

生物磁学的研究手段

崔广霖 (北京大学)

最近十年里,在生物学和物理学之间产生了一门新的学科分支——生物磁学(biomagnetism),它是一门用近代物理手段研究生物磁场现象的科学。

我们知道,在人体的肌肉、神经、器官和组织的活动过程中,往往伴随产生微弱的生物电现象。例如在心脏的搏动过程中,伴随产生较强的生物电流,记录该电流在体表面的电位差,即是心电图。心电图的最大幅值可达10毫伏的量级。目前,对心电图和脑电图的研究已经达到了相当高的水平,并已成功地应用于临床诊断。根据电流产生磁场的物理定律(毕奥-萨伐尔定律),生物电流也应该产生磁场,即生物磁场。有理由推断,在心肌搏动过程中生物电流所产生的磁场信号应该比较容易测到的生物磁信号。1963年,第一张心磁图终于诞生了^[1]。它比第一张心电图的文献报道^[2]落后了约80年。分析其落后的原因,主要有两点。首先,生物磁信号很微弱(心磁信号的最大幅值只有 10^{-8} 高斯),而一直到六十年代中期,仍缺乏有效的微弱磁信号测量手段。其次,环境磁噪声(包括地磁场及其他人工磁场信号源)比生物磁信号要强成千上万倍。也就是说,微弱的生物磁信号深深地淹没在环境磁噪声之中,给测量带来严重困难。

从七十年代起,由于近代物理技术的迅速发展,局面发生了明显的变化。在六十年代末期,研制成功一种用约瑟夫森器件构成的超导磁强计(即超导量子干涉器,英文缩写为SQUID)。这种超导磁强计的灵敏度极高(优于 10^{-10} 高斯·赫兹^{-1/2}),而且输出幅值仅与磁感应通量 Φ 有关,与 Φ 随时间的变化速率无关,因此特别适用于测量微弱而且变化缓慢的生物磁信号。1970年,科亨(D. Cohen)等在美国麻省理工学

院建成一个性能良好的磁屏蔽室,在该屏蔽室内首次用SQUID磁强计获得了令人满意的心磁图(见图1)。此后,又测量了脑磁图、肺磁图、肌磁图等。七十年代中期,在SQUID磁强计的基础上,又研制成功了高灵敏度(优于 10^{-11} 高斯·厘米⁻¹·赫兹^{-1/2})的SQUID磁梯度计(一次微商梯度计和二次微商梯度计)。这种超导磁梯度计不但灵敏度高,而且具有良好的空间鉴别能力和抵抗磁干扰的能力,即使不用磁屏蔽室,也能把微弱的生物磁信号测量出来。这对于生物磁场现象的研究以及在大医院建立磁诊断室,无疑具有重要的实际意义。此外,信号平均技术、带宽选择技术、锁定放大技术和计算机技术等也先后成功地应用于生物磁场现象的研究之中。总之,近十年来近代物理实验技术的发展对生物磁场现象研究的进展起了重大的推动作用,使之获得了不少很有意义的结果。

在心磁图方面已经开展了不少研究工作。人们对心血管疾病的研究十分重视,希望利用心磁图对心脏有更深刻的了解。心磁图确实可以提供更多的信息。心磁图与心电图颇为相似,但不尽相同。正在进行大量的心磁图测量,以便区分正常心磁图和非正常心磁图。研究表明,心电图主要反映的是心脏电流源的非

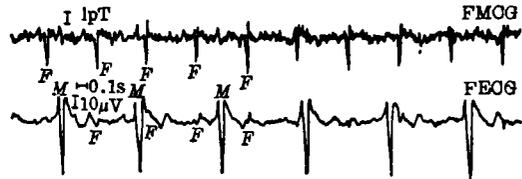


图2 胎儿心磁图(FMCG)与胎儿心电图(FECG)^[4]
F代表胎儿信号, M代表母体信号。

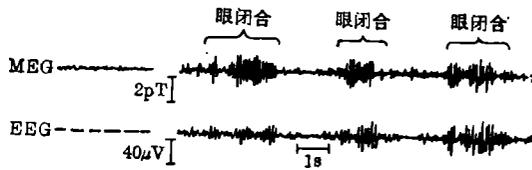


图3 脑磁图(α 节律)与脑电图(α 节律)^[5]

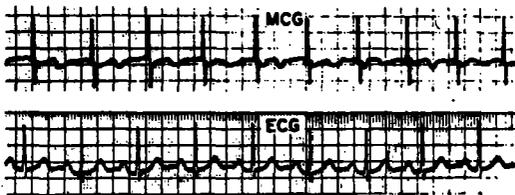


图1 心磁图(MCG)与心电图(ECG)^[3]

旋电流部分,而心磁图则主要反映的是无源电流部分,它们分别从不同侧面提供信息,在研究心脏电流源时应把心电图和心磁图配合使用。在心脏受到某种损伤时,常存在一种稳恒电流,这在心电图上是难以测到的。利用直流心磁图测量伤害性稳恒电流所产生的直流磁场,有可能作为某种隐性心脏病的磁诊断手段。胎儿心电图是很难测到的,因为母体的心电信号比胎儿心电信号要强得多,将胎儿心电信号掩盖了(见图2下)。将SQUID磁梯度计探头尽量靠近胎儿心脏,由于它具有很高的空间分辨能力,能够把胎儿心磁信号检测出来(见图2上)。胎儿心磁图已开始用于妊娠后期的临床诊断。

脑磁图分为自发脑磁图和受激脑磁图两大类。自发脑磁图(α 节律)的最大幅值为 10^{-8} 高斯,频率约为13赫兹。当被测者闭眼时信号强,而睁眼时信号弱(见图3)。癫痫患者的 α 节律信号幅值较正常人强。 α 节律的脑磁图与脑电图颇为相似,但亦存在若干差别。产生 α 节律的真实原因至今尚不清楚。

受激脑磁信号很微弱,只有 10^{-8} 高斯。用1毫安幅值电脉冲信号刺激人的右手小指,可在大脑左半球罗朗多氏缝附近测到体受激脑磁信号。由该脑磁信号的测量结果可以推断:人体右手小指受电脉冲刺激时,大脑皮层的上述确定部位产生生物电流,其电偶极子取向垂直于罗朗多氏缝,强度为10毫微安·米,聚集在0.1立方厘米的区域之内(见图4)。当用同样电脉冲信号刺激右手大拇指时,相应的大脑皮层生物电流源亦在大脑左侧罗朗多氏缝附近,但向下移动2厘米。用光信号(光强度变化或图样变化)刺激视觉,则在头后部枕外隆突尖附近测到视觉受激脑磁信号。实验发现,从光信号发出到受激脑磁信号产生,存在85至145毫秒的潜伏时间,而且潜伏时间长短与光花样的复杂程度及变化速度有关。用声信号刺激听觉,可以在头侧部测到听觉受激脑磁信号。

脑磁信号测量技术比起脑电图法有若干优点。首先,脑磁信号测量是一种无接触测量。将探测器放在距头皮1~3厘米处,即可测量到脑磁信号。脑电图法必需使用探测电极,先要将探测点处的头发刮掉,而且必然要引进接触电势问题和参考点选择问题。更严重的问题在于脑电图不能真实地反映大脑皮层中生物电流的分布情况。因为大脑皮层中生物电流源所产生的体电流先要流过颅骨,再流经导电较好的头皮,脑电信号显然被大大地“均匀化”了。因此,脑电图法很难测定大脑皮层伴随脑神经活动而产生的生物电流源的确切部位。由于超导磁梯度计能相当准确地测量生物电流源的部位和强度,脑磁图法正在成为研究神经系统和实验心理学的重要实验手段。在美国,海军

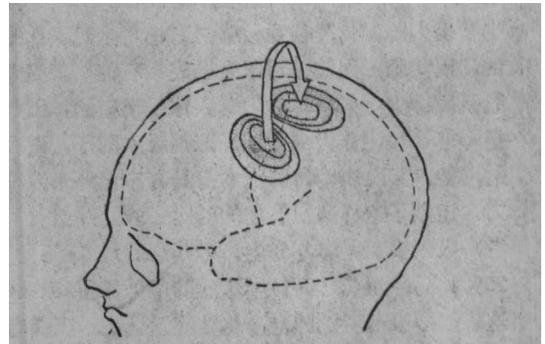


图4 体受激脑磁图^[6]



图5 美国纽约大学脑磁信号研究室内景^[7]

资助该项研究工作,目标是将脑磁图技术作为挑选在关键战斗岗位上具有高度适应紧急情况能力作战人员的一种手段。图5为美国纽约大学神经磁性研究室内景照片。该实验室地处纽约市区,环境磁噪声比较严重。由于采用了SQUID二次微梯度和信号处理技术,不采用任何磁屏蔽手段而能成功地记录受激脑磁信号。

肺磁图记录的是另外一种类型的生物磁场现象。它不是生物电流产生的磁场,而是由于外界的铁磁性粉尘进入体内(可视作一种摄入体内的“污染物”)产生的微弱直流磁场。例如 Fe_3O_4 粉尘吸入肺部,这些粉尘在人工磁场(甚至地磁场)的作用下被磁化,其剩余磁场也构成一种生物磁场现象。使用超导磁强计在胸前逐点测量磁感应强度,即可确定 Fe_3O_4 粉尘在肺部的含量和分布情况。电焊工人和石棉矿工人的肺磁信号可高达 10^{-5} 高斯以上,比心磁信号的最大幅值(10^{-8} 高斯)还高一个数量级。石棉矿工人肺部常存积较多的石棉矿粉尘。由于石棉矿常与 Fe_3O_4 矿伴生,故石

棉矿工人肺磁信号往往较强。石棉粉尘对人体是有害的，因此肺磁图技术可以发展成为石棉矿职业病检验手段。少量 Fe_3O_4 粉尘对人体是无害的，因此可以把 Fe_3O_4 粉尘作为一种磁示踪剂吸入肺部，研究肺泡的功能。实验表明，肺泡本身具有净化外来污染的能力。还做了这样两组有趣的对比实验，一组（不吸烟者）吸入少量 Fe_3O_4 粉尘，半年之后只剩下了 10~20%；另一组（吸烟者）半年后肺中仍保留 50~60%。这表明不吸烟者的肺泡净化功能远远优于吸烟者。

除心磁图、脑磁图、肺磁图之外，还研究了肌磁图、眼磁图、肝磁图等，这里就不一一介绍了。

生物磁学的发展只有十几年的短暂历史。但生物磁场现象的研究引起了人们很大的兴趣。1980年在西柏林举行了第三次生物磁性讨论会。在同一时间同一建筑物内举行了第二届 SQUID 国际会议。两个会议的会议室相邻，会议参加者可随意选择听取两个学术会议的学术报告，并参加讨论。有时还联合举行会议。这本身就生动地说明了生物磁场现象研究与 SQUID 研究之间的紧密联系。作者在出席第二届 SQUID 国际会议期间，部分时间参加了第三次生物磁性讨论会，亲眼看到了物理学家和生物学家、医生之间紧密协作、共同讨论学术问题的生动情景。

生物活动过程是极其复杂的，必须采用多种多样的最先进的实验技术才能逐步搞清楚。用高灵敏度的超导磁强计和磁梯度计提供生物磁场的的数据，其必要

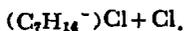
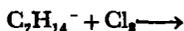
性是显而易见的。与生物磁学相并行的另一个新兴学科分支——磁生物学 (magnetobiology)，是一门研究外加磁场对生物系统影响的科学。磁疗便是磁生物学的重要应用。然而至今对磁疗的机理仍然是很不清楚的，生物磁学可能对磁疗机理的揭示有所帮助。人体特异功能是人们十分感兴趣的现象，准确测量其生物磁场并总结其规律性，将有助于该项研究工作。生物磁学对基础医学的研究是很重要的，其发展的直接结果便是建立磁诊断学，在各大医院建立磁诊断室。

生物磁场现象的研究工作目前在我国仍未开展，值得投入适当的力量填补这一空白。在研究工作中要特别注意提倡物理学工作者与生物学家、医生的紧密协作，以促使生物磁学这一新兴边缘学科尽快得到发展和应用。

- [1] Baule G. M., McFee R., *Am. Heart J.*, 66 (1963) 95
- [2] Waller A. D., *J. Physiol.*, 8 (1887) 163
- [3] Cohen D., Edelsack E. A., Zimmerman J. E., *Appl. Phys. Lett.*, 16 (1970) 278
- [4] Williamson S. J., Kaufman L., Brenner D., eds. Schwartz B. B., Foner S., *Superconducting Applications: SQUIDS and Machines*, Plenum Publ. Corp. (1977) 355
- [5] Cohen D., *Science*, 175 (1972) 664
- [6] *Phys. Today*, 32, 8 (1979) 18
- [7] Williamson S. J., Kaufman L., *NBS Special Publication*, 508 (1978) 177

冷却引起爆炸

苏联科学院化学物理研究所的科技人员，发现了一种链式放热反应，反应物为甲基环己烷与氯的混合物。它的反应式为：



在低温 (60K) 下的反应速度比高温下要快几个数量级。为了要使反应开始，必须用氮激光器照射，使自由基的浓度达到 $(3\sim 7) \times 10^{16}/\text{厘米}^3$ 。当温度低于 60K 时，反应的速度如

此之大，甚至可使混合物产生爆炸性火焰。

混合物由等克分子的反应物组成，当温度低于 140K 时，它是一玻璃状的固体。它可安放在厚 0.1 厘米的石英槽中，用激光照射样品 1~8 分钟后，就引起爆炸。在表面层，氯分子光解成氯原子，同时产生 $\text{C}_7\text{H}_{13}^{\cdot}$ 自由基。当它们的表面浓度达到临界值时，反应的速度将明显地增长，混合物的表面将产生火焰，反应将以约 10^4 厘米/秒的速度扩展到样品的深处，这时样品表面和靠近样品的石英槽的壁将受到损坏。

当样品在 60~80K 用激光来活化，然后冷却至 60K 以下时，从缓慢反应转变为爆炸。样品进行活化的时间越长，引起爆炸的临界温度就越高。

如果活化的样品在接近熔点时冷却，或者当氯的浓度低于 1/3 克分子时，那么爆炸就不会发生。

[徐永康据 *Природа*, 3 (1981)109, 史观一校]

