

令和6年度労災疾病臨床研究事業費補助金
「過労死等の実態解明と防止対策に関する総合的な労働安全衛生研究」
分担研究報告書(実験研究)

高年齢労働者の心血管系負担に関する研究

研究分担者 劉 欣欣 独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所
過労死等防止調査研究センター・上席研究員

<研究要旨>

【目的】今期の研究では、高年齢労働者の勤務中の心血管系反応を明らかにし、その反応特徴によって複数の反応グループに分類することを目的とする。今後は各反応グループの特徴に合わせた負担の軽減策について検討する予定である。

【方法】前期(R3～R5)のドライバーを対象とした実験のデータをさらに分析し、研究成果の一部が英文原著論文として受理されたため、その詳細を報告する。今期実験では、60 代の高年齢労働者を対象とし、勤務中(9:00～18:00)の心血管系反応などを測定する予定である。今年度は実験環境の整備、倫理審査の申請、実験プロトコルの設定、作業課題の作成などを行った。

【結果】ドライバーのシミュレータ運転中の心血管系反応と異なる休憩パターンによるこれらの反応への影響を明らかにした論文を公表した。主な結果として、計 30 分より計 60 分の休憩、トータルの休憩時間が同じ場合は 2 回に分割するより 1 回のまとまった休憩が心血管系反応の緩和効果が大きかった。今期の実験準備は予定通り進んでおり、来年度本実験を行う予定である。

【考察】前期の実験結果が、運輸業のドライバーの勤務中の休憩設定などに活かされれば、勤務中の心血管系負担の軽減、さらに心血管系疾患が原因となる過労死等の予防につながると考えられる。今期の実験結果が、高年齢労働者の健康管理に活用できると考えられる。

【この研究から分かったこと】過労死等が多い職種(運輸業)と高リスク者(高年齢労働者)の勤務中の心血管系負担を明らかにし、その負担の軽減策を提案していくことが本実験班の近年のミッションである。前期の研究では、ドライバーの勤務中の心血管系負担を緩和するため、1 時間程度の昼休憩の確保が望ましいことを示した。

【キーワード】心血管系負担、運輸業、高年齢労働者

研究分担者:

池田大樹(労働安全衛生総合研究所過労死等防止調査研究センター・主任研究員)
西村悠貴(同センター・研究員)

郵便業、年齢は 60 歳以上の高年齢労働者が常に上位を示しており、明らかな改善は認められない。

前期の研究では、ドライビングシミュレータを用いて、運転中の心血管系反応、中枢系反応などを測定し、異なる休憩パターンによる心血管系などの負担への緩和効果を実験により検証した。その成果の一部は原著論文としてアクセプトされたため、詳細の結果を報告する。

今期では、高年齢労働者の勤務中の心血管系反応を明らかにする予定である。第 14 次労働災害防止計画では、高年齢労働者の労働災害防止が重要な課題のひとつとなってい

A. 目的

厚生労働省が公表している脳・心臓疾患の労災認定基準では、業務の過重性を評価する具体的な負荷要因として、労働時間、交替制勤務・深夜勤務、心理的負荷を伴う業務などの項目が示されている。これらの業務における過重な負荷によって脳・心臓疾患を発症したとする労災認定件数において、業種は運輸業・

る。近年、高年齢労働者の就労が進み、総務省の労働力調査によると、55 歳以上の労働人口は 2 千万人以上(65 歳以上の労働人口は 900 万人以上)で、全労働人口の 30%以上を占めており、年々増加傾向である。高年齢労働者は身体機能と認知機能の低下により、若年層と比べ災害が発生しやすいと考えられる。高年齢労働者の労働災害防止、さらに健康維持のため、勤務中の心血管系など生理負担を明らかにし、それに合わせた負担の軽減策が必要である。

我々はこれまで、過労死等のリスク要因である長時間労働が心血管系反応に及ぼす影響を血行動態の視点から検討してきた。50 歳以上の高年齢労働者は長時間労働による心血管系の負担がより大きいことを明らかにした(Liu et al., 2018, 2019)。また、60 歳以上になると、心臓機能の低下が顕著になる可能性を示したが(Liu et al., 2019)、データ数が少なく不明な点は多い。先行研究は、加齢に伴い心血管系機能が低下し、動脈硬化が進むことを報告している(Payne et al., 2010; Nilsson et al., 2014)。一方、心血管系反応には個人差が大きく(劉ら, 2018)、勤務中の高年齢者の心血管系反応はより複雑になるため、その反応の実態を解明する必要がある。先行研究は血行動態の反応には複数のタイプが存在し、例えば主に心臓反応を示すタイプ、主に血管系反応を示すタイプ、または両方の反応を示すタイプなどが報告されている(Liu et al., 2007; Lawler et al., 2001)。そのうち、例えば主に血管系反応を示すタイプは作業中の血圧上昇が大きく、心血管系疾病リスクが高いと考えられる(Liu et al., 2007)。

今期(R6-R8)では、60 歳以上の労働者を対象とし、高年齢労働者の勤務中の心血管系反応を明らかにし、その反応の特徴により、複数の反応タイプを分類することを目的としている。今後は各反応タイプの特徴に合わせた心血管系負担の軽減策を検討していく予定である。

B. 方法

1. ドライビングシミュレータの実験(1)

実験参加者は以下の条件を満たす者とした。40 代～50 代で運転免許を所持する男性、心臓病、糖尿病、喘息、脳卒中、慢性腎臓病、腰痛、聴覚障害、視覚障害、睡眠障害及び精神障害などの既往歴がないこと、正常な視力

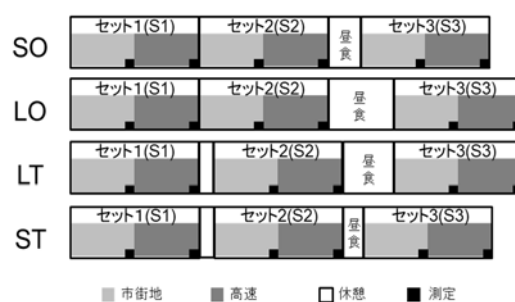


図1 実験(1)のプロトコール

(矯正を含む)を有すること、日中の安静時収縮期血圧が140mmHg未満かつ拡張期血圧が90mmHg未満であること。

実験参加者は8:30までに実験室に到着し、電極などを貼り付けた後、実験を開始した。ドライビングシミュレータを用いて、市街地1時間と高速道路1時間の運転を1セットとし、計3セット(S1, S2, S3)を走行した。休憩は長さ2条件(30分と60分)と休憩回数2条件(1回と2回)の計4条件を設定した(図1)。具体的に、条件SO(short-one)はS2の後30分休憩1回、条件LO(long-one)はS2の後60分休憩1回、条件LT(long-two)はS1の後10分休憩1回とS2の後50分休憩1回、条件ST(short-two)はS1の後10分休憩1回とS2の後20分休憩1回であった。参加者は4つの休憩条件のいずれかに1回のみ参加し、実験条件は事前に知らされず、実験当日実験室に到着後に知らされた。各条件において、昼食は昼休憩時に限定し、食事は参加者自ら持参し、カフェイン、強い香辛料のあるもの、油っぽいものが禁止された。

運転中、参加者は事前に設定した先導車両を追跡し、各運転セットにおいて全条件同じルートを走行した。実験中の様子は実験者によりリアルタイムで確認され、参加者が先導車両を見失った場合はインターホンを通して走行位置を指示した。心血管系反応などは運転開始前の安静時と1時間毎にドライビングシミュレータを運転しながら測定した。心血管系反応の指標として収縮期血圧(SBP)、拡張期血圧(DBP)、平均動脈血圧(MAP)、心拍数(HR)、一回拍出量(SV)、心拍出量(CO)及び総末梢血管抵抗(TPR)を連続血行動態装置によって測定した。血行動態反応の測定後、主観的疲労、ストレス、眠気をVisual Analog Scales(VAS)によって評価した。前年度は心血管系反応の簡単な一次解析結果を報告したが、さらに解

析が進んでおり、その結果が原著論文としてアクセプトされたため詳細を報告する。

各条件の参加者年齢、運転開始前の安静時血圧に差はあるかを確認するため、一元配置分散分析を行った。運転中の反応は混合モデルの三元配置分散分析を行った(休憩長さ[2]×運転セット[3]×休憩回数[2])。

また、脳波計とアイカメラによって背景脳波、事象関連電位、視線及び瞬目なども測定した。これらの結果の一部は速報として学会発表をしたが、解析途中なため来年度以降報告する。

(倫理面での配慮)

本研究は、労働安全衛生総合研究所研究倫理審査委員会にて審査され、承認を得た(通知番号：2022N07)。

2. 高年齢労働者の心血管系反応の実験(2)

60歳以上の労働者を対象とし、勤務中(9:00～18:00)の心血管系反応を測定する。参加者は9時前に実験室に到着し、安静時血圧の確認を行い、募集基準を満たした場合(収縮期血圧が160mmHg未満、かつ拡張期血圧が100mmHg未満)は実験に参加する(安静時血圧が募集基準を超えた場合は実験の参加はできない)。実験当日はアルコール、カフェイン、ニコチン、過度な香辛料が含まれる飲食の摂取は禁止する。昼食は上記を満たすような食事を参加者自身で持参する。実験は6つの作業セッションにより構成され、実験のプロトコルは図2に示すとおりである。

心血管系反応(収縮期血圧、拡張期血圧、平均動脈血圧、一回拍出量、心拍数、心拍出量、総末梢血管抵抗、心電図)は連続血行動態測定装置を用いて作業開始前5分間、各作業セッションの最後5分間、計7回の非侵襲的測定を行う。視線と瞬目はアイカメラを用いて実験中非侵襲的に連続測定する。主観的

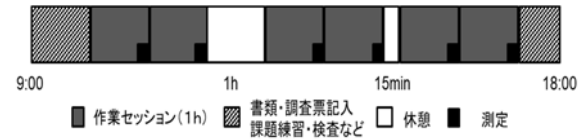


図2 実験(2)プロトコル

疲労、ストレス、眠気などをVASによって評価する。昼に1時間、午後に15分の休憩を設ける。

(倫理面での配慮)

本研究は、労働安全衛生総合研究所研究倫理審査委員会にて審査され、承認を得た(通知番号：2024N30)。

C. 結果

1. ドライビングシミュレータの実験(1)

各条件の参加者数、平均年齢、安静時血圧、主観状態を表1に示す。一元配置分散の結果、これらの指標は条件間に有意差は認められなかった。

運転中の心血管系反応と主観評価の結果は図3に示す。収縮期血圧は有意な結果が得られなかったが、拡張期血圧と平均動脈血圧の運転セットの主効果が有意であり、因子間の交互作用と他の因子の主効果は有意ではなかった。多重比較の結果、拡張期血圧において、昼休憩後のS3はS1とS2より有意に低かった($S3 < S1$ and $S2$, $p < 0.05$)。平均動脈血圧において、昼休憩後のS3はS1より有意に低かった($S3 < S1$, $p < 0.01$)。

心臓反応について、心拍数は運転セットの主効果が有意であり、因子間の交互作用と他の因子の主効果は有意ではなかった。多重比較の結果、昼休憩後のS3はS1とS2より有意に高く、S1はS2より有意に高かった($S1 > S2$, $S3 > S1$ and $S2$, $p < 0.01$)。一回拍出量において、運転セットと休憩回数の主効果が有意であ

表1 各条件の運転開始前の状況

条件(人数)	年齢	血圧		主観評価		
		収縮期血圧(mmHg)	拡張期血圧 (mmHg)	疲労	ストレス	眠気
SO (n=12)	49.7±5.9	126.2±12.5	80.5±10.2	15.0±14.7	14.0±14.2	20.3±23.1
LO (n=12)	49.7±5.7	118.5±10.2	76.9±7.7	16.8±17.9	11.9±9.8	33.5±17.0
LT (n=12)	48.8±3.5	117.2±8.2	74.0±6.5	13.4±11.2	11.2±10.6	23.2±22.9
ST (n=11)	49.2±5.2	122.9±15.3	76.4±10.0	23.9±22.7	21.1±20.6	30.1±21.7
p	0.97	0.24	0.34	0.48	0.36	0.43

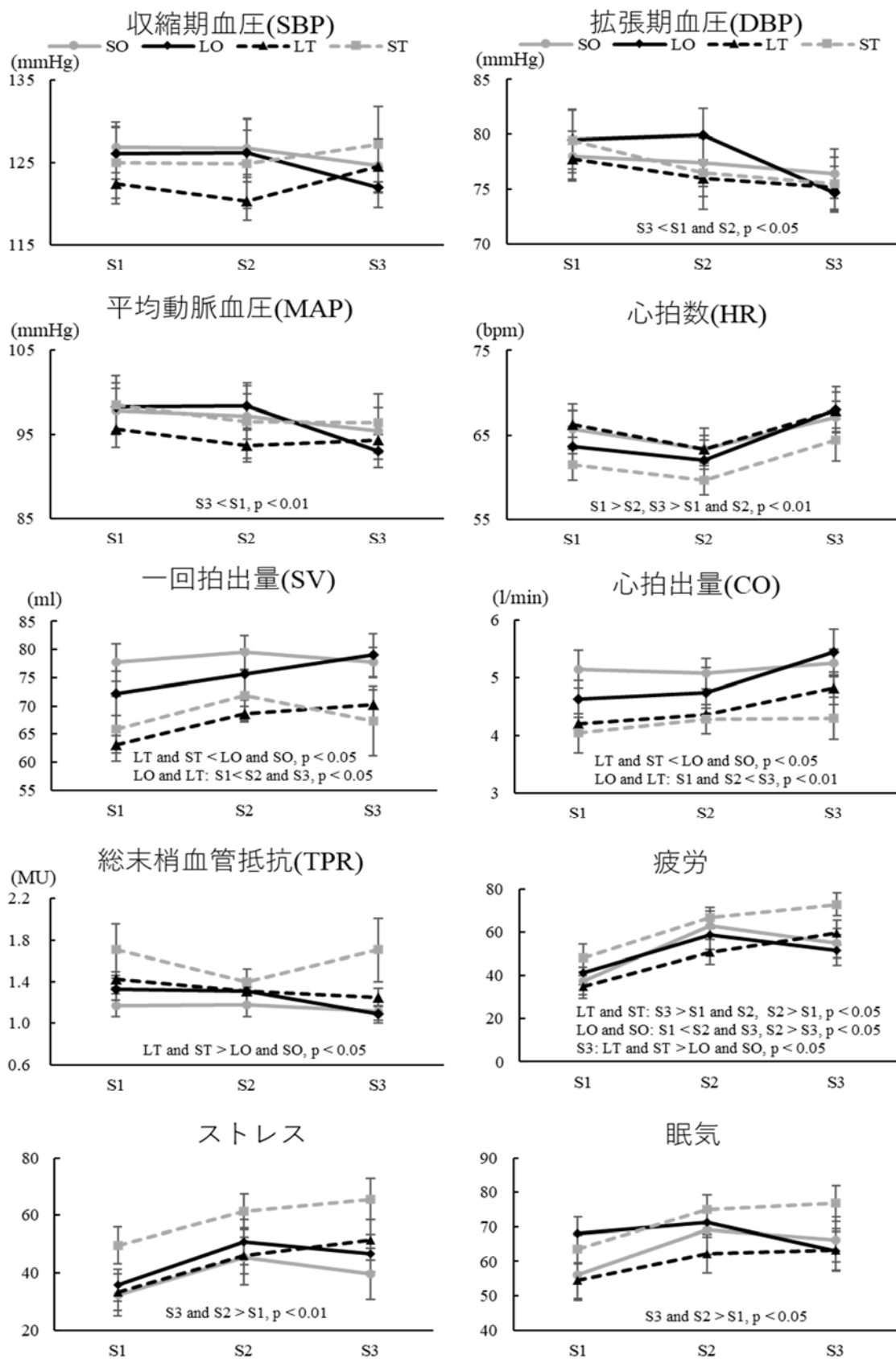


図3 運転中の心血管系反応と主観評価の結果

表 2 運転中の心血管系反応まとめ

	計60分休憩		計30分休憩	
	1回 (LO)	2回(LT)	1回 (SO)	2回 (ST)
拡張期血圧	○	○	○	○
平均動脈血圧	○	○	○	○
心拍数	○	○	○	○
一回拍出量	○ ^a	○	a	
心拍出量	○ ^a	○	a	
総末梢血管抵抗	a		a	
有意結果数	5 ^a	5	3 ^a	3
休憩効果ランキング	LO > LT > SO > ST			

○:昼休憩の効果が有意である。a: 2 回休憩より 1 回休憩の効果が大きい。

り、休憩の長さや運転セットの交互作用も有意であった。下位検定と多重比較の結果、2 回休憩条件より 1 回休憩条件の一回拍出量は有意に高かった (LT and ST < LO and SO, $p < 0.05$)。また、計 60 分休憩条件では、S1 と比べ、S2 と S3 は有意に高かった (LO and LT: $S1 < S2$ and $S3$, $p < 0.05$)。心拍出量において、運転セットと休憩回数の主効果が有意であり、休憩の長さや運転セットの交互作用も有意であった。下位検定と多重比較の結果、2 回休憩条件より 1 回休憩条件の一回拍出量は有意に高かった (LT and ST < LO and SO, $p < 0.05$)。また、計 60 分休憩条件では、S1 と S2 より S3 は有意に高かった (LO and LT: $S1$ and $S2 < S3$, $p < 0.01$)。総末梢血管抵抗について、休憩回数の主効果は有意であり、因子間の交互作用と他の因子の主効果は有意ではなかった。多重比較の結果、2 回休憩条件より 1 回休憩条件の総末梢血管抵抗は有意に低かった (LT and ST > LO and SO, $p < 0.05$)。

心血管系反応の有意な結果のまとめは表 2 に示す。昼休憩の効果について、血圧と総末梢血管抵抗は昼休憩後の有意な低下、心臓反応は昼休憩後の有意な上昇は休憩の効果があるとみなす。総合的に判断して、30 分より 60 分休憩の効果が大きく、休憩時間は同じ場合は 2 回に分割より 1 回の長めの休憩の効果が大きかった。全体として、1 回計 60 分休憩の効果が最も大きく、2 回計 30 分休憩の効果が最も低かった。

主観評価の結果、疲労において、運転セッ

トの主効果が有意であり、休憩回数と運転セットの交互作用も有意であった。下位検定と多重比較の結果、2 回休憩条件の場合、S3 は S1 と S2 より有意に高く、S2 は S1 よりも有意に高かった (LT and ST: $S3 > S1$ and $S2$, $S2 > S1$, $p < 0.05$)。一方、1 回休憩の条件では、疲労は S1 より S2 と S3 は有意に高かったが、S2 より S3 は有意に低かった (LO and SO: $S1 < S2$ and $S3$, $S2 > S3$, $p < 0.05$)。全体的に昼休憩後の疲労は 2 回休憩条件より 1 回休憩条件は有意に低かった (S3: LT and ST > LO and SO, $p < 0.05$)。ストレスと眠気において、運転セットの主効果のみ有意であり、因子間の交互作用と他の因子の主効果は有意ではなかった。多重比較の結果、S1 より S3 と S2 は有意に高かった (S3 and $S2 > S1$, $p < 0.05$)。

2. 高齢労働者の心血管系反応の実験(2)

今年度は実験環境の整備、実験プロトコルの設定、倫理審査の申請、実験用課題の作成を行った。1 つの作業セッションには下記 5 つの課題により構成される。

- 1) 暗算課題: 提示された 2 つの数字を暗算で足して、結果をキーボードで入力する。
- 2) 早押し課題 (Psychomotor vigilance task): 数字が見えたらなるべく早くボタンを押す。
- 3) ストップシグナル課題 (Stop Signal Task): 提示された矢印の向きと同じキーボードのボタンを押す。しかし、上向きの矢印が提示された場合のみ、ボタンを押さない。

- 4) 視覚探索課題 (Visual Search): 特定のターゲット (例えば「B」、或いは緑の文字) が存在する場合はボタンを押す。
- 5) 数字入力課題: ランダムに提示された数字をそのまま入力する。

D. 考察

1. ドライビングシミュレータの実験(1)

ドライビングシミュレータを用いて、運転中の心血管系負担を軽減できる休憩のパターンを検討した結果、勤務中の昼休憩を確保することはドライバーの心血管系負担の軽減に重要であることを明らかにした。我々の先行研究 (Liu et al., 2018) では、デスクワークの場合、50 分以上の長めの休憩は心血管系負担の緩和効果が認められた。本研究の結果は、30 分の休憩は拡張期血圧、平均動脈血圧、心拍数を緩和するが、60 分の休憩はさらに一回拍出量と心拍出量にも緩和効果が認められた。心血管系の反応には自律神経系と内分泌系が関与することが知られている。心拍数は主に自律神経により調節され、反応が速いと考えられる (Appel et al., 1989)。一方、収縮期血圧、一回拍出量、心拍出量、総末梢血管抵抗は内分泌系にも影響されるため、反応と回復が心拍数より遅いと考えられる (Diekman et al., 2001; King et al., 2024)。本研究の結果はこのメカニズムと一致し、休憩時間が長い条件 (計 60 分) ではトータルの心血管系反応への緩和効果が大きいことを示した。また、休憩時間が同じ場合、2 回に分割するより 1 回の長めの休憩の方が効果は大きいことを示した。

さらに、主観的疲労を緩和できるのは 1 回休憩条件のみであった。その原因は 1 回休憩条件の場合は昼休憩前に 4 時間の連続走行を行ったため、休憩による疲労の回復効果がより大きく感じられることが考えられる。なお、今回の実験では、倫理上の理由で、1 回休憩の条件でも、参加者から申し出がある場合はトイレの使用を制限しなかったため、2 回休憩のメリットを過少評価した可能性がある。また、昼休憩時に食事を取ったため、休憩の効果には食事の影響も含まれている。その影響のメカニズムは現時点で不明であるが、食事を含んだ昼休憩はドライバーの心血管系負担を緩和するには重要と考えられる。さらに、本実験は渋滞、事故、悪天候などのストレスフルな場面や、トラックドライバーの夜間走行とシフトワークなどの

不規則な勤務条件を設定しなかったため、実際の現場よりストレスが少ないことが想定される。

2. 高年齢労働者の心血管系反応の実験(2)

今期の実験に関して、年度内倫理審査を受け、予備実験によるプロトコルを精査し、来年度は本実験を行う予定である。今期実験の結果は高年齢労働者の健康管理に応用できると考えられる。

E. 結論

本研究の結果から、運転による心血管系負担を緩和するには、食事を含んだ昼休憩の確保が重要であることを示した。特に 60 分程度の昼休憩の確保が運輸業のドライバーの勤務中の心血管系負担を軽減するには最も効果が大きいと考えられる。これらの成果を労働政策の制定やドライバーの勤務管理などに活かされれば、労働者の勤務中の負担が緩和でき、長期的に健康維持、さらに心血管系疾患が原因となる過労死等の予防につながると考えられる。一方、過労死等の多い高年齢労働者を対象とする研究結果は来年度以降に報告する。

F. 健康危機情報

該当せず。

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Liu X, Ikeda H, Nishimura Y, et al. Effects of different break patterns during driving on cardiovascular responses in male drivers. Ind Health 2025 (In press).

2. 学会発表

- 1) 劉 欣欣, 池田大樹, 西村悠貴他. ドライビングシミュレータ運転中の心血管系反応と休憩の効果. 第 97 回産業衛生学会, 産業衛生学雑誌, 2024; 66, 658.
- 2) 劉 欣欣, 池田大樹, 西村悠貴他. 運転中の心血管系反応に対する異なる休憩パターンの影響. 日本生理人類学会第 85 回大会, 2024; 87.
- 3) 西村悠貴, 池田大樹, 松元 俊他. 長時間運転中の注意資源と休憩の取り方の関連. 日本生理人類学会第 85 回大

- 会, 2024; 53.
- 4) 劉 欣欣. 高リスク労働者への配慮は必要?! - 実験から見えてきた勤務中の心血管系負担 -. 令和 5 年度過労死等防止調査研究センター研究成果発表シンポジウム, 2024.

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

なし

I. 文献

- 1) Liu X, Ikeda H, Oyama F, et al. Hemodynamic responses to simulated long working hours in different age groups. *Occup Environ Med* 2019; 76, 754-757.
- 2) Liu X, Ikeda H, Oyama F, et al. Hemodynamic responses to simulated long working hours with short and long breaks in healthy men. *Sci Rep* 2018; 8, 14556.
- 3) Payne RA, Wilkinson IB, Webb DJ. Arterial stiffness and hypertension: emerging concepts. *Hypertension* 2010; 55: 9-14.
- 4) Nilsson PM, Khalili P, Franklin SS. Blood pressure and pulse wave velocity as metrics for evaluating pathologic ageing of the cardiovascular system. *Blood Press*, 2014; 23: 17-30.
- 5) 劉 欣欣, 池田大樹, 小山冬樹ら, 長時間作業時の血行動態反応の個人差. *労働安全衛生研究*. 2018; 11: 47-50.
- 6) Liu X, Iwanaga K, Shimomura Y, et al. Different types of circulatory responses to mental tasks. *J Physiol Anthropol*, 2007; 26, 355-364.
- 7) Lawler KA, Kline KA, Adlin RF. Psychophysiological correlates of individual differences in patterns of hemodynamic reactivity. *Int J Psychophysiol* 2001; 40, 93-107.
- 8) Appel ML, Berger RD, Saul JP, Smith JM, Cohen RJ (1989) Beat to beat variability in cardiovascular variables: noise or music? *J Am Coll Cardiol* 14, 1139-48.
- 9) Diekman MJ, Harms MP, Endert E, Wieling W, Wiersinga WM (2001) Endocrine factors related to changes in total peripheral vascular resistance after treatment of thyrotoxic and hypothyroid patients. *Eur J Endocrinol* 144, 339-46.
- 10) King J, Lowery DR (2024) Physiology, Cardiac Output. In: StatPearls, StatPearls Publishing, StatPearls Publishing LLC., Treasure Island (FL).