

ドライブシミュレータ操作時の手掌部発汗と脳血流量の変動

小林正義¹ 藤井恭平² 佐々木努³ 百瀬英哉⁴ 大橋俊夫⁵

¹ 信州大学医学部保健学科、² 村井病院、³ 北海道千歳リハビリテーション学院

⁴ 株式会社西澤電気計器製作所、⁵ 信州大学医学部メディカル・ヘルスイノベーション講座

はじめに

高齢ドライバーの自動車運転事故が急増しており、適性評価の確立が求められている。開発中の自動車運転認知行動評価装置（特許第 5366248 号）は、運転映像を被験者に提示し、映像にあわせて模擬運転操作を行わせるもので、ハンドル、アクセル、ブレーキの操作反応と、危険を認知（予測）した際に生じる手掌部発汗反応と皮膚電位反射（SPR）を評価する（図 1）^{1),2)}。

運転映像のうち、とっさに危険を回避する場面では、視線動作に次いでハンドル、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。これらは 2~3 秒の間に生じ、このとき前頭前野の脳血流量は減少傾向を示す。しかし、一時停止や対向車に注意を払う場面などでは、視線動作やデバイスの操作、SPR、手掌部発汗反応の個人差が大きく、前頭前野の脳血流反応も一様ではない。

そこで本研究では、とっさに危険を回避する場面と危険を予測する場面での手掌部発汗と前頭前野の脳血流反応を比較検討することを目的とした。

対象と方法

健常成人 50 名（男性 15 名、女性 35 名、平均 21.7 歳）を対象とした。実験は室温 $22.8 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $42.5 \pm 5.32\%$ の静音環境下で実施した。SPR と手掌部発汗は自動車運転認知行動評価装置に内蔵されている発汗計 SKN-2000 と皮膚電位計 SPN-01（西澤電機計器製作所）で測定した。前頭前野の脳血流量は頭部近赤外光計測装置（HOT121B；日立製作所）を使用し、左右 2 チャンネルの脳血



図 1 実験風景

流量を測定した。運転映像は住宅地走行（5 分）と市街地走行（6 分）を被験者ごとに順を入れ替えて提示し、とっさに危険を回避する「ボール飛び出し」場面と、危険を予測する「対向車見送り」、「交差点右折」場面の反応を評価した。本研究は信州大学医学部倫理審査会の承認を得た。

結 果

図 2 に反応波形の一例を示した。この被験者の場合、一時停止後の「対向車見送り」場面では脳血流量がわずかに増加し、手掌部発汗は減少する傾向を示した。また、「自転車追い越し」や「ボール飛び出し」場面では、手掌部発汗が増加し、脳血流量は減少する傾向を示した。

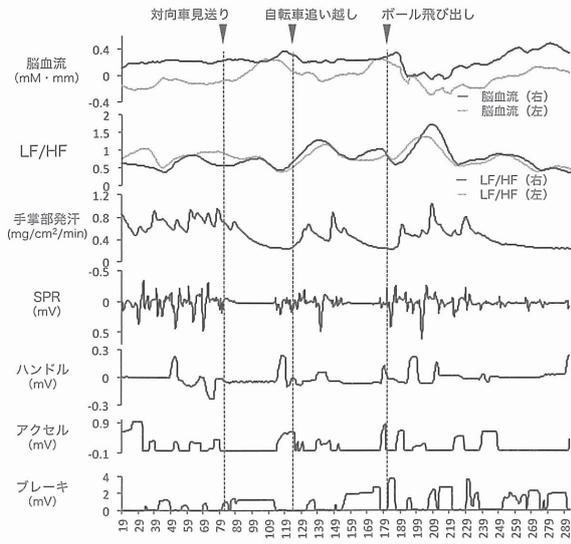


図2 計測波形の一例 (被験者: 21歳、男性)

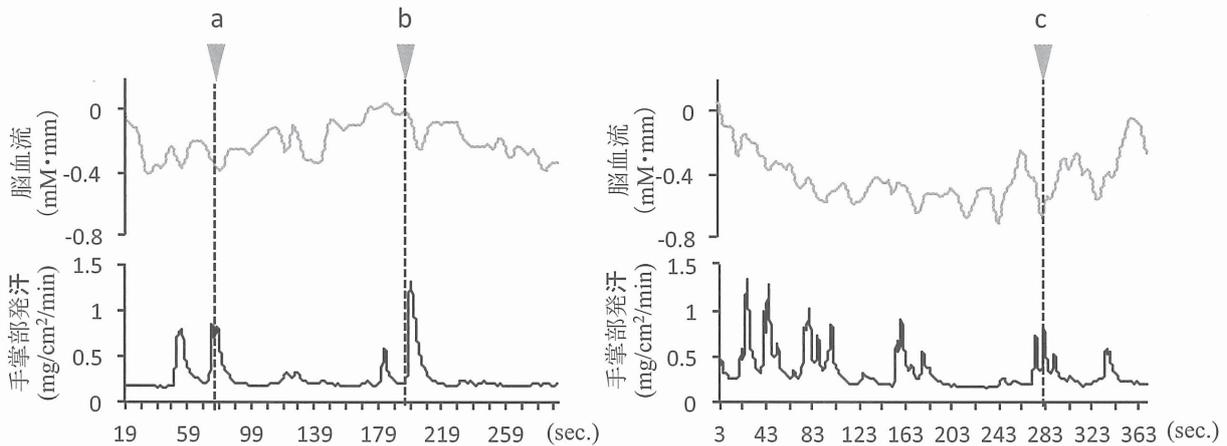
図3に「対向車見送り」、「ボール飛び出し」、「交差点右折」場面の映像と手掌部発汗、前頭前野脳血流反応の一例を示した。a~cは各運転映像が現れるタイミングを示している。この被験者の場合、「対向車見送り」場面では一時停止と同時に手掌部発汗が減少し、脳血流量が増加する傾向を示した。「ボール飛び出し」場面では発汗反応が増加し、脳血流量の減少がみられた。「交差点右折」場面では手掌部発汗が増加したが、脳血流量は交差点

に進入する直前に増加し、cの時点で横断者が現れると減少し、その後再び増加する傾向を示した。

被験者の手掌部発汗反応と脳血流反応を、「ボール飛び出し」「対向車見送り」「交差点右折」の場面ごとに直前の反応と比較し、明らかな増加を「増加」、明らかな減少を「減少」、これらの中間を「不変」に分類し、度数分布を表に示した。「ボール飛び出し」では被験者の35名(70%)で手掌部発汗が増加し、脳血流は23名(46%)で減少した。「対向車見送り」場面では手掌部発汗は30名(60%)が不変であったが、脳血流は28名(56%)で増加した。「交差点右折」では、26名(52%)で手掌部発汗が増加し、22名(44%)で脳血流が増加した。

考 察

手掌部発汗反応は興奮や驚きなどの情動変化を反映し、中枢機構は大脳辺縁系と密接に関連しており、大脳皮質からの修飾を受けるとされている^{3,4)}。Spiersら⁵⁾は模擬運転課題時の脳活動をfMRIで測定し、衝突回避などの予期せぬ状況では後頭葉外側、頭頂部、島が関与し、プランや道路状況のモニタリン



a 対向車見送り

b ボール飛び出し

c 交差点右折



図3 対向車見送り、ボール飛び出し、交差点右折場面の手掌部発汗と前頭前野脳血流反応 (被験者: 22歳、女性)

表 手掌部発汗と前頭前野脳血流量の変化

		ボール飛び出し	対向車見送り	交差点右折	p
		人数 (%)	人数 (%)	人数 (%)	
手掌部発汗	増加	35 (70)	9 (18)	26 (52)	0.012*
	不変	15 (30)	30 (60)	16 (32)	
	減少	0 (0)	11 (22)	8 (16)	
前頭前野 脳血流量	増加	17 (34)	28 (56)	22 (44)	0.032*
	不変	10 (20)	14 (28)	16 (32)	
	減少	23 (46)	8 (16)	12 (24)	

n = 50, χ -square test ; *p < 0.05

下線は 40%以上の出現率を示している

グでは頭頂葉、後頭葉外側、小脳などが、交通ルールの遂行には右前頭前野が関連することを指摘している。また、Horikawa ら⁶⁾はコンピュータゲームの模擬運転課題時の脳血流量を PET で測定し、視床、中脳、小脳の局所脳血流はコース完了に要した時間と関連し、クラッシュの数と後部帯状回の局所脳血流とが関連することを報告している。

本研究の「ボール飛び出し」場面では、被験者の 70%で手掌部発汗の増加がみられ、46%で前頭前野脳血流量の減少が認められた。「ボール飛び出し」場面でみられる手掌部発汗反応は、“危ない！”という情動反応と関係し、大脳辺縁系を中心とする関連領域の脳活性が推測される。また、前頭前野での脳血流低下は、とっさの情動反応と同時に生じやすい“頭が真っ白になる”状態と関連があるかも知れない。

「対向車見送り」と「交差点右折」場面はあらかじめ危険が予測可能な場面であり、前頭前野の脳血増加は、交通ルールに沿った対向車や横断者への注意と、推測、判断・意志決定などの認知機能と関連していると考えられる。「交差点右折」では「対向車見送り」より手掌部発汗が増加する者が多く、緊張感の強さが影響していると思われる。

文 献

- 1) 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
- 2) 百瀬英哉, 高橋理沙, 小林正義 その他: 自動車運転映像を用いた模擬運転操作時の手掌部発汗反応と SPR の関係. 発汗学, 19, 24-26, 2012
- 3) Ogawa T, Sugenoja J: Pulsatile sweating and sympathetic sudomotor activity. Jpn J Physiol, 43, 275-289, 1993
- 4) Homma S, Nakajima Y, Toma S et al: Intracerebral source localization of mental process-related potentials elicited prior to mental sweating response in humans. Neurosci Lett, 247, 25-28, 1998
- 5) Spiers HJ, Maguire EA: Neural substrates of driving behavior. Neuroimage, 36, 245-255, 2007
- 6) Horikawa E, Okamura N, Tashiro M et al: The neural correlates of driving performance identified using positron emission tomography. Brain Cogn, 58, 166-171, 2005