

令和 7 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)

ドライバーの中樞神経系活動に対する休憩効果の検討：
ドライビングシミュレーター実験に関する報告

研究分担者 西村悠貴 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・主任研究員

＜研究要旨＞

【目的】運輸業は過労死等のリスクが高く、勤務時間の長さや休憩不足がその主要因として指摘されている。さらに、長時間労働で蓄積する疲労は注意力を低下させ事故のリスクを増大させる。そこで、本研究では職業ドライバーにとって適当な休憩条件の探索を目的として、運転課題中の休憩の長さ及び分割の有無が、運転者の注意資源配分に与える影響を実験的に検証することを目的とした。

【方法】健康な男性 47 名を対象に、ドライビングシミュレーターを用いた運転課題を実施した。参加者は、休憩の長さ(30 分あるいは 60 分)と分割の有無からなる 4 群のいずれかにランダム割り付けられて実験に参加した。運転課題は市街地の運転 1 時間と高速道路の運転 1 時間からなる運転セッションを 3 セッション実施し、第 2 セッションと第 3 セッションの間に昼休憩を取得した。休憩分割がある群では、第 1 セッションと第 2 セッションの間にも 10 分の休憩を取得した。市街地、高速ともに運転開始から 20 分程度たった時点で Novelty auditory oddball paradigm という音刺激を用いた実験構成を使用して脳波の事象関連電位(ERPs)を計測した。ERPs は、休憩の長さ、分割、セッション(3 水準)とその交互作用を固定効果とする混合効果モデルで検定した。

【結果】P3a 振幅は休憩の分割によって有意に低下したが、長さ、セッション、それらとの交互作用は有意な効果を示さなかった。N1 潜時ではセッションと休憩分割の交互作用が有意であり、第 3 セッションで有意に潜時が延長していた。

【考察】休憩の分割が P3a 振幅や N1 潜時と関連していたことから、新奇刺激に対する注意資源の配分が十分に行われず、運転課題中の音刺激に対する注意の振り向けや感覚刺激の検出が抑制された可能性がある。一方で本研究の限界点として、実験デザインに起因するバイアスが結果に影響した可能性にも留意が必要である。今後はより多角的な解析を通して、職業ドライバーにとってより良い休憩の取り方について更なる解析を行っていく。

【この研究から分かったこと】長時間運転を模した実験室実験を行った結果、休憩の長さにかかわらず、休憩を分割して取得することが長時間運転課題中の注意資源の配分に影響するかもしれない。

【キーワード】注意資源、運輸業、休憩

研究分担者:

劉 欣欣(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)
池田大樹(同センター・主任研究員)
松元 俊(同センター・主任研究員)
久保智英(同センター・上席研究員)

A. 目的

過労死等防止調査研究センターなどが実施した調査から、運輸業は過労死が多いことが繰り返し指摘されている¹⁾。運輸業は勤務日の拘束時間が長くなりやすいことが知られており、また勤務中の休憩が十分に取れていない

現状も指摘されている。長時間にわたる運転で疲労が蓄積すると、運転者の注意力が低下し事故のリスクが上昇する危険がある。疲労による注意力の低下は適切なタイミングで適当な量の休憩を取ることで軽減できると考えられるが、適切な休憩の取り方についての科学的知見は不足しているのが現状である。

令和 6 年 4 月から適用された自動車運転者の労働時間等の改善のための基準(改善基準告示)を受けて厚生労働省労働基準局が公表している「トラック運転者の労働時間等の改善基準ポイント」では、運転開始後 4 時間以内または 4 時間経過直後に、30 分以上の運転の中断が必要であること、運転の中断時には、原則休憩を与えなければならないこと、運転の中断について 1 回がおおむね連続 10 分以上とした上で分割が可能であることが記されている。

そこで本研究では、ドライビングシミュレーターを用いた模擬運転課題中に脳波を計測することで、休憩の長さ及び休憩を分割することが運転中の注意資源の配分に与える影響を検証することを目的とした。運転中に計測した脳波は音刺激のオンセットを基準とした加算平均処理によって事象関連電位(Event Related Potentials: ERPs)を算出し、注意資源配分の指標とした。具体的には先行研究から、Novelty auditory oddball paradigmによって誘発した P3a 及び N1 成分とした²⁾。Novelty auditory oddball paradigm では、新奇刺激、逸脱刺激、標準刺激の 3 種類の短い音刺激の提示を通して、新奇な刺激に対する注意配分等を評価することができるとされている³⁾。P3a は主に前頭中央部(Fz)で計測される ERP 成分

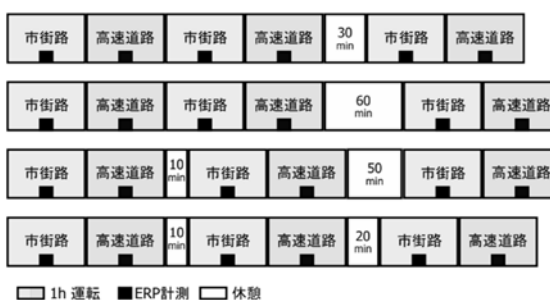


図 1 実験条件

で、課題中に起きた課題無関連のイベントに注意を振り向けるプロセスを反映していると考えられている⁴⁾。N1 は主に頭頂中央部(Cz)で計測される ERP 成分で、P3a よりも時間的に早い段階で活動する感覚刺激の自動的な検出プロセスを反映すると考えられている^{4),5)}。

B. 方法

1. 対象

健康な男性 47 名を対象に、ドライビングシミュレーター(D3sim, 三菱プレジジョン)を使用した模擬運転課題を実施した。運転者の平均年齢は 49.3 ± 5.0 歳で、平均運転歴は 27.9 ± 8.1 年だった。

2. 運転課題と実験条件

運転課題では 1 セッション 2 時間の運転を 3 セッション実施した(図 1)。各セッションは市街地の運転 1 時間と高速道路の運転 1 時間で構成され、参加者は先行する乗用車に追突しない距離で追走するよう指示された(図 2)。

休憩条件として長さ 2 条件(30 分あるいは 60 分)と分割の有無 2 条件(分割なしあるいは 1 分割)の組み合わせからなる 4 群を設け、参



図 2 実験セッティング

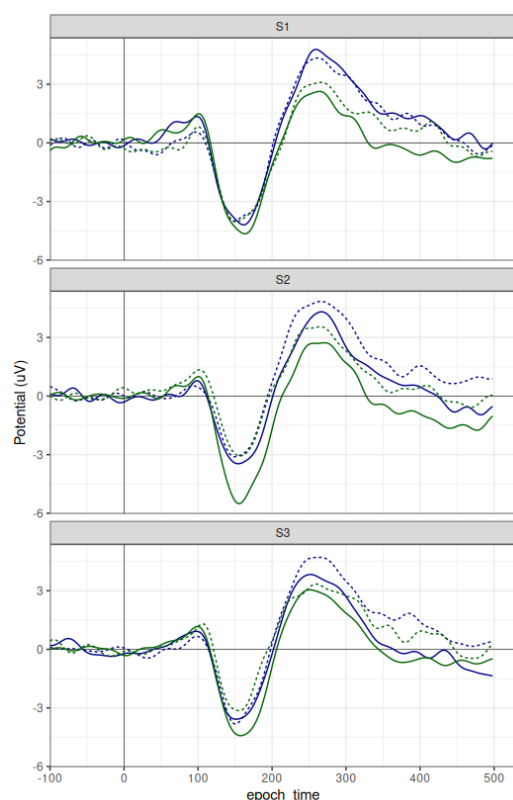


図 3 得られた ERP 波形の例
上から順に第 1、第 2、第 3 セッションにおける
新奇刺激に対する ERP 波形(Fz)；
緑色：休憩分割あり、青色：休憩分割なし；
実線：60 分休憩、破線：30 分休憩

加者はランダムにいずれかの群に割り当てられた(クロスオーバーなし)。休憩は、分割がない場合は 13:40 からの昼食休憩 1 回、分割がある場合は 11:35 からの 10 分と 13:45 からの昼食休憩(20 分あるいは 50 分)の 2 回であった。

3. 計測

各セッションが開始してから 20 分経過した後、聴覚刺激を用いた事象関連電位測定を行った。Novelty auditory oddball paradigm においては、IADS-E に収録されている音素材から重複が無いように選出した 588 種の音刺激を新奇刺激として用いた。逸脱刺激と標準刺激には 1000Hz と 1100Hz の純音を用いた。新奇刺激の長さはおおよそ 300ms で、逸脱刺激と標準刺激の長さは新奇刺激の長さの平均とそろえた。

脳波は Polymate Pro (MP6000、ミユキ技研)を用いて前頭から後頭にかけて 10-20 法に基づいて配置した 12 か所の電極と両側の乳様

突起(基準電極)を用いて、サンプリング周波数 1kHz で計測した。オフライン解析では、両側の乳様突起に再基準化とバンドパスフィルタリング(0.1-30Hz)を行ったあと、EEGLAB の自動エポック除去及び独立成分分析によるノイズ除去を行った。最終的に、刺激呈示から -100 から 600 ミリ秒の範囲をエポックとして切り出して刺激種ごとに加算平均を行った。P3a 成分は新奇刺激に対して前頭部(Fz)から得られた 200-350ms 周辺のピーク振幅とその潜時を算出し、N1 振幅は逸脱刺激に対して中心部(Cz)から得られた 120-200ms のネガティブピーク振幅とその潜時を算出した。図 3 に得られた ERP 波形の例を示す。

4. 統計解析

統計解析は、各種指標に対して参加者をランダム要因とする混合効果モデルを用いて、休憩の長さ(2 水準)、分割の有無、セッション(3 水準)とそれらの交互作用の効果を検定した。統計解析には R version 4.4.3 と lme4 等の関連ライブラリを用い、有意水準は 5% に設定した。当実験は、労働安全衛生総合研究所の研究倫理審査委員会によって事前に承認された手順によって実施した(通知番号:2022N07)。

C. 結果

1. P3a 成分

P3a 振幅は分割の効果が有意($F_{(1, 32)} = 6.625, p = 0.015$)で、休憩の長さにかかわらず休憩を分割した参加者では P3a 振幅が小さかった。休憩の長さやセッション、すべての交互作用は有意水準に達しなかった。

P3a のピーク潜時に関しては、すべての主効果と交互作用が有意水準に達しなかった。したがって、P3a に関しては振幅が休憩の取り方と関連するものの、その潜時については影響を受けないことが示された。

2. N1 成分

N1 振幅は、すべての主効果と交互作用が有意水準に達しなかった。

N1 潜時に関してはセッションと休憩分割の交互作用が有意($F_{(2, 64)} = 5.016, p = 0.009$)であった。下位検定の結果、昼食休憩の前後に位置する第 2 セッションと第 3 セッションの間に有意な潜時の差($p = 0.009$)が観測され、休憩が分割されていると第 3 セッションの潜時が有意に延長していた。

D. 考察

今回の結果から、(本実験で用いた休憩の取り方においては)休憩の長さにかかわらず休憩が分割されていた場合に、刺激の検出や選別に関わるプロセスが影響を受けることが示唆された。

P3a 振幅については、初回の休憩が行われる前の第 1 セッションを含めすべてのセッションを通して休憩が分割される群で P3a 振幅が小さかった。これは休憩分割の効果ではなく非クロスオーバーな本実験の実験デザインに起因する可能性がある。一方で、実験参加者は自身の休憩条件を実験開始前に知らされていたため、休憩に関する事前情報に基づいて中枢神経系の活動が変調された可能性も残る。この点については、事前教示の有無等を用いてさらなる検証が求められる。

N1 振幅に関してはセッションと休憩分割の交互作用が有意であったため、運転課題に従事している中での休憩分割の効果をより直接的に反映した結果と言える。

上記の結果から運転課題を行うにあたっては、休憩の長さにかかわらず休憩の機会を分割することが音刺激に対する注意の配分に影響することが示された。特に、感覚刺激の自動的な検出を反映されるとされる N1 成分で休憩分割の影響が顕著だったため、運転課題中の情報処理の中でもより上流に位置する処理工程が影響を受ける可能性が示された。

休憩は、作業者の疲労回復という正の効果がある一方で、タスク再開時には休憩モードから作業モードへの回復が必要となるなど、長ければよい、あるいは多ければよいという単純な構造ではないことが示唆されている⁶⁾。今回の結果も、休憩分割が作業モードへの回復回数を増やしたことによるかもしれない。一方で、注意資源は覚醒水準によって総量が左右されるため、さらなる解析が必要である。今後は運転操作データや他の生理指標と組み合わせた解析も進め、より詳細に休憩と運転中の注意、そして運転パフォーマンスの関連を検証していく。

E. 結論

本研究では、ドライビングシミュレーターを使って行った運転課題の途中に休憩を設けるにあたり、休憩の長さ(30 分あるいは 60 分)と分割の有無を実験的に操作して、休憩の取り方

が運転者の中枢神経系の活動に与える影響を、ERPs をつかって検証した。結果、P3a 振幅は休憩を分割した群で有意に小さく、注意資源の配分に休憩条件が影響する可能性を示した。さらに N1 潜時においては、休憩を分割することが感覚刺激の検出を遅延させる可能性が示された。

上記のことから、休憩を分割することが注意資源の総量あるいは配分に負担を与える可能性を示しており、今後のより良いガイドラインの策定に貢献が期待される。一方で、本実験においては実験参加者が実験条件を知っておりクロスオーバーデザインも採用されていないため、期待効果や学習効果が実験結果に影響した可能性がある。また、本実験はドライビングシミュレーターを用いて実施されたため、実際の運転に対する外的変数が考慮されていない点も注意が必要である。

今後は運転操作データや他の生理指標と組み合わせた解析など多角的な解析を進め、より詳細に休憩と運転中の注意、そして安全にかつ迅速に積み荷を届けるというパフォーマンスとの関連を検証していく。

F. 健康危機情報

該当せず。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 西村悠貴, 池田大樹, 松元俊, 久保智英, 劉欣欣. 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, 概要集. 2024; 53.
- 2) Yuki Nishimura, Hiroki Ikeda, Shun Matsumoto, Tomohide Kubo, Xinxin Liu. An ERP study on the impact of rest patterns during simulated driving on brain activities associated with detecting novel stimuli. 17th International Congress of Physiological Anthropology, Abstract book. 2025; 18.

H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

なし

I. 文献

- 1) 過労死等防止調査研究センター. 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 令和 5 年度総括・分担研究報告書 [Internet]. 独) 労働者健康安全機構 労働安全衛生 総合 研究所 ; 2024 Aug. https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/houkoku/houkoku_overwork_2024.pdf
- 2) Gianfranchi E, Mento G, Duma GM, Chierchia C, Sarlo M, Tagliabue M. Electrophysiological correlates of attentional monitoring during a complex driving simulation task. *Biological Psychology*. 2020;154:107918.
- 3) Debener S, Makeig S, Delorme A, Engel AK. What is novel in the novelty oddball paradigm? Functional significance of the novelty P3 event-related potential as revealed by independent component analysis. *Cognitive Brain Research*. 2005;22(3):309-21.
- 4) Horváth J, Winkler I, Bendixen A. Do N1/MMN, P3a, and RON form a strongly coupled chain reflecting the three stages of auditory distraction? *Biological Psychology*. 2008;79(2):139-47.
- 5) Hink RF, Hillyard SA, Benson PJ. Event-related brain potentials and selective attention to acoustic and phonetic cues. *Biological Psychology*. 1978;6(1):1-16.
- 6) Lim J, Kwok K. The Effects of Varying Break Length on Attention and Time on Task. *Hum Factors*. 2016;58(3):472-81.