

# The Extraction of HRV Parameters Representing the High Sensitivity of Stress Signal during Game Playing among the Game Addicted

Jung Yong Kim<sup>1</sup>, Heasol Kim<sup>2</sup>, Dong Joon Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hanyang University, College of Computing, Ansan, 15588

<sup>2</sup>Hanyang University, Department of Human Computer Interaction, Ansan, 15588

<sup>3</sup>Hanyang University, Department of Industrial & Management Engineering, Ansan, 15588

## 게임 중독군의 게임 중 스트레스 반응민감도에 따른 HRV 파라미터 추출

김정룡<sup>1</sup>, 김혜솔<sup>2</sup>, 김동준<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 소프트웨어융합대학

<sup>2</sup>한양대학교 휴먼컴퓨터인터랙션(HCI)학과

<sup>3</sup>한양대학교 산업경영공학과

### Corresponding Author

Dong Joon Kim

Hanyang University, Department of

Industrial & Management Engineering,

Ansan, 15588

Email : whatsdream@naver.com

Received : May 26, 2020

Revised : June 16, 2020

Accepted : September 04, 2020

**Objective:** The purpose of this study is to extract quantitative parameters that indicate significant differences in ECG (electrocardiogram) between game-addicted group and non-addicted group.

**Background:** Although the concept and side-effects of game addiction are recognized around the world, there is no objective means to define game addiction among health authorities, academic societies, and institutions. Also, studies suggesting objective references have been lacking so far. Considering the limitations of the current diagnosis subjective scale, it is necessary to make a quantitative assessment for the prevention and treatment of game addiction.

**Method:** With the existing diagnostic questionnaire, authors classified subjects into game-addicted groups and non-addicted group, and used ECG parameters representing heart rate variability. The parameters were analyzed by applying various window-sizes based on specific game situations. A *t*-test was used to compare the two groups. Finally, correlation analysis and factor analysis were performed to extract the best parameters to differentiate the two groups.

**Results:** The large window size over 20 minutes of gameplay time, showed no significant difference between the two groups. When the event data were analyzed, there was no significant difference during a player character killed an opponent player. However, when the player character was killed, there were significant differences in parameters. In particular, these differences were most prominent in a window size of 1min 30 sec after the player character was killed. After that, RMSSD and LF were found to be the most sensitive parameters through correlation analysis and factor analysis.

**Conclusion:** In this study, we measured and analyzed the stress response difference by using ECG parameters between game addicted group and the non-addicted group. As a result, it was observed that the game addiction group was sensitive to

stress stimuli in a particular situation. The outcome of this study is the optimal window-size and parameters for developing a quantitative model discriminating the sign of addiction among game users in the future.

**Application:** The parameters extracted in this study can be further tested to develop an algorithm to diagnose the addicted players, and the measuring technique used in this study is textile and non-invasive to be used at device development in the future.

**Keywords:** Game addiction, Heart rate variability, ECG, Stress, Sensitive parameters, Quantitative diagnosis

## 1. Introduction

게임은 전 세계에서 약 1,234억 달러 이상의 시장 규모를 가지고 거듭 성장하고 있다. 그리고 우리나라는 세계시장 점유율의 6.7%로 세계 5위에 자리하고 있다(KOCCA, 2018). 국내에서는 우리나라 콘텐츠 산업 수출액의 약 55.8%를 차지할 정도로 유망 산업으로 평가 받고 있다(KOCCA, 2019). 이와 더불어 Ryu and Lee (2012)에 따르면 게임 산업의 발달은 사회적으로도 긍정적인 영향을 준다고 하였다. 반면에 게임 중독이 개인의 삶 뿐만 아니라 가정, 사회, 교육에도 악영향을 미칠 수 있다고 인지하고 공공 보건 차원에서의 중요성이 강조되고 있다. Koepp et al. (1998)는 게임 중독 경향 심한 청소년들에 뇌에서 도파민이 분비되며 뇌기능이 약물 중독자와 유사하게 변화한다고 하였다. 국내 연구는 주로 청소년을 대상으로 진행하였는데 인터넷 사용빈도와 사용 시간의 증가에 따라 인터넷 중독 수준이 증가하였고 인터넷 사용 시간과 불안, 공포, 우울, 강박증 등 정신병리학적인 요인의 상관관계가 유의하게 나타났다(Byun and Lee, 2007). 또한 게임 중독 경향이 보이는 청소년들에게서 소화불량, 불면증, 두통 등의 증상을 발견하였고(Kwon et al., 2005) 사회성이 떨어져 대인관계가 어렵고 문제해결능력, 대처능력 및 충동통제력이 낮은 것으로 보고 되었다(Lee and Chae, 2006). 과도한 게임 이용 시간에 따른 중독이 다양한 부작용을 일으키는 것으로 보인다.

Kim (2009)의 연구에 따르면 인터넷 중독의 원인 중 가장 큰 영향 요인은 지나친 경쟁에서 발생하는 스트레스라고 하였다. Gharib et al. (2010)의 연구에서도 이와 비슷한 결과가 나타났으며, 스트레스 원인이 더 많은 청소년이 인터넷에 더 몰입하는 것으로 나타났다. 또한 게임 중독자가 느끼는 불안감, 우울 증세 등은 다시 스트레스로 나타나는 것으로 보인다. 청소년이 인터넷 게임에 중독되면 소외감이나 외로움을 겪고(Hwang and Ryu, 2008), Lee (2002)의 연구에 의하면 게임 중독은 청소년이 스트레스 원인에 제대로 대처하지 못하게 하며, 다양한 심리적 문제와 스트레스 반응을 유발한다 하였다. 이처럼 게임 및 인터넷 중독과 스트레스가 밀접한 관계임에도 불구하고 게임 중독자가 느끼는 스트레스를 측정하기 위해 스트레스에 따른 파라미터의 변화를 파악한 연구는 찾아보기 어렵다.

최근 많은 연구에서는 스트레스에 대한 과학적이고 객관적인 분석을 하기 위해 HRV(heart rate variability; 심박변이도)를 사용하고 있다. 정신적인 스트레스는 자율신경계에 영향을 미치고, HRV는 자율신경계의 반응을 간접적으로 관찰할 수 있는 수단이기 때문이다. 정신적 스트레스와 HRV의 관한 연구는 쉽게 찾아볼 수 있다. Taelman et al. (2011)과 Vuksanović and Gal (2007)의 연구에 따르면 정신적 스트레스를 받는 동안 평균 NN 간격과 SDNN이 유의하게 감소했다. 그리고 Taelman et al. (2011)과 Tharion et al. (2009)의 연구에서는 스트레스 상태에서 PNN50이 유의하게 감소했다. Papousek et al. (2010)과 Traina et al. (2011)는 스트레스를 받는 동안 교감/부교감 신경계의 활성화를 나타내는 LF의 증가와 부교감 신경계의 활성화와 관련된 HF의 감소 그리고 LF/HF ratio의 유의한 증가를 보고하였다. 이는 정신적 스트레스를 받는 동안 교감 신경 활성화와 부교감 신경 비활성화로 유도된 자율신경계의 변화로 볼 수 있다(Visnovcova et al. 2014). 게임 중독군과 비중독군의 차이를 판별하고자 한 기존 연구에 따르면 게임 전후의 HRV 측정값이 평상 시와 다르게 변화하였다. Park et al. (2017)은 사전에 인터넷 게임 중독 설문조사를 통해 정상군, 경계군, 중독군으로 분류하여 HRV를 측정하였는데 시계열과 주파수 영역 분석에서 모두 통계적 의미는 없지만 신체적, 심리적 불안 경향성을 찾을 수 있었다. 세 그룹 모두 심박수가 증가하고 주파수 영역에서는 LF의 증가와 HF의 감소, 그리고 LF/HF의 감소의 결과를 보이고 있어 이는 불안정한 심리 상태를 나타낸 것이라고 보고하였다.

EEG를 측정된 선행 연구에서는 중독군과 비중독군의 생리학적 차이를 관찰한 Hafeez et al. (2016)는 EEG 데이터를 이용해 사전 분석에서 군집 분석을 하였고 게임 중독군과 비중독군을 구분하였다. 이에 따라 중독현상 정량화의 가능성을 시사하였다. Hafeez et al.

(2018)와 Kim et al. (2019)의 연구에서는 EEG 데이터를 이용해 중독군과 비중독군 간에 차이를 가장 잘 나타내는 파라미터를 확인하였다.

각 보건당국과 학회 및 기관은 게임 중독을 정성적으로 진단하기 위해 온라인 중독 또는 병적 도박과 유사하다고 판단하여 진단 척도를 다수 개발하였고 추가, 수정을 거쳐 독립된 평가 문항을 사용하고 있다. 이처럼 게임 중독의 개념과 부작용은 국내외에서 인지되고 있지만 정량적 준거와 범위를 제시한 연구는 현재까지 부족한 상황이다. 정성적 진단 척도의 한계를 고려할 때 게임 중독의 예방 및 치료, 재활을 위한 과학적 도구 개발을 위해 중독 정도를 정량적으로 판별할 필요가 높아지고 있다. 선행연구에서 EEG를 이용해 정량적 파라미터를 확인한 결과에 따라 HRV를 사용해 중독군과 비중독군을 비교할 필요성이 있었다. 따라서 본 연구의 목적은 게임 중독군의 스트레스 반응을 반영하는 심박변이도(ECG; electrocardiogram) 신호의 유의미한 차이를 나타내는 정량적 파라미터를 추출하는 것이다. 이를 위해 기존 사용된 14개의 심전도 파라미터를 사용하여 게임 시간, 특정 event 상황 이후 기준으로 다양한 윈도우 사이즈를 사용하여 스트레스에 가장 민감하게 반응하여 판별가능성이 높은 파라미터와 윈도우 사이즈를 결정하고자 하였다.

## 2. Method

### 2.1 Participants

본 연구에서는 심장병력 및 정신병력이 없는 남학생 13명이 참여하였으며, 나이는 23( $\pm$ 3세)로 구성되어 있다. 주관적 진단 도구인 설문조사는 기존 연구에서 게임 중독을 사전에 판별하고자 하는 연구에서도 가장 많이 사용되었으며, 임상적 맥락에서 국제적으로 널리 사용되는 Meerkerk et al. (2009)의 강박적 인터넷 사용 스케일(Compulsive Internet Use Scale: CIUS)과 Young and De Abreu (2010)의 인터넷 중독 설문(Internet Addiction Test: IAT)를 사용하였다. CIUS는 Littel et al. (2012)의 연구에서 게임 중독군과 비중독군을 선정하기 위해 사용되는데 Littel et al. (2012)은 CIUS에서 2.5점 이상이면 게임 중독군으로 1.5 미만이면 비중독군으로 분류하였다. IAT는 Peng et al. (2017)과 Kim et al. (2003) 등의 연구에서 게임 중독군 분류에 사용되었으며, 이들은 IAT 점수가 50점 이상이면 게임 중독군으로 분류하였다. 본 연구에서는 이에 따라 그룹 간 차이가 아닌 특정 점수 이상의 경우 중독군으로 분류하는 것이 목적이며, 기존에 사용되었던 게임 중독군 CIUS 점수 2.5점 이상, IAT 점수 50점 이상으로 게임 중독군을 분류하였다. 이에 따라 중독군 6명, 비중독군 7명이 선정되었다. 특정 자율신경계에 영향을 줄 가능성이 있는 자극 요소인 음주는 실험 시작 24시간 전부터 금지하였고, 흡연 및 커피 섭취는 실험 시작 1시간 전부터 금지하였다. 또한 집중도를 높이기 위해 핸드폰 사용을 금지하였으며 실험 참가에 대한 실험 참가자비를 지급하여 실험 참여도를 높였다. 본 실험은 한양대학교 기관생명윤리위원회 심의를 받아 규정에 따라 수행되었다(IRB 승인번호: HYU-2019-08-004-1).

### 2.2 Apparatus

연구의 실험을 위해 심전도 측정 장비로는 LAXTHA 사의 QEEG-64 FX와 해당 장비의 보조 채널인 심전도 측정 채널을 사용하였다

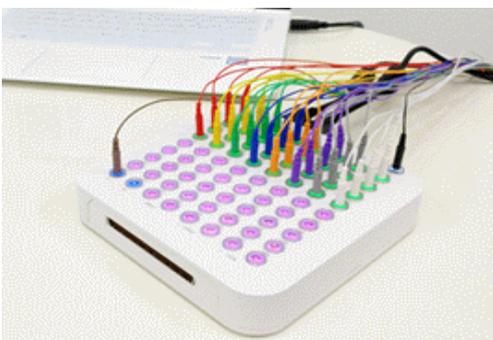


Figure 1. ECG measuring equipment (LAXTHA Inc., QEEG-64FX)

(Figure 1). 데이터 수집 프로그램은 동일 사의 'Telescan'을 이용하였다. 샘플 수집 속도는 500Hz로 설정하였다. 실험은 컴퓨터, 테이블, 의자가 설치되어 있고, 실험 참가자에게 가해지는 외부 자극이 제한되는 방에서 실시되었다. 실험 참가자에게 실험이 시작되기 전 눈을 감고 심전도 측정을 위한 장비를 착용 시키고 60Hz 잡음신호와 비정상적인 스파이크가 관찰되는지 확인하고 일정한 신호가 1분 이상 지속될 경우 입력신호가 안정된 것으로 판별하고 실험을 진행하였다.

### 2.3 Experimental design

본 연구의 실험은 집단 간 비교(between subject design)로 설계하였다. 본 연구에서는 게임 플레이 시간에 따른 윈도우 사이즈 및 특정 상황에 대한 스트레스 자극에 의해서 중독군 및 비중독군의 반응이 차이가 나타날 것을 가정하였다. 첫 번째 분석에서는 중독군과 비중독군 전체 게임 시간에서의 차이, 중독군과 비중독군의 게임 시작 후 5분의 차이, 중독군과 비중독군의 게임 종료 전 5분의 차이, 중독군과 비중독군의 게임시작 후 10분의 차이, 중독군과 비중독군의 게임 종료 전 10분의 차이를 비교하였다. 이후 두 번째 분석에서는 플레이어의 캐릭터가 상대 플레이어를 쓰러뜨렸을 때(kill event)와 상대 플레이어에 의해 죽임을 당했을 때(killed event)의 특정 이벤트를 기준으로 이벤트에 의한 스트레스 차이를 분석하기 위하여 윈도우 사이즈를 30초, 1분, 1분 30초, 2분으로 나누어 파라미터를 추출하였다. 독립변수는 중독 여부이며, 종속변수는 심박변이도의 시계열 파라미터인 NN 간격 평균, SDNN, SDD, PNNI50, PNNI20, RMSSD, 심박수 평균이다(Table 1). 그리고 주파수 분석 파라미터 중 LF, HF, LF/HF 비율, LFnu, HFnu, Total Power, VLF로 설정하였다(Table 2). 일반적인 게임환경을 반영하기 위하여 추가적인 특정시나리오를 사용하지 않고 실험을 진행하였다.

**Table 1.** Time domain variables of heart rate variability (Park and Jeong, 2014)

Variable	Description
Mean NNI	Mean NN intervals
SDNN	Standard deviation of all NN intervals
SDD	Standard deviation of differences between adjacent NN intervals
PNNI50	PNN50 count divided by the total number of all NN intervals
PNNI20	PNN20 count divided by the total number of all NN intervals
RMSSD	The square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent NN intervals
Mean HR	Mean heart rate

**Table 2.** Frequency domain variables of heart rate variability (Park and Jeong, 2014)

Variable	Description	Frequency range
LF	Power in low frequency range	0.04~0.15Hz
HF	Power in high frequency range	0.15~0.4Hz
LF/HF ratio	Sympathovagal balance	
LFnu	LF power in normalized units: $(LF/(\text{total power}-VLF)) \times 100$	
HFnu	HF power in normalized units: $(HF/(\text{total power}-VLF)) \times 100$	
Total Power	The variance of NN intervals over the temporal segment	Approximately $\leq 0.4\text{Hz}$
VLF	Power in very low frequency range	$\leq 0.04\text{Hz}$

### 2.3.1 Game selection for experiment

본 연구는 게임 플레이 전후반 및 특정 상황에서의 중독위험군과 대조군의 스트레스 반응을 분석하는 것이다. 이에 따라 가장 대중적 (Newzoo 2019년 12월 전세계 게임 이용 기준, Newzoo, 2019)으로 사용되고 스트레스 자극 요인에 해당하는 플레이어간 교전이나 우위를 점하기 위한 강화가 빈번히 일어난다고 판단되는 게임인 'Riot games'의 'League of Legends'를 선정하였다.

### 2.3.2 Sensor attachment

심전도는 표준사지유도법(Lead II)에 따라 오른쪽 가슴 아래에 Active 전극(+극), 왼쪽 가슴 위를 Reference 전극(-극), 목 뒤에 Ground 전극으로 사용하여 측정하였고(Drew et al., 2004), 시계열 및 주파수 영역 HRV 측정은 Camm et al. (1996)의 전기 생리학 지침을 따랐다.

### 2.3.3 Procedure

심전도 측정 전극을 부착 후 실험을 수행하기 전 실험 참가자에게 실험의 목적을 제외한 실험 방법 및 절차에 대해 설명하였고 실험 참가자의 환경 적응 및 원활한 실험 수행을 위한 연습 게임을 진행하였다. 그 후 자신의 게임 결과가 기록되고 전적이 반영되어 가장 몰입도가 높을 것으로 예상되는 '랭크 게임(rank-game)'을 2회 진행하며 심전도를 측정하였다. 자세한 실험 절차는 Figure 2와 같다.

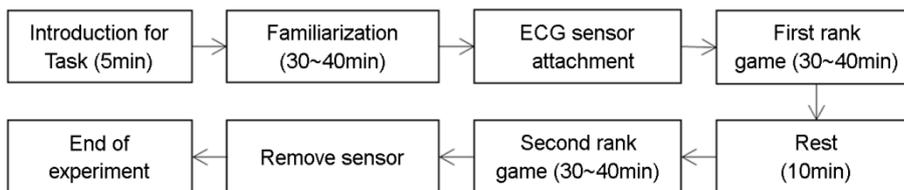


Figure 2. Experiment process

## 2.4 Data analysis

본 연구에서는 기존 연구에서 많이 사용하는 심전도 파라미터들을 목표로 하여 분석을 실시하였다. 본 파라미터들은 크게 두 가지로 분류하였고, 심장박동의 NN 간격을 대안하는 시계열 영역과 자율신경계의 변화를 관찰할 수 있는 주파수 영역으로 분석하였다. 분석은 Python을 이용해 일괄적으로 분석하였으며, 시계열 분석과 주파수 분석을 동시에 실시하였다. 시계열 분석에 이용한 파라미터는 Christov 심전도 R-peak 분할 알고리즘을 이용하여 추출하였으며, 추출된 파라미터는 NN 간격 평균, SDNN, RMSSD, PNNI50, PNNI20, SDSD, 심박수 평균이다. 주파수 분석에서는 신호를 추출한 후에 고속 푸리에 변환을 통해 주파수 스펙트럼 영역으로 변형하였으며, 추출한 파라미터로는 LF, HF, LF/HF 비율, Total Power, VLF이다.

분석은 다음과 같은 순서로 수행하였다. 첫 번째로 게임플레이 중 윈도우 사이즈(전체, 게임플레이 시작 후 10분과 종료 전 10분, 게임플레이 시작 후 5분과 종료 전 5분)를 기준으로 t-검정을 실시하여 중독군과 비중독군을 비교하였고, 두 가지 특정 event 상황인 Kill event(상대 플레이어를 쓰러뜨렸을 때), Killed event(자신의 아바타가 쓰러졌을 때) 이후 윈도우 사이즈(30초, 1분, 1분 30초, 2분)에 따른 중독군과 비중독군 간의 심박변이도의 유의한 차이를 보기 위해 t-test를 진행하였다( $p < 0.05$ ). T-test에서 상대적으로 높은 유의수준을 가지는 파라미터가 가장 많이 나타나는 윈도우 사이즈를 찾고자 하였으며 심박변이도 파라미터 간의 상관관계를 파악하기 위하여 상관분석을 실시하였다. 그리고 각 영역(시계열 영역, 주파수 영역)에서 대표성을 가지는 파라미터를 추출하기 위한 복합적인 판단을 위하여 요인분석을 하였다. 분석 흐름도는 Figure 3과 같다. 수행된 통계 분석은 SPSS 24를 이용하여 수행하였다.

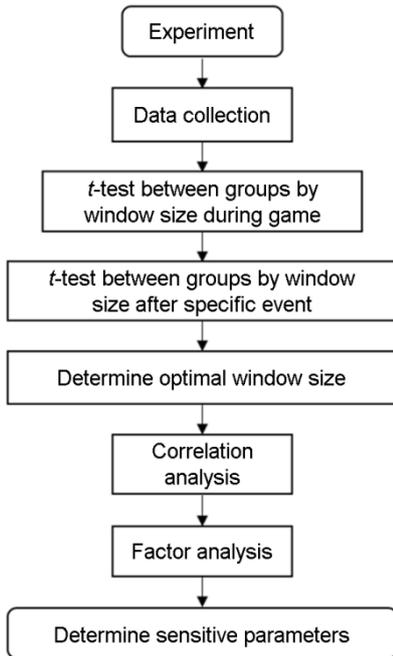


Figure 3. Data analysis process

### 3. Results

#### 3.1 T-test results between groups by window size during game

게임플레이 중 윈도우 사이즈인 게임 전체, 게임플레이 시작 후 5분, 10분 그리고 종료 전 5분, 10분 윈도우 사이즈 비교에서 심박변이도 t-검정 결과 중독군과 비중독군 사이에 유의한 차이가 없었다( $p > 0.1$ ).

#### 3.2 T-test results between groups by window size after specific event

Kill event 이후 30초, 1분, 1분 30초, 2분의 모든 윈도우 사이즈에서 심박변이도 t-검정 결과 중독군과 비중독군 사이에 유의한 차이가 확인되지 않았다( $p > 0.1$ ). 하지만 Table 3~6과 같이 Killed event(상대방에게 죽임을 당한 상황) 이후 30초, 1분, 1분 30초와 2분 간의 윈도우 사이즈의 심박변이도 t-검정 결과 시계열 영역인 SDNN, SDSD, PNNI50, PNNI20과 RMSSD에서 중독군과 비중독군 간의 유의한 차이가 나타났고( $p < 0.05$ ), 30초 간의 윈도우 사이즈의 SDNN, SDSD, RMSSD 파라미터에서 한계적으로 유의미한(marginally significant) 차이를 확인하였다( $p < 0.1$ ). 또한, 1분, 1분 30초, 2분 윈도우 사이즈에서 주파수 영역인 LF, HF와 Total Power에서 유의한 차이를 확인하였다( $p < 0.01$ ). 30초, 2분 간의 윈도우 사이즈의 LF, VLF 파라미터에서 한계적으로 유의미한(marginally significant) 차이를 확인하였다( $p < 0.1$ ). 각 윈도우 사이즈에서 유의미한 파라미터는 다르게 나타났다.

Table 3. t-test for 30 seconds window-size after Killed event

Parameter	Addicted group		Non-Addicted group		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
	692.379	97.709	712.306	69.902	0.414

**Table 3.** *t*-test for 30 seconds window-size after Killed event (Continued)

Parameter	Addicted group		Non-Addicted group		<i>p</i> -value
	Mean	SD	Mean	SD	
SDNN	54.190	20.508	42.045	22.817	*0.056
SDSD	32.914	16.749	24.083	17.882	*0.081
PNNI50	11.199	10.982	3.566	6.500	***0.005
PNNI20	42.100	18.046	28.754	14.376	***0.006
RMSSD	33.030	16.762	24.216	18.002	*0.083
MeanHR	88.963	13.163	85.370	8.597	0.262
LF	1497.309	2056.133	705.097	672.955	*0.074
HF	499.163	521.847	144.721	171.143	***0.002
LF/HF Ratio	4.371	4.254	9.903	14.770	*0.084
LFnu	70.210	19.866	76.784	18.573	0.237
HFnu	29.790	19.866	23.216	18.573	0.237
Total power	2545.494	3062.073	1346.760	1357.735	*0.081
VLF	549.022	745.773	496.942	689.385	0.801

\*\*\**p*<0.01, \**p*<0.1

**Table 4.** *t*-test for 1 minute window-size after Killed event

Parameter	Addicted group		Non-Addicted group		<i>p</i> -value
	Mean	SD	Mean	SD	
MeanNNI	712.302	87.386	718.986	67.476	0.765
SDNN	65.921	31.927	45.979	15.860	***0.008
SDSD	36.206	15.337	25.184	13.599	**0.011
PNNI50	12.784	10.266	5.377	8.390	***0.008
PNNI20	45.553	16.736	31.874	15.842	***0.005
RMSSD	36.257	15.368	25.209	13.635	**0.011
MeanHR	86.442	11.809	84.548	8.107	0.515
LF	1527.283	1175.745	718.129	738.302	***0.006
HF	456.087	361.782	196.615	174.146	***0.002
LF/HF Ratio	3.919	1.855	5.669	5.858	0.169
LFnu	77.176	7.424	76.283	15.376	0.798
HFnu	22.824	7.424	23.717	15.376	0.798
Total power	3078.929	2867.834	1595.209	1696.722	**0.032
VLF	1095.559	1872.771	680.465	960.565	0.331

\*\*\**p*<0.01, \*\**p*<0.05

**Table 5.** *t*-test for 1 minute 30 seconds window-size after the Killed event

Parameter	Addicted group		Non-Addicted group		<i>p</i> -value
	Mean	SD	Mean	SD	
MeanNNI	712.302	87.386	718.986	67.476	0.765
SDNN	65.921	31.927	45.979	15.860	***0.008
SDSD	36.206	15.337	25.184	13.599	**0.011
PNNI50	12.784	10.266	5.377	8.390	***0.008
PNNI20	45.553	16.736	31.874	15.842	***0.005
RMSSD	36.257	15.368	25.209	13.635	**0.011
MeanHR	86.442	11.809	84.548	8.107	0.515
LF	1527.283	1175.745	718.129	738.302	***0.006
HF	456.087	361.782	196.615	174.146	***0.002
LF/HF Ratio	3.919	1.855	5.669	5.858	0.169
LFnu	77.176	7.424	76.283	15.376	0.798
HFnu	22.824	7.424	23.717	15.376	0.798
Total power	3078.929	2867.834	1595.209	1696.722	**0.032
VLF	1095.559	1872.771	680.465	960.565	0.331

\*\*\**p*<0.01, \*\**p*<0.05**Table 6.** *t*-test for 2 minutes window-size after the Killed event

Parameter	Addicted group		Non-Addicted group		<i>p</i> -value
	Mean	SD	Mean	SD	
MeanNNI	712.106	84.157	726.143	57.668	0.498
SDNN	67.844	26.603	47.184	12.839	***0.001
SDSD	34.075	13.536	24.535	11.555	**0.011
PNNI50	11.964	9.465	5.570	8.167	**0.015
PNNI20	44.984	16.688	32.849	16.658	**0.014
RMSSD	34.082	13.536	24.544	11.566	**0.011
MeanHR	86.420	11.752	83.517	6.742	0.292
LF	1214.048	781.997	613.483	407.721	***0.001
HF	394.966	259.306	185.606	177.084	***0.002
LF/HF Ratio	3.601	1.807	4.919	3.678	0.120
LFnu	75.855	7.201	77.454	11.037	0.553
HFnu	24.145	7.201	22.546	11.037	0.553
Total power	2336.197	1535.718	1211.322	753.266	***0.002
VLF	727.183	808.400	412.233	349.992	*0.081

\*\*\**p*<0.01, \*\**p*<0.05, \**p*<0.1

Kill event 이후 윈도우 사이즈 별  $t$ -검정 결과에서는 중독군과 비중독군 간에 모든 윈도우 사이즈에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그러나 Killed event 이후 모든 윈도우 사이즈에서 유의한 차이가 있어 Killed event 이후 중독군과 비중독군의 심박변이도 반응이 다르다는 것을 확인하였다. 후에 상관분석을 위해 특정 event 상황 중 Kill event에 따른 결과를 배제하였고 판별가능성이 가장 높은 윈도우 사이즈를 특정할 필요가 있었다. Figure 4에서 제시된 것처럼 윈도우 사이즈 별 심박변이도 파라미터의 유의수준을 그래프로 살펴보면 1분 30초의 윈도우 사이즈에서 유의하게 나타난 파라미터를 가장 많이 확인할 수 있다( $p < 0.01$ ). 따라서 Killed event 이후 1분 30초의 윈도우 사이즈에서  $t$ -test 차이가 많이 나타났으며, 현재의 실험 조건에서 가장 판별가능성이 높은 윈도우 사이즈라 판단하였다. 이에 따라 상관분석을 진행하여 대표성을 띄는 파라미터를 찾고자 하였다.

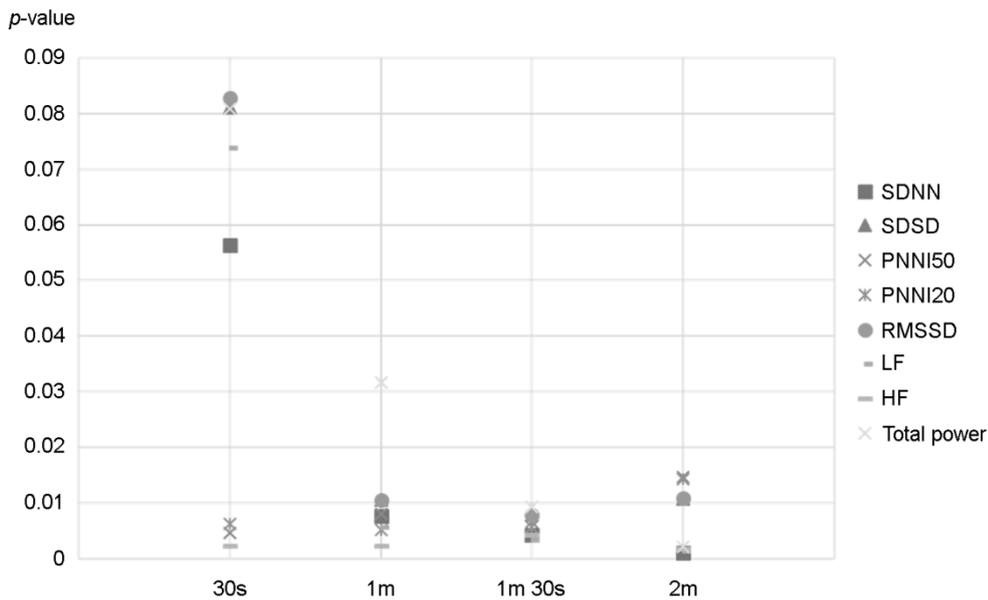


Figure 4. Summary of every parameters and window sizes

### 3.3 Correlation analysis and factor analysis with HRV parameters

Killed event 이후 1분 30초의 윈도우 사이즈에서 파라미터 간에 상관관계를 확인하기 위해 상관분석을 하였으며, 결과는 Table 7과 같다. SDNN, SDS, PNNI50, PNNI20, RMSSD는 시계열 분석 파라미터로서 상관계수가 0.6이상으로 나타났으며, LF, HF, Total Power 또한 주파수 분석 파라미터로서 상관계수가 0.6 이상으로 나타났다. 상관계수 0.7 이상인 파라미터를 중심으로 분석하여 시계열 영역 파라미터와 주파수 영역 파라미터 각 영역에서 대표성을 띄는 파라미터를 추출하였다. 추가적으로 실시한 요인분석 결과에서도 영역 별로 그룹이 형성되는 것을 확인하였다(Figure 5). 시계열 영역에서 모든 시계열 파라미터와 0.7 이상의 상관계수를 가지는 RMSSD를 추출하였고 주파수 영역에서 모든 주파수 파라미터와 0.7 이상의 상관계수를 가지는 LF를 추출하였다.

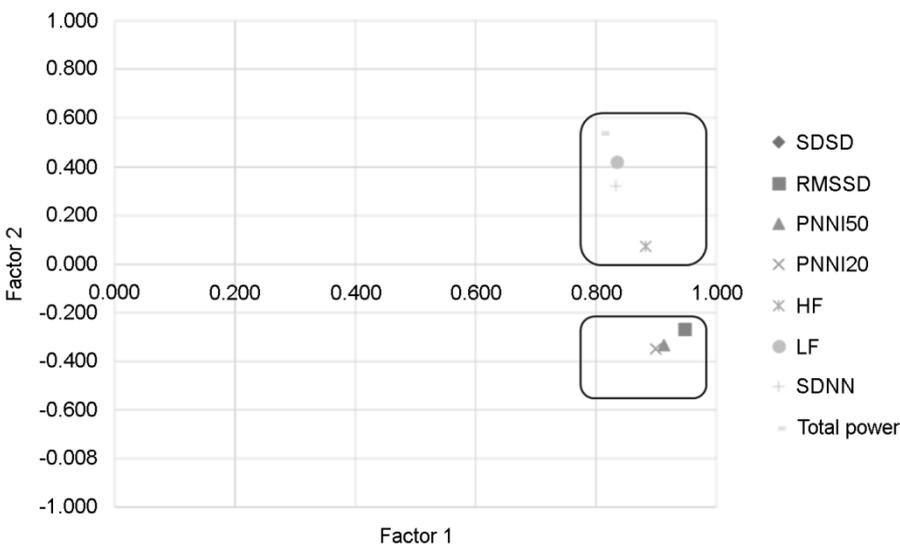
Table 7. Correlation coefficient among heart rate variability parameters

	SDNN	SDS	PNNI50	PNNI20	RMSSD	LF	HF	Total power
SDNN	1							
SDS	.705**	1						
PNNI50	.625**	.933**	1					

**Table 7.** Correlation coefficient among heart rate variability parameters (Continued)

	SDNN	SDSD	PNNI50	PNNI20	RMSSD	LF	HF	Total power
PNNI20	.603**	.921**	.935**	1				
RMSSD	.705**	1.000**	.932**	.921**	1			
LF	.693**	.657**	.617**	.594**	.656**	1		
HF	.674**	.765**	.794**	.728**	.765**	.781**	1	
Total power	.835**	.617**	.553**	.548**	.617**	.876**	.690**	1

\*\* : Correlation is significant at 0.01 level (both sides)



**Figure 5.** Factor analysis results

### 4. Discussion

본 연구에서는 온라인 게임 도중 중독군과 비중독군의 게임 플레이 전체 시간에 대한 차이와 게임 시작 후 5분(10분) 및 종료 전 5분(10분)의 차이를 비교하였고, 두 가지 특정 event 상황인 Kill event(게임 중 상대편 캐릭터를 죽임), Killed event(게임 중 본인 캐릭터의 죽음)에 따른 중독군과 비중독군 간에 심전도와 스트레스 패턴 차이 분석 결과를 제시하였으며, 상관분석 및 요인분석을 통해 판별 가능성이 높은 파라미터를 제시하였다. 본 연구의 중요한 결과를 종합해서 요약하면 다음과 같다.

첫째, 중독군과 비중독군의 게임 플레이 전체 시간구간 간에 대한 차이와 게임 시작 후 5분(10분) 및 종료 전 5분(10분) 사이 구간과의 차이에서는 두 집단 간에 유의미한 차이가 없는 것을 확인하였다. 둘째, 특정 event 상황인 Kill event 즉, 본인이 상대편 캐릭터를 죽인 상황에서 event 발생 직후 30초, 1분, 1분 30초, 2분 모든 윈도우 사이즈에서 중독군과 비중독군 간의 유의한 차이가 없는 것을 확인하였다. 이는 상대편 캐릭터를 죽이는 상황에서 중독군과 비중독군 사이에 심리·생리적 반응의 차이가 없는 것으로 판단된다. 셋째, 특정 event 상황인 Killed event 즉, 본인의 캐릭터가 죽임을 당한 event 발생 직후 30초, 1분, 1분 30초, 2분의 모든 윈도우 사이즈에서 중독군과 비중독군 간의 유의한 차이를 시계열 영역 파라미터와 주파수 영역 파라미터에서 확인하였다. 공통으로 시계열 영역인 SDNN, SDS, PNNI50, PNNI20과 RMSSD 그리고 주파수 영역인 LF, HF와 Total Power에서 유의한 차이를 발견할 수 있었으며, 중독군이 비중독군보다 수치가 높은 경향을 보였다.

시계열 파라미터에서 스트레스를 가장 민감하게 반영하는 파라미터로 선정된 RMSSD는 중독군이 비중독군에 비해 유의하게 높았다. RMSSD는 심박변이도 분석에서 부교감 신경계의 활동 정도를 측정하기 때문에 부교감 신경의 조절능력을 평가할 수 있다. 부교감 신경계의 활성화를 반영하는 RMSSD가 중독군에서 보다 증가한 것은 교감 신경이 활성화되어 고각성 상태에 반응하는 길항작용으로 볼 수 있다. Jang et al. (2018)의 연구에 의하면 RMSSD는 긴장, 우울, 피로, 좌절 등과 같은 요인과 유의한 상관이 있다 하였다.

주파수 영역 파라미터에서는 LF, HF 및 Total Power가 중독군에서 유의하게 높게 나타났다. 주파수 영역에서 스트레스를 가장 민감하게 반영하는 파라미터로 추출된 LF는 교감 신경계 및 부교감 신경계 활성화를 모두 나타내지만 주로 교감 신경계의 활동을 반영하며 LF의 증가는 불안 및 스트레스의 증가와 관련이 있다고 보고되었다(Han et al., 2007). 이러한 저주파 대역 파라미터가 중독군에서 높게 나타난 것은 중독군의 교감 신경이 상대적으로 비중독군에 비해 활성화되었다고 볼 수 있으며, 스트레스에 따른 심전도 변화를 연구한 기존 연구에서는 LF의 증가와 함께 HF의 감소를 보고하였다(Papousek et al., 2010; Traina et al., 2011). 반면에 본 연구와 비슷한 결과를 보이는 Vukšanović and Gal (2007)의 연구에서는 스트레스 시 LF와 HF의 증가가 동시에 이루어 지는 것을 보고하였는데, 이는 모든 부교감 신경에 영향을 미치는 복잡한 호흡 패턴의 영향이 정신적 스트레스에서 발생된 것이라 해석하였다. Yeragani et al. (1992)의 연구에서는 요힘빈(yohimbine)과 같은 아드레날린 길항제에 의하여 LF 및 HF의 증가가 동시적으로 발생할 수 있다고 하였다. 본 연구 결과와 같이 LF와 HF 및 total power의 급격한 증가는 급격한 스트레스에 의한 아드레날린의 순간적인 작용 및 이를 중화하기 위한 아드레날린 길항작용으로 인해 나타나는 현상으로 판단된다.

## 5. Conclusion

본 연구는 게임 중독군과 비중독군의 심박변이도 및 스트레스 반응 차이를 측정하고 분석하여 게임 중독군이 스트레스 자극에 민감하게 반응하는 윈도우 사이즈 및 파라미터를 선정하였다. Killed event 이후 1분 30초의 윈도우 사이즈에서 RMSSD와 LF의 파라미터가 스트레스 반응의 차이를 가장 민감하게 반영한다고 판단하였다. 이를 통해 게임 중독군과 비중독군의 정량적 차이를 판별할 가능성을 제시하였고 의미 있는 심박변이도 파라미터를 확인하였다. 심박변이도는 측정 방법이 간편하고 비침습적이므로 향후 측정 디바이스 개발에 용이할 것으로 판단된다. 한계점을 논하자면 본 연구 결과는 두 그룹의 심박변이도의 차이를 분석하고 이를 기존 연구를 바탕으로 해석한 것이다. 추후 연구에서는 추가적인 요인에 의한 생체신호 변화의 가능성을 고려해야 할 필요가 있다. 따라서 게임 플레이어의 숙련도와 경험에 따른 생리적 반응을 분석하여 다양한 시나리오에 대한 데이터를 확보할 예정이다. 또한 본 연구는 'League of Legends'라는 게임에서 한정적인 연구 결과이므로 게임 중독과 심박변이도 및 스트레스의 인과성을 추가적으로 검증하기 위해 다양한 게임과 게임 플레이어에 대한 추가적인 실험이 필요할 것이다.

## Acknowledgement

이 연구는 2019년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 연구 결과임(Grant-#NRF-2018-R1D1A1B07050786).

## References

- Byun, Y.S. and Lee, H.S., Impact of internet addiction on mental health in adolescents, *Journal of Korean Academy of Community Health Nursing*, 18(3), 460-468, 2007.
- Camm, A.J., Malik, M., Bigger, J.T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R.J., Coumel, P., Fallen, E.L., Kennedy, H.L., Kleiger, R.E., Lombardi, F., Malliani, A., Moss, A.J., Rottman, J.N., Schmidt, G., Schwartz, D.H. and Singer, D.H., Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, *European Heart Journal*, 17(3), 354-381, 1996.
- Drew, B.J., Califf, R.M., Funk, M., Kaufman, E.S., Krucoff, M.W., Laks, M.M., Mcfarlane, P.W., Sommargren, C., Swiryn, S. and Van Hare, G.F., Practice standards for electrocardiographic monitoring in hospital settings: an american heart association scientific statement from the councils on cardiovascular nursing, clinical cardiology, and cardiovascular disease in the young: endorsed by the

international society of computerized electrocardiology and the american association of critical-care nurses, *Circulation*, 110(17), 2721-2746, 2004.

Gharib, K., Homayouni, A. and Yanesari, M.K., P02-90-high levels of stress and addiction to internet, *European Psychiatry*, 25, 739, 2010.

Hafeez, M., Dawood, I.M., Kim, J.Y. and Kim, D.J., "Study of game addiction pattern by using spectral analysis of EEG", *Extended Abstracts of HCI Korea 2016*, pp. 62-64, Gangwon-Do. Korea., 2016.

Hafeez, M., Kim, D.J., Im, S.K. and Kim, J.Y., "The cross correlation and power spectrum analysis of EEG attributes between mobile game addicts and non-addicts", *Proceedings of HCI Korea 2018*, pp. 997-999, Gangwon-Do. Korea., 2018.

Han, D.S.J., Kim, N.R., Kim, D.W., Kim, Y.E. and Lee, C.H., Analysis of stress level of korean by heart rate variability measurement, *The Korean Society of Stress Medicine*, 15(3), 163-169, 2007.

Hwang, H. and Ryu, S.J., The relationship between internet addiction propensity and psychosocial characteristics of christian college students: Focusing on self-control, self-esteem, self-efficacy, interpersonal efficacy, and loneliness, *Korean Association of Christian Counseling and Psychology*, 16, 321-348, 2008.

Jang, E.H., Kim, A.Y. and Yu, H.Y., Relationships of psychological factors to stress and heart rate variability as stress responses induced by cognitive stressors, *Korean Society for Emotion and Sensibility*, 21(1), 71-82, 2018.

Kim, D.J., Kim, H., Im, S., Oh, M.S., Kim, J. and Kim, J.Y., "Analysis of EEG parameters characteristics for high-risk users of online games", *Proceedings of 2019 Spring Conference of ESK*, pp. 237-237, Jeju. Korea., 2019.

Kim, E.J., Lee, S.Y. and Oh, S.G., The validation of korean adolescent internet addiction Scale (K-AIAS), *Korean Journal of Clinical Psychology*, 22(1), 125-139, 2003.

Kim, K.W., The study on the internet addiction influencing factor and coping strategies for juvenile, *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, 14(9), 157-165, 2009.

KOCCA, *2017 Accounts settlement and 2018 issue analysis*, Ministry of Culture, Sports and Tourism, 2018.

KOCCA, *2018 Overseas content market analysis*, Ministry of Culture, Sports and Tourism, 2019.

Koepp, M.J., Gunn, R.N., Lawrence, A.D., Cunningham, V.J., Dagher, A., Jones, T., Bench, C.J. and Grasby, P.M., Evidence for striatal dopamine release during a video game, *Nature*, 393(6682), 266-268, 1998.

Kwon, S.J., Kim, K.H. and Lee, H.S., Computer game addiction and physical health of korean Children: mediating effects of anxiety, *The Korean Association for Survey Research*, 6(2), 33-49, 2005.

Lee, H.G., Social and psychological variables predicting violence game addiction of adolescents in the internet, *The Korean Society for Developmental Psychology*, 14(4), 55-79, 2002.

Lee, Y.K. and Chae, K.M., Relations of computer game addiction and social relationship, adjustment of adolescent, *Korean Journal*

*of Clinical Psychology*, 25(3), 711-726, 2006.

Littel, M., Van den Berg, I., Luijten, M., van Rooij, A.J., Keemink, L. and Franken, I.H., Error processing and response inhibition in excessive computer game players: an event-related potential study, *Addiction Biology*, 17(5), 934-947, 2012.

Meerkerk, G., Van Den Eijnden, R.J., Vermulst, A.A. and Garretsen, H.F., The compulsive internet use scale (CIUS): some psychometric properties, *Cyberpsychology & Behavior*, 12(1), 1-6, 2009.

Newzoo, Most Popular Core PC Games. *Newzoo*. <https://newzoo.com/insights/rankings/top-20-core-pc-games> (retrieved December, 2019).

Papousek, I., Nauschnegg, K., Paechter, M., Lackner, H.K., Goswami, N. and Schuster, G., Trait and state positive affect and cardiovascular recovery from experimental academic stress, *Biological Psychology*, 83(2), 108-115, 2010.

Park, K.J. and Jeong, H., Assessing methods of heart rate variability, *The Korean Society of Clinical Neurophysiology*, 16(2), 50, 2014.

Park, M.C., Jung, H.C. and Kim, T.S., Design of a stress measurement system for state recognition of game addicts, *The Korean Society of Computer and Information*, 22(6), 87-93, 2017.

Peng, X., Cui, F., Wang, T. and Jiao, C., Unconscious processing of facial expressions in individuals with internet gaming disorder, *Frontiers in Psychology*, 8, 1059, 2017.

Ryu, S.H. and Lee, W.B., Social function of game as a leisure activity, *The Society of Digital Policy & Management*, 10(7), 245-251, 2012.

Taelman, J., Vandeput, S., Vlemincx, E., Spaepen, A. and Van Huffel, S., Instantaneous changes in heart rate regulation due to mental load in simulated office work, *European Journal of Applied Physiology*, 111(7), 1497-1505, 2011.

Tharion, E., Parthasarathy, S. and Neelakantan, N., Short-term heart rate variability measures in students during examinations, *The National Medical Journal of India*, 22(2), 63-66, 2009.

Traina, M., Cataldo, A., Galullo, F. and Russo, G., Heart rate variability in healthy subjects, *Minerva Psichiatrica*, 227, 31, 2011.

Visnovcova, Z., Mestanik, M., Javorka, M., Mokra, D., Gala, M., Jurko, A., Calkocska, A. and Tonhajzerova, I., Complexity and time asymmetry of heart rate variability are altered in acute mental stress, *Physiological Measurement*, 35(7), 1319, 2014.

Vuksanović, V. and Gal, V., Heart rate variability in mental stress aloud, *Medical Engineering & Physics*, 29(3), 344-349, 2007.

Yeragani, V.K., Berger, R., Pohl, R., Srinivasan, K., Balon, R., Ramesh, C., Weinberg, P. and Berchou, R., Effects of yohimbine on heart rate variability in panic disorder patients and normal controls: a study of power spectral analysis of heart rate, *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 20(4), 609-618, 1992.

Young, K.S. and De Abreu, C.N., *Internet Addiction: A Handbook and Guide to Evaluation and Treatment*, John Wiley & Sons, 2010.

## Author listings

**Jung Yong Kim:** jungkim@hanyang.ac.kr

**Highest degree:** PhD, IWSE (Industrial, Welding and Systems Engineering), Ohio State University

**Position title:** Professor, the Division of Media, Culture, and Design Technology, Hanyang University

**Areas of interest:** Human-computer Interaction, Psychophysiology, Physical User Interface (PUI) Product Design, Diagnosis and Prevention of Musculoskeletal Diseases, DVI Design and Evaluation of Autonomous Car

**Heasol Kim:** kimheasol@hanyang.ac.kr

**Highest degree:** Master's degree, Department of Industrial & Management Engineering, Hanyang University

**Position title:** Undergrad. Student, Department of Human Computer Interaction, Hanyang University

**Areas of interest:** Human-computer Interaction, Human Centric Usability Evaluation, Physical User Interface (PUI) Product Design, UX research and Design, DVI Design and Evaluation of Autonomous Car

**Dong Joon Kim:** whatsdream@naver.com

**Highest degree:** bachelor's degree, Department of Mechanical Engineering, Hanyang University

**Position title:** Undergrad. Student, Department of Industrial & Management Engineering, Hanyang University

**Areas of interest:** Psychophysiology, Physical User Interface (PUI) Product Design, Diagnosis and Prevention of Musculoskeletal Diseases, DVI Design and Evaluation of Autonomous Car