

生物物理和 生理系统分析

〔土耳其〕 E. 巴沙 著

科学出版社

生物物理和生理系统分析

〔土耳其〕E. 巴沙 著

郁贤章 译

科学出版社

1979

内 容 简 介

本书介绍用系统分析的方法来研究生理学问题。书中所叙述的循环系统、平滑肌和脑信号等问题,大都是作者所研究的成果。作者所使用的系统分析方法,也同样可以用在研究其他一些生理学问题上。另外,作者对生理学背景以及所得结果的生理学涵义论述得很详细,这是本书的一个重要特点。

本书可供生物控制论的研究工作者,生物物理学和生理学、生物医学工程学、脑电图学以及数学、生理心理学方面的科研人员、研究生和大专院校师生参阅。

Erol Başar

BIOPHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL SYSTEMS ANALYSIS

Addison-Wesley Publishing Company, 1976

生物物理和生理系统分析

〔土耳其〕 E. 巴沙 著

郁贤章 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979 年 11 月 第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1979 年 11 月 第一次印刷 印张: 8

印数: 0001—7,600 字数: 180,000

统一书号: 13031·1128

本社书号: 1582·13—10

定价: 1.00 元

前 言

写这本书的目的是阐述采取一种系统的途径来解释医学和生物学效应(尽管大家都知道它们是复杂的)的优点。在生物学中这种途径已日益为人们所注意;所以,这本书应该引起生物物理学和生理学、生物医学工程学、脑电图学以及数学、生理心理学方面的科学研究人员和研究生的注意。生理学者,特别是心血管生理学者,神经生理学者,和脑电图分析者可能会找到关于在所给出的特殊例子方面深入研究的一些有用的想法。书的组织情况将在第一章里阐述。

自从诺伯特·维纳的变革性的和现在成为著名的书《控制论,或动物和机器中的控制和通讯》(1948)第一次出版以来,已经过去了二十五年以上了。与此书出版及此书引以为基础的研究的同时,维纳开辟了一门意义深远的和很重要的边缘科学,它涉及到现在称作系统理论的科学在生物系统研究中的应用。维纳建立了系统科学的全部三大分支(信息和通讯理论,控制理论和计算机科学)与生理系统的联系,并指出了控制论进一步研究的道路。

九年前我开始进行生物系统分析的工作。在研究过程中,我有机会进行各种不同的生物系统的实验,包括循环系统、平滑肌和脑方面的大量工作。在这个时期里,我总在思索有必要把抽象的系统理论的方法与经典生理学的方法结合起来,同时为一个“生物系统分析提纲”收集规律和方法,此提纲对那些打算了解生物现象的生物系统研究人员是会有帮助的。我还看到,对系统科学者来说,在研究一个生理学问题之

• v •

前，拥有与他的数学知识有联系的渊博的生理学知识是多么重要和有用处。只有当系统科学者积累了他想要研究的系统的一切有用的知识时，他才能为他的生物实验设计出一个分析计划。

在本书各章里我描述了各种不同的实验，以便对各种不同的生理现象产生一种新的认识。但是，不应该把本书当作是各种生物系统研究的论文集。虽然生物系统研究人员的主要目的，是寻找各种生物问题的答案，但对那些所看到的一切系统来说，他还必须试图发现其共同的一般特征。例如，大家都知道，许多生物系统具有固有的节律性行为。但是，在文献中常常不讨论一个生物系统的固有振荡在系统对外界刺激作出反应时的作用，它与控制和通讯的关系等问题。本书里我打算填补这个通常在研究生物系统时存在的空白。我还强调，研究人员在进行他的实验时总应考虑生物系统的这种特征。在全书中这种看法起重要的作用。

在介绍生物系统分析时，我从我自己的研究领域里选择例子。这些例子并不一定是可以给出的例子中的最好的，但它们是我能解释得最好的例子。

本书主要的部分取材于我在四年前给一组研究生的文献。其中大多数人是在我们实验室里，在生物系统分析各领域里目前正在进行研究的。我想，只要他们现在能够设计在公认的杂志中已发表了实验，他们就是成功的。这就是使我产生把我的讲义笔记组织成题为《生物物理和生理系统分析》的一本书的想法的鼓舞力量。

E. 巴沙

58.171

2

目 录

前言	v
第一章 引论	1
1.1 问题的陈述和本书的宗旨	1
1.2 本书的组织	2
1.3 应该怎样阅读本书	3
第二章 定义和概念	5
2.1 “系统”的一些定义	5
2.2 一个系统的状态	8
2.3 “黑箱”和“白箱”	9
2.4 阐明黑箱	9
2.5 “灰箱”的概念	9
第三章 生物系统分析提纲	11
3.1 黑箱	11
3.2 一般系统分析的抽象方法	14
3.3 生物系统的特殊方法	27
3.4 非平稳生物过程或机理的系统分析提纲	29
第四章 循环自调节作用	31
4.1 循环的固有调节作用	31
4.2 动脉压改变时血流的自调节作用	34
4.3 冠状血管系统中和肾中末梢血管床的结构	35
4.4 自调节的各种假设	39
4.5 问题和实验步骤	42
4.6 自调节的肾和冠状血管系统的动态特性	44
4.7 肾中血流的自振	55

1103953

. i .

4.8	循环自调节动力学的成分: 它们的物理成分和生理成分.....	57
4.9	生理学的涵义和循环自调节作用的一个新的肌原性概念.....	65
4.10	用系统理论的结果看循环自调节的各种假设	71
4.11	方法的讨论和结语	73
第五章	平滑肌的收缩	79
5.1	主要的生理特色; 分析的目的.....	79
5.2	方法和实验装置.....	81
5.3	用时序分析法分析门静脉的自发机械活动.....	82
5.4	门静脉自发机械活动的讨论.....	86
5.5	用时序分析法分析结肠带的自发机械活动.....	89
5.6	结肠带自发机械活动的讨论.....	91
5.7	时间域和频率域中平滑肌的收缩成分。平滑肌的各收缩期.....	92
5.8	用被动牵张引起的张力来确定平滑肌的时间特性和频率特性.....	96
5.9	结肠带的和门静脉的节律活动与血管自振的比较...	99
5.10	方法的讨论	99
5.11	一些生理涵义	101
第六章	生物学的非线性	104
6.1	生物系统里遇到的非线性.....	104
6.2	与时间(频率)无关的非线性.....	106
6.3	与时间(频率)有关的非线性.....	106
6.4	所研究的系统具有固有振荡时看到的非线性.....	118
6.5	模型电路与脑中自发的和受迫的振荡的联系.....	124
6.6	用线性的途径来分析非线性生物系统.....	133
6.7	结语.....	136
第七章	脑的电信号	139
A.	引言和方法.....	139

7.1	脑的电活动: 自发活动(脑电)和诱发电位	139
7.2	脑信号系统分析的基本困难	141
7.3	一些补充的计算方法	143
7.4	脑的一些通路或分系统的解剖学和生理学的简评	148
B.	听觉通路,网状结构和海马中的节律性电位和诱发电位的动力学	159
7.5	在觉醒期和睡眠期间各脑核的自发活动,选取诱发电位波形的标准	160
7.6	在觉醒期和睡眠期间的选择平均瞬态诱发电位	162
7.7	在觉醒期和睡眠期间的幅频特性	165
7.8	对瞬态诱发电位应用带通滤波器而获得的信息	173
7.9	前面数节中所述结果的讨论	176
C.	脑神经网络的传输特性	181
7.10	问题	181
7.11	公共选择性	182
7.12	选择性通道(振幅极大),共振现象和自主整步理论	185
7.13	向脑中信号传输理论研究者提出的建议和评论	195
D.	了解脑诱发电位的规则	196
7.14	脑诱发电位的解释	196
7.15	脑的平均诱发电位真的具有调幅波形的成分吗?	203
7.16	分析和了解诱发电位的原则	204
E.	关于深入进行成分分析的建议	207
7.17	走出系统。查明神经元群	207
7.18	用戊巴比妥对脑结构进行选择阻断	213
7.19	猫视觉通路的电位的动力学	214
F.	方法的讨论	218
7.20	选择平均法和维纳(Wiener)滤波法	218
7.21	瞬态反应-频率特性法	222
7.22	理论理想滤波法(理论隔离法)	223

7.23 维尔黑 (Welch) 功率谱.....	224
7.24 应用药剂	225
7.25 走出系统	225
G. 结语.....	225
第八章 总览	232
8.1 生物系统分析提纲: 方法和规则的一般讨论.....	232
8.2 生物系统分析提纲: 应用.....	234
8.3 总评.....	239
第九章 结论	244
9.1 本书打算达到什么目的.....	244
9.2 诺伯特·维纳 (Norbert Wiener) 意义中的控制论...	245
9.3 发展一门新的生理学.....	246

第一章 引 论

1.1 问题的陈述和本书的宗旨

在本书中,我们将制订“一个一般性的生物系统分析提纲”,然后叙述各种实验和分析,它们的设计是以各种不同的生物现象的性质为基础的,并说明所提出的分析提纲的应用。

本书宗旨之一是试图在读者的心目中灌输一种观念,即应该在什么时候和怎样应用系统理论的方法,以及他用这些方法能获得什么样的知识。我们并不打算详细地罗列所用的数学方法和生理学方法的理论,因为我们假定读者具有这方面的基本知识。也不打算详细地叙述经典系统理论的方法,如线性系统理论,频率特性,富氏变换和拉氏变换等。工程学和数学方面有许多这样的好书,读者可参阅有关详细知识的书籍或原始文章(Truxal, 1955; Solodovnikov, 1960)。关于详细的生理学知识,读者也可参阅原始文章或书籍。反之,凡属本书所述的实验中使用的方法,解释得比较透彻,因为大多数情形中读者不易获得其来源。正如第三章中要提到的那样,恰当地应用本书的生物系统分析提纲,应该向生物科学研究者提供一种认识所研究的系统的新途径:这就是说,一旦实验者进行实验和分析时,他对所研究的系统的成分的认识将会充分得多。

仅有系统的频率特性知识,不能使研究者对所研究的生物系统有所认识。换句话说,当研究者使用系统分析的工具时,他只得到他的系统的一种数学描述。这种知识无助于他来识辨生物系统的完全不同的生物的成分。但是,

一种有成效的生物系统分析，应该许可研究者来识辨在所研究的系统的功能中起一种作用的生物的、物理的或化学的成分。只有当研究者把生物科学和技术科学的方法、规律和思想方法结合在一起，并且使用已经获得的知识时，他方能进行有成效的分析。有成效的生物系统分析，也应该能让研究者获得新知识或建立新理论，而这些是不能用经典的生理学概念所能获得的。这些就是本书打算指出的最重要的概念。

1.2 本书的组织

本书是为那些对生物系统分析感兴趣的科学研究者和大学生们而写的。本书假定读者具有生理学的基础知识和一般系统分析的基本概念。在讲一个新课题的各章的开始处，都叙述所要研究的系统的一般生理特征。对训练有素的生理学者来说，这种材料将提醒他想起那些对课题进行系统分析时有关的生理学细节。这种知识对于在这个生理学分支上没有专门训练的读者来说并不一定够。这样的读者就应参阅参考文献。各章的结尾处对方法和结果进行了讨论。

本书分成九章，其中第一章是引论。

第二章讨论如系统概念、黑箱等那样的基本概念和定义。

第三章介绍生物系统分析提纲。这个提纲是本书的核心，在以后各章里都用了这个提纲。第 3.2 节详细地讨论了提纲的规则和方法，它们在本书其它各章里被反复地引用。

第四章里读者将会找到在生物系统分析提纲中所叙述的规则和概念应用于循环自调节现象。所研究的系统是肾以及心脏冠状血管系统。把系统理论的方法应用于这些循环系统，就有可能对各种不同的自调节理论进行鉴定，并且还得出一个新的工作假设。

第五章既是第四章中发展的自调节理论的关键性的一

章, 也包括了那些彼此不相矛盾的和对平滑肌生理学者来说是十分重要的发现。在这里, 还是用系统理论的工具来研究象门静脉和结肠带那样的平滑肌标本的机械收缩。平滑肌生理学者将会找到描述平滑肌节律活动的一种系统理论分类法, 以及一些线索和新途径。

第六章对那些从研究生物系统而产生的一般问题感兴趣的读者来说, 可能是最有价值的一章。这章试图对生物系统里看到的非线性进行分类, 和了解它们的来源。这章把新的观点带给非线性生物系统分析, 它也作为第四章和第七章的一个补充。这章主题之一是研究那些表现出由于外部刺激而引起的自振行为的生物系统。

第七章讨论脑的节律电位和诱发电位的动力学。通过测量猫脑各种结构的自发和诱发电活动, 应用了第3.2节生物系统分析提纲的一个重要的部分。描述了关于听觉通路、网状结构和海马的研究; 也讨论了视觉通路的一些进一步的测量。对脑的电信号进行系统分析就可以得出解释诱发电位的规则和原理, 以及预言振荡波形是诱发电位的成分。另外还发展了一个了解脑中信号传输的基础。这个基础包括共振现象和一个叫做“共同选择性”的概念, 我们认为, 这个基础对脑电位的模型化理论来说是十分有用的工具。

第八章是全书所用的方法的总结。在这章里讨论和比较了各章所发展的方法和概念。

第九章是要点的扼要重述并提出进一步研究道路的建议。

1.3 应该怎样阅读本书

本书可以有四种不同的读法:

(1) 读者可以从第二章开始, 按所列次序读完所有章节。

这种阅读方式是推荐给那些为了使用和从概念上来理解生物系统分析而追求广博而深厚的知识的读者。

(2) 读者可以从第二和第三章开始以便熟悉生物系统分析提纲。然后可以学习第四章,第五章和第6.3节(第五章虽然讨论的是不同的问题,但也是第四章的一个补充)。这种次序是推荐给那些只对研究循环系统感兴趣的读者或那些希望迅速获得足够的见解来着手他自己所研究的问题的读者。然后可以用第七、第八和第九章来完成计划。

(3) 只对脑电位研究感兴趣的读者可以从第二和第三章开始,然后直接到第七章。然后他应继续读第六章。想立即集中在一个问题上的诱发电位分析者,可以在第一遍时不读第四和第五章,但在指望阐明生物系统分析的一般概念时,可以再回过头来读这两章。

(4) 对生物系统的非线性行为感兴趣的读者可以从第六章开始,这一章是叙述一般生物系统分析的重要方面。他可以从第4.5、4.8、7.1、7.6、7.12和7.16各节获得为了解现象而需要的知识。

我们向所有读者建议不要略去第八章,它试图综合各章里的想法。

参 考 文 献

- Solodovnikov, V. V.: Introduction to the Statistical Dynamics of Automatic Control Systems. Dover Publications Inc., New York (1960).
- Truxal, J. G.: Automatic Feedback Control System Synthesis. McGraw-Hill Book Company, New York (1955).

第二章 定义和概念

本书要论述生物系统。我们把所研究的生物系统看作是具有输入和输出的黑箱，并试图用输入和输出信号之间的关系来了解这些系统的各种性质。这一章要提供最重要的定义，使读者在本书各部分中遇到这些定义或概念时可供参阅。

2.1 “系统”的一些定义

可以先以抽象的方式来定义系统和有关的概念；正如 Ashby (1952) 所叙述的：

“一个系统定义为任何一组变量，它们是实验者从实际机构具有的变量中挑选出来的。”

还有，一个变量若在任何时刻都有一定的数值，就把它定义为可测的量。

“物理学、化学、生物学、生理学和客观心理学中使用的量全都是确切意义中的变量。因此，一肢体的位置可以用位置的坐标在数值上给以确定下来，而肢体的运动可以带动一个仪表刻度盘上的指针。某一点的温度可以用数值确定下来，并可记录在仪表刻度盘上。压力、角度、电位、体积、速度、扭力矩、功、质量、粘度、湿度、表面张力、渗透压、比重以及时间本身，只略为列举几个，全都能用数值确定和记录在仪表刻度盘上。”

Grodins (1963) 给予一个更为具体的定义：

“可以把一个系统定义为一个以一定的方式排列和互相连结的成分的集合。这些成分可能是物理的、化学的、生物

的、或是所有三种的组合。”

Milsum (1966) 进一步引进功能的执行。他说:

“本文中一个系统定义为任何‘有联络的’物质和过程的集合,它们一起执行研究者对之感兴趣的某种功能。系统的行为取决于:

1. 成分或分系统的特性。

2. 成分间联络的结构,通常包含有反馈途径。

3. 系统的输入信号或输入变量。开始时假设它们是在研究者控制之下的独立变量,但事实上有一些可能是由其他系统的输出所控制的。

系统作用于输入的结果就是输出。系统的任何变量都可以当作输出,这只取决于系统研究者的特殊兴趣。注意,输入和输出不一定非要是物质流不可;象电压、温度和压力那样的变量与每秒血流升数同样地有资格。

因此,一个系统在符号上可以表示成为一个输入-输出装置;一种方便的符号是一个框,用进出箭头代表有关的变量。只要人们愿意,人们总可能把系统分解成较小的、连接着的分系统,象图 2.1 中那样。

活细胞是系统的一个合宜的例子,它的边界是由膜构成的。细胞里有许多分系统,如细胞核和线粒体,它们之间的联络是通过各种生物化学物质的作用来实现的。与一特定研究有关的输入变量,是从研究者可以操纵的许多可能的变量中选出来的,这包括有环境中流入的各种化学物质浓度、环境温度和压力。与研究有关的输出变量可以包括在细胞内合成的化合物的内部浓度或流出速率、代谢率和跨膜电位。”

Milsum (1966) 的这种描写最适合于本书第四、五、六和七章中要介绍的实验和分析。读者在循环系统(第四章),平滑肌(第五章)和脑(第七章)的例子中,将看到一起实现某种

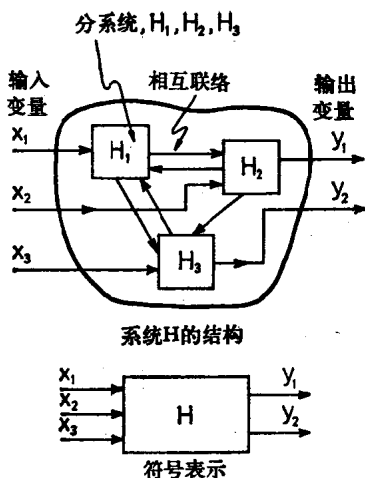


图 2.1 系统 (根据 Milsuim, 1966)。

功能的联络物质和过程的重要性, 以及系统和分系统选择的重要性。

一般系统的简单分类

Ungan (1974) 把系统作如下分类:

“理论上, 一个系统可以用一个形式为

$$D\{r(t)\} = c(t)$$

的符号解析关系来表示, 这里

$r(t)$: 所选取的输出量, 它是时间的函数,

$c(t)$: 所选取的输入量, 它是时间的函数,

D : 输入-输出关系算符。

按照系统的不同特征和代表它们输入-输出关系的算符, 把系统分成五种主要范畴。这些范畴及其简要解释如下:

1. 集中系统: 在这样的系统里, 组成系统的部件的大小与输入-输出量的波长相比是很小的。它们的 D 算符是标量。

否则的话, D 只能用向量来表示, 而系统是‘分布的’。

2. 时不变系统: 若系统的部件不随时间改变它们的值, 这个系统就叫做‘时不变的’。此时 D 算符与时间无关。否则的话系统就是‘时变的’。

3. 线性系统: 这些系统必须符合齐次和叠加的准则, 而它们的 D 算符既与输入量又与输出量无关。其他系统则是‘非线性的’。

4. 因果系统: 除非有激励施加在系统的输入上, 否则系统就没有输出, 这样的系统定义为‘因果系统’。否则的话, 系统就是‘非因果的’。如果一个非因果系统还是自由的、线性的和时不变的, 那么就称它为‘自主系统’。生理学中称之为‘自主系统’的某些系统并不满足这些附加的准则。所以应该避免混淆。

5. 被动系统: 在这样的系统里, 所有部件都是被动的(也即这些部件每一个向系统提供的能量的时间积分小于或等于零)。如果有独立的或附属的主动部件或能源存在, 系统就是主动系统。”¹⁾

2.2 一个系统的状态

“一系统在某一时刻的状态是系统的变量在此刻采取的一组数值”(Ashby, 1952)。第七章可以给出一个例子, 在那里用睡眠研究的术语来描述脑的不同状态(觉醒期和睡眠期)。

变量是时间的函数, 一个有 n 个变量的系统一般用 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 来表示。系统在时刻 t 上的状态是一组数值 $x_1(t), \dots,$

1) 被动的 (passive) 和主动的 (active), 在电子学中常分别称为无源的和有源的。——译者注