

二〇〇〇年的中国研究资料

第三十一集(第二分册)

二〇〇〇年的中国生物医学工程

现状、进展和未来

内部资料
不得外传

中国科协二〇〇〇年的中国研究办公室

第 31 集

2000年的中国生物医学工程
(现状、进展和未来)

第 二 分 册

中国生物医学工程学会

中国科协2000年的中国研究办公室

1985.2

41339

目 录

第四章 生物信息与控制	(1)
定量生理学.....	刘曾复 (1)
发展中的系统生理学.....	周希贤 (4)
2000年的中医系统工程.....	宋天彬 (11)
生物控制.....	赵似兰 (19)
生物医学信号处理.....	欧阳楷 (27)
生物医学图象信息处理发展述评.....	张 森 (37)
细胞图象识别.....	陈传涓 (44)
人体与生物的冷光.....	严志强 (48)
第五章 医疗仪器与医疗器械	(62)
医疗器械生产发展概况.....	俞秉华 (62)
医疗器械.....	陈明进 (67)
国内外医学成像技术简评.....	杨国忠 (77)
蓬勃发展的现代生物医学超声工程.....	金树武 (87)
超声诊断进展.....	王新房 (96)
医学超声多普勒技术.....	王威琪 (105)
医用传感器.....	王明时 (108)
脉象传感器.....	洪水棕 (114)
测痛仪.....	苏光郡 (116)
脉冲电疗机.....	苏光郡 (118)
医用电子及医疗仪器2000年设想.....	唐秉寰 (122)
2000年医用电子技术发展设想.....	辽宁生物医学工程学会 (123)
电子计算机在生物医学工程方面的应用.....	陈 泊 (124)
电子计算机在医院中的应用.....	陈 泊 (125)
计算机数值诊断的发展和意义.....	张文修 (126)
第六章 康复医学工程	(129)
康复医学工程的概况与进展.....	邹贤华 (129)
残肢病人肌电的康复.....	胡天培 (135)
第七章 生物医学工程教育	(137)
生物医学工程教育.....	欧阳楷 (137)
2000年的生物医学工程与医院的工程技术人员.....	姬宏伟 (143)
第八章 医学物理学	医学物理专业委员会 (147)

激光医学应用.....	刘普和等 (147)
生物电阻抗.....	吕景新等 (148)
磁生物学及磁疗.....	胡纪湘 (149)
医学成象技术.....	刘骥等 (150)
电子计算机医学应用.....	徐男新等 (151)
放射物理学及剂量学.....	李诗豪等 (152)
生物电.....	霍纪文等 (154)
医学物理人材培养.....	邝华俊等 (155)
中国生物医学工程的进展与未来 (述评)	赵光陆 (156)

第四章 生物信息与控制

定量生理学

刘曾复

(北京第二医学院 生理教研组)

定量生理学 (quantitative physiology) 并不是一个新的术语或新的生理学分支。过去常说开创现代生理学的代表人物哈维 (W·Harvey) 建立了定量生理学, 这意味着定量是现代生理学的一个特点。今天国内外有的学校开设定量生理学课程, 例如美国麻省工学院 (Massachusetts Institute of Technology) 的生物医学工程专业开设的定量生理学课程讲授全部生理学内容, 着重生理过程的定量研究和数学模型。再如国内北京第二医学院生理学教研组开设的研究生公共课定量生理学课程, 讲授生理学研究中最常用的数学基本知识, 包括向量分析、偏微分方程、线性控制系统数学等基本内容, 作为学习生理和医学科学中计算机模型建立和模拟 (仿真) 工作 (Computer modeling and simulation) 的基础。从这类的课程来看今天的定量生理学工作与生物医学工程学和计算机科学的发展和运用有直接关系。例如人工肺是一种质量交换器 (mass exchanger), 设计人工肺在物理学方面要根据物质扩散定律、质量运输理论, 满足人工肺的生理标准, 要掌握肺气体交换、肺循环、血液凝固、血液动力学、血液流变学等知识。进行人工肺气体交换质量运输分析要利用血液氧和二氧化碳解离曲线、管道中片流速度分布图、氧和二氧化碳扩散连续方程等资料。所有这类的内容都属于定量生理学的教学和研究范围之内。但是生理学今天的定量研究的作用还不仅限于类似上述的应用方面, 更根本的应该说是在于推动今后生理学在工作思想和方法上的改进。

实验与理论的相辅相成推动生理学的进展。方法是有其哲学基础的, 在逻辑上着重归纳, 则理论不值紧要。归纳的想法是多次足够的观察就能启发出来普遍规律, 能够重复就意味着具有普遍性。着重演绎, 则理论居于首位。演绎是从理论出发, 按逻辑法则推断应得结果, 寻找经验。生理学的研究历史中, 在方法上对理论和实验的借重并不是一贯平衡的, 有的过分重视理论、着重演绎, 有的过分重视实验、着重归纳。

中国古代的生理学知识记录在医学书籍中。古人把阴阳五行理论用于医学, 并说明生理现象, 阴阳五行理论是古人说明万事万物的普遍原理。西方古希腊哲学家和博物学家亚里士多德也想用一种普遍原理来解释万事万物, 他的想法是一切事物都有其天生目的, 每一目的都可被发现。他的理论可与实际证明无关, 不容辩置, 一种不良的结果是

久后理论与事实不分，臆说成为信条。罗马时期的希腊医生、亚里士多德哲学信徒盖伦（Galen）的理论在二到十六世纪时期被奉为信条，对西方医学的影响很大。中医理论和亚里士多德与盖伦的理论都是不平凡的，但其中都有不确之处，例如对于血液循环系统的概念，中医虽说心主身之血脉，但又说心主神，亚里多德也有类似想法，认为心为血管系统的中心，又是智能之所在。盖伦没有循环的想法，他认为血从肝脏生成，经静脉分布到各种组织和右心。一部分血液走到左心加上生活精，这种生活精是从肺中空气提出来的。在脑中从生活精生成动物精，经神经分布到各种组织。血从右心经心中隔上无形小孔到达左心，这些都是不正确的。血液循环正确概念是1600年代哈维提出的。

哈维是英国医生，他出色地结合观察与推理，提出血液循环理论。哈维按心每搏输出量36毫升和每分钟心搏33次计算，心每分钟输出量应为1200毫升。他认为这样短的时间内有这样多的血液流过心脏，这些血液不可能是在体内随时产生出来的，一定是周而复始地在体内循环。他从结扎动物血管和压迫人体四肢血管以及检查静脉瓣膜的作用来观察血管中血流方向，作出了血液从静脉经心脏流到动脉的推论。哈维的想法虽然事实俱在，但是在他所处的时代是受一些人的强烈反对的，原因是违背了过去盖伦的“教导”。直到后来阐明了毛细血管的机能和进一步深入认识氧对维持生命的作用，哈维的工作才被完全接受。这就是正确观察战胜平空臆想的历史实例之一。

欧洲文艺复兴时期，科学中以重视实验代替亚里士多德思想和对盖伦文献的遵循，是一个重大的变化，但是从此又显现出从一个极端走向另一个极端的一种倾向，实验被提高到极其重要的地位。强调实验的一个代表性人物是上世纪的伯尔纳（Claude Bernard）。

法国生理学家伯尔纳对生理学和医学都有很大贡献，被尊称为实验医学的创始人。伯尔纳认为缺乏事实证明的广大空洞道理毫无价值。他重视临床和实验室观察。他区分观察与实验的差别。实验室工作是研究者重复造成某种扰动，期望能获得一种一致反应的企图。伯尔纳之前，生命过程曾被想象是易变的，包括着许多过目烟云的现象，由神秘性生命力来控制。伯尔纳则认为生命与物理和化学过程一样，是决定性的（deterministic），一定刺激会一定不变地引起一定的反应。这就是使他强调实验室工作的价值的道理。在实验室中所要作的是使用已知刺激和仔细观察反应。伯尔纳在这样的原则下取得了他的成绩，包括糖代谢、消化、血管运动、一氧化碳中毒、箭毒等方面的研究。伯尔纳反对超出实验室论据以外过远地外推、猜测。这样做一方面是显示出实验室实验工作的揭发能力，但另一方面则造成对理论的信任的缺乏。这样做可以说是从亚里士多德理论摆到了另一端。这样做成为今天生理学工作方法的传统，表现在今天生理学的工作当中。

无论如何，伯尔纳是要把科学方法用于生物学研究的。当时他只有简陋的实验工具可用，对初步的简单实验，简单的解释也就可以满足要求了。就是这样，伯尔纳也还是站在他同时的许多学者的前列，因为这许多学者认为生命过程是不可知的。伯尔纳完全明白他的工作只是一个开始，他认为在一开头一种完全的数学方程式是列不出来的，定性研究总是走在定量研究之前。他预期科学方法最终一定会完全地用于生命的研究，但是直到今天还是变化不显，离他的预期还有一定距离。

伯尔纳绝不是不谈理论的人，相反地他曾强调内环境恒定性这一概念的重要性。伯

尔纳和与他同时的许多学者一样，认为细胞是生物的基本单位，每一细胞独立生活着，细胞的环境必须正确地控制着才能保持细胞的生命。伯尔纳认为机体好象藏在自己的一间房子里，外界的持续变化不能对其有所触及，机体可以自由和独立生活着。实际上机体并不是与外界真正隔离，机体不停地代偿和抵消外界变化，保持内环境的恒定。因此高等动物绝不是与外界环境无关，相反的是与外界环境有十分密切的关系。机体与外界平衡是持续和精确代偿的结果。伯尔纳曾将这种观点用于他的肝脏研究。本世纪前叶美国生理学家坎农（W·Cannon）把伯尔纳内环境恒定性概念推广，他强调生命的可能在于无数调节作用保持下的稳定性，这些调节作用在正常状态发生扰乱时开始进行。他提出自稳态（homeostasis）这一术语表示这样的复杂情况。

今天生理学所面对的一个问题是人们一方面承认生命过程的复杂性，同时又强调实验室实验的重要性，但是一般的实验却只是适用于比较不太复杂的问题。在科学评价和奖励上实际也是重视简单，因此所发表的工作常是简单实验和简单解释。但是研究者内心所承认的实际并不是简单而是复杂，他们更是明白未知影响可以影响实验结果，重要影响在实验设计或方法上可能被忽略，等等。大多数的生理科学工作者今天还是那样孜孜不息、按部就班，每日每时在解释他自己的论据和别人的论据。这样经典式的做法有没有改变的可能呢？这里面可以有不同的态度。

他坚持进行简单实验，在概念上消除那些被认为是不重要的细节。从这样的工作中常会浮现出一些引人注目的重要结果，引起类似膳食中高胆固醇是造成动脉粥样硬化的唯一原因的这类看法。但是照这样，再作得过分些，也许就成为万物一理，自然简单的看法了。

他承认复杂性，但太复杂没法研究。这样悲观论调在科学中是没有地位的。

他承认复杂性，并试图把尽多的有关事实综合成为可知的解释。这就是他企图建立一种符合事实真相的理论。这里面他不仅重视实验，也把理论也提高到合理的地位。这样作的关键问题，归根到底还是复杂性。如果生理自稳态的各个方面是高度缠联，持续互相作用的，则相应的理论也要有同等的复杂才有价值。这种想法也许会引起那些认为实验室基本技术训练第一，但对数学和计算机科学不熟习工作者的不安。

理论对科学中已有知识起一种工作纲要的作用，随着科学的进展，旧理论会代之以新理论。理论会愈来愈有普遍性，应用范围愈来愈广，愈来愈准（例如从牛顿力学到爱因斯坦相对论）。具有普遍意义的精确理论可以成为大的理论，但这也照样可以由实验证据来否定，重建更好的理论。这样作首先还是要有想法，也就是要从一种理论开始。这种理论的基础是过去的理论和过去的实验。人们不必对新理论的设想不放心，错的理论不难察觉，没法证实的理论在科学上是不会引起人们的兴趣的。

对一种理论的检查是推出它的一切可能逻辑结果，把每一结果与可以利用的证据进行对照，慎重考虑来判断其真伪。这种演绎过程就是“新工作计划（或规划）”的根本。一个理论的价值在于它的普遍性和精确性，因此应该用数学表达的定量研究，不能满足于文字和粗略的叙述。对于生物学中的大的复杂学说，进行逻辑演绎、作出结论，是有实际困难的。但是今天正是处在一个历史上的关键时刻，这个时刻的到来就是由于计算机的发明和应用。借助计算机，至少可以在那些能够写出数学式的理论，对逻辑演绎

进行计算。因此今天建立理论，进行逻辑推导，设计实验明辨其真伪，都不难作到。这就可以大大超过亚里士多德的步伐，正确应用理论，也可以走在伯尔纳的前边，大量收集论据。今天微计算机的迅速扩大使用是这样作的有力条件。

七十年代美国生理学家盖顿 (Guyton) 等介绍了一个循环调节的复杂系统分析工作。这个工作所提出的系统方框图解包括有354个框，共代表着400多个方程式，每个方程式是循环机能的一个小的方面的数学表达。这个系统方框图也就是循环机能的一个大的数学模型。这个分析工作结合室分析 (Compartment analysis) (也有人译为组分分析—编者注) 和控制理论 (Control theory) 的应用，以大量实验论据为根据，比较精确，经得起定量检验。这个数学模型在一定程度上可以起理论的作用，不但可以起着概括、抽象和预测问题的作用，而且还可以作出一定的演绎推理，指出不足、提出新概念和新实验设计，也就是不仅可以回答问题，而且还可以预测和启示新问题。这个工作可以代表计算机模型建立和模拟工作在今天的生理学研究中的应用实况。

计算机模型建立和模拟包括建立概念性模型和数学模型和模拟工作，它不但能完成经典式的实验设计，而且还可以进行数学模型建立和检查工作，特别是模拟工作，它使生理科学研究在方法上可以更合理地应用理论和实验。在生理科学研究方法的历史发展中曾经从亚里士多德理论为主的一面摆到伯尔纳以实验为另一面。计算机的出现对生理科学有了新的启示，可以更合理地应用科学研究方法中的理论部分，可以避免不必要的实验工作，可以从较少的好实验得到更确切的结果，同时还可以更好地利用现有的新工作。这也就是今天的定量生理学所要用的方法和所要作的工作，但是这仅是一个新的开始，也是一个有前途的开始。这一情况在今天的生理学工作中应予以应有的重视，因为这不仅是国内的问题也是今天的一个世界性问题。

发展中的系统生理学

周希贤

(兰州医学院物理教研室)

一、引言

自从1948年维纳的《控制论》发表以后，特别是霍奇金等用数学描述动作电位的成功，引起了科学界探讨将数学、物理和工程技术应用于生命科学的浓厚兴趣，掀起了六十年代生理学采用物理、工程技术、数学和计算机技术的热潮。由于那时过多的注意了生命系统和非生命系统的共性，而对它们的特性注意不够，因此，虽然在某些方面取得了一定的成果，但这种努力远没有获得预期的效果。因而在生物和医学界产生了对应用物理、数学和工程技术于生命系统的怀疑和非议。他们主要认为，生命系统（包括人体）是一个极其复杂的有机的整体，不能象非生命系统那样分割开来研究。近年来发展形成

的系统科学，解除了上述疑虑，系统科学研究的对象是具有下列特征的系统。

(1) 必须作周密、全盘考虑的复杂系统。

(2) 具有整体结构，但可分成若干便于研究的分系统。各分系统之间存在着有机的结合，以发挥最高效能的系统。

(3) 大多是自动化程度很高，而且常常包含有非线性元件的系统。

(4) 系统的输入与输出表现在时间、空间和数值上都带有随机性。

(5) 随着技术的发展，是处在不断修改、补充和更新过程中的系统。

(6) 系统与系统之间，除了相互协调，有时也存在着对抗性和竞争性。

以上列举的系统的特征，与生理系统的特征有些是相同的，有些是相似的。如果我们在注意到它们之间的共性的同时，更多地考虑到生理系统的特性，则显然可以把生理系统作为系统科学的研究对象。系统生理学就是这样应运而生的。

系统科学有几个重要观点，即整体观点、任务观点和能使任务以最佳效率圆满完成的观点。系统生理学就是从上述观点出发，研究人及其分系统的学科。有时还包括研究人与环境的相互影响。这里可以举出一些例子来阐明系统生理学研究的具体内容。

(1) 重力平衡、体温、血压、血糖水平以及血容积等的自动调节系统。

(2) 目前还没有客观参数的保持警觉及镇定系统。

(3) 抵抗感染和外来蛋白质的保护系统（即免疫系统—编者注）。

(4) 正常和异常的生理和心理活动系统。包括运动和感觉控制系统。

(5) 由听觉、语言、音乐、视觉、美术、书画产生的沟通信息的系统。

(6) 经验和思想的组合，储存及回想系统。

(7) 创造性的表达系统。

系统生理学的目的就是要寻求对上述系统的任务和如何圆满完成任务的理解。进而研究系统的整体作用机制。搞清各种问题的性质是属于物理的？生化的？感觉的？情绪的？道德的还是社会性的？对这些问题的分析和解决与其它系统科学分支有无本质上的-致性？并探讨系统生理学能为医学、工程设计以至社会管理提供什么有益的理论依据。

二、系统生理学研究方法的特点

系统生理学除了具有自身的特点外，在研究策略和方法上，很多是来自生物控制论。因此，在这种意义上，可以说系统生理学是生物控制论的深化和发展。它也是涉及多学科边缘学科。下面简要地介绍一些系统生理学的主要研究手段的特点及其进展。

(一) 生理系统模拟和模型

生理系统模拟就是根据生理系统和非生命系统的共性或相似性，建立物理的、化学的和数学模型来模拟生理系统。一般把用物理、化学等模型称为实体模型，而将数学模型称为抽象模型。在选择模型时，应尽可能先建立实体模型。因为实体模型能给人以鲜明的实体感觉。同时由于数学在物理、化学和工程方面的应用已很广泛且较成熟，很多物理、化学和工程系统都已确立了相应的数学表达形式，因此，只要建立了实体模

型,就容易获得可供定量分析的数学模型。关于数学模型下面还要讲到,这里着重介绍建立生理系统模型的一些准则。

建立生理系统模型,除了要遵从系统科学的通用准则,还要注意生理系统的特点。除了要模拟生理系统完成某些特定任务以外,最好还要考虑怎样才能模拟系统的内蕴机制。对同一生理系统的模拟,可能是多种多样的,例如可以是电学的也可以是力学的等等。模型的类型很大程度反映了模型设计者的观点、兴趣和他具备的有关知识。就实体模型而论,今天的发展方向已不是单纯要求模拟系统的总体特性,而且要求模型中的元件能模拟系统中对应分系统的特性,而且能反映各分系统之间的相互作用机制。设计生理系统模型时,时刻不能忘记生理系统的各个相邻水平都存在着不可分割的相互联系。而且还要明确每一组织都有它的特定任务。例如,神经膜是为了传递信息而产生去极化,树突、胞体及细胞核的任务是传输并处理信息。初级感觉器官的任务是转译信息并加以分析和综合。高级神经中枢的任务是将传入的信息与学习到的经验,即储存的信息结合起来,并作出反应和决策。各个分系统虽然都有各自的任务,但又是紧密相连的。这里不仅要求对任务的模拟,而且还要考虑“最佳行为准则”。最好还能让我们根据模型了解到动作电位为什么能很好地携带信息。理解动作电位的“全”或“无”和不会衰减的特性,从而可以推论它的安全系数大,且在传递过程中,可以相对地不受干扰。

近年来模拟生理系统的模型有向规模大的方向发展趋势。例如有一种模拟循环系统的模型,包含有354个分系统,要用400多个数字方程去描述。这只有在计算机技术高度发展的今天,才能采用这种规模大而且细致的模拟方法。一般来说,分系统愈多,愈能更细致的模拟系统的行为。但过于庞大的计算量,很可能冲淡对系统主要性能的了解。而且生理系统,特别是感觉行为水平,其复杂程度是不可能用数以百计的分系统去详尽模拟的,即使是数以万计的分系统也不可能。模型总是模型,而不是系统本身。所以合理地选定划分分系统的规模是很重要的。应用最优化原理,作出划分系统的决策,是很引人注目的课题。

(二) 生理系统辨识

为了搞清生理系统的结构与功能,常常采用生理系统辨识的方法。生理系统辨识可分为功能辨识和结构辨识。所谓结构辨识就是利用解剖学和组织学手段,辨识系统的结构。至于功能辨识,则是把被研究的对象看作一个具有一定功能的系统。从因果关系上,观察系统的刺激-反应。这里的刺激可以是外加的,也可以是生理系统自发的。根据系统对多种刺激的反应,可以对系统作出功能性的描述。这种刺激-反应实验,在传统的生理实验中,早已是常用的实验方法,但实验常常是局限于某一特定组织水平,较少系统分析的观点。

在控制论问世以后,常把未知结构的系统称做“黑箱”,将刺激输入“黑箱”,根据其反应推测系统的状态变量。另外还有所谓“灰箱”,即部分地知道系统的结构,同样用刺激-反应法去探测系统的功能,这样还可以了解系统结构与功能的关系。为了更详尽地了解系统的结构与功能,很自然会想到将分系统划得多些。以便从更多的刺激-反应实验中,获得更多有关系统的信息。但对于生理系统,存在着以下困难,即生物系统可以进行实验的时间有限,而由不同标本测得的数据差别很大,生物系统又大多是非线

性的,不能采用线性叠加的方法。因此,将系统分得多些并增加实验次数以求获得更多信息的想法是不现实的。

七十年代发展起来的“白噪声”技术,是生理系统辨识的新进展,充分体现了数学技巧与系统辨识的巧妙结合。数学证明,任一稳定的、有限记忆的、不随时间而变的非线性系统,其输入信号 $x(t)$ 与输出 $y(t)$ 之间的关系可以用下列数学模型来描述:

$$\begin{aligned} y(t) = & K_0 + \int_0^{\infty} K_1(\tau_1) x(t-\tau_1) d\tau_1 \\ & + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} K_2(\tau_1, \tau_2) x(t-\tau_1) x(t-\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 \\ & + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} K_3(\tau_1, \tau_2, \tau_3) x(t-\tau_1) x(t-\tau_2) x(t-\tau_3) d\tau_1 d\tau_2 d\tau_3 \\ & + \dots \end{aligned}$$

式中 K_0 为常数项, $K_1(\tau_1)$, $K_2(\tau_1, \tau_2)$, $K_3(\tau_1, \tau_2, \tau_3)$ ……,称为该系统的核。式中含有一级核 $K_1(\tau_1)$ 的项是描述系统的线性行为的,高次项则是线性卷积的推广,可以描述系统的非线性特性。只要求出诸核,就可以建立系统输入与输出的定量关系。由于系统在某一时刻 t 的输出 $y(t)$,是由输入信号(时间的函数)所确定,所以也可以下列泛函来描述系统的输入-输出关系。

$$y(t) = F_1[x(t'); t-\mu \leq t' \leq t]$$

式中 t 表示现在时间, $X(t')$ 表示输入在过去对系统有影响的时间函数, μ 称为系统的记忆。上述方程只有输入信号具有特定的形式才易于求解。采用“高斯白噪声”作为输入信号源是一种很好的方法。所谓“高斯白噪声”信号,是一个稳态随机信号,它的任两个抽样在统计上都是独立的;对所有频率,功率密度谱均为常数;振幅的分布是按高斯分布且均值为零。采用高斯白噪声信号作为输入信号,有利于求出诸核。这时描述系统的数学模型可以用下列泛函函数表示。

$$y(t) = \sum_{m=0}^{\infty} G_m \left[h_m(\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_m), x(t'), t' \leq t \right]$$

当有多路输入信号 $x(t)$, $u(t)$, $v(t)$ 时,则可用

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} G_n \left[\{h_n\}; X(+), u(t), v(t) \right]$$

来表示。式中 G_n 为正交泛函, $\{h\}$ 为Wiener核。

“白噪声”法在生理系统辨识中,有如下优点:

- (1) 由于输入是包含频谱极其丰富的随机信号,比起传统上采用的正弦波或阶跃波作为输入,能在输出端获得更多的有关被测系统的信息。
- (2) 可以描述系统的非线性特性,符合生理系统的实际。
- (3) 由于求核时采用了相关技术,可以消除非相关信号的干扰,提高系统的信-噪比。
- (4) 在多路输入时,响应中包含了多路输入的相互作用,更符合系统科学的方法论。

白噪声技术是生理系统辨识中较先进的方法,在视觉系统辨识中,已取得显著的效果。我国兰州、上海等地已开展对这一技术的研究,并采用这一技术对人体经络系统辨识做过初步的探索。

这里还应该提到,一般人体自发的信号都很微弱,其频率范围约在 $0 \sim 500$ 赫。因此,弱生物电信号检测理论与技术的研究,也是与生理系统辨识密切相关的课题。国内已开展了这一研究,并已取得一些进展。

(三) 生理系统中的控制

系统生理学中,一个重要的研究方向是对生理系统控制的研究。早期的研究主要着重体内调节,即研究维持体内稳定平衡的控制机制。后来发展到对体外的研究,即研究运动、语言、情绪等的控制机制。近年来则进一步研究控制的时间经历,或称控制的动态过程,对感觉系统已采用数据程序进行分析,并研究感觉系统与运动行为的动态控制关系。近年来系统生理学还结合精神物理学,开拓了外部控制功能的新领域。不仅研究物理因素引起感觉的定量关系,并且涉及心理影响对感觉行为的动态过程。

过去在生物系统控制的研究中,常常简单地引用工程控制的理论。诚然,工程控制与生理系统的控制在某些方面有相似性,但应时时注意二者的差异。一般来说,控制应涉及时间构型和空间构型;功能控制与结构控制。现代工程控制理论更多的是研究时间构型。例如研究击中目标的误差及其反馈。而在系统生理学中,常常需要把时间构型与空间构型结合起来考虑。例如在视觉对比度的研究中,就会同时用到空间梯度和时间积分的概念在研究呼吸系统空气流通及氧浓度的稳态工作点的控制中,常常同时涉及功能控制与结构控制。在研究视觉系统的行为时,不仅要研究有关控制视力的肌肉是如何工作才能看到目标,而且还要研究怎样控制才能获得最清晰高质量的图象,即所谓“图象质量控制”。

在生命系统中,永远不会达到静态平衡,传统的“熵增加原理”不能用作判断生命系统趋于稳定平衡的准则。近年来发展起来的非平衡态热力学或负熵热力学,已开始用于生理控制系统。这显然是系统生理学中研究的一个新内容。上海等地已经开始这方面的研究。

研究交叉偶合对生理系统的控制作用,也是系统生理学中的一个重要课题。以脑干和皮层中信息流网络为例,即使是最简单的感觉运动控制,都必然会有亿万次易化和抑制活动。如果用工程控制的结构相比,很难设想要多么复杂的控制网络,更不用说,在同时有很多的目的时,脑的控制系统要立即使很多分系统同时灵活地起控制作用,并要将各分系统的作用相互协调。因此,系统生理学不能采用象工程控制那样,先搞清结构,再研究其功能,而只能在给定水平,根据任务的性质划分分系统,从功能观点出发研究这类交叉偶合控制。

非线性关系在生理系统中表现得很普遍。在很多生理控制系统中,不象工程控制系统,并不包含传感元件、反馈元件、比较元件等。而是靠非线性偶合控制着系统的动态平衡,并且表现出对外部干扰有高度的稳定性。这类非线性调节系统的定量分析是系统生理学中一个很有意义的研究课题。它还可以给自动控制工程师提供有益的启示。另外一种形式的动态平衡,表现为持续的稳定振荡或节律性活动。例如心搏和呼吸等。近年

来用拓扑学和相平衡分析取得了很好的效果。

还有一种有趣的生理控制称为“再生控制”。即用人工方法促进或抑制组织的再生。据文献指导,人体可能有一种弱直流电控制电场,它控制着组织的再生或抑制。兰州已经开展了这方面的研究工作。根据这一设想,用物理因素促进不易愈合骨折的再生,国内一些医院都已用于临床实践,并已初见成效。但是它的理论依据是什么,控制机制是怎样的?还有待我们去总结,并作出理论性的概括。

前面我们列举了一些不能直接引用工程系统控制理论的例子。当然,也有不少生理系统控制问题,是和工程控制问题相似的。例如体温调节系统的控制,主动脉血压控制系统等,不但适合用工程控制系统来模拟,而且在结构上都可找到与误差检测元件、控制元件和效应器相对应的组织单元。这些是对系统生理学感兴趣的工程师们驾轻就熟的研究领域。这里应该再强调,明确工程系统控制与生理系统控制的异同,是当今决定工程控制理论能否用于生理系统控制的关键。因此生理学者与工程师的紧密合作、互相学习、取长补短是发展生理系统控制理论带有战略意义的大事。

(四) 生理数学

在系统生理学中,生理数学占有很重要的地位。翻开系统生理学的专著,或纵观系统生理学的文献,可以看到,应用到这一领域的数学极其广泛,几乎涉及每一个数学分支。而且现有的数学还远远不能满足系统生理学的需要,不断有新的数学方法提出。就目前而论,具有完整体系的生理数学还没有形成。现用的数学方法来自工程数学。经典生理学中的定量描述,多限于用图表去表示系统的功能、结构和测量数据的比例关系。根据近二十年的发展情况,按照其描述方法来分类,主要可以概括为以下四个方面。

1、曲线拟合

早在五十年代,生理学家就已采用数学公式来表示两生理变量之间的关系。著名的H-H方程则进一步采用多变量的表示法。这一方程能很好地模拟神经膜的去极化过程,与实验曲线能很好地拟合,并能预测曲线的走向,也就是说根据已有实验数据建立的方程可画出比实验曲线范围更大的曲线,以预测尚未完成的实验结果的曲线概貌。这是一种巧合还是生理与数学之间存在着共性呢?对于这一问题已经有人进行过统计,例如有数十种生命过程都符合指数规律,难道这都是巧合吗?

曲线拟合主要是用修改数学公式,调整公式中的参数的方法,使数学公式能与实验曲线相符合。同一个实验曲线可以有多种不同的数学拟合形式。这类数学模型中的参数与生理系统中的分系统之间找不出什么联系,无助于对生理机制的了解。因此,对生理系统分析没有普遍价值。但同时也要指出,用简化的数学方程来表示生理实验曲线,有时还是有用的。例如建立用最佳基本函数来表示心电图的波形的数学模型,可以用于计算机心电图模拟的程序设计,至今仍然是令人感兴趣的方法。有时,即使是单纯的拟合,仍然是带有启发性的,有些数学变换能显示出系统的某种机制。因此,先对生理实验结果作抽象的概括,然后逐步寻找他们的共性,应当是一种可取的探索方法。

2、概念拟合

这种方法是从某一基本概念出发,来建立描述系统的数学模型。因为系统生理学涉及的学科很多,来自不同专业的模型设计者,常常从自己熟习的专业概念出发设计模

型。以耳蜗系统模型为例,就有声学、电学、流体力学等多种模型相应的数学表达形式。这些模型各具特色,发挥了各自的长处。但采用概念拟合的方法,一定要注意避免生搬硬套。比如我们在“生理系统中的控制”一节里一再强调的,如果不深入了解本专业的基本概念与生理系统的基本概念的异同,就有可能产生谬误。

3、内蕴生理数学

内蕴生理数学是用数学形式去定量描述生理系统内在机制的数学。例如模拟血糖控制的数学模型,有一种就能体现描述内蕴机制的特点。这种模型的方程组中的变量分别与肝、胰、血、肌肉中的激素有对应关系,可以描述血糖控制系统的内在演变过程。

另一种类型的内蕴数学是找出某一生理实验的基本参量。例如,将ECG(心电图)的四个分量用四度空间理论来描述ECG的全部导联。近年来利用统计理论探讨神经放电的阈值变异性的数学模型,有的涉及内在的随机机制,也属于内蕴数学模型。

内蕴数学比曲线拟合与概念拟合有明显的优点,是值得大力推广的生理数学方法。

4、信流图

信流图是方框图的简化与发展。它是用连接输入端与输出端的线段表示一个系统或分系统。信流图的着眼点是信息,在线段上用箭头标明了信息的流向。输入与输出不可反转。根据信流图的运算法则,利用拉氏变换,可以将描述复杂系统的微分方程组简化为代数运算。整个信流图反映了系统运转中的程序顺序。因此可以将信流图作为计算机程序设计的参考图。在信流图每一线段上,标明了输入与输出的函数关系。这种关系可以是线性的,也可以是非线性的,因此信流图可用于描述非线性系统。由于信流图是起源于信息控制理论,在应用于生理系统时,常常受到信息科学及通信工程的定义的局限,还不太适应系统生理学的需要。但可以预期,将来一定可以发展一种适合系统生理学的信流图。这是一种普遍认为很有发展前途的生理数学方法。

三、回顾与展望

如果追溯得远些,我国可能是应用系统观点于人体和医学最早的国家。祖国医学的“辨证施治”是典型的系统科学观点。在继承发展祖国医学遗产,整理、发掘祖国医学的科学思想方法论方面,我们应有所作为。我国在应用电子计算机于中医诊断方面已取得可喜的成果,并引起了国际上的广泛重视。在发展中医中,应“取其精华,弃其糟粕”,大胆从现代先进科学技术中汲取营养。系统生理学的研究应该注意中医这个重要领域。

系统生理学是系统科学的一个重要分支。它与生物控制论、生物物理、生物医学工程、生物信息论、医学、仿生学、系统工程、控制工程、计算机科学等很多学科关系密切。近年来采用系统科学观点模拟、分析生理系统的论文,不仅大量刊载在国外生物控制论、理论生物学、生物物理、生物医学工程、系统理论等杂志上,而且在声学、流体力学、电子学等专业杂志上,也有不少从本专业概念出发的系统生理学模型的文章。不仅数量多,而且质量愈来愈好。而我国与系统生理学有关的刊物还很少,见到的这类文章也很少。随着电子计算机技术的迅速发展,系统模拟的规模正向大和精的方向发展。

利用电子计算机对分系统的扫描技术,产生了模拟系统的动态模型。系统生理学的研究方法超越了传统生理学的眼界。生理学与精神物理学相结合,提出了新的实验和理论分析方案,对生理系统作出了有意义的预测。以听觉系统生理学为例,在研究声音对听觉系统的影响时,新的方法是先建立外耳和中耳的模型。对模型进行分析,并确定不至损坏鼓膜、能传入内耳最大声能的频谱。然后建立内耳模型,根据模型,预测最有损害性感觉的传入听觉中枢的频谱。在感觉水平,应采用精神物理学的测量方法。这样可得出使人感觉恐怖的声频范围,如使炮弹带有这种频率的哨声就可增加恐怖感。显然,类似这样的生物系统分析,对听觉保健和武器设计都有现实意义。一些发达的工业国,特别是已经开展宇航技术的国家,对系统生理学的研究,投入了大量的人力和物力,为保证安全送入宇宙预先作了周密的研究。系统生理学对人的四肢运动的定量研究,为设计假肢、机器人提供了有力的理论依据。自动控制系统设计工程师可以从人体自动调节系统生理学的研究中,得到很多有益的启示。这样的例子是举不胜举的。总之,系统生理学的研究既有理论价值,也有实用价值。它与生理、医学、工业、国防都有密切关系。在国外,有的学者还将系统生理学的研究范围扩大到与社会科学相结合,研究人与社会的关系,探讨生理因素和心理因素对社会发展的影响。

就目前而论,我们对这一学科的研究,比发达的工业国确有一定的差距。我国从事系统生理学研究的还很少,有关部门还不太了解发展这一学科的重要性。由于我国理、工、医科高等院校大多单独设立,不利于涉及多学科人才的培养。近年来,有的研究生生命学科的研究所,增加了理工科出身的研究人员。有些理工科院校增设了生命学科的教研室,有些医学院校也增设了生物物理和生物医学工程研究室。有的院校采取校际协作的办法培养边缘学科的研究生。加之我国相继成立了生物物理、生物医学工程、医学物理学会,这一切都有利于人才培养和学术交流。总的来说,系统生理是比较偏重于理论研究的。我们是有进取心,善于抽象思维的民族。在理论研究方面,我们是不落后的。可以预期,随着我国“四化”事业的迅速发展,在这一领域,我们一定能在2000年赶上世界先进水平。

2000 年的中医系统工程

宋 天 彬

(北京中医学院)

一、前 言

中医系统工程是近年来一个新的提法,它属于生物医学工程的范围,其涵义是以系统工程的理论和方法来研究中医学。外国学者Wei Ly认为,“中医把人体作为一个科学工程系统来对待,认为人体的健康是这个科学工程系统协调和谐的表现”,“中医和

西医在研究方法上的差别，与经典力学和量子力学在方法论上的差别非常相似。”前者依赖的是“确定性”，后者常用的语言却是概率性的、“不确定性”的。“当这个系统是复杂的而相互作用又不清楚时，要获得某种认识，一种比较聪明的方法是采用模型法”。“阴阳是一种两极模型”，“五行是一种元素模型”，“经络是一种网络模型”。这些论述足见作者对中医精髓了解之深。我们应当在辩证唯物主义思想指导下，充分利用当代的新理论、新技术（包括现代医学），从临床实践出发，来研究完整的中医理论体系，达到中医现代化的目标。实现目标的具体标准是：以现代化技术装备中医，使中医理论体系的正确思想发扬光大，在临床疗效上取得重大突破；其研究内容应当包括基础理论、诊断技术和疗养手段三大部分。其基本要求是：继承优良传统，保持中医特色，洋为中用，取长补短，推陈出新。这实质上就是一些老前辈所倡导的“中学为体，西学为用”的主张，既要保存国粹，又要学人之长。

许多科学家都预言未来科学革命的带头学科将是生命科学，而在生命科学的研究中，国内外许多学者又都对中医学寄予很大希望。其实无论中、西医，都应摆脱桎梏，抛弃门户之见，投身于研究人体科学的洪流中。现在，人类文明史已由古代的综合阶段，经过近代的分析阶段，而发展到当代的系统阶段。从辩证唯物主义认识论来看，这正是“否定之否定”的一个循环。现代科学在继续分析深化的同时，各学科之间又互相移植、渗透，产生了许多边缘学科和横断学科，在高度分化的基础上，又走向高度综合。生命运动是一切物质运动的最高级最复杂的形式，是物质、能量、信息的综合，具有高度的整体性，所以对生命奥秘的探索，就要求打破各学科领域的人为界限，组织多学科协作攻关，而“第四次产业革命”所造成的“信息化社会”，也必然把生命科学推向整个科学阵地的前沿，使之成为带头学科。中医理论体系之所以经久不衰，其主要原因之一是具有唯物辩证法的哲学基础，与当代科学理论的发展恰好合拍，难怪现代西方科学界出现了东方哲学热。耗散结构理论创始人普里戈津认为：现代科学的发展更符合中国的哲学思想。他预言西方科学和中国文化对整体性、协同性的理解的结合，将导致新的自然哲学和自然观。此外，由于现代医学临床上分科过细的弊病，已越来越明显了；随着以检查为中心的医疗的发展，医生与患者之间的对话越来越少，人的社会因素被忽略了；化学药品的过量应用，造成许多医源性疾病；医疗设施的不足，医药费用的昂贵，致使国外有一种发展个人保健的趋势；于是以精神文明、自然疗法、个人保健为基调的中医学，就自然地得到了新的评价。1977年第30届世界卫生大会通过一项决议（WHO 30、49），敦促有关政府“充分重视利用传统医学体系，制定适合其国家医疗制度的适当规定”。WHO区域办事处，对那些准备在其全国医疗系统中，利用传统医学医生作为实现“到2000年人人享有卫生保健”的战略目标的国家，给予鼓励与支持。现在“重新评价传统医学的活动已成为世界医学界极为关注的事。”

二、国内外中医药学术界概况

我国中医学术和中医队伍的发展是极为缓慢的，原因是多方面的。解放前，社会原因是主要的。解放后，党的中医政策是非常明确的，党和国家领导人：对中医事业也是

十分重视和大力支持的,这就不得不从认识论和方法论上找原因了。主要是对中医这样一个充满系统科学思想的理论体系,没有采用系统工程的理论和方法进行研究,三十多年来,走的是一条以西医为主体来研究中医的道路,所以解放后虽然领导者和广大医药卫生工作者付出了艰辛的劳动,做了大量的研究工作,也取得了许多可喜的成果,但充其量也只不过是扩大了西医的药源和治疗手段而已。这种中西结合只能是局部的、经验的结合,很难有重大的突破。以西医理论为基础,把中医理论体系搞得支离破碎,凡符合西医观点的才算是科学的,否则置之勿论,或斥为不科学的糟粕,以致中医学术的发展停滞不前,与时代的要求极不相称。一些中医界的知名人士惊呼:中医面临着后继乏人、后继乏术的窘况。目前虽然许多人已意识到问题的严重性,但大多数人认识还不够统一,目标不够明确,缺少新的方法,缺少多种途径的最优化选择,无论中医和中西医结合的各项工作,许多环节是脱节的,形成各自为战的局面。关键是中医事业的发展,要有一个总体规划。

在研究工作方面,笔者查阅了1980~1983四年的中医文摘,其具体技术性、散在性成果多,而根本性、理论性、总体地解决某一问题的成果少;报导性的成果多,而得到广泛持久应用的成果少。这与研究方法上存在的问题有很大关系。这些年虽然期刊如雨后春笋,但论文增长的速度很慢,每年只在2000篇左右徘徊,1983年比1982年还减少279篇。从论文内容看,基础理论研究每年都只占10%左右(1983年是12.2%),而其中大约2/3以上是属于文献整理方面,临床观测和实验研究很少;临床报道约占45%左右,绝大部分是按西医病种进行临床观察的,很少按中医的“证”进行系统的临床观测,致使理论成果不多;中药研究占22%左右,大部分是药理、药化、方剂方面的,很少有资源调查、栽培饲养、炮炙鉴定方面的研究,以致中药面临供应不足、品种不全、质量不稳、价格上涨、名贵药材奇缺的严重局面;针灸、针麻研究占9%左右,实验和临床研究各半,但也未按中医辨证论治的体系去进行实验和临床观察,所以理论成果进展不大;气功、推拿等方面的研究有增长趋势,三年中从28篇论文增加到62篇,但也只占总数的2.8%,可见气功等其他自然疗法的研究是十分薄弱的,在新技术革命到来之时,其重大意义远没有被大多数人认识,所谓信息疗法,还只处在萌芽状态中;至于中医的养生、护理、食疗等研究,更是少得可怜,每年只有寥寥几篇。

从人才培养方面看,发展速度也是很慢的。1949年中医总数276,000人,1982年是302,791人,其中中医师是108,578人,而高等院校毕业的只有37,000人,中医士是194,213人。虽然从1976年至1982年共增加了60,000人,但按人口比例每千人只有0.3名中医,达到0.5/千人的比例还需培养200,000名中医。1956年至1966年共培养高级中医药人才7,100名,西医学中医2,064名,现有高等中医院校22所,每年招生总数4,500人,1982年在校生总数30,227人,如不考虑自然减员因素,按速度增长,至2000年也只有118,000名高级中医药人才。函授教育每年招生3,000人,现在校总数12,000人。

尽管我国中医界是这种状况,但与国外相比仍是先进的,WHO认为我国在中医工作方面的成就是世界各国的榜样。1978年WHO的日内瓦会议上,推荐使用216种各国植物药,其中中药占108种。现在世界上没有哪一个国家象我国这样重视传统医学,也没有哪一个传统医学的发展达到我们的水平。目前只有中国、印度、日本、朝鲜、新加坡、斯里