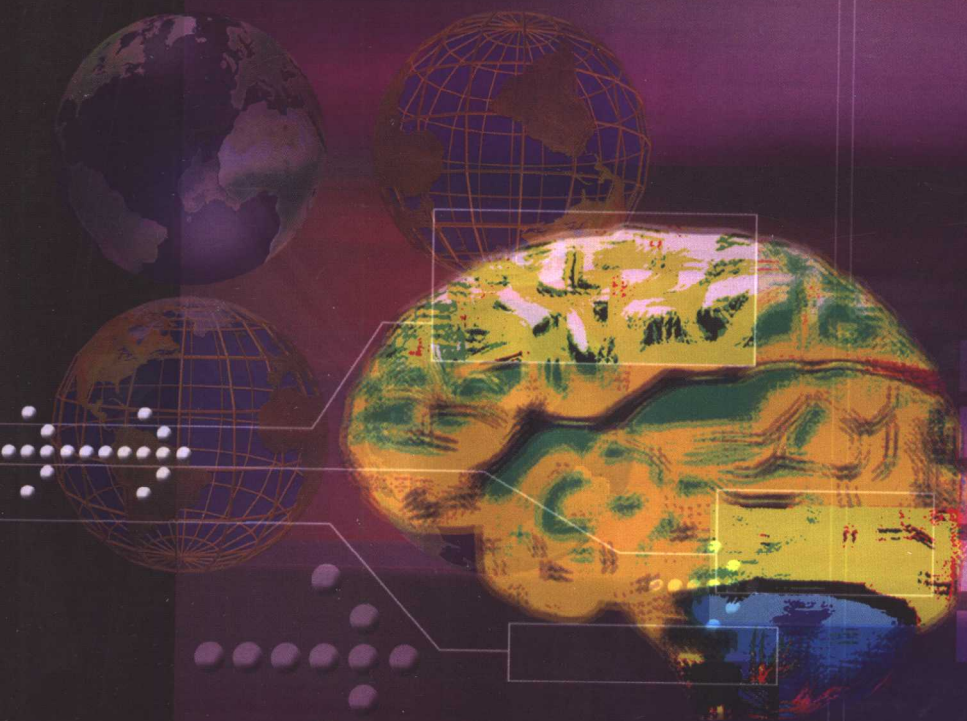


MAGNETOENCEPHALOGRAPHY

脑磁图

◎吴育锦 / 主审

◎孙吉林 尹 岭 赵文清 / 主编



科学技术文献出版社

脑 磁 图

主 审 吴育锦

主 编 孙吉林 尹 岭 赵文清

副主编 彭彦辉 张淑倩

科学技术文献出版社

Scientific and Technical Documents Publishing House

北 京

图书在版编目(CIP)数据

脑磁图/孙吉林,尹岭,赵文清主编.-北京:科学技术文献出版社,2005.4
ISBN 7-5023-4852-2

I. 脑… II. ①孙… ②尹… ③赵… III. 脑-磁共振成像-图谱
IV. R445.2-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 129161 号

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路 15 号(中央电视台西侧)/100038
图书编务部电话 (010)68514027,(010)68537104(传真)
图书发行部电话 (010)68514035(传真),(010)68514009
邮 购 部 电 话 (010)68515381,(010)58882952
网 址 <http://www.stdph.com>
E-mail: stdph@istic.ac.cn
策 划 编 辑 付秋玲
责 任 编 辑 付秋玲
责 任 校 对 唐 炜
责 任 出 版 王芳妮
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 富华印刷包装有限公司
版 (印) 次 2005 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
开 本 787×1092 16 开
字 数 315 千
印 张 14.25
印 数 1~3000 册
定 价 45.00 元

© 版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

• 作者简介



●
孙吉林,男,博士,副主任医师。河北省人民医院脑磁图室主任。是国内最早从事脑磁图工作的专家之一,发表论文20余篇,参编著作3部,曾在芬兰赫尔辛基大学中心医院及美国新墨西哥州退伍军人医院进修学习。获河北省科委科技进步三等奖三项。目前承担省级科研课题2项。



●
尹岭,主任医师,教授,博士生导师。

1955年12月生于河北省阳原县。1982年12月毕业于中山医科大学医学系。1997—1999年在美国克里夫兰CCF中心从事神经免疫博士后研究工作。现任解放军总医院神经信息中心主任。专业特长脑血管病和神经系统免疫性疾病的临床和实验研究。

2001年代表中国加入了国际经济合作与发展组织—全球科学论坛—神经信息学(OECD-GSF-NI)工作组,参与制定OECD-GSF-NI工作指南。并担任全国神经信息学联络组组长。2002年提出了“针刺信息流”的假说,开展了针刺脑功能成像和神经信息学的系列研究。2004年作为首席科学家申报的“973国际合作重大项目”已经立项,具体负责“国际神经信息学网络中国节点和神经信息学工具”的开发研究。担任国家科学数据共享工程的工作组成员,负责起草医学领域科学数据共享的可行性研究报告。担任国家科技基础条件平台科学数据共享的重点项目“医药卫生科学数据管理和共享服务系统”的第二负责人和工作组组长。



赵文清，男，1954年7月出生，中共党员，主任医师，教授，博士生导师。1978年10月毕业于北京大学医学系，同年被分配在中国医学科学院肿瘤医院工作，1983年12月调入河北省人民医院，历任外科住院医师、主治医师、神经科副主任、神经外科主任。从事神经外科工作近20年，在神经系统肿瘤、神经影像和癫痫的诊断和治疗方面有较深的造诣，培养硕士、博士研究生6名。2002年5月，任河北省人民医院院长兼党委副书记。曾任河北省第六届青联委员，河北省第十届人民代表大会代表，中华医学会神经外科分会第一届委员、石家庄医学会神经外科分会副主任委员、中国医师协会神经外科医师分会第一届委员会委员、中国医院院长理事会理事、河北省医学会第五届理事会常务理事、《医院管理学》和《中华医学论坛》等杂志编委。所做课题《囊虫性脑内小囊肿》获河北省科技进步一等奖，在国内外学术刊物上发表论文20余篇，编辑出版学术专著1部，获河北省科技进步一等奖1项、二等奖1项、三等奖1项，河北省优秀医学成果二等奖1项。

序

脑磁图作为一种先进的医学影像技术,已逐渐得到大家的认同和肯定,尤其为神经内、外科的发展和进步作出了巨大贡献。河北省人民医院是国内第一家引进脑磁图设备的医院,在脑磁图的临床应用和科学研究方面积累了大量的宝贵资料和丰富的经验,为神经电生理事业的发展做了大量的工作。国内至今尚无有关脑磁图方面的专业书籍。由吴育锦教授主审,孙吉林、尹岭、赵文清等同志编写的《脑磁图》一书是脑磁图室几年来工作经验的总结。本书全面系统的介绍了脑磁图的发展、原理、临床应用及科研价值。该书具有文字简练、图像清晰、资料丰富、实用性强等特点,以使读者能获得较为完整的概念。相信本书的出版一定会对影像学科和临床科室的工作研究具有较高的参考价值,对脑磁图在临床中的应用起到良好的促进作用。

李春岩

二〇〇四,十二月,十五

前 言

脑磁图(MEG)具有很高的时间分辨率及空间分辨率,可以实时地记录脑电磁生理变化。全头型脑磁图设备的临床应用是在 20 世纪 90 年代初期,它的探测器可以覆盖全头,即可以一次性同步记录脑电磁信号,将脑磁图所获得的电生理资料与磁共振所获得的解剖结构资料叠加,形成了 90 年代初期出现的成像方法,即磁源性影像(MSI),将人脑解剖结构和功能融合到一起。据统计,截止到 2002 年底,全球共安装了 67 台全头型脑磁图设备;截止到 2004 年初,我国已经安装了 3 台全头型脑磁图设备,分别在河北省人民医院、广州三九脑科医院及北京天坛医院。随着人民生活水平的提高,相信脑磁图将越来越多地应用于临床检查及基础研究中。

《脑磁图》一书在各位编审人员的努力及支持下,在河北省人民医院的领导和同事们的支持下,经过两年多的努力,终于和广大读者见面了。脑磁图在临床上主要应用于癫痫灶定位及脑功能区定位,希望本书能对从事脑磁图及脑电生理有关的医务人员,神经内科、外科医生,儿科医务工作者提供帮助和参考。

由于脑磁图具有毫米级的空间分辨率及毫秒级的时间分辨率,使人们对脑的高级功能活动进行研究成为可能。目前,已经有很多关于应用脑磁图探讨脑的高级功能活动的论文发表,脑磁图设备的出现对从事脑高级功能研究的人员来讲,也是一大喜事。

本书的编写得到了瑞典伊科达-Neuromag 公司、美国 4D-Neuroimaging 公司工作人员的支持和帮助,在此表示深深的感谢。

脑磁图与脑电图有相似之处,也存在很大的差异。目前国内尚无脑磁图专著,而且由于脑磁图在我国引进时间较短以及编者的水平所限,书中难免出现错误,希望专家、同道和读者批评指正。

孙吉林

目 录

第一篇 脑磁图基础知识

第一章 脑磁图发展概况	(1)
第二章 脑磁场的解剖及生理学基础	(3)
第一节 人脑及神经元的结构	(3)
第二节 静息电位、动作电位及突触后电位	(4)
第三章 脑电磁场的探测	(7)
第一节 超导量子干涉仪工作原理	(7)
第二节 常用的探测线圈	(10)
第三节 脑磁信号的源分析	(10)
一、概述	(10)
二、脑磁图数据	(13)
三、源分析方法	(19)
四、源分析软件	(27)
第四章 脑磁图测量的主要设备	(32)
一、磁屏蔽系统	(32)
二、脑磁场的探测装置	(33)
三、头位置指示器	(34)
四、刺激系统	(34)
五、信息综合处理系统	(35)
六、灌注液装置	(36)
第五章 脑磁图记录伪迹	(37)
第一节 外源性干扰	(37)
一、静电干扰	(37)
二、设备附近的电磁干扰	(37)
三、射频干扰	(37)

第二节 内源性干扰	(37)
一、肌电伪迹	(37)
二、心电伪迹	(39)
三、刺激伪迹	(39)
四、电极和皮肤界面伪迹	(39)
五、患者体内金属产生的干扰	(41)
六、眼动伪迹	(42)
第六章 部分多通道设备简介	(43)
一、欧美佳(OMEGA)	(43)
二、Magne 2500 WH 和 Magne 3600 WH	(43)
三、Neuromag 122 通道及 Vectorview 306 通道脑磁图设备	(44)

第二篇 脑磁图临床应用

第一章 脑磁图在癫痫中的应用	(46)
第一节 癫痫病人脑磁图检查前准备及检查过程中的注意事项	(46)
一、癫痫病人脑磁图检查前的准备工作	(46)
二、MEG 信号采集过程中的注意事项	(47)
第二节 癫痫灶定位	(47)
一、原发性癫痫的癫痫灶定位	(47)
二、继发性癫痫的癫痫灶定位	(51)
第三节 癫痫综合征——获得性失语	(84)
第二章 脑磁图在脑功能区定位中的应用	(88)
第一节 体感诱发脑磁场	(88)
一、概述	(88)
二、躯体感觉系统传导路的解剖及生理	(88)
三、躯体感觉诱发脑磁场检测设备和主要操作步骤	(89)
四、检测中的问题及处理方法	(91)
五、正常初级体感皮质诱发磁场	(91)
六、大脑初级体感皮质的磁源性影像	(93)
七、体感诱发磁场在临床中的应用	(93)
八、MEG 与 EEG 及 FMRI、PET 的区别	(95)
第二节 运动与脑磁图	(96)
一、运动系统的解剖及生理基础	(96)
二、脑磁场的形成及测量	(103)

三、运动诱发电位	(104)
四、脑磁图在运动功能研究中的应用	(105)
第三节 听觉诱发脑磁场	(111)
一、听觉诱发脑磁场发展概况、解剖生理基础	(111)
二、听觉诱发电位概述	(116)
三、听觉诱发脑磁场检测设备和主要操作方法步骤	(117)
四、正常听觉诱发脑磁场及其影响因素	(119)
五、大脑听觉皮层的磁源性影像	(121)
六、听觉诱发脑磁场反应与听觉诱发电位和正电子发射断层显像的比较	(123)
七、听觉诱发脑磁场在基础和临床研究中的应用	(124)
第四节 视觉系统的脑磁图研究	(128)
一、视觉系统的解剖和生理基础	(128)
二、视觉诱发磁场及视觉功能成像技术间的比较	(132)
三、视觉诱发磁场刺激状态和相关参数	(139)
四、正常人黑白棋盘格翻转图形刺激视觉诱发磁场及其影响因素	(143)
五、视觉 MEG 的临床应用	(155)
六、其他类型刺激的视觉诱发磁场研究	(158)
第五节 语言认知功能的磁源性成像	(179)
一、语言认知功能脑磁图研究发展概况	(179)
二、语言认知功能的相关应用解剖和生理	(180)
三、语言认知功能检查对受试者的要求及刺激方法	(180)
四、正常语言认知功能脑磁图表现	(181)
五、语言认知功能的磁源性成像在基础和临床研究中的应用	(185)

第三篇 脑磁图研究进展及前景

第一章 脑磁图在脑梗死中的应用	(187)
一、脑梗死常见病因	(188)
二、脑梗死发病机制	(188)
三、脑磁图与脑电图的比较	(188)
四、脑磁图在脑梗死中的应用	(189)
第二章 脑磁图在颅脑损伤中的应用	(199)
第一节 概述	(199)
第二节 脑磁图在颅脑损伤中的应用	(200)
一、现状	(200)

二、病因	(200)
三、发病机制	(200)
四、各种检查的特点	(201)
五、脑磁图在颅脑损伤中的应用	(201)
第三节 颅脑损伤的比较影像学.....	(203)
第四节 脑磁图的优点和缺点.....	(205)
一、脑磁图的优点	(205)
二、脑磁图的缺点	(206)
第五节 脑磁图在颅脑损伤中应用的展望与未来.....	(207)
第三章 脑磁图在其他神经及精神疾病中的应用.....	(209)
索引.....	(210)
英汉对照.....	(212)

第一篇 脑磁图基础知识

第一章 脑磁图发展概况

脑磁图 (magnetoencephalography, MEG) 是无创伤性地探测大脑电磁生理信号的一种脑功能检测技术, 在进行脑磁图检查时探测器不需要固定于患者头部, 检测设备对人体无任何副作用。在 19 世纪初, 丹麦物理学家 Oersted 发现随着时间变化的电流周围产生磁场, 磁场的方向遵循右手法则, 即当右手拇指指向电流方向时其余四指所指的方向即为磁场方向。此法则同样适用于生物电电流(图 1-1-1)。人类首次记录生物磁场测定是在 1963 年, 由美国的 Baule 和 Mcfee 两人用 200 万匝的诱导线圈测量心脏产生的磁信号。5 年以后, 美国麻省理工学院的 Cohen 首次在磁屏蔽室内进行了脑磁图 (magnetoencephalography, MEG) 记录。Cohen 用诱导线圈和信号叠加技术及超导技术测量了脑的 8~12 Hz 的 α 节律电流所产生的脑磁信号。

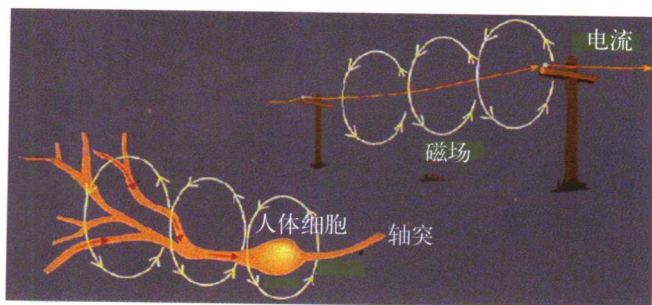


图 1-1-1 电流周围产生磁场 (4D-Neuroimaging 提供)

随着电子技术的发展, 1969 年 Zimmermun 与其同事发明了点接触式超导量子干涉仪 (super conducting quantum interference device, SQUID), 使探测磁场的灵敏度大大提高。首次记录包括心磁图, 随后在磁屏蔽室内使用 SQUID 技术测量了脑磁图。

最早期的脑磁图设备为单通道, 也就是说有 1 个传感器, 它覆盖的面积非常小, 随后出现 4 通道、7 通道、24 通道、37 通道及 64 通道等生物磁仪。为了得到全脑的生物磁信号, 必须不断地转动传感器的位置, 测量起来既费时间, 又不能得到同步的脑电磁信号。随着科学技术的进步, 目前已经由美国 4D-Neuroimaging 公司生产出了 148 通道、248 通道及芬兰 Neuromag

公司生产出306通道的全头型生物磁仪,加拿大CTF公司生产的OMEGA151、275通道全头型脑磁图设备,图1-1-2基本上代表了脑磁图的发展史,即由通道数较少、探测器覆盖面积较小的脑磁图设备发展为90年代初期的覆盖整个头部的多通道全头型脑磁图设备。全头型MEG设备只需经过一次测量即可采集到全脑的生物电磁信号,而且可与MRI所获得的解剖结构资料进行叠加,形成磁源性影像(magnetic source imaging, MSI),将解剖及功能叠加到一起,准确地反映出脑功能实时变化,目前已经广泛应用于神经内外科疾病的诊断及实验研究。

目前国内共安装了三台脑磁图设备,分别位于广州三九脑科医院、北京天坛医院及河北省人民医院。图1-1-3为河北省人民医院装备芬兰Neuromag公司生产的306通道全头型生物磁仪。

脑磁图的发展



图1-1-2 脑磁图发展简史(Neuromag提供)



图1-1-3 芬兰Neuromag公司生产的Vectorview 306通道全头型生物磁仪

第二章 脑磁场的解剖及生理学基础

第一节 人脑及神经元的结构

人脑表面积大约为 $285\,000\text{ cm}^2$, 脑平均重量为 $1\,400\text{ g}$ 。主要由位于脑表面的皮质及其深部的髓质组成。髓质内又埋有若干灰质团块。由于大脑半球各部发育速度不均, 发育慢的部分深陷成大脑沟, 发育快的部分则隆起形成大脑回。在人类, 约 $2/3$ 的脑回位于大脑沟裂内, $1/3$ 的大脑皮质位于脑表面(图 1-2-1)。

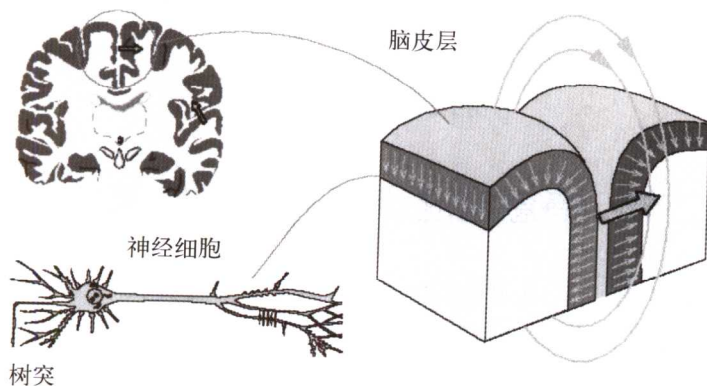


图 1-2-1 (Neuromag 提供)

大脑皮质主要由神经元、神经胶质细胞及神经纤维构成。人脑大约有 10^{13} 个神经元和神经胶质细胞。胶质细胞的作用主要为支撑结构, 维持离子浓度和输送营养物质。大脑皮质由浅入深主要分 6 个基本层, 由浅入深依次为: 分子层、外颗粒层、锥体细胞层、内颗粒层、节细胞层和梭形细胞层(图 1-2-2)。

神经元由胞体、突起和终末三部分组成。胞体包括细胞核和核周的细胞质, 是细胞的代谢中心, 也能接受刺激。根据形态结构和功能的差异突起分为树突和轴突。树突 1 个至多个, 呈树状分支, 接受刺激, 将兴奋传向胞体。轴突一般只有 1 个, 细长且分支少, 将兴奋由胞体传出。突起的终末分布于外周器官, 形成神经末梢, 感受体内、体外的刺激或支配效应器的活动。神经元之间的联系是靠突触完成的。

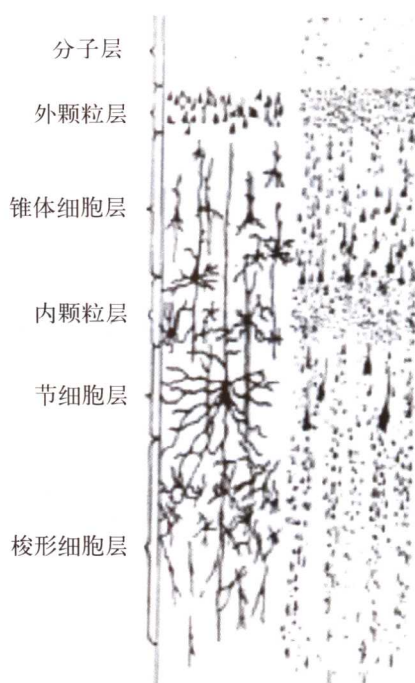


图 1-2-2 大脑皮质分层

第二节 静息电位、动作电位及突触后电位

细胞膜是一个结构特殊、功能复杂的屏障。它以液态的脂质双分子层为骨架,其中镶嵌着具有不同生理功能的蛋白质。借助这种特殊的膜结构,神经细胞可产生并传递神经冲动。

1. 膜静息电位

安静状态下存在于细胞膜内外两侧的电位差,其数值因动物种类和细胞种类不同而异,但内负外正是其共同特点。若规定膜外为零电位,膜内电位一般为 $-10 \sim -100$ mV。静息状态下,细胞膜对 K^+ 的通透性是 Na^+ 的 50~100 倍,产生和维持静息电位的主要原因是细胞内高 K^+ 和安静时膜对 K^+ 的通透性。一般认为,静息电位即是 K^+ 的平衡电位。

2. 动作电位

当细胞受到刺激时,细胞膜内外电位差发生变化,膜上的 Na^+ 通道开放,大量的 Na^+ 内流,同时伴随 K^+ 外流, Na^+ 迅速大量内流使膜内电位增大到足以对抗由浓度梯度引起的 Na^+ 内流。膜对 Na^+ 通透性的增加只维持很短时间, Na^+ 通道很快即进入失活状态,膜对

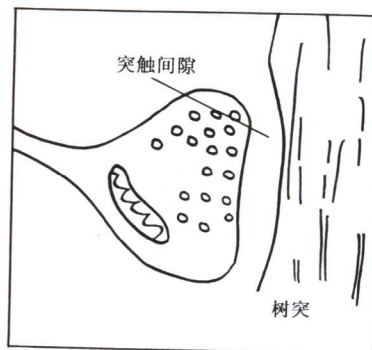


图 1-2-3 突触示意图

Na^+ 的通透性迅速下降, 接着, 又出现 K^+ 的通透性增高。

3. 突触后电位

突触由突触前膜、突触间隙及突触后膜三部分构成(图1-2-3)。突触前膜内有很多小的囊泡, 其内有特异性递质, 神经冲动到达突触前膜后, 囊泡内的递质释放入突触间隙, 并作用于突触后膜的特殊受体, 突触后膜某些离子通道开放, 膜电位发生变化, 产生突触后电位(图1-2-4)。突触后电位分为兴奋性突触后电位和抑制性突触后电位, 兴奋性突触后电位使膜出现去极化, 抑制性突触后电位使膜出现超极化。

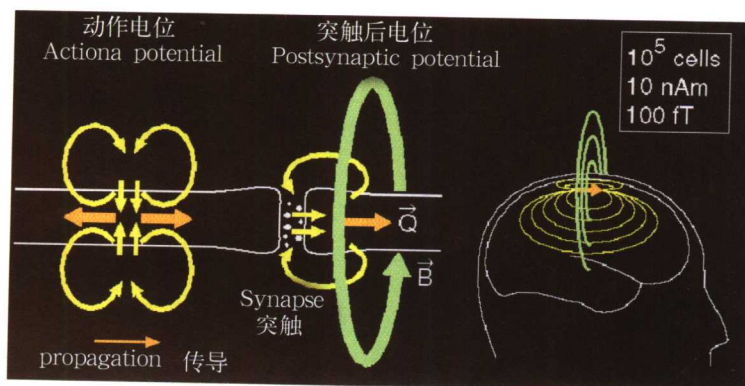


图1-2-4 突触后电位及颅外磁场

脑电活动主要有三个来源: ①跨膜电流; ②细胞内电流; ③细胞外容积电流。每一个电流成分均有其相关的磁场, 脑磁图所测量的磁场反映了所有电流成分的磁场的叠加。跨膜电流不产生可探测的磁信号, 原因是细胞膜内外的电流大小相等, 方向相反, 所产生的磁场相互抵消。细胞外容积电流在球形导体内所产生的磁场在球形导体外为零, 头颅的内表面近似一个球形导体, 根据物理学公式推导出一个在容积导体内放射状方向的电流源在容积导体外产生的磁场为零, 因此脑磁图对放射状方向的树突活动为一个盲区。轴突的电活动也产生磁场, 然而运动电位时空范围有限, 所有轴突同步产生电流是不现实的。因此, 只有细胞内电流的正切成分才能产生可探测的磁场。突触后电位即为细胞内电流, 将突触后电位看作一个电流偶极子(图1-2-5), 脑磁场测量实际上是测量的突触后电位中与脑表面呈正切方向的电流所产生的磁场, 当然很少的树突表现为纯粹的放射状或单纯的正切状。但任意一个电流矢量均可分解为放射状成分及正切成分。脑磁图选择性测量正切成分。

由于大脑皮层的锥体细胞尖树突平行排列, 当有同步电活动时, 可以形成等电流偶极, 从而在头皮外产生可

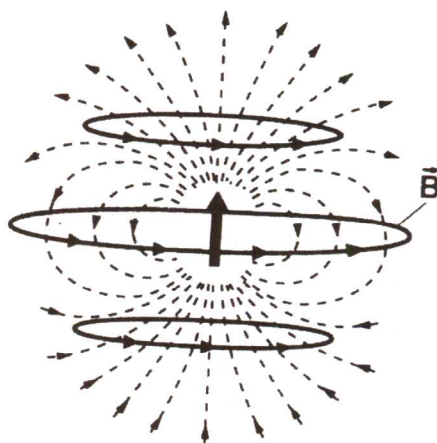


图1-2-5 图中心箭头示等电流偶极子