD）である⁹⁾。登上線維は、小脳へ誤差信号を伝達する機能を持っており、平行線維からの情報はエラー情報を多く含む為、LTDをかけられることで平行線維に多く含まれる誤差情報の修正が行われる。そして、その情報は小脳核（歯状核）・視床外側腹側核を経由して運動前野へ情報が送られる。永尾ら¹⁴⁾は、運動学習により形成された長期適応の記憶痕跡（内部モデル）は、小脳核に保持されていると述べており、学習後期では長期適応の記憶痕跡として保持された情報をもとにフィードフォワード制御を用いることで運動が円滑かつ無意識的に行えることを可能としている。つまり、この一連の工程が繰り返されることで、小脳核（歯状核）での内部モデルの構築に働き、フィードフォワード制御を可能にしている。そして小脳核からこの洗練されたモデルに基づくプログラムが大脳の一次運動野に情報として送られ運動指令が実行¹²⁾されると考えられている。

3.3 大脳皮質レベルでの神経ネットワーク

大脳皮質を中心とした学習スタイルとして、「教師なし学習」がある。森岡¹²⁾は、「教師なし学習とは、明確な基準がない状態で課題を繰り返し、記憶を生成し記憶と実際の結果を照合していく過程」と述べている。つまり、イヌやネコを分類する際に手本となる基準が必要となるが、そういった手本となる基準はなく、多数のサンプルの相関や統計的な偏りをもとに、それらをグループ分けしたり、特徴量のベクトルに分解したりする²⁾。これが教師なし学習の特徴であると考えられている。しかし、運動学習の場合では、運動プランや身体についての情報を一時的に保持するというシステムがあり、身体情報を保持する場として頭頂葉領域が関与する。頭頂葉は、フィードバック情報を頼りに試行錯誤を繰り返しながら運動を実行している時に、体性感覚や視覚情報を統合し記憶化している。そして、それらの情報を基に運動を行う際の身体イメージや身体図式の作成に関与している。運動学習に関与する内部モデルの獲得に必要なものとして、田中¹⁵⁾は、「コツ（knack）を掴む」と述べており、「コツの習得において生じているものは、身体イメージに合わせて意識的に身体を動かしている状態から、身体図式の水準で全身が自発的に動く状態への運動の質の転換」としている。頭頂葉の上頭頂小葉（5・7野）は、一次体性感覚野（3・1・2野）の後方に位置し、一次体性感覚野から強い投射を受けている。5野は主に能動的な動きの際に活性化するが、それだけでなく複数の関節の組み合わせである姿勢パターンを取るときに反応する¹²⁾。そのため、上頭頂小葉は、皮膚と関節からの感覚情報の処理、触覚的な空間的位置と運動の識別、そして自身の姿勢パターンを全体として捉えるという特徴がある¹²⁾。一方、下頭頂小葉（39野・40野）の39野にあたる角回は言語やイメージの処理に関わり、40野にあたる縁上回は、道具操作の概念が存在すると言われている¹²⁾。森岡¹²⁾は、道具使用により身体イメージの延長が図られていることについて先行研究により明らかになっていると述べており、これは頭頂葉で表現されている身体イメージが状況に合わせてダイナミックに変化したためではないかと述べている。身体イメージの生成には、道具使用によって起こる動作的表象、視覚的表象、象徴的表象の全てを含んだものであり、視覚情報の分析、言語情報の分析、触覚・運動情報の分析といった様々な角度から得られる情報を脳の中で変換するプロセスによって生まれる¹²⁾。上述した下頭頂小葉は、この異種感覚統合の中核とも言われており、この領域こそが身体イメージの基盤として考えられている¹²⁾。

ヒトは今まで操作したことのないコップを把持するときに、コップの重さを予測して指先や上肢全体の筋出力

を調節することができる。つまり運動制御には、過去の経験から形成された内部モデルに基づいてフィードフォワード制御が行われていることになる。そして、この内部モデルは、得られた感覚情報が行った運動プランに統合されていくことで形成されていくと考えられる。随意運動における内部モデルとは、逆モデルと順モデルの2つで構成されており、逆モデルは、「望ましい運動軌道のプランを実現させる筋や関節の活動を計算し、それに基づく運動プランを予測する」、順モデルは、「運動プランの遠心性コピーと身体からの感覚情報から現在の状態を推定し、運動指令の結果の状態として視覚や自己受容感覚で得られるフィードバックを予測する」とされている¹²⁾。逆モデルでは、能動的な活動時に関与する上頭頂小葉が小脳の神経ネットワークに通じて運動学習に関与している。また、順モデルでは、異種感覚統合の中枢であり、道具操作の概念形成に関わる下頭頂小葉が関与し、大脳小脳連関が作動する。そのため、内部モデルに基づいて運動プランを作り出す上で、頭頂連合野で保持されている身体情報を組み合わせる必要があると予測される。これらから、身体イメージに関与する頭頂葉と先述した誤差検出や修正に関与する小脳との神経ネットワークが運動学習にとって重要であると考えられている。

また、予測的な運動制御を行う上で、頭頂葉と小脳の働きだけでなく、前頭前野背外側部 (dorsolateral prefrontal cortex ; 以下 DLPFC) との神経ネットワークも構築される。荻坂¹⁶⁾は、「前頭連合野の背外側部 (ブロードマン 46 野を中心とした領域) の機能を、外的な情報や長期記憶から取り込んだ情報を内的に表象し、それをオンラインで保持すると共に、それを行動発現に結びつける働き」と捉えている。そして、「内的な表象をオンラインで持ち続け、行動発現に結びつける働きをワーキングメモリ」¹⁶⁾と捉えている。このワーキングメモリとは、「ある活動や課題の遂行に必要な情報を一時貯蔵するメカニズムであり、同時に情報の貯蔵や処理のための制御機構を含む一つのシステム」¹⁶⁾と考えられている。ワーキングメモリのマルチコンポーネントモデルでは、視空間性スケッチパッド、音韻ループ及びエピソードバッファのこの三種類のサブシステムとこのサブシステムを制御する注意の実行系から構成されている。また、このサブシステムは、それぞれ基盤的なレベルで相互作用を持ち視覚的な意味理解 (空間性ワーキングメモリ)、言語理解 (言語性ワーキングメモリ)、及び長期エピソード記憶を担っている¹⁷⁾。DLPFC は主に学習初期に関わり、その際、感覚運動連合の一時的な貯蔵に関わることが示唆されている。長谷¹⁸⁾は、運動学習の認知段階 (初期相) では、課題の実行に必要なパフォーマンスの文脈 (context) の学習及び運動スキルの焦点化を目的に、運動イメージや視覚的フィードバックを用いており、これは視覚記憶の形成に依存していることになると述べている。また、中村³⁾は、初期相である認知段階では、目的とする運動を実行するためにどのような運動が必要でどのように行えば良いかを言語的に考えると述べている。つまり学習段階の初期相 (認知段階) から中間相 (連合段階) にかけて、特に外部フィードバック情報 (視覚・言語) を必要とするため、フィードバック情報をワーキングメモリ機能により一時的に保持され、それらの情報をもとに学習し、行動を変容させていくと予測される。稲瀬¹⁹⁾は、補足運動野は脳に蓄えられている記憶情報に基づいて自発的に運動を組み立てるときに神経細胞の活動が活発になると述べている。そのため、視空間スケッチパッドや音韻ループ、エピソードバッファにより一時的に貯蔵された視空間情報や言語情報、記憶から引き出した運動情報を DLPFC の中央実行系により、active な情報へと変換され、運動プランの生成に必要となるスキーマ形成の一助となることが考えられる。

3.4 3つの神経メカニズムの統合 (Figure 5)

運動を発現する際、入来²⁰⁾は、各連合野にてどのような運動を行うかについてのアイディアを決め、それをどのような順序 (大脳基底核や補足運動野) でどのくらいの強さ (運動前野や小脳) で行うかプログラムを具体的に調節して、上位レベルで運動野が下位レベルへ出す命令が作られると述べている。運動学習の場合では、必要に応じて運動を修正し、その場に適応するよう新たに運動を学習していくことが求められる。そのためには、行った運動情報で行った結果得られたフィードバック情報を照合し、その誤差を明らかにする必要がある。その後、誤差情報とフィードバック情報、身体座標系の情報をもとに新たな運動プランを考え、再度運動出力が行われる。この一連の工程を繰り返すことで運動学習が進んでいくと考えられている。先述したように、運動学習において基底核回路、小脳回路、大脳皮質レベルでの神経ネットワークの3つのシステムが総合的に働くことで運動学習が行われると考えられる。大脳基底核を中心とした基底核回路は、主に目的とする運動に必要な筋出力の調節や不必要な運動の抑制、また運動順序の統合化が行われる。小脳を中心とした小脳回路では、行った運動情報で行った結果得られたフィードバック情報を照合し、その誤差を明らかにした上で誤差の修正が行われる。大脳皮質レベルでの神経ネットワークの役割は、得られたフィードバック情報 (視空間情報・聴覚情報・体性感覚情報) や身体座標系の情報をワーキングメモリと活用して一時的に情報を保持する。また、運動開始時は、これまでの経験から蓄積された記憶に基づいて運動が出力されるため、記憶から引き出された運動情報も一時的に保持する。

そして、一時的に保持している情報を新たな運動プランの形成に向けて **active** な情報への変換に働く。運動開始時は、視覚などからの外部情報や補足運動野に保持されている運動情報、頭頂連合野に保持されている身体座標系の情報を、DLPFC を中心としたワーキングメモリ機能により、一時的に保持し、その情報を **active** な情報へと変換していると考えられる。そして、これらの情報をもとにスキーマの形成が行われていく。スキーマの情報は、大脳基底核を中心とした大脳基底核回路の直接路と間接路の働きにより、不必要な運動が抑制され、必要な筋出力の調節が行われる。そして、出力の調節が行われた運動情報は視床を介して前補足運動野に伝達され、時間的なテンプレートの形成、そしてこれらの情報を組み合わせて補足運動野にて動作全体の順序の統合が行われる。その情報が運動前野に送られて運動プランが形成され、次に一次運動野に送られて運動が出力される。先述したように、運動学習を行うためには、誤差情報を明らかにし、運動の修正を行う必要がある。運動前野で形成された運動プランの情報が一次運動野へと送られるが、そのコピー情報（遠心性コピー）が皮質橋核路にて橋核を経由し、橋核小脳路（苔状線維）を介して小脳半球へと情報が送られる。また、運動を行った結果得られる体性感覚情報が脊髄小脳路（苔状線維）を介して小脳半球へと情報が伝達される。これらの苔状線維は顆粒細胞を通じて平行線維となって小脳半球へ入力されている。その後、小脳核赤核路を経て赤核オリブ核を下降し、下オリブ核を介して小脳皮質外側部にフィードバック⁹⁾しており、このフィードバック情報は下オリブ核からオリブ小脳路（登上線維）として直接小脳皮質の表面まで登り、プルキンエ細胞の樹状突起にまわりつくように接続する¹³⁾。平行線維は誤差情報を多く含むため、オリブ核からの登上線維の情報を利用し、プルキンエ細胞にて LTD を受け、誤差検出及び情報の修正が行われる。その後、小脳核（歯状核）と視床を介して運動前野に情報が伝達される。運動出力を行うことにより得られた視空間的フィードバック情報や口頭などから提示された聴覚的フィードバック情報をワーキングメモリにより一時的に保持する。また、頭頂連合野に身体イメージとして保持されている情報は、視覚情報の分析、言語情報の分析、触覚・運動情報の分析といった様々な角度から得られる情報を脳の中で変換するプロセスによって生まれる¹²⁾。そのため、一時的に保持しているフィードバック情報を身体座標系の情報とリンクさせることで、身体座標系の情報を更新し、ワーキングメモリ機能により再度その情報を **active** な情報へと変換する。そして、大脳基底核回路により運動順序の統合を図り、また運動前野に送られた誤差情報も含めて、再度運動プランの形成が行われる。この一連の工程を繰り返すことで、歯状核に内部モデルが形成され、新たなスキーマが形成される。内部モデルが形成されることにより、フィードフォワード制御が可能となり、予測的な運動出力が可能となる。例えば、「バイクに乗る」という動作を学習した場合、「バイクに乗る」という内部モデル（スキーマ）が作りあげられる。今水²¹⁾は、状況に応じて適切な内部モデルを選択して切り替えるためには、操作対象物についての視覚情報や実際に行った際に生じる感覚フィードバック情報の 2 種類の情報を用いると述べている。つまり学習後は、視覚からのバイクについての情報を頭頂連合野で認知後、その情報は橋核（頭頂橋路）を介して歯状核内に入力して働きかけを行い、保持されている「バイクに乗る」という内部モデルを使用する。そして、頭頂連合野で認知したバイクに適応するように「バイクに乗る」という内部モデルを使用して予測的な働きの下で運動が実行される。その際、予測した結果と実際に行って得た結果に誤差が生じた場合、上記で述べた順序と神経メカニズムにより運動学習が進んでいくと予測される。

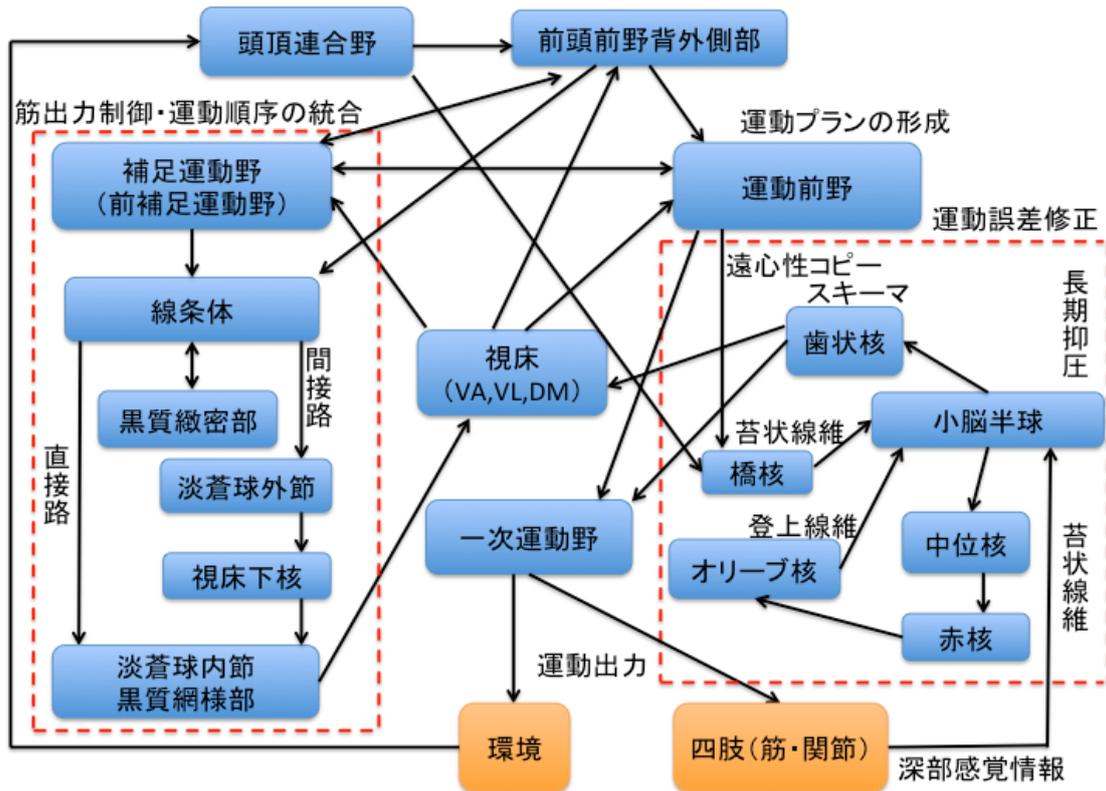


Figure 5. 3 つの神経回路を統合した運動学習の神経回路

4. 運動学習理論を用いた先知行見の整理

リハビリテーション（以下リハビリ）は、日常生活で独立して活動できるようにすることが最終的な目標である。目標とすべき最も望まれる日常生活動作（activities of daily living；以下 ADL）は、その動作を適切かつ円滑に行うことができ、言語的な指示は必要とせず無意識的に行うことが出来るようになった状態を目指すものであり、運動学習は非常に重要である。この目標を達成するため、上述した運動学習理論を治療に用いて ADL の拡大を図った先知行見を紹介する。

肥田ら²²⁾は、左放線冠梗塞による右片麻痺例の歩行能力について、視覚および口頭でのフィードバック（visual and verbal feedback；以下 VVF）と運動イメージ（motor imagery；以下 MI）という運動学習を促進する方法を歩行練習に併用して、歩行能力を向上させている。VVF より得られた情報は、一次視覚野・一次聴覚野から頭頂連合野や側頭連合野に入力し、その後前頭連合野にてフィードバック情報がワーキングメモリ機能により運動情報へと転換されていると予想される。これには空間性ワーキングメモリと言語性ワーキングメモリを用いて VVF による情報を一時的に保持し、DLPFC の中央実行系によりフィードバック情報が運動情報へと変換されたことが考えられる。また、本研究では自己運動観察を行った後に MI の想起を実施している。Decety²³⁾は、MI ではワーキングメモリが重要な役割を担っており、MI は脳内で作られた運動プランを実際に発現せずに、ワーキングメモリ上で再生している状態と言えると述べている。つまり、VVF により一時的に保持したフィードバック情報を運動実施前に MI に加えたことで、前頭葉-頭頂葉ネットワークが有効に働き、フィードバック情報の運動情報への変換が促通され、自己の歩行動作を客観的に捉えて修正すること、また改善点に意識を向けることが可能となっていると考えられる。また藤田ら²⁴⁾は、右視床出血により左片麻痺を呈し、さらに Pusher 現象を生じた患者に対して、同じく視覚や聴覚からのフィードバックを頻回に加え、患者の反応や理解度を確認しながら立位バランス練習や歩行練習を行い、身体の位置関係と Pusher 現象の改善及び歩行能力の向上を図っている。Pusher 現象がどのような神経メカニズムによって生起するかについて現在も十分明らかになっていないとは言えないが、網本ら²⁵⁾は、視床・頭頂葉系が関与する臨床症状であり、垂直性の認知が関与している可能性について述べている。Pusher 現象に対するアプローチの方法として、網本²⁶⁾は「視覚的手掛かり」と「垂直指標」の有効性に焦点が当てられている」と述べており、また Karnath ら²⁷⁾は、症例に姿勢の認知的歪みを理解させるため、視覚的手掛かりを基に直立姿勢を学習

することが重要であると述べている。この例では、頻回な視覚的・聴覚的なフィードバックや目的動作改善に向けた対策について共に考えながら繰り返し実施しており、身体的位置関係の把握を促している。この例も、得られた感覚フィードバック情報を前頭連合野にて運動情報へと転換することが可能となったことが要因と考えられる。また、身体的位置関係が修正されたことで右下肢からの感覚入力も変化したことにより、新たに視覚情報や体性感覚情報が頭頂連合野の上頭頂小葉にて多種の感覚情報が統合され、自己の身体的位置関係や残存機能の認知を可能とし、身体的垂直認知が改善したことで Pusher 現象の改善及び歩行能力の向上に繋がったと考えられる。したがって、視覚的・聴覚的なフィードバックにより、自己の動作を再認することは重要である。また、目的とする動作のイメージ想起やその動作への改善策を考えながら繰り返し実施することにより誤差修正されて運動学習が進むため、運動学習プロセスが含まれていると考えられる。

安井ら²⁸⁾は、慢性期の右被殻、放線冠、前頭葉、頭頂葉を中心とした多発性脳梗塞による左片麻痺の歩行時足部内反を軽減する目的で、足底での識別・操作練習や前後・左右への体重移動練習にて触圧覚や位置覚、運動覚などの感覚入力により左足部への意識化を図っている。運動学習理論の「知覚動作サイクル」や「アクティブタッチモデル」にて、身体と知覚は密接な関係にあり、身体運動自体も環境から得られる感覚フィードバックにより制御されると述べられていることから、適切な身体運動の学習を行うにあたって、得られる感覚フィードバック情報は非常に重要となる。この例では、治療の中で末梢から深部感覚入力を 3・1・2 野及び 5 野へ正確に入力できるよう頻回にフィードバックを行い、左足部への意識化を図っている。上頭頂小葉 (5・7 野) は一次体性感覚野 (3・1・2 野) から強い投射を受けていることから、今回の感覚情報の入力と頻回なフィードバックがこの領野間の神経連絡を促通したことが考えられる。また、上頭頂小葉は、体性感覚情報や空間情報の処理・識別に関わり、これらは自分の身体の姿勢パターンを全体として捉えるといった三次元的な姿勢図式である身体図式の基盤である¹²⁾ことから、上記のアプローチが身体図式の再構築にも有用であった可能性が考えられる。したがって、足底から頻回に感覚情報のフィードバックを行ったことにより、現在の状態を知覚でき、かつ過去の状態との違いを認識することができたこと、そして試行錯誤しながら繰り返し学習課題を行ったことが、運動学習に奏功したと考えられる。

村部ら²⁹⁾は、左視床出血後、右片麻痺を呈した患者に対して、視覚情報の活用だけでなく記憶の想起や道具操作時の体性感覚の言語化を図りながら麻痺側上肢の機能向上を図っている。この例では、視覚情報の活用、記憶の想起、体性感覚の言語化の 3 要素を含めた麻痺側上肢動作訓練を実施したことにより、様々な角度から得られた感覚情報を脳内で変換され身体イメージの生成に関与した可能性がある。39 野 (角回) と 40 野 (縁上回) に相当する下頭頂小葉では、39 野は言語や概念、イメージの処理を担当しており、40 野は道具操作の概念が存在している。下頭頂小葉は、体性感覚と視覚の両方に反応し、視覚的イメージを伴った身体イメージの形成に関与すると言われており、この領域は身体イメージの基盤であると考えられている¹²⁾。そのため、視覚的情報を頼りにしながら体性感覚情報の言語化による明確化を繰り返し行ったことにより、体性感覚情報と背側経路からの視覚情報を下頭頂小葉にて統合したことで、身体イメージの生成に関与したと考えられる。また、イメージとは記憶の再生のことを指しており、記憶の想起を行ったことにより、ワーキングメモリ機能を利用した認知過程の活性化及び前頭葉-頭頂葉の神経ネットワークの促通が今回の身体イメージの生成と麻痺側上肢機能の向上に関与した要因ではないかと考えられる。

竹林ら³⁰⁾は、被殻出血により右片麻痺を生じた症例の麻痺側上肢機能の改善を目的に、Constraint induced movement therapy (以下 CI 療法) と生活指導 (Transfer Package ; 以下 TP) を用い、上肢機能の向上と日常生活への反映を実現している。また、天野ら³⁰⁾は、右延髄腹側の脳梗塞により左片麻痺を生じた症例に対し、母指 CM 関節掌側外転保持装具 (CM バンド) を装着して、同じく CI 療法と TP を用いて上肢機能の向上を図っている。CI 療法とは、「脳卒中片麻痺患者の上肢機能障害に対するリハビリ治療の一つ」³²⁾である。藤原³³⁾は、「CI 療法の効果機序として learned non use の解消及び use dependent plasticity」を挙げている。また、藤原³³⁾は、非損傷半球の興奮性増大に伴う非損傷半球から損傷半球への半球間抑制 (interhemispheric inhibition ; 以下 IHI) の増強を指摘しており、CI 療法により非損傷半球の興奮性の抑制に働くのではないかと述べている。竹林ら³⁴⁾は、CI 療法は learned non use を克服するために、3 つの主要となる治療コンポーネントを用いており、①非麻痺手の使用の拘束、②麻痺手を使う状況下で麻痺手の機能に応じた難易度調整が施された課題指向型訓練 (task oriented training) の実施、③訓練によって獲得された機能を実際の日常生活に反映させるための TP であると述べている。つまり、CI 療法は、IHI の正常化とそれによってもたらされる麻痺側運動の反復、難易度の調整、結果の知識のフィードバックを行うものであり、CI 療法自体が運動学習理論を用いた治療法と言える。CI 療法で麻痺側上肢を頻用することにより運動を巧みに行う手段を知ることができることから、運動学習の初期相に有効に作用し、また TP にて ADL における運動で試行錯誤を繰り返しながら円滑な動作に移行していくことから、系列運動へと移行していく段階である中間相で

有効に作用したものと思われる。

文 献

- 1) リチャード・A・シュミット: 運動学習とパフォーマンス. pp153-172, 大修館書店, 1994.
- 2) 樋口貴広, 森岡周: 身体運動学知覚・認知からのメッセージ. pp195-196, pp203-239, 三輪書店, 2008.
- 3) 中村隆一, 齋藤宏, 長崎浩: 基礎運動学第6版. pp450-451, pp461-463, 医歯薬出版株式会社, 2003.
- 4) 谷浩明: 運動学習と理学療法フィードバック・教示と運動学習, PT ジャーナル 46 (1) : 19-24, 2012.
- 5) 長谷公隆: 運動学習理論に基づくリハビリテーション, 四條畷学園大学リハビリテーション学部紀要 (9) : 51-56, 2013
- 6) 中村隆一, 細川徹: 運動学習・1 学習理論・1 運動学習の基礎. 理・作・療法 22 (1) : 35-40, 1988.
- 7) 福居顯二: 前頭前皮質 前頭葉の解剖学、生理学、神経心理学. pp283-287, 株式会社新興医学出版社, 2006.
- 8) 岩村吉晃: タッチ. pp18-19, pp149-152, 株式会社医学書院, 2001.
- 9) 長谷公隆: 運動学習理論に基づくリハビリテーションの実践第2版. pp14-15, pp21-27, 医歯薬出版株式会社, 2016.
- 10) 森岡周: リハビリテーションのための脳・神経科学入門. pp40-42, pp65-66, 協同医書出版社, 2005.
- 11) 長谷公隆: 運動学習とリハビリテーション 運動学習における大脳基底核の役割. 総合リハ 32 (8) : 751-757, 2004.
- 12) 森岡周: リハビリテーションのための脳・神経科学入門改訂第2版. pp66-69, pp138-141, pp148-152, pp156-157, 協同医書出版社, 2016.
- 13) 丹治順: 脳と運動-アクションを実行させる脳第2版, pp76-78, pp98-106, 共立出版株式会社, 1999.
- 14) 永尾総一, 本多武尊: 小脳の学習と運動・認知機能. 運動障害 23 (1) : 31-39, 2013.
- 15) 田中彰吾: 運動学習におけるコツと身体図式の機能. バイオメカニズム学会誌 37 (4) : 205-210, 2013.
- 16) 苧坂直行: 脳とワーキングメモリ. pp24-27, 京都大学学術出版会, 2000.
- 17) 苧坂直行: 意識と前頭葉-ワーキングメモリからのアプローチ-. 心理学研究 77 (6) : 553-566, 2007.
- 18) 長谷公隆: 脳障害と運動学習. PT ジャーナル 46 (1) : 37-44, 2012.
- 19) 稲瀬正彦: 脳による運動と行動の制御. PT ジャーナル 35 (3) : 206-208, 2001.
- 20) 入来篤志: 運動の習熟と記憶. PT ジャーナル 29 (10) : 670-675, 1995.
- 21) 今水寛: 動作の意識的理解と内部モデルの学習・切り替え. 日本ロボット学会誌 25 (5) : 699-705, 2007.
- 22) 肥田光正, 細井修一, 西本いずみ, 平田直希, 大西忠輔, 義永恵実: 在宅脳卒中患者に対する視覚的対する口頭でのフィードバックと運動イメージ治療が歩行能力に与える影響. 理学療法学 29 (5) : 821-824, 2014.
- 23) Decety J: The neurophysiological basis of motor imagery, Behavioural Brain Research 77 : 45-52, 1996.
- 24) 藤田直人, 三木屋良輔, 中川司: Pusher 現象を呈する片麻痺患者の歩行練習. PT ジャーナル 40 (8) : 605-611, 2006.
- 25) 網本和, 渡辺学: 視床・頭頂葉系の障害と理学療法. PT ジャーナル 47 (1) : 19-26, 2013.
- 26) 網本和: 高次神経機能障害の理学療法・評価とアプローチ, 理学療法科学 22 (1) : 13-18, 2007
- 27) Karnath HO, Ferber S, Dichgans J: The neural representation of postural control in humans. Proc Natl Acad Sci USA 97 (25) : 13931-13936, 2000.
- 28) 安井翔一, 伊藤正憲, 嘉戸直樹: 麻痺側足部の機能障害と高次脳機能障害により歩行の実用性が低下した脳梗塞左片麻痺の一症例. 関西理学 12: 77-86, 2012.
- 29) 村部義哉, 本田慎一郎, 日下部洋平, 玉木義規: 記憶・言語を伴う道具操作経験により麻痺側上肢の機能向上を認めた慢性期脳卒中患者の1症例. PT ジャーナル 50 (11) : 1057-1062, 2016.
- 30) 竹林崇, 花田恵介, 天野暁, 髻谷満: CI 療法における麻痺側上肢の行動変容を促進するための方策 (Transfer Package) の効果. 作業療法 31 (2) : 164-176, 2012.

- 31) 天野暁, 竹林崇, 花田恵介, 梅地篤史, 丸本浩平, 道免和久: 慢性期重度上肢麻痺に対する手指装具使用下での Modified CI 療法の一症例. OT ジャーナル 48 (3) : 259-264, 2014.
- 32) 内山侑紀, 道免和久: 脳卒中患者に対する CI 療法. 総合リハ 40 (5) : 504-509, 2012.
- 33) 藤原俊之: 脳卒中片麻痺. 総合リハ 35 (11) : 1303-1308, 2007.
- 34) 竹林崇, 道免和久: CI 療法. 総合リハ 41 (4) : 313-321, 2013.

著者連絡先: 吉田修樹 〒599-8271 大阪府堺市中区深井北町 3176 番地 阪和第二泉北病院リハビリテーション部

©吉田修樹、石倉隆

在宅脳損傷者の立ち上がり動作障害を神経機能解剖学的に検討して、 理学療法介入方法を考える

—右被殻出血により左片麻痺を呈し STS 動作に監視から介助を要した症例—

市田修一(大阪保健医療大学大学院) 石倉隆(大阪保健医療大学大学院)

Think about a physical therapy intervention method by examining neuronal function anatomically the sit-to-stand motion disorder of a person with a home brain injury
—Case requiring assistance from surveillance for STS motion due to left hemiplegia due to right putamen bleeding—

Shuichi ICHIDA(Graduate School of Osaka Health Science University),
Takashi ISHIKURA(Graduate School of Osaka Health Science University)

(2017 年 12 月 8 日 受付, 2018 年 3 月 5 日 受理)

Summary

In the case that presented left hemiplegia by right putamen bleeding to send at-home life, I groped for ability for STS movement concerning a brain function. The cause that had difficulty with STS movement was the muscle tonus imbalance of the human trunk line, muscular strength, a muscle tonus drop of the gluteus maximus. Cerebrocortical activity activated these causes and depended on a corticospinal tract injury that it depended because I had strong excitement restraint by a restraint-related neuron by cortex pontoreticulospinal tract, cortex bulboreticulospinal tract being excited too much, and muscle spindle nucleus chain fiber was not excited. Because the muscle tonus imbalance of the human trunk line, muscular strength, the muscle tonus drop of the gluteus maximus planned improvement, exercise learning by the activation of the non-injury brain corticospinal tract, bridge motion, using the sense of balance due to the vestibular nerve, STS movement improved it. It was thought that a human trunk function and improvement of the proximal paralysis side lower limbs affected STS movement attainability deeply.

キーワード : 在宅脳損傷者、STS 動作、皮質網様体脊髄路、体幹・麻痺側大殿筋機能、運動学習

Keywords : home brain injured, STS motion, cortex reticulospinal tract, trunk and paralysis side gluteus maximus function, motor learning

1. 背景と目的

厚生労働省が行った平成 23 年の患者調査によると、我が国における脳血管疾患の入院患者数は 17.22 万人であり、外来患者数は 11.16 万人であると報告され、合計すると約 28.4 万人に達している。また、脳血管疾患患者の総数は、123.5 万人であると示されている。要介護度別認定者数の推移²⁾では、平成 23 年 4 月時点で要介護認定者総数は約 508 万人であり、要介護度別では、要支援 1 が 66.2 万人、要支援 2 が 66.9 万人、要介護 1 が 91 万人、要介護 2 が 90.1 万人、要介護 3 が 70 万人、要介護 4 が 64.1 万人、要介護 5 が 59.3 万人である。また、平成 25 年 4 月時点では要介護認定者総数は約 564 万人であり、要介護度別では、要支援 1 が 77.3 万人、要支援 2 が 77.1 万

人、要介護1が105.2万人、要介護2が99.3万人、要介護3が74.7万人、要介護4が69.6万人、要介護5が61.2万人であり²⁾、要介護者は増加の一途をたどっている。

さらに、平成26年に発表された平成25年国民生活基礎調査の概況³⁾によると、ADL（Activities of daily living；日常生活動作）に介護が必要になった主な原因を要介護度別にみると、要支援、要介護を合わせた総数では、脳血管疾患（脳卒中）は18.5%、要介護者のみでは21.7%で最も多いと報告されている。つまり、要介護者のうち脳血管疾患対象者が、全体の約1/5を占めていることになる。具体的には、要介護の原因が脳血管疾患である順位は、要支援1では3位までには入っていないが、要支援2と要介護1は3位、要介護2、3では2位、要介護4、5では1位であり、介護度が重度になるに従い、脳血管疾患の占める割合が増加している。つまり、要介護状態の区分⁴⁾の基準からすると、日常生活上STS動作（sit-to-stand motion；立ち上がり動作）が不安定または自力では困難で何らかの介助が必要、STS動作が自力では不能な脳血管疾患対象者が多いということを示している。

理学療法士が対応するのは、病院や診療所等での医療領域の対象者のみではなく、地域で暮らす福祉・保健領域の対象者も含まれる。2000年に介護保険が導入されて以来、在宅重視と自立支援が基本理念として示されている。地域での現状は、医療保険の改定等もあり、入院期間の短縮により、十分なリハビリテーションを受けられずに自宅退院する患者や、回復過程にある患者が退院し、在宅で生活している場合が見受けられる。吉良⁵⁾は、「脳卒中後遺症者が、病院とは異なる自宅という環境に帰ってくると様々な生活活動場面において環境不適合状態を起こす。ここでいう環境とは、住宅や用具などの物的環境、介護者などの人的環境などのことである。不適合とは、様々な生活活動に必要な本人の心身機能の低下やそれを補う環境の機能性の不足した状態のことである。その結果として過剰に介助を要したり、転倒したり、閉じこもり或いは寝たきり生活に至る場合も少なくない」と報告している。このことは、入院中のリハビリテーションの不十分さを示したものと見え、このような状況を改善していくための一手段として、医療保険や介護保険の中で、訪問リハビリテーションを行うことが重要であると考えられる。

訪問リハビリテーションは、要介護者の心身機能の維持やADL能力の維持・向上を図る手段として重要な位置を占めている。吉良⁵⁾は「常に個人の身体機能や移動動作能力の改善の視点から生活活動の可能性を検証することによって、廃用性機能低下の改善や潜在機能の拡大を行え、将来の重度化に楔を打つことができる」とし、「在宅の高齢障害者に理学療法士が定期的に移動面に関するアプローチを中心に関わることで、ADL能力の改善や維持に影響を及ぼしていると推測される⁶⁾」、「ADLの項目に着目すると、移乗・歩行・階段昇降などの移動面において有意な改善が見られた⁶⁾」と報告している。

しかし現実的には、発症からの時期や対象者の現在の身体機能・高次脳機能、治りたいという意欲が低いこと、セラピストの経験等からプラトールと判断し、アプローチの目的が明確ではなく漫然とリハビリテーションを提供していることが否めないと思われる。

横井ら⁷⁾は、「STS動作は移乗・移動の基本動作で、これを安全に行うことでSTSから続く動作が可能となり、ADLを拡大させることができる」、また、「STS動作が行える能力がADLや歩行速度に関係することから、STS動作は生活行動の拡大につながる基本動作として位置づけられる⁷⁾」と報告している。さらに、後藤ら⁸⁾は、「STS動作という動作は、日常生活上主に坐位から移動する場合の最も基本的かつ重要な動作であり、この動作を患者本人が十分理解できないと、離床も遅れ当然ADL能力も低下する」と報告している。これらのことや、冒頭で示した日常生活上STS動作が不安定または自力では困難で何らかの介助が必要、STS動作が自力では不能な脳血管疾患対象者が多いという事実からも、STS動作能力を改善させることが重要であると考えられる。

正常なSTS動作の動作分析において、後藤ら⁸⁾は、「STS動作を3つの相に分類することができ、第1相：重心を前方に移動する相、第2相：重心を前下方に移動する相、第3相：重心を上方へ移動する相である」と報告している。また、石崎ら⁹⁾は、「STSの構成要素には以下の点がある。1.関節可動域や筋力などの身体機能、2.重心の制御、3.麻痺側荷重能力、4.非麻痺側での代償機能、5.下肢及び体幹の協調性、6.感覚情報の統合と情報に対する適応能力。これらは歩行能力を構成する要素と重なる点が多い」と報告している。これらの構成要素を見ると、少なくとも2.重心の制御、3.麻痺側荷重能力、5.下肢及び体幹の協調性、6.感覚情報の統合と情報に対する適応能力には正常な脳機能が必要であると思われ、STS動作における脳機能の重要性が伺える。

脳損傷による片麻痺患者にとって、このような身体機能や感覚情報の統合と情報に対する適応能力が障害を受けているため、STS動作に介助が必要となり、または不能となると思われる。しかし、高橋ら¹⁰⁾により、「脳卒中片麻痺患者に焦点を当て、各STS動作獲得に必要な機能の把握や他の移動能力との関連性を検討した報告は皆無に近い」と報告されている。脳損傷者のSTS動作が、健常者のSTS動作とどのように違うのか検討が必要である。われわれは、脳損傷者のSTS動作を評価し、できるだけ正常に近づけるように治療するが、実際には、様々な要因により、そのSTS動作の方法は制限されてしまうことが多い。そのような状況の中で、それぞれの脳損傷者に

応じた STS 動作方法を考えて獲得させていくことは重要である。

それぞれの脳損傷者に応じた機能改善や STS 動作等の能力の向上を図るために、脳の CT (computed tomography; コンピューター断層撮影法)、MRI (magnetic resonance imaging; 磁気共鳴画像) 等から対象者の脳機能、特に残存脳機能を把握し、臨床症状としての身体機能や感覚情報の統合と情報に対する適応能力、動作能力を比較し、アプローチを再検討して、今後のゴール設定を考えることが有用であると思われる。高倉ら¹¹⁾は、「近年の研究では、脳の局在による機能が明らかになってきていることから、理学療法士も損傷されている局在によって予想される障害の特性を推測し、その特性に応じた運動学習の進め方を工夫することが可能となってきている」と報告している。小柳¹²⁾は、「脳画像による損傷状況の情報を照合し、出現するであろう症状を予測し、神経学的所見との整合性について「思考」することはセラピストにとって重要な作業である」と報告している。さらに石倉¹³⁾は、「慢性期脳卒中者の障害像は、急性期と比較して脳機能障害をよく反映している」と報告している。さらに、「脳機能を十分に理解し、対象者の障害像が脳損傷部位と一致することが確認できれば、改善しないところを科学的に証明することができる¹³⁾」と報告している。つまり、セラピストは慢性期であっても経験則ではなく、科学的根拠に基づいて、在宅生活を送る脳損傷者が残存脳機能を活かし、能力を発揮することができるように、目標設定や心身機能の維持方法、ADL の維持・向上の方策を検討しなければならないと思われる。

以上の背景のもと、今回在宅生活を送る右被殻出血により左片麻痺を呈した症例において、ADL を行う上で重要であり、またさらなる生活行動の拡大につながる基本動作としての STS 動作能力を脳機能との関係で模索することに着目した。本症例において、実際に行われている STS 動作の特徴、STS 動作が困難な原因と、脳画像や神経機能解剖学的分析から、STS 動作における問題点を明らかにしていくとともに、その問題点の解決に残存脳機能を活用することで、神経学的に改善可能か模索していく。

2. 右被殻出血により左片麻痺を呈し STS 動作に監視から介助を要した症例

2.1 症例紹介

基本情報

症例：60 歳代、女性。身長 155cm、体重 39.8kg。

診断名：右被殻出血。

現病歴：平成 X 年 Y 月 Z 日自宅トイレ掃除中に、左上下肢麻痺出現し I 病院へ救急搬送された。右被殻出血を認め、J 病院へ転送され保存的加療を行った。その後リハビリ目的にて L 病院へ転院。発症約 6 か月後に自宅退院となった。その後、訪問リハビリテーション開始となった。

合併症：特になし。

既往歴：40 歳代時に子宮脱、子宮全摘出。

家族状況：夫と 2 人暮らし。

投薬状況：プロピペリン塩酸塩、ランソプラゾール、カンデサルタン シレキセチル、酸化マグネシウム、アトルバスタチン、プロチゾラム。頓服でセンノシド。

血液検査：特記事項なし。

2.2 脳画像所見

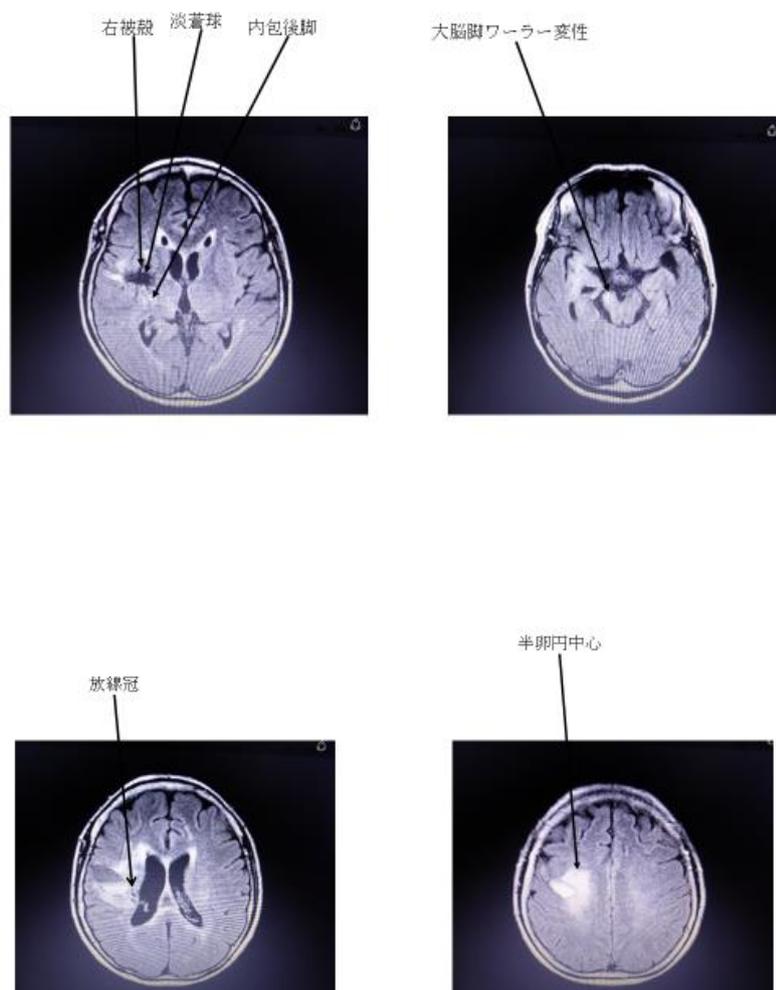


Figure 1. 脳画像所見

MRI FLAIR 画像にて、右被殻、淡蒼球に低信号、内包後脚に高信号、大脳脚にワラー変性、放線冠、半卵円中心に高信号を認める (Figure 1)。低信号を呈している部分は、出血後時間経過とともに血腫が吸収された部分であり、高信号の部位は、血腫や浮腫により圧迫を受けて虚血となった白質病変である¹⁴⁾。放線冠の画像では、特に下肢支配領域において淡い白質病変を呈しており、不完全な障害を受けていると考えられ下肢の運動麻痺は強くないと予想される。また、皮質網様体脊髓路の部分も同様に画像の色が淡く、不完全な傷害を受けていると考える。

2.3 STS 動作に係る検査・測定結果

Stroke Impairment Assessment Set (SIAS) : 41/76 点。運動機能について、麻痺側上肢は屈筋優位、下肢は伸筋優位である。他動運動にて麻痺側上下肢とも筋緊張は中等度亢進している。腱反射は麻痺側上下肢とも著明に亢進している。麻痺側足関節はクローススを認める。感覚は麻痺側上下肢とも軽度鈍麻である。関節可動域は、膝伸展位で麻痺側足関節背屈-10° である。体幹機能は、体幹の麻痺側への側屈を認めるが、指示にて修正可能で維持も可能である。

Brunnstrom stage (Br.stage) : 麻痺側上肢Ⅲ、下肢Ⅳ、手指Ⅱ。下肢は座位で足を床の後方に滑らせて、膝 90° 屈

曲可能、踵を床から離さずに随意的に足関節背屈は可動範囲に至らず不十分である。

Modified Ashworth Scale (MAS)：左上肢 1+、下肢 1+。膝屈伸時軽度の筋緊張亢進を認める。足関節は明らかな引っかかりがあり、可動域の 1/2 以下の範囲で若干の抵抗を認める。

触診による体幹の筋緊張は、麻痺側体幹に比べ非麻痺側体幹が軽度緊張低下を呈している。また触診にて麻痺側大殿筋は筋緊張低下を呈している。

Modified Tardieu Scale (MTS)：足関節にて、筋の反応の質 (X) 4 で持続するクローヌスを認める。筋の反応が生じる角度 (Y) R1 は-15°、R2 は-10° である。

腱反射：麻痺側上腕二頭筋、上腕三頭筋、膝蓋腱、アキレス腱は著明な亢進、腕橈骨筋は亢進を呈する。

他動運動による筋伸張検査：麻痺側上下肢は筋伸張時に抵抗を認め、痙縮を認める。麻痺側大殿筋の筋緊張低下を認める。

感覚検査：麻痺側上下肢触覚、位置覚軽度鈍麻、温痛覚軽度鈍麻、いずれも 8/10 程度。

関節可動域測定：Table 1 参照。

Table 1. 関節可動域測定

関節運動方向	右 (°)	左 (°)	関節運動方向	右 (°)	左 (°)
股関節屈曲	120	125	足関節背屈 (膝伸展位)	20	-10
伸展	15	10	(膝屈曲位)	20	-5
外転	30	25	底屈	45	45
内転	20	20			
外旋	35	45	体幹屈曲	45	
内旋	30	30	伸展	10	
膝関節屈曲	130	130			
伸展	0	0			

徒手筋力テスト：非麻痺側上下肢 4~5 で特に問題なし。麻痺側股関節屈曲は軽度抵抗に対して可能であるものの、著明なぎこちなさを認める。

Hand-Held Dynamometer (HHD)：股関節伸展を腹臥位にて膝屈曲位で行った。大殿筋の筋力は非麻痺側 0.08kgf/kg、麻痺側 0.03kgf/kg で、明らかに麻痺側の筋力低下を認める。

機能的バランスグレード：座位開眼 normal、閉眼 normal、立位開眼 fair、閉眼 fair。座位では、介助なしにバランスを保持できる。すべての方向に能動的に体重移動は可能であり、外乱に対しても対応が可能である。立位では、介助なしで保持可能である。しかし、非麻痺側への体重移動や外乱を加えた際に、非麻痺側下肢で支持し麻痺側体幹は側屈し、頸部・体幹の立ち直り反応がみられバランス保持できるが、麻痺側への体重移動や外乱を加えた際には、非麻痺側への頸部・体幹の立ち直りは見られるものの不十分で、麻痺側股関節の動揺も見られバランス保持できず麻痺側へ転倒してしまう。

Berg balance scale (BBS)：25/56 点。座位からの立ち上がりは手を使用して行える。立位バランスが低下しており、保持や移乗動作の方向転換時には麻痺側へ転倒する傾向にあるため言語指示や監視が必要。

片麻痺の頸・体幹・骨盤帯運動機能検査法：V。背臥位で健側下肢を挙上し、患側下肢でブリッジすることが可能。立ち直り反応：座位にて外乱に対し頸部・体幹の立ち直り反応はみられる。麻痺側から非麻痺側への立ち直りの方が、非麻痺側から麻痺側に比べやや行にくい状態である。

Functional Independence Measure (FIM)：95/126 点。移乗動作は、手すりを使用し動的バランスが麻痺側後方に低下しており監視が必要。自宅内では歩行し、SHB (shoe horn brace；シューホーンブレース) 装着、四脚杖使用にて最小介助が必要である。自宅外での移動は車椅子を使用している。階段昇降は行っていない。認知項目では問題はない。

2.4 STS 動作のクリニカルイベントの特徴

座位時の機能的準備姿勢では、重心は非麻痺側骨盤に偏倚し坐骨結節に荷重しており、麻痺側下肢の荷重は減少している。骨盤はやや後傾位で肩甲帯は下制し体幹は麻痺側側屈位で側屈角度は 5° である (Figure 2)。この呈している姿勢の理由は、麻痺側体幹に比べ非麻痺側体幹の筋緊張は低下しており、筋緊張の高い麻痺側に引っ張

られて麻痺側へ側屈し、そのままだと重心が麻痺側へ偏倚してしまうため、重心を非麻痺側坐骨結節に荷重し、結果的に非麻痺側下肢に荷重しているからであると考えられる。両坐骨結節への荷重と骨盤と脊柱が一塊となった脊柱のニュートラルアライメントが崩れている（Figure 3）。立ち直りは、頸部・体幹の立ち直り反応は見られるが、麻痺側から非麻痺側への立ち直りの方が、非麻痺側から麻痺側に比べやや行いにくい状態である。



Figure 2. 座位時の機能的準備姿勢
正面

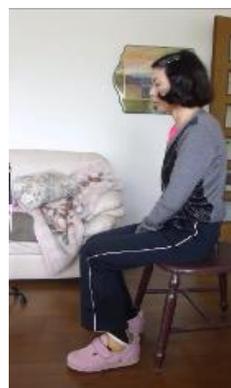


Figure 3. 座位時の機能的準備姿勢
側面

重心の前方移動メカニズムでは、上部胸郭屈曲による体幹前傾は可能であるものの、麻痺側骨盤を後方回旋し体幹を麻痺側へ捻じりながら前傾するため、非麻痺側骨盤は前傾するものの麻痺側骨盤は前傾が不十分な状態で動作を行っている（Figure 4）。この原因は、麻痺側大殿筋の筋力低下と筋緊張が低下しているため下部体幹が安定して運動が伝達できない状態であるためと考える。そのため、非麻痺側下肢への荷重が中心となっている。また、左右体幹筋の筋緊張がアンバランスを呈しており動的安定性の低下がみられる。



Figure 4. 重心の前方移動メカニズム

下部体幹の運動伝達では、重心移動は体幹前傾により行われているが、骨盤前傾が不十分で非麻痺側下肢中心の荷重である。本来骨盤を股関節軸で回転させて前傾するが、本症例の場合麻痺側骨盤を後方回旋、体幹を麻痺側へ捻じりながら前傾するため、非麻痺側骨盤は前傾するものの麻痺側骨盤は前傾が不十分な状態で動作を行っている（Figure 5）。また、麻痺側大殿筋の筋力低下と筋緊張が低下しているため下部体幹が安定して運動が伝達できない状態であり、前方へ加速した身体重心にブレーキをかける働きが十分に行えないため¹⁵⁾、結果的に骨盤前傾が十分にはできない¹⁶⁾（Figure 6）。触診により麻痺側大殿筋の筋緊張低下を認め、またHHDにおいて、股関節伸展は非麻痺側0.08kgf/kg、麻痺側0.03kgf/kgである。藤井ら¹⁷⁾によると、施設通所高齢者を対象とした研究では、ADL（立ち座り動作、トイレ動作、入浴動作）の自立基準値として、股関節伸展筋力は0.14kgf/kgと示されており、この基準から考えると本症例は明らかに麻痺側大殿筋の筋力低下を呈している。



Figure 5. 下部体幹の運動伝達
正面



Figure 6. 下部体幹の運動伝達
側面

離殿メカニズムでは、重心移動は手前に引いている非麻痺側前足部を中心に行い、麻痺側下肢への重心移動が不十分なまま体幹前傾を強めて、非麻痺側手掌で座面を押して前方への重心移動を補助し離殿している。この際、上述したように骨盤前傾が不十分で非麻痺側下肢を中心とした STS 動作が観察される。離殿時、大殿筋筋力低下により麻痺側股関節が内転・内旋し、大内転筋、長・短内転筋による代償動作¹⁸⁾が生じている (Figure 7、Figure 8)。



Figure 7. 離殿メカニズム
正面



Figure 8. 離殿メカニズム
側面

重心の上方移動メカニズムでは、体幹は麻痺側側屈位を呈しながら非麻痺側下肢を中心にして重心は上方移動するが、徐々に麻痺側下肢への荷重がみられる (Figure 9、Figure 10)。立位保持姿勢は、体幹の抗重力伸展活動は認めるものの不十分で、麻痺側膝関節の軽度屈曲を認め、非麻痺側下肢を中心として荷重している (Figure 11、Figure 12)。



Figure 9. 重心の上方移動メカニズム
正面

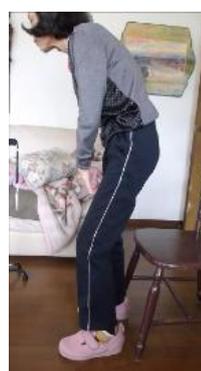


Figure 10. 重心の上方移動メカニズム
側面



Figure 11. 立位保持
正面

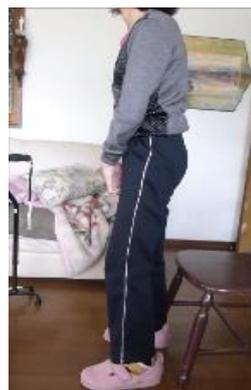


Figure 12. 立位保持
側面

2.5 STS 動作困難な運動学的・運動力学的原因

本症例の STS 動作を困難にする運動学的・運動力学的分析により、座位姿勢においては触診により麻痺側体幹に比べ非麻痺側体幹の筋緊張が低下しており、体幹の麻痺側への側屈と立ち直り反応の左右差を認めること、重心前方移動時には、麻痺側体幹に比べ非麻痺側体幹の筋緊張低下を認め動的安定性低下がみられること、重心前方移動時と下部体幹の運動伝達時には、麻痺側大殿筋の筋力低下と筋緊張が低下しているため下部体幹が安定して運動が伝達できない状態で、前方へ加速した身体重心にブレーキをかける働きが十分に行えない¹⁵⁾ため、結果的に骨盤前傾が不十分なこと¹⁶⁾、離殿時には両前足部への重心移動が不十分で、特に麻痺側下肢荷重量が不十分で、また大殿筋の筋力低下により股関節内転・内旋を認めること、重心の上方移動時には、体幹筋緊張のアンバランスのため側屈しながら行うことが STS 動作の阻害因子となっている。

以下に、本症例の STS 動作困難な運動学的・運動力学的原因を列挙する。

- (1)非麻痺側体幹の筋緊張低下による動的安定性低下と体幹の麻痺側への側屈、立ち直り反応の左右差
- (2)麻痺側大殿筋の筋力低下、筋緊張低下による骨盤前傾不十分、離殿時の麻痺側大殿筋の筋力低下による麻痺側股関節内転・内旋

2.6 STS 動作困難な運動学的・運動力学的原因に対する神経機能解剖学的分析

2.6.1 非麻痺側体幹筋緊張低下による動的安定性低下と体幹の麻痺側への側屈、立ち直り反応の左右差に対する神経機能解剖学的分析

座位時に、触診にて非麻痺側体幹筋緊張が麻痺側に比べ低下しており、麻痺側へ 5°側屈している。重心は非麻痺側に偏倚し非麻痺側坐骨結節中心に荷重している。麻痺側骨盤に体重負荷を行うと大殿筋の筋緊張低下により体重負荷が行えない。非麻痺側骨盤では体重負荷は十分可能である。

本症例の筋緊張異常をもたらす脳傷害は、右被殻の損傷、血腫の穿破による内包後脚（皮質脊髓路）の損傷である。皮質脊髓路の損傷は、麻痺側の随意運動低下や深部反射亢進などに影響するが¹⁹⁾²⁰⁾、姿勢保持等の不随意の筋緊張には影響を及ぼさない。そのため、非麻痺側体幹筋緊張が麻痺側に比べ低下している原因は右被殻の損傷であると考えられる。

本症例の MRI 画像（Figure 1）で右被殻部の細胞が死滅し脱落している部分と正常な部分が窺える。「線条体（被殻）に対して、黒質緻密部は黒質線条体路を投射する²¹⁾」が、この経路は、「直接路の起始ニューロンに対して興奮性、間接路の起始ニューロンに対して抑制性である²¹⁾」（Figure 13）。本症例では黒質緻密部は正常であるため通常に比べ線条体でのドーパミン量は相対的に過剰となる。そのため、直接路では脱抑制が強まりさらに興奮し、間接路では抑制が強まり、結果視床の活動が活発となり、大脳皮質の活動が活性化する。そして、皮質橋網様体脊髓路も興奮するが、抑制性介入ニューロンを介しているため強い興奮抑制が生じ、筋紡錘核鎖線維が興奮しなくなり筋緊張が低下する。皮質橋網様体脊髓路は同側性支配²²⁾であるため、非麻痺側体幹の筋緊張が低下する。麻痺側体幹の筋緊張は、非傷害脳からの支配となるため正常となる（Figure 14）。以上のことから、左右体幹の筋緊張のアンバランスを生じ動的安定性が低下するとともに、麻痺側への体幹側屈を認める。また、皮質橋網様体脊髓路の影響により左右体幹の筋緊張の差から立ち直りに左右差を生じ麻痺側から非麻痺側への立ち直り反応の

乏しさを認める。麻痺側体幹側屈の状態のまま麻痺側骨盤に重心を移動すると、麻痺側骨盤で支持できず転倒の可能性があるため、重心を非麻痺側坐骨結節に移動しバランスをとっている。

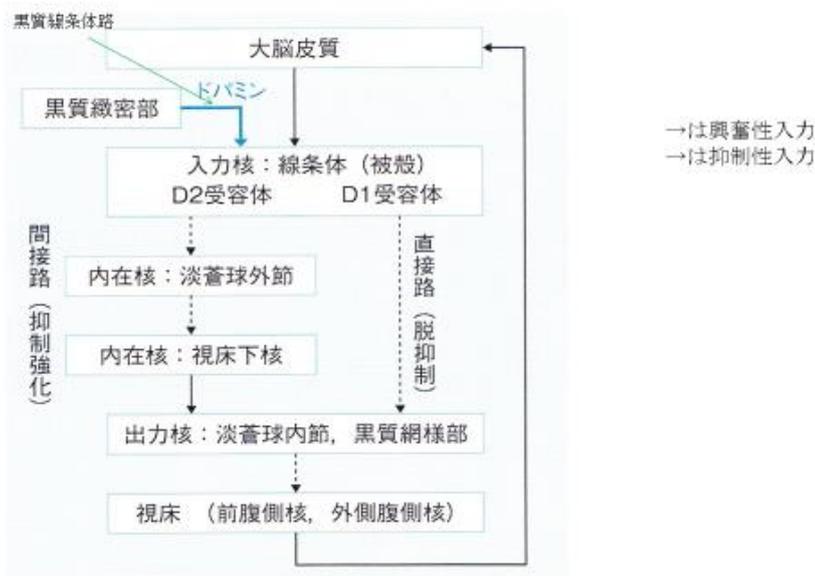


Figure 13. 運動ループに対するドパミンの影響²¹⁾（文献 21 を改変）

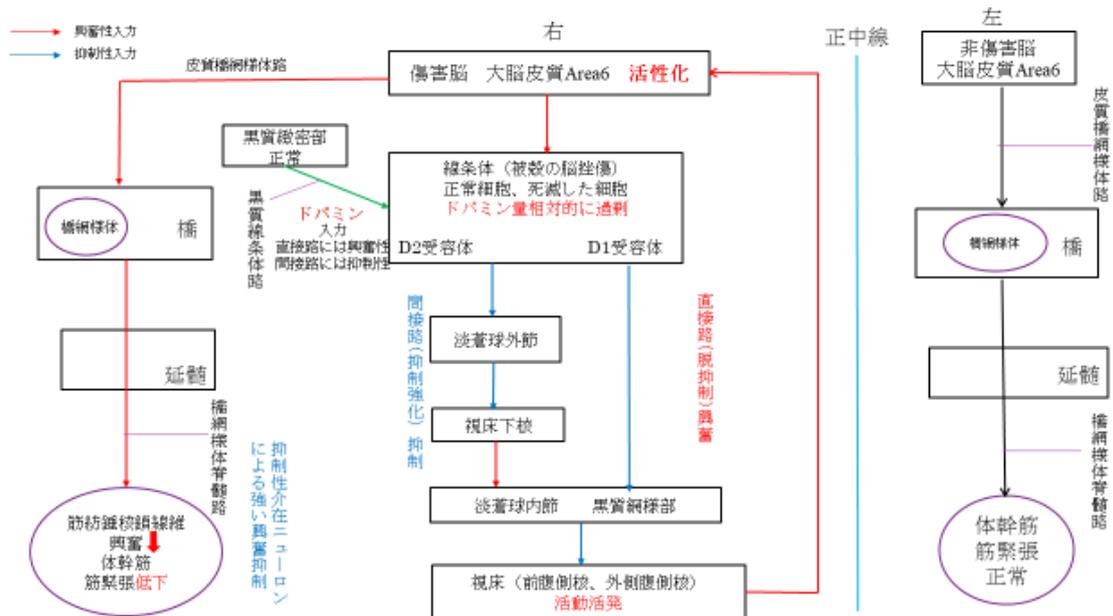


Figure 14. 非麻痺側体幹筋緊張低下による動的安定性低下と体幹の麻痺側への側屈、立ち直り反応の左右差に対する神経機能解剖学的分析

2.6.2 麻痺側大殿筋の筋力低下、筋緊張低下による骨盤前傾不十分、離殿時の麻痺側大殿筋の筋力低下による麻痺側股関節内転・内旋に対する神経機能解剖学的分析

重心前方移動時と下部体幹の運動伝達時に体幹を過剰に前傾し、骨盤前傾が不十分であるため離殿時に手掌で座面を押して STS 動作を行っている。また、麻痺側骨盤を後方回旋し体幹を麻痺側へ捻じりながら前傾するため、非麻痺側骨盤は前傾するものの麻痺側骨盤は前傾が不十分な状態で動作を行っている。この原因として考えられるのは、非麻痺側股関節周囲の筋緊張は正常で他動運動が可能、麻痺側大殿筋は触診で筋緊張低下を呈し、両股

関節屈曲角度には問題はなく痙縮による筋緊張亢進により生じているものではないことから、大殿筋筋力低下と筋緊張低下により下部体幹が安定して運動が伝達できない状態であり、前方へ加速した身体重心にブレーキをかける働きが十分に行えないため¹⁵⁾結果的に骨盤前傾が十分行えない¹⁶⁾と考える。HHDにおいても麻痺側股関節伸展は著しく低値を示しており、大殿筋の筋力低下が考えられる。また、離殿直後に麻痺側大殿筋の筋力低下により、大内転筋、長・短内転筋による代償動作¹⁸⁾が生じ股関節内転・内旋を認め、非麻痺側下肢を中心として荷重している。被殻出血による影響で、大脳皮質の活動が活性化し、皮質延髄網様体脊髓路も興奮するが、抑制性介在ニューロンを介しているため強い興奮抑制が生じ、麻痺側上下肢筋は、皮質脊髓路傷害の影響で腱反射は亢進しているが結果的に筋緊張は低下する。そのため、麻痺側大殿筋は筋緊張低下を呈する。麻痺側大殿筋は筋緊張低下を呈するが、麻痺側膝関節周囲の筋緊張は軽度亢進、足関節は亢進している。この理由は、皮質延髄網様体脊髓路は対側上下肢近位筋を主に支配している²²⁾ためである（Figure 15）。

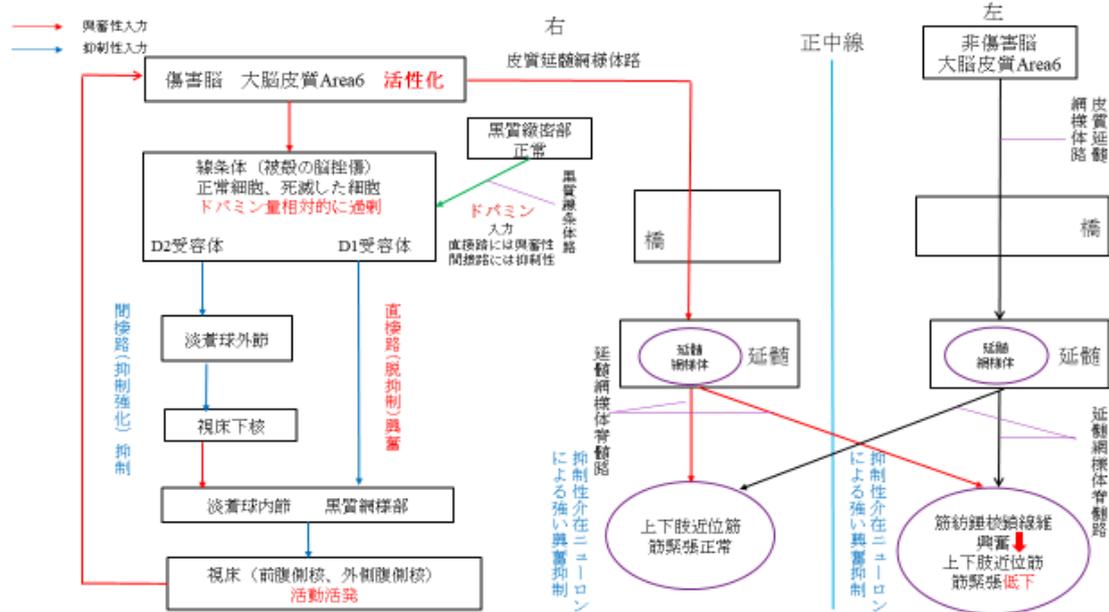


Figure 15. 麻痺側大殿筋の筋力低下、筋緊張低下による骨盤前傾不十分、離殿時の麻痺側大殿筋の筋力低下による麻痺側股関節内転・内旋に対する神経機能解剖学的分析

2.7 STS 動作困難な運動学的・運動力学的原因に対する機能予後

2.7.1 非麻痺側体幹筋緊張低下による動的安定性低下と体幹の麻痺側への側屈、立ち直り反応の左右差の機能予後

非麻痺側体幹の筋緊張低下は、右被殻出血により皮質橋網様体脊髓路に強い興奮と末梢の抑制が生じているために起こっている。橋網様体脊髓路は対側の小脳室頂核と連絡している²³⁾。前庭器からの情報は、前庭神経核—非傷害脳片葉小節葉—小脳虫部プルキンエ細胞—非傷害脳室頂核—交叉性室頂核網様体線維—傷害脳橋網様体脊髓路に至っている²⁴⁾。この経路を賦活し、前庭神経による平衡感覚を使用して反射的に筋収縮させ、非麻痺側体幹の筋緊張低下の改善を図ることで、左右体幹の筋緊張アンバランス改善と麻痺側への体幹側屈、立ち直り反応の左右差が改善されるのではないかと考える（Figure 16）。また、非傷害脳の皮質脊髓路を賦活することで、随意運動により非麻痺側体幹筋を収縮させることが可能である。これを自動化するためには傷害されていない小脳大三角形²⁵⁾、小三角形²⁶⁾、歯状核視床皮質路²³⁾を介することにより運動学習する必要がある。つまり、バランスを崩す際に半無意識的に体幹筋を収縮させることが望まれる。小脳大三角形や歯状核視床皮質路では、「皮質脊髓路を介して運動野より脊髄に伝えられる運動指令のコピーを計算機としての小脳に送り、計算結果を再び運動野に戻すことにより随意運動を円滑に行う機能があると考えられる²⁵⁾」とされており、また、小三角形は小脳を介して運動の調整を行っていると考えられている²⁶⁾。それにより運動の誤差が小脳で検出され、最終的に大脳皮質で運動の修正が図られている。長谷²⁷⁾は論文の中で、Kawato らが「誤差を学習した結果、小脳には適切な運動指令、いわゆる内部モデルが形成されて、意図した運動を素早く正確に達成するための予測制御を実現している²⁷⁾」と述

べているとしている。そして、運動経験から環境に適応するようになり運動学習が起こり自動化となる (Figure 17)。

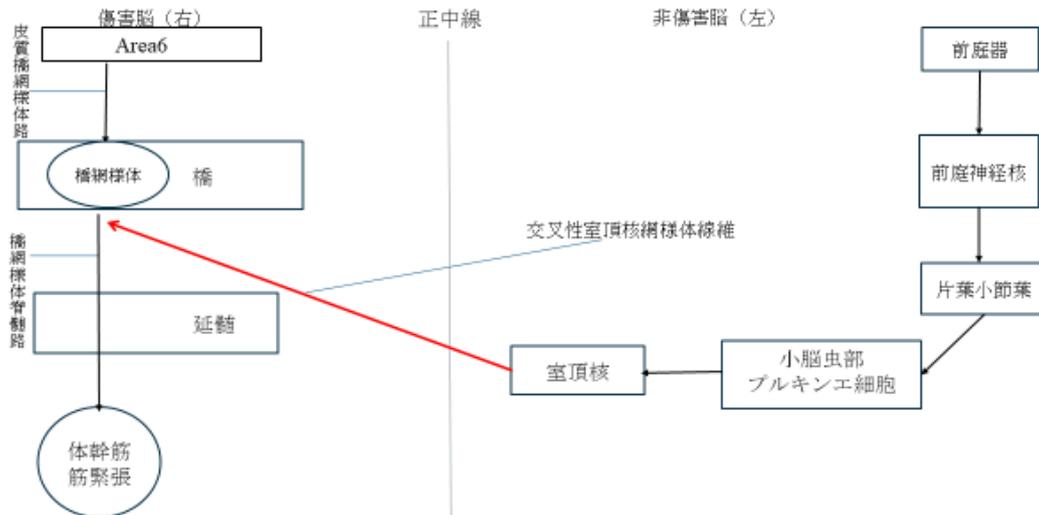


Figure 16. 非麻痺側体幹筋緊張低下による動的安定性低下と体幹の麻痺側への側屈、立ち直り反応の左右差の機能予後（前庭神経による平衡感覚を使用）

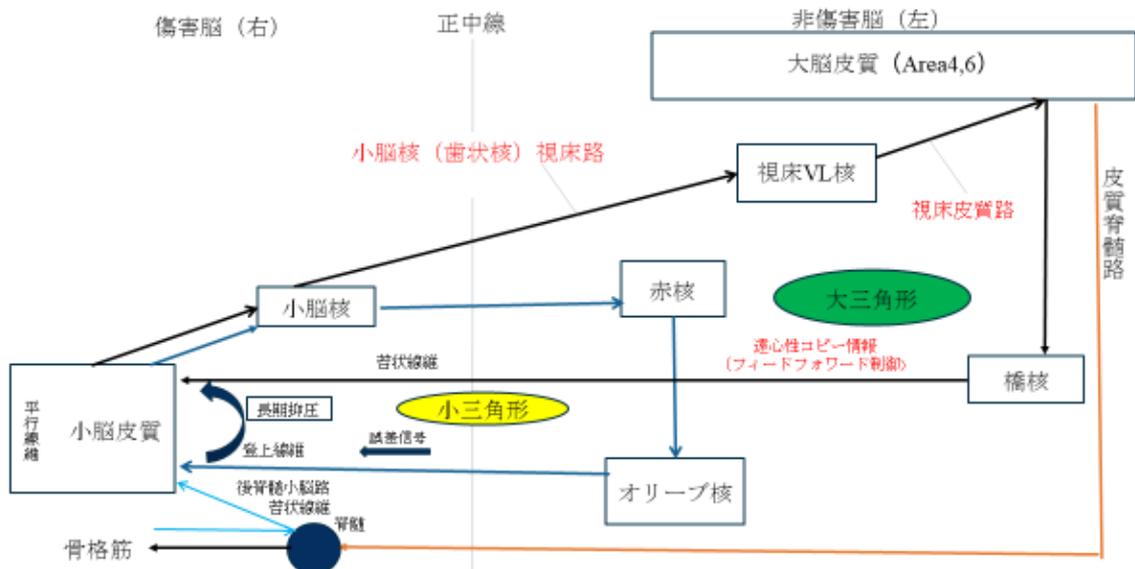


Figure 17. 非麻痺側体幹筋緊張低下による動的安定性低下と体幹の麻痺側への側屈、立ち直り反応の左右差の機能予後（非傷害脳皮質脊髓路の賦活）

2.7.2 麻痺側大殿筋の筋力低下、筋緊張低下による骨盤前傾不十分、離殿時の麻痺側大殿筋の筋力低下による麻痺側股関節内転・内旋の機能予後

外側前庭脊髓路は、外側前庭神経核から起始し同側を下行して伸筋を支配する運動ニューロンに興奮性にシナプス接続する²²⁾。立位でのリーチ動作や両膝立ちを行い大殿筋に荷重し、前庭神経による平衡感覚を使用して反射的に大殿筋を収縮させることが可能であると考えられる。股関節伸展筋である大殿筋は、前庭神経核-非傷害脳片

葉小節葉－小脳虫部プルキンエ細胞－非傷害脳室頂核－非交叉性室頂核前庭線維－非傷害脳前庭神経核－外側前庭脊髓路の経路²³⁾を賦活することで筋緊張改善が図れるものと考え（Figure 18）。

また、麻痺側下肢の Br.stage はIVであり、分離運動が出現してきている。本症例の場合、ブリッジ運動が足部を固定することで可能であり、随意収縮を行うことで大殿筋の筋力改善が図れると考える。それにより、大殿筋の筋力低下を改善し重心移動時に骨盤前傾方法を指導することにより、立ち上がり時の重心移動と離殿直後の股関節内転・内旋は改善してくるものと考え。

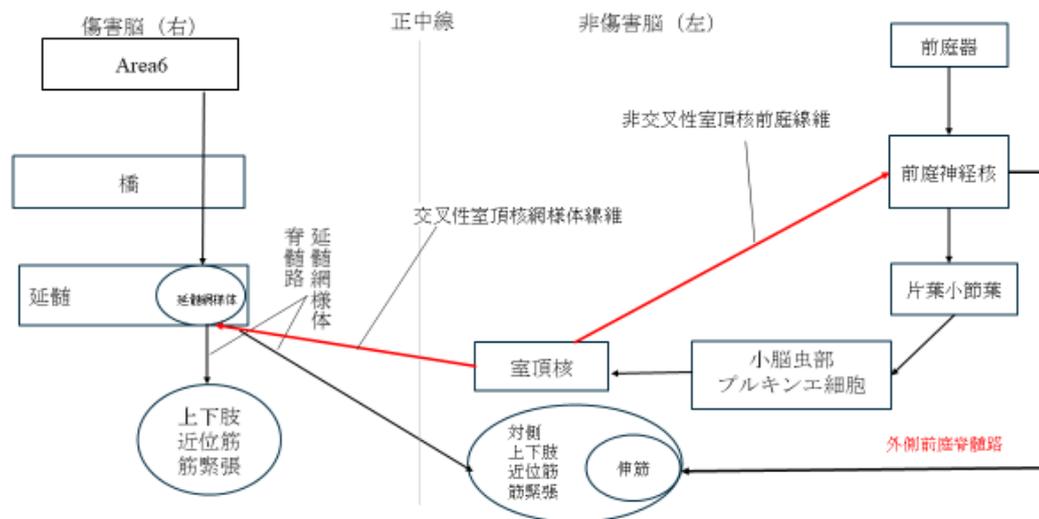


Figure 18. 麻痺側大殿筋の筋力低下、筋緊張低下による骨盤前傾不十分、離殿時の麻痺側大殿筋の筋力低下による麻痺側股関節内転・内旋の機能予後

2.8 STS 動作困難な運動学的・運動力学的原因を打開する理学療法理論

2.8.1 非麻痺側体幹の筋緊張低下による動的安定性低下と体幹の麻痺側への側屈、立ち直り反応の左右差を打開する理学療法理論

非麻痺側体幹の筋緊張低下を改善するためには、前庭神経による平衡感覚²⁴⁾を使用して反射的に収縮させることが考えられるが、これは無意識のうち非麻痺側体幹筋を収縮させ運動学習理論の応用が必要である。つまり、前庭神経による平衡感覚を使用して、前庭器－前庭神経核－非傷害脳片葉小節葉－小脳虫部プルキンエ細胞－非傷害脳室頂核－交叉性室頂核網様体線維－傷害脳橋網様体脊髓路の経路²⁴⁾を賦活することである。具体的には、体幹前傾運動、体幹左右回旋運動を行い、姿勢変化に伴う立ち直り反応や平衡反応等の姿勢反射により抗重力姿勢コントロールを行うことで、無意識下で非麻痺側体幹筋の収縮を促し非麻痺側体幹の筋緊張低下と体幹の麻痺側への側屈改善につなげる（Figure 19）。運動学習には、認知段階、連合段階、自動化段階があり²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾、動的バランス練習時に口頭指示や介助による外在的フィードバックを行うことで、運動課題を十分に認識させ動機付けを行うことで座位時の姿勢を認識させることが可能であると考え。また、体幹筋の運動を無意識下で行うために平衡感覚を利用し座位にて前方、左右にリーチ動作を行う（Figure 20）。座位におけるリーチ動作により、「ウエイトシフトトレーニングが、慢性脳卒中片麻痺患者の体幹のコントロール、固有感覚、バランスを向上させる」と Kyoungsim Jung ら³¹⁾は述べており、伊藤ら³²⁾はリーチ方向と反対側の体幹筋が収縮するとしている。つまり、リーチ動作を行うことで、体幹筋活動が誘発され左右体幹筋のアンバランスを改善し姿勢改善と動的座位バランスが向上する³³⁾³⁴⁾。

また、本症例は左右に外乱刺激を加えると頸部、体幹の立ち直り反応がみられるが麻痺側から非麻痺側への立ち直りの方が、非麻痺側から麻痺側に比べやや行いにくい状態である。座位での外乱刺激により、非傷害脳皮質脊髓路を賦活した随意的な立ち直りを誘発して³⁵⁾体幹筋の筋収縮を促すことで、筋緊張のアンバランスが改善できると考えられる。これは、誤差検出・修正理論という運動学習³³⁾を取り入れたものである。外乱による立ち直

りを誘発する中で、上下肢での代償動作を防ぎ求めるべき非麻痺側の体幹筋収縮を得るために骨盤に対して外乱を加える（Figure 21）。



Figure 19. 両上肢を組んでの体幹前傾、左右体幹回旋



Figure 20. 座位での左右リーチ動作

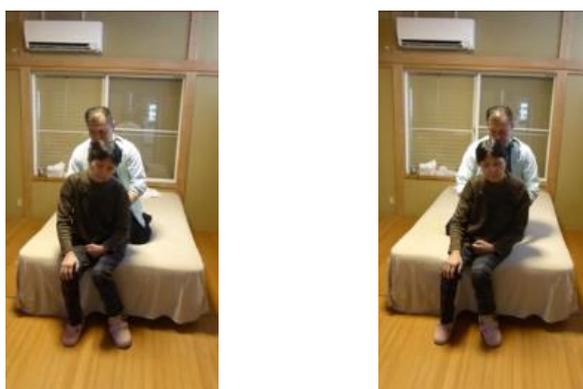


Figure 21. 骨盤帯に対する座位での外乱刺激

2.8.2 麻痺側大殿筋の筋力低下、筋緊張低下による骨盤前傾不十分、離殿時の麻痺側大殿筋の筋力低下による麻痺側股関節内転・内旋を打開する理学療法理論

前庭神経核は外側前庭脊髄路と連絡している。外側前庭脊髄路は、同側の脊髄を下行し、伸筋運動ニューロンの促通の働きがある²²⁾。したがって、前庭神経核－非傷害脳片葉小節葉－小脳虫部プルキンエ細胞－非傷害脳室頂核－非交叉性室頂核前庭線維－非傷害脳前庭神経核－外側前庭脊髄路の経路²³⁾を賦活することで、股関節伸筋である麻痺側大殿筋の筋緊張を改善することができる²⁴⁾と考える。前庭器官からの情報や視覚、固有感覚情報等を使用して反射的に身体バランスを保つ³⁶⁾ことが可能と考える。具体的には、立位で前方や左右へのリーチ動作（Figure 22）、両膝立ち位での体重負荷を行う（Figure 23）。兵頭ら³⁷⁾は、股関節屈曲と骨盤を後退する動作を行わ

せない形での立位での前方リーチ動作は、大殿筋の筋活動の割合が高いとしている。この理学療法は、運動学習の認知段階であり、動的バランス練習時に口頭指示や介助による外在的フィードバックを行うことで、運動課題を十分に認識させ動機付けを行い立位時の姿勢を認識させることが可能であると考えられる。

さらに、ブリッジ運動にて麻痺側大殿筋の随意運動を行うことで、麻痺側大殿筋の筋力改善を図る³⁸⁾ (Figure 24、Figure 25)。

高橋ら³⁹⁾は、脳卒中片麻痺患者が STS 動作を行う際、麻痺側股関節伸展筋の筋収縮が不十分なため股関節伸展運動が得られない場合、骨盤の後退を認め、動作の障害因子となることが多いとされている。その状態を改善するためのトレーニングの一つとして、臨床においては、麻痺側股関節伸展運動の促通や支持性の獲得を目的としたブリッジ運動が用いられるとしている³⁹⁾。さらに高橋ら⁴⁰⁾は、ブリッジ運動は股関節屈曲位から伸展させる運動であるため、ハムストリングスや脊柱起立筋と同様に大殿筋の筋活動が得られる動作であるとしている。そのため、具体的には、背臥位にてブリッジ動作を行うこととする。大殿筋の筋力改善に伴い、離殿直後の麻痺側股関節内転・内旋は改善され、STS 動作が改善されるものと考えられる。



Figure 22. 立位での前方、左右へのリーチ動作



Figure 23. 両膝立ち



Figure 24. 両下肢支持でのブリッジ動作



Figure 25. 麻痺側下肢支持でのブリッジ動作

2.8.3 STS 動作の課題指向的アプローチ

2.8.1、2.8.2 の理学療法理論で、STS 動作における各クリニカルイベントでの問題点は機能レベルで解決すると

考える。しかし、それが実際の STS 動作において活かされなければならない。課題指向的アプローチは、運動学習理論を基盤としたアプローチで、要求される運動課題そのものの学習を行うトレーニング方法で、合目的である、適切な難易度の課題である、さまざまな条件下での反復である、フィードバックが得られる等の性質が求められる⁴⁾。本症例において 2.8.1、2.8.2 で機能レベルの改善を図り、課題指向的アプローチの性質を活かしながら STS 動作を反復して行うことで改善すると考える。

2.9 効果と結果

2.9.1 非麻痺側体幹の筋緊張低下による動的安定性低下と体幹の麻痺側への側屈、立ち直り反応の左右差を打開する理学療法の効果と結果

約 7 カ月、計 55 日間、1 日あたり 10 分間～15 分間実施した。非麻痺側体幹の筋緊張低下による動的安定性低下と体幹の麻痺側への側屈を改善するために、無意識下で非麻痺側体幹筋の筋収縮を促した。具体的には、前庭神経による平衡感覚を使用し、座位にて両上肢を組んでの体幹前傾運動、左右回旋運動、左右リーチ動作の各動作を 10 回実施した。また、非傷害脳皮質脊髄路を賦活した随意的な立ち直りを誘発して体幹筋の筋収縮を促すために、骨盤帯に対する左右への外乱刺激による座位バランス練習を 10 回実施した。結果、非麻痺側体幹の筋緊張低下は改善し、座位姿勢は骨盤軽度後傾位と麻痺側体幹側屈が改善し両坐骨結節への荷重が可能となった (Figure 26)。また立ち直り反応は、麻痺側から非麻痺側への立ち直り反応の乏しさも改善した。また、両坐骨結節への荷重と骨盤と脊柱が一塊となった脊柱のニュートラルアライメントが改善した (Figure 27)。

改善の理由は、前庭器－前庭神経核－非傷害脳片葉小節葉－小脳虫部プルキンエ細胞－非傷害脳室頂核－交叉性室頂核網様体線維－傷害脳橋網様体脊髄路の経路²⁴⁾が賦活されたためであると考えられる。



Figure 26. 理学療法実施後
座位時の機能的準備姿勢正面



Figure 27. 理学療法実施後
座位時の機能的準備姿勢側面

2.9.2 麻痺側大殿筋の筋力低下、筋緊張低下による骨盤前傾不十分、離殿時の麻痺側大殿筋の筋力低下による麻痺側股関節内転・内旋を打開する理学療法の効果と結果

3 か月間、計 23 日間実施した。具体的には、立位での前方、左右へのリーチ動作を各 10 回、両膝立ちを 3 回、両下肢支持でのブリッジ動作、麻痺側下肢支持でのブリッジ動作を各 10 回、計 10 分間実施した。重心前方移動時と下部体幹の運動伝達時に麻痺側骨盤は後方回旋せず体幹は真っすぐ前傾し、骨盤の前傾も十分行え、両足部への重心移動が十分行えるようになった (Figure 28、Figure 29、Figure 30)。離殿時は、両前足部へ重心が移動し、麻痺側下肢への荷重量が増加し、股関節内転・内旋現象は軽減した (Figure 31、Figure 32)。重心の上方移動時は、体幹の左右筋緊張のアンバランスが改善したため側屈しながら行うことがほぼみられなくなった (Figure 33、Figure 34)。立位姿勢も体幹の十分な抗重力伸展活動がみられ、麻痺側膝関節の軽度屈曲も改善し、非麻痺側下肢中心の荷重から麻痺側下肢への荷重量が増加した (Figure 35、Figure 36)。麻痺側大殿筋の触診による筋緊張は改善してきており、筋力は HHD による測定で 0.05kgf/kg となり改善した。筋緊張の改善は、前庭神経核－非傷害脳片葉小節葉－小脳虫部プルキンエ細胞－非傷害脳室頂核－非交叉性室頂核前庭線維－非傷害脳前庭神経核－外側前庭脊髄路の経路²³⁾が賦活されたためであると考えられる。



Figure 28. 理学療法実施後
重心の前方移動メカニズム



Figure 29. 理学療法実施後
下部体幹の運動伝達正面



Figure 30. 理学療法実施後
下部体幹の運動伝達側面



Figure 31. 理学療法実施後
離殿メカニズム正面



Figure 32. 理学療法実施後
離殿メカニズム側面



Figure 33. 理学療法実施後
重心の上方移動メカニズム正面



Figure 34. 理学療法実施後
重心の上方移動メカニズム側面



Figure 35. 理学療法実施後
立位保持正面



Figure 36. 理学療法実施後
立位保持側面

2.9.3 STS 動作の課題指向的アプローチの効果と結果

3 か月間、計 23 日間実施した。STS 動作を座面の高さ条件を変えて、ベッド（高さ 44.5cm）、車椅子（高さ 42cm）、椅子（高さ 41cm）、ソファ（高さ 34cm）で行い、各 STS 動作を 3 回、計 10 分間実施した（Figure 37、Figure 38、Figure 39、Figure 40）。また、手掌で座面を押す場合と押さない場合で行った。これは、学習の転移を利用して、運動学習を行いやすくすることができる可能性があるとする⁴²⁾。

麻痺側下肢を手前に引き、両下肢を広げ支持基底面を確保して、体幹の十分な前傾を行い、両前足部への重心移動を行った。その後足圧中心点を支持基底面前方に移動させ、麻痺側体幹が後方回旋しないようゆっくりと STS 動作を行った。その際、麻痺側下肢が手前に引かれていない場合、体幹前傾が不十分であり前足部へ重心移動が不十分な場合、体幹が真っすぐ前傾しない場合、移動スピードが速い場合に口頭で注意し対象者に認知させた。

その結果、重心前方移動時と下部体幹の運動伝達時に麻痺側骨盤は後方回旋せず体幹は真っすぐ前傾し、骨盤の前傾も十分行えるようになり、離殿時には、麻痺側下肢への荷重量が増加し、股関節内転・内旋現象は軽減した。重心の上方移動時は、体幹側屈がほぼ消失し、立位姿勢は体幹の十分な抗重力伸展活動がみられ、麻痺側膝関節の軽度屈曲も改善し、麻痺側下肢への荷重量が増加した。



Figure 37. ベッドからの STS 動作



Figure 38. 車椅子からの STS 動作



Figure 39. 椅子からの STS 動作



Figure 40. ソファからの STS 動作

3. STS 動作獲得のための着眼点

STS 動作獲得のための着眼点として、STS 動作における各クリニカルイベントの分析を十分に行うことが重要である。座位時の機能的準備姿勢においては、座位姿勢はこれから立ち上がるための身体的準備の状態であり、このアライメントによって下肢筋群の活動が決定されて、体幹の前傾のさせ方に変化が生じることになる。STS 動作に望ましい座位アライメントとは、身体的準備の状態のとれた坐骨結節荷重と骨盤と脊柱が一塊となった脊柱のニュートラルアライメント¹⁵⁾であり、このアライメントに着眼する必要がある。このアライメントが崩れている場合の原因の主たるものが、本症例の場合、体幹の筋緊張のアンバランスであると考えられる。それにより、体幹の麻痺側への側屈や立ち直り反応の左右差を認め、前方への重心移動時には動的安定性低下が生じることになると考えられる。

また、本症例において麻痺側大殿筋の筋力・筋緊張低下を呈していた。このことにより、STS 動作において下部体幹が安定して運動が伝達できない状態となり、前方へ加速した身体重心にブレーキをかける働きが十分に行えないため、結果的に骨盤前傾が不十分であった。また、離殿時には両前足部への重心移動が不十分で、特に麻痺側下肢の荷重量が不十分であり、大殿筋の筋力低下により股関節内転・内旋を認めた。つまり、STS 動作獲得のためには麻痺側大殿筋に着目する必要があると考えられる。

以上より、STS 動作困難な原因の中で、改善できるものに対して機能レベルで改善を図るとともに、それらを実際の STS 動作の中で発揮するために、課題指向的アプローチをその特徴に合わせて行い運動学習を図ることで、STS 動作獲得を図ることが重要な点であり着眼点であるが、そのためには STS 動作を阻害している因子や残存脳機能の神経メカニズムについて、各症例の脳画像を神経機能解剖学的に分析することが重要であり不可欠であると考えられる。

4. 在宅脳損傷者の STS 動作獲得の可能性

今回、在宅生活を送る右被殻出血により左片麻痺を呈した症例を対象に STS 動作能力の改善を図った。そのために STS 動作を各クリニカルイベントにおいて分析し、STS 動作を困難にしている要素を明らかにし、また、脳画像から神経機能解剖学的分析を行った。それにより、STS 動作にとって体幹機能と大殿筋の改善がいかに重要であるかの知見を得た。体幹機能の改善策として、前庭神経による平衡感覚を使用して反射的に筋収縮させることで、筋緊張低下を呈している体幹機能の改善を図ることが可能と考えられた。つまり、前庭器—前庭神経核—非傷害脳片葉小節葉—小脳虫部プルキンエ細胞—非傷害脳室頂核—交叉性室頂核網様体線維—傷害脳橋網様体脊髄路の経路²⁴⁾を賦活することで、非麻痺側体幹の筋緊張低下の改善を図り、それにより各クリニカルイベントにおける問題点が改善した。

また、大殿筋の筋緊張に対する改善策として、前庭器官からの情報や視覚、固有感覚情報等を使用し反射的に身体バランスを保つ³⁶⁾ことが可能と考えられ、具体的には前庭神経核—非傷害脳片葉小節葉—小脳虫部プルキンエ細胞—非傷害脳室頂核—非交叉性室頂核前庭線維—非傷害脳前庭神経核—外側前庭脊髄路の経路²³⁾を賦活することで、股関節伸筋である麻痺側大殿筋の筋緊張を改善することが可能と考えられ実施した。さらに、大殿筋の筋力改善には、ブリッジ運動にて麻痺側大殿筋の随意運動を行うことで、麻痺側大殿筋の筋力改善を図った³⁸⁾。これらにより、各クリニカルイベントで見られていた骨盤前傾不十分、麻痺側股関節内転・内旋が改善した。

さらに、機能障害の改善に対する理学療法を行うとともに、改善した機能を発揮するために実際の STS 動作の中で課題指向的アプローチを行い、STS 動作獲得を図ることができた。つまり、発症からの期間が経過している在宅生活を送る慢性期脳損傷者であっても、残存脳機能を用いることで二次的や代償ではなく、一次的に STS 動作を阻害している機能を改善することができ、STS 動作改善の可能性があるとということが症例を通して明らかになった。

現状では、在宅脳損傷者に対する訪問リハビリテーションにおいて、機能障害に対するアプローチは、障害の悪化を防止し現状を維持するために行われていることが多いと思われる。また、主眼は、在宅における ADL の獲得や介助量軽減を図るために、動作練習や代償的手段の活用におかれていると思われる。つまり、従来の訪問リハビリテーションにおける理学療法アプローチは、個々の機能障害に対症的に対応し、動作練習を行っていると考えられる。さらにゴールの設定や機能障害の改善、STS 等の動作障害の改善の見込みは、セラピストの経験等に基づかれ、そのためアプローチの目的が明確ではない部分があることは否めないのではないかと思われる。

しかし、在宅脳損傷者の STS 動作獲得の可能性を見出すためには、STS 動作を困難にしている要素を整理し、そしてその神経メカニズムを明らかにし、そこから評価項目を選択して実施することで、STS 動作障害を引き起こしていると思われる原因追究を図ることが重要である。また合わせて、脳画像に対して神経機能解剖学的分析を加えることにより、脳損傷部位を明らかにするとともに、残存脳機能を把握することで、改善可能な要素と改善できない要素を明らかにすることで、アプローチすべき機能障害が科学的に明確になり、具体的なアプローチが検討できると考える。科学的根拠に基づいたアプローチを行うことで、STS 動作改善という結果を導き出せるものと考えられる。そして、在宅生活を送る脳損傷者の本来行える STS 動作能力を引き出すことにつながると考える。

今回の研究を通して、STS 動作獲得の可能性は、STS 動作に異常をきたしている要因の解明のために、脳神経機能解剖学的分析を行い、STS 動作の各クリニカルイベントに影響している機能障害を改善し、課題指向的アプローチをあわせて行うことで、実際の STS 動作を改善し獲得していくことが可能であると考えられた。本症例の STS 動作において、機能障害の中では、体幹機能と麻痺側大殿筋の障害が重要な因子と考えられ、これらの改善が STS 動作獲得の可能性に深くかかわっていると考えられた。

文 献

- 1) 厚生労働省ホームページ：平成 23 年患者調査。
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/11/dl/kanja.pdf>（閲覧日 2015 年 5 月 12 日）
- 2) 厚生労働省ホームページ：介護保険事業状況報告 要介護度別認定者数の推移。
<http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12300000-Roukenkyoku/0000080254.pdf>（閲覧日 2015 年 5 月 17 日）
- 3) 厚生労働省ホームページ：平成 25 年国民生活基礎調査の概況。
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa13/dl/05.pdf>（閲覧日 2015 年 5 月 18 日）
- 4) 奥壽郎 榎本康子 小幡かつ子・他：在宅虚弱および要介護高齢者における介護度別身体機能の検討。帝京科

学大学紀要 5 : 1-7, 2009.

- 5) 吉良健司：訪問理学療法における専門性とアプローチの実際. 理学療法学 32 : 155-158, 2005.
- 6) 吉良健司 伊藤隆夫 近澤美紀：訪問リハビリテーションが高齢障害者の日常生活活動に与える影響について. 理学療法学 28 : 225-228, 2001.
- 7) 横井和美 伊丹君和 森敏・他：安全な立ち上がり動作のアセスメント項目に関する文献検討（第1報）-最新の国内文献から-. 滋賀県立大学人間看護学研究 12 : 65-76, 2014.
- 8) 後藤淳 高田毅 末廣健児：立ち上がり動作-力学的負荷に着目した動作分析とアライメント-. 関西理学 2 : 25-40, 2002.
- 9) 石崎耕平 水田宗達 清宮清美・他：慢性期片麻痺における立ち上がり能力の検討-公共交通機関の利用自立の判定指標-.
http://www.hyogo-pt.or.jp/jpta47/dvd/site/1412_1418.html（閲覧日 2015年4月30日）
- 10) 高橋純平 神先秀人：脳卒中片麻痺患者の立ち上がり動作能力と身体機能ならびに ADL との関係. 総合リハビリテーション 41 : 55-62, 2003.
- 11) 高倉保幸 高橋佳恵 陶山哲夫：脳血管障害例に対する病巣に応じた運動学習の進め方. 理学療法科学 22 : 553-557, 2007.
- 12) 小柳靖裕：理学療法士に必要な脳機能解剖学と画像の知識. PT ジャーナル 44 : 739-747, 2010.
- 13) 石倉隆：脳卒中の病態評価と解釈による理学療法士のゴール設定-慢性期. PT ジャーナル 44 : 123-130, 2010.
- 14) 吉尾雅春：脳血管障害の CT, MRI のみかた. 吉尾雅春（責任編集）：脳損傷の理学療法 1, pp30-46, 三輪書店, 2010.
- 15) 水野智明：立ち上がり動作のシーケンスとクリニカルイベント. 山岸茂則（編）：臨床実践 動きのとらえかた 何をみるのか その思考と試行, 第1版, pp134-142, 文光堂, 2015.
- 16) Hitoshi Asai, Hiroyuki Tsuchiyama, Tomoyuki Hatakeyama, et al. : Relationship between the ability to perform the sit-to-stand movement and the maximum pelvic anteversion and retroversion angles in patients with stroke. J. Phys. Ther. Sci.27: 985-988, 2015.
- 17) 藤井貴広 石川智昭 藤本太郎・他：施設通所高齢者における下肢筋力の体重支持指数と運動機能の関係. 理学療法科学 31 : 429-433, 2016.
- 18) 水嶋亮：立ち上がりの運動方略. 山岸茂則（編）：臨床実践 動きのとらえかた 何をみるのか その思考と試行, 第1版, pp146-142, 文光堂, 2015.
- 19) 寺島俊雄：神経解剖学講義ノート, 第1版, pp156-158, 金芳堂, 2014.
- 20) A.R.Crossman D.Neary：神経解剖カラーテキスト第2版, pp24, pp85-87, 医学書院, 2008.
- 21) 大畑光司：脳の構造と機能. 石川朗（編）：理学療法テキスト 神経障害理学療法学Ⅱ初版, pp6-7, 中山書院, 2011.
- 22) 寺島俊雄：神経解剖学講義ノート, 第1版, pp159-161, 金芳堂, 2014.
- 23) 寺島俊雄：神経解剖学講義ノート, 第1版, pp103-104, 金芳堂, 2014.
- 24) A.R.Crossman D.Neary：神経解剖カラーテキスト第2版, pp128-129, 医学書院, 2008.
- 25) 寺島俊雄：神経解剖学講義ノート, 第1版, pp70, 金芳堂, 2014.
- 26) 寺島俊雄：神経解剖学講義ノート, 第1版, pp54-56, 金芳堂, 2014.
- 27) 長谷公隆：脳障害と運動学習. 理学療法ジャーナル 46 : 37-44, 2012.
- 28) 鈴木俊明 谷万喜子 鍋田理恵 若山育郎 吉田宗平：正常動作の神経機構. 関西理学 2 : 1-9, 2002.
- 29) Jordan A. Taylor and Richard B. Ivry : The role of strategies in motor learning. Ann N Y Acad Sci.1251: 1-12, 2012.
- 30) 長谷公隆：運動学習理論に基づくリハビリテーション. 四條畷学園大学リハビリテーション学部紀要 9 : 51-56, 2013.
- 31) Kyoungsim Jung, Young Kim, Yijung Chung, et al. : Weight-Shift Training Improves Trunk Control, Proprioception, and Balance in Patients with Chronic Hemiparetic Stroke. Tohoku J. Exp. Med. 232 : 195-199, 2014.
- 32) 伊藤良太 佐藤武士：脳卒中片麻痺患者の座位側方リーチ距離と体幹側屈筋力および股関節伸展筋力との関係.
<http://www.japanpt.or.jp/conference/jpta50/abstracts/pdf>（閲覧日平成28年8月24日）
- 33) Seo-Hyun Jeon, Suk-Min Lee, Jung-Hyun kiM : Therapeutic effects of reaching with forward bending of trunk on postural stability, dynamic balance, and gait in individuals with chronic hemiparetic stroke. J. Phys. Ther.Sci.27:2447-2451, 2015.

- 34) S.Karthikbabu, Bhamini K.Rao, N.Manikandan, et al. : Role of Trunk Rehabilitation on Trunk Control, Balance and Gait in Patients with Chronic Stroke: A Pre-Post Design. *Neuroscience & Medicine*2 : 61-67, 2011.
- 35) 諸橋勇：小脳系の理学療法. 原寛美 吉尾雅春（編）：脳卒中理学療法の理論と技術第1版, pp494-495, メジカルビュー, 2013.
- 36) 野中一成：除脳硬直とは？. 斉藤秀之 加藤浩（常任編集）：筋緊張に挑む. pp108, 文光堂, 2015.
- 37) 兵頭甲子太郎 丸山仁司：立位・膝立ち位における前方リーチ動作の比較-筋電図を用いて-. *理学療法科学* 23. 183-187, 2008.
- 38) Jongsoo Lim, Sangyong Lee, Daehee Lee, et al. : The effect of a bridge exercise using the abdominal drawing in maneuver on the balance of chronic stroke patients. *J.Phys.Ther.Sci*24 : 651-653, 2012.
- 39) 高橋由依 隅元庸夫 世古俊明・他：脳卒中片麻痺者に対するブリッジ運動評価の有用性について. *理学療法科学* 30. 699-705, 2015.
- 40) 高橋由依 隅元庸夫 世古俊明・他：大腿骨頸部骨折および脳血管障害者でのブリッジ運動と動作能力の関連性. *理学療法科学* 29 : 213-218, 2014.
- 41) 大畑光司：脳血管障害後片麻痺患者に対するトレーニング(1)課題指向型トレーニングと運動学習の理論的背景. 石川朗(編)：理学療法テキスト 神経障害理学療法学 I 初版, pp94-101, 中山書院, 2011.
- 42) 大畑光司：中枢神経系理学療法の基礎知識. 石川朗(編)：理学療法テキスト 神経障害理学療法学 I 初版, pp9, 中山書院, 2011.

著者連絡先：市田修一 〒532-0024 大阪府大阪市淀川区十三本町3丁目4番21号 履正社医療スポーツ専門学校
email: ichida@riseisha.ac.jp

©市田修一、石倉隆

大阪保健医療大学 紀要（第1号）

2018年3月31日発行

発行者

学校法人福田学園 大阪保健医療大学
〒530-0043 大阪市北区天満1丁目9番27号
TEL 06-6352-0093 FAX 06-6352-5995
URL <https://www.ohsu.ac.jp/>

編集

大阪保健医療大学 学術研究委員会
委員長 佐藤睦美（准教授 保健医療学研究科・保健医療学部）
委員 石倉 隆（教授 保健医療学研究科・保健医療学部）
委員 松井理直（教授 保健医療学研究科・保健医療学部）
委員 藤岡重和（教授 保健医療学研究科・保健医療学部）
委員 吉田 文（教授 保健医療学部）
事務局 中野尚美（学園企画室・学園事務局）