JESK J Ergon Soc Korea 2021; 40(6): 489-497
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2021.40.6.489
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

The Effect of Shift Worker's Heart Rate Variability on the Light Therapy in Electronics Industry

Inseok Lee[1], Seung-Min Mo[2]

[1]Hankyong University, School of Social Safety System Engineering, Anseong, 17579
[2]Osan University, Department of Industrial Engineering, Osan, 18119

전자 제조업에서 광치료가 교대 근무자의 심박변이도에 미치는 영향

이인석[1], 모승민[2]

[1]한경대학교 사회안전시스템공학부
[2]오산대학교 산업공학과

Corresponding Author
Seung-Min Mo
Osan University, Department of Industrial Engineering, Osan, 18119
Email : smmo@osan.ac.kr

Received : November 18, 2021
Revised : November 19, 2021
Accepted : December 11, 2021

Copyright@2021 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The purpose of this study is to analyze heart rate variability on the light therapy for shift worker in electronics industry.

Background: Although the shift work system could be improved productivity, it has been reported that the inconsistency of the circadian rhythm negatively affects worker's health such as physical, psychological and psychosocial activities.

Method: This study participated in eighteen female workers in their 20s and 30s. They have been working in shift for more than six months in the electronics manufacturing process. For the heart rate signal measured during work, heart rate signals were sampled in a continuous 60-minute interval within 120 minutes after the starting (early) and before ending (last) of the working period. This study evaluated the time domain heart rate variability (HRV) of Mean NN, SDNN, SDANN, SDNN index, RMSSD and pNN50. For the Wilcoxon signed-rank test, this study analyzed the significant difference between the HRV in the early and last of working period according to the light therapy.

Results: For the non-light therapy group, there were significant difference of HRV of Mean NN, RMSSD and pNN50 between early and late of working period. These HRV were analyzed to be significantly increased in the late of working period than in the early work period. In non-light therapy group, most of HRV showed high variability. This reason is that worker's psychological tension was alleviated in relation to the finish time at the late of working period. For the light therapy group, there were no significant difference of all HRV between early and late of working period. It showed that the light therapy group should keep maintained stability of autonomic nervous system compared to the non-light therapy group.

Conclusion: This study suggested a method that the light therapy could be reduce variability in heart rated and improve stability for shift worker. And RMSSD and pNN50 of HRV could effectively evaluate the activation of the autonomic nervous system among HRV in the time domain.

Application: Based on the result of this study, non-invasive light therapy could contribute to the prevention of occupational diseases and improving work quality

in the shift work system.

Keywords: Shift work, Heart rate variability, Light therapy, Time domain, Autonomous nervous system

1. Introduction

4차 산업혁명에 따라 IT 융복합이 가속화되고 있으며 전자 제조업은 비약적으로 발전하고 있다. 전자 제조업의 특성 상 작업의 연속성을 확보하기 위해 근무 시간을 연장하여 주·야 2교대, 4조 3교대 등의 교대 근무 체계를 도입하고 있다(KOSHRI, 2018). 교대 근무 체계는 생산설비의 최대 시간 가동을 통한 비용 감소, 공정의 지속성 유지, 생산 동기화, 적기생산 등의 이점이 있다. ILO (2018)는 교대 근무 체계를 작업자가 후속 작업자에게 연속적으로 작업을 인계함으로써 공정 가동율을 연장할 수 있는 유연한 작업 방식으로 보고하였다. 미국, 유럽, 중국 등 선진 산업화 국가에서 근로자의 약 20.8%가 교대 근무에 종사하고 있으며(U.S. Bureau of Labor Statistics, 2007; Wickwire et al., 2017), 한국은 제조업 분야에서 27.4%의 근로자가 교대 근무(오전, 오후, 야간)에 종사하고 있는 것으로 보고되었다(KOSIS, 2018).

교대 근무 체계는 생산성을 향상시킬 수 있지만 인간의 생물학적 일주기리듬과의 부조화로 작업자에게 신체적, 정신적, 심리사회적 건강에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Horne and Östberg, 1976; Roodbandi et al., 2015). 교대 근무 작업자의 사고 발생 및 건강 장애를 예방하고 교대 근무 체계를 개선하기 위한 연구가 다양하게 수행된 바 있다. De La Mare and Walker (1965)와 Fransen et al. (2006)의 연구는 화학 플랜트 작업자를 대상으로 교대 근무 형태 차이에 따른 사고율을 비교하여 불규칙적인 변동 교대 근무에 비해 규칙적인 고정 교대 시 사고율이 낮은 것으로 보고하였다. 일반적으로 24시간제의 교대 근무는 야간부터 새벽까지의 심야 근무 시간대를 포함하고 있다. 이러한 교대 근무 체계는 인간의 일주기리듬에 반하는 시간대로 신체 적응과 밀접한 연관성이 있으며 수면-각성 장애, 심혈관계 질환, 암을 포함한 다양한 질병 유발, 인지 기능 저하, 무기력감 등을 동반한다. 또한 작업자의 판단 미스, 조작 에러 등의 휴먼 에러를 야기하여 작업 효율이 저하되고 사고로 연결되어 공정의 안전성을 저해하는 주요한 요인이다(Griffiths et al., 2006; Savarese and Di Perri, 2020).

교대 근무의 특성 상 작업 시간대가 일정한 주기로 변경되어 생체리듬 부적응으로 심혈관계, 소화기계 질환, 일주기리듬 수면각성 장애를 유발할 수 있다(Drake et al., 2004). 또한 불규칙한 일주기리듬은 멜라토닌 농도 변화에 영향을 미쳐 생리적 장애와 암을 유발할 가능성이 있다(Samuelsson et al., 2018; Stevens et al., 2011). Fink (2020)는 교대 근무자의 심박수를 평가한 문헌 조사를 통해 야간 교대 근무는 작업자의 심박변이도에 영향을 미쳐 자율신경계의 기능 장애를 유발할 가능성이 높은 것으로 보고하였다. 임상학적으로 교대 근무로 인한 다양한 생체리듬 부적응을 치료하기 위해 일정 시간 인공조명에 노출시키는 광치료를 활용하여 일주기리듬의 위상 변화 및 주간 수면을 호전시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(Campbell et al., 1993; Watanabe et al., 1999). 선행연구에 따르면 광치료는 교대 근무자의 수면질과 주간졸림 개선에 효과적인 것으로 보고되었다(Czeisler et al., 1990; Huang et al., 2013; van Maanen et al., 2016).

광치료는 일주기리듬의 적응력을 향상시켜 수면 장애를 호전시키며(Riemann et al., 2017) 생리학적으로 호르몬 수치에 영향을 미쳐 심박수과 연관성이 높다(Boudreau et al., 2012). Kardelen et al. (2006)은 심박변이도 중 SDNN, pNN50은 일주기리듬을 반영할 수 있는 패턴으로 보고하였으며 이러한 심박변이도는 심혈관계 기능을 조절하는 교감-부교감 신경의 상호작용을 반영하여 심박동간 변동의 생리적 기전을 평가할 수 있다. 이에 따라 심박변이도는 작업자의 자율신경계 변화, 긴장도, 컨디션 등을 예측 및 평가할 수 있는 생리학적 지표이다(Miyagi et al., 2019). 교대 근무에 따른 작업자 건강의 유해성을 보고한 선행 연구는 다수 진행되었다. Jensen et al. (2015)은 교대 근무자의 심박변이도 분석 관련 문헌조사 연구를 수행하여 3회까지 연속 야간 근무에 신체적 적응성이 불충분한 것으로 보고하였다. Comtet et al. (2019)는 광치료는 수면 장애가 있는 교대 근무자를 대상으로 졸음 저하, 주의력 향상에 효과적이며 사고 예방에 광범위하게 적용할 수 있다고 보고하였다. 하지만 교대 근무에 따른 수면-각성 장애를 개선하기 위한 광치료의 효과 및 심박변이도의 변화를 체계적으로 분석한 연구는 아직 미흡하다. 교대 근무 체계는 사회적 서비스 수요에 따라 다양한 산업 분야로 확대되고 있는 추세이며 교대 근무로 유발될 수 있는 직업성 건강 질환 등을 조기에 판별할 수 있는 평가 지표 연구가 선행되어야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 전자 제조업 분야의 교대 근무 작업자를 대상으로 광치료 그룹군을 구분하여 심박변이도의 차이를 비교 분석하는 것이다. 본 연구 결과를 기반으로 교대 근무자의 수면 장애를 최소화하기 위한 광치료의 효과성을 파악할 수 있으며 변별력 높은 심박변이도 지표를 평가할 수 있을 것이다.

2. Method

2.1 Subjects

본 연구에 참여한 피실험자는 전자 제조업 공정에서 6개월 이상 교대 근무에 종사하고 있는 20~30대 여성 근로자 18명으로 평균 연령은 28.3±4.0세였다. 피실험자는 교대 근무 주기 변동으로 인한 수면 장애, 주간 졸림 등의 증세가 있는 근로자를 선별하였다. 피실험자의 윤리적 보호를 위해 한국 중앙보훈병원의 기관생명윤리위원회의 승인(approval ID: 2016-07-016-001)을 받은 후 피실험자에게 전반적인 실험의 목적 및 절차를 설명하고 실험 참가의 동의를 얻었다.

2.2 Apparatus

본 연구에서 사용한 심박수 측정 장비는 wGT3X-BT (ActiGraph, Pesacola, FL)였으며 피실험자의 가슴에 벨트형 심박센서(Sampling rate 1Hz) 블루투스 송신기를 부착하고 손목에 수신기를 착용하였다(Figure 1). 측정된 심박수 데이터는 ActiLife 6 (ActiGraph, Pesacola, FL) 소프트웨어를 이용하여 NN interval(심전도의 신호의 정상 R지점으로부터 다음 정상 R지점까지의 간격)의 심박수 데이터를 추출하였다.

Figure 1. The system of heart rate measurement and software

2.3 Protocol

실험에 임하기 앞서 모든 피실험자에게 심박수 측정 장비의 착용법과 사용 절차를 설명하고 사전에 익숙해질 수 있도록 충분한 연습 시간을 부여하였다. 공정별 오전 교대 근무 시간대의 차이로 인해 총 피실험자 18명 중 8명의 심박수 측정 시간은 7:00~14:00 (8h)였으며 10명의 심박수 측정 시간은 6:00~14:00 (8h)였다. 광치료를 받지 않은 그룹은 일반적인 교대 근무를 수행하였으며 수면 3시간 전부터 광차단안경을 착용하였다. 가정에서는 100~200lux 정도(화장실 혹은 복도의 밝기)의 조도 수준을 유지하도록 사전 교육하였다. 광치료 그룹은 7일간 근무 시작 전 약 30분간 10,000lux의 광치료를 받고 근무에 투입되었다. 퇴근 이후 주간에 외부 활동 시에는 반드시 광차단을 위한 안경을 착용하였다. 모든 피실험자는 실험에 참가하기 6일 전에 수면위생, 광치료 효과, 광치료 기기 사용방법 등에 대한 교육을 받고 근무 투입 전에 심박수 측정 기기를 착용하였으며 근무 시간 종료 후 탈거하였다.

2.4 Signal processing and statistics

피실험자 별로 측정된 심박수 데이터를 취합하고 NN interval 데이터를 검토하여 데이터 크리닝을 수행하였다. 각 심박수 데이터를

전수 검사하여 측정 시간이 너무 짧거나 불연속적으로 측정된 경우는 분석 데이터에서 제외하였다. 또한 SDNN (Standard deviation of all NN interval) 심박변이도의 지표가 160ms 이상일 경우 부정맥 증상이 의심되어 이상치로 간주하였다(Nagendra et al., 2017).

작업 구간(초기, 후기)에 따른 심박변이도를 비교 분석하기 위해 작업 중 측정된 전체 심박수 데이터를 샘플링하였다. 작업 초기의 데이터는 작업 시작 후 120분 이내에서 가급적 심박수 신호가 연속적인 60분 구간의 데이터를 샘플링하였다. 작업 후기의 데이터는 작업 종료 전 30~120분 이내에서 가급적 심박수 신호의 단절이 없는 연속적인 60분 구간의 데이터를 샘플링하였다.

본 연구는 시간 영역의 심박변이도를 고려하여 Mean NN, SDNN, SDANN, SDNN index, RMSSD, pNN50의 지표를 분석하였다(Table 1). 일반적으로 시간 영역의 심박변이도 지표는 비교적 간단하게 생리학적 스트레스, 심혈관계 질환 등을 예측할 수 있는 것으로 보고되었다(Kleiger et al., 1992). 심박변이도 분석을 위해 Matlab ver. 7.10.0 (Mathworks inc.) 프로그램을 사용하였다.

Table 1. Definition for time domain measures of heart rate variability

Variable	Units	Definition
Mean NN	ms	Mean of all NN intervals of the entire recording
SDNN	ms	Standard deviation of all NN intervals
SDANN	ms	Standard deviation of the averages of NN intervals in all 5 minutes segments of the entire recording
SDNN index	ms	Mean of the standard deviations of all NN intervals for all 5 minutes segments of the entire recording
RMSSD	ms	Root mean square successive difference, the square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent NN intervals
pNN50	%	Percent of difference between adjacent normal NN intervals that are greater than 50 ms computed over the all NN intervals

광치료 전후 그룹군을 구분하여 광치료 유무에 따른 작업 초기와 후기의 심박변이도의 유의한 차이를 쌍체비교를 통해 통계적으로 분석하였다. 데이터의 정규성 검정 결과, 정규성을 만족하지 않아 비모수 기법인 Wilcoxon signed-rank test를 적용하였다. 모든 통계 분석은 SAS 9.4 (SAS institute Inc.) 통계패키지를 사용하였으며 신뢰수준은 95%로 설정하였다.

3. Results

광치료를 받지 않은 그룹에 대한 Wilcoxon signed-rank test 분석 결과, Mean NN (p=0.0208), RMSSD (p=0.0120), pNN50 (p=0.0237)의 지표는 작업 초기 대비 작업 후기에서 유의하게 증가한 것으로 분석되었다(Figure 2). 전반적으로 광치료 전 심박변이도 지표는 작업 초기 대비 후기에서 증가하는 경향이 파악되었다. 평균 Mean NN은 작업 초기 대비 후기에서 8.8% 증가하였다. 평균 RMSSD는 작업 초기 대비 후기에서 30.7% 증가하였다. 평균 pNN50은 작업 초기 대비 후기에서 78.7% 증가하였다. 통계적으로 유의한 차이는 없었지만 SDNN도 작업 초기 대비 후기에서 8.5% 증가하였다. 평균 SDANN은 0.04ms, 평균 SDNN index는 0.06ms로 분석되어 작업 초기와 후기의 차이가 없는 것으로 파악되었다.

광치료를 받은 그룹에 대한 Wilcoxon signed-rank test 분석 결과, 모든 심박변이도 지표는 작업 초기와 후기의 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 통계적으로 유의한 차이는 없지만 전반적으로 작업 초기 대비 후기에서 약간 감소하는 경향으로 분석되었다. 평균 Mean NN은 작업 초기 대비 후기에서 0.4% 증가하였다. 평균 SDNN은 작업 초기 대비 후기에서 11.2% 감소하였다. 평균 SDANN은 작업 초기 대비 후기에서 16.7% 감소하였다. 평균 RMSSD는 작업 초기 대비 후기에서 21.5% 감소하였다. 평균 pNN50은 작업 초기 대비 후기에서 42.7% 감소하였다. 평균 SDNN index는 0.06ms로 분석되어 작업 초기와 후기의 차이가 없는 것으로 파악되었다.

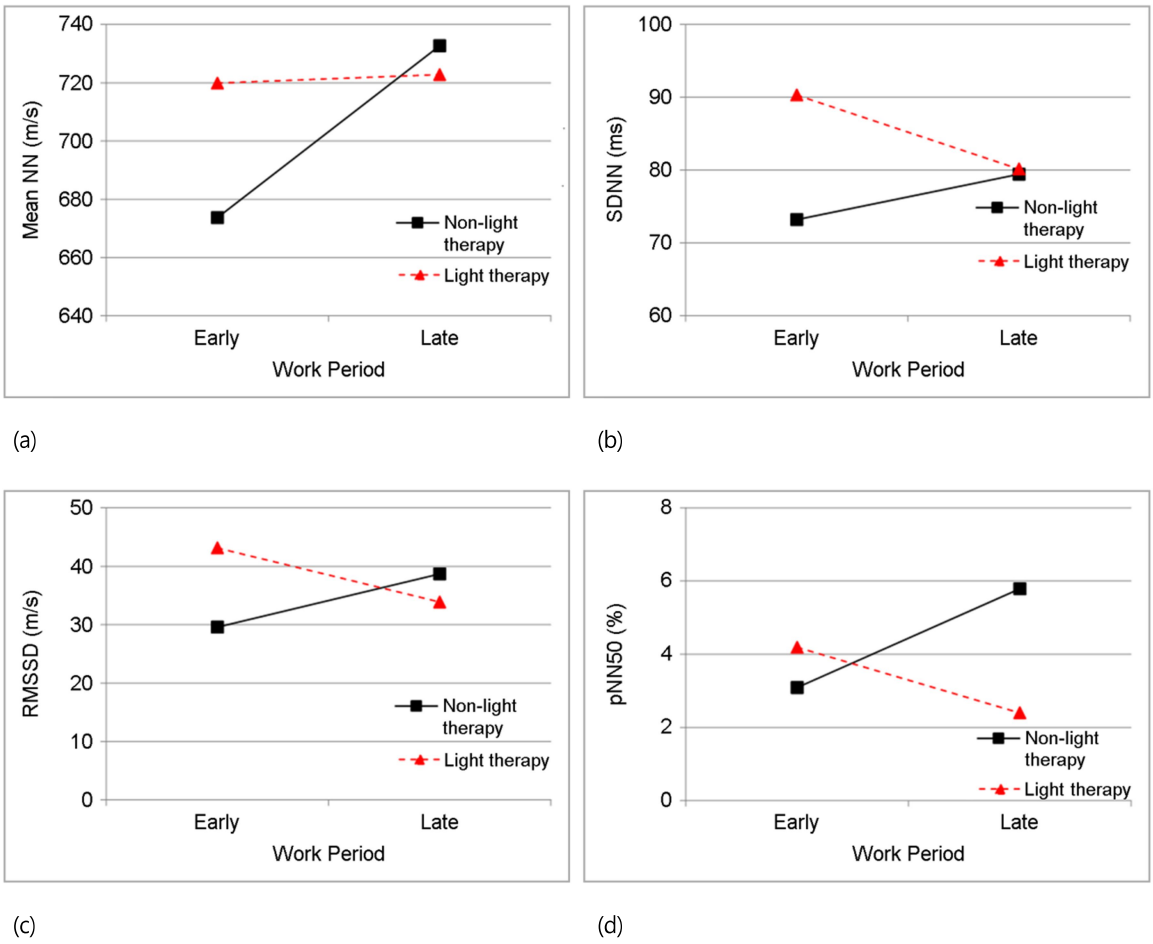

Figure 2. Result of heart rate variability by the work period; (a) Mean NN (b) SDNN (c) RMSSD (d) pNN50

4. Discussion

본 연구는 전자 제조업 분야의 교대 근무 작업자를 대상으로 광치료 유무에 따른 심박변이도의 차이를 비교 분석하였다. 광치료를 받지 않은 그룹의 경우 대부분의 심박변이도 지표는 작업 초기 대비 후기에서 통계적으로 유의한 증가 경향이 파악되었다. 반면, 광치료를 받은 그룹의 경우 대부분의 심박변이도 지표는 작업 초기 대비 후기에서 통계적으로 차이가 유의하지 않았으며 약간 감소하는 경향이 파악되었다.

시간 영역의 심박변이도 분석 시 Mean NN 지표는 NN interval에 의한 순간 심박수를 반영하며 생리적인 자율신경계 전반적인 활동과 밀접한 연관성이 있다(Shaffer and Ginsberg, 2017). 작업 초기 대비 후기의 Mean NN의 증가는 평균 심박수가 감소한 것을 의미하며 이는 스트레스 수준을 반영하여 낮을수록 안정적인 상태로 평가한다(Kim et al., 2007). RMSSD, pNN50 지표는 심박수에 대한 단기 변이를 반영하며 부교감신경계의 활성화 정도를 반영한다(Billman, 2011). 본 연구 결과를 반영하여 광치료를 받지 않은 그룹의 경우 작업 후기에서 부교감신경이 더 활성화되었다는 것을 의미한다. 또한 교대 근무 작업자가 근무를 시작한 초기에는 긴장도가 높기 때문에 교감신경이 활성화되어 낮은 심박변이도가 파악되었다. 반면, 작업 후기에는 심박변이도가 증가한 것으로 분석되었다. 작업 후기 구간은 퇴근 시간과 밀접한 연관이 있기 때문에 작업자의 심리적 긴장도가 완화되었기 때문인 것으로 사료된다.

광치료를 받은 그룹은 모든 심박변이도 지표에서 작업 초기 대비 작업 후기의 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 이는 작업 초

기와 후기의 심박동의 변동폭이 낮은 것을 의미하며 광치료를 받지 않은 그룹과 비교하여 비교적 안정적인 상태를 유지한 것으로 판단된다. Kim and Cho (2017)는 안정적인 상황과 스트레스 자극 상황에서 RMSSD의 심박변이도의 변동폭이 증가하였다. 이는 스트레스 자극 상황에서 신체의 생리적인 균형을 유지하기 위한 교감-부교감 신경의 활성화로 인해 심박변이도의 변동폭이 높게 분석된 것이다. 본 연구에서 고려한 광치료를 받은 그룹은 신체의 안정성이 향상되어 근무 시간 동안 심박동의 변동폭이 낮게 분석된 것으로 사료된다. 선행 연구에서 교대 근무자에 대한 광치료는 수면 장애 및 심야 각성 등을 개선하는 데 효과적인 것으로 보고되었다(Huang et al., 2013; Kakooei et al., 2010; Yoon et al., 2002). 따라서 광치료는 교대 근무 주기 변동으로 인한 불편함을 호소하는 작업자에게 생리학적으로 자율신경계의 안정성을 향상시킬 수 있는 대안으로 권장할 수 있다.

본 연구에서 고려한 다양한 시간 영역의 심박변이도 중 Mean NN, RMSSD, pNN50의 지표는 작업 초기와 후기 간의 유의한 차이가 있는 지표로 분석되어 변별성이 높은 것으로 나타났다. DeGiorgio et al. (2010), Shaffer and Ginsberg (2017), Umetani et al. (1998)의 선행 연구는 RMSSD와 pNN50의 지표는 NN interval의 차이를 기반으로 부교감신경계와 더욱 밀접한 관련성이 있기 때문에 SDNN보다 신뢰도 높은 지표로 보고하였다. 이러한 이유로 본 연구에서 고려한 NN interval의 표준 편차 관련 지표인 SDNN, SDANN, SDNN index의 지표는 작업 구간에 따른 차이가 유의하지 않게 분석된 것으로 판단된다. 따라서 시간 영역의 심박변이도 분석 시 RMSSD, pNN50은 자율신경계의 활성화 정도를 평가하기 위한 변별성이 높은 지표로 제안할 수 있다.

본 연구는 제조업 생산 공정 및 근무 환경 등의 제약 사항으로 피실험자군의 섭외가 제한적이었다. 또한 본 연구는 단기간의 광치료에 따른 심박변이도의 차이를 평가하여 향후 장기간 광치료에 대한 심박변이도 및 일주기리듬 등의 생리적 반응을 함께 고려한 추가 연구가 필요하다. 이에 따라 본 연구 결과를 일반화하기에는 무리가 있으며 추후 다수의 피실험자를 대상으로 교대 근무의 시간대별 시계열 데이터 확보가 필요하다. 작업자의 심박수를 다각적으로 분석하기 위해 파워, 고·저주파수 대역 등의 주파수 영역의 심박변이도 지표를 함께 고려해야 할 것이다. 또한 장시간동안 측정된 심박수 데이터는 비정형적인 신호이기 때문에 노이즈를 최소화하며 심박 신호에 적절한 필터링 기법을 적용하여 이상치를 최소화하고 신뢰도 높은 데이터 추출이 필요하다.

5. Conclusion

본 연구 결과를 기반으로 시간 영역의 심박변이도 분석을 통해 광치료가 교대 근무자에게 작업 중 심박동의 변동폭을 감소시킬 수 있고 안정성을 향상시킬 수 있는 대안으로 제안하였다. 또한 시간 영역의 심박변이도 지표 중 RMSSD, pNN50은 자율신경계의 활성화 정도를 효과적으로 평가할 수 있는 변별성이 높은 지표로 파악되었다. 향후에도 산업 현장의 교대 근무 체계는 공정의 생산성 및 연속성 때문에 불가피하게 지속될 것으로 예상하며 근무 주기 변동에 대한 불편함을 호소하는 작업자의 비율도 증가할 것으로 예상한다. 따라서 비교적 간단한 비침습의 광치료를 활용하여 교대 근무자의 불편함을 해소하고 근무질의 향상에 기여할 수 있다. 나아가 작업자의 심박변이도를 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템을 구축하여 생리학적 변화를 조기에 감지하고 휴먼에러로 인한 사고 발생 위험성을 감소시킬 수 있기를 기대한다.

Acknowledgement

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.NRF-2021R1F1A1061546).
이 논문은 2021학년도 오산대학교 교내연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

References

Billman, G.E., Heart rate variability - a historical perspective, Frontiers in Physiology, 2, 1-13, 2011.

Boudreau, P., Yeh, W.H., Dumont, G.A. and Boivin, D.B., A circadian rhythm in heart rate variability contributes to the increased cardiac sympathovagal response to awakening in the morning, *The Journal of Biological and Medical Rhythm Research*, 29(6), 757-768, 2012.

Campbell, S.S., Dawson, D. and Anderson, M.W., Alleviation of sleep maintenance insomnia with timed exposure to bright light. *Journal of the American Geriatrics Society*, 41(8), 829-836, 1993.

Comtet, H., Geoffroy, P.A., Kobayashi Frisk, M., Hubbard, J., Robin-Choteau, L., Calvel, L., Hugueny, L., Viola, A.U. and Bourgin, P., Light therapy with boxes or glasses to counteract effects of acute sleep deprivation. *Scientific Reports*, 9(1), 18073, 2019.

Czeisler, C.A., Johnson, M.P. and Duffy, J.F., Exposure to bright light and darkness to treat physiological maladaptation to night work. *The New England Journal of Medicine*, 322(18), 1253-1259, 1990.

DeGiorgio, C.M., Miller, P., Meymandi, S., Chin, A., Epps, J., Gordon, S., Gornbein, J. and Harper, R.M., RMSSD, a measure of vagus-mediated heart rate variability, is associated with risk factors for SUDEP: *the SUDEP-7 Inventory*, 19(1), 78-81, 2010.

De La Mare, G. and Walker, J., Shift working: the arrangement of hours on night work, *Nature*, 208(5015), 1128-1128, 1965.

Drake, C.L., Roehrs, T., Richardson, G., Walsh, J.K. and Roth, T., Shift work sleep disorder: prevalence and consequences beyond that of symptomatic day workers. *Sleep*, 27(8), 1453-1462, 2004.

Fink, A.M., Measuring the effects of night-shift work on cardiac autonomic modulation: an appraisal of heart rate variability metrics, *Occupational Medicine and Environmental Health*, 33(4), 409-425, 2020.

Fransen, M., Wilsmore, B., Winstanley, J., Woodward, M., Grunstein, R., Ameratunga, S. and Norton, R., Shift work and work injury in the new zealand blood donors' health study, *Occupational and Environmental Medicine*, 63(5), 352-358, 2006.

Griffiths, J.D., McCutcheont, C., Silbert, B.S. and Maruff, P., A prospective observational study of the effect of night duty on the cognitive function of anaesthetic registrars. *Anaesthesia and Intensive Care*, 34(5), 621-628, 2006.

Horne, J.A. and Östberg, O., A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4(2), 97-110, 1976.

Huang, L.B., Tsai, M.C., Chen, C.Y. and Hsu, S.C., The Effectiveness of light/dark exposure to treat insomnia in female nurses undertaking shift work during the evening/night shift. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 9(7), 641-646, 2013.

International Labor Organization, Working time and the future of work, Working condition group, *International Labor Organization*, Geneva, 2018.

Jensen, M.A., Garde, A.H., Kristiansen, J., Nabe-Nielsen, K. and Hansen, Å.M., The effect of the number of consecutive night shifts on diurnal rhythms in cortisol, melatonin and heart rate variability (HRV): a systematic review of field studies. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 89(4), 531-545, 2015.

Kakooei, H., Ardakani, Z.Z., Ayattollahi, M.T., Karimian, M., Saraji, G.N. and Owji, A.A., The effect of bright light on physiological circadian rhythms and subjective alertness of shift work nurses in Iran, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 16(4), 477-485, 2010.

Kardelen, F., Akçurin, G., Ertuğ, H., Akcurin, S. and Bircan, I., Heart rate variability and circadian variations in type 1 diabetes mellitus, *Pediatric Diabetes*, 7(1), 45-50, 2006.

Kim, K.K., Lim, Y.G., Kim, J.S. and Park, K.S., Effect of missing RR-interval data on heart rate variability analysis in the time domain, *Physiological Measurement*, 28(12), 1485-1494, 2007.

Kim, M.S. and Cho, Y.C., GSR, HRV and EEG analysis of stress caused by horror image and noise stimulation, *Physiological Measurement*, 21(4), 381-387, 2017.

Kleiger, R.E., Stein, P.K., Bosner, M.S. and Rottman, J., Time domain measurements of heart rate variability, *Cardiology Clinics*, 10(3), 487-498, 1992.

Korea Occupational Safety and Health Research Institute (KOSHRI), The strategy of workers' health and safety in the semiconductor industries in Korea, 2018.

Korean Statistical Information Service (KOSIS), Korean Working Conditions Survey, 2018. http://www.kosis.kr (Accessed 10 January, 2021).

Miyagi, R., Sasawaki, Y. and Shiotani, H., The influence of short-term sedentary behavior on circadian rhythm of heart rate and heart rate variability. *The Journal of Biological and Medical Rhythm Research*, 36(3), 374-380, 2019.

Nagendra, H., Kumar, V. and Mukherjee, S., Evaluation of cognitive behavior among deaf subjects with video game as intervention, *Cognitive Systems Research*, 42, 42-57, 2017.

Riemann, D., Baglioni, C., Bassetti, C., Bjorvatn, B., Dolenc Groselj, L., Ellis, J.G, Espie, C.A., Garcia-Borreguero, D., Gjerstad, M., Gonçalves, M., Hertenstein, E., Jansson-Fröjmark, M., Jennum, P.J., Leger, D., Nissen, C., Parrino, L., Paunio, T., Pevernagie, D., Verbraecken, J., Weeß, H.G., Wichniak, A., Zavalko, I., Arnardottir, E.S., Deleanu, O.C., Strazisar, B., Zoetmulder, M. and Spiegelhalder, K., European guideline for the diagnosis and treatment of insomnia. *Journal of Sleep Research*, 26(6), 675-700, 2017.

Roodbandi, A.J., Choobineh, A. and Daneshvar, S., Relationship between circadian rhythm amplitude and stability with sleep quality and sleepiness among shift nurses and health care workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(3), 312-317, 2015.

Samuelsson, L.B., Bovbjerg, D.H., Roecklein, K.A. and Hall, M.H., Sleep and circadian disruption and incident breast cancer risk: an evidence-based and theoretical review, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 84, 35-48, 2018.

Savarese, M. and Di Perri, M.C., Excessive sleepiness in shift work disorder: a narrative review of the last 5 years. *Sleep and Breathing*, 24(1), 297-310, 2020.

Shaffer, F. and Ginsberg, J., An overview of heart rate variability metrics and norms, *Frontiers Public Health*, 5, 1-17, 2017.

Stevens, R.G., Hansen, J., Costa, G., Haus, E., Kauppinen, T., Aronson, K.J., Castaño-Vinyals, G., Davis, S., Frings-Dresen, M.H.W., Fritschi, L., Kogevinas, M., Kogi, K., Lie, J.A., Lowden, A., Peplonska, B., Pesch, B., Pukkala, E., Schernhammer, E., Travis, R.C., Vermeulen, R., Zheng, T., Cogliano, V. and Straif, K., Considerations of circadian impact for defining 'shift work' in cancer studies: IARC Working Group report. *Occupational & Environmental Medicine*, 68(2), 154-162, 2011.

Umetani, K., Singer, D.H., McCraty, R. and Atkinson, M., Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades. *Journal of the American College of Cardiology*, 31(3), 593-601, 1998.

U.S. Bureau of Labor Statistics., A time to work: recent trends in shift work and flexible schedules. *Monthly Labor Review*, 130, 3-15, 2007.

van Maanen, A., Meijer, A.M., van der Heijden, K.B. and Oort, F.J., The effects of light therapy on sleep problems: a systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 29, 52-62, 2016.

Watanabe, T., Kajimura, N., Kato, M., Sekimoto, M. and Takahashi, K., Effects of phototherapy in patients with delayed sleep phase syndrome. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 53(2), 231-233, 1999.

Wickwire, E.M., Geiger-Brown, J., Scharf, S.M. and Drake, C.L., Shift work and shift work sleep disorder: clinical and organizational perspectives, *Chest*, 151(5), 1156-1172, 2017.

Yoon, I.Y., Jeong, D.U., Kwon, K.B., Kang, S.B. and Song, B.G., Bright light exposure at night and light attenuation in the morning improve adaptation of night shift workers, *Sleep*, 25(3), 351-356, 2002.

Author listings

Inseok Lee: lis@hknu.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, POSTECH
Position title: Professor, School of Social Safety System Engineering and Research Center for Applied Human Sciences, Hankyong National University
Areas of interest: Physycial Egonomics, Workload Evaluation, Agricultural Ergonomics, Accessible Design, Occupational Safety and Health Management

Seung-Min Mo: smmo@osan.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Ajou University
Position title: Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Osan University
Areas of interest: Ergonomics, Industrial safety, Biomechanics, Human-robot interaction