


# 논문 리뷰

## 드라이빙 시뮬레이터에서 뇌파도 및 심전도를 통한 정신적 피로도 평가

Electroencephalogram and electrocardiograph assessment of mental fatigue in a driving simulator

Mental fatigue is a contributing factor to some serious transportation crashes. In this study, we measured mental fatigue in drivers using electroence...

 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457511003241>



### ▼ 논문과 프로젝트의 관계 요약

#### 곡률 디스플레이가 운전자에게 미치는 영향

- 드라이빙 시뮬레이터에 곡률 디스플레이를 넣고 그 디스플레이가 평면 디스플레이보다 좋은지 나쁜지 판단하는 실험
- 좋은지 나쁜지 측정하기 위해 아이트래커, hrv, 휘도계등으로 분석을 하여 결과를 내림

#### 운전자의 피로도가 hrv, 뇌파에 어떤 영향을 주는지 드라이빙 시뮬레이터로 측정

- 운전자의 피로도에 따라서 hrv가 달라짐
- 드라이빙 시뮬레이터로 측정

**결론:** 곡률 디스플레이를 보는 실험자를 hrv로 측정하여 피로도가 얼마나 영향을 주는지 논문 참고할 수 있음

### 요약

- 2009년 연구 논문
- 키워드 - 뇌파, 심전도, P300, HRV, 정신적 피로 운전
- 정신적 피로가 교통사고의 큰 원인(정신적 피로가 모든 교통사고의 20~30%를 차지함)이므로 연구에서는 뇌파도(EEG)와 심전도계(ECG)를 이용하여 운전자의 정신적 피로도를 측정함
- 결과는 EEG 알파 및 베타, 상대 전력, 이벤트 관련 전위(ERP)의 P300 파동의 진폭, ECG의 근사 엔트로피, 심박 변이도(HRV) 전력의 하한 및 상한 대역을 나타냄
- 운전을 하기 전과 후의 지표가 크게 다름
- Sampling Rate: 모든 생리학적 신호는 0.05~70Hz 대역 통과 필터와 50Hz 노치로 500Hz에서 샘플링함
  - All physiological signals were sampled at 500 Hz with a 0.05–70 Hz band-pass filter and 50Hz notched.

### 실험 설계

- 13명의 건강한 피실험자

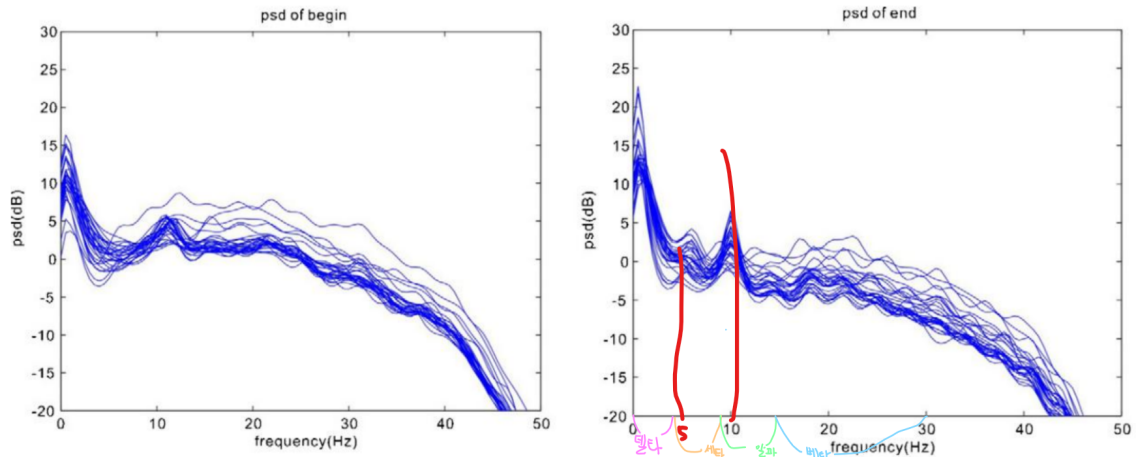
- 피실험자 간 차이를 줄이기 위해 13명의 22~27세 남성 지원자를 뽑음
- 정상시력, 오른손잡이, 비슷한 라이프스타일 실험자들로 뽑음
- 피실험자들은 실험전 드라이빙 시뮬레이터 조작법에 대해 훈련을 받음
- 90분 동안 연속 드라이빙 시뮬레이터로 조사
- 스티어링 휠, 가스 및 브레이크 페달, 클러치, 수동 변속, 경적 및 방향 지시등이 내장된 자동차 프레임으로 구성된 드라이빙 시뮬레이터(WM-5V)
- 피실험자 눈에서 약 80cm 떨어진 거리에 위치한 19인치 액정 디스플레이(LCD)사용 → 도로환경과 현재 속도 디스플레이로 보여줌
- 고속도로에서 경치 변화 및 움직이는 물체가 거의 없으며, 외부 자극을 줄이기 위한 주행 경로 선택하고 운전자가 주의를 기울일 수 있도록 매우 가벼운 커브구간을 설정함
  - 단조로운 운전 환경에서 운전 정신적 피로가 발생할 수 있기 때문



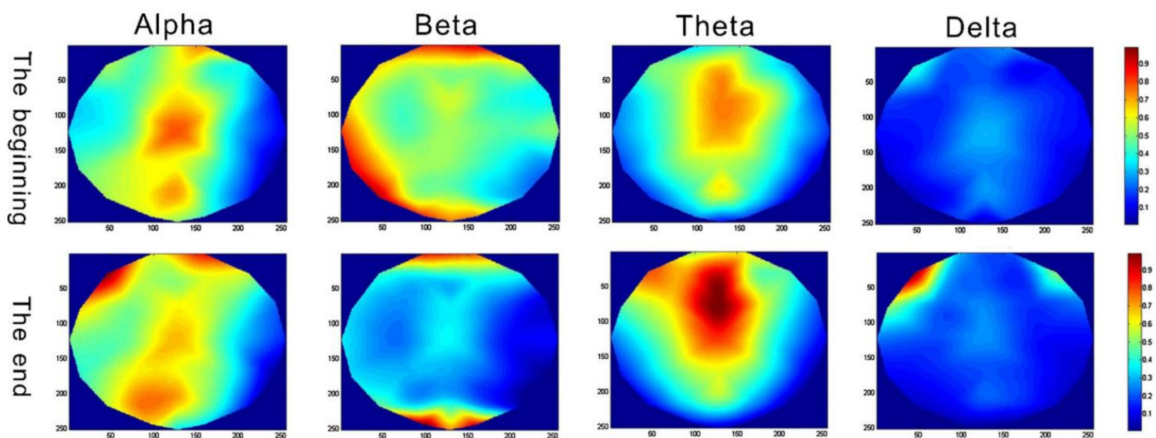
- 실험에서 90분 이상 운전을 한 실험자들의 데이터만 수용하고 분석함
- 운전자의 지속적인 주의력 수준을 평가하기 위해 피실험자는 드물며 불규칙하게 발생하는 자극(Oddball test)에 반응하게 설계함(30분) → 그 후 드라이빙 시뮬레이터 실험을 진행함(90분)
  - 빨간색과 녹색 이미지를 띄워 녹색 이미지를 마우스를 사용하여 반응하도록 함
- 조명이 어둡고 소음이 적고 온도가 조절되는 실험실에서 수행
- 참가자는 검사 전날 충분한 수면을 취하고 12시간전 알콜, 카페인, 차, 흡연, 음식 섭취를 안함
- 데이터가 17명으로 작은 샘플수에 대응하러 t-test를 SPSS로 분석함

## 결과

- 피실험자들의 말에 따르면 운전 30분 후부터 피로를 느꼈고 HRV의 전력 스펙트럼 분석을하여 정신적 피로를 평가하는 Li 점수도 높아짐
- Oddball test의 경우 반응 시간이 운전을 하며 느려짐
- 운전 작업의 시작과 끝 5분에서 EEG 데이터 세그먼트 분석을 함
  - 델타 대역(0.25~4Hz), 세타 대역(4~8Hz), 알파 대역(8~13Hz) 및 베타 대역(13~30Hz)



- EEG의 PSD(파워스펙트럼밀도)가 운전 시작과 끝에서 서로 다른 것을 보여줌
- 운전이 끝나고 난 후 10Hz 부근에서 PSD피크가 일어나고 5Hz 부근에서 작은 PSD피크가 나타남
- 델타 대역 PSD는 크게 증가, 베타 대역의 PSD는 전반적으로 감소



- 주파수 대역에 대한 크기 값을 표시한 두피 EEG 지형
- 운전이 끝난 후 알파, 세타, 델타 활동이 증가함, 베타 활동이 감소함
- HRV의 PSD를 저주파(0.04~0.15Hz)와 고주파(0.15~0.4Hz)로 구분함
  - 운전 시작과 종료 시점을 비교해보면
  - 저주파는 732.7(표준 편차 = 434.44; 표준 오차 평균 = 120.37) 에서 1057.5(표준 편차 = 637.42; 표준 오차 평균 = 176.81)로 증가함
  - 고주파는 859.03(Std 편차 = 77.4; 표준 오차 평균 = 214.84)에서 626.18(표준 편차 = 54.1; 표준 오차 평균 = 150.06)로 감소
  - 저주파쪽이 피로관련임

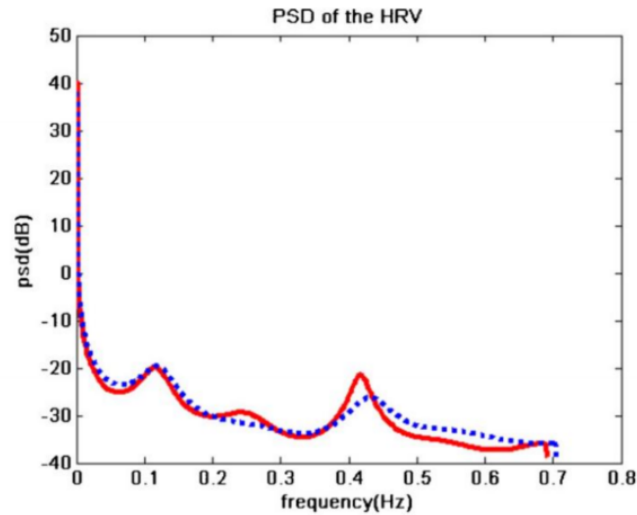


그림 7. 한 피험자의 HRV PSD. (빨간색은 사전 주행을 나타내고 파란색은 사후 주행을 나타냅니다.) (이 그림  
방법의 색상에 대한 참조 해석을 위해 독자는 기사의 웹 버전을 참조하십시오.)

- 델타 리듬을 제외한 모든 밴드의 상대 파워가 통계적 유의미한 차이를 보임( $p < 0.05$ )
  - 알파: 이완된 상태, 감소된 주의력 수준, 졸리지만 깨어있는 상태 → 운전 중 정신적 피로가 발생하면 알파 파워 증가
  - 베타: 각성 상태 → 실험에서 감소
  - 세타: 수면 상태 → 실험에서 증가
- 심박수가 차량 운전과 관련된 피로의 가장 민감한 심혈관 지표라고 연구를 통해 나타냄
  - 심박수는 정신적 스트레스 상황에서 변동폭이 심해짐
  - ApEn값이 높으면 변동이 크다는 의미
  - 심박수는 자율신경계에 의해 제어되며 운전중 정신적 피로를 유발하여 ApEn이 높아짐

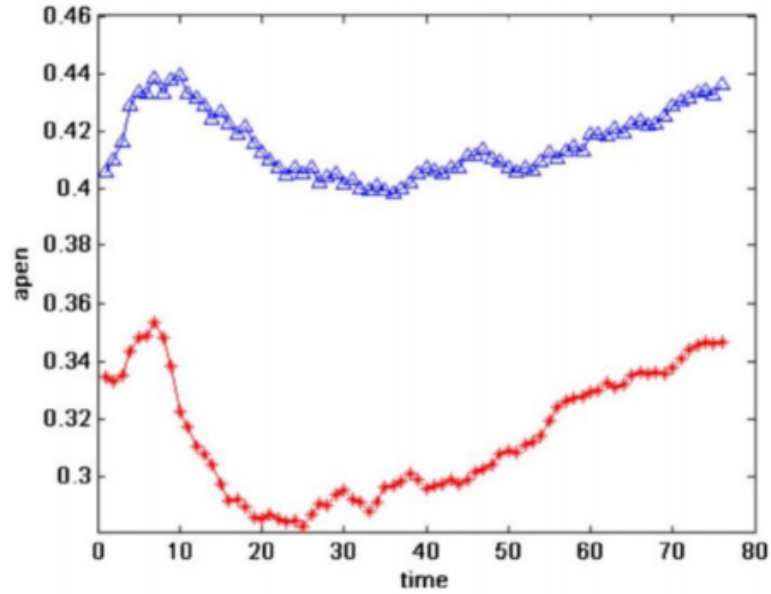


그림 5. 시간 경과에 따른 ApEn 곡선 (빨간색 실선은 사전 주행을 나타내고 파란색 점선은 사후 주행을 나타냅니다.) (이 그림 범례의 색상에 대한 참조 해석을 위해 독자는 기사의 웹 버전을 참조하십시오.)

- 그림을 보면 파란색 실제로 운전 후 높아진 것을 확인 할 수 있음
- HRV의 교감신경 부교감신경 관계

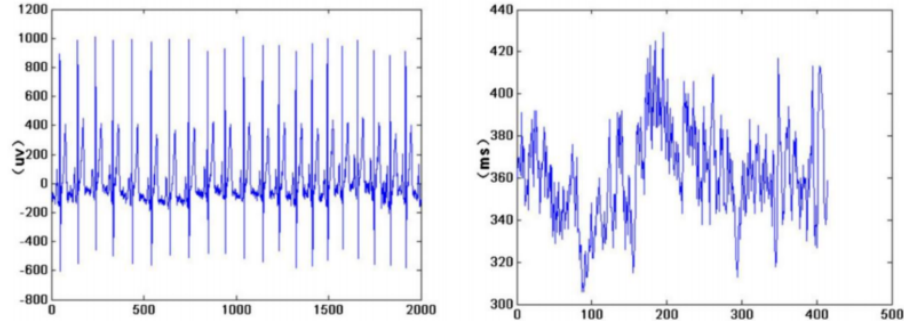


그림 6. 한 대상의 원본 ECG 및 HRV 신호.

- 저주파(LF)대역(0.04~0.15Hz)에서 교감신경이 조절 → 긴장할때 발생 → 운전 후 증가
- 고주파(HF)대역(0.15~0.4Hz)에서 부교감신경이 조절 → 정신적 평화때 발생 → 운전 후 감소
- 90분 운전 후 LF 파워가 크게 증가, HF 파워가 감소함
- 피험자의 자율 신경계의 우세한 활동이 작업 후 부교감 활동에서 교감 활동으로 바뀌는 것을 의미함

## 결론

- 한계점
  - 시뮬레이터가 실제 운전에 비해 피험자들이 처리해야 할 전체 정보 양이 적고 이벤트가 작음 → 드라이빙 시뮬레이터 자극 감소는 훨씬 더 일찍 성능 저하로 이어질 수 있음

- 피로를 정확하게 감지하는 것은 매우 어려운 일임 → EEG, ECG만 가지고 판단하기 어려움
- 통계적 유의미한 검정을 산출하려면 최소 30명 이상의 샘플이 필요한데 이 실험에선 실험자수가 적음
- 대조군의 부재
- 제안
  - 카시트, 안전벨트, 핸들에 통합된 피에조필름 움직임 센서를 이용한 졸음측정을하여 EEG 알파 밴드 전력 비율의 증가 및 좌석 움직임 크기의 감소와 밀접한 관련이 있다는 연구 결과가 있음
  - 이런 생리학적 지표와 운전자 작동 매개변수를 결합하면 실용적이고 견고한 피로 대책 장치를 설계할 수 있음
- 모의 운전 중 정신적 피로도를 측정하기 위해 EEG 리듬의 상대 파워 스펙트럼, P300의 진폭, ECG의 ApEn, HRV의 PSD는 장기 운전 전후로 통계적 유의미한 차이를 보였음

## HRV(Heart Rate Variability)를 이용한 신경증환자의 자율신경계에 대한 연구

### 서론

- 심장박동은 체내의 항상성을 유지하기 위해 계속 변화하고 이는 동방결절에 대한 자율신경계의 길항조절작용 및 동방결절의 자발적 흥분에 의해 결정됨
- HRV는 두 신경간 균형상태 및 각각의 활동도를 평가할 수 있음
- 심박변이도(HRV)란 심박수의 변화를 의미하는 것이 아니라, 심장주기의 시간적 변동(fluctuation of R-R interval)을 측정, 정량화한 것임
- 심박수의 변동이 크다는 것은 건강한 사람에서 자율신경계가 원활히 조절되어 외부 자극에 대한 적응성이 좋다는 것을 의미함
  - HRV가 감소하면 자율신경계가 비정상적이고 불충분한 정응을 한다는 지표로 해석함
  - 건강한 사람일수록 심박변동이 크고 불규칙함
  - 연령의 증가와 대사증후군 집단, 뇌졸중 환자, 장기 침상환자가 전반적으로 심박변동이 감소하는 경향이 있음
- 자율신경계는 호르몬 분비에 관여하는 신체 균형 조율함

### 대상

- 30일(2006.01~2006.02)동안 동의대 한방내과에서 진료를 받은 환자중, 신경증을 주소로 하는 환자를 대상으로 HRV측정
  - 환자는 불면, 허로, 무기력, 두통, 소화불량 등의 증상을 주소로 하는 환자 모집
  - 질환군중 파킨슨병, 뇌혈관질환, 심장질환 과 같은 병이 없으며 골절, 감모 등 외감소견도 없는 실험군을 선발함
  - 허로와 무기력, 두통과 현훈 과 같은 애매한 군은 같은 군으로 취급함

- 측정시 환자의 심한 움직임 또는 의도적인 호흡이나 외부자극 요인이 없도록 함
- 다소 문제 소지가 있을 경우 재측정하여 가능한 오류를 줄임
- 측정된 값 중 오류가 나타난 값을 제외한 118개의 자료를 수집함
  - 여성 84명(71.2%), 남성 34명(28.8%)
  - 평균연령은  $48.53 \pm 15.9$ 세
    - 진전과 불면, 두통 순으로 연령이 높았음
    - 소화불량을 호소하는 환자의 평균 연령이 가장 낮음

## 검사 방법

- 좌우 손목부위, 좌측 발목 부위에 각각 전극을 부착하는 심박변이도 측정기를 이용함
- 본 연구에서 측정된 HRV분석은 일반적으로 사용되는 시간영역 분석 방법(Time Domain Analysis)과 주파수 영역 분석방법(Frequency Domain Analysis)중 주파수 영역 분석방법이 사용됨
- Sampling Rate: 부정맥을 제외한 정상맥 300회를 측정 후 시간 영역 분석(Time Domain Analysis)을 통하여 평균 심박수(Mean Heart Rate, Mean HRT)을 구함
  - 측정된 심전도의 R-R 간격을 주파수 영역 분석을 통하여 총전력(Total Power, TP), 초저주파전력(Very Low Frequency, VLF, 0.003~0.04Hz), 저주파 전력(Low Frequency, LF, 0.04 ~ 0.15Hz), 고주파 전력(High Frequency, HF, 0.15~0.4Hz) 및 LF/HF Ratio를 구하였으며, 이를 이용하여 백분율로 전환함

## 조사

- 전도 한 주기의 패턴은 차례로 P-Q-R-S-T파로 구성되는 데 R 피크 사이의 간격을 R-R 간격(R-R interval)이라 함
  - 정상인은 안정 상태에서도 심장 박동간 사이의 간격(R-R interval)의 미세한 변화가 관찰됨
    - 심장의 박동이 체내의 항상성 유지를 위해 계속 변화하기때문임
- 고주파 영역은 호흡에 의한 동성 부정맥과 관련있고, 미주신경의 영향을 받고 **부교감 신경계** 활성도와 연관 있음
  - 감소된 HF 활성도는 심장 질환과 공황장애, 불안, 스트레스를 가진 환자들에게서 발견됨
- 저주파 영역은 교감신경계 활동도를 나타내고 부가적으로 부교감 신경의 요소를 나타낸다고 봄
  - HF와 반대로 감소된 LF는 부교감신경계의 항진과 관련이 깊음
  - 저주파 영역에 대한 연구자들 간 의견이 일치하지 않기는함
- 초저주파영역은 교감신경 기능에 대한 추가적 지시계로서의 기능을 제공함
  - 초저주파영역에 대한 정의가 아직 덜 이루어진 상태임

- TP(Total Power)는 VLF, LF, HF power를 포함하는 전체 power로 교감 신경 활성도와 더불어 전반적인 자율신경계 활성도에 대한 평가함
- LF/HF ratio는 교감과 부교감 신경의 상대적균형 상태를 나타내는 지표로 상승하면 교감신경 활성도가 증가하거나 부교감 신경활성도가 저하되는 것을 나타내며 하강되면 교감신경의 활성도의 저하와 부교감 신경활성도의 증가를 뜻함

## 연구 결과

- 환자군의 평균 심박수는 71.4회였음

Table. 1. 증상별 환자군의 평균연령 및 심박수

주증상	나이	Pulse
두통	50.1	71.36
불면	50.83	70.91
소화불량	45.68	70.67
우울	47.35	73.11
진전	50.83	71.25
허로	47.42	74.5
전체	48.53	69.45

- 아래는 질환별 HF, LF, VLF를 측정한 결과(LF-교감, HF-부교감)

주증상	HF	LF	VLF
전체	57.08	31.47	51.81
두통	56.58	30.84	54.48
불면	53	28.92	48.58
소화불량	54.89	28.37	55.05
우울	56.3	31.65	54.1
진전	52.25	27.33	35.67
허로	64.58	37.92	53.54



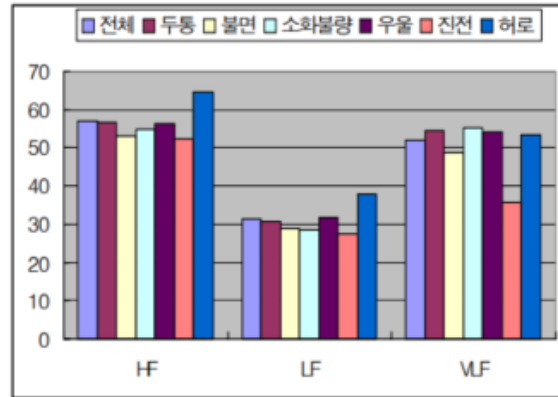


Figure. 1. 증상별 환자의 HRV 비교

- 허로환자가 HF가 높게 측정되고 LF도 높게 나타남
- 불면과 진전 환자, 소화불량 환자가 LF가 낮게 나옴
- 자율신경계 활성도에 대한 평가를 제공하는 **Total Power(TP)**, 교감/부교감 신경 상대적 균형 상태를 나타내는 지표인 **LF/HF ratio**를 나타낸 표임

Table. 3. 증상별 환자의 total power 및 LF/HF ratio

주증상	TP	LF/HF(%)
전체	140.36	55.1
두통	141.9	54.5
불면	130.5	54.6
소화불량	138.32	51.7
우울	142.05	56.2
진전	115.25	52.3
허로	156.04	58.7

- TP: 허로 환자가 높게 나왔고 진전 및 불면 환자에게 낮게 나타남
- LF/HF ratio: 소화장애 및 진전 환자가 가장 낮게 나옴

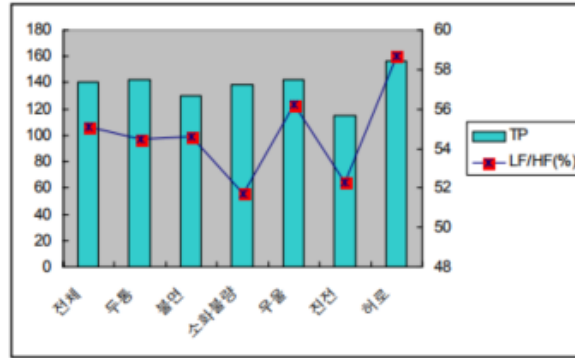


Figure. 2. 증상별 환자의 total power 및 LF/HF ratio 비교

## 결과 정리

- 진전 환자군
  - TP가 가장 낮은 115.25로 신체 균형 조절능력이 저하됐음
  - HF가 낮게 측정되어 부교감 신경의 활성도 저하가 의심되었지만, LF/HF ratio도 낮게 나타나 부교감 신경과 같이 교감신경의 활성도가 저하됨
  - VLF가 환자 군중 가장 낮게 나타났으므로 지시계로서의 기능 저하에 따른다고 볼 수 있지만 VLF에 대한 생리학적 기전이 명확하지 않아 연구가 더 필요하다고 판단됨
- 불면 환자군
  - TP가 두번째로 낮은 130.5로 신체 균형 조절능력이 저하 됨
  - HF는 낮으나 LF/HF ratio가 높게 나와 부교감 신경 활성도는 저하되고 교감신경활성도가 증가된 것을 확인함
    - 이 환자군은 육체적 긴장도 상승과 정서적 스트레스가 큰 것으로 사려됨
- 허로 환자군
  - TP가 156.04로 가장 높게 측정되어 전반적인 자율신경계의 활성도가 높았음
  - 하지만 LF/HF ratio가 가장 높아 교감신경활성도가 증가 된 것을 확인함
  - 허로의 주증상중 하나인 무력감, 피로 등과는 다서 거리가 있어 보임
    - 이에 대한 필자의 개인적인 의견으로는 허로가 연로한 사람들이 주소 호소하는 병증인 반면 본 환자군의 평균연령이 47.42로 다소 적은편이고, 환자의 주소증이 심하지 않기 때문에 이런 결과가 나온 것으로 판단함
- 소화불량 환자군
  - TP, HF, LF 모두 다소 낮게 측정됨
  - LF/HF ratio가 가장 낮게 측정됨

- 소화장애가 자율신경계의 활성화도 저하에 의해 유발되었을 가능성이 높고, 주로 부교감 신경활성도 저하에 의함이라고 판단함
- 두통 환자군
  - 타 질환에 비해 큰 자율신경계의 변화는 없는듯함
    - 두통 유발원인이 스트레스등 정서적 자극이외 다른 원인이 많거나, 증상발현이 불규칙적이기 때문이라 필자가 판단함
- 심계(우울) 환자군
  - 두통환자와 LF/HF ratio는 측정 수치가 크게 다르지 않았음
    - LF/HF ratio는 더 상승되어 있었는데 교감신경의 흥분작용이 과도하거나, 증상발현으로 인해 교감신경이 자극 되었을 것으로 필자가 판단함

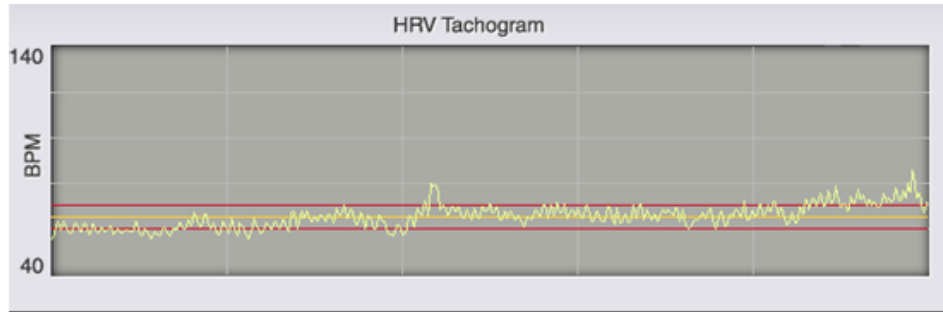
## 결론

- 자율신경계가 인체의 균형을 조율해주는 신경계인 만큼 자율신경계 능력저하나 실조로 인해 다양한 증상들이 발현됨
  - 자율신경계 길항작용 중 교감신경항진 또는 부교감신경저하로 인해 불면, 소화불량, 심계등의 증상이 발현될 수 있음
  - 한계점
    - 각 질환별 환자군의 표본수가 매우 적음
    - 측정한 환자의 질환별 원인이 다양하여 비교가 명확하지 못함
    - 정상인의 HRV 대조군이 설정되지 못해 각 질환별 HRV 변화정도를 판단하지 못함
    - HRV에 대한 이론적인 연구가 아직 한계점이 있음
1. 진전 환자군의 자율신경계 조절능력이 가장 저하 되어있었다.
  2. 불면 환자군은 전반적 자율신경활성도가 낮았으며, 그중 부교감신경활성도가 많이 저하되었다.
  3. 허로 환자군은 부교감신경활성도가 저하되어 증상과 다소 다른 결과가 관찰되었으며, 두통환자군도 교감신경항진의 징후가 크지 않았다.
  4. 소화불량은 자율신경 부조화가 가장 컸으며, 부교감 조절능력이 저하가 심하였다.
  5. 심계환자군은 교감신경활성도가 증가되어 있었다.

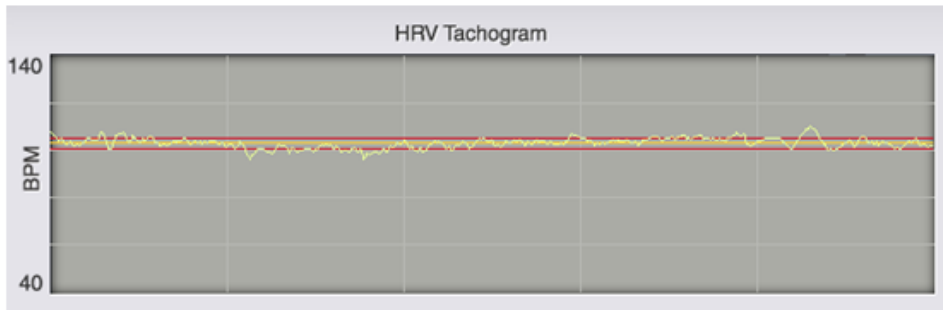
## HRV 관련 지표 해석 방법

- HRV는 심박동수의 시간에 따른 변화를 의미하는 것이 아니라 순간적인 심박동 및 RR 간격의 변동을 반영
- HRV의 증가(심박수 증가를 의미하는 것이 아님, 변화율의 증가)의 의미는 생리적으로 심장박동이 불규칙(irregular)하며, 복잡(complex)하다는 것이고, 반대로 HRV의 감소는 심장박동이 규칙적이며 일정해진다는 의미함

- 정상인 심박 변화(HRV Tachogram in Healthy)



- 질병이 있는 사람의 심박 변화(HRV Tachogram in Disease)



- 건강한 사람은 위와 같은 그래프가 불규칙적이고 복잡하게 나타나지만, 질병 상태에 있는 사람의 경우 심박동의 미세한 변화가 매우 단조롭게 나타남
- HRV 감소의 의미는 심박동의 역동적 변화의 복잡성이 감소되었음을 말하며 이는 끊임없이 변화하는 환경에 대한 체내 적응 능력의 감소를 의미함

## Time domain parameters HRV 측정 지표

### 1. Mean HRT

- 기록 시간 동안의 평균 심 박동수(단위: bpm)

서맥(Bradycardia)	정상	빈맥(Tachycardia)
50 이하	60-90	90이상

### 2. SDNN

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left( \sum_{i=1}^N (RR_i - \text{mean } RR)^2 \right)}$$

$RR_i = i^{\text{th}}$  RR interval,  $\text{mean } RR = \text{mean of RR interval}$

- 전체 NN 간격의 표준편차(The standard deviation of the NN interval )
- 기록시간 동안에 심박동의 변화가 얼마나 되는지를 가늠할 수 있는 지표
- 시간 범위 분석에서 가장 간단한 변수 중의 하나이며 분산의 제곱근
- 분산은 수리적으로 spectrum분석시의 total power와 유사한 의미를 갖고 기록되는 기간 동안 변화를 가져오게 하는 모든 주기적인 요소들이 반영됨
- SDNN이라고 하는 parameter는 변이도를 나타내는 지표로 이는 각각의 NN interval이 평균과 얼마나 많은 차이를 나타내는가를 의미하는데, SDNN이 큰 경우에는 심박 변동 신호가 그만큼 불규칙하다는 것을 의미하며, 반대로 SDNN이 작다는 이유는 심박 변동 신호가 그만큼 단조롭다는 것을 의미함
- SDNN의 감소의 의미
  - 체내/외부의 환경의 변화에 신속하고 적절한 자율 신경계의 항상성 유지 메커니즘의 상실
  - 여러 stressor에 대한 대처 능력의 상실
  - 전반적인 건강 상태의 저하
  - 자율 신경계의 인체 조절 능력의 감쇄 내지 상실

50이상	30이상	20~30	20이하
건강	정상	관리 필요	전문의 상담

### 3. RMSSD

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left( \sum_{i=1}^{N-1} ((R_{i+2} - R_{i+1}) - (R_{i+1} - R_i))^2 \right)}$$

- Square root of the mean of the sum of the square of differences between adjacent NN intervals
- 인접한 RR간격의 차이를 제곱한 값의 평균의 제곱근
- 심장에 대한 부교감 신경 조절을 나타내는 고 주파수 영역을 평가 하는데 이용함
  - RMS-SD는 심장에 관여하는 자율 신경 중 부교감 신경의 활동을 평가하고자 할 때 가장 흔하게 이용되는 변수
  - 부교감 신경의 활동은 심장의 전기적인 안정에 관여하며 심장에 이상이 있는 경우나 이상 징후가 나타나기 전에 RMS-SD는 건강한 사람에 비해 저하됨
- SDNN의 감소와 더불어 RMS-SD의 감소(10이하) 는 심장 질환의 발병 위험이 높다는 것을 뜻함

40이상	20-40	10~20	10이하
건강	정상	관리필요	전문의 상담

### 4. PSI (Physical Stress Index or Pressure Index)

- Accumulated physical load for a long time

- HR과 HRV, RR간격의 분포 등의 시간영역 파라미터들을 이용하여 Pressure의 정도(degree)를 표현함

#### 5. NN50 count와 pNN50

- 연속적인 NN간격의 차이가 50 ms를 초과하는 NN간격의 개수를 NN50 count라고 함

$$\text{Number of } (RR_{i+1} - RR_i) > 50 \text{ ms}$$

- 연속적인 NN간격의 차이가 50 ms를 초과하는 NN간격수의 백분율로 나타낸 것을 pNN50이라고 함

$$pNN50 = \frac{NN50}{N-1} \times 100$$

- 이 변수들은 짧은 기간의 심박변이 구성요소들이고 부교감신경 활성을 나타냄
- NN50수는 당뇨병 환자에서 자율신경병증과 밀접한 연관성을 가지고 있음

### Frequency Domain Parameters HRV 측정 지표

#### 1. Total Power

- VLF, LF, HF를 포함한 5분 동안의 모든 power를 의미함
- 자율신경계의 전체적인 활성 정도를 반영하여 자율 신경계 조절 능력을 말해줌
- 스트레스나 질병이 있는 경우에는 자율 신경계 조절 능력 저하로 total power가 감소됨

#### 2. VLF (Very low frequency)

- 0.003-0.4 Hz 사이의 주파수영역
- 교감신경의 부가적인 정보를 제공한다고 정의함
- 체온 조절계와 밀접한 관련이 있는 초저주파 성분임
- 아직 연구가 덜된 부분이 많음

#### 3. LF (Low frequency)

- 0.04-0.15 Hz 사이의 주파수영역

#### 4. HF(High frequency)

- 0.15-0.4 Hz 사이의 주파수영역

#### 5. ULF(Ultra low frequency band)

- 0.003 Hz 이하의 주파수 영역

#### 6. Normalized LF & Normalized HF

## 7. LF/HF ratio

### Heart rate variability 변수의 상관분석

	Cortisol	DHEA-S	SDNN	RMSS	PSI	TP	VLF	LF	HF
Cortisol	1	0.231**	0.083	0.015	-0.029	<b>0.131*</b>	0.030	<b>0.153*</b>	0.039
DHEA-S	0.231**	1	<b>0.133*</b>	0.059	-0.008	<b>0.157**</b>	-0.009	<b>0.316**</b>	0.077
SDNN	0.083	<b>0.133*</b>	1	0.805**	-0.323**	0.814**	-0.023	0.600**	0.657**
RMSS	0.015	0.059	0.805**	1	-0.287**	0.571**	-0.027	0.419**	0.792**
PSI	-0.029	-0.008	-0.323**	-0.287**	1	-0.170**	0.045	-0.082	-0.218**
TP	<b>0.131*</b>	<b>0.157**</b>	0.814**	0.571**	-0.170**	1	0.022	0.759**	0.492**
VLF	0.030	-0.009	-0.023	-0.027	0.045	0.022	1	0.011	-0.009
LF	<b>0.153*</b>	<b>0.316**</b>	0.600**	0.419**	-0.082	<b>0.759**</b>	0.011	1	0.307**
HF	0.039	0.077	0.657**	0.792**	-0.218**	0.492**	-0.009	0.307**	1

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

### Graphic Report HRV 시각화 지표

1. HRV Tachogram
2. Histogram
3. Phase Plot(RRV)
4. Power Spectral analysis
5. SNS & PNS
6. Stress index
7. Frequency Domain components
8. Autonomic Balance Diagram
9. ApEn & SRD