

CDMA 휴대폰 사용시 말초 혈류량 및 심박수의 변화 분석

김성우, 이택형*, 이주형, 김덕원*
연세대학교 대학원 생체공학협동과정, *연세대학교 의과대학 의학공학교실

Analysis of Peripheral Blood Flow and Heart Rate on CDMA Cellular Phone Exposure

Sung Woo Kim, Tak Hyung Lee*, Ju Hyung Lee, Deok Won Kim*
Graduate Program in Biomedical Engineering, Graduate School of Yonsei University
*Dept. of Medical Engineering, College of Medicine, Yonsei University

Abstract - 우리 일상생활과 밀접한 CDMA 휴대폰의 사용인구가 급증하면서 최근 전 세계적으로 휴대폰 전자파의 유해성에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 연구에서는 GSM 및 기타 다른 통신방식을 대상으로 한 기존의 연구와 달리 CDMA 휴대폰을 사용할 때 방출되는 전자파가 인체의 심혈관계에 미치는 영향을 조사하였다. 청소년 집단(21명, 연령 15.9±2.3세)과 성인 집단(21명, 연령 25.9±5.6세) 자원자를 대상으로 CDMA 휴대폰 사용 중의 말초 혈류량, 심박수 외에 혈압의 변화를 비침습적으로 측정하였다. 청소년과 성인 간, 그리고 각 집단 내에서 휴대폰 전자파 노출에 따른 말초 혈류량, 맥박수 및 혈압의 변화를 통계적으로 분석한 결과, 청소년과 성인 모두 말초 혈류량, 맥박수 및 혈압에 있어서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 결론적으로 CDMA 휴대폰 전자파 노출은 인체의 심혈관계에 직접적인 영향을 미치지 않는다고 사료된다.

1. 서 론

최근, 전 세계적으로 휴대폰 사용인구가 급증하면서 2006년 현재 국내 휴대폰 가입자 수는 이미 4천만 명을 넘어섰다. 이처럼 휴대폰 사용자의 증가와 함께 휴대폰 전자파 노출 유해성에 대한 논란이 끊임없이 제기되고 있고, 특히 휴대폰 단말기 및 기지국으로부터 방출되는 마이크로파대역(300MHz~300GHz)의 전자파에 대한 대중들의 관심도 급격히 확산되었다. 지금까지 유럽에서는 스웨덴과 노르웨이를 중심으로 휴대폰 사용에 의한 자각증상들이 보고 되었으며, 주로 GSM(Global System for Mobile communication) 통신 방식과 아날로그 방식인 NMT(Nordic Mobile Telephone system) 통신 방식의 휴대폰 전자파 영향에 대해 연구되었다[1]. 또한 영국과 호주(2002년)에서는 휴대폰 사용이 성장기에 있는 청소년들의 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있으므로 정부에서 휴대폰 사용 자제를 권고하여 왔다[2]. 외국의 경우, 국내의 CDMA(Code Division Multiple Access) 방식과 달리 GSM 방식을 주로 사용하므로 GSM 휴대폰 사용에 의한 자각증상[1],[3],[4], 혈압 및 맥박수 등의 생리학적 변화[5],[6], 신경생리학적 변화[7] 및 인지기능[8],[9]에 대한 연구 등이 많이 수행되었다. 국제보건기구(WHO)에서는 2003년도에 시급하게 다루어야 할 과제로 수면에 대한 영향, 두통, 청소년의 기억에 관한 연구를 언급한 바 있다[10]. 우리나라에서 사용하는 CDMA 방식은 다수의 사용자에게 서로 다른 코드를 부여하면서 동시에 동일 주파수를 사용하는 접속방식으로서 825~849MHz의 송신주파수와 869~894MHz의 수신주파수를 사용하고 평균 송신 출력이 300mW인 반면, GSM의 사용 주파수 대역은 900MHz 및 1.8GHz, 평균 송신 출력은 800mW으로 시스템 측면에서 서로 다른 차이가 있다[11]. 그러므로 본 연구에서는 국내외 전반적으로 연구이력이 없는 "CDMA 휴대폰 전자파와 인체의 심혈관계 영향"의 관계를 규명하고 평가하고자 하였다.

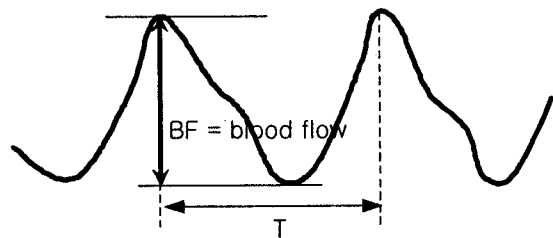
2. 본 론

2.1 휴대폰 전자파의 인체영향 평가 변수

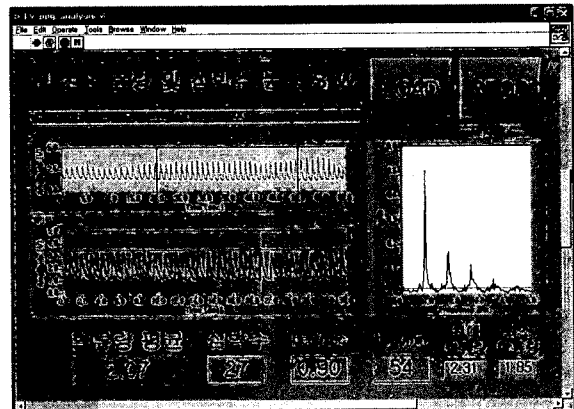
휴대폰 전자파가 인체의 심혈관계에 미치는 영향을 간접적으로 조사하기 위하여 일반인이 휴대폰을 사용하는 중에 인체의 말초 혈류량과 심박수 및 혈압 변화를 관찰하였다. 심혈관계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 말초 혈류량과 심박수, 혈압 세가지 생리학적 변수를 선정하였다. 본 연구진(연세대의 의학공학교실)에 의해 개발된 측정기를 사용하여 간편하고 비침습적인 방법으로 말초 혈류량과 심박수를 측정하였으며, 상용화된 자동혈압측정기를 사용하여 수축기혈압과 이완기 혈압을 측정하였다.

2.1.1 말초 혈류량 및 심박수의 측정 및 분석

말초 혈류량 측정을 위하여 본 연구진에 의해 개발된 광혈류 측정기(PPG: Photoplethysmography)를 사용하였고, Pulse Oximeter의 상용화된 클립 센서(DS-100, NELLCOR, USA)를 왼손 검지에 부착하여 측정하였다. PPG 파형은 맥박 주기와 일치하는 펄스를 보이는데, 이 때 PPG 신호의 맥동성분인 교류 신호에서 각 맥박 주기마다 혈류의 최대값과 최소값의 차이를 혈류량의 변화로 인한 결과로 보았다. 그림 1과 같이 적외선광 파장에 의해 PPG센서에서 얻어진 각 신호의 피크-밸리를 일회 맥동성분의 혈류량으로 계산하였고 혈류 파형의 맥동 성분으로부터 심박수를 검출하였다. 한 피검자의 손가락에서 측정된 데이터는 1분 동안 저장되었고, 저장된 데이터에서 안정된 30초 구간을 선택하여 안정된 구간의 PPG 파형을 분석하였다. 그림 2는 측정된 손가락 혈류량 변화의 분석 화면으로, 선택된 30초 구간이 확대되어 나타나며 30초의 안정한 데이터를 평균한 평균 혈류량과 심박수, 분당 심박수를 나타내었다. 우측에 선택 구간의 파형에 대한 스펙트럼 분석에서 맥박의 기본 주파수를 확인할 수 있다.



<그림 1> PPG 파형에서의 혈류량(blood flow)



<그림 2> 말초혈류량 및 심박수 분석 화면

2.1.2 혈압의 측정 및 분석

혈압은 상용화된 비관혈적 혈압 측정기(Non-invasive Blood Pressure Monitor, OMRON T4, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 그림 3과 같이 혈압 측정에 대한 오차를 줄이기 위해 심장 높이고 비슷한 위치에 있는 오른쪽 상완에 커프(cuff)를 착용하고 과도한 압박을 피하여야 한다. 이완기 및 수축기 혈압을 1회 측정 후, 혈압이 정상으로 회복되면 다시 반복 하여 세 번 측정한 값에 대해 산술 평균을 취하였다.

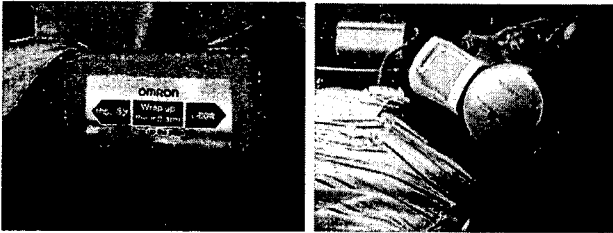
2.2 실험 과정 및 구성

실험은 노출 시간에 따라 노출 전(resting), 휴대폰 전자파 노출 15분 후, 노출 30분 후, 노출 종료 10분 후 4 단계로 나뉘고 실험은 총 1시간이 소요되었다. PPG 신호는 그림 4와 같이 단열처리 휴대폰을 고정한 헤드셋을 착용한 상태에서 노출 전, 노출 15분 후, 노출 30분 후, 노출 종료 10분 후의 시점에서 획득하였다. PPG 신호를 1분간 먼저 측정하고, 혈압은 약 1분 간격으로 3회 측정하여 평균값을 취하였다. 가상노출과 실제노출 실험 중간에 10분간 휴식하였다. 실험 종료 후, 두통 등의 자각증상을 질의하여 기록하였다. 실험 조건, 온도와 습도의 영향에 따라 결과가 달라질 수 있으므로, 매 실험마다 측정 시간과 측정 장소의 온도 및 습도를 기록하였다.

실험에 사용된 CDMA 휴대폰(SCH-V300S, SAMSUNG Electronics, KOREA)의 전송(Transmit, TX) 사용주파수 대역은 824.64 ~ 848.37 MHz 이고, 실험에 사용한 반송주파수(carrier frequency)는 전송주파수 범위의 중간주파수인 835 MHz 이었다. 휴대폰이 작동되는 동안 휴대폰의 송신 출력은 테스트 모드로 하여 평균 300 mW가 되도록 조정하였다.

휴대폰은 그림 4와 같이 헤드셋의 좌측 귀에 고정하여 피검자의 머리에 착용할 수 있도록 하였다. 얼굴이 닿는 부위는 플라스틱 단열재로 처리하고, 얼굴에 닿지 않는 휴대폰 배터리 부위는 방열이 잘 되게 개방하여 피검자 온도 상승을 느끼지 못하도록 하였다.

검사자는 실험이 진행 되는 동안 피검자가 볼 수 없는 위치에서 피검자의 말초 혈류량 및 심박수, 혈압의 변화를 측정하고 실험을 수행하였다. 개발된 광혈류량 측정기로부터 측정된 데이터는 DAQpad 6020E(National Instrument, USA)를 이용해 노트북 PC (SV20, SAMSUNG Electronics, Korea)에 저장되었으며, 데이터의 저장 및 분석 프로그램은 LabVIEW 6.1(National Instrument, USA)로 개발되었다.



〈그림 3〉 혈압측정 cuff 착용 장면

2.2.1 실험 대상

실험에 자원한 자원은 청소년 21명(연령 15.9±2.3세), 성인 21명(연령 25.9±5.6세)으로 총 42명의 동의를 얻어 휴대폰 전자파 노출에 의한 인체실험을 시행하였다.

2.2.2 실험 조건

- ① Double blind test : 피검자와 검사자 모두 휴대폰의 작동 상태를 알 수 없게 가상과 실제노출의 double blind test를 하여 실험의 bias를 최소화하였다.
- ② 실험 전 30분 동안 피검자는 편하게 앉아서 충분한 안정을 취한 후, 지면으로부터 상체를 15° 정도 일으켜 실험 침대에 편하게 누워서 실험을 시작하였다.
- ③ 휴대폰 통화 시 통화내용이 피검자의 정신 및 생리작용에 영향을 줄 수 있으므로 무통화로 실험하였다.
- ④ 무통화의 경우 휴대폰 출력이 급격히 떨어지므로, 실험에 사용된 휴대폰을 테스트 모드에서 출력이 300 mW가 되도록 고정하였다.

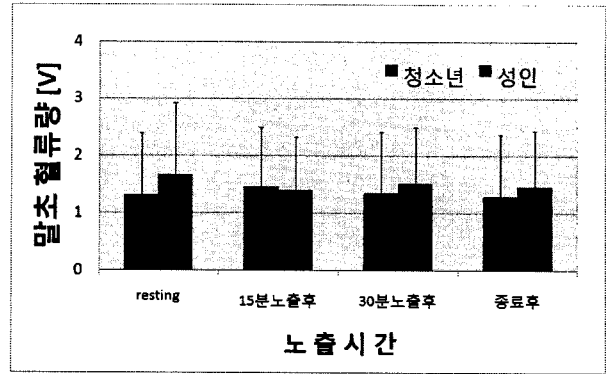
2.2.3 통계 분석 방법

측정결과는 CDMA 휴대폰 전자파 노출여부(노출 전과 후)와 연령, 두 개의 인자(factor)를 독립변수로 하였고 말초 혈류량, 심박수, 혈압을 각각 종속변수로 하여 One-way ANOVA와 Independent t-test 방법으로 통계 분석하였다. 통계 분석은 SPSS 10(SPSS Inc, USA)을 사용하였으며, 95% 신뢰수준인 $p = 0.05(p\text{-value})$ 의 유의수준으로 검증하였다.

3. 결 과

CDMA 휴대폰 전자파 노출여부에 따른 One-way ANOVA 검증의 사후 분석 결과, 성인 집단의 말초 혈류량($p=0.970$), 심박수($p=0.966$), 수축기 혈압($p=0.988$) 및 이완기 혈압($p=0.661$) 모두 휴대폰 전자파 노출에 의해 유의한 변화가 나타나지 않았다. 청소년 집단에서도 마찬가지로 말초 혈류량($p=0.855$), 심박수($p=0.641$), 수축기 혈압($p=0.994$) 및 이완기 혈압($p=0.712$) 모두 휴대폰 전자파 노출에 의해 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

연령에 따른 Independent t-test 검증 결과, 노출 전(resting), 15분 노출 후, 30분 노출 후, 노출 종료 10분 후 각각의 단계에서 말초 혈류량, 심박수, 수축기 혈압 및 이완기 혈압 모두 청소년과 성인 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 그림 5는 청소년과 성인 집단의 말초 혈류량 변화를 연령별 및 노출시간 단계별로 그린 그래프이다.



〈그림 5〉 청소년과 성인 집단의 말초 혈류량 변화

4. 결 론

청소년 집단과 성인 집단에서 모두 CDMA 휴대폰 전자파 노출에 의해 말초 혈류량, 심박수, 혈압의 변화는 나타나지 않았으며 노출 전과 후에 서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다.

이전 연구에서 Tahvanainen 등은 900 MHz와 1800 MHz GSM 휴대폰을 이용하여 성인을 대상으로 35분간 노출시켰을 때 혈압이나 심박수에 변화가 없다고 보고하였다[6]. 또한 Koivisto 등은 900 MHz GSM 휴대폰 노출에 대하여 사용자가 호소하는 자각증상이 실제 노출 여부와 관계가 없음을 밝혔다[3]. 본 연구에서도 이전의 연구 결과와 같은 결과를 보였으므로 근거를 뒷받침하였다. 기존의 GSM 휴대폰에 의한 인체 영향 연구에서는 실험방법과 조건에 따라 그 결과가 다양하다. 뿐만 아니라 기타 국외 연구 결과는 GSM 휴대폰 사용에 대한 연구이며 성인을 대상으로 한 결과였기 때문에 CDMA 휴대폰에 대한 본 연구 결과를 직접적으로 비교하기는 어렵다. 그러므로 GSM과 전송방식이 다른 CDMA 휴대폰 노출과 인체 영향에 대한 명확한 규명을 위해서는 향후 본 연구에서 실행한 방법보다 좀 더 장시간 노출 및 다양한 조건에 대하여 생리학적 변화를 비롯한 인지 및 기억, 두통 및 피로, 과민 반응, 호르몬 변화, 수면장애 등의 연구를 추가적으로 수행하여야 할 것이다. 본 연구를 통하여 국내외 전반적으로 연구이력이 없는 "CDMA 휴대폰 전자파와 인체의 심혈관계 영향"을 평가함으로써 최근 관심이 고조되고 있는 CDMA 휴대폰 전자파와 인체영향에 대한 객관적인 자원자 연구에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] G. Oftedal, J. Wilen, M. Sandstrom, K. H. Mild, "Symptoms experienced in connection with mobile phone use", *Occupational Medicine*, vol. 4, pp. 237-245, 2000
- [2] D. Maisch, "Children and mobile phone... is there a health risk? the case for extra precautions", *Journal of Australasian College of Nutritional & Environmental Medicine*, vol. 22, no. 2, pp. 3-8, August. 2003.
- [3] M. Koivisto, C. Haara, C. M. Krause, A. Revonsuo, M. Laine, H. H. mlinen, "GSM phone signal does not produce subjective symptoms", *Bioelectromagnetics*, vol. 22, no.2, pp.212-215, 2001.
- [4] M. Hietanen, A. M. Hämäläinen, T. Husman, "Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: No causal link", *Bioelectromagnetics*, vol. 23, no. 4, pp. 264-270, 2002
- [5] S. Braune, C. Wrocklage, J. Raczek, T. Gailus, C. H. Lcking, "Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field", *The Lancet*, vol. 351, no. 20, pp. 1857-1858, June. 19 98.
- [6] K. Tahvanainen, J. Nino, P. Halonen, T. Kuusela, T. Laitinen, E. Lantimies, J. Hartikainen, M. Hietanen, H. Lindholm, "Cellular phone use does not acutely affect blood pressure or heart rate of humans", *Bioelectromagnetics*, vol. 25, no. 2, pp. 73-83, 2004.
- [7] G. Freude, P. Ullsperger, S. Eggert, I. Ruppe, "Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials", *Bioelectromagnetics*, vol. 19, pp. 384-387, 1998
- [8] N. Edelstyn, A. Oldershaw, "The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention", *Neuroreport*, vol. 13, no. 1, pp. 119-121, 2001.
- [9] A. W. Preece, G. Iwi, A. Davies-Smith, K. Wesnes, S. Butler, E. Lim, A. Varey, "Effect of a 915 MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man", *Int J Radiat Biol*, vol. 75, no. 4, pp. 447-456, 1999.
- [10] World Health Organization, 2003 WHO research agenda for radio frequency fields, <http://www.who.int>
- [11] 대한전자공학회, "이동통신", 청문각, pp. 101-218, 1998.