

汉译世界学术名著丛书

docsriver.com
商家本店

躯体的智慧

[美]坎农著



汉译世界学术名著丛书

躯体的智慧

[美] 坎农著

范岳年 魏有仁 译



商务印书馆

1985年·北京

汉译世界学术名著丛书

躯体的智慧

〔美〕坎农 著 范岳年 魏有仁 译

商务印书馆出版

(北京王府井大街36号)

新华书店北京发行所发行

北京第二新华印刷厂印刷

统一书号：2017·245

1982年10月第1版

开本 850×1168 1/32

1985年7月北京第2次印刷

字数 150千

印数 8,400册

印张 6 7/8 插页 4

定价：1.45元

www.docsriver.com 定制及广告服务 小飞鱼
更多**广告合作及防失联联系方式**在电脑端打开链接
<http://www.docsriver.com/shop.php?id=3665>



www.docsriver.com 商家 本本书店
内容不排斥 转载、转发、转卖 行为
但请勿去除文件广告宣传页面

若发现去宣传页面转卖行为，后续广告将以上浮于页面形式添加

www.docsriver.com 定制及广告服务 小飞鱼
更多**广告合作及防失联联系方式**在电脑端打开链接
<http://www.docsriver.com/shop.php?id=3665>



稳态和中医学(代序)

陈 步

《躯体的智慧》(The Wisdom of the Body)一书是 W. B. 坎农 (Cannon) 教授诸多科研成果中的精华,是他个人学术成就的代表作,也是今人研究稳态问题的必读之书。此书已由范岳年、魏有仁二同志译出,编者约我写序,现在就此书内容讲述两点意见,仅供参考。

<一> 历史的回顾

躯体的稳定性或稳态(homeostasis)是一个人人都懂但又不是人人都全懂的问题。躯体自古就被看作“小宇宙”以之来和大宇宙作比拟的,要弄清它的机制,不是一朝一夕之功。生理学上对这个问题的研究要从 1859—60 年算起,这一年,法国著名生理学家 C. 贝纳德提出了这个问题并且作出了血液、淋巴液和躯体全部液体这三个依序相续的推测。大约七十年后,美国的坎农作了实验证明和理论阐述,并撰成此书(1932)。再过十余年,美国 N. 维纳教授发表《控制论》(1948),对稳态问题作出了非常重要的贡献。从那时到现在,三十多年的时光过去了,稳态理论未见有进一步的发展。所以,我们现在讨论的是一个历史上有过重大突破但眼前却是无甚进展的课题。

1960 年维纳在论及控制论中最重要的问题时说:“首先是研究自行组织系统、非线性系统以及同生命是怎样一回事有关的那些问题。但是,这三种提法说的都是同一件事情。”

这三种提法说明了问题的难度。生命、生命体的自行组织以及该组织的非线性性质，这三者是互相联系着的。如果我们把生命体粗略划分为整体、器官、细胞、分子和亚分子等五个水平作考虑时，就可以看出，不论维纳从任何一级水平出发，他的提法都和理论中医学颇为相似，因为该提法是指的躯体整体这个最高一级水平的。然而，这一水平的问题最难解决，因为，在生命科学中，水平愈低就愈能方便使用已有的科学方法论作出近似的处理；反之，水平愈高，则常用的科研方法自身就有一个疑问：我们能用研究无生命科学的方法来研究生命科学吗？这是一个世界上诸多学者一再讨论而仍无结论的问题。换个角度看，情况也是如此。生命是什么？它迄今很难完全摆脱哲学性质的讨论，维纳本人在其所著的《人有人的用处》一书中甚至说它是个语义学的问题。其次，生命体的自行组织是亿万年进化过程的产物，在今天的研究工作中，从遗传信息开始，无论取什么水平，都是采用信息论的观点进行探讨的，这也就是说，躯体中的任一水平的任一基元都被看作一个既能收讯又能发讯的“电台”，由此建立了不同形式的同步聚合系统，人们以此近似地解释了躯体的组织性。在这里，信息和物质是等义的，因为在客观世界中，没有无载体的信息，也没有无信息的载体，信息论无非是从诸物质载体中抽取其作为信息的共性进行研究罢了。上述思想远远超出了旧组织学的概念，它有重要的科研价值，但它在很大程度上仍然是个假说，谁要是能在这上面作出新的突破，无疑将把稳态研究推向前进。第三，紧跟着自行组织问题的就是非线性系统，因为“同步聚合”和“非线性”几乎同义。人们已知，在数学上，非线性系统大部分无解，有解或有近似解的只是其中的极少数，这样，我们的科研工作就被局限在非常狭小的范围之内了。所以，维纳的见解虽然是有价值的，但他安排的这条科研道路从理论到实践都是困难的。

这个困难纯粹是人为的吗？不然。就前述的五个水平而言，生理学研究从来都是从中间水平开始：或是从器官水平出发，或是从细胞水平出发。我们知道，凡从中间水平入手的研究工作，其进一步发展的方向必然有二：一是向下研究，一是向上研究。举例说，当代的分子生物学研究和遗传学研究就是属于前者，而一百多年来的稳态研究就是属于后者。正因为稳态研究必然涉及躯体的统一性，又因为当前的稳态研究是从中间水平开始作向上的探讨，所以，它本来就是一个预期出现种种困难的研究工作，所以，维纳的思路以及由此而面临的困难都是逻辑的必然。

现在我们再回顾一下贝纳德——坎农——维纳这条关于稳态研究的思想线索的实际情况：

贝纳德和坎农都曾长期从事神经生理研究，虽则他们的重点都是内效应神经系统。引人注意的是：在他们提出的稳态概念中，神经系统都居次要地位。前面已经提到贝纳德关于躯体稳定性的三个答案。依据这三个答案，贝纳德提倡的是一种“没有脑袋”的生理学。然而，贝纳德的思想仍然是正确的，该正确性是建立在非正常生理学即病理学中，而非正常生理学乃是正常生理学的重要方面，所以，贝纳德在生理学史上仍然作出了划时代的贡献。

在贝纳德生前，除法国外，他不为世人所知。在他逝世之后，稳态思想又长期不为世人所理解。美国的坎农原是沿着自己的研究道路前进的，经过几十年的探索，他才恍然大悟，原来他的全部工作都是贝纳德思想的证明。坎农的证明是多方面的，其中最杰出的证明就是他用完善的手术给动物摘除交感神经系统的实验。实验证明：在交感—肾上腺和迷走—胰岛腺这对颌颏装置中，如果仅给动物摘除肾上腺，则它必在 36 小时内死亡；如果仅给动物摘除交感神经系统，则它继续存活。因此，躯体血糖升降的决定因子是液体，不是神经。换言之，贝纳德的答案成立。

应当怎样看待神经系统？坎农把它看作保持稳态的次要和辅助的工具。但是，当读者面对《躯体的智慧》一书时，会对其中的一段记载感到兴趣。这段记载的大意是：坎农曾经偶然地把一只摘除了交感神经系统的猴子放到庭院中去享受初夏的阳光和新鲜的空气，然而，这只猴子没有因此而受益，反而中暑而晕倒了。这是一个非常值得注视的问题，但它却在坎农的手指缝中溜走了。今人自然明白，猴子的晕倒，是因为它的外效应神经系统和躯体液体之间的部分通道中断即交感神经系统摘除之故。照理，半个世纪以前的坎农足已明白这个道理了，因为他的这部著作对外效应神经系统讲得颇为详尽：讲到了躯体的超前反映，讲到了躯体的安全界限，讲到了在变动不居的世界中一个活跃生命之所需，然而，他恰恰就在这只不幸的猴子面前搁笔，不作进一步的推论。

原因何在？这有非常深远的历史背景。远者从略，我这里只讲一下贝纳德，他有一个闻名于世的论断：生命体有两个环境：一是 *milieu interne*（内环境），一是 *milieu externe*（外环境）。这个论断是科学的，陆生生物尤应如此看待。然而这个论断迄今仍有一部分是哲学的，甚至还有一部分是宗教的。人们不妨查看一下十九世纪的名家著作，他们有时把从属于个体的外环境说得很大，有时则说得很小，换言之，他们在这个问题上犹豫不决的，正确讲，是弄不清楚的或含糊的。仅就生理学而言，贝纳德的这个论断自然形成一个内外有别的观点，稳态这个概念就是从内环境这个概念推导出来的，所以它先天地要把外环境问题排除掉。由此可知，坎农之所以在猴子问题面前停步，并非偶然，他着重探讨的是内环境；他无意把藩篱撤除，仅在他讲述一般生理问题时才把外效应神经系统一并概括在内。今人也不例外，稳态之被称为内稳态，就是沿袭这个传统的。我们前面曾把贝纳德——坎农所研究的稳态称作没有脑袋的生理学，事实上，我们即使给躯体安装上一个本

来就已存在的脑袋,说得苛刻点,他们也会视而不见的。

正因为这个原故,仅仅经过一代,即在哈佛大学中,把坎农看作父执并把坎农的助手和同事罗森勃吕特看作朋友的维纳,对稳态的研究作出了重大的突破。维纳的科研道路更加特殊,他是从数学、物理和工程出发而后进入生理学的。我们没有证据说明他对外效应神经系统有特殊的偏爱,但他接触到的生理问题诸如小脑震颤症、巴金森症候群以及各种有关疾病所带来的姿态反馈失常等问题无一不与外效应神经系统相关。神经系统的这些类型的不稳定性自然而然地导致了物理学上的反馈在生理学上的推广。维纳对这些生理失常问题作出机械模拟和数学阐释,称之为正反馈。于是,负反馈就成为正常人和外环境进行随机应答的必要工具。

在这里,我们勿须把物理反馈等同于生理反馈,维纳本人对此也是十分慎重的,因为躯体任何水平的任何元件都是处在“水居”状态中,而任何类型的机器,其大部分元件都是处在“陆居”状态中,就我们已有的知识而言,蛋白制成的材料和金属制成的材料很难同日而语。但是,我们要从这条研究线索中看到一事实:当贝纳德断言躯体液体是保持躯体稳定性的条件时,不论他讲的是哪一种液体,不论该液体是有管道的或是无管道的,他所提供的只不过是材料,而非机制。机制是坎农提出的,他称之为颞颞装置,并且断言:躯体中这类装置非常之多,它们一般都是多重的,情况非常复杂。我们躯体之保持恒温就是一个十分浅显的例子。仅在血液流中,血糖、血盐、血脂、血蛋白之保持恒定就可以为心血管系统的部分机制刻划出一个相当复杂的内容。至于躯体在多变化的环境中,例如动物处在生死存亡之际的搏斗过程中,它的自我调节过程如此之灵敏,以致我们不得不承认稳态机制非常精巧,其精巧程度远不是力学上几乎可以方便制成的颞颞装置堪与比拟,于是,信

息反馈必然对颞颌装置作出取代，这在当代科研中几乎是唯一可行的办法，与此同时，有了这个取代，稳态就变成了一刻也不会静止而又一刻也不许偏离的东西——它是生和死的界限：稳态保持就是健康，稳态破裂就是死亡。

综上所述，我们以为，在稳态问题的研究中，前人的步伐是稳妥的，当前的困难是暂时的。

〈二〉 问题的展望

《躯体的智慧》已经问世五十年了，一般读者都能很好地理解它，但作者序介此书，旨在给中医学研究提供一本必要的参考著作，用处有二：其一，稳态问题将有助于中医学的研究；其二，中医学已有的成果亦将有助于稳态问题的进一步探讨。

对于第一个论题，我们粗略说明如下：

中医学拥有几千年亿万人次临床实践的经验，又拥有大量文献特别是历代名家的医学著作，所以，它至少在形式上具备了一切实证科学所共有的特征。但是，中医学又自有其特点，第一，它是古医学，广泛使用古思维，而且，医学和哲学紧密结合；第二，它是“新”医学，它的方法论在中国虽然很古，但在外国很新，新到尚未被人们广泛接受的程度，所以，它的科学性有待于进一步地鉴定。我们已知，鉴定中医学的科学性既不能凭借已有的科学史著作，又不能凭借已有的中医学文献，二者相距太远。我们需要一个良好的中介物作为从事这项鉴定工作的起点。该起点当然存在于已有的生命科学中。中医学是把生理学、病理学、理论医学和实用医学合为一体的，所以我们本来有一个比较广阔的选择范围，然而，实际情况恰恰相反，十九世纪以前确立的生命科学没有一门可资选用，鉴定工作之所以久悬未决的原因就在于此。举例说，人们曾经寄希望于解剖学，因为中国古代也有解剖学，但是，《内经》中

的解剖学是一种我们可以称之为“君之官”的解剖学，它是向上的，而当代的解剖学是向下的，对二者进行比较不免有南辕北辙之讥。所以，要使中医学进入科学之林或者把它驱逐出科学的园地，我们要在科学的进程中耐心等待并反复进行检验，所以，二十世纪的稳态学说理应成为这项鉴定工作的中介物。我们有理由断言：联系稳态学说对中医学作科学的鉴定，即使不是完全成功的，至少是十分有益的，因为，该学说已经取得重大的科研成果，它又和中医学一样地是一门方向向上的学科。

假如进行这种比较，人们首先关心的是双方的方法论问题。我们为此作一些简单的说明。

生理学和医学的研究都有一个发生学的次序，亦即它的研究对象大体上有先后之分并循序而进，不论研究者意识到这种次序与否。举个浅显的例子：宰鸡和解剖鸡，这是两种不同的工作，前者是实用的，后者是科学的，实用在先，科学在后，从实用导至科学。杀人和解剖尸体的情况同此，前者在远古就有了。在漫长的时间中，内科是受巫医统治的，但外科已经通过实用逐步萌芽，所以，外科在先，内科在后。先秦著作表明：巫医之争在那个时代是突出的，这标志着内科学的逐步成长。但内科如何成为一门科学呢？这得借助于外科。这时候，外科应该成长到了不仅能够解剖躯体的外部，而且能够着眼于躯体的内脏，把它打开并对各个器官进行细致的分解，分解之后，我们首先研究的是各个器官的结构，而后再去研究该各结构的功能。在这个范围内，内科和外科是交错的，因为这两者对两科各有其用。通过器官结构研究器官功能的方法，生理学上称为功能主义，它一度登峰造极并占居绝对优势，但是，久而久之，这个研究方法也会不断碰壁，因为躯体任一器官的功能都要受到其他器官的制约，仅从单一器官的结构入手研究其功能，势必失之片面，大脑定位问题如此，单一器官的功能亦

如此,我们即使在细节上讲得头头是道,我们在躯体整体问题上经常茫然无知。此外,有些领域例如人脑的种种机制,它们是不能用白箱作研究的。这就迫使我们在难度更大的问题面前采用新方法,它称作行为主义研究。这个研究方法是把器官的结构搁置在旁,着重去研究器官行为或作用,譬如说,我们把全部器官的全部作用看作一个集,把我们所求的某一器官的作用看作其中的子集,再把其余的作用看作该子集的补集并把它定义为干扰,然后,我们用种种方法消除干扰,从而近似地求得该器官的作用,它实际上是该器官在其他器官制约之下的作用,或者,反过来讲,它是以前该器官为主并结合其他器官而共同发生的作用。求得这样的作用是很有用的,因为它切合实际。既然有机体是统一的,既然躯体各器官的作用是如此紧密地联系着的,那么,单一器官单一功能的研究自然要用新的研究方法对之作出校正。所以,在当代的生理学中,功能主义和行为主义同时并存,相互为用,就我们讲述的稳态问题而言,贝纳德当然是功能主义的,他的三大发现就是胰功能、肝功能和血管收缩功能。坎农也是功能主义的,但他的多重复合的颌颌装置是指向行为主义的。至于维纳,他本人是标榜行为主义的,这在维纳的著作中有过细致的论述。他们之间研究方法的变化也是循序而进的。

现在再看一下中医学。我们古代的外科学是发达的,佚传的《外经》计有 37 卷*,它的篇幅是 18 卷的《内经》的两倍,这和春秋

* 班固《汉书·艺文志》记载先秦医经、经方、房中和神仙的书籍计九种,书目如下:〈一〉《外经》(三十七卷);〈二〉《内经》(十八卷);〈三〉《秦始黄帝扁鹊俞拊方》(二十三卷);〈四〉《神农黄帝食禁》(七卷);〈五〉《黄帝三五养阳方》(二十卷);〈六〉《黄帝杂子步引》(十二卷);〈七〉《黄帝歧伯按摩》(十卷);〈八〉《黄帝杂子芝菌》(十八卷);〈九〉《黄帝杂子十九家方》(二十一卷)。这些书籍除《内经》外全部佚传。《内经》计分《素问》和《灵枢》各九卷,其中,《素问》第七卷佚传,晋皇甫谧和唐王冰都承认这个事实,王冰在编撰《素问》时,说他找到了第七卷,但孙兆在校刊此书时指出王冰所找到的第七卷各篇不是真正的《素问》。至于没有佚传的八卷,王冰在序言中承认它们都是断简残篇,

战国时代战争频繁,金创患者较多,外科学相对领先的情况相符,也和上述的医学发生学的次序相符。

在我们现有的文献中,能否稍为窥见先秦外科学的水平呢?能的。《内经》中的经筋学派就是来自外科学,《素问·皮部论》和《灵枢·经筋篇》是这个学派的代表作。我们前面论及医学发生学时承认内、外科在一定范围内是交错的,所以,内科学中必有外科学的痕迹,其中,主要内容是外科大夫参加内科疾病的讨论,例如《素问·阴阳类论》中有一个主肺的雷公,《灵枢·经脉篇》所讲的肝足厥阴之脉等等,把一部分神经病看作肝病,在中医内外科大夫中大体想法一致,歧伯学派也是主张“春脉者肝也”“故春气者,病在头”。中医学中的这一见解当然不为西医学所接受,但西医学对于歇斯底里的定义几乎人言言殊。这个问题大概值得作进一步探讨的。

我们现在把《内经》中从事内科学讨论的雷公删去,雷公的真面目就比较清楚了。我们的筋有两类,一是筋骨,一是筋脉,前者是肌腱和韧带,后者是外效应神经系统。《灵枢·九针篇》:“筋脉不通,病生于不仁”。《皮部论》又在筋脉问题上提供了解剖学证

他花了十二年时间进行整理,所以,这部新的《素问》(计二十四卷八十一篇)和先秦的《素问》有很大出入。至于新的《灵枢》(同样是十二卷八十一篇)则是宋史崧编撰的,史崧在序言中说:“但恨灵枢不传久矣”,他是“参对诸书,再行校正”的。既然不传,怎么校正。他说他有“家藏旧本灵枢九卷”。这个讲法和王冰的“先师秘本”同样是托辞。所以,今人所读的《内经》应是从先秦到宋代大约长达一千五百年的中医内科学百科全书。

为什么先秦医书丢得如此干净?答案只能是两个字:历劫。第一劫是秦始皇的“焚书令”,司马迁《始皇本纪》虽然持有异议,说医书和农书不焚,但这个讲法和医书被焚不相矛盾。皇帝下令焚书,则焚书第一,至于焚什么书?天晓得。第二劫是楚霸王焚咸阳,李牧《阿房宫赋》提到“六国之精英”,善本理应计算在内。

正因为医书丢得太干净了,以致医学史家一般都把《内经》中代表经筋学派的雷公看作一名内科大夫,其身份和代表经脉学派的歧伯相同。实际情况不应如此,当歧伯和巫医作战时,雷公是他们十分倚重的同盟军,又当歧伯探讨内科疾病时,雷公又是一个当然的参与者。所以,《内经》的雷公有双重身份,从外科进入内科。

据：“皮有分部，脉有经纪，筋有结络”。肌腱和韧带是没有结络的，有结络的当然是神经系统，诸如神经干、神经节等。由此可知，中国古代有神经生理学。但是，筋脉之筋和筋骨之筋之所以合称为经筋，并建成一个学派，这恰恰是治疗金创的外科大夫的职业内容。

以上的解释无非说明了中医学同样是沿着发生学的次序前进的：先外科，后内科，先结构，后功能。我们的外科学肯定没有超出功能主义，又肯定不像当代解剖学那样对躯体各器官的功能作出相对系统化的研究的，原因很简单：我们的科学过早地受到儒家思想的影响。依据儒家，“身体发肤，受之父母，不可毁伤”。解剖学因之停顿下来了。清王清任《医林改错》是一部名著，其中，关于心血管系统的讲法远远落后于威廉·哈维，他把动脉称为气管，把静脉称为血管，“气管行气”、“血管盛血”。中医学有落后面，这桩事情是无法否认的。

现在再看一下内科学。经脉学派的经脉，有本义，还有申义。本义就是心血管系统，在这一点上，歧伯和贝纳德的答案相同，如果说，中国人的某些答案能比外国人早两千年，这事并不奇怪，因为我们早在从事“君之官”的讨论了，这个讨论对解剖学是有所失的，但对内科学是有所得的。

经脉的申义很多，无法用功能主义作解释，因为中医内科学在解剖学停步不前的情况下被迫作了研究方法的改变，这个改变仍然是发生学的，既然弄不清器官的结构，那就只好着重研究器官的作用了。《灵枢·经脉篇》一再提到“是动则病”，“是主……所生病”，这些讲法标志着研究方法的明确转向，可以断言：这是先秦思想，因为马王堆出土的两个十一经之一有相同的提法；实际上，经脉是一条线段，凡线段必有两端，研究方法只有两种：或者从两端研究中间，或者从中间研究两端。前者是古功能主义，后者是古

行为主义。正是由于后者，中医学采用了古黑箱研究法和古模型研究法，从而使得中医学的“藏器”不同于解剖学上的“器官”。用今天的讲法：“动”就是能动，“主”就是所动，我们很早就有“能所相依”的哲学术语，它是从佛经转译过来的，宋明理学的重点就是能动研究，所动被讲得含含糊糊，例如气，既是物质，又是精神。中医内科学如此之早地发生方法论上的转变是有哲学思想作背景的，这至少可以追溯到老子《道德经》，只不过医学和哲学不同，它的能动研究比较有节制，因为医生必须面对事实，这事和患者生死攸关。这个转变虽然称作行为主义的，但我们不宜用今天的术语去套古人的思想，这不仅因为古人欠缺当代的科研手段，也因为中医学颇像一种由于环境不良以致提前成熟的作物，其中焕发着中国人的聪明才智，但它秉赋不足，身体单薄。

综上所述，歧伯研究的是一种没有脑袋的生理学，正如外科大夫雷公所研究的经筋是一种没有内脏的生理学一样。人们明白：内科患者即便不是卧床不起，他的外效应神经系统在多数情况下也要暂停使用，所以内科大夫有理由从病理学角度断言脑袋是次要的；至于外科，它本来只研究生理学的一个方面，等到雷公进入内科时，他比歧伯外行，所以《内经》中的雷公经常受到黄帝的指责。正因为这个原故中国的歧伯和贝纳德、坎农近似，而中国的雷公和维纳也有某种关连。所以，用稳态学说和中医学作比较研究是有利于中医学的发展的。

至于第二个论题即中医学已有的成果将有助于稳态问题的进一步探讨，涉面很广，既非本文篇幅所及，亦非介绍坎农著作非讲不可的问题，所以，作者只好另文讨论。我们这里只请读者注意一个问题：贝纳德所讲的全部液体并非必然地包含了躯体纳水之后的水储。坎农的液床(fluid matrix)是包括了水储的，但他的水库是各自分立的。中国人不同，我们不仅承认躯体有三百六十五个

溪谷,而且承认躯体有十二条水渠道,换言之,我们承认躯体有个水系统。这样讲,不单是理论研究,我们还有针灸学的实践作为依据。在针灸学上,所有的进针穴位都是肌肉,所有的肌肉都是水库所在地,我们的穴位迄今还沿用着水库的名称,例如曲池、后溪、合谷等等。中医学经常讲水,贯串全身的荣气、卫气都是水。勿须赘言,该系统的性质是非线性的。

这样一来,如果我们把外效应神经系统称为(1),内效应神经系统称为(2),躯体各种液体统称为(3),水系统称为(4),则在稳态研究中,(3)的研究迄今还是初步的,有待于展开,(4)是付缺的,(1)(2)(3)(4)的综合是目前根本谈不上的,所以,维纳所论的生命言之过早,而我们则可以把外国人的稳态研究接过手来沿着我们的途径继续研究下去。

汉译世界学术名著丛书

出版说明

我馆历来重视移译世界各国学术名著。从五十年代起，更致力于翻译出版马克思主义诞生以前的古典学术著作，同时适当介绍当代具有定评的各派代表作品。幸赖著译界鼎力襄助，三十年来印行不下三百余种。我们确信只有用人类创造的全部知识财富来丰富自己的头脑，才能够建成现代化的社会主义社会。这些书籍所蕴藏的思想财富和学术价值，为学人所熟知，毋需赘述。这些译本过去以单行本印行，难见系统，汇编为丛书，才能相得益彰，蔚为大观，既便于研读查考，又利于文化积累。为此，我们从1981年着手分辑刊行。限于目前印制能力，每年刊行五十种。今后在积累单本著作的基础上将陆续汇印。由于采用原纸型，译文未能重新校订，体例也不完全统一，凡是原来译本可用的序跋，都一仍其旧，个别序跋予以订正或删除。读书界完全懂得要用正确的分析态度去研读这些著作，汲取其对我有用的精华，剔除其不合时宜的糟粕，这一点也无需我们多说。希望海内外读书界、著译界给我们批评、建议，帮助我们这套丛书出好。

商务印书馆编辑部

1983年5月

目 录

序	3
引 言	5
第 一 章 机体的液床	10
第 二 章 有效液床的维护	20
第 三 章 保证供应的手段——渴感和饥饿	33
第 四 章 血液中水含量的恒定	44
第 五 章 血液中盐含量的恒定	54
第 六 章 血糖的稳态	59
第 七 章 血液蛋白的稳态	76
第 八 章 血脂的稳态	84
第 九 章 血钙的稳态	88
第 十 章 充足供氧的维持	92
第十一章 血液中性的稳态	108
第十二章 体温的恒定性	114
第十三章 机体的天然防卫	130
第十四章 躯体结构与机能的安全界限	140
第十五章 神经系统两大部分的一般机能	149
第十六章 交感-肾上腺系统在稳态中的作用	161
第十七章 机体稳定作用的一般特征	174
结 束 语 生物稳态与社会稳态的种种关系	187
参 考 文 献	201

序

我致力于生理学研究三十多年之久，这个过程大体上是坚持不懈和从不间断的。我在学生时代所做的第一个研究是吞咽现象。以后，使我十分自然地去观察胃的运动，肠的运动和影响肠胃运动的各种条件。《消化的机械因素》一书总结了我将近十年的对消化道的研究工作，该书后面几章是消化过程的神经调节问题和情绪受干扰时的种种情况。随后，凡是研究情绪激动对肾上腺分泌的影响以及因此而引起的体内变化的含义的研究小组，都是以早期的关于情绪对消化的影响的观察作为它的出发点。这些研究在《疼痛、饥饿、恐惧和激怒时机体的变化》一书中已有全面的报告。这些研究转过来又使我对神经自动系统的一般作用发生兴趣——这种兴趣来源于第一次世界大战期间所做的一些研究，其内容已记述在《创伤性休克》一书之中。

显而易见，本书就是上述概念理所当然的向前发展。它主要是关于神经自动系统与生理过程自动调节的关系。这种关系只是缓慢地被揭示出来的。实际上，对这种调节系统尚未弄清楚之前，关于保证机体稳定性的自动作用的不少研究早已完成并报导于世。我们发现，我们长期以来的工作就是从事自动系统在维持稳态方面的作用，但我们过去并没有认识到我们已经这样做了！于是，过去已经发现的事实呈现出了新的意义。早期的值得重视的成果变得更加富有意义了，这在以下章节中阐述。

本书的主要内容曾以题为“生理稳态的组织”这样一篇技术性论文首先刊载于1929年生理学报。1930年在剑桥大学举行的林

纳克 (Linacre) 讲座中提出了机体内稳态调节与自动系统的关系。以上两次所提到的概念于 1930 年冬在索本纳 (Sorbonne) 举行的一系列讲演中又作了引伸。鉴于这些知识,除生物学家外,也对一般读者富有趣味,我们就把这些概念介绍给一般读者。当然,我希望这些阐述也能提供生物学家和研究工作者参考,因为我有机会指出我们知识上的一些空白点,这对于进一步的研究可能有益。

1923 年,伦敦大学已故教授施塔林 (E. H. Starling) 曾为皇家医科大学作哈维讲座,他对威廉·哈维 (William Harvey) 所强调过的并验证过的解决生物学课题的实验方法给予高度评价。按照哈维的“通过实验方法揭露自然的秘密”的教导而揭示出来的机体内的奇妙而完备的种种调节使施塔林教授惊叹不已。他的讲演题目是“躯体的智慧”。他说:只有懂得了躯体的智慧,我们才能达到控制疾病和痛苦的目的,从而使我们解脱人类的负担。由于我与施塔林教授的观点一致,又因为我提出的事实和说明恰恰表达了他的观点,所以我选定他的讲演题目作为这本书的书名。

瓦尔特·B.坎农

1932 年于波士顿

引 言

I

我们的躯体是由很不稳定的物质组成的。沿着我们神经而传递的能量脉冲如此的小，以致要用极精细的方法才能测定。当冲动到达肌肉时碰到一种物质，这种物质对轻微刺激如此敏感，恰似通过信管的激发而爆炸一样，产生一个强有力的运动。我们的感觉器官可以对微小的刺激发生反应。只是新近人们才能够制成一种装置，其感应性与我们的听觉器官相近似。鼻腔内的嗅区能感受占空气重量的千万分之一的香精，感受一公升(接近一夸脱)空气中含有 2,300 万分之一毫克的硫醇。就视力而论，已经证明眼睛对 5×10^{-12} 耳格(erg)发生感应。据贝利斯(Bayliss)计算，它相当于使感光最快的胶卷的感光能量的 3000 分之一。

当多种条件发生改变时，机体的迅速变化表明了机体结构的不稳定性。例如，我们都知道，当脑血管中的血流发生短时间的停滞时，就可导致脑的某一部分活动的突然故障，从而发生昏迷和知觉丧失。我们知道，假使在很短一段时间内，例如 7—8 分钟，完全停止脑的血液供应就会促使与智力活动有关的脑细胞发生无法恢复的严重损伤。诚然，组成我们的躯体的各种结构的高度不稳定性正说明为什么溺水、煤气中毒或电击会迅速使人致死。但在上述某种意外事故之后来对躯体进行检验时，我们却找不出明显的创伤足以解释所有基本活动何以全部消失。人们曾经希望这种似乎是正常的和天然的形式能够激发起来，从而起死回生。可是，人体内的容易起变化的物质已经有了微细的改变，在这些条件下，它

们阻碍任何生命活动的恢复。

当我们考虑到我们的机体的结构的高度不稳定性，考虑到机体对最轻微的外力所引起的纷乱的敏感性，以及考虑到在不利情况下它的解体的迅速出现等情况时，那末对于人能活几十年之久这种情形似乎是令人不可思议的。当我们认识到人体这个系统是开放的，它和外界进行着自由的交换，认识到这种结构本身并不是永恒不变的，而是在活动的磨损和裂解中不断地解体，并且又藉修复作用不断地重建时，更要使人感到惊奇。

II

生物学家对于生命体维持它们自身的恒定的能力早就有所察觉。藉助自然的力量，即自然治疗力治疗疾病的概念是由赫波克拉底(Hippocrates, 公元前 460—377)提出来的。这个概念表示，在机体的正常状态失调时，存在着一种准备来纠正这种失调状态的力量。在现代生理学家的著作中可以找到关于自我调节装置的较为详细的论述。德国生理学家弗律格(Pflüger)认识到能够保持机体的稳态的天然装置，他于 1887 年提出这样一条格言：“生命体每种需求的原因就是满足该需求的原因”。1885 年比利时生理学家莱昂·弗莱德立克(Leon Fredericq)同样地宣称：“生命体就是这样一种装置，每一种干扰性的影响都可以通过自身激发起代偿性的活动去抵销或者修复这种障碍。越是高等的动物，这种调节装置的种类越多、越完善，也越复杂。它们可以使机体完全不受环境中所发生的种种不利影响和变化的影响”。1900 年法国生理学家查理·来西特(Charles Richet)强调了这一明显的事实。他写道：“生命体是稳定的”，“生命体必须处于这样一种状态：不为其周围的、常常是有害的强大力量所毁坏、溶解或分解。在这种明显矛盾的情况下，只有机体能对外界刺激发生兴奋并具有改变自己的

能力从而调节它对刺激的反应时，才能保持它的稳定。在某种意义上说，它之所以稳定，正是因为它是可变的——轻微的不稳定，是使机体保持真正稳定的必要条件”。

这里是一个惊人的奇迹。由非常不恒定和不稳定的物质组成的有机体，不知道怎么样竟然学会了在我们有理由认为可能导致严重干扰的种种条件下保持恒定和稳定的方法。人们处于 115° — 128°C (239° — 257°F) 的干热环境中仍能保持正常的体温。反之，北极的哺乳动物处在零下 35°C (零下 31°F) 的环境中，其体温并无显著的下降。再说，在空气极为干燥的地区的居民在保持他们的体液上并无多大困难。攀登高山探险和在高空飞行的人们，其周围环境的氧分压虽然明显降低，但并不显示出严重的需氧的表现。

对外界环境种种变化的对抗作用并非这些适应性稳定装置存在的唯一证据。机体还能抵御来自体内的干扰。譬如，持续二十分钟之久的强烈的肌肉运动所产生出来的热量是如此之大，倘使不是及时地发散掉的话，其热量足以把身体内的一些含蛋白的物质凝固起来，就象一个煮熟的鸡蛋一样。还有，当连续地作强烈的肌肉活动时，在运动的肌肉内产生大量的乳酸(酸牛奶的酸)，如果没有另外一些装置来防止这种祸患的话，那末，其数量之大足以在瞬间把血液中的碱全部中和掉。简言之，结构完备的生命体——例如哺乳类动物——既能对付外界的有危害的条件，又能抵御来自体内的可能发生同样的危害的情况，从而继续活下去，并在相对微小的干扰下执行着它们的功能。

III

上面已经提到，不知道怎么样地，构成人体的不稳定的物质已经学会了保持稳定的手段。我们将会明白，使用“学会”(learned)这个词不是不能许可的。不管外界环境怎样剧烈地变化，最高等

的动物具有十分完备的保持稳定状态的作用，但这种特殊的能力不是天赋的，而是逐渐进化的结果。从地球上出现动物的时候算起，大概曾经试用过许多方法来和外界种种力量作对抗。面临着强烈干扰和破坏这种稳定状态的作用下，为了保持稳定，生命体已经获得了试用不同装置的大量的和各种各样的经验。当生命体的构造越来越复杂并在保持平衡方面越来越敏捷时，对于更加有效的稳定装置的需要就显得更加迫切。低等动物还没有达到象较高等动物那样的稳态控制的程度，因而它们的活动是受限制的，而且在生存竞争中处在不利的地位上。青蛙，作为两栖类动物的代表，还没有获得防止水份从机体自由蒸发掉的能力，因而也不能对它自己的体温进行有效的调节。因此，青蛙一旦离开水池，立刻就会干燥，而当冷天来到时，它必须沉入泥泞的池底，在迟钝的冻僵状态中度过严冬。爬虫类的进化程度稍高一些，它能防止水份不致于过快丧失，因而，它们不仅能在池塘和溪流的附近活动，并且也可以在干燥的沙漠地区栖息。但是，它们和两栖类一样，都属于冷血动物，亦即它们的体温与环境的温度相近，所以，在冬季，它们必须放弃活跃的生活方式。只有象鸟类和哺乳类这些比较高等的脊椎动物才摆脱了寒冷的限制，获得了自由，从而可以在全年的任何气候条件下积极活动。

在物体内部保持恒定的状态可以叫做平衡(equilibria)。这个词应用于相对简单的物理化学状态时，意思是表示在一个闭合系统中已知诸力处于平衡。保持生命体内大多数稳定状态的协调一致的生理学过程，对于生物来说，如此之复杂，如此之专门化——包括脑、神经、心脏、肺、肾、脾等器官都要协调一致地工作着——以致促使我提出表示这些状态的专门名称：稳态(homeostasis)。这个词不是表示某种固定不变的事物，表示一种停滞状态。它表示这样一种情况——一种可变的而又保持相对恒定的情况。

看来这并不是不可能的事：较高等的动物为了保持内环境恒定和一致(就是说为了保持稳态)所采用的手段可以为建立、调节和控制恒定状态提供若干一般的原则，它们和遭到危机干扰的社会和工业机构所使用的手段有关。或许，一种比较研究将会表明：每个复杂的组织，当它遭受压力作用时，为了防止其功能遭受抑制或其结构迅速瓦解，都必须有它的或多或少是有效的自我调整装置。而且，在较为复杂的生命体中，研究其自我调节手段又可以为改进和完善仍然是低效的和不能令人满意的方法提供启示。目前，这些意见必定是含糊的并且是不确定的。提出这些意见是为了使从事研究的读者对我们躯体确立稳定方式继续作出具体的和细致的解释时，不妨知道一下躯体所提供的种种例证具有可能有用的性质。

IV

在以后各章中，我打算首先谈一谈什么是稳态的基本条件，然后再讨论当正常状态受到干扰时，使之恢复正常状态的各种不同的生理装置。在探讨这些装置的过程中，我们将会逐渐地熟悉调节和控制许多过程和我们正常活动所需要的物质供应的一般性装置。我们将会知道，神经系统可以划分为两个主要部分，一个部分是对外界环境发生反应，另一部分是对机体内部发生作用，协助保持生命体内部的恒定和稳定状态。我将尽量采用使具备简单的生物学和一般科学知识的每一个人都能懂得的字眼来描述这些生理作用和生理过程。

参 考 文 献

- Bayliss, Principles of General Physiology. London, 1915.
Fredericq. Arch. de Zoöl. Exper. et Gén., 1885, iii, p. xxxv.
Pflüger. Pflüger's Arch., 1877, xv, 57.
Richet. Dictionnaire de Physiologie, Paris, iv, 72.

第一章 机体的液床

I

我们通常把自己称为居住在空气里的动物。然而，对于外界的微小的反应揭示了一个有趣的事实：我们与周围空气隔着一层死的或惰性的物质。皮肤的表面覆以干燥的角化层（当然它时常被汗水所湿润），而眼睛的表面、鼻腔和口腔的表面则浸浴在盐水之中。我们的一切都是活着的，而组成我们肌肉、腺体、脑、神经以及其它部分的、数以万计的、微小的、有生命的物质或细胞则都是被包裹在无生命物质所构成的外衣之中。除了细胞互相邻接的侧面外，细胞则与液体相接触。所以说，机体的有生命成分是水居的，或者说这些成分是生活在含有盐类并被蛋白样或胶样物质变稠了的水溶液之中。为了了解这种水环境或者液床的意义，我们必须调查一下它执行着什么职能以及如何来完成其职能的。对于那些附生在河床的岩石上的简单生物来说，流水为它们带来生存所必需的养料和氧气，并把废物带走。这些单细胞生物只能在水环境中生存，假使溪水干涸，它们就会死亡或者进入休眠状态。组成我们的躯体的无数的细胞也需要同样的条件。每一个细胞的需要是和溪流中的单细胞的需要相同。然而，我们的身体的细胞既不能直接地从广阔的环境摄取食物、水和氧气，也不可能直接把由于活动而产生的废物排泄到环境中去。机体本身流动的血液流和淋巴流的发展为获得养料和排出废物创造了便利的条件。它们协同工作，从而把养料、水、氧气从身体的潮湿的表面运走，再把这些必需的物质送到即使是位于机体最边远角落的细胞。血液和淋巴再把细胞活动产生的、必须排出的废料从这些

细胞依次带回到肺内和肾内的湿润的表面上。

血液和淋巴之间的流动就象水在溪流中流动一样，它和流经沼泽的较为滞缓的水相似。血液在血管内是沿着固定的行程流动的；淋巴或组织液则充满在机体结构中的除血管外的所有间隙，这些淋巴在汇入它自身的管道之前，其流动是缓慢的。现在我们将研究一下这些液体的性质以及种种通道，后者是指由于液体的流动而对邻接细胞的内环境有利的并使它始终保持新鲜和恒定的通道。

II

血液约占我们的体重 6%，它是一种值得注意的液体。它含有许多红细胞（每一立方毫米男子血液中正常含红细胞 500 万）和许多微小的能动的白细胞，所有这些血球都悬浮在一种含有盐类、酯以及白朊物质的粘稠的水溶液——血浆之中。红细胞在身体中起着维持生命所必需的作用，这是因为它们在肺内能够非常迅速地几乎满载上氧气，而且又能在机体的其它部分几乎把氧气全部卸下交给正需要氧气的那些部位的细胞。红细胞还能够把机体活动的一种代谢产物即二氧化碳从这些细胞带回肺中，二氧化碳是在供给热量的氧化过程中产生的，氧化作用在机体活动中主要是提供机械功。能运动的白细胞，则好比清道夫和卫士，它们能清除侵入体内的异物和细菌，如果听任异物和细菌在体内聚集的话，就会使血液遭受污染。

血浆占血液总量的一半以上，它是小肠内消化过程最终所提供的各种营养物质的运输者。这些物质，就象氧气一样，可以被运送到机体的各个部分，使每个细胞，即使是在最僻远处的细胞都将得到其基本的供应，或者，如果暂时不需要这些物质，它们将被送到机体内的专门器官储存起来，以供备用。血浆的另一个功能是把废料从各处的细胞运走，这些物质是躯体这个机器工作时产

生的，除了二氧化碳外，都被运到肾脏，通过肾脏再排出体外。

血浆还具有一种值得注意的性能，当它与损伤部位接触时，就会从液态变成胶状——凝块，即发生凝结。譬如，当血管受到损伤或者被割破时，就会发生通过裂口而失血的危险。血浆的凝胶化或者凝结形成一个塞子，它将相当迅速地封住裂口以防止可能发生的严重出血。

淋巴与血液的区别主要在于淋巴内无红细胞，白蛋白含量少。淋巴中有白细胞、糖和盐类。此外，它也有凝结能力，尽管由淋巴形成的凝块远不如正常血液的凝块坚固。

由于淋巴或组织液^①分布在血管和组织的细胞之间，因此，细胞和流动的血液之间的物质交换必须经过淋巴。所以说它是这种交换的直接的媒介物。

每一个人都有机会在轻微的皮肤损伤中观察血液与淋巴的区别。突然的撞击或挤压可以只损及皮肤的表层，此时会出现一个“水泡”，其中充满了淋巴。如果皮肤的深层受到损伤，血管破裂了，流出的血液就会造成一个“血泡”。

III

由于血液和淋巴的量是有限的，所以，要使它们在位置固定的、彼此分隔开来的细胞与躯体的传递面之间不间断地充当传递者，其唯一的办法就必须是用了再用。因而它们就必须循环不息（见图1）。血液借心脏的收缩或“搏动”被压入血管，心脏本质上是一个强有力的具有空腔的肌肉，它有两个主要的心室，左心室和右心室，每一个心室有其坚韧的、膜性的进口活瓣和出口活瓣。心肌的安排是这样的：在每一次收缩之后和在再次搏动之

^① 淋巴是位于淋巴管道内的液体，组织液是循环系统管道外的细胞外液体。坎农在本书中对这两个概念未作严格区别。——译者

前，要求有一个短暂的休息。虽然心脏以每分钟 60 次或者更快一些的频率持续搏动，而且每次搏动都把装满的血液推向前去，它可以不停地工作 70 年甚至更多年而从不疲惫。在每一次收缩之后的休息期间，来自身体各处的血液经过进口活瓣进入右室，而来自肺部的血液则进入左室。当心室肌再次收缩并压挤心室内的血液时，上述瓣膜关闭，以防血液倒流。心室对容纳物的压力不断增加，终于把出口瓣膜冲开，于是血液通过这些瓣膜进入血管的起始部——从右心室出来的血液进入分布到肺部去的血管，从左心室压出的血液则进入机体的大血管主干。接着心脏开始舒张，而当心室内压力低于大血管起始部的压力时，出口瓣膜封闭。于是，心室被腾空了并且为再充灌已经集中在入口瓣膜处的血液作好了准备。

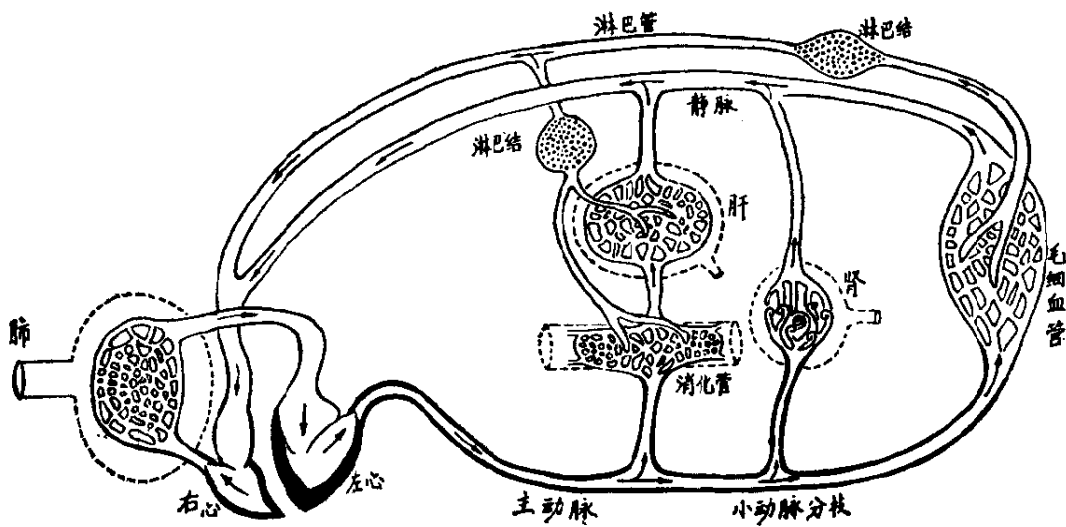


图 1: 循环系统和淋巴系统示意图

左心室将血液送入动脉，动脉把血液分送到毛细血管。静脉血液由毛细血管内的血液汇集而来，通过静脉回到右心室。从此，血液又被送到肺，然后再回到左心室。透过毛细血管渗出的液体即组织液（淋巴），它们由淋巴管收集起来，汇入心脏附近的静脉。（根据巴顿 Paton 原图改制）。

从心脏发出的血管就象一株茁壮成长的树木上的茂密的分枝。主动脉就是中央的主干。从此再发出许多较小的支干分布于两臂、两腿、头部以及腹部的诸如胃、小肠、肝、脾以及肾脏等器官。这些分支在上述的每一个部分又一而再、再而三地分出它们各自的分支，越分越细，从而使机体的每一部分都获得血液的供应。离心的血管叫做动脉，人们有时把这种错综复杂的分支系统称为“动脉树”。动脉的弹性层比较厚，因为在弹性层外面还包绕着一个肌层，所以动脉的容量是可变的。当心脏把血液挤进动脉树时，便出现一种扩散波，它沿着已经存在于该树状系统中的血液流前进，该波在表浅分支部位，诸如在拇指基底的腕部，在耳前的颞部，在足内侧的内踝等处都能感觉到，叫做脉搏。

我们必须始终记住，循环的血液的用处就在于它是为机体中距离物质供应来源和排出废物的排泄面甚远的细胞而服务的。显然，这个职能必须依靠穿透含有血液的血管壁才能完成。动脉管壁太厚，不允许交换物质通过。物质交换过程是通过“毛细血管”壁来进行的。毛细血管很细，管壁极薄，可以允许气体如氧、二氧化碳以及溶解在水中的糖、盐迅速透过。毛细血管的直径约为 $1/4000$ 吋，它们组成细密的毛细血管网，分布在全身各处的细胞层和细胞团之间。用针刺破任何一点几乎都会流血。动脉树的最小分枝——小动脉把血液送入毛细血管网；血液又从这里汇入另一种血管树，即静脉树的最小分枝。血液从小静脉（与小动脉相当）汇入较粗以及更粗的静脉，这些静脉的管壁较厚，较坚韧，最后汇入主干、下腔静脉和上腔静脉、它们将来自身体各个部分的血液送入右心室中。

身体的有些部分，特别是腹部，静脉再次分成毛细血管，而这些毛细血管又再次汇入静脉。来自腹部的消化管、胰、脾的血液汇入“门静脉”并进入肝脏；血液在这里进入肝毛细血管，只有经

过这些毛细血管之后，血液才来到真正的肝静脉，而后直通心脏（见图 1）。

另一组动脉和静脉系统把肺毛细血管与心脏联系起来（见图 1）。肺内循环装置的基本特点，正如其它部位一样，血流必须经过毛细血管。指出这一点是重要的。只有在毛细血管部位才能进行必需的物质交换。除了毛细血管，循环系统的所有其它部分的存在都是为了在细胞需要血液的部位维持一定的血流量。

IV

血浆的一部分经毛细血管壁滤出即构成淋巴。机体的某些部位，例如肝，其毛细血管的“通透性”如此之好，以致滤过作用可以不断地进行。而在机体的另外一些部位，例如四肢，只是当该器官进行活动时，才发生滤过作用。在这种情况下，淋巴产生的速度比排出的速度要快得多，于是，肢体明显地变粗了。

淋巴回流到血液中经过两条完全不同的途径。当器官停止活动，毛细血管内的过滤压下降时，淋巴中的一部分水分可以透过毛细血管壁回到血中；或者，从总体上说，淋巴可以汇入一个既定的管壁极薄的管道系统——淋巴管中去，淋巴管再把淋巴引入心脏附近的一条大静脉，在这里，淋巴好比一股支流被输入到血液中去（见图 1）。较大的淋巴管和静脉一样具有许多瓣膜——这种瓣膜附着在淋巴管的侧壁上，呈杯状囊袋——它们能防止来自心脏方面的回流。因而，任何一次即使是轻微的压力作用于淋巴管，也能将其内容物推向出口的地方。在淋巴管的行程中，淋巴管被许多淋巴结或“淋巴腺”所隔断。这些结节的作用犹如筛子，能留住细小的、象细菌那样能侵入组织间隙之中的颗粒，防止它们向身体的其它部分扩散。用这种方法来保护机体，淋巴结本身会肿大，以手触之，它们就象一些肿胀的脆性的团块。

V

血液必须经过许多细小的具有分支的小动脉才能到达毛细血管。这些小动脉有明显的摩擦阻力。当心脏搏动并把心室内的血液排出时，肌性的心壁必须产生一种压力。这种压力不仅要使血液超过这种阻力，而且要推动血液通过毛细血管网和静脉。在心脏每次排出新血液时，具有弹性的动脉为了适应额外的血液而发生扩张。在出口瓣膜关闭之后（见图 1），心肌休息并再次被血液充盈。扩张了的动脉壁以其弹性回缩推动血液继续前进。测量结果表明，动脉内的血液是在相当高的压力下流动的。对一个年青的成人来说，心排出量达到最高点时，其压力为 120 毫米汞柱（约为 5 英尺水柱）。这个压力称为收缩期血压。而刚刚在第二次排出前其血压为 80 毫米汞柱，称为舒张期血压。在毛细血管中，压力下降到 25 毫米汞柱左右（约 12 英寸水柱）。血液在行经静脉的过程中，压力继续降低，等到血液进入右心室时，压力降到最低点。

显然，在同一段时间内，必须有同等数量的血液流经心、肺、动脉、毛细管以及静脉，不然的话，这种循环就不能继续下去。因为毛细血管的总横断面积远远大于主动脉和进入心脏的大静脉的横断面积，所以，血液在毛细血管内的流速比大动脉干和大静脉干内的流速要慢得多。在毛细血管内的这种缓慢的血流为在血和组织细胞之间进行重要的物质交换提供了时间。

我们马上就会知道，就欠缺养分的细胞的活动程度而言，血液循环对于这些细胞的供应是有明显差异的。这种调节主要是通过心脏和血管的神经来控制。迷走神经通过持续抑制或张力抑制使心率保持规律，所以，当迷走神经作用过强时（见图 17），心跳较为缓慢。在交感神经的作用下可以使心跳加快，而且，有趣的是，当迷走神经张力减弱时也可导致心跳加快。血管，特别是小动脉，同