

平成 21 年 3 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18300186
 研究課題名（和文）
 リハビリロボットを併用した脳卒中片麻痺上肢のハイブリッドCI療法
 研究課題名（英文）
 Hybrid CI therapy for stroke using a rehabilitation robot
 研究代表者 道免 和久 (DOMEN KAZUHISA)
 兵庫医科大学・医学部・教授
 研究者番号：50207685

研究成果の概要：

脳卒中の多くに伴う上肢麻痺に対し、健側を拘束して麻痺側を訓練するCI療法とリハビリロボットを併用した新たなリハビリ療法「ハイブリッドCI療法」の開発を目指した。脳の可塑性を効果的に誘導できる訓練課題を抽出し、その動作を再現できる簡易でコンパクトなロボットおよび訓練ソフトを開発し、慢性期のボランティア患者を対象に本療法の効果を評価した結果、Brunnstrom stage, Fugl-Meyer Assessment などの上肢機能評価指標に有意な向上効果が、また Motor Activity Log を用いた実生活での使用頻度にも若干ではあるが改善が認められた。

交付額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,800,000	2,640,000	11,440,000
2007年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：分科：人間医工学、細目：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：リハビリテーション、上肢、CI療法、ロボット、脳卒中

1. 研究開始当初の背景

脳卒中患者の麻痺側上肢のリハビリに関する研究はほとんどなく、従来は健側上肢による代償で済まされていた。本研究代表者らは、健側上肢を拘束して麻痺側上肢で段階的訓練課題を実施するCI療法（Constraint Induced Movement Therapy）の本邦における普及に努めるとともに、共同研究者である大阪大学・古荘研究室とともに世界で初めて3次元上肢リハビリロボットを開発し、臨床評価で慢性期の上肢麻痺に改善効果を検証してきた。

2. 研究の目的

本研究は、CI療法とリハビリロボットを併用した、新たなリハビリ療法「ハイブリッドCI療法」を開発すべく、脳の可塑性をより誘導できる訓練課題の開発と、この療法を実現するための簡易でコンパクトなリハビリロボットおよび訓練ソフトの開発を目的とした。またボランティア患者による本療法の効果の検証や、患者一人でも安全に訓練できることの確認も目標とした。

3. 研究の方法

脳梗塞による上肢片麻痺患者の患側上肢を拘束して健側上肢の訓練を行うCI療法(Constraint Induced Movement Therapy)の手指および肩肘の多様な訓練課題から、肩肘運動の訓練に有用なShaping項目(段階的訓練課題)を抽出し、基本パターン化して、ロボットでその動きを再現させる。ロボットとしては、ER流体ブレーキを用いた安全性の高いコンパクトで簡易な準3次元のリハビリロボット(PLEMO-1と命名)の開発を行う。開発したロボットを用い、健常者による試行訓練の後、脳梗塞上肢片麻痺のボランティア患者による、ロボット単独およびCI療法とロボットを併用したハイブリッド療法で、これらの効果を検証する。上記目的のため、本研究は下記の事項に沿って行われた。

- (1)CI療法の多様なシェーピング項目の動作分析と基本パターン化
- (2)基本パターン化されたshaping項目の組み合わせにより、肩肘の多様な運動学習を行うための訓練課題の検討
- (3)shaping項目をロボット動作として再現するための駆動機構の開発
- (4)ロボットの多様な動作に対応できる軽いグリップ部と、正確な力覚を呈示するための剛性の高い駆動・伝達機構の開発
- (5)多重ディスク型ER流体クラッチを用いた、パソコン機サイズにコンパクト化した準3次元ロボットの開発
- (6)従来の医師・療法士による主観的評価を工学的数値として表現する、訓練効果の定量的表現法の開発
- (7)患者が容易に訓練メニューを設定できる入力手段、体幹保持法などの入力インターフェースの開発
- (8)基本パターン化されたshaping項目を組み合わせた訓練基礎ソフトの開発
- (9)健常者による動作試験での問題点の抽出とその対策および安全性の確認
- (10)ボランティア患者によるハイブリッドCI療法の臨床評価

4. 研究成果

(1) リハビリロボット(PLEMO-1)の開発

CI療法の多様なシェーピング項目の動作分析により基本パターン化された運動課題からリハビリロボットに求められた仕様に基づき、分担研究者である大阪大学・古荘教授の下で力覚呈示性能に優れたER流体ブレーキを用いた準3次元作動の可能なリハビリロボット(PLEMO-1)が開発された。

① ロボットの機構と仕様

画像と連動した力覚を高性能に発現させるた

め、応答性に優れたER流体ブレーキに直結した平行リング型の駆動機構(図1)を採用した。基板上に乗せられたアームの端部に設けられたグリップ部は、前後 50cm、左右 80cm の範囲で動か

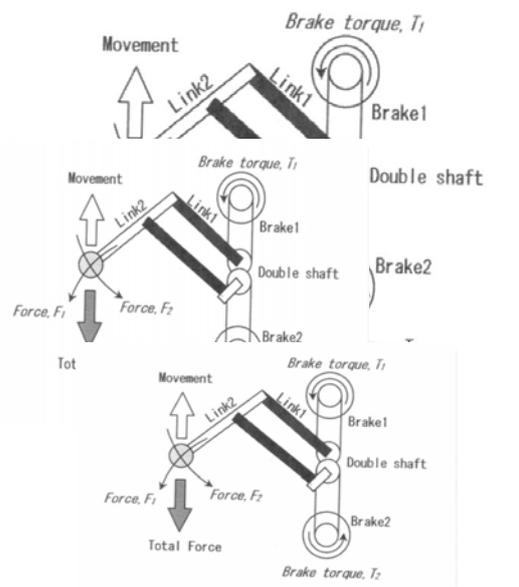


図1 ロボットアームの駆動機構

② ロボットの外観

図2のように幅 105cm、奥行き 95cm のパソコン機サイズのコンパクトな装置であり、制御用パソコンは脚部奥の箱に収納されている。画像は立体感を出すため3Dの手法が採用されている。

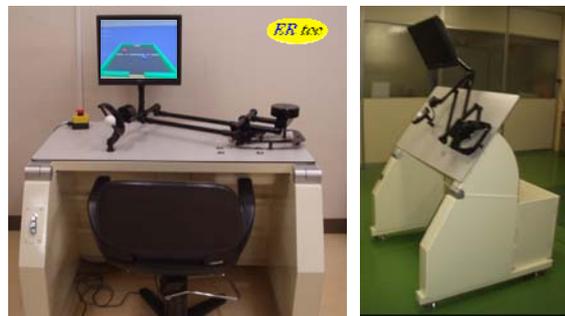


図2 PLEMO-1の前面と基板角度の変更

③ 訓練方法

患者は装置前の椅子に座り、訓練側の手でアーム握り、画像と音声の指示に合わせてメニューに従ってアームを動かす。訓練にはゲーム感覚で行える各種の訓練課題が用意されている。ER流体ブレーキにより画像に合わせたバーチャルリアリティの力覚がアームに伝わる。アームの角度や高さは患者に合わせて任意に設定できる。

④ 訓練ソフト

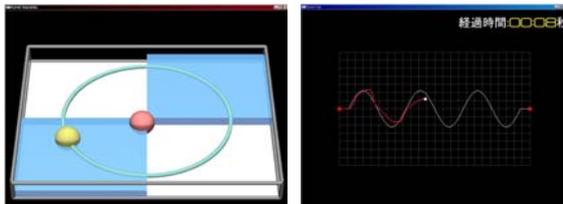
各種の訓練課題を実施するため、6つの訓練

ソフトを制作した。課題の内容は、CI療法の Shaping 項目として有効な多様性を保てるように工夫した。また、CI療法で重要な難易度調整もできるように工夫した。患者に合わせた条件(訓練ソフトの選択、可動範囲、力の強さ、動作速度、運動の方向、回数、順序など)の設定で一連の訓練メニューで訓練がなされるが、患者の体調に合わせて、手許の操作パネルを操作することにより、補助者や患者が訓練途中で訓練メニューの順序や回数の変更を行うことも出来る。

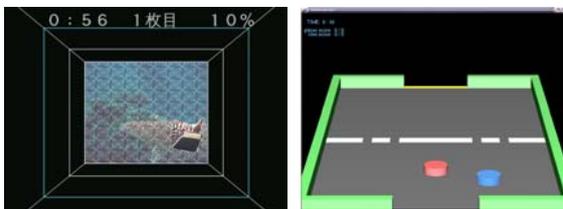


図3 訓練メニュー選択画面

図4に訓練ソフトの一例を示す。患者は画像の指示(標的)に合わせて上肢を動かす。その際の力(抵抗)は予め患者に合わせて設定できる。本療法は、自分の意思で上肢を画像の指示通りに繰り返し動かす内に、上肢の可動範囲が広がり、また筋力も増すとの仮説に基づくものであり、脳の可塑性により脳内に新たな神経回路が形成され、上肢機能が回復するものと考えられる。モチベーションを保ちながら自分の意思で上肢を動かし、訓練を持続性のあるものにするために、訓練ソフトにはゲーム性を取り入れている。



(a) 円軌道追従 (b) 波形軌道追従



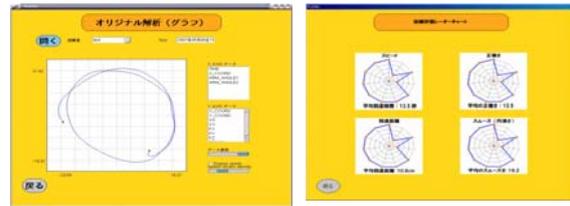
(c) 絵画めくり (d) ホッケー

図4 訓練ソフトの例

⑤ 評価結果の表示

一連の訓練や評価が終わるとデータが記録さ

れ解析されて図表になって表示される。医師・療法士は、患者の訓練結果を基に、必要に応じ次回の訓練の条件を再設定する。



(a) 軌道の記録 (b) 解析結果の表示

図5 訓練結果の記録と解析結果の表示の例

(2) 臨床評価

① 予備評価

【準備研究 I (健常人による安全確認)】

PLEMO による訓練は対象者 8 名に 1 回 40 分、6 種類の訓練課題で行なわれた。実施後、翌日に筋疲労や身体の痛み、バーチャルリアリティシステムに対する酔いなどを訴える者はなく、安全に実施できた。

【準備研究 II (脳卒中片麻痺患者での試行)】

試行した脳卒中後片麻痺患者は 2 名である。Control として PLEMO による介入 4 週前に評価を実施し、その後、医学的介入・リハビリテーション医学的介入を行わず通常通りに日常生活を過ごさせ、再度上肢機能評価を実施した。その後、1 日 40 分の PLEMO による練習を週 2~3 回、全 10 回を約 4 週で施行し、終了後上肢機能評価を再び実施した。

訓練課題には 8 種類の軌道追従、絵画めくり、ホッケーゲームを用いた。PLEMO の操作は作業療法士が最初に説明した後は患者が全て一人で行った。なお、作業療法士は麻痺側上肢に対する評価内容や機能的な変化点について、患者に一切説明を行わなかった。

上肢機能評価は、①Brunnstrom stage 上肢項目 (BRS(上肢項目))、②Brunnstrom stage 手指項目 (BRS(手指項目))、③Fugl-Meyer Assessment (FMA)、④Motricity Index (MI)、⑤ADL での麻痺側上肢の使用頻度と動作的な質を患者の主観にて評価する Motor Activity Log (MAL) における Amount of Use (AOU)、Quality of Movement (QOM)、を採用した。また、参加者は本準備研究に対し、同意書にて同意の上、自主的に参加した。

<症例 1>63 歳女性、左麻痺、発症後、54 週:

<症例 2>51 歳男性、左麻痺、発症後 732 週:

表 1 準備評価の結果

(評価結果は、介入 4 週前→介入前→介入後の順に記載。症例 2 は、操作部の把持が不可能のため、スプリントで上肢とアームを固定)

評価法	症例 1	症例 2
BRS(上肢項目)	5→ 5→ 6	4→ 4→ 5
BRS(手指項目)	5→ 5→ 5	3→ 3→ 3
FMA	61→ 61→ 64	18→ 18→ 32
MI	46→ 46→ 71	39→ 39→ 54
MAL AOU	3.6→ 3.6→ 3.6	1.0→ 1.0→ 1.1
MAL QOU	3.6→ 3.6→ 4.0	1.2→ 1.2→ 1.6

準備研究は、健常者・脳卒中後片麻痺患者ともに安全に終了し、脳卒中後片麻痺患者 2 名の BRS 上肢項目、FMA における上肢近位部の項目、MI における肩、肘の項目、MAL の QOU、における向上を示した。訓練終了時に対象者から下記のコメントが得られた。「何が変わったかがわからないが、確かに手は使いやすくなった」、「生活中では劇的に変わったという印象はないが、使い易くなった」

② ボランティア患者による臨床評価

ロボットを用いた CI 療法の Shaping 項目の検証とロボット訓練ソフトのより効果的な使用法を検討するために、ロボット単独の訓練を 5 症例(年齢 63.4±8.23, 発症後週 682.3±526.42 週, 男 4 名, 女 1 名)に対して行った。その結果、表 2 に示すように肩・

表 2 ロボット単独訓練の結果

評価法	評価結果
上田式 12 段階評価(上肢)	8.8±1.3→ 10.2±0.8
上田式 12 段階評価(手指)	5±3.4→ 5±3.4
Fugl-Meyer Assessment	28±20.2→ 36±17.5
MAL AOU	1.8±1.2→ 1.9±1.2
MAL QOM	1.55±0.9→ 1.62±0.9

肘関節の運動において全ての症例で改善を認めた。

この結果を踏まえて、ロボット訓練を従来の shaping 項目に組み込んだハイブリッド CI 療法の効果を 5 症例(年齢 58.23±6.48, 発症後週 732.6±673.83 週, 男 4 名, 女 1 名)において検証した。

ハイブリッド CI 療法の結果も、表 3 に示

表 3 ハイブリッド療法の結果

評価法	評価結果
上田式 12 段階評価(上肢)	8.2±2.2→ 9.2±2.2
上田式 12 段階評価(手指)	7.2±1.9→ 8.8±1.3
FMA	41±0.48→ 49.4±10.1
MAL AOU	1.0±0.47→ 1.8±0.48
MAL QOM	0.9±0.46→ 2.2±0.75

すように、肩・肘・手・手指の関節運動の改善とともに、日常生活の質も向上した。

また、ロボット単独の訓練を実施した患者からは「生活の中で劇的な変化には至らないが、手が使い易くなった」、ハイブリッド CI 療法を実施した患者からは、「手は以前より使い易くなった上に、生活の中で使うようになった」との感想が聞かれた。

(3) 結論

慢性期の脳卒中後片麻痺患者の機能を維持・改善するための療法士によるリハビリテーション施行時間は、平成 18 年度の制度の改定以降、制限されている。療法士の意図的なプログラムを正確に反映し、かつ安全に麻痺側上肢の機能を改善することができるロボットリハビリテーションは、医療保険の適応外ではあるが、不足する量的なりハビリテーションの補填といった側面で、療法士を支援できることが期待できる。今回の PLEMO を用いた臨床評価の結果から、慢性期脳卒中後片麻痺患者の上肢リハビリテーションに PLEMO を用いたハイブリッド療法は極めて有効と考えられる。今後更に ADL の向上に繋がる訓練ソフトの開発とともに、より多くの臨床評価で、本療法の有効性を実証したい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 竹林崇, 島田真一, 花田 恵介, 児玉典彦, 古河慶子, 佐野恭子, 道免和久, 慢性期脳損傷児の麻痺側上肢に対する短期集中練習(CI 療法)の試み, 総合リハビリテーション, 37(4), 301-306 (2009)
- ② 菊池武士, 小田邦彦, 胡星浩, 古荘純次, 準 3 次元上肢リハビリ支援システム「PLEMO」およびそのソフトウェアの研究開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, 36(13), 79-88 (2008) 査読あり
- ③ 菊池武士, 小田邦彦, 胡星浩, 福島一樹, 古荘純次, 井上昭夫, 準 3 次元上肢リハビリ支援システム(PLEMO)及びそのソフトウェア研究開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, 35(5), 39-445 (2007), 査読あり

- ④ 古荘純次、菊池武士、(特集)上・下肢リハビリテーション、福祉機器へのロボット技術の適応、総合リハビリテーション、35(5)、439-445 (2007) 査読なし
- ⑤ 道免和久、(特集)脳卒中治療:最近の話題: 上肢機能障害、総合リハビリテーション 34(12)、1145-1151(2006) 査読あり

[学会発表](計 19 件)

- ① 道免和久、CI療法の理論と実際、第 27 回中国四国リハビリ医学研究会、第 22 回日本リハビリ医学会中国四国地方会、2008.12.14、(岡山)
- ② 道免和久、CI療法 脳損傷の先端リハビリテーション、山口県理学療法士会、2008.11.30、(長門)
- ③ 道免和久、脳卒中リハビリテーション医療におけるCI療法の位置付けとその実際、第 18 回大分県リハビリテーション医学会、2008.11.09、(大分)
- ③ 道免和久、脳の可塑性とCI療法の可能性、第 7 回 P T, O T, S T 合同研修会、2008.10.19、(徳島)
- ⑤ 道免和久、CI療法 慢性期における回復可能性、相澤病院創立100周年記念 第5回脳卒中リハビリテーション市民公開講座、2008.10.18(松本)
- ⑥ 道免和久、CI療法から再考する脳卒中リハビリテーション医療、第11回山梨脳卒中研究会、2008.10.17、(甲府)
- ⑦ 道免和久、CI療法 理論と実際、月例医会、2008.09.22、(函館)
- ⑧ 道免和久、CI療法から考える脳卒中リハビリテーション、平成 20 年度第 2 回阪神南圏域(西宮市・芦屋市)リハビリテーション研究会、2008.09.16、(西宮)
- ⑨ 竹林崇、菊池武士、古河慶子、児玉典彦、道免和久、麻痺側上肢訓練支援装置「PLEMO」の紹介、第 17 回兵庫県作業療法学会、2008.09.07、(宍粟郡)
- ⑩ 古荘純次、菊池武士、上肢リハビリ支援システム EMUL, セラフィ, PLEMO の研究開発、第 23 回リハ工学カンファレンス、2008.09.07、(新潟)
- ⑪ 竹林崇、島田真一、髯谷満、当院におけるCI療法の実践報告、第 42 回日本作業療法学会、2008.06.22、(長崎)
- ⑫ 竹林崇、花田恵介、髯谷満、島田真一、道免和久、CI療法の試み、第 42 回日本作業療法学会、2008.06.20、(長崎)
- ⑬ 竹林崇、花田恵介、島田真一、道免和久、CI療法後、更なる患手の機能改善を認めた一症例、第42回日本作業療法学会、

2008.06.20、(長崎)

- ⑭ 小金丸聡子、勝谷将史、相良亜木子、佐藤健一、上口正、一角明子、高橋和子、吉田直樹、道免和久、CI療法及び麻痺側上肢集中訓練の実践、第45回日本リハビリテーション医学会学術集会、2008.06.06、(横浜)
- ⑮ 古荘純次、菊池武士、麻痺側上肢訓練支援装置「PLEMO」の紹介、リハビリ支援ロボット(シンポジウムS-2)(第47回日本生体医工学会大会)、2008.05.08、(神戸)
- ⑯ 福島一樹、小澤拓也、赤井弘樹、菊池武士、古荘純次、準三次元パッシブ型上肢運動訓練支援システム「PLEMO」の理学療法に基づいた評価のための操作部の開発および訓練ソフトウェア、第 47 回生体医工学会大会、2008.05.08、(神戸)
- ⑰ 道免和久、CI療法 脳の可塑性について、宮地病院リハビリテーション研究会、2008.04.03、(神戸)
- ⑱ 道免和久、CI療法から学ぶ脳卒中リハビリテーション医療のあり方、第 25 回日本私立医科大学理学療法学会、2007.10.6、(東京)
- ⑲ 福島一樹、菊池武士、胡星浩、古荘純次、井上昭夫、準 3 次元上肢運動訓練支援システム「PLEMO-P1」の開発及び制御、第 46 回日本生体医工学会大会(旧日本エム・イー学会)講演会論文集(CD-R) PS-3-9-6、2007.4.27、(仙台)

[図書](計 1 件)

- ① 道免和久(編)、中山書店(東京)、脳卒中リハビリテーションの新たなアプローチ、CI療法のわが国への導入(道免和久)、CI療法のメカニズムと検討課題(道免和久)、CI療法が変える日本のリハビリテーション(道免和久)、事例5:小児におけるCI療法の効果(竹林崇)、(2008)総ページ数 222

6. 研究組織

(1)研究代表者

道免 和久(DOMEN KAZUHISA)
兵庫医科大学・医学部・教授
研究者番号:50207685

(2)研究分担者

古荘 純次(FURUSHO JYUNJI)
大阪大学大学院・工学研究科・教授
研究者番号:70107134
川上 寿一(KAWAKAMI JYUICHI)
兵庫医科大学・医学部・助教
研究者番号:40351803
児玉 典彦(KODAMA NORIHIKO)

兵庫医科大学・医学部・助教
研究者番号:40278833
古河 慶子(FURUKAWA KEIKO)
兵庫医科大学・医学部・助教
研究者番号:10412016
島田 真一(SHIMADA SHINICHI)
兵庫医科大学・医学部・助教
研究者番号:60441317
細見 雅史(HOSOMI MASASHI)
兵庫医科大学・医学部・助教
研究者番号:30517397

(3)研究協力者

竹林 崇(TAKEHAYASHI TAKASHI)
兵庫医科大学病院・作業療法士