

磁気センサを利用した指タップ運動機能評価システム

広島大学大学院工学研究科

島 圭 介 閑 絵 里 子 辻 敏 夫

日立製作所基礎研究所

神 鳥 明 彦

大阪大学大学院医学系研究科

横 江 勝 佐古田 三郎

医療機器学 第78巻 第12号 別刷

〔平成20年12月1日発行〕

原 著



磁気センサを利用した指タップ運動機能評価システム

島 圭 介* 閑 絵里子* 辻 敏 夫*
神 鳥 明 彦*¹ 横 江 勝*² 佐古田三郎*²

A Motor Function Evaluation System for Finger Tapping Movements Using Magnetic Sensors

Keisuke SHIMA*, Eriko KAN*,
Toshio TSUJI*, Akihiko KANDORI*¹,
Masaru YOKOE*² and Saburo SAKODA*²,

* Graduate School of Engineering,
Hiroshima University

*¹ Advanced Research Laboratory,
Hitachi Ltd.

*² Graduate School of Medicine,
Osaka University

Abstract

This paper proposes a novel measurement and evaluation system of finger tapping movements for diagnosis support and assessment of motor function. In this system, finger movements are measured using magnetic sensors, and the eleven indices such as *finger tapping interval* and *maximum amplitude of finger taps* are computed for evaluating the motor function associated with the measured finger taps. The radar charts of the evaluation indices and phase plane trajectories of measured finger movements are then displayed on a monitor in real-time. Therefore, the user can intuitively understand the feature of finger tapping movements.

The effectiveness of the proposed evaluation indices was demonstrated by comparing the finger movements of Parkinson's disease patients and those of normal subjects. From the results, we found that all the indices except the average of finger tapping interval differ significantly between 16 patients with Parkinson's disease and 32 normal elderly subjects ($p < 0.05$). Consequently, it is confirmed that the proposed system can quantitatively evaluate the motor function of finger tapping movements.

1. 目 的

脊髄小脳変性症や筋萎縮性側索硬化症などの運動機能障害は、神経疾患や脳梗塞などが原因で発症し、その患者数は年々増加傾向にある。

* 広島大学大学院工学研究科

*¹ 日立製作所基礎研究所

*² 大阪大学大学院医学系研究科
(原稿受付：2008年6月20日)

特にパーキンソン病は、中脳黒質で作られる神経伝達物質のドーパミンが減少することで発症する進行性の神経難病であり、日本における患者数は平成17年10月時点で約14.5万人にのぼっている¹⁾。このような進行性の運動機能障害に侵されている患者に対しては、疾病の早期発見や重症度の正確な評価、病症の進行遅延が非常に重要である。

パーキンソン病は振戦、筋強剛、寡動、姿

勢反射障害を4主要症候とする神経疾患であり、血液検査やCTスキャン、磁気共鳴画像診断装置(MRI)などの画像診断では重症度を診断することが難しい。そのため、医師による神経学的所見や患者の訴えによって症状や投薬効果の検証がおこなわれているのが現状である。パーキンソン病の重症度の評価にはHoehn & Yahrの重症度分類²⁾やUnified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS)³⁾が広く用いられているが、定量的に示された基準ではなく、評価基準自体の問題も指摘されている⁴⁾。また、修練を積んだ神経内科医による診断においても、症状のわずかな変化を捉えることが困難な場合がある⁵⁾。運動機能障害に伴う神経疾患の重症度を正確に捉えるためには、運動機能の定量的かつ客観的な評価が必要である。

パーキンソン病の運動機能の定量化に関する研究は、Ghikaら⁶⁾による振戦や反応運動の解析や、小林ら⁷⁾による直線反復運動の解析、指のタッピング運動(以下、指タップ運動)の解析などがある。これらの中でも、指タップ運動はHolms⁸⁾によって小脳機能検査に有用と証明されており、これまでに指タップ運動の定量化に関する研究がさまざまおこなわれてきた^{9~13)}。本論文では指タップ運動に着目し、運動解析によって運動機能や状態を定量的に評価することを試みる。

指タップ運動の定量的な解析と評価のためには、正確で安定した指タップ運動の計測技術と運動機能を反映する有効な評価法の確立が必要不可欠である。指タップ運動の計測技術に関する研究としては、Shimoyamaら⁹⁾による心電図の校正スイッチを用いた計測法やKonczakら¹⁰⁾による赤外線カメラを用いた計測、Kandoriら¹¹⁾による磁気センサを用いた計測法などが提案されている。特に、磁気センサは指先に装着した小型のコイル間距離を電磁誘導を利用して計測可能である。また、著者らは磁気センサの非線形較正法¹²⁾を提案し、高精度な運動計測によってパーキンソン病患者と健常者の運動の違いを評価できる可能性を示している。

一方、指タップ運動の定量的評価に関する研

究としては、パーキンソン病患者の運動リズムや指先間の最大振幅、最大速度などの評価がおこなわれ、パーキンソン病患者が健常者に比べてリズムにばらつきが大きいことや指先間の最大振幅が小さいこと、最大速度が小さい傾向にあることが示されている^{11~13)}。しかしながら、これらの研究では抽出した特徴量の傾向を重症度別に確認するなど基礎的な運動の解析段階にとどまっている。さらに、臨床現場で日常的に運動機能を評価可能な指タップ運動の計測・解析法は存在しない。この主な理由としては、(1)重症度や投薬効果を正確に評価できる解析法が確立されていないことに加え、(2)評価や解析結果を医師、患者がその場で確認できる分かりやすい解析システムが開発されていないこと、そして、(3)過去の解析結果や他の患者との比較をおこなえるデータベース環境が整っていないことなどが考えられる。

本論文では、臨床現場で日常的に使用可能な評価法の実現を目指し、指タップ運動機能評価システムを提案する。提案システムでは、磁気センサ¹²⁾を用いて高精度に指タップ運動を計測し、最大振幅やリズムなどの医学的所見に基づく特徴量にリズム変動や運動の滑らかさなどを追加した計11の指標を算出する。そして、これらの定量的評価指標をレーダーチャートとして医師に提示するとともに、指先間距離と速度、速度と加速度の位相面軌道を表示する。これにより、指タップ運動の特徴の直感的な把握や、過去の計測データや他の患者との比較による評価が可能となる。

以下、2.で提案する指タップ運動機能評価システムについて述べ、3.ではパーキンソン病患者を対象としておこなった指タップ運動の評価実験について説明し、提案システムと評価指標の有効性を検証する。

2. 指タップ運動機能評価システム

図1に提案する指タップ運動機能評価システムの構成を示す。本システムは、磁気センサを用いて指タップ運動の計測をおこなう信号計測部、計測された指タップ運動を定量的に評価するための評価指標を算出する特徴抽出部、解

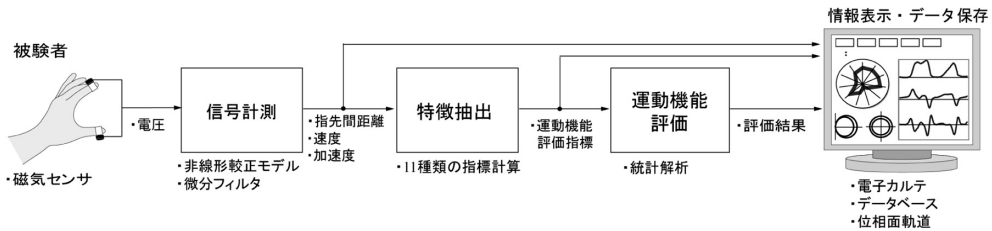
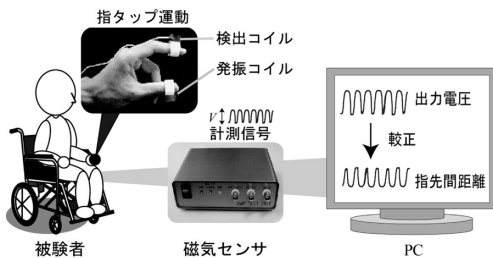


図1 指タップ運動機能評価システムの構成

析した信号や特徴量に基づく運動機能評価部、そして計測した信号や評価結果の表示部からなる。以下、各部の詳細について説明する。

1) 信号計測部

図2 指タップ運動計測システム¹²⁾

本論文では、指タップ運動の計測に著者らが提案した磁気センサの非線形校正法¹²⁾に基づく指タップ運動計測システムを利用する。図2に計測システムの構成を示す。使用者は磁気センサのコイルを指先に装着して指タップ運動をおこなう。磁気センサは電磁誘導を利用し、指先に装着したコイル間距離に応じた出力電圧を計測することが可能である（周波数帯域 0～30 [Hz]）。運動計測システムでは、計測した電圧から式 (1)、(2) で表されるコンピュータ内のセンサモデルを用いることで指先間距離を算出する。

$$d(t) = \alpha \tilde{V}(t) - \varepsilon \dots\dots\dots (1)$$

$$\tilde{V}(t) = V^{-\frac{1}{3}}(t) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $d(t)$ は時刻 t における指先間距離、 $V(t)$ はセンサの出力電圧、 α 、 ε はセンサの校正によって求める定数である。センサの校正は使用者ごとにおこない、指タップ運動計測前に指先間距離に対応する出力電圧を n 点計測することで、線形最小二乗法により (1) 式の α 、 ε を推定する。この校正をおこなうことにより、セ

ンサ装着時のコイルの傾きやモデル化誤差などの影響を軽減することができ、人間の指タップ運動を平均誤差 $\pm 2\%$ 程度で高精度に計測可能である¹²⁾。さらに、指先間距離 $d(t)$ から、微分フィルタを用いて速度 $v(t)$ 、加速度 $a(t)$ を計算する (図3 参照)。

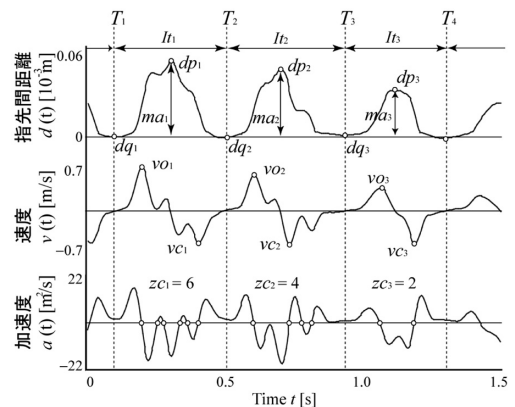


図3 指タップ運動計測波形の一例

2) 特徴抽出部

特徴抽出部では、検査時間全体の指タップ運動を定量的に評価するための評価指標を計算する。パーキンソン病の指タップ運動は、リズム形成障害に起因してリズム不整が生じ、連続的な筋運動の喪失により次第に振幅が減少することや時に運動の停止が起こると指摘されている⁵⁾。また、パーキンソン病患者は健常者より指先間の最大振幅や最大速度が小さく、タップインターバルの標準偏差が大きくなることが示されている¹³⁾。本論文ではこれらの文献を参考に以下に示す11個の評価指標を定義する。

- (i) 指の総移動距離
- (ii) 最大タップ振幅の平均
- (iii) 最大タップ振幅の変動係数
- (iv) タップインターバルの平均

- (v) タップインターバルの変動係数
- (vi) 最大オープニング速度の平均
- (vii) 最大オープニング速度の変動係数
- (viii) 最大クロージング速度の平均
- (ix) 最大クロージング速度の変動係数
- (x) 加速度ゼロ交差数の平均
- (xi) 指タップインターバル変動

なお、計測した値の相対的な変動の大きさを評価するため、本論文では標準偏差を平均値で除算した変動係数を評価に用いる。

まず、計測した指先間距離から 1 回のタッピングを抽出するため $d(t)$, $v(t)$, $a(t)$ から指接触時刻を決定する。 $v(t) = 0$, かつ $a(t) > 0$ となる時刻における距離 $d_j^{\min}$ を求め、距離 $d_j^{\min}$ が次式のように設定した閾値 M^{th} 以下の場合、その時刻を指接触時刻 T_i ($i = 1, 2, \dots, I$, I は指接触回数) とする。

$$M^{\text{th}} = \beta \left(\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K d_k^{\max} - \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J d_j^{\min} \right) \dots\dots (3)$$

ここで、 β は定数、 $d_k^{\max}$ は $v(t) = 0$, かつ $a(t) < 0$ となる時刻における距離であり、 K は $d_k^{\max}$ の個数、 J は $d_j^{\min}$ の個数である。

次に、計測時間における速度 $v(t)$ の絶対値の積分値を指の総移動距離 (評価指標 (i)) とする。そして指接触時刻 T_i に基づき i 番目の指タップの特徴として、距離 $d(t)$ から区間 $[T_i, T_{i+1}]$ における最大振幅点 dp_i 、最小振幅点 dq_i を求め、最大タップ振幅 $ma_i = dp_i - dq_i$ の平均値 (評価指標 (ii)) と変動係数 (評価指標 (iii)) を算出する。また、連続する 2 回の指接触時刻間の間隔であるタップインターバルを $It_i = T_{i+1} - T_i$ とし、速度情報 $v(t)$ から指を開く際と閉じる際の速度

に対応する正方向の最大速度点と負方向の最大速度点の値を、それぞれ最大オープニング速度 vo_i 、最大クロージング速度 vc_i と定義して、タップインターバル、最大オープニング速度、最大クロージング速度の平均値と変動係数を算出する (評価指標 (iv) ~ (ix))。

さらに、加速度 $a(t)$ から区間 $[T_i, T_{i+1}]$ において加速度が 0 になる回数を加速度ゼロ交差数 zc_i と定義し、その平均値 (評価指標 (x)) を多峰性運動の評価値とする。なお、加速度ゼロ交差数は 1 回のタッピングにおける $v(t)$ の極値の数に対応して増加し、図 3 に示すように滑らかなタッピングをおこなうと $zc_3 = 2$ となり、運動中に指が停止するなどのごこちないタッピングをおこなうと $zc_1 = 6$ や $zc_2 = 4$ のようにゼロ交差数が増加する。パーキンソン病患者は寡動やリズム形成障害の影響により 1 回のタッピング中に振幅のピークが複数存在する多峰性運動を示す場合があり、加速度ゼロ交差数から指タップ運動の滑らかさを評価できる可能性がある。

最後に、タップインターバル It_i の時系列データに対して心拍変動解析¹⁴⁾ を応用することで、インターバルの変動を評価する。タップインターバル It_i は 1 回のタッピングごとに算出されるため、 It_i の時系列データはサンプリング間隔が一定ではない。そのため時系列データに線形補間を施し、サンプリング周波数 f_a [Hz] で等間隔にリサンプリングをおこなった後、直流成分を除去する。そして、高速フーリエ変換 (FFT) によりパワースペクトル密度を導出する。ここで、図 4 に指タップインターバルの変動解析結果の一例を示す。図 4 (a) が健常高齢

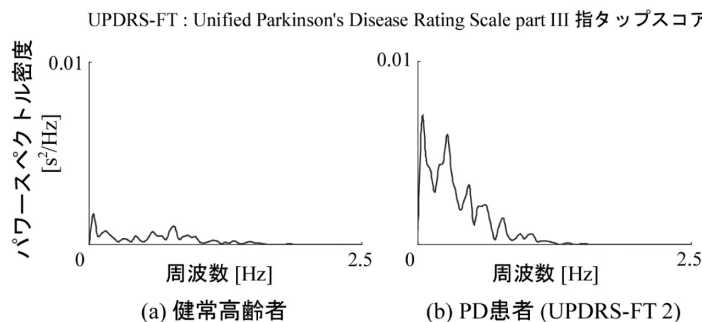


図 4 指タップインターバル変動解析の一例

者、(b) がパーキンソン病患者 (UPDRS-FT 2: UPDRS part III finger tapping score 2) の解析結果であり、パーキンソン病患者は健常高齢者に比べ、パワースペクトル密度が大きくなっていることが確認できる。そこで、 $f_b \sim f_c$ [Hz] の積分値を指タップインターバル変動 (評価指標 (xi)) として算出する。

以上のように、本論文で定義する 11 の評価指標を用いることで、指タップ運動機能の低下に伴う最大振幅の減少度合いやリズム不整、寡動の影響による動作緩慢、運動の滑らかさを捉えられる可能性がある。

3) 運動機能評価部

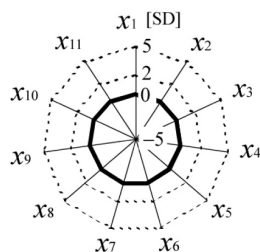
抽出した評価指標は、同年代の健常者との運動の違いを比較するため、健常者を基準とした標準化をおこなう。ただし、パーキンソン病患者の各評価指標を健常高齢者より大きい値にするため、予備実験により患者の結果が健常高齢者より小さい値を示した指先間の最大タップ振幅、最大オープニング速度、最大クロージング速度の平均値についてはタッピングごとの各値から逆数を算出し、その平均値を評価に用いる。また、指の総移動距離についてはその逆数を評価値とする。

本論文では、各指標の標準化後の値 x_j はあらかじめ計測した健常高齢者の解析データの平均値と標準偏差 (Standard deviation: SD) から、次式を用いて変換する。

$$x_j = (z_j - \mu_j) / \sigma_j \dots\dots\dots (4)$$

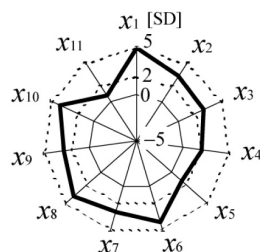
ここで j は指標番号、 z_j は標準化前の各指標の値、 μ_j 、 σ_j はコントロールとして用いる健常高齢者群の各指標の平均値、および標準偏差である。 $j=1$ は指の総移動距離、 $j=2 \sim 9$ はそれぞれ最大タップ振幅、タップインターバル、最大オープニング速度、最大クロージング速度の平均と変動係数、 $j=10, 11$ は加速度のゼロ交差数の平均、指タップインターバル変動を表す。この標準化をおこなうことで、健常高齢者の各指標は平均値 0、標準偏差 1 の正規分布に従う。

図 5 は健常高齢者数 32 名について各指標を抽出後、標準化をおこないレーダーチャートにプロットした結果の一例である。図 5 (a) が健常高齢者、(b) がパーキンソン病患者 (UPDRS-FT 2) を示しており、各評価指標は 60 [s] 間の指タップ運動から算出した結果 (太線) である。図の各軸は健常高齢者の標準偏差を表しており、実線は健常高齢者の平均値、点線はそれぞれ標準偏差の 2 倍、5 倍 (以下、2 SD, 5 SD) を表している。チャートの各値が大きいほど、健常者群の値との差が大きいことを示している。レーダーチャートを用いることで、指タップ運動の各評価結果をわかりやすく医師に提示できる可能性がある。また、医学統計学で一般的に用いられている正常値の基準



(a) 健常高齢者

- X1: 指の総移動距離
- X2: 最大タップ振幅の平均
- X3: 最大タップ振幅の変動係数
- X4: タップインターバルの平均
- X5: タップインターバルの変動係数
- X6: 最大オープニング速度の平均



(b) PD患者 (UPDRS-FT 2)

- X7: 最大オープニング速度の変動係数
- X8: 最大クロージング速度の平均
- X9: 最大クロージング速度の変動係数
- X10: 加速度ゼロ交差数の平均
- X11: 指タップインターバル変動

SD: Standard deviation

図 5 各評価指標のレーダーチャート表示の一例

範囲¹⁵⁾に基づき、健常高齢者の2SD以上となる評価指標の個数を評価することも可能で、健常高齢者の平均値からのずれを0から11までの数値として確認できるため、指タップ運動の重症度を定量化できる可能性がある。

4) 表示部

表示部では計測した信号や抽出した特徴量、評価指標に関する情報をあわせて表示し、医師に提示する。図6に提案システムの表示画面の一例を示す。図中の領域(a)には指先間距離、速度、加速度情報が、領域(b)には運動の特徴量から抽出した評価指標の値と全計測時間および一定間隔で解析した標準化結果のレーダーチャートが表示される。また、領域(c)には指先間距離と速度、速度と加速度の位相面軌道を表す波形がリアルタイムで表示され、運動のダイナミクスを視覚的に確認することができる。それに加え、構築したシステムでは領域(d)、(e)の操作ボタン、スクロールバーにより、初期設定や任意の時間での波形表示、グラフのスケール等の変更をおこなうことができる。さらに、電子カルテとして用いることを考慮して計測時の被験者情報や所見の入力を可能としており、PC内のデータベースに保存することにより過去のデータと比較することも可能である。

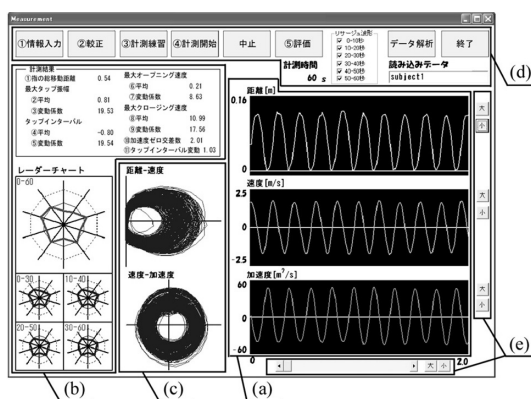


図6 運動機能評価システムの表示画面

3. 指タップ運動評価実験

提案システムの有効性を確認するため検証実験をおこない、運動機能の定量的評価の可能性を検討した。

1) 実験方法

被験者はパーキンソン病患者16名(平均年齢:71.2, 標準偏差:6.4, 男性:5名, 女性:11名), および健常高齢者32名(平均年齢:68.2, 標準偏差:5.0, 男性:16名, 女性:16名)である。被験者は安静座位をとり、センサを図2に示すように片手の第1指, 第2指の遠位関節背側に装着させ、著者らの報告¹²⁾によって最も校正精度が高かった3点の計測点(0.02, 0.03, 0.09 [m])を用いてセンサの校正(式(1)参照)をおこなった。被験者には、計測前に指タップ運動の練習を左右の指で短時間おこなってもらった後、できるだけ大きく速く指タップ運動をおこなうよう指示し、60秒間左右それぞれについて計測をおこなった。病症の評価は、パーキンソン病の重症度評価法であるUPDRSの指タップテスト³⁾(UPDRS-FT, 表1参照)に基づき、神経内科医により点数化された値を使用した。なお、データ計測のサンプリング周波数は100 [Hz]とし、計測は大阪大学研究倫理審査委員会承認の下、各被験者の同意を得た上で実施した。標準化する際のパラメータは全健常高齢者から算出し、 $\beta=0.1$, タップインターバルの時系列データに対するリサンプリング周波数は $f_d=10$ [Hz], FFTの窓幅は256点, データのオーバーラップは255点とし、窓関数にはハミング窓を用いた。指タップインターバル変動の積分領域は $f_b=0.2$ [Hz], $f_c=2.0$ [Hz]とした。

表1 Unified Parkinson's Disease Rating Scale part III
指タッブスコア (UPDRS-FT)³⁾

UPDRS-FT	パーキンソン病の診断基準
0	正常
1	やや遅いか、振幅がやや小さい
2	中程度の障害で明らかにまた早期に疲労を示し、動きが止まってしまうことがある
3	高度の障害で運動開始時に hesitation をしばしば起こすか、動きが止まることもある
4	ほとんどタッピング動作にならない

2) 結果と考察

図7に指タップ運動計測波形の一例を示す。図は上から指先間の距離, 速度, 加速度であり, 図7(a)が健常高齢者, (b)がパーキンソン病患者(UPDRS-FT 2)の計測開始0 [s]から10

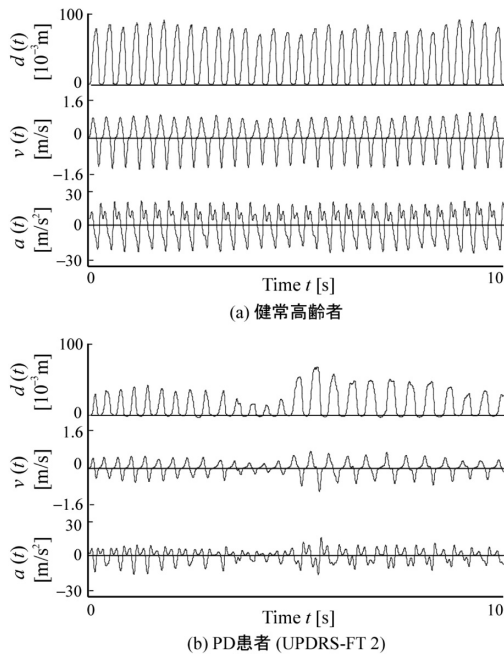


図7 指タップ運動計測結果の一例

[s]までの計測結果である。また、図8に全計測時間に対する平均値と変動係数を求めて算出した評価指標のレーダーチャート表示の一例を示す。図8(a)が健康高齢者、(b)がパーキンソン病UPDRS-FT 1の患者、(c)がUPDRS-FT 2の患者、(d)がUPDRS-FT 3の患者の結果である。前述のように、図の各軸は健康高齢者の標準偏差を表しており、実線は健康高齢者の平均値、点線はそれぞれ2SD、5SDを示している。図より、健康高齢者は平均値に近く、パーキンソン病患者は重症度（UPDRS-FT）が増すにつれて平均値からの差が大きくなっていることがわかる。これにより、レーダーチャートを用いて指タップ運動の特徴や結果を視覚

表2 健康高齢者群とPD患者群間における各評価指標の異分散t検定結果

評価指標	有意確率 p
指の総移動距離 (x_1)	$1.246 \times 10^{-12} **$
最大タップ振幅の平均 (x_2)	$1.185 \times 10^{-6} **$
最大タップ振幅の変動係数 (x_3)	$4.844 \times 10^{-5} **$
タップインターバルの平均 (x_4)	8.162×10^{-2}
タップインターバルの変動係数 (x_5)	$1.068 \times 10^{-3} **$
最大オープニング速度の平均 (x_6)	$2.913 \times 10^{-10} **$
最大オープニング速度の変動係数 (x_7)	$4.678 \times 10^{-6} **$
最大クロー징速度の平均 (x_8)	$2.163 \times 10^{-11} **$
最大クロー징速度の変動係数 (x_9)	$3.320 \times 10^{-5} **$
加速度ゼロ交差数の平均 (x_{10})	$2.968 \times 10^{-2} *$
指タップインターバル変動 (x_{11})	$1.739 \times 10^{-2} *$

** : 有意水準 1.0%, * : 5.0%

的に捉えられることを確認した。

次に、各評価指標がパーキンソン症候を評価できるかを確認するため、全計測時間から算出したパーキンソン病患者群と健康高齢者群の各指標（各被験者につき1データ）について異分散t検定をおこなった。表2に各評価指標の検定結果を示す。表より、タップインターバルの平均 x_4 、加速度ゼロ交差数の平均 x_{10} 、指タップインターバル変動 x_{11} 以外は有意水準1%で有意差が得られ、文献5), 13)と同様の傾向を示した。一方、タップインターバルの平均 x_4 は有意確率 $p = 8.162 \times 10^{-2}$ ($p > 0.05$) で有意差は認められなかったが、これはパーキンソン病患者群の指タップインターバルの分散が大きな値を示したためである。また、本論文で提案した加速度ゼロ交差数の平均 x_{10} および指タップインターバル変動 x_{11} に関しては有意水準5%で有意差が得られたことから、運動の滑らかさやリズム変動を捉える評価指標として利

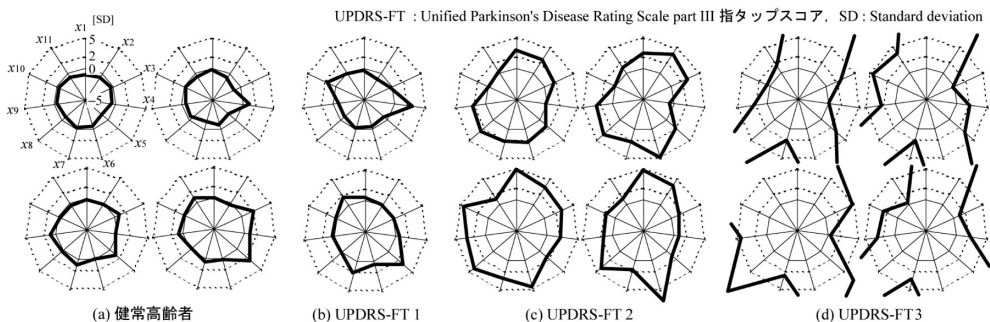


図8 全計測時間 (60 [s]) から算出した評価指標のレーダーチャート表示

PD : Parkinson's disease, **: 有意水準 1.0%, *: 5.0%

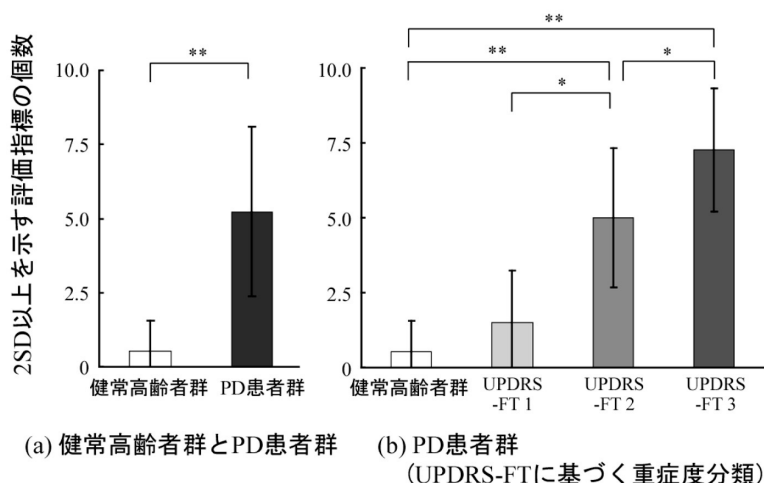


図9 健康高齢者の2SD以上を示した評価指標数の平均値と標準偏差

用できる可能性がある。

最後に、2SD以上を示した評価指標の数と各被験者群との関係を図9に示す。図9(a)は健康高齢者群とパーキンソン病患者群の比較、(b)はパーキンソン病患者群をUPDRS-FTに基づいて重症度別に分類した結果である。図9(a)より、評価指標数の平均は健康高齢者群 0.52 ± 1.04 、パーキンソン病患者群 5.23 ± 2.86 と大きな差があることがわかる。各被験者群間で異分散t検定をおこなった結果、健康高齢者群とパーキンソン病患者群間の有意確率は $p = 2.173 \times 10^{-10}$ ($p < 0.01$) となり、有意水準1%で有意差が得られた。

一方、図9(b)では、2SD以上を示した評価指標数の平均値はパーキンソン病の重症度(UPDRS-FT)の順に 1.50 ± 1.73 , 5.00 ± 2.34 , 6.91 ± 2.59 と増加していることがわかる。同様に各被験者群間で異分散t検定をおこなった結果、健康高齢者群とUPDRS-FT 2の患者群間は $p = 8.855 \times 10^{-7}$ ($p < 0.01$)、健康高齢者群とUPDRS-FT 3の患者群間は $p = 5.897 \times 10^{-6}$ ($p < 0.01$) と有意水準1%、UPDRS-FT 1群とUPDRS-FT 2群間は $p = 1.542 \times 10^{-2}$ ($p < 0.05$)、UPDRS-FT 2群とUPDRS-FT 3群間は $p = 4.923 \times 10^{-2}$ ($p < 0.05$) と有意水準5%で有意差が認められた。このことから、提案する2SD以上を示す指標の個数による簡易的な評価でも、ある程度被験者群間の運動の違いを定

量的に評価できることがわかる。これに対し、健康高齢者群とパーキンソン病UPDRS-FT 1の患者群間の有意確率は $p = 0.3428$ ($p > 0.05$) となり、有意差は認められなかった。一般にパーキンソン病患者の早期発見は難しく、臨床現場においてもUPDRS-FT 1の患者のデータを収集することは容易ではないため、本論文で実験に使用したUPDRS-FT 1のデータ数はわずか2例に留まった。今後は重症度が低い症例の被験者数を増加し、より詳細な評価をおこなうことにより、UPDRS-FT 1患者の早期発見の可能性を検証する必要があると考えている。

4. 結 論

本論文では、指タップ運動の定量的評価を目的とした指タップ運動機能評価システムを提案した。提案システムでは、磁気センサで計測した指タップ運動から11個の評価指標を抽出し、計測結果をレーダーチャート、指先間距離と速度、速度と加速度の位相面軌道を用いて表示することで、使用者は指タップ運動の特徴を直感的に把握できる。

評価実験では、レーダーチャートなどを示すことにより指タップ運動の特徴を視覚的に捉えられることから、結果を医師へ分かりやすく提示できる可能性を確認した。また、健康高齢者群とパーキンソン病患者群の各評価指標について異分散t検定を実施した結果、評価指標11

個のうち指の総移動距離 (x_1), 最大タップ振幅の平均 (x_2) および変動係数 (x_3), タップインターバルの変動係数 (x_5), 最大オープニング速度の平均 (x_6) および変動係数 (x_7), 最大クロージング速度の平均 (x_8) および変動係数 (x_9) に関しては有意水準 1% で有意差が得られ, 評価指標として使用可能であることを確認した. 加速度ゼロ交差数の平均 (x_{10}), 指タップインターバル変動 (x_{11}) に関しては有意水準 5% で有意差が得られたことから, 運動の滑らかさやリズム変動を捉えられる可能性を示した. そして, 各評価指標が 2 SD 以上を示す数で運動機能を評価した結果, 健常高齢者群は平均 0.52, パーキンソン病患者群は 5.23 となり, 病症の有無を評価できる可能性を確認した. また, パーキンソン病患者群では UPDRS-FT に基づく重症度順に増加する傾向を示し, 被験者群間の傾向の違いから重症度を分類できる可能性を確認した. しかしながら, 被験者群間における異分散 t 検定の結果では健常高齢者群と UPDRS-FT 1 の患者群間の有意差は得られなかったため, 被験者数を増加してさらなる検討が必要である.

今後は, 提案システムを用いて大規模な計測実験を実施し, 重症度別評価や年齢別評価に有効な指タップ運動の特徴量や新たな評価指標の検討をおこなうとともに, 確率ニューラルネットなどの統計手法に基づく重症度の詳細な評価と自動識別を検討する予定である. なお, 本研究の一部は日本学術振興会特別研究員奨励費 (19・9510) の援助によるもので, ここに改めて謝意を表します.

文 献

- 1) 厚生労働省大臣官房統計情報部人口動態・保健統計課:平成17年 患者調査の概況 主要な傷病の総患者数.
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/05/05.html>
- 2) MH. Hoehn, MD. Yahr, : Parkinsonism : onset, progression, and mortality, Neurology : 1967, Vol. 17, 427~442.
- 3) S. Fahn, RL. Elton, Members of The UPDRS Development Committee : Unified Parkinson's Disease Rating Scale, In : S. Fahn, CD. Marsden, DB. Calne, M. Goldstein, Recent Developments in Parkinson's Disease, Macmillan Health Care Information : 1987, No. 2, 153~163.
- 4) CG. Goetz, GT. Stebbins, TA. Chumura, S. Fahn, HL. Klawans, CD. Marsden : Teaching tape for the motor section of the unified Parkinson's disease rating scale, Mov. Disord. : 1995, Vol. 10, No. 3, 263~266.
- 5) 佐古田三郎, 赤澤堅造, 阿部和夫ほか: 神経疾患における新しい動態計測, 神経内科の最新医療, 先端医療技術研究所 : 2004, 288~293.
- 6) J. Ghika, AW. Wiegner, JJ. Fang et al : Portable system for quantifying motor abnormalities in Parkinson's disease, IEEE Trans. Biomed. Eng. : 1993, Vol. 40, No. 3, 276~283.
- 7) 小林達矢, 本木 実, 村山伸樹ほか: パーキンソン病における上肢運動機能障害定量化のための基礎的研究, 信学技報, 1996, MBE 95-136, 19~24.
- 8) G. Holmes : The symptoms of acute cerebellar injuries due to gunshot injuries, Brain : 1917, Vol. 40, No. 4, 461~535.
- 9) I. Shimoyama, K. Hinokuma T. Ninchoji et al : Microcomputer analysis of finger tapping as a measure of cerebellar dysfunction, Neurologia Medico Chirurgica : 1983, Vol. 23, No. 6, 437~440.
- 10) J. Konczak, H. Ackermann, I. Hertrich et al : Control of repetitive lip and finger movements in parkinson's disease, Mov. Disord. : 1997, Vol. 12, No. 5, 665~676.
- 11) A. Kandori, M. Yokoe, S. Sakoda et al : Quantitative magnetic detection of finger movements in parients with Parkinson's disease, Neurosci. Res. : 2004, Vol. 49, No. 2, 253~260.
- 12) 島 圭介, 関 絵里子, 辻 敏夫ほか: 人間の指タップ運動計測を目的とした磁気センサの較正法, 計測自動制御学会論文集 : 2007, Vol. 43, No. 9, 821~828.

(10) 医機学 Vol.78, No. 12 (2008)

- 13) 奥野竜平, 濱田健太郎, 横江 勝ほか: 指タップ加速度計測システムの開発とパーキンソン病診断支援への応用, 生体医工学: 2005, Vol. 43, No. 4, 752~761.
- 14) 林 博史: 心拍変動の臨床応用 - 生理的意義, 病態評価, 予後予測, 医学書院: 2004, 28~36.
- 15) 澤 智博, 森田茂穂: 医学統計データを読む - 医学・医療に必要な統計学活用法, メディカルサイエンスインターナショナル: 2006, 13.