《原 著》

パーキンソン病における上肢運動機能障害の定量化 —反応運動と視標追跡運動時の有効パラメーターの検討—

中西 亮二^{*1} 村山 伸樹^{*2} 奥村チカ子^{*3}
本 木 実^{*2} 小林 達矢^{*2}

Quantitative Analysis of Voluntary Movement Disorders in the Upper Limbs of Patients with Parkinson's Disease—Distinguishing Parameters in Reaction Movement and Visual Tracking Motion—

Ryoji NAKANISHI,^{*1} Nobuki MURAYAMA,^{*2} Chikako OKUMURA,^{*3}
Minoru MOTOKI,^{*2} Tatuya KOBAYASHI^{*2}

Abstract: A quantitative analysis system for the functions of voluntary movements in the upper limbs was developed to identify parameters for distinguishing the movement functions of normal subjects and patients with Parkinson's disease. This system consisted of a personal computer and a digitizer tablet, to test a reaction movement task and a repetitive straight line motion task with visual tracking. Analysis of the reaction movement task showed that execution time was longer in patients with Parkinson's disease than that in normal subjects. The deviation component of the repetitive straight line motion task, which is the error in the vertical orientation from the trajectory of the target, was greater in the patients than in the normal subjects. Whereas, the delay component of the repetitive straight line motion task, which is the error in time from the trajectory of the target, was no difference between the two groups. Patients with Parkinson's disease were unable to modify their movement velocity to adapt to a visual tracking task with variable speeds, and also had difficulty in the tracking task in the horizontal orientation, but not in the vertical orientation. (*Jpn J Rehabil Med* 1999; 36: 49-58)

要 旨: パーソナルコンピュータとデジタイザを組み合わせたシステムで反応運動および視標追跡法による反復直線運動という2つの課題を用いてパーキンソン病患者 (PD) の上肢運動機能を評価した。その結果、反応運動では、PD 患者は健常老人に比べて移動時間が有意に延長していた。反復直線運動では、視標に対しての時間的誤差である「遅れ成分」よりも視標の軌跡と垂直方向の誤差である「ずれ成分」に大きな特徴が示された。PD 患者は、一定の速度で追跡する定速運動課題よりも運動時に速度が変化する変速運動課題の方が運動異常が出現した。また、縦方向よりも横方向の反復運動の方が運動が困難であった。(リハ医学 1998; 35: 49-58)

Key words: パーキンソン病 (Parkinson's disease), デジタイザ (digitizer), 反応運動 (reaction movement), 視標追跡法 (visual tracking method), 直線反復運動 (repetitive straight line motion)

1998年2月23日受付, 1998年10月19日受理

^{*1} 熊本機能病院リハビリテーション部/〒860-0084 熊本市山室6-8-1

Department of Rehabilitation Medicine, Kumamoto Kino Hospital

^{*2} 熊本大学工学部電気システム工学科/〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1

Department of Electrical & Computer Engineering, Kumamoto University

^{*3} 沖縄リハビリテーション学院作業療法科/〒901-1301 沖縄県良那原町字板良敷1380-1

Department of Occupational Therapy, Okinawa College of Rehabilitation

はじめに

パーキンソン病 (PD) は、無動・寡動^{1,14,16,18,19)}、振戦^{5,17,19)}、筋固縮^{6,17,19)}、姿勢反射障害等を主徴とする慢性進行性の変性疾患である。臨床的な評価には、症状の重症度や日常生活障害度を指標とした Yahr の重症度分類や Rating scale が用いられる。上肢の機能障害の評価法としては、タッピング試験やカウンター押し、回内回外試験など半定量的な方法もある。しかし、臨床症状の主体である無動、固縮、振戦の評価は、検者の主観的な判断に寄らざるを得ないのが実情である。このため、病気の重症度判定やリハビリテーションの効果および薬による病状改善などの客観的な評価が困難であり、また医師によって診断結果が違うなどの問題があった。

近年、いくつかの定量的な評価システムの開発や研究がなされてきている^{3-5,7-13,15)}。しかし、これらの装置もまた、その複雑さや高価さに加え患者にとって検査の負担が大きい等さまざまな問題点を抱えており、さらには上に述べたように PD の病態の多様性のために有効なシステムの開発までは至っていない。

本研究の目的は、このような問題点をできるだけ考慮した PD 患者に対するコンパクトな定量的診断システムを構築することである。今回は、基礎的研究としてパーソナルコンピュータと液晶デジタイザを用いてシステムを構築し、2 種類の運動課題に対する有効なパラメータの検討を行った。

方 法

1. 対 象

対象は、健常者の 20~49 歳 (32.7 ± 8.86 歳、平均値 $\pm$ SD) の年齢層を健常群 I として 29 例、50~76 歳 (63.5 ± 8.50 歳) の年齢層を健常群 II として 25 例と、臨床的に PD と診断された 52~79 歳 (64.4 ± 9.20 歳) の患者 25 例 (男性 13 例、女性 12 例) である。罹病期間は 1~12 年 (平均 5.6 ± 3.5 年)、当院通院期間は 1~9 年 (平均 3.3 ± 2.7 年) であった。全ての症例が 2 剤以上の抗パーキンソン薬を 1 日 2 回以上に分けて服用中であり、検査施行時の Yahr の重症度分類は、stage II: 10 例、stage III: 14 例、stage IV: 1 例であった。また、生活機能障害度では、(I) 度: 10 例、(II) 度: 15 例であった。上肢の疾患度の左右差については、差が見られない患者が 25 例中 17 例、右優位が 6 例、左優位者が 2 例であった。On-off 現象や dyskinesia が明らかな例、痴呆やうつ状態の認められる例、その他検査が全て完結できなかった例は除外してある。また、これらの患者については、脳血管障害やその他の原因によるパーキンソン症候群は含まず、視覚障害をもたないことを確認しており、実験を行う際には、あらかじめ実験の内容を患者に知らせて同意を得ている。

2. 測定方法

システムは、パーソナルコンピュータ (NEC PC-9801 RX) とモノクロ液晶型ディスプレイ付きのデジタイザ (ワコム HD-640 A) によって構成されている (Fig. 1)。デジタイザは、Fig. 1 に示すようにディスプレイ上のターゲット (約 1 cm 大の星) が被験者に

Fig. 1 Diagram of measuring system for voluntary movements in the upper limb.

見えやすいように約 50 度傾けて設置した。被験者はデジタイザの前に座り、器具に上肢が触れないようにしてスタイラスペン（重量：約 9 g）を持ち、ディスプレイ上を動くターゲットをペンで追跡する。このペンの位置（精度 0.05 mm）をコンピュータにデータとして取り込む。なお、PD 患者の検査を施行するにあたって、定期的服薬時間帯の直前や直後は避けたが、午前、午後および服薬からの時間というような規定は特に行わなかった。実験は以下の 2 つの課題について行い、有効パラメータの抽出を試みた。

課題 1：反応運動

被験者は、表示された星の中心をスタイラスペンで指し、星を注視しながら待機する。実験者が「始めます」と被験者に声をかけ、その 3～5 秒後にブザー音（持続時間：300 msec、音圧：60 dB、周波数：2,000 Hz）が鳴ると同時に星が消え、かつ星から右側 15 cm 離れた画面上に垂直線が現れる。つまり、被験者は聴覚（ブザー音）と視覚（星が消える）の両感覚で動作のトリガー点を得ることになる。この際に被験者は、できるだけ早く反応し、垂直線を越える位置までスタイラスペンを移動させる。本課題を利き手および非利き手それぞれ 3 回行い、これを 1 試行として合計 2 試行を行った。データの解析には 2 試行目のデータを用いた（Fig. 2）。

反応運動に要する時間について本実験では次の 2 種類に分類した。すなわち、ブザー音の発生と同時に星が消えてからスタイラスペンの先が動きだすまでの動作開始時間、ここでは星の中心から 1 cm の正方形の

範囲を抜け出すまでの時間として計測した。PD 患者では常に静止振戦があり、1 点に静止することが困難であることが知られている。このため予備実験として、今回の実験に参加してもらう PD 患者にデジタイザ上の星の中心でスタイラスペンを持って 10 秒間静止してもらい、この間のペンの移動範囲を計測したところ半径 4 mm 以下であることがわかった。これを基に動作開始時間を 1 cm の正方形の範囲を抜け出すまでの時間することによって本当に動きだそうとしてペンを動かす動作と静止振戦によるペンの動作とを区別するようにした。もう 1 つは、動きだしてから右側に 10 cm 離れた位置を通過するまでの遂行時間である。これは星の中心から 15 cm の距離に表示してある垂直線の手前でペンを止めたり、ペンのスピードを緩める被験者がいたためである。時間の計測にはパーソナルコンピュータの内部タイマーを用いており、測定の精度は 1 msec である。

各被験者の 2 試行目のデータの動作開始時間および遂行時間についての平均値をその被験者の動作開始時間および遂行時間とした。

課題 2：直線反復運動

まず、パーソナルコンピュータからの命令によりディスプレイ中央に追いかけるべきターゲットの星（約 1 cm）が表示される。被験者は、このターゲットの中心をスタイラスペンで指し、ターゲットを注視しながら待機する。実験者の合図から 5 秒後にターゲットがディスプレイ上で往復運動を始める。被験者は、このターゲットからできるだけ離れないようにしてペンで追跡する。この際に被験者にはターゲットからずれたり、遅れたり、行き過ぎたりしないようにあらかじめ指示しておく。さらにターゲットの移動範囲の両端に線を表示して移動範囲が被験者にわかるようにした。本課題も上に述べた反応運動課題と同様に利き手および非利き手でを行った。その理由は健常者群では日常的にペン等を使用している利き手と使用していない非利き手で運動課題の違いによっては差が生じるのではないかと思われたからである。

また PD 患者の特徴として、リズムが不規則に変化するような運動に困難さを伴うことが知られているので、ここでは以下の 2 つの実験条件下で視標追跡運動の解析を行った。

- ・条件 1：ターゲットの速さ 6 cm/sec 一定
- ・条件 2：ターゲットの速さが 3～6 cm/sec の範

Fig. 2 Diagram of measurement of the reaction time and the movement time.

囲でランダムに変化

また、往復運動の方向と範囲は、

- ・横方向 16 cm
- ・縦方向 12 cm

とし、それぞれの方向について各条件のもとで実験を行った。すなわち、

- ・実験 1：横方向で速度一定
- ・実験 2：横方向で速度ランダム
- ・実験 3：縦方向で速度一定
- ・実験 4：縦方向で速度ランダム

の 4 種類の実験を行い、Student's *t*-test を用いて有効パラメータの検討を行った。

デジタイザの精度は *x* および *y* 成分について 0.05 mm、データのサンプリング時間は 25 msec、データのポイント数は 1,024 ポイント、取り込み時間は 25.6 秒間であった。

結 果

1. 反 応 運 動

健常群および PD 患者の動作開始時間を Fig. 3 A に示す。健常群 I では 232 ± 43.1 msec (平均値 $\pm$ 標準偏差)、健常群 II では 303 ± 128.7 msec となり、平均値もばらつきも健常群 I に比べて大きくなった。PD 患者では、 348 ± 108.0 msec と同年代の健常老人よりもやや遅延の傾向を示した。各健常群および PD 患者群の間で有意差検定を行った結果、健常群 I と健常群 II との間には危険率 $p < 0.01$ で有意差があり、

Fig. 3 Reaction movement in young and elder normal subject groups, and Parkinson's disease patient group.

(A) motion starting time, (B) execution time. GI, group I (young normal subjects); GII, group II (elder normal subjects); PD, Parkinson's disease patient group.

健常群 I と PD 患者との間には危険率 $p < 0.001$ で高度の有意差を認めた。しかしながら、健常群 II と PD 患者の間には有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。このことは、健常者でも加齢に伴い動作開始時間が延長することを示唆している。

一方、Fig. 3 B は、健常群および PD 患者の遂行時間を示している。健常群 I では 87 ± 20.5 msec (平均値 $\pm$ 標準偏差)、健常群 II では 120 ± 43.5 msec、PD 患者では 236 ± 133.5 msec となり、PD 患者の平均値は健常群 I や健常群 II に比較して大きい値を示した。各健常群および PD 患者群の間で有意差検定を行った結果、健常群 I と健常群 II および健常群 I と PD 患者との間には危険率 $p < 0.001$ で高度の有意差を認めた。さらに、健常群 II と PD 患者の間にも高度の有意差を認めた ($p < 0.001$)。

以上の結果から、健常群、特に健常老人と PD 患者とを識別するのに遂行時間が有効なパラメータであることがわかった。

2. 直線往復運動

Fig. 4 A および Fig. 4 B は、それぞれ実験 1 における健常者 (若者) および PD 患者 (重症) の入力波形の *x* 成分および *y* 成分を時系列で示している。破線はターゲットの軌跡を、実線は被験者の筆跡を表わしている。

x 成分の例において、健常者 (若者) では破線と実線はあまりずれていないが、PD 患者 (重症) では大きくずれている。このずれはターゲットからの「遅れ成分」を示していることになる。そこで軌跡の全区間について、その遅れを加算した値として遅れの和を計算した。また、遅れのばらつきを見るために遅れの標準偏差を求めた。

さらに、PD 患者では一定の方向や速度でないターゲットの動きに対して、その追跡が困難と思われることから、ターン時や速度変化時についての遅れ成分についても計測を行った。ターン時については、ターンしてから 1 秒間の遅れの和を計算した。一方、速度変化時については、速度が変化してから 0.5 秒間の遅れについて計算を行った。以上をまとめて、ターゲットが一定の速度で動くような実験 1 (横方向) および実験 3 (縦方向) では、(1) 全体の遅れの和、(2) 遅れの和の標準偏差、および (3) ターン時 1 秒間の遅れの和について検討した。また、ターゲットの速度が途中で変化するような実験 2 (横方向) および実験

Fig. 4 An example of the input of manual tracking of visual target in experiment I.

(A) x component, (B) y component. Upper: a normal subject, Lower: a patient with PD. Solid line, locus of a stylus pen; Dash line, locus of a target.

4 (縦方向) の場合には、上に述べた3個のパラメータに (4) 速度変化時0.5秒間の遅れの和のパラメータを加えて4個のパラメータについて検討した。

一方、実験1 (横方向) におけるターゲットの軌跡は $y=0$ の直線を示すことになるが、被験者の筆跡は上下に震えるため y 軸方向にペンの軌跡が現われる。ペンの軌跡と $y=0$ の直線との差の絶対値を「ずれ成分」とした。この「ずれ成分」に関して実験1および実験3については、(5) 全体のずれの和、(6) ずれの和の標準偏差、および (7) ターン時1秒間のずれの和について検討した。実験2および実験4については、(8) 速度変化時0.5秒間のずれの和を加えて4個のパラメータについて検討した。すなわち、実験1および実験3については6個の、実験2および実験4については8個のパラメータについての有効性を Student's t -test を用いて検討した。

Table 1 および Table 2 は、実験1~4の各パラメータについて、それぞれ健常群Iと健常群II間、および健常群IIとPD患者群間の有意差結果をまとめたものである。上段が利き手の、下段が非利き手の結果を示している。

Table 1 からわかることは、健常群Iと健常群IIの各パラメータで高度の有意差 ($p<0.001$) を示したものが、実験3のずれの標準偏差を除いて全て遅れ成分を示すパラメータであったということである。これは、老人は若者に比べターゲットを追跡するのが遅れる傾向があることを意味しており、加齢に伴い「運動

の遅れ」が顕著になったことがわかる。また、各グループにおける利き手と非利き手との間の有意差は認められなかった ($p>0.05$)。一方、Table 2 を見ると、健常群IIとPD患者の各パラメータ間で利き手および非利き手の両側肢とも高度の有意差 ($p<0.001$) を示したものは、遅れ成分で4個 (実験2および実験3)、ずれ成分で10個 (実験2、実験3および実験4) であった。これは、PD患者は健常老人に比べて遅れの成分よりもずれの成分に大きく特徴が表れており、PD患者が同年齢の健常老人よりも振戦や固縮というPD患者特有の症状が顕著に悪化していることを示唆している。

3. 各パラメータによるPD患者陽性検査

次に、各PD患者が上に述べたパラメータの中のどのパラメータでPD陽性と鑑別されるか調べた。鑑別方法は、健常者の各パラメータの値が正規分布していると仮定して各パラメータの平均値+標準偏差 $\times 1.5$ 以内 (93.3%が含まれる) を正常値とし、この判定値以上をとるような被験者はPD陽性と診断することにした。ここでは、PD患者と同年代に当たる健常群IIの利き手における各パラメータ値を判定値として用い、被験者に対して利き手および非利き手のいずれかの各パラメータ値が判定値以上であった場合にPD陽性とみなした。

PD患者についての評価結果をTable 3に示す。PD患者は25例中、全例がPD陽性と鑑別されている。実験別に有効な判定パラメータ数を調べると、実験1

Table 1 Comparison of values between group I and group II for each parameter.

Parameter	Experiment I			Experiment II			Experiment III			Experiment IV		
	Young Mean±SD	Elder Mean±SD		Young Mean±SD	Elder Mean±SD		Young Mean±SD	Elder Mean±SD		Young Mean±SD	Elder Mean±SD	
Sum of delay (cm)	538±127.5	788±289.2***	skillful hand	708±131.6	886±220.0***		549±139.4	779±207.2***		723±118.4	951±254.8***	
Variation of delay (mm)	549±137.9	790±225.0***	non-skillful hand	706±124.1	901±215.5***		546±133.3	777±202.9***		733±137.3	948±236.7***	
Sum of delay at turn (cm)	37.3±7.75	48.7±19.77**	skillful hand	49.4±8.40	58.5±11.92**		36.8±6.55	49.0±14.29***		55.7±10.37	66.6±14.72**	
Sum of delay at variable speed (cm)	37.0±7.96	48.2±12.37**	non-skillful hand	53.3±8.53	62.0±10.89**		38.4±8.81	51.0±14.67***		57.0±9.01	67.9±15.22**	
Sum of deviation (cm)	256±65.0	326±137.6*	skillful hand	319±67.8	375±96.0*		314±77.6	430±131.4***		454±79.9	574±147.1***	
Sum of deviation at variable speed (cm)	272±68.5	339±112.6*	non-skillful hand	338±60.1	407±95.1*		329±84.2	438±124.6***		471±73.6	584±150.0***	
Sum of deviation (cm)	61.5±9.91	71.3±17.26*	skillful hand	63.7±11.62	72.8±12.57**		60.8±13.73	76.4±20.57**		70.8±11.74	87.9±24.88**	
Variation of deviation (mm)	70.3±10.90	72.0±18.42	non-skillful hand	69.1±12.57	78.4±14.85*		60.2±13.23	75.8±19.48**		71.3±12.71	87.5±23.11**	
Sum of deviation at turn (cm)	4.46±0.867	5.62±1.486**	skillful hand	4.91±0.785	5.64±1.082**		4.68±0.655	6.91±1.639***		5.57±1.037	6.66±1.472**	
Sum of deviation at variable speed (cm)	4.47±0.856	5.66±1.521**	non-skillful hand	5.30±1.016	6.26±1.506**		4.84±0.881	6.10±1.468***		5.71±0.901	6.78±1.517**	
Sum of deviation at variable speed (cm)	24.6±4.29	28.3±7.22*	skillful hand	26.7±5.38	29.4±6.31		37.3±7.62	42.3±10.45		42.8±7.00	46.5±10.28	
Sum of deviation at variable speed (cm)	29.5±6.77	26.9±7.31	non-skillful hand	29.5±6.77	32.4±8.29		40.9±8.44	46.3±9.98		44.7±7.11	50.0±10.89	
Sum of deviation at variable speed (cm)	19.2±4.62	22.4±4.72*	skillful hand	19.2±4.62	22.4±4.72*		24.7±4.41	27.7±6.79		24.7±4.41	27.7±6.79	
Sum of deviation at variable speed (cm)	22.1±3.67	25.0±5.36*	non-skillful hand	22.1±3.67	25.0±5.36*		28.2±5.17	30.9±6.99		28.2±5.17	30.9±6.99	

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

Table 2 Comparison of values between group II and PD patients for each parameter.

Parameter	Experiment I				Experiment II				Experiment III				Experiment IV			
	Elder		PD		Elder		PD		Elder		PD		Elder		PD	
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
Sum of delay (cm)	788±289.2	1,102±448.1**	886±220.0	1,194±350.1***	779±207.2	1,069±294.1***	951±254.8	1,395±784.6*	777±202.9	1,087±365.8***	948±236.7	1,329±648.3*	777±202.9	1,087±365.8***	948±236.7	1,329±648.3*
Variation of delay (mm)	48.7±19.77	86.7±81.53*	58.5±11.90	91.6±43.38***	49.0±14.29	65.7±16.01***	66.6±14.72	95.9±55.89*	49.0±14.29	65.7±16.01***	66.6±14.72	95.9±55.89*	49.0±14.29	65.7±16.01***	66.6±14.72	95.9±55.89*
Sum of delay at turn (cm)	48.2±12.37	91.9±75.11**	62.0±10.91	96.6±45.18***	51.0±14.67	64.5±18.07***	67.9±15.22	95.0±56.00*	51.0±14.67	64.5±18.07***	67.9±15.22	95.0±56.00*	51.0±14.67	64.5±18.07***	67.9±15.22	95.0±56.00*
Sum of delay at variable speed (cm)	326±137.6	485±298.0*	375±96.0	541±197.4***	430±131.4	527±119.0*	574±147.1	766±381.5*	430±131.4	527±119.0*	574±147.1	766±381.5*	430±131.4	527±119.0*	574±147.1	766±381.5*
	339±112.6	471±201.3**	407±95.1	543±150.1***	438±124.6	545±179.3*	584±150.0	737±293.8*	438±124.6	545±179.3*	584±150.0	737±293.8*	438±124.6	545±179.3*	584±150.0	737±293.8*
			273±53.0	377±195.8*			296±77.7	425±259.7*			296±77.7	425±259.7*			296±77.7	425±259.7*
			276±56.0	399±169.2**			290±71.8	406±207.5*			290±71.8	406±207.5*			290±71.8	406±207.5*
Sum of deviation (cm)	71.3±17.26	112.0±97.20*	72.8±12.57	104.5±32.71***	76.4±20.57	124.0±33.09***	87.9±24.88	126.1±44.60***	76.4±20.57	124.0±33.09***	87.9±24.88	126.1±44.60***	76.4±20.57	124.0±33.09***	87.9±24.88	126.1±44.60***
Variation of deviation (cm)	72.0±18.42	128.0±50.10***	78.4±14.85	127.0±50.48***	75.8±19.48	143.3±49.42***	87.5±23.11	161.4±69.72***	75.8±19.48	143.3±49.42***	87.5±23.11	161.4±69.72***	75.8±19.48	143.3±49.42***	87.5±23.11	161.4±69.72***
	5.62±1.486	10.46±10.393*	5.64±1.082	9.65±4.172***	6.91±1.639	9.13±2.223***	6.66±1.472	9.59±3.832***	6.91±1.639	9.13±2.223***	6.66±1.472	9.59±3.832***	6.91±1.639	9.13±2.223***	6.66±1.472	9.59±3.832***
Sum of deviation at turn (cm)	5.66±1.521	10.33±5.572***	6.26±1.506	11.38±8.019**	6.10±1.468	10.73±3.488***	6.78±1.517	12.39±5.441***	6.10±1.468	10.73±3.488***	6.78±1.517	12.39±5.441***	6.10±1.468	10.73±3.488***	6.78±1.517	12.39±5.441***
Sum of deviation at variable speed (cm)	28.3±7.22	53.7±53.43*	29.4±6.31	45.8±19.23***	42.3±10.45	58.1±15.32***	46.5±10.28	67.7±22.67***	42.3±10.45	58.1±15.32***	46.5±10.28	67.7±22.67***	42.3±10.45	58.1±15.32***	46.5±10.28	67.7±22.67***
	26.9±7.31	48.8±19.74***	32.4±8.29	51.6±24.52***	46.3±9.98	65.6±22.49***	50.0±10.89	81.1±32.08***	46.3±9.98	65.6±22.49***	50.0±10.89	81.1±32.08***	46.3±9.98	65.6±22.49***	50.0±10.89	81.1±32.08***
			22.4±4.72	36.0±17.93***			27.7±6.79	48.6±15.53***			27.7±6.79	48.6±15.53***			27.7±6.79	48.6±15.53***
			25.0±5.36	42.1±22.71***			30.9±6.99	50.3±22.24***			30.9±6.99	50.3±22.24***			30.9±6.99	50.3±22.24***

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

Table 3 Effective parameters to detect PD patients in five experiments.

Subjects	Reaction movement MST ET	Experiment I				Experiment II				Experiment III				Experiment IV				No. of effective parameter													
		(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(1)	(2)		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)							
1. K. N.	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						*	*	*	1							
2. H. F.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						*	*	*	9							
3. K. S.	*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*	*	*	*	18							
4. K. M.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	15							
5. M. K.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	19							
6. K. A.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	21							
7. E. K.				*																			2								
8. T. Y.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	24							
9. S. M.																							1								
10. T. O.																		*	*	*	*	*	4								
11. H. F.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	26							
12. S. O.																							1								
13. K. N.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	30							
14. E. H.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	12							
15. S. M.																				*	*	*	14								
16. M. M.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	27							
17. A. T.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	19							
18. J. H.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	22							
19. T. O.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	29							
20. S. M.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	27							
21. M. A.																			*	*	*	*	25								
22. K. Y.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	10							
23. M. T.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*	*	15							
24. F. M.																			*	*	*	*	14								
25. T. I.																			*	*	*	*	19								
No. of effective parameter	7	17	9	8	6	19	17	17	17	13	18	15	14	20	19	20	19	20	14	8	10	13	11	14	12	8	11	14	16	14	404

MST : motion starting time, ET : execution time.

(1), sum of delay ; (2), variation of delay ; (3), sum of delay at turn ; (4), sum of delay at variation speed ; (5), sum of deviation ; (6), variation of deviation ; (7), sum of deviation at turn ; (8), sum of deviation at variable speed.

では76個、実験2では136個、実験3では64個、実験4では104個であった。このことは、実験2の横方向で速度がランダムに変化する実験条件が最もよくPD患者を鑑別していることになる。また、最右端は各被験者を判別するのに有効なパラメータの数を表わしている。これを見ると、大部分の患者は10個以上のパラメータで陽性と鑑別されているが、4個のパラメータで判別された者1例、2個のパラメータで判別された者1例および1個のパラメータで判別された者3例であった。これらの有効なパラメータのうち1個を除いて実験2および実験4のパラメータであった。このことから、実験2および実験4のようにターゲットの速度がランダムに変化する方が、一定の速度で移動する実験よりもPD患者を判別するのに適していることが示唆された。

一方、健常群IIでPD患者と鑑別された例は25例中9例で、9例の被験者はいずれも各実験条件課題の中の2、3個のパラメータで陽性と診断された。

考 察

本実験における反応運動に関して、PD患者は健常老人と比べて動作開始時間よりも遂行時間に遅延異常が多く見られた。本実験の反応運動課題は、標的への正確な移動を課すようなChoice Reaction TaskやSimple Reaction Taskというよりも、もっと簡単なNon-aimed Reaction Task¹⁶⁾に該当する。このため、中枢神経系における運動計画や運動準備に関する時間を含んでいる動作開始時間については、PD患者と健常群IIとの間には有意差が生じなかったものと思われる。一方、遂行時間についてはPD患者群の移動速度は平均で約0.42 m/sec、健常群IIでは0.83 m/secとPD患者の移動速度が非常に減速していた。これは遂行時間がPD患者の症状の1つである動作緩徐を表わしているものと推定される。この結果は、Berardelliら¹⁾、Evarts²⁾、Ghikaら³⁾、Sheridan¹⁶⁾が行った研究結果と同様であった。

直線往復運動における「遅れ成分」と「ずれ成分」に関して、健常群Iと健常群IIを比較した時、遅れ成分にのみ有意差が示された。これは、一般的に老人は若者に比べてターゲットを追跡するのが遅れる傾向があることを意味しており、年齢の増加に伴って遅れが生じるということを意味している。一方、PD患者群と健常群IIを比較すると、「遅れ成分」のパラメー

タよりも「ずれの成分」のそれに高度の有意差を持つものが多かった。これは、PD患者の特徴である振戦および動作緩徐が健常老人よりも顕著に現われることを示唆しているものと思われる。

各パラメータを用いて、個々のPD患者の陽性検査を行うと、Table 3でわかるように実験2および実験4のように追跡中に視標の速度がランダムに変化する条件の方がPD患者を識別するのに有効なことがわかった。このことは、PD患者が運動の途中でのリズム変化に追従するのが困難であることを示している。さらに、運動方向を見ると縦方向よりも横方向の運動の方がPD患者を識別するのに有効であることが示された。これは、以前に報告されたように脊髄小脳変性症では横方向よりも縦方向の視標追跡運動により異常がみられた^{8-10,20)}ことを考慮すると、その違いは興味深い。しかしながら、今回の実験では縦方向が12 cm、横方向が16 cmであったため、PD患者では横方向に視標追跡を行う際に眼球運動に制限があった可能性も否定できない。この点については、さらに実験を行ないたい。

最後に、今回の実験結果から、実験2（横方向、速度ランダム）の8個のパラメータと反応運動における反応時間および遂行時間を用いて、ニューラルネットワークを組み込んだ自動診断支援システムを構築したい。

稿を終えるにあたり、懇切なご指導とご鞭撻を戴いた熊本機能病院院長米満弘之先生に深謝致します。

文 献

- 1) Berardelli A, Accornero N, Argenta M, Meco G, Manfredi M: Fast complex arm movements in Parkinson's disease. *J Neurosurg Psychiatry* 1986; **49**: 1146-1149
- 2) Evarts EV, Teravainen H, Calne DB: Reaction time in Parkinson's disease. *Brain* 1981; **104**: 167-186
- 3) Ghika J, Wiegner AW, Fang JJ, Davies L, Young RR, Growdon JH: Portable system for quantifying motor abnormalities in Parkinson's disease. *IEEE Trans Biomed Eng* 1993; **40**: 276-283
- 4) Hocherman S, Aharon-Peretz J: Two-dimensional tracing and tracking in patients with Parkinson's disease. *Neurology* 1994; **44**: 111-116
- 5) 石田 暉: 上肢不随意運動の定量的評価法. *リハ医学* 1984; **21**: 247-254
- 6) Marsden CD: The mysterious motor function of the basal ganglia: the Robert Wartenberg lecture.

- Neurology 1982; **32**: 514-539
- 7) 松岡幸彦, 櫻井信夫, 古池保雄, 高橋 昭, 古河一憲, 久野 皓: 上肢運動解析システムの開発. 厚生省特定疾患—運動失調症研究報告書 1988; 125-128
- 8) 村山伸樹, 島崎貴志, 奥村チカ子, 中西亮二: 上肢運動失調症に対する客観的評価法の検討 I. 自由描円運動時の有効指標. 脳波と筋電図 1993; **21**: 245-253
- 9) 村山伸樹, 島崎貴志, 奥村チカ子, 中西亮二: 上肢運動失調症に対する客観的評価法の検討 II. 視標追跡運動時の有効指標. 脳波と筋電図 1993; **21**: 254-262
- 10) 村山伸樹, 奥村チカ子, 中西亮二, 本木 実, 小林達矢: ニューラルネットワークを用いた上肢運動失調症に対する自動診断支援システムの開発—脊髄小脳変性症へのアプローチ—. 脳波と筋電図 1997; **25**: 276-285
- 11) 中西亮二, 山永裕明, 奥村チカ子, 村山伸樹, 出田 透: 上肢運動失調の定量的解析. 臨床神経学 1992; **32**: 251-258
- 12) 中村正俊, 西田茂人, 武藤祐二, 池田昭夫, 音成龍司, 柿木隆介, 柴崎 浩: 2次元画面視標追跡による手の随意運動機能の記録処理法. 医用電子と生体工学 1990; **28**: 9-17
- 13) 中村正俊, 杉剛 直, 柴崎 浩, 寺田清人: 視標追跡運動機能のニューラルネットワークによる病態別特徴の解析. 医用電子と生体工学 1993; **31**: 245-253
- 14) Sanes JN: Information processing deficits in Parkinson's disease during movement. Neuropsychology 1985; **23**: 381-392
- 15) 千野直一, 石田 暉, 野田幸男, 富田 豊: 上肢運動失調の定量的評価—position と force の関係. 厚生省特定疾患—運動失調症研究報告書 1982; 132-141
- 16) Sheridan MR, Flowers KA, Hurrell J: Programming and execution of movement in Parkinson's disease. Brain 1987; **110**: 1247-1271
- 17) Stern Y, Mayeux R, Rosen J, Ilson J: Perceptual motor dysfunction in Parkinson's disease: a deficit in sequential and predictive voluntary movement. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1983; **46**: 145-151
- 18) Teasdale N, Phillips J, Stelmach GE: Temporal movement control in patients with Parkinson's disease. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1990; **53**: 862-868
- 19) Warabi T, Yanagisawa N: Changes in strategy of aiming-tasks in Parkinson's disease. Brain 1985; **111**: 497-505
- 20) 吉澤 誠, 二坂広美, 竹田 宏, 大友 仁, 鴻巣 武, 佐藤 元, 大坂和久: 人間オペレータの制御特性の異方性と脳の両側性. 医用電子と生体工学 1988; **26**: 187-195