

# 上肢協調性評価機器の開発

## — Spacing, Timing, Grading の3要素の同時検出 —

福意武史\*1 井上桂子\*1 常久謙太郎\*2

### はじめに

上肢の重要な機能は、手指と腕とを用いた協調運動であり、多数の筋肉の複雑な組み合わせで達成される。上肢協調運動は、上肢作業を通し、ひとのQOL向上に大きな役割を担う。そこで、ひとと作業をテーマとする作業療法分野においては、上肢協調運動障害の病態を分析し治療を行い、確かな効果判定を行うことが必要とされる。

運動の協調性とは、運動が目的にふさわしく無駄なく円滑に行われることであり、空間的および時間的な運動の調和である<sup>1)</sup>。協調性は、方向調整である Spacing, 時間調整である Timing, 力調整である Grading の3要素が基礎となり、それらが巧みに調和されることによって発揮される。和才ら<sup>2)</sup>は、協調性の機序を考える場合、Spacing, Timing, Grading の3要素を客観的に捉えることのできる評価体系が確立されなくてはならないと述べている。

上肢協調運動の定量化に関する研究は、従来から医療や工学など多くの分野で行われてきている。その方法には、発光ダイオードなどを用いた軌跡投影法、筋電図を用いた運動分析、磁界を利用したデジタル方式などが挙げられる<sup>3)</sup>。そして近年は、CCDカメラによる動作解析が主流となりつつある<sup>4)</sup>。しかし、それらの評価で検出されるデータは、Spacing, Timing, Grading の3要素のどれかに偏り、3要素の統合機能の分析が困難である。

そこで今回、筆者らは、3要素の統合された運動において、各要素の客観的データを同時検出することのできる新たな評価機器（以下、評価機器）を開発した。そして、評価機器で検出された結果と他の評価法で検出された結果とを比較し、その妥当性について検討した。

### 開発した評価機器と評価内容

片麻痺患者や失調症患者などの作業療法対象者に

は、上肢の協調不全により様々な作業障害を呈する者がいる。例えば、上肢を意図したところに移動することができなかつたり、客体をうまく操作できなかつたりする。しかし、従来の評価では、その障害が Spacing, Timing, Grading のどの問題から起こっているのか、またそれらがどの程度関与するのかを明確に把握することができない。そこで今回、Spacing, Timing, Grading のどれかに偏るのではなく同等に必要とされる課題において、その機能を客観的データとして同時検出できる評価機器を考案し製作した。

評価機器は、センサー部、コントロール部、およびプリンターから成る（図1）。センサー部は、操作ボックスと手元スイッチから成る。

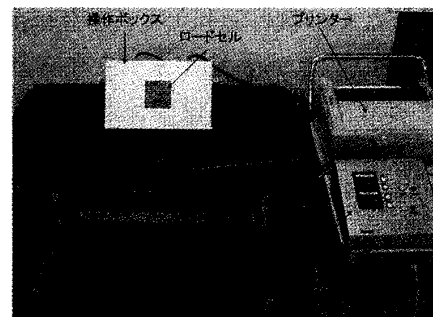


図1 評価機器

操作ボックスは、中央の位置（左右上下10cm × 10cm）に、圧センサーとタッチセンサーの機能を持つロードセルを左右上下各13個、合計169個内蔵している。そして、中央1個のロードセルは、被検者が指先で押すターゲットとなっており、赤色で塗られている。圧センサーは、被検者が押した時の指圧を最小100g から99kg までの間で感知し記録する。タッチセンサーは、被検者が押したマス位置、および被検者の指が触れた時間を最小0.01秒で感知し記録する。また、操作ボックスは、スピーカーを内蔵しており、周波数の異なる2つの刺激音を一定の時間間隔で発するようになっている。

手元スイッチは、タッチセンサーとなっており、

被検者の指が離れた時間を最小0.01秒で感知し記録する。

コントロール部は、検査時間と刺激音の鳴る時間間隔を任意に設定できる機能を持っている。

プリンターは、操作ボックスのターゲットからずれたマス数 (Spacing), 指先が手元スイッチから離れ操作ボックスのロードセルに触れるまでの時間 (Timing), および操作ボックスのロードセルを押した時の指圧 (Grading) を検査結果として印字する。

被検者は椅子座位で机に向かう。机上の正面手前には手元スイッチが、正面前方には操作ボックスが設置されている (図1)。被検者は、2つの刺激音がそれぞれ鳴る時に、手元スイッチとターゲットを示指先端で交互に押すように上肢を移動する (図2-1・2・3)。課題の条件は、ターゲットからずれないように押すこと (Spacing), いつも同じリズム・速度で上肢を移動させること (Timing), およびいつも同じ圧でターゲットを押すこと (Grading) の3点とした。予備実験の結果、刺激音の鳴る時間間隔は、比較的難易度が高かった120回/分と180回/分の2方法とした。また、1施行における往復移動回数は、疲労の影響が起こらない30回とした。左右手それぞれ10回の練習を行った後、評価を実施した。

Spacingのデータは、30回中のターゲットから左右上下にずれたマス数の総和とした。Timingのデータは、30回中の示指が手元スイッチから離れロードセルに触れるまでの時間の標準偏差を平均値で割った変動係数とした。Gradingのデータは、30回中のロードセルを押した時の指圧の標準偏差を平均値で割った変動係数とした。



図2-1 評価場面：手元スイッチを押しているところ



図2-2 評価場面：空中を移動しているところ

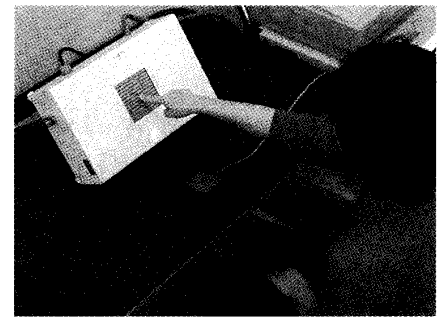


図2-3 評価場面：ターゲットを押しているところ

### 比較に用いた他の評価

評価機器で得られたデータの妥当性を検討するために、Spacing, Timing, Gradingのそれぞれに対する他の評価 (以下、他評価) を行った。Spacingの評価には、標準化されている上田の打点検査<sup>5)</sup>を健常者用に改訂したものをを用いた。直径6.5mmの円を中心に、直径を2.5mmずつ増加させていった5つの同心円を使用し、被検者は10cmの高さから最小円からはみ出さないように中心をめがけて鉛筆で打点する (図3)。メトロノームに合わせ1秒に1回の割合で合計30回打点する。判定は、第2の円へのはみ出しを減点1とし、以下順次1点ずつ減点数を加算した。左右手それぞれ10回の練習を行った後、3回評価を実施し、3回の平均減点数をデータとした。

Timingの評価には、標準化された客観的評価法がないため、予備実験を通して独自に考案した方法を用いた。評価には、筆者らが開発した半側無視訓練器であるUSNトレーナー (GH-847, OG 技研)<sup>6-7)</sup>を使用した。USNトレーナーの上下中央で左右に並んだ7つのランプを1秒間隔で左および右から順次点灯させていく。被検者は、その流れを追視し、最端のランプが点灯するタイミングに合わせ、膝上に置いた上肢をすばやくボードに移動させ示指で押し消灯する (図4)。右上肢では、ランプは右から左に点灯させていき、左端のランプを消灯させる。左上肢では、ランプは左から右に点灯させていき、右端のランプを消灯させる。USNトレーナーは、ランプが点灯した時間と消灯された時間との差を最小0.1秒で記録する。判定は、その時間差とした。左右手それぞれ3回の練習を行った後、3回評価を実施し、3回の平均時間差をデータとした。

Gradingの評価には、標準化された客観的評価法がないため、予備実験を通して独自に考案した方法を用いた。評価には、デジタル秤 (NO. 1140, 株式会社タニタ) を使用した。被検者は、デジタル秤の天板中央を100g重の力になるように示指で押す (図5)。被検者は、まず表示板を見ながら10秒間の練

習を行ない、その後表示板を見えないようにして施行する。その際、4回の時報が鳴るようにストップウォッチをセットして、最後に鳴った時にちょうど100g重になるよう努力させた。デジタル秤は、最小1gで計量できる。判定は、デジタル秤の実測値と100gとの誤差量とした。左右手それぞれ3回施行し、3回の平均誤差量をデータとした。

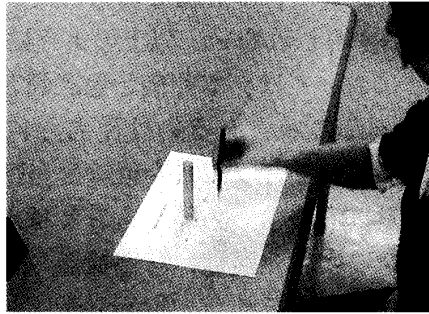


図3 他評価 Spacing

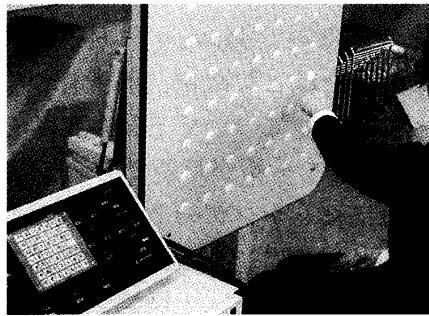


図4 他評価 Timing

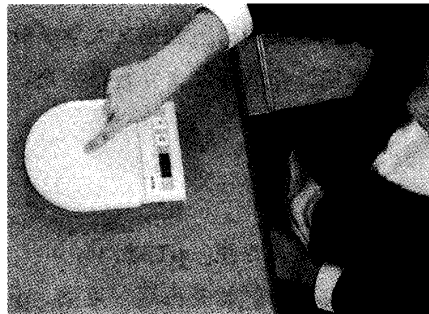


図5 他評価 Grading

評価条件

被検者は、同一日に、各々の評価の間に休憩をとりながらすべての評価を行なった。

左右の上肢を評価するため、順番効果の有無を確認し、またそれが有った場合の処理対応として、右手を先に評価する群（以下、右手先行群）と左手を先に評価する群（以下、左手先行群）とに分けた。

評価の順番は、右手先行群においては、最初に Spacing の右手次いで左手、Grading の右手次いで左手、Timing の右手次いで左手、最後に評価機器による評価の右手次いで左手とした。左手先行群で

は、各評価の順番は同じで、左手次いで右手の順で行なった。

対象

対象は、右手利きの健常者29名（被検手、左右各29手）であった。性別は男性12名、女性17名で、平均年齢は22.0歳（21～24歳）であった。右手先行群は16名で男性6名、女性10名、左手先行群は13名で男性6名、女性7名であった。

結果

順番効果の有無を調べるために、右手先行群と左手先行群に差がないか確認した。危険率5%を有意水準としマンホイットニー検定を行ったところ、両群にはどの評価項目にも有意な差を認めなかった。そこで、両群を合わせて対象とし、比較検討した。評価機器で行った評価（以下、本評価）と他評価の結果を表1に示した。

< Spacing における本評価と他評価との比較 >

Spacing における本評価と他評価との相関係数を表2に示した。危険率5%を有意水準とし相関の検定を行ったところ、右手では本評価180回/分と他評価で有意な正の相関を認めたが、本評価120回/分と他評価で有意な相関を認めなかった。左手では本評価120回/分・180回/分とも他評価と有意な正の相関を認めた。

< Timing における本評価と他評価との比較 >

Timing における本評価と他評価との相関係数を表2に示した。危険率5%を有意水準とし相関の検定を行ったところ、右手では本評価120回/分・180回/分とも他評価と有意な相関を認めなかった。左手では本評価120回/分・180回/分とも他評価と有意な正の相関を認めた。

< Grading における本評価と他評価との比較 >

Grading における本評価と他評価との相関係数を表2に示した。危険率5%を有意水準とし相関の検定を行ったところ、右手・左手とも本評価と他評価で有意な相関を認めなかった。

表1 各評価の測定値（平均値±標準偏差値）

評価項目	測定値	右手	左手
Spacing			
本評価120回/分	30回中のずれたマスの総数	13.3±10.5	16.3±8.5
本評価180回/分	"	38.7±14.5	35.8±12.8
他評価	3回のいずれの平均減点数	5.9±4.1	9.0±4.5
Timing			
本評価120回/分	30回中の変動係数	0.07±0.1	0.09±0.1
本評価180回/分	"	0.08±0.1	0.08±0.1
他評価	3回のいずれの平均秒数	0.12±0.08	0.14±0.08
Grading			
本評価120回/分	30回中の変動係数	0.29±0.1	0.33±0.1
本評価180回/分	"	0.28±0.1	0.30±0.09
他評価	3回のいずれの平均g数	22.4±17.6	34.4±22.2

表2 本評価と他評価との比較

Spacing 右手		他評価	Spacing 左手		他評価
本評価	120回/分	0.218	本評価	120回/分	0.438 *
本評価	180回/分	0.457 *	本評価	180回/分	0.646 *
Timing 右手			Timing 左手		
本評価	120回/分	0.056	本評価	120回/分	0.396 *
本評価	180回/分	-0.169	本評価	180回/分	0.491 *
Grading 右手			Grading 左手		
本評価	120回/分	-0.107	本評価	120回/分	-0.032
本評価	180回/分	-0.095	本評価	180回/分	-0.139

数値: Pearsonの相関係数 \* : 有意な相関あり  $p < 0.05$

## 考 察

石田<sup>3)</sup>は、上肢協調性評価における定量化は困難であるが、最近の医療工学技術の進歩に伴い評価法も1歩前進した観があると述べている。そして、自ら周波数分析を利用した上肢不随意運動の定量的評価法を考案している。しかし、協調性における Spacing, Timing, Grading の3要素を同時に定量化する評価法は依然見られない。筆者らは、近年のセンシング技術の向上に着目し、タッチセンサーと圧センサーを用いた評価機器を考案し製作した。そして、評価機器で得られたデータの妥当性を検討するために、他評価のデータと比較した。

Spacing は、多く有意な正の相関を認めた。Spacing の評価に用いた上田の打点法は標準化されひろく活用されている。これらのことは、評価機器が Spacing 機能をよく検出し得ることを示唆するのかもしれない。

Timing は左手のみに有意な相関を認め、Grading はすべてに有意な相関を認めなかった。今回の研究で、最も苦慮したことは他評価の選択であった。しかし、Timing および Grading の定量的評価は標

準化されておらず、独自の評価法を用いることになった。いかなる上肢運動においても、Spacing, Timing, Grading の3要素は程度の差こそあれ必ず関与するものである。すなわち、それらを個々に分割し検出することは不可能で、どれかの要素が特に高いだろうと考えた評価を予備実験を繰り返して考案した。しかし、それらで得られたデータは、純粋な Timing と Grading の機能を表していなかったのかもしれない。また、本評価で得られたデータも同様であったのかもしれない。以上のように、Timing と Spacing においては、本評価と他評価とのどちらに問題があったのか、あるいはどちらにも問題があったのか不明確であった。今後は妥当性の検討方法自体を再考し実施する必要があると考えられた。

また、今回の検討を通し、評価機器のセンシングについても課題が生まれた。Spacing においては特に問題はなかった。Grading においては、計測最小単位が100gと大きく、今後より精度の高いロードセルの適用を考えたい。Timing においては、データは移動中の時間だけとしたが、刺激音の鳴った時と押した時との時間差についても得られるセンシングであればより詳細な分析が可能であると考えられた。

今後、さらにセンシングの改良を試みて評価機器を進化させると同時に、失調症や片麻痺など各種上肢協調障害者にも適応し、上肢協調性における客観的評価法の確立を目指していきたい。

本研究は、平成10年度川崎医療福祉大学プロジェクト研究(代表 福意武史)の助成により行なった。

## 文 献

- 1) 上田 敏, 大川弥生(1996)リハビリテーション医学大辞典. 第1版, 医歯薬出版, 東京, p123.
- 2) 和才嘉昭, 嶋田智明(1991)測定と評価. リハビリテーション医学全書5, 第2版, 医歯薬出版, 東京, pp312-328.
- 3) 石田 暉(1988)上肢機能の検査. 千野直一編, リハビリテーション診断学<下>検査, 第1版, 医歯薬出版, 東京, pp258-276.
- 4) 日本生理人類学会計測研究部会編(1996)人間科学計測ハンドブック. 初版, 技報堂出版, 東京, pp56-67.
- 5) 上田 敏(1985)目でみるリハビリテーション医学. 第1版, 東京大学出版会, 東京, p32.
- 6) 福意武史, 井上桂子, 東嶋美佐子, 平松 均, 勝山澄江, 埋橋信行, 望月秀郎(1991)半側視空間失認の訓練に用いる視覚探索装置の試作. 作業療法, 10(特2号), 369.
- 7) 福意武史, 井上桂子, 東嶋美佐子, 勝山澄江, 望月秀郎, 角野 歩, 平松 均(1994)半側無視訓練器の紹介. 作業療法, 13(特別号), 221.

(平成13年5月24日受理)

**Development of the Apparatus for Hand Coordination's Evaluation  
— Simultaneous Evaluation of Spacing, Timing, and Grading Functions —**

Takeshi FUKUI, Keiko INOUE and Kentarou TUNEHISA

(Accepted May 24, 2001)

Key words : EVALUATION, COORDINATION, SPACING, GRADING, TIMING

Correspondence to : Takeshi FUKUI

Department of Restorative Science, Faculty of Medical Profession  
Kawasaki University of Medical Welfare  
Kurashiki, 701-0193, Japan  
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.11, No.1, 2001 205-209)