

变性处理用离心方法分离出 l 链和 r 链,然后将一种噬菌体的 l 链跟另一种噬菌体的 r 链复变成杂双链分子。由于碱基同源互补,除缺失的部位外,可以形成双螺旋结构,而未配对的单链部分则形成一种“凸起”,测量这个部位的位

置和长度,便可制出 λ 基因组的实体图。显然,这种方法也可以比较各种噬菌体 DNA 的同源性。

(待续)

生物磁学的发展和應用(下)

李 国 栋

(中国科学院物理研究所)

三、生物磁学在医药学上的应用

天然磁石在医药上的应用已有两千年以上的历史。毛主席曾经指出:“中国医药学是一个伟大的宝库,应当努力发掘,加以提高”。磁学在这方面的应用也是这一宝库中的一项重要财富。从远古发展到现在,生物磁学在医药学各方面的应用已相当广泛,这里简略介绍磁场疗法、磁性药物、磁诊断术、磁手术和磁医疗器械等方面的应用情况。

1. 磁场疗法(磁疗)

这是指在人体的一定部位(经穴或患处)施加磁场治疗多种疾病的医疗方法,简称“磁疗”。也有称为“磁穴疗法”或“经络磁场疗法”的。这种磁疗方法虽从古代起就有应用,但并不很普遍,在我国文化大革命以后,广大科技工作者和医务工作者解放思想,大力协作,采用新的高性能永磁材料(如稀土-钴永磁体),经过大量医疗实践,才获得了良好的效果。根据湖南、北京、江苏、徐州等地一些单位的资料,磁场疗法目前已能治疗疼痛病、高血压、神经衰弱、失眠、神经性皮炎、气喘性支气管炎、类风湿性关节炎、慢性腹泻、肥大性脊椎炎和心绞痛等 50 余种疾病,综合几千病例的临床试验统计,磁疗的有效率达到 70—90%。而且,磁疗还在不断地向前发展,例如,目前除大量采用的恒定磁场疗法外,还开展了旋转磁场疗法和交变磁场疗法;

除永磁体的敷贴外,还试验了磁针埋人体内、磁带等新的技术。由于磁场疗法的材料简便且可多次使用,操作技术较易掌握和推广,适用的病症范围较为广泛,疗效较为显著,一般副作用很少,这些优点使磁场疗法在我国有着极为广阔的发展前途,成为落实“把医疗卫生工作的重点放到农村去”的指示的一项有力措施。国外也有报道用钕铁氧体作磁手镯和磁床等,用以治疗高血压、支气管哮喘和消除疲劳,以及用钕铁氧体抑制恶性肿瘤生长。磁场疗法的作用机制虽还未解决,但也有了一些初步的探索和尝试。

2. 磁性药物和磁化水

利用天然磁石作为内服药物治病,不论在我国和国外都已有悠久的历史。目前,我国药典上还有磁石及数种以磁石为重要成分的成药(表 1)。这些药物是我国劳动人民在长期同疾

表 1 我国有关利用磁石的药物

名 称	主 要 成 分	功 能	主 治
磁石	煅磁石(加热后于醋中淬酥,再煅碎)	潜阳,纳气	头目眩晕,耳鸣,耳聋,虚喘
耳聋左慈丸(蜜丸)	煅磁石、牡丹皮、茯苓等 8 种	滋肾、和肝	肾虚肝郁,耳鸣失聪,头暈目眩
紫雪(散)	生磁石、黄金、犀角、麝香等 17 种	镇静、安神、清心开窍	烦热不解,神昏谵语,发斑发狂,小儿惊风
磁珠丸(糊丸)	煅磁石、朱砂、神曲 3 种	镇心,去翳	心悸怔忡,惊惕失眠,内障膜物遮睛

病作斗争的医疗实践中积累经验创制的,对于治疗疾病、保障健康发挥了重要的作用。在历史上曾有过一些类似利用磁化水治病的记载。最近,磁化水在医疗上的应用有了新的发展。首先,利用磁化水治疗结石症初步获得了较好的效果。福建曾用磁化水治愈过1名胆结石患者。上海曾对48名尿路结石患者进行过磁化水治疗的临床试验,由尿常规和X-射线检查判明,经治疗约100天后的总有效率为33.3%,其余的尚未看出效果,还在继续治疗中。其次,福建曾用磁化水驱治蛔虫,20名病例的疗效显著。总之,在农业和医疗方面较广泛地应用磁化水,时间还不算长,有许多问题需要在大量的实践和积累经验中逐渐解决。

3. 磁诊断法(术)

利用各种磁学方法和技术来检查和诊断疾病,最近有了较多的进展,因而受到了普遍的重视。其中如核磁共振,穆斯堡尔效应(也称核 γ 共振)和电子自旋共振都属于微观探测方法。前两种是利用一定的核作微探针,后一种是利用原子或分子中未抵消的电子自旋作“探针”,借助它们共振谱的观测、比较和分析,来研究其周围电子结构和化学环境的变化,从而研究和判断各种生理和病理现象,以及生物分子的结构和功能的关系等。例如,利用核磁共振方法曾发现鼠的肿瘤组织比正常组织的自旋-晶格弛豫时间 T_1 增长约1倍。上海还发现S-37肿瘤小鼠的非恶变组织(肝、脾、肾)的自旋-自旋弛豫时间 T_2 与肿瘤组织的 T_2 和瘤龄(接种天数)密切相关,这些非恶变脏器的 T_2 比正常小鼠对应脏器有较大的增长;L615白血病小鼠的非恶变组织(肝、脾、肾)的自旋-晶格弛豫时间 T_1 也比正常小鼠对应脏器有明显增长。上海还从高分辨核磁共振波谱的比较研究发现:7例8次的正常人血清的 $\frac{h}{\Delta f} = 1.3 \pm 0.3$,而20例21次白血病人血清的 $\frac{h}{\Delta f} > 1.8$ (仅3次例外, h 和 Δf 分别为核磁共振谱线的高度和宽度),因而暂定 $\frac{h}{\Delta f} < 1.8$ 为正常; $\frac{h}{\Delta f} \sim 1.8-1.9$ 为弱阳

性(+); $\frac{h}{\Delta f} \geq 2$ 为强阳性(++)。北京根据对200余例肿瘤患者与正常人血清的核磁共振谱的对照研究(图2b),发现若取高场谱的 α 线与 β 线的面积比 S_α/S_β 作指标,则正常人的 $S_\alpha/S_\beta \approx 1.85$,而肿瘤患者(包括30余种癌症和10种良性肿瘤)的 $S_\alpha/S_\beta \geq 2.20$,仅有个别例外,但有少数其他疾病患者也有 $S_\alpha/S_\beta \geq 2.20$ 的情况。还发现:骨肉瘤患者血粉的 CCl_4 溶液在距四甲基硅(TMS)谱线约1.2—1.3ppm(百万分数)处出现一小峰(图2b),而正常人的则无此峰(图2a)。经过多次实验还证实:白血病、胃癌等患者血清的核磁共振谱中一个峰(α 峰)所对

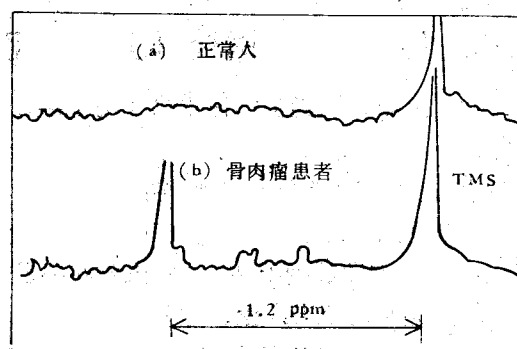


图2a 正常人(a)和骨肉瘤患者(b)血粉的 CCl_4 溶液的部分核磁共振谱

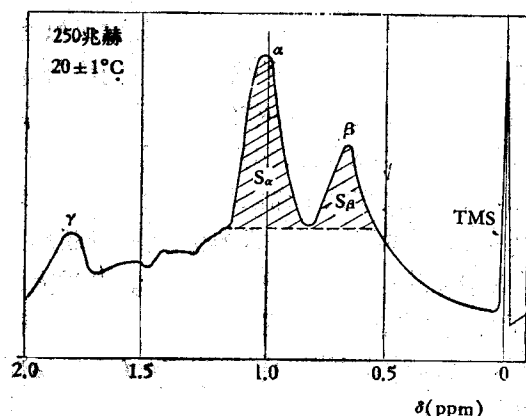


图2b 人的血清的核磁共振谱高场部分

应的基团有序度变差、 T_2 增大,与正常人比较有显著差异。总之,这些初步研究的结果对癌症的诊断提供了有希望的线索。一些癌症病变常伴随着自由基的产生或变化,这一现象提供了利用电子自旋共振检查和诊断癌症的一种可

能性。含铁血黄素沉着病是一种煤矿工人的职业病，正常人肺部组织和这种病人的肺部组织的穆斯堡尔(Mössbauer)谱(图3)表现的差别极

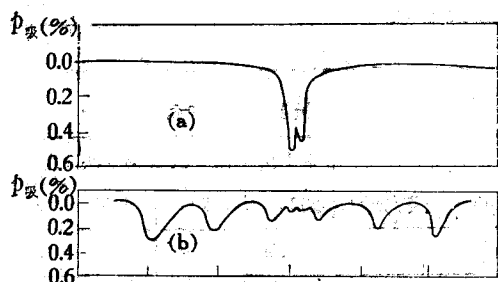


图3 正常人(a)和含铁血黄素沉着病患者(b)的肺部组织的穆斯堡尔谱

为显著。这可以作为这种疾病的一种有效诊断方法。心脏疾病、肺部病变和癫痫病患者的心磁场、肺磁场和脑磁场分别显示与正常人不同的特点，这些都可以作为检查和诊断相应疾病的方法。测量极微弱的心磁场和脑磁场需要高度灵敏的磁强计和良好的磁屏蔽，测得的心磁图(MCG)和脑磁图(MEG)分别与心电图(ECG)和脑电图(EEG)有类似的地方。还有利用铁氧体(如 Fe_3O_4 、 MgFe_2O_4 等)细粉作X-射线显影剂，或口服，或注射，或喷雾，以代替硫酸钡等盐类，可拍照胃肠、血管、支气管等的X-射线照片，供检查和诊断之用。也可以利用铁氧体等作磁示踪材料，测量体外磁场分布，以观察体内胃肠等器官的情况。

4. 磁医疗器械

在医学中根据磁场的作用或磁性材料的特性制作的磁手术器械和磁医疗器械，种类既较多，应用也较广，是医学工程和医学电子学中的一个重要组成部分。例如，利用磁场电效应和磁共振效应可分别制成电磁型的和核磁共振型的血流计，以测量人体或动物各部分的血流速度。根据电磁感应效应，可制成无触点的心肌刺激器和神经刺激器，以观测和研究心肌和神经组织的生理和病理现象。按照磁力作用原理，可以作成伸入体内进行观察诊断而在体外进行控制的磁控导管，和可注入血管内并固定药物在一定部位的磁控针。磁控导管还可插入头颅内，或一定部位的大脑皮层，也可插入支气管，

进行诊断或手术。磁控针则可携带药物进入血管，并由体外磁场将磁针固定在需要药物作用的部位，进行更为有效的药物治疗。基于电磁动力原理，可能制成人工心脏输血管器械。利用高梯度磁分离装置，已能将红血球从血液分离出来。这是因为每一红血球中约有28% (体积)的具有呼吸功能的血红蛋白(含 Fe^{2+} 离子)。未同氧结合的血红蛋白为顺磁性，同氧结合的氧合血红蛋白为抗磁性。当使氧合血红蛋白脱氧变为顺磁性时，就可在高梯度磁场中将红血球吸附分离。这样可制成纯红血球或无红血球的血液，在免疫学和细胞学的研究上极为有用。磁吸器可以取出眼中或体内的强磁性异物。磁假肢可以利用存储的磁能来恢复失效器官(如膀胱、眼睑、尿道括约肌等)的功能。

四、生物磁学在环境保护方面的应用

环境保护是当代极受重视的问题之一。这是因为现在世界上越来越多的地区，人类环境受到污染和破坏，有的甚至形成了严重的社会问题。空气受到毒化，垃圾成堆，河流、海洋遭到污染，影响动物和植物的生长繁殖，阻碍经济发展，严重威胁和损害广大人民的身体健康。这主要是由于资本主义发展到帝国主义，特别是由于超级大国疯狂进行掠夺政策、侵略政策和战争政策造成的。维护与改善人类环境，向公害作斗争，已成为保障人类健康发展的一个迫切任务。我国关于这方面的方针是全面规划、合理布局、综合利用、化害为利、依靠群众、大家动手、保护环境、造福人民。采用一些磁学方法和技术，对于保护环境，防止公害，也起了一定的有益的作用。

1. 清除固态材料中的公害

一些矿物和煤中常含有若干对人体有害的强磁性(铁磁性和亚铁磁性)或顺磁性杂质，这可以用磁场分离法(磁选法)将这些杂质分离除去。对于一般强磁性杂质，仅需要通过一定强度的磁场便可除去；但对于顺磁性杂质，却需要高梯度(约 10^3 奥/微米)的强磁场(约 $10^4 \sim 10^5$

囊)才能使其分离,而且待分离的材料还需粉碎成很细的颗粒,或制成浆状流体。如煤中常含有顺磁性的硫化物和灰分,当细煤粉浆通过高梯度的磁分离装置时,在一定的流速(约2.1—2.6厘米/秒)下,在燃烧前便可除去约60%的硫(图4)和约20%的灰分。据估计,工业上每小时1000吨的脱硫装置,其最高耗费约每吨1美元。据报道,1976年3月国外已召开了“煤的磁去硫:磁分离理论和应用讨论会”。

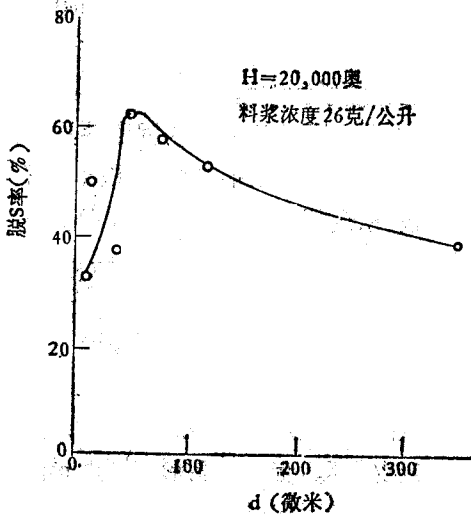


图4 煤粉浆在约2.1—2.6厘米/秒的流速下的脱(硫)率与煤粉颗粒直径 d_m 的关系

2. 消除水中的公害

在河湖和海洋中往往含有病毒、细菌等有害微生物和悬浮固体;在某些工业废水中,还含有汞等有毒杂质。这些微生物和杂质既不是强磁性的,也不是顺磁性的,但可以在水中加入微量的强磁性粉末(Fe_3O_4 粉等,称为磁性种子),有时还添加微量的凝结剂(如 $Al(OH)_3$ 等),便可使这些微生物和杂质吸附在磁性种子(和凝结剂)上。当通过适当的磁分离器后,便可除去绝大部分的微生物和杂质,消除公害。表2是国外某河水样品以136厘米/秒的流速通过10,000奥的磁分离器前后的各种杂质和性质的比较。表3则是将含有病毒的水加入不同浓度的 Fe_3O_4 和 $CaCl_2$ 后通过约1000奥的磁分离器后消除病毒的情况。在含有 $HgCl_2$ 的水中放入微量的亚铁(Fe^{2+})化合物(如 $Fe(OH)_2$, $FeOOH$

表2 河水样品通过磁分离器前后的比较

	细菌密度 (个/100 厘米 ³)	混浊度	颜色	悬浮 固体	pH
磁分离前	22,000	16	10	9	6.8
磁分离后	35	4	5	2	6.0

表3 用磁分离器消除水中病毒的情况

	第1次	第2次	第3次	第4次
Fe_3O_4 (毫克/升)	500	500	400	250
$CaCl_2$ (毫克/升)	1,000	250	500	250
病毒消除率(%)	99	98	99	97

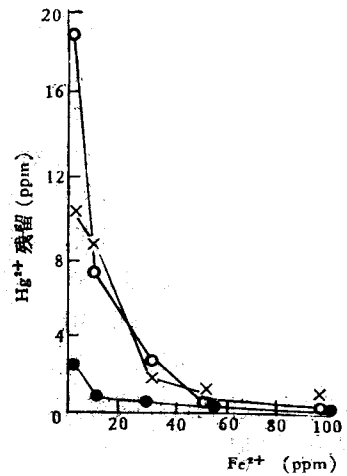


图5 用磁分离器后水中残留的 Hg^{2+} 与加入 Fe^{2+} 量的关系

等),则生成吸附 Hg^{2+} 的 Fe_3O_4 沉淀,因而可用磁分离器将 Hg 除去(图5)。合成洗涤剂由于不分解,进入废水中后,对养鱼、灌溉等均有害。试验表明:在100毫升的0.1%洗涤剂液中加入10克 Fe_3O_4 粉末,经30秒振动后,可除去75%的洗涤剂;经5分钟振动后,可除去92%的洗涤剂。又将0.1%合成洗涤剂液通过6组永磁体组成的磁过滤器,则通过一次后可除去76%;通过3次后可除去93%的洗涤剂。还有用 Fe_3O_4 粉吸附海面的石油污染再用磁法除去的报道。

3. 消除空气中的公害

相当多的公害物质是通过各种途径排除到大气中,使大气受到污染的。在某些情况下,可以利用磁分离的方法除去空气中的一些有害杂质。有实验表明:利用钡铁氧体或 Fe_3O_4 等可

以象活性炭那样吸附香烟中散发出的对人体有害的尼古丁。也有人提出用铁氧体吸附空气中的硫的建议。 NO 、 NO_2 和 O_2 等为顺磁性气体,也有可能用磁分离法从大气中分离后,再分别经过其他装置加以消除(如 NO 、 NO_2)或利用(如 O_2)。

4. 磁化水消毒

农业上应用磁化水浸种、育秧、灌溉等,医疗上应用磁化水治疗结石、驱治蛔虫等,已初步表明具有较好的效果。江苏、徐州在磁化水的试验中还发现磁化水具有杀灭细菌的消毒作用。某工厂的自来水中大肠杆菌的含量不符合规定标准,但将此水通过磁化器处理为磁化水后,再检查该种细菌已减少到符合标准,因而使患消化道病的人数减少9.3%。这项初步发现对改善饮水、灭菌除病是值得注意的,也需要作更多的重复试验和进一步的研究。

五、生物磁学在生物工程上的应用

将物理、化学、电子学等方面的新原理和新技术应用到生物学(包括医学)上,促进了生物工程的发展,扩大了生物工程的应用领域。同时,将生物的结构和功能关系等原理应用到各项新技术上,借鉴生物原型,在效应原理和工艺技术上加以模拟和仿效,因而新创了许多小型、精巧、灵敏和高效的装置,开辟了仿生学这一新的学科。还有从遗传育种到空间技术等方面也涉及到生物工程、仿生学等问题。而磁学和生物磁学与这些学科和技术也有一定的关系。

1. 生物工程中的磁器械

在种类繁多、应用广泛的生物工程中,有不少是采用各种磁效应或生物磁效应的器械和装置,成为生物磁学应用的一个重要方面。例如,利用磁场影响电泳迁移率的效应,可制成电泳装置,这还有可能用于人工心脏的输血装置。利用电磁-动力效应,制成电磁漂移装置,有可能应用到红血球和白血球的分离;还可能制成无转动的电磁离心机,供生物学的研究之用。为了研究人发音时舌的运动情况,制成了利用磁效应的舌运动显示装置,即将一块小永磁体固

定于舌上,在附近相互垂直方向放置两个灵敏的磁强计。舌运动时,舌上的小永磁体也跟着运动,从而影响两个磁强计上测得磁场的大小,经过一定的处理,即可显示舌的运动情况。其他如测量心、脑、肺等磁场的装置以及各种磁医疗器械也都属于生物工程的范围。

2. 仿生学中的地磁导航和地磁定向

生物在长期的进化中都经受着地磁场的作用。从许多的观察和实验中,已有不少证据表明,某些鸟类、鱼类的导航与地磁场有关,一些低等动物的定向和植物的生长也受地磁场的影响。这些生物导航和定向的机制正是仿生学的重要研究对象之一。在十九世纪四十年代,曾经先后对几百只信鸽进行过10余次有计划的试验。试验的主要结果是:(1)翼上缚有同样大小的永磁钢块和铜块(对照)的信鸽在几十甚至几百公里外释放,绝大部分缚铜块的信鸽能飞返鸽舍,但缚永磁钢块的信鸽却不能飞返鸽舍;(2)在一地训练的信鸽,移到约2000公里外的共轭点(具有相同的地磁场强度和相同的纬度)附近释放时,多能飞返共轭点的新鸽舍;(3)在两共轭点的中间区域放鸽时,信鸽将迷失方向,失去导航能力,不能飞返鸽舍;(4)信鸽飞经强力无线电台或雷达站时,也失去导航能力。这些试验结果的分析表明,信鸽能辨别地磁场强度和地球自转产生的科氏(Coriolis)力(与纬度有关)的细微差异,而每一地点具有其特征的地磁场强度和科氏力,故信鸽能借这种辨别能力飞返鸽舍,实现地磁导航。关于信鸽或其他候鸟的具体导航机制,有一种看法是通过电磁感应产生的电势辨别地磁场的垂直分量强度;另一种看法是直接辨别地磁场强度(因大气电场干扰远大于所感生的电势),并借太阳位置和自身的生物钟辨别纬度(因科氏力随纬度变化太小);也还有其他的鸟类导航假说,但至今还不清楚这些鸟类是借什么器官来感知和辨别这些作用因素的。一些鱼类和海龟能在海洋中回游数千公里而能返回原地。例如,北大西洋的鳗鱼能回游数千公里到欧洲和北美的江河觅食,然后再返回海洋原地产卵。有人提出鳗鱼的导航机制是它具

有辨别电场强度和方向的能力,对垂直鱼身的电场最灵敏,对平行鱼身的电场则无反应;这样鳗鱼便能借海洋水流在地磁场中流动产生的电场的强度和方向辨别海洋水流的速度和方向,从而循海洋水流回游。蜗牛爬行方向与地磁场或人造磁场方向有一定的关系(偏角),并且偏角每天量有规律的变化(日变化)。这显示蜗牛具有感知磁场的器官。还发现几种细菌总是向地磁北极方向移动,似对磁场有响应;由电子显微镜观察到这些细菌中有铁粒子小链,可能对磁场取向,这很像“活的指南针”,这现象称为“磁移性”。植物也有类似的称为“背磁性”的现象,即一些植物(如水芹等)的根向磁场减弱方向生长的现象。这些生物的地磁导航和地磁定向等机制显然对于仿生学具有重要的意义。

3. 遗传工程中的磁致变异

由于分子遗传学的进展,已经逐渐了解生物遗传的物质基础(基因)是细胞核染色体中的脱氧核糖核酸(DNA)分子,遗传信息便存储在该分子的各个基团上。改变特定基团的结构便能改变特定性状的遗传,引起特定的变异。有意识地改变生物性状和品种以满足人类需要的遗传工程,对于农业和医学都具有显然重要的意义。实验表明:一些生物经过一定的磁场处理后可引起遗传上的变异,称为磁致变异。例如,果蝇蛹在约 22,000 奥和 9,000 奥/毫米的非均匀磁场中处理 30 分钟后,其第 2 代的发育时间增长 1 倍,在以后各代中发育时间虽有缩短,但到第 30 代仍可检测出发育时间的变化,仍未完全恢复到第 1 代的发育时间。将果蝇置于 600—8,000 奥的磁场中,经过 3 代时呈现形态上的变异。理论上曾经提出过这样的看法:DNA 分子中的氢键变化(需要的能量较其他化学键低许多),可引起 H^+ 在不同碱基间的转移(称为隧道效应),这样引起的碱基结构变化会导致遗传密码(信息)的错误,在复制过程中这样的遗传密码错误会剧增,因而产生遗传变异。磁场可改变能级结构和影响隧道作用几率,非均匀磁场可使 H^+ 受到磁力的作用,磁场还可使

运动的 H^+ 受到 Lorentz 力的作用,都会增强或减弱隧道效应,而改变遗传密码的稳定性。曾经同时对 70 天龄和 270 天龄的小鼠在 4200 奥磁场中进行处理,实验结果表明:70 天龄的较对照(未受磁场处理)的活动性高,食物消耗少;270 天龄的则与对照的无差异。因而认为是由于年轻小鼠 DNA 分子复制率较高,遗传密码稳定性改变的放大率也高,所以磁场处理显示较大的影响。目前关于磁致变异的理论和实验还较少,尚待进行更多的工作。

磁学和生物磁学的方法和效应在生物工程上可能还有其他一些应用。例如宇宙航行和空间生物学等方面。

六、结 语

根据辩证唯物主义的观点,生命活动是客观物质世界的高级运动形式,生物是运动的物质在一定条件下经过漫长的进化过程,由低级到高级,由简单到复杂地发展到一定阶段的产物。正如恩格斯英明地指出的:“要想真正详尽地知道什么是生命,我们就必须探究生命的一切表现形式,从最低级的直到最高级的。”生物这一物质的高级运动形式同其它包括物理(磁学)在内的运动形式存在着既有联系又有区别的辩证关系。生物磁学的研究必须在马列主义和毛泽东思想指导下,自觉地运用辩证唯物主义和自然辩证法,通过实践、认识、再实践、再认识的过程,认真地对大量丰富的实践结果进行辩证地分析和综合,掌握和应用客观的规律,认识世界和改造世界。同时,要批判唯心主义和形而上学的错误观点。

总之,从目前的情况看,生物磁学的应用领域是相当广阔的,需要研究的问题是丰富的。我国在磁场疗法、磁性肥料、磁法诊断和磁化水等方面已经取得了可喜的成果;今后在全国科学大会的推动下,向科学技术现代化进军的热潮中,生物磁学这一边缘学科必将更迅猛地向前发展。

[本文于 1977 年 7 月 19 日收到]