

電磁場の生体への影響(2)

—特に発生・生殖に及ぼす影響について—

飯島 純夫, 山縣然太朗, 大間 敏美, 浅香 昭雄

近年, その生体への影響に関心が高まっている電磁場の発生・生殖へ及ぼす影響について概説した。実験的研究の対象は大きく非哺乳類, 哺乳類に大別され, 非哺乳類ではニワトリ胎芽が, 哺乳類ではラット, マウスでの知見が主である。いずれの実験動物を用いた研究でも現在までのところ, 陽性結果を示した知見は3分の1程度であり, しかも再現性, 量反応関係などが弱い, あるいはみられないものが多い。疫学的研究でも陽性結果と陰性結果がともに報告されており, 陽性の場合は交絡因子の存在が示唆されている。また, 実験的研究においても疫学的研究においても, 陽性結果が報告されているのは変動磁場によるものであることから, 今後周波数, 磁場強度, 波型を様々な条件で組み合わせた変動磁場を用いて電磁場単独の場合あるいは他の要因と複合させた場合の影響についての検討が必要とされる。

キーワード: 電磁場, 発生, 生殖, 奇形

I. はじめに

近年, 核磁気共鳴断層撮影装置(MRI—CT)やリニアモーターカーなどの磁場を応用した巨大装置などが開発されたことにより電磁場の生体への影響への関心が高まってきた。とくに電磁場による発癌性については, 疫学的研究で白血病や脳腫瘍との関連が疑われているが, 陽性報告と陰性報告とが相半ばしており現段階では結論的なことは言えない。磁場の変異原性と発癌性については, 前報¹⁾ですでに述べた。本稿では変異原性, 発癌性とともにより三大特殊毒性といわれる催奇形性を中心とした発生に対する電磁場の影響について概説する。なお, 催奇形性とは狭い意味では奇形を惹起する性質と定義されるが, 最近では雌雄の生殖能力, 胎児の発育発達, 生後の発育発達など広くとらえられ発生毒性あるいは生殖毒性と表現されることが多い。また, 磁場は電場と切り離せず, 同時に扱われることが多いので, 本稿では完全に電場, 磁場単独の場合以外は電磁場という用語を用いた。

電磁場は周波数, 強度, 波型の3つの要素を持って

いるが, 現在までの電磁場の発生に及ぼす影響を扱った論文は周波数が300 Hz以下の極低周波(Extremely low frequency; ELF)と3 kHzと30 kHzの間の低周波(Very low frequency; VLF)にほとんど限られている。これはELFは交流電気の周波数が50 Hzか60 Hzになっているためであり, 実際の環境からの曝露量に焦点をあてているためである。VLFの場合はVDT(Video display terminal)からのものがこの範囲に入るためである。実験的研究の対象は非哺乳類(主としてニワトリ胎芽)と哺乳類(主としてマウス, ラットなどの齧歯類)であり, 疫学的研究は職業的曝露(VDTその他)と住宅での曝露によるものである。

II. 実験的研究による知見

(1)非哺乳類を用いた研究

メダカを用いた研究²⁾で, 初期胚(2—4細胞期)を60 Hzの電磁場に48時間曝露したところ, 曝露直後では有意な発育遅延は見られなかったが, 電磁場の曝露を除去後36—73時間で有意な遅延が認められた。しかしその遅延は発生異常には結びつかなかったと報告されている。

ウエ卵を受精後60 Hz, 0.1 mTの変動磁場に最初の4分間だけ曝露した場合, 受精後18時間までは有意な

発育遅延は認められなかったが、その後の23時間の間に有意な発育の遅延が起こった³⁾。この場合 RNA 転写と桑実胚の細胞移動が電磁場で阻害される可能性が示唆されている。

Walters (1992) ら⁴⁾はショウジョウバエの生殖能力と発育に60 Hz の電磁場は影響を及ぼさなかったと報告している。

ニワトリ胎芽 (chick embryo) は電磁場の実験的研究に汎用されてきており、現在までに多くの知見が累積されている。初期の報告では発生異常が認められたという報告^{5,6)}もある。しかしその後の追試では、有意な影響は認められなかったという報告と弱いパルス磁場がニワトリ胎芽の異常を増加させたという報告がある。Maffeo ら^{7,8)}もパルス電磁場によってニワトリ胎芽の発達への影響は認められなかったと報告している。Blackman ら⁹⁾は21日間の全孵化期間の間、ニワトリ胎芽に50 Hz ないし60 Hz (10 V/m) の電場に曝露させた後、脳細胞を取り出し50ないし60 Hz の電磁場を曝露させたところ60 Hz 曝露群のみでカルシウムの流出が認められたと報告している。Martin¹⁰⁾は、ニワトリ胎芽をパルス ELF 磁場に孵化の最初の24時間曝露させたところ奇形の再現性のある有意な増加がみられたが、24から48時間の間の曝露では有意な影響は認められなかったと報告している。しかし彼らの最近の研究¹¹⁾では、60 Hz の磁場に曝露したところ有害な影響は見られず、奇形数についても対照との間に有意差は認められなかったと報告されている。

早期ニワトリ胎芽を用いてパルス磁場曝露への影響を一貫して系統的に行なっているのは Juutilainen らのグループと Leal らのグループであるが結果は対照的である。すなわち、Juutilainen らはパルス磁場の1.1と1.3 μ T の間にいき値を示しており、それ以上であると異常なニワトリ胎芽が増加すると報告している¹²⁾。また彼らは波型の違いによる差異を検討し、単極子矩形波の場合にのみニワトリ胎芽の発育に影響があったと報告している¹³⁾。一方 Leal らのグループの報告¹⁴⁾ではいき値は25から100 μ T の間であり、それ以上では異常の増加は認められていない。これらの異なる結果を解釈する上で困難な点のひとつはニワトリ胎芽が磁場の中に置かれる位置が様々なこと (電磁場に垂直、平行など) である。マウスやラットなどの齧歯類を用いた研究の場合、母獣は磁場と特異的な関係に維持され

ているケージの中で曝露されるが、曝露の間動物は完全ではないにせよ相当に自由に姿勢や位置を変えることが出来る。従って、母獣を磁場の方向に常に配向したままにしようとするのは実際的ではないし、動かないように拘束しておくこと自体が胎児に有害な影響を及ぼす可能性がある。

1987年に研究機関での結果の相違をはっきりさせるために“Hen House Project”が開始された。これはアメリカ、カナダ、ヨーロッパの6カ所の別個の研究室でニワトリ胎芽へのパルス磁場の影響を同じ項目について検討するというプロジェクトである。すなわち各研究室で、全く同じ装置と全く同じ方法を用いて一連の実験が行なわれた。その結果、6つの研究室のうちの2つで約1 μ T のパルス磁場への曝露により異常な胎芽の有意な増加 (対照の2~4倍) が認められた。すなわち、このプロジェクトでは極力すべての研究室での条件を同一にしたにもかかわらず影響を統一的には証明できなかったという結果となった¹⁵⁾。この結果がパルス磁場によるものであることは注目される。

(2) 哺乳類を用いた研究

最近、40 kV/m、50 Hz の変動磁場によってマウスの精子形成を低下させたという報告がなされた¹⁶⁾。年代別では特に若年と老齢のマウスで感受性が高かった。また別の論文¹⁷⁾でも、雄ラットを0.4 T の定常磁場に3時間に1回あるいは全精子形成過程に56回曝露させ、非曝露のメスと交配させたところ、単一の定常磁場への曝露には抵抗性があり、慢性的な定常磁場への曝露の場合には胎児の着床前の死亡に有意な増加が認められたと報告されている。

生殖および発育への影響に関してラットを用いたおおがかりな3つの実験が行なわれている¹⁸⁾。電磁場は100 kV/m、60 Hz であった。最初の実験では生殖行動、生殖能力、胎児の発育について調べられた。雌雄とも6日間の曝露を受けたが、生殖行動、生殖能力には影響はみられなかった。第2の実験では、出生前の曝露と生後の発育についてであった。この実験でも同腹児数、死産率、出生体重への影響は認められなかった。また形態学的、神経運動学的、神経学的発達には対照との間に有意な差は認められなかった。3番目の実験では妊娠後期から生後25日まで30日間の曝露が行なわれたが新生児への影響はみられなかった。これらの結

果から彼等は出生前および直後の電磁場への曝露はラットの生後の発育発達に影響を及ぼさないと結論した。

妊娠の第3三半期に80 kV/mの電磁場に曝露されたラットの場合、生後の発達がやや遅れる可能性が示唆されている¹⁹⁾。

ブタ²⁰⁾とラット²¹⁾で3世代にわたる生殖試験が行なわれているがブタでは2世代目で対照に比べて有意に高い奇形の発生が認められ、ラットでは2世代目で先天異常の増加と1世代目の出生力の低下が報告されているが追試の結果では陰性であり結論的なことは言えない。

Rommereim²²⁾らはラットを用いて60 Hzの様々な強度の磁場(10, 65, 130 kV/m)が発生に及ぼす影響について調べた。高磁場に曝露した場合に母獣の体重増加の軽度抑制が認められたが、児の数、児の死亡率などについては対照群と実験群との間に差は認められなかった。また、F1の雌と非曝露の雄との間のF2については胎児死亡率、胎児体重、奇形発生率などについて対照との間に差は認められなかった。

高圧の直流電線の下で30カ月飼われた食用牛の場合、対照と比べて妊娠、出産、児の成長、健康状態に差は認められなかった²³⁾。

哺乳類を用いた実験的研究では他にもラット²⁴⁻²⁶⁾、マウス²⁷⁻²⁹⁾を用いて妊娠中に電磁場を曝露させた後の出生児への影響を検討した多くの報告がなされているが、現在までのところ因果関係ははっきりしている知見はない。しかし、Brownら³⁰⁾は医療用の短波ジアテルミー(27.12 MHz)からの電磁場をラットに5週間曝露したところ生殖能力が低下したと報告している。またTyndall and Sulik³¹⁾はMRI由来の電磁場によって眼の奇形(小眼球症など)が有意に増加することを報告している。また、McGivernら³²⁾は低周波パルス磁場に妊娠ラットの妊娠後期(15日から20日まで)に曝露させた場合、同腹児数、胎児死亡数、胎児体重には有意差はみられなかったが、生後120日目に観察したところ、雄の嗅覚を低下させ、副生殖器官の重量を増加させたと報告している。因果関係は明確ではないものの、これらの陽性を疑わせる知見があるので、電磁場と発生・生殖への影響についてはさらに検討される必要がある。

以上の知見はすべて in vivo で電磁場を曝露させた

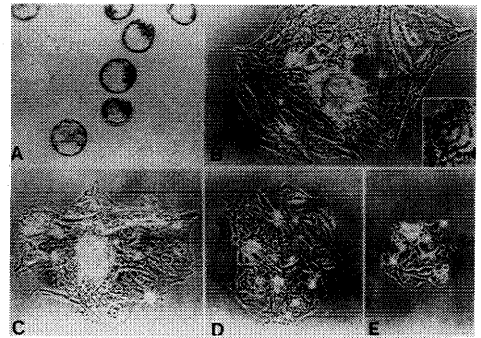


図1 マウス初期胚への影響の endpoint

A: 妊娠4日目の胞胚 (Blastocyst)

B: 栄養芽細胞の萌出 (Trophoblast Outgrowth; TO) と2層内細胞塊 (ICM)

右下は2層 ICM の拡大写真 (ect: ectoderm, end: endoderm)

C: やや小さい TO と1層 ICM

D: さらに小さい TO, ICM は無形成

E: 最も小さい TO, ICM は無形成

場合のものであるが、in vitro での知見として、著者³³⁾はマウスの妊娠4日目に妊娠マウスから採取した胞胚 (blastocyst) に定常磁場と既知変異原である塩化ニッケル (NiCl_2) をおのおの単独および複合させて曝露を行ない図1のような指標を用いて観察した。栄養芽細胞の萌出 (trophoblast outgrowth) も将来胎児となる部分である内細胞塊 (inner cell mass; ICM) の形成 (1層, 2層) についても磁場単独群でも磁場と塩化ニッケルの複合群でも有意差は認められなかった (表1)。このマウスの初期胚は種々の化学物質に対して極めて感受性が高く、化学物質の毒性を検出するすぐれた系として使われているが、陽性の結果は得られなかった。Zusmanら³⁴⁾はパルス磁場が in vitro でマウス、ラットの胎芽の発育を抑制したと報告している。これらの結果の差違の要因として定常磁場とパルス磁場の相違が考えられる。

Chernoffら³⁵⁾は最近の総説で次のように述べている。すなわち、電磁場が脊椎動物の発生、生殖に影響を及ぼすかどうかについては現在までに多くの研究がなされているが、多くの場合矛盾した結果が得られている。かれらは用いられた種 (非哺乳類, 哺乳類) と用いられた電磁場の種類の2つから過去の知見を整理した。そしてこの総説からかれらは実験的研究および疫学的研究ともに電磁場が発生への有害な影響を及ぼ

表1 磁場のマウス初期胚への影響³³⁾

NiCl ₂ (μ g/ml)	Total No. of embryos	Magnetic fields	Trophoblast outgrowth	ICMs		
				0	+1	+2
0	13	(-)	11 (84.6)	0	11 (84.6)	2 (15.4)
	29	(+)	26 (89.6)	5 (17.2)	14 (48.3)	9 (31.0)
0.2	10	(-)	7 (70.0)	3 (30.0)	4 (40.0)	2 (20.0)
	11	(+)	9 (81.8)	3 (27.3)	5 (45.5)	3 (27.3)
0.8	14	(-)	11 (78.6)	3 (21.4)	6 (42.9)	4 (28.6)
	11	(+)	9 (81.8)	2 (18.2)	3 (27.3)	4 (36.4)
3.2	12	(-)	8 (66.7)	5 (41.7)	5 (41.7)	1 (8.3)
	9	(+)	5 (55.6)	1 (11.1)	5 (55.6)	1 (11.1)

ICM : 0=無形成, +1=1層 ICM, +2=2層 ICM を示す

したことを支持する結論的なデータはまだないとしている。

III. 疫学的研究による知見

(1) 母親の職業的曝露に関する研究

母親の職業的な電磁場への曝露と発生、生殖への影響については、特に VDT の使用との関連に関する論文がほとんどである。VDT は 60 Hz 近辺の ELF 電磁場を出すことが知られている。VDT 作業者の位置では磁場は数 mG、電場は 10 V/m 以下である。また、VDT は 3—30 kHz の低周波電磁場も出しているが、その場合周波数は 20 kHz 前後で磁場は 1—2 mG、電場は 10 V/m 以下である。

Ericson and Kallen^{36,37)} はコホート研究によって妊娠中の VDT 使用と自然流産、先天奇形、死産、新生児死亡などとの関連をみたところ低出生体重児の割合が高い傾向が見出された。しかし曝露反応関係の一貫性に欠けること、曝露量の分類の不正確さなどがあり、結論的なことはいえないとしている。Goldhaber ら³⁸⁾ は症例対照研究で自然流産と先天異常児の母親を対象にして行なった。その結果、先天異常についてはオッズ比が 1.4 で統計学的には有意ではなかった。しかし、流産については VDT の使用が 1 週間で 20 時間以上の群で有意な増加が認められた (オッズ比=1.8, 95%, 信頼区間 1.2—2.8)。週 20 時間以下の群では差は認めら

れなかった。しかし、この VDT 使用時間と流産との関連については職種によって大きく異なり、一貫性は認められなかった。彼らは人間工学的要因、ストレスなどの他の要因が関与している可能性を指摘している。この人間工学的要因とストレスについては Windham ら³⁹⁾ にも指摘されている。また、VDT からの放射線には変異原性がないことが報告されていること⁴⁰⁾ も考えあわせると、現在までのところ因果関係を明らかにした知見はないといえる。

(2) 父親の職業的曝露に関する研究

Nordstrom ら⁴¹⁾ は高電圧の切替装置作業者からのこどもに先天異常が増加したことを報告した。しかし、電磁場職場で働いている父親と出生児への関連に関する知見はほとんどなく、他の職種については得られていないことと、齧歯類の雄に 60 Hz の電磁場を曝露させた実験的研究では父親の遺伝子には影響は認められていないことから、さらに知見を集積することが必要とされる。興味深い知見として父親の電磁場への曝露とそのこどもの脳腫瘍⁴²⁾、神経芽細胞腫^{43,44)} との関連が示唆されているが、陰性の報告⁴⁵⁾ もあり今後の研究が待たれる。

(3) 住宅での曝露に関する研究

現在まで、住宅での妊婦の電磁場への曝露と出生児への影響を扱った論文は Wertheimer and Leeper

ら^{46,47)}の論文のみに限られている。彼らは妊娠中の電気毛布, 電氣的に熱する水ぶとん (waterbed) の使用と出生児への影響との関連について調べ, これらの使用者では高率の流産率, 妊娠期間の延長, 低い出生体重を見出した。しかしこれらはバイアスが多いことと標本数が小さいため予備的な研究と考えられている。

IV. おわりに

電磁場の発生・生殖に及ぼす影響を概説したが, いずれの知見もはっきりと因果関係を証明したものはないといっている。しかし, とくに実験的研究でみられるように一部陽性結果がみとめられているものは変動磁場によるものである。前報でも述べたように発癌性, 変異原性についても変動磁場の影響が示唆された。しかし変動磁場による影響もあまり明確なものは少なく, おそらく周波数, 磁場強度, 波型のある特定な組み合わせによって影響が起こる可能性が考えられる。したがって, 今後も様々な実験系, とくに感受性の高い実験系を用い, 主として変動磁場および変動磁場と他の要因との複合した場合の影響について研究をすすめていくことが必要であろう。

文 献

- 1) 飯島純夫, 山縣然太郎, 大間敏美, 浅香昭雄(1992) 磁場の生体への影響. 特に変異原性, 発癌性について. 山梨医大紀要, 第9巻, 15-22.
- 2) Cameron IL, Hunter KE, Winters WD (1985) Retardation of embryogenesis by extremely low frequency 60 Hz electromagnetic fields. *Physiol Chem Phys Med NMR*, 17: 135-138.
- 3) Zimmerman S, Zimmerman AM, Winters WD, Cameron IL (1990) Influence of 60-Hz magnetic fields on sea urchin development. *Bioelectromagnetics*, 11: 37-45.
- 4) Walters E, Carstensen EL (1987) Test for the effects of 60-Hz magnetic fields on fecundity and development in *Drosophila*. *Bioelectromagnetics*, 8: 351-354.
- 5) Delgado JMR, Leal J, Monteagudo JL, Gracia MG (1982) Embryological changes induced by weak, extremely low frequency electromagnetic fields. *J Anat*, 134: 533-551.
- 6) Ubeda A, Leal J, Trillo MA, Jimenez MA, Delgado JMR (1983) Pulse shape of magnetic fields influences chick embryogenesis. *J Anat*, 137: 513-536.
- 7) Maffeo S, Miller MW, Carstensen EL (1984) Lack of effect of weak low frequency electromagnetic fields on chick embryogenesis. *J Anat*, 139: 613-618.
- 8) Maffeo S, Brayman AA, Miller MW, Carstensen EL, Ciaravino V, Cox C (1988) Weak low frequency electromagnetic fields and chick embryogenesis: failure to reproduce positive findings. *J Anat*, 157: 101-104.
- 9) Blackman CF, House DE, Benane SG, Joines WT, Spiegel RJ (1988) Effect of ambient levels of power-line-frequency electric fields on a developing vertebrate. *Bioelectromagnetics*, 9: 129-140.
- 10) Martin AH (1988) Magnetic fields and time dependent effects on development. *Bioelectromagnetics*, 9: 393-396.
- 11) Martin AH (1992) Development of chicken embryos following exposure to 60-Hz magnetic fields with differing waveforms. *Bioelectromagnetics*, 13: 223-230.
- 12) Juutilainen J, Laara E, Saali K (1987) Relationship between field strength and abnormal development in chick embryos exposed to 50-Hz magnetic fields. *Int J Radiat Biol*, 52: 787-793.
- 13) Juutilainen J, Harri M, Saali K, Lahtinen T (1986) Effects of 100-Hz magnetic fields with various waveforms on the development of chick embryos. *Radiat Environ Biophys*, 25: 65-74.
- 14) Leal J, Trillo MA, Ubeda A, Abaira V, Shamsaifar K, Chacon L (1986) Magnetic environment and embryonic development: a role of the Earth's field. *IRCS Med Sci*, 14: 1145.
- 15) Handcock MS, Kolassa JE (1992) Statistical review of the henhouse experiments: the effects of a pulsed magnetic field on chick embryos. *Bioelectromagnetics*, 13: 429-433.

- 16) Ivanova LA, Kartashev AG (1991) The effect of alternating electric field of industrial frequency on testicles of white mice. *Fiziol Zh*, 37: 71-78.
- 17) Kokoreva LV, Chuvpilo TA, Pustynnikova AM (1990) Effect of a constant high intensity magnetic field on reproductive functions in male rats. *Kosm Biol Aviakosm Med*, 24: 28-30.
- 18) U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Biological Effects of Power Frequency Electric & Magnetic Fields Background Paper, OTA-BP-E-53 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, May 1989).
- 19) Burack GD, Seto YJ, Hsieh ST, Dunlap JL (1984) The effects of prenatal exposure to a 60-Hz high-intensity field on postnatal development and sexual differentiation. *J Bioelectricity*, 3: 451.
- 20) Sikov MR, Rommereim DN, Beamer JL, Buschbom RL, Kaune WT, Phillips RD (1987) Developmental studies of Hanford miniature swine exposed to 60-Hz electric fields. *Bioelectromagnetics*, 8: 229-242.
- 21) Rommereim DN, Kaune WT, Buchsbom RL, Phillips RD, Sikov MR (1987) Reproduction and development in rats chronically exposed to 60-Hz electric fields. *Bioelectromagnetics*, 8: 243-258.
- 22) Rommereim DN, Rommereim RL, Sikov MR, Buschbom RL, Anderson LE (1990) Reproduction, growth, and development of rats during chronic exposure to multiple field strengths of 60-Hz electric fields. *Fundam Appl Toxicol*, 14: 608-621.
- 23) Angell RF, Schott MR, Raleigh RJ, Bracken TD (1990) Effects of a high-voltage direct-current transmission line on beef cattle production. *Bioelectromagnetics*, 11: 273-282.
- 24) Free MJ, Kaune WT, Phillips RD, Cheng HC (1981) Endocrinological effects of strong 60-Hz electric fields on rats. *Bioelectromagnetics*, 2: 105-121.
- 25) Stuchly MA, Ruddick J, Villeneuve D, Robinson K, Reed B, Lecuyer DW, Tan K, Wong J (1988) Teratological assessment of exposure to time-varying magnetic field. *Teratology*, 38: 461-466.
- 26) Maura A, Pino A (1989) Absence of teratogenesis in Wistar rats exposed to magnetic fields of high frequency and low intensity. *Med Sci Res*, 17: 733-734.
- 27) Marino AA, Reichmanis M, Becker RO, Ullrich B, Cullen JM (1980) Power frequency electric field induces biological changes in successive generations of mice. *Experientia*, 36: 309.
- 28) McRobbie D, Foster MA (1985) Pulsed magnetic field exposure during pregnancy and implications for NMR foetal imaging: A study with mice. *Mag Reson Imag*, 3: 231-234.
- 29) Wiley MJ, Corey P, Kavet R, Charry J, Harvey S, Agnew D, Walsh M (1992) The effects of continuous exposure to 20-kHz sawtooth magnetic fields on the litters of CD-1 mice. *Teratology*, 46: 391-398.
- 30) Brown WP, Hadley JA, Richardson L, et al. (1989) Evaluation of reproductive function of female rats exposed to radiofrequency fields (27.12 MHz) near a shortwave diathermy device. *Health Phys*, 56: 521-525.
- 31) Tyndall DA, Sulik KK (1991) Effects of magnetic resonance imaging on eye development in the C57BL/6J mouse. *Teratology*, 43: 263-275.
- 32) McGivern RF, Sokol RZ, Adey WR (1990) Prenatal exposure to a low-frequency electromagnetic field demasculinizes adult scent marking behavior and increases accessory sex organ weights in rats. *Teratology*, 41: 1-8.
- 33) 飯島純夫 (1993) 磁場の初期発生に及ぼす形態学のおよび細胞遺伝学的影響. 平成4年度科学研究費補助金 (一般研究C) 研究成果報告書.
- 34) Zusman I, Yaffe P, Pinus H, Ornoy A (1990) Effects of pulsing electromagnetic fields on the prenatal and postnatal development in mice and rats: in vivo and in vitro studies. *Teratology*, 42: 157-170.
- 35) Chernoff N, Rogers JM, Kavet R (1992) A review of the literature on potential reproductive and developmental toxicity of electric and magnetic fields. *Toxicology*, 74: 91-126.

- 36) Ericson A, Kallen B (1986a) An epidemiological study of work with video screens and pregnancy outcome: I. A registry study, *Am J Ind Med*, 9: 447-457.
- 37) Ericson A, Kallen B (1986b) An epidemiological study of work with video screens and pregnancy outcome: II. A case-control study. *Am J Ind Med*, 9: 459-475.
- 38) Goldhaber MK, Polen MR, Hiatt RA (1988) The risk of miscarriage and birth defects among women who use video display terminals during pregnancy. *Am J Ind Med*, 13 (6): 695-706.
- 39) Windham GC, Fenster L, Swan SH, Neutra RR (1990) Use of video display terminals during pregnancy and the risk of spontaneous abortion, low birth weight, or intrauterine growth retardation. *Am J Ind Med*, 18 (6): 675-688.
- 40) Berg M, Lindelof B, Langlet I, Victorin K (1988) Absence of mutagenic response to radiation from a video display terminal. *Scand J Work Environ Health*, 14: 49.
- 41) Nordstrom S, Birke E, Gustavsson L (1983) Reproductive hazards among workers at high voltage substations. *Bioelectromagnetics*, 4: 91-101.
- 42) Nasca PC, Baptiste MS, MacCubbin PA et al. (1988) An epidemiologic case-control study of central nervous system tumors in children and parental occupational exposures. *Am J Epidemiol*, 128: 1256-1265.
- 43) Spitz M, Johnson C (1985) Neuroblastoma and paternal occupation: a case-control analysis. *Am J Epidemiol*, 121: 924-929.
- 44) Bunin GR, Ward E, Kramer S et al. (1990) Neuroblastoma and parental occupation. *Am J Epidemiol*, 131: 776-780.
- 45) Electric Power Research Institute (EPRI). Electric and Magnetic Field Health Effects Research Abstracts 1989; Annual Report. Palo Alto, California: EPRI.
- 46) Wertheimer N, Leeper E (1986) Possible effects of electric blankets and heated waterbeds on fetal development. *Bioelectromagnetics*, 7: 13-22.
- 47) Wertheimer N, Leeper E (1989) Fetal loss associated with two seasonal sources of electromagnetic field exposure. *Am J Epidemiol*, 129 (1): 220-224.

Abstract

Effects of Electromagnetic Fields on Reproductive Outcomes

Sumio IIJIMA, Zentaro YAMAGATA, Toshimi OOMA and Akio ASAKA

Recently, increasing attention has been given to adverse reproductive outcomes caused by electromagnetic fields (EMF). We reviewed experimental and epidemiological studies on adverse reproductive effects of EMF. Possible links to production of abnormalities in growth and development have been suggested by some investigators either in experimental studies or in epidemiologic studies. However, the results have been inconsistent. Additional studies including improved epidemiological studies and biological experiments using various frequencies, intensities and waveforms will be warranted.