

## 上肢リハビリ支援システムを用いたトレーニングの意欲向上を目的とした運動機能の得点化

## Scoring of Motor Function to Maintain Motivation Using Rehabilitation System for Upper Limbs

- 森彩夏（富山県立大学） 小柳健一（富山県立大学）  
 三角由香（太閤の杜デイサービスセンター）  
 寺前眞悟（太閤の杜デイサービスセンター）  
 本吉達郎（富山県立大学） 増田寛之（富山県立大学）  
 大島徹（富山県立大学）

Ayaka MORI, Toyama Prefectural University  
 Ken'ichi KOYANAGI, Toyama Prefectural University  
 Yuka MISUMI, Taikounomori Day Service Center  
 Shingo TERAMAE, Taikounomori Day Service Center  
 Tatsuo MOTOYOSHI, Toyama Prefectural University  
 Hiroyuki MASUTA, Toyama Prefectural University  
 Toru OSHIMA, Toyama Prefectural University

**Abstract:** When a stroke developed, motor deficit may occur as aftereffects. Therefore, it is important that the maintenance and recovery of the motor function with the rehabilitation to live under daily life. We study about the rehabilitation system for upper limbs "SEMUL" for stroke patients. In this paper, we show the result that long term test for elderly persons of non-stroke. The purpose of the test was confirmation of reproducibility and comparison of the motor function with the youth. In addition, we present the method of scoring of the motor function to maintain motivation to continue rehabilitation.

**Key Words:** Rehabilitation robotics, Stroke, Motion measurement, Motivation

## 1. はじめに

上肢の運動は日常生活動作に欠かせないものである。特に高齢者において、脳卒中などを発症すると後遺症として運動障害が生じ、生活活動に大きな影響を受ける。そのため、リハビリテーションとして運動機能の維持・回復をする訓練を行うことは重要である。しかし、高齢などで体力および気力が低下した人々にとって、リハビリテーションを継続して行うには努力を要する<sup>(1)</sup>。また、運動機能は定量的評価が難しく、評価者の主観による影響を免れない点を含むものが多い。そこで、このような様々な問題を解決するため、ロボット技術・VR (Virtual Reality) 技術を用いたリハビリテーションシステムの研究が盛んになっている<sup>(2)</sup>。

筆者らは、脳卒中後片麻痺者を対象とした上肢リハビリ支援システム「SEMUL」についての研究を行っている。先行研究では、訓練の定量的評価とアミューズメント性の高さを両立させたアプリケーションである「コイン取り」と「ボクシング」が開発され、これらのアプリケーションを使用することにより訓練への意欲を促進できることが分かった<sup>(3)(4)</sup>。

本稿では、運動機能評価における再現性の確認と若年健常者との比較を目的とした、非脳卒中の老年人による「コイン取り」を用いた長期試験の結果について述べる。また、リハビリを継続して行うための、意欲向上を図る運動機能の得点化について、その方法を述べる。

## 2. 上肢リハビリ支援システム SEMUL とアプリケーション

### 2.1 SEMUL

SEMUL は Simple Exercise Machine for Upper Limbs の略称であり、リーチングに特化した受動型の VR 上肢リハビリ支援システムである。リーチングとは目標位置まで上肢を伸ばすという基本的な腕や手の動作のことである。SEMUL の外観図

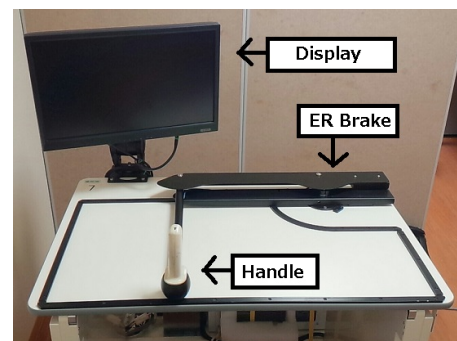


Fig.1 SEMUL

を Fig.1 に示す。SEMUL には現在 10 種類のトレーニングアプリケーションが搭載されている。受動要素には ER(Electro-Rheological) 流体を用いたブレーキを使用しており、ハンドルの操作によって接触や摩擦などの様々な力覚を提示することができる。また、ハンドルの位置や速さ、回転角度も計測できる。

### 2.2 コイン取り

SEMUL に搭載されているアプリケーションの 1 つであるコイン取りは、コインを取ることでリーチング動作の訓練を行うものである。ベーシックコースとアドバンスコースに分けられる。Fig.2 に示すベーシックコースの概略を以下に示す。

- ・ 訓練者は画面内のボールをハンドルで操作し、ボールがコースの壁に当たらないようにコインを取る。
- ・ コインを取りスタート位置に戻ると得点が増え、壁に当たると得点が減る。
- ・ コースの長さ(長短の 2 種)や向き(正面、左、右、斜め左、斜め右の 5 種)は 20 点ごとに変わる。
- ・ 200 点に達するか、制限時間(5 分)に達すると終了する。

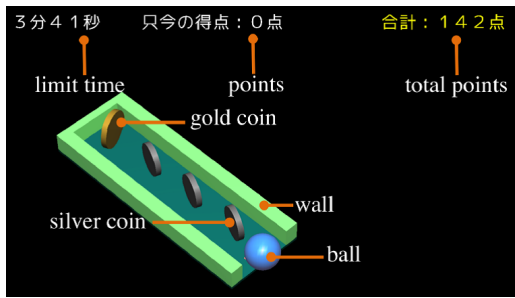


Fig.2 Coin Collecting (Basic Course)

運動機能の評価指標として、ベーシックコースではハンドルの総移動距離と理想軌跡からの偏差を採用している。理想軌跡とは、スタート位置と最後のコインの中心を結ぶ線分を指す。

先行研究<sup>(3)(5)</sup>にて、それぞれの評価指標における定量性や再現性、アプリケーションへの慣れの影響、およびアミューズメント性の高さによる訓練への意欲向上が確認できた。

### 3. 高齢者を対象とした長期試験

#### 3.1 方法

被験者は、脳卒中発症歴のない平均年齢  $85.2 \pm 6.6$  歳の6名である。重度な認知症はなく、実験の内容を理解している。被験者の2名はパーキンソン病を有しているが、自分の意思でハンドルを操作することができる。試験前に実験内容の説明を行い、書面にて実験に対する同意を得た。

1名につき週1～2回、3ヶ月程度の実験を行った。使用するアプリケーションはコイン取りとボクシングである。実験前に、ハンドル操作や提示される力覚を理解してもらうために、簡単なアプリケーションを体験してもらった。

#### 3.2 結果および考察

Fig.3～Fig.5に実験結果を示す。Fig.3は総移動距離、Fig.4とFig.5はそれぞれ短いコースと長いコースの運動軌跡の誤差である。ここでは、初日と14日目の結果を示す。ただし、1名のパーキンソン病を有する被験者が途中でリタイアしたため、14日目は5人分のデータである。各グラフは四分位を用いており、データのばらつきを示している。最も下の線が最小値、中央の線が中央値、最も上の線が最大値である。

Fig.3より総移動距離の値は初日より14日目の結果の方が増加しており、ばらつきは小さいことが分かる。これは、慣れによってハンドル操作が安定して速くなり、リーチング回数が増えたためであると考えられる。日にちによる総移動距離の推移と個人差について繰り返しのない2要因の分散分析を行った結果、日数における総移動距離に有意差は無いことが分かった。これより、総移動距離に再現性があり、この値が評価基準として取り入れられる可能性があることが確認できた。個人差については有意差が認められ ( $p < 0.05$ )、個人で総移動距離の値に違いがあった。また、過去に行われた5日間の短期実験<sup>(3)</sup>の若年者の結果より、若年者は2日目以降慣れの影響がほとんど出なかったのに対し、今回の高齢者の結果では2日目以降も値が変動した。これより、慣れの影響が出て一定の値を取るまでに、高齢者は時間がかかるということが分かった。

運動軌跡の誤差は、全体的に見ると初日より14日目の方が誤差が小さい、あるいは同等であるように見える。斜め右のコースに関しては、初日では1名しか進めなかったが、14日目では2名に増えたためばらつきがでた。日にちによる運動軌跡の誤差の推移と個人差について繰り返しのない2要因の分散分析を行った結果、日数における運動軌跡の誤差に有意差は無いことが分かった。これより、運動軌跡の誤差に再現性があることが確認できた。個人差については有意差が認められ ( $p < 0.05$ )、個人で運

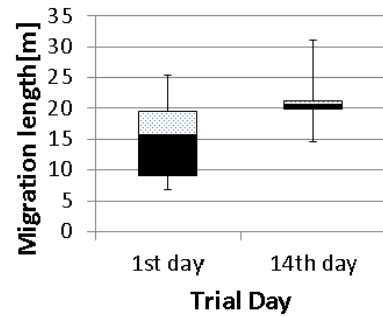


Fig.3 Migration Length

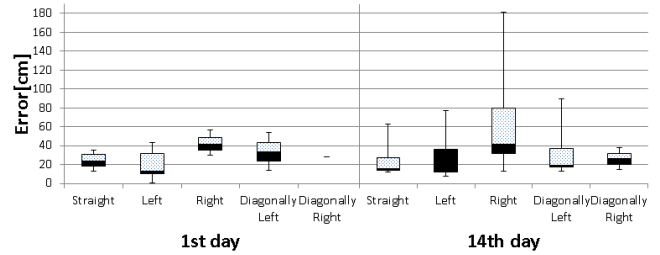


Fig.4 Tracking Error (Short Course)

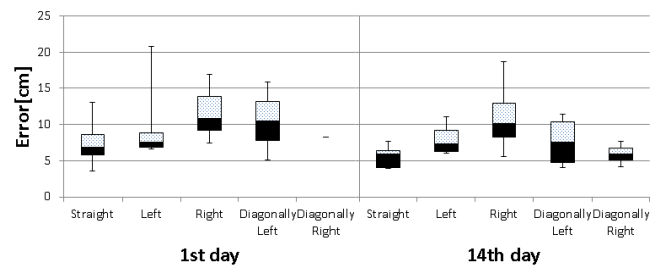


Fig.5 Tracking Error (Long Course)

動軌跡の誤差の値に違いがあった。過去に行われた若年者による短期実験の最終日と、今回の実験の14日目の運動軌跡の誤差について、各コースでt検定を行うと、長い直線コースに有意差 ( $p < 0.05$ ) があったが、その他のコースはすべて有意差がなかった。しかし、全体的に高齢者の方が若年者よりも誤差が大きい傾向にあった。また、各コースでF検定を行うと短いコースすべてと長い直線コースに有意差があり、高齢者の方がばらつきが大きかった。

以上より、コイン取りの評価指標は高齢者においても定量性と再現性があるといえる。しかし、若年者と高齢者の運動機能に差があり、障害者による実行結果と健康者のデータを比較して運動機能の評価を行うには、その年齢層を合わせる必要があると考えられる。慣れによる影響については、学習曲線を導き補正を行うことで対応できると考えられる。また、評価指標の値に個人差が見られたが、データが正規分布に従うならば他のデータとの比較・評価を行うことが可能であると考えられる。Fig.6に正面方向の長いコースの正規確率プロットを示す。Fig.6より、データは直線状に並んでいるため正規分布に従っているといえる。従って、より多くの被験者のデータを集めることで、データベース化が可能であると考えられる。

#### 4. 運動機能の得点化

取得したデータを用いて運動機能の得点化を行う。これは、訓練者がその日の得点を見ることによって、次回はより良い点数を取ろうという意欲を向上させることを目的とする。ここでは、本実験で得た高齢者のデータを基準とした得点化を行う。

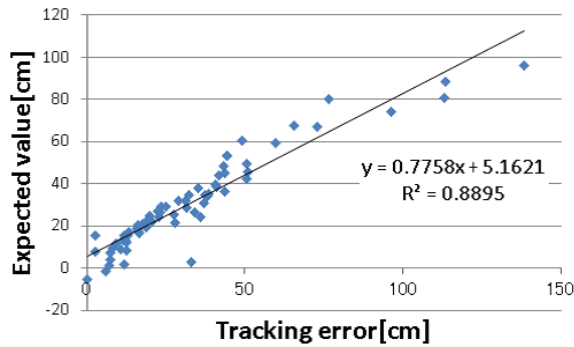


Fig.6 Normal Q-Q Plot of Tracking Error (Straight Long Course)

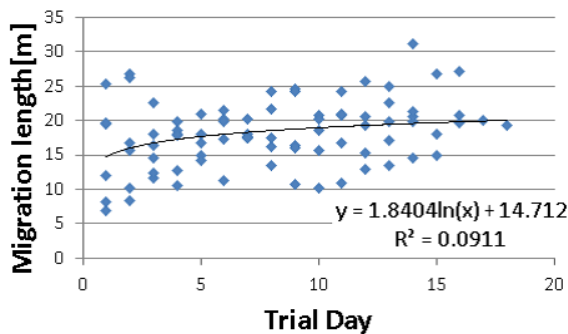


Fig.7 Regression Curve (Migration Length)

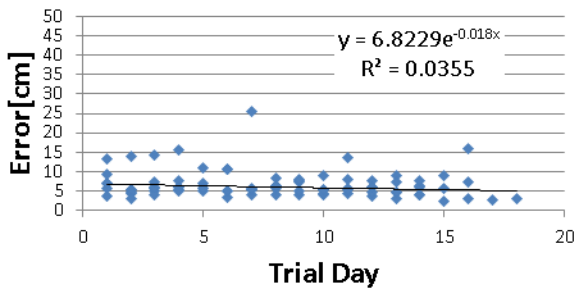


Fig.8 Regression Curve (Straight Long Course)

総移動距離または運動軌跡の誤差を従属変数として，日数（訓練回数）を独立変数とする回帰曲線を求める．総移動距離の回帰曲線を Fig.7 正面方向で短いコースの運動軌跡の誤差の回帰曲線を Fig.8 に示す．この回帰曲線上の値であれば 100 点，分散の範囲内であれば 70～99 点，範囲外であればその大きさに応じた点数 0～69 点になるように配点をする．つまり，回帰方程式が  $y_{100} = f(x)$  とすると，70 点の式は標準偏差を  $\sigma$  とすると  $y_{70} = f(x) \pm \sigma$  となる． $Y$  を得点， $X$  を実際の値とする．得点化の式を (1) 式に示す．ここでは， $y_{100}$  と  $y_{70}$  を一次式でつないでいる．

$$Y = \begin{cases} -\frac{30}{\sigma}X + 100 + \frac{30}{\sigma}f(x) & (X \geq f(x)) \\ \frac{30}{\sigma}X + 100 - \frac{30}{\sigma}f(x) & (X < f(x)) \end{cases} \quad (1)$$

実際にある被験者から得たデータを得点化した結果を Table.1 に示す．ここで，運動軌跡の誤差は正面方向の長いコースのデータを使用している．結果より，初日より得点が上がったように見える．しかし，分散の範囲内を高得点となるようにしたため，運動軌跡の誤差は小さい方がよいにも関わらず，得点の下がる人もいた．

Table 1 Score

被験者	日数	総移動距離	運動軌跡の誤差
A	初日	25.4m 34 点	6.9cm 98 点
	14 日目	20.6m 94 点	4.0cm 89 点
B	初日	6.9m 52 点	13.1cm 47 点
	14 日目	14.6m 69 点	5.9cm 95 点

訓練回数を重ねるごとに得点が高くなるものもいれば，毎回得点がばらつくものもいた．訓練を継続して行う意欲を向上させるには，訓練を重ねることで運動機能が改善していると感じられることが必要である．(1) 式による得点化では，得点の増加が意欲向上を図るには不十分であると考えられる．そのため，訓練の回数分を得点に加算する仕組みや，難易度の変更ができるようにする必要があると考えられる．

### 5. まとめ

本研究では，上肢リハビリ支援システム SEMUL を用いて非脳卒中の老年人に対し長期的な試験を行い，評価指標の再現性の検証と若年者の結果との比較をした．個人差はあったものの，老年人においても再現性は確認できた．また，各評価指標で若年者の結果と有意差が現れるものは少なかったものの，値やばらつき，慣れによる影響の差があることが認められた．従って，グレーディング性を有するといえる．

また，老年人を基準とした運動機能の得点化を行った．訓練を重ねることによって得点上がるものもいたが，多くの訓練者が訓練への意欲向上をするには，表示する得点の増加具合が不十分であると考えられる．そのため，目的を達する適切な得点化の式を決定する必要がある．今後は，総移動距離と運動軌跡の誤差以外の評価指標を取り入れる．

### 参考文献

- (1) 特集：リハビリテーション専門職種の現状と問題点，総合リハビリテーション，Vol.27, No.4, pp.301-336, 1999.
- (2) 小柳健一，古荘純次，中西和彦，笠潮，竹中重和，井上昭夫，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, 2009.
- (3) Hata. K, Koyanagi. K, Nagata. K, Motoyoshi. T, Masuta. H and Oshima. T, Development and Pretesting of Reaching Training Software for Post-Stroke Patient Using SEMUL Rehabilitation System for Upper Limbs, Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.1662-1667, 2014.
- (4) 長田謙亮，小柳健一，畑昂佑，本吉達郎，大島徹，増田寛之，上肢リハビリ支援システム「SEMUL」を用いた定量的評価が可能でアミューズメント性が高いアプリケーション，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集，3P2-B02, 2014.
- (5) Koyanagi. K, Hata. K, Mizukami. R, Genda. K, Motoyoshi. T, Masuta. H, and Oshima. T, Pre-clinical test by healthy elderly persons using SEMUL : a passive type 2-DOF force display robot, Proceedings of the 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, IS01, 2015.