

Support Vector Machine を用いたパーキンソン病における 歩行リズム分析に基づく運動症状の分類

○太田 玲央 (東工大) 小川 健一朗 (東工大) 三宅 美博 (東工大)

1. 背景

パーキンソン病(PD)は進行性の神経変性疾患であり、移動を担う日常必要動作である歩行に障害が見られる。したがって、普段の歩行から運動症状の進行や予兆を捉えることが課題となっている。

先行研究より、PD 患者では歩行周期の変動性とゆらぎ特性において健常者と相違があることが報告されている。それらはそれぞれ変動係数 CV とスケールリング指数 α で定量化できる[1]。

本研究では、歩行リズム分析結果の CV と α を組み合わせて、PD の運動症状の進行過程を分類することを目的とする。代表的な PD の運動症状の進行過程としての姿勢反射障害(PI)の有無と重症度の軽重を[2]、Support Vector Machine によって分類した[3]。

2. 歩行実験と歩行リズム分析

健常高齢者 17 名と PD 患者 45 名(H&Y1~3)は 200m の平坦歩行路を歩行した。その際、足接地時刻がフットスイッチ(OT-21BP-G, Ojiden, Japan)によって検出されノート PC (CF-W5AWDBJR, Panasonic, Japan)へ無線送信機(S-1019M1F, Smart Sensor Technology, Japan)を介して送信された。歩行周期 $u_h(t)$ は以下の式で求められた。

$$u_h(i) = t_h(i+1) - t_h(i) \quad (1)$$

ここで $t_h(i)$ は i 番目の左足(エラーがあったときは右足)の接地時刻である。歩行周期の変動性を表す CV は周期の標準偏差÷平均で求められ、大きいほど変動が大きいことを表す。歩行周期のゆらぎ特性は Detrended Fluctuation Analysis を用いて分析された[4]。スケールリング指数 α は以下の式で求められる。

$$y_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^k [u(j) - \langle u \rangle] \quad (2)$$

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N'} \sum_k [y(k) - y_n(k)]^2} \propto n^\alpha \quad (3)$$

ここで α が 0.5 に近いときはホワイトノイズ、 α が 1.0 に近いとき $1/f$ ゆらぎを表す。

3. 歩行リズム分析に基づく運動症状の分類

CV と α を [0,1] で正規化して組み合わせ、ソフトマージン Support Vector Machine (C-SVM) を行った[3]。

$$\text{minimize } \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + C \sum_i \xi_i \quad (4)$$

$$\text{s.t. } y_i(\omega x_i + b) \geq 1 - \xi_i, \quad \xi_i > \forall i \quad (5)$$

ξ_i はスラック変数、 C はソフトマージンに関するコスト定数である。今回は、ガウシアンカーネル

$$K(x \cdot x_i) = \exp(-\gamma \|x - x_i\|^2) \quad (6)$$

を用いることとし、それぞれの分類での C と γ は [0.001, 1000] の範囲のグリッド探索で最適化された。

運動症状の進行過程を分類するために PD の重症度を表す H&Y を用いて PI に関する 3 群に分割した。始めに、PI の有無を分類した。次に、PI のある中

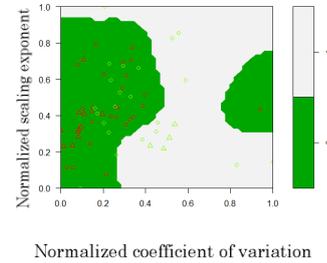


Fig.1 Result of SVM (red: no-PI, light green: PI (postural instability); Circle: support vector, triangle: others; green = 0: no-PI, white = 1: PI).

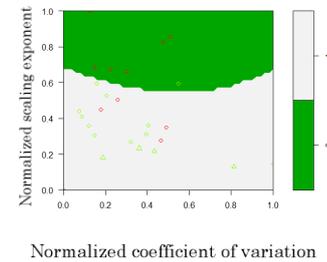


Fig.2 Result of SVM (red: mild-PI, light green: obvious-PI. (green = 0: mild-PI, white = 1: obvious-PI.))

で重症度の軽重を分類した。具体的には、H&Y2 以下 (no-PI) と H&Y2.5 以上 (PI) の分類と、H&Y2.5 (mild-PI) と H&Y3 (obvious-PI) の分類を行った。その際、一つ抜き法で分類精度を推定した[5]。

4. 結果と考察

始めに PI の有無の分類を行った結果、分類精度は 74%であった(Fig.1, $C=1$, $\gamma=1$)。次に PI のある中で重症度の軽重の分類を行った結果、分類精度は 77%であった(Fig.2, $C=1$, $\gamma=0.1$)。CV と α という周期の変動性とゆらぎ特性を組み合わせることによって、PI という運動症状の有無だけでなくその重症度の軽重も分類できた。よって、歩行リズムから PI の進行過程を分類することができたと考えられる。

謝辞

関東中央病院の織茂智之神経内科部長には、PD について多くのご指導をいただきました。ご協力いただいた患者様とともに深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] J.M. Hausdorff, "Gait dynamics in Parkinson's disease: Common and distinct behavior among stride length, gait variability, and fractal-like scaling", *Chaos*, Vol. 19, 026113, pp. 1-9, 2012. doi: 10.1063/1.3147408.
- [2] C.G. Goetz, W. Poewe, O. Rascol, C. Sampaio, G. T. Stebbins, et al.: "Movement Disorder Society Task Force Report on the Hoehn and Yahr Staging Scale : Status and Recommendations," *Movement Disorders*, vol. 19, no. 9, pp. 1020-1028, 2004.
- [3] V.Vapnik: "The nature of statistical learning theory". Berlin, Springer, 1995.
- [4] C.-K. Peng, S.Havlin, H.E.Stanley, A.L.Golberger: "Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series". *Chaos*, 5, pp.82-87, 1995.
- [5] R.O.Duda, P.E.Hart, D.G.Stork: "Pattern classification, 2nd ed." p.654, Wiley, 2001.