

上肢運動機能リハビリテーションにおける訓練・評価手法の開発

Development of quantitative evaluation method and occupational therapy exercise for upper limb motor disorder rehabilitation

李 虎奎 服部 託夢* 橋詰 努 前田 悟

LEE Hokyoo, HATTORI Takumu, HASHIZUME Tsutomu, MAEDA Satoru

キーワード：

脳卒中、片麻痺、上肢リハビリテーション、上肢動作計測装置、作業療法

Keywords:

Stroke, Hemiplegia, Upper limb Rehabilitation, Upper limb Motion Measuring Equipment, Occupational Therapy

Abstract:

Rehabilitation exercises which maintain a patient's interest and quantitative evaluation of rehabilitation are required. To solve these problems, we have development of measuring equipment for upper limb motor function rehabilitation using optical sensor. This system consists of an optical sensor device, a personal computer and calculator program for upper limb position. When users move the optical sensor, the motion measuring equipment calculates position and velocity. We measured the sanding block position, velocity and running length during a sanding task for five motor function disorder subjects. The accuracy of the optical sensor trajectories was similar in all actual measured subjects. These results can be use for the development of rehabilitation training programs and evaluation methods.

1 はじめに

医療技術や医療機器の発達には人に健康と寿命の延長という恩恵をもたらした反面、平均寿命の延長に伴う高齢者の諸問題を抱えることになった。その一

つとして高齢者に高い比率で発症する脳血管疾患による運動機能障害と認知機能障害などから、リハビリ訓練の重要性が増してくる。

従来の運動機能訓練や機能回復評価手法は医師、理学療法士、作業療法士などの観察による評価に依存しているため、客観的かつ定量的な評価が求められている。作業療法で行っているサンディング動作や机上ワイピング動作の訓練量は個人の努力や作業療法士の主観に基づいており、次の訓練へ移行する明確な指標や到達度の判断が困難である。研究レベルでは上肢機能訓練のための装置はあるが^{1) - 2)}、これらは大掛りで特別なものを用いており、一般の大多数の施設ではこのような装置を用意することや、すべての患者への使用は困難である。

作業療法で行っているサンディング動作の目的は筋力トレーニングであり、どの程度の荷重をどれだけ繰り返し作業できるかなどを観察している。この作業回数や移動距離等がトレーニング効果の指標として用いられる。机上ワイピングは患者の肘や肩の関節可動域を拡大させるための訓練である。可動域の拡大範囲は作業療法士が主観的に判断しており、定量的でない。そこで、患者の上肢から可動範囲を定義し、作業時の軌跡を記録して、客観的評価に用いる計測機器が必要とされている。

本研究では病院やリハビリ施設で通常行っているサンディング動作訓練及びワイピング動作訓練の阻害とならない動作計測が可能な装置の開発を行った。上肢運動機能障害を有する被験者を対象としたサンディング動作訓練時に、開発した動作計測装置を用いて動作速度や軌跡の計測を行った。得られたデータを用い、訓練効果を客観的・定量的に評価するための手法の検討を行った。また従来の評価シートを用いる手法との比較検討も同時に行った。

2 システムの概要

2.1 光学センサーを用いた計測装置

開発した光学センサーを用いた上肢運動機能計測装置のイメージを図1に示す。本システムは光学センサー装置、パーソナル・コンピューター、計測制御プログラム及びシステムコントロールプログラムなどから構成されている。光学センサー本体にはLED、光学センサーIC、計測プログラム等により構成されている。光学センサーはワイヤレス光学式マウスを改良し、平面移動計測装置を開発した。図2には光学センサーとサンディング動作訓練に用いるブロックを示す。作業療法で行っているサンディング動作訓練を阻害しないように光学センサーをサンディングブロックの底部分に埋め込むようにした。

光学センサーICはサンディングブロックが動けば自動的に1kHzのサンプリング周波数で机上面の情報を取り込み、各位置を計算し、センサーのx方向とy方向への移動量を算出する。詳細な位置計算の方法は平成22年度の兵庫県立福祉のまちづくり研究所報告集を参照されたい³⁾。

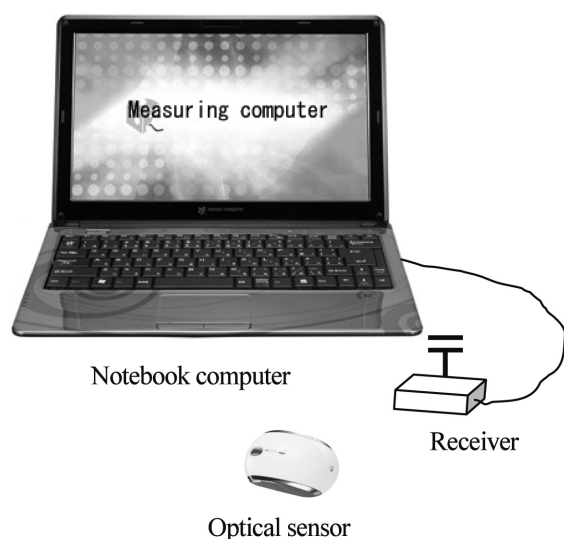


図1 光学センサーを用いた計測装置
Fig. 1 Optical sensor system for measuring device

2.2 計測及び操作方法

開発した装置及び制御プログラムの動作概要（ブロック図）を図3に示す。本システムはサンディングブロック本体に光学センサーが組み込まれており、光学センサーの電源をセラピストまたは被験者がオンにし、スタートボタンを押してから訓練を始



(a) Optical sensor



(b) Sanding block

図2 光学センサーとサンディングブロック
Fig. 2 Optical sensor system and sanding block

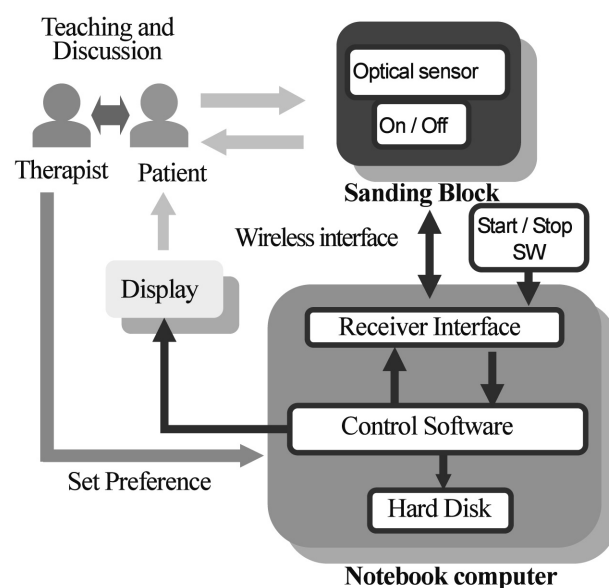


図3 計測装置の制御構造
Fig. 3 System Control Architecture

める。訓練が終了した後、ストップボタンを押すと計測データが自動的にハードディスクに記録される。計測システムはメカニズム的にシンプルで、操作が非常に簡単である。

3 動作実験

計測装置を用い、作業療法士の協力の下、作業療法で行っているサンディング動作を行う際の動作速度・軌跡などを計測した。被験者はサンディングボードの前に座り、椅子の高さや座位から操作板までの距離を被験者が決めて行うようにした。実験の様子を図4に示す。



図4 サンディング動作訓練
Fig. 4 Rehabilitation of motor exercise sanding

3.1 被験者

本実験に参加した被験者は脳内出血、多発性神経線維腫症、頸髄損傷、脳卒中などによる運動機能障

害を有しており、徒手筋力テスト (Manual Muscle Test: MMT)、ブルンストロームステージ (Brunnstrom Stage) 上肢運動機能検査による回復段階 (上肢ⅣとⅤ、手指ⅢとⅣ、下肢ⅢとⅣ) の障害を持った患者を対象に実施した。被験者の詳細なプロフィールを表1に示す。被験者の事前同意 (Informed Consent) と実験に先立ち、兵庫県立福祉のまちづくり研究所の倫理委員会で臨床試験承認を得た。

3.2 実験分析

サンディング動作訓練を行う際、測定したサンディングブロックの速度、軌跡と動作距離 (回数) のデータに関して分析する。本実験は任意の速度で訓練プログラムを遂行したので達成周期、回数が被験者によって異なる。各被験者の遂行速度を次のような式(1)を用いて求めた。

$$(Velocity) = E \left[\sqrt{\left(\frac{d}{dt} Px(t) \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} Py(t) \right)^2} \right]_{[t_1, t_2]} \quad (1)$$

ここで $Px(t)$ はサンディングブロックの左右方向の位置座標、 $Py(t)$ はサンディングブロックの前後方向の座標、 t は時間、 t_1 は各周期の開始時刻、 t_2 は各周期の終了時刻の平均値 E について分析した。

4 実験結果

開発した計測システムを用い、サンディング動作の速度とサンディングブロックの位置を計測した。

表1 5人の被験者のプロフィール
Table 1 Profile of five subjects

		Subject 1	Subject 2	Subject 3	Subject 4	Subject 5
Time since (weeks)		14	28	61	26	14
Age (year)		60	37	51	42	28
Sex		M	F	F	M	F
Disease		Brain hemorrhage	von Recklinghausen	Spinal Cord Injury C6B2	Brain hemorrhage	Anteriovenous malformation
Brunstrom Stage and manual muscle testing	Hand	V	4	3	III	V
	Upper	V	4	4	III	V
	Lower	IV	3	0	IV	V

*¹Brunstrom Stage: Roman number

*²Manual muscle testing: Arabic number

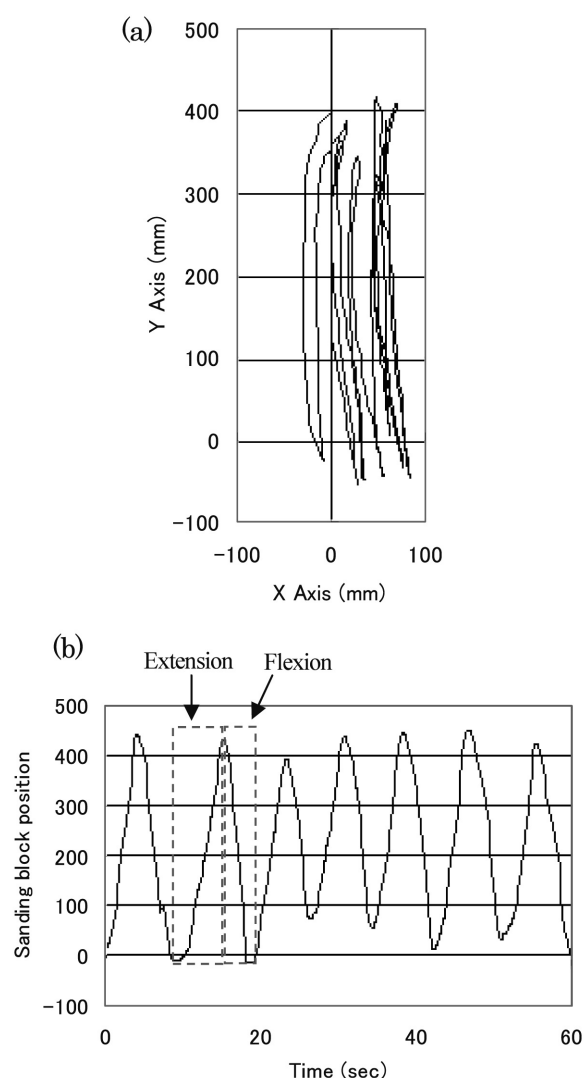


図5 サンディング動作の軌跡 (a) 及びリアルタイムの位置 (b)
Fig. 5 Typical profiles of the sanding block position trajectory (a) and real-time position (b)

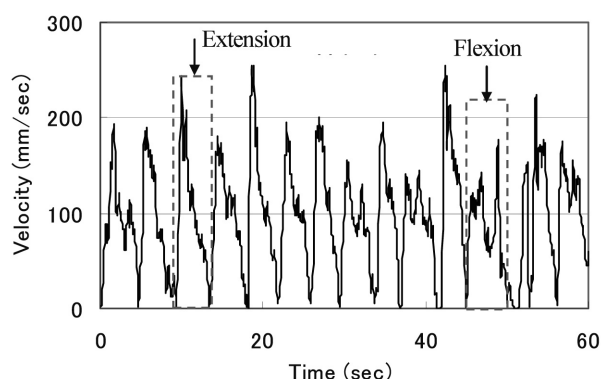


図6 動作速度
Fig. 6 Result of velocity

図5 (a)にサンディング動作を行った際の動作軌跡を示す。軌跡を見ると訓練を始めた時と繰り返して伸展・屈曲を行った時のサンディングブロックの位

置は中心から右側で行なっている様子が確認できる。このようなことからグラフに示した被験者は右側片麻痺の障害を有していることが推察される。即ち右片麻痺の場合は伸展・屈曲動作を行う際、両手の協調運動による動作を行っており、右手より左手によって動作が行われている事を表す。また各伸展・屈曲を行う際、移動距離が一定ではないことが見られた。

動作周期を見ると動作開始から2から3回伸展・屈曲動作を行った後、2から3回は余裕を持って行ったと考えられる。サンディングブロックが右寄りになるものの左右ずれはおよそ100mmの範囲で行った。図5 (b)は横軸が時間を、縦軸が伸展・屈曲の動作を行った時のサンディングブロックの位置を示す。30秒の付近では伸展・屈曲の動作距離が短いことがわかる。また1分間行った伸展・屈曲はそれぞれ7回を行った。

図6に動作速度を示す。伸展・屈曲動作ともに最高の速度がおよそ200mm/sec前後を示しており、全体的に一定の速度で訓練を行っていることが確認できた。

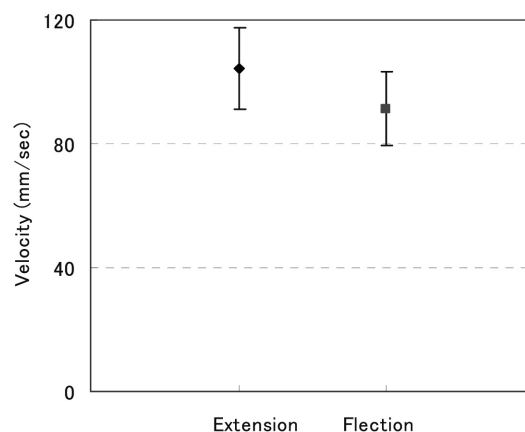


図7 伸展・屈曲の動作速度
Fig. 7 Experimental results; left graph shows extension velocity and right graph shows flection velocity

表2 動作距離と速度
Table 2 Experimental results length and velocity

Exercise content	
Extension velocity (mm/sec)	97.1 ± 13.1
Flection velocity (mm/sec)	86.3 ± 11.7
Velocity of mean (mm/sec)	91.7 ± 6.5
Length (m)	5.3 ± 0.4

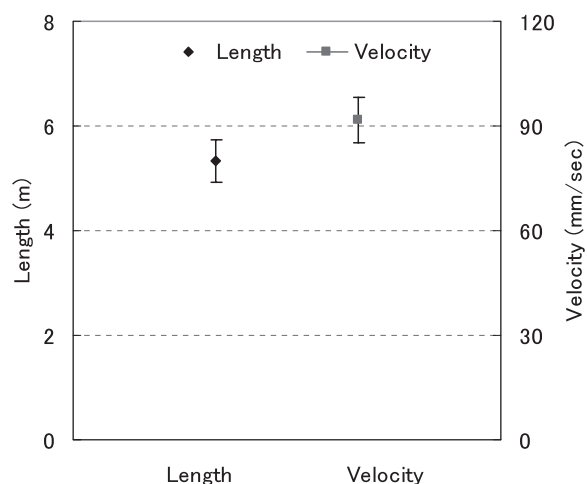


図8 平均動作速度の結果
Fig. 8 Result of velocity for sanding block

軌跡と比較してみると30秒付近では動作距離が短い時の速度は、伸展・屈曲ともに200mm/secを下回った。40秒以降の動作速度が速くなっているときの軌跡をみると動作距離も比較的に長くなっていることがわかる。

図7は5名の被験者がサンディング動作をする時の伸展動作速度と屈曲動作速度の平均値を示した。伸展動作速度 (97.1mm/sec) と屈曲動作速度 (86.3mm/sec) を比較すると伸展動作が速くなっている。

5人の動作速度の平均値を表2に、平均動作距離と平均動作速度のグラフを図8に示す。平均動作距離は1分間 5.3 ± 0.4 mの動作を行った。平均動作速度は 91.7 ± 6.5 mm/secであった。

5 考察

全被験者は作業療法で行なっている通常のサンディング動作訓練を阻害せずに計測することが可能であった。本実験に参加した被験者が5人であり、また発病してから訓練に臨んだ時期や病気による障害度が異なることから統計的な評価ができなかった。しかし医療現場で計測している動作回数や目測による評価手法に比べ、本装置を用いた測定はより客観的かつ定量的な評価が可能となる。

一方で、上肢運動機能リハビリテーションシステムを研究開発している李らは上肢運動機能を把握するため動作速度、距離、誤差などを用いて評価をしている⁴⁾。また運動機能障害を有する患者を対象にした臨床でも動作距離及び動作ボタンを用いて、運動機能回復の進行状況や回復の機序、あるいは被験者の麻痺側に対する身体の変化などを多面的に考察し、客観的な分析を行っている⁵⁾⁻⁶⁾。本システムを

用いてサンディング動作訓練を評価する際、動作距離及び動作速度を求め、運動能力や可動域を客観的に評価することが示唆された。

6 おわりに

従来の作業療法で行っているサンディング動作の訓練量の計測が可能な装置の開発を行った。上肢運動機能障害を有する被験者5人を対象に、サンディング動作の動作速度や軌跡の計測を行った。実験に参加した5人とも訓練を阻害しないように計測が可能であった。以下に得られた結果をまとめる。

- 1) サンディング動作訓練を行う際、軌跡を示すことが可能であり、伸展・屈曲動作を行った時の被験者の動作特徴の把握や障害度を定量的に評価することが容易である。
- 2) サンディング動作訓練を行う時、全員とも伸展動作が屈曲動作より速いことがわかった。
- 3) 動作速度と動作距離の測定が可能であり、運動機能の回復状況を把握する際に有用である。
- 4) 計測した訓練動作とセラピストが評価したデータをスケール化し、評価の利便性の向上を図ることができた。

この結果から臨床現場における、患者の訓練度合いの定量的な評価に有効であることを示した。

今後、開発した計測装置を臨床現場へフィードバックする前に、多数の被験者を対象に臨床試験を行うことやその結果を一般化するなど、多面的な検討が必要である。

謝辞

本研究を推進する際、被験者になって頂いた入所者の皆さん、そして兵庫県立総合リハビリテーションセンター障害者支援施設自立生活訓練センター作業療法士本多氏に深く謝意を表す。

参考文献

- 1) H.I.Krebs, N.Hogan, M.L.Aisen, B.T.Volpe: Robot-aided neurorehabilitation, Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions, Vol.6, pp.75-87, 1998
- 2) Koyanagi K., Furusho F., Ryu U., Inoue A.: Rehabilitation System with 3-D Exercise Machine for Upper Limb, Advanced Intelligent Mechatronics, Proc. 2003 IEEE/ASME International Conference on Vol.2, pp.1222~1227, 2003
- 3) 李虎奎、服部託夢、前田悟、杉本義己、橋詰努：リハビリテーション支援技術の研究－作業療法訓練における定量的評価の開発－、兵庫県立福祉のまちづくり研究所報告集、平成22年度、pp. 105-110, 2010
- 4) Hokyoo Lee, Yoshiyuki Takahashi, Tasuku Miyoshi,

Takafumi Terada, Kaoru Inoue, Yuko Ito, Yumi Ikeda, Keisuke Suzuki and Takashi Komeda: Basic Experiments of Upper Limb Rehabilitation Using Haptic Device System, Proceedings of the 2005 IEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics 2005, pp. 444~447, 2005

- 5) Tasuku Miyoshi, Yoshiyuki Takahashi, Hokyoo Lee, Takafumi Terada, Yuko Ito, Kaoru Inoue, Takashi Komeda: Haptic Device System for Upper Limb Motor Impair Patients, Developing and Handling in Healthy Subjects, Rehabilitation Robotics, pp. 319~336, 2007
- 6) Hokyoo Lee, Youngtark Kim, Yoshiyuki Takahashi, Tasuku Miyoshi, Tadashi Suzuki, Takafumi Terada, Kaoru Inoue, Yuko Ito, Yumi Ikeda, and Takashi Komeda: Rehabilitation of upper limb motor function with stroke patient using haptic device, SICE System Integration, pp. 1141~1144, 2010