

低圧低酸素状態での行為制御： Post-error slowing への影響¹

石松 一真

滋慶医療科学大学院大学医療管理学研究科

高度 14,000ft 未満の低圧低酸素環境が認知機能に及ぼす影響には一定した見解が得られていない (Legg et al., 2016). エラーを検出し、その後の行為を制御する能力は、更なるエラーを防ぐ上でも重要である。本研究では、低圧低酸素状態がエラー後の行為制御を反映する post-error slowing (Rabbitt, 1966) に及ぼす影響を Sustained Attention to Response Task (SART) を用いて検討した。参加者 18 名が低圧室内で 941hPa (2,000ft), 697hPa (10,000ft), 596hPa (14,000ft) の気圧高度 3 条件に曝露され、SART を実施した。結果、941hPa 条件では post-error slowing (PES) がみられたが、697hPa 及び 596hPa 条件では PES はみられなかった。SART パフォーマンスには高度条件間で有意差がみられなかったものの、低圧低酸素状態ではエラー後の行為制御 (i.e., PES) が低下する可能性が示された。

Keywords: human error, error detection, post-error action control, hypoxia, barometric altitude.

問題・目的

連邦航空局やオーストラリア民間航空局の規則では、与圧されていないキャビンで酸素補助なしで飛行できる高度は、それぞれ14,000ft, 10,000ftとされている。14,000ft 以上の低圧低酸素環境では、急性/慢性的な認知機能の低下が生じることが知られている (Taylor et al., 2016)。一方、14,000ft 未満の低圧低酸素環境では、認知機能の低下がみられたとする研究とみられないとする研究が混在している (Legg et al., 2016; Petrassi et al., 2012)。

2000年から2005年にヨーロッパで発生したヘリコプター事故の原因の70%近くは、パイロットの判断や行為の失敗によるものであった (European Helicopter Safety Team, 2010)。post-error slowing (PES) は、エラー後に反応時間が遅延する現象であり、エラー直後の行為制御プロセスとして知られている (Rabbitt, 1966)。

行為の失敗を検討可能な実験課題の1つにSustained Attention to Response Task (SART, Robertson et al., 1997) がある。SARTの主な指標は、コミッション・エラー (no-go刺激への反応)、オMISSION・エラー (go刺激への非反応)、go刺激に対する反応時間であり、コミッション・エラーは反応抑制、オMISSION・エラーは持続的注意を反映する指標とされている。

そこで本研究では、SARTを用い、低圧低酸素状態がエラー後の行為制御 (i.e., PES) に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

方法

参加者 事前にメディカルチェックを受けた19歳から36歳までのアスリート18名 (平均年齢22.6±4.4歳)。参加者は事前に口頭及び書面によるインフォームドコンセントを受けた。

本研究は、The Regional Committee for Medical and Health Research Ethics, Oslo, Norway の承認を得て実施した。

実験機器 実験は低圧室 (Aeroform, Poole Dorset, UK) にて実施した。実験課題は、参加者から64cm離れた位置に設置された27in. LCD (Samsung SyncMaster SA350) に提示され、刺激提示の制御や反応時間等の記録にはSuperLab 4.0 (Cedrus Corporation, San Pedro, California, U.S.) を使用した。

実験課題 SARTを使用した。SARTでは、1から9までの数字がLCDの中心に1つずつ提示された。数字は25回ずつ提示され、合計225試行から構成された。数字の提示時間は250msであり、その後900msのマスク刺激が提示された。数字は一定のペースで提示され、参加者にはgo刺激 (1, 2, 4-9) が提示された場合にはできるだけ素早く正確にキー押し反応をすること、no-go刺激 (3) が提示された場合には反応しないことが求められた。

実験条件 酸素正常条件 [2,000ft (941hPa)] 及び低圧低酸素2条件 [10,000ft (697hPa), 14,000ft (596hPa)] の合計3条件を設定した。

手続き 18試行の練習ブロック終了後、参加者は低圧室に入室し、椅子に着座した。実験中はノイズキャンセリングヘッドフォン (Bose A20, Bose Corporation, Massachusetts, U.S.) を装着した。高度条件の遂行順序は参加者間でランダムとし、10名は酸素正常条件から、8名は低圧低酸素条件から開始した。低圧低酸素条件の実施順序は参加者間でランダムとし、低圧低酸素条件開始前には7.5分間の順応時間を設けた。

データ分析 SARTの指標として、コミッション・エラー、オMISSION・エラー、go刺激に対する平均反応時間 (100ms以上の反応時間の平均) を算出した。高度条件間の比較には一要因分散分析を使用した。PESの分析には、反応時間 (Z-score) を使用し、no-go刺激への反応が生じた試行の直前、直後の試行の反応時間の平均値を参加者ごとに算出した (Dutilh et al., 2012)。PESの検討は高度条件ごとに行い、分析にはt検定を用いた。

統計分析にはSPSS (version 22.0 for Windows, IBM Corporation) を使用した。

結果

SARTパフォーマンス コミッション・エラー, オミッション・エラー, 平均反応時間を高度条件間で比較した (Table 1). 結果, いずれの指標においても条件間で有意差はみられなかった ($p > .05$).

Table 1. Means and standard deviations on the SART performance by barometric altitude.

Barometric altitude (hPa)	Commission Error	Omission Error	Mean RT (ms)
941	17.1±5.3	1.9±2.4	330±41
697	16.1±5.7	3.2±4.6	314±55
596	16.9±5.9	1.5±2.3	318±50

Post-error slowing 全ての高度条件のデータについて基準を満たした15名を分析対象とした。

条件ごとにコミッション・エラーが発生した前後の試行の反応時間を比較した (Figure 1). 地上レベルに該当する941hPa条件では, エラー直後の反応時間は, エラー直前に比べて, 有意に長かった [$t(14) = 3.68, p = .002$]. 697hPa及び596hPaの低圧低酸素条件では, エラー直前と直後の反応時間に有意差はみられなかった [それぞれ $t(14) = 0.66, p = .521$; $t(14) = 1.62, p = .127$].

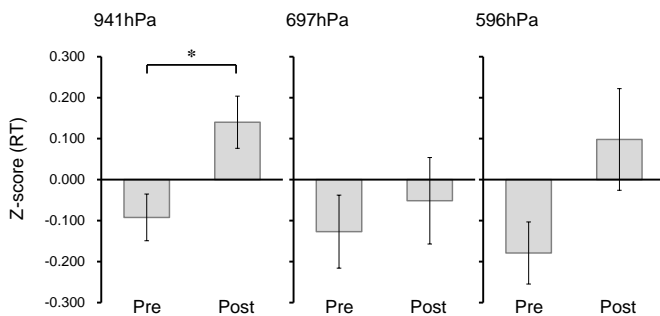


Figure 1. Mean RTs before and after error trials at barometric altitudes. Error bars indicate one standard error of the mean. The asterisk indicates the p value: $p < .05$.

考察

SARTパフォーマンス いずれの指標においても低圧低酸素条件と酸素正常条件との間で顕著な差はみられなかった。コミッション・エラーは反応抑制を, オミッション・エラーは持続的注意を反映する指標であることから, 高度10,000ftから14,000ftの低圧低酸素状態では, 反応抑制や持続的注意に機能低下が生じない可能性が示された。これらの結果は, 高度14,000ft未満の低圧低酸素環境では認知課題の成績に低下がみられないとしたLegg et al. (2016) を支持するものであった。

Post-error slowing 酸素正常条件では, コミッション・エラー直後の反応時間は, 直前に比べて遅延し, 先行研究と同様にPESが確認された。一方, 低圧低酸

素条件では, コミッション・エラー直後と直前の反応時間に顕著な差はみられず, 酸素正常条件とは異なりPESが確認されなかった。

低圧低酸素条件でPESが生じなかった理由のひとつに, 低圧低酸素状態によるエラーモニタリング機能の低下が考えられる (e.g., Asmaro et al., 2013). これらの結果は, 低圧低酸素状態では, エラー後の行為制御が低下する可能性を示している。

結論

高度10,000ftから14,000ftの環境を模擬した低圧低酸素状態では, 持続的注意や反応抑制を反映するSARTパフォーマンスは維持されたものの, エラー直後の行為制御 (i.e., PES) は, 酸素正常状態と比べて低下する可能性が示された。

脚注

¹本研究の一部はICP2016にて発表した。

引用文献

- Asmaro, D., Mayall, J., & Ferguson, S. (2013). Cognition at Altitude: Impairment in executive and memory processes under hypoxic conditions. *Aviat Space Environ Med*, 84(11), 1159-1165.
- Dutilh, G., van Ravenzwaaij, D., Nieuwenhuis, S., van der Maas, H. L. J., Forstmann, B. U., & Wagenmakers, E.-J. (2012). How to measure post-error slowing: A confound and a simple solution. *Journal of Mathematical Psychology*, 56(3), 208-216.
- European Helicopter Safety Team (EHEST). (2010). EHEST analysis of 2000-2005 European helicopter accidents. European Aviation Safety Agency (EASA) Safety Analysis and Research Department. Retrieved from <http://easa.europa.eu/essi/ehest/category/publication-type/reports-and-analysis>
- Legg, S. J., Gilbey, A., Hill, S., Raman, A., Dubray, A., Iremonger, G., & Mündel, T. (2016). Effects of mild hypoxia in aviation on mood and complex cognition. *Appl Ergon*, 53, Part B, 357-363.
- Petrassi, F.A., Hodkinson, P.D., Walters, P.L., & Gaydos, S.J. (2012). Hypoxic hypoxia at moderate altitudes: Review of the state of the science. *Aviat Space Environ Med*, 83(10), 975-984.
- Rabbitt, P. M. (1966). Errors and error correction in choice-response tasks. *J Exp Psychol*, 71(2), 264-272.
- Robertson, I.H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B.T., & Yiend, J. (1997). 'Oops!': Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, 35(6), 747-758.
- Taylor, L., Watkins, S. L., Marshall, H., Dascombe, B. J., & Foster, J. (2016). The impact of different environmental conditions on cognitive function: A focused review. *Front Physiol*, 6, 372.