

磁気と医療

Magnetism and medicine

中川正祥

鉄道労働科学研究所

1. はじめに

磁気と人体との関わりの歴史は古いが、いわゆる科学的客観的な記載はごく近年のことであり、古い時代のそれらは半ば伝説の中にあるかのようなものである。

近代医学における磁気の実用は昨今目覚ましく、中にはそれなりの効果をあげているものがある。磁気と生体との関わりについては、難解な領域にあるだけに、なかなかこれという糸口は見つかっていない。したがって、それらはいずれもまだ手探りの中を進んでいるといっても過言ではないだろう。

無論、小さな磁石の製造や磁気探傷検査などの歴史も永く、産業医学面でも磁場環境の中から重要な疾患が発生したということは聞いていない。磁場の人体への作用は放射線や強力な化学物質に比べれば、そう強いものとはいえないだろう。医療自体は、すでに病に罹ってしまった人達に対して、有効な手段があれば（少々副作用があっても、それ以上に効果が期待できれば）それらを最大限に活用して患者を治そうとする方向を目指している。磁気もまた積極的に応用されることが望ましいことである。

一方、予防医学的な立場からは、磁場をはじめ電場、電磁場、低周波振動、超音波等々の及ぼす生物学的な効果に対しても、事前の傷害防止という方向へ進んでいる。これら個々の生体作用はもとより、複合的な効果についてはほとんどわかっていない。したがって、予防医学面での関心も怠ってはならないだろう。

ここでは、磁気と生体との関係について歴史的な背景を簡単に追って、近年殊に注目されるようになった磁場装置の医療への応用の現状を紹介する。

2. 磁気の実用：歴史的段階

ギリシャや中国では紀元前から磁石が医療に用いられていたといわれる。近世までに磁石を応用したとされる医師には、アビセンナ（アラ

ビア), パラセルス(スイス), メスメル(ドイツ)などが知られている。

Mesmerismという言葉は最後のF. A. Mesmer(1733—1815)に由来する。メスメルはウィーンでかなりの成功を納めていたが、1784年にフランスの学会の委員会が、今日では催眠と呼ばれているメスメル(1733—1815)の生物磁気に関する仮説を非科学的であると非難した。この事件はさほど公的客観的であったとは思われない¹⁾が、mesmerismの語は今日ではいいイメージを持たされていない。

一方、民間の磁気医療器も盛んで、19世紀に入って「磁気胸あて」、「磁石着物」、「磁石コルセット」に始って、磁石椅子、磁石帽子、磁石寝台、磁石メダル等々の特許申請が続々となされたという。この後、磁気療法は新たに現われた電気療法(透熱療法、超高周波場など)に比べると効果は少ないことがわかり、今世紀初頭から下降しはじめている。しかし、磁気療法が再三再四にわたって流行を繰り返していることは衆知のとおりである。

磁気が人体に対して明らかな作用を及ぼし得るかどうかについては、今日でも磁気光視(magnetophosphenes)²⁾の他には必ずしも確認されているとは言いがたいようである。この現象は、頭(正確には目の網膜)を20~50 Hz, 強さ100 G程度以上の交流磁場に入れた時に眼前にちかちかとする閃光を感じる現象である。

産業あるいは研究の場で磁石や磁場装置を扱っている人々を調査した報告では、手足の血管運動神経の異常を来したもの³⁾や脳波に異常を認めたとするもの⁴⁾がある。またアメリカで行われた調査⁵⁾では、もっと強い磁場へ入った例があるにもかかわらず、これという症候は見出されなかった。この件については、もっと新しい調査⁶⁾もされているが、依然明確な結論は出されていない。

また別の方向から、地磁気(約0.5 G)のゆるやかな変動が人の生活にいろいろな影響を及

ぼすとする報告が多く、最近に至っても次々と発表されている。Friedmanらによる地磁気の変化と精神科入院時期との関連⁷⁾や、入院中の精神病患者の挙動との関係を調査した報告⁸⁾は比較的初期のものである。

ソビエトでもこの方面の関心は強くRivkinは地磁気(1)のわずかな増加でヒトの死亡率や血管系疾患の発症が有意に増加するとした⁹⁾Lipa¹⁰⁾は地磁気とヒトの死亡率との関係を否定したが、Bardov¹¹⁾は磁気嵐を引き起こすくらいの太陽のフレアの発生(2)のあと、高血圧症患者の心血管系の発作の頻度が増すことを詳しく報告している。その後、イギリスのMalin¹²⁾はこれを調査して同じ結果を得たが、Knox¹³⁾の否定によって後で撤回する¹⁴⁾ということが起きている。この件についても結論は容易ではないようである。

以上少し詳しく述べたのは、果たして地磁気のような弱い磁場の変化でも、これらのことが起り得るのかという疑問のためである。地磁気の変化は太陽の活動との関係が深い(3)が、同時に、大気中のイオンの変化や天候の変化も関連して起こるので、人の生態系の微妙な変化は必ずしも地磁のわずかな変化のみによるものではないのだろう。

なお、生気象学(biometeorology)の分野では、0.5~20 Gの弱い回転磁場(0.5 Hz)が、ラットの再生産能やオペラント行動あるいは局所の病理組織学的な検索においても、種々の作用を及ぼすという報告を続けている一派もある¹⁵⁾。このような弱い磁場の曝露によって、生物に及ぼす磁場の影響がどんどん見つかるようであれば、この問題についてさほど混乱が起きずにすむのであるが、現実にはこの錯綜状態をいっそう進める結果になっているようである。

以上見て来たところでは、1960年代までの医学的な係わり方ではまだ不十分な点が少ないようだ。これらの報告は散発的なものも多く、再現性や傍証に乏しいように思われるのである。

3. 現代医療への磁気的应用

磁気を医療に応用する方向は、磁石相互の吸引力や反発力をそのまま利用するもの、磁気のもつ生体への特殊な作用を用いるもの及び各種の診断技術に応用するものの3通りが考えられる(表1)。

医療への応用は、その効果が有用でありまた客観的判断が可能と思われるものについては、一般的な関心も高まり追試が次々に行われるだろう。ここでは、文献的に多く見られるものを取り上げたが、2)の項目については骨折治療

に関するものの他は、ソビエトのものが多く追試数は充分ではない。

1) 磁磁性体相互の作用を用いるもの

これらには、顔面神経麻痺による上眼瞼の下垂を磁石の吸引力で引っ張り上げる方法、頸のむち打ち症を磁石の排斥力を用いて牽引しようとする方法、義歯の固定や胸郭の整形への応用などがある。¹⁶⁾

中でも文献的に最も多く検討されているものの1つは、腸切除術の後の人工肛門の体外への開口部に磁石を使用するものである。これは、

表1 近代医療における磁場の応用

1. 強磁性体相互の作用を用いるもの

Magnetic stoma seal (人工肛門の蓋)

Closing and opening the urinary passage (電磁ポンプによる尿道の開閉)

Shoulder harness (ムチ打ち症の時頸を牽引する)

Non-suture magnetic wound closure (傷の縫合)

Non-suture vascular anastomosis (血管の吻合)

End to end anastomosis of the intestine (腸管の吻合)

Magnets in dentures (義歯の固定)

Management of intraocular foreign body (眼の異物除去)

Biophysical targeting of antitumor agents (抗癌剤の腫瘍への誘導)

2. 磁気的生体への作用を用いるもの

Treatment of pseudarthrosis and spontaneous fracture (難治性骨折の治療)

Treatment of periarthrosis humeroscapularis (肩甲関節周囲炎の治療)

Treatment of ulcer of lower extremities (下腿潰瘍の治療)

Corneal wound healing (角膜潰瘍の治療)

Treatment of chronic inflammatory diseases of the female genital system

(婦人科系慢性感染症)

3. 診断への応用

Magnetocardiogram (心磁図)

Magnetoencephalogram (脳磁図)

Magnetopneumogram (肺磁図)

Mandibular kinesiography (顎骨の動作解析)

Magnetoflowmeter (電磁流量計)

Magnetic enzyme immunoassay (酵素測定)

Differential blood cell separation (血球の分類)

Magnetorheography (血流測定)

NMR clinical imaging (核磁気共鳴診断)

腹壁に縫合された腸の断端の周りに磁石のリングを埋め込んで、同じく磁石を封入された蓋がゆるやかにしかもびったりとシールするようにしたものである。この方法は1975年のドイツのHennig¹⁷⁾によるものがはじめとされるが、そのほか各国^{18, 19)}で試みられている。人工肛門の開口部の処理についての患者の悩みは大きく、この方法は判創膏によるかぶれを防ぐ役割をよく果しているが、一方大きな磁石リングを埋め込むために、生体の拒絶反応と術後の合併症が少なくないようである。

オランダで試作されたもので、腸切除のあとの腸吻合術に用いる磁石を応用した面白い器具がある²⁰⁾このリングは腸の内壁にちょうど納まる大きさが、2組みを合わせて各々6本づつの針が腸の粘膜面をかみ込んで吻合させるようになっている。外側の漿膜を縫合しておく、そのうちに腸が癒着し粘膜のかみ込まれた部分は磁石の圧迫で壊死してしまい、またそれによってリングは腸からはずれて体外へ排出される。この装置の最大のメリットは、吻合部の術後狭窄を防ぐことにあるということである。

歯科学の領域では、磁石を補綴材として応用しようとする方向があり、各国で検討が続けられている²¹⁻²³⁾これは、主として上顎骨あるいは下顎骨に残った歯根に手術を施してマグネットを埋め込んで、マグネットを仕込んだ義歯を固定しようとする方法である。このようにして固定された義歯は、顎骨に直に接しているために歯にも顎にも力がかかり、またそれによって顎骨の退化吸収を防いでいる。従来の義歯のような歯茎と義歯間の減圧による吸引力を用いた装着でないために、歯茎や舌をいたずらに広く覆うことがなく使用感がすぐれているといわれる。この研究は徳島大学では各学部の協力のもとに進められている²⁴⁾

そのほか本邦のものでは、Oboraら²⁵⁾のものをあげよう。これは脳血管や大腿の血管の縫合に小形のマグネットリングを用いて、すばやく

小血管を吻合してしまおうというものである。

磁性を応用したものとして、眼の中の異物の除去に用いる方法があるが、最近では非磁性の異物の処置にも応用されている。そのほかに面白い応用としては、抗癌剤と強磁性体を結合させて悪性腫瘍の方向へ導こうとするもの^{26, 27)}がある。まだ基礎研究の段階であるが、うまく行くようになればよい効果を上げることだろう。

これらの応用はいずれも磁石の強磁性を応用したものであり、できれば生体組織への直接作用はない方がよい。これまでの報告では、金属の毒性を別にすれば、磁気の組織への影響はなかったとしている^{16, 21, 25)}

2) 磁気の生体への作用を用いるもの

現在最も多くの治験が繰り返されているのは、交流磁場を難治性の骨折の治療に用いようとするものである。

これは世界各国で試みられており、中でもアメリカのBassett²⁸⁾らは熱心である。アメリカでは年間10万人以上の未治癒骨折(nonunion)が発生するといわれる。この10万人当り50人の発症という情勢は本邦や他の国でもさほど変わらず、しかもこの数は年々蓄積されて行くから、整形外科医学では隠れた大きな問題の1つである。

Bassettらは、難治性骨折や先天性偽関節患者に種々の周波数と波形の交流電流を通じた磁場をかけて、その効果を比較している。これらの波形や周波数は新鮮骨折の治癒促進の場合とは少し異なるといわれる。この装置は比較的簡単なもので、米国のElectro-Biology, Inc.より発売されており、本邦へも輸入の手續きが進行中とのことである。

そのほかには、肩甲関節周囲炎の治療²⁹⁾や難治性の下腿潰瘍の治療³⁰⁾に試みている例などがある。

これらは大部分は50~60Hzの通常の商用周波数の交流磁場を用いているところが特徴であり、また磁場の強さは数十Gから数百Gである。私は、磁場は初回の比較的少ない曝露量では生

体に対して刺激的な作用を及ぼし得ると考える³¹⁾ものであるが、交流磁場のほうがその作用は定常磁場より強いのだろう。一方、民間療法として、あるいは中国における東洋医学の経絡と結びついた永久磁石による鎮痛療法があるが、この客観性については検討が難しくやや不十分な点を残している。

3) 診断への応用

診断への磁場の応用は近年盛んである。生体の電気現象に付随した弱い磁場の变化から生体情報を得る心磁図 (magnetocardiogram), 脳磁図 (magnetoencephalogram), 肺磁図 (magnetopneumogram) があり、磁石を応用したMKG (mandibular kinesio graphy)あるいは、電磁流量計 (magnet of lowmeter)や非観血的な magnetorheography もある。また、磁場を応用した血球の分類や、酵素測定 (magnetic enzyme immunoassay) のような臨床検査への応用がある。

最も問題となっているのは、NMR clinical imaging と呼ばれる磁場を用いた臨床診断法の一つであるが、これは定常磁場と同時に回転磁場あるいは強力なパルス磁場や勾配磁場及び高周波の電磁波を同時に負荷する点が、これまでの単一な磁気曝露と異なっている。NMRによる診断法の特徴はX線の持つ硬組織の造影、超音波診断法のもつ軟組織の計測に加えて、体液に関する情報を提供するものといわれる。ことに悪性腫瘍にあつては、その核磁気緩和時間が正常より2~3倍になり、³²⁾きれいな像が得られるようになれば有用性は高い。

NMR imaging 装置へ入ることによって起るかもしれない傷害についての検討に関しても報告が出始めている^{33, 34)}が、現在は重要な事項についての陽性所見はないようである。

前項2)の磁気を持つ特殊な作用を治療に用いる例についてふれたが、治療に用いられているのは交流磁場の例が多い。問題はその強さと曝露時間である。強い定常磁場あるいは弱い磁

場でも長期間の曝露では、これまでの多くの報告に見るように生体に対して抑制的な作用を及ぼす可能性がある。また比較的短い曝露時間(16時間)³⁵⁾では刺激的な作用もあるようであるが、観察する指標によっても異なりその境界については今だに判然とはしていない。

また、初期の刺激的な段階にあつては、磁場の生体への作用は可逆的な機能性の変化である。この段階で器質的な変化はまだ捉えられていない。臨床に应用されるNMR imaging では器質的な変性が捉えられることはまずないと考えられるが、電磁場や交流磁場との相互作用についてはなお不明の点が多く、今後の慎重な検討が期待されるところである。

4. まとめ

磁気を医療に应用した歴史は古く、昨今でも民間療法では人気の高いものである。磁場が人体に対して何らかの作用を及ぼしている可能性も考えられるが、その作用は弱い方に属し、客観的な作用を検出することは容易ではない。

長期間の大量の磁気曝露では、一般に動物の生命活動は抑制される傾向にあり、一方短時間の曝露では生物学的過程 (biological process) を賦活することがいくらか報告されている。この後者の例では、交流磁場を用いて難治性骨折や下腿潰瘍の刺激療法として効果をあげている。

磁場の医療への応用は、臨床検査や装置診断の面でも、大幅な進歩をとげつつある。中でもNMR clinical imaging は、プロトンへ照射した交流磁場や電磁場の複合した反応を検出するものであり、その生体への影響についてはなお不明の点が多い。

文 献

- 1) Холодов, Ю. А.: Введение в проблему. В кн.: Холодов, Ю. А. ком. 'Влияние Магнитных Полей на Биологические Объекты' 5-14, Издательство, Наука, Москва, 1971

- 2) D'Arsonval, A.: Dispositifs pour la mesure des courants alternatifs de toutes frequences, C.R. Soc. Biol. Ser. 100 (Paris) 3: 450-451, 1896
- 3) Вялов, А. М.: Магнитные поля как фактор производственной среды. Вестн. Акад. Мед. Наук. СССР, 22(8): 52-58, 1967
- 4) Вялов, А. М. и Шнильдерз, П. И.: Влияние магнитных полей в условиях производства на центральную нервную систему. Жиз. Санит. 34(4): 30-35, 1969
- 5) Beischer, D. E.: Human tolerance to magnetic fields, Astronautics, 7: 24-25, 46, 48, 1962
- 6) Budinger, T. F., Wong, P. D. C. and Yen, C.-K.: Magnetic field effects on humans: Epidemiological study design. in 'Biological Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields. Proceedings of the Richland, Washington, Oct 16-18, 1978' DOE Symposium Series 50, CONT-781016, 379-399, 1979
- 7) Friedman, H., Becker, R. O. and Bachman, C. H.: Geomagnetic Parameters and psychiatric hospital admissions, Nature, 200: 626-628, 1963
- 8) Friedman, H., Becker, R.O. and Bachman, C. H.: Psychiatric ward behavior and geophysical parameters, Nature, 205: 1050-1052, 1965
- 9) Рывкин, Б. А.: В кн. Солнце Электричество, Жизнь. М. 93-95, 1972
- 10) Lipa, B. J., Sturrock, P. A. and Roget, E.: Search for correlation between geomagnetic disturbances and mortality, Nature, 295: 302-304, 1976
- 11) Бардов, В. Г., Габович, Р. Д. и Никберг, И. И.: К проблем связи частоты возникновения Гипертонических кризов с изменениями солнечной активности и напряженности магнитного поля земли. Жиз. Санит. 42(8): 111-115, 1977
- 12) Malin, S. R. C. and Srivastava, B. J.: Correlation between heart attacks and magnetic activity, Nature, 277: 646-648, 1979
- 13) Knox, E. G., Armstrong, E., Lancashire, R., Wall, M. and Haynes, R.: Heart attacks and geomagnetic activity, Nature, 281: 564-565, 1979
- 14) Malin, S. R. C. and Srivastava, B. J.: A retraction, Nature, 283: 111, 1980
- 15) Persinger, M. A. ed.: ELF and VLF Electromagnetic Field Effects, Plenum press, New York, 1974
- 16) Hennig, G., Feustel, H. and Hennig, K.: Rare earth-cobalt magnets in modern medicine. Goldschmid Inform. 35: 85-90, 1975
- 17) Hennig, F. H.: Kontinente Kolostomie durch Magnetverschluss, Dtsch. med. Wschr. 100: 1063-1064, 1975
- 18) Bauer, J. J., Wertkin, M.G., Gelernt, I. M. and Kreel, I.: A continent colostomy: The magnetic stoma cap, Amer. J. Surg. 134: 334-337, 1977
- 19) Heald, R. J.: Colostomy made continent by magnetism, Bri. J. Hosp. Med. 21 (6): 640, 1979
- 20) Jansen, A. et al.: Early experience with magnetic rings in resection of the distal colon, Neth. J. Surg., 32 (1): 20-27, 1980
- 21) 敦英雄, 今井庸二, 渡辺昭彦, 増原英一: サマリウム-コバルト磁石の組織反応について, 医用器材研報, 11: 43-47, 1977
- 22) Cerny, R.: Magnetodontics. The use of magnetic forces in dentistry, Aust. Dent. J., 23 (5): 392-394, 1978
- 23) Moghadam, B. K. and Scandrett, F. R.: Magnetic retention for overdentures, J. Prosthet. Dent., 41 (1): 26-29, 1979
- 24) 筒井英夫ほか: 希工類コバルト磁石と歯科鑄造用強磁性合金の歯科応用に関する基礎的研究, 昭和54・55年度科学研究費補助金一般研究 (A) 報告書, 1981
- 25) Obora, Y., Tamaki, N. and Matsumoto, S.: Nonsuture microvascular anastomosis using magnet ring: Preliminary report, Surg. Neurol. 9: 117-120, 1980
- 26) Widder, K. J., et al.: Magnetically responsive microspheres and other carriers for the biological targeting of antitumor agents, Adv. Pharmacol. Chemother., 16: 213-271, 1979

- 27) 加藤哲郎ほか：磁気を利用した癌化学療法の基礎的研究, I. 強磁性マイトマイシンCマイクログラブセルの試作と特性, 日癌治, 15 (5): 876-880, 1980
- 28) Bassett, C. A. L., et al.: A non-operative salvage of surgically resistant pseudarthroses and non-unions by pulsing electromagnetic field, Clin. Orthopedics, 124: 128-143, 1967 1977
- 29) Todorov, N.: Die Behandlung der Periarthritis des Schultergelenkes mit einem wechselnden Magnetfeld in einem Impulsregime, Z. Physiother., 31 (2): 93-97, 1979
- 30) Tyuryaeva, A. A., Ponizovsky, V. M. and Akimov, G. L.: Alternating magnetic field effect upon healing of ulcer of the lower extremities, Vestnik. Khirurgii. Imeni I I Grekova, 119 (8): 84-85, 1977
- 31) 中川正祥：磁気環境に関する衛生学的考察, 産業医学, 印刷中
- 32) 阿部善右衛門, 山田芳文：核磁気共鳴現象によるイメージング, 医用電子と生体工学, 17 (7): 58-65, 1979
- 33) Wolff, S., Crooks, L. E., Brown, P., Howard, R. and Painter, R. B.: Test for DNA and chromosomal damage induced by nuclear magnetic resonance imaging. Radiology, 136: 707-710, 1980
- 34) Mallard, J., Hutchison, J. M. S., Edelstein, W., Ling, R. and Foster, M.: Imaging by nuclear magnetic resonance and its biomedical implications. J. Biomed. Eng. 1: 153-160, 1979
- 35) 中川正祥, 室屋英幸：定常磁場がマウスの行動行為と平衡感覚に及ぼす作用, 第54回日本産業衛生学会講演集, 380-381, 1981

緩和時間

静磁場中に置かれたスピン系(核)に、共鳴条件にある強い高周波磁場を突然に印加すると、素速くスピン系にエネルギーを与えることができる。このとき、はじめ静磁場(z軸)の方向にあった磁化は、高周波磁場(x軸)のまわりに回軸をはじめめる。磁化が丁度90°倒れたときに高周波磁場を取り除くと、磁化はxy面内で才差運動をはじめめる。磁化を90°倒して、横磁化を発生させる高周波パルス(90°パルス)という。y軸方向に高周波コイルを巻いておくと、横磁化の才差運動によって、コイル中に高周波電流が誘起される。その振幅は磁化の大きさに比例する。個々のスピンの感じる局所的な磁場は、それぞれ僅かに異なるので、最初位相がそろっていた横磁化は、次第にばらばらになっていく。このためコイルに誘起される電流も、指数関数的に次第に減少していく。このとき観測される信号

FID

を自由誘導減衰(free induction decay, FID)信号という。理想的な条件化では、減衰の時定数は T_2 であるが、一般には静磁場の不均一性によって減衰の速度は決められる場合が多い。実際に観測されるFIDの減衰の時定数 T_2' は

$$1/T_2' = (1/T_2) + (1/T_2^*)$$

T_2^* が静磁場の不均一性による寄与である。

FIDは時間とともに変化する信号であるが、これをフーリエ変換(FT)することによって、周波数領域の信号を得ることができる。これをパルス-FT法という。パルス-FT法は単位時間当りの感度が高いので、最近、高分解能スペクトルはこの手法によって測定されることが多い。また、NMR映像法でも、殆んどがFIDあるいは、スピン・エコー信号を観測し、これをフーリエ変換した後、二次元あるいは、三次元の像を得ている。