
事件相关电位与测谎

杨文俊 著



科学出版社

事件相关电位与测谎

杨文俊 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

事件相关电位测谎的突出优点是以脑电的改变为依据,在实际应用中避免了假阳性的产生。本书涉及人脑的高级功能、心理、生理,特别是神经电生理的内容,包括三维脑模型脑电彩色显示系统、诱发电位和事件相关电位。书中着重介绍事件相关电位测谎的原理、方法,叙述了事件相关电位的实际应用和注意事项,并列举了测谎的实际案例。

本书可作为脑科学、神经精神科学和医学心理学专业科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

事件相关电位与测谎 / 杨文俊著. —北京:科学出版社,2015.6

ISBN 978-7-03-044440-0

I. 事… II. 杨… III. 神经生理学-实验 IV. R338-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第114456号

责任编辑:杨小玲 丁慧颖 / 责任校对:胡小洁

责任印制:肖 兴 / 封面设计:陈 敬

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京利丰雅高长城印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年6月第一次印刷 印张:10 1/2

字数:230 000

定价:88.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介

杨文俊 男,汉族,1933年11月生。1950年参加中国人民解放军。1956年哈尔滨医科大学医疗本科毕业。现为第一军医大学附属南方医院教授、主任医师,硕士生、博士生和全军青年人才班导师。军队科学技术级别二级,国务院有特殊贡献专家津贴领取者。



曾任学术职务:全国肌电图与神经电生理学组常务委员,广东省心理卫生协会副理事长,广东省医学心理学会常务委员;总后勤部科学技术顾问(精神科学组),全军精神科学组委员,《临床神经电生理学杂志》和全军《军医大学学报》(外文版)编委;2006年退休后受聘为南方医科大学附属南方医院专家组成员。

从业以来,以神经精神科学和医学心理学为专业,开展医疗、教学、科研工作。研究方向为大脑神经电生理。“七五”期间曾承担了国家自然科学基金863课题、军队科研重点基金课题、广东省科技开发基金课题的研究。曾承担中华人民共和国公安部和广州市科委“事件相关电位测谎开发研究”课题。1992年以来曾获中国发明协会国际发明展览会金奖一次,军队科技进步奖二等奖两次和军队科技进步奖三等奖两次。研制完成的“事件相关电位测谎仪及其方法”获得国家发明专利和国际专利。事件相关电位测谎仪投入实际应用,完成P300实际案例测谎近百例。主编学术著作2部,在国内外专业杂志发表学术论文30余篇。

序

科技的进步和发展日新月异！杨文俊教授在事件相关电位理论的基础上，完成了测谎仪的研究，非常不易！他对事件相关电位的进一步研究和应用，是当代电生理学领域又一个显著的成就！

该书探讨了事件相关电位和大脑高级神经功能密切相关的内容，广泛深入研究了人的大脑高级神经活动，使医学科学又向前推进了一步。

作者用了近五年的时间，完成了这部有重要意义的著作，对我国医疗卫生等事业做出了重要的贡献。

我向杨教授及其团队，表示衷心的祝贺！

潘映辐

于北京友谊医院

2014年9月21日

前 言

事件相关电位(ERP)是大脑高级功能神经电生理检测的重要研究手段。1988年作者与北京航空航天大学(原北京航空学院)吴骏恒教授共同申请了国家自然科学基金863课题,研究课题名称为“探索人脑功能新原理——计算机科学在医学生物工程中的应用”(编号6880322)。该课题包括两部分:第一部分是三维大脑模型脑电彩色显示系统;第二部分是对认知功能的研究,以大脑的神经电生理为研究内容,主要是事件相关电位。本书实际是作者近30年来研究的总结,包括了大脑高级功能的神经电生理、事件相关电位及测谎。

自古至今谎言随时可见,人人都可能会撒谎,人人又都想揭破谎言,想在测谎上有所发明或发现,却是步履维艰。当前 Polygraph 测谎已风行于世,取得的成绩可谓巨大,但是假阳性的发生却是一大难题,无法避免。

2001年由原第一军医大学附属南方医院和广东省警官学院联合申请了公安部科技局重点科技项目“事件相关电位和测谎仪的开发研究”。2002年又以相同课题获得总后勤部、广东省和广州市科技领导部门的基金支持,展开了测谎的研究。

本书涉及大脑的结构、功能、生理、心理、电生理,以及其他一些广泛的内容,一些内容可能是老生常谈,但和书的主旨有密切关系,现将一些经验教训同时分享给读者。希望本书对有关专业的读者,或对大脑电生理有兴趣的同道,以及对测谎感兴趣的读者皆能有所助益。

为有助于读者对全书了解,现将重点内容介绍如下。

(1) 本书内容包括三维大脑模型脑电彩色显示系统和对认知功能的研究,主要是事件相关电位,在此基础上完成了测谎。

(2) 事件相关电位虽属于诱发电位的一种,但这应是对人脑高级功能的电生理研究,涉及认知的功能。作者在此基础上研制事件相关电位测谎仪,获得国际和国内专利,并完成了P300实际案例测谎。

(3) 在叙述大脑高级功能和人与动物心理进化的同时,着重对意识的探讨提出“意识是人对自身与周围,以及两者之间关系不断变化之认知能力,包括自我意识和周围意识”。

(4) 探讨了脑电彩色显示的必要性,着重介绍大脑模型脑电彩色系统立体显示的原理、方法、优越性和实际应用。对脑电图的介绍则主要选择 β 频段的脑电和大脑生物反馈的原理和应用。

(5) 对事件相关电位的叙述包括 P300、N400、CNV 的有关内容,特别介绍了 MMN 的临床应用。

(6) 介绍谎言、撒谎及谎骗的内容,国内外古时对付测谎的方法,现代盛行的 Polygraph 测谎和事件相关电位(ERP)测谎的不同,为论述需要,都予以介绍。许多国家已将 Polygraph 测谎投入应用,但是假阳性屡见。事件相关电位测谎属于大脑电生理的方法,将以其准确的测试避免出现假阳性结果,逐渐获得广泛认可将是势所必然。

(7) 着重叙述 ERP 测谎的原理、操作、靶刺激与非靶刺激的选择和安排。内容包括一般内容的 P300 测试,P300 模拟盗窃测谎和 P300 实际案例测谎。

(8) 介绍 P300 实际案例测谎的案例,作了案例分析,介绍了对三类刺激(探测、对照、无关)选择与安排,测谎结果的判定。

(9) 介绍 P300 实际案例的测谎的注意事项。

本书付梓后作者担心内容会有不当,甚至错误或有误导之处,衷心希望同道及读者诸君慧眼明辨,不吝赐教为感。

杨文俊

于广州

2014年8月1日(建军节)

目 录

第一篇 大脑的高级功能

第一章 对人脑认识的历史	(3)
第二章 动物到人心理活动的进化	(6)
第三章 人脑的高级功能	(12)
第四章 刺激与信息	(15)
第五章 语言和言语	(17)
第六章 思维	(21)
第七章 记忆	(23)
第八章 智能	(26)
第九章 意识	(28)

第二篇 大脑的电生理检测

第十章 脑电图	(39)
第十一章 脑电的三维地形图显示系统	(43)
第十二章 诱发电位	(68)

第三篇 事件相关电位

第十三章 事件相关电位一般叙述	(73)
第十四章 P300	(76)
第十五章 MMN	(81)
第十六章 N400	(84)
第十七章 CNV	(92)

第四篇 谎言和谎骗

第十八章 撒谎与谎骗	(97)
------------------	------

第五篇 测谎之路

第十九章 古代的测谎	(101)
------------------	-------

第六篇 Polygraph 测谎

第二十章 Polygraph 测谎原理和实施	(107)
------------------------------	-------

第七篇 事件相关电位测谎

第二十一章	简述	(115)
第二十二章	实验室一般内容的 P300 测试	(119)
第二十三章	实验室模拟盗窃 P300 测谎	(124)
第二十四章	P300 实际案例测谎	(129)
第二十五章	P300 实际案例测谎举例	(135)
第二十六章	P300 测谎研究过程和注意事项	(150)
参考文献	(153)
后记	(156)

第一章 对人类认识的历史

第一篇

大脑的高级功能

第一章 对人脑认识的历史

本章提要 地球围绕太阳公转和围绕地轴自转而春夏秋冬四季和昼夜相续之分，这种变化周期性地影响到生物的生存，产生了与之相应的节律性，有了相应的周期变化。动物遂有昼出夜伏或昼伏夜出；人类因适应昼夜交替而有“日出而作，日没而息”。环境促进了动物生理和心理的发生与发展，动物由低级进化到高级，最后进化到人；中枢神经系统特别是脑的发展，使人类达到了最高的阶段，与动物产生了根本的区别，出现了劳动、语言、意识和抽象思维。

现代医学曾遵循还原论的思维方法对人体做了条分缕析的研究，从系统、器官、组织直至细胞和分子水平，甚至更低。研究由浅入深、由粗转精、由简入繁，包括对人脑的研究，进步可谓巨大，这个过程符合人类认识的进程。但若只沿着还原论这条思路走下去，恐怕很难进一步辨识大脑高级功能的机制。研究大脑高级功能应当综合各方面的知识，全面地分析和归纳，要既重细部，还要看到整体。

多年来一直令人困惑的一个问题是如何看待灵魂或意识等精神或心理现象，这涉及观点上的不同，在哲学上便有了唯心主义与唯物主义之分。但如何看待“灵魂”，灵魂是什么？从根本上说这也是自然科学必须回答的问题。

一、对“心”的认识

公元前 17 世纪，在古埃及，一份有两名头颅复合性损伤患者的病案记录中，已出现“脑”的记述。我国古代的文献典籍中对“脑”也有记录，但是当时把高级的心理活动看做是“神”的活动。《周易·系辞传》说：“范围天地之化而不过，曲成万物而不遗，通乎昼夜之道而知，故曰神无方而易无体。”又说：“知变化之道者，其知神之所为也。”其意是知道事物变化规律，就是知道了“神”的活动。汉代王充是一位无神论者，他在《论衡》中明确提出“神者申也”、“鬼者归也”的观点，这是指“神”、“鬼”是认识世界的开始和结尾。《黄帝内经素问·灵兰秘典论》又说：“心者，君主之官，神明出焉。”这是说所谓的“神明”和“心”有关。《孟子·告子》说：“心之官则思，”将思维的功能归之于“心”。《灵枢·本神篇》更进一步提出：“任物者谓之心，心有所忆谓之意，意有所存谓之志，因志存变谓之思，因思而远慕谓之虑，因虑而处物谓之智。”此处所说的“心”实际是在说大脑的高级心理活动，涉及记忆、思维和意志等多个方面。但其中说的“神”却并非指鬼神的“神”，已指明“心藏神”是说思维与“心”有关，而“心”与现代医学所说的心（heart）当然并非等同。《黄帝内经》

在“刺禁论”中曾提出“脏有要害，不可不察”，“刺头中脑户，入脑立死”，说明当时古人已经明白脑所占有的特殊地位和它的特殊作用。《黄帝内经素问·脉要精微论》指出“头者精明之府，头倾视深，精神将夺矣”，可见当时古人也认为精神与“心、脑”二者都有关。时至今日，人们明确了心脏和脑二者的解剖与功能完全不同，已经不会把心理过程与解剖学上的心脏功能混同一起。但是多年来习惯上仍借用心灵、心境、心情等词汇表述人的心理活动，仍然把它看做是心的功能。“心”字被借用来表达大脑的高级功能，表述心理活动。这种情形在西方的一些民族也把思维和意识等高级的心理活动看作与心有关。《张氏心理学辞典》中将“mind”一词译为心或心灵，指为“个体一切精神活动的整体，一切心理活动的历程，并进而注释“心”与另一词“脑”(brain)同义。把精神或心理活动明确为大脑的功能，和解剖学上的心脏区分开，并将其纳入现代自然科学范畴，的确经历了漫长的历史过程。许多神经生理、神经生化、神经心理及其他学科的科学家为此付出了艰辛的劳动，甚至毕生的心血。

二、对脑的认识

西方医学的发展始于文艺复兴时代。列奥纳多·达·芬奇(Leonardo Da Vinci, 1452~1512)是一位杰出的代表人物，他是一位伟大的画家、艺术家、科学家，他还是一位解剖学家。他首次将蜡注入脑室制成了脑室模型。以后维萨里(Vesalius, 1514~1564)完成了人体各部分的解剖，将脑的各个部位明确区分开来。17世纪的科学家也逐渐注意到对中枢神经系统功能的研究。笛卡儿(Descartes, 1596~1650)是法国的物理学家、数学家，同时又是哲学家和生理学家。他首次使用“反射”的概念用以说明角膜对刺激产生的眨眼反应，开创了神经系统实验生理学的先河。但笛卡儿对意识的看法却脱离了中枢神经系统，他认为“精神实体”与“物质实体”同时存在，互不相关，人是由这两个实体结合而成的。由于此说无法解释心理活动的起因，笛卡儿设想“脑部的松果体可能是二者的结合点”，当然在当时这是难免的错误认知。

19世纪以来显微镜的应用促使神经解剖学向微观方向拓展。意大利的卡米罗·高尔基(Camillo Golgi, 1844~1926)和西班牙的戈亚尔(Gajal, 1852~1934)，两位神经学家于1883年共同发展和完善了硝酸银染色技术，发现并详细描述了神经元、轴突和树突的结构，奠定了中枢神经系统是由神经元构成的学说，他们因此而共同获得诺贝尔生理学或医学奖。19世纪中叶，俄国学者谢切诺夫(Sechenov, 1829~1905)用反射的理论解释中枢神经系统特别是脑的活动，他指出就起源来说，无论有意识活动或无意识活动都是反射，人的思想在实质上也是反射，“没有外界对感官的刺激，即使是瞬间的心理活动也不可能发生”。他认为反射是神经活动的基本规律，复杂的心理现象可以用生理学方法去研究。他在其发表的《思想要素》一文中，提出思维过程发展的三个阶段——客观思维阶段、运用概念阶段和抽象思维阶段，并研究了具体思维和抽象思维发展的条件，他同时也研究了逻辑思维的生理机制问题。巴甫洛夫(I. P. Pavlov, 1849~1936)是苏联的生理学家，他继承和发展了谢切诺夫的观点，早期他曾从事消化生理的研究，1904年因在消化生理学领域的贡献获诺贝尔生理学或医学奖。他用条件反射

的方法研究大脑皮层对消化功能的调节，以后又提出大脑皮层在机体和环境统一中的主导作用；提出机体接受的刺激可分为第一信号系统和第二信号系统，第二信号系统活动为人类所独有，包括语言和文字及在此基础上形成的抽象思维。巴甫洛夫的研究及其学说对前苏联生理学和心理学影响至深。英国著名神经生理学家谢灵顿（Sherrington, 1857~1952）几乎与巴甫洛夫同时代，他曾详细研究了姿势和行走的反射机制，对单个神经元的功能及神经元之间的信息传递作了充分的探索。他最先建议用“突触”（synapse）描述神经元之间的连接。他于1906年发表的《神经系统的整合作用》成为神经生理学的经典著作。他的成就和实验研究方法构成中枢神经系统生理和电生理的根据，促进了中枢神经系统活动的研究。1932年谢灵顿和另一英国神经生理学家阿德里安（E. D. Adrian, 1889~1977）共同获诺贝尔生理学或医学奖。阿德里安曾利用单纤维记录技术查明传入和传出神经纤维是以冲动的不同频率编码传递不同信息；另外他还对诱发的脑电位作了探索性的研究。

20世纪在大脑高级功能的生理学研究中取得了突出业绩的另外两位学者是加拿大神经外科学家潘菲尔德（W. Penfield）和美国的神经外科学家斯波里（R. W. Sperry）。潘菲尔德在为患者做脑部手术时，对大脑的记忆功能作了深入的实验研究。他采取对大脑皮层不同区域进行电刺激的方法发现，大脑某些部位（如颞叶）在受到电流刺激时会唤起对既往经历的回忆，更换刺激点，回忆的内容亦不同。他证实记忆的具体内容是和大脑的一定部位密切关联的。斯波里则是对以因治疗目的切断胼胝体的癫痫患者为研究对象，他从神经心理学的角度研究了这些因胼胝体被切断的“裂脑人”。正常人脑的解剖生理特点是，一侧眼球的鼻侧视网膜纤维将视觉冲动传至对侧大脑视觉皮层，而颞侧视网膜的纤维将冲动传至本侧视觉皮层，他设计令裂脑的受试者凝视屏幕中心点时，左右两半屏幕闪现的视觉刺激物可分别只向另一侧大脑半球投射。当两者刺激的内容不同甚至意义相反时，会引起有趣的结果。裂脑人因两侧大脑半球之间的联系被切断后，两侧大脑半球之间的整合功能丧失，一侧大脑半球通过视觉获得对事物的感受和记忆，另一侧大脑半球不得而知。两侧各有“自己的”记忆、思维，甚至意识。尽管20世纪以来人们已认识到两侧大脑半球功能不完全相同，只是通过对“裂脑人”的研究才能获得直接的机会去探讨两者的实际区别。此实验证实两侧大脑半球的心理过程和内容可以有所不同。曾经认为非优势的右侧大脑半球功能相比优势的左侧大脑半球处于从属地位，认为它与优势的左侧大脑半球的功能相比是不重要的，但这些看法得到重新评估。实际情况是两侧大脑半球功能各有侧重，右侧大脑半球同样有高级的心理活动，在某些方面甚至还高于左侧。左侧大脑半球偏向或主要从事于语词的记忆、语言加工、计算和抽象的理性思维；右侧大脑半球则偏重于形象的感知和记忆、音乐、节奏感和艺术思维。正常情况下两侧半球各自对另一侧发挥作用。在涉及不同内容时，两侧大脑半球互相联系并展开相互协调的活动。

“裂脑人”的研究结果提示似乎一个人出现了“两个意识”，这对探讨大脑两个半球高级功能的神经生理学过程和探讨意识的产生具有重要的意义。

进入21世纪，世界已经拥有了更多的研究手段，已经可以从不同的角度深入研究人脑的高级功能——思维、情感和意识。

第二章 动物到人心理活动的进化

本章提要 从无脊椎动物到脊椎动物的进化，由低等哺乳动物到高等哺乳动物最后到人，动物的心理活动经历了由低级到高级的发展历程，最后到人类出现了思维和意识。动物的进化演示了人脑功能的产生和发展历程，动物不单是对刺激做出反应，而且也对刺激所携带的信息做反应。本章主要内容是叙述由动物到人心理活动的产生和进化。

一、感觉的萌芽

单细胞动物属于这个阶段，如变形虫是以细胞原浆的变化，伸缩伪足的动作趋向或离开刺激。单细胞动物接受刺激出现反应的变化称为感应性，实际上感应性是所有生物的特征，它的活动方式是“ $S \rightleftharpoons R$ ”，即“刺激 \rightleftharpoons 反应”。低等多细胞动物如海绵动物，其细胞在形态和功能上有了分工，出现了感受细胞和类似于平滑肌样的效应细胞，这是动物生理发展的最初阶段或原始阶段，特点是动物只对刺激物的个别属性做出反应。

腔肠动物如水螅，在水中生活，生活环境单纯。接收和传导刺激与反应全靠由神经原浆丝构成的神经网络，分散在感受细胞与肌肉细胞之间成网状。刺激由感受细胞接受并经神经网络传播到各个方向，引起个体的反应，因而只要一处受刺激就全身收缩。这种神经网络和高等动物消化道黏膜下肌间神经丛相似。外来刺激不含有也不代表更多的信息，可以认为这是对刺激感觉的萌芽。

二、无脊椎动物的感觉

无脊椎动物中的环节动物如蚯蚓，生活环境是在潮湿的泥土中，其活动范围比水中的水螅复杂。蚯蚓前端的神经细胞集中构成了神经节，整个个体的腹侧则相互联结成索状。头部的一对神经节较大，称为节状神经系统，和高等动物或人类交感神经链有相似之处。每一神经节都发出神经止于相应节段的肌肉细胞引起反应。感受细胞、神经节和效应细胞构成了原始的反射弧，神经冲动可以迅速和定向地引起节段或整体的反应。蚯蚓已能对刺激的个别属性形成“条件反射”，经过重复训练的蚯蚓可以爬出简单的“T”形迷津。虽然如此也只是对刺激的反应，并非因刺激携带了更多的信息。

无脊椎动物中的节肢动物，以蜜蜂为代表，其生活和活动的范围逐渐扩大，包括空中和地面。蜜蜂节状神经系统的结构与功能已很发达，脑神经节比环节动物更集中。蜜蜂为无脊椎动物之冠，营群体生活，具有某种“社会性”行为。蜜蜂可对花粉的气味

和花的颜色做出反应，能以复杂的舞蹈动作互相传递信息，向同伴传递蜜源的方向和距离，身上的花蜜味则指示了花的品种。许多昆虫都有发达的视觉、很强的飞翔能力和在空中维持平衡的能力；但有的昆虫如蚂蚁，也是营群居生活，其生活环境却是以地面和地下为主的。蚂蚁的活动和行为也具有某种“社会性”。蚂蚁可以将化学物质分泌到体外，附着于地面，留下痕迹，向它的同伴传递信息。蜜蜂和蚂蚁可以靠信息素的应用和传递，联系其他个体，完成一定的行为。实际上不仅蜜蜂和蚂蚁有此功能，许多节肢动物都各有其不同的信息素传递，各司其职，在集群中营“社会性”的生活（图 1-2-1）。



图 1-2-1 节肢动物活动的“社会性”

节肢动物不单是接受和处理外界刺激，一些节肢动物因群居生活的需要，利用刺激或传递某些信息成为必然。无脊椎动物在感觉阶段，仍属于进化过程中比较低等的动物，但已经具有用刺激携带和传递信息的功能。

三、脊椎动物的感觉和知觉

动物由无脊椎动物发展到脊椎动物后，有了中枢神经系统和周围神经系统的区分。中枢神经系统的结构包括端脑、间脑、中脑、脑桥、延髓和脊髓。中枢神经系统被头骨和脊椎管所包护，出现了脑室和脊髓中央管。脑的各部分都有不同程度的发展，但是最能代表进化程度的是脑和大脑皮质结构和功能的发展。脑的发展和进化决定了动物的进化程度，当然也和不同的脊椎动物各自生存的环境密切相关。动物由于生活环境的不同，神经系统不同部位的发达程度和能够完成的功能也会有所差别。脊椎动物由于有了脑，心理活动已由单纯的感觉发展到知觉阶段，最后有了简单的“思维”。

鱼类属低等脊椎动物，在水中生活，生活的环境较单纯。鱼脑体积不大，其迷走叶、颜面叶和延脑较发达，这是鱼类神经的最高调节中枢。鱼类已有发达的感觉，如味觉、嗅觉、视觉、温度觉和振动觉，鱼类的日常行为已不单独对某一种感觉做出反应，已经有了各类感觉引起的、综合而来的知觉，包括对振动觉、视觉、嗅觉的感知即对综合的信息做出反应。鲨鱼对猎物攻击便是根据对猎物不同属性的综合感知做出的反应（图 1-2-2）。

两栖类如蛙类，属卵生，其生活环境比鱼类复杂。蛙必须应付水中和陆地的生活环境，尤其陆上的环境远比水中的环境复杂，它需要应付天敌，同时又要寻找猎物，周围各样的刺激和信息纷至沓来，需要即时应对。蛙的大脑两个半球已明显分开，且较脑的其他部位要大，延脑的迷走叶和颜面叶已不如鱼类显著。脑的高级中枢由延脑向间脑转移，比其他部位要大，延脑的迷走叶和颜面叶转移，称为脑高级中枢的端脑化。蛙已能区别物体的形状和运动。蛙在跳起捕食昆虫时，除了要感知昆虫的形态和移动以外，还必须以快速而果断的身体动作完成跳跃和捕食，跳起下落的过程还要维持身体的平衡（图 1-2-3）。

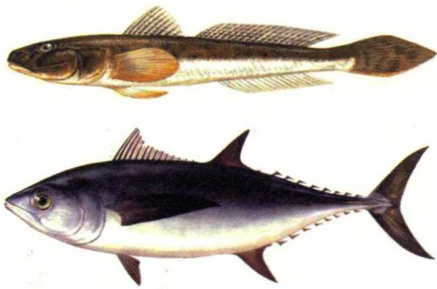


图 1-2-2 脊椎动物：鱼类



图 1-2-3 脊椎动物：两栖类

此后，从爬行动物开始，其生活环境转向以陆地为主或水陆环境兼有，多数仍为卵生。脑的高级中枢端脑化，大脑和小脑比两栖类发达，出现了大脑皮质。纹状体有较好分化，有分层。如蛇已有初步的分析综合能力，蛇能利用红外感受器在内各种感官获得信息，综合分析被捕食对象动态，按照实际随时改变身体姿态和位置，以突然动作扑向猎物。经过训练的爬行类动物可以区分物体的形状和饲养人员（图 1-2-4）。

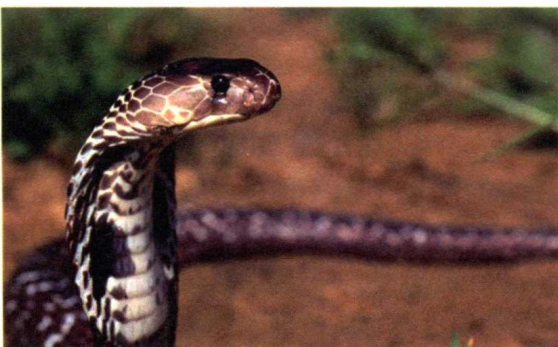


图 1-2-4 脊椎动物：爬行类

鸟类可能是自远古的爬行类动物进化而来，其生活环境兼及空中和陆地，很少在水下生活。鸟类大多为卵生，能为自身构筑鸟巢，抚育后代。环境的影响促使鸟的大脑（特别是视叶）和小脑进一步发展，可以使其在空中飞翔时具有灵敏的视觉和完善的平衡能力。