

会報21号

2009年3月発行

磁気と健康



Information
on The
Magnetic
Health Science
Foundation

財団法人 磁気健康科学研究振興財団

目次

1. 人間と電子・機械システムのインターフェイス 1

(東京電機大学 理工学部電子情報工学科 内川 義則)

1. はじめに
2. 人間と電子機械の間にある新しい言葉
3. おわりに
4. 参考文献

2. 磁気の医療応用—最近の研究から 6

(電磁界情報センター 重光 司)

1. はじめに
2. 経緯
3. 磁界の治癒効果に対する最近の論文
 - (1) 骨粗鬆症に対するパルス磁界の臨床試験
 - (2) 直流磁界による治療：評論
 - (3) 直流磁界により治療：軽量面からの考察
 - (4) 痛覚閾値と電磁界
 - (5) 磁気治療としての磁石の経穴装着
 - (6) 痛覚抑制と磁石
4. まとめ
5. 参考文献

1. 人間と電子・機械システムのインタフェース



東京電機大学理工学部電子情報工学科・教授・工学博士
財団法人磁気健康科学研究振興財団 評議員

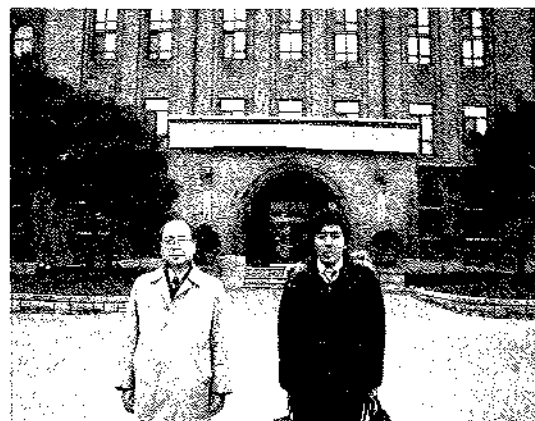
内 川 義 則

1. はじめに

事務局より本財団が発行している会報誌「磁気と健康」3月号への原稿の依頼が1月末ごろありました。今回は、「生体磁気信号で健康を測る」と題して脳の電氣的活動によって発生する脳磁界を記録した「脳磁図 (MEG)」や心臓の電氣的活動によって発生する磁界を記録した「心磁図 (MCG)」などについて紹介しました。今回は、事務局から内容は自由で良いとのことから何を書こうかと考えてみました。そこで、今年の1月15～16日にイギリス (UK) のスタッフォード (Staffordshire) 大学で開かれましたHAM (Human Adaptive Mechatronics) ワークショップでの講演と2月26日のソウル大学病院MEGセンターおよび27日のソウル市内のスンシン (Sungshin) 女子大学で開かれました「2009Biomagnetics (生体磁気) Korea」での講演に出かけた際の写真を混ぜながら日頃よりノートに思い綴ったいくつかの話題を紹介しようと思います。



HAMワークショップ会場
Staffordshire大学 (UK)



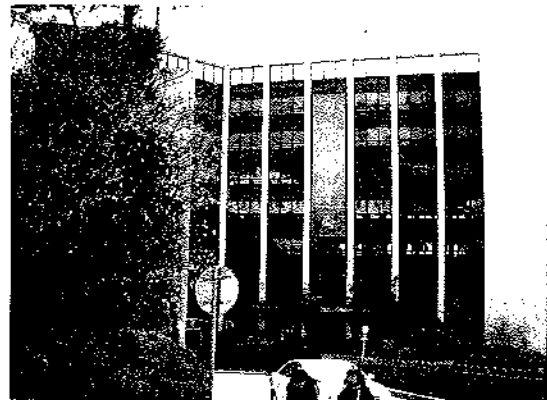
ソウル大学病院MEGセンター訪問
医学部前にて (右側は田中博士)

2. 人間と電子機械の間にある新しい言葉

現代社会において、私たちは、自動車、家庭電化機器、情報機器、通信機器など多くの電子・機械装置に囲まれています。社会生活を営む上でもこれらの電子・機械装置は、私たちに対して空間的な広がりや時間的な拘束からの解放と余暇を与え、結果的には、人間にとって大事なものの一つである「自由」を拡大させてくれるので無くてはならないものとなっています。例えば、かつての電話は、人間のコミュニケーションをとる道具として有用な通信機器の一つでしたが、今に見る個人使用の携帯電話は「いつでも (whenever)、どこでも (everywhere)」、すなわち、ユビキタス (ubiquitous) 環境に最適であり、インターネット機能も搭載した情報端末機器としてパソコンと同様、インテリジェント型電子機械装置に変化したと言えるでしょう。このように、技術者によって創り出される電子機械装置には、多くの機能が取り入れられ、結果として、自分の行動までをこの装置の出力結果を参考に従うこととなります。例えば、道案内をしてくれるナビゲーションシステムは、目的地までの道の混みぐあいと到着時間を予測して運転者に知らせてくれます。運転者はさらに最短な道筋をシステムに尋ね、システムはまた答えを出すこととなります。このような状況を見ますと、人間と機械は会話をしていることになり、最早、機械は人間に従属するものではなく対等な関係になっています。そこでは人間と機械の共存が起きることになり、やがて人間と機械装置との相互理解が必要となることでしょう。



朝日の中に浮かぶ城のような
古い教会 (Stafford市内)



2009Biomagnetics Koreaの会場
Sungshin 女子大学(ソウル市)

そこで、次に、従来の人間と機械の関係を考えてみましょう。今でもそうですが、初心者が機械の操作や運転を行うとき、人間は機械の操作のための説明書を読み、その操作の為に訓練や学習を行い、あるレベルに達した後に操作が出来るようになります。例えば、自動車の運転、自転車の乗り方、さらにはパソコンの操作なども良い例であります。すなわち、ここでは人間が機械の操作のために自分の技能や技術を磨く図式ができあがります。このことは人間が機械に合わせている関係にあり、機械主導型であることが分かります (図1)。そこ

で、人間が機械に合わせるのではなく、機械の方が人間の技能や操作する能力の程度を読み取り、その時点での人間の操作を支援するような電子・機械装置、すなわち、機械が人間に合わせる図式となる電子機械システムの考え方が望まれます(図2)。このように機械装置の方が人間の技能や技術の程度を読み取り、最適に動作する電子機械システムをHAM (Human Adaptive Mechatronics) と名づけて呼ぶことにしています。

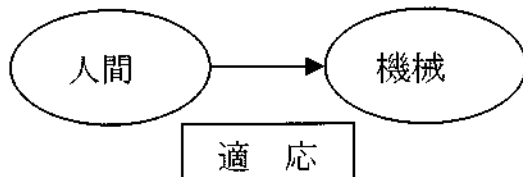


図1 機械主導型

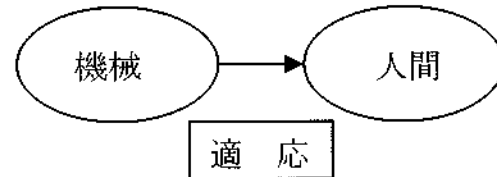


図2 人間適応型

このHAMのルーツについて紹介しましょう。上述のHAMの考えに基づく人間・機械システムの研究プログラムを立案して文部科学省支援の21世紀COEプログラムに応募し採用された東京電機大学21世紀COEプログラム「操作能力熟達に適応するメカトロニクス」に起源を発しています。本プログラムは制御系、人間系、機械系の3グループからなる研究体制の組織の下、2003年から2008年3月までの5年間にわたって行われてきました(文献1)。私もこのプログラムでの人間系グループリーダーとして「高次脳機能イメージングの研究」を行い共同研究者の支援を受けながら「脳内の複数信号源の推定法の研究」(文献2)やHAM技術の応用例として人間と機械を結ぶインタフェース技術の開発で運転中に眠気を感じたときの目の動きを分析して警報(音)を出して覚醒させて交通事故を防ぐような「眠気推定・警報システムの開発研究」(文献3)を行いました。人間グループでのその他の成果には、補助人工心臓の開発、手術支援用ロボットの開発などがあります。ここに紹介しました東京電機大学COEプログラムでのHAMの定義を以下に示しておきます。

「HAMとは、様々な環境下で人間の熟達度に適応してその熟達を向上させ、最高の機能を発揮するように人間・機械系全体を支援するインテリジェントな機械システムの総称である」と定義されます(文献1)。

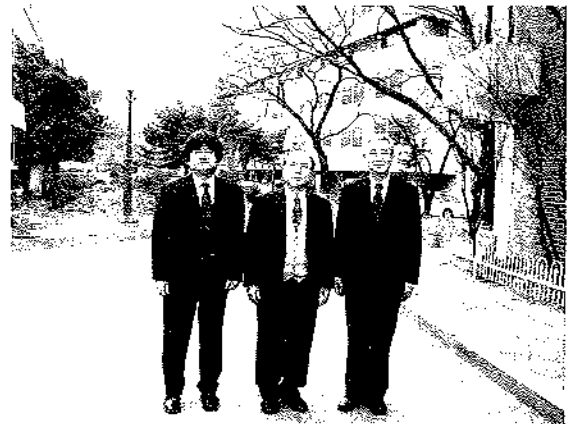
このHAM技術は、人間・機械系を論じる学問であり、その進展には人間についての特性を知ることが大変重要です。そのためには、電気電子・機械などの工学系のみならず心理学や医学分野などからなる複合的境界領域の学問分野となっています。

HAMの考え方が大事になる分野の例として福祉工学分野があります。この分野の電子機械装置にはきめ細かい配慮が必要となります。個人の障害の程度に応じて装置を提供するためには、対象となる障害者の部位(腕、足、肩、視覚、聴覚など)の特性を求めることが要

求されます。そのためには、例えば、支援用ロボットを製作し提供する際、電気電子工学の立場から考えると生体情報の計測、信号処理、駆動用電子回路、制御回路など多くの作業が伴います。そして、これらの要素技術の集結が装置を作り出すことになるわけですが、HAMの考えはさらに、対象者の技能や技術状況を把握しシステムそれ自身が変化していかなければならないのです。そこには、人間の行動をも予測する技術が含まれています。すなわち、人間の感性や意識の計測がやがて必要となってきます。しかしながら、現在の科学技術は脳科学を含めてまだ研究中でその領域まで到達していませんがとても大切な一面を持っています。なお、人間と機械の将来像についてさらに深く考えたい人のために、本稿の参考文献に本財団理事長の斉藤正男先生の著書(文献4)を照会しておきましたので参考にしてください。



宿舎の隣にあった古い建屋の
博物館 (Stafford市内)



ソウル大学病院MEGセンター
(右がChung教授、左がKim博士)

3. おわりに

おわりにこの章では、私のノートに綴った記録を再度拾い上げ修正し、今後に残された研究課題のひとつとして、本稿のまとめにしてみました。

私の勤める大学にとっての3月は「師走」で、3月31日は「大晦日」であり、4月1日は「元旦」と考えることができます。このように暦にも、日常的な1月から始まる「暦」とは別な「時間の暦」があることがわかります。一方、物理的な時間の一秒は「時間単位」として決まっていますが、物理の世界を離れて「心の時間」に移りますと、時間についての長短や進みの速さに対する感じ方は、人それぞれに異なり、物理科学の世界における「定量的な共通尺度」とは異なってきます。言い換えれば、その人の心の状態で、時間の長短が決まってくることを意味しています。楽しい事や好きな事で過ごしている時間、あるいは、大事な物事の始まる直前で準備に追われている時間は、進みが速く短く感じられ、一方、強制された物事の中にいる時間、悲しみの中に過ごす時間、勝ち試合での終了間際の残り時間などは進みが遅く、長く感じるものがしばしばあることと思います。言い換えれば、同じ時間量に

対する感性は、行動が能動的で、充実感や達成感など、「心の充実さ」をもたらす時間は短く感じ、行動が受動的で、嫌悪感や空虚感など、「心に不快感」をもたらす時間は長く感じるようになります。また、それらを過ごした時間の心の状態は、季節感にも例えられます。例えば、快さや充実さなどの幸福感は、冬にあっても春や夏の季節感に、また、満たされない忍耐の時期は、たとえ真夏であっても冬の季節感として表され、自然界の流れに沿った「暦」に見られる四季の季節感とは別な時間（季節）となります。このように、心の中に流れた時間の季節的・風景的な表現は、文学の中だけでなく、私たちの日常生活の中にもしばしば見ることができます。それでは、生体信号計測の観点から考えてみましょう。

今日では、上述したような「人間の感性」を測り、会話ができない病人やベッド生活者と介護者とのコミュニケーションに役立たせようとするセンシング技術の開発が求められています。これらを測り定量化するためには、「尺度」が必要となります。物理計測では、温度には温度計、圧力には圧力計、重さには天秤というように「測定物理量と測定器」が対応しています。しかしながら、「痛みや痒み」、さらには「美しい、嬉しい、悲しい」などの感覚（感情）は、従来の物理量とは異なり、本人のみがその強さや弱さの程度を知るもので「心の中で感じる量」であり、物理量としての「単位」はまだありません。しかしながら、これらの感性も脳の中で行われる物理化学的現象の一つと考え、「物差し」すなわち「尺度」作りに挑戦している人々が世界中にいるのです。しかしながら、現在の科学技術は脳科学を含めてまだ研究中でその領域まで到達していませんがとても大切なことと考えています。やがてベッド生活者と介護者の意思伝達ができる日がくることを期待しております。

私も自己研鑽の途中にて浅学非才を省みず自分の思いのままにつづりましたが、読者諸氏の皆様の一助になれば幸いに思います。最後に、事務局の皆様には筆が遅いことでお世話になりここに感謝申し上げます。

4. 参考文献

1. 東京電機大学21世紀COEプログラム、平成15年度～19年度研究活動報告書
<http://www.ham.coe.dendai.ac.jp> (2008).
2. Bong-Soo Kim, Yoshinori Uchikawa, Estimating multiple sources in somatosensory area to SEF of finger stimulus using SVD and time-frequency analysis, *Int. J. Modelling, Identification and Control*, vol.4, No.4, 323-330 (2008).
3. A.Ueno, S.Kokubun, Y.Uchikawa, A prototype real-time system for assessing vigilance level and for alerting the subject with sound stimulations, *International Journal of Assistive Robotics and Mechatronics*, vol.8.No.1.19-27 (2007).
4. 斉藤正男、ハイテク・ITで変わる人間社会－人間と機械の異文化交流－、コロナ社(2006).

2. 磁気の医療応用—最近の研究から—

電磁界情報センター

重 光 司

1. はじめに

紀元1世紀に電気魚を利用して頭痛や痛風を治療することが知られていた。約500年前、スイス生まれのドイツ人医師パラケルスス(1493-1541)が磁石を使って下痢、ヘルニア、黄疸や出血を治療したとされている。さらに、イタリアのガルバーニがカエルの下肢筋の痙攣によって生物電気を発見した。このような経過を経て、電気と生物との相互作用についての興味、電気と生命現象との間にどのような関係があるのか、電気は生物に如何に作用を及ぼしているのか、また生物が如何に電気情報を利用しているかなどについての問題が多くのヒトの興味を誘い、多くの実験、理論的な研究が行われてきた。

電気の医療応用は20世紀に入ってから注目されるようになった。1950年代より外因および内因性の電気刺激が骨格系の修復に影響を加えるとする研究が公にされてからである。それ以降、電気刺激が骨折治癒を始めとして多くの臨床的な応用がなされ、その方法は直流、交流、変動電磁界が用いられている。Blackは電気刺激を「外部から電磁界を加えることにより、増殖、修復、再構築などの量の速度に統計的に有意な増加を得ること」と定義している。

2. 経緯

これらの電気刺激についての基礎・応用研究が進められたのと並行にして、電気刺激の生体への影響、特に低周波(ELF)電磁界のヒトの健康への問題についての基礎的および応用研究が進められてきた⁽¹⁾。表1に電磁気現象と生体との関係における諸発見の歴史的経緯を示す。神経への磁気刺激に見られるように磁気現象を利用した医療応用の基礎研究が進められ、臨床に用いられている技術の発展が見られる。一方、1960年代以降は低周波電磁界の健康への影響問題が広く取り上げられている⁽²⁾。

ここでは、低周波電磁界の生体への影響についての研究を概観しながら、電磁界のプラスの効果、医学的な応用の可能性について考察を加えてみる。

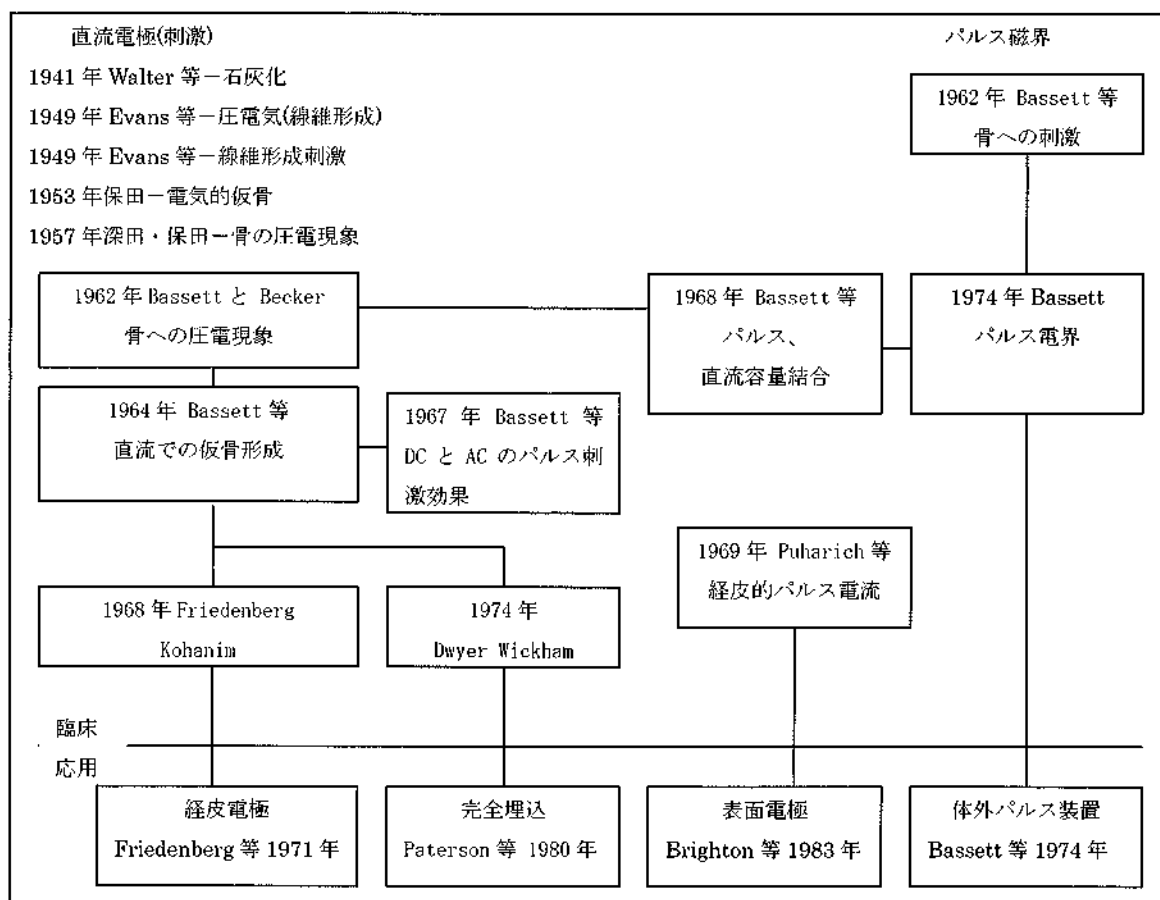
表 1 : 磁気医療関連の経緯

1 世紀	電気魚により、痛風治療
1493	パラケルスス、磁石による治療
1600	ギルバート、地球磁石
1786	ガルバーニ、生体電気
1848	デュ・ボア・レーモン、神経線維興奮伝達
1864	マックスウエル、電磁気学理論
1891	テスラ、高周波電流の医療応用の可能性
1896	ダルソンバール、視覚電気・磁気閃光
1953	保田、骨の圧電現象
1959	コリン、神経の磁気刺激
1960 年代	低周波電界の健康影響問題
1962	バセット、電気刺激による骨折治癒の可能性
1979	低周波磁界の健康影響問題
1985	バーカー、大脳への磁気刺激
1988	上野、8 字形コイル磁気刺激
2000 年代	高周波電磁界の健康影響問題
2003	MRI の医療応用

電気刺激を臨床に応用しようとする試みは、保田等の骨の圧電気現象の発見と微小電流による電気刺激が仮骨を形成させるとする報告に端を発している。保田等の発見以降、1962年にはBassett等が、1966年にはFriedenberg等が骨の圧電気現象を報告した。その後、多くの研究者により骨の電気特性、電気刺激による骨折の修復などに関する研究が報告され、臨床にも使われるようになり、現在に至っている。用いられている刺激方法は侵襲法 (Invasive method)、非侵襲法 (Non-invasive method) および電極の刺入法 (Semi-invasive method) などに大別される。現在、電磁界の医療応用は以下のような領域で行われている。骨の治癒、神経刺激、傷の治癒、関節処置、電気鍼療、組織の再生などである。骨の治癒を取り上げると、骨、偽関節の治癒にはパルス電磁界 (PEMF)、交流電磁界 (AC) や直流電磁界 (DC) が用いられている。米国食品医薬品局 (FDA) はPEMF、AC、DCの使用について、特に交流およびパルス方式ではその繰り返し刺激周波数は低周波帯 (ELF) を使用し、DC装置では、磁界強度が10mT、電流は0.1 μ A以上からmAとして、仮骨の修復への応用に適用されている。

電気を利用しての骨折治癒などへの臨床的な応用についての試みがなされてきた。特に、骨折の治療などへの磁気刺激の応用は成功例とされている (例、US FDA)。このような有効的な刺激は磁界による電界の誘導と考えられ、誘導される電界の大きさは0.1-1 V/mと言われている。この大きさの電界を生体内に誘起発生させる磁界強度は数十から数百 mTとされている。その他の磁気刺激の応用例を表3に示す。磁気刺激としてこれまでに検討が加えられ

表 2 : 電磁界の臨床応用の経緯 (1)



ているのは、筋骨格系、リウマチ性の疾患、軟組織の再生、神経系の疾患、がん、心臓への刺激などが考えられている。骨の再生については、骨の形成には骨芽細胞や破骨細胞が関係しており、これらの細胞に対する低周波電磁界の効果を観察した研究がなされている。直流磁界による研究や応用例は数多くなされているが、その作用メカニズムが解明されていないものが多い。しかし、再現性のあるような結果も報告されているが、応用として臨床的に認知されたものは数多くない。小型の磁石を体表面に貼り付け、肩こり、神経痛、リウマチなどに効き目があるとの報告があるが、効き目に対して疑問視されている状況(Placebo効果)でもある。これについては、最近発表されている研究を後ほど紹介する。

乳がん自然発症マウス (C3H/Bi) や白血病で必ず死亡する系統のマウス (AKR) を用いて寿命、造血系への磁界の影響実験が行われている。BellossiらはAKRマウスを直流およびパルス磁界に曝露してその寿命を調べ、寿命が延長する結果を示し、磁界曝露は白血病の進行を抑えるように作用していることを報告しているが、同時に、C3H/Biマウスでは曝露による寿命変化については、対照群と曝露群との間に有意な違いを見出していない。また、C3H/Biマウスを12, 100, 460 Hzで6 mTの磁界に曝露した場合には、腫瘍の大きさは460 Hzで小さく

表3：磁気刺激の応用分野例

筋骨格系	骨治癒 整形	偽関節 先天性偽関節 骨粗しょう症 関節 ペルテス病	パルス磁界 ペルテス病：若年層の大腿骨突発性壊死
リウマチ性疾患	関節	慢性関節リウマチ 変形性関節病	
軟組織再生	下肢潰瘍		
神経系疾患	多発性硬化症 聴覚異常（耳鳴り） 神経症（情動障害）		
がん 脳内虚血 （突発）			生存延長(?)
心臓	心筋刺激		心不全対処
心理物理的調節	直立バランス		

なり、その他の磁界では変化が見られていない。また、AKRマウスを4世代にわたって白血病発症、体重変化などを調べているが、磁界曝露による影響を見出していない。

ヒトの腺がん細胞（human colon adenocarcinoma）を1 Hzと25 Hzの周波数で1.5 mT磁界に、15分と6時間曝露して24時間培養した場合、15分間曝露で両周波数磁界では細胞の活性は増加し、1 Hz、6時間曝露では低下し、25 Hzで6時間曝露では変化が見られなかった。MCF-7細胞では20 Hz、5.3 mTの磁界で1日当たり12時間曝露した場合、増加が観察され、15 Hz、0.1 mTへの曝露ではMCF-7細胞での細胞の活性には磁界曝露の影響は見られない報告もある。これには用いた細胞株の違いが関係している可能性がある。一方、HeLa細胞を0.8 Hzで0.18 Tのパルス磁界にした場合、増殖が低下していることが報告されている。また、ヒトのがん細胞系（HTB63, HTB77IP3, CCL86）を7 Tの直流磁界に曝露した場合、増殖の抑制が観察されている。

リンパ性白血病モデル（LGLLマウス）を60 Hz、1 mTの直線磁界に曝露した際の白血病の進展状況について対照群との違いが見られていない。また雌雄のBalb/c等マウスにベンツピレンでがん化させた後に0.8 Hz、100 mTの方形波磁界に死亡するまで曝露した場合には、腫瘍の成長が磁界曝露で低下し、延命することが示されている。

このように様々な曝露条件ならびに様々な目標に着目して基礎的な実験が多くなされている。実験によっては、直流磁界・パルス磁界のプラス効果が観察されている。一方、低周波磁界曝露での医療への応用についても数多くの報告がなされている。整形外科（偽関節等）

への応用例が比較的多く試みられているが、治療として電磁界を用いた応用については十分に受け入れていない。これは、電磁界のプラスの効果を意図した実験でも、その再現性が確認されていないことによる。これは、電磁界の作用メカニズムが十分に分かっていないことによると思われる。例えば、電磁界に曝露されて生体がどのような初発反応をするのか、それがどのようなシグナルとして変換されるのか。生体での変化はある範囲内(恒常性)で生じ、機能的な影響は生み出さないと見える。初発の反応で変化した事象が連続的にかつ多段階的に最終段階に到達し、その反応が最終段階で有効的に働くのか、悪影響として働くのかなど、基本的な面が十分理解されていないのが現状である。低周波磁界を利用したとする治療では、生体内に起電力が誘起され、渦電流が生じる。そのため、低周波磁界の治療への応用は、磁気による生体内に誘起される電気的な効果とみなすことができる。

直流磁界の循環器系への作用についての研究動向は大久保、岡野によって取りまとめられている⁽³⁾。

3. 磁界の治療効果に対する最近の論文

2007年以降、公表された総説を中心にパルスおよび直流磁界の医療効果についての現状を紹介する。骨粗鬆症に対するパルス磁界、磁気治療として直流磁界、磁石を用いた場合の症例を総合的に精査している。

(1) 骨粗鬆症に対するパルス磁界の臨床試験⁽⁴⁾

本論文では、「パルス磁界」と「骨粗鬆症」のキーワードを用い、1996年から2007年に発表された10件の英文ならびに101件の中国語で書かれた論文を拾い上げ、34件から、骨粗鬆症に対するパルス磁界の臨床試験での状況を調べた。取り上げた調査は、骨粗鬆症患者の慢性的な痛み、骨密度(BMD)、骨強度、骨の代謝指標などに対するパルス磁界の効果である。初期の骨粗鬆症患者での痛み、苦痛についてパルス磁場で和らげられること、骨密度は骨粗鬆症の治療効果を判断する指標として使われている。骨密度に対するパルス磁界の影響については、最初、骨粗鬆症傾向にある女性で骨密度の増加を報告している。骨粗鬆症患者では骨密度に影響しない結果も報告されている。全体として、骨密度の改善に対するパルス磁界の効果は不明であるが、報告としては改善傾向が見られる。例として、50Hz、20mTのパルス磁界、30日継続で効果が見られている。骨強度に対しては、骨芽細胞によって生成される血清オステオカルシンとアルカリホスファターゼ(ALP)が指標となる。血清オステオカルシンがパルス磁界処理1、2ヶ月後で上昇する研究、一方、ALPレベルには処置前後での違いがない結果がある。全体的に明確なことは言えない。パルス磁界が骨粗鬆症の治療に最近使われ始めているので、幾つかの報告を総合的に検討した。臨床的には、パルス磁界の効果的な結果が見られる。しかし、多くの研究は観察によるものであり、科学ベースに基づいた研究が必要であり、またランダムな二重盲検法によるアプローチが望まれる。

(2) 直流磁界による治療：評論⁽⁵⁾

直流磁界による治療効果を意図した治療方法は古くから行われている。しかし、永久磁石を皮膚に貼る磁気療法については、その有効なばく露量、治療方法が確立されていないという点から、Colbertは、データベースから56通の報告書を精査し、磁石を用いた治療試験の問題点として、磁石を用いた臨床評価結果を要約し、有効な直流磁界のばく露量ならびに関連する指標、今後の臨床試験への適用の3点を明らかにすることを本論文で示している。特に、表 1 に示すような10通りの指標について、どのように扱われているかについて取りまとめている。扱った研究報告56件の中で、42件は実際に患者を扱っており、14件は健常者で磁界ばく露試験を行っている。取りまとめた結果、研究報告には、磁石の装着部位、磁石の固定器具、装着頻度、装着期間などは比較的、的確に示されている項目である。一方、磁石の立体構造、標的部位の磁束密度、磁石から標的部部位までの距離などの項目についての十分な記述がなされていない。また34件の臨床試験報告には、正確な直流磁界のばく露の記載が見られていないため、再現性のある試験を行うことができないなどの結果が見られる。Colbertらは、表4に示した指標について十分な記述が必要であり、再現性ある試験、また直流磁界の有効性の検証、主観の入らない、客観的な評価を行うために必要であると結論付けている。

表4：直流磁界の作用にとって考慮すべき指標⁽⁵⁾

1	ばく露対象組織
2	磁界を加える部位
3	対象組織から磁石表面までの距離
4	磁界強度
5	永久磁石の成分
6	磁石の構造：サイズ、形状、体積
7	磁極の配列方向
8	磁石の固定器具
9	加わる磁界の周波数
10	磁石を加える間隔

(3) 直流磁界により治療：計量面からの考察⁽⁶⁾

上記の論文では、臨床試験結果を報告した論文54件から評価を加えている。その結果は直流磁界の治療を意図した多くの臨床試験で、磁界、磁束密度が標的となる部位に的確に加わり、その大きさが実際に測定されていないなどの問題があると報告された⁽⁵⁾。この結果を踏まえ、Colbertらは、磁界印加時のばく露指標について、表4に示す10通りの指標について、

検討を加えている⁽⁶⁾。これらのパラメータは、工学的側面からは直流磁界の治癒効果を観察するためには、最低限度整理または記載されていなければならないものである。表4に沿ってColbertらの指摘した要点をまとめると以下ようになる。

細胞フリーの酵素系、培養細胞、in vitroおよびin vivo系に対する直流磁界の作用を調べる研究報告について、10種類のパラメータの記載内容を確認している。磁石の磁束密度は記載されているが、実際の標的となる組織でのばく露量の計測・測定が十分でない。対照として磁束密度の小さな磁石が使われている場合が見られる。厳密には、非磁性の材質からなる素材を対照として用いることが望ましい。また磁石の配列方向の記載も明瞭でないし、磁石の極性についても方位磁石を用いて正確に確認する必要がある。治癒時、治癒のどの段階で磁界を加えるか、加えている時間、期間、頻度についても明確でない。例えば、1時間ごとに間欠的に、1週間当たり3日間、4ヶ月間連続、16週間または6ヶ月間夜間のみ、加えている時間も3分から、45分、4時間、1、4週間、4、6ヶ月間と多岐にわたっている。しかし、幾つかの臨床実験によると、磁界印加2ヶ月後に治癒効果が見られるとする報告がある。

総合的に見て、磁界を加える、加えないなどの比較試験が、正確な直流磁界のばく露量が把握されていない現状で、行われている現状では信頼性と妥当性に欠ける結果が目立っている。直流磁界ばく露の治癒効果を効果的なものにするには、標的部位の磁束密度の測定と磁石の装着場所、装着頻度と装着期間を予備的に行うことが重要である。ここで述べられている内容は、研究結果の論文を評価する際に、常に付きまとう内容である。

(4) 痛覚感知と電磁界⁽⁷⁾

先のColbertらの指摘は、直流磁界、磁石の医療効果を狙った多くの報告があるが、必要な指標が十分記載されていないことを述べている^(5, 6)。一方、痛覚（痛いと感じる感覚）、鎮痛（痛みを鎮めること）への電磁界の影響、効果を狙った多くの研究がなされており、Del Seppiaらが痛覚と鎮痛に及ぼす電磁界の影響について優れた総説を書いている⁽⁷⁾。総説では、1) 初めに、2) 痛覚と鎮痛に対する電磁界の影響、3) オピオイドで誘発される無痛覚への電磁界の影響、4) ほぼゼロ磁界（磁気遮蔽）にばく露された影響、5) ばく露指標を変化させた場合の影響、6) オピオイドでの無痛覚に対する電磁界の細胞レベルでの作用機序、7) 光の役割、8) 生物物理的メカニズム、9) 結論からなる構成である。本総説では、直流磁界での研究よりも変動磁界、MRIの高磁界、磁気遮蔽の状態などで行った研究報告、116件を取りまとめている。

電磁界の影響として、オピオイド鎮痛薬の鎮痛効果を抑える、拮抗する作用が見出されたことにより、オピオイド鎮痛薬に対する効果が注目されている。生化学的なメカニズムとして、Ca⁺ブロッカーによる電磁界の鎮痛効果の促進、プロテインキナーゼCによる酵素活性阻害剤による電磁界の鎮痛効果の抑制、酵素活性促進剤による電磁界の鎮痛効果の促進、一酸化窒素合成酵素阻害剤による電磁界の鎮痛効果の抑制、一酸化窒素供与剤による電磁界の鎮痛効果の促進、などが示唆されている。生物物理的なメカニズムとして、電磁誘導、マグ

ネット、ラジカル対と共鳴現象などが仮説として提示されている。

著者らは、電磁界による痛覚にたいする、広い意味での磁気療法は有効であると見られるが、その生理学的なメカニズムは不明であり、さらに検討を加える必要があると述べている。

(5) 磁気治療としての磁石の経穴装着⁽⁸⁾

Colbert等は、さらに直流磁界、磁気治療に用いている磁石を経穴に装着した場合の効果について合計42件の英文、中国語で書かれた報告書を精査して、経穴への効果を調べた。調べた報告には、1986年から2007年の間で、6453名の患者を対象にした試験結果が含まれている。評価項目は、臨床的な兆候、臨床試験のデザイン、症例数、対象者の年齢、性別、磁気治療の種別、装着部位、治療頻度・時間などの使用状態、対照として用いた治療器、設定された対照群などである。同時に、磁気治療器を貼り付ける際に接着剤による皮膚のかゆみ、のぼせ感なども評価の対象とした。調査の結果には、臨床条件には32通りの違いが見られ、治療に用いた磁気治療器、療法も様々であるが、調べた42件の報告書の中で37件、約88%が磁気による治療の有効性を観察している。僅かに、有害な影響として皮膚のかゆみやほてりが見られる。しかし、報告されている結果から、老人性の糖尿病、不眠症などの補助的な療法として有効であることの可能性については、さらに調査が必要であることを指摘している。鍼療法として、経穴への磁気刺激療法 (acu-magnet therapy) について、本報告では、将来的に鍼の臨床試験のデザインおよび臨床結果の統一などガイドラインの策定の必要性などが述べられている。

(6) 痛覚抑制と磁石⁽⁹⁾

Pittlerの報告の背景は、直流磁界は痛覚を抑制することを裏付ける科学的知見、並びに生物学的なメカニズムがないことから、痛覚抑制するという臨床報告を取りまとめ、メタ解析を行うことである⁽⁹⁾。臨床試験報告から、無作為の二重盲検試験ならびにペインスコアに視覚尺度を用いた論文29件を抽出し、9報をメタ解析に適用した。その結果は、直流磁界は痛覚のペインスコアを有意に減少させないということで効果が観察されない解析結果が得られた。直流磁界による痛覚への有効性は認められないことから磁石の痛覚治療を進められないとしている。一方、関節炎への効果などはさらに研究が必要であるとした。

4. まとめ

ここでは、電磁気現象を用いた医療への治療応用について、その経過と幾つかの事例、ならびに最近の報告書から興味ある論文の概要を取りまとめた。電磁気現象の利用については、1950年代の保田による結果、骨に圧力を加えると負の電位が発生し、骨が張力を受けると正の電位が発生することに見られる、骨への圧電効果に関する実験に端を発している。そのため、電磁気現象による骨や軟骨修復への利用による医療応用の可能性について、これまでの経緯を示した。Blackは磁気刺激研究には、3通りの課題があることを述べている。1) 内的・外的要因で組織に発生する電磁界分布と生成のメカニズム。2) 細胞代謝・再生に対する電磁界効果。3) 細胞での効果と、動物・ヒトでの効果。これらの基礎的な面の知見が十分でないのが現状であろう。Shupakが報告しているパルス磁界曝露の治療への効果について、また少し古いBassettは電磁界刺激による医療応用への可能性について基礎的な側面から解説を加えており、非常に参考になる^(10, 11)。

最近の研究報告を参照すると、直流磁界、磁石を用いた治療効果を意図して臨床実験が行われている研究論文を精査し、幾つかの問題点が浮かび上がってくる。特に、直流磁界の効果を明確にするための電氣的指標、例えば、表4に示すような10項目が個々の論文に十分記載されていないことなどが指摘され、直流磁界、磁石が与える効果であるかどうかの判断を複雑にしているのが現状である。このような問題点を含み、直流磁界、磁石を利用している治療は、作用メカニズムがはっきりしない点が多く。小型の磁石を生体表面に装着する治療などで効果があるとされる報告があるが、上記のような項目が明確に記載されていないなどにより、疑問が持たれる現状でもある。このような疑問が払拭するには永久磁石などの磁界での生体への作用を明確にする基礎研究が必要であろうし、加えてこれまで以上の学際的なアプローチが望まれる。

5. 参考文献

1. 重光司 (2000) 電磁場の生体影響に関する研究：評価と課題。日本生体電気刺激研究会誌 14:1-13p.
2. 重光司 (2008) 電磁界の健康影響に関する研究動向。電気学会誌 128: 623-626p.
3. 大久保千代次・岡野秀幸 (2007) 静磁界の循環調節作用。磁気と健康 会報18号
4. Huang LQ, He HC, et al (2008): Clinical update of pulsed electromagnetic fields on osteoporosis. Chinese Medical Journal 121: 2095-2099p.
5. Colbert AP, Wahbeh H, et al (2007) Static magnetic field therapy: A critical review of treatment parameters. eCAM 1-7p doi:10.1093/ecam/nem131.
6. Colbert AP, Markov MS and Souder JS (2008) Static magnetic field therapy: dosimetry considerations. The Journal of Alternative and Complementary Medicine 14 (5): 577-582p.
7. Del Seppia C, Ghione S, et al (2007) Pain perception and electromagnetic fields. Neuroscience and Biobehavioral Reviews 31: 619-642p.
8. Colbert AP, Cleaver J, et al (2008): Magnets applied to acupuncture points as therapy · a literature review. Acupunct Med 26: 160-170p.
9. Pittler MH, Brown EM and Ernst E (2007) Static magnets for reducing pain: systematic review and meta-analysis of randomized trials. CMAJ 177(7): 736-742p.
11. Shupak NM (2003) Therapeutic uses of pulsed magnetic-field exposure: a review. Radio Science Bulletin No 307 9-31p.
12. Bassett CAL (1989) Fundamental and practical aspects of therapeutic uses of pulsed electromagnetic fields (PEMFs). Crit Rev Biomed Eng 17: 451-529p.

〈財団の事業内容〉

本財団は、磁気を用いて健康の維持及び増進を図る科学（以下「磁気健康科学」という）に関する基礎及び応用研究に対する助成、技術動向等の調査及び研究に対する助成、情報の収集及び提供等を行うことにより、磁気健康科学の発展を推進し、もって豊かな国民生活の実現と我が国経済社会の発展に寄与することを目的としています。

その目的を達成するため、次の事業を行っています。

- (1) 磁気健康科学に関する基礎及び応用研究に対する助成
- (2) 磁気健康科学に関する技術動向等の調査及び研究に対する助成
- (3) 磁気健康科学に関する情報の収集及び提供
- (4) 磁気健康科学に関する普及及び啓発
- (5) 前各号に掲げるもののほか、本財団の目的を達成するために必要な事業

（設立：平成6年5月20日）

磁気と健康 ～会報 第21号～

平成21年3月吉日 発行

発行所：財団法人 磁気健康科学研究振興財団

〒108-0074 東京都港区高輪1-4-26-617

Tel/ 03-5475-6951 Fax/ 03-5475-6952

E-mail/ zai@maghealth.or.jp

<http://www.maghealth.or.jp/>

編集・発行責任者：齋藤 正男

