
原 著

高次脳機能障害者における持続的反応時間測定と動作特性

中野渡 友香¹⁾, 白山 靖彦²⁾, 山口 佳子¹⁾, 佐藤 紀³⁾, 加藤 真介³⁾

¹⁾ 徳島大学病院リハビリテーション部

²⁾ 徳島大学大学院医歯薬学研究部地域医療福祉学分野

³⁾ 徳島大学病院リハビリテーション科

(令和5年6月1日受付) (令和5年6月30日受理)

脳損傷後に日常生活活動に支障をきたすような身体の麻痺がない場合でも、高次脳機能障害によって仕事や自動車運転などの応用動作においては運動の拙劣さが問題となることがある。しかし、高次脳機能障害者の動作課題時の動作特性については明らかになっていない。そこで本研究では、リアクションと三次元動作解析を用いて、右下肢を挙上するまでを測定した反応時間と、Trail Making Test (以下、TMT) との関係性ととともに、右下肢反応の動作特性を検討した。対象は、高次脳機能障害者23例と健常者56例であった。反応時間平均は、高次脳機能障害群が健常群に対して有意に長く、かつ値のばらつきが大きかった。反応時間平均とTMTとの間に有意な正の相関を認めた。これより、リアクションを用いて、反応時間の測定および下肢を用いた動作に必要な注意機能を評価できる可能性が示唆され、高次脳機能障害群での動作の非効率性が認められた。

はじめに

令和2年患者調査の概要によると、脳血管疾患の総患者数は174万2000人と報告されている¹⁾。その中でも脳血管疾患、脳炎および外傷性脳損傷などの発症後の約30~40%に起こるとされている²⁾ 高次脳機能障害が問題視されている。患者数としては、全国で約27万人とされており³⁾、脳損傷者の多くは身体障害のみではなく、何らかの高次脳機能障害を併発している可能性が高いことが示されている。高次脳機能障害とは、中枢神経系の障害による言語、認知、動作の障害のことであり、症状には、失語、失行、失認、記憶障害、遂行機能障害、注意障害および精神情動障害などがある。特に「注意」は他

の認知過程の根幹となり、その障害は多くの日常・社会生活を阻害すると報告されている⁴⁾。

注意障害は高頻度に出現する高次脳機能障害の1つであるが、軽度の注意障害は入院生活のような能動的な行動が求められない時期には目立ちにくく、退院後や復職後に顕在化することが多い。豊倉らによると⁵⁾、同様に、明らかな麻痺がなければ院内ADLが自立するがゆえに、身体機能面については注目されにくい傾向にあると報告されている。一方で、Lundin-Olssonらによると⁶⁾、歩行中に話しかけられて立ち止まる高齢者は転倒リスクが高いことが報告されており、上位中枢の支配下にあるcentral pattern generator (CPG) によって、一定のリズムが生成されている歩行でさえも突発的に起こる環境の変化が要因となり、立ち止まるなどの動作が生じる。これらを踏まえると、応用動作においては、より動作が高度となるため、復職もしくは自動車運転を再開するには、動作における効率性や正確性を評価する必要がある。

視覚的注意には、目的指向である「随意的な注意」と刺激駆動型である「受動的な注意」の2成分があり⁷⁾、受動的な注意の評価に関しては、動的な反応時間課題を用いて検討されている⁸⁾。反応時間とは、「刺激が与えられてから、意識的随意運動として効果器による反応が生起するまでの時間」とされており⁹⁾、反応時間の突発的な延長は、持続性注意の低下が原因となっているとも推測され、高次脳機能障害者の社会復帰に際して評価することが重要と考える。しかし、日常生活に結びつく課題との関連についての報告は少なく、臨床現場で高次脳機能障害者が短時間で簡易に行える測定も少ないのが現状である。

また、注意機能評価については、さまざまな神経心理学検査が用いられているが、Trail Making Test (以下、TMT) は通常歩行速度、障害物歩行および Timed Up & Go test (以下 TUG) と関連すると報告されていることから¹⁰⁻¹²⁾、下肢機能と注意機能の関連性の評価には有効であることが示唆される。津野らによると¹³⁾ 脳の障害では運動制御および運動学習における自己の身体活動に関するイメージが損なわれており、片麻痺患者では非麻痺側においても障害されると報告していることから、麻痺が認められない高次脳機能障害者の歩行を含む下肢運動は効率的ではない可能性が考えられる。これまで自動車におけるアクセル・ブレーキ動作においては、筋活動、ペダル操作時の足位置および反応時間などについての検討は報告されている。その中で、石浦ら¹⁴⁾ は、運転適性検査器 (CRT 運転適性検査器) と自動車とのアクセル・ブレーキ動作時の筋活動パターンが類似していること、また篠原ら¹⁵⁾ は、ペダルの操作の踏み違いは、ブレーキ操作時の踵の床面接地の有無によって直接的に影響される可能性が示唆されたと報告している。さらに、大熊ら¹⁶⁾ は脳損傷患者においてドライビングシミュレーターを用いた運転反応検査を実施しており、誤反応合計など検査項目が運転再開可否の判定と関連性があると報告している。しかし、高次脳機能障害者と健常者の下肢運動の違いおよび傾向と注意機能との関係については明らかになっていない。これらの下肢運動の特性について把握することは、リハビリテーション分野における評価および治療を進めていくうえで重要な要素であると考えられる。

そこで本研究では、反応時間のばらつきと注意機能との関連性を検討するとともに、下肢運動の反応についての動作解析を行い、健常者と高次脳機能障害者の違いを検討することを目的とした。

対象および方法

1. 対象

対象は、四肢に明らかな麻痺がなく、独歩可能である入院中または外来通院中の高次脳機能障害者のうち TMT が完遂できた23例 (以下、高次脳機能障害群、男性18名/女性5名、平均年齢 42.3 ± 13.1 歳)、および健常者56例 (以下、健常群、男性26名/女性30名、平均年齢 38.7 ± 14.3 歳) 計79例とした。年齢は20歳から68歳で、高次脳機能障害群の原因疾患は、脳挫傷6名、くも膜下

出血5名、脳梗塞5名、脳出血2名、脳腫瘍2名、脳膿瘍1名、低酸素脳症1名、脳炎1名であった。なお、高次脳機能障害群は Mini-Mental State Examination (以下、MMSE) 平均 27.3 ± 3.0 点であった。なお、本研究は徳島大学病院倫理審査委員会の承認を得て実施した。(承認番号: 1979)

2. 評価項目

1) 反応時間測定

本研究では下肢の反応時間測定として、光刺激に対してマットから右足底部が離れるまでの時間を全身反応測定器であるリアクション(竹井機器工業社製 T. K. K. 5408) を使用して測定した。本測定機器は、通常、光刺激に対して跳びあがり、足部がマットから離れるまでの時間を測定し、運動能力の一指標として用いられているが、本研究では椅子座位でリアクションの機器が反応しうる荷重を保った状態で右足底部を接地し、ランダムに点灯する光刺激に対して右下肢をできる限り素早く挙上する反応を2回練習の後、20回連続で測定した (以下、リアクションテスト、図1a)。この際に、右下肢反応をリアルタイム三次元モーションキャプチャーシステム VENUS3D (ノビテック社製) を用いて計測した。右膝関節より遠位5ヵ所 (大腿骨外側上顆、下腿外側中央、外果、第二中足骨頭、踵骨後方) に赤外線反射マーカーを貼付し (図1b)、リアクションテスト時の右下肢動作を評価した。今回の解析には、右外果に貼付したマーカーを用い、鉛直方向である Y 軸方向の動きを評価し、Y 軸方向の高さ、Y 軸方向高さの開始3回と終了前3回の平均の変化量 (以下、高さ変化量) および加速度を算出した。

2) 神経心理学的検査

神経心理学的検査は、MMSE、横版の TMT-A および TMT-B を行い、誤りがあった場合は検者が指摘し最後まで正しく完了させ、施行時間 (秒) で評価する方法で実施した¹⁷⁾。身体機能評価として、高次脳機能障害群においては麻痺の程度を把握するため左右の握力を測定した。

3. 分析方法

統計処理には、SPSS Statistics ver. 22 (IBM) を用い、高次脳機能障害群と健常群の比較は Mann-Whitney の U 検定、反応時間平均と TMT-A および B、各個人の反

応時間の標準偏差と TMT-A および B、高さ平均と加速度平均の相関については Spearman の順位相関係数を求めた。なお、本研究における危険率はすべて 5% 未満とした。

結 果

1. 対象者の特徴

両群間の比較では、高次脳機能障害群の年齢がやや高く、男性が多かった。握力の平均については、高次脳機能障害群は右33.3±10.6kg、左32.5±10.6kgであり、健常群は右35.0±10.6kg、左32.5±10.0kgであった。

2. 反応時間 (表 1)

反応時間平均は、健常群 (0.24±0.03秒) と比較し、高次脳機能障害群で有意に遅延 (0.30±0.07秒) し、また標準偏差が大きかった (図 2)。反応時間平均の変動

係数 (変動係数 = 標準偏差 / 平均) は、高次脳機能障害群は0.23、健常群では0.12であり、結果、高次脳機能障害群の反応時間のばらつきが大きかった。代表症例として、両群の30歳台女性の反応時間結果では、健常者に比べ高次脳機能障害者では突発的な反応の遅れが認められた (図 3)。

表 1 高次脳機能障害群と健常群における各パラメータの比較

	高次脳機能障害群 (n=23)	健常群 (n=56)	p 値
反応時間 (秒)	0.30±0.07	0.24±0.03	*
Y 軸方向の高さ (mm)	68.24±60.46	46.46±33.87	n.s.
高さ変化量 (mm)	8.54±24.01	-7.44±18.39	*
加速度 (m/sec ²)	5.22±2.98	6.22±3.69	n.s.
TMT-A (秒)	135.09±62.22	69.14±15.52	*
TMT-B (秒)	191.48±178.75	75.43±21.71	*

平均 ± 標準偏差 * : p<0.01 n.s. : not significant

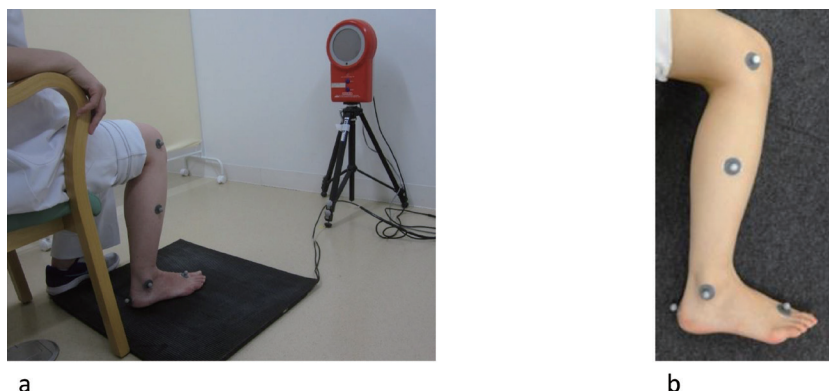


図 1 撮影環境
a : リアクションテスト
b : 右下肢のマーカセット

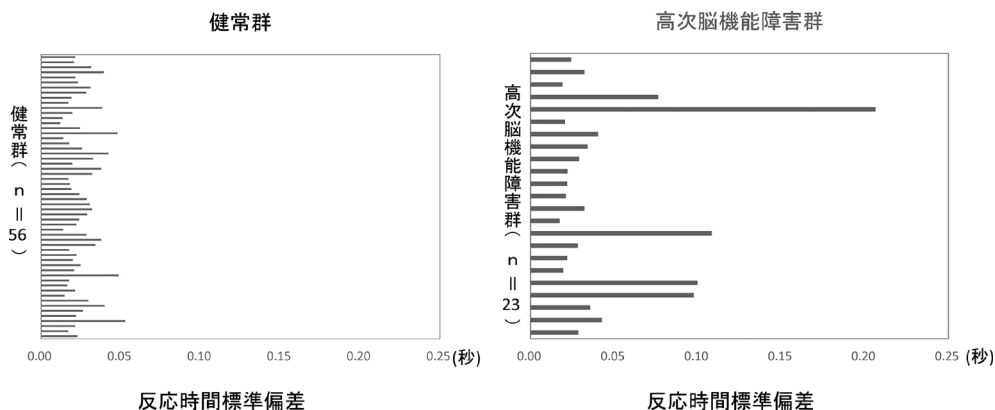


図 2 反応時間標準偏差の高次脳機能障害群および健常群の比較

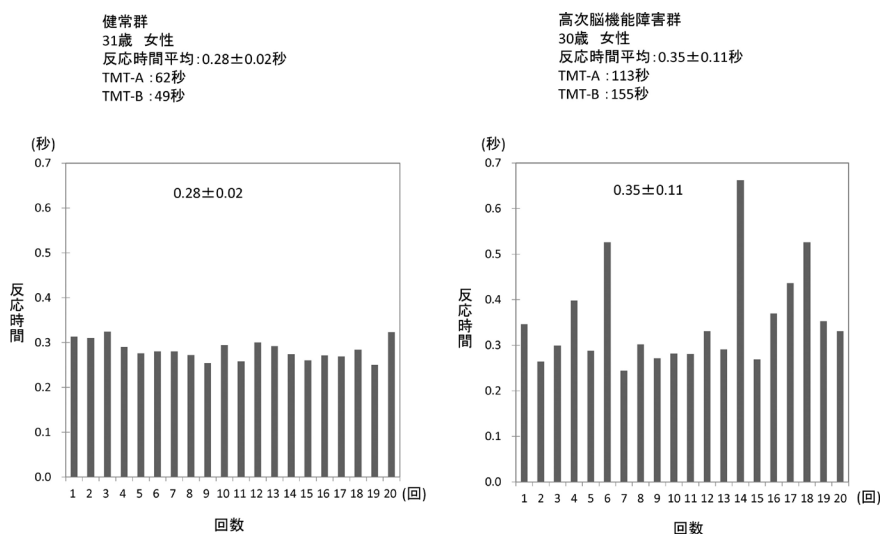


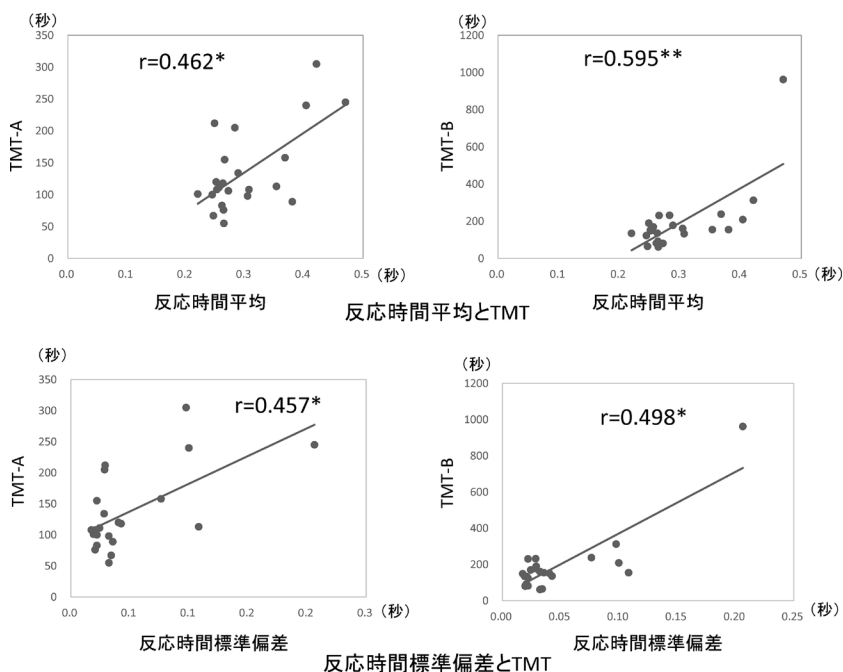
図3 反応時間のばらつきの高次脳機能障害群および健常群の一例の比較

3. 反応時間と TMT

高次脳機能障害群においては、TMT-A と反応時間平均 ($r=0.462$ $p<0.05$) および TMT-B と反応時間平均 ($r=0.595$ $p<0.01$) との間に有意な正の相関が認められた (図4)。一方、健常群においては TMT-A、TMT-B と反応時間平均との間に相関は認められなかつ

た ($r=0.144$, $r=0.171$)。

反応時間標準偏差については、高次脳機能障害群において、TMT-A および TMT-B との間に有意な正の相関を認めた ($r=0.457$ $p<0.05$, $r=0.498$ $p<0.05$) が、健常群においては認められなかつた ($r=0.005$, $r=0.042$)。



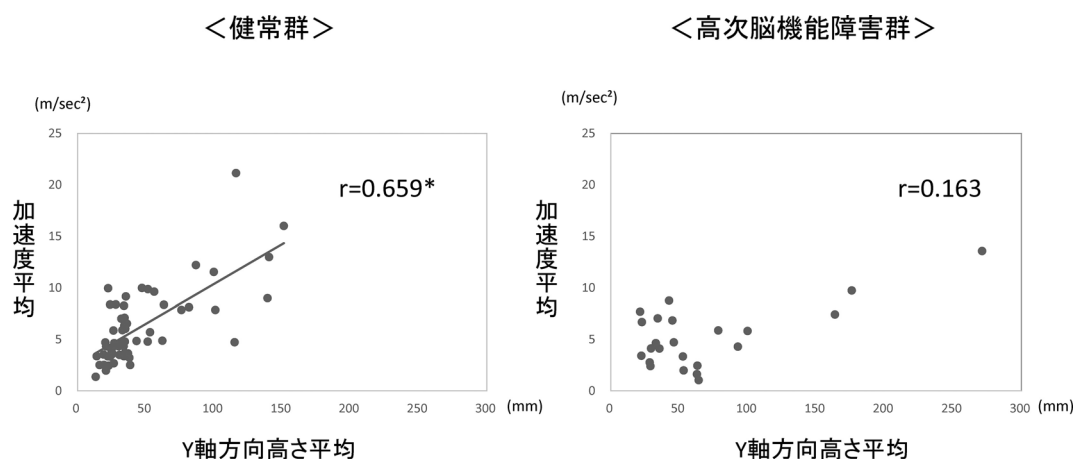
*: $p<0.05$ ** : $p<0.01$

図4 高次脳機能障害群における反応時間平均と TMT-A および B との関連, 反応時間標準偏差と TMT-A および B との関連

4. 下肢反応と高次脳機能障害

鉛直方向の動きは高次脳機能障害群と健常群との間に有意な差はなかったが、1回のリアクションテストの中で健常群では時間経過とともに下肢を挙げる距離が小さくなっている（高さ変化量 $-7.44 \pm 18.38\text{mm}$ ）のに対し、高次脳機能障害群では大きく（高さ変化量 8.54 ± 24.01

mm）なっていた（表1）。加速度には差がなかったが、Y軸方向高さとの関連をみると、健常群では有意な正の相関（ $r=0.659$, $p<0.01$ ）が認められたのに対し、高次脳機能障害群では相関が認められなかった（ $r=0.163$ ）（図5）。



*: $p<0.01$

図5 Y軸方向高さ平均と加速度平均との関連

IV. 考察

1. 反応時間のばらつきと高次脳機能障害

今回、高次脳機能障害群において反応時間にばらつきのある対象者を検出することができた。蜂須賀は、脳損傷者では、交通信号に反応してペダルを操作する下肢の反応時間が、健常者と比較して有意にばらつきが大きいと報告しており¹⁸⁾、本研究においても高次脳機能障害群に反応時間のばらつきが認められたと考えられる。また、高齢者では課題の難易度が高くなると反応時間のばらつきが大きくなることが明らかになっている¹⁹⁾。これらのことから、本研究において検出された反応時間は、認知・反応時間の重要な初期相であるため、ばらつきが大きい者は、日常生活動作における問題はなくても、自動車運転のような運動の精度が求められる動作において突発的な反応の遅れが出現する可能性がある。

本研究において高次脳機能障害群の反応時間標準偏差とTMT-AおよびTMT-Bとの間に正の相関が認められ

た。TMTは注意機能の代表的な評価バッテリーであり、TMT-Aは視覚・運動性探索、TMT-Bはそれらに加え注意やセットの切り替えの柔軟性およびワーキングメモリを反映する評価であるとされていることから²⁰⁾、注意障害の程度が反応時間のばらつきに影響していることが示唆された。久保田らによると²¹⁾、地域在住高齢者において、転倒の可能性が低い群と比較して転倒の可能性が高い群の方がTMT-Aの得点が低かったと報告している。また、TMTの得点が低い者は、最大歩行、障害物歩行、階段昇降および課題付加TUGの成績が低いことが報告されており²²⁾、今回の研究結果より、反応時間平均とTMT-AおよびTMT-Bとの間に正の相関を認めたことから、リアクションテストは下肢を用いた日常生活活動に必要な注意機能評価の一助となる可能性が示唆された。本研究では、下肢の動作解析を含めて検討するため、全身反応測定器を用いたリアクションテストを実施した。しかし、全身反応測定器を導入している施設に限られているため、今後、より簡易なスマートフォンなどのモバ

イル端末のアプリケーションなどを用いたリアクションテストを考案することが必要と考えられる。生活関連動作、運転、および仕事などは、複雑な認知機能が必要な応用動作であり、リアクションテストで評価できる部分は限られてはいるものの、下肢を用いた動作に必要な注意機能の一面が簡便に評価できるだけでなく、繰り返し行って学習効果を把握することができることや、対象者へ明確なフィードバックができることから、第一義的な下肢運動の動作評価として有用である可能性が高いと考えられる。

2. 下肢反応と高次脳機能障害

反応時間測定時の Y 軸方向の高さ平均と加速度平均は、健常群では正の相関が認められ、動作の大きさに合わせて加速度を調節していることが明らかになった。一方、高次脳機能障害群においては、動作の大小による加速度の一定の傾向がなく、健常群に比べ非効率的運動である可能性が示唆された。これらの結果から、日常生活において、動作の遅れもしくは長時間動作を続けた際の易疲労性に繋がる可能性があると考えられる。

運動学習とは「熟練パフォーマンスの能力に比較的永続的变化を導く練習や経験に関連した一連の過程」とされており¹⁸⁾、動作の習熟により必要な体部位のみ筋活動が生じ、不必要な筋活動が抑制されると言われている²³⁾。

リアクションテストにおける運動学習とは、マットが反応しうる最小限の下肢挙上を学習していくことであると考えられ、健常群での高さ変化量は経時的な減少が認められたが、高次脳機能障害群では動作が大きくなり、運動学習の低さが示唆された。

運動学習に伴う運動制御は中枢神経によって行われ、運動学習は課題の性質を認知し、それに基づいて試行を行う認知学習から始まるとされており²³⁾、本研究において高次脳機能障害群は認知機能の基盤である注意機能が低下しており、そのことが運動学習の低さに影響したと考えられる。

パフォーマンスを最適化するにはそのスキルの習熟過程で「反復すること」が必要となると言われており²⁴⁾、運動学習にはフィードバックが重要であるとされているが²⁵⁾、今回の研究で運動学習の低さが明らかとなった高次脳機能障害群であっても、セラピストの適切な指導のもとでの反復練習によりパフォーマンスの向上が期待される。さらに、その過程を分析していくことにより、効果的な下肢運動の獲得に向けた訓練内容の検討へつな

がっていくと考えられる。今回の研究における限界点は、対象とした高次脳機能障害者群は原因疾患および病態も多様であり、反応時間などにおいて統計学的に健常群との差に有意性が認められたとしても一般化するにはより多くの追試が必要な点である。

結 語

今回の研究では、リアクションテストにより簡便に反応時間が測定でき、日常生活活動における下肢運動に必要な注意機能が評価できる可能性が示唆された。また、動作解析において高次脳機能障害者群は健常群に比べ、非効率的運動であり学習効果が低い可能性が明らかとなった。今後、症例数を増やすとともに、その他のアプリケーションを用いて包括的評価を行うことが必要である。また、同一対象者にリアクションテストを複数回繰り返し行っていく中での運動学習を分析していくことにより、高次脳機能障害患者の日常生活活動の自立に向けた訓練内容を検討することが求められる。

文 献

- 1) 令和2年患者調査の概要. 厚生労働省, 2020
- 2) Patel, M., Coshall, C., Rudd, G. A., Wolfe, D. A.: Natural history of cognitive impairment after stroke and factors associated with its recovery. *Clin Rehabil.*, 17: 158-166, 2003
- 3) 中島八十一: 高次脳機能障害ハンドブック; 診断・評価から自立支援まで. 医学書院, 東京, 2006, pp. 1-20
- 4) 豊倉穰, 本田哲三, 石田暉, 村上恵一: 注意障害に対する Attention process training の紹介とその有用性. *リハビリテーション医学*, 29(2): 153-158, 1992
- 5) 豊倉穰: 注意障害の臨床. *高次脳機能研究*, 28: 320-328, 2008
- 6) Lundin-Olsson, L., Nyberg, L., Gustafson, Y: "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. *Lancet.*, 349: 617, 1997
- 7) 内川恵二: 視覚情報処理ハンドブック. 朝倉書店, 東京, 2000, pp. 459-463
- 8) 金谷匡敏, 山田恭平, 大柳俊夫, 中島そのみ 他: 反応時間を用いた動的な視覚刺激の変化に伴う注意

- 障害の評価法の開発について. 札幌保健科学雑誌, 4: 9-16, 2015
- 9) 長塚康弘: 事故傾性, 疲労および単調感と反応時間. 人間工学, 21: 71-79, 1985
- 10) Ble, A., Volpato, S., Zuliani, G., Guralnik, J. M., *et al.*: Executive function correlates with walking speed in older persons: the InCHIANTI study. Journal of the American Geriatrics Society., 53(3): 410-415, 2005
- 11) Coppin, A. K., Shumway-Cook, A., Saczynski, J. S., Patel, K. V., *et al.*: Association of executive function and performance of dual-task physical tests among older adults: analyses from the InChianti study. Age and ageing., 35(6): 619-624, 2006
- 12) 広田千賀, 渡辺美鈴, 谷本芳美, 河野令 他: 地域高齢者を対象とした Trail Making Test の意義—身体機能と Trail Making Test の成績についての横断分析から. 日本老年医学会雑誌, 45: 647-654, 2008
- 13) 津野雅人, 片岡保憲, 太場岡英利, 越智亮 他: 到達運動距離の予測による脳卒中片麻痺患者の運動イメージ障害の検討. 理学療法, 24: 269-272, 2009
- 14) 石浦佑一, 妹尾勝利, 小原謙一, 西本哲也 他: CRT 運転適正検査機と自動車におけるアクセル・ブレーキ動作の筋活動. 川崎医療福祉学会誌, 17: 203-207, 2007
- 15) 篠原一光, 木村貴彦: 自動車ペダル操作時の足の位置と動きの特性とペダル踏み違いの経験. 交通科学, 49: 33-40, 2018
- 16) 大熊諒, 渡辺修, 帯刀舞, 岩井慶士郎 他: 脳損傷者のドライビングシミュレーターによる評価と運転再開可否判定の関係性～運転再開可否判定の予測に向けた基準値の検討～. 作業療法, 39: 202-209, 2020
- 17) 鹿島晴雄, 半田貴士, 加藤元一郎, 本田哲三 他: 注意障害と前頭葉損傷. 神経研究の進歩, 30: 847-858, 1986
- 18) 蜂須賀研二: 高次脳機能障害と自動車運転. 認知神経科学, 9: 269-273, 2007
- 19) Gorus, E., Raedt, R., Mets T: Diversity, dispersion and inconsistency of reaction time measures: effects of age and task complexity. Aging Clin Exp Res., 18: 407-17, 2006
- 20) 眞田敏, 新谷舞以, 福田あやこ, 津島靖子 他: Trail Making Test 指標の発達的变化の検討. 岡山大学大学院教育学研究科研究収録, 150: 9-16, 2012
- 21) 久保田智洋, 黒川喬介, 鍵谷方子: 二次予防事業対象者における転倒リスクと身体機能・高次脳機能・生活機能との関連性の検討. 心身健康科学, 13: 51-61, 2017
- 22) Schmidt, R. A.: 運動学習とパフォーマンス (調枝孝治, 監訳). 大修館書店, 東京, 1994, p155
- 23) 立野謙太, 横田知明, Yeap, L., 村木里志: 若年者と高齢者の運動学習に伴う筋電図表出の違い. 日本生理人類学会誌, 21: 107-113, 2016
- 24) 潮見泰蔵: 脳傷害後の機能回復と運動学習. 理学療法学, 21: 87-91, 2006
- 25) 星文彦: 中枢神経疾患における運動課題の設定と結果の知識の付与方法. 理学療法, 22: 1001-1007, 2005

Sustained Reaction Time Measurement and Motion Analysis in Patients with Cognitive Dysfunction

Yuka Nakanowatari¹⁾, Yasuhiko Shirayama²⁾, Keiko Yamaguchi¹⁾, Nori Sato³⁾, and Shinsuke Katoh³⁾

¹⁾*Department of Rehabilitation, Tokushima University Hospital, Tokushima, Japan*

²⁾*Department of and Social Welfare, Institute of Biomedical Sciences, Tokushima University Graduate School, Tokushima, Japan*

³⁾*Department of Rehabilitation Medicine, Tokushima University Hospital, Tokushima, Japan*

SUMMARY

Patients with higher brain dysfunction without motor paralysis are often judged to have no problems with physical function and may have no significant difficulties in daily life during hospitalisation. Problems may become apparent after discharge from hospital or return to work, especially poor applied activities such as driving a car. However, the motor characteristics of people with higher brain dysfunction during movement tasks have not been fully clarified, and it is important to assess both the quantitative and the qualitative aspects of movement for work, applied movement and driving. The purpose of this study was to analyze the relationship between reaction time variability and attention function. In addition, we analyzed the motion of the lower limb reaction during measurement for examine the motion characteristics. We enrolled 23 individuals with cognitive dysfunction (CD group) and 56 healthy volunteers (control group). Using the reaction measuring device, the time required to lift the right lower limb in response to a light stimulus was measured 20 times in a row. Therefore, we analyzed the height and acceleration in the vertical direction using a three-dimensional motion analysis system for the reaction of the right lower limb during measurement, as well as the relationship between the reaction time and the Trail Making Test (TMT). There was a significant difference in mean reaction time between the two groups, and the CD group showed lower consistency. The mean reaction time and TMT showed significantly positive correlation. These results suggest that the reaction time continuously could be one of the tools to evaluate the attention function necessary for the activities of daily living using the lower limbs. The motion analyses showed their inefficient motion and lower learning effect. Further studies are necessary to develop accurate criteria using a simple evaluation battery for resuming rehabilitation in individuals with cognitive dysfunction.

Key words : cognitive dysfunction, reaction time, motion analysis, attention