

フライトシミュレータ訓練時における心拍数変動の評価

Evaluation of heart rate variability during flight simulator training

胡 訳方

指導教員 長谷川 淳

拓殖大学大学院 工学研究科 機械・電子システム工学専攻 長谷川研究室

心電図・心拍数変動・自律神経・フライトシミュレータ・睡眠不足

1. はじめに

本学ではパイロットコース向けにフライトシミュレータを導入して訓練を行っている。本研究では、そのシミュレータ訓練時の心拍数変動を測定、分析して緊張の度合いを調べ、学生の習熟度評価を試みた。

2. 心拍数変動と自律神経

中枢神経に伝達される肺の拡張・収縮の信号は、呼吸中枢だけでなく、延髄にある心臓血管中枢にも伝達される。この周期的な動作の情報は、延髄から自律神経を介して心臓に伝わることになり、この呼吸周期の変動は心拍数変動(Heart Rate Variability: HRV)となって現れてくる。また、血圧のセンサである圧受容体からの情報も自律神経を介して HRV に影響する。自律神経は交感神経と副交感神経からなっており、それぞれ緊張状態とリラックス状態を支配する。HRV の周波数成分には、副交感神経に支配される呼吸性変動を反映する HF 成分(0.15~0.4Hz の高周波数成分)と、交感神経と副交感神経両方の支配を受ける血管系の変動を反映する LF 成分(0.04~0.15Hz の低周波数成分)が含まれる。従って、HRV の周波数成分を詳細に分析することで自律神経系の状態変化を検出し、緊張の度合いを評価することができる。

3. 実験装置と分析方法

心電図とは、心臓の心筋が動く時の微弱な活動電位変化を、体表面の特定場所において電極間の電圧変化として記録したものである。本研究では心電図の特徴的なスパイクである R 波から HRV を読み取り、そのパワースペクトルを分析して周波数成分情報を求める。測定および分析方法について以下にまとめる。

① 心電図の測定

フライトシミュレータ訓練時の心電図を計測する装置を Fig. 1 に示す。この装置は被験者の各種生体情報を記録・解析するためのポリグラフシステム(日本光電製, RMT-1000) である。各種の生体現象の

測定に必要なトランスデューサ(変換器)、増幅器を組み合わせることで多チャンネルの各種生体現象を同時に記録することができる。心電図計測用の電極は、被験者の胸部に R 波の振幅を大きくとれるような配置に装着し、時系列データを PC に記録した。

② HRV 信号の定義

HRV は心周期のゆらぎ成分である。心周期は近似的に心電図の隣り合う R 波の間隔 (RR 間隔) とみなせるので、これを時系列データ化する。R 波はインパルスとみなせるので、その出現時刻 t_i に直前のパルス間隔時間 (RR 間隔) $T_i = t_i - t_{i-1}$ を対応させることで RR 間隔の時系列データとする。しかしこのままでは不等間隔の時系列データとなるので、 T_i を補間して 1 KHz で再サンプリングする。

③ FFT による HRV の周波数解析

FFT による HRV 周波数解析のウィンドウ長は 60 秒とし、ウィンドウを 10 秒間隔でずらしながら HRV のパワースペクトルを計算し、それぞれ対応する周波数区間で積分して HF, LF の各パワーを求める。

HF は副交感神経のみ、LF は交感神経と副交感神経両方の支配を受けているため、副交感神経活動指標として HF を、また交感神経活動指標として LF/HF を使用する。本研究では主に緊張の度合いを評価するため、LF/HF をメインの評価指標として使用した。

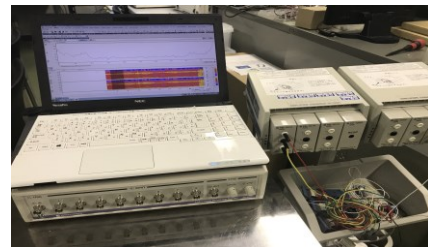


Fig. 1 心電図計測用ポリグラフシステム

4. 結果・検討

① トラフィックパターン

フライトシミュレータ訓練時の飛行ルートを

Fig. 2に示す。このように航空機が滑走路から離陸してから2回90度旋回し、離陸した滑走路と平行逆方向きに飛行した後、着陸コースを決める上での重要な目安となる **Abeam point** を通り、再び2回90度旋回し、元の滑走路に戻って着陸する周回コースのことをトラフィックパターンという。実験の飛行ルートはすべてトラフィックパターンで行った。

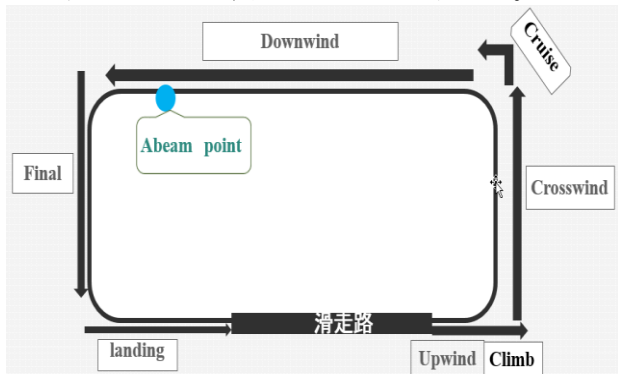


Fig. 2 飛行ルート トラフィックパターン

② 習熟度の比較

習熟度中程度のライセンス取得者（被験者 A）と習熟度の低いライセンス未取得者（被験者 B）の、通常フライトシミュレータ訓練時の緊張度合いを示す交換神経活動指標である LF/HF を比較した。被験者 A については1セット五回を行った結果を Fig. 3 に、被験者 B については二年前と今年各二回の通常フライトの結果を Fig. 4 に示す。

被験者 A は、全体的に旋回や着陸のタイミングとフライト時間はほぼ同じであり、LF/HF の変動パターンもほぼ一定で安定していた。5回とも共通して飛行ルートの確認時と着陸前に LF/HF が上昇して緊張度が高まっている。特に最初のフライトでのルート確認時と、機体が揺れた3回目の着陸寸前時に LF/HF が急に高くなっているが、その後は安定している。突然のアクシデントをすぐ直せ、また次回のフライトで調整できるレベルの習熟度と判断できる。

被験者 B は、全体的に見ると二年間の訓練でかなり改善は見られるものの、被験者 A と比べてフライト時間は長く、LF/HF の変動から判断される緊張のパターンも一定していない。また、LF/HF がいったん上昇すると下がるまで時間がかかっており、経験が浅いためにアクシデントをすぐには直せず常に緊張している様子が見て取れる。

③ 睡眠不足時のフライト評価

習熟度中程度のライセンス取得者（被験者 C）について、通常フライトと睡眠不足フライト各五回を行った。その結果をそれぞれ Fig. 5, 6 に示す。全体的に睡眠不足の時には通常フライト時より LF/HF レベルが低い。また、緊張が長続きせず LF/HF がすぐに低下する傾向にある。特に長い時間 LF/HF の低下状態が続くケースがみられ、マイクロスリープに入っている可能性も示唆される。

5. まとめ

フライトシミュレータ訓練時の習熟度評価を目的として、心拍数変動から計算される LF/HF を指標として評価した。その結果、習熟度やフライト時の体調などを LF/HF の変動パターンから判断できる可能性が示唆された。

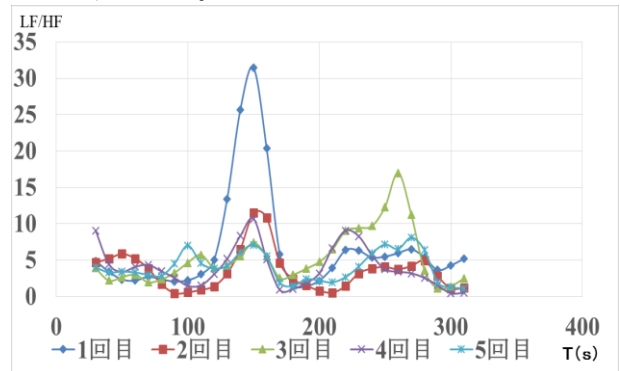


Fig. 3 被験者 A（習熟度：中）の通常フライト

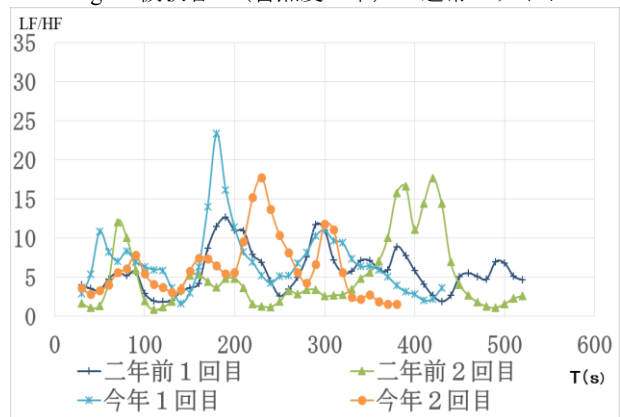


Fig. 4 被験者 B（習熟度：低）の通常フライト

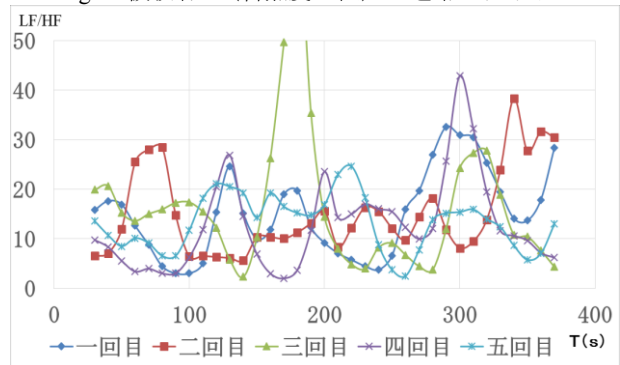


Fig. 5 被験者 C（習熟度：中）の通常フライト

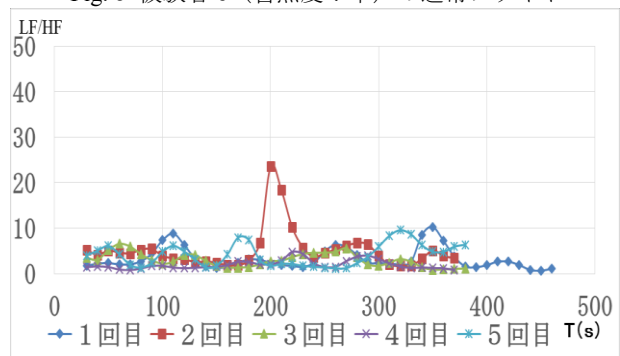


Fig. 6 被験者 C（習熟度：中）の睡眠不足フライト