

## 高次脳機能障害による半側空間無視の評価システム

奥野 健一朗・奥 英久・細谷 実\*

岡山理科大学大学院工学研究科修士課程情報工学専攻

\*岡山理科大学工学部情報工学科

\*\*兵庫県立総合リハビリテーションセンター附属中央病院

(2000年11月1日 受理)

### 1. 緒言

近年における医療技術の進歩により脳卒中など脳血管障害による死亡者数は減少の傾向が見られるものの、片麻痺など様々な後遺症を有する人々が増加している。一方、交通事故やスポーツ事故等による外傷性脳損傷者の数も増加している<sup>1)</sup>。このように様々な原因で脳に何らかの損傷を受けた人々の多くは、失語(言語障害)、失行(運動障害)、失認(認知障害)といった高次脳機能障害となる。この中でも大脳を損傷した場合には、失認の一つである視空間認知障害が半側空間無視という病態で出現し、リハビリテーションを行う上において大きな障害となる。この半側空間無視とは、左右いずれかの視野における刺激に対して無視をしてしまう、という病態である。半側空間無視が重度な場合には、皿に盛られた食事の左側を食べ残したり、歩行中の障害物に気づかず衝突するなど、日常生活上でも明らかな障害が発生する。

半側空間無視を評価する検査法の一つとして、線分抹消テストが開発され臨床で使用されている。これは、規定のテスト用紙と筆記用具およびストップウォッチのみで容易に実施できるため多用されている。しかし、テスト結果として実施時間と正解率しか得られないため、抹消経過の確認や個々の線分の抹消動作に着目した客観的な評価が困難な状況であった。

この問題に対して、細谷ら<sup>2)</sup>は、磁気タブレット(以下タブレット)とコンピュータを利用した線分抹消テストを提案し、システムの試作と試用評価を行った。この結果、これまでの線分抹消テストにおいて検査者が手動で行っていた時間計測や抹消動作の確認等が自動的に行えること、および個々の抹消動作の記録から、テスト終了後において正否の判定と正確さを自動的に評価でき、臨床において有効な検査システムとして利用できる可能性があることを示した。一方、抹消動作の正否と正確さの計測だけでは、典型的な半側空間無視を示す者以外においては健常者と同様の抹消結果を示す場合があるため、このような対象者に対しては抹消順序および個々の抹消時間の評価を行わなければ病態およびリハビリテーション効果の評価を客観的に評価することが困難であることが明らかとなった。

本研究では、これまでのシステムと同様に個々の抹消動作の正否と正確さを計測できる機能に加え、個々の線分抹消動作における位置データと時間データを経時的に計測して対象者の病態とリハビリテーション効果を客観的に評価できる機能を有するシステムを提案し、試作と評価実験により、その有効性と問題点について検討する。

### 2. 線分抹消テストの概要

線分抹消テストでは、多数の線分がランダムな位置と方向に配された長方形のテスト用紙を使用する。そして、被験者が各線分に対して鉛筆で交差する線分を引くことにより抹消し、その経過時間と成功率により評価する。

本研究では、兵庫県立総合リハビリテーションセンター附属中央病院で使用されているテスト用紙(図1)を対象とした。このテスト用紙には、40本の線分がB4用紙の左上1/4、左下1/4、右上1/4、右下1/4の4領域に各々10本ずつ配置されている。

現在、臨床で使用されている線分抹消テストでは、線分の見落とし率と各領域の分布が主たる評価対象となっている。

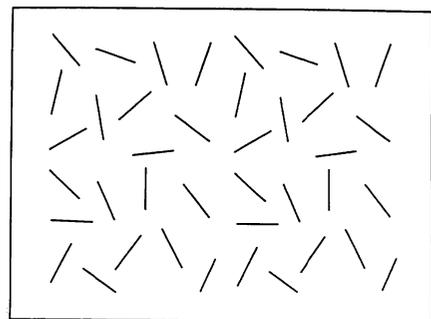


図1 線分抹消テスト用紙例

### 3. 電子化線分抹消システム

本研究では、これまでに細谷らが試作開発したシステムの機能に加え、テスト実施過程における抹消動作の位置データと時間データを新たに計測できる機能を有する電子化線分抹消システムを開発した。

#### 3.1 システム構成

本研究で試作した電子化線分抹消システムの構成を図2に示す。タブレット（㈱ワコム UD-1218）は、RS-232Cを介して、コンピュータ（日本アイ・ピー・エム㈱ PC300GL）に接続している。タブレット上には、規定のテスト用紙（図1）を置き、電子ペン（㈱ワコム UP-401-00A、以下センサーペン）でテスト用紙上の線分を抹消する動作を計測する。この抹消動作を用紙上にも記録するため、センサーペンに本来取り付けられているペン先を市販されているボールペンの替え芯（ゼブラ㈱4C）に交換した。計測プログラムはC言語で作成した。

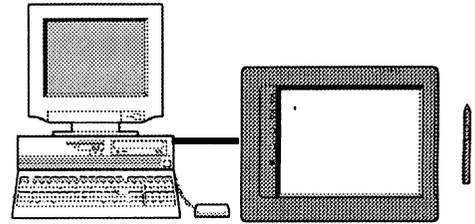


図2 計測システムの構成

#### 3.2 計測手順

計測は、被験者の個人情報（名前、年齢、性別、生年月日）を入力した後、以下の手順で実施する。

- 1) 線分データの設定：タブレット上にテスト用紙を置き、各線分をセンサーペンでトレースし、線分データをコンピュータに入力する。この設定は初回のみで2回目以降は不要となる。
- 2) テスト用紙の位置決め：テスト用紙の位置（四隅）をセンサーペンでポインティングし、タブレット上に置いたテスト用紙の位置データをコンピュータに入力する。
- 3) 計測実施：被験者にセンサーペンを手で把持させ、抹消動作を行わせる。

以上により、被験者の各抹消動作におけるセンサーペンの位置データと時間データが取得される。サンプリング速度は約15msecである<sup>3)</sup>。

#### 3.3 取得データ

本システムにて計測可能な抹消動作における位置データと時間データの内容を図3と図4に示す。図3では、抹消動作におけるデータの内容を、ある線分を抹消してから別の線分の抹消動作へ移る過程を例として示している。この中で、抹消開始位置はセンサーペンがテスト用紙上に触れた時の座標位置、抹消終了位置はセンサーペンがテスト用紙上から離れた時の座標位置をそれぞれ示している。また、偏差は、抹消成功時のセンサーペンの軌跡とテスト用紙上の線分の交点が線分の中心点（二等分点）からどれだけ離れているかを示したもので、線分の中心点を50%とし、それより左側へずれるほど0%へ近づき、また右側へずれるほど100%に近づくものとして求めている。図4では、線分抹消動作におけるデータの内容と算出方法を、ある線分を抹消してから別の線分の抹消動作へ移る過程（時刻 $t_1 \sim t_4$ ）を例として示している。この中で、抹消開始時刻はセンサーペンがテスト用紙上に触れた時の時刻、抹消終了時刻はセンサーペンがテスト用紙上から離れた時の時刻をそれぞれ示している。

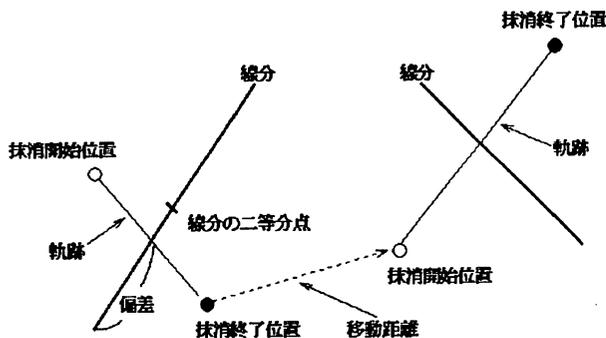


図3 位置データの詳細図

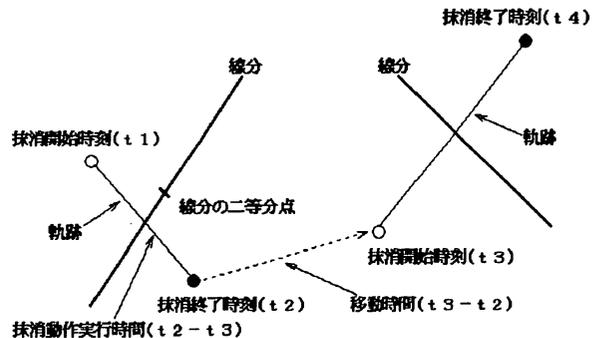


図4 時間データの詳細図

表 1 計測データ

No	計測データ	内容 (単位)
1	X 座標(down)	抹消開始位置の X 座標 (cm)
2	Y 座標(down)	抹消開始位置の Y 座標 (cm)
3	X 座標(up)	抹消終了位置の X 座標 (cm)
4	Y 座標(up)	抹消終了位置の Y 座標 (cm)
5	移動時間	抹消順による軌跡間の移動時間(sec)
6	積算時間	テスト開始時からの積算時間(sec)
7	移動距離	抹消順による軌跡間の移動距離 (cm)
8	偏差	抹消成功時における線分上の抹消位置 (中央からのズレ%)
9	抹消動作実行時間	抹消動作の経過時間(sec)
10	重心座標	テスト用紙の中心点を(0,0)とする認識範囲の中心座標 (cm)
11	線分抹消率	テスト終了時における線分の抹消率 (%)
12	認識面積	抹消した線分を直径とする同心円の面積 (cm <sup>2</sup> )
13	全面積	全ての線分を抹消した場合の認識面積 (cm <sup>2</sup> )
14	面積認識率	テスト終了時における認識面積率 (%)

表 1 は、本システムで計測できるデータと、その内容を示したものである。これらは、数値データとしてテキスト形式でファイルへ格納される。図 5 は、この数値データの表示例である。上から被験者の個人情報と計測データで、最下部は計測データから算出した各領域ごとの線分抹消率・平均移動時間・認識面積・全面積・面積認識率である。ここでの面積は、抹消に成功した線分を直径とする円の面積としている。これらの算出データは、臨床家にとって理解し易いものではないため、図 6 のような形態でグラフ化した。同心円の内側にある線分は抹消に成功したものであり、外側の同心円が認識面積 (前述)、内側の同心円が抹消位置の偏差 (線分の中心点からのズレの大きさ) を示している。さらに、臨床家 (作業療法士) より有効であるとの評価を受けた内容 (認識面積・偏差を同心円で表示 (図 6))、および各領域ごとの線分抹消率・平均移動時間・認識面積・全面積・面積認識率) については、A4 用紙一枚に検査結果として印刷出力できる。

一方、各線分を抹消する経過は臨床家にとって有効な評価指標となるが、従来のシステムでは、一連の抹消動作が終了した後は同じ実行時間でしか再現することができなかった。そこで、本システムでは、各線分の抹消動作におけるセンサーペンの位置データと時間データを全て記録しているので、これらを利用して抹消経過を実際の抹消時間を含む任意の時間幅で再現する機能を付加した。これにより、テスト終了後の評価時においてもテストの実施経過を任意の速度で確認することができる。

被験者名: k.okuno  
性別: 男  
生年月日: 1976年8月2日  
年齢: 24才  
検査者名: 奥研究室  
テスト実施日: 2000年9月1日  
個人情報入力時刻: 8:42

成否	X座標(down)	Y座標(down)	X座標(up)	Y座標(up)	移動時間	積算時間	移動距離	偏差
	:cm	:cm	:cm	:cm	:sec	:sec	:cm	:%
○(10)	33.3	2.1	31.3	2.2	2.8	2.8	64.4	
○(9)	30.0	4.8	28.2	3.8	1.1	4.4	2.9	44.6
○(20)	32.0	9.2	30.1	8.0	1.2	6.2	6.6	44.0
○(31)	27.6	13.5	28.3	10.9	1.3	8.0	6.1	60.4
○(18)	26.3	9.5	28.1	9.0	1.2	9.5	2.4	47.4
○(28)	19.7	14.6	18.8	12.5	1.5	11.3	10.1	41.0
○(29)	22.7	16.7	21.6	16.4	1.5	13.0	5.8	28.1
○(30)	24.9	16.8	25.6	15.2	1.2	14.6	3.3	29.2
○(38)	28.4	20.2	27.3	20.0	1.2	16.0	5.7	58.0
○(38)	23.8	22.1	22.8	20.9	0.8	17.1	4.1	27.6
	26.9	13.0	26.2	11.9	1.2	23.1	5.2	44.5
	左上領域	左下領域	右上領域	右下領域	全体			
線分抹消率 (%)	0.0	0.0	60.0	40.0	25.0			
移動時間の平均(秒)	0.0	0.0	1.3	1.2	0.6			
認識面積 (cm <sup>2</sup> )	0.0	0.0	78.5	46.1	124.6			
全面積 (cm <sup>2</sup> )	131.0	124.4	131.4	119.0	505.8			
面積認識率 (%)	0.0	0.0	59.8	38.7	24.6			

図 5 取得データの例

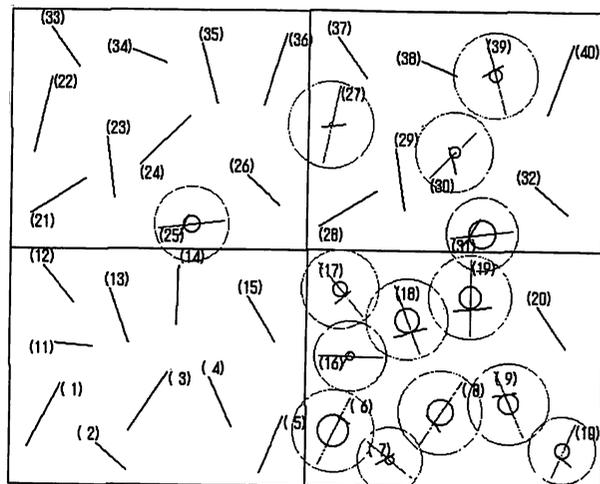
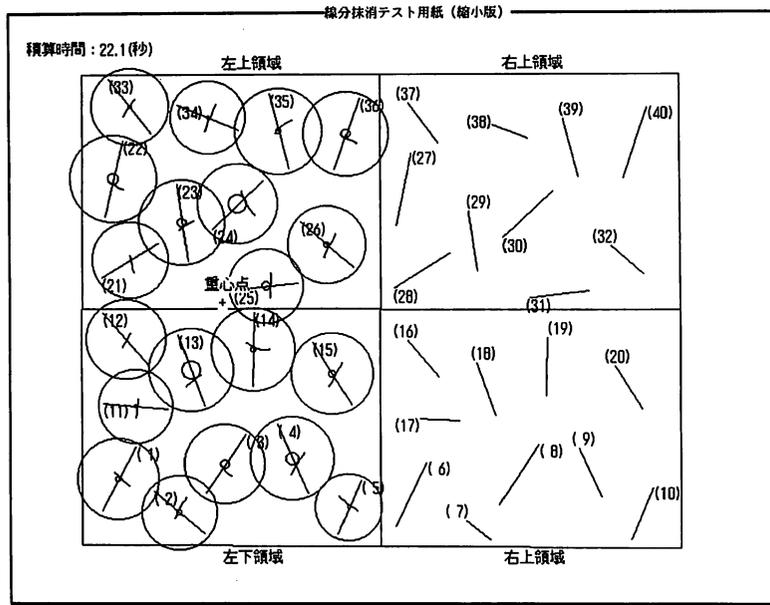


図 6 抹消結果の領域別分割表示

### 3.5 基本機能の評価

健常者3名（男性3名：平均年齢22歳）により、開発したシステムの試用実験を行った。手順は3.2に従い、各被験者にはテスト用紙の中心より左半分の線分のみを抹消した場合・右半分の線分のみを抹消した場合・全ての線分を抹消した場合、の抹消動作をそれぞれ行わせた。図7は、テスト用紙の中心より左半分の線分のみを抹消した場合の結果であり、A4用紙に出力されたものである。これにより、本システムが半側空間無視による抹消動作を計測できることを示した。



	左上領域	左下領域	右上領域	右下領域	全体
移動時間の平均(秒)	0.6	0.6	0.0	0.0	0.3
線分抹消率(%)	100.0	100.0	0.0	0.0	50.0
認識面積 (cm <sup>2</sup> )	132.9	125.1	0.0	0.0	258.0
全面積 (cm <sup>2</sup> )	132.9	125.1	131.8	120.5	510.3
面積認識率(%)	100.0	100.0	0.0	0.0	50.6

図7 試用実験の検査結果

## 4. 試用実験と考察

### 4.1 試用実験

従来のシステムでは病態あるいはリハビリテーション効果の判断が困難である非典型的な半側空間無視の患者を対象として、本システムの有効性に関する試用実験を行った。

#### 4.1.1 被験者

兵庫県立総合リハビリテーションセンター 附属中央病院入院患者9名（男性4名：平均年齢66歳、女性5名：平均年齢47歳）と、健常者9名（男性4名：平均年齢26歳、女性5名：平均年齢30歳）を被験者として試用実験を行った。各入院患者のプロフィールを表2に示す。入院患者は、すべて脳血管障害の後遺症により半側空間無視を有しているが、リハビリテーションの実施により、典型的な半側空間無視の病態（例えば、線分の見落としなど）が認められない者である。

表2 入院患者のプロフィール

被験者 No	性別	年齢	疾患名	麻痺部
1	女性	83	多発性脳梗塞	左麻痺
2	女性	68	脳梗塞	左麻痺
3	女性	54	脳出血	左麻痺
4	男性	74	脳梗塞	左麻痺
5	女性	48	脳出血	左麻痺
6	男性	66	脳梗塞	左麻痺
7	男性	67	脳出血	左麻痺
8	女性	49	脳出血	左麻痺
9	男性	57	脳梗塞	左麻痺

4. 1. 2 方法

テスト実施に際しては、入院患者と健常者のいずれにおいても、まず検査者が線分抹消テストについて口頭で簡単に説明した。その後のテスト実施中については、検査者から被験者への追加説明は行わなかった。

4. 1. 3 結果

計測結果の数値データから、移動時間（表1 No.5）を例とし、その最大値、最小値、平均値、標準偏差を求め、これらを表3と表4に示す。また、各抹消動作ごとに变化した移動時間については、図8と図9に示す。なお、入院患者については、同じ線分を複数回にわたり抹消したり、抹消動作の失敗などがあるため、健常者に比べて抹消回数が多い被験者が見られた。また、被験者（入院患者）中で2名（No.8、No.9）については、手指など上肢の筋力不足により十分な筆圧を維持することが困難であったため、テスト用紙上にボールペンによる軌跡は残るものの、センサーペンを使った抹消動作により発生するデータの中で記録できない個所が発生した。このため、低筆圧の被験者に対する検討が必要であるという課題を確認した後、今回の評価対象からは除外した。

表3 健常者の計測結果

被験者 No.	移動時間(sec)			
	最大値	最小値	平均値	標準偏差
1	0.784	0.448	0.537	0.073
2	1.456	0.224	0.365	0.202
3	1.008	0.336	0.454	0.127
4	0.560	0.112	0.336	0.093
5	0.560	0.336	0.411	0.074
6	0.560	0.224	0.445	0.075
7	0.672	0.336	0.434	0.100
8	0.560	0.336	0.462	0.064
9	0.784	0.224	0.381	0.107

表4 入院患者の計測結果

被験者 No.	移動時間(sec)			
	最大値	最小値	平均値	標準偏差
1	9.856	0.112	0.992	1.538
2	3.808	0.336	0.966	0.816
3	0.896	0.112	0.574	0.170
4	3.584	0.112	2.080	0.572
5	11.424	0.112	2.080	2.087
6	1.344	0.336	0.876	0.231
7	10.976	0.112	1.638	2.158
8	----	----	----	----
9	----	----	----	----

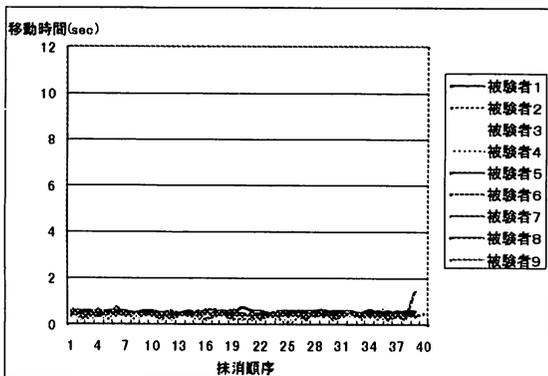


図8 移動時間グラフ（健常者）

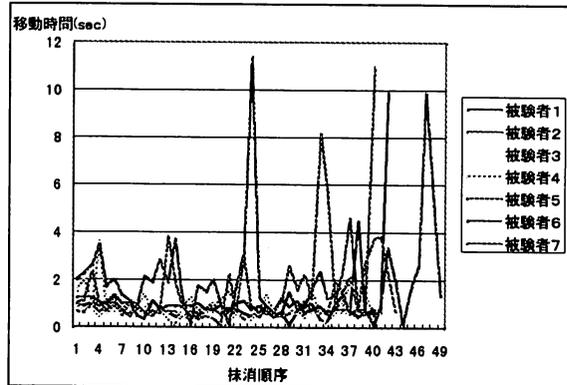


図9 移動時間グラフ（入院患者）

4. 2 考察

4. 2. 1 病態の評価

各移動時間は、被験者個々の抹消速度による個体差があるため、それぞれを総移動時間の百分率で示すという正規化を行った。この正規化された移動時間のデータをもとに、抹消動作の移動時間におけるバラツキを、健常者と患者の分散をもとにF検定により比較した。結果は表5の通りで、7名の患者の中で5名が、抹消動作における抹消線分から次の抹消対象線分へセンサーペンを移動させる時間の比較において、分散に有意な差が認められた（危険率1%）。この結果は、図10と図11に示す正規化された移動時間のグラフからも推察され、移動時間のバラツキが大きい被験者において有意な差が認められるという結果を示した。

表5 移動時間データの正規化（入院患者）

被験者 No.	移動時間（正規化）				
	最大値	最小値	平均値	分散	F 値(F 表による $F_0$ )
1	23.655914	0.268817	2.380952	13.626176	27.523(1.46)
2	9.164421	0.808625	2.325581	3.854139	7.785(1.46)
3	3.809524	0.476191	2.500000	0.380836	1.300(1.46)
4	8.743169	0.273224	2.500000	1.946870	3.932(1.52)
5	11.208791	0.109890	2.040816	4.194341	8.472(1.46)
6	3.833866	0.958467	2.500000	0.433217	1.143(1.58)
7	16.752137	0.170940	2.500000	10.848591	21.912(1.52)

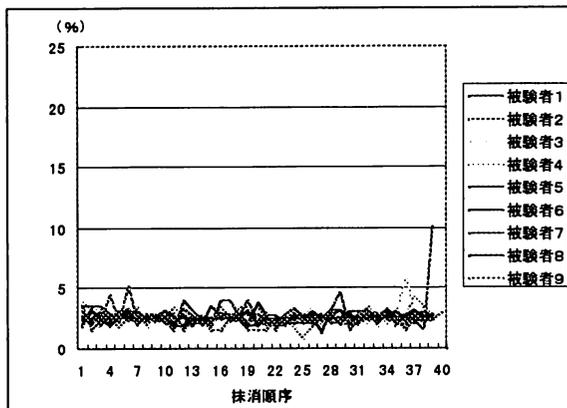


図10 正規化された移動時間グラフ（健常者）

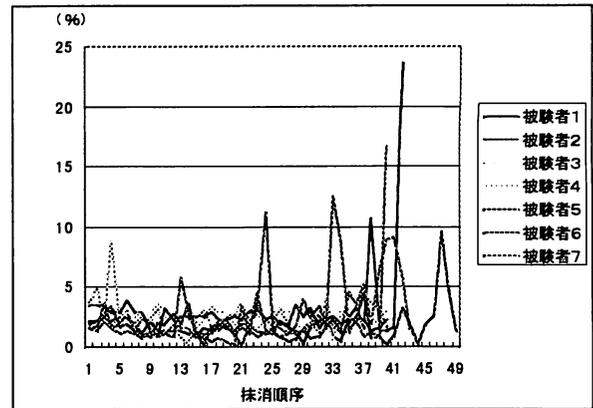


図11 正規化された移動時間グラフ（入院患者）

一方、2名の患者（No. 3、No. 6）においては、健常者との移動時間の分散を比較した結果、有意な差は認められなかった（危険率5%）。これら2名の移動時間のバラツキを見ると、グラフから明らかなように他の5名よりも小さく、健常者との間に大きな差異は認められなかった。このことから、これら2名の被験者においてはリハビリテーションが効果を上げ、半側空間無視の病態が改善されているものと推定できる。しかしながら、その程度と健常者との差異についての定量的な評価については、本研究で開発したシステムでは十分に明らかにすることができず、今後の課題である。

#### 4. 2. 2 筆圧

結果の項で述べたように、9名の患者の中で2名が筆圧不足により抹消動作の正確な計測が行えなかった。これは、不十分な筆圧のためにセンサーペンとタブレット面との距離がシステムで検出できる範囲まで近づけなかったことにより生じるもので、確認したところ以前に開発されたシステムでも同様の現象が見られたとのことであった。

これは、センサーペンが発生する磁気の大きさがタブレットの検出閾値に達しなかったために生じる現象と考えられた為、センサーペンのペン先変更による効果およびプログラム修正による改善効果について検証した。センサーペンのペン先を、実験で使用した青色から黒色および赤色に変更し、それぞれにおいてセンサーペンを空間位置から徐々にタブレット面に移動させ、面上に触れるまでにセンサーペンの位置が検出されるかどうかを確認した。その結果、交換した二色においてセンサーペンがタブレット面に触れる直前で位置を検出できた。次に、センサーペンがタブレット上に触れる寸前の筆圧と、センサーペンが僅かにタブレット面に触れたときの筆圧との間に閾値を設定し、閾値以上の筆圧が約45msec持続された時点で、センサーペンがタブレットに触れたと判断する機能を新たに追加した。

この追加機能をもつシステムを低筆圧の患者に試した結果、若干の誤差は生じるものの、従来では不可能

であった筆圧の検出も行えることが示された。しかし、低筆圧に加えて抹消動作（センサーペンの移動）が速い被験者ではセンサーペンがタブレット上に触れたかどうかを判断する前にセンサーペンの位置が移動するため、抹消開始位置および抹消終了位置のデータを正確に計測できないという問題があることも明らかとなった。これらから、被験者の抹消動作の速さや筆圧など、個人的な特徴を計測条件として設定する機能を付加する必要があると考えられ、今後の課題である。

## 5. 結言

以前に開発された電子化線分抹消テストの試用結果をもとに、より臨床で有効に使用できる機能を付加した新しい電子化線分抹消テストのシステムを提案し、その開発と評価実験から以下の結論を得た。

- 1) 線分抹消経過を任意の時間幅で再現する機能は、臨床家に対して、動的な評価指標を提供することになり、有効である。
- 2) 線分抹消動作における移動時間の分析は、非典型的な半側空間無視の患者の一部に対して病態を評価する手段の一つとして有効であり、リハビリテーション効果の判定に利用できる可能性がある。
- 3) 低筆圧による誤計測を改善するためには、筆圧や抹消の速さなどの個人的特徴に対応できる計測システムが必要と考えられる。

## 謝辞

本研究の試用実験およびデータ収集にご協力いただいた兵庫県立総合リハビリテーションセンター附属中央病院の入院患者の方々、および健常者のデータを提供いただくとともに有益な助言をいただいた同中央病院作業療法室の先生方に謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 江藤文夫、他：高次脳機能障害のリハビリテーション、医歯薬出版株式会社、135、1995
- 2) 細谷実、他：コンピューター利用による線分抹消システムの開発、第 29 会日本作業療法学会講演論文集、191、1995
- 3) ㈱ワコム：WINTAB プログラミング資料 (<http://www.wacom.co.jp>)

## Evaluation system for Unilateral spatial neglect in Cognitive Disorders

Kenichiro Okuno, Hidehisa Oku\*, Minoru Hosoya\*\*

*Graduate School of Engineering,  
Department of Information and Computer Engineering,  
Faculty of Engineering,  
Okayama University of Science,  
Ridai-cho 1-1, Okayama 700-0005, Japan*

*\*\*Hyogo Rehabilitation Center  
Akebono-cho 1070, Nishi-ku, Kobe 651-2181, Japan*

(Received November 1, 2000)

Unilateral spatial neglect has been observed in patients with cognitive disorders caused by cerebral vascular accidents (CVA) or traumatic brain injuries (TBI). Several testing methods have been developed and clinically applied to patients for evaluating their cognitive functions. One of the frequently used methods is the "drawing lines test". In the test, many lines are randomly written on a paper in advance, and a patient is asked to draw additional lines each of which cross out one of the original lines. After testing, the number of lines that are correctly crossed out and their distribution on the paper are investigated to evaluate the patient's condition of unilateral spatial neglect. The ordinary drawing lines test has been used clinically because it needs no special devices. On the other hand, this test is not effective for patients who do not have typical features of unilateral spatial neglect. Although a modified testing system using a PC has been developed to improve this situation, the system was not effective for patients, for example, who were at recovery stages .

In this paper, a new system for those patients described above is proposed. The system is experimentally developed using a PC and a magnetic tablet, and is applied for testing of nine non-disabled persons and nine patients with unilateral spatial neglect. The result of the tests are summarized as follows.

- (1) Occupational therapists who assisted in the clinical testing confirm that the function to reproduce the process of crossing lines, after the testing, is effective to evaluate patient's behavior objectively.
- (2) There was a significant difference in time to move from one line to another between the non-disabled persons and the patients ( $p < 5\%$ ). This indicates that the proposed system in this paper can be used to evaluate the condition of patients with an atypical unilateral spatial neglect disorder.
- (3) The proposed system could not measure a few patients' trials of drawing lines. It was considered that this result was caused by low pressure put on the drawing lines. Thus, it is considered that physical features of the system such as the detecting level of pressure put on drawing lines should be individualized according to each patients' residual function.