



## 生理心理学：一门探索心理活动、 行为活动以及神经活动之间 交互作用的科学\*

文 / 李 量

北京大学心理学系 北京 100871

**【摘要】** 生理心理学是一门研究心理、行为以及神经活动之间内在联系的科学,与生物学、生理学、神经科学、信息科学、社会学等学科都有密切的关联。本综述在介绍生理心理学基本概念的同时,也在以下几个方面强调了生理心理学的特点和发展规律:生理心理学的研究以行为、心理、意识为出发点而使得它不完全等同于神经生理学和神经生物学;生理心理学的研究从功能、机制、个体发展以及进化等不同的角度展开,并强调多角度研究的联合性和系统性;生理心理学实验研究的发展与人类科学技术的进步相同步,因而它有很强的学科交叉和融合潜力;生理心理学实验方法的多样性和互补性构成了它的研究框架的多层次性;生理心理学通过对脑机制统一性的理解促进了对各种心理过程统一性的理解;生理心理学在精神异常的神经机制的探索中有重要贡献。最后,本文也对计算生理心理学做了展望。

**【关键词】** 大脑功能,神经机制,动物模型

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2012.Z1.003

### 1 生理心理学的基本概念

心理学作为一门从哲学中分离出来的独立科学是以德国生理学家和哲学家冯特(Wilhelm Max Wundt)于1879年在联邦德国的莱比锡大学建立了世界上第一所真正的心理学实验室为标志的。而被认为是心理学独立号角的冯特的《生理心理学原理》一书反映了感官生理学和心理物理学已成为早期心理学的重要基础。实际上,从心理学的诞生开始,人们对心理和行为与其神经

理机制关系的探索就一直没有停止过。生理心理学就是要实践这一探索的科学。尽管生理心理学的定义很明确,“Physiological Psychology includes all studies concerned with physiologic correlates of behavior”<sup>[1]</sup>,但它的边界也在不断扩展<sup>[2]</sup>。现代生理心理学包括了生物心理学(Biological Psychology)、行为神经科学(Behavioral Neuroscience)<sup>[3]</sup>、心理生理学(Psychophysiology)、神经心理学(Neuropsychology)以及认知神经科学(Cognitive Neuroscience)等学科。生理心理学除了与神经生理学、遗传学、神经分子生物学、精神病学之间有深

\* 修改稿收到日期:2012年12月27日

度的交叉和融合外,近年来也与工程学、信息科学以及社会学有所交叉。总之,只要涉及到心理/行为过程和特征与相关神经活动的交互作用,都属于生理心理学所研究的范畴。

## 2 生理心理学在人类自然科学中的核心地位

宇宙的起源、生命的起源、意识的起源构成了人类自然科学中的3个谜团,而此三者之间又有其内在的联系。在人类漫长的进化过程中,各个民族都在追求对物质、生命、意识之间关系的解释。中国人就曾有过非常精彩的论述。例如,东晋南朝时期的范缜(公元450—515年)继承了荀子的“形具而神生”的观点,在他的著作《神灭论》中就正确地阐述了“形”(物质)与“神”(意识)之间的关系。他认为,“形”与“神”二者虽然不同,但却是结合在一起的,并用了一个很通俗的“形”为刀之刃,而“神”为刃之锋利来比喻二者的关系,并特别强调了能产生意识的物质本身的特殊性。更进一步,范缜阐述了意识类别的不同在于物质上的差别:“手等亦应能有痛痒之知,而无是非之虑”,“知即是虑,浅则为知,深则为虑”。而更精彩的是,范缜强调了因为产生意识的物质基础有其统一性,因而各种意识之间也有其统一性:“如手足虽异,总为一人;是非痛痒虽复有异,亦总为一神矣。”今天我们这些中国心理学工作者再读范缜的《神灭论》,由衷地为中国早在1500年前能出现这样一位伟大的思想家而感到骄傲。笔者认为,范缜在其《神灭论》中所表达的“形”与“神”之关系的观点不但符合当代生理心理学的基本含义,而且也触及到了物质、生命和意识之间内在联系这一人类自然科学的核心问题。生理心理学就是试图揭示这个内在联系的一门

高度综合化的科学。

## 3 生理心理学的研究以行为、心理、意识为出发点

尽管生理心理学有极大的包容性,能与许多学科形成交叉和融合,但它的研究出发点是明确的,所针对的靶点问题是与行为、心理以及意识有关的范缜所谓“神”的问题。因此,生理心理学工作者首先要开展大量针对行为和心理过程与特征的研究,即要在心理学机制和行为意义上来理解所要研究的问题。也就是说,生理心理学研究者首先是实验心理学、认知心理学、动物行为学、发展心理学、人格心理学、社会心理学等心理学各个分支学科的研究者。从这个意义上看,生理心理学与生物学、生理学、神经科学、信息科学、社会学等学科在出发点上不应完全等同。

可以这样讲,所有心理学和行为科学中的问题也都是生理心理学的问题。笔者也同时认为,随着研究的发展,对神经活动和相应的心理/行为活动的认识会有一个逐步统一化的过程,即心理学和生理心理学之间会在很大程度上融合,二者之间将不再有“主”、“支”之分,而是构成了理解意识之谜的统一体。例如,近年来有关无意识过程的神经相关物与意识过程的神经相关物之间联系的研究,已经为研究神经活动与心理活动的统一性打开了一扇大门。具体来讲,Soon等人近期(2008)的研究发现,在人类被试有意识地体验到一个手指动作的决策之前的几秒钟内,前额叶和顶叶皮层就已经在无意识的状态下启动了这个动作决策的神经过程<sup>[9]</sup>。这一重要研究发现表明了人类所主观体验到的心理过程(意识过程)是在无意识状态下神经加工过程的高级化结果。笔者乐观地估计在20年内,针对从无



中国科学院

意识状态到有意识状态过渡的神经动态过程的研究将会出现重要突破,届时对神经活动和心理活动之间的统一性会有更加深入的认识。

#### 4 生理心理学研究的系统性和整合性

尽管生理心理学有自己的研究出发点,但它的发展也吸收了其他古老学科如生物学的思想养分。受生物学的影响,生理心理学也强调研究的系统性。除了要在特定的环境背景下分别从以下4个角度来理解某种心理现象,即:功能、机制、个体发展发育以及种系进化,也要在这4个角度之间的联系上构成所研究的课题。例如,人类的言语过程在广义上讲属于在发声通讯(vocal communication)范畴内的一种功能。生理心理学不但要研究言语过程的神经机制<sup>[9]</sup>,而且也要研究在各种语言环境下的个体发育过程中神经系统的发育与言语功能的发展之间的关系<sup>[6,7]</sup>,以及研究人类的语言系统与动物(如非人类灵长类动物)的发声通讯是否在神经机制上有联系<sup>[8]</sup>,即在发声通讯的神经机制和遗传编码中是否有进化的同源性。当这些方面的研究分别取得了充分的进展后,生理心理学将这些不同角度研究的成果整合起来,对言语的神经机制给出一个系统化和综合性的解释。

因此,生理心理学强调研究的多角度化整合,这也反映了心理过程和特征的复杂性以及相应神经机制的复杂性。

#### 5 生理心理学的实验研究发展与人类科学技术的进步同步

目前,生理心理学还是一门实验性科学。它的研究手段的进步是与人类科学技术的整体性进步同步的。所使用的干预和观察手段一直在经历着从简单到复杂,从低时间/空间分辨率到高分辨率,从宏观到微观,再到宏观与微观统一的过程。

一方面,随着计算机技术、信息科学以及视听播放技术的发展,不但在视觉

和听觉实验中所呈现的刺激可以用虚拟现实的形式播放<sup>[9]</sup>,而且在复杂刺激中的一些关键成分也可以被有选择地提取出来并进行一定的修饰之后再播放给被试<sup>[10]</sup>。刺激信号的处理和播放手段的进步使得对心理过程的研究更加深入和细腻,这也带动了相应神经机制研究的深入化和细腻化。

另一方面,对大脑活动的选择性干预手段也在不断进步。除了传统的局部损毁、电刺激、微量药物注射外,也出现了经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS,图1)等方法<sup>[11]</sup>。有意思的是,遗传学研究的发展不仅为生理心理学实验对脑活动的所用干预提供了转基因(transgenic)和基因敲除(knockout)等被广泛使用的方法,也提供了高空间/时间分辨率和高神经元类别选择性的改变神经元兴奋状态的新方法。例如,光遗传学(optogenetics)就是利用遗传工程手段将某些对光敏感的藻类膜受体表达在特定的可兴奋细胞(如神经元)的膜表面上,随后用一定波长的光刺激来激活这些受体(图2),从而达到兴奋或抑制这些特定细胞的目的。在果蝇的运动神经元中表达了光敏感受体,通过不同波长的光来控制这些受体的开放,实现了对果蝇运动及运动方向控制的“遥控果蝇”的研究<sup>[12]</sup>,这曾在科学界引起了巨大的反响。在2006年,“光遗传学(optogenetics)”的



图1 经颅磁刺激方法(摘自Neuro Conn NEURO PRAXTMS)

名词第一次出现在研究论文中<sup>[13]</sup>。在随后几年中,可作为光激活系统的光敏受体数量不断增加,其原理也比初期的研究更加简化。目前已经能将光敏的藻类受体特异性地表达在脑内某一特定核团或部位,因而保证了光激活系统的作用拥有很高的空间分辨率和神经元类型的选择性。受体表达在神经元表面后,只有在特定波长光照射的情况下才可激活该受体,撤除光刺激后即失活,从而保证了这种刺激系统很高的时间可控性。

伴随着活动期间或之后的局部代谢活动的改变,在人类被试中可以用无创性的单光子发射计算机断层成像(single photon emission computed tomography, SPECT)、正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)以及功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI, 图3)等方法来记录。

在动物实验中,成像记录的方法也在不断地改进,总的趋势是采用无需染料的可测量神经元活动的光成像方法。例如,大脑神

经元的线粒体的黄素蛋白(flavoprotein)在线粒体的代谢机能中起了关键作用。随着神经元活动增加,线粒体的活动也增加,而处于激活状态下的黄素蛋白量也相应提高。黄素蛋白是一种内源性荧光蛋白(endogenous fluorescence protein),在功能状态下可以被光激发,到达高能量状态而发射荧光。因此,可通过特制的高灵敏CCD相机及成像软件对所发射荧光进行直接测量,以此记录神经元的功能代谢状态,从而观测被兴奋的皮层神经元群的分布。与其他成像技术手段(如功能磁共振成像)相比,使用这种黄素蛋白荧光成像(flavoprotein fluorescence imaging)方法直接检测到的皮层神经元活动具有更加精确的空间分辨率和时间分辨率<sup>[14,15]</sup>,因而在获得空间拓扑模式信息外也能获得一定的时间动态信息。

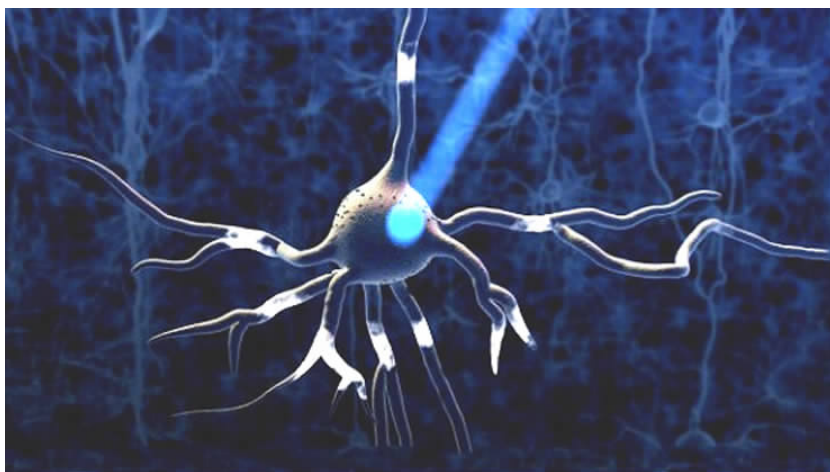


图2 用一定波长的光刺激激活受体(摘自 Image courtesy of MIT McGovern Institute & MIT Synthetic Neurobiology Group)

此外,对神经活动的观察和记录方法也在不断地发展。动物大脑神经元电活动已经可以做到多通道的单神经元以及场电位的记录,也能将记录深入到神经元膜上的离子通道电流活动的层次上。人类被试的脑电活动可以通过脑电图(electroencephalography, EEG)以及事件相关电位(event-related potential, ERP)的方法记录,伴随神经元活动的电流变化所形成的微弱磁场的变化也能够通过脑磁图(magnetoencephalography, MEG)的记录方法获得,脑内化学物质的变化可以通过微透析(microdialysis)的方法记录。此外,由于大脑神经活动的变化总

随着神经元活动增加,线粒体的活动也增加,而处于激活状态下的黄素蛋白量也相应提高。黄素蛋白是一种内源性荧光蛋白(endogenous fluorescence protein),在功能状态下可以被光激发,到达高能量状态而发射荧光。因此,可通过特制的高灵敏CCD相机及成像软件对所发射荧光进行直接测量,以此记录神经元的功能代谢状态,从而观测被兴奋的皮层神经元群的分布。与其他成像技术手段(如功能磁共振成像)相比,使用这种黄素蛋白荧光成像(flavoprotein fluorescence imaging)方法直接检测到的皮层神经元活动具有更加精确的空间分辨率和时间分辨率<sup>[14,15]</sup>,因而在获得空间拓扑模式信息外也能获得一定的时间动态信息。



中国科学院

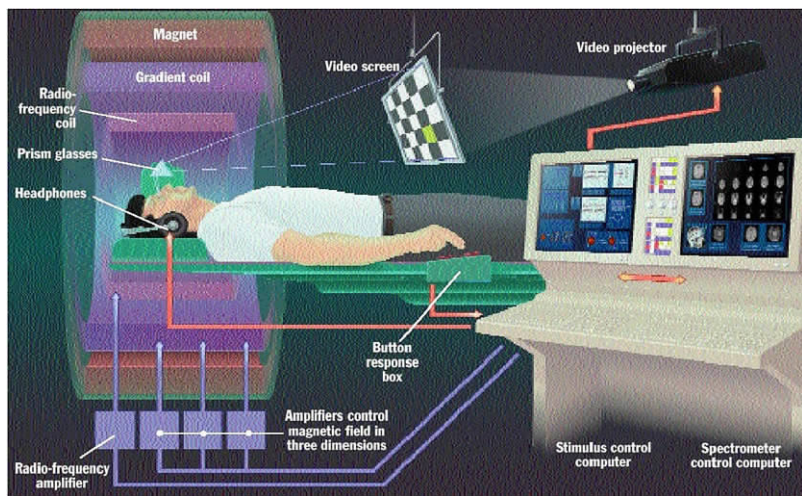


图3 功能性磁共振成像(摘自 Jody Colhum 实验室网页)

## 6 生理心理学实验方法的互补性与研究的多层次性

如上所述,生理心理学实验研究的发展依赖于实验方法的进步和更新。然而,目前还没有一种能“包打天下”的研究方法。任何方法都有其适用的条件和限制以及缺陷。相对于动物被试的实验,人类被试的实验有很多优点,包括可以给被试明确的指导语,被试的心理活动和行为反应可较精准地自我报告和测量,刺激材料可从简单到复杂,以及可以安排较复杂的实验条件等。但人类认知神经科学实验也有一些短处。例如,功能磁共振脑成像(fMRI)并非是对神经活动的直接记录,而是滞后地反映神经事件后的血氧代谢活动的改变<sup>[16]</sup>,并且其空间精度仅在大体神经解剖水平;事件相关电位(ERP)以及脑磁场(MEG)虽然直接记录了来自神经活动的信号,但这种远场信号的空间分辨率不足以研究在神经核团以及神经元层面上的神经机制。另外,尽管动物实验可以达到脑内干预和神经活动记录的空间与时间的高分辨率,但缺乏指导语和主观体验报告以及实验条件不宜太复杂等也是其固有的短处。因此,事物总是一分为二的,各种不同方法的优缺点使得生理心理学的研究也呈现出了多层次性的特点。

所提倡的生理心理学的研究模式应当是:首先开展人类心理学研究工作以获得对所研究的心理/行为问题较深刻的认识,特别是对相应的心理学机制有较深刻的认知。在此基础上,再开展人类认知神经科学实验以将研究扩展到相关的脑结构活动的层次上。随后,在总结人类研究结果的基础上,建立相应的动物行为模型,使所研究的心理/行为某些方面的特征可在动物行为上表达并有较

高的表面信度、结构信度以及预期信度<sup>[2]</sup>。在成熟的动物行为模型建立之后,随即开展对神经环路活动、神经元单体活动、突触传递、胞内信号传导、基因表达等方面的神经生理和神经生物学工作。最后,再用动物被试的研究成果为人类被试的研究工作带来新的启发和指导。

需要强调的是,在人类被试实验和动物被试实验之间的反复循环式的多层次化的实验探索是生理心理学研究的一个重要发展方向。例如,近年来有关动物恐惧条件化的研究发现,在条件化刺激与非条件化恐惧刺激之间联结的短时记忆(short-term memory, STM)向长时记忆(long-term memory, LTM)的转换过程中伴随有某些基因的表达以及新蛋白质的合成<sup>[17]</sup>。而当由条件化刺激所引发的恐惧记忆处于提取阶段时,该长时记忆处于一个不稳定(labile)和再巩固(reconsolidation)的状态。在这个状态下,需要重新进行蛋白质的合成来保持该长时记忆,进而长时记忆在这个状态下容易受到干扰<sup>[18, 19]</sup>。记忆提取时也需要蛋白质合成来继续维持该记忆的保持(de novo protein synthesis to persist),这一重要的研究发现为实现对创伤后应激障碍(posttraumatic stress disorder, PTSD)和各种恐惧症(phobia)等焦虑类

疾病的有效治疗开辟了一个新的前景。

## 7 心理过程的统一性与其脑机制的统一性

心理和行为过程是复杂的,相应的机制也是复杂的。因此,在生理心理学发展过程中,由于研究资料还处于积累阶段,几乎所有的研究者都仅仅将自己的研究局限在某些领域中。这些领域包括对以下心理/行为过程神经机制的研究:激素/内分泌与行为的关系、感知觉(又分视觉、听觉、躯体感觉、嗅觉、味觉)、学习、记忆、语言、情绪情感、人格、运动、生殖行为、基因与行为、本能行为(又包括摄食、饮水、体温调节、探索与新颖追求)、睡眠与节律行为、精神活性药物对行为的影响、精神依赖行为等<sup>[2]</sup>。实现对该领域中某种心理/行为的神经机制的系统化和综合性的解释还需要一个很长的研究过程。

尽管研究路途漫长,但还是要强调,人和动物在适应所生存的环境时的各个心理活动之间是有协调关系的,相应的大脑各个功能活动之间是有关联的。例如,生殖行为中的求偶过程就是包含多种感官联合作用、激素/内分泌的活动所引发的情绪活动提升、学习和记忆过程的参与、发声通讯系统的激活以及基因表达所引发的各种调节作用的一个复杂过程,而这个复杂的求偶过程机制的可塑化也出现在与自然环境、群体环境以及事件场景的交互作用中。实际上,不仅对求偶行为过程,对任何其他心理/行为过程与特征的探索均需要有从分散性上升到统一性的追求。相应地,以解释心理/行为过程的神经机制为己任的生理心理学今后发展的一个重要趋势也应当要将研究上升到统一性的高度,这也会推动心理机制层次上的研究,使其上升到不同心理过程与特征的统一性的高度。

实际上,这种对统一性的追求也是大脑本质性认识的追求。再举例说明,视觉和听觉的感觉器官的高敏感性使得人和动物在所生存环境中不断接受各种大量的干扰性的视觉和听觉刺激。为了适应生存环境,视觉系统和听觉系统都进化出了惊人的去掩蔽功能。人类的原始祖先古猿是从在茂林中以捕食昆虫等小动物为生的食虫类进化而来。为了适应在茂林中树叶对猎物的掩蔽作用,视觉系统进化出了基于双眼视差(binocular disparity)的立体视觉。在掩蔽条件下基于双眼视差的立体视觉并不改变目标与掩蔽刺激之间的信噪比,但可以使观察者能更加准确地判定物体的深度距离<sup>[20]</sup>,对前肢运动(如捕猎和抓取动作)的控制更加精准<sup>[21]</sup>,特别是增加了观察者在复杂环境中消除伪装并发现目标客体的机会<sup>[22-24]</sup>。这种去掩蔽功能是因为在深度维度上所形成的、目标刺激与掩蔽刺激之间的、知觉层次上的主观空间分离促进了观察者对目标刺激的选择性注意。另外,对听觉系统来说,在延续了200万年的第四纪冰川期间,人类的祖先由于长期在洞穴内居住<sup>[25]</sup>,进化出了对相关性声音(特别是言语声音)进行知觉融合这种适应混响和嘈杂洞穴声学环境的惊人能力。具体来讲,在嘈杂和有反射声的洞穴环境中,听觉系统能够将从一个声源发出的领先直达声与其在时间上落后的反射声之间形成在知觉层次上的融合,进而使不相关声源之间在知觉层次(融合的声像)上形成主观空间分离,并提高了对目标声源的选择性注意以达到去掩蔽的效果<sup>[26,10]</sup>。笔者认为,当人和动物面临大量的感觉输入所带来的环境压力时,大脑需要动用注意/认知/行为资源来有效地获得有意义的目标信号。如果视觉主观空间去掩蔽和听觉主观空间去掩蔽在更高级加工层次上有共同的



中国科学院

神经机制,那么对这种跨感觉道的高级神经机制的认识也一定是脑科学中的重要发现。因此,对机制统一性的研究将推动对大脑反映客观世界的基本规律的探索。

最后,回到前面所提及的意识问题,笔者也认为意识的形成也是多个加工过程整合的结果,其中可能包括了编码、激活、门控和感觉记忆等过程的整合<sup>[27]</sup>。

## 8 生理心理学在探索精神异常的神经机制中的贡献

生理心理学研究也与精神异常机理的研究有密切的关系。精神分裂症、焦虑症、抑郁症、躁狂症、注意缺陷多动障碍、药物成瘾、睡眠障碍等都与心理过程的某些变化有关。探索这些心理过程变化的神经机理对认识精神异常的发生和发展都会有重要的贡献。其中生理心理学最突出的贡献是建立某些精神异常的实验动物行为模型,随后在行为模型的基础上系统地探索相应的神经机制并建立相应的神经机制模型,以此来加深对相应精神异常神经机理的理解。经过各国科学家几十年的努力,动物模型的研究已有不少进展。其中对抑郁和焦虑症的动物模型<sup>[28]</sup>、药物成瘾的动物模型<sup>[29]</sup>、睡眠障碍的动物模型<sup>[30]</sup>、精神分裂症的动物模型<sup>[31]</sup>以及注意缺陷多动障碍的动物模型<sup>[32]</sup>等的研究都有了突出的进展。相信这些动物模型研究在揭示某些精神异常的神经机理的同时,也能对这些精神异常的早期诊断、新治疗方法的建立以及疗效评估等方面有积极的贡献。

## 9 对理论生理心理学的展望

如上所述,目前生理心理学发展的基本状态还处在实验结果的积累阶段。在此阶段中,研究从分散性的模式逐步发展为综合性的模式。当实验性研究资料的丰富性达到一定程度时,理论生理心理学就要适应研究发展的需要而出现。在理论生理心理学研究阶段中,全世界实验工作的研

究资料被统一整合,研究者的主要任务是依据丰富的研究资料对心理过程和神经过程做统一化的理解,并试图在心理与生理之间的鸿沟中找到能连接这两岸的理论桥梁。理论生理心理学的一个重要内容是通过揭示跨越不同量级的神经元群体集合的神经动力学机制,来预测被试的多重性心理和行为任务过程。同时,在计算机科学、信息科学以及材料科学高度发展的基础上,各种理论可以通过整体脑活动的动态建模仿真、仿脑机器人的构建、动物脑内调控芯片网络的植入这3种方法来检验。

随着理论生理心理学的发展,对物质、生命、意识三者关系的理解也更加深入,特别是能将意识过程和神经活动过程之间的界面通过人类已有的概念系统和语言工具来表述,并开始理解这三者之间的统一性,以实现科学和哲学“在山顶上聚首”。

由于对心理/行为神经机制认识的深入化,理论生理心理学与社会学、政治学、经济学将发生深刻的融合。政府和百姓将懂得从神经活动的规律上理解社会、政治和经济变化的规律,而使得人类的社会、政治、经济结构更加合理和现实。

同时,对有精神异常的患者,诊断和治疗的形式也将因理论生理心理学的出现而出现根本的变化。诊断的核心部分是根据患者的大量检查资料而实行的计算机计算过程。在给病人实施治疗方案前,首先在计算机模拟、仿脑机器人实验以及特异性动物模型这三个层次上实施“治疗”,根据效果再调整方案,直至能形成最佳的针对该病人特殊情况的治疗方案。

总之,生理心理学任重而道远。

**致谢** 作者感谢隋南、马原野、周昌乐三位教授对本文的修改意见。

### 参考文献

- 1 Teuber H L. Physiological Psychology. Annual Review of Psychology, 1955,6: 267-296.
- 2 隋南等编著. 生理心理学. 北京:中国人民大学出版社, 2010.

- 3 Li L, Yan J. The First International Symposium on Neurobehavioral Science in China (Editorial). *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2009, 33: 1 155-1 156.
- 4 Soon C S, Brass M, Heinze H J et al. Unconscious determinants of free decisions in the human brain. *Nature Neuroscience*, 2008, 11: 543-545.
- 5 Bookheimer S. Functional MRI of language: new approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual Review of Neuroscience*, 2002, 25: 151-188.
- 6 Friederici A, Brauer J, Lohmann G. Maturation of the language network: from inter- to intrahemispheric connectivities. *PLOS ONE*, 2011, 6: e20726.
- 7 Lidzba K, Schwilling E, Grodd W et al. Language comprehension vs. language production: Age effects on fMRI activation. *Brain and Language*, 2011, 119: 6-15.
- 8 Wilson B, Petkov C I. Communication and the primate brain: insights from neuroimaging studies in humans, chimpanzees and macaques. *Human Biology*, 2011, 83: 175-189.
- 9 Svarverud E, Gilson S J, Glennerster A. Cue combination for 3D location judgements. *Journal of Vision*, 2010, 10: 1-13.
- 10 Huang Y, Li J Y, Zou X F et al. Perceptual fusion tendency of speech sounds. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2011, 23:1 003-1 014.
- 11 Rossini P M et al. Noninvasive electrical and magnetic stimulation of the brain, spinal-cord and roots - basic principles and procedures for routine. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1994, 91: 79-92.
- 12 Davis R L. Remote control of fruit fly behavior. *Cell*, 2005, 121:6-7.
- 13 Miller G. Optogenetics. Shining new light on neural circuits. *Science*, 2006, 314: 1 674-1 676.
- 14 Kazama H, Ichikawa A, Kohsaka H et al. Innervation and activity dependent dynamics of postsynaptic oxidative metabolism. *Neuroscience*, 2008, 152: 40-49.
- 15 Tohmi M, Takahashi K, Kubota Y et al. Transcranial flavoprotein fluorescence imaging of mouse cortical activity and plasticity. *Neurochemistry*, 2009, 109: 3-9.
- 16 Harris J J, Reynell C, Attwell D. The physiology of developmental changes in BOLD functional imaging signals. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2011, 1: 199-216.
- 17 Phelps E A, LeDoux J E. Contributions of the amygdala to emotion processing: From animal models to human behavior. *Neuron*, 2005, 48: 175-187.
- 18 Duvarci S, Nader K, LeDoux J E. De novo mRNA synthesis is required for both consolidation and reconsolidation of fear memories in the amygdala. *Learning & Memory*, 2008, 15: 747-755.
- 19 Nader K, Schafe G E, LeDoux J E. The labile nature of consolidation theory. *Nature Reviews Neuroscience*, 2000, 1: 216-219.
- 20 Cartmill M. Rethinking primate origins. *Science*, 1974, 184: 436-443.
- 21 Collins E T. Changes in the visual organs correlated with the adoption of arboreal life and with the assumption of the erect posture. *Transactions of the Ophthalmological Society*, 1921, 41: 10-90.
- 22 Heesy C P. Seeing in stereo: The ecology and evolution of primate binocular vision and stereopsis. *Evolutionary Anthropology*, 2009, 18:21-35.
- 23 Julesz B. Binocular Depth Perception without Familiarity Cues. *Science*, 1964, 145: 356-362.
- 24 Wardle S G, Cass J, Brooks K R et al. Breaking camouflage: Binocular disparity reduces contrast masking in natural images. *Journal of vision*, 2010,10(14): 38, 1-12.
- 25 Reznikoff I. The sound dimension of the painted Palaeolithic caves. *Cognitive Processing*, 2009, 10: S138.
- 26 Huang Y, Huang Q, Chen X et al. Transient auditory storage of acoustic details is associated with release of speech from informational masking in reverberant conditions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception*



中国科学院

- ception and Performance, 2009, 35:1 618-1 628.
- 27 李量, 童佳瑾, 杨珉等. 感觉意识形成的四个基本要素: 编码、激活、门控和感觉记忆. 汪云九、杨玉芳(编辑)意识与大脑. 北京: 人民出版社, 2003, 115-123.
- 28 元晓丽, 林文娟. 焦虑和抑郁动物模型的研究方法和策略. 心理科学进展, 2005, 13: 327-332.
- 29 程九清, 李勇辉, 隋南. 基于啮齿类动物的决策行为研究及其脑机制. 心理科学进展, 2008, 16: 721-725.
- 30 陈艳梅, 秦冬冬, 姜慧慧等. 非人灵长类动物模型睡眠研究在神经精神疾病的早期诊断和药效评价中的作用. 动物学研究, 2011, 32: 81-90.
- 31 李量, 李楠欣. 建立新一代的精神分裂症的动物模型. 心理科学进展, 2008, 16: 399-403.
- 32 吴超, 李量. 研究人类注意缺陷多动障碍的大鼠模型. 中华精神科学杂志, 2009, 42: 122-125.

## Physiological Psychology: A Science about Interactions between Mind, Behaviors, and Neural Activities

Li Liang

(Department of Psychology, Peking University 100871 Beijing)

**Abstract** Physiological Psychology (PP) is the science studying the relations between mind, behaviors, and neural activities. It is closely related with Biology, Physiology, Neuroscience, Information Science, and Sociology. This review introduces the basic concepts of PP, and highlights its principles and developing trends. Since PP aims at behavior, mind and consciousness, it is distinct from Neurophysiology and Neurobiology; PP not only involves studies of function, mechanism, individual development, and evolution, but also emphasizes the integration of studies at these perspectives; the development of PP keeps pace with the general progression of science and technology, with a great potential of multi-disciplines interaction and collaboration; the diversity and complementarity of research methods for PP enriches the hierarchy of the structure of PP; PP promotes the understanding of psychological uniform through the study of brain uniform; PP contributes a lot to the exploration of psychiatric abnormalities. Finally, this review discusses the future of Theoretical Physiological Psychology.

**Keywords** brain functions, neural mechanisms, animal models

李 量 北京大学心理学系教授, 博士生导师。1985年、1988年分获北京大学心理学学士、硕士学位, 1994年获加拿大 Carleton 大学心理学哲学博士学位。2000年起任北京大学心理学系教授。主要研究领域包括听觉(言语)认知的心理物理学和神经生理学以及精神分裂症的动物模型。目前任中国心理学会生理心理学专业委员会副会长、北京大学机器感知与智能教育部重点实验室副主任、*Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 副主编、《心理科学进展》副主编等。E-mail: liangli@pku.edu.cn