

핸드폰 전자기장 노출이 EHS 군에게 미치는 영향

지효철, 홍현기*, 김수찬**, 김덕원*

:연세대학교 일반대학원 생체공학협동과정, * :연세대학교 의과대학 의학교육과, ** : 한경대학교 생물정보통신전문대학원

Effects of electromagnetic field exposure on electrohypersensitivity persons by a CDMA cellular phone

Hyo Chul Ji, Hyun Ki Hong*, Soo Chan Kim**, Deok Won Kim*

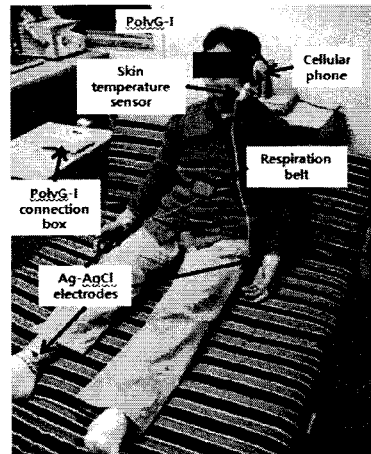
: Graduate Program in Biomedical Engineering, Yonsei University

* : Dept. of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University

** : Graduate School of Bio & Information Technology, Hankyong National University

Abstract - 휴대폰 전자파로 인해 두통, 불면증, 단기간의 기억력 소실 등의 신경 생리학적 증상을 호소하는 휴대폰 전자파 과민증 (EHS, Electromagnetic Hypersensitivity) 환자들이 늘어나고 있다. 그러나 휴대폰 전자파 과민증의 원인이 막연한 불안감 때문인지 혹은 전자파 노출로 인한 증상 인지 여부에 대해 확실하게 규명이 되지 않고 있다. GSM 방식의 휴대폰의 경우 전자파 노출 시 EHS 군을 대상으로 혈압, 맥박수 변화 등의 과민 반응에 대한 연구들이 수행되었으나 일반인과 EHS 군의 실험-대조군 연구로 생체신호, 자각증상 및 전자파 인지 여부에 대한 복합적인 연구와 CDMA 휴대폰 EHS 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 일반인 6명과 EHS 6명을 대상으로 30분간 300mW의 CDMA 휴대폰 전자파에 노출 시 교감신경의 흥분을 나타내는 맥박, 호흡수, HRV(heart rate variability)의 변화를 측정하였다. 그 결과, 일반인과 EHS 군 모두 전자파 노출여부에 따라 맥박, 호흡수, HRV의 변화가 없었다.

그림 1은 실험이 진행되는 전체 측정 장면으로 검사자는 실험이 진행되는 동안 피검자가 볼 수 없는 위치에서 피검자의 맥박수, 호흡수, HRV의 변화를 측정하는 실험을 수행하였다. PolyG-I와 BIOPAC으로부터 측정된 데이터는 Telescan0.9 (Laxtha, Korea)와 AcqKnowledge3.73 (BIOPAC, USA)을 이용해 노트북 PC (SV20, SAMSUNG Electronics, Korea)에 저장, 분석되었다.



〈그림 1〉 생체 신호 계속 센서를 부착하고 측정 중인 피험자

1. 서 론

2008년 현재 국내 휴대폰 가입자 수는 4천만명 이상으로 1인 1 이동전화 시대라 해도 과언이 아닐 정도로 휴대폰화가 보편화 되었다[1]. 이로 인해 휴대폰 전자파의 인체 영향에 관한 사회적 관심이 증가하고 있고, 휴대폰 전자파로 인해 두통, 불면증, 단기간의 기억력 소실, 뇌파 변화 등의 정신 신경 생리학적 증상을 호소하는 휴대폰 전자파 과민증 (EHS, electromagnetic hypersensitivity) 환자들도 나타나고 있다[2]. 스웨덴과 미국 캘리포니아주의 역학조사 결과에 따르면 전자파 과민증을 호소하는 인구가 각각 1.5%, 3.2%에 이른다[3][4]. 이러한 증상은 현재까지 의학적으로 진단이 불명확하며, 개인의 주관적인 판단에 의존한다. 그리고 휴대폰 전자파 과민증의 원인이 막연한 불안감 때문인지 전자파 노출로 인한 증상인지에 대해 현재까지 확실한 원인규명이 되지 않고 있다[5].

본 연구에서는 EHS와 일반인 군을 대상으로 CDMA 휴대폰 사용 중 휴대폰과 접촉되는 얼굴의 피부 온도와 자율신경의 변화를 나타내는 맥박수, 호흡수 및 심박 변이도(HRV : Heart Rate Variability)를 피검자에게 불편이나 고통을 주지 않는, 비침습적인 방법으로 측정하였다. 위의 결과들을 바탕으로 CDMA 휴대폰 전자파 과민증상의 유무를 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 생리학적 변수 측정

휴대폰 전자파 실제 노출(real exposure) 시 휴대폰 발열로 인하여 휴대폰과 접촉 되는 얼굴 피부온도가 가상 노출(sham exposure) 시 보다 유의하게 증가하면 피검자가 휴대폰의 노출 상태를 인지할 수 있다. 따라서 온도 상승을 최소화하기 위하여 얼굴에 닿는 부위를 단열 처리하고 배터리를 개방하였다. 이 단열처리를 검증하고 전자파 노출로 인한 피부 온도 변화율을 측정하기 위하여 피부온도 센서 (TSD202B, BIOPAC, USA)를 휴대폰 키패드 앞, 볼에 부착하고 SKT100C (BIOPAC, USA)를 사용하여 피부온도 변화를 측정하였다.

CDMA 휴대폰 사용 중 전자파 과민 반응을 평가하기 위하여 맥박수, 호흡수 및 HRV를 측정하였다.

호흡 변화는 상복부에서 호흡벨트(Laxtha, Korea)를 감아 호흡에 의해 변화하는 복부 단면적으로부터 인덕턴스의 변화를 감지하는 방법(RIP : Respiratory Inductance Plethysmography)을 이용하여 측정하였다.

HRV의 전력스펙트럼은 자율신경계의 교감신경과 부교감 신경의 작용을 정량적으로 평가할 수 있는 효과적인 방법으로 알려져 있다[6][7]. 따라서 본 연구에서는 전자파 노출에 따른 자율신경계 변화를 정량적으로 평가하기 위하여 심전도로부터 HRV를 획득하여 HRV의 전력 스펙트럼을 구하였다. HRV의 전력 스펙트럼에는 세 개의 피크가 나타난다. 첫째는 0.04~0.15 Hz의 LFP (low frequency power), 둘째는 0.15~0.4 Hz의 HFP (high frequency power), 마지막으로 0.04 Hz 이하의 VLPF (very low frequency power)이다[7]. HFP는 호흡성 동성 부정맥(RSA, Respiratory Sinus Arrhythmia)에 의한 부교감신경의 영향을 반영한다. 반면에 LFP는 교감과 부교감 신경의 영향을 반영한다. 따라서 자율신경계 활동의 균형을 나타내는 지표로서 LFP/HFP가 사용되며, 본 논문에서 주요한 변수로 사용되었다.

2.2 실험 방법

자원자는 EHS 6명(연령 24.8±1.7), 일반인 6명(연령 25.0±2.0)으로 EHS 군은 남 3명, 여 3명이고, 일반인 군은 남 3명, 여 3명이다.

피검자가 휴대폰의 작동 상태를 알 수 없게 가상과 실제노출의 여부를 single blind test를 하여 실험의 bias를 최소화하였으며, 실험 전 30분 동안 피검자는 편하게 앉아서 충분한 안정을 취한 후, 지면으로부터 상체를 75° 정도 일으켜 실험 침대에 편하게 앉아서 실험을 하였다.

휴대폰 통화 시 통화내용이 피검자의 정신 및 생리작용에 영향을 줄 수 있으므로 무통화로 실험하였으며, 무통화의 경우 휴대폰 출력이 급격히 떨어지므로, 실제노출에 사용된 휴대폰을 테스트 모드에서 출력이 300 mW가 되도록 고정하였다.

실험은 가상 노출(sham exposure)과 실제 노출(real exposure) 두 부분으로 나뉘고 각 실험마다 50분씩 소요되었고, 생체 신호(심전도, 호흡, 얼굴 피부 온도)는 각 실험마다 헤드셋을 착용한 상태에서 휴대폰 전자파 노출 전, 전자파 노출 15분 후, 전자파 노출 30분 후, 그리고 노출 중지 10분 후의 시점에서 획득하였다. 하루에 한 실험씩 이틀에 걸쳐 진행되었고, 24 시간 주기의 생체 리듬 변화를 고려하여 각 피험자마다 가상과 실제 노출 실험이 하루 중 같은 시간에 이루어졌다.

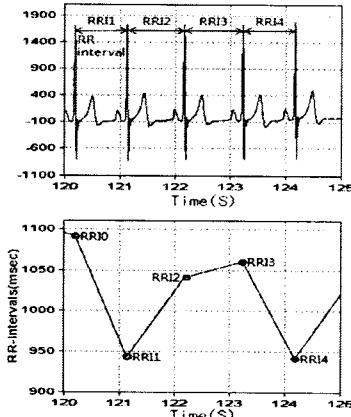
가상과 실제 노출의 순서는 각 피 실험자마다 무작위로 배정하여 실험의 bias를 최소화하고, 실험 조건과 온도, 습도를 일정하게 유지하였다.

5분간 수집한 심전도 데이터에서 맨 처음 60초 구간의 데이터를 선택한 후 분당 맥박수를 측정하였다. 호흡수 역시 처음 60초 구간의 데이터를 선택하여 분당 호흡수를 측정하였다. 피부온도는 5분의 데이터 중 처음 60초 구간의 데이터를 평균하여 피부온도의 변화를 분석하였다.

HRV는 측정된 5분간의 심전도 데이터로부터 그림 2과 같이 심장박동의 간격을 획득한 후 전력스펙트럼을 구하였다. HRV의 short term 분석은 5분 동안의 맥박 신호로부터 분석한다[8]. HRV의 전력스펙트럼에서 LFP/HFP를 구하여 자율신경계 변화를 분석하였다. 그리고 HRV의 상대적 인 변화를 분석하기 위해 각 개인의 가상 노출과 실제 노출 단계에서 최초 휴식 후 측정값을 100으로 하여 이후 측정값을 상대적인 비율로 환산하였다.

측정 결과는 EHS 군과 일반인 군에 있어서 CDMA 휴대폰 전자파 노출 여부(가상과 실제 노출) 및 노출 시간에 따른 맥박수, 호흡수, 얼굴에서의

피부 온도와 HRV의 변화를 repeated measure two-way ANOVA test를 이용하여 분석하였다. 통계 분석은 SPSS 10(SPSS Inc, USA)을 사용하였으며, $p=0.05$ (p -value) 유의수준으로 검정하였다.



〈그림 2〉 맥박 간격 신호 획득

3. 결 과

얼굴 피부 온도의 변화는 일반인과 EHS 군 모두 전자파 노출여부와 노출시간에 따라 통계적으로 유의하지 않은 결과를 보여, 휴대폰 고정 장치의 난열재가 휴대폰 동작 시 발열을 충분히 차단한 것으로 볼 수 있다. 따라서, 휴대폰 발열로 인한 동작 여부인지의 가능성을 배제하고 생리학적 측정 변수를 분석할 수 있다.

CDMA 휴대폰의 노출여부 및 노출시간에 따른 생리학적 변화 및 자각 증상에 대한 검정 결과, EHS 군의 맥박수($p=0.278$), 호흡수($p=0.430$)는 노출 여부에 따라 유의한 변화가 나타나지 않았다. 노출 시간에 따른 맥박수($p=0.989$), 호흡수($p=0.301$)의 변화 또한 유의한 차이가 없었다. 일반인 군은 노출 여부에 따라서 맥박수의 유의한 변화($p=0.006$)를 볼 수 있었지만, 시간에 따라 맥박수($p=0.554$), 노출 여부와 시간에 따라 호흡수($p=0.143$, $p=0.773$)의 유의한 변화를 볼 수 없었다.

EHS 군과 일반인 군 모두에서 전자파 노출여부와 노출시간에 따른 LFP/HFP의 유의한 변화는 볼 수 없었다. EHS군의 전자파 노출시간($p=0.980$), 전자파 노출여부($p=0.225$), 전자파 노출여부와 노출시간의 교호작용($p=0.664$) 모두 통계학적으로 유의한 변화를 보이지 않았고, 일반인 군 또한 전자파 노출시간($p=0.237$), 전자파 노출여부($p=0.629$), 전자파 노출여부와 노출시간의 교호작용도 없었다($p=0.963$).

표 1은 전자기장 노출시간과 노출여부에 따른 LFP.HFP의 변화를 백분율로 환산한 것이다.

〈표 1〉 LFP/HFP의 변화

Group	Stage	노출여부		p-value
		sham(n=6) mean±SD (%)	real(n=6) mean±SD (%)	
EHS	rest	100	100	
	15min	154.11±98.01	247.00±163.00	0.259
	30min	239.17±282.45	171.97±97.71	0.594
	finish	246.61±258.82	216.25±139.92	0.806
control	rest	100	100	
	15min	124.64±80.18	105.68±28.94	0.598
	30min	114.69±45.28	115.21±37.94	0.983
	finish	150.75±75.15	139.01±81.81	0.801

4. 결 론

일반인 군은 CDMA 휴대폰 노출에 의한 인체 반응 중 노출여부에 따른 맥박수의 차이를 보였으나, EHS 군은 유의한 차이를 보이지 않았다. EHS와 일반인 군 모두 노출여부 및 노출시간에 따라 호흡수의 유의한 차이를 보이지 않았으며, 조사된 모든 자각 증상에서 전자파 노출여부에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. EHS 군과 일반인 군 모두에서 LFP/HFP는 전자파 노출시간과 노출여부에 따라서는 차이가 없었으며 또한, 전자파 노출여부와 시간의 교호작용 또한 없어서 전자파 노출이 LFP/HFP에 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다.

EHS 군과 일반인 군에서 전자파 노출여부와 노출시간에 따른 유의한 생리학적 변화를 보이지는 않았지만, 노출시간에 따라서 증가하는 경향을 보이므로, 좀 더 많은 수의 실험자를 대상으로 실험을 바탕으로 결과를 도출해야 할 필요성이 있다. 2004년 Hjortskov 등은 12명의 여성 피험자를 대상으로 연구한 결과, 정신적 스트레스가 HF를 감소시키고, LF/HF를 증가시킨다고 하였다[9]. 따라서 EHS 군과 일반인 군에서 LFP/HFP의 유의한 변화가 없다고 단정하기 이르다.

본 연구에서는 HRV의 LF와 HF가 노출여부에 따라서는 차이가 없었으

나 시간에 따라서 대체적으로 증가하는 결과를 보였다. 따라서 피험자 수를 늘려서 유의한 결과를 도출하는 추가적인 실험이 필요할 것으로 사료된다.

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-20819-0).

참 고 문 헌

- [1] 박현주, "모바일 인터넷 시장 동향", 정보통신정책, vol. 19, no. 7, pp. 2-25, 2007
- [2] L. Aringer, J. Cunningham, F. Gobba, N. Leitgeb, L. Miro, G. Neubauer, I. Ruppe, P. Vecchia, C. Wadman, "Possible health implications of subjective symptoms and electromagnetic fields A report prepared by a European group of experts for the European Commission", DG V. Arbetslivsinstitutet Arbete och Hälsa 1997:19.
- [3] L. Hillert, N. Berglind, B. B. Arnetz, T. Bellander, "Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey", Scandinavian journal of work, environment & health, vol. 28, no. 1, pp. 33-41, 2002.
- [4] P. Levallois, R. Neutra, G. Lee, L. Hristova, "Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California", Environmental health perspectives, vol. 110 Suppl 4, no. pp. 619-623, 2002.
- [5] N. Leitgeb, J. Schrottner, "Electrosensitivity and electromagnetic hypersensitivity", Bioelectromagnetics, vol. 24, no. 6, pp. 387-394, 2003.
- [6] S. Akselrod, D. Gordon, F. A. Ubel, D. C. Shannon, A. C. Berger, R. J. Cohen, "Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control", Science, vol. 213, no. 4504, pp. 220-222, 1981.
- [7] G. Oftedal, J. Wilen, M. Sandstrom, K. H. Mild, "Symptoms experienced in connection with mobile phone use", Occupational medicine (Oxford, England), vol. 50, no. 4, pp. 237-245, 2000.
- [8] Marek Malik, J. Thomas Bigger, A. John Camm, Robert E. Kleiger, Alberto Malliani, Arthur J. Moss, and Peter J. Schwartz "Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use.", European Heart Journal, 1996, vol.17(3), p354-381
- [9] Hjortskov N, Rissen D, Blangsted AK, Fallentin N, Lundberg U, Sogaard K. 2004. The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. Eur. J. Appl. Physiol. 92(1-2):84-9.