

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：21501

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2023

課題番号：18K17771

研究課題名（和文）眼球運動計測をリンクさせた軽度半側空間無視症例の自動車運転訓練シミュレータ開発

研究課題名（英文）Development of an automobile driving training simulator for patients with mild hemispatial neglect linked to eye movement measurements.

研究代表者

外川 佑（Sotokawa, Tasuku）

山形県立保健医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号：10707376

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：半側空間無視が疑われる症例の自動車運転評価は、通常の机上検査では問題が検出されにくい。また、机上検査の結果とドライビングシミュレータや実車運転評価との結果の乖離もしばしば観察される。

今回、右半球損傷患者を対象にドライビングシミュレータでの評価実施中に眼球運動の計測を行う予定であったが、機器や対象者の制約により、測定が困難であった。そこで、第二研究として、右半球損傷患者の実車運転中の視線挙動を計測したところ、運転再開に至ったグループと運転不可となったグループの間で、フィードバックを行った前後の視線挙動に差があることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

実車運転において、右半球損傷患者の視線挙動のフィードバック前後の変化は、運転再開可否で違いがあることが示されたことから、運転不可群には過剰に特定の方向に注意を向けすぎるといった特異的な視線探索戦略がある可能性が示唆された。

このことは、右半球損傷患者の自動車運転再開に向けた教育の視点として活用できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In the evaluation of automobile driving in patients with suspected hemispatial neglect, it is difficult to detect problems in the usual desk tests. In addition, discrepancies between the results of desk tests and those of driving simulators or actual driving evaluations are often observed.

In the present study, we planned to measure eye movements while conducting evaluation with a driving simulator on patients with right hemisphere injury, but due to limitations of equipment and subjects, measurement was difficult. Therefore, as a second study, we measured the eye movement behavior of patients with right hemisphere injury while driving a real car. The results showed that there were differences in eye movement behavior before and after feedback was given between the group that was able to resume driving and the group that was unable to drive.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：自動車 半側空間無視 脳卒中 ドライビングシミュレータ 運転 注意機能 実車評価 眼球運動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

USN は大脳半球病巣と反対側の刺激に対して、発見して報告したり、反応したり、その方向を向いたりすることが障害される空間性注意障害であるとされ、リハビリテーション目的で入院している脳卒中右半球損傷患者の約4割にみられるといわれている¹⁾。重度から中等度のUSN症例の自動車運転は明らかな禁忌であるが、軽度のUSN症例は病院等で実施される机上検査では一見問題が無い場合、生活の行動範囲拡大や職場復帰を目標に自動車運転再開を目指すことが多い。これまでの報告では、机上検査では一見問題が無いものの、ドライビングシミュレータや実車運転で初めて走行中の車線位置の左側偏位・左側の脱輪・左側の車両接触などの危険運転が顕在化する軽度のUSN症例の存在が示唆されている^{2,3,4)}。これらの軽度のUSN症例は現行の道路交通法では、詳細な症状の自己申告をしなければ、公安委員会の運転適性検査基準をクリアし、免許を取得できてしまう重大な問題がある。以上の背景から、申請者は軽度USN症例の運転危険性を事前予測するドライビングシミュレータを用いた評価システムを開発し、机上検査で問題がなかった症例における知見と課題を得た[2015-18年度・科研費若手(B):課題番号15K21467]。本評価システムは、現在、本田技研工業株式会社より、Honda セーフティナビの運転操作課題として実装されている。

2. 研究の目的

本研究では、上記評価システムと眼球運動データをリンクさせ、USNの神経学的背景とされている注意ネットワークの相互協働の程度をはじめとした種々の要因を計測する新たなシステムを開発することを目指す。この基盤として、評価システムを利用して軽度のUSN症例をタイプ別に分類し、各分類における訓練プログラム構築・効果検証を行い、軽度のUSN症例の安全な運転再開に向けた訓練を確立することを目指す。さらに、実車運転中の視線挙動についても分析することとした。

3. 研究の方法

(1) 対象

2019年7月1日から2021年10月31日までに研究協力機関に入院し、運転再開のためのリハビリテーションを行い、最後に運転免許センターで適性検査を受けた患者93名をリクルートした。参加者のうち、右半球損傷の男性24名、女性2名が本研究対象となった(平均年齢57.8±12.6歳)。

(2) 研究デザイン

観察的2群事前事後デザインを用いた。

(3) 方法

視線解析

実際の運転評価には、アイマークレコーダー(EMR-9; ナックイメージテクノロジー株式会社、東京)を使用した。EMR-9は、被験者の視覚の焦点位置を測定する装置を備えた視線追跡測定・解析システムである。EMR装置は、キャップ型のヘッドユニットとコントロールユニットから構成されている。視線検出には瞳孔角膜反射法を用いた。本研究では、あごやヘッドレストを使用せず、60Hzのサンプリングレートで両眼を追跡した。

(4) 測定指標

神経心理学的検査

本研究では、神経心理学的検査(Mini-Mental State Test: MMSE、Trail Making Test: TMT、Symbol Digit Modalities Test: SDMT; Kohs Block Design Test: KBDT; Rey-Osterrieth Complex Figure: ROCFT copy, and immediate recall)の結果を集積した。

実車運転評価

実際の運転評価は、研究協力機関において、補助ブレーキ付きのTOYOTA カローラフィールダーで実施した。さらに、本車両は運転評価コースで参加者の運転する車が危険に遭遇した場合、助手席の作業療法士が助手席側からブレーキ踏むことができるようになっている。カローラフィールダーに同乗した作業療法士は、公認自動車教習所での研修を受講し、臨床経験5年以上、運転評価経験50例以上の者が実施した。

本研究では、右図の施設コース内のT字交差点を用いて評価を行った。T字交差点には一時停止の標識と停止線がある。T字交差点はそのままカーブに続いており、カーブ上のガードレールには角度計算に必要な距離を測るための黒線が2m刻みで記されている。実走行評価では、T字交差点の手前40mをスタート地点として、T字交差点に向かって実車を運転し、T字交差点で右左折を行った。同乗した作業療法士は、課題開始前に右左折を指示したのみで、右左折の具体的な指示やアドバイ



スは行わなかった。視線情報の抽出は、EMR 動画を用い、停止線の先にあるカーブミラーを起点として、2m ごとの黒線を指標として行った。注視範囲は、T 字交差点の停止線で完全に停止し

$$\theta = \frac{180}{\pi} \times \arctan \left(\tan \left(\frac{\text{number of lines}}{27} \right) \right)$$

たと仮定し、以下の式で算出した。

また、左右の固視時間と固視回数を抽出した。固視時間は先行研究 (14) に従い 165msec 以上とした。正確性を期すため、1 つのデータセットを 2 人の研究者が別々に確認した後、一致するデータを抽出した。データに矛盾がある場合は、研究者が再度データを確認し、合意された値を採用した。

(5) 研究の流れ

院内で神経心理学的検査とドライビングシミュレータによる評価を行った後、施設内の運転評価コースで、被験者の視線データを測定しながら実車による評価を行った。その後、自動車教習所で実際の運転評価を行い、最後に運転免許センターで適性検査を受けた。運転適性の最終判定は適性検査で行われた。

EMR-9 のキャリブレーションは、車両に乗り込む前に各参加者に実施した。キャリブレーションは 9 点のキャリブレーションポイントを用いて行った。実車走行中の追加キャリブレーションは行わなかった。

待合室で車両に乗る前に、被験者を 60 インチの白いスクリーンまたは白い壁に対してキャリブレーションを行った。参加者がキャリブレーションされた白いスクリーンから視線をそらすと、スクリーンの面よりもずっと遠くまで視線を追跡することが可能である。精度は落ちる可能性があるが、視線の大まかな方向を白いスクリーンよりもはるかに広い範囲でわかる利点がある。キャリブレーションは、機器のキャリブレーション基準が満たされるまで繰り返された。

実験に使用したアイトラッカーは、メーカーの仕様に従い、水平方向 92°、垂直方向 69°、周波数 60Hz で計測された。

補助ブレーキ付自動車に乗車した参加者は、助手席に同乗した作業療法士から、図内 の 40m 先の T 字交差点に向かって直進し、交差点で右折または左折するよう指示された。作業療法士は被験者に右左折を指示するだけで、右左折の具体的な方法は指示しなかった。

参加者が 1 回目の T 字交差点を通過しスタート地点に戻った後、同乗した作業療法士によるフィードバックが行われ、一時停止時の左右確認の方法についての指導が行われた。その後、2 回目の T 字交差点を走行した。参加者は、1 回目と 2 回目の両方ともに EMR-9 を装着した状態で自動車を運転した。

(6) 統計解析

免許センターでの適性検査結果に基づき、右半球損傷患者を運転可能と運転不可能の 2 群に分類し、属性情報、神経心理学的検査結果、眼球運動の結果について群間で比較した。各群について、フィードバック前後の眼球運動の結果を比較した。自動車運転中の特定の方向に対する眼球運動の固視が観察されず、欠損データとなった場合、これらの欠損データは感度分析として下記 3 つの方法で分析した。

欠損値をサンプルから除外し、利用可能な値を用いて paired t-test を行った。

欠損値を 0 に置き換える単一代入法を用いて paired t-test を行った。

多重代入法として 20 の補完されたデータセットを用いて paired t-test を行い、全結果をプールして結果を統合した。

これらの分析は、両側 レベルを 0.05 に設定して行った。統計ソフトは R4.3.0 を使用した。

4 . 研究成果

合計 26 人の患者が研究への参加に同意した。これらの患者のほとんどは男性で (n=24, 92%)、平均年齢は 57.8 歳 (SD : 12.6) であった。さらに、ほとんどの患者は J-SDSA で Pass 群 (n=23, 88%) に分類された。KBDT の知能指数 (IQ) は、運転可能群の方が運転不可群より有意に高かった。

一次分析と二次分析から以下のことが示された。運転可能群に焦点を当てた一次分析では、左折時の左視野、左折時の右視野、右折時の左視野の各シーンにおける固視回数、固視時間が、フィードバック後の方がフィードバック前よりも有意に大きいことが示された (p<0.05)。欠損値補完を用いた二次分析を行った結果、運転可能群では、左折時の右視野、右折時の右視野での固視時間において、フィードバック後がフィードバック前を有意に上回った (p<0.05)。

運転不可群では、一次解析の結果、左折時の右視野での固視角度と固視回数において、フィードバック後の方がフィードバック前よりも有意に大きかった (p<0.05)。欠損値補完を用いた二次解析では、左折時右視野と右折時右視野の固視範囲と固視時間において、フィードバック後の方がフィードバック前よりも有意に大きいことが示された (p<0.05)。

運転再開群では、右左折ともに左右の視野に対する固視回数、固視時間がフィードバック後に有意に大きくなったが、運転不可群でも同様に右左折ともにフィードバック後に大きくなった固視角度、固視回数、固視時間は右視野に限定された。

以上のことから、右半球損傷患者における運転可能群と運転不可群の運転中の視線の探索戦略には差がある可能性が示唆された。

<引用文献>

- 1) 石合純夫: 失われた空間. 神経心理学コレクション, 医学書院, 東京, (2009)
- 2) 外川 佑, 村山 拓也, 佐藤 卓也, 崎村 陽子: Behavioral Inattention Test で検出されない左半側空間無視患者の自動車運転評価における特徴と運転再開に影響する要因の検討 3 症例のケースシリーズ. 作業療法 36(6): pp. 599-608 (2017)
- 3) Deouell LY, Sacher Y, Soroker N. Assessment of spatial attention after brain damage with a dynamic reaction time test. J Int Neuropsychol Soc. 2005;11(6):697-707.
- 4) Sotokawa T, Nasu S, Ikuta J, Sonohara K. Evaluation of driving fitness using driving simulators in patients with right-hemisphere damage: an unmatched case-control study. Top Stroke Rehabil. 2024;31(2):167-77.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Sotokawa Tasuku, Nasu Satonori, Ikuta Junichi, Sonohara Kazuki | 4. 巻 31 |
| 2. 論文標題 Evaluation of driving fitness using driving simulators in patients with right-hemisphere damage: an unmatched case-control study | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Topics in Stroke Rehabilitation | 6. 最初と最後の頁 167 ~ 177 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/10749357.2023.2235797 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 外川 佑 |
| 2. 発表標題 軽度の半側空間無視症例における運転行動特徴 |
| 3. 学会等名 第46回日本高次脳機能障害学会学術総会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 ~ 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 外川佑 |
| 2. 発表標題 右半球損傷患者における運転適性別の運転操作課題のパフォーマンス比較 |
| 3. 学会等名 第55回日本作業療法学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 外川佑 |
| 2. 発表標題 ドライビングシミュレータを用いたUSN軽度例のリスク検出 |
| 3. 学会等名 第45回日本高次脳機能障害学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|