

放射線科学

生体と磁場

小林 英敏

1. はじめに

子供の頃馬蹄形の磁石で砂鉄や50円硬貨を引っ張ったりして遊んだ記憶は、懐かしい思い出として残っていることでしょう。高校の頃訳のわからない右手、左手の法則で頭を悩ませた記憶も、心地よく理解できたような一部の例外人種を除けば、あつたはずです。磁気ネックレスのお世話になっている方もあるかもしれません。生命が地球に発生したとき以来生体は常に地磁気に曝されているわけですし、磁場が生体に影響があつたと考える方が自然です。目に見えず、明らかに力を持っている磁力は信仰の対象としてふさわしく、磁場の生物作用については18世紀にメスメルが唱えた神秘的な学説として動物磁気学説（メスメリズム）が20世紀まで続きました。近代科学の対象になったのは1930年代からで、1960年代までに多くの磁場に関する医学的著書が報告されています。磁場の生物、生体への効果は結果が錯綜し、まったく反対もあります。本稿は磁場の物理的特性について簡単にふれ、ついで磁場の生体に対する効果を記述することとします。最後に我々が現在進めている放射線との併用効果について記述したいと思います。

2. 磁場の物理

1) 単位

磁場Hと磁束密度Bの間には透磁率を μ として

$$B = \mu H \text{ が成り立ちます。}$$

ここでBの単位はT (Tesla) で1 Tが 10^4 G (gauss) となります。一方Hの単位はA/mであり、 μ は磁場と磁束密度との関係をあたえるもので物体の磁気的性質により決定されます。物質を磁場内に静置すると磁極を持つ、すなわちそれ自体が磁場を持つようになります。これを磁化と呼び、原子を構成している電子の軌道運動および自転運動に起因したものであります。物質により常磁性体、反磁性体および強磁性体に分類されます。磁化率すなわち磁化され易さは強磁性体（磁性体と簡単によぶこともあります）が約百万倍と格段に大き

くなっています。

2) 磁場の種類と物質への影響

時間的に分類すると静磁場と時間変化磁場とに分けられます。静磁場とは別名直流磁場といい、電磁石に直流を通した時得られる磁場であります。磁場の方向、大きさが時間的に変化しないものをいいます。子供の頃遊んだ磁石やマグネットリングはこれに分類されます。時間変化磁場は交流磁場とも言い、磁場の方向、大きさが変化するものであります。時間変化磁場は生体に渦電流をつくり、熱作用も生体にあたえます。MR検査の際に身体の中の金属の所に渦電流が生じて患者さんが熱いと訴えるようなこともあるわけです。

磁場の強さの分布による分類では、均一磁場と不均一磁場とに分類されます。不均一磁場には勾配があるということになります。磁場の生体への影響を考える場合には、静均一磁場、静不均一磁場、時間変化均一磁場および時間変化不均一磁場の4通りを磁場の強さと組み合わせて考えていかなければなりません。

3. 磁場の生体への影響

物理的には磁場は生体には(1)磁性粒子に加わる力、(2)非球形粒子に加わるトルク力、(3)動く荷電粒子に加わる力、(4)動く導体中に発生する電流、の大きく4種類に分類される影響を与えると考えられます。(1)の例として不均一磁場内で脳出血後にできるデオキシヘモグロビンが動くことがあげられます。(2)の例として高分子化合物の磁場内での配向があげられます。(3)の例として中枢神経系への影響、血管内を通過する血液に力が加わることがあげられます。神経系の伝達には神経細胞での電荷粒子であるイオンの移動に基づいて行われています。Wikswow は理論的にニューロンのイオンの伝達を乱すためには 24T が最低必要と計算しています。磁場のニューロンへの影響は Liberman, Gaffey らの 1ないし 2 T までの実験により否定されています。脳波への影響についても様々に検討されています。Beischer はリスザルをもちいて 1.47 から 9.13T で磁場強度に依存しない EEG の波高の増加を、Kholodov はうさぎを用いて 0.08 から 0.1T で slow wave, spindle の発生を認めたと報告しています。両者は全く正反対の実験結果と考えられます。磁場による心電図の変化としては、T波の増大が報告されていますが、この減少は磁場による心臓への影響の結果生じた心電図変化ではなく、磁場内を流れる血液によって生じた流動電位と Beischer は報告しています。生理現象とは無関係な磁場の影響と考えられています。磁場内での不整脈の出現も報告されています。Jehenson は 2 T での健常志願者を用いた実験で有意の心周期の延長が見られたと、池田はドジョウを用いて磁場強度

に比例した心拍数の減少を報告しています。理由として大動脈洞、頸動脈洞の圧受容体に磁場により流動電位が生じ、その結果、副交感神経が緊張したためと考えられています。要するに磁場によりドキドキする必要が無いところでドキドキした気分になったため、反射的に心拍数が減ったということです。(4)の例として磁場内で頭を振ると光が見える現象、マグネトフォスフィンが古くから知られています。頭を動かす代わりに時間変化磁場を用いることによる検討が Adorian によって報告され、時間変化率 $1.3-1.9\text{T/sec}$ で発生すると言われています。

疫学的調査に基づいて行われてきた人体に対する影響の研究は低磁力でのもので、主観的な訴えが多いことに特徴があります。それも自律神経系の訴え、要するに医学的に不定愁訴と言われる一群の症状を訴えるものが多いのが特徴です。自分以外確認のできない訴えは臨床医療においては学問の対象とはしにくいものです。Budinger は各種疾患の有病率を対象と比較し、有意差は見られなかったと報告しています。

4. 遺伝的影響、発生に対する影響

遺伝的影響については、ムラサキツユクサ、キイロショウジョウバエ、マウスを使った実験の結果、現在では否定されています。磁場の胚および胎児への影響に関しては相反する実験結果が報告されていますが、Delgado は鶏胚を用いて 100Hz で $1.2\mu\text{T}$ に曝露したとき、強い催奇形性を報告しています。 $1.2\mu\text{T}$ という弱い磁場より高くても低くても、催奇形性が消失するという報告は特記されるべきものと考えられます。

5. 動物移植腫瘍、培養細胞に対する磁場と放射線の併用

Reno が Ehrlich 腹水癌細胞の酸素消費量が増加することを報告して以来、相反する実験結果が報告されてきました。移植腫瘍を用いて小林は磁場は放射線効果を増感することを報告しています。更に小林は Flow Cytometry を用いて磁場の培養細胞内 DNA ヒストグラムに与える影響を報告しています、これが磁場の細胞に与える影響を客観的に定量解析した最初の報告となりました。放射線と磁場の協同効果には放射線照射の亜致死障害および潜在的致死障害からの修復への磁場の影響も関与していることを示唆しています。磁場自体が放射線の電離に多少なりとも影響すると考えられること、DNA 周期により細胞の放射線感受性が複雑に変化すること、修復への影響があることが磁場と放射線の併用効果に関する従来の研究結果が互いに錯綜していたものと考えることが

できるでしょう。ともあれ磁場と放射線との併用効果は新しい視点が与えられ、更に発展していくものと考えられます。

6. まとめ

磁場の生体への影響並びに放射線との併用効果について説明してきましたが、ご理解いただけましたでしょうか。磁場はエネルギーを持っています。人間に認識しうるかどうかは別として、生体に何等かの影響があると考えの方が自然な発想だと私は思っています。マグネットが肩凝りに効くかどうかは判然としませんが、磁場により不定愁訴が増えるという報告がありますから反対に不定愁訴が減るといった結果があってもいいかなと思うくらい磁場の結果は互いに矛盾したものです。1960年代に磁場の生体への影響に関する報告が多くなされています。最近では影響が無いとする報告が主流を占めています。確かに磁場の持つエネルギーは僅かで、実験の際の微妙な他因子例えば酸素分圧や温度の変化や磁場の均一性の僅かな乱れにより結果が大きく影響されてしまいます。細胞実験が精緻を極めるに従い従来の実験は次々と否定されてきています。磁場関係の実験条件設定の難しさと楽しみがそこにあると考えることもできましょう。生命発生の時以来つきあっている放射線、磁場の生体への影響の解明、わくわくするロマンの世界が広がっています。

(名古屋大学医学部・放射線医学教室)