DOI:10.13763/j.cnki.jhebnu.nse.1995.s1.051

1995年 5月 河北师范大学学报(自然科学版) May 1995
第19卷 增刊 Journal of Hebei Normal University(Natural Science) Vol. 19 Supplement

生物磁现象和效应的机制及理论

李国栋

(中国科学院物理研究所,100080,北京)

本文介绍了生物磁宏观现象和效应,如磁场类型、磁作用滞后及阈值和地磁场效应;论述了生物磁现象和效应的微观机制,生物磁场、生物磁性和外加磁场引起的生物效应的微观机制;最后讨论了与生物磁现象的磁场效应与微观机制相关的磁学理论.

1 生物磁宏观现象和效应

生物磁学是研究磁场磁性与生命现象相互联系相互影响的边缘科学。

现代科学的发展已经表明,一切物质都具有或弱或强的磁性,任何空间都存在或低或高的磁场。这正是生物磁学产生、发展和应用的基础。

从宏观方面看,生物磁现象和磁场引起的生物效应主要有下列一些共同特点[1,2]:

生物在生命活动中产生微弱的磁场,既有恒定(直流)磁场,也有交变磁场,强度都远低于地(球)磁场.这些微弱的生物磁场及其变化与生物的生命活动、生理和病理状态密切相关.构成生物体的各种生物材料和组织都具有微弱的磁性,仅在个别情况和极少组织中出现强磁性。外加磁场对生物会产生影响,称为磁场的生物效应。不同的强度、分布和频率的磁场产生的生物效应也是不相同的,这就增加了磁场处理在生物学和医学上应用的复杂性[3]。

外加磁场产生的生物效应不仅与磁场的强度、分布和频率等有关,而且也与受磁场作用的生物的种类和层次有关。磁场对生物的作用还显示出下列特点:磁场强度必须超过一定强度才有效应(阈值效应);磁场作用必须经过一定时间后才表现效应(滞后效应);磁场作用的能量虽小,但引起的生物效应能量却较大(生物放大效应)[4]。

大量和多方面的测量及研究表明,地球是具有磁场的,在地球的长期历史中,不但地磁场的强度曾有过多种周期性和非周期性变化,而且地球磁极的极性也曾有过多次的改变,产生地磁场反向。地磁场的这些强度、分布和极性上的变化对地球上的生物和人类都会有多种的影响。例如,一些鸟类(如鸽)的导航(认家)和候鸟迁徙,一些地质时期古生物的灭绝,都可能与地磁场或地磁场的变化有关[5]。

在当前生物学和医学研究应用中,由生物磁场、生物磁性和磁场生物效应产生和发展的器械和高新技术是相当多的。例如,核磁共振成象技术已在医学中得到重要的应用;心磁图脑磁图已显示出比心电图脑电图更多的优点;磁性液体、磁示踪剂和磁性药囊等都具有体外控制和检测的特点[6,7,8]。

• 收稿日期:1995—01—04

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.

2 生物磁现象的微观机制[9,10]

在生命活动中,生物自身既产生微弱的生物磁场,例如,人的心磁场和脑磁场分别约为10^{-10}T和10^{-12}T,又具有弱磁性,再如一般生物中抗磁性和顺磁性材料的磁化率分别约10^{-6}和10^{-5}。

生物磁场的来源有两种,一种是由生物电流产生的生物磁场,另一种是由生物体内的强磁物质的剩磁产生的生物磁场。

生物电流是由生物体内电子和离子的流动产生的。不同的生物组织和状态在生命活动中会产生不同强度和不同频率的生物电流,从而产生相应的生物磁场。因此生物电流和生物磁场都带有生命活动的信息。但生物磁场测量具有无接触电极干扰、恒定和交变磁场都可测出、三维测量和分辨率较高的优点,可以获得更多的生命活动信息。通过生物磁场数据的逆解还可以计算生物磁场源或生物电流偶极子的强度和分布信息。

由生物体中强磁物剩磁产生的生物磁场与强磁物种类、数量和磁历史等有关,这一磁场的变化和衰减是由强磁物排除体外的驰豫过程决定的,反映了强磁物所附着的机体组织的情况。例如,不吸烟者和吸烟者排除肺部强磁物的速率便很不相同,表明两者肺部组织排除异物的显著差异,间接说明吸烟者肺部已受到损害。另外,在诊断和治疗中使用磁性液体、磁示踪剂及磁性药囊时也在体外显示磁场,由此可在体外由测量磁场而检查这些磁性药剂在体内的位置、分布和排出等情况。体内强磁物剩磁磁场的主要特征是属于恒定磁场而非交变磁场。

生物体材料一般为弱磁性,并且绝大部分生物材料为抗磁性,只有少数含有磁性原子(如铁)的生物材料(如血红蛋白)和自由基在一定条件下显示顺磁性。这是因为绝大部分生物材料中的原子具有充满的电子壳层,其电子轨道磁矩和自旋磁矩都成对地抵消,原子合磁矩为零,故显抗磁性。少数含磁性原子或自由基的生物材料才含有未成对抵消的磁矩,显示顺磁性。生物材料的这些弱磁性是产生生物磁现象和生物磁效应(磁场生物效应)的一种重要基础。

近年来在少数生物(如磁性细菌、蜜蜂、蝴蝶和鸽等)体中观测到少量的强磁物质(Fe_3O_4)。许多实验表明,磁性细菌和鸽显示的地磁场导航行为是同这些强磁物质的存在有关的。最近还在一些生物的组织、细胞、叶绿体和线粒体中在低温下观测到的自旋玻璃和反铁磁性的磁有序现象。这些新的生物磁现象的发现都丰富和促进了其微观机制的研究。

3 磁场生物效应的微观机制[9,10]

外磁场(包括地磁场)在生物体中引起的效应是多种多样的,其中许多效应已在医学、农业、工业和环境科学等中得到了应用。这些磁场生物效应的微观机制主要有下面几种:

3.1 磁场影响电子和离子的运动

生物体中的氧化和还原反应、神经冲动的传递和生物电流的主要载体等都与电子或离子的运动和传递有关,而磁场会对运动的电子离子产生力(称为Lorentz力)的作用,影

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.

响电子离子的运动，也就会影响与电子或离子运动和传递过程有关的生命现象。例如，生物体内含 Fe^{2+} 离子的血红素经过氧化作用失去电子变为含 Fe^{3+} 离子的高铁血红素，及其逆过程获得电子的还原作用，都涉及电子转移过程。

3.2 *磁场影响自由基和含磁性原子的蛋白质和酶的活动*　生物体中含有电子未配对的自由基，也有一些蛋白质和酶含有内壳层电子未充满的磁性原子（如铁、钴等），形成活性中心。它们都具有顺磁性，一方面在磁场中会受到磁力（在不均匀磁场中）或磁力矩（在均匀磁场中）的作用，另一方面在恒定磁场和高频磁场的同时作用并满足一定条件时会产生磁共振。这些磁力、磁力矩和磁共振既可引起多种的生物磁效应，也是研究生物系统（分子、细胞、组织及整个活体）的一类重要方法。

3.3 *磁场影响生物膜渗透和生物代谢*

生物体中细胞外壁和细胞内细胞质、线粒体、叶绿体的界壁都具有生物膜结构，膜内外物质、能量和信息的交换都须通过生物膜的渗透。渗透过程中的离子和电子都会受到磁场 Lorentz 力作用。生物各种代谢过程中也有电子、离子、自由基和酶等的参与，当然也会受到磁场的作用。

3.4 *磁场影响生物发育和遗传*

生物在不同的发育阶段，活动性的差异影响新陈代谢作用的不同。这样，磁场通过对新陈代谢的影响，也就在不同发育阶段显示不同的影响。例如，磁场对 70 天龄和 270 天龄鼠的活动性和食物消耗的影响便明显不同。实验表明，磁场对大麦中脱氧核糖核酸（DNA）的合成率和对果蝇当代及后代的发育时间都有明显的影响，一般认为这是由于磁场可以影响遗传物质 DNA 中键能低的氢键，使氢键产生畸变，因而影响遗传。

4 生物磁现象和效应机制的有关磁学理论[9,10]

各种生物磁现象和磁场生物效应的微观机制除生物学方面外，也涉及下面一些磁学理论问题：

4.1 *磁场的力作用*

对于磁化率为 χ 和质量为 m 的物体，在具有磁场梯度 dB/dx 的不均匀磁场 B 中，会受到磁力 F_m 的作用（μ_0 为磁常数或称真空磁导率）：

$$F_m = m\chi B(dB/dx)/\mu_0 \tag{1}$$

而在均匀磁场 B 中，则会受到磁转矩 T_m 的作用：

$$T_m = m\chi B^2/\mu_0 \tag{2}$$

对于抗磁性物质，χ 为负值；对于顺磁性物质，χ 为正值；对于这两类弱磁性物质，χ 的绝对值都非常小，一般小于 10^{-6}（抗磁物质）和 10^{-5}（顺磁物质）。

4.2 *磁场的电效应*

主要有磁场（B）对带电（Ze）并以速度 V 运动的粒子产生 Lorentz 力 F_L 的效应

$$F_L = ZeV \times B \tag{3}$$

和厚度为 d 的物体在互相垂直的磁场 B 和电流 I 的同时作用下在与 B 和 I 都垂直的方

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.

向产生电势 E 的 Hall 效应：

$$E_H = R_H IB/d \tag{4}$$

其中 R_H 称为 Hall 系数。它们是生物体中运动的带电粒子和一些生物测量仪器所遵循的磁学定律。

4.3 *电磁感应作用*

在面积为 A 的电回路中发生磁通密度随时间变化 dB/dt 时，由于电磁感应作用，在此电回路中产生电动势 E：

$$E = -(dB/dt)A \tag{5}$$

这表明随时间变化的磁场与恒定磁场具有不同的效应。在生物磁学中，变化磁场除考虑对生物的磁效应外，就还需要考虑对生物的电效应、热效应和力学振动效应。

4.3 *磁致能级分裂效应和磁共振效应*

在磁场 B 作用下，原来简并的自旋 S 能级发生磁致分裂，与自旋 S 相关的磁能为：

$$Ws = \gamma s\hbar B \tag{6}$$

其中 γ 为旋磁比，$\hbar = h/2\pi$，h 为 Planck 常数。自旋能级在磁场中的分裂引起磁性及相关性质的变化。当物质在恒定磁场 B 作用下发生自旋能级分裂，同时又受到与磁能级裂距相等的高频电磁波(光量子)作用时，就会产生对这电磁波的吸收或者说是引起磁能级之间的量子跃迁。这就是自旋磁共振，或简称磁共振，共振条件为：

$$\omega = \gamma B \tag{7}$$

其中 ω 为磁共振频率，γ 为旋磁比。由于共振所涉及的自旋系统不同，一般又可分为无序电子自旋系统的顺磁共振(电子自旋共振)，有序电子自旋系统的铁磁共振、反铁磁共振和亚铁磁共振，(原子)核自旋系统基态的核磁共振和基态－激发态间的核 γ 共振(Mössbauer 效应)。类似地，在恒定磁场与高频电场同时作用并满足一定条件下，还会发生带电粒子(如电子、离子)在磁轨道能级(лапдау 能级)间的共振跃迁，称为回旋共振或抗磁共振。这些磁共振既可能在生物体内引起一些磁现象和磁效应，又是研究生物系统微观结构的重要方法，有的已在生物学和医学中得到重要的实际应用。

关键词 生物磁现象；磁场生物效应；生物磁机制；生物磁学理论

参 考 文 献

1 李国栋. 中华物理医学杂志(季刊)，1980，2；1995，17(1 or 2).
2 李国栋. 中华生物磁学(季刊)，1992，6；1995，9(1 or 2)
3 Williamson S J，et al. (eds.)Advances in Biomagnetism. 1989.
4 Francehetti G，et al. (eds.) Electromagnetic Biointeraction. 1989.
5 〔美〕辛克勤 F L. 曾治权，等译. 地磁场与生命. 北京：地质出版社，1985.
6 Magin R L，et al. (eds.)Biological Effets and Safety Aspects of Nuclear Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy. New York：New York Academy of Sciences，1992.
7 Fukushima F I. (ed.)NMR in Biomedicine—The Physical Basis. 1989.
8 Valk J，et al. Basic Principles of Nuelear Magnetic Resonance Imaging. 1985.
9 李国栋，等. 生物磁学——应用、技术、原理. 北京：国防工业出版社，1993.
10 李国栋. 生物磁学及其应用. 北京：科学出版社，1983.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.