

K-010

3次元運動計測システムによる指鼻試験の定量化 Quantification of a finger-nose test using a 3-D movement measurement system

-Analysis of the velocity-distance characteristic pattern using elliptic Fourier descriptors-

掛谷 拓史[†] 緒方 公一[†] 中西 亮二[‡]
Takumi Kakeya Kohichi Ogata Ryoji Nakanishi

1. はじめに

臨床医学の分野において、いまだに大部分の事柄が医師の従来の経験に頼った主観的な判断や評価による診断が行われており、定性的および定量的な評価方法の確立が望まれている。

このような背景から、著者らは上肢運動機能障害の定量的評価を目的とした3次元運動計測システムの開発を行っている[1]。本稿では、システムを用いて計測された、健常者、脊髄小脳変性症(以下、SCD)患者における指鼻試験時の示指の速度変化を表す速度-距離特性パターンに対し、楕円フーリエ記述子を適用することで健常者と患者との定量的な比較を行った。

2. 実験方法

本研究では、上肢運動機能障害の診断基準として用いられている指鼻試験を評価した。指鼻試験は腕を伸ばし示指を指標に付けた状態から鼻に近づけ、再び腕を伸ばすという一連の動作を繰り返すものである。今回は5往復行い、その間の3往復について運動を評価した。なお、各被験者の判断により、fast, normal, slowの3段階の速度で試行を行っている。被験者は画像処理によるモーションキャプチャのため、手に異なる3つのマーカ、額に黄色のマーカを取り付けている(図1)。

今回取り扱った被験者は、健常者69名(59.0±18.3歳)、SCD患者15名(68.7±14.2歳)である。また、健常者においては年齢により2群に分けた。健常者群Iとして20~49歳(33.4±9.5歳)までの23名、健常者群IIとして50~89歳(67.3±8.4歳)までの46名とした。

3. 運動の評価

3.1 速度-距離特性パターン

指鼻試験時の示指の位置と速度変化の様子を検討するた

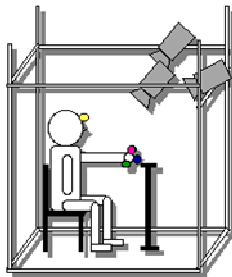


図1 3次元運動計測装置

め、図2のような速度-距離特性パターン(以後、正規化円と呼ぶ)を用いる。これは横軸に、指標の位置を-1、鼻の位置を1として正規化した距離をとり、縦軸に示指を指標から鼻に近づけるときの正、鼻から遠ざけるときの負とし、それぞれ速度の最大値を1として正規化したものである。

3.2 楕円フーリエ記述子

本研究では、正規化円の評価に楕円フーリエ記述子を用いた。楕円フーリエ記述子とは、輪郭形状の定量的評価方法[2]のひとつである。概略は以下の通りである。

始点から p 番目までの線分長の合計を t_p とすると、 p 番目の x 座標の楕円フーリエ展開は、

$$x_p = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{2n\pi t_p}{T} + b_n \sin \frac{2n\pi t_p}{T} \right) \quad (1)$$

となる。ここで、 A_0 は中心点の x 座標、 T は輪郭の周囲長を表す。また、 a_n 、 b_n はそれぞれ、

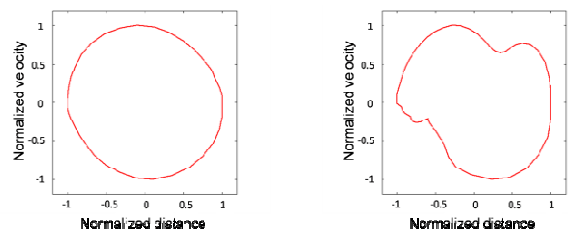
$$a_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} \left(\cos \frac{2n\pi t_p}{T} - \cos \frac{2n\pi t_{p-1}}{T} \right) \quad (2)$$

$$b_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} \left(\sin \frac{2n\pi t_p}{T} - \sin \frac{2n\pi t_{p-1}}{T} \right) \quad (3)$$

である。ここで、 K は輪郭上の点の全数、 n は a_n 、 b_n の調和次数である。 y 座標についての係数 c_n 、 d_n も同様に求める。また、 $n=20$ までの係数を用いることにより正規化円がほぼ近似できることから20次までを取り扱った。

3.3 評価方法の検討

図3に健常者とSCD患者について楕円フーリエ記述子を適用した場合の係数値を20次まで示す。(a)の健常者例では次数が2次以降はほぼゼロとなっており、(b)のSCD患者例では2次以降についてゼロとはならない部分が見られる。これらをより詳細に検証するため式(4)を用いて r_n を導入する。



(a) 健常者例

(b) SCD患者例

図2 速度-距離特性パターンの例

[†] 熊本大学大学院自然科学研究科 Graduate school of Science and Technology, Kumamoto University

[‡] 熊本機能病院 Kumamoto Kinoh Hospital

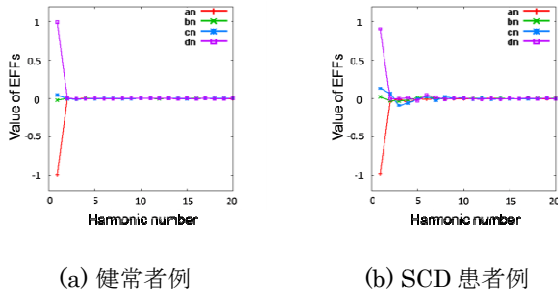


図3 楕円フーリエ記述子の値

$$r_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \begin{cases} x座標 : A_n = a_n, B_n = b_n \\ y座標 : A_n = c_n, B_n = d_n \end{cases} \quad (4)$$

図2に示す正規化円において、位置を表すx座標と速度の大きさを表すy座標とでは、y座標により健常者とSCD患者との違いが表れる傾向を示したため、y座標に対して適用した r_n を評価の対象とした。また、健常者の正規化円の形は真円に近く、SCD患者の正規化円の形は歪んでいることから、1回の試行につき式(5)を定義し、 $N = 20$ として算出した。ここで、 $r_{n,c}$ は真円における r_n である。

$$V_i = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (r_n - r_{n,c})^2}{N-1}} \quad (5)$$

今回の実験では、指鼻試験を5往復行いそのうち3往復を評価の対象としているため、被験者1人に対して試行速度ごとに3つの正規化円が算出できる。ここではその3回の試行における V_i の相加平均を被験者の評価値とする。

4. 結果

4.1 健常者とSCD患者

3.3節で設定した被験者の評価値をプロットしたものを図4に示す。

各グループ間の有意差検定をウェルチの検定を用いて行った。その際、群の数が3群以上となるため、有意水準に対しボンフェロニ法を適用した。その結果、健常者群IとSCD患者間、健常者群IIとSCD患者間において有意差が確認された。

4.2 SCD重症度との相関関係

評価値とSCD重症度[3]との関係をみるために、重症度を横軸にとり、評価値を縦軸にとったものを図5に示す。

図5より、SCD患者の重症度が高くなるほど評価値は高くなる傾向を示した。

それぞれの試行速度において重症度と評価値との相関係数をスピアマンの順位相関を用いて算出した。その結果、fastのとき $r = 0.83$ 、normalのとき $r = 0.90$ 、slowのとき $r = 0.78$ の値となり強い相関を示した。

5. 結論

指鼻試験の様子を3次元運動計測装置により測定し、その結果から正規化円を算出した。その正規化円に対して楕円フーリエ記述子を適用して評価値を設定した。評価値において、健常者とSCD患者との有意差検定を行った。そ

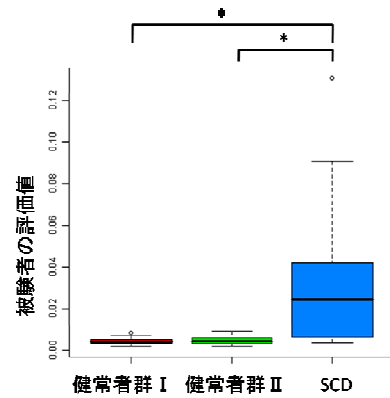


図4 試行速度 fastにおける評価値 (* : P<0.05)

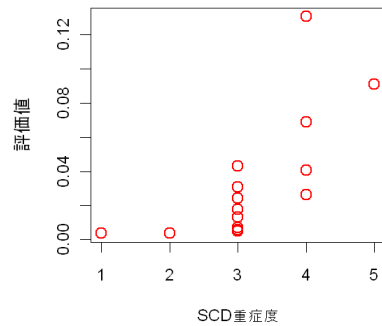


図5 試行速度 fastにおける重症度別評価値

の結果、健常者群IとSCD患者群間、健常者群IIとSCD患者群間において有意差が確認された。また、評価値と重症度との相関係数を求めると、どの試行速度においても約0.8以上となり、強い相関があることがわかった。

以上より、SCDの診断および重症度を定量的に示す指標として、正規化円の楕円フーリエ記述子による評価は有効であると言える。

謝辞

本研究の一部は科学研究費補助金((C)20560398)の援助によることを記し、謝意を表す。

参考文献

- [1] 緒方 公一, 當銘 理, 中西 亮二, “画像処理に基づく3次元上肢運動機能計測システムの開発”, 電学論 C, Vol.129, No.6 (2009).
- [2] N. Furuta *et al.* “Quantitative evaluation of soybean (*Glycine max* L. Merr.) leaflet shape by principal component scores based on elliptic Fourier descriptor”, *Breed. Sci.* Vol.45, pp.315-320 (1995).
- [3] 平山 恵造, “脊髄小脳変性症の診断基準, 重症度分類”, 内科, Vol.55, pp.1334-1336 (1986).