실내의 상하온도차에 대한 온열감성평가를 위한 HRV 분석

최현배*, 이낙범*, 김동규**, 임재중*, 금종수**, 이구형***, 최호선***

인제대학교 의용공학과*

부경대학교 냉동공조공학과**

LG 전자***

HRV Analysis for Evaluating Thermal Comfort to Vertical Difference of Room Temperature

Hyun-Bae Choi*, Nak-Bum Lee*, Dong-Gyu Kim**, Jae-Joong Im*, Jong-Soo Kum**,

Koo-Hyoung Lee***, Ho-Seon Choi***

Department of Biomedical Engineering, Inje University*

Department of Refrigeration and Air-Conditioning Eng., Pukyung University**

LG Electronics Inc.***

E-mail : jjim@bme.inje.ac.kr

요 약

HRV(heart rate variability) 분석에 있어서 LF와 HF 변수들은 교감신경계나 부교감신경계와 같은 인체내 자율신경계의 반응을 나타내는 유용한 지표로 사용되어져 왔다. 따라서 본 연구에서는 피험자나 실험환경의 상대적인 차이를 고려하여 상하온도차에 따라 변화하는 자율신경계의 반응을 HF/LF 변수비를 통해 조사하였다. 전반적인 실험결과를 볼 때, 머리의 온도가 23℃인 경우 두한족열이 두열족한에 비해 HF/LF수치값이 대체로 높은 양상을 보여주었다. 두열족한의 경우 머리/발 온도가 25℃/19℃인 경우와 일부피험자를 제외한 27℃/21℃조건에서 높은 수치결과를 나타내었고, 두한족열에 있어서는 머리/발 온도가 20℃/26℃인 경우와 23℃/26℃인 경우에 전반적으로 높은 수치결과를 보여주었다.

서 론

현대에 들어서면서 인간은 외부의 자연환경하에서 보내는 시간보다 인공 건조물 내에서 보내는 시간들이 많아졌다. 이러한 환경속에서 인체는 외부의 온열환경으로부터 보호하고 적응하기 위해 체내의 각 기관들을 이용하여 항온을 유지하게 된다. 따라서, 점차 건물내의 온열환경이 실생활에 끼치는 영향에 관한 관심도가 높아졌고, 오늘에 와서는 단순히 추위나 더위로부터의 보호를 넘어서서 실내온열조건 변화에 따른 인간의 온냉감, 혹은 쾌적감 등에 관한 많은 연구들이 수행되기에 이르렀다.[1)2)]

심장은 좌우 한쌍씩의 촉진신경과 억제신경에 의해 제어되어지며 심장의 박동수는 생체 내외 환경온도의 영향에 민감하게 반응한다. 촉진신경은 교감신경(sympathetic nerve)이며 억제신경은 미주신경(vagus nerve)이다. 교감신경은 연수 교감신경중추에서 시발하여 흉수에서 척수를 나와 심장에 이른다.

미주신경은 연수 미주신경중추에서 시발하여 뇌간을 나와 좌우 큰 미주신경 줄기가 되어 그 가지가 심장에 이르고 있다. 따라서 교감신경을 자극하면 심박동수가 증가하게 되고 반대로 미주신경을 자극하면 심박동수가 감소하게 된다.

HRV(heart rate variability) 분석기법은 심장에 영향을 미치는 교감신경 및 부교감신경의 활동과 같은 자율신경계의 반응을 나타내는데 사용되어진다. 따라서 마취나 수면 혹은 각성상태에 대한 정보를 제공해 줄 수 있으며 온열환경에 의한 영향도 민감하게 제시해 줄 수가 있다.[3)4)5)6)7)] HRV 분석은, 심전도의 R-R peak간의 시간간격을 시간축 상의 데이터로 재배열한 다음 그 데이터를 주파수 분석함으로서 LF(low frequency)나 HF(high frequency)와 같은 특정 주파수 대역을 추출할 수가 있으며 이들을 변수로 사용해서 유용한 정보들을 얻을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 HRV 분석기법을 적용하여 상하온도차이에 따라 나타나는 자율신경계의 반응정도를 조사하고자 하였다.

실험 방법

<그림 1>에 전체 실험구성도가 나타나 있다. 피험자로부터 나오는 심전도신호는 polygraph (SAN-EI, polygraph 363)를 통해 출력되어 512Hz로 120초동안 A/D 변환된 후, 컴퓨터에 저장되는 동시에 기록지에 출력되어 모니터링하였다.

데이터 수집

피험자들은 한 실험 당 60분 동안 실험에 참여하였으며 매 10분마다 한번씩 생리신호를 측정하였다. 실험챔버는 상하온도차를 제어할 수 있는 온열장치를 갖추고 있으며 하루당 정해진 온열환경하에서 12일 동안 네그룹이 실험에 참여하였다. 피험자는 남녀 대학생 열두명이 참여하였고 여자가 세명씩 두그룹(A조, D조), 남자가 세명씩 두그룹(B조, C조)으로 총 네그룹을 구성하였으며 각 그룹에서 두명에게서만 심전도신호를 수집하였다. 심전도 신호를 수집할 때는 피험자에게 미리 교육을 하여 움직임을 최대한 자제토록 하였으며 그렇지 않을 때는 독서를 하도록 하여 일정량의 운동량을 유지하였고 제공되어지는 동일한 운동복을 입도록 하여 착의량도 동일하게 하였다.

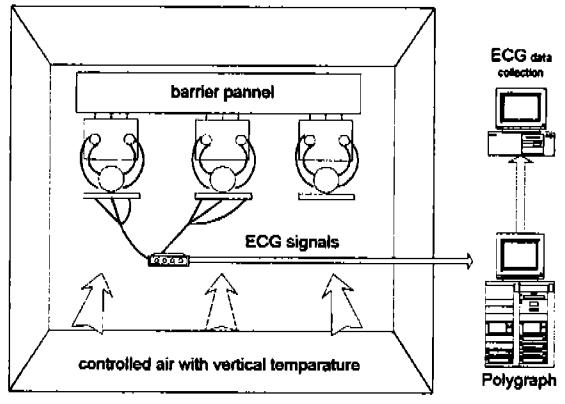

그림 1. 전체 실험 구성도

온열환경은 두열족한(頭熱足寒), 두한족열(頭寒足熱)을 각각 3℃와 6℃씩 상하온도차이가 나도록 제공하였으며 <표 1>에 나타나

표 1. 온열환경조건

	온도차 3℃	온도차 6℃
두열족한*	23℃/20℃, case 1	23℃/17℃, case 3
	25℃/22℃, case 2	25℃/19℃, case 5
	27℃/24℃, case 4	27℃/21℃, case 6
두한족열**	17℃/20℃, case 11	17℃/23℃, case 10
	20℃/23℃, case 7	20℃/26℃, case 8
	23℃/26℃, case 9	23℃/29℃, case 12

*두열족한:하체에 비해 상체의 온도를 더 높게 설정
**두한족열:상체에 비해 하체의 온도를 더 높게 설정

있다. 온도값은 머리와 발 높이에 온도센서를 고정하여 온도조건을 제어하는데 이용하였으며 기류 및 습도조건은 고려하지 않았다. 가능한 한 상하의 기류가 혼합되지 않도록 패널을 이용하여 피험자의 상하체를 구별하는 등 세심한 주의를 기울였다.

HRV 분석

HRV는 <그림 2>에 나타나있는 것과 같이 심전도에서 나타나는 R peak 간의 시간간격을 다시 시간축상에 재배열함으로써 HR 데이터를 구성한 다음, 그 신호를 주파수 분석함으로써 일정 주파수 구간에서 나타나는 LF, HF 성분을 분석하는 기법이다. 따라서 정확한 peak 검출기법이 요구되어지며 peak의 위치에 대한 해상도는 심전도 데이터의 샘플링 주파수에 의해 결정되므로 높은 샘플링 주파수를 통해 고해상도의 심전도 데이터를 구성하였다. 하지만 이 때 피험자의 움직임이나 고주파수 성분의 노이즈는 peak 검출에 치명적인 오류를 발생시킬 수 있으므로 주의를 기울였다.

따라서 본 실험에서는 512Hz로 A/D 변환한 데이터를 다시 1-80Hz의 디지털 대역통과필터를 통과시켜 호흡이나 움직임에 의한 저주파 성분 및 기기잡음, 전기적 노이즈 등을 효과적으로 제거하여 peak 검출의 효율성을 증대시켰다. 또한 검출되어진 peak간 시간간격으로 구성된 HR데이터는 비록 120초 길이의 데이터라고 해도 발생회수가 약 140 정도밖에 되지 않으므로 주파수 영역에서는 해상도가 너무 낮게 나타난다. 따라서 원래의 HR 데이터의 샘플링 주파수를 보간법(interpolation)을 이용해서 10배 증가시켜주었다.

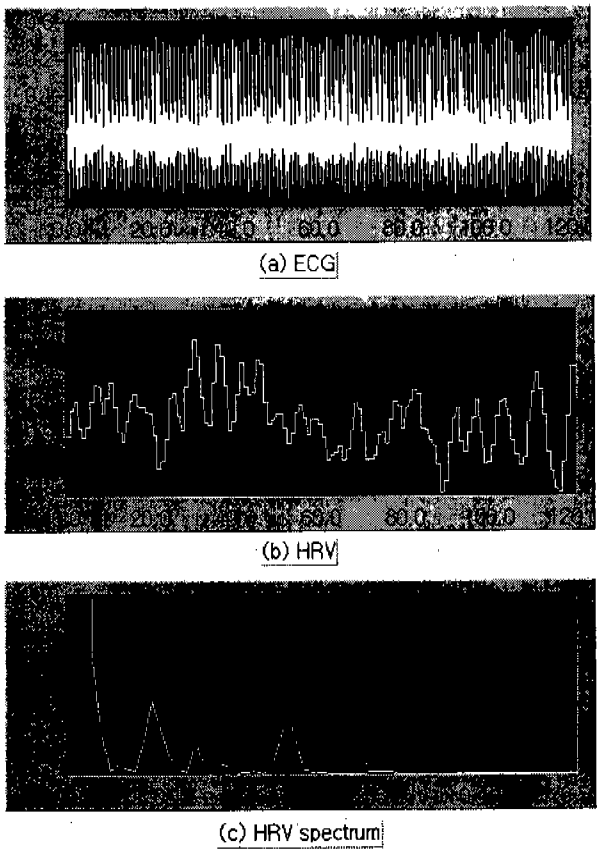

그림 2. 심전도 신호로부터 추출한 HRV 스펙트럼

결 과

상하온도차에 의해 구해진 피험자들에 대한 HF/LF 값들의 그래프 중 대표적인 예와 전체 여덟명의 피험자들에 대한 변수들의 평균값에 대한 그래프가 <그림 3>과 <그림 4>에 각각 나타나 있다. 전반적으로 머리의 온도가 23℃인 경우 두한족열이 두열족한에 비해 HF/LF수치값이 대체로 높은 양상을 보여주었다. 3℃ 차이와 6℃ 차이에 의한 HRV 분석 결과를 살펴보면 두열족한의 경우 6℃의 상하온도 차이를 가지고 있는 25℃/19℃에서 근소한 차이를 보여주고 있으며, 두한족열의 경우 6℃의 상하온도차이를 가지는 20℃/26℃의 경우와 3℃의 상하온도차이를 보이는 23℃/26℃의 경우에 수치값이 높게 나타났지만 전반적으로 6℃ 차이를 가지는 경우의 결과값이 3℃ 차이를 가지는 다른 경우들에 비해 큰 차이를 나타내지는 않았다.

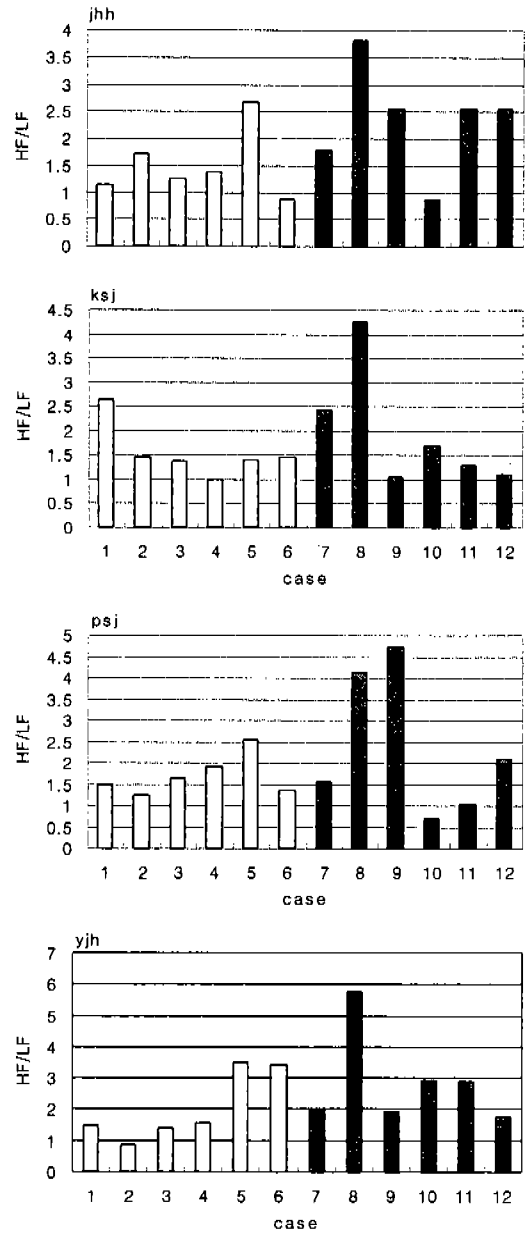

그림 3. 대표적인 HF/LF 결과수치 비교그래프

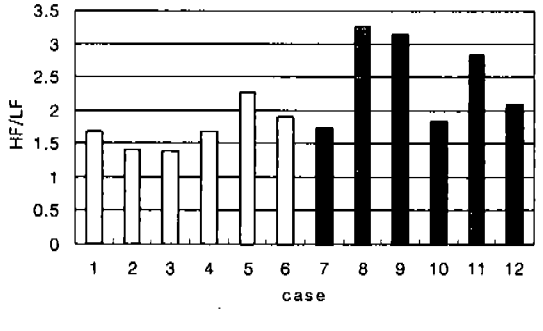

그림 4. 전체 HF/LF의 평균 그래프

토 의

본 연구는 상하온도차에 따른 HRV 분석 결과를 비교한 것이다. 온열환경에 선행되어져서 나타나거나 활동 후의 변화를 보고자 한 것이었기 때문에 온열환경의 요소외에도 시간이라는 변수가 개입된다. 이러한 사실은 외부온열환경에 대한 자율신경계의 반응시간 및 인체의 적응시간에 의한 요소로써 생각되어질 수 있다. 또한, 인체는 계절에 따라 느끼는 상대온도차가 비교적 크게 나타나는 편이다. 예를 들어, 따뜻한 여름에 느끼는 17℃와 추운 겨울에 느끼는 17℃는 너무나도 다른 온도가 될 수 있는 것이다. 따라서 가능한 한 실험하기전 기온에 대한 피험자의 느낌을 동일시하도록 주의를 기울여야 한다.

자율신경계의 반응을 보여주는 HRV분석에 있어서 LF는 교감신경계의 활동을 나타내고 HF는 부교감신경계의 활동을 나타낸다고 알려져있다. 피험자와 실험환경에 대한 상대적인 차이를 고려해 볼 때, HF/LF 수치값을 이용해서 인체내 자율신경계의 반응을 효과적으로 비교해 볼 수 있다. 교감신경계는 인체항상성(homeostasis)의 유지 및 위급상태(emergency) 때에 대비하여 여러반응을 일으킨다. 따라서 HF/LF 수치값이 낮다는 사실은 인체가 외부환경에 대해 자극을 받고 불균형상태가 되었으므로 다시 정상상태로 유지하기 위해 교감신경이 작용한 것이라고 말할 수 있다.

남녀피험자에 따라서 나타나는 HRV분석 결과는 그리 민감하게 차이를 보여주는 것 같지는 않다. 일반적으로 체지방이 많은 여자 피험자들의 경우 견딜 수 있는 상하임계온도의 차이폭이 클 것이라고 생각할 수 있지만 남녀피험자의 상대적인 체격의 차이 및 성격에 따라 주관적으로 느끼는 온도의 차이는 클 것이라고 사료된다.

다양한 생리신호의 분석이 병행된다면 실험의 결과를 더욱 신뢰성있게 뒷받침해 줄 수 있을 것이다. 온열환경에 의한 자율신경계의 반응을 이용해서 호흡의 변화양상이나 발한정도에 따른 GSR의 변화 등을 함께 살

펴볼 필요가 있다. 따라서 본 연구 결과와 더불어 이상과 같은 문제점들의 보완과 연관 과제들이 함께 수행되어진다면 온열환경에 대한 쾌적감을 평가하는데 있어서 더욱 객관성있고 신뢰성이 높은 연구 결과를 달성할 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] P. O Fanger, "Thermal Comfort," McGraw-Hill Book Company, 1972.

[2] S. Tanabe, "Thermal Comfort Requirements in Japan," Waseda University, 1988.

[3] G. V. Andrep, W. Pascuel, R. Rosser, "Respiratory variations of the heart rate," Proc. R. Soc. Lond. Biol., 119, pp.1191-230, 1936.

[4] Akselrod, S. D. Gordon, J. B. Madwed, N. C. Snidman, D. C. Shannon, A. Barger, R. J. Cohen. "Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative prove of beat-to-beat cardiovascular control," Science Wash. DC, 213, pp.220-222, 1981.

[5] Bootsma, M. C. A. Swenne, H. H. Van Bolhuis, P. C. Chang, V. M. Cats, A. V. G. Bruschke. "Heart rate and Heart rate variability as indexes of sympathovagal balance," Am. J. Physiol., 226, pp.1565-1571, 1994.

[6] 오상훈, 황민철, 임재중, "HRV 스펙트럼과 청각 감성과의 연관성에 대한 연구," 대한의용생체공학회 춘계학술대회논문집, 19권 제1호, pp.176-178, 1997.

[7] 한종인, 이춘희, "흡입마취제의 호기말농도 변화에 따른 R-R 간격 Power Spectrum 변화에 관한 연구," 대한마취과학회지, 30권, pp.252-263, 1996.