

高齢者の認知機能と模擬運転時の 手掌部発汗反応との関連

高橋理沙¹ 小林正義¹ 佐々木努¹ 百瀬英哉² 大橋俊夫³

¹ 信州大学大学院医学系研究科保健学専攻、² 株式会社西澤電気計器製作所、

³ 信州大学医学部メディカル・ヘルスイノベーション講座

The relationship of cognitive functions in the elderly with palmar sweating responses
to simulated driving

Risa Takahashi¹, Masayoshi Kobayashi¹, Tsutomu Sasaki¹, Hideya Momose², Toshio Ohhasi³

¹Division of Health Sciences, Graduate School of Medicine Shinshu University

²Nishizawa Electric Meters Manufacturing Co., Ltd.

³Department of Medical Health Innovation, School of Medicine Shinshu University

高齢者 52 名を対象に MMSE-J、TMT、自動車運転認知行動評価装置による模擬運転を実施し、中程度認知障害と判定された被験者 2 名の模擬運転時の手掌部発汗反応と、ハンドル、アクセル、ブレーキの操作反応を検討した。被験者 2 名の手掌部発汗反応は他の 50 名の平均反応と一致せず、ハンドル、アクセル、ブレーキの過大な操作や誤操作が認められた。本装置を使った模擬運転は高齢者の運転適性の評価に役立つと思われた。

(発汗学 23 : 27-32 ; 受理 : 4. 12. 2016)

We administered the MMSE-J, TMT, and a simulated driving test (using the Driving Cognitive Behavioral Evaluation Apparatus) to 52 elderly people. Next, we examined palmar sweating responses to the driving test (operation of the brake, accelerator, and steering wheel) of the two subjects who tested positive for moderate cognitive impairment on the MMSE-J. This sweating response was not consistent with the average response of the other 50 participants; we particularly observed erroneous operation of the accelerator, brake, and steering wheel. Our results suggest that simulated driving using this apparatus should help with evaluation of driving aptitude in the elderly.

はじめに

高齢者の運転事故が増加しており、背景には加齢による認知機能の低下が関係すると考えられている^{1),2)}。このため、現在では運転免許更新時に 70 歳以上を対象とする高齢者講習が行われ、さらに 75 歳以上のドライバーに対しては、予備検査として認知機能検査が行われている。しかし、この予備検査は、時

間の見当識、手がかり再生、時計描画という 3 課題からなる紙筆検査であり、運転に直接関連する認知や行動を測定する検査とはいえない。

われわれが開発を進めている自動車運転認知行動評価装置（特許第 5366248 号）は、自動車運転の映像をモニターに提示し、映像の動きに合わせて被検者に模擬運転操作を行わせるもので、ハンドル、アクセル、ブレーキ

本装置を使ったこれまでの実験では、「ボール飛び出し」などのとっさに危険を回避する場面では、はじめに対象物への視線移動がみられ、その後、1~2秒の間にハンドル操作、アクセルとブレーキの踏み替え、SPR、手掌部発汗の順に反応が生じることが確認されている⁴⁾。こうした一連の反応は、危険を認知した結果として生じた反応と考えられるが、これまでに認知機能とハンドル、アクセル、ブレーキの操作や手掌部発汗反応との関連性については検討されていない。そこで本研究では、模擬運転を実施した高齢者のうち、認知機能の低下が疑われた被験者を抽出し、ハンドル、アクセル、ブレーキの操作反応と手掌部発汗反応の特徴を検討した。

対象と方法

本装置を福祉ひろばの室内に設置し、常環境下で被験者個々に模擬運転を実施した(図1)。実験では、はじめに練習用の運転映像を使った模擬運転の練習を5分間行い、ハンドル、アクセル、ブレーキの操作方法に誤りがないかを確認した。その後、市街地を走行する運転映像(市街地映像、6分)と、道幅の狭い住宅地を走行する運転映像(住宅地映像、5分)を被験者ごとに順番を入れ替えて

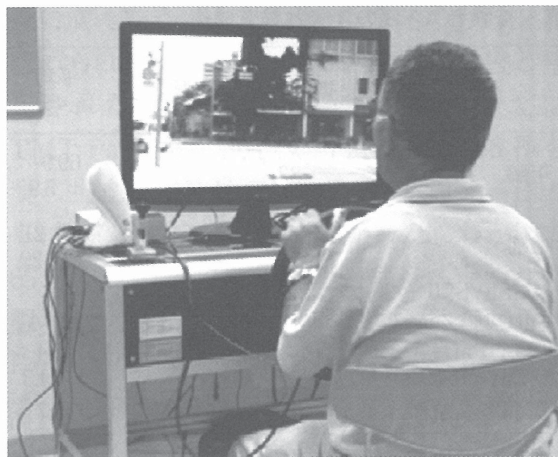


図1 「自動車運転認知行動評価装置」による模擬運転風景

認知機能の評価には、精神状態短時間検査 - 日本版 (Mini Mental State Examination - Japanese : MMSE-J) と Trail-Making Test (TMT) を用いた。MMSE-J は見当識、記銘、注意と計算、再生、呼称、復唱、理解、読字、書字、描画の計 30 課題から構成され、認知機能の評価尺度として広く用いられている。得点は 30 点満点で、27~30 点が正常な認知機能、21~26 点が軽度認知障害、11~20 点が中程度認知障害、0~10 点が重度認知障害と判定される⁵⁾。TMT は注意機能や視覚探索機能を測定する紙筆検査で、ランダムに配置された①~㉔の数字を順に線で結ぶ課題 (Part-A) と、ランダムに配置された①~㉔の数字と○で囲んだ文字 (あ~㉔) を、①→あ→②→い→のように交互に線で結ぶ課題 (Part-B) がある。検査用紙は A4 版の縦型と横型があり、どちらも終了までの時間を評価する。今回使用した横型用紙のカットオフ値は Part-A が 120 秒、Part-B が 150 秒とされている⁶⁾。

MMSE-J の得点がカットオフ (23 点) に満たなかった被験者の反応に注目し、認知機能と模擬運転による手掌部発汗反応、SPR、およびハンドル、アクセル、ブレーキの操作

表 被験者 A・B の年齢と検査成績

	被験者 A	被験者 B	平均 (n = 50)
年齢	83	71	69.9 ± 5.9
性別	男性	男性	男性 21: 女性 29
MMSE-J (0 - 30, Cut-off : 23)	18	20	28.8 ± 1.4
TMT Part-A (Cut-off : 120)	364	完遂不可	107.4 ± 34.3
TMT Part-B (Cut-off : 150)	586	完遂不可	145.7 ± 57.8

MMSE-J: Mini Mental State Examination - Japanese
TMT: Trail Making Test

反応との関連性を検討した。なお、本研究は信州大学医学部医倫理審査会の承認を得て実施した（承認番号 2073）。

結 果

被験者 52 名のうち、MMSE-J の得点がカットオフの 23 点に満たなかった被験者が 2 名認められた（表）。被験者 A は 83 歳の男性であり、MMSE-J は 18 点で中程度認知障害に分類された⁵⁾。TMT の成績は Part-A が 364 秒、Part-B が 586 秒であった。被験者 B は 71 歳の男性であり、MMSE-J は 20 点で中程度認知障害に分類され⁵⁾、TMT は Part-A、Part-B ともに長時間を要し、完遂することができなかった。被験者 A、被験者 B を除いた 50 名の平均と標準偏差は、MMSE-J が 28.8 ± 1.4 点、TMT は Part-A が 107.4 ± 34.3 秒、Part-B が 145.7 ± 57.8 秒であった。

MMSE-J の得点が 30 点（満点）であった被験者の住宅地映像を使った模擬運転操作時の反応を図 2 に示した。被験者は 68 歳の女性で、TMT は Part-A が 100 秒、Part-B が 118 秒でいずれも正常範囲にあった。この被験者の場合、開始時のアクセル操作が遅れているが、「発車」と「十字路口通過」、「歩行者発見」等の場面では SPR の陰性波が増加し、これに対応して手掌部発汗の増加がみられた。また、「自転車追い越し」、「ボール飛び出し」、「歩行者飛び出し」場面ではブレーキが踏み込まれ、SPR の陰性波と手掌部発汗が増加

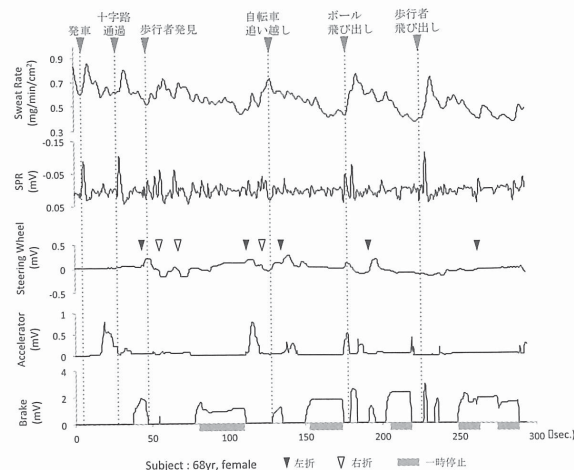


図 2 計測波形の一例
危険を認知したり予測したりする場面では、ブレーキが踏み込まれ、SPR の陰性波と手掌部発汗反応が増加する傾向がみられる。

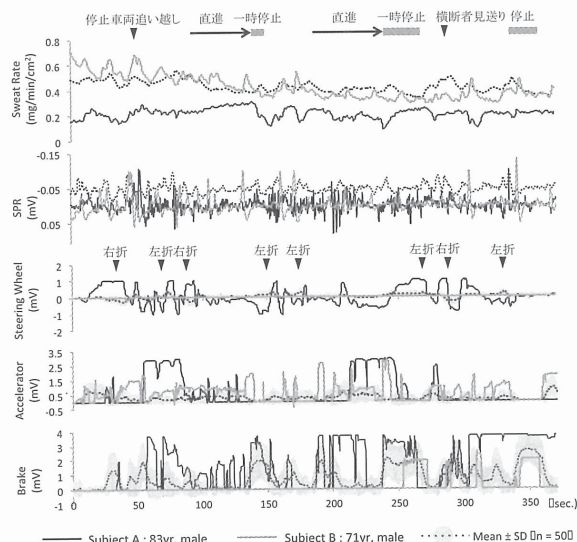


図 3 被験者 A、B の反応波形と平均波形の比較
黒実線の波形は被験者 A、グレー実線の波形は被験者 B の反応を示す。点線は 50 例の平均値で描いた波形で、グレーに塗られた範囲は標準偏差帯を表している。SPR は平均値が -0.05 付近で変動しており誤差範囲は示していない。

し、特に歩行者が飛び出す場面では SPR の振幅が大きかった。一方、ブレーキを踏み続ける「一時停止」の場面では SPR の振幅は小さく、手掌部発汗は減少する傾向を示した。こうした SPR、手掌部発汗、ブレーキの反応は、他の多くの被験者においても共通して認められた。

図 3 に、市街地映像を用いた模擬運転操作によって得られた被験者 A と被験者 B の手掌部発汗、SPR、ハンドル、アクセル、ブレーキの反応波形と、被験者 A と B を除く 50 名

の平均波形を示した。被験者 A（黒実線）は手掌部発汗が少ない傾向にあり、手掌部発汗と SPR の増減のパターンは平均波形と一致しなかった。また、ハンドル、アクセル、ブレーキの操作反応が大きく、複数の箇所でアクセルとブレーキを同時に踏み込み、終盤（300 秒以降）ではブレーキを踏み続けていた。被験者 B（グレー実線）は手掌部発汗の増減パターンは概ね平均波形と類似したが、SPR では時折陰性方向への大きな振幅がみられた。また、ハンドルの操作がみられず、ブレーキ操作も 250 秒付近までみられなかったが、アクセル操作はしばしば踏み込みが大きかった。

考 察

1. 自動車運転と認知機能

自動車運転では連続して変化する周囲の道路状況を同時処理的に把握する必要がある、危険を予測する、とっさに危険を回避するなど、交通状況を的確に判断する高度な認知機能が求められる。MMSE は本来認知症の重症度を測定する検査であるが、MMSE の低スコアは高齢者の運転事故を予測する有力な指標とされる⁷⁾。MMSE-J による自動車運転能力の評価では、10 点以下では運転中止、23 点以下では定期フォローや専門的評価が勧められる⁸⁾。しかし、カットオフの境界域にある対象者の事故リスクについては明確な結論づけが難しく、判別力に限界があることも指摘されている⁹⁾。また、TMT（Part-A・Part-B）は注意機能、視覚探索、情報処理速度、作動記憶などを測る検査で、高次脳機能障害の評価に用いられる。最近では運転能力のスクリーニングとして用いられ、多くの神経心理学検査の中でも運転適性との関連性が高い検査の一つとして位置づけられている^{10)~12)}。特に TMT Part-B では、注意や概念の変換能力が必要とされるため、遂行機能検査としてよく用いられる。用紙の縦型と横型では成績が異なり、今回使用した横型（日本語版）¹³⁾ではカットオフ値は示されているが、運転能力を表す得点範囲は明らかにされていない。

今回、MMSE-J の結果がカットオフの 23

点に満たなかった被験者が 52 名のうち 2 名認められ、2 名はともに中程度認知障害と判定された。この 2 名のうち、被験者 A は TMT Part-A に 364 秒、Part-B に 586 秒を要し、被験者 B は TMT Part-A、Part-B ともに完遂することができなかった。わが国で 65 歳以上の認知症高齢者を対象に行われた調査¹⁴⁾では、Part-A の平均は 255.0 秒、Part-B の平均は 300 秒とされており、被験者 A と B の成績は、注意機能、視覚探索、情報処理速度、作動記憶などが明らかに低下した状態といえる。

2. 被験者 A と被験者 B の模擬運転反応

認知機能が保たれた被験者（図 2）の反応や、被験者 50 名の平均波形の変動（図 3）にみられるように、SPR の陰性極波と手掌部発汗反応は、停止車両の追い越し、横断する歩行者を見送る、ボールや人が飛び出すなど、危険を予測したり回避したりする場面でみられ、交差点の右左折ではブレーキ操作と同時に増加し、直進走行や一時停止の場面では減少する傾向がある^{3),4)}。歩行者を見送る場面や、ボールや人が飛び出す場面でみられる SPR の陰性極波と手掌部発汗反応は、模擬運転に伴う被験者の注意・集中、視覚探索、危険予測、情報処理などの認知機能と関係し、心身の緊張状態を反映しているものと思われる。

被験者 A と B の SPR と手掌部発汗反応の変動は、他の被験者 50 例から得られた平均波形の変動とは一致しなかった。被験者 A では総じて発汗量が少く、加齢による汗腺機能の低下や皮膚性状の変化¹⁵⁾が影響していると思われる。また、SPR、発汗反応の平均波形とのタイミングのズレは、被験者 A の注意機能や状況的認知の困難さが関連していると思われ、ハンドル、アクセル、ブレーキの大きな反応と、複数箇所でみられたアクセルとブレーキの同時操作などは、状況的認知の困難さを裏付ける所見とみることができる。また、被験者 B ではハンドル操作がほとんどみられず、運転映像の危険場面とは必ずしも一致しない SPR の陰性極波が複数箇所でみられた。しかも、そのタイミングはアクセルの踏み込みと同期しており、被験者 B のアクセル操作の多くは、ブレーキとしての誤

操作と考えられる。

被験者 A と B の反応にみられるように、中程度認知障害のある高齢者の模擬運転では、運転映像の場面に対応する SPR と手掌部発汗反応、ハンドル、アクセル、ブレーキの反応から、個々の危険予測などの状況的認知とデバイス操作の特徴を評価できることが分かった。

3. 限界と課題

先に触れたように、本装置で提示する運転映像はハンドル、アクセル、ブレーキの操作と連動していない。このため、被験者は任意に車両を操縦する感覚はなく、いわば運転映像の動きに追従するように模擬運転操作を行うことになる。この操作時の感覚の違いが実車運転との大きな違いであり、模擬運転装置としての限界といえる。しかし、運転映像に含まれる危険予測場面での SPR と手掌部発汗反応は、映像と同じコースを走行する実車運転でも認められており¹⁶⁾、模擬運転と実車運転における手掌部発汗、SPR、ハンドル、アクセル、ブレーキ反応の異同について、より詳細な検討が必要である。

おわりに

自動車運転には視覚や聴覚を中心とする感覚器の働きと、体幹の安定性、上下肢の協調運動などが要求され、交差点などではハンドルを切りながらブレーキからアクセルに踏み替える動作が必要となる。高齢者の事故原因となりやすいハンドル、アクセル、ブレーキの誤操作には、感覚器や運動器の機能低下と認知機能の低下が関係し、認知症ドライバーでは健常高齢者に比べて衝突事故のリスクが2.5～4.7倍高いとされている¹⁷⁾。

高齢者の運転適性は、認知機能を測定する神経心理学検査、ドライブシミュレーター、事故歴や路上テストなどを組み合わせ、総合的に判断する必要がある。本装置による模擬運転では、SPR と手掌部発汗反応から被験者の危険認知や危険予測の有無を把握できる点の特異であり、認知機能の低下が予測される高齢者の運転適性の評価に役立つと思われる。

文 献

- 1) Anstey KJ, Wood J, Lord S et al: Cognitive, sensory and physical factors enabling driving safety in older adults. *Clin Psychol Rev*, 25, 45-65, 2005
- 2) Ishimatsu K, Miura T, Shinohara K: Age influences visual attention characteristics among accident-free and accident-involved drivers. *Jpn Psychol Res*, 52, 186-200, 2010
- 3) 小林正義, 佐々木努, 千島 亮 その他: 手掌部発汗反応を用いた自動車運転認知行動評価システムの開発研究. *発汗学*, 18, 31-34, 2011
- 4) 内堀志野: 自動車運転認知行動評価装置による模擬運転時の視線解析. *信州大学医学部保健学専攻学生研究論文集*, 6, 14-19, 2011
- 5) Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR et al (杉下守弘・訳): 精神状態短時間検査-日本版 MMSE-J 使用者の手引き. 12-15, 日本文化科学社, 東京, 2012
- 6) 日本作業療法士協会: 作業療法マニュアル 53, 認知機能障害に対する自動車運転支援, 18-37, 2012
- 7) Ball K, Owsley C: Identifying correlates of accident involvement for the older driver. *Hum Factors*, 33, 583-595, 1991
- 8) 上村直人, 谷勝良子, 井関美咲 その他: 各国の認知症と自動車運転に関するガイドラインと課題. *老年精神医学雑誌*, 20, 421-435, 2009
- 9) Odenheimer GL, Beaudet M, Jette AM et al: Performance-based driving evaluation of the elderly driver: safety, reliability, and validity. *J Gerontol*, 49, M153-M159, 1994
- 10) Crowe SF: The differential contribution of mental tracking, cognitive flexibility, visual search, and motor speed to performance on parts A and B of the Trail Making Test. *J Clin Psychol*, 54, 585-591, 1998
- 11) Marshall SC, Molnar F, Man-Son-Hing M et al: Predictors of driving ability following stroke: a systematic review. *Top Stroke Rehabil*, 14, 98-114, 2007
- 12) Devos H, Akinwuntan AE, Nieuwboer A et al: Screening for fitness to drive after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Neurology*, 76, 747-756, 2011
- 13) 豊倉 譲, 田中 博, 古川俊明 その他: 情報

- 処理速度に関する簡便な認知検査の加齢変化—健常人における paced auditory serial addition task および trail making test の検討—, 脳と精神の医学, 7, 401-409, 1996
- 14) 児玉千稲, 朝田 隆: 軽度認知機能障害・認知症の診断尺度としてのセットテストの標準化に関する検討. 認知神経科学, 10, 109-118, 2008
- 15) 山根 健, 鈴木康生, 菊谷 武 その他: 精神性発汗の測定—年齢, 意識, 頸部疾患による変化. 精神性発汗現象—測定法と臨床応用, 大橋俊夫, 宇尾野公義 編, 45-54, スズケン事業部, 名古屋, 1993
- 16) 百瀬英哉, 高橋理沙, 小林正義 その他: 自動車模擬運転時と実車運転時の手掌部発汗反応比較. 発汗学, 20, 37-39, 2013
- 17) Friedland RP, Koss E, Kumar A et al: Motor vehicle crashes in dementia of the Alzheimer type. Ann Neurol, 24, 782-786, 1988