대한임상신경생리학회지 5(1):16~20, 2003 ISSN 1229-6414

휴대전화 사용 후 뇌 온도의 변화

인하대학교 의과대학 신경과학교실

구은정 · 이일근 · 공혜원

The Brain Temperature Change after the Use of Mobile Phone

Eun-Jung Koo, M.D., Il-Keun Lee, M.D., Hea-Won Kong, M.D.

Department of Neurology, College of Medicine, Inha University

Background: Mobile phone has become a very popular device used in everyday our lives. However, the possible hazard to human body such as brain tumor has been proposed intermittently. This unwanted possibility was calmed down due to the absence of definite evidence of hazard. This study was performed to see the effect of mobile phone use on the brain temperature.

Methods: In 20 volunteers, we performed 4 steps of temperature measuring procedure. Four steps are pre-use (S1, basal state), wire-phone (S2, conventional telephone), PCS phone (S3, using 1,750~1,900 MHz), cellular phone (S4, using 820 MHz) states. Brain temperatures were measured by radiothermometer at 10 sites (5 sites in each hemisphere)of the brain after 5minutes of telecommunication through the phones. The final data were compared using paired t-test.

Results: In PCS phone user group (Average; 35.73708℃), brain temperature decreased (with statistical significance, $p<0.05$), compared to those of non-user group (Average; 35.9527℃) or conventional wire phone user group. In cellular phone user group (Average; 35.82155℃), brain temperature decreased slightly (without statistical significance, $p>0.05$) compared to those of non-user group (Average; 35.9527℃) or conventional wire phone user group (Average; 35.922 ℃). The temperature change was not limited to the mobile phone applied side but on both hemisphere of the brain.

Conclusion: In conclusion, mobile phone (especially PCS phone) decreased brain temperature in both hemispheres without side-to-side temperature difference. In addition, this study suggests possibility of radiothermometer application to the study of electromagnetic wave effect and protection method research in the future.

Key Words: Mobile phone, Brain temperature, Radiothermometer

서 론

최근에 전자파의 생물학적 효과 및 인체에 미치는 영향에 대한 관심이 고조되고 있다. 전자파는 광범위한 주파수 영역을 갖는 일종의 전자기 에너지로 파장의 크기에 따라 가정 파, 초장 파, 장파, 중파, 단파, 초단파, 극초단파, 초극초단파, 밀리미터파, 서브밀리 파, 광파, X선과 γ선, 우주선으로 구분되고 있다. 전자파는 전기를 사용하는 모든 기구에서 발생된다. 우리는 일상 생활에서 흔히 접하는 텔레비전, 냉장고, 전기 스토브, 전기담요 및 휴대폰 등 많은 전자기파의 발생원에 노출되는 실정이다. 그 중 휴대폰은 국내에만 3000만 대 이상 사용되고 있다.

휴대폰 등 전자파를 발생시키고자 하는 경우, 안테나를 사용하여 전자파를 발생시킨다. 안테나의 원리는 두개의 도체 양단에 교류전압을 걸어주면 전기장이 발생하고 도체를 통해 흐르는 교류전류에 의해 자기장이 발생하여 전자파의 형태가 된다. 또한 안테나는 전자파를 원하는 방향으로 집속 될 수 있게 주파수에 따라 다양한 형태로 만들어 진다.

1960년대에 소련에서 처음 신경쇠약, 심혈관계 및 위장관계 기능장해와 혈구세포의 일시적인 구성변화에 관한 전자파의 인체에 대한 효과 보고 후 1970년대부터 1990년대까지 백혈병, 뇌종양, 내분비계 및 생식기능 이상 등 다양한 연구 결과 보고가 계속되고 있다.[1-6] 그러나 전자파

Address for correspondence
Il-Keun Lee, M.D.
Department of Neurology, College of Medicine, Inha university
7-206, Shinheun-dong 3-ga, Jung-gu, Incheon 400-103, Korea
Tel: +82-32-890-3418, Fax: +82-32-890-3864
E-mail: neurolee@inha.ac.kr

Copyright 2003 by the Korean Society for Clinical Neurophysiology

폭로의 한계를 결정하기 위한 여러 연구는 인체에 대한 확실한 유해 증거가 미흡한 단계이다. 그 제한요인의 한 가지로는 전자파 폭로 직후의 인체의 생리적, 병리적 변화를 정확하게 측정할 방법의 부재가 있겠다. 전자기파에 폭로된 후 바로 발생하는 생리적 지표 변화 여부를 확인하기 위해 본 연구에서는 심부 체온을 측정할 수 있도록 고안된 Radiothermometer (RT-17)을 이용하여 휴대폰 사용후의 심부 뇌 온도의 변화를 측정하였다.

체온은 인체의 대사, 염증과 감염의 상태를 반영하는 중요한 생리 인자 중 하나이다. 인체의 체온을 측정하기 위해서는 다양한 방법들이 있다. 현재 병원에서는 인체의 대표적인 체온으로서 구강, 액와, 고막 및 직장 부위에서 체온을 측정하고 있다. 국소 체온을 측정하기 위한 다른 방법으로 현재 thermographe를 사용하고 있지만, 이 방법은 심부 체온의 반영이 아니라 표면 피부 온도를 나타내는 제한 점이 있다.

Radiothermometer는 cm 범위 파장의 주파수를 분석하여 인체 심부 온도를 측정하는 새로운 기계이다. 본 연구는 Radiothermometer를 이용하여 휴대폰 사용 전후의 심부 뇌 온도의 차이를 측정 하여 전자파 폭로 후의 뇌 온도의 변화를 알아보고자 하였다.

Figure 1. Radiothermometer (RT-17) frontal view

Figure 2. Electromagnetic wave shielding set

대상과 방법

본 연구는 20명의 자원자를 대상으로 시행되었다. 자원자는 6명의 여자와 14명의 남자로 연령은 23세부터 32세까지 포함되었다.(평균연령;25.85세, 표준편차;2.6611) 심부 뇌 온도는 전화기 사용 전, 일반전화기 사용 후, 휴대 전화 중 두 가지 주파수 대역인 PCS phone (1.750~1.900 MHz)과 cellular phone (820 MHz) 각각 사용 후에 Radiothermometer(RT-17)뇌 온도를 측정하였다.

Radiomethermometer(RT-17)러시아의 KVARZ Nyzhny Novgorod Scientific Equipment Construction Institude에서 개발한 의료용 체열 측정 장치 이다(Fig. 1). 체열 측정은 안테나를 측정하고자 하는 신체부위의 피부에 대고 열에 의해 발생하는 평균 17 센티미터(cm) 파장의 1.5~2 GHz극초단파를 수용 후 기계내부의 온도(29℃)와 비교하는 방법을 이용한다. 3 cm^2 단위체표면적에서 근육조직의 경우 4~6 cm 깊이, 지방조직의 경우 7~8 cm 깊이에서 발생하는 극초단파의 정보를 얻을 수 있으며, 온도의 단위는 0.01℃까지 나타낸다. 외부의 전자기파를 제거하기 위해 차폐장치를 필요로 하며, 측정시간은 1, 2, 4, 8, 16, 32 각 측정횟수에 따라 2.8±1, 5±1, 9±2, 18±2, 36±4, 72±8초가 소요된다 (Fig. 2).

심부 뇌 온도 측정 시엔 각 위치의 두피에 수직으로 Radiothermometer를 대고 측정하였다. 측정부위는 modified (expanded 10~20) combinatorial system에서 사용하는 뇌파 전극 위치 중에서 좌,우 반구 5개의 위치를 선택하여 FP1, FP2, T9, T10, C3, C4, P7, P8, O1, O2를 사용하였다(Fig. 3).

검사는 뇌파실에서 시행하였으며, 검사실의 온도는 중앙 온도 조절 시스템내에 있어 항상 24.5±1℃로 조절되었다.

측정방법은 피검자가 평소 통화하는 방향으로, 휴대폰 기기 자체에서 발생하는 열의 효과를 최소화하기 위해,

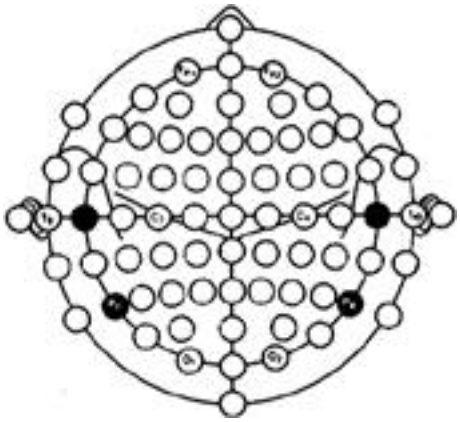

Figure 3. 10 electrodes position of modified combinatorial 10~20 electrodes naming system

Table 1. Standard error of mean of brain temperature(℃) of 7 volunteers measured by radiothermometer

	Sex	Age	FP1	FP2	T9	T10	C3	C4	P7	P8	O1	O2
Volunteer1	M	28	0.28	0.08	0.02	0.01	0.18	0.18	0.09	0.03	0.03	0.1
Volunteer2	M	24	0.03	0.02	0.1	0.12	0.08	0.06	0.06	0.03	0.15	0.05
Volunteer3	M	24	0.15	0.32	0.05	0.02	0.16	0.16	0.09	0.07	0.07	0.07
Volunteer4	M	24	0.04	0.27	0.01	0.01	0.03	0.18	0.1	0.02	0.02	0.02
Volunteer5	M	24	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.07	0.03	0.01	0.02	0.02
Volunteer6	M	24	0.17	0.13	0.11	0.17	0.14	0.04	0.16	0.02	0.04	0.03
Volunteer7	M	24	0.13	0.08	0.07	0.1	0.15	0.09	0.14	0.17	0.07	0.06

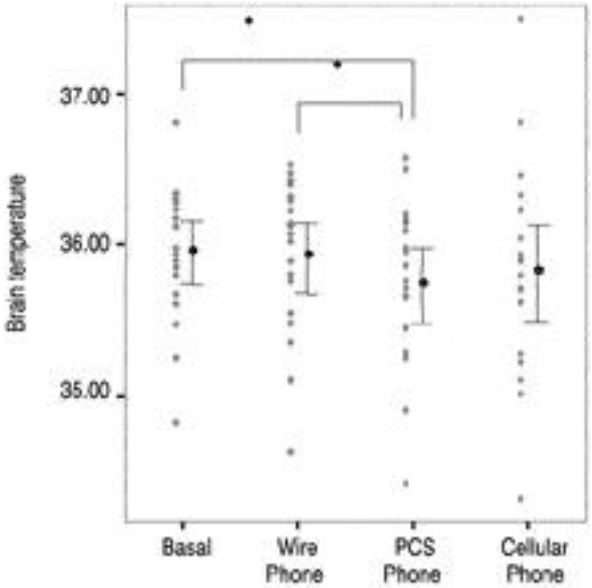

Figure 4. Brain temperatures of non-user (basal), wire-phone user, PCS phone user, cellular phone user group (℃). (*; p<0.05) Error bars show 95.0% confidence interval (CI) of mean.

귀에서 5센티미터 간격을 두고 5분간 통화한 후 바로 같은 방향의 FP(1 or 2), T(9 or 10)측정 후 반대방향을 측정하였고, 다시 같은 방향의 C(3 or 4), P(7 or 8), O(1 or 2)순으로 측정 후 반대방향을 측정하였다. 통화하기 전에도 같은 방법으로 측정하였다. 각 위치에서 2번씩 측정하여 평균값을 심부 뇌 온도 값으로 하였다.

Radiothermometer의 뇌 온도 측정 신뢰성은 7명의 자원자(평균연령;24.7세, 표준편차;1.496)를 대상으로 Radiothermometer 온도 측정치를 본 실험에 이용한 뇌파전극위치와 같은 위치에서 4번 평균값을 각각 5차례씩 반복하여 자체 분석한 7명의 측정치에서 섭씨 0.1~0.3도의 오차를 보였다(Table 1).

얻어진 심부 뇌 온도 값의 전자파 폭로 후의 변화는 paired t-test로 검정하였다.

결 과

각 심부 뇌 온도 값은 사용측과 비사용측, 각 뇌파전극 위치별로 각각 비교하였으나 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 사용측과 비사용측 반구를 전체 반구 평균으로 비교하였으나 역시 유의한 차이는 보이지 않았다. 각 전화 사용 후 양측반구 전체의 심부 뇌 온도 평균값을 구한 뒤 전화 사용 전, 일반전화 사용 후, PCS phone (1,750~1,900MHz) 사용 후와 cellular phone (820MHz) 사용 후를 각각 비교하였다(Table 2).

양측반구 심부 뇌 온도 평균값은 전화사용 전(35.9527℃), 일반 전화사용 후(35.9222℃), cellular phone사용 후(35.82155℃), PCS phone사용 후(35.73708℃) 순으로 심부 온도 감소 소견을 보였다. 전화 사용 전과 비교하여 일반전화 사용 후와 cellular phone 사용 후는 심부 뇌 온도 평균값은 약간 감소하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 전화 사용 전, 일반전화 사용 후와 비교하여 PCS phone사용 후 심부 뇌 온도 평균값은 통계적으로 유의한 감소($p<0.05$)를 보였다(Fig. 4).

고 찰

1960년대부터 최근까지의 연구들은 주로 전자파의 열작용에 의해 체온 상승을 유발하여 전자파가 신체에 유해하다는 보고가 주를 이루었다.[7-12] 그러나 본 연구와 같이 인체에서 전자파 폭로 직후 심부 뇌 온도를 직접 측정한 연구는 없었으며, 이는 Radiothermometer와 같은 측정 방법의 부재가 중요한 하나의 원인이 되었을 것이다.

항온 동물은 열 생산과 열 손실을 일정하게 조절하여 일정한 체온을 유지한다. 열은 기본적인 대사과정, 음식 섭취(특이동적 작용) 와 근육 활동을 통해 생성되며 복사와 전도, 땀의 증발, 호흡, 소변과 대변을 통해 손실된다. 체온 조절 기전은 자율신경, 체성 신경, 내분비 및 행동의 변화와 같은 전신적 반사반응과 피부 혈관 수축 또는 확장과 같은 국소적 반응으로 이루어진다. 중추 신경계에서는 시상하부에서 추위에 의해 활성화되는 세로토닌과 더위에 의해 활성화되는 노르에피네프린의 기전에 대한 연구 결과가 보고되었다.[13-14] 본 연구에서 PCS phone사용 후 심부 뇌 온도 평균값의 감소는 전자파가 심부 뇌에 있는 중추 신경계의 체온 조절에 영향을 주어서 나타난 현상으로 추정된다.

뇌 온도가 여러 가지 수행작업 뒤에 증가하는 실험등에 의하면 신경세포의 대사과정은 뇌 온도의 변화에 중요한 기여인자가 된다. 신경세포의 활성시의 대사과정은 한

Tabel 2. Brain temperatures(℃) of non-user(basal), wire-phone user, PCS phone user, cellular phone user group

Name	Sex	Age	Axilla BT (℃)	Basal	Wire Phone	PCS phone	Cellular phone
CASE 1	F	23	36.5	36.26	36.01	35.70	36.31
CASE 2	M	24	36.5	35.46	35.10	35.24	35.26
CASE 3	M	27	35.8	36.27	36.41	36.15	36.22
CASE 4	F	27	35.9	35.96	36.20	36.07	35.92
CASE 5	M	31	36.5	35.93	36.27	35.64	35.88
CASE 6	F	24	36.3	36.79	36.52	36.48	36.78
CASE 7	M	32	36.3	36.16	36.05	36.19	35.88
CASE 8	M	24	36	35.87	36.29	36.12	37.46
CASE 9	M	24	36.8	36.29	36.12	35.94	35.69
CASE 10	M	26	36.4	36.10	35.75	35.85	35.70
CASE 11	M	24	36.7	36.26	36.46	36.56	36.44
CASE 12	M	25	36.6	35.67	35.80	35.75	35.78
CASE 13	M	24	36.5	35.79	35.34	34.89	35.00
CASE 14	F	24	36	36.21	36.39	36.14	36.20
CASE 15	F	30	35.9	35.25	35.54	35.66	35.62
CASE 16	F	28	36.5	35.60	35.48	35.28	35.22
CASE 17	M	26	36.6	36.32	36.11	35.95	36.03
CASE 18	M	27	36.4	34.81	34.63	34.42	34.32
CSSE 19	M	24	36.5	35.84	35.88	35.28	35.10
CASE 20	F	23	36.8	36.22	36.10	35.44	35.61
Average		25.9		35.95	35.92	35.74*	35.82
SD		2.66		0.44	0.49	0.53	0.68

bit의 정보전달을 위한 화학연접 시(chemical synapse)에 10^4 ATP, 한 활동전위(action potential)생성시에 10^6-10^7 ATP의 에너지를 사용한다. 이 에너지는 거의 대부분 열로 전환되기 때문에, 신경세포의 활성은 뇌 온도 생성을 구성하는 중요 인자가 된다.[15] 이런 연구 결과와 연관 지어 보면 전자파 폭로 후의 심부 뇌 온도 값의 저하는 신경세포의 활성 및 대사과정의 저하를 시사한다.

체온 감소에 영향을 주는 다른 인자로는 아교세포(glial cell) 대사과정, 혈관 변화[15], 신경전달물질[16-18]-catecholamine, nitric oxide, opioid,호르몬의 변화(hormone)-melatonin[19]등이 있다. Persinger등은 acetazolamide에 의해 유발된 저 체온에 대한 연구에서 adrenergic(catecholamine)receptor의 활성의 저하로 인한 gluconeogenesis의 감소를 그 중요한 원인이라 하였다.[15] Benamar등은 μ-opioid는 체온 상승을 κ-opioid는 체온 저하를 유발한다는 보고를 근거로 κ-opioid를 투여해도 nitric oxide synthase inhibitor를 병용 시에는 저 체온이 발생하지 않기 때문에 nitric oxide가 체온 저하에 관여한다고 하였다.[17-18] Lin등은 melatonin으로 저 체온을 유발하는 연구에서 melatonin의 증가가 중추신경계의 시상하부에 작용하여 serotonin 분비량을 저하시켜 체온 감소를 유발한다고 하였다.[19] 본 연구에서 심부 뇌 온도의 감소도 neurotransmitter, hormone과 그 receptor에 mobile phone의 전자파가 영향을 주어 나타난 현상으로 추정된다.

휴대전화에 의한 뇌 온도 저하가 뇌에 미치는 영향에 대한 의문이 당연히 제기될 것이다. 본 연구에서 주안점은 휴대전화 사용 당시, 혹은 수분 내에 일어나는 즉각적인 생리지표의 변화였기 때문에 중장기적인 뇌 변화에 대해서는 제시할 만한 자료가 충분치 않고 다른 연구도 충분히 되어 있지 않다. 이에 대해서는 점차로 증가하고 있는 전자기파 폭로환경을 고려할 때, 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 사용한 Radiothoermometer는 현재 러시아의 임상에서 여러 가지 질환의 진단에 사용되고 있다. 첫째 예로, 선천성 고 관절 형성이상을 조기진단하기 위해 3개월부터 1세 사이의 영아를 대상으로 양측 고 관절과 대퇴 뼈 중앙부분의 체온을 측정하여 체온 차이가 나는 경우를 선별한다. 둘째 예로, 장 골의 만성 외상성 골수염 진단을 위해 비합병 골절 후 6~12개월, 합병골절 나 60세 이상 환자에서 골절 3~5년에 골절부위와 건측의 체온을 측정하여 온도차가 0.6±0.03℃ 이상 시에 정밀검사를 시행한다. 셋째 예로, IIIA, IIIB 화상단계를 구별하기 위해 1~2일 내에 병측과 건측의 체온을 측정하여 온도감소 시엔 IIIB단계, 온도상승 시엔 IIIA단계를 시사하는 것으로 간주하고 있다. 넷째 예로, 갑상선 질환의 치료경과, 수술 후 경과 관찰을 위해 양측 갑상샘과 갑상샘잘룩부위에서 체온을 측정하여 38±0.8℃이상인 경우엔 기능항진증으로 30.5±0.8℃인 경우엔 기능저하증을 시사하는 것으로 간주한다. 마지막 예로, 1달부터 14세의 아동을 대상으로 척추전위를 진단하기 위해 척추 각 부위의 온도를 등에서 측정하여 특정부위에서 2℃이상 온도감소가 나타나고, 3~4개 이전 척추에서 1.4±0.3℃의 온도 증가가 관찰되면 척추전위를 시사하는 것으로 간주하고

있다.

본 연구에서 휴대전화 사용 후 심부 뇌 온도 값은 각 뇌파전극위치나, 휴대전화 사용측, 비사용측 반구에 상관없이 양측 뇌 반구전체에서 감소를 보였다. 이는 국소적 영향에 의해서 온도가 변할 경우에는 전자기파를 발생시킨 휴대전화에 가까운 부분과 먼 반대쪽 반구 부분에서 온도 변화가 달리 나타날 가능성이 높지만, 전자기파가 뇌의 온도 조절 중추에 영향을 주었을 경우에는 전자기파 발생기기의 위치에 관계없이 뇌 전체에 영향을 줄 가능성이 높다고 생각할 때, 휴대전화의 전자파가 국소적인 영향이 아닌, 뇌 반구전체나 뇌 반구전체의 온도 조절을 하는 기관에 영향을 준 결과라 볼 수 있다. 본 연구는 휴대 전화 사용 후의 심부 뇌 온도의 감소의 원인과 중장기적인 영향에 대해서는 명확히 규명하지 못한 제한 점이 있지만, 전자파 폭로 직후의 인체의 뇌의 생리적인 변화를 관찰할 수 있었다는데 의의를 둘 수 있다.

Acknowledgements

본 연구 과정에 도움을 주신 IBC Tech㈜에게 깊은 감사를 드립니다.

We deeply thank IBC Tech Company for the support during this study.

REFERENCES

1. Zagorskaia EA, Klimovitskii Vla, Mel'nichenko VP, Rodina GP, Semenov SN. Effect of low-frequency electromagnetic fields on the individual functional systems of the body. *Kosm Biol Aviakosm Med* 1990;24(3):3-11.
2. Mikolajczyk HJ, Kamedula M, Kamedula T. Biological accounts emerging from some kinds of electromagnetic waves in the environment. *Pol J Occup Med Environ Health* 1993;6(3):263-271.
3. Lazetic B, Kozarcic T, Stankov K. The effect of low-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Med Pregl* 1997;50(9-10):357-62.
4. Floderus B, Stenlund C, Persson T. Occupational magnetic field exposure and site specific cancer incidence: a Swedish cohort study. *Cancer Caudes Control* 1999;10(5): 323-332.
5. Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA etc. Residential exposure to magnetic field and acute lymphoblastic leukemia in children. *N Engl J Med* 1997;337(1):1-7
6. Guenel P, Nicolau J, Imbernon E, Chevalier A, Goldberg M. Exposure to 50-Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumor, and other cancers among French electric utility workers. *Am J Epidemiol* 1996;144(12): 1107-1121.
7. Ivanov IT. Changes in passive electric parameters of human erythrocyte membrane during hyperthermia: role of spectrin phoshorylation. *Gen Physiol Biophy* 1999;18(2) :165-180.
8. Ryan KL, D'Andrea JA, Jauchem JR, Mason PA. Radio frequency radiation of millimeter wavelength: potential occupational safety issues relating to surface heating. *Health Phys* 2000;78(2):170-181.
9. Paredi P, Kharitonov SA, Hanazawa T, Barnes PJ. Local vasodilator response to mobile phones. *Laryngoscope* 2001; 111(1):159-162.
10. French PW, Penny R, Laurence JA, Mckenzie DR. Mobile phones, heat shock protein and cancer. Differentiation 2001;67(4-5):93-97.
11. Di Carlo A, White N, Guo F, Garrett P, Litovitz T. Chronic electromagnetic field exposure decreases HSP70 levels and lowers cytoprotection. *J Cell Biochem* 2002; 84(3):447-454.
12. Leonard A, Berteaud AJ, Brueyre A. An evaluation of the mutagenic, carcinogenic and teratogenic potential of microwaves. *Mutat Res* 1983;123(1):31-46.
13. Willian F. Ganong. Review of medical physiology.17th ed. Connecticut: Appleton & Lange,1993;225-230.
14. Ishiwata T, Hasegawa H, Yasumatsu M, Akano F, Yazawa T, Otokawa M, Aihara Y. The role of preoptic area and anterior hypothalamus and median raphe nucleus on the thermoregulatory system in freely moving rats. *Neurosci Lett* 2001;306:126-128.
15. Eugene A, Kiyatkin EA, Brown PL, Wise RA. Brain temperature fluctuation: a reflection of functional neural activation. *Eur J Neurosci* 2002;16:164-168.
16. Persinger MA, O'Connor RP, Bureau YR, Parker GH, Peredery O, Zegil M. Synergistic induction of severe hypothermia by limbic seizure, acepromazine and physical restraint: role of neradrenergic alpha-1 receptors. *Pharmacol Biochem Behav* 2001;70:341-352.
17. Benamar K, Geller EB, Adler MW. Role of the Nitric Oxide pathway in kappa-Opioid- induced hypothermia in rats. *J Pharmacol Exp Ther* 2002;303:375-378.
18. Sphencer RL, Hruby VJ, Brks TF. Body temperature response profiles for selective μ δand κopioid agonist in restrained and unrestrained rats. *J Pharmacol Exp Ther* 1988;246:92-101.
19. Lin MT, Chuang JI. Melatonin potentiates 5-HT1A receptor activation in rat hypothalamus and results in hypothermia. *J Pineal Res* 2002;33:14-19.