

전자파 노출이 멜라토닌 분비량에 미치는 영향에 관한 조사 연구

김윤신 · 조용성 · 위승철* · 홍승철**

한양대학교 의과대학 환경 및 산업의학연구소

*한양대학병원 방사선면역과

**국립환경연구원 환경보건과

Assessment of Melatonin Levels in Human Volunteers Exposed to Electromagnetic Fields(EMFs)

Yoon Shin Kim, Yong-Sung Cho, Seung-Chol Wee* and Seung-Chol Hong**

Institute of Environmental and Industrial Medicine, College of Medicine, Hanyang University, Seoul

**Department of Radioimmune Assay, Hanyang University Hospital, Seoul*

***Department of Environmental Health, National Institute of Environmental Research(NIER), Seoul*

ABSTRACT

A pilot study was undertaken to examine the possible health effects of electromagnetic fields (EMFs). An experimental study was performed for two weeks of preexposure, exposure, post-exposure period of February-May 1997 to determine changes in melatonin levels in urine of five volunteers before or after exposure to electric mattress during their normal sleeping hours. An urine sample was collected at about 8 a.m. right after getting up from each volunteer. Average melatonin levels seemed to be 1.6 times lower during EMF exposure period for two weeks than the corresponding levels during preexposure period. Mean melatonin levels in postexposure period were lower than the corresponding levels in preexposure period. It suggested that melatonin levels were likely to take more two weeks for recovering the preexposure melatonin level. Further research is underway with regard to EMF exposure effects on melatonin levels between occupational and non-occupational groups.

Keywords : Melatonin, Volunteer, Electromagnetic fields(EMFs)

I. 서 론

최근 각종 전자기기의 급격한 사용 증가로 인하여 전자파 노출로 인한 인체영향에 관한 사회적 관심이 증대되고 있다.¹⁾ 전자파의 인체영향에 관한 연구는 1979년 어린이 백혈병 발생과 전자파노출과의 연관성에 관한 역학적연구 결과가 발표된 이후²⁾, 각종 암과의 관련성에 대한 논란이 끈임없이 계속되고 있다.^{3,4)} 따라서 다양한 역학적 연구외에 in vivo, in vitro 실험적연구 및 melatonin 호르몬과의 연관성에 관한 연구등이 최근의 국제적연구동향의 추세라고 본 연구의 일부는 1996년 과학재단 '96 핵심전문연구의 연구비지원으로 이루어졌음.

할 수 있다.^{5,6)} 특히 전자파와 멜라토닌(Melatonin) 호르몬의 영향에 관한 연구와 관련하여 전자파가 멜라토닌 분비량에 어떤 영향을 주는지에 대한 많은 연구가 진행중이다.^{7,8,9)}

멜라토닌은 수면중 어둠(darkness)과 반응하여 송과선(Pineal gland)에 의해 우리 몸에서 자연적으로 생산되는 호르몬이며, 건강상태를 나타내는 중요한 요소로 간주되고 있다. 멜라토닌의 주요 기능으로는 확실한 24시간 주기성(Circadian rhythm)을 가지는 호르몬이며, 면역작용(Immune function) 및 암세포 증식 억제작용(Oncostatic activity)의 기능을 가지는 호르몬으로 알려져있다.¹⁰⁾ 또한, 멜라토닌은 사춘기 시절을 중심으로 점차 감소하는 특징

을 가지고 있으며 약 70세까지 합성능력이 있는 것으로 보고되고 있다.¹⁰⁾ 그리고 하루 중 새벽 2시경이 가장 많이 분비되는 것으로 보고 되고 있고, 낮에는 분비량이 작고, 밤에는 분비량이 커서 낮밤의 차이를 갖는 호르몬으로 보고되고 있다.¹¹⁾ 뿐만 아니라 망막을 통해 어둠을 인식하는 신호가 송과선으로 보내짐으로서 생산되기 시작하여, 약 2500 Lux의 빛에 노출되면 멜라토닌 순환양이 즉각적으로 떨어지는 것으로 나타났으며, 에스트로젠(Estrogen)과 테스토스테론(Testosterone)과 같은 성호르몬과는 서로 상반되는 농도치를 나타내므로 유방암(Breast cancer)과 소아의 백혈병(Childhood leukemia) 등 암과의 관련성에 대한 연구가 수행되었다.^{12,13)}

국내에서 전자파에 관한 연구는 주로 EMI(Electromagnetic Interference)에 관한 연구가 대부분으로서¹⁴⁾ 전자파의 개인노출량평가나 인체영향에 관한 연구는 최근의 연구를 제외하면 전무한 실정이다.^{15,16)} 일반적으로 전자파의 건강보호기준을 설정하기 위해서는 전자파의 위해성평가(위험성 확인, 노출평가, 용량-반응 실험, 위해도 결정)를 통해서 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 전자파의 개인노출평가조사에 계속하여 전자파노출에 따라 생리학적 반응의 실험적연구를 수행하고자 한다. 즉 60 Hz 전자파를 인위적으로 노출시켜 전자파가 사람의 송과선에서 분비되는 멜라토닌 호르몬량에 어떠한 변화를 나타내는지를 파악하여 현재 관심의 대상이 되고 있는 전자파 인체영향연구의 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

II. 연구대상 및 실험방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 실험내용을 충분히 이해하고 신체적, 정신적으로 건강한 5명의 대학원생 지원자로서 나이는 24~26세(평균 24.9 ± 0.71 세)의 남자로서 선정하였다. 남자를 선정한 이유는 여자의 월경시기(menstrual period)가 멜라토닌 주기성에 영향을 초래한다고 보고되었고, 자기장(magnetic field)에 대해서는 여성보다 남성이 더 민감하다고 나타나 남자만을 연구대상자로 선정하였다. 연구대상자들의 평균 신장은 177.6 ± 5.01 cm이고, 평균 몸무게는 68.4 ± 8.3 kg이며, 평균신체지수(BMI-Body Mass Index)는 21.64 ± 1.70 으로 나타났다. 멜라토닌의 농도분석을 위하여 실험대상자의 뇨를 채취하였으며

노 채취기간은 1997년 3월 말부터 5월 말 기간중 총 6주에 걸쳐 실시하였다.

2. 실험 방법

본 연구는 지원자에 대한 전자파의 노출실험을 위하여 국내에 일반인이 사용하는 H사 전기장판을 사용하였다. 전기장판에 의한 전자파에 노출전 시기(pre-exposure period)와 노출시기(exposure period) 그리고 노출후 시기(post-exposure period)로 크게 구분하였고, 각 2주간씩 총 6주간에 걸쳐 매일 취침 전에 방노한 후 취침하여, 기상 후에 뇨를 받았다. 본 연구에서 소변 중 멜라토닌 분비량은 BÜ HLMANN LABORATORIES AG(Switzerland)에서 생산된 RIA test kits를 사용하여 측정하였다. 이 RIA kit는 Kennaway G280 항 멜라토닌 항체에 의해 두 개의 항체(Primary antibody와 Secondary antibody)로써 멜라토닌을 측정한다. RIA의 분석과정은 최초 전 처리과정으로서 Column의 준비(Preparation)와 조절(Conditioning)과정으로 methanol과 3차 증류수를 각 1 ml씩 2회 투여하고, 세척(Washing)과정은 10% methanol 1 ml를 2회 투여하고, hexane 1 ml를 1회 투여한다. 그리고 5배 희석한 뇨 샘플을 투여한 후 methanol 1 ml를 투여하여 최종적으로 추출하였다. 전 처리과정 후에 뇨 샘플은 Primary antibody 100 μ l 및 I-125 100 μ l 등과 함께 20 ± 4 hr동안 반응시킨 후 Secondary antibody 100 μ l를 투여하여 최종적으로 Gamma-counter에 의해 측정되었다. 분석과정에서 사용된 Primary antibody와 Secondary antibody는 한 vial에 11 ml의 anti-melatonin 항체가 포함되어 있고, 냉장상태로 보관되었다.

연구대상자는 뇨를 채취하는 동안에 채취된 뇨의 전체량과 취침시간과 기상시간을 기록할 수 있는 측정일지를 기록하였다. 전자파의 노출수단으로는 60 Hz 주파수영역의 전기장판을 사용하였고, 전기장판에 대한 전자파 측정은 EMDEX II(ENERTEK, Model II)를¹⁷⁾ 이용하여 전기장판과 거리를 두지 않고 측정하였다(Table 1). 또한 멜라토닌이 stress와 관련이 있다고 시사되어¹⁸⁾ 전기장판의 열에 의한 연구대상자의 stress를 감안하여 열선을 배제시킨 개조된 전기장판을 사용하였고, 취침시 빛을 차단하여 빛에 대한 멜라토닌의 영향을 최소화하였다. 매주 토/일요일을 제외한 1주일 5일간 매일 기상즉시 8시경에 뇨채취를 수행하였다. 따라서 1명당 뇨샘플수

는 총 30일 분으로 계산된다.

분석된 결과는 SPSS 통계분석패키지를 이용하여 전자파에 노출되기전의 멜라토닌 분비량과 노출되었을 때의 멜라토닌 분비량을 비교 분석하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 대상자의 실험조건

각 연구대상자의 실험조건상태는 Table 1과 같다. 신장과 체중에 의해 산출되는 신체지수(BMI)의 정상치가 20-24이므로 모든 연구대상자가 정상적인 신체조건을 나타내었다. 또한 연구대상자들의 평균

취침시간은 약 1시 27분으로 나타났고, 평균 기상시간은 오전 8시 21분으로 나타나 실제 채취된 뇨의 분비시간은 약 7시간으로 나타났다.

2. 전자파 노출량

전자파의 인위적노출을 위하여 사용한 전기장판을 수면시간(새벽 1시-오전 8시)중 EMDEX II를 사용하여 10초 간격으로 측정된 결과는 Table 2와 같다. Table에 나타난 바와 같이 허리부분의 경우 평균 16.24 μ T로 가장 높게 나타났고, 발꿈치부분은 12.18 μ T, 머리부분은 6.91 μ T의 순서로 나타났다. 이 같은 수치는 일반적으로 스웨덴 권고치인 0.2

Table 1. Experimental condition of each subject by type of two week-exposure period.

Subject	Age & *BMI	Experiment conditions				
		Daily sleeping pattern	Pre-Exposure	Exposure	Post-Exposure	Total
A	Age : 24.7 BMI : 21.10	Bed-in time(mean \pm S.D.)	01 hr : 21 min \pm 39 min	01:32 \pm 1:39	00:48 \pm 26	01:21 \pm 04
		Wake-up time(mean \pm S.D.)	08 hr : 30 min \pm 40 min	08:25 \pm 48	07:36 \pm 51	08:16 \pm 48
		Photoperiod(hr : min)	12 hr : 48 min \pm 09 min	13:19 \pm 09	13:49 \pm 07	13:18 \pm 26
A	Age : 23.8 BMI : 23.36	Bed-in time(mean \pm S.D.)	01 hr : 28 min \pm 29 min	01:48 \pm 46	01:56 \pm 59	01:42 \pm 45
		Wake-up time(mean \pm S.D.)	08 hr : 23 min \pm 1:10 min	08:05 \pm 07	08:31 \pm 21	08:22 \pm 46
		Photoperiod(hr : min)	12 hr : 48 min \pm 09 min	13:19 \pm 09	13:49 \pm 07	13:18 \pm 26
C	Age : 25.4 BMI : 23.89	Bed-in time(mean \pm S.D.)	01 hr : 26 min \pm 19 min	02:00 \pm 36	01:50 \pm 30	01:42 \pm 30
		Wake-up time(mean \pm S.D.)	08 hr : 16 min \pm 19 min	09:03 \pm 19	09:15 \pm 45	08:46 \pm 39
		Photoperiod(hr : min)	12 hr : 48 min \pm 09 min	13:19 \pm 09	13:49 \pm 07	13:18 \pm 26
D	Age : 25.7 BMI : 19.84	Bed-in time(mean \pm S.D.)	01 hr : 12 min \pm 13 min	01:29 \pm 1:14	00:18 \pm 56	01:19 \pm 53
		Wake-up time(mean \pm S.D.)	08 hr : 04 min \pm 38 min	08:15 \pm 1:06	08:12 \pm 19	08:09 \pm 43
		Photoperiod(hr : min)	12 hr : 48 min \pm 09 min	13:19 \pm 09	13:49 \pm 07	13:18 \pm 26
E	Age : 25.4 BMI : 20.02	Bed-in time(mean \pm S.D.)	01 hr : 27 min \pm 47 min	00:54 \pm 30	01:20 \pm 2:30	01:13 \pm 57
		Wake-up time(mean \pm S.D.)	08 hr : 30 min \pm 50 min	08:09 \pm 20	08:30 \pm 50	08:18 \pm 36
		Photoperiod(hr : min)	12 hr : 48 min \pm 09 min	13:19 \pm 09	13:49 \pm 07	13:18 \pm 26

*BMI is body mass index [weight(kg)/stature(m²)]

Table 2. Mean 60 Hz EMF measurement generated on the surface of electric mattress during exposure period of two weeks. (Unit : μ T)

Parameter	*Head	Waist	Heel
Mean	6.91 \pm 0.58**	16.24 \pm 0.63	12.18 \pm 0.48
Geom.mean	6.88 \pm 1.11***	16.15 \pm 1.26	12.17 \pm 1.04
Max.	10.63	17.76	16.16
Median	6.63	16.49	11.99
75th percentile	7.11	16.49	12.63
95th percentile	8.27	16.79	12.95

*The head site of remodeled electric blanket; **Standard deviation of the mean; ***Geometric standard deviation of the mean.

μT보다 34~80배 높은 수치로 특히 수면시에 허리 부분이 가장 많이 노출되기 쉽고 전기장관의 위치별로 전자파의 노출량이 다르게 나타남을 알 수 있다. 또한 이 같은 전기장관의 전자파노출량은 일반전기용품인 헤어드라이, 컴퓨터, TV 등 보다 몇 배 높게 나타나¹⁵⁾ 겨울철 전기장관의 사용시는 전자파 차단 장치의 부착등의 개선책이 필요하다.

3. 노중 멜라토닌 농도

Table 3은 각 연구대상자별로 폭로시기별 노중 멜라토닌의 평균농도를 나타낸 것이다.

멜라토닌 농도계산은 뇨 1 ml/중의 멜라토닌량 (pg)에 시간당 뇨의 분비량 (ml)을 나타낸 것이다. Table 3에서 보는 바와 같이 연구대상자 C의 경우는 전자파에 노출되기전의 멜라토닌 분비량에 비해 노출중의 멜라토닌 분비량이 약 5.5배 감소되었고, B의 경우는 약 2.7배 감소되었으며, A의 경우는 약 1.8배 감소되었고, E의 경우는 약 1.2배 감소됨이 나타났다. 반면 D)의 경우는 예외적으로 증가하였는데 원인으로서는 전자파에 노출된 후의 생리적 반응이 다른 연구대상자보다 민감도가 낮은 것으로 사료되어진다. 또한 전자파 노출을 중지시킨 후 어느정도의 기간이 지난 후에 노출전(Pre-exposure)과 같은 멜라토닌 분비량을 나타내는지를 알아보기위한 노출후기간(Post-exposure Period)의 멜라토닌 농도는 노출전의 멜라토닌 농도 수준에 못 미치고 있어 노출전으로 회복되는 데는 연구대상자 모두 2주 이상의 시간이 소요됨을 시사한다.

Fig. 1은 각 연구대상자별로 2주간의 폭로형태에 따른 멜라토닌 분비량을 그림으로 나타낸 것으로 5명 중 4명이 전자파 노출로 인해 멜라토닌 분비량이 현저히 감소됨을 나타내고 있다. 5명의 연구대상자들에 대해 나타난 전자파 노출전과 노출중의 평균 멜라토닌 분비량을 비교 분석한 결과 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(P<0.01).

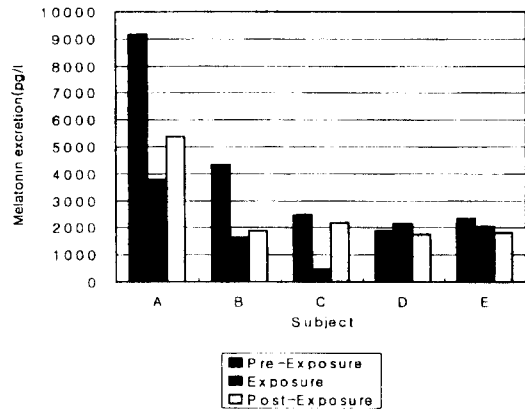


Fig. 1. Mean melatonin levels in five subjects by type of two week-exposure period.

본 실험결과는 국내에서 처음으로 노중 멜라토닌 농도를 추출분석한 것으로 인위적인 전자파노출 기간중에는 정상시에 비하여 멜라토닌 분비량이 감소됨을 나타내, 멜라토닌의 암 세포 증식 억제기능을 고려하면¹⁶⁾ 전자파노출로 인한 암 세포 증식 억제기능이 저하될 수 있음을 시사하는 중요한 기초자료라고 설명될 수 있다. 다만 본 연구는 실험 연구의 특성상 소수의 남성 지원자에 국한하였고 기상 직후의 노중 멜라토닌의 분비량만을 분석한 것이 연구의 미비점이라고 지적할 수 있다.

또한 멜라토닌이 밤에 가장 많이 분비됨을 감안하여 수면시간의 뇨만을 조사하였으나, 낮 동안의 분비량 조사 자료가 없어 최고도달시간(Peak time) 및 최고도달농도(Peak height)를 판정할 수 없어 차후에 시간대별 뇨 채취를 통한 멜라토닌 분비량의 시간변화를 분석해야 한다. 또한 여성대상자를 선정하여 남성과의 비교연구 및 직업군과 비직업군에서의 전자파 노출 평가와 멜라토닌 분비량 분석을 수행하면 전자파의 생리학적 변화에 따른 인체 영향을 보다 정확히 규명할 것으로 기대된다.

Table 3. Mean melatonin level(pg/hr)* of each subject by type of two week-exposure period.

Subject(pg/hr)*	Pre-exposure	Exposure	Post-exposure	Pre-expo. : Exposure : Post-expo.
A	6815.7377	3781.8534	5383.2472	1:0.5555:0.7898
B	4328.7190	1630.7929	1874.9953	1:0.3767:0.4331
C	2467.3974	458.2979	2190.6423	1:0.1857:0.8878
D	1869.9430	2135.6689	1761.2157	1:1.1421:0.9418
E	2361.4320	2057.8268	1820.2696	1:0.8714:0.7708

*pg/hr : melatonin concentration(pg/ml) × dilution times × urine volume per sampling times(ml/hr)

IV. 결 론

본 연구조사는 전자파의 인체 영향을 파악하고자 전자파 노출에 따른 멜라토닌 분비량의 변화를 분석하였다. 연구기간은 1997년 2월 중순부터 5월 말까지 6주동안 대학원생 지원자 5명을 대상으로 노중 멜라토닌 호르몬 분비량을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 연구대상자 5명을 대상으로 실시한 전자파 노출로 인한 멜라토닌 분비량을 조사한 결과 노출전 멜라토닌 분비량에 비해 노출중 멜라토닌 분비량이 전체 대상자에서 평균 약 1.6배 감소하였으며, 전자파 노출전에 비해 노출기간 중의 멜라토닌 분비량의 차이는 통계적으로 유의하게 나타났다($P < 0.05$). 이것은 전자파가 인체내 멜라토닌 호르몬 분비량 변화에 영향을 줄 수 있음을 시사한다.

2. 전체 연구대상자들에 대한 전자파 노출을 중단한 후 2주간의 멜라토닌 분비량을 분석한 결과 노출전 멜라토닌 분비량에 비해 약 1.3배 감소하여 전자파 노출로 인한 멜라토닌 호르몬은 최소 2주 이상의 회복 시간이 소요될 것으로 시사되었고 노출기간 중과 노출중단 후의 멜라토닌 분비량의 차이는 통계적으로 유의하게 나타났다($P < 0.05$).

3. 연구대상자 D의 경우 전자파 노출전에 비해 노출중의 멜라토닌 분비량이 약간 증가한 것으로 나타났는데, 이는 전자파에 대한 개인의 민감도와 생리학적인 특이성 및 대상자 주위의 환경요인에 의해 영향을 받은 것으로 시사된다.

이상의 연구결과는 국내에서 처음으로 수행된 전자파의 멜라토닌 영향에 관한 연구로서 전자파의 인체영향연구에 기초적자료를 제공함과 동시에 보다 광범위한 계속적인 인체영향연구가 필요함을 제시하고 있다.

감사의 말

본 연구에 참여해주신 실험지원 대상자들과 방사면역학실 담당자에게 진심으로 감사드리는 바이다.

참고문헌

- 1) 김 윤신 외 4인 : 극저주파 영역에서의 전자파 노출에 관한 조사 연구. 한국대기보전학회, 춘계학술대회발표, 1996.
- 2) Savitz D.A. : Leukemia and occupational exposure to electromagnetic fields. Review and epidemiologic surveys. J. Occup. Med., 29:47-51, 1987.
- 3) Stevens R.G. *et al.* : Electric power, pineal function, and the risk of breast cancer. FASEB J, 6: 853-869, 1992.
- 4) Wilson B.W. *et al.* : Neuroendocrine-mediated effects of electromagnetic field exposure : Possible role of the pineal gland. Life Science, 45:1319-1332, 1989.
- 5) Panke E.S. *et al.* : Pineal melatonin concentrations in the Syrian hamster. Endocrinology, 104: 194-197, 1979.
- 6) Wilson B.W. *et al.* : Neuroendocrine mediated effects of electromagnetic field exposure: possible role of the pineal gland. Life Sci., 45:1319-1332, 1989.
- 7) Graham C. Cook MR. Riffle DW. *et al.* : Nocturnal melatonin levels in human volunteers exposed to intermittent 60Hz magnetic fields. Bioelectromagnetic, 17:263-273, 1996.
- 8) Yellon S.M. : Acute 60Hz magnetic field exposure effects on the melatonin rhythm in the pineal gland and circulation of the adult Djungarain hamster. J Pineal Res, 16:136-144, 1994.
- 9) Hong Seung Cheol : Effects of repeated nighttime exposures to 50Hz electromagnetic fields on the melatonin production and circadian rhythm. Department of Human Ecology School of Interantional Health Faculty of Medicine, The University of Tokyo, 1997.
- 10) Wurtman R.J. *et al.* : Melatonin synthesis in rat's pineal gland. Control by light. Science, 142:1071-1073, 1963.
- 11) Lewy A.J. *et al.* : Light suppresses melatonin secretion in humans. Science, 210(4475):1267-9, 1980.
- 12) Wilson B.W. *et al.* : Evidence for an effect of ELF electromagnetic fields on human pineal gland function. J Pineal RES, 9:259-269, 1990.
- 13) Stevens R.G. : Electric power use and breast cancer: A hypothesis. Am J Epidemiol, 125:556-561, 1987.
- 14) 김 덕원 외 2인 : 각종 전자파에 의한 인체의 노출, 역학조사를 위한 전자파 측정. 대한 의용생체공학회지, 16(2), 1995.
- 15) 김 윤신 외 3인 : 극저주파 영역에서의 전자파 노출에 관한 조사 연구. 한국환경위생학회, 23(1), 55-61, 1997.
- 16) Yoon Shin Kim *et al.* : Measurements of Personal Exposure to EMF in Korean Population. Second World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine. F-4.1515, 1997.
- 17) Energetch Consultants, Inc : EPRI Electric and magnetic field digital exposure system EMCALC

user manual ver. 2.2

- 18) Troiani M.E.S. *et al.* : Depression in rat pineal NAT activity and melatonin content produced by hind leg saline injection is time and darkness dependent. J. Pineal Research. 4:185-195, 1987.
- 19) Blask D. E. *et al.* : The emerging role of the pineal gland and melatonin in oncogenesis. Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields. Battelle Press : 319-325, 1990.