

平成 21 年 5 月 17 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19360117

研究課題名(和文) 生体機能計測と上肢リハビリ支援ロボットを融合した
新しいリハビリテーションシステム研究課題名(英文) New Rehabilitation Systems Combining the Measurement of Bio-fuction
and Rehabilitation Robots for Upher Limbs

研究代表者

古莊 純次(FURUSHO JUNJI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70107134

研究成果の概要：

近年の神経科学や機能的脳画像の進歩により、損傷を受けた脳において、その使用が脳の可塑的な変化を起こすことが分かってきた。また、そのような変化と運動機能の回復が関連することが明らかになってきた。それに伴い、リハビリテーションの方法論から神経科学的裏づけという流れ以外に、神経科学からの知見からリハの方法論の創造という新しい流れが生じつつある。この新しい潮流を確立するためには、高度な計測装置のみならず、リハ手技自体にもリハビリ支援システム等を導入することによって定量的な手技評価を実現することが必要不可欠である。本研究は、上肢運動機能に障害を持つ患者のみならず虚弱高齢者の上肢機能の回復にも役立つ、安全性が高く、かつ手技の定量評価可能なリハビリ支援システムの開発、およびそれを用いた新しいリハビリテーション手法の導入を目的とする。

本研究においては主に(1)上記目的を達成するための上肢リハビリシステム PLEMO-P3, Hybrid-PEMOの開発、(2)それらの装置を理学療法的手法に導入するための新しいソフトウェアの開発および近赤外線分光法を用いた脳活動の計測を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2008年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,400,000	4,620,000	20,020,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：人間機械システム、生体計測、上肢リハビリ、リハビリ支援ロボット、理学療法

1. 研究開始当初の背景

近年の神経科学や機能的脳画像の進歩により、損傷を受けた脳において、その使用が脳の可塑的な変化を起こすことが分かってきた。また、そのような変化と運動機能の回復が関連することが明らかになってきた。そ

れに伴い、リハビリテーションの方法論から神経科学的裏づけという流れ以外に、神経科学からの知見からリハの方法論の創造という新しい流れが生じつつある。この新しい潮流を確立するためには、高度な計測装置のみならず、リハ手技自体にもリハビリ支援シス

テム等を導入することによって定量的な手技評価を実現することが必要不可欠である。

2. 研究の目的

超高齢化社会を迎え、脳卒中患者は年間約25万人が発症しており、その多くが上肢の運動機能に障害を持つ。医療財源は限られたものであり、平成18年度の診療報酬改正で訓練期間の算定上限は発症後180日までである。療法士の人数も現状では不十分であり、一般の医療機関で規定時間や期間を越えて訓練を行うことは不可能である。しかし、実際にはそれ以上の訓練を行うことにより機能改善が得られると予想される症例も少なくはない。上記のような社会状況から考えても、今後自主訓練が可能なりハビリ支援システムの必要性は高まるものと考えられる。

3. 研究の方法

(A) 上肢リハビリ支援システムと脳機能計測を用いた上肢訓練・評価システムの構築

システムの概要

効果的な上肢リハビリを支援する為には、訓練システムを構築することも大切であるが、上肢運動の定量的な評価を行うことはリハビリの効果を確認する上で非常に有用である。そこで、上記で述べた3次元上肢リハビリ支援ロボットを使用した上肢機能計測、光を用いた脳機能イメージング法であるNIRSを使用した脳機能計測を複合的に上肢訓練システムに取り入れることによる訓練評価の充実化を図った。この研究は大阪大学と森之宮病院（森之宮病院 神経リハビリテーション研究部長 宮井一郎）の共同研究により行われた。

近赤外分光法「NIRS」

近赤外分光法（NIRS：Near-infrared Spectroscopy）とは、生体組織に対し高い透過性を持つ近赤外光（波長：700nm～1000nm）を生体外部から照射し、組織を透過してきた光の分析により、組織内部における血液中のヘモグロビンの濃度変化を検出する方法である。一般に脳の活動部位は血流が増加すると言われており、ヘモグロビン濃度でもって、脳賦活の観測をおこなっている。脳機能評価方法としてMRI、PET、脳磁図等が一般的であるが、測定中に被験者の動きに大きな制約を伴ってしまうという欠点がある。それに対しNIRSは被験者の動きに制約が少なく、患者での測定が容易になり、また、動的な運動の脳機能計測にも適している。森之宮病院の宮井らはNIRSを用いた光イメージングにより、従来のMRI等では実現できなかった、正常人のトレッドミル歩行中の脳血流を測定する方法を確立している。

(B) 準3次元上肢リハビリ支援システム

PLEMO-P3の臨床評価

本研究は、加納総合病院 小澤拓也 人事課長兼企画課長（古荘研 社会人ドクター）との共同研究として行った。

脳卒中のリハビリテーション（リハ）にはその症候の評価が重要であるが、客観的な技術として確立させるには困難な部分も多い。しかし近年、リハ医学においても Evidence Based Medicine が求められており、客観的事実に基づくリハの実施が望まれている。本研究では我々の開発したリハ支援システム PLEMO-P3 の患者評価機能について、リハ医学の臨床評価との関連性から検討を行った。

共同運動

脳卒中に起因する運動麻痺は随意運動の遂行能力の低下であり、臨床的には運動パターンの異常および筋力低下として現れる。この運動麻痺の回復時には共同運動（Table 1 参照）と呼ばれる、ステレオタイプの異常な運動パターンが出現する（共同運動に支配されている患者は肩・肘・手関節を別々に動かすことができず、全体的な屈曲、あるいは伸展運動しか行えない）。

Table 1 Synergy movement of upper limb

上肢の屈曲共同運動 肩甲帯後退、肩外転・外旋、肘屈曲、前腕回外、手関節屈曲
上肢の伸展共同運動 肩甲帯後退、肩伸展・内転、肘伸展、前腕回内、手関節屈曲

「準3次元上肢リハシステム

・PLEMO P3 (Fig. 1)

PLEMOは原則的には2次元平面内であるが、テーブルの傾斜を調整することで準3次元の訓練スペースが確保できる、ERブレーキを用いた準3次元上肢リハシステムである。本システムのグリップ部にはひずみゲージ、ポテンションメータ、力センサが取り付けられており、それぞれグリップの把持力、手関節の掌屈/背屈方向の回転角度、ハンドルに加わるZ方向への押し付け力が計測できる。



Fig. 1 PLEMO P3 with new handle mechanism

・ソフトウェア

我々は Reaching/Pulling 動作を用いて共同運動を検出するための評価プログラムを開発した (Fig 2). 本評価プログラムでは患者は上肢を動かして, 表示されている軌道に沿ってターゲット球に到達し, 再びスタート位置に戻るという課題を繰り返すことで評価が行われる.



Fig 2 Reaching application software.

Reaching/Pulling 課題による脳卒中評価・対象

対象は脳卒中片麻痺患者 14 名, その内訳は Brunnstrom Recovery Stage (BRS: Table 2 参照) が 2 名, が 3 名, が 9 名であり, 被験者には研究内容を説明し, 研究への参加に同意を得た.

Table 2 Brunnstrom Recovery Stage

Stage	完全弛緩性麻痺
Stage	痙縮・連合反応の出現
Stage	痙縮亢進・共同運動の出現
Stage	痙縮減少・中枢部の分離運動出現
Stage	痙縮減少・末梢部の分離運動の出現
Stage	筋緊張・運動パターンの正常化

随意運動の発現と協調性を主とした運動麻痺の回復を示す

・方法

方法は PLEMO P3 の結果と臨床評価法の結果との相関関係から PLEMO の有効性を証明する. PLEMO P3 の評価項目は, 作業時間, 運動の正確性, 操作力, 押し付け力, 握力 (最大値と平均値), 速度 (平均速度とピーク速度), 手関節の可動域とした.

脳卒中の臨床評価法は, BRS (上肢/手指), Fugl-Meyer 評価法 (FMA), 脳卒中機能障害評価法 (SIAS), 簡易上肢機能検査 (STEF) の評価法の上肢機能の部分とした.

左右差の影響をなくすため, 左上肢で行った課題については, 左右を反転させてデータ処理を行なった. また, 統計学的検討には Spearman の順位相関係数を用い, 有意水準は 5% 以下をもって有意とした.

(C) Hybrid-PEMO の研究開発

アクティブ型とパッシブ型とを簡便に切り替える事が可能な「Hybrid-PEMO」(Fig.3)を開発. アクティブ型とパッシブ型による訓練の効果を比較することを目的に開発した.

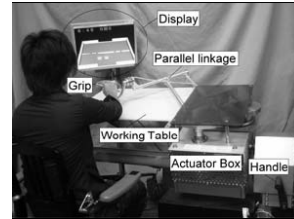


Fig.3 Hybrid-PEMO

4. 研究成果

(A) 上肢リハビリ支援システムと脳機能計測を用いた上肢訓練・評価システムの構築

訓練評価用のプログラムとして, 図 4 に示すような八頂点リーチング法を提案し, EMUL のソフトウェアとして作成した (図 5). 八頂点リーチングプログラムにおいては, 訓練者は直方体の頂点間を順番に移動するターゲット球を, ハンドル位置に対応した操作球でもって追従を行う. この追従運動訓練時の上肢手先位置データを EMUL にて, 訓練者の脳活動の様子を NIRS にて計測し, 評価指標として用いる. 7 人の健常者に被験者として協力してもらい, 上記の八頂点リーチングプログラムを行ってもらった. 測定実験の様子を図 6 に示す.

EMUL により測定された上肢運動データの例として図 7 に総合誤差のデータを示す. 総合誤差はターゲット球と操作球との相対距離の時間平均であり, 追従成績を表すものとして解釈できる. 図から分かるように, タスクを重ねるごとに追従成績が向上していることが窺い知れる. 実際に統計学的に有意に成績は改善していた.

また, 図 8 に NIRS による脳賦活のデータを示す. Task 2 回目に比べ, Task 1 回目時に大脳皮質のどの部位が有意に発火していたかを表したものである. これより, 左側運動前野や内側前頭前葉野周辺が有意に活動していたことが確認できた. 今回の追従リーチング訓練において, 訓練の習熟にこれらの分野が関係している可能性が高い. 尚, これらのデータは被験者全てのデータを統合したものである.

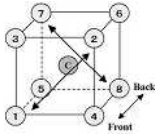


Fig.4. 八頂点法

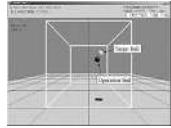


Fig.5. 八頂点ソフト



Fig.6. 評価実験風景

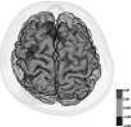


Fig.8. 脳賦活データ

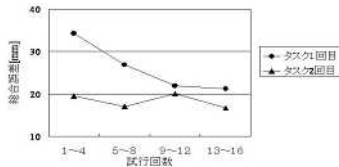


Fig.7. 上肢運動データ (総合誤差)

(B) 準3次元上肢リハビリ支援システム PLEMO-P3 の臨床評価

運動の正確性では外転運動での Reaching にて, SIAS および FMA の感覚の点数と有意な負の相関が認められた. 押し付け力の平均・最大値ともに STEF と有意な負の相関が認められた. 手関節の可動域において, BRS の上肢・手指, SIAS の近位・遠位部の運動, STEF とともに有意な正の相関が認められた. その他は有意な相関関係は認められなかった.

・考察

押し付け力ならびに手関節可動域については, BRS と良好な相関関係を示した. BRS は上肢運動の協調性を反映するもの³⁻⁴⁾であり, 今回の結果は PLEMO の運動機能評価能力が反映されたものと考えられる. さらに PLEMO における評価結果から検討すると, BRS が重度化すれば, 押し付け力が増大し, 手関節の背屈角度が減少する. この現象は上肢の協調性が低下, つまり共同運動による上肢屈筋群の筋緊張亢進が運動に強い影響を及ぼしているものと考えられる.

脳卒中患者は Reaching 動作中に屈筋優位の共同運動によって上肢を運動させる傾向があるため, ターゲット球の位置が作業片面上で外転方向になれば課題遂行が困難となる. これは上肢を麻痺肢側へ運動させる場合には, 肩の屈曲・外転, 肘の伸展, 手関節の背屈を同時に行わなければならない, 共同運動から分離した高度な上肢の協調性が要求される²⁻⁴⁾ため, 麻痺肢と同側への Reaching ではより特徴的な結果となったものと考えられる.

PLEMO による脳卒中患者の運動機能評価は脳卒中の重症度との相関を示すことから, 本システムでは客観的な脳卒中片麻痺の評価が行えると考えられる.

(C) Hybrid-PLEMO の研究開発

アクティブ型とパッシブ型とを簡便に切り替える事が可能な「Hybrid-PLEMO」(Fig.3)を開発. アクティブ型とパッシブ型による訓練の効果を比較することを目的に開発した.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

(1) 金英、アクティブ・パッシブ兼用準三次元上肢リハビリ支援システム「Hybrid-PLEMO」、日本機械学会 C 編、Vol.74, No.745, pp.2099-2106、2008、査読有

(2) 小柳健一、三次元上肢リハビリテーションシステムの開発、第3報:VR技術の応用とその臨床的予備試験を通じた検討、日本ロボット学会誌、Vol.27, No.1, pp.79-86、2008、査読有

(3) 古荘純次、ロボティクス・メカトロニクス・バーチャルリアリティ技術を用いたリハビリ支援システム、The Journal of Clinical Physical Therapy、Vol.10, pp.15-21、2008、査読有

(4) 古荘純次、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用、総合リハビリテーション、Vol.35, No.5, pp.439-445、2007、査読無

(5) Junji Furusho、A 3-D Rehabilitation System for Upper Limbs "EMUL", and a 6-DOF Rehabilitation System "Robotherapist", and Other Rehabilitation System with High Safety、Rehabilitation Robotics、Chapter 8, pp.115-136、2007、査読無

(6) 菊池武士、上肢・下肢リハビリテーションシステム研究開発およびVR技術の応用、日本シュミレーション学会誌、Vol.26, No.3, pp.160-165、2007、査読無

[学会発表](計 35 件)

(1) Junji Furusho、6-DOF Upper Limbs Rehabilitation System "Robotherapist" and Its Application to Cerebellar Ataxia Assessment、ROMANCY 17 Robot Design, Dynamics, and Control (Proceedings of ROMANSY2008)、pp.373-380、2008、Tokyo

(2) Takehito Kikuchi、"Hybrid-PLEMO", Rehabilitation system for upper limbs with Active / Passive Force Feedback mode、2008 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation、ICMA2008 CD-ROM、WA3-1、2008、Vancouver、Canada

(3) Shiro Isozumi、Measurement of Reaching

- Movement with 6-DOF Upper Rehabilitation System
 "RoboTherapist", 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC08), pp.4262-4265, 2008, Vancouver, Canada
- (4) Ying Jin, Study on Development of Active-Passive Rehabilitation System for Upper Limbs: Hybrid-PLEMO, 11th International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, Journal of Physics: Conference Series 149 (2009) 012016, Online, 2008, Dresden, Germany
- (5) Takehito Kikuchi, Study on Development of Its Mechanism of Rehabilitation System for Upper Limbs: PLEMO-P1, 11th International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions(Journal of Physics: Conference Series 149 (2009) 012015, Online, 2008, Dresden, Germany
- (6) Kazuki Fukushima, Mechanism Design and Software Based on Physiotherapy of Rehabilitation System for Upper Limbs: PLEMO-P1, 7th International Conference on Machine Automation, pp.61-66, 2008, Japan
- (7) Hiroki Akai, Study on Development of Active-Passive Rehabilitation System for Upper Limbs, "Hybrid-PLEMO, 7th International Conference on Machine Automation, pp.67-70, 2008, Japan
- (8) Yuuki Ohyama, 6-DOF Stand-Alone Rehabilitation Robot "RoboTherapist" and Its Applications to Stroke Survivors, 7th International Conference on Machine Automation, pp.71-74, 2008, Japan
- (9) 古荘純次, リハビリ支援ロボット、第 47 回 日本生体医工学会大会予稿集 (CD-ROM)、pp.9-10、2008
- (10) 菊池武士, 上肢リハビリ支援システムを用いた上肢機能計測、第 47 回 日本生体医工学会大会予稿集(CD-ROM)、pp.129-130、2008
- (11) 菊池武士, 3次元上肢リハビリ支援システム EMUL による運動機能計測および脳機能計測に関する基礎的検討、第 47 回 日本生体医工学会大会予稿集(CD-ROM)、pp.667-668、2008
- (12) 大山裕基, 脳卒中片麻痺を対象とした上肢リハビリ支援システムによるリーチング動作計測・評価、第 47 回 日本生体医工学会大会予稿集(CD-ROM)、pp.669-670、2008
- (13) 菊池武士, 準 3次元上肢リハビリ支援システム「Hybrid-PLEMO」の研究開発、第 47 回 日本生体医工学会大会予稿集 (CD-ROM)、pp.665-666、2008
- (14) 福島一樹, 準 3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及び訓練ソフトウェア、第 47 回 日本生体医工学会大会予稿集(CD-ROM)、pp.523-524、2008
- (15) 志智直人, 上肢リハビリ支援システムを用いたリーチング動作の計測・評価、日本機械学会 2008 年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集 (DVD) 1P1-D10、2008
- (16) 原口真, 三次元上肢リハビリロボット EMUL を用いた生体機能計測システムの基礎研究、日本機械学会 2008 年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集 (DVD) 1P1-D11、2008
- (17) 福島一樹, アクティブ・パッシブ兼用上肢運動訓練支援システム Hybrid-PLEMO の開発に関する基礎研究、日本機械学会 2008 年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集 (DVD) 2P2-F04、2008
- (18) 菊池武士, 準 3次元上肢リハビリ支援システム「PLEMO」シリーズの研究開発 (PLEMO-P1 から P3 まで)、第 8 回日本 VR 医学会学術大会抄録集、pp.24-25、2008
- (19) 古荘純次, 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講演論文集、pp.197-198、2008
- (20) 福島一樹, 上肢訓練支援システム PLEMO-P3-Prototype における共同運動パターン認識のための基礎研究、第 26 回日本ロボット学会学術講演会講演概要集 (CD-ROM)、3K2-01、2008
- (21) 大山裕基, 6自由度上肢リハビリ支援システムのハンドル部回転駆動系の改良、第 26 回日本ロボット学会学術講演会講演概要集 (CD-ROM)、3K2-07、2008
- (22) 原口真, 3次元上肢リハビリ支援装置 EMUL と脳機能計測 NIRS による上肢運動機能評価システムに関する研究、第 26 回日本ロボット学会学術講演会講演概要集 (CD-ROM)、3L3-05、2008
- (23) 小澤拓也, 上肢運動訓練支援システム PLEMO-P3-Prototype の臨床評価に関する研究、生体医工学シンポジウム、pp.199-204、2008
- (24) 菊池武士, 準 3次元上肢運動訓練支援システム PLEMO による共同運動パターンを考慮した運動機能評価・訓練に関する

- 基礎的検討、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.108, No.254, pp.23-26、2008
- (25) 原口真、3次元上肢リハビリ支援装置 EMUL と脳機能計測 NRIS を用いた上肢機能訓練・評価システム、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.108, No.254, pp.31-34、2008
- (26) 大山裕基、手首を含む上肢リハビリ装置を用いたリーチング動作計測および訓練システムの開発、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.108, No.254, pp.35-40、2008
- (27) 菊池武士、準3次元上肢運動訓練支援システム PLEMO による共同運動パターンを考慮した運動機能評価・訓練、第35回日本臨床バイオメカニクス学会予稿集、p.212、2008
- (28) 五十棲 士朗、上肢リハビリ支援ロボットを用いたリーチング動作の計測・評価及び訓練システムの開発、第35回日本臨床バイオメカニクス学会予稿集、p.245、2008
- (29) 原口真、3次元上肢リハビリ支援ロボット EMUL と脳機能計測 NIRS による上肢機能訓練評価システム、第35回日本臨床バイオメカニクス学会予稿集、p.246、2008
- (30) 古荘純次、冗長個数のブレーキを有する力覚提示システムの性能評価方法、第9回システムインテグレーション部門講演会(SI2008)論文集、pp.1313-1314、2008
- (31) Takehito Kikuchi、Development of a 6-DOF Rehabilitation Robot and its Software for Clinical Evaluation Based on Virtual Reality、2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering、CME2007 CD-ROM, pp.1306-1309、2007、Beijing, China
- (32) Takehito Kikuchi、Quasi-3-DOF Rehabilitation System for Upper Limbs: Its Force-Feedback Mechanism and Software for Rehabilitation、IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics 2007 USB Memory, pp.24-27、2007、Noordwijk、the Netherlands
- (33) Junji Furusho、A 6-DOF Rehabilitation Support System for Upper Limbs including Wrists "Robotherapist" with Physical Therapy、IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics 2007 USB Memory, pp.304-309、2007、Noordwijk、the Netherlands
- (34) Takehito Kikuchi、Rehabilitation

Systems for Upper Limbs with High Safety、Joint JSPS-SNSF Seminar on COMPUTER-AIDED SURGERY、:PRESENT STATE AND FUTURE TECHNICAL AND CLINICAL CHALLENGES, pp.13-14、2007、Osaka Univ, Japan

- (35) Ying Jin、Development of Quasi-3D-Rehabilitation-System, "Hybrid PLEMO"、4th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2007)、pp.323-326、2007、POHANG, Korea

[その他]

古荘研究室研究業績 :

<http://www-dyna.mech.eng.osaka-u.ac.jp/welcome-j.html>

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

古荘 純次 (FURUSHO JUNJI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号 : 70107134

(2) 研究分担者

菊池 武士 (KIKUCHI TAKEHITO)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号 : 10372137

金 英 (JIN YING)

大阪大学・大学院工学研究科・ティーチング アシスタント

研究者番号 : 90467548

原口 真 (HARAGUCHI MAKOTO)

大阪大学・大学院工学研究科・ティーチング アシスタント

研究者番号 : 80467547

(3) 連携研究者

奥野 竜平 (OKUNO RYUHEI)

大阪大学・情報科学研究科・助教

研究者番号 : 90294199

小田 邦彦 (ODA KUNIHICO)

大阪電気通信大学・医療福祉工学部・教授

研究者番号 : 10440950

田中 克文 (TANAKA KATUFUMI)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授

研究者番号 : 50207081