《原 著》

書痙患者の書字評価

—簡易な筆圧計による筆圧分析の有用性の検討—

新藤恵一郎* 辻 哲也* 正門 由久*
 長谷 公隆* 木村 彰男* 千野 直一*

An Analysis of Writing Patterns in Writer's Cramp Patients using a Simple Writing Pressure Gauge

Keiichiro SHINDO,* Tetsuya TSUJI,* Yoshihisa MASAKADO,*
 Kimitaka HASE,* Akio KIMURA,* Naoichi CHINO*

Abstract: Objectives: To analyze writing patterns in patients with writer's cramp using a simple pen-type writing pressure gauge. Design: Paired comparisons of writing parameters between patients with writer's cramp and the controls. Setting: Outpatient clinic in the department of rehabilitation medicine of a university hospital in Japan. Subjects: 10 healthy subjects (average age, 32.7 years; 6 males) and 10 patients with writer's cramp (average age, 47.6 years; 9 males). Main outcome measures: Maximum and average writing pressure; the degree of variation in writing pressure, which reflects the writer's skill in writing; and writing time, which is the amount of time required to complete the task. Results: The intra-class correlations were over 0.7 for all parameters in the healthy subjects, indicating satisfactory reproducibility. Writing time and degrees of variation in patients with writer's cramp were significantly longer and larger, respectively, than those in the controls. Conclusions: The electronic pen is an easily used instrument and is useful for reliable analysis of writing patterns. Writing time and degree of variation are recommended as reliable parameters for characterizing patients with writer's cramp. (*Jpn J Rehabil Med* 2004; 41: 296-301)

要 旨: 書痙患者の書字評価における、ペン型の簡易筆圧計の有用性を検討した。健常者 10 名を対象に筆圧計による書字評価を 2 回行い、筆圧評価の各指標（書字時間、最大筆圧、平均筆圧、変動値）を算出、再現性（同一被検者内信頼性）の検討を行ったところ、級内相関係数はいずれも 0.7 以上であった。次に、健常者 10 名と書痙患者 10 例における筆圧評価の各指標の比較を行ったところ、書痙患者群では、書字の粗雑さを表す指標（書字時間、変動値）が、健常者群より有意に大きかった。ペン型筆圧計は簡便かつ相応の信頼性があり、健常者と書痙患者の筆圧波形の特徴を数量的にうまくとらえることができ、書字評価法として有用であることが示唆された。（リハ医学 2004; 41: 296-301）

Key words: 局所性ジストニア (focal dystonia), 筆圧 (writing pressure), 拙劣さ (clumsiness)

はじめに

書痙は片側または両側上肢の筋緊張異常により動作に障害をきたす局所性ジストニアの 1 つで、書字の際

に症状の出現するものと定義される¹⁾。書痙は書字動作のみで障害される単純型書痙と、書字以外の動作も障害されるジストニア型書痙とに分類される¹⁾。原因についてはいまだ不明な点が多いが、特定の運動を効

2003 年 11 月 13 日受付, 2004 年 4 月 4 日受理

* 慶應義塾大学医学部リハビリテーション医学教室/〒160-8582 東京都新宿区信濃町 35
 Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine

率的に遂行するために感覚入力対運動出力としてプログラムされた運動サブルーチンが反復動作の繰返しにより頻用され、情動（心的ストレスなど）、向精神薬、遺伝要因、外傷、過度の労作、過度の荷重などの内的・外的な要因が重なり合った結果として、異常な神経回路を生じ、症状が発現すると考えられている²⁾。

書癡の臨床上的特徴は、特定の動作のみで症状が発現する、いわゆる動作特異性であるため、評価には、書字などの特定動作時の評価が必須である。動作時の不随意収縮筋の同定や筋電活動の特徴をとらえるためには、表面筋電図^{1,3~5)}が有用であるが、深部筋の同定が困難であること、ジストニアによる不随意収縮とそれを矯正しようとするための随意収縮との鑑別が困難であるため、患者の訴えや他の臨床的評価もあわせて行う必要がある⁶⁾。書字の臨床的評価法としては、字体の均整さ、書字時間、筆速^{7~11)}、ディジタイザなどの機器を用いた筆圧解析^{8~10,12)}や周波数解析^{11,12)}などがあり、健常者の書字パターンについての報告は数多いが、書癡患者を対象としたものはほとんどない。しかも、ディジタイザは高価であり、さらにそのプログラミングの難しさもあり、一般的に行われている評価とは言いがたい。

外来診察中やリハビリテーション治療の際に、数値化された値として簡便に評価できれば、治療効果や重症度、書癡のタイプ分類などに役立ち有用である。そこで、我々は、安価で簡易なペン型の筆圧計により、書癡患者の筆圧分析を行い、書字パターンの評価や治療効果の判定に応用することを試みた。本研究の目的は、このペン型筆圧計による書字評価の信頼性を検討すること、および健常者と書癡患者の筆圧波形の特徴を比較検討することである。

対象と方法

1. 対 象

明らかな神経学的異常を認めない健常群 10 名（男性 6 名、女性 4 名、平均年齢 32.7 ± 7.6 歳）、および書癡群 10 例（男性 9 名、女性 1 例、平均年齢 47.6 ± 16.8 歳）を対象とした。書癡群の罹病期間の中央値は 3 年（9 カ月～30 年）であった。書癡のタイプは Sheehy ら¹⁾ の分類によると、5 例が単純型、5 例がジストニア型であった。

なお、本研究参加への同意をすべての患者から文書

にて得た。

2. 筆圧測定の方法

筆圧の測定には、電子ペン「DP-1000/U」（日本システム開発社製）を使用した。ペンの芯にはバネが取り付けられており、筆圧がかかるにつれてそのバネが短縮し、内蔵するひずみセンサーにより、筆圧をカウント値として測定することができる（図 1）。付属ソフトをパーソナルコンピュータ（Windows 98）にインストールした後、電子ペンを USB 接続し使用する。データの記録は 4 ミリ秒毎に、最大連続約 21.4 秒可能である。筆圧の実測値 (g) は、以下の近似式により計算でき、最大 500 g まで計測可能である。

$$\begin{aligned} \text{筆圧実測値 (g)} \\ = & -8.41569 \times 10^{-19} X^5 + 2.50635 \times 10^{-15} X^4 \\ & + 7.29755 \times 10^{-10} X^3 - 1.49521 \times 10^{-5} X^2 \\ & + 1.27419 \times 10^{-1} X \\ (X = & \text{カウント値} - 25400) \end{aligned}$$

書字評価の指標として、書字時間、最大筆圧、平均筆圧、変動値をパラメーターとした。書字時間は、最初に筆圧が基線から上昇した時点より、再び基線に戻るまでの時間とした。最大筆圧は、書字中の最大筆圧値とし、平均筆圧は、筆圧実測値の総合計をカウント数で除して算出した。変動値は、各筆圧実測値 (P_i) の差の絶対値 $\Delta P_i = |P_{i+1} - P_i|$ を算出し、その合計値とした。変動値は、最大筆圧が同じ場合、筆圧が波状に上下した方が、平坦な場合よりも大きな値となる。

筆圧測定は、被検者を安楽な姿勢で椅子に座らせ、机上で行った。ペンは持ちやすい握り方で一定するように指示し、慣れるために何度か書字練習を行った。課題は、数字の「3」を 1.5 cm、3 cm、10 cm の

図 1 電子ペン

正方形の枠内に書字することとし、正確に、かつできるだけ速く書くように説明した。

1) 再現性の検討

筆圧計の再現性を検討するため、健常群 10 名において、日時を変えて 2 回、同じ課題を施行した。2 回の評価日の間隔は約 24 時間とした。再現性の検討には、Fleiss の級内相関係数 (intra class correlation; 以下 ICC)¹³⁾ の ICC(1, 1) を

$$ICC(1, 1) = \frac{BMS - WMS}{BMS - (k - 1)WMS}$$

BMS (mean square between patients), WMS (mean square within patients) により求めた。

2) 統計処理

算出した筆圧評価の各指標 (書字時間、最大筆圧、平均筆圧、変動値) について「健常群/と書痙群」、「文字の大きさ」をカテゴリーとし、繰り返しのある二元配置重複測定分散分析 (Two-way repeated measure ANOVA) を用いて分析した。また、健常群と書痙群の筆圧評価の各指標について、各文字の大きさごとに、対応のない二群間の比較 (unpaired-t 検定) を用いて分析した。

以上の統計分析の有意水準はいずれも 5% とし、解析には Stat View 5.0 for Windows (SAS Institute 社) を使用した。

結 果

1. 再現性の検討

筆圧評価の各指標の ICC を表 1 に示した。ICC は

いずれも 0.7 以上であった。

2. 筆圧計による書字評価の検討

図 2 a, b は健常者における 3 cm の「3」を書字した場合の筆圧波形の一例である。なめらかに筆圧は変化しており、そのため変動値は小さくなり、字体は均整がとれている。一方、図 3 a, b は書痙患者における 3 cm の「3」を書字した場合の筆圧波形の一例である。筆圧の上下動が大きく、そのため変動値は大きく、時間もかかり、字体は崩れている。

表 2 に健常群および書痙群の、3 種類の文字の大きさを書字した場合の各指標の平均値、標準偏差を示す。最大筆圧と平均筆圧は、文字の大きさにより、その平均値に有意差を認めなかった。一方、書字時間、変動値は、文字が大きくなるに従って増加する傾向にあり、その平均値に有意差を認めた。一方、健常群と書痙群の比較では、すべての指標が書痙群では健常群に比べて大きい傾向にあり、書字時間、変動値はその平均値に有意差を認めた。また、カテゴリー「健常群/患者群」および「文字の大きさ」は、交互作用を

表 1 健常群における筆圧評価の各指標の級内相関係数 (n=10)

字の大きさ	1.5 cm	3 cm	10 cm
最大筆圧	0.80	0.77	0.93
平均筆圧	0.73	0.80	0.85
時 間	0.93	0.83	0.91
変動値	0.83	0.79	0.71

図 2 健常者の 3 cm の大きさの筆圧波形と字体の一例 (26 歳, 男性)

- (a) 筆圧波形: ΔP_i は各筆圧実測値 (P_i) の差の絶対値を示す。筆圧は比較的低く、なめらかである。最大筆圧 287 g, 平均筆圧 171 g, 書字時間 0.90 秒, 変動値 596。
- (b) 字体: 枠に対して適当な大きさと書かれており、字体はなめらかである。

表 2 健常群 ($n=10$) および書癡群 ($n=10$) 書字評価の結果

大きさ	1.5 cm		3 cm		10 cm	
	健常群	書癡群	健常群	書癡群	健常群	書癡群
最大筆圧 (g)	294±107	368± 98	299±114	359±110	316±135	383± 97
平均筆圧 (g)	182± 62	229± 91	185± 64	228± 89	204±100	225± 70
時間 (秒)	1.0±0.3	4.2±2.5*	1.1±0.5	4.5±2.2*	1.8±0.6	6.9±5.8*
変動値	616±203	1,157±447*	638±205	1,254±522*	883±246	1,820±1,448*

* 健常群/書癡群間 ($p<0.05$, unpaired-t test)

図 3 書癡患者の 3 cm の大きさの筆圧波形と字体の一例 (27 歳, 男性)

- (a) 筆圧波形: ΔP_i は各筆圧実測値 (P_i) の差の絶対値を示す。筆圧は高くないが, 筆圧変動が大きい。
最大筆圧 333 g, 平均筆圧 217 g, 時間 2.40 秒, 変動値 1,780。
(b) 字体: 枠に対して偏って書字しており, 字体は崩れている。

図 4 各文字における書字時間の平均値
書癡群では, 健常群に比し, いずれの文字においても有意に大きかった ($*p<0.05$, unpaired-t test). 健常群と書癡群で, 交互作用は認めなかった ($p>0.05$, Two-way repeated measure ANOVA).

認めなかった ($p>0.05$, Two-way repeated measure ANOVA).

また, 各文字の大きさでの健常群と書癡群での比較では, すべての指標が書癡群で大きい傾向を示し, 書

図 5 各文字における変動値の平均値
書癡群では, 健常群に比し, いずれの文字においても有意に大きかった ($*p<0.05$, unpaired-t test). 健常群と書癡群で, 交互作用は認めなかった ($p>0.05$, Two-way repeated measure ANOVA).

字時間, 変動値は 3 種類の文字の大きさすべてにおいて有意差を認めた (図 4, 5: $p<0.05$, unpaired-t test).

考 察

今回、健常者と書癱患者の書字評価をするために、ペン型の簡易筆圧計を使用、記録した筆圧波形をもとにして考案した4つの筆圧評価の指標（書字時間、最大筆圧、平均筆圧、変動値）を算出し、再現性の検討および健常者と書癱患者における筆圧評価の各指標の比較を行い、書癱患者の臨床評価法として有用であることを示した。

電子ペンは、もともと筆跡鑑定のために作成されたものであるが、比較的安価で、Windows環境のパーソナルコンピュータに添付のソフトウェアをインストールするだけで測定可能であり汎用性があったため、簡便な書字評価方法に応用することを試みた。得られた筆圧波形から、指標として新たに書字時間、最大筆圧、平均筆圧、変動値を考案し、ICCを用いて再現性を分析したところ、3種類の書字の大きさにおいて、すべての指標で0.7以上であった。桑原ら¹⁴⁾は、ICCの値の解釈を、0.7以上でfairとしており、今回のICCの結果は、受容可能な同一被検者間信頼性を示すといえる。

文字の種類に関して、保原⁷⁾は、健常人において5cmの大きさの一綴り文字「2」と「る」の筆速を比較したところ、平均速度は20 cm/secと同じであったと報告している。また、宮代ら⁹⁾は、健常人および運動障害を有する高齢者（脳血管障害など）を対象として、「ま」「A」「山」「マ」を書字した場合の書字時間、筆速、筆圧特性を検討しているが、文字の種類によらず同様の傾向を示したという。文字の種類は過去の報告により様々であり、また、書字の各指標の特徴は文字の種類にはあまり影響されないと考えられたため、本研究においては、筆圧波形の処理を簡便にするため、書字課題を一綴り文字の「3」のみとした。

文字の大きさに関して、岡島ら¹⁰⁾は、ディジタイザを用いた健常者における文字のトレース課題において、文字が大きくなるにつれて、書字速度は速くなり、そのずれも大きくなったと報告している。その理由を、小さい文字の書字では、指や手関節を含めた上肢遠位筋の協調運動が重要なため、上肢近位部をなるべく固定し、手関節より遠位で書字をする傾向にある¹⁵⁾が、大きい文字の書字では、逆に手関節より遠位を固定し、上肢近位筋を用いるため、文字を大きくすると筆運びが速くなり、粗雑さも大きくなるためと

推測している¹⁵⁾。本研究においても、健常群では、文字が大きくなるに従って、文字の粗雑さを反映する変動値が大きくなる傾向を認めた（図5）。本研究では筆跡の長さは計測していないので、速度を計算することはできなかったが、変動値が大きくなったという点は、岡島らの報告¹⁰⁾と一致しており、我々の書字評価の指標が妥当であることを意味している。一方、書癱群でも、文字の大きさに関して、書字時間、変動値の変化は、健常群と同様の傾向を示したが、有意な交互作用が得られなかった（図4, 5）。つまり、これらの指標において字が大きくなるにしたがって健常群と書癱群の差が大きくなっていくということは統計学的には証明できなかった。その理由として、書癱患者の例数が10例と少ないので検出力の問題が大きいと考えられるが、小さい文字の書字は、上肢代償動作を使いにくいので、字の大きさによって難易度が異なったことも原因と考えられる。

書癱患者の書字評価については、ディジタイザを用いたSiebnerらの報告¹²⁾がある。書癱患者16例は、健常群に比べて平均筆圧が高く、書字速度が遅く、平均周波数が減少していたという。本研究においても書癱群では、健常群と比較して、いずれの大きさにおいても最大筆圧や平均筆圧は高い傾向は示したが有意差を認めなかった。その理由として、健常群内での個体差が大きいこと、書癱群の中に筆圧そのものは高くないが筆圧の変動が大きい患者が存在していたことが原因と考えられた（図3a, b）。一方、書字時間、変動値は、書癱群では健常群よりも有意に大きく、これらは書癱患者における書字の特徴をよく表している指標と考えられた（図4, 5）。したがって、書癱患者の書字評価は、筆圧の上昇だけでなく、書字スピードの低下、変動値で評価される字体の粗雑さも考慮すべきである。また、書癱患者では、健常者に比べて、小さい文字（1.5および3cm）に対する大きい文字（10cm）での書字時間、変動値の変化率が、統計学的には交互作用を認めなかったが、大きい傾向が見られた。その理由として、書癱患者の中には、振戦などにより手関節の固定性が低く、大きい文字の書字では支点（肩関節）と力点までの距離が長くなることも加わり、上肢全体のぶれがより大きくなる結果として、書字時間や変動値が健常者に比べてより大きくなる可能性が考えられた。

書癱患者には、長く書字していると疲労から徐々に

書字の困難さが増強するという症状を呈する場合もあるが、今回使用した電子ペンでは、連続記録時間が20秒程度であるため、長時間の書字課題には対応できないという欠点がある。ソフトの改良など含め今後の改良を加えていきたい。今回試みたペン型簡易筆圧計は簡便かつ相応の信頼性があり、健常者と書痙患者の筆圧波形の特徴を数量的にとらえることができ、書痙患者の治療に際して、臨床症状の客観的評価方法としての有用性が示唆された。今後は、表面筋電図所見と筆圧波形との関連やリハビリテーション、反復経頭蓋磁気刺激法、Muscle Afferent Block (MAB) 療法といった各種治療の効果判定にも用いていきたい。

本研究に多大な御協力をいただいた慶應義塾大学病院リハビリテーション科作業療法室、阿部薫、中野奈古美、倉澤友子氏に感謝いたします。

(本論文の一部は、第31回、第32回日本臨床神経生理学会にて発表した。)

文 献

- 1) Sheehy MP, Marsden CD: Writer's cramp—a focal dystonia. *Brain* 1982; **105**: 461-480
- 2) Kaji R, Ikeda A, Kubori T, Mezaki T, Kohara N, Kanda M, Nagamine T, Honda M, Rothwell JC, Shibasaki H, Kimura J: Physiological study of cervical dystonia task-specific abnormality in contingent negative variation. *Brain* 1995; **118**: 511-522
- 3) Hughes M, McLellan DL: Increased co-activation of the upper limb muscles in writer's cramp. *J Neurology Neurosurgery Psychiatry* 1985; **48**:

782-787

- 4) Sheehy MP, Rothwell JC, Marsden CD: Writer's cramp. *in* *Advances in Neurology* Vol. 50, Dystonia 2 (ed by Fahn S, Marsden CD, Calne DB). Raven Press, New York, 1988; pp 457-472
- 5) Cohen LG, Hallett M: Hand cramps: clinical features and electromyographic patterns in a focal dystonia. *Neurology* 1988; **38**: 1005-1012
- 6) 梶 龍児, 目崎高広: ジストニアとボツリヌス治療. 診断と治療社, 東京, 1996
- 7) 保原 信: 手書き文字認識への一つの道. 計測と制御 1972; **11**: 372-382
- 8) 加藤貞夫: 筆圧特性の基礎的研究. 日本経営工学会誌 1981; **31**: 424-427
- 9) 宮代信夫, 丸谷隆明, 多田武夫, 小柴達美, 西口宏美, 横溝克己: 障害高齢者の書字動作特性について. 人間工学 1990; **26**: 331-335
- 10) 岡島康友, 林 陽子, 千野直一: 書字評価・訓練におけるパソコン利用. 総合リハ 1994; **22**: 241-245
- 11) Bain PG, Findley LJ, Britton TC, Rothwell JC, Gresty MA, Thompson PD, Marsden CD: Primary writing tremor. *Brain* 1995; **118**: 1461-1472
- 12) Siebner HR, Tormos JM, Ceballos-Baumann AO, Auer C, Catala MD, Conrad B, Pascual-Leone A: Low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation of the motor cortex in writer's cramp. *Neurology* 1999; **52**: 529-537
- 13) Fleiss JL: The Design and Analysis of Clinical Experiments. John Wiley & Sons, New York, 1986
- 14) 桑原洋一, 斎藤俊弘, 稲垣義明: 検者内および検者間の Reliability (再現性, 信頼性) の検討 なぜ統計学的有意が得られないのか. 呼と循 1993; **41**: 945-952
- 15) Fitts PM: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movements. *J Exp Psychol* 1954; **47**: 381-391