

Histological study of the effect of cellular phone electromagnetic wave on the neonatal rat cerebellar cortex

Jung Mi Han¹, Jae Hyung Park², Sung Min Nam³, Da Eun Lee³, Sung Chuel Ahn³, Jin Seok Seo³, Jong Hwan Lee³, Sang Seop Nahm³, Nong Hoon Choe³, Byung Joon Chang^{3*}

¹College of Medicine, Ewha Women's University, Seoul 07985, Republic of Korea

²Department of Mechatronics, University of Waterloo, Ontario N2L 3G1, Canada

³College of Veterinary Medicine, Konkuk University, Seoul 05029, Republic of Korea

Abstract: To elucidate the effect of cellular phone electromagnetic wave (EMW) exposure on the developing cerebellar cortex of neonatal Sprague-Dawley rats, animals were exposed to cellular phone electromagnetic waves for 1 hr per day for 3 weeks. At the end of the experimental period, animals were sacrificed by cardiac perfusion, after which histological samples were prepared and observed microscopically. In the EMW exposure group, external granule cells were remained partially in the external granular layer without migrating into the internal granular layer. In addition, dark stained shrunken Purkinje cells with pyknotic nuclei increased and the outline of cells became irregular and showed degenerative signs, such as mitochondrial swelling and disrupted cristae. Moreover, the cisternae of rough endoplasmic reticula and Golgi complex were severely swollen. Bergmann glial cells adjacent to the dark stained Purkinje cells were swollen and cytoplasmic organelles were scant. Dark stained shrunken granule cells were also observed and the outline of cells was irregular. The results of the present study suggest that cellular phone EMW exposure to neonatal Sprague-Dawley rats leads to a partial delay of early migration of cerebellar cortical cells and degenerative changes in Purkinje cells, Bergmann glial cells and granule cells.

Key words: Electromagnetic wave, cerebellum, Purkinje cell, Bergmann glial cell, granule cell

서론

최근에 전 세계적으로 휴대전화를 사용하는 인구가 급증하면서 일부 국가에서는 인구의 80% 이상이 휴대전화를 사용하고 있어 [3]. 휴대전화로부터의 전자파 노출에 대해 건강을 염려하는 현상이 늘어나고 있다. 사람에서 휴대전화의 사용에 따른 건강의 위해성이 증가하고 있다는 보고가 있고 [7-9], 전자기파 (electromagnetic wave, EMW)에 의한 어린이 백혈병(leukemia)과 뇌종양이 보고되어 있다 [12]. 전자기파 노출이 설치류의 뇌 세포에서 세포자멸사(apoptosis)를 현저하게 증가시키지 않는다는 보고가 있는 반면에 [1, 11, 19], 이에 반하는 주장을 하는 연구자들도 있다 [14, 18, 21]. 휴대전화로부터 발생하는 전자기파의 노출이 사람의 뇌에 미치는 영향에 대해 연구가 수행되어 왔음에도 불구하고 아직 사람의 중추신경계에 대한 전자기파 노출의 부작용은 여전히 논란이 되고 있다 [10].

휴대전화의 사용에 따른 전자기파의 영향에 대해 다른 기관보다 뇌에 대한 연구가 많음은 휴대전화를 사용할 때 전화기의 위치가 뇌에 가깝게 위치하기 때문일 것으로 생각할 수 있다.

본 연구에서는 출생 직후부터 3주간 신생 랫드에 휴대전화

전자기파를 노출시켜 사람의 임신 후기에 해당하는 소뇌의 발달 단계에서 전자기파가 어떤 영향을 미치는지 알아보려 케이지 속에 있는 새끼 랫드에 휴대전화를 가깝게 접근시킨 상태에서 전자기파에 노출시키고 소뇌 결절을 구성하는 세포들의 형태적 변화를 관찰하고자 하였다.

재료 및 방법

실험동물 및 전자기파노출

임신한 2마리의 Sprague-Dawley 랫드에 음료수와 사료를 충분히 공급하면서 건국대학교 실험동물윤리위원회에서 정한 규정을 준수하며 (IACUC KU17184) 실험환경에 적응시켜 총 16마리의 새끼를 출산시킨 후 새끼를 암수구분 없이 8마리씩 각각 대조군과 전자기파노출군으로 나눠서 실험을 수행했다. 출생 당일부터 전자기파에 노출하는 시간 동안에는 어미 쥐를 격리하고 새끼 쥐를 수용한 케이지 철망위에 국내산 스마트폰 2개를 동시에 올려놓고 매일 오전 10시와 오후 3시에 각각 30분씩 진동모드로 외부 전화기에서 지속적으로 발신신호를 보냈다. 대조군은 휴대전화 발신신호를 보내지 않은 것을 제외하고 다른 조건은 전자기파노출군과 동일하게 처리했다. 발신신호를 보내는 동안 발생하는 전자기파의 양은 EMR-20C 전자기파측정기 (Narda-STS, Germany)를 사용하여 측정했는데 전체 실험기간 동안 평균 4.5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 의 강도를 나타내었다.

* Received 11 February 2018, Revised 17 March 2018, Accepted 19 March 2018

* Corresponding Author. Byung Joon Chang, Tel: +82-2-450-3711, Fax: +82-2-450-3708, E-mail: bjchang@konkuk.ac.kr

Copyright © 2018 The Korean Society of Preventive Veterinary Medicine.

The full text is freely available on the web at <http://www.jpvm.kr/>.

광학현미경적 실험

Cresyl violet 염색

주어진 기간 동안 전자기파노출 새끼 랫드와 대조군의 랫드를 2% paraformaldehyde - 2.5% glutaraldehyde 고정액을 이용하여 심장을 통한 관류고정을 실시하여 소뇌를 적출한 후 광학현미경용 표본은 10% buffered formalin에 고정한 후 소뇌벌레 부분이 잘 노출될 수 있게 정중선을 따라 절단한 후 ethanol 탈수와 paraffin 포매 과정을 거쳐 4 μm 절편을 제작하였다. 제작된 절편은 cresyl violet 염색을 실시하여 이랑과 고랑의 형태와 전체적인 소뇌 겉질의 형태를 관찰했다.

준초박절편 염색 (Semithin section stain)

관류고정한 소뇌 벌레부위를 절취하여 1% osmium 산에 추가로 고정 처리 후 ethanol 탈수과정을 거쳐 epon 혼합액에 포매한 후 ultramicrotome으로 1 μm 절편을 작성하여 toluidine blue 염색 후 현미경으로 관찰하였다.

투과전자현미경적 실험

전자현미경용 표본은 관류고정이 끝난 조직을 준초박절편 처리와 동일한 과정을 거쳐 ultramicrotome으로 70 nm 절편을 제작한 후 uranyl acetate-lead citrate 중금속 염색액을 이용하여 염색한 후 투과전자현미경으로 미세구조를 관찰하였다. 미세구조의 관찰은 주로 소뇌에서 운동의 통합과 조절에 가장 중요한 역할을 수행하는 Purkinje 세포의 전반적인 형태를 관찰하였으며, 분자층 가까운 위치에 존재하고 있으며 소뇌 발달 초기에 바깥과립층의 이주를 유도하는 Bergmann 아교세포와 더불어 과립세포의 미세구조도 관찰하였다.

결 과

광학현미경 관찰소견

대조군

Cresyl violet 염색한 대조군의 소뇌는 연질막 아래 바깥과립층의 분화가 잘 이루어져서 바깥과립층의 미분화세포는 거의 존

재하지 않았으며 모두 과립세포층으로 이주가 완전하게 이루어진 소견을 보여주었다(Fig. 1A). 겉질의 구조는 세포가 드물게 관찰되는 분자층이 바깥에 위치하고 있었으며 가운데 한 층의 커다란 Purkinje 세포층이 있고, 안쪽에 수많은 과립세포들로 이루어진 과립층이 전형적인 형태를 이루고 있었다. 한 층으로 배열된 Purkinje 세포는 가끔씩 전자밀도가 높아서 진하게 염색되는 세포들이 관찰되기도 하였으나 그 수는 많지 않았고 대부분 세포질이 열게 염색되고 핵소체가 뚜렷하게 보이는 건강한 형태를 나타내고 있었으며 대체로 일정한 간격을 두고 규칙적으로 출현하였으며 Purkinje 세포가 소실된 세포의 틈새가 거의 관찰되지 않았다(Fig. 1B).

준초박절편을 작성하여 toluidine blue에 염색한 대조군의 소뇌겉질은 분자층과 과립층 사이에 Purkinje 세포층이 뚜렷하게 관찰되었으며 Purkinje 세포는 일열로 층을 이루어 배열되어 있었으며 중등도의 염색성을 보여주고 비교적 밝게 관찰되었고 세포의 손상 소견이 거의 보이지 않았다(Fig. 1C).

전자기파노출군

전자기파노출군의 소뇌 겉질은 대부분이 연질막 아래 바깥과립세포가 안쪽으로 이주하여 속과립세포로서 과립층의 형성에 기여하고 있었으나 소뇌 겉질의 일부 고랑 부위에서는 다수의 바깥과립세포들이 이주하지 않고 바깥과립층에 남아있는 형태가 관찰되었다(Fig. 2A).

전자기파노출군의 소뇌 겉질은 대체로 분자층과 과립층 사이에 Purkinje 세포가 한 줄로 나란히 배열되었으나 부분적으로 세포가 소실되어 없어져서 Purkinje 세포층을 뚜렷하게 보여주지 않는 것이 관찰되었다(Fig. 2B). Purkinje 세포가 부분적으로 소실된 곳에 존재하는 세포들은 핵과 세포질이 진하게 염색되어 있었으며 세포의 형태가 불규칙하거나 위축된 소견도 관찰되었고 핵소체를 뚜렷하게 구별할 수 있는 세포의 수가 적었다.

준초박절편 염색에서는 불규칙하고 진하게 염색된 Purkinje 세포가 매우 많이 관찰되었다(Fig. 2C).

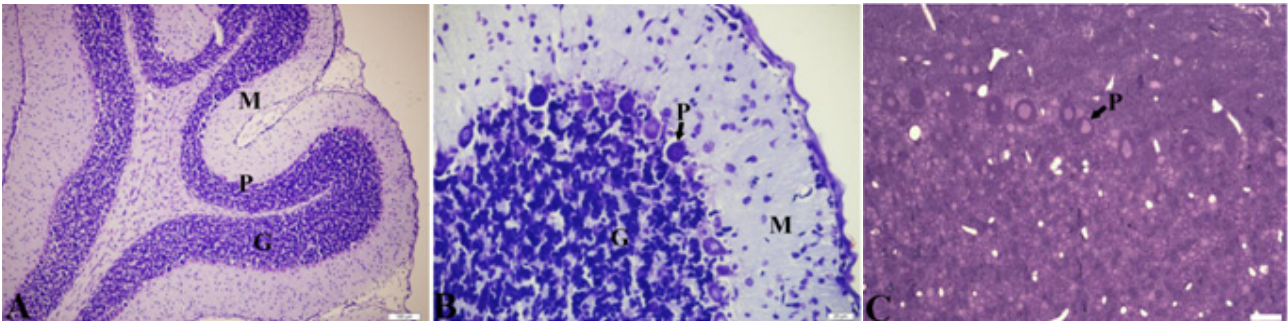


Fig 1. Light micrograph of control group. A. Cerebellar cortex is composed of 3 distinct layers. M: molecular layer, P: Purkinje cell layer, G: granule cell layer. cresyl violet stain. bar = 100 μm . B. Higher magnification of cerebellar cortex. Normal morphology of Purkinje cells and granule cells are shown. cresyl violet stain. bar = 20 μm . C. Semithin section and toluidine blue stain. bar = 10 μm .

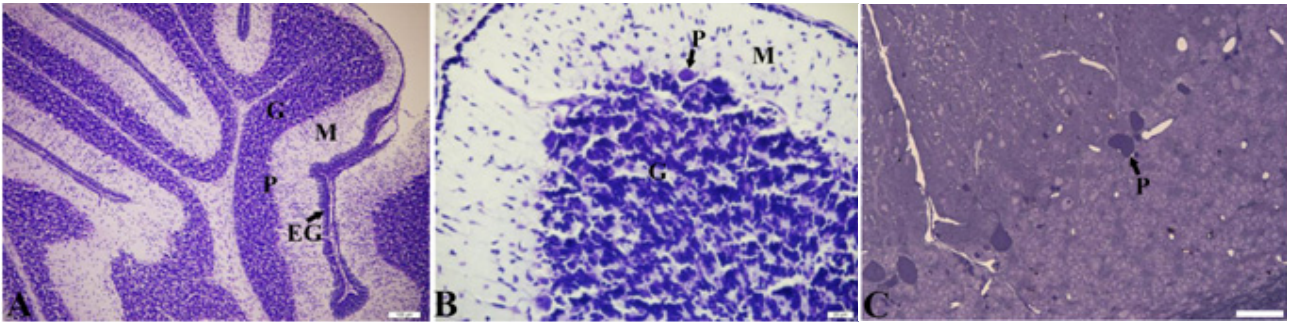


Fig. 2. Light micrograph of EMF exposure group. A. External granular layer (EG) is prominent beneath the pia mater. cresyl violet stain. bar = 100 μ m. B. Purkinje cells (P) are reduced and hard to see a distinct layer. cresyl violet stain. bar = 20 μ m. C. Dark stained Purkinje cells (P) are prominent. Semithin section and toluidine blue stain. bar = 10 μ m

투과전자현미경 관찰조건

대조군

대조군의 소뇌별레 Purkinje 세포는 핵이 밝게 염색되어 함유 색질이 풍부하였으며 핵소체도 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 3A). 세포질은 중등도의 전자밀도를 보여주고 있었으며 세포질내에 RER, Golgi 복합체, 용해소체, 사립체 등 정상적인 형태의 세포 소기관들이 풍부하게 관찰되었으며 가지돌기와 축삭도 정상적인 형태를 보여주고 있었다(Fig. 3B).

Bergmann 아교세포는 세포질이 밝게 관찰되었으며 핵도 많

은 함유색질을 가지고 전자밀도가 낮게 관찰되었으며 Purkinje 세포에 인접하여 분포하는 정상적인 모습으로 관찰되었다(Fig. 3C). 대조군의 과립세포는 핵과 세포질이 정상적인 소견을 보이고 있었으며 세포체 주위에 말미잘이 형성되어 있는 모습이 뚜렷하게 관찰되었다(Fig. 3D).

전자기파노출군

전자기파노출군의 Purkinje 세포는 분자층과 과립층 사이에서 뚜렷하게 큰 세포로 관찰되었으며 대부분의 세포에서 세포질

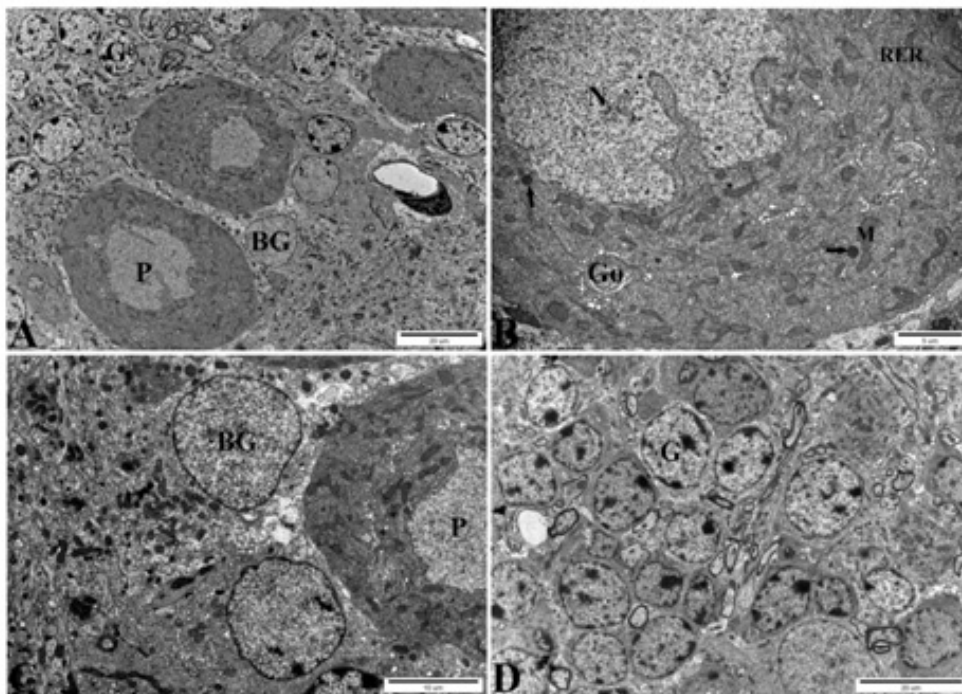


Fig. 3. Electron micrograph of control group. A. Normal morphology is shown in the Purkinje cell (P) and Bergman glial cells (BG). bar = 20 μ m. B. Purkinje cell cytoplasm shows abundant cytoplasmic organelles including RER, Golgi complex (Go), and mitochondria (M). bar = 5 μ m. C. Normal morphology of Purkinje cell (P) and Bergmann glial cell (BG) is shown. bar = 10 μ m. D. Normal morphology of granule cells is shown. bar = 20 μ m.

과 핵의 전자밀도가 높아서 진하게 염색되었다(Fig. 4A). 전자밀도가 높은 세포는 대부분 위축되고 불규칙한 외형을 보였으며 염색질이 진하게 염색된 핵도 농축되고 불규칙한 모양을 보이고 있었다(Fig. 4B). 진하게 염색된 세포질은 소기관이 풍부하게 관찰되었는데 사립체는 종창되고 내부에 있는 사립체능선은 손상되거나 불규칙한 배열을 나타내었다. 과립형질내세망과 Golgi 복합체는 수소가 심하게 종창되고 불규칙하게 흩어져 있었다. 분자층에는 Purkinje 세포의 가지돌기가지가 다수 출현하였으며 가지돌기가지 안에는 층판소체도 종종 출현하였다(Fig. 4C). 일부 Purkinje 세포는 세포체가 매우 위축되어서 가지돌기에 연속되는 형태로 관찰되었다(Fig. 4D).

Bergmann 아교세포는 Purkinje 세포에 인접하여 분자층을 향한 위치에 출현하였으며 비교적 변성이 심하지 않은 Purkinje 세포에 인접한 세포는 대조군과 유사하게 Bergmann 아교세포도 정상에 가까운 형태를 보였으나 전자밀도가 높고 변성이 심한 Purkinje 세포에 인접한 세포들은 세포질이 종창되고 공포가 많이 출현하였으며 세포질에 소기관이 결여되고 변성된 소견이 많이 관찰되었다(Fig. 4E).

전자기파노출군의 과립세포는 전자밀도가 높고 불규칙한 형태로 관찰되는 세포가 대조군에 비해 현저하게 증가되어 있었고 이런 세포들은 일반적인 세포의 둥근 형태를 보이지 않고 위축되고 불규칙한 형태로 나타났(Fig. 4F).

고찰

이동 통신기기의 급속한 발달은 최근에 인류의 건강에 미치는 전자기파의 영향에 대해 걱정을 하게 되었고 이에 대한 논쟁도 많은 것이 현실이다. 특히, 임신한 여성이나 출산 후 신생아를 품에 안고 지내는 어머니가 이동전화기를 많이 사용할 경우 전자기파에 대한 노출이 태아 또는 신생아의 뇌 발달에 어떤 영향을 미치는 지는 큰 관심거리가 될 수 있다. 본 실험에서는 뇌의 여러 부위 중에서도 운동의 적절한 조정과 통합에 중요한 기능을 하는 소뇌를 선택하여 전자기파 노출이 소뇌 겹질의 발달에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 사람의 소뇌 발달 단계는 랫드의 경우와 달라서 랫드에서는 출생 후 10일간의 기간이 사람의 소뇌 발달 단계에서는 임신 27주 이후에 해당하는 시기로 사람의 임신 후기의 소뇌발달과 그 시기가 일치한다 [2, 6, 17].

본 연구에서는 임신한 랫드를 실험환경에 적응시켜 새끼를 출산한 후 출생 첫날부터 3주 동안 정해진 시간에 하루 1시간씩 일정하게 진동 수신 모드의 휴대전화 전자기파에 노출시켜 사람의 경우 임신 후기와 출생 직후의 시기에 전자기파에 노출되는 것과 대응될 수 있도록 시기를 고려하여 실험을 수행했다.

저배율 현미경 관찰에서 소뇌별레를 지나는 단면에서 확인해 본 결과 고랑과 이랑의 형성 등을 포함하여 소뇌의 전반적인 윤곽은 대조군과 전자기파노출군 사이에 큰 차이가 없었지만 전

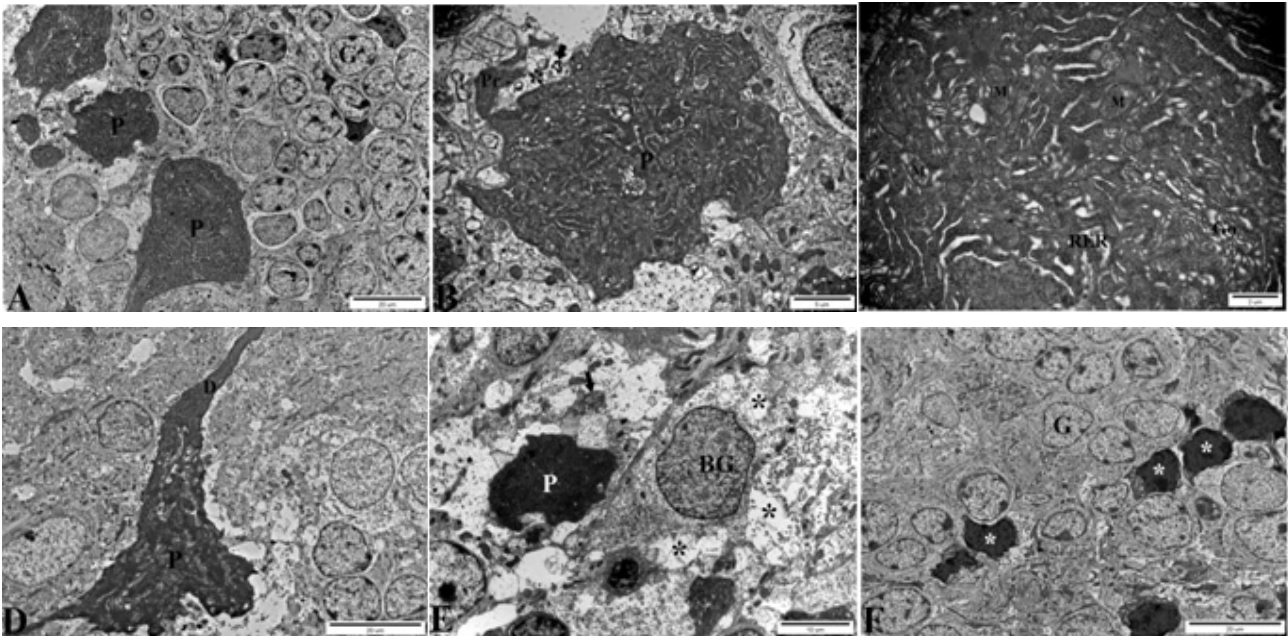


Fig. 4. Electron micrograph of EMF exposure group. A. 3 dark stained Purkinje cells (P) are shown. bar = 20 μm . B. Dark stained Purkinje cell (P) is slightly shrunken and shows irregular shape of cell boundary. Bergmann glial cell process contacts with Purkinje cell process (Pr) and contains lamellar body (arrow). bar = 5 μm . C. Higher magnification of Purkinje cell. Swelled mitochondria (M) shows disrupted cristae and dilated RER and Golgi cisternae (Go) are prominent. bar = 2 μm . D. Dark stained shrunken Purkinje cell shows a long dendrite (D). bar = 20 μm . E. Dark stained shrunken Purkinje cell (P) is surrounded by glial processes. Bergmann glial cell (BG) shows hydropic degeneration (asterisks) and is severely swelled. Dendritic spine of Purkinje cell is shown and it contains lamellar body (arrow). bar = 10 μm . F. Dark stained granule cells show degenerative signs. bar = 20 μm .

자기과노출군의 바깥과립세포가 고랑부위에서 많이 존재하고 있음은 대조군과 다른 점이었는데 이는 소녀발달 초기 단계에서 바깥과립세포가 속과립세포의 형성을 위해 걸질을 관통하여 이동하는 현상이 제대로 이루어지지 않은 결과로 보인다. Bergmann 아교세포는 바깥과립세포가 분자층을 가로질러 이동할 때 이동을 유도하는 가이드 역할을 하는데 [13, 16], 이는 바깥과립세포의 이동을 유도하는 Bergmann 아교세포의 아교섬유가 손상되어 정상적인 유도가 안되고 바깥과립세포가 속과립층을 형성하는데 기여하지 못하고 그대로 바깥과립층에 남아 있기 때문으로 보인다. 이는 소녀에 가해진 스트레스의 종류는 다르지만 임신기간 동안 알코올에 노출된 랫드의 소녀에서 바깥과립세포의 이동이 지연된다는 연구 [4]와 유사한 것이다. 본 실험에서 Bergmann 아교세포의 미세구조는 세포체의 변성변화가 심한 상태는 아니었지만 아교세포의 돌기가 손상되어 바깥과립세포의 이동을 가이드하지 못하는 것으로 보인다.

소녀 걸질의 발달과정에서 부챗살아교세포(radial glial cell)는 형태적인 변화를 거쳐 Bergmann 아교세포로 분화되는데 보통 세포당 3 - 6개의 분자층을 가로질러 달리는 돌기를 가지고 있다. Bergmann 아교세포의 돌기는 출생 직후 나타나기 시작하여 출생 후 1주일까지 증가하고 그 후 감소하는데[20], 이는 바깥과립세포의 이동시기와 관련이 있는 것으로 보인다.

본 실험에서 전자기와 노출 Purkinje 세포의 세포질이 진하게 염색되고 핵이 농축되는 세포들이 다수 관찰되었는데 전자현미경 관찰에서 전자밀도가 높은 세포들은 세포의 전체적인 윤곽이 위축되고 세포질소기관의 변성이 흔하게 관찰되었다. 사립체는 종창되고 사립체능선의 손상 및 불규칙한 배열과 더불어 과립형 질내세망과 Golgi 복합체의 수조가 심하게 종창되는 현상이 뚜렷하게 관찰되었는데 이는 Purkinje 세포의 dark change와 더불어 terbutaline [22]에 의해 유발될 수 있는 변성변화와 유사하였다. 이러한 변성은 에탄올 [15]에 의해서도 유발될 수 있고 이는 Purkinje 세포가 손상을 받을 때 일어나는 일반적인 변화로 보인다.

과립세포의 dark change도 같은 맥락으로 변성되는 세포에서 나타난 것으로 보이고 전자기파에 노출되었을 때 대조군의 경우와 비교하여 세포의 변성변화가 종종 관찰되는 것으로 보인다.

변성된 과립세포에 인접한 Bergmann 아교세포는 세포질 소기관이 소실되고 세포가 종창되는 변화가 관찰되었다. 이것은 Bergmann 아교세포의 세포질 손상과 더불어 돌기의 손상도 추정할 수 있으며 이로 인해서 소녀 발달 단계에서 바깥과립세포가 속과립층으로 이주하는데 제한이 되는 것으로 사료된다.

본 연구의 결과는 신생 랫드의 소녀 발달시기에 전자기파에 과다하게 노출될 경우 Bergmann 아교세포의 손상으로 인해 바깥과립세포가 속과립층으로 이주가 지연되고, Purkinje 세포의 손상과 변성, 과립세포의 변성 등을 유발하여 소녀 발달에 좋지 않은 영향을 미치는 것을 보여준다.

감사의 글

이 논문은 2017학년도 건국대학교의 연구년 교원 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

1. **Akdag MZ, Dasdag S, Ulukaya E, Uzunlar AK, Kurt MA, Taskin A.** Effects of extremely low-frequency magnetic field on caspase activities and oxidative stress values in rat brain. *Biol Trace Elem Res.* 2010, 138:238-249.
2. **Cragg B, Phillips S.** Natural loss of Purkinje cells during development and increased loss with alcohol. *Brain Res.* 1985, 325:151-160.
3. **Feychting M, Ahlbom A, Kheifets L.** EMF and health. *Ann Rev Public Health.* 2005, 26:165-189.
4. **Gonzalez-Burgos I, Alejandro-Gomez M.** Cerebellar granule cell and Bergmann glial cell maturation in the rat is disrupted by pre and post-natal exposure to moderate levels of ethanol. *Int J Devl Neuroscience.* 2005, 23:383-388.
5. **Goodlett CR and Eilers AT.** Alcohol-induced Purkinje cell loss with a single binge exposure in neonatal rats; a stereological study of temporal windows of vulnerability. *Alcohol Clin Exp Res.* 1997, 21:738-744.
6. **Goodlett CR, Pearlman AD, Lundahl KR.** Binge neonatal alcohol intubations induce dose-dependent loss of Purkinje cells. *Neurotoxicol Teratol.* 1998, 20:285-292.
7. **Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K.** Pooled analysis of two case control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumors diagnosed in 1997-2003. *Int Arch occup Environ Health.* 2006, 79:630-639.
8. **Hardell L, Carlberg M, Söderqvist F, Mild KH, Morgan LL.** Long term use of cellular phones and brain tumors: increased risk associated with use for > or = 10 years. *Occup Environ Med.* 2007, 64:626-632.
9. **Hardell L, Näsman A, Pålsson A, Hallquist A, Hansson Mild K.** Use of cellular phones and the risk of brain tumors: a case-control study. *Int J Oncol.* 1999, 15:113-116.
10. **Hietanen M.** Establishing the health risks of exposure to radiofrequency fields requires multidisciplinary research. *Scand J Work Environ Health.* 2006, 32:169-170.
11. **Joubert V, Leveque P, Cueille M, Bourthoumiou S, Yardin C.** No apoptosis is induced in rat cortical neurons exposed to GSM phone fields. *Bioelectromagnetics.* 2007, 28:115-121.

12. **Kheifets L, Repacholi M, Saunders R, van Deventer E.** The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics*. 2005, 116:303-313.
13. **Komoro H, Rakie P.** Distinct modes of neuronal migration in different domains of developing cerebellar cortex. *J Neurosci*. 1998, 18:1478-1490.
14. **Lai H, Singh NP.** Magnetic field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rats. *Environ health Perspect*. 2004, 112:687-694.
15. **Lewandowska E, Stepien T, Wierzba-Bobrowicz T, Felczak P, Szpak GM, Pasennik E.** Alcohol-induced changes in the developing cerebellum, ultrastructural and quantitative analysis of neurons in the cerebellar cortex. *Folia Neuropathologica*. 2012, 50:397-406.
16. **Liesie P, Akinsholan E, Matsuba K, Lange K, Morest K.** Cellular migration in the postnatal rat cerebellar cortex: confocal-infrared microscopy and the rapid Golgi method. *J Neurosci Res*. 2003, 72:290-302.
17. **Light KE, Belcher SM, Pierce DR.** Time course and manner of Purkinje neuron death following a single exposure on postnatal day 4 in the developing rat. *Neuroscience*. 2002, 114:327-337.
18. **Maskey D, Pradhan J, Pradhan J, Kim HJ, Park KS, Ahn SC, Kim MJ.** Chronic 835-MHz radiofrequency exposure to mice hippocampus alters the distribution of calbindin and GFAP immunoreactivity. *Brain Res*. 2010, 1346:237-246.
19. **McNamee JP, Bellier PV, McLean JR, Marro L, Gajda GB, Thansandote A.** DNA damage and apoptosis in the immature mouse cerebellum after acute exposure to a 1mT, 60Hz magnetic field. *Mutat Res*. 2002, 513:121-133.
20. **Shiga T, Ichikawa M, Hirata Y.** A Golgi study of Bergman glial cells in developing rat cerebellum. *Anat Embryol*. 1983, 167:191-201.
21. **Sonmez OF, Odaci E, Bas O, Kaplan S.** Purkinje cell number decreases in the adult female rat cerebellum following exposure to 900 MHz electromagnetic field. *Brain Res*. 2010, 1356:95-101.
22. **Yamada N, Sasaki S, Ishii H, Sato J, Kanno T, Wako Y, Tsuchitani M.** Dark cell change of the cellular Purkinje cells induced by terbutaline under transient disruption of the blood-brain barrier in adult rats: morphological evaluation. *J Appl Toxicol*. 2012, 32:790-795