

# 脳の可塑性に注目したリハビリテーション

2004年12月18日

## 目次

1	従来のリハビリテーションの問題点	2
1.1	歴史的経緯	2
1.2	問題点	2
2	脳の可塑性	4
2.1	脳は変化するか	4
2.2	脳細胞は再配列する	4
2.3	脳の可塑性を高めるリハビリ	6
2.4	薬物を用いたリハビリテーション	6
3	リハビリテーションの新しい試み	8
3.1	Stroke Unit と早期のトレーニング	8
3.2	麻痺側のトレーニング	8
3.3	健側の使用制限	9
3.4	より目的意識をもったリハビリテーション	10
3.5	小脳を鍛える	10
3.6	鏡を使ったリハビリテーション	12
4	結論	13

# 1 従来のリハビリテーションの問題点

## 1.1 歴史的経緯

リハビリテーション (rehabilitation) とは、re-(再び) と habilis(人間としてふさわしい) が一つになった言葉であり、「権利・資格・身分の回復」という意味で使われてきた長い歴史を持った言葉である。

中世ヨーロッパでは「破門の取り消し」という宗教的な意味で使われ、近世では無実の罪をきせられた人の名誉回復という意味にも使われた。

第一次/第二次世界大戦後、欧米を中心にして、戦傷者の社会復帰をめざす<sup>\*1</sup> 医学的リハビリテーションが技術的に進歩した。リハビリテーション医学が発達したのは、第1次世界大戦前後からである。

当時は、戦争によって手足のなくなってしまった人をどうやって社会復帰させればいいのか、といったことに興味を中心があり、脳梗塞を生じた高齢者のリハビリテーションなどは2の次であった。

現在は、外傷で手足のなくなった人の数よりも、脳梗塞で麻痺を生じた人の数のほうが圧倒的に多い。

脳梗塞の患者さんに対していくらリハビリテーションを行っても、麻痺した手足の力が完全に回復する人はまだまだ少ない。一方で、特にリハビリテーションを行わなくても、なぜか麻痺が回復してしまった人がわずかながら存在する。

脳梗塞のリハビリテーションの領域には、まだまだ解明されていない部分がある。

## 1.2 問題点

### 1.2.1 従来型のリハビリの考えかたには問題がある

従来のリハビリテーションは、障害をもった個人が何ができなくなったかということより、残された能力によって何をなしうるかが重要であるという哲学に基づいて<sup>\*2</sup>いる。

このため、リハビリテーションの目標は「患者が有するすべての能力を最大限に活用する」という方向に向けられ、「麻痺した手足を再び動かす」というアプローチはあまり考えられていなかった。

---

<sup>\*1</sup> パラリンピックなどもこの頃生まれた。

<sup>\*2</sup> もともと手足を失った人のための学問なので、麻痺した手を再び動かすという発想は存在しない。

外傷の患者の場合、そもそも動かす手足がなくなってしまったからリハビリテーションを行うため、こうしたアプローチが主流なのは当然といえば当然であるが、脳梗塞の患者が再び歩けるようになるためのアプローチとしては、従来型のリハビリの考えでは不十分な可能性がある。

### 1.2.2 学習された不使用

野良猫の前足をペンチなどで潰してやる<sup>\*3</sup>と、彼らは残った3本足で器用に逃げていく。動物が何らかの理由で肢の動きが不自由になった場合、当然リハビリをしている暇などない。

この状態でも生き残るためには、”不自由になった肢の存在を急速に忘れること”しかない。手足を無くした猫の脳も、3本足になった体に急速に適応していく。人間も例外ではなく、入院患者が自分のベッドで生活するときには、麻痺した方の手足はほとんど使わなくなってしまう。

たとえば右手の麻痺を生じた患者さんが歯を磨こうとした場合、右手を出そうとして麻痺に気がつき、その後に左手を使うかと思うとそうではない。右麻痺で入院した方の多くはすぐに左手を出し、右手が動かない状況に急速に順応していく。

この動きは、生存競争に生き残っていくには有利な反応ではあるが、脳梗塞の患者が、再び麻痺した手を動かすにはむしろ邪魔になっているかもしれない。

従来のリハビリテーションは、患者のADLの早期からの拡大を目指す。この方法論では、装具の使用などにより麻痺側の動きをより減らし、まだ動くほうの手足の動きを鍛えることで、患者脳への麻痺側への関心はますます低下してしまうことになる。

### 1.2.3 脳梗塞急性期の安静は有害かもしれない

入院患者の急性期の治療の基本は安静であるが、脳梗塞の場合はどうであろうか。

例えば、心筋梗塞で入院した患者を急性期から動かしたらろくなことにならないことはすぐに想像がつくが、脳梗塞の場合は本当に安静が必要なのだろうか。

動物実験では、脳梗塞急性期から脳に刺激を与えると、慢性期の脳細胞の容積が減少することがわかっている。一方、身体機能については急性期からリハビリテーションを行った動物のほうが、安静を行った動物よりも明らかに優れているという。

---

<sup>\*3</sup> 引っかかれるので、軍手を2枚重ねにするのがコツ

#### 1.2.4 車椅子も批判されている

わが国ので車イスが最初に用いられたのは、大正 10 年ごろのことである。

このときの車椅子は、脳梗塞で動けなくなってしまった人のために、イギリスの同じような車椅子を真似て当時人力車を作っていた会社で作ったとの記録があるが、この頃から脳梗塞患者には車椅子が用いられてきた。

これはたしかに便利な道具ではあるが、移動するのに足を使わなくなるため、麻痺を生じた人を車椅子に乗せることには批判的な意見が多くなってきている。

## 2 脳の可塑性

### 2.1 脳は変化するか

脳の可塑性という言葉は、ノルウェーの神経解剖学者の Alf Broda が自分が脳梗塞になった体験から、1973 年に唱えだした比較的新しい概念である。

従来型のリハビリが行われてきたにもかかわらず、脳梗塞の機能予後の改善効果はいまだに十分でない。一方、こうしたリハビリテーションの有無にかかわらず、自然に麻痺側の機能が回復していく患者がいる。こうした患者に何が起きているのかを観察することで、リハビリテーションに新しい目標が生まれるかもしれない。

鍵になるのは脳の可塑性である。

### 2.2 脳細胞は再配列する

成長してからの脳細胞の配列は変化しないというのが古くからの考え方であったが、現在はそれは否定されつつある。

動物実験では、成体になったラットの例がある。遊び道具の多いカゴに入ったラットは、普通のカゴに入ったラットよりも 1 つのニューロン当たりのより樹状突起の数が増える。これは、成体になったラットであっても、周囲の環境により中枢神経に変化が生じる証拠になる。

また、人間の記憶や学習のメカニズムを探る研究の中で、成人してからも脳細胞の配列が変わる場合はありうるという証拠は数多く見つかっている。

例えば知覚刺激やあるいは特定の器官、特に手足を活発に用いることで、手足の運動を支配する脳の皮質の面積は拡大することが、健康なボランティアの例で報告されている。

また、成人後に盲目になった人では、そうでない人に比べて手の感覚をつかさどる皮質の領域が広いという報告もある。

極端な例では、手術で大脳半球をとってしまった患者の例がある。こうした患者は通常片麻痺になってしまうが、若い患者などでは麻痺側の機能が戻る人がいる。

片脳しかない人の脳の働きを機能 MRIなどで調べてみると、麻痺側の刺激に対しても、同側の脳(とられていない側の脳)の細胞が反応することがわかる。

こちら側の脳細胞は、本来は健側の手足の動きをつかさどっているはずであるが、健側の動きで興奮する脳細胞とは別に、より前方外側よりに麻痺側の動きに反応する神経細胞の集まりが新たに発生しているという。この現象は、脳を半分とられた患者であっても、脳がその状態に適応して半分だけ残った脳で両手足の動きを制御していることを意味している。

こうした脳機能の再配列は、脳梗塞の患者でも生じる。片脳の脳梗塞を生じたにもかかわらずほとんど麻痺を生じなかった患者6名の症例報告では、本来の麻痺側を動かす際にも同側の大脳半球が興奮し、また反対側の小脳半球が興奮していた。これは、脳梗塞に陥った大脳半球の働きを、健側の大脳半球、病側の小脳半球が肩代わりをしていることを示している。

同様に、よい回復を示した脳梗塞患者の病側の大脳半球にも変化が生じる。脳梗塞に陥った脳細胞が再び機能することは無いが、麻痺の回復した患者の病側の脳皮質では、手足の動きに合わせて前頭葉、後頭葉の興奮がより強まることが分かっている。本来手足の動きで興奮するのは主に側頭葉なので、ここでもやはり神経細胞の再配列が生じていると考えられる。

一方、こうした神経の再配列を生じて麻痺が治らない人もいる。これは、健側と病側の脳細胞同士で麻痺に陥った手足の制御を”奪い合って”しまっているからであろうと説明されている。

神経の再配列現象は、手足のような末梢の部分よりも、喉頭の動きのような体の中心に近い部分でより生じやすい。脳梗塞に伴う嚥下障害は、脳梗塞患者の3人に1には生じるが、数週間でかなりな人が自然回復する。このときにも、嚥下の中枢では健側の嚥下の中枢の活動がより高まることで、病側の脳細胞の働きを補償していることが分かっている。

麻痺した手足を再び動かすことができるならば、患者の歩行率も向上する。従来は、脳梗塞によって一度失われた脳細胞が復活することはなく、麻痺側のリハビリテーションは拘縮の予防以上の意味合いになることはないと言われてきた。このため、麻痺側のリハビリテーションを積極的に行う施設も少なかったが、ここに来て考え方が少し変わりつつ

ある。

## 2.3 脳の可塑性を高めるリハビリ

脳皮質を切り取ったり、あるいは破壊したりした脳梗塞モデルマウスを用いた実験では、手術後に他の健康なマウスと一緒にしたり、遊び道具の多い、刺激の多い環境に置かれたマウスのほうが、標準的な静かな環境に置かれた場合よりも回復が早かった。同様の現象は、手術後 15 日間たってから、刺激の多い環境にマウスを移しても観察された。

さらに、他のマウスとの接触のみ行ったマウスと、自分でトレーニングを行える環境を作ったマウスでは、他のマウスとの社会的な接触を保った群のほうが回復が早く、社会的な接触とトレーニングとを組み合わせた環境が最もマウスの回復がよかったという。

こうした実験結果は、脳梗塞に対しては、従来型のリハビリテーションのアプローチではまだまだ不十分である可能性を意味している。

## 2.4 薬物を用いたリハビリテーション

ある種の神経因子が発現すると、脳細胞に可塑性が生じ、シナプスの配列の変化が生じる。

脳に障害が生じた場合、障害後速やかに、それらの神経成長因子が発現する事が知られている。こうした物質を直接投与する実験も行われており、有望という報告もあるが、まだ動物実験の域を出ていない。

一方、同じような効果を期待して、神経細胞の可塑性をより増すような薬物を投与してのリハビリテーションの試みは、人間でも行われている。

脳梗塞の病態は、血管が詰まってからも刻一刻と変わる。ひとつの薬物の投与が脳梗塞のある時期は有効であっても、別の時期の投与はむしろ有害になりうる可能性はある。そういった中で、代表的なものを以下に挙げる。

### 2.4.1 GABA 作動薬

GABA 作動薬にはバクロフェン<sup>\*4</sup>をはじめ、ベンゾジアゼピン系の薬剤全て、抗けいれん薬<sup>\*5</sup>等があるが、これらは脳梗塞については意見が分かれている。

けいれん様の動きが問題となり、リハビリが進まない患者に対してバクロフェンを用

---

<sup>\*4</sup> ギャバロン

<sup>\*5</sup> テグレトールが代表

い、効果があったという報告もある<sup>\*6</sup>が、一方で片麻痺があり、リハビリによりそれがほとんどわからなくなった患者に少量のミダゾラム<sup>\*7</sup>を注射すると麻痺が増強し、一過性にリハビリを行う前の状態に戻ったという報告もあり、脳梗塞になった脳に GABA が与える影響ははっきりしていない。

#### 2.4.2 ノルアドレナリン

ノルエピネフリンやアンフェタミン<sup>\*8</sup>、 $\alpha$  作動薬を用いながらリハビリテーションを行うと患者の回復が早くなるという報告もある。

これについてはアンフェタミンを与えたマウスの報告や、脳梗塞の患者さんにレボドパの内服を行ってもらい、その後リハビリを行うとリハの効果がより高まったという報告などさまざまなものがある。

ノルアドレナリンが脳の可塑性を増している証拠はあるものの、この物質自体が脳の可塑性を引き起こしているのかについては議論が分かれている。ノルアドレナリンは神経毒性があり、脳に対してはむしろ傷害的に働く<sup>\*9</sup>。

さらに、この物質が集中力を増したり、また細胞の虚血に対する耐性を増したりする<sup>\*10</sup>効果もあるため、どの作用が中心になっているのかは分からない。

#### 2.4.3 脳移植

胎児の神経細胞を脳に直接注入する試みも行われている。これを行うと、新しい神経細胞がもともとの神経細胞とシナプスを作っているのが確認できるという。

この手技の効果は、治療後に刺激の多い環境と組み合わせることでよりいっそうの回復が期待できるというが、この効果も、注入した神経細胞自体の効果なのか、あるいは脳の可塑性を増強する物質の発現が、新しく注入した胎児の神経細胞の影響で活発になったのか、まだ結論は出ていない。

---

<sup>\*6</sup> これは脳の可塑性とは、あまり関係ない気がする

<sup>\*7</sup> ドルミカム

<sup>\*8</sup> ヒロポン

<sup>\*9</sup> 覚せい剤中毒の人はボケやすかったりする。

<sup>\*10</sup>  $\alpha$  ブロッカーを飲んでいる人に、心筋梗塞の死亡率が高い可能性が報告されている

### 3 リハビリテーションの新しい試み

いまだに本当に存在するのかはっきりしないところのある脳の可塑性であるが、それに注目した、新しいリハビリテーションの方法論は存在する。

これらがすべてが脳の可塑性のみに注目して発案されたものではないが、ここ数年広まってきたり、面白そうな発想のものを取り上げてみた。

#### 3.1 Stroke Unit と早期のトレーニング

脳梗塞患者の取り扱いの専門のトレーニングを受けたスタッフを集中し、Stroke Unit を作って、脳梗塞発症の超急性期からリハビリテーションを行い、患者を積極的に動かすようにすると、肺炎の発症や血栓症の合併症を減らすことができる。

さらに、こうした早期からのトレーニングを導入することで、慢性期の患者の機能予後や、生命予後もよくなることが分かってきた。

この効果が、脳梗塞発症早期からのリハビリテーションを行う、という発想自体が優れていたために生じたのか、あるいは大勢のスタッフのために、患者が刺激を受けやすい環境に置かれたためなのかはまだ結論が出ていない。

Stroke Unit はかなりたしかかな予後改善効果のある方法論であるが、それに要するコストとマンパワーはかなり多くなる。日本で実現するのはそれこそ自費診療にでもしない限り、多分無理だろう。

#### 3.2 麻痺側のトレーニング

従来のリハビリテーションの主な目標は、健側の手足のトレーニングであった。一方、脳塞初期から麻痺したほうの手足を強制的に用いるようにすると、慢性期の患者の活動範囲が広がるという報告がいくつかある。

これに反対するような動物実験データもある。脳梗塞急性期にトレーニングを行ったり、あるいは多く刺激を与えると、脳梗塞の範囲が広がるという意見がある。脳梗塞ラットを用いた実験では、脳梗塞発症後早期にトレーニングを開始したラットでは、そうでないラットに比べて脳梗塞になった脳細胞の量は多かった。

しかし、脳梗塞になった神経細胞の量は多かったにもかかわらず、トレーニングを行ったラットのほうが、そうでないラットよりも活動量の改善は大きかったという。

トレーニングを行うことで脳梗塞の範囲が広がる理由はよく分かっていないが、以下のような説明が試みられている。

- 脳を活発に用いることで、神経毒性を持つ脳内物質<sup>\*11</sup>の量が増える。
- トレーニングを行うことで、脳細胞の再分布が促進され、麻痺していた腕の動きを健側の脳細胞や小脳の細胞が分担してしまい、脳梗塞に陥った領域は、もはや必要無くなってしまう。

いずれにしても、脳梗塞急性期の軽いリハビリテーションは特別な害はなく、また臨床上の効果も明らかであるため、合併症を防いで身体のバランスを保つためのリハビリテーションは行うべきであると思う。

### 3.3 健側の使用制限

現在麻痺側の使用を促すための方法として注目されているのが Constraint induced movement therapy である。

この方法は、片麻痺の健側の運動をスリングなどで制限して、患側の運動を誘導しようとする治療法であり、こうすることで体が麻痺側の不使用を学習することを防ぎ、また麻痺側をより活発に使わざるを得ない状況を作る。この方法は、脳梗塞の急性期に用いても、慢性期に用いても従来の脳梗塞リハビリに比べて効果が期待できるという。

具体的には、リハビリ中は、患者はなるべく麻痺側の手足のことを考えるように教育され、リハビリのメニューも麻痺側が中心となる。さらに、リハ室から帰った後も患者の健側にはミトンがつけられ、麻痺側を用いないと細かい動きができない状態に置かれる。

まだ小数の患者のデータしかないが、この方法論は脳梗塞の患者に2週間行うことで、従来よりもリハビリの効果があがったという。

さらに、麻痺側の訓練も単に行っただけでは問題がある。通常、麻痺側であっても肩から肘にかけての中枢側の筋力はある程度残っている人が多いため、リハビリを行っても手先の機能を戻すことは難しい。

この現象に対処するため、リハビリ中に中枢側の筋に局所麻酔をかけ、手先の運動をより強力に促すことで手の動きがよりよく戻ったという報告がある。

---

\*11 グルタミン酸や、カテコラミン

### 3.4 より目的意識をもったリハビリテーション

従来型のリハビリテーション、特に麻痺側のリハビリテーションは、誰かに動かしてもらうのが常で、完全に受身の運動であった。

こうした従来型のリハビリに対して、何か目的をもった運動に、強制的に麻痺側を用いるようにしたほうが、神経細胞の再配列を促し、リハビリの効果があがるという意見がある。

脳の可塑性を促す方法として紹介されているのが課題志向型アプローチと呼ばれている方法で、これは単なる筋力トレーニングを行わせるだけでなく、患者に多くの課題(標的を指し示す、指のタッピング、消去課題、硬貨を裏返す、迷路、ネジを締める、物体の移動など)を含む積極的な訓練プログラムを行ってもらうものである。

こうした課題は麻痺側にかなりの運動制御を要求するため、大脳皮質の再構成を協力を促すと考えられている。

この考え方に沿ったものとして、顔を洗ったり、あるいは歯を磨いたり、といった動作に積極的に麻痺側を用いるよう患者に促すこと、あるいは病棟の廊下にも平行棒を置き、ベッドサイドトイレではなく、トイレまでは自分の足で歩いてもらうようにすることなどがあり、効果が出ているという。

先だってNHKで放送された、自立歩行する高齢者の割合が非常に多い病院の事例も、この考え方に沿ったものと思う<sup>\*12</sup>。

### 3.5 小脳を鍛える

片麻痺になったピアニストがまた復帰した事例がある。このケースでは、麻痺した方の手は完全麻痺であつたらしいが、以前に弾いたことのある曲を弾くときは、その手は脳梗塞発症以前と同じように動き出したという。

新曲を弾くときはやはり麻痺が出たらしいが、ピアノがきっかけになって、また現役に戻ったということである。

このケースなどは(もし本当だとして)、手足の運動を司っているのは、脳細胞の特定の部分である、という従来の考え方を、少し覆す部分があり、面白い。

麻痺から回復した患者さんの脳の働きを検討してみると、反対側の大脳半球以外に小脳

---

<sup>\*12</sup> 筆者の勝手な思い込みだった。番組の元になった本の中では、麻痺側を動かすのがリハビリである、という考え方に対してむしろ否定的な意見を述べておられた。



図1 廊下に平行棒を置く

の働きが活発になっている。小脳は本来、体のバランス感覚などをつかさどる部分であるが、同時に神経細胞の再配列現象がもっとも初期に見つかった部分でもある。

手足の運動の回復に小脳の働きが関与しているならば、それを積極的に利用することができればリハビリの効果が上がる。

小脳の働きは、早くて正確な動き、たとえば速く走ったり、遠くのをすばやくキャッチしたりといったときに最大限に発揮される。

前のピアニストの例などは、訓練された指の動きには小脳の働きがかなりの部分関与していたと考えられ、このために脳梗塞のダメージを免れたのかもしれない。

リハビリテーションのスタディでは、歩行訓練の際に従来型のゆっくりした歩行訓練ではなく、トレッドミルなどの機械を用いて歩行速度に重点をおいた訓練<sup>\*13</sup>を行うことで、回復がより早まったという報告がある。

速い動きを初期から行ってもらうことは、転倒のリスクがあり困難かもしれないが、最近歩行訓練用のロボットなどもあり、今後普及<sup>\*14</sup>するかもしれない。

---

\*13 秒速 75cm 以上で差が出たとのこと。

\*14 パワーリハビリテーションという考え方に厚生省が乗ったので、数年もすれば全国に unnecessary トレーニング器具があふれるだろう。



図2 鏡を使ったリハビリ

### 3.6 鏡を使ったリハビリテーション

手足の切断手術後、動かない幻肢を持つ患者のうちには、垂直に立てた鏡の中で、切断されていないほうの手や腕を動かすのを自ら見るとき、筋肉の運動感覚が喚起される人たちがいる。このことを利用して、脳卒中で片麻痺を生じた人たちに鏡を用いてみた実験がある。

すべての被験者は、CTかMRIによって、発症後少なくとも6ヶ月経ったとされた人たちであった。<sup>\*15</sup>患者たちは、45×60cmの鏡面加工したプラスチックを用いた。

一日15分の療法を二回、一週間六日というペースで、麻痺した手をできる限り自分で動かしながら両手、両腕を対称的に動かすのだが、その間、鏡に映った健常な手を見つめるようにする。

結局、患者の脳には目を通じて、麻痺した方の自分の手がちゃんと動いているように見えるわけだが、被験者全員が、主観的にはより鏡を好み、またより効果があると感じたという。

一人の患者は、「私がやった他のすべてのセラピーは私の筋肉を鍛えるものでしたでも

---

<sup>\*15</sup> これは、自然的治癒の影響を排除するためだった

この鏡は唯一、私の脳と神経を訓練するのです」と言った。もう一人の被験者は、使用しているあいだは、本当は動かなくても、「私の麻痺した腕があたかも正常に動いているように見えるから、鏡を使うことが好きだ」と言った。さらに別の被験者は、鏡を使って療法をすることを「福音的である」とさえ表現した。

実際、この方法は、鏡の代わりに透明なプラスチック板を用いた群と比較して、鏡を使ったほうが改善の度合いがより大きかったという。

鏡の使用は、運動前野領域と視覚による入力のある緊密な関係を取り戻し、神経学的かつ心理学的レベルの多くの側面において、麻痺した手足の、“学習された無使用”を元に戻すのに役立つ可能性がある。

## 4 結論

近年の脳梗塞治療、特に血栓溶解剤を初めとした血管再開通療法は、脳梗塞後の患者の機能予後と残存した脳細胞の量とを同じ物として扱ってきた。

一方で、脳の可塑性に関する実験データは、残存する脳細胞の量と患者の機能的な予後とは必ずしも一致しない、という結果も出している。大切なのは細胞の絶対量だけではなく、残った細胞にどういったつながりを持たせるか、どういった機能を分担させるかなのではないだろうか。

手足の刺激、視覚刺激、薬物などを使って脳細胞の配列をより積極的に書き換えるというリハビリのアプローチはますます面白くなっている。

健側と麻痺側との神経細胞のバッティング、中枢側と末梢側の制御の奪い合いの調節などはコンピューターのプログラミングそのものであると思う。

将来的には、機能 MRI などの画像所見をみて医師が脳梗塞患者の細胞配列の仕様書を作成、それにあわせて PT や OT の人たちが視覚、聴覚、手足の運動などの刺激を通じて脳を再構成 (プログラミング) していくという図式が成り立つと面白い。