航空機操縦におけるワークロードの研究(13)

-統計的積率による呼吸曲線の分析-

○竹内由則、加藤象二郎、門尾孝是(航空医学実験隊)

A study on Pilot's Workload(13)

- An Analysis of Respiration curve by statistical moment -

Yoshinori TAKEUCHI, Zoujirou KATO, Atsushi KADOO

(Aeromed, Lab., JASDF)

【はじめに】

シミュレータ操縦中には複雑な呼吸曲線が観察され、複雑さの程度や呼吸パターンには飛行課目による相違が認められる。呼吸曲線の複雑さの程度を数量化できればワークロードの良い指標となろう。

呼吸波を1サイクルずつ切り出し、同期加算する方法について以前報告したが(人間工学会32回大会)、複雑な曲線ではサイクルの同定が困難な場合が少なくない。そこで今回はピーク検出を行わずに、波形全体として処理することをねらいとして統計的積率による分析を試みた。

【測定方法】

シミュレータは当隊に設置されており、T-2型機(航空自衛隊単座ジェット練習機)を模擬している。

被験者は5名の航空自衛隊パイロットである。4名が23才、1名が24才で飛行時間は350から380時間であり、飛行経験および技量はほぼ同程度と考えられる。

呼吸の測定は胸部電極からの導出によるインピーダンス法を用いた。

ポリグラフ(日本電気三栄380システム)によってA/D変換されたデータをパーソナルコンピュータ(日本電気PC-9801)で分析した。サンプリングタイムは100msecである。分析に先だち15点の移動平均を行い、心電に起因するノイズを除去した。

飛行課目は操縦前・後の閉眼安静を含む18課目であり、それぞれ開始から80秒間を分析範囲とした。ただし被験者によっては実施しなかった課目もある。操縦時間は30から37分間であった。

【結果】

1次から4次モーメントについて課目毎の全被験者の平均値を図1、2に示す。

1次モーメント(平均値)と3次モーメント(歪度)はいずれの課目においてもほぼ0であった。このことは、1分間程度の呼吸データを記録すると、波形は複雑であっても、吸気と呼気の総量はほぼ等しくなることを示しているものと思われる。

図1は課目を2次モーメント(分散)の大きさの順に並べたものである。図によるとpre control(操縦前安静時)が最大、post control(操縦後安静時)が最小となっている。このことはpre controlのデータの分散が大きかったことによるものではなく、測定値の大きざつまり呼吸振幅が大きかったことを示していると考えられる。波形を観察すると、操縦時に比べて安静時の振幅が大きいこと、操縦後は操縦前よりも振幅が小さくなる傾向があることが読み取れる。ただし、2次モーメントの課目間の差違が振幅によるものか分散によるものかの区別はつけ難い。

4次モーメント（尖度）からは課目を4程度に分類できそうである。安静時pre control、post controlは低く、次にslow flight（低速飛行）、level flight（水平直線飛行）などの操作量の少ない課目が続いている。尖度が3の付近には、formation（編隊飛行）やアクロバット飛行があり、loop（宙返り）やminimum time turn（背面急旋回）のような機動の大きな課目は大きな値を示している。

【考察】

規則的な波形では尖度は小さくなるが、一方、波形がランダムであれば確率密度関数は正規分布であり、尖度は3となる。操縦作業によって呼吸曲線の規則性が失われ、尖度3に近づくとこの解釈が可能か否かについて、さらに検討する必要がある。

被験者によっては、ある課目において4次モーメントが5を越えるような例があった。図2では5以上の例は除いてある。5以上となったのは、波形中に、他と比較して著しく大きい振幅のサイクルが存在する場合であった。このサイクルは深呼吸とみなすことができる。深呼吸のほとんどは課目開始時に見られ、深呼吸後のパターンは①基線付近で呼吸が続く例、②吸気あるいは呼気のピーク付近で呼吸が続く例、③息こらえと思われる例の3つに分類できた。③の例は時間が短く操作量の大きい課目に見られた。また、1例も認められない被験者や課目が存在する一方、16課目中6課目が該当した被験者や、change air speed（速度変換）のように5人中3人が該当した課目があった。なお、1課目中に2回以上の深呼吸が見られた例はなく、それぞれのデータから深呼吸部分を削除すると4次モーメントは約3となった。図3に深呼吸の例を示す。

以上の結果がワークロードとどのように

関係しているかは更に検討を要するが、積率による分析は呼吸曲線の分析において、深呼吸を識別するなどのこれまでになかった応用が考えられる。

図1 課目別1次・2次モーメント

図2 課目別3次・4次モーメント

図3 各種の深呼吸パターン
CHG, LOP, BRLの各課目
下向きが吸気
横軸のマークは10秒毎