

タブレット端末を利用したスマート TMT の開発

武田 隆宏

機械システム工学科 〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1丁目10番2号

Smart Trail Making Test using Tablet Device

Takahiro Takeda

Mechanical system engineering, 〒899-4395 1-10-2, Kokubu-chuou, Kirishima, Kagoshima

Abstract: This paper describes a diagnosis support system for Trail Making Test (TMT). The system imitates paper based TMT by using a tablet PC and smart pencil that can take writing pressure. Any line between two symbols is separated to finding phase and moving phase, and time, length and pressure of these phases are corrected to evaluate patient's higher brain dysfunctions level. In experiment, we corrected TMT data form 6 healthy volunteers and 10 patients. Results shows difference between healthy volunteers and patients.

Key words: Trial making test; rehabilitation support system; higher brain function disorder; Computational system rehabilitation

1. 前書き

医学の進歩により、交通事故や脳血管障害などを原因として、脳に大きな損傷を負いながらも、一命をとりとめるケースが急増している。一方で、頭部外傷には脳損傷自体は軽症であっても、知的能力の低下、記憶障害、注意障害、遂行障害あるいは社会的行動障害などを始めとする様々な高次脳機能障害を呈する症例があることが知られている。明らかな運動麻痺や失調、振戦などの身体的な症状は認められず、脳機能異常を指摘されないまま退院しても、見逃された高次脳機能障害のため最終的に就学や就職が困難で社会復帰を果たせない患者の問題が社会的に注目され、行政的な対応や疫学調査などが行われている。高次脳機能障害にはこれまでにさまざまな症状が確認されているが、以前は同じ症状だと考えられ、リハビリテーション方法が同じであった。しかし患者の増加とともに症状の原因が異なることが判明し、その度に対応が分化しており、評価やリハビリテーションなどの方法も症状の原因と同様に細かく分類されるようになってきている。そのため近年の高次脳機

能障害のリハビリテーションは患者ごとに分類することで効率的なリハビリテーションを行うことができるようになった。しかし、高次脳機能障害の診断やリハビリテーション方法にはより専門的な知識が必要となり、診断にかかる時間や労力も増加している傾向にある。

高次脳機能障害は決してまれな状態ではなく、一見ただけでは分かりづらく、本人の自覚も乏しいことも多く、短時間の診断だけでは発見できない場合がある。また、発症者本人も自然に治癒すると思いついてしまいそのまま症状が改善されなくなってしまうケースもある。脳への受傷、あるいは脳卒中などを発病して入院後は、症状を悪化させないための治療が第一に行われている。手術が無事終わり、点滴治療も終了し急性期病院での治療は終了になる。しかし、その後、軽度な注意散漫、記憶障害などの症状が見られるにも関わらず、その時点で治療を終了してしまった場合、発症後すぐに治療する場合よりも完治度合いが低下している。

自宅にはリハビリテーションの道具がなくセラピスト（言語聴覚士、理学療法士、作業療法士の総称）なども居ないため、外来患者としてリハビリテーションをやり直しとなり、結果的に患者数が増加し、それも負担増加の一因となっている。このような背景から、セラピストが高次元な分析を行うための出題データやログデータの収集や管理を行ない、入院中・退院後にも効果的に患者自身でリハビリテーションに取り組める新たなシステムが求められている。

この研究では、注意障害を評価するために広く使用されている検査 TMT(Trail Making Test)と呼ばれる検査方法を採用する。TMT は Part A(TMT-A)と Part B(TMT-B)の2種類があり、TMT-A は選択性の注意、TMT-B は注意の配分成都てんかん性の注意機能評価に有用性が示されている。TMT は注意機能の評価として幅広く適用されている検査方法であり、軽度認知障害から認知症(アルツハイマー病)への移行を予測するツールとしての応用なども報告されている。一方で、TMT は一般的に紙面上試験として実施され、検査には検査者が常に患者に帯同して、経過時間の計測や進行具合の観察を行う必要があるため、データの収集・分析に多大な負荷が生じる。そこで、本研究では、簡易的なスクリーニング検査として適用可能なタブレット版 TMT の開発を行うことを目的とする。

2. 主 部

2.1 スマート TMT

通常の TMT は、A4 サイズの紙面上で実施される。この検査では、限定された紙面空間内で文字や数字に対する刺激を用いて、数字の順序性や数字と文字の切り替えに取り組み、それに伴う注意機能の持続と選択、さらに視覚的探索や視覚運動協調性などの要素を確認するための検査である。TMT-A と TMT-B の2種類の検査に分けられ、TMT-A は A4 用紙に 1~25 までの数字がランダムに配置されており、対象者に 1 から順番に 1→2→3 と鉛筆で線を結んでもらい、最後の数字である 25 に到達するまでの所要時間を計測する。TMT-B は A4 用紙に 1~13 までの数字と「あ」から「し」までの仮名がランダムに配置されており、被験者に 1→あ→2→い→3...といったように数字と仮名を交互に鉛筆で線を結んでもらい、完了するまでの所要時間を計測する。この2つの検査で共通するのは「視覚性の探索能力」や「注意機能の選択性注意」が関係するという点である。さらに、TMT-B 検査では数字と文字を交互に線で結ばなければならないため、「Working memory」や「注意機能の分配性注意」が関係するとされる。

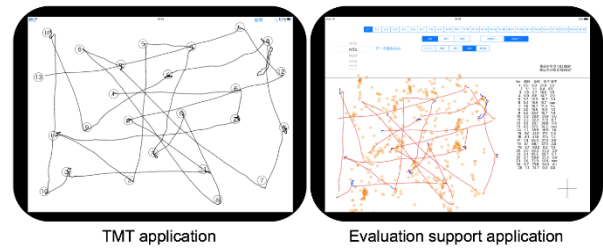


図1 スマート TMT

本研究では、同等の画面サイズを有する iPad Pro 12.9 inch を用いることで、TMT を iPad の画面上で再現可能なアプリケーションを開発する(図1)。iPad などのタブレット PC には既存のリハビリテーションや診断の再現に必要な画像を表示する機能、音声を発する機能や、鉛筆の代わりとなる電子ペンがあり、TMT を再現するのに適していると考えられる。またタッチインタフェースであるため、患者でもアプリを直感的に操作が可能であることが期待できる。

開発するスマート TMT には、選択性の注意を評価するための TMT-A と、転換性と配分性を評価するための TMT-B を実装しており、それぞれ「練習版」と「評価版」を用意している。練習版では、TMT-A, B のどちらにおいても、探索対象である数字やひらがな文字をランダムに生成することができ、利用者は日々の訓練として使用することができる。評価用の TMT-A では、1~25 の数字が定位置で勝つ、それぞれに対して等距離になるように配置される。数時間の距離を一定にすることで、特定方向に対する探索の不得意さの評価を行う。特に、半側空間無視を併発している場合には、左方向に無視領域が生じたり、右方向に注意が固定されることがあるため、発見時間に偏りが生じることが想定される。また、評価版の TMT-B は従来の TMT でも評価に使用されている鹿島らの TMT-B 横バージョンを再現した。

スマート TMT では TMT 検査にかかった総時間(T)、それぞれの文字(数字)を結ぶのににかかった時間(Ti)、Apple pencil (スマートスタイラス) の画面上座標の時系列データ(Xt, Yt)、および筆圧の時系列データ(Pt)などの記録を行う(表1)。これらの時系列データは 0.01 秒のサンプリング間隔によって記録され、線の揺れ、筆圧の可視化、線分析、ペンの移動の最高速度などを表示する機能を持つ。これらの可視化されたデータは、セラピストのリハビリテーション立案支援や情報共有などに利用される。

表 1 取得する特徴量

Type	Notation	Definition
Time	T_A	Solution time of TMT part-A.
Time	T_B	Solution time of TMT part-B.
Time	ΔT	Difference of solution times.
Time	T_F	Finding time to next symbol.
Time	T_R, T_L	Finding time to right / left side symbols.
Pressure	P	Average writing pressure.
Pressure	VP_F, VP_M	Variance pressure of finding / moving phase.
Pressure	N_L	Number of pen leaved during TMT.
Line	L_F	Line length of finding phase

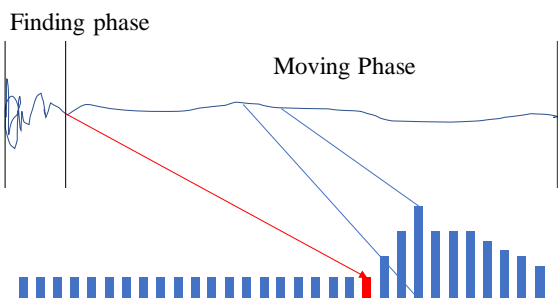


図 2 探索および移動フェイズ

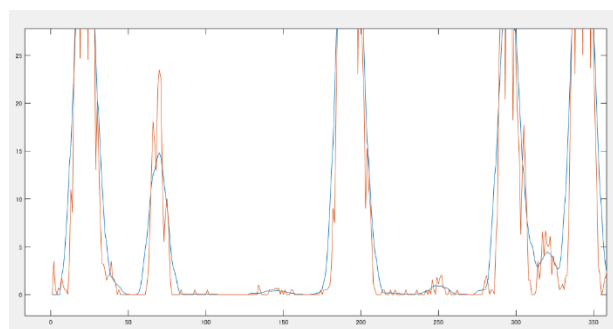


図 3 ペンの移動速度

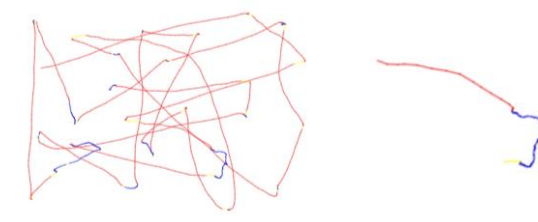


図 4 線分離

2.2 特徴抽出

記録されたデータから、高次脳機能障害までの評価特徴を抽出する。この研究では、(1) 時間関連の特徴、(2) 筆圧関連の特徴、および (3) 線の長さ関連の特徴について計算する。

まず、2つの探索点間の接続線は、図2に示すように探索フェイズと移動フェイズに分離できます。探索フェイズでは、次の記号を探索することと、そのあいだペンをその場に留めるといった2つのタスクを実行する必要があります。これ確認することで、利用者の注意の分散を知ることができる。また、移動フェイズでは、患者の行動を分析できます。たとえば、患者に麻痺症状がある場合、筆圧は弱くなる。システムは鉛筆の速度から発見と移動の境界を決定します。ペンの速度 $v(t)$ は式(1)で計算されます。

$$v(t) = \sqrt{(x_t - x_{t-1})^2 + (y_t - y_{t-1})^2} \quad (1)$$

速度 $v(t)$ は、単位時間でのユークリッド距離として表されます。図3は、TMT-Bの結果から得られた速度 $v(t)$ を示しています。次に、ノイズを低減するために、移動平均値 $\bar{v}(t)$ を式(2)により計算します。

$$\bar{v}(t) = \frac{\sum_{k=t-w}^{t+w} v(k)}{2w+1} \quad (1)$$

ここで、 w は移動平均の幅長さである。探索と移動の境界を決定するために、次の3つの知識を使用する。①速度上昇時に境界が存在する、②境界で速度の差が大きい、③候補が複数ある場合は、最後に境界が存在する。これらの知識に基づき、図4のように線分の分離を行う。

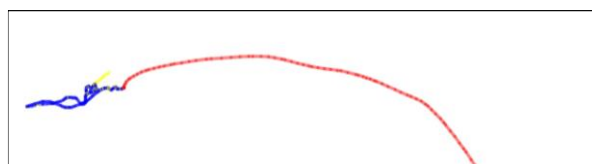


図 5 探索および移動フェイズの分離結果例

一般に、医師は TMT-A の解決時間、TMT-B の解決時間、およびこれらの時間の差のみを使用している。part-B には文字が含まれていることから、失語症や注意力障害のある患者では、 T_A よりも T_B が長くなることが知られています。加えて、スマート TMT では、次のシンボルの検索時間(TF)は、探索フェイズの平均時間から計算される。また、半側空間無視をチェックするために、右側と左側の平均探索時間を抽出します。

次に筆圧に関連した特徴を抽出する。筆圧は利用者の腕の力に相関するので、平均筆圧 (P) を計算することで、麻痺を評価することができる。さらに、患者の手は振動するため、探索段階 (VP_F) と移動段階 (VP_M) での筆圧の変化によって運動失調を評価できる。TMT では、紙から鉛筆を離さずに行うように患者に指示するので、ペンの筆圧が 0 になった回数を計測することで、注意の分割性を評価します。

図5は、患者のデータから探索フェイズ(青)と移動フェイズ(赤)を分離した線の例を示しています。この図に示すように、患者の発見相(LF)の線長が長くなると仮定されます。この線の長さから、患者がペンを止めるのが難しいことを示していると予測される。

2.3 実験結果

抽出された患者と健常者の特徴量の傾向を確認するため、健常者6名、高次脳機能障害患者9名、麻痺患者1名の TMT-A と TMT-B の結果を収集した。表2に被験者情報を示す。図6に患者と健常者の TMT 検査時間を比較した結果を示す。TMT-A と TMT-B の患者の検査時間と差はより長い。図7は、 i 番目から $(i+1)$ 番目のシンボル (T_i) を接続する個々の時間の平均値を示している。患者では、後半の時間が長くなる傾向が見られた。図8に発見時間 (TF) を示します。このグラフから、失語症患者の TMT-A と TMT-B では大きな差があることがわかります。図9は、探索フェイズの線の長さとお筆が離れた回数 NL を示しています。結果は、ペンを止めることと、患者にとって次のターゲットを見つけることの両方を同時に行うことは難しいことを示しています。

3. 結び

この研究では、スマート TMT システムを提案した。システムは iPad と Apple Pencil で構成され、TMT 検査を自動的に行う。実験では、患者と健常者から抽出した時間、筆圧、および線の長さに関連する特徴から、検査を行える可能性を示した。

表2 被験者情報

Group	#	Dysfunction Brain	disturbance of attention	Paralyzed	Other dysfunctions
Healthy	A1	-	-	-	-
	A2	-	-	-	-
	A3	-	-	-	-
	A4	-	-	-	-
	A5	-	-	-	-
	A6	-	-	-	-
Patient	B1	Left	Middle	Slight	Aphasia
	B2	Right	Heavy	-	Unilateral spatial neglect
	B3	Right	Heavy	-	-
	B4	Left	Slight	-	Aphasia
	B5	Left	Heavy	-	Aphasia
	B6	Right	Middle	-	Frontal lobe disorder
	B7	Right	Middle	-	Ataxia
	B8	Right	Middle	-	-
	B9	Left	Middle	Heavy	-
Paralyzed	C1	-	-	Middle	-

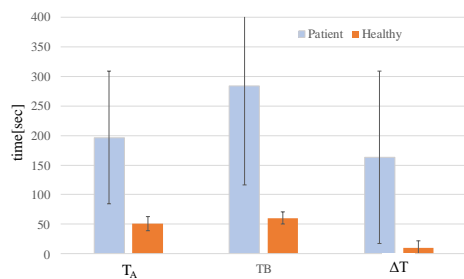


図6 TMT 検査時間の比較

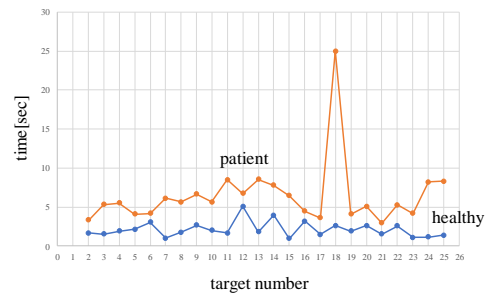


図7 個々のシンボルへの到達時間

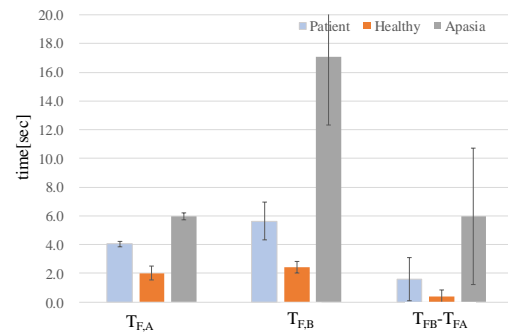


図8 発見時間の比較

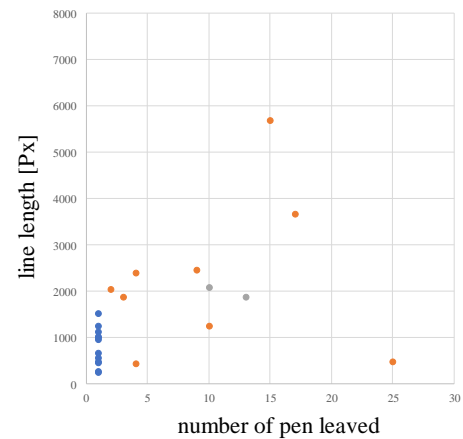


図9 探索時の線分の長さとお筆の離れた回数

参考文献

- [1] National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities, "Guide of support for higher brain dysfunction person", http://www.rehab.go.jp/ri/brain_fukyu/kunrenprogram.html
- [2] I. Sumio, "Koji nokino shogaigaku", Ishiyaku Pub. Inc, 2nd ver. 2012..
- [3] M. Miyata, T. Suzuki, and K. Oba, "Assessment of Trail Marking Test application for iPad", Proc. of Institute of Electronics, Information, and Communication Engineers 2014, p. a-19-13, 2014.
- [4] M. Miyata, T. Suzuki, and K. Oba, "The Trail Making Test using iPad which can show plural patterns", Journal of Nihon Fukushi University, Vol. 19, pp. 25-32, 2016.