

作業が脳を変化させる

田邊 浩文

湘南医療大学保健医療部リハビリテーション学科

キーワード：作業療法，課題指向型アプローチ，中枢神経系疾患

要旨：紀元前から作業は患者に対する治療法として勧められていた，作業には千古不易の治療的価値がある．著者は，長年に亘り実践してきたConstraint-induced Movement Therapy (CIセラピー)を通じて作業の実践により飛躍的に機能が回復することを体験してきた．脳には可塑性があり，脳卒中などダメージを受けた脳は作業的課題の実践を主とした適切なりハビリテーションにより新たな局在部位と神経ネットワークを再構築する．作業には脳を変化させるための条件が揃っており，中枢神経疾患に対する優れた治療手段といえよう．

1. はじめに

紀元前4世紀から3世紀の時代に，ヒポクラテスは患者に対する治療法として作業を勧め，その作業の遂行が患者の自然治癒力を高め回復させることができると述べたとされている¹⁾．紀元後に入り，ガレノスは“仕事をするということは自然の最も優れた医師であり，それは人間の幸福について不可欠なものである”と主張し，これが作業療法の起源を示す言葉として知られている²⁾．第二次世界大戦後においては，米国軍医Howard A Ruskが軍病院で傷痍軍人の上肢の機能回復訓練法を開発・推進し作業療法の体系の基礎を作り上げた．この頃から身体機能の回復（主に上肢）と社会復帰を図るリハビリテーションの手段として作業が用いられるようになり，作業療法はリハビリテーションの手段として確固たる地位を得た³⁾．このような変遷を経て作業療法は現在，精神障がい領域，身体障がい領域，発達障がい領域および老年期そして地域と専門分化が進み，対象者も多岐に及んでいるが，その治療媒介は常に“作業”を用いる点で一致している．それは，作業がリハビリテーションにおいて千古不易の価値があるからに違いない．著者は，長年に亘り脳卒中など中枢神経疾患に対してConstraint-induced Movement Therapy (CIセラピー)⁴⁾を実践してきた．CIセラピーについては後に詳しく述べるが，この治療法は，実生活場面や社会環境下において麻痺肢を使用した作業の遂行こそが回復の決め手となる治療法である．この中枢神経疾患を対象とした“回復”とは，麻痺を呈する四肢の機能回復というよりは脳の可塑的变化による機能の回復を指す．作業を行うことこそが脳を

変化させる最も有効な手段であることをCIセラピーの実践者は感じるのである．しかし，中枢神経疾患が機能を回復する時期と回復の程度および可能性については様々なとらえ方が存在し，発症からの経過が長くなると回復しないという考え方も現存している．厚生労働省が定める現在の診療報酬制度では，脳血管疾患の発症から180日までは回復の見込みがあり，それ以降の回復の見込みは基本的にはないとした期間を定めている⁵⁾．例外として機能回復の見込みがあると判断される場合については期間の如何を問わず部分的な治療が認められているものの，中枢神経疾患は維持期以降には回復がないことを前提とした制度である．しかし，この180日を期限とした回復の考え方はおそらく脳の可塑的变化を生むには十分ではないリハビリテーションの成果に根拠を置いているのであろう．著者が古典的な作業療法を実践していた新人の頃に担当した脳卒中後片麻痺者は，急性期の弛緩麻痺から次第に随意性が出現して，4～5ヵ月を経過するころにはほとんど回復が頭打ちとなっていた．その後の介入は住環境や福祉用具を整備するなど環境を整備することに努力を集中していた．CIセラピーを実践してからも，対象者に対する身体機能の回復と合わせて各種の環境を整備して，対象者をまずは社会的健康者にするというリハビリテーション過程の考え方は今も変わっていない．社会的健康人となった対象者が，現在のライフワークを振り返り，安全で快適な生活動作の再獲得や趣味・余暇活動の実践に必要な動作の獲得など具体的なニーズが生じたとき，CIセラピーはニーズを具現化するために行われる．CIセラピーは脳に新たな機能局在

と運動ネットワークを再構築することにより再獲得動作に必要な運動を可能にするニューロリハビリテーションである。本稿では、脳は可塑的变化が期待できるということ、CIセラピーの紹介を通じて、単純な反復訓練では脳の可塑的变化が期待できないことと、作業が可塑的变化を生む最も有効な手段であることについて述べる。

2. 脳の可塑性

大脳皮質の可塑的变化に関する研究は1984年のMerzenichの実験を皮切りに発展した⁶⁾。Merzenichらはサル第3指を切断した後に大脳皮質一次感覚野の第3指領域が隣接する指の領域に置き換わることを突き止めた。Nudoらは動物実験によって、高頻度トレーニングを行うことにより課題スキルが向上するとともに、大脳皮質の指領域が拡大することを明らかにした⁷⁾。つまり、熟練を要する難易度の高い動作の獲得には高頻度の反復トレーニングが効果的であり、その背景には使用に依存した大脳皮質の局在領域の拡大が生起している。使用に依存した皮質領域の拡大として知られているのがフォーカル・ジストニアである^{8,9)}。この疾患は、ピアニストなどの手指を高頻度に多用する専門家に発症する。長年の指の酷使が大脳皮質の指領域を肥大させ隣接する指領域が重なり、ある指を動かすと動かそうと思っていない隣の指までもが一緒に動いてしまう現象を引き起す。しかし、この可塑的变化は単純に指を多用すればおこるものではなく難しいスキルの課題ができるように克服する過程として多用しなければ生起しないのである。それは1日中パソコンのキーボードを叩く職業の人ではジストニアは起こらないことから理解できる¹⁰⁾。このことを証明する実験がplautzらによって行われており、簡単な手指課題を反復して行ったサルは一次運動野の可塑的变化がみられず、巧緻動作トレーニングを反復して行ったサルのみに変化がみられた。これらの研究成果から、脳卒中などダメージを受けた脳の可塑的变化についても研究が進んだ。脳卒中後においても脳は新しい局在部位と神経ネットワークを再構築して機能の回復がみられることが動物実験により明らかにされた¹¹⁾。さらに人を対象としたニューロリハビリテーションは科学的な根拠に基づいたトレーニングにより神経ネットワークを再構築して機能回復を図ることができることも明らかとなった¹²⁾。脳卒中後の機能局在部位の再構築に関する研究については、ダメージを受けた一次運動野の局在部位が、たとえ頻度の低いリハビリテーションの実践においても体性感覚野や運動前野および補足運動野に再構築されることも明らかにされた¹³⁾。また、一次運動野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に運動野を介さずに脊髄への信号を送ることも解明されており脳卒中後重度片麻痺が集中した高頻度トレーニ

ングを受けて回復した脳では麻痺側と同側の運動前野や補足運動野に新たな局在部位の再構築が確認されている。このように大脳皮質の再構築部位は、脳損傷の部位や大きさに依存し、両側脳、障害脳、同側脳と症例によって異なることも報告されている¹⁴⁾。脳卒中後の機能回復のためのトレーニング開始当初はまんべんなく脳血流量が増えるが手指麻痺の機能回復が進むに従い、同じ運動を行うと、特定の血流増加部位が限局して神経ネットワークの再構築が形成される報告があるが、再構築に要した期間についての記載はない^{15, 16)}。1週間の短期間CIセラピーでは一旦獲得した機能回復は定着せず、その後に機能低下がみられるが、2週間の完全なCIセラピーでは一旦獲得した機能は維持されやすい。このことから皮質再構築は2週間以上の期間を要するのではないかと著者は考えている。事実、CIセラピーを開発した米国アラバマ大学CIMTリサーチグループが定めたCIセラピープロトコルは、1週間のプログラムでは不十分で2週間の期間が必要であると定めている¹⁷⁾。

3. 脳の可塑性とCIセラピー

CIセラピーは、脳卒中や頭部外傷による片麻痺に対して、2～3週間非麻痺側上肢を拘束して麻痺側上肢を集中的且つ積極的に使用させて麻痺側上肢の機能回復を図るリハビリテーション手技のひとつであり、その理論は、1980年に行われたサルによる動物実験により築かれた¹⁸⁾。1999年には上肢運動を司る大脳皮質局在部位以外の領域に新たな皮質活性領域がみられるなど大脳皮質の再構築がCIT後に生じることが報告されている^{19, 20)}。CIセラピーは、課題指向型練習²¹⁾と各種の行動変容アプローチ技法を用いてクライアントが生活する場において意味のある作業を麻痺肢の使用により繰り返し、そして習慣化する治療法である。医療施設においてセラピストが行うことは、獲得を目指す生活動作に必要な運動要素をSHAPINGというボトムアップアプローチの実践により回復させること、そしてクライアントが麻痺肢で実践したことを面接によりモニタリングすることであり、セラピーの大半は医療施設外の実生活場面で行われるように導く。それは意味のある作業が脳の可塑的变化を誘発する可能性を秘めているからなのである。しかし、著者が担当したCIセラピー参加者の中には、定められたプロトコルに従わず、徒手的なボトムアップアプローチこそが機能回復に最も有効だと考える人も少なくはない。そのような参加者は麻痺手で行う意味のある作業の実践に消極的となり、パフォーマンスの顕著な改善はみられないことが多かった。そのような症例に対して著者は一旦CIセラピープログラムを中断して、面接技法のみを用いて実生活場面で麻痺手の使用を促す介入に変え、意味のある作業が機能改善に功を奏するという事について、

身を以て体験できるような機会を与えている。

事例紹介

2014年にCIセラピープログラムにエントリーしたM氏、60歳代女性もそのような徒手治療に固執するケースの一人であった。右片麻痺を呈するM氏の手指は、母指の対立ができずゴルフボールを掴み離すことはできないが、驚掴みによりハンカチを掴み離すことはできた(CIセラピーの適応グレードⅣに該当⁴⁾)。そして、CIセラピープログラムの4日目に「家に帰っているいろいろな動作を麻痺した手を使って練習しても意味がないと思う、それより午後先生に治療してほしい」と訴えてきた。M氏に対して著者はプログラムを中断して、「徒手的な治療は止めて、2週間、自宅でいろいろな生活動作について麻痺手を使ってできるようになればプログラムを再開しましょう」と告げた。M氏は当初は仕方なく面接技法のみによる介入に従っていたが、次第に麻痺側上肢の機能が改善することを実感するようになった。その結果、プログラム中断時には簡易上肢機能検査(STEF)が得点圏内に至らなかったが、5点の得点が得られるまでに改善していた。M氏はその後、再びプロトコルに従ったプログラムを再開し、終了時にはSTEFが54点にまで改善された。2010年に脳出血を発症し、2年間、外来においてサンディングなど伝統的な作業療法を行っていたS氏、30歳代男性は、2012年にCIセラピーが処方され著者が担当した。弛緩性の右片麻痺を呈するS氏の手指は、テニスボールを掴み離すほど全指の伸展はできなかったが、母指と示指のみの使用でようやくゴルフボールの掴み離しができた(CIセラピーの適応グレードⅢに該当⁴⁾)。しかし、上肢はほとんど拳上できないほど筋緊張は低下しており、ブロックなど物品操作ができるもののリーチができず実用的な使用には至らなかった。極度な低緊張を呈するケースの場合、わずか2週間の集中治療では実用的な麻痺側上肢の使用に必要な筋緊張を得ることは困難と判断し変法CIセラピーを行った。プログラムの内容は、先ず2週間の課題指向型トレーニングを中心としたボトムアップアプローチを行い、上肢の拳上を可能にした後に、自宅にて2ヶ月間、メールや電話を活用したモニタリングを行い実生活での麻痺手の使用を促すトップダウンアプローチを実施した。ボトムアップアプローチの結果、机上での物品移動ができるようになったが、かなり努力して行われており、このまま介入を終えれば、麻痺手は生活動作の中で使われることはないと感じられる程度の回復レベルであった。しかし、トップダウンアプローチを終えた2ヶ月後にS氏を外来で評価してみると、上肢は容易に拳上できるように変化しており、生活上のさまざまな動作について両手使用や麻痺手使用によって行われるように習慣づいていた。このよ

うにCIセラピーでは最終的には麻痺手の未使用学習を克服し、実生活場面での麻痺手の使用を習慣化するように導くセラピーなのである。

4. 作業は皮質再構築を及ぼす有効な治療法

意味のある作業が脳を賦活させる²²⁾報告に従い、著者は作業の違いによる脳の賦活量の違いをFunctional near-infrared spectroscopyを用いて調査した。調査では、意味を有しない単純な課題としてサンディングを、有意味課題として、汚れた台を雑巾で拭きとる課題についていずれも運動の軌跡が同様になるように設定して行わせ、大脳皮質の酸化ヘモグロビン密度を調べた(図)。その結果、意味のある作業中では常に一次運動野とその周囲に酸化ヘモグロビンの高密度領域が確認された。単純に繰り返す作業と比べて、意味のある作業は、文脈課題をいかに遂行するかを自ら企画し、実行しながら、期待される成果が得られるように常に修正を加えて行われることを考えても相当な脳の活性化を伴うことが想像できる。著者は、長年のCIセラピー実践体験を通じて、脳卒中後に麻痺肢の顕著な回復を図るためには、生活での意味のある作業を麻痺肢の使用により反復して行わせること、そして、その作業の遂行を可能にするために必要となる運動要素を課題指向型アプローチにより獲得させることが重要となると考えている。また、片麻痺上肢機能訓練では特に達成させたい生活動作を目指すことなく単純な机上課題練習を繰り返しても顕著な上肢機能の改善はみられないが、クライアントが再獲得したい生活動作としての作業を指向して麻痺手を集中練習により改善させようとするときに顕著な改善がみられる体験を数限りなくみてきた。セラピストが直接介入して達成することができる機能の改善は一時的なものであり、その後、麻痺手を使わなければ翌日ですら効果を持続させることは難しい。作業療法室で改善した上肢機能は、そのまま実生活場面での課題動作において繰り返し使用することで回復効果が持続しやすいのである。おそらくこの飛躍した機能改善の現れが常態化したときに脳の再構築が完成しているであろう。ボトムアップアプローチについては、CIセラピーにおいて行われている課題指向型アプローチによる机上課題作業が有効である。Levinは、可塑的变化を来す課題指向型アプローチの条件として、①反復した練習、②目標動作を指向した課題練習、③集中練習、④新奇且つ挑戦的な課題を掲げており²³⁾これらの条件を満たすSHAPINGという課題指向型アプローチはCIセラピーのプロトコルのひとつになっている。SHAPINGによる課題の設定は、具体的に達成したい動作に必要な運動要素に焦点を絞り、その運動要素を高めるための挑戦的且つ適度な難易度のある課題を設定する。課題は反復して行えるように設定して遂行時間を

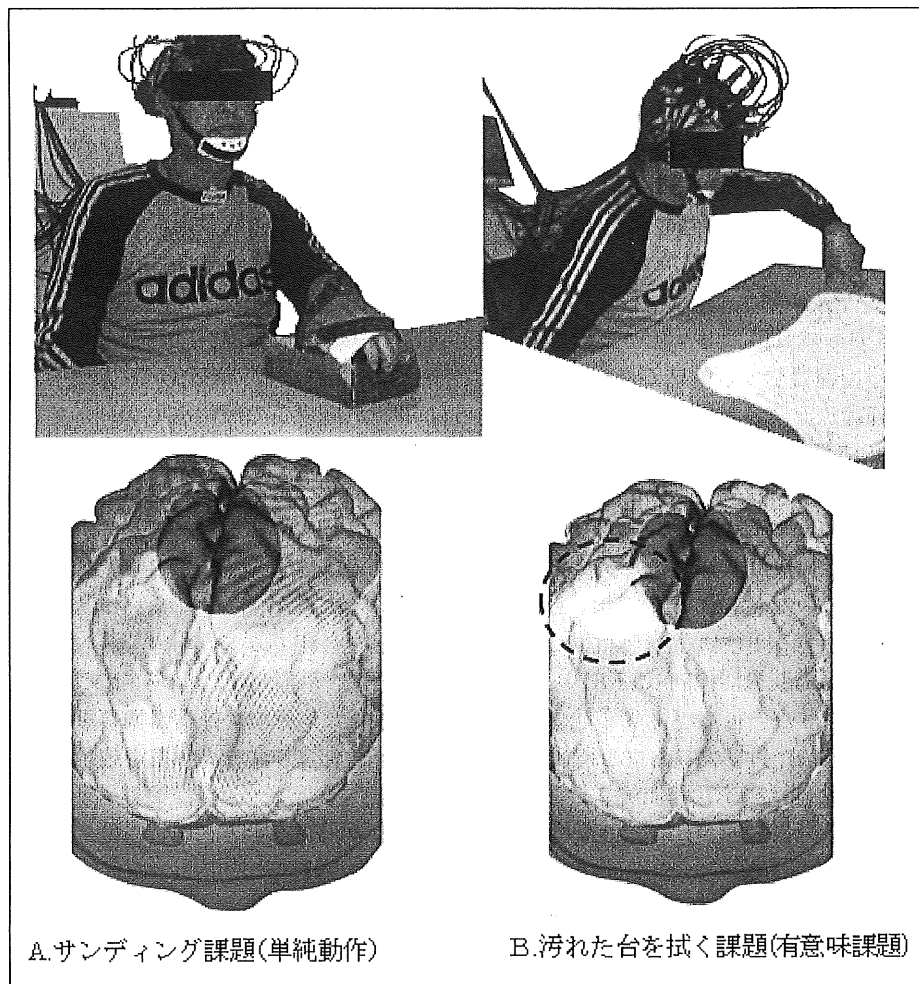


図 単純課題中と有意義課題中のunctional-NIRS皮質活性領域の違い
白いほど酸化ヘモグロビン密度が高いことを現わす。

トライアルごとに計測し、その遂行タイムを次第に速くするように促していく。プログラム参加者は、まるで競技会の選手のようにタイムを競いながら運動スキルを高めていくのである。

5. まとめ

第15回神奈川県作業療法学会のシンポジウムにおいて報告した“作業が脳を変化させる”について、エビデンスと体験談を交えて紹介した。中枢神経疾患患者が生き生きとした生活を取り戻すためには、当事者がやりたいこと、できるようになりたい動作を可能なものにしなければならない。そのためには残存機能を最大限に活用しても到達しないことが多く、脳の可塑的変化を条件とする機能回復をもたらさなければならない。そのもっとも有効な手段が作業をすることであることを著者は強調したい。作業の持つ効力は私達が想像するよりも遥かに大

きく幅広い対象に適応できるものであろう。その効果を最大限に引き出すのは作業療法士の務めであらう。

- 1) Adams, Francis (1891), *The Genuine Works of Hippocrates*, New York: William Wood and Company.
- 2) 小池文英監訳: Rusk. *リハビリテーション医学*. 医歯薬出版, 1973.)
- 3) 秋元 波留夫. *作業療法の源流*. 金剛出版, 1975.)
- 4) 田邊浩文. CIセラピー. *作業療法ジャーナル*47巻7号)
- 5) 平成26年厚生労働省告示第5756号)による改正. 後の診療報酬の算定方法 (平成20年厚生労働省告示第59号)
- 6) Merzenich MM, Nelson RJ, et al. Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys. *J Comp Neurol* 224 (4): 591-605, 1984)
- 7) Nudo RJ, Milliken GW, et al. Use-dependent alternations of movement representations in primary

- motor cortex of adult squirrel monkeys. *J Neurosci* 16(2): 785-807, 1996.)
- 8) Candia, V., Schafer, T., Taub, E., Rau, H., Altenmüller, E., Rockstroh, B. & Elbert, T. (2002) *Arch. Phys. Med. Rehab.* 83, 1342-1348./ Bara-Jimenez, W., Catalan, M. J., Hallett, M. & Gerloff, C. (1998) *Ann. Neurol.* 44, 828-831.
 - 9) Sanger, T. D., Pascual-Leone, A., Tarsy, D. & Schlaug, G. (2002) *Movement Disorders* 17, 105-111.)
 - 10) Yoshie M, Sakai N, Ohtsuki T, Kudo K (2015) Slow-Down Exercise Reverses Sensorimotor Reorganization in Focal Hand Dystonia: A Case Study of a Pianist. *Int J Neurorehabilitation* 2: 157.
 - 11) Citri A, Malenka RC: Synaptic plasticity: Multiple forms, functions, and mechanisms. *Neuropsychopharmacology* 33: 18-41, 2008/ Dancause N: Vicarious function of remote cortex following stroke : Recent evidence from human and animal studies. *Neuroscientist* 12: 489-499, 2006)
 - 12) Hummel FC, Cohen LG: Drivers of brain plasticity. *Curr Opin Neurol* 18 : 667-674, 2005)
 - 13) Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, Frackowiak RS: Neural correlates of motor recovery after stroke: A longitudinal fMRI study. *Brain* 126: 2476-2496, 2003.)
 - 14) Calautti C, Baron JC: Functional neuroimaging studies of motor recovery after stroke in adults: A review. *Stroke* 34: 1553-1566, 2003.)
 - 15) Ward NS, Brown MM, Thompson AJ, Frackowiak RS: Neural correlates of motor recovery after stroke: A longitudinal fMRI study. *Brain* 126: 2476-2496, 2003)
 - 16) 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.)
 - 17) (Morris DM, Taub E, Mark VW. Constraint-induced movement therapy: characterizing the intervention protocol. *Europa Medicophysica* 2006; 42: 257-268.)
 - 18) George F, Chen R, Kenji I, Khalafalla O, Bushara, Taub E, Lynn H, Gerber, Mark H, Leonardo G .Constraint-Induced Therapy In Stroke: Magnetic Stimulation Motor Maps and Cerebral Activation. *The American Society of Neurorehabilitation* 17, 2003: 48-57.
 - 19) Cao Y, L D' Olhaberriague, E Vikingstad. Pilot Study of Functional MRI to Assess Cerebral Activation of Motor Function After Poststroke Hemiparesis. *Stroke*. 1998; 29: 112-122)
 - 20) Taub E: Somatosensory deafferentation research with monkeys. Implications for rehabilitation medicine. In: Ince LP, eds, *Behavioral psychology in rehabilitation medicine: clinical applications*, New York, Williams & Wilkins, 1980, pp 371-401.)
 - 21) Latash ML: *Neurophysiological basis of movement*. Human Kinetics, 1998.
 - 22) Dawson AS et al. Chapter 5 Stroke rehabilitation. *Canadian Best Practice Recommendation for Stroke Care Fourth Edition*. Canadian Stroke Best Practices and Standards Working Group: 37-43, 2013.
 - 23) Levin PG. *Stronger after stroke: your roadmap to recovery*. Demos Health, 2012.