

实用 脑波学 图谱

王德堃 著

上海远东出版社

实用脑波图谱学

王德堃 著

上海远东出版社

1992

沪新登字144号

实用脑波图谱学

王德堃 著

上海远东出版社

(原上海翻译出版公司)

上海复兴中路597号

邮政编码: 200020

新华书店上海发行所发行 上海市印刷七厂一分厂印刷

开本787×1092 1/8 印张27.5 插页110

1992年7月第一版 1992年7月第1次印刷

印数 1—4000

ISBN7-80514-589-X/R·96 定价: 68元

序

作者挚意邀我写点什么以充本书之序，理由率直而简单：一客不烦二主，顺写、顺路罢了，除非我没看懂。“没看懂”的结论不好接受，我对本书是字字认真，通篇审阅了的；也曾为几处精彩之说拍案而起过。但如果真由我执笔，仍有外行越界之嫌。想来想去，还是回归本位，写几段编后感以代之。

40年代末，在南京建立了我国第一个脑电图室，以后，此项技术便迅速地在全国医学院校、医学研究所、各大医院以及区、县医院广泛开展起来。现在，它已成为人体科学和脑科学研究的首选手段和临床医学常规检查项目。50年代张葆樽教授、70年代杨焯林教授、80年代冯应琨教授出版的关于脑电图学的书，早已成为后学者的范本。只是，在教学中阅读的图谱，依然是引用英国和日本的资料，这些资料一般都缺乏临床记载和脑波分析，致使脑电图室工作人员感到难读、难用，临床医生则更是望而却步了。至今脑波图谱一事，在我国仍是一片空白。

由山西省中医研究所副主任医师、副研究员王德堃所撰写的这本完全以国人为实例的《实用脑波图谱学》，共选集了130份病例，其中包括19个病种，251幅例图，40余万字的文字论述。图为17线，依原尺寸制版，不缩小，以保持清晰、真实、可比。作者对每幅例图都尽其可能地记录了病史和临床资料；极其认真地进行通俗易懂的专题讨论；字里行间充满了她对本学科的热烈情感和宝贵经验。全书文字流畅、优美，观点新颖、大胆，具有很强的技术性、知识性、可读性。作者更着眼于开发新技术、探索新方法、建立新假说，耦合式脑心相关计算机分析程序使信息检出率大为提高，脑波判读范围已经拓宽进入了一个新领域。这些既朴实无华又标新立异的内容，在国外的脑波图谱类书籍中是罕见的。

本书给患者留下了借鉴他人认识自己的发病史料；给技术员留下了签发报告的规范和技巧；给医生留下了广泛的跨学科知识；给研究人员留下了值得深思的课题。作者巧妙而娴熟地将科技与科普融为一体，其覆盖面之广，在同类书籍中也是罕见的。

作者擅长于在单调、平凡的工作中发掘新思想、捕捉新认识；对于她，生活之树常绿。譬如常人脑波基本频率为8~13波/秒，这在脑波报告中一直被写了60多年；但作者却奇巧地从中发现了黄金值0.618。思维与灵感从来就是学术界热门话题，但一直徘徊在实验室之外；而作者竟用一组普查式常规设计方案，将其引进实验室，并在皮层与皮层下的调谐中，再一次地追踪到了美学值0.618。从而使作者满怀深情地提出了“美丽的大脑和黄金分割律”这一独具风采的观点；脑是美丽的，而思维着的脑尤为美中之最。又譬如，自从技术条件允许后，脑与心这两个时变系统就同时出现在多导记录中，但却从未被相关认识过；而作者从自己精心设计的计算机谱分析中奇异地发现了“脑分部之间、脑分部与心之间是何等地着意于频段的择优互选，以满足于时变信息质的要求”。从而，作者创造性地提出了“在意识活动中，心不仅仅只满足于供血而已；心显然更提供了最优化匹配频率，心也是信息源”这一在学术界全新的概念。

作者之所以能在脑波判读中如此地得心应手，当与她丰富的实践活动分不开。作者1959年毕业于大连医学院医疗系，随即分配至山西省中医研究所任内科住院医师，1960年赴北京中国医学科学院实验医学研究所从师于林·迪安娜大夫和在协和医院脑系科从师于冯应琨教授进修脑电图学。以后，便一直在山西省中医研究所脑电图室从事本职工作，至今仍在第一线。在这30年的工作中，她严从师命，牢牢地立足于脑电图室，始终不渝地对“脑”进行钻研、探索。她先后在北京、上海、广州等地发表学术论文60余篇，连续8次获山西省科技成果奖，1次获东北地区发明一等奖。她曾协助山西、湖南、浙江、大连等省市建立、健全了20余个脑电图室。从师于她的研究生、医生和技术员约有200多位；经她亲手处理的脑电图当不下10万余份。她还应聘为山西大学客座教授，为心理学专修班讲授生理心理学和医学心理学。就是因为作者有这些深厚而扎实的功底，才有了这本多彩多姿的《实用脑波图谱学》。作者奉献给读者的不仅仅是一本书，而是她由心血所积累的全部经验和对“脑”的无比虔诚和崇敬。

本书在十年之内四易其稿，终得完成，又经过张葆樽教授、郭保华教授等专家的指导和审阅，使之更为充实。当然，脑科学在当代科学中仍属年轻的学科之一，随着人类对了解自身的兴趣不断提高，随着科学技术手段的不断发展，脑科学的进步必定是日新月异的。与科学进步相比，这本书将很快出现薄弱环节，需要补充、修正或续写，相信作者一定会为此做出不懈的努力。

本书有好几处，作者似乎为自己留下了伏笔。譬如还有一些不是思维问题而胜似思维问题的神经电活动的密码，也都刻印在脑波之中。这个密码在脑波中怎么读？作者没说。又譬如，在“脑-心耦合式脑波计算机分析”中，多次提到了黄金分割律和人才的自我判知。人怎么才能认识自己？作者也没说。这真是些十分引人入胜的悬念，我们期待着作者写出下文。

作者无私地把她的经验奉献给读者，我们也十分乐意地向广大读者推荐，愿广大读者在阅读本书后，能从脑研究中获得乐趣并增强自我认识，能在自己所从事的临床、教学、科研或其他工作中获得新的体会和更大的成果，这便是我们最感欣慰的了。

作者要我代向给予本书出版以极大支持的上海远东出版社和自然杂志社先后参加本书讨论和编辑的有关同志致以最真挚的感谢。我还想对作者的丈夫萧景汉高级工程师表示深深的敬意，因为由于他的关心、支持和帮助，才使作者 30 年的工作如此出色，《实用脑波图谱学》写得如此美妙。

朱怡怡

1992 年 5 月 10 日

目 录

序

基 础 篇

一、大脑——物质世界美学之最	3
关于脑，已知一些什么?	3
关于脑与思维，已知一些什么?	4
关于脑与疾病，已知一些什么?	5
关于脑功能与脑循环，已知一些什么?	6
美丽的大脑与黄金分割律	7
二、脑波概述	8
脑波产生的原理及其影响因素	8
几种常见的脑波及其临床意义	10
脑波常用术语	16
导联选择及本实验室在方法学上的对比研究	22
脑波判读及报告书写	25
脑电图报告内容与书写方法	27
脑波判读的常用条件及其分类	28

临 床 篇

一、正常脑电图	35
二、婴儿痉挛症	44
三、癫痫大发作	62
四、癫痫小发作	98
五、局限性发作	112
六、颞叶癫痫	135
七、间脑癫痫	155
八、颅脑外伤	194
九、昏迷、异常睡眠	219
十、脑炎、脑病	237
十一、脱髓鞘疾病	257
十二、智能障碍	267
十三、脑血管病	286
十四、内科常见病及其他	315

研 究 篇

一、各种思维负荷状态	401
二、脑-心耦合式脑波计算机分析	426

后 记

基 础 篇

一、大脑——物质世界美学之最

关于脑，已知一些什么？

人之所以成为人，就在于人具有一颗在当今物质世界中，几乎是完美无缺的大脑。人的七情六欲、聪明才智、生老病死，无一不源出于脑，无一不相关于脑；就像奔腾澎湃一泻千里的长江源出于唐古拉山的各拉丹冬雪峰一样。

脑是通俗的器官，通俗到每人都有一颗，不论是老人还是婴儿，不论是天才还是笨伯。脑又是高贵的器官，高贵到神圣不可侵犯，不论是权贵还是庶民，不论是英雄还是士兵。脑更是迷人的器官，它以自己结构上的严谨端庄、行动上的铿锵有力、功能上的婀娜多姿，赢得了人们深情的爱，不论是学问渊博的科学家还是牙牙学语的孩童。当然，脑也是可以认知的器官，它是思维和意志的宫殿、是学习和记忆的宝库、是情感和幻想的海洋。人们用脑研究无限广大的宇宙，也用脑研究无限微小的粒子；但是，人们用脑来研究脑自己，那还只能算是刚刚开始。如果把对神经系统的全部认知当作 100 的话，目前人们对它的了解还不足 10%，对于那 90% 以上，几乎可以说是无可奉告。现在，科学家们正在用计算机、同位素、超声波、解剖刀、电极、试管等各种各样的手段，对于脑发起了一场表情的追逐，谁都希望能亲手掀开罩在它上面的那层轻纱的一角，以求一睹这瑰宝的真颜。

关于脑，已知一些什么？人脑重约 1300~1700 克，与 1.5 千克左右的豆腐重量相当。若把脑的沟沟回回都展开成为连续的平面，它的表面积约为 2.6 平方米；要比身高 2 米、体重 105 千克的运动健将的体表面积还要大些。脑分左、右两个半球，每个半球又分额、顶、枕、颞四大区域；分别掌管着精神、感觉、运动、视觉、听觉和记忆等功能。在两半球间由胼胝体相连接；胼胝体是一条粗大的神经纤维束，它由 2 亿条纤维组成，其振荡频率为 1 秒钟 20 次，传播速度是 1 秒钟 100~120 米。即在单位时间内，左右半球间将有 40 亿次神经冲动通过；这就保证了脑在了解、认知周围世界，抓住它的意义并处理困难作业时，能够迅速地、全部地被激活。在两半球之下覆盖着中轴结构，重要的生命中枢就在于此；它管理着呼吸、心跳、体温、胃肠蠕动等内脏活动。整合中枢也在于此；丘脑和丘脑下部与情绪状态、醒觉水平密切相关；内、外环境的刺激在进入大脑皮层之前，总要在此地做一番筛选、调整 and 综合，这是一级信息加工站。在大脑的后下方贴伏着小脑，它对人体运动功能的协调性和准确性负责，体操运动员姿势的优美与矫健，就是它的功劳。近来，也说小脑与思维活动有着千丝万缕的联系。

脑是一种在结构上极为错综复杂的组织，在整个宇宙中，没有什么已知的东西可以与其相媲美。然而，脑也是由细胞组成的，就像其他任何组织都是由细胞组成的一样。在 200 万年的人类进化历史中，造就了全身 20 万亿个组织细胞；其中脑神经细胞约占 160 亿个，另还有 1600 亿个神经胶质细胞。脑细胞的这个数量级大概与银河系的星星一般多。

脑细胞是脑结构和功能的基本单位，它是由细胞体、树突和轴突三部分构成。细胞体像个大逗点，它负责生成生命所必需的化学物质及能量物质，它是生物化学器。树突像一堆灌木丛围绕在胞体周围；它是细胞体的精细的管状延伸物，重复分枝，盘根错节，为胞体提供了广阔的实体表面积。树突的功能是接收进入细胞的信号。轴突仅有一条，是细而长的管状延伸物，短者几微米，长者达 1 米；在其末端分成 1000 多个枝叉，枝叉终止处扩大成为终钮。轴突的功能是将信息传递给其他细胞；轴突内有慢速和快速轴浆流运输线，故又具有物质转动的功能。

神经细胞与神经细胞之间的连接依赖于突触。突触分三种类型，即轴突-树突型、轴突-胞体型、轴突-轴突型；任何类型的突触都是由突触前膜、突触间隙(200 Å 距离)和突触后膜三部分构成。人脑约有 10^{15} 个突触，它们相当于线路上的电源开关。一个神经细胞大概有 1000~10000 个突触，能接收来自 3000~10000 个其他神经细胞的信息。若仅就其中 100 万个神经元而论，如果按着各种可能的方式成对的联结起来，则可能出现的组合总数竟达 $10^{2783000}$ ；这是一个十分惊人的数字，如果把它们写出来，就要印满 350 多页《科学

美国人》杂志。依一定方式组合起来的脑细胞可容纳的信息量为 $10^{12\sim 15}$ 比特，相当于具有 1600 万册藏书量的大型图书馆的 50 倍。

其实，脑的所有秘密都起始于一朵纤细的火花——一个蕴藏着“语言”意义的神经冲动；借助于这种“语言”，可兴奋细胞即可相互通讯并激发其反应。由于语义不同，突触前膜所释放的化学递质也不同；而不同的递质将在突触后膜引出兴奋性突触后电位（EPSP）或抑制性突触后电位（IPSP），这不同性质的突触后电位又绽开了一朵朵纤细的火花；它们就像火药包导火索线的燃烧一样，噓噓作响地沿着细胞轴突匆匆向前，在其行程的终点——突触处，在 200Å 的空间中引起了一场真正的化学爆炸，在这里将迸溅出人类思想、观念、情感、意志的生命的火花。这个过程在百亿个脑细胞中不同程度地进行着，它贯彻生命的始终而昼夜不舍；不论是聪明还是鲁钝，不论是正常还是癫狂。人的独特的性格、感受、情感、意识、思维、学习、记忆的各种倾向，就隐藏在脑细胞之间的突触相互连接的精确的模式之中。突触是人的一切行为、生理和心理活动的总调度室，是人类智慧的锁钥。

关于脑与思维，已知一些什么？

脑是一个结构复杂、层次清晰、等级森严和分工明确的生物宇宙。人脑两半球在某些高级功能上是高度专门化了的。一般地讲，左半球同抽象思维、象征性关系和对细节的逻辑分析有关；它能说会道，能写会算，具有语言的、分析的和连续计算的能力。它更像一个统治者，在控制神经系统方面起着积极的主导作用，是一丝不苟、严肃认真的对外执行机构。

右半球则常常是沉默寡言的。一般说来，它不能同外界保持联系，它把对于行为的驱动权拱手让给了左半球，而除开束缚之外，却连一碗红豆粥也没有得到。右半球与知觉和空间位置觉有关；能处理单项的事物，而不能处理连续的数理序列。但是，它得天独厚的具有一种特殊才能，即擅长于形象思维；它是一位艺术大师，更是一位充满着发明创造激情的开拓者；它具有音乐的、绘画的、综合性的、整体性的以及几何空间的鉴别能力。

由于语言功能绝大多数集中在左半球，致使它有机会登上了号令三军的点将台；所以，长期以来人们都众口一词的尊称其为优势半球，而把谦逊、沉默、内向的右半球贬之为劣势半球。事实上，右半球在许多方面显然比左半球优越得多，特别是在具体思维能力、创造思维能力、对空间构成的思维能力以及对复杂关系的理解能力等方面尤其是这样。右半球是天才的乐队指挥，它在解释听觉—声音印象和理解音乐特征时显得才华横溢；右半球在表达情绪和识别情绪方面是独具慧眼的，喜、怒、哀、乐、怨、忧、思、悲、恐、惊，这些情绪的微妙处理都要依靠右半球。其实，默默无闻的右半球在人类的高级水平上，它感知着、思考着、情绪激荡地进行着学习和记忆；它把握着现在，也幻想着未来，由于右半球重要功能不断地被披露，左半球的统治地位必将结束，“优势半球说”总归要被“大脑两半球机能不对称说”取而代之。

现在，把讨论范围从左右半球缩小到脑的区或叶，看它们与思维关系又如何。

额叶 额叶有自知之明，它的一项重要职能就是裁判自我。额叶失职的人就不能察觉自身所犯的错误，但却能夸夸其谈地指责别人的缺点或不足。额叶的另一项重要职能是主持智力活动；额叶失职的人，从简单的直观思维到复杂的抽象推理都将发生障碍，往往易于冒然地下断语，冲动地做结论；而且，有组织的智力活动全部瓦解。额叶还有一项重要职责就是进行抽象思维、提出设想、规划和程序安排，若是额叶此项功能失常，则人的思维状态将处于混乱之中。

额叶具有利用语言调节行为的能力；额叶具有知难而上的进取精神，它能保证注意力集中，并主动努力地去解决问题；另外，思维的敏捷性和词组运用的灵活性也是由额叶来管理的。

颞叶 颞叶的功能是对视觉和听觉信息进行综合理解和判断，并将产生的记忆贮存起来；它的记忆功能是构筑一切聪明才智的基石。有了记忆才能学习，有了学习才有积累、比较、鉴别和进步。

顶枕叶 左半球顶枕叶在保证复杂的、同时性的空间综合中起着主要作用；如果该区功能失常，则表现为“执行不力”，一事当前却无所措手足，而且在分析直觉关系和符号关系时感到困难。右半球顶枕区功能障碍时，特别恼人的表现是自鸣得意，不肯承认自己犯有错误，自认为自己是一贯正确，是终极真理的化身。

网状结构 位在中轴结构的背部。它像鱼网一样，抛撒在一个较大的范围之内；一个网状巨细胞就要和 2000~10000 个细胞发生联系。它的任务就是激活大脑皮层，令其维持在清清楚楚、明明白白的工作状态；人的头脑醒觉水平的高低，很大程度取决于网状结构上行激活能力的大小。若是取消其激活作用，大脑只不过是一团浆糊而已；人将昏昏然呆如木鸡。

边缘系统 它是由丘脑、丘脑下部、海马、杏仁核、额叶、穹窿等众多部分联合组成的跨区域系统。人的感觉、欲望、情绪、爱与恨、亲与仇、喜与悲，一切动人心弦的情感都产生在这里，并在这里受到调节和

整合。它使人能够在瞬息万变的现实生活中，保持充分的激情和积极向上的生活态度，令其不致因喜而得意忘形，因哀而一蹶不振。

神经递质 一个神经细胞究竟是属于兴奋性的还是抑制性的，重要的是取决于突触前末梢所制造的化学递质是什么及其自身的化学特性；突触化学深深地影响到人们的精神状态和行为特征。目前已知脑内有神经递质 40 多种，重要的有儿茶酚胺、去甲肾上腺素、多巴胺以及脑啡肽等；如果外界刺激条件良好，递质就会使人感受到生活中充满了“好感事物”，人就会兴趣十足，信心百倍地去努力提高动力，寻求刺激，追逐欲望，争取成功。这里是学习、记忆和怡然情绪所赖以生长的伊甸园。反之，如果外界条件过分的残酷与险恶，递质作为对不良刺激的一种惩罚或反应，人就变得心灰意懒，逃避刺激与兴趣，要求安慰与满足，无论世界上发生了什么事情，再也不能唤起好感了。人之哀莫大于“心”死，而此便是。

脑电波 脑的每一个细胞都以“放电”的形式展示着自己的存在，从而宣告了生命之花正在争奇斗艳，生命活着。如果在 72 小时之内脑不能进行任何电活动，那就意味着死亡，那怕心脏还在跳动。

已知与思维状态相匹配的脑部电活动有三种模式。一种是未知、探索、惊疑和应激等状态；脑电活动表现为异步化，即波幅很低而频率很快，步调杂乱无章；由于它难于形成有效电场，故而也就不容易由它来完成解决思维课题的任务。这是思想中激荡着“怎么、什么、为什么？”而百思不得其解的一种不安式脑部电活动。这种活动方式耗能很大而作功较少。一种是集中注意、搜索记忆、编排程序、求取答案的状态；脑电活动表现为基本节律同步化，此刻波幅及频率均取其中等水平。脑电波节律规整、步调一致，有如行进中的士兵；由于它易于形成有效电场，故而能够胜任解决思维课题。这是用心思考、回忆和展望的一种恒常式脑部电活动，它既耗能又作功。还有一种是灵感活动，即“心有灵犀一点通”的瞬间；其实，这是皮层与皮层下结构电活动的一种短暂的高度协同状态。脑电表现为区域性典型 θ 活动；即波幅较高、频率较慢、节律规则，它多半是突然出现又突然消失。这种电活动的有序化水平甚高，容易形成较强的有效电场，是皮层与皮层下联合作业的结果。它常常伴随着思维课题的解决而在中线额区出现；这是对问题千回百转的思谋之后，冲过峡口，一泻千里的奔放式脑部电活动。这种电活动方式耗能大而作功亦大；结果、答案、决心、意志等，就跳跃在这组波形的峰峰谷谷之间。

还有一些不是思维问题而胜似思维问题的神经电活动的编组密码，也都要刻印在脑波关系网络之中。例如，这孩子智力发育健全吗？这位运动员成才的脑素质如何？这应试者可以做教师吗？这是一种需要深情厚爱和广博知识的神圣职业。这就医者是真的病了还是遇上了“麻烦”？是真的衰老了还是自暴自弃？想来这都是些十分引人入胜的研究课题，动手去做已迫在眉睫。

关于脑与疾病，已知一些什么？

诚然，脑自身会罹患各种各样的疾病。例如，临床上常见的、各种类型的脑瘤和癫痫；由于其病理性质、表现方式和所在部位不同，从而，由它所引导的脑部电活动也就不同。这不同特征的电活动，就有可能为临床诊断提供有力的依据。脑血管病也是一组常见病；尤其是在发病的早期，尚未形成偏瘫、失语等明显结构障碍之前，脑部电活动就已先期出现异常。这种异常电活动，对于疾病的早期诊断显然是十分需要的。脑外伤有着明确的病史，不难判断；但是，对于恢复过程和后遗症的估计，却有一部分依据是来源于对脑部电活动的观测。关于脑部的一些感染性疾病，在脑部电活动中的影响更是早期的、敏感的；尤其是在病史不明的情况下，测量脑部电活动状态则更为重要。例如，有一位十分勤奋的工程师，刚刚被提升为厂领导之后，他就坐在办公室喝茶、看报，再也不去车间了；为此，他受到了指责。一周后，这位工程师公然懒惰到不仅不去车间，甚而连家也不回。组织批评、家属吵闹都打搅不了他的淡漠情绪和嗜睡的欲望；只有厂医怀疑他是病了。脑电检查结果竟然提示为散发性脑炎。

值得注意的是：有时候，脑疾病的影响并不只限于脑内，还严重的涉及到脑外。例如，脑血管意外时，在心电图上可见到肺性 P 波、巨大 T 波、明显 U 波或 Q-T 延长。脑干损害可出现脑源性心肌梗塞，S-T 段呈扬旗样上升以及明显 U 波；若脑干上部损害，则出现心动过速和早搏；若脑干下部损害，则出现心动过缓和缺血性改变。它的发病机理可以认为是脑病损害了植物神经中枢，从而导致神经-体液调节功能紊乱。例如，血钾降低、肾上腺素增高或醛固酮异常等，尤其是交感神经中枢受累时释放出大量的儿茶酚胺，更能诱发心肌梗塞的出现。鉴于此，应郑重提出，在检查脑部电活动时，同步记录心脏电活动是十分必要的。

事情远非就此停止，体内其他系统的疾病还时时刻刻地在冲击着大脑，并在那里留下它们的阴影。例如，心肌梗塞、心脏瓣膜病、心内膜炎等，都有很大的可能，导致脑供血不全、脑血栓形成或脑栓塞；临床可见偏瘫、抽搐、精神症状以及意识障碍。肝脏疾患对脑也有莫大的影响，它产生假性神经递质来代替突触

前末梢所释放的正常递质，从而对大脑发挥较强的抑制或刺激作用；此时，血脑屏障的屏蔽作用又迅速减弱，代谢毒物大量进入脑内并积存起来；这些，对于脑都是一种严重的打击。临床可见兴奋不安、精神错乱、扑翼样震颤、口臭，直至昏迷。肺与肾脏疾患与脑更是息息相关，在临床表现并不十分严重的病例中，异常脑电活动的出现率约占 80~90%。而其中中度异常者约占 25%，可见其影响之深。

所以，在认识脑与疾病的关系时，不仅只要认识脑疾病自身，而且更要认识脑与其他系统，或其他系统与脑之间的，那种盘根错节的制约关系，以及其交相呼应的影响后果。有时候，尽管脑部疾患是继发的，但却构成了影响疾病转归的真正根源。

关于脑功能与脑循环，已知一些什么？

脑循环的重要意义：脑是一个相当复杂的整合体，它是人体代谢活动最活跃的器官。脑对于氧的需要量很高，成人脑耗氧量占全身耗氧量的 20%，约为静息时肌肉耗氧量的 20 倍。平均年龄为 6 岁的儿童，其脑耗氧量更高，约占全身耗氧量的 50% 左右。脑的灰质部分的耗氧量要比白质高出 3~5 倍，机体兴奋时耗氧量增加，安静和慢波睡眠时耗氧量降低。

脑对于糖的需要量也很高。脑组织和其他器官不同，它几乎没有能量物质的贮存，其能量来源差不多完全要依赖于毫不间断的、糖的代谢进行。脑所需要的葡萄糖量占全身葡萄糖总消耗量的 17%。占用正常肝脏输出的葡萄糖的绝大部分。由于脑组织不能贮存大量葡萄糖和氧，因此，必须通过脑血液循环及时地输送，才能不断地向脑提供能源。如果血糖水平降低，机体将随着降低程度而逐渐地出现乏力、晕厥、意识不清、昏迷和死亡。

脑对于血液的需要量更高，脑重量仅为体重的 2~3%，但却占用了整个心输出量的 15~20%。脑代谢需要脑血液循环来加以保证，以维持其对于脑的氧和葡萄糖的连续供给，正常脑功能的进行，就是要依赖于足够充分的血液供应来实现的。当脑血液供应减少或中断时，可引起神经细胞的缺血性供氧匮乏，若不及时改善供血，终将导致脑水肿或肿胀和坏死。实验证明，脑的血液供给一旦完全停止，弥散在脑组织内和结合于血液内的氧，将在 8~12 秒内完全耗尽；贮存在组织中的少许能量物质，如三磷酸腺苷和磷酸肌酸等，将在 2~3 分钟内全部耗竭；5 分钟后，皮层神经细胞开始死亡。正常成年人每分钟全脑血流量为 750 毫升左右，约合 50~54 毫升 / (100 克 · 分⁻¹)。若其血流量不是完全停止供给而是逐渐降低的话，神经功能衰减的临界水平约为 18 毫升 / (100 克 · 分⁻¹)。当平均供血量减少到一半的时候，即可发生精神紊乱，甚至意识丧失。

脑功能与脑血流的关系：大脑皮层各区域内血流量的变化，即可反应出这些区域的功能活动状态水平的高低；因为，一种组织内功能活动水平的增高，只有增加耗氧的速度才能维持，而增加耗氧量就必须增加血液供给。例如，人在安静、清醒、闭目、舒适仰卧、不讲话、不被打扰时，皮层前部血流量高于中部和后部。平均 100 克脑组织每分钟供血量为 50~54 毫升，皮层前部要超过均值的 20~30%，其他区域的血流则要慢些。这种明显的供血差异，说明即使是在安静状态，前脑部总的活动水平也要较后脑部为高，大约要高出 50% 左右；此种供血方式称为“额叶过多”。“额叶过多”是基于这样一种生理心理特征：安静时的意识大部分集中于内心活动，特别是集中于反映其自身状态以及与过去和未来有关的事件上；安静、清醒的脑，每一瞬间都是在进行对于行为的模拟。额叶就是负责这种行为设计的。

人在睁开双眼看一个物体时，定位于颞叶和枕叶的视联络皮层区血流量增加大约 20%，而运动前区也清楚地活跃起来。一个响亮而毫无意义的噪音刺激听觉，则引起定位于脑双侧颞叶后上部附近原始听皮层和听联络皮层的血流量增加；当听到的是一个口头词汇时，这些区域血流量增加得更多。

人在进行心理活动时，如解答问题、谈话、朗读、默读、记忆和推理等，将会引起几个脑区同时出现血流的变化；复杂的行为过程事实上不是局部的，而是分布在全脑。例如，在讲话和朗读时，血流不仅在运动区和运动前区增加，而且在外侧裂语言区的上、前、后亦增加；局部血流平均增加 15%。在回忆和推理时，除引起颞区和运动前区的局部变化外，全脑血流量更明显地增加约 10%；此与当事人在进行作业时的努力明显相关。问题愈是困难，解题愈是努力，则血流增加愈是明显。在默读或反复在头脑里数顺序数 1~20，此刻，这种“内心语言”首先激活额叶，特别是运动前区；想象语言是不能激活平常讲话时积极参加的语言运动区和语言感觉区的。

人在进行随意运动时，例如用力运动自己的手，则对侧皮层中央前回手部代表区的血流量明显增加，可达 54%，而其他非投射区只增加 11%；随着活动量的增加，则增加血流量的区域将沿着中央沟扩展。当躯干部肌肉运动时，增加血流量的区域不在大脑，却在小脑。受过适当训练的人能够在内心执行依次运动手指的命令而手却保持其全然不动状态。这种想象的运动首先激活的是运动前区，然后才涉及到原始运动皮层的

手代表区和有关的皮层感觉区。此一过程提出，运动前区是一个动态运动的程序编制者，原始运动皮层是执行者，原始感觉皮层乃是控制者。

值得注意的是情绪状态对局部脑血流的影响。例如饥饿的猫发现老鼠时，其皮层及丘脑下部血流量增加；饱食后的猫此种反应减小，甚至不出现反应。人的数字广度记忆能使运动前区和额区血流量增加12%；而厌恶记忆或懒于思索者，其血流变化甚少。

脑部电活动是脑功能活动的一种常用指标；脑部电活动与局部脑血流之间相关甚好。例如在外侧膝状体，其局部脑血流、神经电活动和闪光频率之间有密切关系。电刺激中脑被盖区网状结构及海马，在中膈区能记录到局部血流量增加，与此同时海马区出现 θ 节律。电刺激一侧海马，则被刺激侧海马首先出现痫样放电，同时中膈血流量较安静时成倍的增加。在癫痫发作时，脑电活动出现棘波放电，而局部脑血流和氧代谢率都明显增加。在昏迷状态，脑电出现 δ 活动，则局部脑血流和氧代谢率都大为减少。由此可见，脑电活动的频率和局部脑血流之间也存在着密切关系；频率愈快则血流与氧耗愈增加，反之，频率愈慢则血流与氧耗愈减少。在刺激脑干时，可出现4种脑电反应，即唤醒反应、平坦化反应、睡眠纺锤放电和高幅慢波；其中只有唤醒反应伴有明显的血流量增加。这表明，脑功能活跃时脑血流量才增加，而脑功能减退时脑血流量即减少；反之亦然。

脑功能与心功能的关系：脑为了认知周围世界，并在困难的作业中进行活动，皮层就必须不只是局部，而且是全部参与激活；同时伴随着脑功能水平的增高，此一增高的水平只有增加氧耗速度才能得以维持；当然，这就对心脏供血提出了更高的要求。这样，脑功能的激活就势所必然的要建立在心功能强化的基础之上。例如，试用心算法默算一道连减法（由100连续减去13）；然后，将心算状态与其自身安静状态相比较。结果发现心算状态中心率均值净增加达20次，同时伴有左心室射血功能增强以及血氧分压和血氧饱和度的增高；经过统计学处理得知，休息和心算这两种不同功能状态间的差异具有非常显著意义。这些增值的直观效果，就是向由于进行心算而全面激活的脑组织，输送更多的能量物质、糖以及氧。由此可知，为了保证脑功能激活，必须同时伴有心功能的强化，以求保证向脑提供丰富的血液供给；脑功能、能量代谢和心功能三者是须臾不可分离的。更有实验证明，用调整心脏起搏器的方法，使人的心跳频率加快，当快到一定范围时，人的阅读、理解、书写复杂语句以及连贯论证的能力均有明显进步。可见，最佳状态的脑功能激活，事实上是脑-心功能耦联式激活。

美丽的大脑与黄金分割律

黄金分割律也叫中外比，即 $X:L = (L-X):X = 1:1.618$ ， $X = \frac{\sqrt{5}-1}{2}$ ，其近似值为0.618。据说古老而美丽的建筑物，其宽与高之比值常为0.618；从进化的角度看，古老而美丽的人，其躯干宽与高之比值恰是0.618；数学优选法的着眼点也是0.618。0.618作为美学的代表数字，它更隐藏在脑部电活动中。正常人脑有两种主要活动频率，即8~13波/秒的 α 活动和13~21波/秒的快活动；而这两组数字的比值均近似于0.618。

有一个事实颇引人注目，即中年知识分子脑波频率均值为9.7波/秒，在其心算过程中于运动前区可出现6波/秒的慢活动；而6与9.7的比值正是0.618！一般地讲，6波/秒的脑波常常是在思维活动结果即将出现的那一瞬间。因而可以毫不夸张地讲：脑是美丽的，而思维着的脑尤为美中之最。

二、脑波概述

脑波产生的原理及其影响因素

脑，是人类一切高级行为的物质基础；它是由 100~160 亿个神经细胞和 100 万亿个突触以及比其更多 10 倍的胶质细胞所构成。在皮层，神经细胞排列有序，从外向内共分 6 层：①分子层，内为水平细胞，其轴突横行于皮层表面，具有横向传导功能；②外颗粒层，即小锥体细胞层；③外锥体细胞层，为主要皮层细胞，其顶树突长达皮层表面；④内颗粒层，即星形细胞层；⑤内锥体细胞层，即称神经节细胞层或大锥体细胞层；⑥多形细胞层，其轴突伸入邻近白质，通过胼胝体将神经冲动传达到对侧半球的皮层对应区；故也称其为胼胝体神经细胞。

在这 6 层细胞中，构成脑波自动节律的主要是锥体细胞，尤其是深层的大锥体细胞。大锥体细胞具有形成有效电场的特定条件：即细胞排列井然有序，其顶树突更是平行并列，而且按垂直于皮层表面的方向走行；顶树突颇长，其实体表面积比细胞体大约 10 倍以上，接触面积将因此而大为增加；顶树突较粗，所以具有较低的阻抗。这样，在广阔表面积上的众多突触点的电活动，若是方向一致而且阻抗又较低的话，将很容易被总和成为一个有效电场；这时，即可记录到一个综合性的突触后电位。连续不断的综合性突触后电位即是脑电波的主体电活动。如果用实验的方法将第 5、6 层细胞破坏掉，则皮层节律性电活动即消失不见，这就更加证实，脑电波构成电位与大锥体细胞等密切相关。

丘脑是皮层下感觉系统的最高中枢；在一般状态下，由于各种感觉刺激的影响，来自皮层下的神经冲动都是杂乱的、非节律性的。只有，当丘脑背内侧核有机会摆脱了纷繁的感觉刺激的时候，它的天赋的自动节律性才能得到解放，并向大脑皮层发出节律性冲击；从而成为强化皮层电活动的有力因素，这就产生了 α 节律。节律性脑波的起步点就位于丘脑背内侧核。专一的超觉状态如气功入静，有利于阻断一切感觉刺激，使节律性起步点向皮层的冲击力量得到强化，从而使 α 活动大大增强。

8~13 波/秒的自发性 α 节律的出现与两种电活动有关：①在大脑皮层和丘脑之间，神经细胞组成了反馈性回路，在此回路中往复振荡着的神经冲动依一定周期传输给皮层，参与了 α 节律的形成；②汇集于丘脑的阈值下神经冲动，依一定的周期性节律冲击着皮层，从而造就了 α 节律。

位于脑干背部的网状结构，和中枢各个区域都有广泛联系，它的上行激活系统的神经冲动可以抑制丘脑非特异性核团的节律性放电，致使丘脑向皮层发放的冲击节律紊乱；因而导致皮层电活动呈现去同步化状态，即表现为快活动， β 活动乃属于此。

不论神经冲动的表现方式是节律性的还是非节律性的，它们都要取决于神经细胞能量代谢过程所产生的电位水平，电位达到临界值时，细胞即行放电，形成脑电波。临界值的高低决定于细胞膜及其释放递质的化学特性；而达到临界值的速度则取决于细胞代谢的速度。脑波的形成，深深地受到细胞代谢的影响。当然，脑波的形成也受制于突触连接阻抗的大小以及漩涡性放电扩播能力的强弱；脑波的同步化或异步化就取决于它们的大小和强弱。

影响脑波的因素

影响脑波分布状态的有物理因素对视觉、听觉、皮肤感觉等器官的刺激；如声音、光线、温度和机械物等。还有生理因素及遗传密码对脑的直接作用；如过度呼吸、新陈代谢、体温高低、酸碱稳态、血糖水平、条件反射以及各种不同的功能状态(警觉态、醒觉态、睡眠态、催眠态、气功态等)。药物对脑直接或间接的制约力量更不容忽视；如乙醚、鲁米那、杜冷丁、苯妥英钠、三甲双酮、扑痫酮、丙戊酸钠、冬眠灵、利血平、眠尔通、利眠宁、安定、麻黄素、咖啡因、激素类以及乙醇等。如果临床状况允许，检查脑波前最好停药一周，以求减少药物影响所导致的误判断。尤其是安定和硝基安定，它们的作用常常可持续 1~3 个月之久。但是，位于脑的等级统辖最高层次上的意识活动、心理状态、精神事件等，它们对于低层次的指导或控

制意义却通常地被删而不计了；而这，对于临床判断显然是特殊重要的、不容忽视的。

上述因素对于脑波的影响是非特异性的，只具有一般性激惹或阻抑作用，其改变程度与刺激强度有关而与质的特征关系不大(只是目前这样讲)。脑波分布状态的改变也不外乎是 α 、 β 、 θ 、 δ 以及病理波形的强化或阻抑。尽管如此，仍有从机制上深入探讨的必要。

1. 年龄、精神事件与读书

脑波分布与年龄大小有密切关系。年龄愈小则快波愈少而慢波愈多，且伴有基线不稳。年龄愈大则快波愈多而慢波愈少；但是，在50岁以后，慢波又陆续回升，且伴有不同程度的基本频率慢波化。

但是，伴随年龄增长而慢波回升及基本频率慢波化的趋势是受着诸多因素所制约的；其中精神事件与脑力劳动的影响尤为明显。例如，人的智慧被分为两大类，一类为易变智慧，即流动智力，与人名、地名、数字广度记忆等有关；它随着年龄的递增而递减。另一为结晶智慧，即凝聚智力，与逻辑思维、形象思维、经验积累有关；它随着年龄增长而增长，80岁以后才迅速下降。若如是，则可以认为过早的慢波回升并非生理衰老的必然，乃是某些病理过程的一种表现，而未曾引起临床注意罢了。又如精神事件的影响：测量54名(40~78岁)既往经历有重大精神创伤的“健康”人脑波，其中有40名(74.07%)慢波增多；在对等的临床条件下，再测量92名经历一般的“健康”人脑波，其中有22名(23.91%)慢波增多。两组异常率的差别具有非常显著性意义($X^2=33.02$)。至少可以这样讲，在这一部分人中，精神事件助长了慢波回升的趋势；构成了脑波异常的基本动因。脑力劳动对于脑波的影响，显然具有积极意义，它可以推迟基本频率慢波化出现的时间及速度；是延缓中枢衰老的一种有效手段。例如，在146名(40~78岁)大学本科毕业的、身体“健康”的工程师中，查有84名(57.53%)为 α 型脑波； α 活动均值频率为9.7波/秒、波幅为46.3微伏、指数为63.3%。平井富雄氏曾报告一组(40~70岁)脑波参数：频率为9.46波/秒、波幅为30微伏、指数为50%；系泛指一般中、老年人，而未限定文化程度及工作性质。若将这两组相比较，工程师组显得频率为快、波幅为高、指数为多。由此可以得出一个印象，即是工程师组脑部电活动的衰老进程较一般同龄人来得慢些；仍能维持较高水平的 α 活动。良好的 α 节律意味着他们的大脑仍然具有积极的准工作状态、较高的意识活动水平、较稳定的情绪表现以及较强的驱动自己进行有效思维的能力。可见，随年龄增长而增多的慢波会因精神因素而加剧，也会因积极的脑力劳动而延缓，见图1。

2. 情绪与注意

情绪在人的社会生活中处于极为敏感的前沿地位；情绪是以特殊方式来表现的心理健康事件，它伴随人的一生而又“无时不在”的影响着皮层功能状态以及脑波图式。对于脑波图式的改变，既可以认为是脑活动过程的基础，又可以认为是脑活动过程的表现。情绪与注意在心理学上有着各自特点，但在脑机构上，它们几乎是无法分离的。

由于声、光等强的或具有生物学意义的刺激引起了定向反射——初级注意，脑发出与一般“觉醒反应”相类似的“怎么？”“什么？”“为什么？”的惊疑时，在脑波上则引起明显的 α 节律阻抑和 β 活动增强。但是，高级形式随意注意的脑波反应就要复杂得多，常见有期待波(慢活动)的出现和同步活动的皮层点的数目增多，以及皮层诱发电位参数改变等。因为，为了保证注意的选择性形式，即分出这个或那个信号并抑制对附带刺激的反应，只有脑干的网状结构上行激活作用还远远不足，必须要有丘脑非特异性核团——边缘系统，尤其是海马、杏仁核和尾状核，以及更高层次的大脑皮层额叶参加。自主整步理论认为，所有主要的丘脑核都有能力来控制皮层的一个相应部分；即在丘脑核中发现了的节律性活动，一定会在皮层的相应联系区域内记录到它们。而丘脑-皮层间冲动传输达到极大的频率范围正是 α 波段；这就表明，在 α 波段内，在丘脑与皮层之间存在着一个信号的传输，此一被传输的信号乃是代表着系统对某一激励的反应。丘脑活动愈是活跃，脑波 α 节律应愈是明显；这就是为什么处在高级随意注意，例如主动积极地认知活动时，脑波会出现以同步化活动为主的理由，亦即其结构依据。

丘脑和海马更是边缘系统中情绪记忆环路的重要组成部分；焦虑情绪与新异刺激的一般性唤醒一样，在皮层引起以去同步化活动为主的 β 节律，足球守门员的脑波即常如此。其他情绪则是由同步化活动的 α 波表现出来的，而不是去同步化；例如愤怒，在脑波上的表现竟然与宽松状态相同，以 α 活动为主，只是在额叶出现成串的 θ 波；尽管这两种情绪在主观上和行为上又是何等的截然不同！一般地讲， α 指数可以作为情绪表现的指标，情绪稳定而思维广博的人 α 指数较高，情绪不稳定而狭隘偏激的人 α 指数则甚低。

在讨论情绪与注意的时候，应对心血管系统的作用给以充分的重视；因为，它能向中枢神经系统提供一个负反馈机制。例如激烈情绪，会导致血压升高和心动过速，其生理意义是在于制止中枢内部“骚动”，而不是一般性唤醒。如果在激烈情绪中血压不升高、心率不加快，反而会使中枢的抑制机制减弱，情绪表现将越

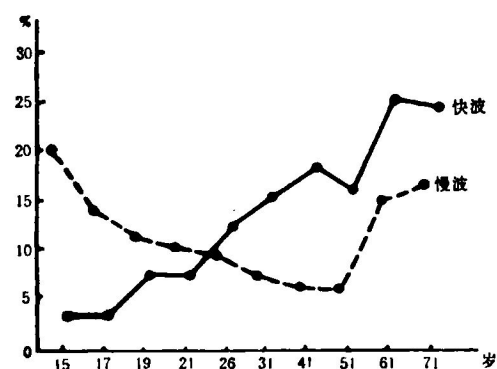


图1 各年龄组中快波、慢波比

发不可收拾。另外，在一般注意，例如搜索目标、警戒信号或完成“直觉”任务时心率将减慢；但是当完成“认知”任务，例如集中精力从事心算时，心率会陡然加快。一道简单的连减法心算会使心率平均增加 20 次 / 分，最高可增加 48 次 / 分。在情绪与注意的心理活动中，心血管系统是一个特殊的、灵敏的反应机制，其敏锐性远远超过了一般唤醒，很可能使情绪特征从此得到分化。

3. 积极主动地认知思维与气功态

既往一直认为思维活动对脑波的影响是促进其异步化，即以 β 活动为主。实际上，在不涉及病理因素的情况下，除开焦虑情绪与新异刺激能导致脑波 β 泛化外，任何一种“挖空心思”的回忆、“海阔天空”的联想、“心意执迷”的求解，那怕是经典的数学运演，脑波表现也都是以相对同步化为主体，甚至于 α 活动“拍”特性还要增强。而对于气功态，则一直认为它是轻睡；对脑波的影响是促进 α 节律解体、 α 指数降低、 θ 活动增多以及 Σ 节律出现等。事实上远非如此，气功态导致 α 节律前移或泛化以及“拍”特性增强、前额叶 α 峰极大，并伴有 θ 活动成串出现。本文一组实验将从谐振的意义上，证实了气功态乃是一种积极的、主动的认知思维活动，一种伴有轻松、愉快、美好情绪的主观体验的高级心理过程；它与主动认知思维一样，是一种更加积极的脑力活动。

实验测试 136 人，气功组(45 人)意守丹田；认知组(60 人)背诵诗词；对照组(31 人)无所用心。结果发现实验组脑波与低频机械波活动中，完整的调幅纺锤波(“拍”)数目明显增多($p < 0.05$)。气功组与认知组“拍”数目增加程度大体相同($p > 0.05$)。“拍”数目增多，意味着系统谐振水平的提高。系统谐振水平的高低，反映着系统功能状态的优劣；而系统谐振水平是可以通过积极、主动的认知活动来控制或调节的。若意念活动指向“万念归一”，则系统进入高级气功态；若意念指向“专一课题”，则系统进入深挚思维态。由此可知，这种积极的脑力活动对脑波的影响乃是促进其同步化或系统谐振，而不是导致异步化或结构噪声。

对于音乐来讲，“拍”将使曲调更加优美、动听。那么，机体活动中的“拍”特性，又何尝不可以说，是它赋予生命乐章以轻松、愉快、美好与和谐呢，这才是生命活动的真谛。

几种常见的脑波及其临床意义

脑波的基本特征及测量方法： 脑神经细胞无时无刻不在进行自发性、节律性、综合性的放电活动，此连续性电活动被称为脑电波。若将脑电波的空间特征作为纵轴，而将时间特征作为横轴，则波幅、周期(频率)、位相的相互关系，就可以在平面上展示出来，此平面图被称为脑电图；频率、波幅、位相即是构成脑波的三种基本特征。

周期 是指一个波从它离开基线，到它又返回基线所需要的时间；实际上，就是指波峰到波峰或波谷到波谷的时间，单位以毫秒(ms)计，见图 2。

频率 指在 1 秒时间内所通过的波峰或波谷的个数；即是用单位时间内出现的周期数目来计算的，单位是波 / 秒(c / s)。例如，若 1 秒钟内有 10 个波峰通过，其频率即为 10 波 / 秒，平均周期为 1 / 10 秒或 100 毫秒。周期和频率之间乃是倒数关系。

脑电波是具有一定周期的脉冲序列，不同的脉冲序列携带并传递着不同的信息；也就是说，信息的质与量被编码在脑波频率之中。例如，3 波 / 秒的棘慢波综合所传递的信息与癫痫小发作有关；4~5 波 / 秒的棘慢波综合所传递的信息与癫痫大发作有关。

波幅 是指一个波的波峰与谷底的距离；单位是以微伏(μV)计。由于脑波序列的基线多有动荡，故其测量应有变通：先将两个相邻近的波谷连一条谷底直线，然后从这两个波谷之间的波峰向谷底直线的中点引一条连线；此连线的距离即是该波的波幅值，见图 2。

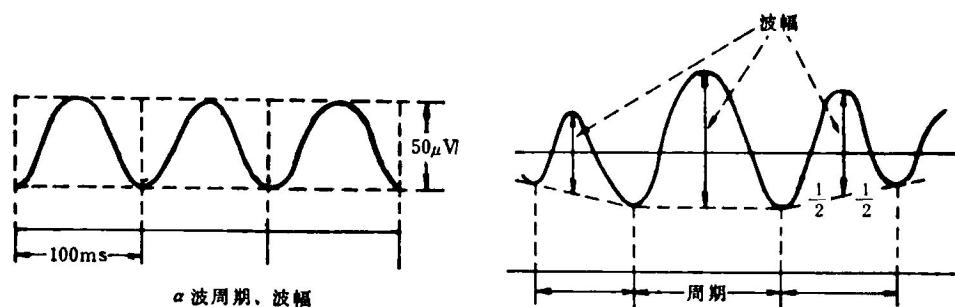


图 2 脑波的周期、波幅、基线