

直流磁界による小動物心拍への影響

名古屋工業大学 名誉教授

池田 哲夫

1. はじめに

自然環境から人工環境まで、意識するとしなにかかわらず、人体および生体は電磁界に曝されている。特に、地磁気存在をも考慮した生体作用については、古くから研究され、疫学的調査も行われている。この問題に関する関心度が高まってきたのは、磁気浮上形超高速列車、電力貯蔵システム、粒子加速装置、核融合装置、核磁気共鳴断層像撮影装置などのシステムの開発、実用化により、生活環境の一部で強磁場に曝される可能性が生ずることになることを契機としていられる。磁場の人体に対する短期的、長期的、継世代的影響については、多くの研究結果があるが、必ずしも確立した結果が得られているとはいえない面がある。

従来研究としては、永久磁石工場等で働く労働者を対象として健康調査を行った結果、不定愁訴が報告されている。ただし、不定愁訴の定量化は難しいところである。また、人の肝臓への急性曝露実験では、1.6Tの磁場で特別な影響はなかったと記録されている。2Tの定常磁場で心臓のリズムを調べた結果、曝磁の期間中は徐波となり、曝磁中止後は速やかに元に戻ると報告されている。一方、4Tの定常磁場でも心電図に変化がなかったという報告もある。このほかにも非常に多くの論文が発表されており、これらの結果は、

- ① 閾値以下では生体影響はほとんど現れない。
- ② 閾値は生体及び器官によって異なる。
- ③ 生体影響は必ずしも磁場強度に比例しない。
- ④ 酸化還元反応に寄与することもあると考えられる。

などである。

2. 本研究の目的

従来、電磁波が生体に影響を及ぼすのはその強度が主要因であって、被曝時間および繰り返しによる蓄積効果はないとされ、またあったとしても影響の主要因ではないとされてきた。電磁波の影響は一過性であり、蓄積効果や継世代的影響はないとされている。

本実験は磁場の影響の閾値を明確にすることを目的としており、定常強磁場を用いて実験を行った。このような強磁場は生活環境の中に存在するわけではないが、その影響を明確にすることは十分に意味のあることと考える。磁場に曝された生体の影響を曝磁量として定量化し、閾値を明確にしようとするものである。

3. 実験方法

3-1 実験動物

本研究では、市販の所謂泥鰌を用いた。泥鰌は7～8cm程度の大きさであり、健康状態に注意して研究室で飼育して実験に供した。雌雄は区別しないで用いている。この実験結果が泥鰌に特有なものである

か否かを確認するために金魚でも同様な実験を行った。

3-2 曝磁実験

泥鰌は内径13.6mmの試験管内に頭を下にして1匹ずつ入れ、磁場内に設置する。同時にその試験管内に直径5mmのビニールパイプによって空気を送り込んでいる。磁場に対する泥鰌の身体の向きは固定されておらず、任意の方向から磁場が印加される。実験中に泥鰌が暴れることは少なく、長時間の実験にもかかわらず、ほとんど静止している。対照群についても全く同様な試験管に泥鰌を挿入し、同一条件で同一時間放置している。

金魚についても同様な実験を行った。金魚は名刺ケース状の箱に入れ、固定して曝磁する。金魚は泥鰌と異なって、狭いところに拘束するとストレスがたまるように見受けられる。実験の前後は広い場所で自由に泳がせている。ケース内にはビニールパイプで空気を送り込んでいる。

3-3 心拍数測定システム

曝磁した泥鰌を内径7mmの円筒状プラスチック容器内に入れて固定する。泥鰌の心臓の左右から直径2mm長さ10mmの円筒状真鍮電極を圧力をかけて接触させ、電位を検出した。取り出した電位は入力抵抗10M Ω 、増幅利得約60dB、通過帯域1.5Hzの増幅器で増幅後、オシロスコープで監視すると同時にペンレコーダで記録する。後の実験では、デジタルオシロスコープで波形処理をしている。また、電源からの雑音(60Hz)の回り込みには十分に注意し、システム全体をシールド箱内で実験を行った。

心拍測定中に泥鰌が鰓呼吸をした場合は、筋電位パルスが検出されるが、この波形は心拍波形とはまったく異なり、振幅も大きいので誤計測することはない。

金魚の体外から測定される電位は小さく、また金魚の体表面のインピーダンスが高いので、増幅器は特に注意を払った。入力インピーダンス2M Ω 以上、利得100dBである。

3-4 磁場以外の要因

曝磁中の泥鰌は頭部を下にした姿勢で長時間放置される。通常ではありえない姿勢となるのでストレスが加わることが考えられる。その結果は心拍数の変化に現れると考えた。6匹の泥鰌を6時間試験管内に拘束し、その前後の心拍数を測定した。その結果は以下の通りである。拘束前の心拍数、25.4(回/分)、標準偏差、1.4であり、拘束後の心拍数、25.1(回/分)、標準偏差、1.1である。この結果、特にストレスが心拍数に影響を及ぼしているとは考えられない。拘束後の泥鰌は動作や反応がやや鈍っていたが、その動作も数十分後には元の状態に戻った。ただし、金魚では拘束の影響が現れた。

次に泥鰌を拘束している試験管内の水のpHと水温の変化の測定を行った。曝磁前は、pH、7.65、水温、19.5(°C)、磁場、1.5(T)8時間の曝磁後の泥鰌を入れておいた試験管では、pH、7.42、水温、23.0(°C)であった。対照群ではpH、7.47、水温、22.0(°C)であった。特にストレスの高まる要因とは考えにくい。

4. 実験結果

最初に曝磁後の心拍数の変化を求めた。磁界強度一定(1.5(T))で曝磁時間を変化させた。その結果、4時間の曝磁時間では、心拍数にほとんど変化はなかったが、6時間、8時間の曝磁では心拍数が減少した。対照群の心拍数は25~26程度であるが、曝磁直後の心拍数は20~21である。この値はどのように曝磁しても一定である。

これらの実験をまとめると、閾値を求めるのには、非常に多くの実験を必要とするが、前記の実験データから曝磁時間と磁束密度が同等に寄与しているように見受けられる。そこでこれらの実験をまとめて、次の様な実験式を求めた。

$$t_0(h) = 1.6(1/T)[b \cdot t(Th) - 2.5(Th)]$$

ただし、 t_0 は曝磁の影響から回復する時間であり、 b は磁束密度、 t は曝磁時間である。

この結果、曝磁の影響の現れる閾値は2.5 (Th) である。

その他の実験結果は、当日の資料で説明する。

5. 考察と結論

電磁環境の生体に対する影響については、種々論じられているが、そのデータは必ずしもはっきりとした一つの方向を示しているわけではない。

本論分で述べた結果は、定常強磁場に対する泥鰌と金魚の心拍数と心電波形の曝磁後の変化から磁束密度（磁界強度）、曝磁時間共に閾値が存在し、閾値以上の刺激に対しては、急激に影響が大きくなる傾向が見られた。また、本実験では、磁界の方向が泥鰌の心臓あるいは脳に対して一定の方向ではない。金魚は体側の方向からである。更に最大磁場は5.7T、8時間であり、これ以上の磁場に曝される実験は出来なかった。また、哺乳類一般にもこのような影響が現れるのかなどの、今後の更なる実験が期待される場所である。

この実験結果は、曝磁総量（Dose）としての評価の可能性を示しており、今後安全基準策定の基礎的な参考資料となれば幸いである。

謝辞

本実験に関して、計画段階から終始ご指導頂いた近畿大学医学部名誉教授秩父志行先生に対して厚くお礼を申し上げます。また、強磁場発生装置を本来の実験の時間を割いて利用させて頂いた、名古屋大学工学部松井正顕教授、名古屋大学医学部石垣武男教授に心から感謝いたします。また、本実験を実際に計画し、測定した研究室の学生、中田晶子、鈴木直也、若山倫英その他の学生にお礼申し上げます。