

조종사의 각성 및 생리적 안정에 근거한 비행임무적합 수준 판정 시스템의 개발

김동수^{*,1)} · 이우일²⁾

¹⁾ 공군사관학교 기초과학과

²⁾ 공군사관학교 전산과학과

Development of Evaluation System for Aviation Mission Suitability Depending on Pilot's Alertness and Physiological Stability Level

Dongsoo Kim^{*,1)} · Wooil Lee²⁾

¹⁾ Department of Natural Science, Air Force Academy, Korea

²⁾ Department of Computer Science, Air Force Academy, Korea

(Received 15 April 2015 / Revised 17 September 2015 / Accepted 16 October 2015)

ABSTRACT

Fighter pilot's ability to maintain both mental and physical capabilities in highly stressful situations is important for aviation safety as well as mission performance because pilot may confront frequently unexpected physical and psychological stimulation. Cumulative psychological stress and physical fatigue can be causes of mood distortion, declined alertness, and can lead to reduction of combat capability. We have investigated bio-signals and performance tests to monitor stress and fatigue levels, and developed a system to evaluate aviation mission suitability before flight. This study elucidated that stress and fatigue level of pilot can be monitored by psychomotor cognitive test(PCT) and heart rate variability(HRV), and that the best of reference for aviation mission suitability was confidential interval obtained from cumulative data of individuals. The system to evaluate aviation mission suitability was constructed with measuring part with PCT and HRV and control part with DB and algorithm.

Key Words : Stress(스트레스), Fatigue(피로), Mission Suitability(임무적합), Alertness(각성), Aviation Safety(비행안전), Combat Capability(전투력)

1. 서론

공군 비행 교육 및 훈련에서 비행안전 활동은 조종사의 전투기량 향상이나 정비사와 무장사의 정비능력, 무장능력에 비견될 정도로 중요한 영역에 속한다. 비행안전은 전력유지 뿐 아니라 전투원의 사기와 직결되

* Corresponding author, E-mail: dongsookim04@gmail.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

는 중요한 문제이기 때문이다. 비행안전을 위한 활동은 안전의식 고취를 위한 교육훈련, 안전 저해요소의 사전차단, 비상상황 대처능력 향상으로 크게 구분할 수 있다. 공군은 비행안전을 도모하기 위하여 다양한 활동들을 전개하고 있는데 여러 가지 고려 요소 중에서 가장 중요한 것 중 하나가 조종사의 신체 및 정신적 건강관리이다. 조종사는 스스로 최상의 신체적, 정신적 건강상태를 유지할 책임과 의무가 있으며, 비행업무 중심의 건전한 생활을 유지하기 위해 다음 사항을 준수하도록 강조하고 있다. 음주는 비행 전 12시간 이내 금지해야 한다. 또한 다음 날 비행이 계획된 조종사는 최소 8시간의 휴식시간이 보장 될 수 있도록 자율적으로 관리해야 한다. 그리고 자신의 비행업무와 비행안전과 관련된 사항을 비행안전 체크리스트인 K-ORM(Korea-Operation Risk Management)에 빠짐없이 기록하여 자신의 건강 및 심리상태가 비행업무에 부적합하다고 판단될 경우 대대장에게 비행업무 조정이나 비행취소를 건의하여 지침을 받는다²⁾. 건강 및 심리상태의 불안정으로 인하여 비행중지를 요청한 조종사에 대해서는 비행 임무를 취소하여야 하며, 문책이나 내용을 추궁하지 못하도록 되어 있다. 그러나 군의 상명하달 식 문화에서 신체나 정신 건강의 문제로 비행 취소를 조종사 스스로 결정하기는 어려울 것이다.

개인의 신체 및 정신건강 상태를 자의적 결정에 의해 판단하도록 방치하지 않고 객관적 지표에 근거하여 조종사의 생리적 안정도나 임무수행 능력을 사전에 판단하는 시스템이 존재한다면 비행안전 뿐 아니라 조종사의 임무관리에 적용 할 수 있는 필수도구가 될 것이다. 전시상황에서는 개인의 건강관리에 활용하면서, 중요 임무에 가장 적합한 조종사를 확인하여 투입할 수 있는 도구로도 활용될 수 있을 것이다. 본 연구는 공군 조종사의 비행업무 완수와 비행안전 위해 요소 차단을 위해 시행되고 있는 자기보고식 설문방식을 보완하기 위해 수행되었다.

2. 각성 및 생리적 안정 수준 측정지표 추출

비행임무를 위해서 조종사는 일정 수준 이상의 각성을 유지하면서 신속한 상황인지를 할 수 있어야하고, 동시에 인지된 상황에 따라 적시에 상황대처를 할 수 있는 신체 반응성을 가져야 한다. 숙련된 조종사의 경우도 상황인지력과 신체 대처능력에 영향을 줄 수 있

는 위해요인이 누적 된다면 축적된 비행 기량을 최대한 발휘할 수 없는 상황에 직면할 수 있다. 상황인지력에 영향을 주는 요인은 피로누적에 의한 각성 수준의 저하와 급성스트레스에 의한 흥분상태 도달이 될 수 있다. 상황대처능력에 영향을 주는 요인은 각성저하에 의한 신체 반응성 약화와 만성 스트레스에 의한 근수축력 강화로 파생되는 근육 반응성 및 유연성의 약화가 될 수 있다¹⁾⁷⁾. 결론적으로 피로 누적에 의한 각성의 저하는 감각을 통한 지각의 속도와 그에 대한 운동반응성을 둔화시켜 위급상황에 대한 대처능력을 약화시킨다. 스트레스 또한 흥분 반응을 유도하여 동공이 이완되는 등 상황인지력을 저하시키고, 근육의 반응성의 둔화를 초래하여 위급상황에 대한 대처능력을 약화시키는 원인이 된다¹³⁾.

스트레스와 피로 수준은 자기보고식 심리검사, 생리적 반응검사, 그리고 생화학적 검사 등을 통해 예측 가능하다(Table 1). 그러나 스트레스와 피로는 일정 수준 이상이 되면 경계가 모호해 지고, 스트레스는 본질적으로 주관적 개념을 포함하며 광범위하고, 평가방법에 따라 결과가 다르게 나타날 수 있다. 그리하여 한 가지 측정도구에 의한 일회성 단순 측정으로 개인의 스트레스와 피로 수준을 결정하는 것에는 한계가 있다. 심리학이나 정신과학 분야에서 사용되는 스트레스와 피로 수준 측정 도구는 스트레스 인자에 대한 피험자의 주관적인 평가나 지각을 측정하는 자기보고식 설문지와 인터뷰이다^{9,11)}. 자기보고식 설문지에 의한 스트레스 수준 측정의 경우 수검자의 응답 편이(response bias)가 발생할 수 있고 평가자의 주관적 해석이 개입

Table 1. Tools of stress and fatigue evaluation

구 분	주요도구	측정대상
자기 보고식설문 (심리적)	<ul style="list-style-type: none"> • 우울척도 • 스트레스 검사 • 웰빙척도 • 다면성인성검사 	자기보고에 의한 점수
생화학적 검사	<ul style="list-style-type: none"> • 내분비 활성화도 • 자율신경활동도 	코티졸, 아드레날린, 급성 단백질
생리적 검사	<ul style="list-style-type: none"> • 자율신경활동도 	심박변동율, 혈압, 맥파, 체온, 피부전도도
각성 검사	<ul style="list-style-type: none"> • 감각운동경계 검사 	시각자극에 대한 반응시간

할 수 있는 단점이 있다^{16,18}. 의과학 분야에서는 스트레스 호르몬이나 신경전달물질 수준을 혈청(serum), 타액(saliva), 소변(urine) 등에서 측정하거나 자율신경 활동을 검사하는 방법으로 스트레스 수준을 측정한다¹⁹. 자율신경의 활동도를 주로 목표로 하는 스트레스 수준 측정법은 생리적 신호를 얻기 위해서 특정한 장치와 생체센서가 필요하고 개인차가 현저하다는 단점은 있으나 비교적 일관성 있고 신뢰성 있는 데이터를 제공한다^{15,20}. 스트레스 호르몬이나 신경전달물질의 양을 측정하는 생화학적 방법은 스트레스 호르몬으로 알려진 코티졸(Cortisol)이나 신경전달물질인 카테콜아민류(Catecholamines)를 측정하는 것으로 이 중 코티졸이 인간의 스트레스 수준을 정확히 나타내는 신뢰성 있는 생체지표로 알려져 있다^{4,16,17}. 그러나 생화학적 방법 역시 분석하는데 시간이 오래 걸리고 전문가와 전문 장비가 필요하여 현장에서 실시간으로 사용하기에는 부적합하다. 결국 조종사의 정신생리적 안정성 판정을 위해 스트레스 수준을 현장에서 실시간으로 추적한다면 생리적 측정 방법이 최선이 될 수밖에 없다. 자율신경계의 활동도를 측정하는 생리적 측정방법은 Heart Rate Variability(HRV), 혈압(Blood Pressure), 피부온도(Skin Temperature), 피부전도도(Electrodermal Activity) 등을 측정하는 것이다. 스트레스와 흥분 상태를 추적할 수 있는 지표로 스트레스 호르몬과 상관성이 높은 생체지표가 HRV로 분석되었고, 체온은 심부온도와 피부온도의 차이를 코티졸 수준과 비교했을 때 양의 상관관계를 나타내었다^{4,5}. 본 연구에서는 여러 생리적 측정방법 중에서 우선적으로 HRV와 체온변이를 스트레스 측정도구로 추출하고 길항작용이 현저하고 개인차가 심하여 결과 도출에 일관성이 부족한 것으로 판단되는 혈압과 피부전도도를 제외하였다.

HRV는 자율신경에 의한 심장박동의 길항작용을 나타내는 생체신호이다. 길항작용은 심장박동 파형 사이에 간격차이를 만들어내며, 파형 간 차이를 시간 축으로 통계적 방법에 의해 분석하거나 주파수 영역으로 전환하여 함수로 나타낼 수 있다. 주파수 영역은 극저주파(Ultra Low Frequency, ULF, 0.003 Hz 이하), 초저주파(Very Low Frequency, VLF, 0.003-0.04 Hz), 저주파(Low Frequency, LF, 0.04-0.15 Hz), 그리고 고주파(High Frequency, 0.15-0.4 Hz)로 나누어진다¹⁹. 전체 주파수 대역 값의 합으로 나타낸 것이 Total Power(TP)로 자율신경 활동도를 나타낸다. TP는 나이가 들수록 감소하는 경향이 있으며 노화의 결과로 신체적, 정신적 활동

이 감소하면 그와 함께 급격히 감소한다. 즉 TP는 전반적 생리활성의 지표로 볼 수 있다. 또한 단기 HRV는 고위험 임무부여와 같은 급성 스트레스에 대한 대처방식에 따라 측정 가능한 변화를 동반했다²⁵. TP가 일상생활에서 짧은 기간 내에 정신 생리적 변화를 정량적으로 추적하는 척도로 적용되는 것이 무리일 수 있다. 그러나 TP는 비행 임무 수행과 같은 작업부하가 많이 걸리는 상황에 대처하는 역량의 변화를 반영하는 지표가 될 수 있다고 판단된다.

LF는 자율신경의 교감과 부교감신경의 활성도를 나타내는 척도이며, HF는 부교감신경의 활성도를 나타내는 척도이다. 교감신경이 활성화되면 흥분성 반응이 나타나 공격과 도피의 생리적 반응이 나타난다. 반면 부교감신경이 활성화되면 생리적으로 안정화 되며 에너지를 축적하는 생리적 반응이 일어난다. 그리하여 LF/HF 비(Ratio)는 생리적인 안정도의 지표로 활용되어 왔다^{15,26}. 급성 스트레스에 노출될 경우 LF/HF 값이 상승하고 근육의 수축력이 강화되어 근력이 증가하는 반면 유연성이나 정밀한 반응성이 저하된다. 또한 호흡과 심박은 상승하며, 주변시각이 약화되어 복합 시스템을 운용하는 조종사의 임무수행의 질을 저하시키는 결과를 초래할 가능성이 높아진다. 만성스트레스의 경우도 LF/HF 비를 상승시킬 수 있다. PTSD(Post Traumatic Stress Disorder)나 우울증 환자의 경우도 자율신경 활동도가 변하며, 그 중에서도 LF/HF의 변화가 현저하였다²⁶. 또한 졸음과 약물 등에 의해 집중력이나 각성이 저하될 때에는 LF/HF 비가 낮아진다²⁷.

피로 누적에 의한 각성 저하는 자극-반응검사를 통하여 추적될 수 있다. 인간공학에서 주로 사용되는 반응검사는 집중력 및 정보처리 능력의 저하 등을 측정하는 performance test이며, 이것이 결국 개인의 각성 수준을 평가하는 도구가 된다^{18,12,22}. 반응검사 중에서 신뢰도가 검증되어 가장 일반화 되어 있으며, 개인의 각성 수준을 실시간으로 현장에서 점검할 수 있는 도구가 감각운동경계검사(Psychomotor Vigilance Test, PVT)이다^{10,13}. PVT는 시각 자극(Visual Stimulus)에 반응하는 속도를 측정하는 도구로서 지속되는 주의력과 각성 수준을 반응 시간으로 정량화 할 뿐만 아니라 반응이 없이 놓치는 경우나 자극이 없는데도 반응을 보이는 경우 등의 오류 반응도 정량적으로 측정한다. PVT에서 정량적으로 측정된 시각 자극에 대한 반응시간과 성공률은 각성의 저하의 결과로 나타나는 느려진 문제 해결 속도, 저하된 감각운동 기능, 자극에 대한 오

류 반응(False Responses)과 상관관계를 가진다. PVT는 David F. Dinges(1985)에 의해 그 실효성이 주장되었으며, 수치화가 간편하고 측정 기준이 단순하며, 유효성이 여러 가지로 입증되어 주의력 결핍, 졸음도 등의 측정에 이용되어 왔다¹⁰⁾. 그러나 상대적으로 짧은 시간 동안 수행되는 PVT검사는 의도된 집중을 통해 개인의 각성수준을 과대포장 할 수 있다는 단점이 있다. 본 연구에서는 누적피로를 추적하기 위하여 PVT를 활용하되 짧은 시간 동안의 의도된 집중으로 검사결과가 왜곡되는 것을 예방하기 위하여 PVT를 개선한 감각운동인지검사(Psychomotor Cognitive Test, PCT)를 적용하였다. PCT는 단순 시각 자극이 아닌 복합 시각 자극을 활용하여 작업기억(Working Memory)이 동원될 때 반응을 할 수 있도록 한 반응검사이다. 작업기억은 만성피로증후군과 상관성이 있었으며, 만성피로증후군 환자들은 대조집단에 비해 인지 자극에 대한 반응시간이 유의미하게 길어진다고 알려져 있다^{23,24)}. 단일 색의 시각자극에 대한 반응시간과 오류를 측정하는 PVT가 불규칙하게 나타나는 다양한 색상의 시각자극을 기억하고 다음자극과 색상 일치를 비교 판단하여 반응하는 반응검사로 변형된 것이다.

결론적으로 비행임무 적합판정이 조종사의 피로수준과 스트레스 대처 수준을 효과적으로 반영할 수 있도록 HRV의 TP와 LF/HF 비, 그리고 PCT를 활용하였으며, 평가의 정확도 향상을 위해 체온 변이를 보조변수로 추출 하였다(Fig. 1).

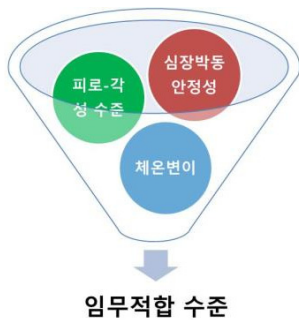


Fig. 1. Scheme of aviation suitability evaluation

3. 정신생리적 임무적합도 판정 시스템 구축

조종사의 스트레스와 피로-각성 수준을 추적하여 비행임무적합 수준을 판정하는 시스템을 생체신호와 각

성검사 도구를 이용하여 재구성하고 최적화하였다(Fig. 2). 판정의 신뢰도를 제외하고 시스템 구현에서 우선적으로 고려된 사항은 현장에서 실시간으로 사용 가능한 시스템으로의 개발과 조종사들의 일과(Schedule) 침해를 최소화하는 것이었다.

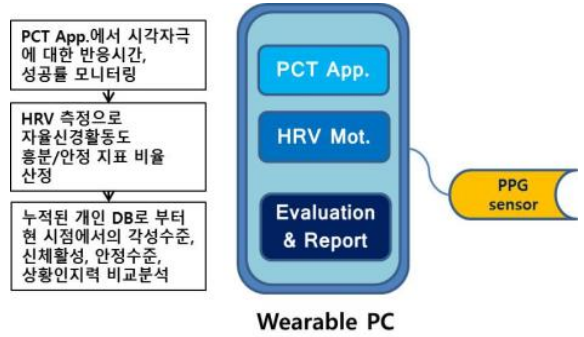


Fig. 2. Outline of aviation suitability evaluation system

비행임무적합 판정시스템은 생체신호인 HRV를 PPG 센서를 통해 측정하고 감각반응검사인 PCT를 수행하는 앱으로 구성 된 데이터 수집 부분과, HRV와 PCT 측정 결과를 추적하는 DB, 그리고 측정 결과를 누적된 DB 자료와 비교분석하여 판정결과를 만들어내는 알고리즘이 내장된 관리제어 부분으로 구성된다(Fig. 2).

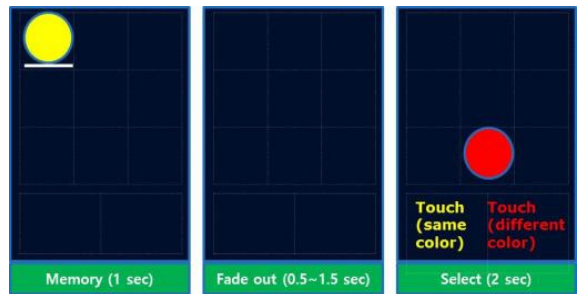


Fig. 3. Psychomotor cognitive test, PCT

PCT는 시각 자극이 불규칙하게 화면에 나타나면 가장 빠른 시간 내에 반응하여 화면을 터치하는 방식이다(Fig. 3). 먼저 기억 생성을 위해 무작위 색깔의 원으로 된 시각 자극이 주어지고, 자극이 사라진 후 새로운 시각 자극이 무작위로 나타날 때 같은 색이면 좌측, 다른 색이면 우측 화면을 터치하는 방식이다. 20회의 시각 자극과 반응이 반복되고 검사종료 후 평균 반응시간과 성공률이 DB에 저장된다. DB에 누적된 평균

값 대비 측정값의 크기를 백분율로 비교하여 현 측정 시점의 각성 수준을 나타내게 된다. 또한 시각 자극을 기억하여 반응할 때 평균반응시간과 별도로 정답 비율을 비교하여 상황인지력의 지표로 활용한다.

HRV는 Photoplethysmography(PPG) 센서를 통해 손가락 끝에서 들어오는 맥파(Pulse wave)로 부터 얻어진다^[19,22]. HRV는 3분 동안 측정되며 측정 도중에 부착상태가 불량하거나 안정적으로 데이터 수집이 불가능할 경우는 제외 된다. 정상적으로 데이터가 수집되는 시간이 180초이므로 실제 시간은 3분 이상 소요될 수 있다. HRV를 만들어 내는 변수는 삼박주기의 차이에서 얻어지는 것으로 초당 25회 데이터가 누적되며 평균값을 만들어 내는 방식이다. 3분 누적 이후에는 평균값의 변화가 무시할 수 있는 수준에 도달하기 때문에 HRV 측정시간을 최소화하며 안정적 값을 얻을 수 있는 최적의 시간을 선택하였다. Fig. 4와 같이 시간에 따라 파형을 그리며 탐지되는 혈류의 파형은 주파수 영역의 함수로 전환되어 TP와 LF/HF 비가 DB에 누적되며 개인별로 정상범위를 산출한다.

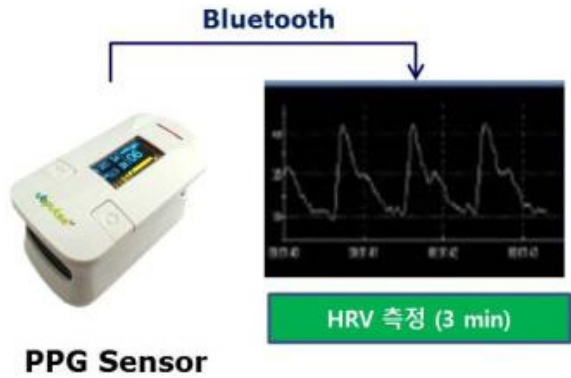


Fig. 4. Heart rate variability(HRV) measurement by PPG sensor

4. 각성 및 생리적 안정 수준 판정 알고리즘

같은 스트레스 유발 상황에서도 개인 간 스트레스 수준차이가 분명할 뿐 아니라 같은 스트레스 수준에서도 생리적 신호에서 차이가 크기 때문에 객관적으로 개인의 스트레스 위험 수준을 찾아내는 것은 쉽지 않다^[14]. 생리적 방법이 현장에서 실시간으로 사용될 수 있는 스트레스 수준 측정방법이지만 단일 측정값이 스

트레스 수준을 나타내는 기준이 될 수 없다는 의미를 내포하고 있다. 즉, 스트레스를 나타내는 생리신호에서의 개인차를 극복할 수 있는 상대적 값으로 스트레스 수준을 정량하는 새로운 방법이 모색되어야 했다.

각성 및 피로 수준을 나타내는 알고리즘은 개인별 누적 측정값에 의해 정상수준을 산출하고, 특정 일의 측정값을 정상 수준과 비교하여 정상, 과잉, 그리고 부족을 판정하도록 구축 되었다. 생리적 안정 척도는 개인별로 누적된 데이터에 의해 평균값과 분포로 구축되고 새로 측정된 값의 분산 값이 백분율로 전환되어 그 날의 스트레스와 피로 수준으로 제시되는 방식이다. 앞 절에서 설명된 HRV의 TP는 신체활성의 지표로, LF/HF 비는 생리적 안정도의 지표로, PCT의 반응시간은 각성 수준의 척도로, 그리고 PCT의 정답 비율은 인지적 판단 수준의 지표로 활용되었다. 네 가지 지표 모두 개인별로 정상범위가 정해지고 정상범위 대비 백분율로 그 날의 정신생리적 조건을 확인하게 된다. 또한 비행임무적합 판단을 돕기 위해 판정결과는 백분율을 기준으로 정상범위, 부족, 과잉으로 분류하여 Fig. 5와 같이 스마트폰이나 웨어러블 컴퓨터에 제시된다.



Fig. 5. Output of aviation suitability evaluation

5. 유효성 검증

유효성 검증은 26세에서 42세까지 건강한 공군장교 남자 18명을 대상으로 실시하였으며, 개인별로 50회(1회/1일)의 반복검사를 실시하였다. 검사는 개인의 주관적 피로 수준을 검사 전에 1~5 단계로 표시하도록 하고, 검사 후 주관적 판단과 검사의 일치 여부를 5단계의 지표로 평가하게 하였다. PCT는 학습효과에 의한 초기 편차를 줄이기 위해 10회의 연습을 실시한 후 본 실험을 실시하였다.

유효성 검증과정에서 체온변이가 실험 환경과 다르게 현장 적용과정에서 주변 온도에 민감하게 변화하였으며 측정 환경의 통제가 보장되지 않아 배제되고, 최

중적으로 PCT와 HRV가 추출되어 비행임무 적합수준 판정 알고리즘 개발에 적용 되었다. PCT에서의 반응시간은 개인차가 있었으나 10회 반복이후에는 반응시간이 일정수준을 유지하였으며, 평균 반응시간은 574.6 ± 121.6 ms 이었다. 반응시간은 주관적 피로수준과 정적 상관을 나타내었다($p < 0.005$). HRV의 TP의 평균은 1175.4 ± 2337.1 이었으며, LF/HF 비의 평균은 2.2 ± 2.1 이었다. PCT 평균반응시간의 표준편차와 비교할 때 HRV의 TP와 LF/HF 비는 상대적으로 큰 표준편차를 나타내었다. 피로수준이 4 등급 이하로 낮은 경우 TP와 LF/HF 측정값이 전체 평균값 $\pm 2\sigma$ 범위 내에, PCT 평균반응시간은 전체 평균값 $\pm \sigma$ 내에 80 % 이상 존재하였다. 이를 근거로 판정 척도들 중에서 HRV의 TP와 LF/HF 비의 정상범위는 평균값 $\pm 2\sigma$ 로, PCT의 반응시간과 정답율의 정상범위는 평균값 $\pm \sigma$ 로 제안되었다. 개인별 정상범위 산출에 필요한 데이터 누적을 위해 실시한 최초 10회 검사 이후에 실시한 판정에서 11 %가 정상범위를 벗어난 부족이나 과잉의 결과를 나타내었다. 판정결과에 대한 피험자의 신뢰 수준은 74 % 이었다. 피로수준별 신뢰수준 분석에서 피로수준이 높을수록 신뢰수준은 통계적으로 유의하게 향상 되었으며, 피로수준 최고 단계인 5단계에서의 신뢰수준은 80 % 이었다(Fig. 6). 이 결과는 비행 환경 적고 위험군을 추적하기 위한 알고리즘 개발 목적에 부합하는 결과로 판단된다.

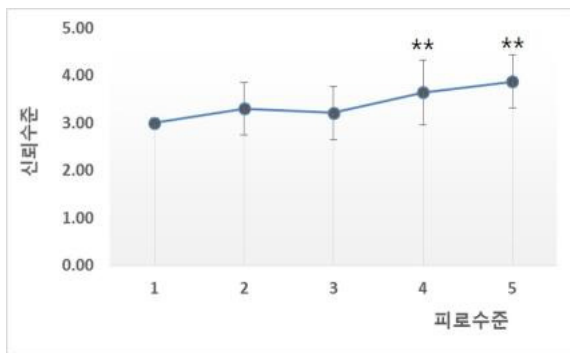


Fig. 6. Confidence levels depending on fatigue levels, ** $p < 0.001$

6. 결론

추상적 개념의 스트레스에 대한 개인의 주관적 평가

를 배제하고 정량적 측정을 위해서는 정신적 스트레스와 신체적 스트레스가 생리적 반응으로 나타나는 수준이 되어야 가능하다. 그리고 실시간으로 현장에서 비행임무적합을 판정하기 위해서는 스트레스나 피로의 결과로 나타나는 생리적 변화를 측정하는 방법이 최적의 방법일 수밖에 없다. 생체신호 측정치는 개인마다 편차가 크기 때문에 일반화된 정상/비정상 판정 기준을 제정하는 것은 불가능에 가까웠다. 이것을 극복하는 것이 개인별 맞춤 기준을 산출하고 개인별 기준에 근거한 판정 알고리즘을 적용하는 것이었다. 개인별 기준을 산정하면 정상범위가 감소하였고, 그 범위를 기준으로 할 때 변화량을 통해 개인의 정신생리적 조건의 변화를 추적 할 수 있었다. 물론 이 시스템의 판정 결과가 절대적 기준이 될 수 없다. 왜냐하면 건강한 개인에서 내·외부 환경 변화에 대한 생리적 적응방식과 속도가 매우 다양하게 나타나기 때문이다. 이 시스템은 비행임무 부여에 활용할 절대적 기준은 아니며 개인의 임무관리를 위한 보조도구로 활용되길 기대한다.

본 연구에서 제안하는 비행임무 적합 판정 시스템은 임계 환경(Critical environment)에서 고성능의 항공기를 운용하는 조종사의 비행안전과 임무수행을 보조하기 위하여 개발되었으나 고도의 각성 유지와 신체 반응을 필요로 하는 고위험 작업자에게 확대 적용될 수 있으며, 개인의 건강관리에도 광범위하게 활용될 수 있음을 제안한다.

한편 본 연구는 스트레스와 피로 수준의 추적에 한정하여 보고 하였으나 스트레스나 피로 수준이 높을 경우 이를 해소하기 위한 스트레스와 피로 대처기술을 적용하고 대처기술의 효과 검증에도 활용될 수 있을 것이다. 현재까지 개발되었거나 개발 중인 행동요법, 약물요법 등 각종의 스트레스와 피로 해소나 완화 프로그램에 적용하여 개인별, 혹은 집단별 최적의 대처기술을 선택하거나, 대처기술프로그램 진행 중에 본인이 효과를 확인하면서 적용해 나갈 때 시너지 효과를 이끌어 내는 바이오피드백에 확대 적용될 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 민군협력진흥원 민군협력연구지원사업(12-DU-EB-01)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Koh, K, "Stress and Psychosomatic Medicine," Ilchokak, Seoul, pp. 17-92, 2002.
- [2] Kim, D, "Introducing K-ORM(Korea Operation Risk Management) for Squadron," Korean Journal of Aerospace and Environmental Medicine, 22(1), pp. 8-9, 2012.
- [3] Kim, D, "Countermeasures for Stress and Fatigue in War Field and its Limitation," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, 13(5), pp. 924-932, 2010.
- [4] Kim, D., Chung, Y., Park, S, "Relationship between the Stress Hormone, Salivary Cortisol Level and Stress Score by Self-Report Measurement," Korean Journal of Health Psychology, 9(3), pp. 243-263, 2004.
- [5] Park, S., Kim, D, "Relationship between Physiological Response and Salivary Cortisol Level to Life Stress," 26(1), pp. 11-18. 2007.
- [6] Andre, A. Wickens, C, "When users want what's not best for them," Ergonomics in Design, pp. 10-14, October, 1995.
- [7] Caldwell J. A., Mallis M. M., Caldwell J. L., Paul M. A., Miller J. C., Neri D. F., "Aerospace Medical Association Aerospace Fatigue Countermeasures Subcommittee of The Human Factor Committee, Fatigue Countermeasures in Aviation," Aviat Space Environ Med. 80, pp. 29-59, 2009.
- [8] Childs E, de Wit H, "Enhanced Mood and Psychomotor Performance by a Caffeine-Containing Energy Capsule in Fatigued Individuals," Exp Clin Psychopharmacol., 16(1), pp. 13-21, 2008.
- [9] Cohen, S., Kessler, R. and Gordon L, "Measuring Stress a Guide for Health and Social Scientists," Oxford University Press, Oxford, 1997.
- [10] Dinges, DF. & Powell, J. W, "Microcomputer Analysis of Performance on a Portable, Simple Visual RT Task Sustained Operations," Behavioral Research Methods, Instrumentation, and Computers, 17, pp. 652-655. 1985.
- [11] Ferrier-Auerbach A. G., Erbes C. R., Polusny M. A., Rath C. M., Sponheim S. R., "Predictors of Emotional Distress Reported by Soldiers in the Combat Zone", J. Psychiatry Res. [Epub ahead of print], 2009.
- [12] Hancock, P. and Vasmatazidis, I., "Human Occupational and Performance Limits under Stress: The Thermal Environment as a Prototypical Example," Ergonomics, 41(8), pp. 1169-1191, 1998.
- [13] Killgore W. D., Rupp T. L., Grugle N. L., Reichardt R. M., Lipizzi E. L., Balkin T. J., "Effects of Dextroamphetamine, Caffeine and Modafinil on Psychomotor Vigilance Test Performance After 44 h of Continuous Wakefulness", J Sleep Res., 17(3), pp. 309-21, 2008.
- [14] Kim, G. M., Woo, J. M, "Determinants for Heart Rate Variability in a Normal Korean Population," J Korean Med Sci., 26(10), pp. 1293-8. 2011.
- [15] Kramer, A, "Physiological Metrics of Mental Workload: A Review of Recent Progress," In D. Damos(ed.), Multiple Task Performance, Taylor & Francis, Abingdon, 1991.
- [16] Lawrence, D. A. Kim, D, "Central/Peripheral Nervous System and Immune Responses," Toxicology, 142, pp. 189-201, 2000.
- [17] McEwen, B. S., Biron, C. A., Brunson, K. W., Bulloch, K., Chambes, W. H., Shabbar, F. S., Goldfarb, R. H., Kitson, R. P., Miller, A. H., Spencer, R. L. & Weiss, J. M, "The Role of Adrenocorticoids as Modulators of Immune Function in Health and Disease: Neural, Endocrine and Immune Interactions," Brain Research Review, 23, pp. 79-133, 1997.
- [18] Quick, J, "Introduction to the Measurement of Stress at Work", Journal of Occupational Health Psychology, 3, pp. 291-293, 1998.
- [19] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, "Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation and Clinical Use," Circulation, 9(Suppl 5), pp. 1043-1065, 1996.
- [20] Tsang, P. Wilson, G, Mental workload, In G. Salvendy(ed.), "Handbook of Human Factors and Ergonomics," 2nd ed., Wiley, Hoboken, 1997.

- [21] USAF, "Aeronautics and Space General Operating and Flight Rules," 14, 2007.
- [22] Wehr T A, Moul D E, Barbato G, Giesen H A, Seidel JA, Barker C, "Conservation of Photoperiod-Responsive Mechanisms in Humans," *Am J Physiol.*, 265, pp. 846-57, 1993.
- [23] Majer, M., Welberg, L. A., Capuron, L., Miller, A. H., Pagnoni, G., Reeves, W. C., "Neuropsychological Performance in Persons with Chronic Fatigue Syndrome: Results from a Population-Based Study," *Psychosom Med.*, 70(7), pp. 829-36. 2008.
- [24] Dobbs, B. M., Dobbs, A. R., Kiss, I, "Working Memory Deficits Associated with Chronic Fatigue Syndrome," *J Int Neuropsychol Soc.* 7(3), pp. 285-93, 2001.
- [25] Yijing, Z., Xiaoping, D., Fang, L., Xiaolu, J., Bin, W, "The Effects of Guided Imagery on Heart Rate Variability in Simulated Spaceflight Emergency Tasks Performers," *Biomed Res Int.* 2015;2015: 687020. Epub 2015 Jun 7.
- [26] Tucker, P., Pfefferbaum, B., Jeon-Slaughter, H., Khan, Q., Garton T, "Emotional Stress and Heart Rate Variability Measures Associated with Cardiovascular Risk in Relocated Katrina Survivors," *Psychosom Med.* 74(2) pp. 160-8. 2012.
- [27] Kim, D., Koo, H., Lee, W., Kim, M, "Application and Limitation of Frequency Domain, LF/HF Component in Heart Rate Variability as an Acute Stress Index," *Proceedings of the International Conference on Biomedical Engineering and Systems.* Prague, Czech Republic. pp. 128-1-4, August, 2014.