

高齢ドライバーに対する危険予知トレーニングの試み

川端香*, 中島裕也**, 藤田和樹*, 佐藤万美子***, 林幸司***, 小林康孝*

Hazard Prediction Training for Older Drivers

Kaori Kawabata*, Yuya Nakajima**, Kazuki Fujita*, Mamiko Sato***,
Koji Hayashi*** and Yasutaka Kobayashi*

*福井医療大学大学院保健医療学研究科 [〒910-3190 福井市江上町 55-13-1]

**福井医療大学保健医療学部リハビリテーション学科

***福井総合病院リハビリテーション科

*Graduate School of Health Science, Fukui Health Science University

**Department of Rehabilitation, Faculty of Health Science, Fukui Health Science University

***Department of Rehabilitation Medicine, Fukui General Hospital

危険予知能力は、高齢ドライバーの衝突リスクを決定する重要な要因である。本研究の目的は、高齢ドライバーを対象とし、危険予知トレーニング前後の視線運動を比較検討することである。日常的に運転をしている健康高齢者を対象に、約2週間、自宅にて簡易的な危険予知トレーニングを実施した。トレーニング前後に、アイトラッカーを用いて運転動画視聴時の視線測定を実施した。運転動画視聴時の注視座標及び注視回数、ハザード領域の累積注視時間及び訪問回数の変化について統計学的に比較検討した。その結果、介入群において、水平方向への注視範囲を維持しつつ、垂直方向、特に車両から離れた場所に注視範囲が拡大した。しかしながら、運転動画視聴時の注視回数、ハザード領域の累積注視時間及び訪問回数には変化が見られなかった。本研究で用いた危険予知トレーニング方法は、高齢ドライバーの注視範囲を拡大する上で有効であったが、ハザード検出に十分な効果が得られなかった。

Key Words: 高齢ドライバー (older driver), アイトラッカー (eye tracker), 危険予知トレーニング (hazard prediction training)

1. 緒言

警視庁の報告¹⁾によると、我が国の年間の交通事故発生件数は、この10年間で、約42,000件から約30,000件まで大幅に減少しているものの、事故全体に占める高齢ドライバーの事故割合は、15.1%~18.1%で推移し、明らかな減少を認めない。高齢ドライバーの交通事故発生状況¹⁾を見ると、違反では安全不確認(34.7%)が最も多く、人的要因では発見の遅れ(80.6%)が圧倒的に多い。高齢ドライバーの交通事故傾向を受け、高齢ドライバーに対する免許政策が厳しくなっており、運転免許の自主返納を促すような動きがある。しかしながら、特に自動車依存地域において自動車は生活において必要不可欠であり、高齢化や過疎化が進む中、自動車運転の可否は高齢者の生活維

持にとって切実な問題である。高齢者が運転をやめると社会参加の低下、うつ症状、認知機能低下、介護施設入所と死亡リスクの増加など、健康に影響を与えることが指摘されている²⁻⁷⁾。運転を継続することで予防できる健康や社会生活を考慮すれば、高齢ドライバーがより安全に運転を継続する取り組みが必要である。

高齢ドライバーの衝突リスクを決定する重要な要因として、危険予知能力が挙げられる⁸⁾。Horswill & McKenna (2004)⁹⁾によると、危険予知能力は道路上の潜在的に危険な状況を予測する個人の能力として定義され、危険予知能力は運転経験と共に発達し、トレーニングによって改善される¹⁰⁾。若年ドライバーを対象とした危険予知トレーニン

グの効果に関する研究にて、反応時間の短縮¹¹⁾、危険箇所の注視頻度の増加¹²⁾、ドライビングシミュレーターにおける衝突事故の減少¹³⁻¹⁵⁾が報告されている。一方、高齢ドライバーは、十分な運転歴を有しており、危険予知に関して経験不足が障害になることはない¹⁶⁾。65歳以上の高齢者は処理速度や状況認識を含む認知機能の低下に伴い、経験が神経変性を補うことが困難となり、運転時の危険予知が低下する可能性が指摘されている^{17,18)}。高齢ドライバーを対象とした運転スキルに関するトレーニング効果に関して、Roenkerら(2003)¹⁹⁾やEdwardsら(2009)²⁰⁾は、有効視野トレーニングが、高齢者の運転の安全性を高め、運転中止を遅らせる可能性があることを指摘している。しかしながら、危険予知トレーニングの効果について検証した報告はない。ドライビングシミュレーターや有効視野測定機器などのトレーニング環境が整備されている施設はごく限られており、高齢ドライバーが、指定された施設に頻繁に通うことは容易ではない。加えて、Romoserら(2009)²¹⁾は、高齢ドライバーのトレーニング方法について、受動的な教育的トレーニングでなく、フィードバックを伴う能動的学習が有効であると述べている。

これらを踏まえ、本研究では、自宅にて、簡易かつ能動的に実施できる危険予知トレーニングを行うこととした。本研究の目的は、高齢ドライバーを対象とし、危険予知トレーニング前後の視線運動を比較検討することである。本研究は、今後、高齢ドライバーに対する危険予知トレーニングの効果を検証していくための予備的研究として位置付ける。

2. 対象と方法

2・1 運転動画の作成

筆者が市街地及び住宅地を走行し、ドライブレコーダーを用いて運転映像を記録した。記録された映像の中から、危険予知や注意を必要とする箇所を抽出・編集し、運転動画を作成した。完成した運転動画は計10シーンで構成され、各シーンは、進行方向を提示した動画(10秒)、運転映像(25秒)、休憩用の無地の映像(5秒)の計40秒とした。運転映像には、交差点侵入、交差点右左折、進入車や対向車への配慮を

要する場面、歩行者・自転車がいる場面等が含まれていた。

2・2 ハザード領域の選定

ハザードとは「個々の道路利用者が危害を受ける可能性をもたらすあらゆる物体、状況、事象、またはこれらの組み合わせ」を指す²²⁾。運転動画の中のハザード領域を関心領域(Area of Interest; AOI)として選定した。本研究におけるAOIとは、「運転時に危険が潜んでいる可能性があり、注視する必要がある箇所」と定義した。

危険予知能力が高いとされる中年ドライバー²²⁾で、過去3年間において無事故・無違反の優良ドライバー10名(平均年齢41.6±4.6歳、平均運転歴22.6±4.7年)を対象とし、作成した運転動画を視聴し、運転時に注視する場面を指摘するよう求めた。参加者には「自分が運転しているつもりで見ることを伝えた上で、「運転時に危険が潜んでいる可能性があり、注視する必要がある箇所は随時動画を止めて口頭で説明してください」と指示を与えた。運転動画の視聴にはノートパソコン(Inspiron 16 7610, DELL社)を用いた。記録データをもとに、10名中8名以上が指摘した箇所をAOIとして設定した。AOIは、各シーンにつき1~5か所設定され、合計28か所設定された。AOIの区間は、ハザードが、画面上最初に見えた瞬間から、車両がハザードを通過するまでの時間間隔と定義した。

2・3 対象

対象は、ある自動車依存地域に在住し、日常的に運転をしている健常高齢者18名とした。全員、正常な視力あるいは矯正視力であった。除外基準は、運転歴が1年未満である、認知機能低下(Mini-Mental State Examination; MMSEが23点以下)、神経疾患の既往がある者とした。本研究は、新田塚医療福祉センター倫理審査委員会の承認を得て実施された(新倫2022-26号)。全対象者に、書面及び口頭にて本研究の目的および方法を説明し、同意書に自記による署名を得た。

研究デザインは、性別、年齢、運転歴などの背景をマッチングさせた比較研究とした。



図1 実験環境 (a) 及び視線移動の様子 (b)

実験環境 (a) の A の画面に視線移動の様子 (b) が表示される。
赤丸が注視，赤線が移動を示す。

2・4 調査項目

全対象者に，運転頻度，運転時間，交通違反及び交通事故歴，運転に対する自信度をアンケートにて聴取した．運転に対する自信度は，

Visual Analogue Scale (VAS) を用いて評価した．

加えて，認知機能及び注意機能検査として，MMSE，Trail Making Test Part A (TMT-A)，Trail Making Test Part B (TMT-B)，Symbol Digit Modalities Test (SDMT) を実施した．

2・5 運転動画視聴時の視線測定

運転動画は，視線解析装置と同期された 23.8 インチモニター (1920×1080 pixels) に提示した．本研究に用いた視線解析装置は，アイトラッカー (トビーテクノロジー社製，スクリーンベース型，Tobii Pro Spectrum 60Hz) で計測した．アイトラッカーは，近赤外 LED とアイトラッキングカメラを用いて，開眼時の瞳孔の位置によって眼球の存在を検出し，視線の位置を計測することができる．生体計測・解析ソフトウェア (トビーテクノロジー社製，Tobii Pro Lab) にて視線測定データの解析を実施した．画面と眼球距離は約 60 cm とし，キャリブレーションを 9 点行い，角速度 $30^\circ/\text{s}$ 以下を注視，それ以上を移動 (サッケード) と定義した．対象者はディスプレイ前に座り，椅子座位にて参加者の眼球がモニターの中央に位置するように，モニターの高さを調整した．椅子の座面の高さは 43 センチに統一した．対象者には，「自分が運転しているつもりで運転動画を視聴する」よう指示し

た．実験環境を図 1a に示す．アイトラッカー計測者のみ A の画面を見ることができ，A の画面には図 1b のように対象者の視線移動の様子が表示される．

2・6 介入方法

単盲検法を用いて介入群と非介入群に分けた．介入群に対してのみ危険予知トレーニングを実施した．危険予知トレーニング用の DVD (本田技研工業株式会社) を用いた．DVD には交差点，通学路，交通量の多い道路，歩行者や他車に配慮を要する場面，スーパーの駐車場などの道路状況が含まれており，現実的な道路状況を想定した場面設定がされている．自宅にて，約 2 週間にわたり，適度な頻度で 3 回以上繰り返し実施してもらった．DVD 再生にはノートパソコンを使用し，パソコン及びマウス操作が確実に行えるように，必要に応じて操作サポートや確認を行った．

トレーニング内容は，ある交通状況を表した動画で提示され，“注意が必要な箇所”を探すように指示される．クイズ形式となっており，正解すると，具体的なフィードバック内容が提示され，次の動画に進めるようになっている．計 25 種類の動画から構成され，トレーニング時間は約 30 分である．

尚，非介入群には，特に指示を与えず日常生活を送ってもらった．介入後 (非介入群は約 2 週間後) に，再度，運転動画視聴時の視線測定を実施した．実験手順を図 2 に示す．

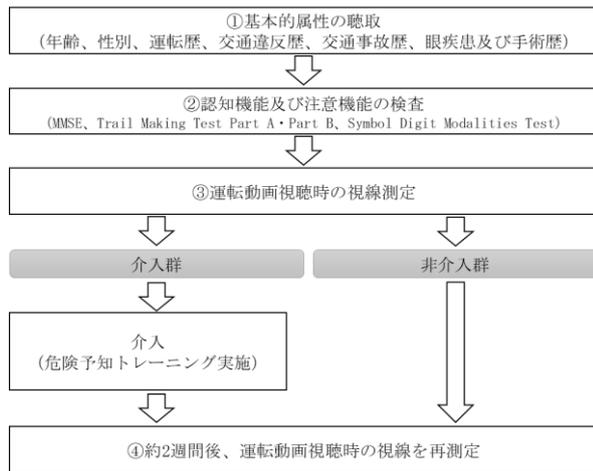


図2 実験手順

2・7 分析

2・7・1 視線測定データの信頼性

運転動画の各シーンは、進行方向を提示した動画（10 秒）、運転映像（25 秒）、休憩用の無地の映像（5 秒）の計 40 秒で構成されたが、運転映像（25 秒）のみを分析対象とした。

アイトラッカーによって検出された眼球の位置や運動が、サンプリングデータとして全て記録され、瞬き、眼瞼下垂、その他の何らかの理由によって眼球が検出されない場合は、Invalidity（無効）と表示される。60Hz で測定した場合、運転映像視聴時（25 秒間）のサンプリングデータ数は 1500（60Hz×25 秒）である。本研究では、左右の眼球がいずれも Invalidity と表示されたデータ数をサンプリングデータ数で除することで無効割合を算出した。サンプリングデータ数 1500 のうち、Invalidity と表示され

たデータ数が 150 の場合、無効割合は 10%となる。無効割合が多い場合は、欠損データが多く含まれるが、データの信頼性を確保するための基準値は定められていない²³⁾。本研究と同じ社製の視線解析装置を用いた先行研究において、欠損データの処理方法について明記しているものではなく²⁴⁻²⁹⁾、標準化された処理方法はなく、状況に応じて対応している²³⁾。本研究では、全参加者の視線測定データより、眼球検出の無効割合を算出した結果、平均 10.5%（標準偏差；SD=14.3%）であった。平均+2SD である 39.1%を基準値とし、基準値以上の無効割合を示した参加者 2 名を分析対象から除外した。加えて、運転動画計 10 シーンにおいて、基準値以上の無効割合を示す参加者が含まれた 4 シーンを分析対象から除外した。

最終的な分析対象者は、介入群 8 名、非介入群 8 名であった。介入群／非介入群の無効割合の中央値（四分位範囲）は、介入前 5.1（3.5-7.2）／7.4（5.1-11.3）%、介入後 5.0（3.5-7.3）／5.9（4.8-8.1）%であり、いずれも両群に有意差は認められなかった。各群の背景情報を表 1 に示す。

分析対象シーンは計 6 シーン、AOI は 17 か所で、各 AOI の交通状況を表 2 に示す。そのうち、注視したドライバーの割合が 50.0%以上の AOI を分析対象とした。3 か所の AOI（7,9,17）に関しては、注視したドライバーの割合が 50.0%未満であったため、ハザード領域として認識されていない可能性が高いと判断し、分析対象から除外した。

	介入群 (n=8)	非介入群 (n=8)
男性/女性 (名)	1/7	2/6
年齢 (歳)	73.5 (71.8 - 75.5)	73.0 (70.8 - 77.5)
運転歴 (年)	49.0 (44.8 - 57.5)	47.5 (40.0 - 52.0)
裸眼/コンタクトレンズ/眼鏡 (名)	5/1/2	7/0/1
眼手術歴の有/無 (名)	2/6	1/7
中央値 (四分位範囲)		

表1 各群の背景情報

AOI 交通状況（注視したドライバーの割合）	
1	前方車のブレーキランプと左ウインカーが点灯している (93.7%)
2	歩道に歩行者がいる (50.0%)
3	左前方の駐車場から車が出ようとしている (68.7%)
4	横断歩道がある (100.0%)
5	前方に信号がある (50.0%)
6	右折する際、対向車が来ている (100.0%)
7*	左側道から車が侵入しようとしている (18.7%)
8	自転車が車道を走行している (81.2%)
9*	前方に信号がある (18.7%)
10	横断歩道がある (93.7%)
11	左側に車が停車している (75.0%)
12	左前方の車が動こうとしている (93.7%)

13	前方に停車中の車の助手席のドアが開いている (93.7%)
14	左前方から複数の歩行者が歩いて来る (93.7%)
15	右前方に複数の歩行者がいる (50.0%)
16	右側から車が左折しようとしている (62.5%)
17*	信号のない T 字路にカーブミラーがある (12.5%)

ハザード領域を赤枠で示す。

*：全ドライバーの半数以上が注視していなかったため、分析対象から除外した。

表2 各 AOI の交通状況

2・7・2 統計解析

各群の基本的属性、認知機能及び注意機能について、フィッシャーの正確確率検定及びマンホイットニーの U 検定を用いて比較検討した。次に、危険予知トレーニングによる変化を検証するために、各群の介入前後の視線測定データについて、被験者間要因（群）×被験者内要因（前後）の重複測定－二元配置分散分析を用いて比較検討した。交互作用を認めた場合、一元配置分散分析及び多重比較検定（Bonferroni法）を実施した³⁰⁾。尚、統計ソフト EZR³¹⁾及び Excel 統計 Statcel4 を使い、いずれも有意水準 5% とした。効果量の指標³²⁾は η^2 とし、全体平方和と各要因の平方和、あるいは群間の平方和を用いて算出した。視線測定データは以下のパラメーターについて比較検討した。

a) 運転動画視聴時の注視座標 (X,Y) (図3)

モニターの左上を原点 (0,0)、右下を (1920,1080) とする。水平方向を X 軸、垂直方向を Y 軸で示す。運転動画の各シーンの平均値、

最大値、最小値、最大値と最小値の差（以下、範囲）を算出し、計6シーンの各値を加算平均した。通常、ハザードが出現する場所やタイミングは様々であり、ドライバーは道路状況を網羅的に注視する必要がある。加算平均することで、特定の道路状況に限定されない全般的な注視座標を把握することとした。

X座標の最大値は最右端、最小値は最左端、範囲は水平方向における注視範囲を示す。Y座標の最大値は最下端、最小値は最上端、範囲は、垂直方向における注視範囲を示す。

尚、運転動画以外を注視している場合の座標は全て除外している。

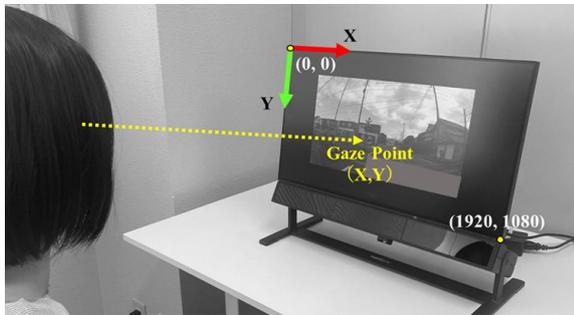


図3 注視座標 (Gaze point)

b) 運転動画視聴時の注視回数

各シーンの運転動画視聴時（25秒）の注視回数である。視線移動が多いほど注視回数が増加する。

c) 各AOIの累積注視時間

AOIを注視している時間の総合計である。ハザードが表れている時間に依存するため、各AOI区間時間で正規化した³³⁾。例えば、5.0秒間のAOI区間時間において、累積注視時間が1.5秒であった場合、正規化累積注視時間は30.0%となる。

d) 各AOIを訪れた回数

AOIを離れた後に再訪問する回数である。

b)で算出された注視回数で割ることで正規化した¹⁰⁾。例えば、b)の注視回数が50回であり、AOIを訪れた回数が5回であった場合、正規化訪問回数は10.0%となる。

3. 結果

3・1 基本的属性

運転頻度、運転時間、交通違反及び交通事故歴、運転に対する自信度は、いずれも2群間に有意差は認められなかった（表3）。

3・2 各群の認知機能及び注意機能

MMSEの点数、TMT-A所要時間、TMT-B所要時間、SDMT達成率において、いずれも2群間に有意差は認められなかった（表4）。

3・3 危険予知トレーニング前後の変化

結果の値を中央値（四分位範囲）で示す。本研究の目的は、各群の危険予知トレーニング前後の視線運動を比較検討することであるため、多重比較検定の結果に関しては、各群の介入前と介入後の比較結果のみを示す。便宜上、介入群、非介入群共に「介入前」「介入後」の表現を用いることとする。

a) 運転動画視聴時の注視座標 (X,Y)

X座標の平均値、最大値、最小値、範囲は、いずれも交互作用、群及び前後の主効果は認められなかった。X座標の交互作用の結果を表5に示す。

Y座標の最小値において交互作用を認めた ($F=4.621, p=0.049, \eta^2=0.05$)。多重比較検定の結果を介入前/介入後で示す。介入群 469.5 (429.4 - 530.8) / 408.0 (366.8 - 456.5) pixels, 非介入群 487.0 (440.6 - 534.9) / 476.7 (456.6 - 509.5) pixels であり、両群共に有意差は認められなかった ($p=0.117, \eta^2=0.18$)。また、Y座標の範囲においても交互作用を認めた ($F=5.039, p=0.041, \eta^2=0.14$)。多重比較検定にて、介入群 410.2 (379.4 - 464.7) / 457.2 (439.3 - 584.5), 非介入群 533.0 (460.5 - 584.3) / 454.0 (419.9 - 493.2) pixels であり、両群共に有意差は認められなかった ($p=0.195, \eta^2=0.15$)。Y座標の交互作用の結果を表6、交互作用を認めたY座標の最小値と範囲の変化を図4に示す。尚、Y座標の平均値、最大値は、いずれも交互作用、群及び前後の主効果は認められなかった。

	介入群 (n=8)	非介入群 (n=8)	p値
運転頻度 (回/週)	7.0 (4.5-7.0)	5.5 (2.8-7.0)	0.563
運転時間 (分/日)	60.0 (37.5-60.0)	35.0 (30.0-60.0)	0.400
交通違反歴の有/無 (名)	1/7	2/6	0.521
交通事故歴の有/無 (名)	1/7	1/7	1.000
運転に対する自信度 (VAS)	5.8 (5.0-7.1)	5.2 (4.9-7.4)	0.958

中央値 (四分位範囲)

VAS; Visual Analogue Scale

フィッシャーの正確確率検定及びマンホイットニーのU検定

表3 各群の基本的属性

	介入群 (n=8)	非介入群 (n=8)	p値
MMSE (点)	29.0 (29.0-30.0)	28.5 (27.0-29.3)	0.293
TMT-A (秒)	47.6 (37.1-65.7)	46.6 (45.2-58.1)	0.599
TMT-B (秒)	89.3 (75.5-116.6)	86.8 (75.8-110.0)	0.833
SDMT達成率 (%)	36.4 (33.4-42.5)	38.7 (35.3-44.8)	0.636

中央値 (四分位範囲)

MMSE; Mini-Mental State Examination, TMT-A; Trail Making Test Part A, TMT-B; Trail Making Test Part B,

SDMT; Symbol Digit Modalities Test

マンホイットニーのU検定

表4 各群の認知機能及び注意機能

b) 運転動画視聴時の注視回数

6 シーン全てにおいて、交互作用は認められなかった。交互作用の結果を表7に示す。

1 シーンにおいて、群の主効果を認め ($F=5.054$, $p=0.041$, $\eta^2=0.21$) , 介入群 71.5 (60.8 - 78.0) 回, 非介入群 56.5 (54.0 - 65.0) 回であり, 介入群の注視回数が有意に多かった。更に, 1 シーンにおいて, 前後の主効果を認め ($F=7.400$, $p=0.016$, $\eta^2=0.06$) , 介入前 48.5 (43.8 - 55.8) 回, 介入後 53.5 (41.8 - 59.8) 回であり, 介入後の注視回数が有意に多かった。

c) 各 AOI の累積注視時間

分析対象とした 14 か所の AOI すべてにおいて, 交互作用及び前後の主効果は認められなかった。交互作用の結果を表8に示す。

AOI 11 において, 群の主効果を認めた ($F=5.223$, $p=0.038$, $\eta^2=0.10$) 。 AOI 11 は, 左側に車が停車している道路状況を示しており,

介入群 6.7 (0.0 - 9.8) % , 非介入群 9.1 (2.1 - 19.8) % であり, 介入群の累積注視時間が有意に短かった。

d) 各 AOI を訪れた回数

分析対象とした 14 か所の AOI すべてにおいて, 交互作用は認められなかった。交互作用の結果を表9に示す。

AOI 4 において, 群の主効果を認めた ($F=6.578$, $p=0.022$, $\eta^2=0.20$) 。 AOI 4 は, 前方に横断歩道がある道路状況を示しており, 介入群 3.4 (2.2 - 6.5) % , 非介入群 7.6 (5.1 - 8.7) % であり, 介入群の訪問回数が有意に少なかった。 AOI 14 において, 前後の主効果を認めた ($F=5.018$, $p=0.041$, $\eta^2=0.15$) 。 AOI 14 は, 左前方から複数の歩行者が歩いて来る道路状況を示しており, 介入前 6.1 (3.8 - 8.2) % , 介入後 4.0 (1.7 - 5.1) % であり, 介入後の訪問回数が有意に少なかった。

	交互作用				p値/効果量
	介入群・前	介入群・後	非介入群・前	非介入群・後	
平均値 (pixels)	1026.7 (1022.0-1033.6)	1030.7 (999.7-1033.3)	1036.9 (1023.9-1042.8)	1036.9 (1023.9-1044.6)	0.185/0.01
最大値 (pixels)	1443.6 (1377.7-1531.5)	1433.0 (1404.8-1447.2)	1364.7 (1348.6-1425.2)	1418.7 (1400.6-1443.3)	0.131/0.06
最小値 (pixels)	592.1 (481.2-681.9)	612.8 (536.8-667.7)	625.7 (529.7-658.7)	577.3 (522.3-631.4)	0.312/<0.01
範囲 (pixels)	851.7 (724.0-993.9)	828.8 (759.8-862.8)	790.9 (694.0-866.6)	858.5 (794.1-894.7)	0.168/0.03

中央値（四分位範囲）

重複測定- 二元配置分散分析：被験者間要因（群）× 被験者内要因（前後）

効果量（η²）の目安：>0.01；小，>0.06；中，>0.14；大

表5 運転動画視聴時の注視座標 (X)

	交互作用				p値/効果量
	介入群・前	介入群・後	非介入群・前	非介入群・後	
平均値 (pixels)	635.1 (609.6-650.7)	618.1 (595.8-637.7)	631.7 (622.1-669.9)	631.7 (622.1-674.2)	0.063/0.03
最大値 (pixels)	896.1 (875.8-933.4)	918.9 (872.5-976.6)	1004.3 (940.5-1047.4)	960.2 (839.0-995.7)	0.089/0.05
最小値 (pixels)	469.5 (429.4-530.8)	408.0 (366.8-456.5)	487.0 (440.6-534.9)	476.7 (456.6-509.5)	0.049/0.05
範囲 (pixels)	410.2 (379.4-464.7)	457.2 (439.3-584.5)	533.0 (460.5-584.3)	454.0 (419.9-493.2)	0.041/0.14

中央値（四分位範囲）

重複測定- 二元配置分散分析：被験者間要因（群）× 被験者内要因（前後）

効果量（η²）の目安：>0.01；小，>0.06；中，>0.14；大

表6 運転動画視聴時の注視座標 (Y)

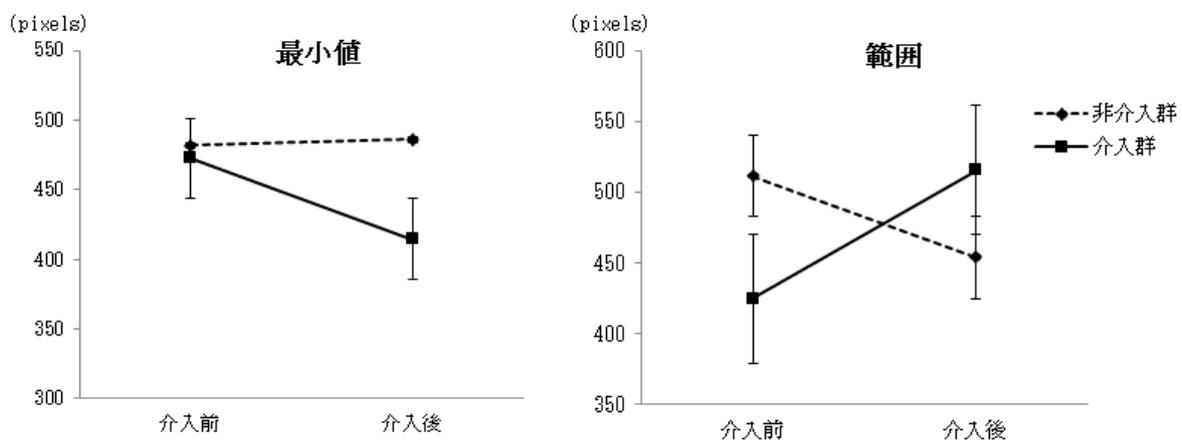


図4 危険予知トレーニング前後の変化：注視座標 (Y)

	交互作用				p値/効果量
	介入群・前	介入群・後	非介入群・前	非介入群・後	
シーン1 (回)	500 (39.7 - 66.5)	55.0 (45.2 - 69.0)	46.5 (38.0 - 49.0)	45.0 (32.2 - 52.0)	0.636/<0.01
シーン2 (回)	72.0 (59.2 - 78.0)	68.5 (62.5 - 76.5)	55.0 (53.5 - 65.0)	59.5 (55.7 - 64.2)	0.540/<0.01
シーン3 (回)	63.5 (49.0 - 70.0)	66.5 (63.0 - 69.7)	52.0 (48.7 - 53.2)	52.5 (46.0 - 63.2)	0.427/0.01
シーン4 (回)	51.0 (47.7 - 61.2)	53.5 (44.7 - 67.0)	46.5 (39.7 - 50.2)	53.5 (41.5 - 57.5)	0.881/<0.01
シーン5 (回)	70.0 (61.5 - 75.2)	62.5 (56.5 - 75.5)	61.5 (57.0 - 65.5)	64.0 (56.7 - 75.7)	0.206/0.02
シーン6 (回)	59.0 (48.5 - 66.5)	58.5 (55.5 - 70.5)	60.5 (54.5 - 61.5)	61.5 (53.5 - 69.2)	0.835/<0.01

中央値（四分位範囲）

重複測定- 二元配置分散分析：被験者間要因（群）× 被験者内要因（前後）

効果量（ η^2 ）の目安：>0.01；小，>0.06；中，>0.14；大

表7 運転動画視聴時の注視回数

	交互作用				p値/効果量
	介入群・前	介入群・後	非介入群・前	非介入群・後	
AOI1 (%)	499 (22.0 - 79.4)	53.5 (22.6 - 62.7)	76.0 (66.1 - 89.2)	69.9 (61.9 - 82.9)	0.630/<0.01
AOI2 (%)	2.5 (0.0 - 7.1)	0.0 (0.0 - 0.0)	0.1 (0.0 - 1.7)	0.3 (0.0 - 1.3)	0.104/0.08
AOI3 (%)	7.3 (0.0 - 29.2)	0.0 (0.0 - 16.2)	12.1 (3.2 - 23.6)	7.0 (3.4 - 19.1)	0.865/<0.01
AOI4 (%)	20.7 (5.3 - 38.0)	17.3 (6.7 - 41.3)	23.2 (18.7 - 36.2)	37.5 (25.9 - 46.7)	0.170/0.01
AOI5 (%)	0.8 (0.0 - 4.5)	0.0 (0.0 - 0.1)	3.4 (0.0 - 9.7)	2.2 (0.0 - 9.6)	0.427/<0.01
AOI6 (%)	43.8 (26.9 - 59.4)	38.0 (28.9 - 46.6)	43.8 (25.2 - 50.4)	42.7 (29.1 - 57.5)	0.333/0.01
AOI8 (%)	16.3 (1.4 - 24.9)	10.1 (0.0 - 19.9)	8.3 (4.5 - 13.1)	16.4 (5.5 - 24.1)	0.067/0.03
AOI10 (%)	21.6 (11.6 - 28.7)	10.4 (6.5 - 15.2)	12.0 (6.7 - 19.7)	14.5 (11.5 - 19.3)	0.116/0.10
AOI11 (%)	9.3 (0.0 - 10.3)	5.6 (1.4 - 7.5)	14.3 (7.0 - 28.9)	5.8 (0.4 - 9.4)	0.322/0.03
AOI12 (%)	18.8 (10.4 - 31.8)	6.5 (0.8 - 24.8)	19.9 (10.3 - 28.5)	13.0 (6.7 - 32.6)	0.490/0.01
AOI13 (%)	29.7 (19.3 - 38.4)	15.0 (6.7 - 38.9)	31.9 (18.5 - 43.5)	34.2 (16.0 - 40.1)	0.588/<0.01
AOI14 (%)	34.5 (21.3 - 39.3)	4.7 (0.0 - 24.9)	23.0 (9.8 - 35.1)	21.6 (16.6 - 27.0)	0.149/0.07
AOI15 (%)	1.0 (0.0 - 6.0)	1.5 (0.0 - 24.9)	0.9 (0.0 - 4.4)	6.3 (1.9 - 9.0)	0.557/0.01

AOI 16 (%)	123 (42- 31.0)	336 (00- 35.1)	259 (00 - 50.7)	198 (4.4- 37.4)	0.413/<0.01
------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	-------------

中央値（四分位範囲）

重複測定- 二元配置分散分析：被験者間要因（群）× 被験者内要因（前後）

効果量（η²）の目安：>0.01；小，>0.06；中，>0.14；大

表8 各AOIの累積注視時間

	交互作用				p値/効果量
	介入群・前	介入群・後	非介入群・前	非介入群・後	
AOI 1 (%)	55 (28-60)	57 (3.1-7.6)	86 (6.6-9.0)	81 (4.7-12.5)	0.928/<0.01
AOI 2 (%)	22 (0.0-2.9)	00 (0.0-0.0)	10 (0.0-2.2)	08 (0.0-2.1)	0.152/0.07
AOI 3 (%)	25 (0.0-3.3)	00 (0.0-2.7)	41 (1.1-4.7)	27 (1.4-3.6)	0.797/<0.01
AOI 4 (%)	34 (2.8-6.0)	33 (1.0-7.8)	76 (6.3-8.3)	64 (3.8-9.6)	0.792/<0.01
AOI 5 (%)	06 (0.0-1.4)	00 (0.0-0.3)	14 (0.0-4.1)	13 (0.0-4.5)	0.588/<0.01
AOI 6 (%)	99 (6.5-11.6)	92 (6.9-9.9)	94 (8.5-11.5)	81 (7.0-10.7)	0.870/<0.01
AOI 8 (%)	78 (4.1-11.1)	74 (0.0-8.1)	67 (3.9-10.8)	65 (4.1-13.7)	0.172/0.02
AOI 10 (%)	23 (1.5-7.2)	33 (2.3-4.0)	18 (1.6-3.0)	34 (2.4-3.6)	0.531/0.01
AOI 11 (%)	24 (0.0-3.8)	15 (0.9-2.1)	40 (2.2-6.9)	29 (1.6-3.9)	0.445/0.01
AOI 12 (%)	74 (3.2-8.6)	63 (1.0-10.7)	67 (5.7-7.2)	50 (2.5-7.5)	0.716/<0.01
AOI 13 (%)	78 (5.8-11.2)	64 (2.5-9.3)	102 (7.2-11.9)	78 (4.9-10.6)	0.929/<0.01
AOI 14 (%)	68 (4.3-9.3)	22 (0.0-4.9)	54 (3.5-6.9)	45 (3.1-5.2)	0.278/0.03
AOI 15 (%)	1.1 (0.0-3.1)	1.2 (0.0-1.9)	0.7 (0.0-1.6)	2.5 (1.6-3.6)	0.454/0.02
AOI 16 (%)	20 (1.1-2.3)	21 (0.0-3.1)	16 (0.0-2.1)	16 (1.1-2.0)	0.997/<0.01

中央値（四分位範囲）

重複測定- 二元配置分散分析：被験者間要因（群）× 被験者内要因（前後）

効果量（η²）の目安：>0.01；小，>0.06；中，>0.14；大

表9 各AOIを訪れた回数

4. 考察

ある自動車依存地域に在住し、日常的に運転をしている高齢者を対象とし、視線視線解析装置を用いて、危険予知トレーニング前後の視線運動を比較検討した。本研究では、高齢ドライバーが、

自宅にて簡易的かつ能動的に実施できるよう、危険予知トレーニング用DVDを用いることとした。DVDは、現実的な道路状況を想定した場面設定がされており、作成した運転動画と類似した場面であると考えられ、トレーニングに伴う変化が反映されやすいものと考えられる。

視線解析の結果、運転動画視聴時の Y 座標の最小値と範囲において交互作用を認めた。多重比較検定にて有意差を認めなかったものの、図 4 に示すように、非介入群は、最小値の変化が見られず、範囲が狭小したが、介入群は、最小値が減少し、範囲が拡大する傾向を示した。Y 座標最小値の減少は、注視座標の垂直方向において上方への変位を示し、車両から離れた場所を注視していると言える。さらに、Y 座標範囲の拡大は、垂直方向における注視範囲の拡大を示す。つまり、危険予知トレーニングによって、車両から離れた交通環境を注視するようになり、結果として垂直方向の最大注視範囲の拡大に繋がったのではないかと考えられる。X 座標に関しては交互作用が認められなかったことから、危険予知トレーニングによって、水平方向の注視範囲は変化しなかったものと考えられる。

運転動画視聴時の注視回数、各 AOI の累積注視時間、各 AOI を訪れた回数に関しては、いずれも交互作用が認められなかった。一部、群の主効果や前後の主効果を認めたものの、群の特性や学習効果によるものと考えられる。

危険予知が劣っているドライバーは、垂直方向に沿って探索したり、車両に近い道路に注意が集中しやすい^{34,35)}。一方、危険予知の優れたドライバーは、効率的なスキャンパターンを示し、累積注視時間が短く^{21,36,37)}、ハザード領域の注視回数が多い¹⁵⁾。今回、介入群において、水平方向への注視範囲を維持しつつ、垂直方向、特に車両から離れた場所に注視範囲が拡大したことは、ハザードの早期発見に繋がると期待できる。しかしながら、注視範囲が拡大したものの、運転動画視聴時の注視回数や、ハザード領域の累積注視時間及び訪問回数に変化が見られなかったことから、非効率的なスキャンパターンを示した可能性が懸念される。Scott-parker¹⁸⁾ は、高齢ドライバーは、運転環境内に存在する危険や他人の行動に注目せず、あまり危険でない刺激に注目すると報告し、高齢ドライバーの注意散漫さを指摘している。高齢ドライバーに対する危険予知トレーニングにおいては、注意散漫さを助長せず、的確にハザードを検出できるようにすることが肝要であると考えられる。

本研究の結果、多くの視線測定パラメーターに交互作用を認めなかったことから、ハザード検出に十分な効果が得られなかったものと考えられる。

我々が実施した危険予知トレーニング方法は、危険予知能力向上に有効であるとは言い難く、今後、高齢ドライバーの危険予知能力を向上させるトレーニング方法を検討することが必要である。また、安全な運転を継続するためには、人的要因に対する介入だけではなく、危険発見をサポートするような車両改良の導入など物的要因の側面から検討していくことも必要なのではないかと思われる。

5. 限界点

サンプルサイズが明らかに小さく、統計学的有意性の検出力が低いため、対象者を増やし検討する必要がある。また、視線測定において欠損データが多い参加者を除外する際、全参加者の無効割合の平均値と標準偏差を元に除外基準値を 39.1% 以上としたが、許容範囲が大きい可能性が懸念される。欠損データの基準は標準化されていないため、欠損データの扱い方については十分検討する必要があるものと思われる。

本研究で用いた視線解析装置を 60Hz で設定したため、サッケードについて検討することができなかった。今後はサッケードに関する指標についても検討する必要がある。

6. 結語

高齢ドライバーを対象とし、危険予知トレーニング前後の視線運動を比較検討した。高齢ドライバーの注視範囲を拡大する上で有効であったが、注視時間や注視回数は変化が見られず、ハザード検出に十分な効果が得られなかった。高齢ドライバーが的確にハザードを検出できるような危険予知トレーニング方法を検討することが必要である。

利益相反

本研究は、一般社団法人日本損害保険協会 2022 年度交通事故医療一般研究助成を受けて行われた。

謝 辞

視線解析の過程で多大なるご助言を下された株式会社トビーテクノロジーの担当者様に深謝の意を表します。加えて、データ収集にご協力くださった福井医療大学リハビリテーション学科作業療法学専攻学生の谷口真帆さん、塩見智佳さん、奥村明音さん、久永千夏さんに深く感謝申し上げます。

文献

- 1) 防ごう！高齢者の交通事故！，高齢運転者の交通事故発生状況，警視庁，Available from URL:<https://www.keishicho.metro.tokyo.lg.jp/kotsu/jikoboshi/koreisha/koreijiko.html#cmsC45AD> (2023年5月29日引用)
- 2) Chihuri S, Mielenz TJ, DiMaggio CJ, et al: Driving cessation and health outcomes in older adults. *J Am Geriatr Soc* 2016; 64: 332–341
- 3) Marottoli RA, Mendes de Leon CF, Glass TA, et al: Consequences of driving cessation: decreased out-of-home activity levels. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 2000; 55: S334–S340
- 4) Marottoli RA, Mendes de Leon CF, Glass TA, et al: Driving cessation and increased depressive symptoms: prospective evidence from the New Haven EPESE. Established Populations for Epidemiologic Studies of the Elderly. *J Am Geriatr Soc* 1997; 45: 202–206
- 5) Windsor TD, Anstey KJ, Butterworth P, et al: The role of perceived control in explaining depressive symptoms associated with driving cessation in a longitudinal study. *The Gerontologist* 2007; 2: 215–223
- 6) Freeman EE, Gange SJ, Munoz B, et al: Driving status and risk of entry into long-term care in older adults. *Am J Public Health* 2006; 96(7): 1254–1259
- 7) Edwards JD, Perkins M, Ross LA, et al: Driving status and three-year mortality among community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2009; 64A: 300–305
- 8) Watzke J & Smith DBD: Concern for and knowledge of safety hazards among older people—Implications for research and prevention. *Experimental Aging Research* 1994; 20(3): 177–188
- 9) Horswill MS & McKenna FP: Drivers' hazard perception ability: Situation awareness on the road. A cognitive approach to situation awareness: Theory and application 2004: 155-175.
- 10) Kahana-Levy N, Shavitzky-Golkin S, Borowsky A, et al: The effects of repetitive presentation of specific hazards on eye movements in hazard perception training, of experienced and young-inexperienced drivers. *Accident Analysis & Prevention* 2019; 122: 255-267
- 11) McKenna FP, Horswill MS & Alexander JL: Does anticipation training affect drivers' risk taking?. *Journal of Experimental Psychology: Applied* 2006; 12(1): 1
- 12) Isler RB, Starkey NJ & Williamson AR: Video-based road commentary training improves hazard perception of young drivers in a dual task. *Accident Analysis & Prevention* 2009; 41(3): 445-452
- 13) Agrawal R, Knodler M, Fisher DL, et al: Virtual reality headset training: Can it be used to improve young drivers' latent hazard anticipation and mitigation skills. *Transportation research record* 2018; 2672(33); 20-30
- 14) Crundall D, Andrews B, Van Loon E, et al: Commentary training improves responsiveness to hazards in a driving simulator. *Accident Analysis & Prevention* 2010; 42(6): 2117-2124
- 15) Åbele L, Haustein S, Martinussen LM, et al: Improving drivers' hazard perception in pedestrian-related situations based on a short simulator-based intervention. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 2019; 62: 1-10.
- 16) Horswill MS, Anstey KJ, Hatherly CG, et al. The crash involvement of older drivers is associated with their hazard perception latencies. *Journal of the International Neuropsychological Society* 2010; 16(5): 939-944
- 17) Liu Y & Cian J: Effects of situation awareness under different road environments on young and elder drivers. *Journal of Industrial and Production Engineering* 2014; 31(5): 253-260
- 18) Scott-Parker B, De Regt T, Jones C, et al: The situation awareness of young drivers, middle-aged drivers, and older drivers: Same but different?. *Case studies on transport policy* 2020; 8(1): 206-214
- 19) Roenker DL, Cissell GM, Ball KK, et al: Speed-of-processing and driving simulator training result in improved driving performance. *Hum Factors* 2003; 45(2): 218–233
- 20) Edwards JD, Myers C, Ross LA, et al: The longitudinal impact of speed of processing training

- on driving mobility . *The Gerontologist* 2009; 49: 485–494
- 21) Romoser MR & Fisher DL: The effect of active versus passive training strategies on improving older drivers' scanning in intersections. *Human factors* 2009; 51(5): 652-668
- 22) Quimby AR & Watts GR: Human factors and driving performance (Laboratory Report 1004). Crowthorne, UK: Transport and Road Research Laboratory 1981
- 23) Grootjen JW, Weingärtner H, Mayer S: Highlighting the Challenges of Blinks in Eye Tracking for Interactive Systems. In *Proceedings of the 2023 Symposium on Eye Tracking Research and Applications* 2003; 1-7
- 24) Cheng YN, Zhong X, Tian LW: Does the AR-HUD system affect driving behaviour? An eye-tracking experiment study. *Transportation research interdisciplinary perspectives* 2023; 18: 100767
- 25) Calvi A, D'Amico F, Vennarucci A: Comparing Eye-tracking System Effectiveness in Field and Driving Simulator Studies. *The Open Transportation Journal* 2023; 17(1)
- 26) Djerf E & Ryckenberg E: Measuring drivers' gaze concentration: Comparison of metrics and eye tracking systems with respect to gaze concentration 2023; 1-47
- 27) Nagy V, Kovács G, Földesi P, et al: Testing Road Vehicle User Interfaces Concerning the Driver's Cognitive Load. *Infrastructures* 2023; 8(3): 49-71
- 28) Qi H, Zhu Y, Iqbal N, et al: Investigating the Effects of Downhill Roads on Driver's Eye Movements. In *Journal of Physics: Conference Series* 2023; 2589(1): 012030
- 29) Zeng Q, Chen Y, Zheng X, et al: Exploring the Visual Attention Mechanism of Long-Distance Driving in an Underground Construction Cavern: Eye-Tracking and Simulated Driving. *Sustainability* 2023; 15(12): 9140
- 30) 池田郁男. 改訂増補版: 統計検定を理解せずに使っている人のために III. 化学と生物 2019 ; 57(10) : 629-647
- 31) Kanda Y: Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone marrow transplantation* 2013; 48(3): 452-458.
- 32) 水本篤 & 竹内理 : 研究論文における効果量の報告のために. 基礎的概念と注意点. *英語教育研究* 2008 ; 31 : 57-66
- 33) Borowsky A, Oron-Gilad T, Meir A, et al: Drivers' perception of vulnerable road users: A hazard perception approach. *Accident Analysis & Prevention* 2012; 44(1): 160-166
- 34) Underwood G: Visual attention and the transition from novice to advanced driver. *Ergonomics* 2007;50 (8): 1235–1249
- 35) Mourant RR. & Rockwell TH: Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Hum. Factors* 1972; 14: 325-335
- 36) Chapman P, Underwood G, Roberts K: Visual search patterns in trained and untrained novice drivers. *Transp. Res. Part F: Traffic Psychol. Behav* 2002; 5 (2): 157–167
- 37) Young AH, Chapman P, Crundall D: Producing a commentary slows concurrent hazard HP responses. *J. Exp. Psychol. Appl* 2014; 20 (3): 285