

バーチャルミラーボックスによる新しい手指リハビリ手法の開発

Novel Method for Hand Rehabilitation Using Virtual Mirror Box

2161007



研究代表者
(助成金受領者)
共同研究者

富山県立大学 工学部
知能デザイン工学科
富山県立大学 工学部
知能デザイン工学科

准教授 小柳 健一
教授 大島 徹

[研究の目的]

片手切断者等の幻視痛治療において、切断部を隠すように鏡を置き、患側上に健側の虚像を写して健側の動きと同時に見せることで行う鏡療法 [1] は、多くの治療成績がある。脳卒中のような中枢系疾患患者への応用では、脳内の身体モデルと現実との矛盾を視覚フィードバックによって補い、脳に運動機能の再学習をさせる働きが期待される。既にいくつかの臨床的な成果報告 [2]~[4] があるが、その機序は十分には解明されていない。臨床における一般的な手指の機能評価は、ある握り方や動作、作業ができるかのような定性的なものがほとんどで、細やかな機能評価は難しい。単純に鏡を用いた手法では手指の動きを定量的に評価できない問題が残るが、鏡療法にコンピュータを援用することで、ロボットを用いた訓練運動支援装置に比べて簡便で実用性の高いシステムの構築が期待できる。しかし、これまでに提案された方法 [5]~[7] では、ロボットを用いた大掛かりなシステムであるか、簡便な装置であっても手指の定量的な評価に至ってはいない。

これらに対し本研究では、箱に鏡を入れた簡易な装置であるミラーボックスをモチーフに、拡張現実感技術を加え、さらにアクチュエータ

要素も加えたバーチャルミラーボックスを開発する。リハビリ効果の定量的評価・見える化を行うだけでなく、旧来の装置では行えない運動の誘導やアシストを加え、比較的簡便な装置という優位性を保ったまま、新規で高機能なリハビリ手法の開発を目指す。本論文では、試作したバーチャルミラーボックスで行える訓練・評価の方式である、鏡療法モードと教示モードについて述べ、脳卒中後の片麻痺者や注意障害者に試行した結果を示す。また、同じく行える力刺激モードで用いる多自由度バルーン型アクチュエータについて述べる。なお、患者を対象にする全ての実験は、金沢医科大学医薬品等臨床研究倫理審査委員会の承認のもとで進められた。

[研究の内容、成果]

1. ハードウェア構成

ミラーボックスは、図1のように穴を開けた箱に鏡を入れ両手を差し込んで用いる道具である。図では、左手の鏡像が本来なら右手がある位置に見え、仮に右手が失われているか、または十分に動かなくても、右手が左手の動きに追従して動いているように見える。脳卒中片麻痺者が使うと、右手(麻痺手)を動かそうとする意図に対し見かけの右手(健手の鏡像)による

視覚フィードバックを脳に与えることになり、センサリモータ系の再構築・再学習を促進する効果が期待できる。

本研究では、ミラーボックスの機能に、複合現実感技術による手の目標姿勢となるような刺激画像の重畳、実際の手の姿勢の計測や、目標姿勢との偏差の算出機能を追加した。これをデジタルミラーボックスと呼び、図2に示す。内部には、USBカメラ(640×480 pixel, 30 fps)と白色LEDライト(90 lux/1.0 m)を設置している。ボックスに手を挿入すると、撮影された映像に中央のPCで画像処理した結果をリアルタイムでボックス前面のモニター(15.6 inch, 1366×768 pixel)に提示する。元来のミラーボックスは、上から覗き込むようにしなければならなかったため、使用者に負担の大きい姿勢をさせていた。バーチャルミラーボックスでは、モニターを斜めに置くことで自然な座位姿勢のまま使用できる。ただし、内部に指先側が高くな



図1 ミラーボックス



図2 バーチャルミラーボックス

るように斜め向きの板を置き、モニター角度と映像の向きが合うようにした。使用者は少し手を背屈させることになるが、指の動きに支障が出るような角度でないことは確認している。また、板には黒い布を貼り、モニター背面には鏡を設置し照明を反射させることで、板上に影ができないようにした。PCを除くバーチャルミラーボックス1台の重さは、65N程度である。

2. 画像処理と定量評価

バーチャルミラーボックスでは、手の映像を制御PC(Windows7, Core-i7 2.4 GHz, メモリ4GB)にてVC++およびOpenCV3.0にて開発したソフトウェアを用いて画像処理を施し、実際の手の姿勢と目標姿勢との偏差を計測する。また、刺激画像と手の画像をモニターに出力する。

図3において、左手が健常手で右手が麻痺手とすると、以下の手順を行う。

- (a) 画像を中央で区切り、右手領域と左手領域に分ける。
- (b) 左手領域のみの鏡像を作製する

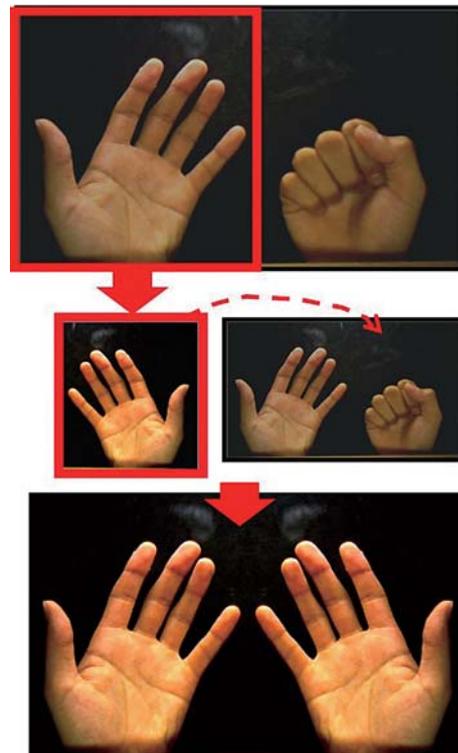


図3 鏡像処理と鏡像処理

- (c) 右手領域に左手領域鏡像を移動する。
- (d) 左手領域鏡像を二値化し、背景領域を取り除き、左手鏡像領域を作製する。
- (e) 左手鏡像領域で元の手画像を切り取る、または領域を単色で塗りつぶし、左手鏡像とする。
- (f) 左手鏡像を右手領域に重畳する。

図3は、この(e)において元の手画像を用いたもので、鏡像を実画像の上に重ねている。そのため、元来のミラーボックスと同様に、意図通りに運動しているような視覚フィードバックを、鏡像から得ることができる。また、図4のようにいくらかのずれが生じている場合、鏡像に実際の手を合わせようとすることで、意図通りの運動へ導く視覚刺激を与えることができる。

定量的な評価を行うため、上述(d)における二値化画像を用いる。図6のように左手鏡像領域や右手領域を白(1)、背景領域を黒(0)と

して扱う。それを重畳したときの重なり合う部分を新たに黒(0)とし、このときの白領域を対象差(Subtraction)と定義する。Subtractionを代表値で割ったものを一致度とし、グラフ表示する。Subtractionは、手指姿勢のずれだけではなく位置のずれも含む。すなわち、左手と右手の指角度が一致していても、手首の位置のずれや手首の傾きによって一致度は小さくなる。そこで、単に左手鏡像領域面積と右手領域面積の差(Difference)を定義し、Differenceを代表値で割った一致度も評価値として用いた。

3. 多自由度バルーン型アクチュエータ

より重篤な麻痺を有する者に他動運動的に手指を動かす必要がある。脳卒中麻痺患者は手を握るのがたやすく開くのが難しいため、課題画像に合わせて膨らんで形状を変える空気圧式アクチュエータが適していると考えられる。また、これは物理的な刺激装置でもあるため、デジタルミラーボックスにとっては視覚フィードバック機能に力覚フィードバック機能を加えることとなり、複合的な感覚フィードバックが脳の運動制御に与える影響の検証にもつながる。

筆者らは、図14に示す3自由度のバルーン型アクチュエータを試作している。軽く握れる程度の木製の土台に、3つの風船を母指、示指と中指、薬指と小指に対応する位置に取付けた。膨らませる風船を制御することで、ゲー・チョキ・パーに対応した姿勢を取れる。また、風船は自転車タイヤのゴムチューブを用いた。この

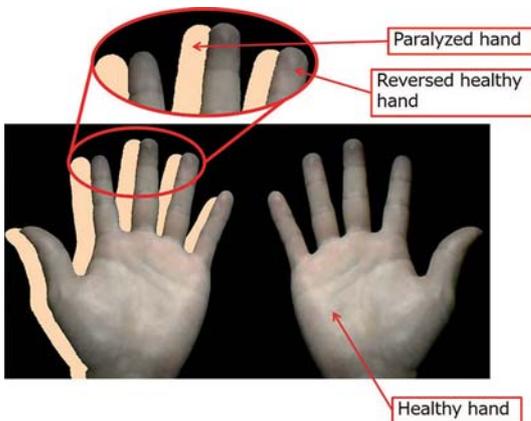


図4 患側と健側のずれ

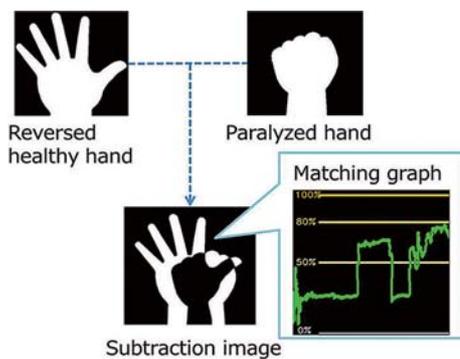


図5 定量的評価



図6 多自由度バルーンアクチュエータ

用途では、風船に空気を注入したときに、半径方向には大きく膨らみ軸方向にはあまり変動しない異方性が要求される。いくつか検討した結果、コスト、破裂耐性などを考慮して決定した。バルーン型アクチュエータは、空気を抜き置かれている状態で患者に握らせ、デジタルミラーボックス内に手を差し入れて用いる。風船内の圧力制御にはピストンシリンダ型アクチュエータを用い、比較的ゆっくりと膨張収縮をさせる。すなわち、外力により手指を伸長させる他動運動的な使い方をするよりは、膨らむことで手指に伸長方向の力刺激を与えて自動運動を誘発させる狙いもある。

[今後の研究の方向, 課題]

本論文では、手指リハビリテーションを行うミラーボックスに、拡張現実感技術として、画像処理・情報化機能を加え、さらにアクチュエータ要素も加えたバーチャルミラーボックスの試作機について述べた。また、バーチャルミラーボックスで行える訓練・評価の方式について述べた。力刺激機能に用いる多自由度バルーン型アクチュエータについて述べた。

金沢医科大学病院において行っている実験により、バーチャルミラーボックスで麻痺の程度や注意障害の程度を定量的に評価し現せることが分かっている。しかし、これまでは実験結果を個別に解析し解釈し考察したものであり、評価指標として挙げた一致度を系統的に解析し評価する手法を確立することが課題として残る。また、訓練効果の程度を検証するには、多くの臨床的実験が必要である。

本研究のバーチャルミラーボックスは、構造が比較的単純であるため、多様な使い方が期待できる。当初は個人のリハビリとして家庭や病院、介護施設への導入を想定するが、次のステップとして複数人で同時にひとつの課題を行うようなことも考えられる。みなで楽しんで

ハビリや障害予防となる運動を行うことで、健康寿命の延伸、ひいては地域の活性化にもつながると期待できる。

[参考文献]

- [1] Ramachandran, V.S. and Hirstein, W., The perception of phantom limbs (Review), *Brain: A Journal of Neurology*, 121 (1998), 1603-1630.
- [2] Yavuzer, G., Selles R., Sezer, N., Sütbeyaz, S., Bussmann, J. B., Köseoğlu, F., Atay, M. B. and Stam, H. J., Mirror therapy improves hand function in subacute stroke: a randomized controlled trial, *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 89-3 (2008), 393-398.
- [3] Thieme, H., Mehrholz, J., Pohl, M., Behrens, J. and Dohle, C., Mirror Therapy for Improving Motor Function After Stroke, *Stroke*, 44-1 (2012), e1-e2.
- [4] 平上尚吾・井上優・佐藤ゆかり・原田和宏・香川幸次郎, 脳卒中片麻痺患者の上肢運動機能に対する回復期のミラーセラピーの効果, *理学療法科学*, 31-4 (2016), 609-613.
- [5] Kaneko, F., Yasojima, T. and Kizuka, T., Kinesthetic illusory feeling induced by a finger movement movie effects on corticomotor excitability, *Neuroscience*, 149-4 (2007), 976-984.
- [6] 一ノ瀬晶路・佐野佑子・和家尚希・大隅倫弘・住谷昌彦・熊谷晋一郎・國吉康夫, 高い治療効果を有する利便性の高い幻肢痛 VR リハビリシステムの開発, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 講演論文集*, (2015), 1P2-L04.
- [7] 松田直樹・金子文成・柴田恵理子・高橋良輔・本澤征二・稲田亨・小山聡, 視覚誘導性自己運動錯覚が脳卒中片麻痺者の上肢運動機能回復に及ぼす影響, *理学療法学*, 43-Supplement 2 (2016), 0939.

[成果の発表, 論文等]

- [1] 大島徹, 小柳健一, 影近謙治, 増田寛之, 本吉達郎, 「鏡治療法を起点とした画像処理リハビリテーション装置の開発」, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集*, 2P1-01b3 (2016).
- [2] 小柳健一, 大島徹, 影近謙治, 村林知明, 増田寛之, 本吉達郎, 澤井圭, 「デジタルミラーボックスによる脳卒中片麻痺者に向けた新しい手指リハビリ手法」, *第 22 回ロボティクスシンポジウム予稿集*, pp.1-6 (2017).