

総説

運動機能回復を目的とした脳卒中リハビリテーションの
脳科学を根拠とする理論とその実際

井上 勲

要 旨

脳障害後、比較的遅れて起こる機能回復は、中枢神経の可塑的变化や神経ネットワークの再構築によって起きる。これを効率良く科学的知見に基づいて行うのがニューロリハビリテーションである。

脳損傷後、運動の機能回復に関して、大脳レベルでは、一次運動野だけでなく、補足運動野や運動前野などの運動関連皮質が両側性に関与しており随意的運動の頻度と質により可塑的变化を起こし脳地図が変化する。また錐体路の障害に関しては、錐体路の同側性下行路、脊髄では腹内側を走る両側性の網様体脊髄路が重要で、とくに体幹・近位部は、両側性の網様体脊髄路の働きで改善しやすい。

運動機能回復訓練では、障害後の大脳半球間相互抑制のアンバランスの修正、麻痺肢による動作に意味のある随意運動が必要で、経頭蓋直流電流、パワーアシスト付き電氣的治療、バイラテラルトレーニング、回復の抑制を起こさない下肢装具の使用と適切な訓練方法、イメージ療法、心理・精神的サポートを行う。回復の程度には、薬物、遺伝的体質や併存症などが影響し、患者の価値観や希望も考慮したオーダーメイドのプログラムならびに目標設定が重要である。

Key words：脳卒中、ニューロリハビリテーション、機能回復、神経ネットワーク、可塑性

はじめに

科学的なリハビリテーション訓練の重要性が以前より強調されているが、個人差や環境の影響が大きく、エビデンスを作りにくいリハビリテーションは、まだまだ経験に基づいて行われ、施設間でその方法やゴール設定に差があるのが現状である。

旧来のリハビリテーションアプローチは、利き手交換などによる残存機能による代償手段の獲得が中心であり、いったん失われた機能は元に戻らないことを前提としていた。しかし中枢神経の可塑的变化や神経ネットワークの再構築による回復が起きるこ

とがニューロサイエンスによる動物実験やニューロイメージングで示されるようになり、脳障害に関するリハビリテーション（ニューロリハビリテーション）は治療としての新しい時代を迎えている¹⁾。

本稿では、最新脳科学理論を応用した運動機能回復に関して臨床家が知っておくべき基礎知識と理論をまとめ、現在試みている新しい機能回復訓練方法と治療について紹介を行う。

麻痺の回復に関する基礎知識

1. 脳損傷後の機能回復機序

脳卒中後、比較的早い時期に劇的に運動機能の回

復するものの多くは、脳浮腫による錐体路の圧迫の改善や直接その場所に脳損傷がなくても、神経線維に結ばれている影響された部位の血流や代謝の改善（Diaschisisの回復）によると考えられる。一方、神経系の可塑的变化は脳内に新しい神経ネットワークを作り、残された正常な組織が働くことでの機能回復であり、その回復は長期にわたる^{2,3)}。そしてその機能回復を科学的方法にて促進させようとするのがニューロリハビリテーションである⁴⁾。ニューロリハビリテーションの観点からは、脳は常にダイナミックに変化しており、回復のプラトーは存在せず、逆に形成された神経ネットワークも使用しなくなると退行し機能低下する。

2. 健常者の錐体路と障害時の代償機能

一次運動野を起点とする運動神経路である錐体路は、延髄下部もしくは、頸髄上部で錐体交叉により反対側の脊髄側索を下行するものが大部分（75～90%）とされるが、残りは交叉せず前索を下行する前皮質脊髄路となる。錐体路が障害された場合、麻痺側のみならず、廃用状態がなくても非麻痺側の筋力が健常者と比べて60%から90%であるとされ⁵⁾、筋力低下がない場合でも、巧緻性が低下していると報告されている⁶⁾。臨床的には片麻痺と表現されるが、非麻痺側も実際には発症前と厳密に比較して障害がないとは言い切れない。この意味からも、リハビリテーション訓練には、左右両方へのアプローチが重要である。

脊髄レベルでは、運動神経の下行路としては、背外側（主として皮質脊髄路（錐体路）と赤核脊髄路）と腹内側（主として網様体脊髄路）に大別される（図1）。腹内側系の特徴は、脊髄を下行し、主として近位筋、肩帯、腰帯、躯幹筋を両側性に支配する。麻痺の回復が、遠位部より近位部で良好で、ほとんどの症例で下肢も膝関節までの随意運動が回復するのは、体幹や四肢の近位部では、両側性に支配されていることがひとつの理由である。また小児では、一侧の脳半球の殆どを摘出したような症例でも四肢が機能的で歩行が可能な症例が多く報告されている⁷⁾。これは同側経路が大人では多シナプスで効率が悪いのに対して、子供の場合は発達段階でまだ単シナプス性で同側支配による運動コントロールが容易なためだと考えられる⁸⁾（図2）。しかし、成人でも一侧の錐体路に錐体路変性を認めるにも関わらず、機能回復訓練で良好な回復を呈した例

で詳細な神経学的診察をすると、鏡像運動を臨床的に認めた例や機能的画像で両側性の脳の賦活化がある例はまれでなく、同側経路による機能回復も重要である。

大脳においては、一次運動野のレベルでは、対側支配が主体であるが、運動前野や補足運動野は両側

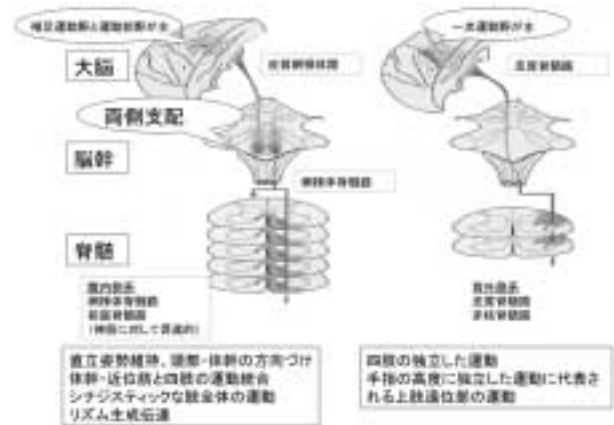


図1 大脳皮質レベル並びに脊髄レベルでの運動神経下行路

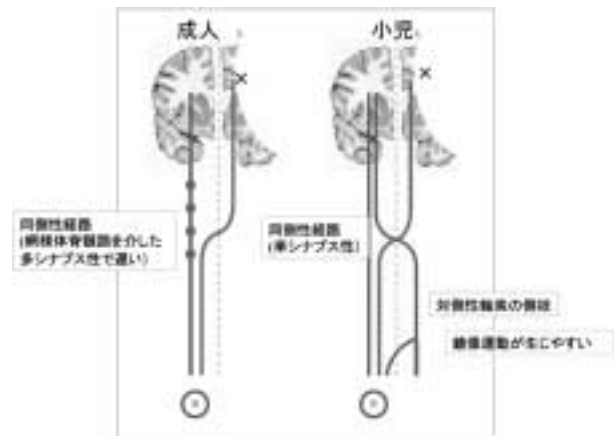


図2 同側性錐体路の大人と成人の比較（文献8を引用改変）

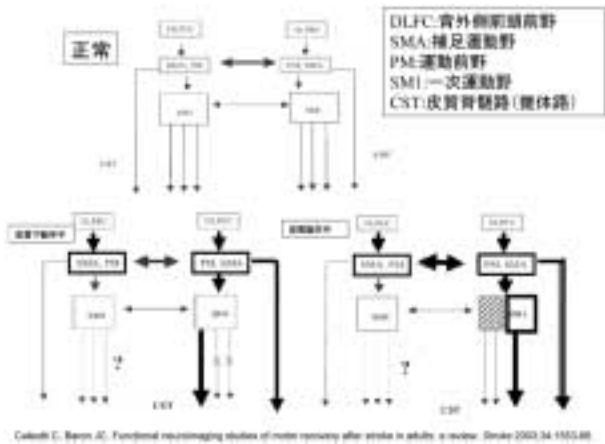


図3 健常時(上)と皮質下脳卒中(右下)ならびに皮質脳卒中での運動神経下行路の側副路(文献9を引用改変)

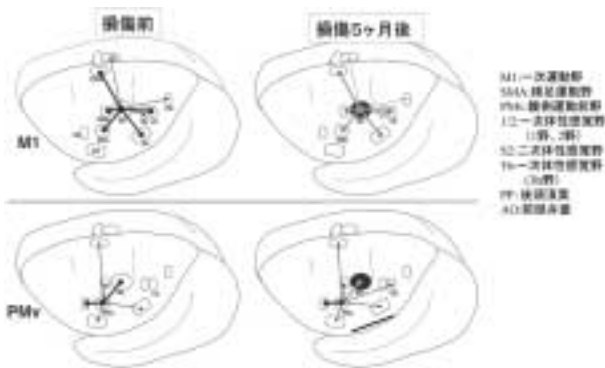


図4 一次運動野損傷前後の皮質間ネットワーク(文献10を引用改変)

上段が一次運動野(M1)との皮質間ネットワークの変化
下段が運動前野(PMv)との皮質間ネットワークの変化
一次運動野損傷後、一次運動野と一次体性感覚野との連結が障害されるが、新しい皮質間ネットワークとして運動前野と一次体性感覚野との連結が新たに作られる。

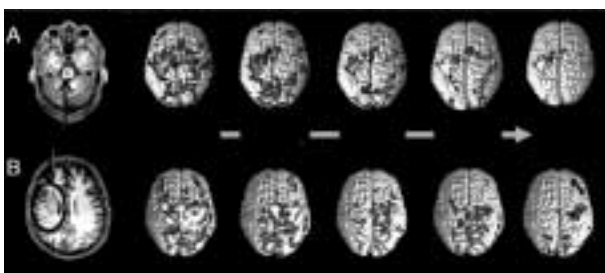


図5 脳機能回復過程の脳機能画像(機能的MR)の経時変化(文献12を引用改変)

左手の握力回復に伴う機能的MRIの経過
A: 橋右側の脳梗塞 B: 右皮質下梗塞
3ヵ月後には、新しいネットワーク形成による機能回復がみられる。両方とも左片麻痺であるが、回復期後の血流上昇部位は、Aでは、障害脳と同側で、Bでは反対側にみられる。

性に運動野を介さずに脊髄への信号を送ることができる⁹⁾(図3)。従って限局した一次運動野の損傷は、大人であっても機能回復訓練により良好な回復が期待できる^{10,11)}(図4)。実際、当院でも一次運動野のみを障害した多くの患者の機能的予後は良好である。機能予後が不良と予測されるのは、理論上は、代償として働く部位や信号伝達経路も同時に障害されている両側性病変や広範囲な病巣である。

3. 脳機能回復過程の脳機能画像の変化

脳機能の回復経過については、機能的イメージである機能的MRIなどで報告されている。機能的MRIは、ある動作を行う前後で脳血流が有意に変化する部位を画像的に示すことができ、その動作に関連した部位を反映していると考えられる。手指麻痺の機能回復が進むに従って、同じ運動を行う場合でも、関連して血流が増加する部位が限局してくる場合が多く、これは効率良い神経ネットワークの再構築の形成を反映していると考えられる^{12,13)}(図5)。代償されて活性化する部位は、脳損傷の部位や大きさに依存して、両側脳、障害脳、同側脳と症例によって異なる¹²⁾。

4. 脳障害後の大脳半球間の脳梁を介した抑制の不均衡¹⁴⁾(図6)

健常人では、脳梁を介して両側の大脳半球間に相互抑制があるが、脳卒中後は障害脳より健側脳への抑制が弱まる上に、健側脳を使うことで健側脳の障害脳に対する抑制がより強くなり抑制の不均衡が起きる。この不均衡が麻痺だけでなく、半側空間無視や失行などの病態にも関与しているとされる。これ

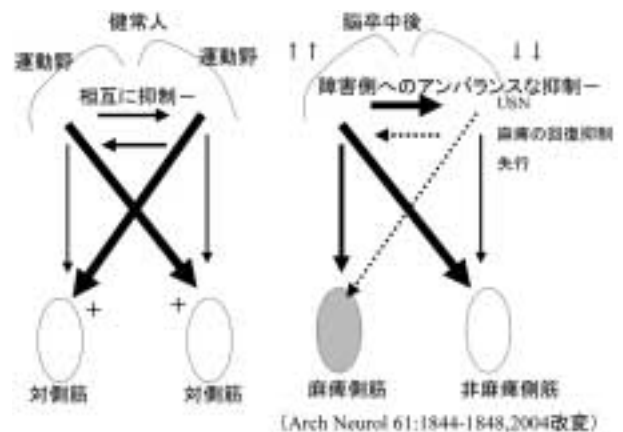


図6 脳障害後の大脳半球間の脳梁を介した相互抑制の不均衡(文献14を引用改変)

に対するリハビリテーションの臨床的アプローチは、①脳のレベルでは障害脳への脳皮質刺激による活性化、あるいは健側脳の抑制、②四肢のレベルでは、麻痺肢の体性感覚運動刺激もしくは非麻痺肢の使用抑制や感覚入力の抑制がアプローチとしてある。非麻痺側をミトンなどで拘束し、麻痺肢を強制的に一定時間使用する訓練である Constraint induced movement therapy (CI療法)¹⁵⁾は、この後者のアプローチである。

5. 脳の可塑的变化

いったん損傷された部位の機能は、元に戻ることができないが周辺ならびに他部位が機能を代行することにより、機能回復を示す¹¹⁾。脳地図は、使用頻度と使用の質に依存して常に可変である^{16,17)}。このため、麻痺の回復の可能性があっても、それを目的とした機能回復訓練がなされないと、不使用で機能停止して使えなくなった状態、いわゆる学習された不使用となり、障害肢の残存していた働きを担っていた脳地図も最終的に縮小・廃絶に至る。

可塑的变化の誘導には、機械やセラピストの他動的な運動より、患者さん自身に動かそうとする意思を持たせた訓練や目的動作の中での随意運動が重要である^{18,19)}。また全く動かない四肢であっても、末梢からの感覚刺激の入力で運動関連領域の賦活化が可能である^{20,21)}。

6. 運動学習について

運動学習には、大脳基底核、小脳、大脳皮質などの関与がある。詳細は成書²²⁾を参照していただきたいが、残存する機能に応じて運動学習の戦略を練る



図7 ポールウォーキングの実施
視覚と音のリズムにより歩行のパフォーマンスの改善をはかる

ことが大切である。例えば、大脳基底核の損傷した患者やパーキンソン病の患者さんは、視覚や音のリズムの外的刺激を利用した、主として大脳皮質と小脳を使用する運動学習方法を選択する。両手について歩行するポールウォーキングは、そのひとつの方法で、歩行スピードなどのパフォーマンスを改善させる(図7)。

運動学習は、さまざまな服用薬、身体的、精神的、遺伝的影響を受けるため、各個人での状態を総合的に評価して訓練プランと目標を設定する必要がある。

7. 早期リハビリテーション開始の時期

リハビリテーションをどれだけ早期から開始すべきかについては、病態との関連での科学的根拠に基づいた基準はない²³⁾。しかし開始が遅れると、廃用症候群や学習された不使用となり、筋肉や関節のレベルでは痙縮や拘縮が進み、その後の回復に対して致命的になるのは明白である。早期リハビリテーションを懸念する反対意見として、動物実験で病巣が拡大したことを根拠としている場合があるが²⁴⁾、それらの実験での運動強度が人のリハビリテーションの運動量をはるかに超えていることから、必ずしも根拠とならない。しかし、急性期に無理な離床を行うことでグルタミン酸などを介しての病巣拡大の可能性はある。すべての脳卒中をクリニカルパスで発症日から同じ日に離床するのではなく、ひとつの目安として、疾病の増悪がないことと起立時に非麻痺側での随意的収縮が可能であることを提案したい。

8. 機能回復訓練の適応

機能回復訓練は、現時点では楽なものではなくすべての患者に適しているわけではない。病巣としては改善の可能性があっても、実際に回復の可能性が高いのは、本人に機能回復の強い希望があり、セラピストの指示に適切に従って随意的運動や動かそうと努力し、訓練に集中できる患者である。高次脳機能障害や、重症の感覚障害があっても構わない。本人の強い意思がない場合は、たとえ回復する可能性があっても、医療者の価値観を決して押しつけるべきでなく、希望をできるだけ考慮することが優先される。

脳損傷部位は重要で、画像的に機能回復がある程度可能だと考えられる症例を選択している。一次運

動野に限局する脳梗塞やラクナ梗塞や中等症までの脳出血例では適応になることが多い。逆に意識がしっかりしていても両側性の病巣などで神経ネットワークの再構築でも代行機能が働かないと予測される場合には訓練を行っても回復は不良であることが多い。

また、現状の医療システムでは、家族などの援助が全くない状態での重症麻痺の患者さんが数カ月から1年程度に及ぶ機能回復訓練を受けることは現実的に困難である。重症例では強力な支援者があることが必須である。

運動機能回復のための理論と試みている訓練方法の実際

実際の訓練プログラムとゴール設定は、患者さんの価値観や病態などのオーダーメイドで設定する。訓練は必ずしも、臨床的エビデンス²⁵⁾で認められているものだけでなく、動物実験などを含めた理論とそれを応用した訓練方法を試みているが、実際にはいくつかの組み合わせで、すべての患者さんに同じように訓練を行うわけではない。また機能回復を主なゴールと設定しない超高齢者や他疾患の併存症の多い患者では、早い日常生活動作の獲得を目的とした旧来の代償的動作の運動学習を中心とした訓練も実際には行っている。

健側脳の抑制と患側脳の刺激（図8）

比較的無侵襲な脳刺激としては、経頭蓋磁気刺激（低頻度刺激で抑制、高頻度刺激で興奮）もしくは経頭蓋直流電気刺激が研究レベルで行われている^{26,27)}。患者さんの負担や費用の問題などより当院では、機能回復に関して、倫理委員会の承認を得て、経頭蓋直流電流刺激（transcranial Direct Current Stimulation: tDCS）を試みている。tDCSは、スポンジ電極を障害脳の頭皮上の一次運動野に陽極電極、反対側の一次運動野に陰極電極を置き、1mAの直流電流を20-30分間通電するものである。これにより、障害脳の運動野には興奮性を増加させ、健側脳には抑制をかけることができ、大脳半球間の抑制のアンバランスを修正でき、脳の可塑的变化を促進するとされる。まだ臨床応用の初期段階であるが、セラピストによる機能回復訓練と同時に行うことで機能回復の効率と転帰を改善させることが期待される¹⁹⁾。

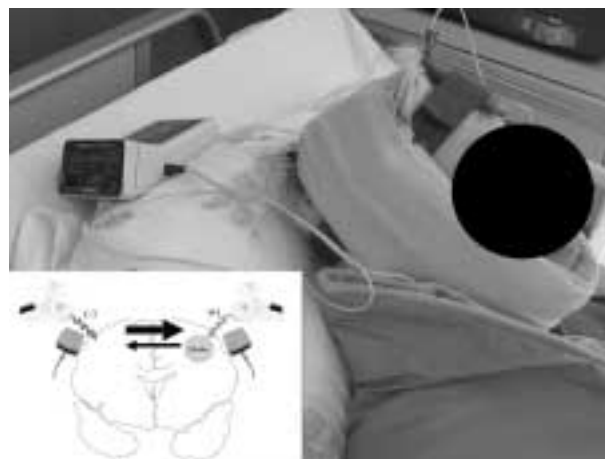


図8 健側脳の抑制性刺激と障害脳への興奮性刺激
左上図：当院で施行した経頭蓋直流電流刺激の実施風景
左下図：経頭蓋磁気刺激では、低頻度刺激で抑制性刺激、高頻度刺激で興奮性刺激となる。経頭蓋直流電気刺激では、陰極刺激で抑制性刺激、陽極刺激が興奮性刺激となる。

（文献26を引用改変）



図9 ミラーセラピーの実施風景

麻痺肢と非麻痺肢の間にミラーを置き、患者は両肢を動かそうと努力するが、ミラーは非麻痺肢が写っている方を観察することで、麻痺肢が実際に動いているような錯覚を受ける。

麻痺肢の積極的使用と感覚入力

重症麻痺で麻痺肢の機能的訓練が困難な段階では、伸筋の興奮性を高めて痙縮予防効果や運動錯覚により運動に関連する運動関連領域の脳に賦活化を起こす振動刺激^{20,28)}やミラーセラピー²⁹⁻³¹⁾で、動かしている運動錯覚を起こさせる。ミラーセラピーとは上下肢の非麻痺側と麻痺側の間に鏡を置き、非麻痺側が鏡に写って動いている像を覗いて、麻痺側肢も非麻痺側肢と同じように動かそうと努力する訓練である（図9）。麻痺側肢は実際には動いてなくても、動かしているような奇妙な感覚を感じる。また日常生活動作獲得訓練でも、麻痺側を添えることで非麻



図10 パワーアシストタイプの機能的電気刺激を使用した訓練風景

患者は、両手で投げられたボールに棒で打つように指示されている。麻痺側にはパワーアシストタイプの機能的電気刺激を装着しており、麻痺肢の随意的電気信号の大きさに応じて、筋肉への収縮がアシストされる。

痺側だけの動作にならないようにし、非麻痺肢のみでなく麻痺肢の感覚入力を行う。訓練には、スポーツなどの心得がある場合は、過去の手続き記憶を改善の契機にする観点からも両手使用によるバッティングやレシーブなどの運動動作を積極的に取り入れる。また筋電図を拾えない段階では、強制的な電氣的治療刺激による麻痺肢への感覚刺激ならびに筋肉の短縮予防や関節の拘縮予防を徹底させる。筋肉への表面電気刺激だけでも感覚運動領野への脳血流増加が機能的MRIなどで確認されている³²⁾。

随意的収縮が起き始めた時点より、筋電図をトリガーにした電氣的治療や麻痺筋のわずかな筋活動電位に比例して増幅した電気刺激を行うパワーアシストタイプの機能的電気刺激³³⁾を開始し、随意的運動の誘発を行う(図10)。パワーアシストタイプの電氣的治療では、随意的運動促進と刺激による体性感覚入力の増加の両方が期待でき、機能回復への脳の可塑的变化に有効だと思われる。随意的運動は、随意的収縮の段階に応じて、目的のない単純な動きの繰り返しではなく、日常生活などで意味のある随意的な積極的な運動訓練を継続する。

いつも同じ単純な繰り返しの反復運動や単関節の単純な動きは、脳の可塑的变化を伴った神経ネットワークの再構築を起こしにくいことより¹⁷⁾、いくつかの動作の組み合わせや状況判断を必要とする動作や判断に伴って手足を動かす必要があるゲーム(任天堂のWiiやエアホッケーなど)などで多様な運動が望ましい^{18,34)}。難易度は、セラピストや器具を

用いてやや難しいレベルで行う。

両側性運動による両側大脳半球の賦活化ならびに脳梁を介した運動促進

我々の日常生活は常に両手足の協働で行われている。紐を結ぶ、片方で保持し、もう片方での作業、自転車や歩行など両側での運動が円滑に行われなければならない。運動は片手運動の訓練だけでは不十分で両側の強調運動をトレーニングする必要がある。また両側性の訓練の機能転帰への有効性も報告されており³⁵⁾、両手を使用した単純な動きの訓練と随意的な訓練の両方を行っている。両手使用によるハンドサイクリンなどは、能動的・受動的な運動の繰り返しで、このような運動後では障害肢の随意的運動も起こしやすいことが報告されている³⁶⁾。実際、上肢ではペダリングの操作後、下肢では歩行訓練や起立・着席訓練の直後では、促進効果で随意収縮が促進されることを経験する。

イメージ療法¹⁹⁾

運動を想像するだけで、その運動に必要な部位の血流が上昇することが知られ、イメージトレーニングはスポーツや芸術の分野ですでに応用されているが、手がかりなしのイメージの想起はすでに正しい運動学習が完了した後でないと、誤学習の原因となりかねない。脳卒中での障害後のイメージ療法では、患者が正しい運動学習イメージの想起が非常に困難であることが多く、鏡やヘッドマウントディスプレイを利用して、第一人称の立場での錯覚を伴う物のイメージ療法が実用的である。前述のミラーセラピーは、イメージ療法の一つでもあり、鏡を使用しない状態では随意的運動ができなくても、鏡をおいた状態では可能となるケースを経験する。随意的運動が可能になった時点では、あくまでも筋活動を実際に伴った随意的運動の訓練を中心にした上で、補助訓練として有用だと考える。

両側荷重ならびにアンバランスにならない歩行訓練

旧来の歩行訓練などでは健側に杖を保持した健側に依存した訓練となりがちである。しかし、健側に過剰刺激を与えない杖に依存せず、初期より麻痺側に荷重をかける歩行訓練や麻痺側への荷重を意識した起立・着席訓練が望ましい。具体的には、歩行訓練では後ろもしくは側方介助で麻痺側への荷重を促す。

起立・着席訓練では、起立時に患側の下腿の軸に沿ってセラピストが下方へ起立動作時に押し付けるなどで訓練介入を行い、最初から両側に荷重をかけるよう訓練すべきである³⁷⁾。介入がなければ、患者は、健側での起立支持を代償的適応として獲得するが、その後も患側荷重が困難となり回復の阻害となる。

実用歩行のための回復を阻害しない下肢装具の使用

脳卒中直後で下肢の緊張が不十分なものは、有効な回復訓練実施のためにはできるだけ早期からの下肢装具装着での訓練が必要となる

従来の下肢装具は、足関節の底屈制動とともに関節の自由度が制限されており、正常歩行時とは異なるタイミングと大きさで筋肉への負荷がかかる。例えば、今でも広く使用されているプラスチックの靴べら式短下肢装具（シューホン型）では、足関節での背屈固定のため、足全体で着地するパターンとなる上に、着地後に装具や足関節を軸とする下腿の前方移動が起きず、膝の過伸展や通常は持続的には収縮しない底屈筋群の異常持続収縮が起きる。また歩幅が狭くなることを代償して体幹・骨盤の健側での前方回旋を誘発される。このため、下腿底屈筋群の筋短縮や痙性、異常姿勢を起し回復の阻害となる。回復の可能性が残っている時点での足関節を固定したプラスチック短下肢装具の使用は避けるべきである。ベストなものかどうかはまだ不詳であるが、回復を阻害しないものとして、比較的生理的なタイミングで制動が働く、油圧ダンパーでの底屈制動ならびに背屈制限がない下肢装具³⁸⁾は現時点では勧められる。

望ましい歩行訓練

従来、早い日常生活動作の自立度をあげるため、早期より非麻痺側上肢に杖を保持し、下肢装具を装着した代償動作獲得による歩行訓練が中心であった。しかし、支持が非麻痺側上肢と下肢にあまりに依存すると、麻痺側下肢に荷重がほとんどかからず、非麻痺側に筋肉の持続的異常収縮を誘発する。この結果、異常連合運動として麻痺側上肢が屈曲し、麻痺側下肢が進展した肢位となり痙縮に至る。この代償的な歩行は、日常生活動作を比較的短期間で獲得できるが、いったん学習されて身についた運動パターンの修正は極めて困難となり、加えて痙縮が起きた場合は機能回復にとっては致命的である。

機能回復をめざす場合は、訓練目標として、できるだけ生理的な筋収縮・弛緩パターンに近く、下腿がヒール（かかと）、アングル（足首）、フォアフット（親指の付け根）と床の接点を軸とする3つのロッカーファンクションによりロッキングチェアのようになめらかに回転して前への推進力と適切な重心の移動が得られるようにする³⁹⁾。要点は以下のとおりである。①麻痺側への荷重が促せるように早期より長下肢装具装着による訓練を開始し、ロッカー機能を装具の援助で促し、できるだけ多くの歩行訓練を行うこと、②装具は、足関節機能を回復させるために、足関節を固定したものは使用せず、背屈が可動し、底屈時に生理的な制動がかかる装具の選択、③歩行は、ヒールロッカーとアングルロッカーを引き出すために、一歩歩くたびに両側を揃える揃え型の歩行ではなく、かかと着地に続いてスムーズに下腿が前へ押し出すことを必要とする前型の歩行（足は両方が揃った状態にならず、交互に前へ足を送り出す歩行）となるように介助、④後ろ介助による歩行訓練（もしくは自走式の免荷荷重装置の使用）により前傾姿勢とならないよう指導。安全のために杖を使用する場合でも杖に依存しすぎない歩行とする。⑤フォアフットロッカーの機能訓練のために比較的早期より階段訓練（特に下降）も取り入れる。

足関節の動きに望ましい下肢装具を使用しても、揃い型で健側上肢の杖に依存した歩行訓練を行うと、足関節機能はほとんど使用されない。結果、足全体が一本の杖のようにしか働かないため、最終的に足関節の痙縮も予防できない。また発症前より円背などで前傾姿勢の強い患者でも前述の機能を充分生かせず、メリットが少ない場合がある。また油圧ダンパーの調整を回復に応じて行い、装具の補助の依存しすぎないように調整が必要と思われるが、その基準についてはこれからの課題である。

機能回復訓練における心理ならびに精神的ケアの重要性

脳損傷後の機能回復訓練は、患者にとって精神的ストレスが大きいことから、心理ならびに精神的ケアは重要である。脳の可塑的変化や神経ネットワークの再構築で機能回復が起きることから、患者さんの動かそうとする意思や随意運動が必須であり、そのモチベーションを引き出すことも治療の一部である。スタッフのちょっとした一言がモチベーション

に影響を与えてしまうことが多く、患者への訓練の効果に対する説明などにも強化学習の理論などを考慮した発言が求められる。

大脳基底核が関与する強化学習に関連して、報酬予測誤差が重要である。大きな期待をしすぎて、その報酬である回復の程度が小さかったり、遅かったりするとモチベーションと運動学習の阻害因子になる。逆に期待より、改善が大きかった場合は、患者さんにとって大きな報酬となり、運動学習を促進させることが可能である⁴⁰⁾。一方で希望を完全に無くしてしまうと、モチベーションが起きない。モチベーションの与え方も、単に手や足が動くように頑張らましようではなく、良くなった結果、楽しみや生きがいにつながる xxxxx が可能になるという具体的な目標の方が良い。また低すぎず達成感も味わえ、可能だと思えるレベルの短期目標の設定も重要である。

第三者からはかなり改善したとみえる場合でも患者の満足度は決して高くなく、障害受容の獲得は実際には不可能の場合が多い。現実から目をそむけたリハビリテーションだけの人生にさせない配慮をしつつ、本人の価値観を充分尊重し、障害受容の押付けや希望の全否定をすべきでない。そして回復の可能性があり、本人もそれを希望する場合には、あとで十分な訓練を受けていなかったことを生涯後悔しないよう、現在考えられる最良の機能回復訓練を提供してあげることの大切さを痛感する。

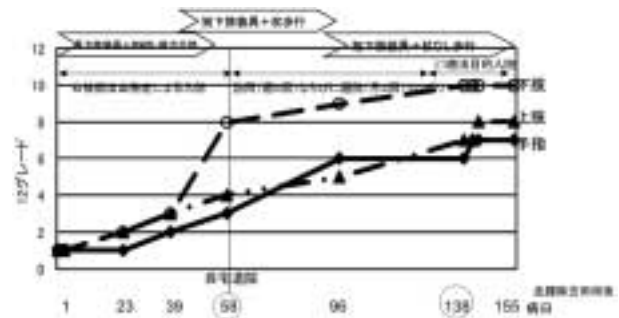
実際の運動機能回復症例の経過

急性期・亜急性期の段階で高次脳機能障害を合併した重症麻痺を呈する症例でも、長期間の適切な機能回復訓練の継続で良好な機能転帰を得ることが可能である。以下に提示する症例は、初期から長期目標を、歩行は杖なし歩行で、上肢・手指は実用的使用という高い目標を設定し、前述した機能回復訓練を徹底して行うことで目標を達成したケースである。

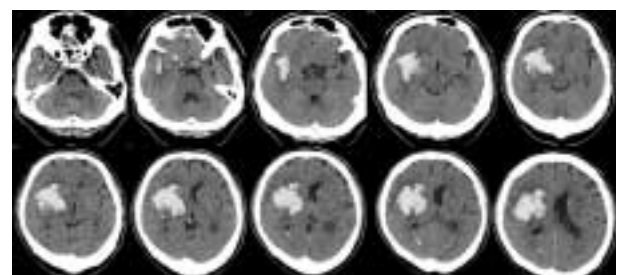
症例：60代 男性

経過 (図11A)：発症前 ADL は全自立。失語、左片麻痺で発症。入院後第2病日に出血増大し (図11B)、開頭血腫除去術施行され、術翌日よりリハセラピストが介入し術後第3病日に離床開始した。介入開始時、意識状態は、Glasgow Coma Scale で E2 VAM5。左上下肢12グレードは、上肢1、手指1、下肢1の重度片麻痺で、交叉性失語、左半側空間無

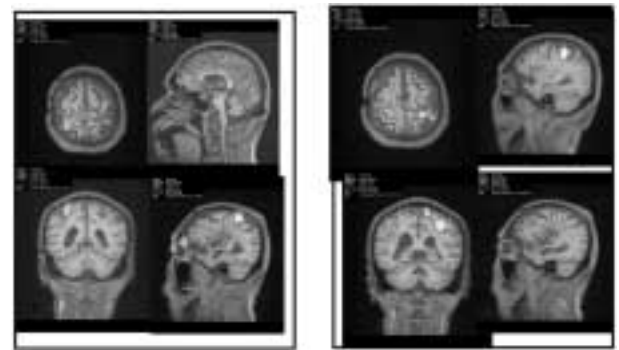
視、失行、注意障害などの高次脳機能障害を呈していた。入院中の訓練量は一日9単位から術後第22病



A



B



左手(麻痺側)の把握運動

右手(非麻痺側)の把握運動

C

図11

A：右被殻出血に対する血腫除去術後からに麻痺の回復経過

横軸が血腫除去術を施行されてからの日数で、縦軸は麻痺の程度を示す12グレードを示す。12グレードは、0が筋収縮が認められない状態で、12は機能的にはほぼフルリカバリーの状態。数字が大きいくほど良好な回復を示す。

B：症例の血腫除去術前頭部 CT

C：発症1年後の機能的 MRI 画像。片手ずつ手指の把握運動を反復して血流が増加した賦活部位を示す。矢状断は、上段が左半球、下段が右半球。

左：左手(麻痺側)の把握運動(握力10.3Kg)

右：右手(非麻痺側)の把握運動(握力30.7Kg)

麻痺側の運動で、両側の一次運動野と補足運動野での血流増加が特徴的である。

日に自由診療分の2単位を加えて11単位に増やし、術後第58病日に当院から自宅退院するまで毎日訓練を施行。起立・着席訓練は両側荷重。歩行訓練は、早期から油圧ダンパーつき長下肢装具を使用した麻痺側荷重を心がけ、自走式体重免荷装置もしくは、後ろ介助で杖を使用しないことを原則とした長距離歩行を実施。また非麻痺側優位な動作を可能な限り控えて、日常生活訓練より回復訓練を優先させた。退院時、12グレードが上肢4、手指3、下肢8で、上肢は廃用者の状態、歩行はウォーカーケインと短下肢装具を用い短距離の監視歩行が可能な状態であった。短下肢装具は足関節に関して油圧による底屈制動、背屈は制動・制限なしの短下肢装具を選択した。退院後は当院スタッフによる週5回の訪問リハビリテーションと月に2回（1回に9単位施行）の通院リハビリテーションを医療保険で介入し、入院中の訓練方針を継続。術後105病日で短下肢装具装着での杖なし監視歩行を達成。その後、麻痺手指と手関節の背屈が可能となり、術後138病日に上肢機能の集中訓練であるCI療法¹⁵⁾を主目的に約3週間の予定入院。術後155病日に杖なし歩行自立。現在、屋外杖なし歩行自立（10m歩行 12秒）し、麻痺側の左手を使用してゴミ出し、家族へのマッサージ、犬の散歩などができる実用者となっている。

発症約1年後の機能的MRI画像所見（図11C）

把握動作の反復時の血流増加部位を示す。非麻痺側の右手の運動では、左運動野と一部補足運動野に血流増加があるのに対して、麻痺側の左手の運動では、両側の運動野と補足運動野での血流増加所見が認められ、新しい神経ネットワークと脳の可塑的变化による改善であることが示唆される。

機能回復訓練の限界と個体差

機能回復は、脳の可塑的变化と神経ネットワークの再構築を促す訓練を患者自身が積極的に行う必要がある。セラピストが他動的に単純に繰り返し反復して動かすだけでは不十分で、随意的で、意味のある目的を持った課題を達成するための随意的動作が最も効率が良いとされる^{18,19)}。従って、理論的には良好な回復が望めると考えられる場合でも、訓練に集中しての積極的参加がない場合は高い効果は望めない。特に重要なのは集中して取り組めることで、訓練を行ったことさえ覚えていないアルツハイマー

病患者も、訓練の場で集中できていれば手続き記憶で回復が見込める。

その他、脳の可塑的变化とネットワークの再構築には、環境、疾病や薬剤が影響する。疾病では統合失調症などでは、運動学習が起きにくいとされ⁴¹⁾、また薬剤による脳の可塑的变化への影響が報告されている^{42,43)}。せん妄などに対する安易な薬剤の使用は回復を抑制する。

個体差については、脳由来神経栄養因子（Brain-derived neurotrophic factor: BDNF）の分泌低下遺伝子多型が指摘されており⁴⁴⁾、そのような遺伝子多型を持っている場合は、脳の可塑的变化を必要とする運動学習能が低下しているだけでなく、治療としての経頭蓋磁気刺激による反応も悪いとの報告がある⁴⁵⁾。BDNF以外にも脳の可塑的变化には多くの因子の関与が想定され、それひとつひとつに個体差があることで、同じ訓練を行っても回復に差が出てくることを留意する必要がある。これらのことから訓練方法とゴール設定は、病巣や併存症の違い、使用している薬剤、個体差、価値観や生きがいと本人の希望、環境などさまざまな因子を考慮して行う必要があるのは言うまでもない。

おわりに

科学的な脳卒中後の運動回復の理論とその実際についての試みを概説した。ニューロリハビリテーションの進歩は日進月歩であり、コンピューターや機械を脳や身体に装着しての新しい訓練方法の展開もすでに始まっている。今後も、回復治療に関して更なる発展が期待される。

しかし、リハビリテーションは、機能回復だけを至上主義としたものでは決してあってはならない。患者さんの価値観や心情を尊重した上で、患者さんの人生の質を最大限に高めることが最も重要で、機能回復はその中のひとつでしかない。医療者の価値観を一方的に押し付けてはならないことを自戒の意味を込めて最後に強調しておきたい。

謝辞

機能回復の実際について、病棟で多くの知見と経験を提供していただいた患者さんとセラピストに感謝いたします。特に今回の提示症例と一緒に担当し、新しい取り組みを積極的に協力実施していただいた宮島達也理学療法士と中山一平作業療法士に感謝いたします。

文 献

- 1) 久保田 競: 脳科学の進歩とニューロリハビリテーション. 理学療法 24:1523-1531, 2007
- 2) Citri A, Malenka RC: Synaptic plasticity: Multiple forms, functions, and mechanisms. *Neuropsychopharmacology* 33:18-41, 2008
- 3) Dancause N: Vicarious function of remote cortex following stroke: Recent evidence from human and animal studies. *Neuroscientist* 12:489-499, 2006
- 4) Hummel FC, Cohen LG: Drivers of brain plasticity. *Curr Opin Neurol* 18:667-674, 2005
- 5) Andrews AW, Bohannon RW: Distribution of muscle strength impairments following stroke. *Clin Rehabil* 14:79-87, 2000
- 6) Noskin O, Krakauer JW, Lazar RM, Festa JR, Handy C, O'Brien KA, Marshall RS: Ipsilateral motor dysfunction from unilateral stroke: Implications for the functional neuroanatomy of hemiparesis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 79:401-406, 2008
- 7) Wieser HG, Henke K, Zumsteg D, Taub E, Yonekawa Y, Buck A: Activation of the left motor cortex during left leg movements after right central resection. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 67:487-491, 1999
- 8) Vulliemoz S, Raineteau O, Jabaudon D: Reaching beyond the midline: Why are human brains cross wired? *Lancet Neurol* 4:87-99, 2005
- 9) Calautti C, Baron JC: Functional neuroimaging studies of motor recovery after stroke in adults: A review. *Stroke* 34:1553-1566, 2003
- 10) Nudo RJ: Postinfarct cortical plasticity and behavioral recovery. *Stroke* 38:840-845, 2007
- 11) Jaillard A, Martin CD, Garambois K, Lebas JF, Hommel M: Vicarious function within the human primary motor cortex? A longitudinal fMRI stroke study. *Brain* 128:1122-1138, 2005
- 12) Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, Frackowiak RS: Neural correlates of motor recovery after stroke: A longitudinal fMRI study. *Brain* 126:2476-2496, 2003
- 13) Askim T, Indredavik B, Vangberg T, Haberg A: Motor network changes associated with successful motor skill relearning after acute ischemic stroke: A longitudinal functional magnetic resonance imaging study. *Neurorehabil Neural Repair* 23:295-304, 2009
- 14) Ward NS, Cohen LG: Mechanisms underlying recovery of motor function after stroke. *Arch Neurol* 61:1844-1848, 2004
- 15) Wolf SL, Winstein CJ, Miller JP, Taub E, Uswatte G, Morris D, Giuliani C, Light KE, Nichols-Larsen D: Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke: The EXCITE randomized clinical trial. *JAMA* 296:2095-2104, 2006
- 16) Nudo RJ, Wise BM, SiFuentes F, Milliken GW: Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct. *Science* 272:1791-1794, 1996
- 17) Nudo RJ, Milliken GW, Jenkins WM, Merzenich MM: Use-dependent alterations of movement representations in primary motor cortex of adult squirrel monkeys. *J Neurosci* 16:785-807, 1996
- 18) Lotze M, Braun C, Birbaumer N, Anders S, Cohen LG: Motor learning elicited by voluntary drive. *Brain* 126:866-872, 2003
- 19) Lotze M, Cohen LG: Volition and imagery in neurorehabilitation. *Cogn Behav Neurol* 19:135-140, 2006
- 20) Naito E, Nakashima T, Kito T, Aramaki Y, Okada T, Sadato N: Human limb-specific and non-limb-specific brain representations during kinesthetic illusory movements of the upper and lower extremities. *Eur J Neurosci* 25:3476-3487, 2007
- 21) Celnik P, Paik NJ, Vandermeeren Y, Dimyan M, Cohen LG: Effects of combined peripheral nerve stimulation and brain polarization on performance of a motor sequence task after chronic stroke. *Stroke* 40:1764-1771, 2009
- 22) Shunway-Cook AS, Woolacott M. モーターコントロール-運動制御の理論から臨床実践へ. 第三版, 医薬出版, 東京, 2009
- 23) 井上勲: Stroke unitの10年エビデンスの動向. 総合リハビリテーション 36:1145-1151, 2009
- 24) Bland ST, Schallert T, Strong R, Aronowski J, Grotta JC, Feeney DM: Early exclusive use of the affected forelimb after moderate transient focal ischemia in rats: Functional and anatomic outcome. *Stroke* 31:1144-1152, 2000
- 25) Langhorne P, Coupar F, Pollock A: Motor recovery after stroke: A systematic review. *Lancet Neurol* 8:741-754, 2009
- 26) Webster BR, Celnik PA, Cohen LG: Noninvasive brain stimulation in stroke rehabilitation. *NeuroRx* 3:474-481, 2006

- 27) Michael AN, Leonardo GC, Eric MW, Alberto P, Nicolas L, Andrea A, Walter P, Friedhelm H, Paulo SB, Felipe F, Alvaro P-L: Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008 1: 206-223, 2008
- 28) Kito T, Hashimoto T, Yoneda T, Katamoto S, Naito E: Sensory processing during kinesthetic aftereffect following illusory hand movement elicited by tendon vibration. *Brain Res* 1114:75-84, 2006
- 29) Altschuler EL, Wisdom SB, Stone L, Foster C, Galasko D, Llewellyn DM, Ramachandran VS: Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror. *Lancet* 353: 2035-2036, 1999
- 30) Yavuzer G, Selles R, Sezer N, Sutbeyaz S, Bussmann JB, Koseoglu F, Atay MB, Stam HJ: Mirror therapy improves hand function in subacute stroke: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 89: 393-398, 2008
- 31) Sutbeyaz S, Yavuzer G, Sezer N, Koseoglu BF: Mirror therapy enhances lower-extremity motor recovery and motor functioning after stroke: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 88: 555-559, 2007
- 32) Han BS, Jang SH, Chang Y, Byun WM, Lim SK, Kang DS: Functional magnetic resonance image finding of cortical activation by neuromuscular electrical stimulation on wrist extensor muscles. *Am J Phys Med Rehabil* 82: 17-20, 2003
- 33) 原行弘: パワーアシスト型機能的電気刺激. *Journal of Clinical Rehabilitation* 18: 163-165, 2009
- 34) Schaal S, Sternad D, Osu R, Kawato M: Rhythmic arm movement is not discrete. *Nat Neurosci* 7: 1136-1143, 2004
- 35) Luft AR, McCombe-Waller S, Whittall J, Forrester LW, Macko R, Sorkin JD, Schulz JB, Goldberg AP, Hanley DF: Repetitive bilateral arm training and motor cortex activation in chronic stroke: A randomized controlled trial. *JAMA* 292: 1853-1861, 2004
- 36) Stinear CM, Barber PA, Coxon JP, Fleming MK, Byblow WD: Priming the motor system enhances the effects of upper limb therapy in chronic stroke. *Brain* 131: 1381-1390, 2008
- 37) Carr JH, Shepherd RB: 脳卒中の運動療法—エビデンスに基づく機能回復トレーニング. pp106-128, 医学書院, 東京, 2004
- 38) 山本澄子: 油圧ダンパーを利用した片麻痺患者のための短下肢装具の開発. 総合リハビリテーション 31: 323-328, 2003
- 39) 山本澄子: 脳血管障害の歩行分析. 理学療法科学 17: 3-10, 2001
- 40) Schultz W, Dayan P, Montague PR: A neural substrate of prediction and reward. *Science* 275: 1593-1599, 1997
- 41) Rowland LM, Shadmehr R, Kravitz D, Holcomb HH: Sequential neural changes during motor learning in schizophrenia. *Psychiatry Res* 163: 1-12, 2008
- 42) Maya Vetencourt JF, Sale A, Viegi A, Baroncelli L, De Pasquale R, O'Leary OF, Castren E, Maffei L: The antidepressant fluoxetine restores plasticity in the adult visual cortex. *Science* 320: 385-388, 2008
- 43) Goldstein LB: Common drugs may influence motor recovery after stroke. The sygen in acute stroke study investigators. *Neurology* 45: 865-871, 1995
- 44) Pezawas L, Verchinski BA, Mattay VS, Callicott JH, Kolachana BS, Straub RE, Egan MF, Meyer-Lindenberg A, Weinberger DR: The brain-derived neurotrophic factor val 66 met polymorphism and variation in human cortical morphology. *J Neurosci* 24: 10099-10102, 2004
- 45) Cheeran B, Talelli P, Mori F, Koch G, Suppa A, Edwards M, Houlden H, Bhatia K, Greenwood R, Rothwell JC: A common polymorphism in the brain-derived neurotrophic factor gene (BDNF) modulates human cortical plasticity and the response to rTMS. *J Physiol* 586: 5717-5725, 2008